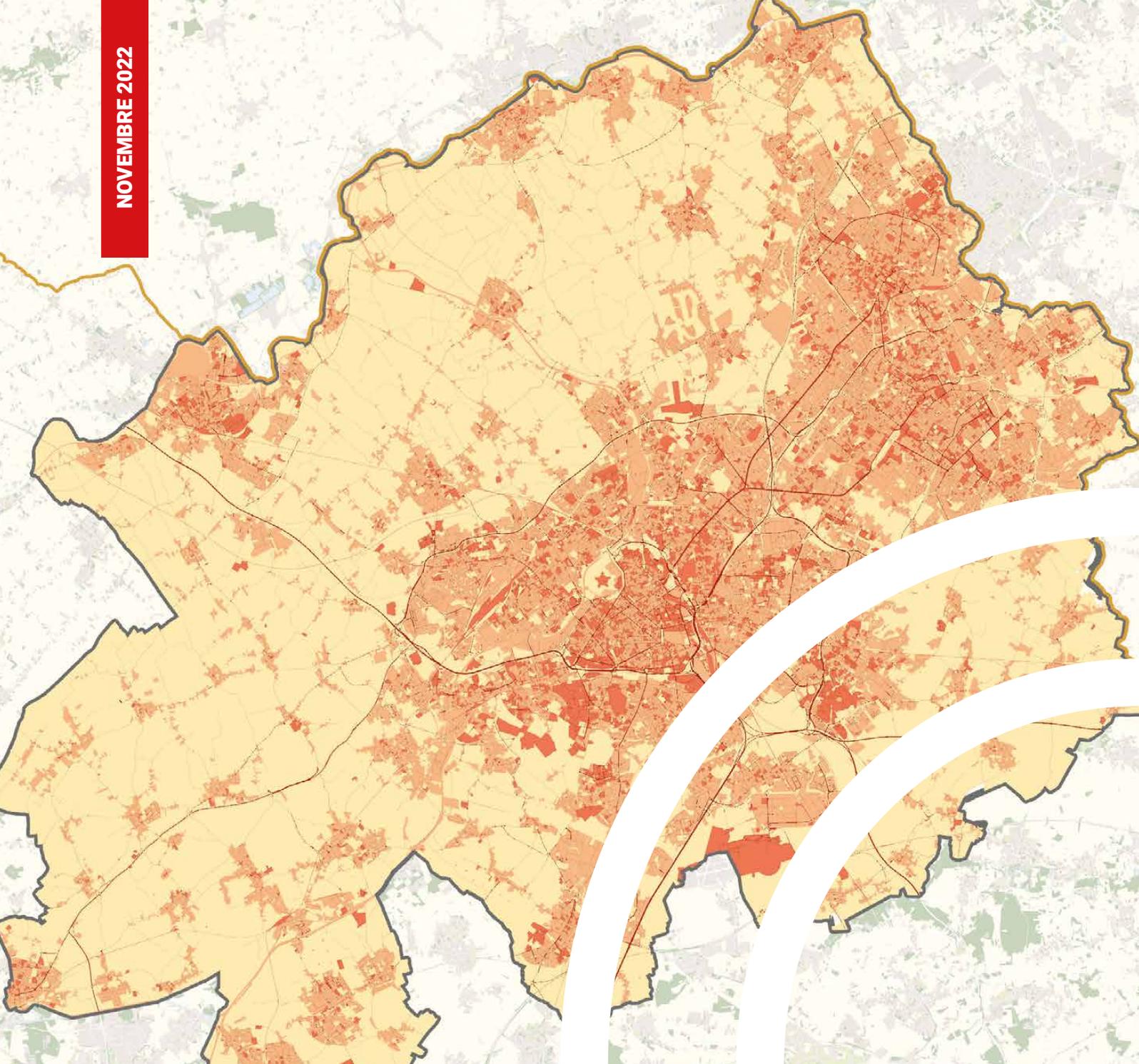


NOVEMBRE 2022



ATLAS DES ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS DE LA MÉTROPOLE LILLOISE



Directeur de publication : **Didier DECOUIGNY**
Responsable de publication : **Guy CHAUTARD**
Avec l'appui méthodologique du pôle cartographie, géomatique, statistiques : **Anthony JOBÉ, Madjid SENDID**
Crédit photo image de couverture : © **ADULM**
Impression : **AD Concept**

SOMMAIRE

INTRODUCTION 4

**1 LES ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS (ICU) DANS LA MÉTROPOLE LILLOISE :
— FACTEURS EXPLICATIFS 5**

1.1. Les matériaux 8
1.2. L'activité anthropique 10
1.3. L'exposition au soleil 12
1.4. La forme urbaine 12
1.5. Les mesures d'atténuation et d'adaptation 13

2 UNE APPROCHE DES ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS EN TERMES D'ALÉAS ET DE RISQUES .. 14

2.1. Les notions de risques, enjeux et aléas 15
2.2. Les aléas ICU de la métropole lilloise, par modélisation des données 15
2.3. Les risques ICU de la métropole lilloise, par modélisation des données 22
2.4. Cartographie des ICU à la commune : aléas et risques 23

ANNEXES 24

INTRODUCTION

Le sixième rapport du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) confirme les prédictions pessimistes des travaux antérieurs : l'activité humaine est à l'origine de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et génère des conséquences dramatiques sur la planète comme l'élévation du niveau de la mer, les épisodes de chaleur extrêmes, la sécheresse, les inondations ou incendies... Les cinq dernières années de la décennie précédente (de janvier 2015 à décembre 2019) demeurent les plus chaudes jamais enregistrées depuis le 19^{ème} siècle selon l'Organisation météorologique mondiale (OMM). Ainsi, la température moyenne pour cette période est estimée à +1,1 degré Celsius par rapport à la période de 1850 à 1900.

Ce phénomène de réchauffement climatique n'épargne pas la métropole lilloise qui connaît un gain de +0,26°C par décennie depuis la seconde guerre mondiale (source Météo France - station Lille-Lesquin). En juillet 2018, Lille a atteint un nouveau record avec une température de 41,4°C (le précédent record s'établissait à 37,6°C en 1945). **Très concrètement, par décennie, la métropole perd en moyenne 4 jours de gel et gagne 1,5 jour de canicules**, toujours plus intenses en chaleur et de plus longues durées. À ce rythme, dans les décennies à venir, la métropole connaîtra des vagues de chaleur similaires à celles de Marseille actuellement.

Suivant cette évolution du climat, le nombre de journées caniculaires devrait donc s'accroître rendant impérieux le besoin d'adapter le territoire à ces phénomènes extrêmes, notamment en rapport avec les îlots de chaleur urbains (ICU). Les ICU ne sont pas directement causés par le réchauffement climatique. Pour autant, celui-ci amplifie le phénomène au point qu'il en devient un enjeu sanitaire majeur, et ce, dans des proportions bien plus cruciales que celles constatées lors de la canicule de 2003. L'ICU désigne précisément le fait que les villes demeurent plus chaudes par rapport à la campagne. Ceci s'explique principalement en raison d'une densité minérale plus forte qui capte mieux la chaleur. Par ailleurs, les villes sont également en moindre capacité de refroidissement que la campagne, en raison, d'une part d'une moindre végétation et, d'autre part, d'une perturbation du système aéraulique (écoulement de l'air) par la rugosité du bâti qui en diminue l'énergie cinétique (force du vent).

Cet atlas s'articule autour de deux grandes parties, avec pour objectifs de mettre en évidence les facteurs explicatifs des ICU dans la métropole lilloise (première partie) et de rendre disponibles les cartes des aléas et des risques à l'échelle des communes (deuxième partie).

À NOTER

Le présent atlas des îlots de chaleur urbains de la métropole lilloise a pour objectif de dresser une cartographie à la commune des aléas et des risques des îlots de chaleur urbains. La modélisation des données a été établie sur la base d'une thermographie aérienne réalisée en août 2016.

Les cartes des aléas et risques sont consultables et téléchargeables sur le site de l'Agence, rubrique « Portraits de communes », thématique Climatique : <https://www.adu-lille-metropole.org/cartes-et-data/portraits-de-communes/>





1

**LES ÎLOTS DE CHALEUR
URBAINS DANS LA
MÉTROPOLE LILLOISE :
FACTEURS EXPLICATIFS**

Les îlots de chaleur urbains (ICU) sont des microclimats artificiels spécifiques des milieux urbains à partir desquels les **villes sont en moyenne plus chaudes que la campagne** (ou zone périphérique).

Cette différence de température s'explique par l'occupation du sol (végétal, minéral, milieu urbain...), les coloris des revêtements (albédo), ainsi que les conditions géographiques (reliefs naturel et urbain, orientation du bâti et exposition aux vents).

De manière générale, la ville-centre, plus dense et minérale absorbe pendant la journée de 15 à 30% d'énergie de plus que l'aire urbaine plus vaste. Cette énergie est ensuite lentement restituée la nuit sous forme de chaleur à l'origine de l'effet ICU.

Concernant la métropole lilloise, l'étude produite et publiée par l'Agence de développement et d'urbanisme de Lille Métropole en 2017 (*Les îlots de chaleur urbains*, ADULM, juin 2017) a permis de mettre en exergue l'existence des ICU spécifiques au cas lillois ainsi que son caractère multipolaire du territoire.

Le profil thermique territorial a été établi à partir de photos thermographiques aériennes prises en période caniculaire et correspond à une coupe transversale d'ouest en est de la métropole lilloise.

Il apparaît nettement que les villes les plus concernées par les ICU sont les villes centres les plus densément urbanisées de l'agglomération urbaine comme Lille, Roubaix, Tourcoing et La Madeleine, et dans une moindre mesure les communes intermédiaires comme Lambersart, Saint-André-lez-Lille, ou Mons-en-Barœul.

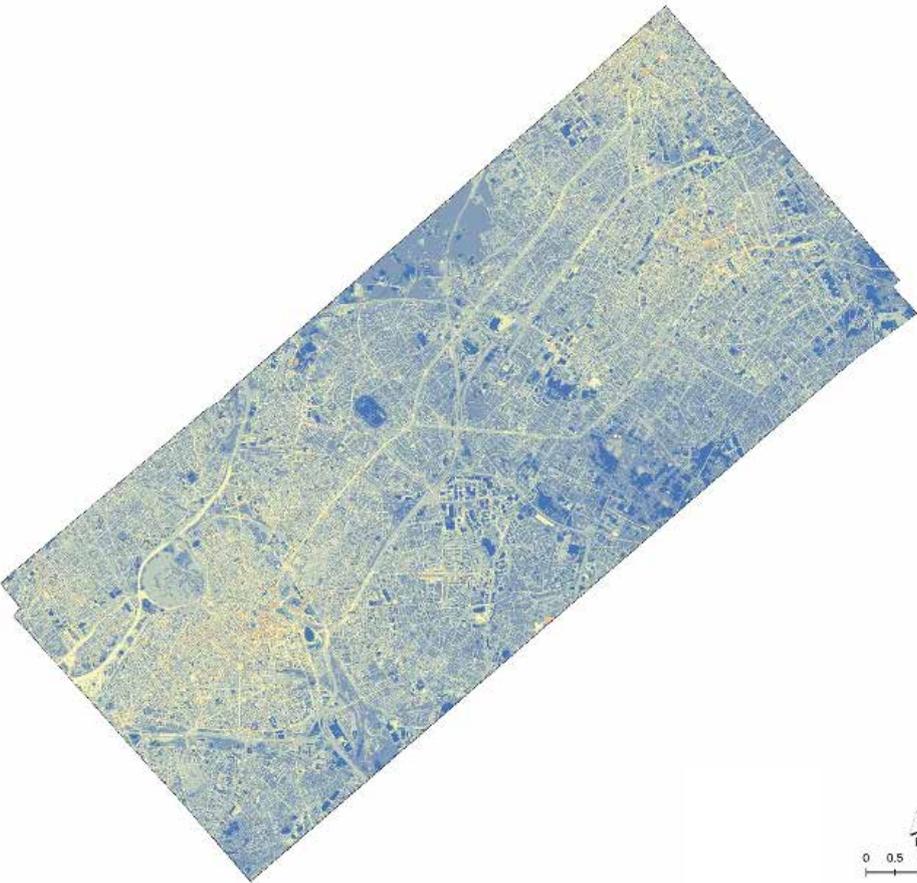
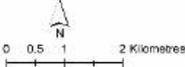
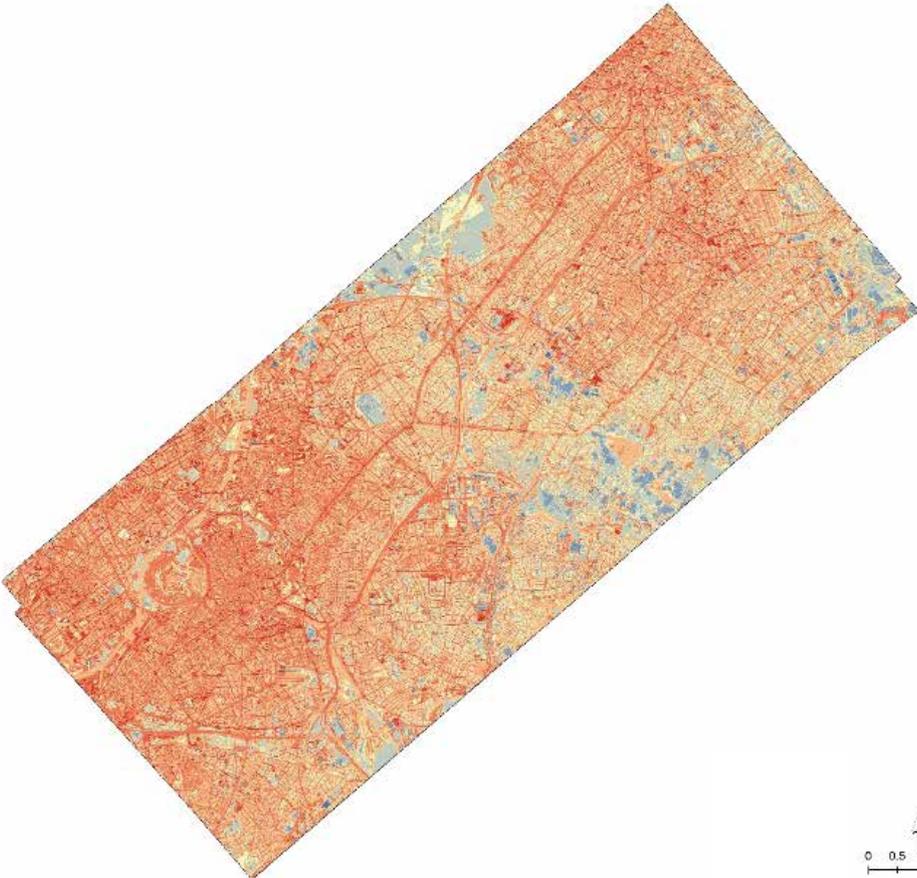
À partir des photos thermographiques aériennes d'août 2016 (page 7), il a été possible d'identifier et de mesurer avec précision les différents facteurs explicatifs de l'échauffement de la ville en période caniculaire parmi lesquels la densité urbaine, la circulation motorisée, la minéralisation excessive des villes et le déficit de végétal et de l'eau dans les espaces publics.

