



HAL
open science

Mesure et spatialisation de l'îlot de chaleur urbain dans l'aire urbaine de Metz Métropole : premiers résultats de la campagne de mesure 2019

Nassima Hassani, Gilles Drogue

► To cite this version:

Nassima Hassani, Gilles Drogue. Mesure et spatialisation de l'îlot de chaleur urbain dans l'aire urbaine de Metz Métropole : premiers résultats de la campagne de mesure 2019. *Climatologie*, A paraître. hal-02547065v1

HAL Id: hal-02547065

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-02547065v1>

Submitted on 5 Nov 2020 (v1), last revised 7 Nov 2020 (v2)

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MESURE ET SPATIALISATION DE L'ILOT DE CHALEUR URBAIN DANS L'AIRE URBAINE DE METZ METROPOLE : PREMIERS RESULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURE 2019

Hassani N.1, Drogue G.1

(1) Université de Lorraine, LOTERR, F-57000 Metz, France.

Résumé

Cet article s'intéresse à la mesure et à la cartographie de l'îlot de chaleur urbain (ICU) dans la couche de canopée urbaine au sein de l'aire urbaine de Metz Métropole entre juin et septembre 2019. L'ICU a été suivi à partir d'un réseau de 23 stations météorologiques fixes permettant d'observer en continu la température de l'air à 3 m du sol. Les sites d'observation ont été soigneusement sélectionnés de façon à être représentatifs de différents types d'environnement (urbain, suburbain et périurbain) et typologies de revêtement (surfaces imperméables bitumées, surfaces végétalisées, étendues d'eau, etc.). L'objectif est d'évaluer les propriétés spatiales et temporelles de l'ICU au cours de cette période remarquablement chaude, et de déterminer son intensité à partir des données relevées en continu par le réseau de mesure.

La période d'observation est particulièrement intéressante dans la mesure où elle se caractérise par la survenue des deux séquences caniculaires (25-30 juin et 21-26 juillet), offrant la possibilité de mieux comprendre le comportement thermique du tissu urbain et la dynamique de l'ICU local lors d'extrêmes chauds. Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence un ICU de l'ordre de 3°C en moyenne au sein des zones densément urbanisées, pouvant atteindre 7,1°C en situation caniculaire ce qui est conforme au modèle prédictif de Oke (1973) fondé sur la relation population-ICU en Europe. Une importante présence de végétation est toutefois susceptible de réduire son intensité et ses effets contrairement aux étendues d'eau qui, la nuit, ne semblent pas jouer le rôle de puits de fraîcheur.

Mots-clés : ICU d'été, température de l'air, canicule, végétation, Metz Métropole.

Abstract

This paper focuses on the measurement and mapping of the urban heat island (UHI) in the urban canopy layer within the Metz Metropole urban area between June and September 2019. The UHI was monitored using a network of 23 weather stations allowing continuous observation of the air temperature at 3 m above ground level. These observation sites were carefully selected so as to be representative of different types of environment (urban, suburban and periurban) and pavement typologies (asphalt impermeable surfaces, vegetated surfaces, bodies of water, etc.). The purpose is to evaluate the spatial and temporal properties of the summer UHI during this remarkably hot period, and to determine its intensity from the data continuously collected by the measurement network.

The observation period is of particular interest as it is characterized by the occurrence of the two heat wave sequences (June 25th-30th and July 21st-26th), offering the opportunity to better understand the thermal behavior of the urban fabric and the dynamics of the local UHI during hot extremes. The results obtained revealed an UHI of around 3°C on average in densely urbanized areas, reaching 7,1°C in a heat wave situation, which is in line with the predictive model of Oke (1973) based on the population-UHI relationship in Europe. However, a high presence of vegetation is likely to reduce its intensity and effects, unlike bodies of water, which do not seem to act as a cool sink at night.

Keywords : summer UHI, air temperature, heatwave, vegetation, Metz Métropole.

Introduction

L'urbanisation intense et rapide des territoires a pour effet général de modifier le climat local en créant un milieu bâti, rugueux, dense, carencé en eau et en végétation, où des rejets chauds et des polluants sont dégagés par les activités anthropiques. En outre, l'artificialisation des sols qui en résulte ralentit les processus essentiels d'évaporation et d'évapotranspiration qui jouent le rôle de climatiseurs passifs. Ces spécificités du milieu urbanisé entraînent la formation d'un « îlot de chaleur urbain » (ICU). L'ICU est un phénomène climatique observé en toute saison en milieu tempéré, mais il est surtout intense l'hiver et l'été (Cantat, 2004). Au cours de l'été, il se manifeste la nuit par temps calme et ciel clair après une journée chaude et ensoleillée. Un dôme d'air plus chaud couvrant la ville induit alors un gradient de température nocturne négatif opposant les centres-villes et le milieu rural environnant (Oke, 1987). Par temps très chaud, l'anomalie thermique peut atteindre plusieurs degrés Celsius en fin de nuit sous l'effet d'un refroidissement plus lent entre le centre et la périphérie de la ville. L'intensité et l'extension spatiale de ce phénomène dépendent du site de la ville, de son relief, de sa morphologie (forme et densité urbaine, nature et couleur des matériaux et revêtements), des activités humaines, et des types de temps (Oke, 1987 ; Cantat, 2004 ; Lee & Baik, 2010).