Le profil thermique territorial de la métropole lilloise



Source : ADULM 2017

Photos aériennes thermographiques du soir (en haut) et matin (en bas) - 24 et 25 août 2016



Source : ADULM 2017

1. LES MATÉRIAUX

Parmi les principales causes des ICU, le choix des matériaux dans les espaces publics est prépondérant. En effet, de par leur coloris, leur capacité thermique et leur inertie, les matériaux sont à l'origine de l'échauffement des villes en journée caniculaire et du maintien de cette chaleur la nuit.

La capacité thermique représente la quantité de chaleur que peut emmagasiner un matériau par rapport à son volume. L'inertie thermique quant à elle désigne la capacité d'un corps à stocker la chaleur et par effusivité, sa capacité à restituer plus ou moins rapidement un apport de chaleur. L'effusivité caractérise la sensation de « chaud » ou de « froid » que donne un matériau. Si la valeur d'effusivité est élevée, le matériau absorbe rapidement beaucoup d'énergie sans se réchauffer notablement en surface (métal, pierre, faïence...). À l'inverse une valeur d'effusivité faible indique que le matériau se réchauffe rapidement en surface en absorbant peu de chaleur (isolant, bois...).

Les matériaux utilisés dans l'aménagement des voiries sont de manière générale des conducteurs de chaleur avec une capacité thermique élevée, et donc avec une forte restitution de chaleur pendant la nuit.

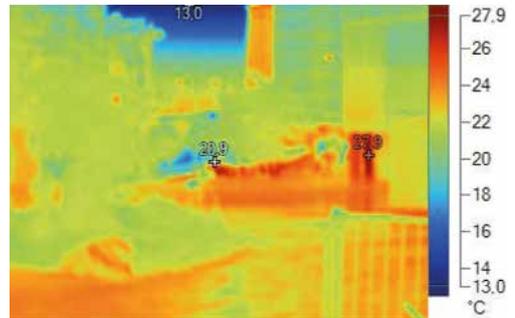
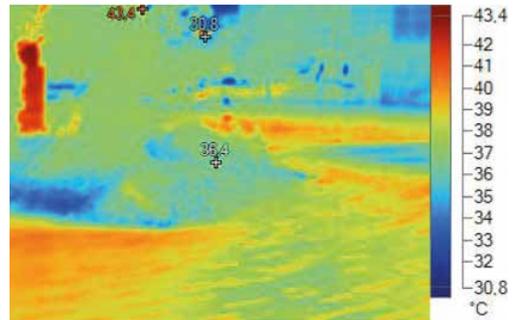
La couleur des matériaux ou de leurs revêtements influence directement le réfléchissement de l'énergie solaire incidente. Cette particularité se mesure par le taux d'albédo qui varie de 0 à 1. Avec 0, une situation pour laquelle l'ensemble de l'énergie incidente est absorbée (cas d'une surface totalement noire) et 1 pour une surface qui renvoie la totalité de l'énergie incidente (par exemple, un miroir). L'albédo terrestre moyen se situe à 0,3 et à 0,25 pour les villes plus minérales et grises, ce qui équivaut à une absorption de l'énergie solaire supérieure de 15 à 30% la journée et une lente restitution de la chaleur pendant la nuit.

À titre d'illustration, le parvis de Rotterdam à Lille composé de pierre bleue calcaire de par sa forte capacité thermique reste chaud la nuit et réchauffe l'air ambiant du matin. En fin de journée, la dalle est chauffée à plus de 40°C pour redescendre autour des 24°C au lever du soleil (pour une température ambiante de 18°C).

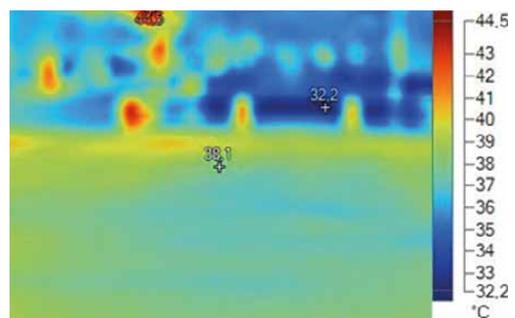
A contrario, les arbres, les plantes, les jardins, les parcs, et de manière plus générale, **tous les espaces couverts de végétaux jouent un rôle de régulateur thermique** au sein des villes soit en rafraichissant l'air par l'évaporation issue des sols et la transpiration issue des plantes, soit à partir de l'ombre portée.

Pour mettre en évidence les différences de réactivité thermique, l'Agence, en collaboration avec le service Territoires et Voirie de la MEL, a identifié 11 sites de la métropole lilloise aménagés à partir de 19 types de matériaux différents figurant dans le catalogue des matériaux et couramment employés dans l'aménagement des espaces publics. À partir des thermographies aériennes de fin de journée et de fin de nuit réalisées en période caniculaire du 24 et 25 août 2016, il apparaît des différences nettes dans la capacité d'échauffement des différents matériaux (températures de fin de journée) et leur refroidissement.

Photos thermographiques au sol du parvis de Rotterdam du soir et du matin - 24 et 25 août 2016



Le rôle du végétal comme facteur de rafraîchissement - illustration par l'allée boisée du Boulevard Hoover à Lille (photo de fin de journée) - 24 août 2016



Parmi la catégorie de matériaux en bleu, nous distinguons les matériaux qui ont une faible capacité thermique et les matériaux à forte capacité de refroidissement. Parmi la première catégorie, nous identifions la végétation, le granit bleu lanhelin et le grès d'Inde avec une faible capacité d'échauffement en fin de journée ainsi qu'un faible écart de température entre la fin de nuit et fin de journée. Il s'agit de matériaux qui ont une bonne inertie thermique dans la mesure où leur résistance au changement d'état est la plus élevée. Par ailleurs, la deuxième catégorie de matériaux comme le pavé béton gris, les enrobés de synthèse ou la résine gravillonnée se caractérisent par une forte déperdition thermique pendant la nuit.

Les matériaux en jaune dans la partie médiane se caractérisent par un moindre refroidissement la nuit, malgré un échauffement relatif en fin de journée (28°C en moyenne), en particulier les enrobés percolés.

Enfin, concernant la catégorie des matériaux en rouge, il s'agit de matériaux à forte capacité d'échauffement (30,5°C pour le Grès de Chine et 30,33°C pour la pierre bleue) et qui ont une tendance à rester plus chaud que la moyenne des autres matériaux (plus de 25°C en moyenne) malgré une déperdition thermique plus importante (jusqu'à 5,28°C pour le Grès de Chine), reflet de leur forte effusivité.

Au global, nous constatons que les matériaux contribuent de façon très significative à l'effet des îlots de chaleur urbains dans la métropole puisqu'ils demeurent en moyenne plus chaud la nuit (environ 23,5°C sur note échantillon) que la température ambiante (environ 18°C).

Ce constat d'un effet très significatif des matériaux dans l'explication des ICU plaide pour une vigilance renforcée quant à l'aménagement des espaces publics (places de marché, aires de jeux, voies PMR...) ou la construction d'établissements destinés à l'accueil de personnes sensibles (crèches, écoles, EHPAD...).

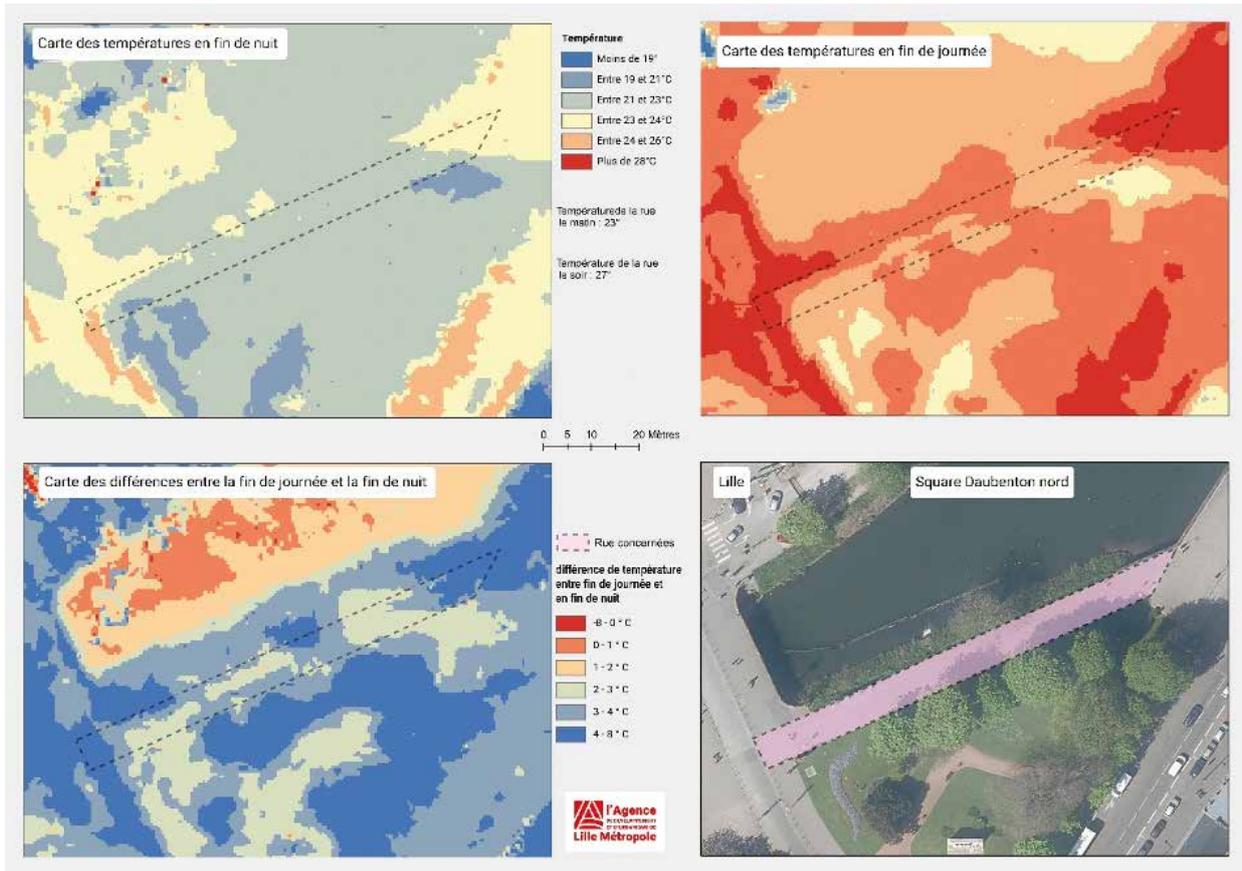
Tableau des températures soir et matin de 19 matériaux utilisés dans les aménagements de la MEL - 24 et 25 août 2016

Matériau	Température de fin de journée (1)	Température de fin de nuit (2)	Écart de température (1)-(2)
Végétation	26,00	22,64	3,36
Granit bleu lanhelin	26,50	22,35	4,15
Grès d'Inde	26,67	22,62	4,04
Granit de Louvigné	27,00	23,50	3,50
Granit rose de la clarté	27,00	22,88	4,12
Pavé béton gris	27,00	22,32	4,68
Résine blanche	27,00	23,00	4,00
Enrobés de synthèse	27,50	22,55	4,95
Résine gravillonnée	27,50	23,22	4,28
Béton bitumineux	27,89	23,68	4,21
Béton grenailé	28,00	24,15	3,85
Bordure grès d'Artois	28,00	24,08	3,92
Enrobés percolés	28,00	24,51	3,49
Résine verte	28,00	23,83	4,17
Béton taloché	28,50	24,58	3,92
Granit	28,67	23,97	4,69
Pavé béton grenailé clair	30,00	25,09	4,91
Pierre bleue (calcaire)	30,33	25,33	5,00
Grès de Chine	30,50	25,22	5,28
Total général	27,91	23,57	4,34