L'ICU d'été est un enjeu socio-environnemental de premier plan : il a des conséquences sur la santé humaine, puisqu'il contribue en période de vague de chaleur, à créer un inconfort thermique surtout ressenti la nuit par les populations sensibles à la chaleur (personnes atteintes de maladies chroniques, jeunes enfants, femmes enceintes et personnes âgées). Il peut entraîner une surmortalité urbaine qui est d'ailleurs liée à l'effet synergique entre l'ICU et les polluants de l'air (Besancenot, 2002). Pour s'en prémunir, les populations ont le plus souvent recours à la climatisation, mais celle-ci peut alors générer des rejets chauds dans l'air extérieur. L'ICU, qui se prépare en journée, contribue également à une surconsommation en eau du fait du recours à l'eau potable pour se rafraîchir en ville (arrosage des chaussées, miroirs d'eau, etc.) et pour hydrater les aménagements végétalisés.

La plupart des métropoles françaises telles que Dijon, Lille, Lyon, Marseille, Nancy, Nice, Paris, Rennes, Strasbourg, ou encore Toulouse ont fait l'objet de mesures de température de l'air pour poser un diagnostic de l'ICU (Foissard, 2015 ; Leconte, 2014 ; Renard & Alonso, 2019 ; Richard *et al.*, 2018). Leur gouvernance s'interroge aujourd'hui, dans le cadre de leur politique publique d'adaptation au changement climatique, sur les stratégies de développement local à adopter en vue de compenser les effets de la surchauffe urbaine, qu'ils soient de nature sanitaire, ou qu'ils concernent la consommation de ressources énergétique et hydrique (voir par exemple Hidalgo & Bretagne, 2016). C'est le cas également de Metz Métropole qui a souhaité participer techniquement et être pleinement intégrée aux activités de recherche présentées dans la suite de cet article. En effet, l'expertise apportée par ces activités porte sur des champs d'application multiples en matière de développement local et contribue à de nombreuses politiques publiques de la collectivité comme la végétalisation, l'aménagement des espaces publics, la biodiversité, etc.

Dans ce contexte, notre article vise à présenter les premiers résultats issus de l'observation de l'ICU dans la couche de canopée urbaine sur le territoire de Metz Métropole. Les données exploitées ont été collectées par un réseau de stations météorologiques nouvellement implantées sur ce territoire au début de l'été 2019, qui fut historiquement chaud en Europe de l'Ouest. L'objectif est d'évaluer la variabilité intra-saisonnière de l'ICU au cours de l'été météorologique, de mettre en relation ICU et tissus urbains et enfin d'analyser la relation entre ICU et canicule.

1. Zone d'étude

La métropole de Metz est située en région Grand Est, dans le quart nord-est de la France (figure 1). Elle compte environ 220 000 habitants répartis dans 44 communes (Insee, 2016), et s'étend sur 306 km². Elle est traversée par deux cours d'eau : la Moselle et la Seille. Selon la classification de Köppen-Geiger, l'aire urbaine de Metz connaît un climat tempéré chaud de type *Cfb/Csb*, avec des hivers relativement froids et des étés relativement chauds. Sur la normale 1981-2010, les précipitations annuelles sont de l'ordre de 758 mm et la température moyenne annuelle s'élève à 10.7°C. Le mois de juillet est le plus chaud de l'année avec une moyenne de 19.6°C et un record sous abri de 39.7°C enregistré le 25 juillet 2019 (voir <http://www.meteofrance.com/climat/france/metz/57039001/normales>).

2. Réseau d'observation de l'ICU

Depuis le 15 juin 2019, la métropole de Metz est maillée par un réseau de mesure géré par le LOTERR comportant 21 stations météorologiques connectées (soit une densité spatiale de 1 station pour 15 km²). Celles-ci sont implantées sur cinq communes de l'agglomération (figure 1), dont la commune de Metz équipée de 14 stations. L'ensemble des stations forment le Réseau de Mesures Thermo-Hygrométrique de l'agglomération de Metz (*REMTHAM*). Chaque station météorologique est constituée d'une sonde thermo-hygrométrique de marque HOBO U23 placée dans un abri anti-radiation normalisé de marque Davis. Celui-ci est fixé sur un candélabre ou un poteau électrique à 3 m du sol (pour limiter le vandalisme et le risque de vol) et orienté au sud (figure 2a). La température de l'air et l'humidité relative sont mesurées par intervalle de 30 minutes.