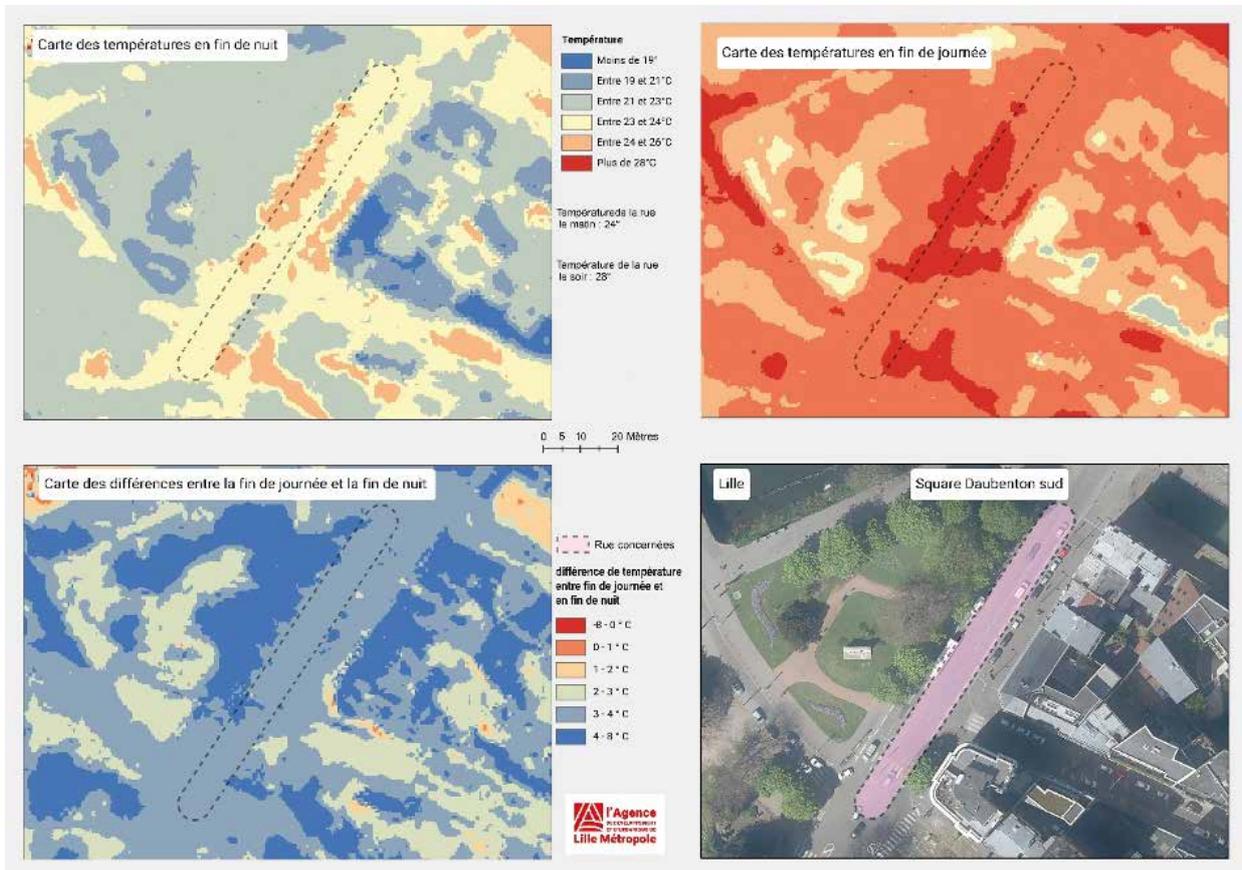
Source : ADULM



Traitement des photos thermographiques aériennes du square Daubenton à Lille (partie non motorisée) - 24 et 25 août 2016



Traitement des photos thermographiques aériennes du square Daubenton à Lille (partie motorisée) - 24 et 25 août 2016



2. L'ACTIVITÉ ANTHROPIQUE

L'activité anthropique désigne l'élévation de température des matériaux et/ou de l'air ambiant, induite par l'activité humaine comme l'usage de moteurs thermiques (le jour) ou les climatiseurs qui rejettent de l'air chaud (la nuit).

À partir des photos thermographiques aériennes (page 7) d'août 2016 (températures de surfaces estimées par thermomètre infrarouge), il a été possible de mettre en évidence deux types de réchauffement des matériaux induits par l'activité humaine : l'usage de la voiture et le réseau de chaleur urbain (RCU).

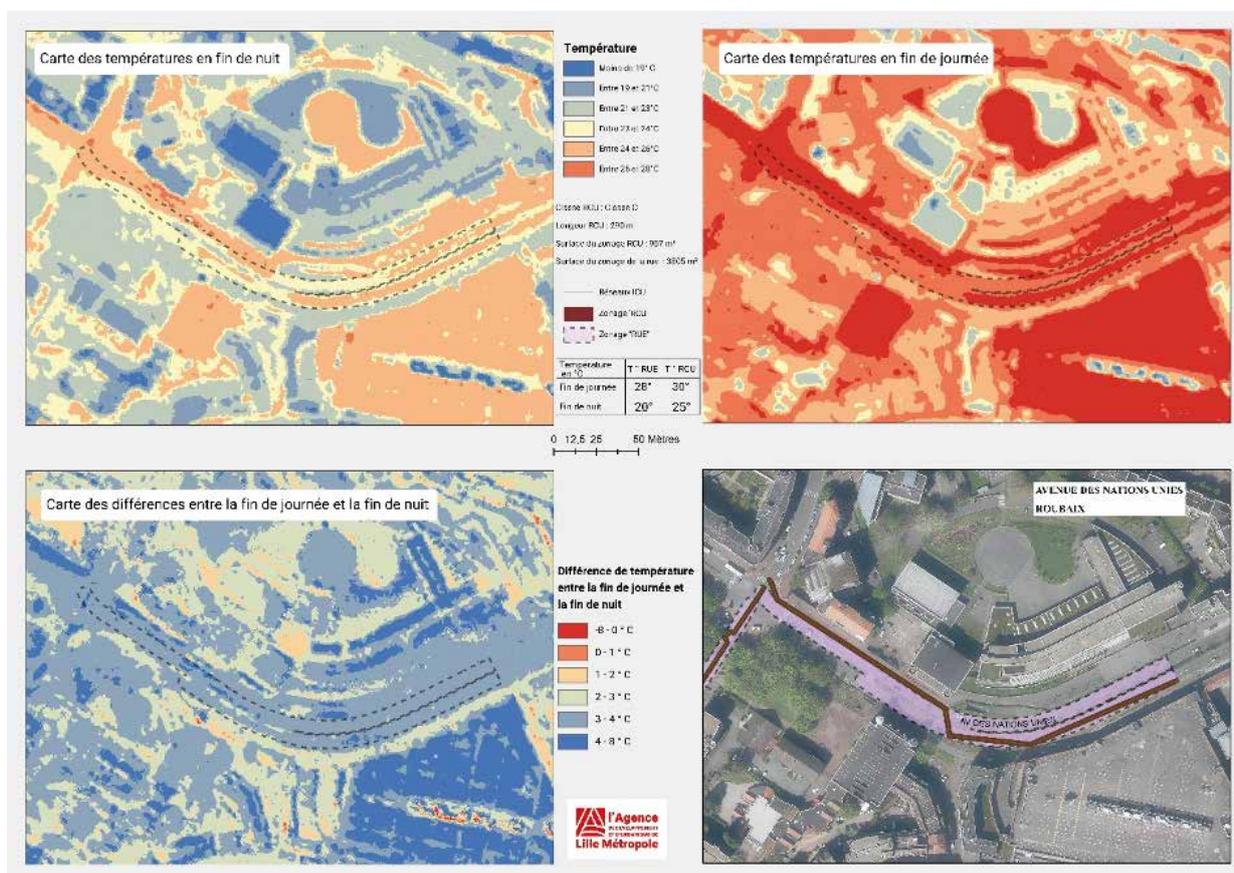
Ainsi, à partir de l'observation comparative d'une voirie ouverte à la circulation et une autre fermée (page 10), au sein d'un même endroit localisé (le square Daubenton à Lille), nous observons un écart de température de 1°C au matin comme au soir (la température de la voirie motorisée étant estimée respectivement au soir et au matin à 28°C et 24°C contre 27°C et 23°C pour la partie non motorisée).

En collaboration avec la Direction Énergie de la MEL, la thermographie aérienne a permis également de vérifier le rôle des Réseaux de chaleur urbains (RCU) comme potentiel facteur d'échauffement accentuant l'effet ICU. En effet, les RCU consistent en la distribution de chaleur produite de façon centralisée et fonctionne 24 heures sur 24 tout au long de l'année, quelle que soit la saison et peuvent donc, de ce fait, renforcer localement l'échauffement des voiries.

La méthode par photo-interprétation a permis le repérage d'environ une quinzaine de zones pour lesquelles il y avait suspicion d'un réchauffement de la chaussée exercé par les RCU. Dans la grande majorité des cas (14/15), les RCU ont un impact modéré d'échauffement sur la chaussée, similaire à l'effet motorisation susmentionné (environ +1°C constaté entre la température du zonage rue et le zonage RCU pour les 12/15^e des cas, et +2°C pour 2 cas sur 15).

Toutefois, il existe une situation pour laquelle l'effet réchauffement de voirie est important, le RCU situé Avenue des Nations Unies à Roubaix, faisant apparaître un effet de +2°C en fin de journée et de +5°C en fin de nuit.

Traitement des photos thermographiques aériennes croisées avec le tracé du RCU Avenue des Nations Unies à Roubaix - 24 et 25 août 2016



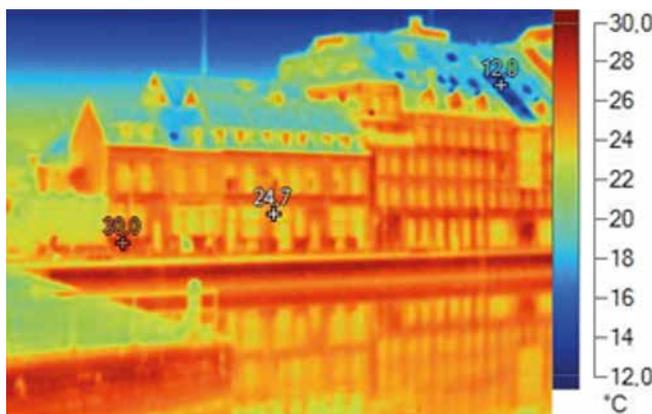
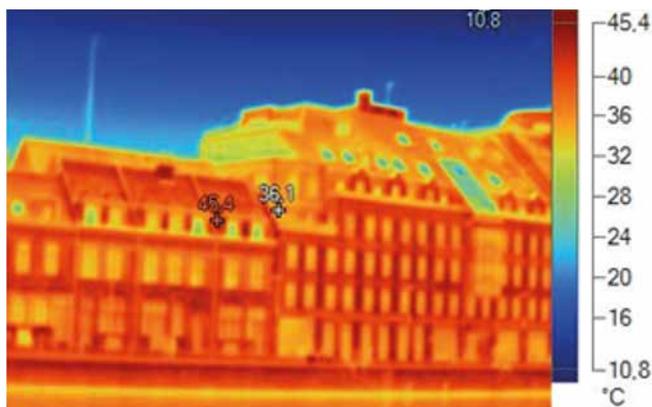
3. L'EXPOSITION AU SOLEIL

L'effet orientation désigne les échauffements de **places, façades, toitures et autres surfaces planes fortement exposées à la course du soleil** (orientation sud, sud-est et sud-ouest).

En fin de journée, ces surfaces orientées de l'ouest au sud-ouest de la métropole lilloise peuvent atteindre une température de plus de 50°C.

Cette exposition peut s'avérer problématique en termes de santé publique puisqu'elle concerne notamment les ERP (gare Lille Flandres - 48°C en fin de journée), des résidences (Quai du Wault à Lille - 45°C en fin de journée et 30°C en fin de nuit), des hôtels ou bien des bureaux (Place du Général de Gaulle à Lille - 51,8°C en fin de journée et 27°C en fin de nuit).

Photos thermiques au sol des résidences du Quai du Wault à Lille en fin de journée et en fin de nuit - 24 et 25 août 2016

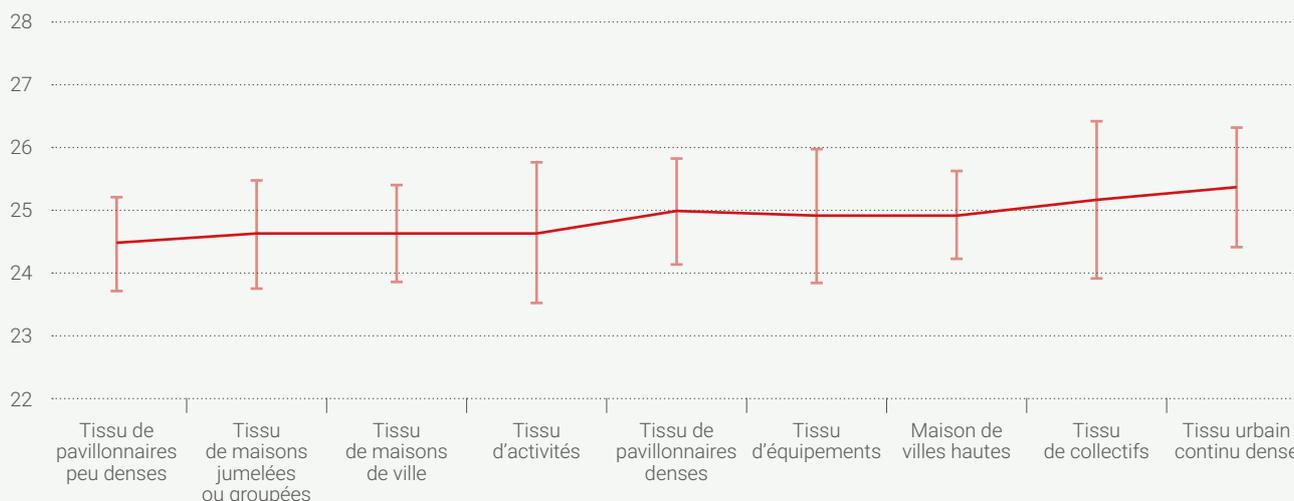


4. LA FORME URBAINE

La forme de la ville (sa morphologie) est également une cause explicative des ICU en lien évident avec la densité. En effet, et logiquement, l'habitat dense et dépourvu de végétal aura tendance à s'échauffer davantage et à retenir la chaleur captée en pleine journée, à l'instar des maisons de villes hautes, des villas discontinues, des logements collectifs et de l'urbain continu dense. En revanche, les pavillons peu denses, les maisons de villes jumelées ou groupées denses demeurent relativement plus frais en période caniculaire.

En moyenne, le croisement des données issues de l'atlas des tissus urbains de l'Agence de développement et d'urbanisme de Lille Métropole et des photos aériennes thermiques fait apparaître un écart significatif de +1°C entre l'habitat le moins dense au plus dense.

Analyse croisée des températures observées par photographies thermiques aériennes en fin de journée et l'atlas des tissus urbains de la MEL - 24 et 25 août 2016



Source : ADULM

5. LES MESURES D'ADAPTATION ET D'ATTÉNUATION

L'échauffement des villes devient un phénomène de préoccupation majeure compte tenu du réchauffement climatique.

La morphologie urbaine (sa densité), sa minéralité et l'activité anthropique (le transport et réseau routiers tout particulièrement dans la métropole lilloise) sont les principales causes de l'effet ICU.

Il n'est pas possible d'éradiquer les ICU dans la mesure où ceux-ci sont indélébiles du fait urbain. Toutefois, il existe des marges de manœuvre afin d'éviter son intensité (volet atténuation des ICU) ou alors d'en diminuer les effets négatifs (volet adaptation des ICU). Pour ce faire, nous distinguons deux types de leviers relevant de la nature en ville et de l'urbanisme résilient.

La nature en ville

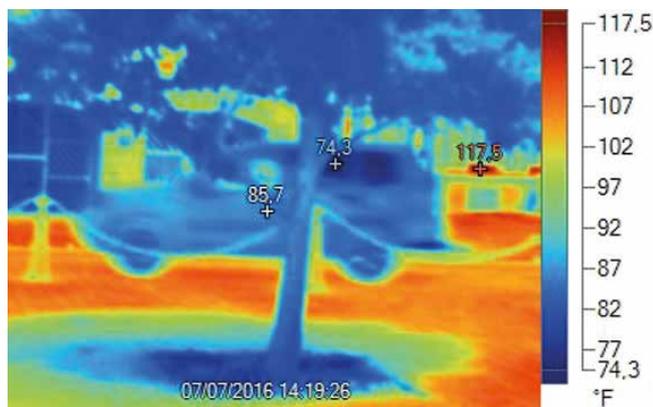
L'herbe, les arbres et les points d'eau rafraichissent naturellement l'air ambiant et mettent des surfaces à l'ombre tout en libérant de la vapeur d'eau. L'eau et le végétal introduisent ainsi un cycle naturel vertueux efficace et gratuit en énergie consommée.

Le végétal, en effet, absorbe les eaux, fixe les sols, et, par ailleurs, de par son feuillage filtre l'air et réduit le niveau des particules en suspension.

Le redéploiement de l'eau et du végétal contribue donc à la fois à l'atténuation mais aussi à l'adaptation des villes au réchauffement climatique, devenant un élément à part entière du décor urbain, structurant le paysage et assurant la continuité avec la trame verte et bleue.

L'arbre urbain en tant qu'élément paysager et climatiseur gratuit en énergie consommée (photo thermique au sol - Quai du Wault à Lille - 7 juillet 2016)

© Guy CHAUTARD



Un urbanisme résilient

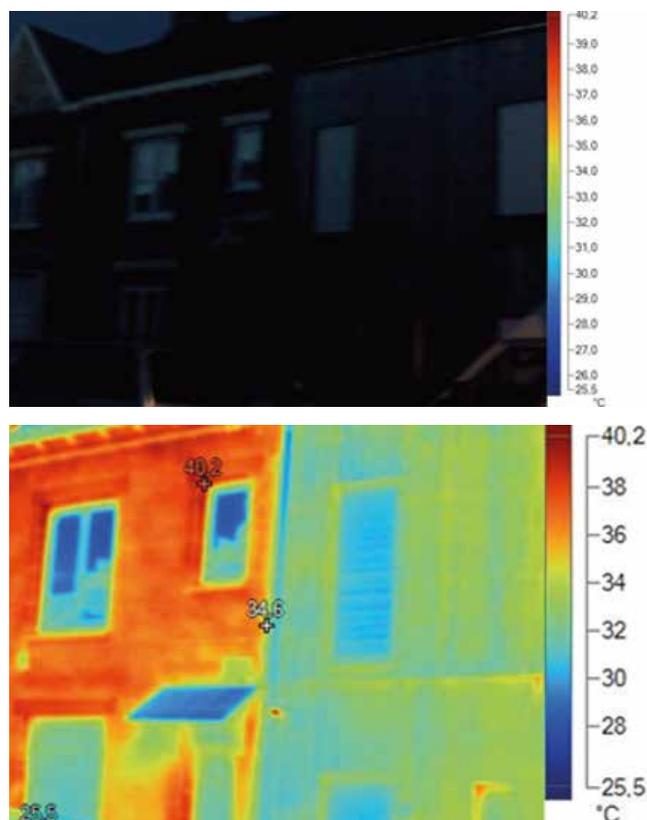
L'urbanisme résilient vise l'atténuation des zones d'échauffement ainsi qu'une meilleure adaptation du cadre bâti à l'effet ICU.

Pour limiter l'échauffement, le choix des matériaux est crucial : le coloris (favoriser les couleurs claires), l'imperméabilité et la minéralité doivent être considérés en fonction du lieu et des enjeux (accueil de personnes sensibles, crèches, parcs, etc.).

L'adaptation du cadre bâti vise à optimiser les apports naturels climatiques (vent et soleil) tout en évitant les effets indésirables comme la surchauffe ou l'éblouissement. Ainsi, une étanchéité à l'air d'un bâtiment rendue possible par une ITE (isolation thermique par l'extérieur) permet de limiter les besoins en chauffage (période froide) ou de refroidissement (période chaude).

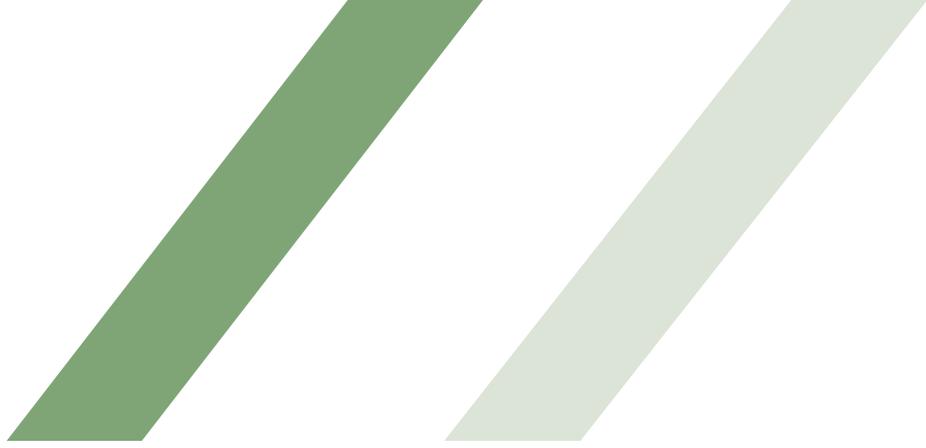
La couleur, la rugosité et les matériaux utilisés de surface jouent également un rôle important dans la capacité à absorber les rayonnements solaires. L'orientation par rapport au soleil et au vent permet de limiter l'effet îlot de chaleur en favorisant le rafraichissement naturel (coolfreshing, puits canadiens, vents traversants...) ou les ombres portées (murs, végétations...). En termes d'aménagement, une étude aérodynamique¹ des quartiers existants peut être menée afin d'améliorer le confort des espaces extérieurs soit pour rediriger l'air (pour faciliter le rafraichissement) soit pour casser les vents lorsqu'ils sont générateurs de désagréments (effet Venturi). Ainsi, la ventilation naturelle sera privilégiée notamment à partir d'une implantation en quinconce des implantations (pour les nouveaux projets d'aménagement).

Différence thermique entre le bois et la brique en fin de journée - rue de l'Asie à Lille - 24 août 2016



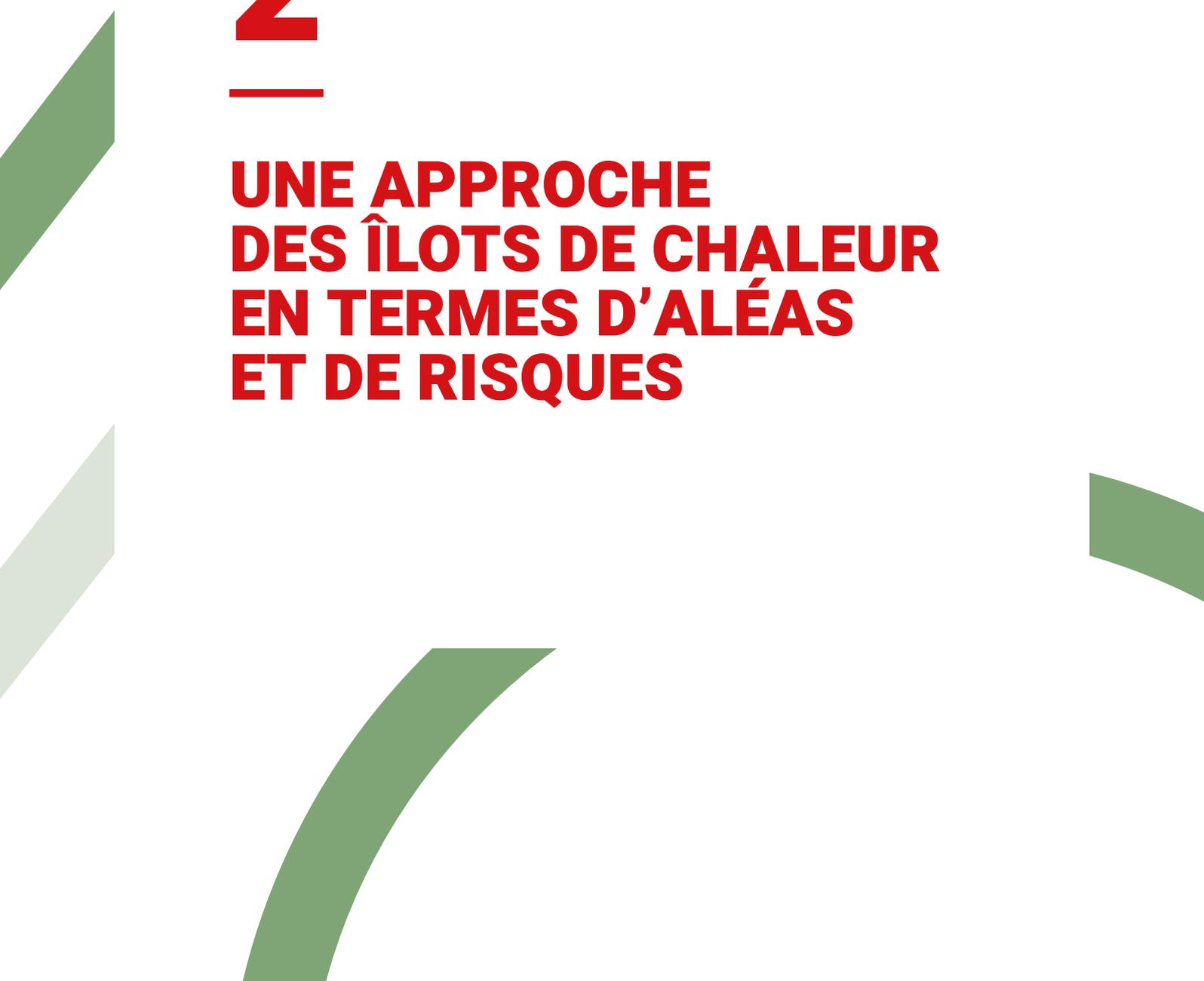
¹ Étude de l'écoulement de l'air.





2

UNE APPROCHE DES ÎLOTS DE CHALEUR EN TERMES D'ALÉAS ET DE RISQUES



1. LES NOTIONS DE RISQUES, ALÉAS ET ENJEUX

Selon l'UNDRR², on entend par aléa naturel tout « processus ou phénomène naturel qui peut causer des pertes de vies humaines, des blessures ou d'autres effets sur la santé, des dommages aux biens, la perte de moyens de subsistance et de services, des perturbations socio-économiques, ou des dommages à l'environnement ». Dans la mesure où les ICU sont un phénomène naturel accentué et intensifié par l'activité humaine (cf. partie 1), les ICU peuvent être qualifiés d'aléa « socio-naturel ».

L'aléa (ou événement) se définit par son intensité, une occurrence spatiale (où) et temporelle (quand). Rapportée aux îlots de chaleur (ICU), la notion d'aléa correspond aux événements de forte chaleur (canicule) ayant pour effet le réchauffement d'intensité variable de tissus urbains localisés. L'intensité de l'aléa sera mesurée à partir des photos aériennes thermographiques réalisées lors de la canicule d'août 2016 sur un échantillon de 80 km² de la métropole lilloise.

La notion de risque fait intervenir les enjeux (ou vulnérabilité) en lien avec la présence humaine de sorte que le risque se mesure à partir du croisement entre les aléas et les enjeux : **(Risque) = (aléa) x (enjeu)**.

Selon Santé Publique France (*Bulletin de santé publique canicule. Bilan été 2020*, octobre 2020), l'été 2020 a été marqué par 3 vagues de chaleur dont une particulièrement sévère dans le Nord de la France³. Ces 3 vagues sanitaires ont eu des impacts sanitaires notables sur l'ensemble de la population exposée (1 924 décès en excès (+18%) ont été observés

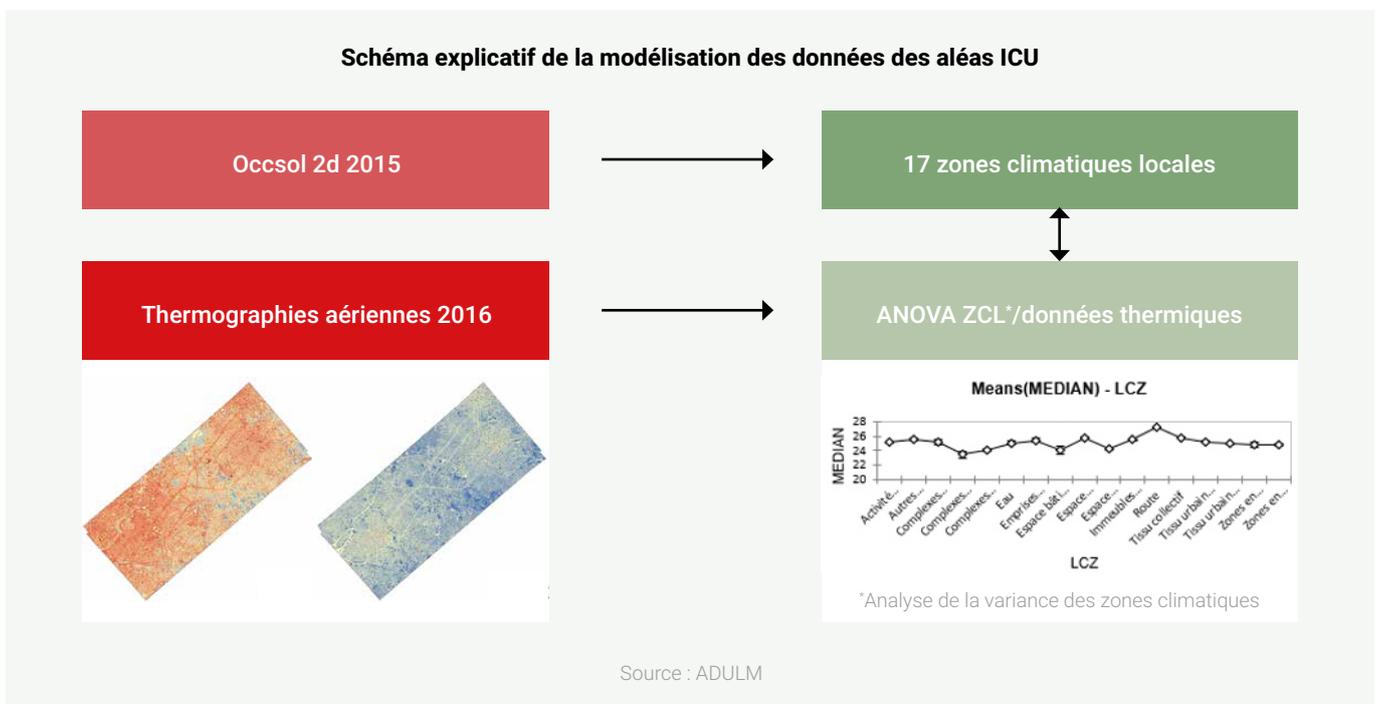
lors des périodes de dépassement des seuils d'alerte dans les départements concernés). Rapporté aux ICU, nous retenons donc comme enjeu, celui de l'enjeu sanitaire des populations exposées aux ICU.

Le risque étant la confrontation d'un aléa (phénomène naturel dangereux) et d'une zone géographique où existent des enjeux qui peuvent être humains, économiques ou environnementaux, nous retenons, pour les risques ICU, la confrontation de l'aléa ICU (tissus plus chauds en période caniculaire) et les populations exposées.

2. LES ALÉAS ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS DE LA MÉTROPOLE LILLOISE, PAR MODÉLISATION DES DONNÉES

Nous avons retenu comme définition de l'aléa ICU dans la métropole lilloise, les événements de forte chaleur (canicule) ayant pour effet le réchauffement d'intensité variable de tissus urbains localisés.

Pour mettre en évidence ce type d'aléas, nous avons procédé à un croisement des données issues d'une part des thermographies aériennes de la canicule d'août 2016 et de l'occupation du sol regroupée en zones climatiques locales d'autre part.



² United Nations Office for Disaster Risk Reduction / Bureau des Nations unies pour la réduction des risques de catastrophe.

³ Pour la deuxième année consécutive, les régions du Nord de la France ont été particulièrement touchées par la chaleur. La région Hauts-de-France est la plus affectée par la surmortalité pendant les vagues de chaleur, en contribuant pour plus d'un quart des décès en excès avec une surmortalité relative très importante (+46%). L'impact est particulièrement sévère dans le département du Nord avec une surmortalité de 353 décès et une surmortalité relative de +63%.



La notion de zone climatique locale (ZCL) est issue des travaux de Stewart et Oké⁴ suivant lesquels, il existe des « morceaux de territoire » homogènes tant dans leur morphologie et dans leur occupation du sol ainsi que dans leur réactivité climatique.

La construction des ZCL de la métropole lilloise s'est effectuée à partir du référentiel occsol 2d porté par le Conseil régional et la PPIGE (Plate-forme Publique de l'Information Géographique Nord - Pas de Calais) qui décrit l'occupation du sol selon deux dimensions : le couvert (ce qui recouvre le sol selon une vue physionomique du terrain) et l'usage (ou fonction que l'on attribue à un espace donné du point de vue anthropique). Plus précisément, à partir des 48 catégories d'espaces décrivant l'usage dans l'occsol 2d, nous avons abouti à la construction de 17 zones climatiques locales (voir en annexe 1 la correspondance entre les zones climatiques lilloises et les 48 catégories de l'occsol 2d).

La décomposition en 17 zones climatiques locales aboutit à un découpage du territoire en 116 000 entités (ou polygones) sur l'ensemble de la MEL. Rapporté à la zone d'observation des 80 km² recouverts par les photos aériennes, l'ensemble des traitements statistiques concerne 62 191 entités (ou polygones). La taille des polygones étant très variable ainsi que leur fréquence, il a été procédé à une pondération afin de mener une ANOVA (analyse de la variance - de l'anglais « analysis of variance »).

Une ANOVA est utilisée avec pour objectif d'identifier si le facteur quantitatif X (la « zone climatique locale ») influe sur une réponse Y quantitative (« la température »). Elle permet de mesurer les différences en moyenne entre les groupes (modalités) et de chercher si ces différences sont significatives.

Les températures de l'ensemble des polygones varient entre 9 et 26 degrés, la moyenne étant de 21,7 degrés. Le coefficient de détermination (le R²) indique le degré de confiance du modèle. Plus le coefficient est proche de 1, meilleur est le modèle. Dans notre cas, le R² de 32,5% signifie que les températures sont déterminées au tiers par les ZCL. Le reste de la variabilité est explicable par des effets qui ne sont ni recensés ni mesurés dans cette analyse (comme l'effet orientation ou l'activité anthropique décrites dans la première partie par exemple).

Le tableau d'analyse de la variance ci-dessous permet d'attester que les résultats économétriques de l'ANOVA sont significatifs.

Les coefficients d'ajustement de l'ANOVA appliquée aux zones climatiques locales

Summary statistics (Quantitative data)							
Variable	Observations	Obs. with missing data	Obs. without missing data	Minimum	Maximum	Mean	Std. deviation
MEDIAN	62 191	0	62 191	9,000	26,000	21,686	1,377

Source : ADULM

Le test de Fisher appliqué à l'analyse de la variance des zones climatiques locales

Analysis of variance (MEDIAN)					
Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	16	6 944,604	434,038	339,212	< 0,0001
Error	11 207,7808	14 340,889	1,280		
Corrected Total	11 223,7808	21 285,493			

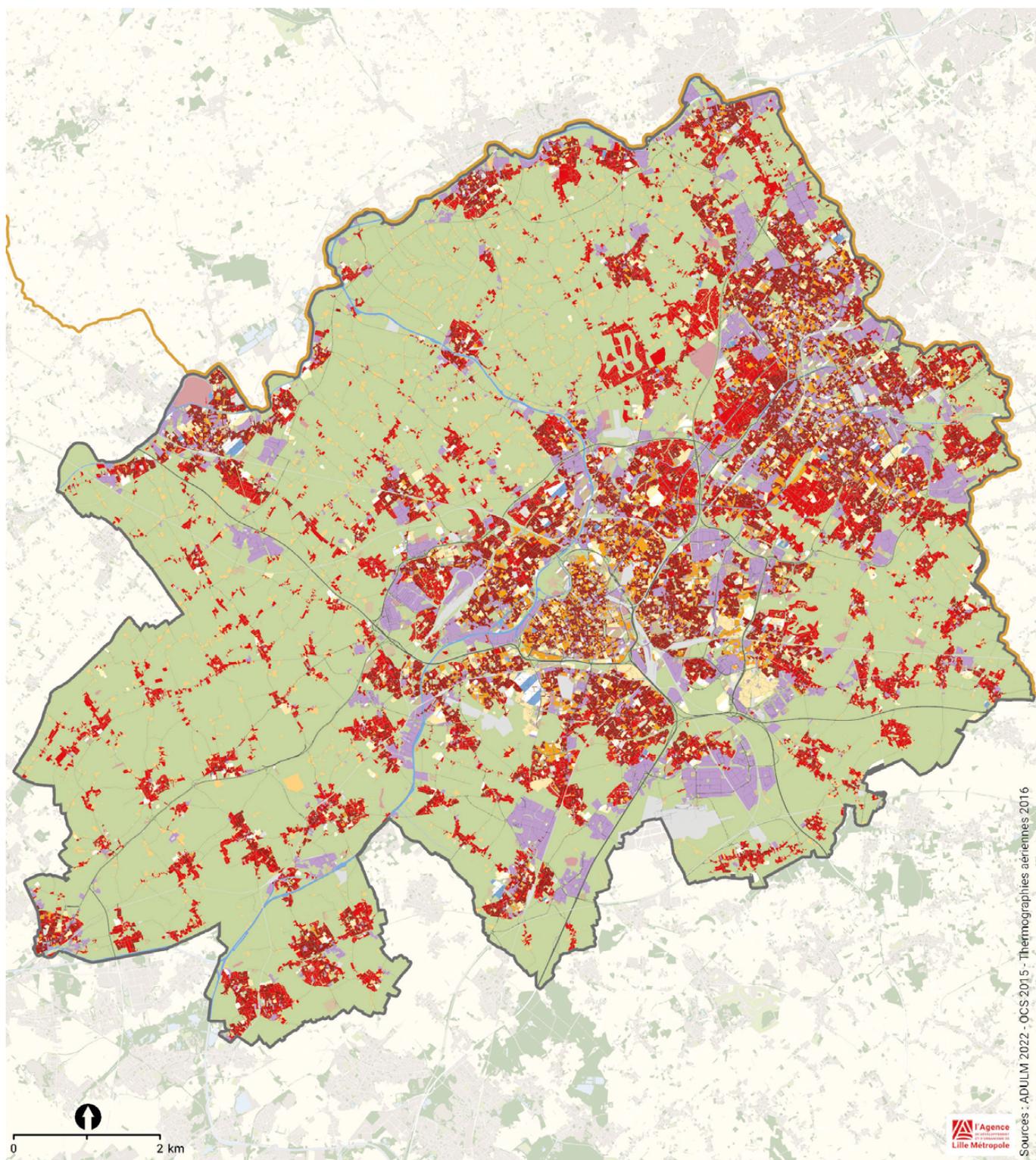
Computed against model Y = Mean (Y)

Source : ADULM

⁴ Local Climate Zones for Urban Temperatures Studies in Bulletin of the American Meteorological Society, décembre 2012.



LES 17 ZONES CLIMATIQUES LOCALES LILLOISES



Sources : ADULM 2022 - OCS 2015 - Thermographies aériennes 2016



Zone climatique locale (ZCL)

- | | | | | | |
|---|--------------------------------------|---|---|---|----------------------------|
|  | Tissu urbain dense |  | Autre emprise collective |  | Zone bâtie en mutation |
|  | Tissu urbain espacé |  | Complexe culturel et de loisir |  | Zone non bâtie en mutation |
|  | Tissu collectif |  | Complexe sportif et terrain de sport bâti |  | Espace ouvert minéral |
|  | Espace bâti isolé |  | Complexe sportif et terrain de sport non bâti |  | Route |
|  | Activité industrielle et commerciale |  | Immeuble espacé |  | Espace ouvert naturel |
|  | Emprise hospitalière |  | Immeuble espacé |  | Eau |
|  | Frontière |  | Limite MEL | | |



Le test du F de Fisher indique un résultat fort satisfaisant avec un risque de 0,01% en concluant que la variable explicative apporte une quantité d'information significative au modèle.

Au global, l'analyse statistique confirme les données empiriques de l'étude des ICU de 2017 : en journée, les espaces urbains denses et bâtis, ainsi que les infrastructures routières captent mieux la chaleur en raison de leur minéralité et ont tendance à mieux la conserver avec des températures de surface dépassant les 21°C au lever du soleil (pour une température ambiante de 18°C).

Grâce au traitement statistique, il a été permis de dresser la cartographie à l'échelle de la MEL des données des températures du matin et du soir sur la base des données observées à partir d'un échantillon de 80 km² du territoire.

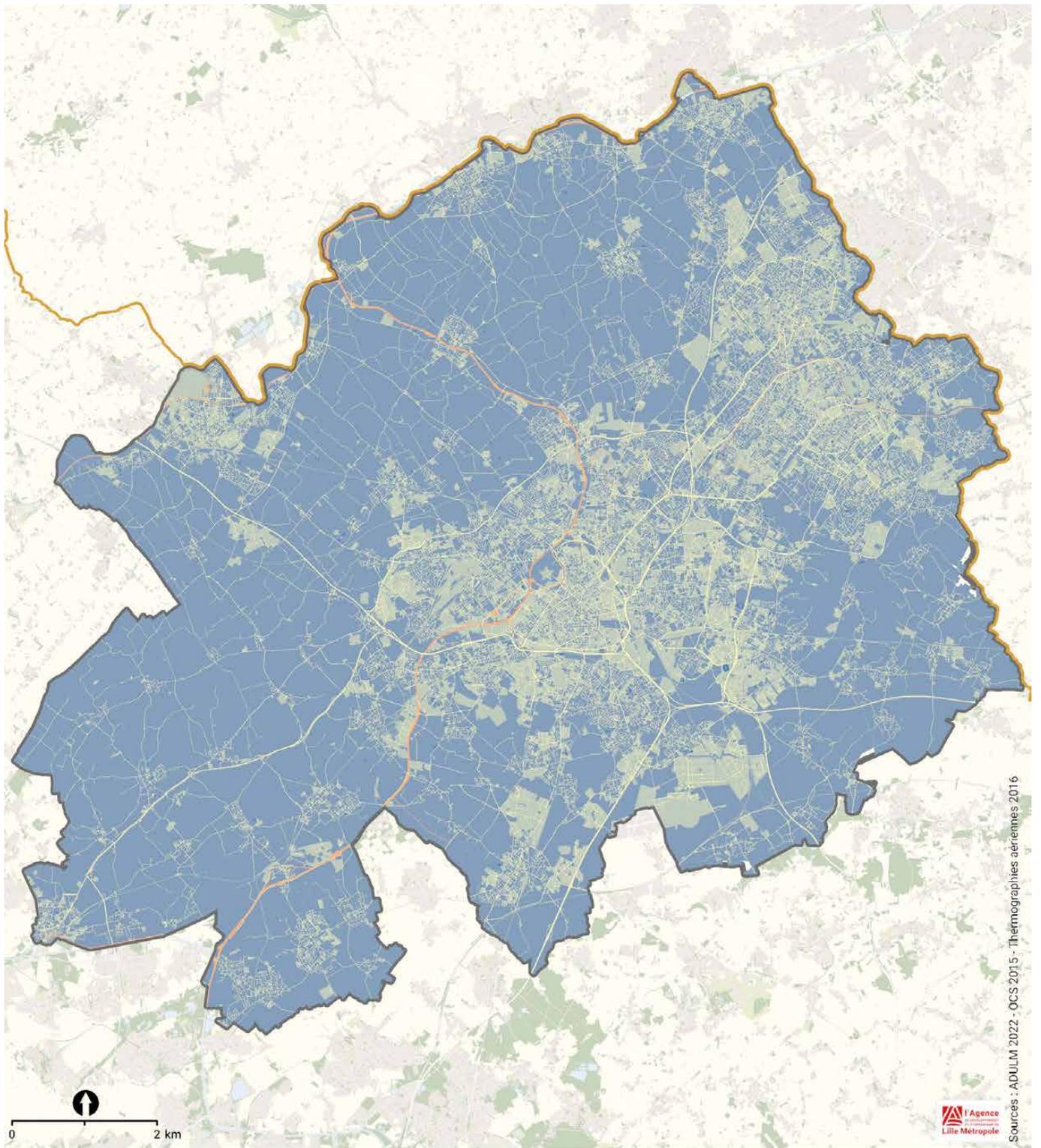
Tableau des températures (moyenne des médianes) de fin de journée et de fin de nuit des zones climatiques locales (sur la base des données issues des photos aériennes thermographiques) - 24 et 25 août 2016

Zone climatique locale	Nombre de polygones (unités d'observation)	Médiane (moyenne) des températures de fin de journée (1)	Médiane (moyenne) des températures de fin de nuit (2)	Écart de température (1) - (2)
Eau	87	25,066	23,549	1,517
Route	1 159	27,235	23,223	4,012
Tissu collectif	8 234	25,814	21,969	3,845
Espace ouvert minéral	1 398	25,952	21,800	4,152
Autres emprises collectives	1 844	25,624	21,786	3,838
Immeubles espacés	2 840	25,505	21,632	3,873
Emprises hospitalières	667	25,409	21,556	3,853
Tissu urbain dense	17 211	25,280	21,508	3,772
Complexes culturels et de loisirs	362	25,108	21,427	3,681
Zones en mutation non bâties	1 152	24,891	21,400	3,491
Activité industrielle et commerciale	6 591	25,120	21,357	3,763
Tissu urbain espacé	14 236	24,924	21,300	3,624
Zones en mutation bâties	328	24,800	20,986	3,814
Espace ouvert naturel	4 751	24,364	20,894	3,47
Complexes sportifs et terrains de sports non bâtis	775	24,041	20,721	3,32
Espace bâti isolé	232	24,085	20,683	3,402
Complexes sportifs et terrains de sports bâtis	324	23,493	19,732	3,761

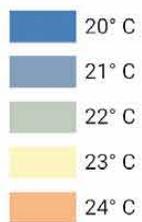
Source : ADULM



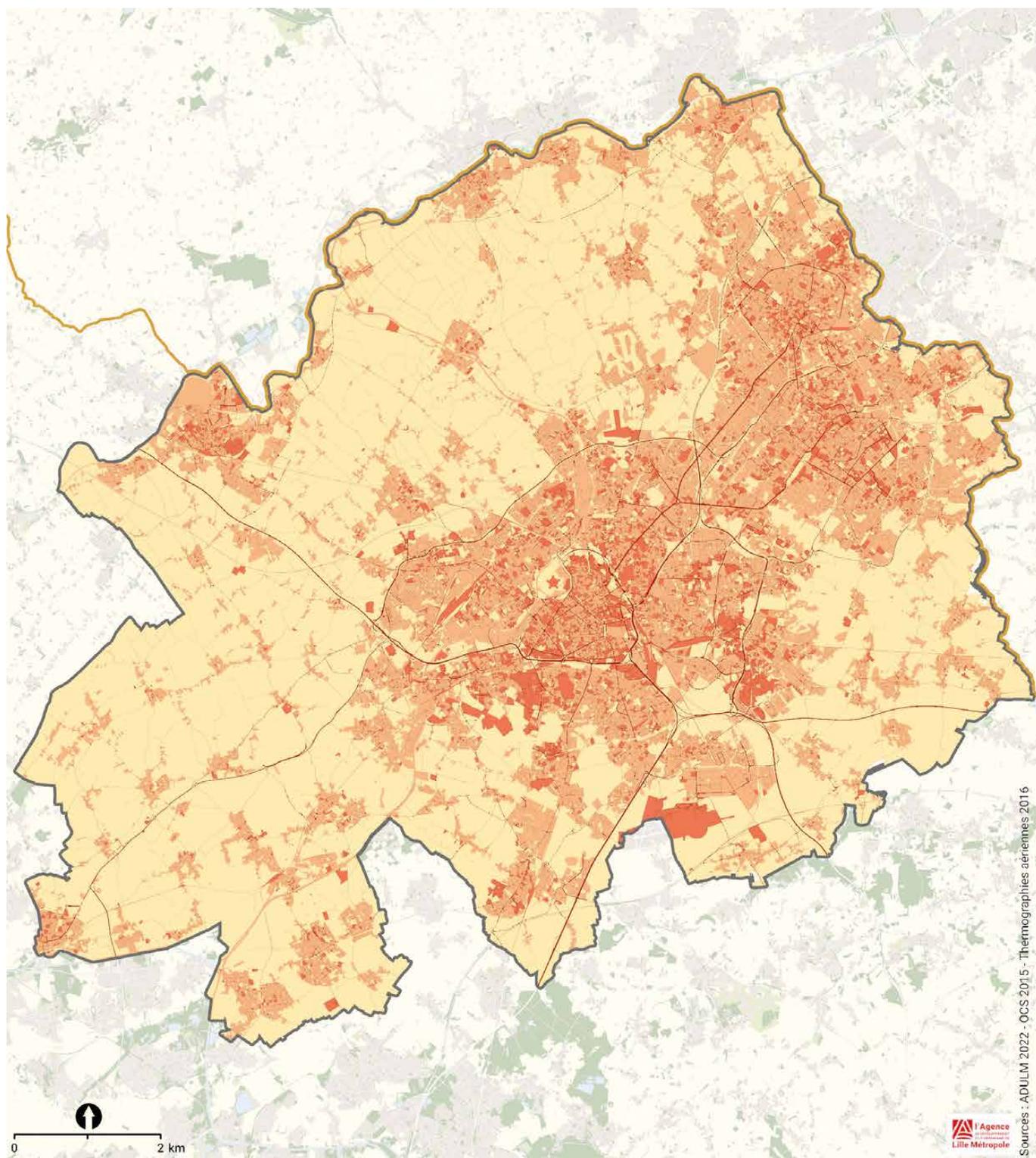
TEMPÉRATURES EN FIN DE NUIT (MODÉLISATION DES DONNÉES AÉRIENNES THERMOGRAPHIQUES - 25 AOÛT 2016)



Température de matin



TEMPÉRATURES EN FIN DE JOURNÉE (MODÉLISATION DES DONNÉES AÉRIENNES THERMOGRAPHIQUES - 24 AOÛT 2016)



Température de soir



À partir de l'analyse des moindres carrés et du test de Tuckey-HSD (cf. annexe 2), il a été procédé à une classification des 17 zones climatiques discriminées à partir de leurs températures du matin et de leurs caractéristiques d'échauffement en journée, aboutissant à trois catégories d'aléas :

- aléa très élevé ;
- aléa élevé ;
- aléa faible.

Cette classification par traitement statistique recoupe trois types de tissus distincts en fonction de leur sensibilité au climat en période de chaleur intense :

- route et tissus collectifs ;
- tissus urbains bâtis et denses ;
- tissus bâtis isolés, espaces ouverts ou naturels.

Les tissus urbains bâtis et denses sont classés parmi les aléas élevés voire très élevés comme c'est le cas pour le tissu collectif, fortement caractérisé comme un ensemble de construction en béton et entouré de surfaces bitumées (parkings et routes). Ces tissus demeurent particulièrement chauds, à l'origine d'un effet ICU, en raison de leur forte imperméabilisation et la quasi absence de points d'eau et de végétation.

A contrario, les tissus bâtis isolés, les espaces ouverts ou naturels sont classés parmi les aléas faibles puisque leur capacité thermique diurne reste modérée en raison d'une moindre minéralité de leurs sols, un taux de perméabilité plus important et une présence végétale plus importante.

Le résultat cartographique des aléas ICU met en évidence les tissus urbains les plus chauds de la MEL à partir des deux types d'aléas « très élevé » et « élevé ».

Cette carte (page 22), disponible à l'échelle de la commune, est un indicateur nous renseignant sur les enjeux de l'adaptation au changement climatique des aires urbaines compte tenu de l'effet ICU.

En collaboration avec le service planification de la MEL, ces cartes figureront dans le PLUi et seront mises à la disposition des communes afin de les renseigner sur leur exposition aux aléas ICU et de les inciter à développer des aménagements plus résilients face au changement climatique notamment les solutions d'adaptation fondées sur la nature⁵.

Tableau des zones climatiques locales réparties en trois classes d'aléas

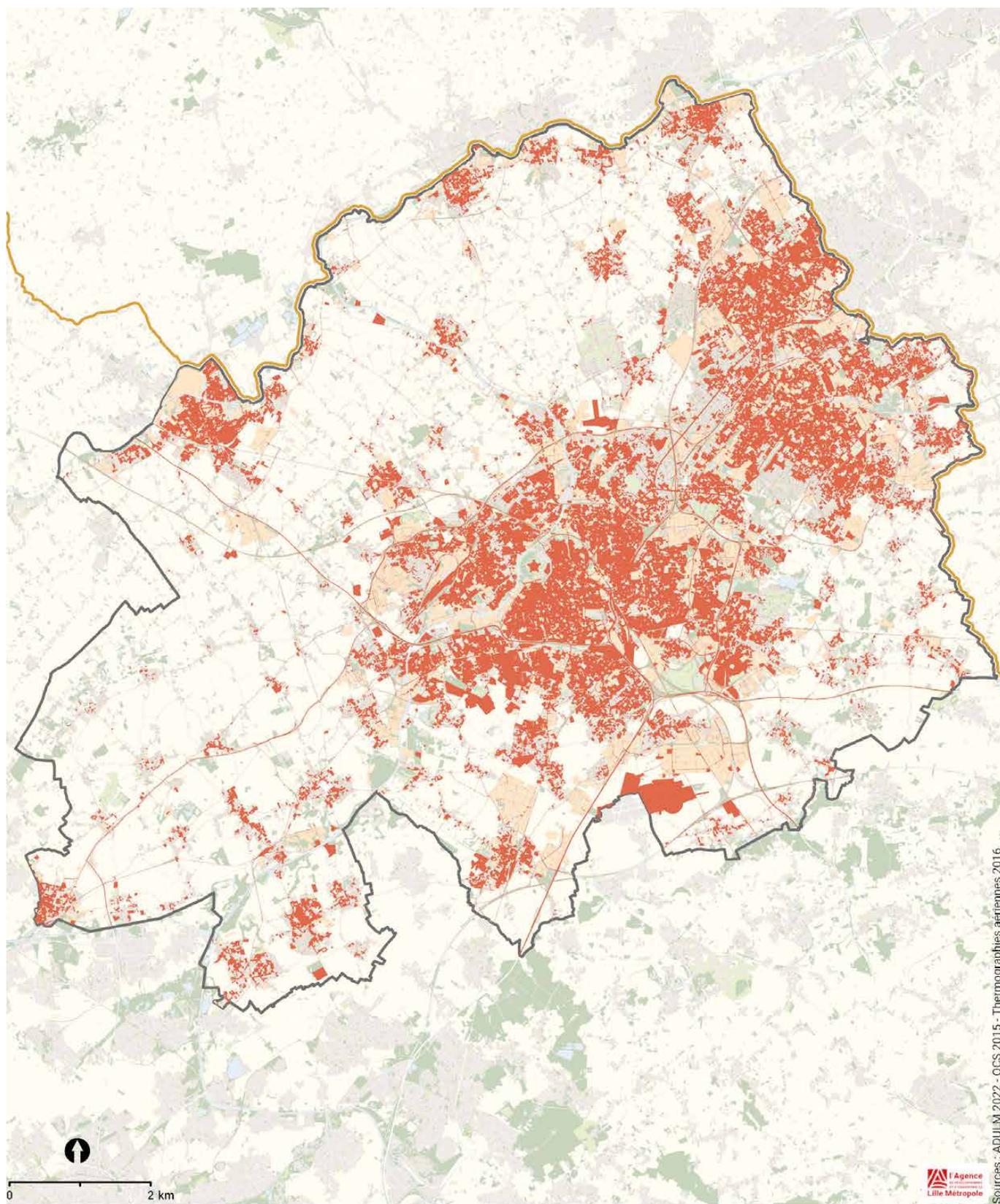
Zone climatique locale	Médiane des températures de fin de journée (1)	Médiane des températures de fin de nuit (2)	Type d'aléa
Eau	25,066	23,549	
Route	27,235	23,223	Très élevé
Tissu collectif	25,814	21,969	
Espace ouvert minéral	25,952	21,800	Élevé
Autres emprises collectives	25,624	21,786	
Immeubles espacés	25,505	21,632	
Emprises hospitalières	25,409	21,556	
Tissu urbain dense	25,280	21,508	
Complexes culturels et de loisirs	25,108	21,427	
Zones en mutation non bâties	24,891	21,400	
Activité industrielle et commerciale	25,120	21,357	
Tissu urbain espacé	24,924	21,300	Faible
Zones en mutation bâties	24,800	20,986	
Espace ouvert naturel	24,364	20,894	
Complexes sportifs et terrains de sports non bâtis	24,041	20,721	
Espace bâti isolé	24,085	20,683	
Complexes sportifs et terrains de sports bâtis	23,493	19,732	

Source : ADULM

⁵ Les Solutions d'Adaptation Fondées sur la Nature (SAFN) sont définies par l'UICN France comme « des actions visant à protéger, gérer de manière durable et restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés pour relever directement les défis de société de manière efficace et adaptative, tout en assurant le bien-être humain et en produisant des bénéfices pour la biodiversité ».



ALÉAS ICU DE LA MEL
(PAR MODÉLISATION DES DONNÉES À PARTIR DES PHOTOS AÉRIENNES THERMOGRAPHIQUES - 24 ET 25 AOÛT 2016)



Niveau d'aléa

- Aléa très élevé
- Aléa élevé

- Frontière
- Limite MEL



3. LES RISQUES ICU DE LA MÉTROPOLE LILLOISE, PAR MODÉLISATION DES DONNÉES

À partir du traitement statistique des données issues des photos aériennes thermographiques, nous avons pu mettre en évidence les catégories de tissus urbains les plus concernés par les événements de forte chaleur.

Grâce aux différents scénarios du GIEC, nous savons que les canicules du futur seront à la fois plus intenses en chaleur et en durée (avec une possibilité pour les villes méditerranéennes de connaître des canicules de plusieurs semaines), de sorte que la canicule de 2003 sera considérée comme une canicule « moyenne » similaire à une « normale saisonnière ».

Les enjeux sanitaires en période caniculaire sont identifiés à travers les populations exposées car chaque épisode caniculaire se traduit par une surmortalité de la population, et tout particulièrement, la population des Hauts-de-France, « moins préparée » et « moins aguerrie » à la chaleur, avec la caractéristique cruciale d'une ville plus minérale que le reste de la France.

Pour développer une approche par les risques **((Risque) = (aléa) x (enjeu))**, nous avons défini comme enjeu celui de la population résidentielle exposée aux ICU.

Notre estimation de la densité de la population résidentielle repose sur les données carroyées de maille 200 mètres de l'Insee (cf. annexe 3).

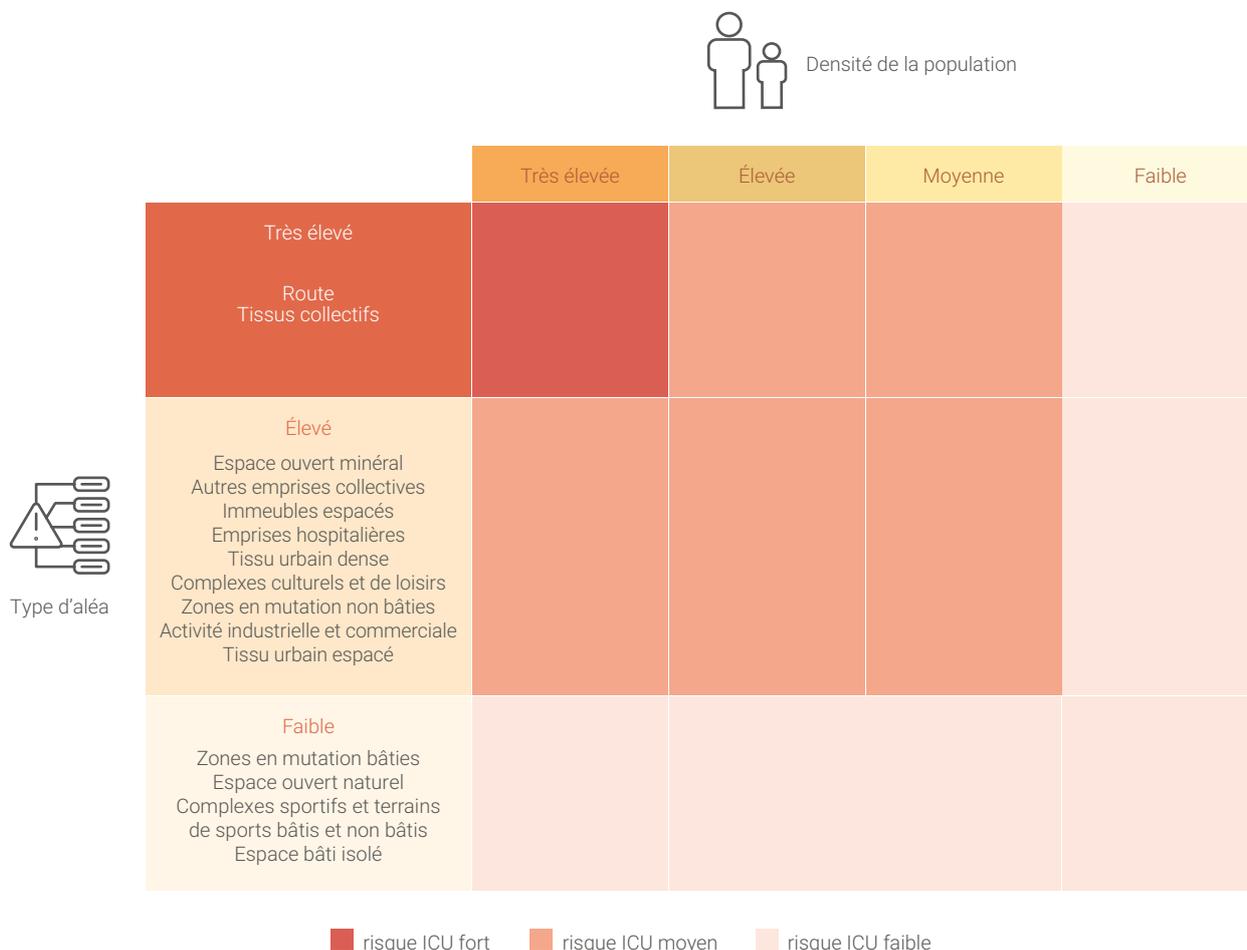
À l'instar des aléas classés en trois types de catégories (« très élevé », « élevé » et « faible »), nous avons opéré par classification concernant les données résidentielles, distinguant les zones à densité de population « très élevée » (zones supérieures à 80 habitants), « élevée » (zones de plus de 40 habitants), « moyenne » (zones de plus de 10 habitants) et « faible » (zone inférieure à 10 habitants).

Le croisement des aléas ICU avec la densité de la population permet de distinguer trois niveaux de risque aux ICU :

- un risque ICU fort, résultant du croisement des aléas très élevés et une population très élevée ;
- un risque ICU moyen, résultant du croisement des aléas très élevés et une population élevée à moyenne, et le croisement des aléas élevés et une population de très élevée à moyenne ;
- un risque ICU faible, résultant du croisement des aléas faibles et l'ensemble des catégories de population, et le croisement des aléas élevés et très élevés et une population faible.

Au total, nous avons discriminé 12 situations de risques réparties en 3 catégories (fort, moyen et faible), synthétisées sous forme de représentation graphique ci-dessous.

Catégorisation des risques ICU à partir de l'analyse croisée des aléas et des enjeux (densité de la population)



4. CARTOGRAPHIE DES ICU À LA COMMUNE : ALÉAS ET RISQUES

La carte des risques ICU de la MEL obtenue par la modélisation des données met en évidence les zones à enjeux sanitaires élevés et au premier chef les tissus collectifs à forte densité de population, soit près de 23% de la population résidentielle concernée par un risque ICU fort et près de 46% par un risque moyen (voir tableau ci-dessous).

À l'inverse, les zones fortement minérales mais non résidentielles (comme les routes, les espaces ouverts minéraux ou les complexes sportifs et culturels bâtis) ne figurent pas dans la carte des risques ICU.

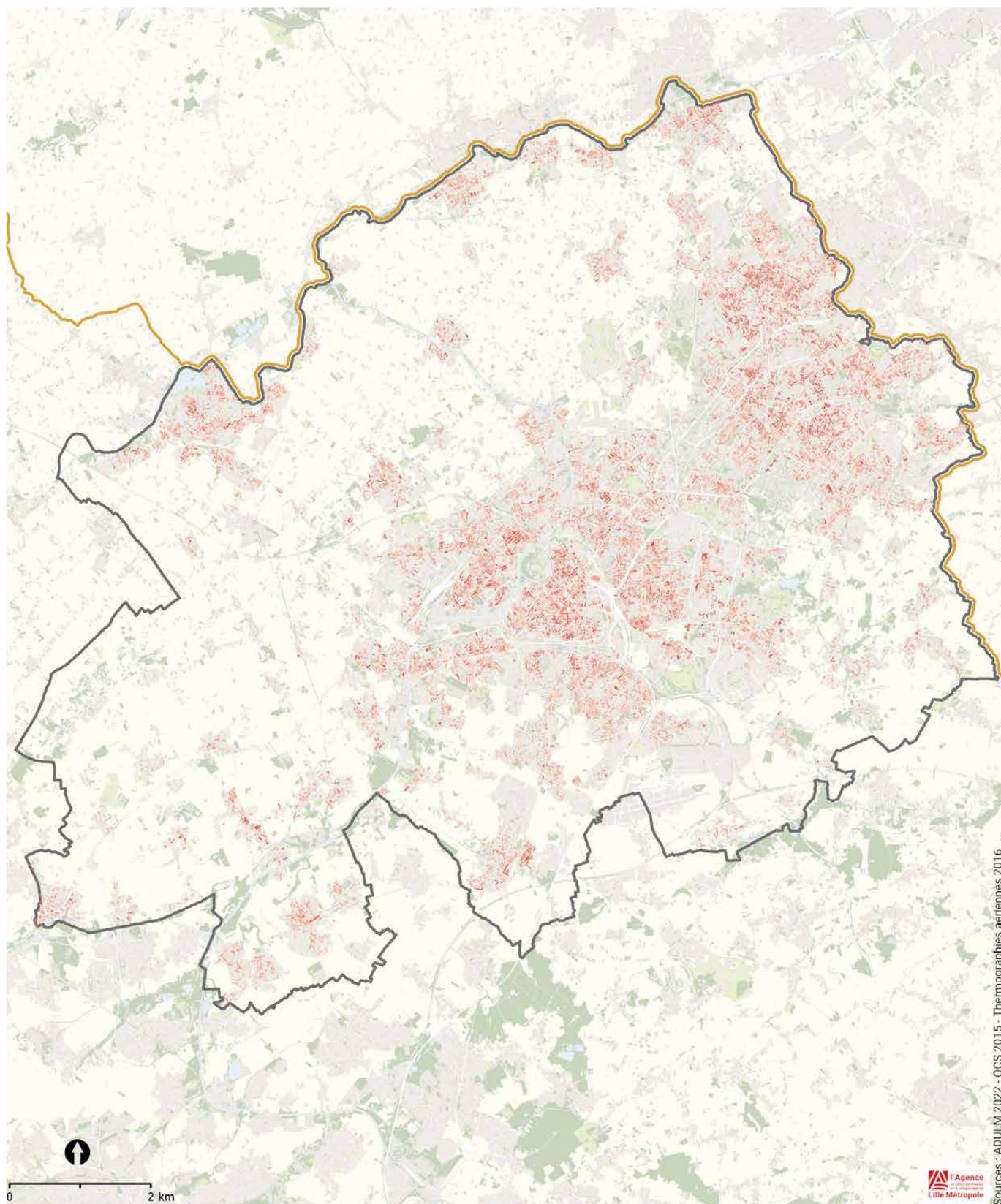
Cette carte (page 25), disponible à l'échelle de la commune, est un indicateur nous renseignant sur les enjeux sanitaires en situation de forte chaleur et permet de renseigner les communes sur les zones de « vigilance renforcée » dans leur plan canicule.

Population résidentielle MEL exposée aux risques ICU

Risque faible		Risque moyen		Risque fort	
Population	%	Population	%	Population	%
371 849	32	534 646	46	264 135	23

Source : ADULM

RISQUES ICU DE LA MEL
(PAR MODÉLISATION DES DONNÉES À PARTIR DES PHOTOS AÉRIENNES THERMOGRAPHIQUES - 24 ET 25 AOÛT 2016)



Sources : ADU LIL M 2022 - OCS 2015 - Thermographies aériennes 2016

Niveau de risques

- Risque fort
- Risque moyen

- Frontière
- Limite MEL



The page features several decorative green geometric shapes. At the top, there are two parallel diagonal bars, one in a darker shade of green and one in a lighter shade. On the left side, there are two trapezoidal shapes, one dark and one light green, pointing towards the center. At the bottom, there are two curved shapes, one dark and one light green, also pointing towards the center. The word "ANNEXES" is centered in a bold, red, sans-serif font.

ANNEXES

ANNEXE 1

Correspondance entre les zones climatiques lilloises et les fonctions usages de l'occsol 2d

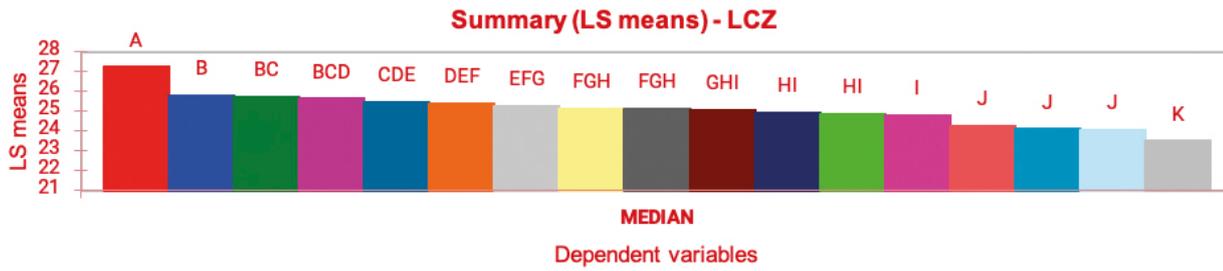
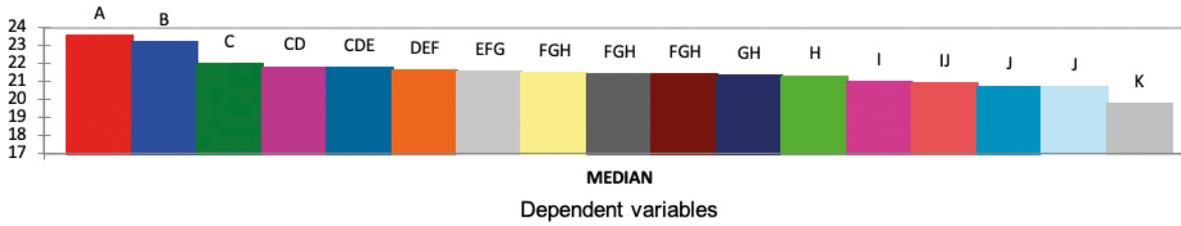
ZCL	OCS libelle	Polygone*
Activité industrielle et commerciale	Zones commerciales	5 384
	Zones de stockage gaz et hydrocarbures	11
	Zones industrielles et d'activités économiques	15 230
Total Activité industrielle et commerciale		20 625
Autre emprise collective	Autres emprises collectives	4 467
Total Autre emprise collective		4 467
Complexe culturel et de loisir	Complexes culturels et de loisirs	1 165
Total Complexe culturel et de loisir		1 165
Complexe sportif et terrain de sport bâti	Complexes sportifs et terrains de sports	1 054
Total Complexe sportif et terrain de sport bâti		1 054
Complexe sportif et terrain de sport non bâti	Complexes sportifs et terrains de sports	2 257
Total Complexe sportif et terrain de sport non bâti		2 257
Eau	Fluvial et maritime	200
Total Eau		200
Emprise hospitalière	Emprises hospitalières	2 152
Total Emprise hospitalière		2 152
Espace bâti isolé	Habitat isolé	3 965
	Infrastructures agricoles	5 895
Total Espace bâti isolé		9 860
Espace ouvert minéral	Aérien	131
	Carrières, mines	194
	Cimetières et lieux de culte	1 373
	Déchetteries et décharges publiques	69
	Ferré principal	837
	Ferré secondaire	2
	Parkings et places	1 327
Total Espace ouvert minéral		3 933
Espace ouvert naturel	À vocation sylvicole ou usage indéterminé	1 097
	Autoconsommation	478
	Bandes enherbées	705
	Campings	55
	Cultures annuelles	3 495
	Cultures permanentes	25
	Délaissés urbains	1 777
	Espaces agricoles non exploités	99
	Espaces associés aux réseaux de transport	5 633
	Golfs	322
	Horticulture	663
	Parcs et Espaces verts paysagers	2 397
	Peupleraies	311
	Plantations récentes	59
	Prairies	3 554
Usages indéterminés	5 022	
Zones de coupes	140	
Total Espace ouvert naturel		25 832
Immeuble espacé	Emprises scolaires / universitaires	6 321
Total Immeuble espacé		6 321
Route	Routier principal	301
	Routier secondaire	3 375
Total Route		3 676
Tissu collectif	Collectifs	7 373
	Grands ensembles collectifs	5 990
Total Tissu collectif		13 363
Tissu urbain dense	Habitat continu faiblement compact	7 999
	Habitat continu fortement compact	3 798
	Habitat continu moyennement compact	33 770
Total Tissu urbain dense		45 567
Tissu urbain espacé	Habitat discontinu faiblement compact	38 744
	Habitat discontinu fortement compact	160
	Habitat discontinu moyennement compact	36 438
Total Tissu urbain espacé		75 342
Zone bâtie en mutation	Zones en mutation	902
Total Zone bâtie en mutation		902
Zone non bâtie en mutation	Zones en mutation	2 393
Total Zone non bâtie en mutation		2 393
Total général		219 109

* Un polygone est issu de la conception d'une occupation du sol : le photo-interprète détoure les différents types d'occupation du sol. Cela donne une cartographie de type vectoriel constituée de « polygones ».



ANNEXE 2

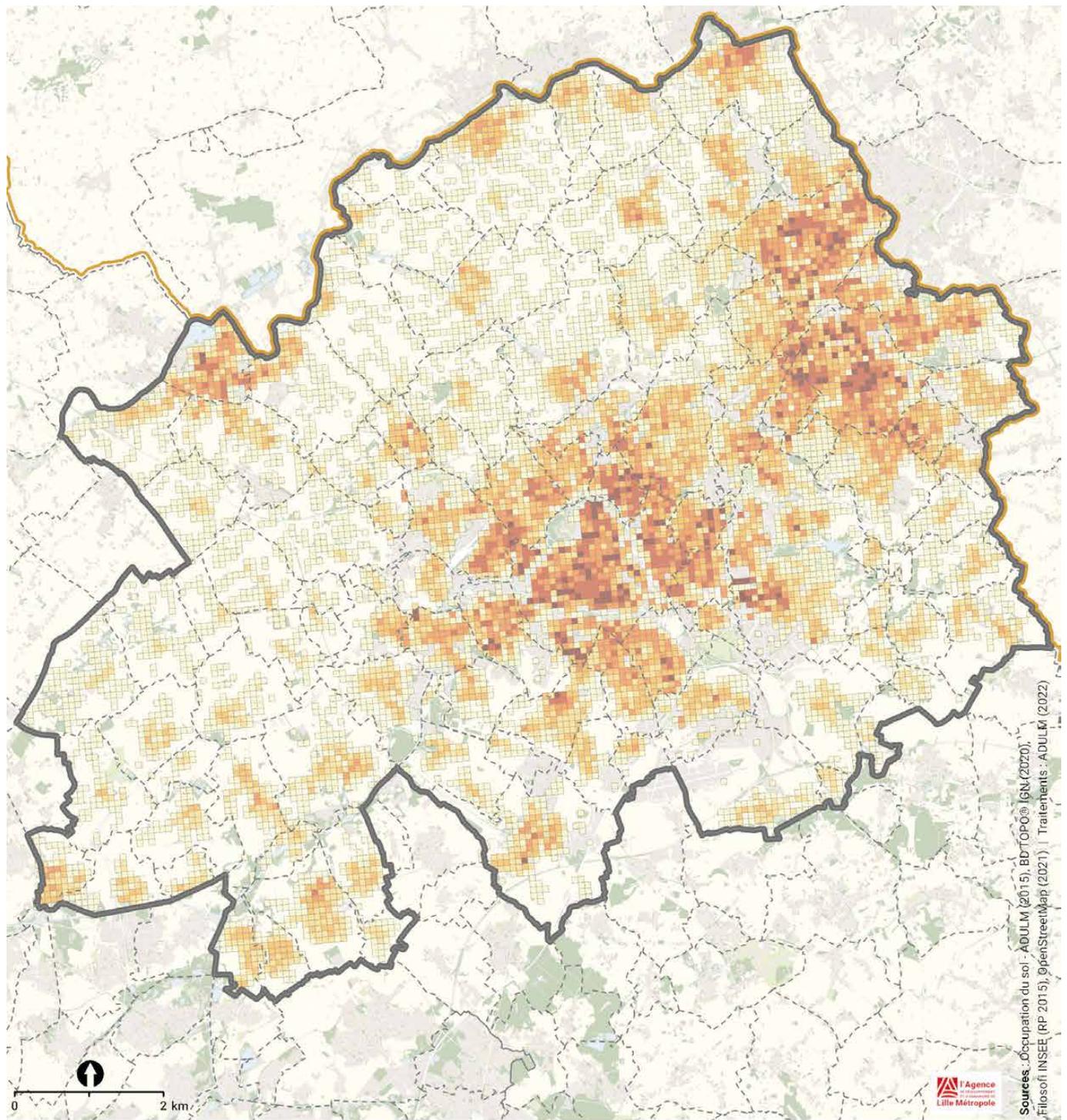
Méthode des moindres carrés et test de Tuckey HSD appliquée aux zones climatiques locales (données du matin en haut et données du soir en bas)



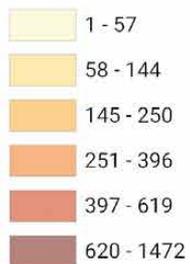
- | | |
|--|---|
| ■ Eau | ■ Route |
| ■ Tissu collectif | ■ Espace ouvert minéral |
| ■ Autres emprises collectives | ■ Immeubles espacés |
| ■ Emprises hospitalières | ■ Tissu urbain dense |
| ■ Complexes culturels et de loisirs | ■ Zones en mutation non bâties |
| ■ Activité industrielle et commerciale | ■ Tissu urbain espacé |
| ■ Zones en mutation bâties | ■ Espace ouvert naturel |
| ■ Complexes sportifs et terrains de sports non bâtis | ■ Espace bâti isolé |
| ■ Complexes sportifs et terrains de sports non bâtis | |

ANNEXE 3

CARROYAGES INSEE DES DENSITÉS DE POPULATION DE LA MEL



Résidents au carreau (200 * 200 m) en 2015



Limites administratives





L'Agence de développement et d'urbanisme de Lille Métropole

+33 (0)3 20 63 33 50 / agence@adu-lille-metropole.org
Centre Europe Azur / 323 Avenue du Président Hoover / 59000 Lille

  [adulm59](#)  [adulm](#)
adu-lille-metropole.org