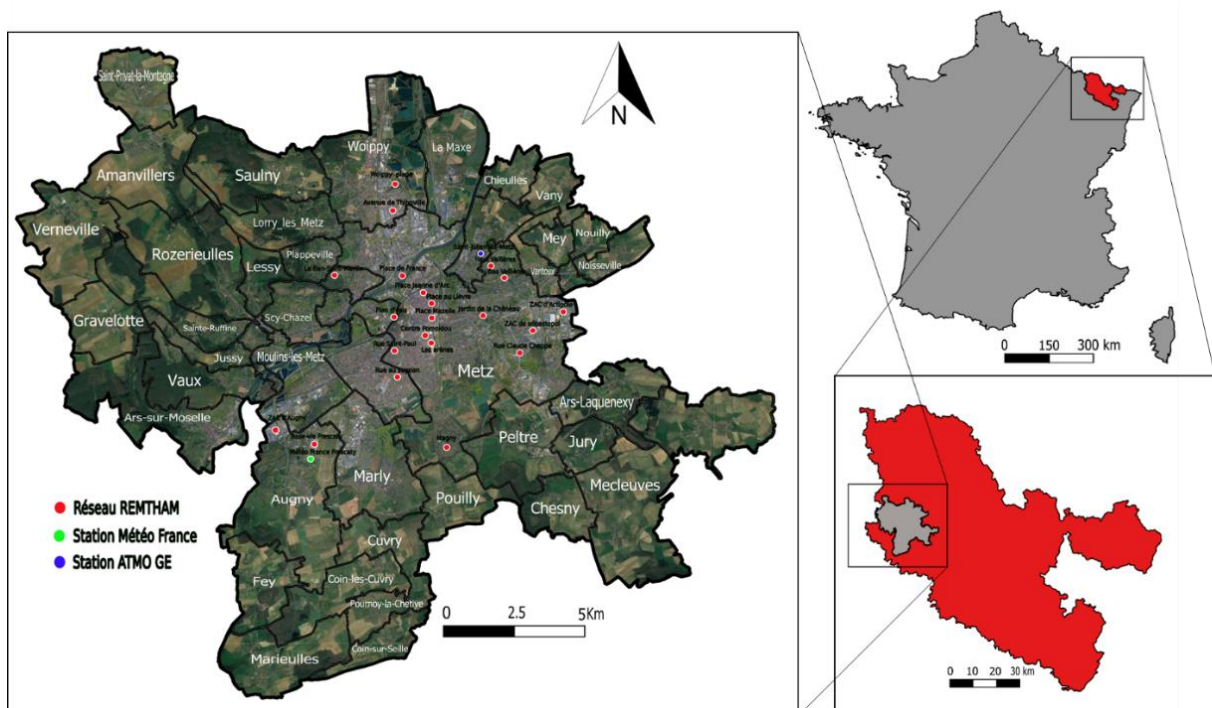


Figure 1 : à droite : carte de situation de la zone étudiée (France métropolitaine, Moselle, Metz métropole) ; à gauche : localisation des sondes du réseau REMTHAM et des stations météorologiques de Météo-France et du réseau ATMO Grand-Est.

Toutes les stations ont été installées dans des sites ouverts, peu sujets à des ombres portées (arbres ou bâtiments) de manière à être représentatifs de l'ambiance thermique du quartier environnant (Oke, 2006). En outre, pour limiter l'influence du candélabre ou du poteau électrique, l'abri anti-radiation a été déporté de plus de 30 cm grâce à une équerre en aluminium (figure 2b). Le choix des sites de mesure a été déterminé par la variété des paysages urbains (figure 3). L'espace urbain est en effet hétérogène en termes d'occupation du sol, d'activités humaines et de densité du bâti. Les mesures de l'ICU doivent donc tenir compte du contexte et être représentatives d'une ambiance thermique locale (périmètre de 400-500 m environ, voir Stewart et Oke, 2012 ; Foissard ; 2015). Aussi, les sites équipés ont été déterminés selon quatre critères :

- La classification *Local Climate Zone* de Oke (Stewart et Oke, 2012), qui divise le territoire urbain par un zonage des ambiances climatiques potentielles. Ce zonage exprime une géométrie caractéristique et une occupation du sol qui modulent localement les conditions climatiques, surtout par temps calme et ciel dégagé. Une carte des LCZ de l'agglomération de Metz a été élaborée à partir de la BD TOPO de l'IGN et du logiciel SAGA GIS (Fadli, 2018).
- Les typologies urbaines identifiées dans le SCOTAM (Aguram, 2017) : habitat individuel continu, habitat individuel discontinu, habitat individuel groupé, habitat collectif continu, habitat collectif discontinu et habitat intermédiaire/mixte.
- L'échantillonnage des éléments « naturels » (relief, plan d'eau, parcs urbains, etc.) susceptibles d'influencer les ambiances climatiques locales.
- La proximité des lieux accueillant des personnes vulnérables à la chaleur : Établissements d'Hébergement pour Personnes Âgées Dépendantes (EHPAD) et écoles primaires et maternelles.



Figure 2 : a) Station météorologique du réseau REMTHAM (rue de Saint-Paul, Montigny-Lès-Metz, France). b) Système de fixation de l'abri météorologique.

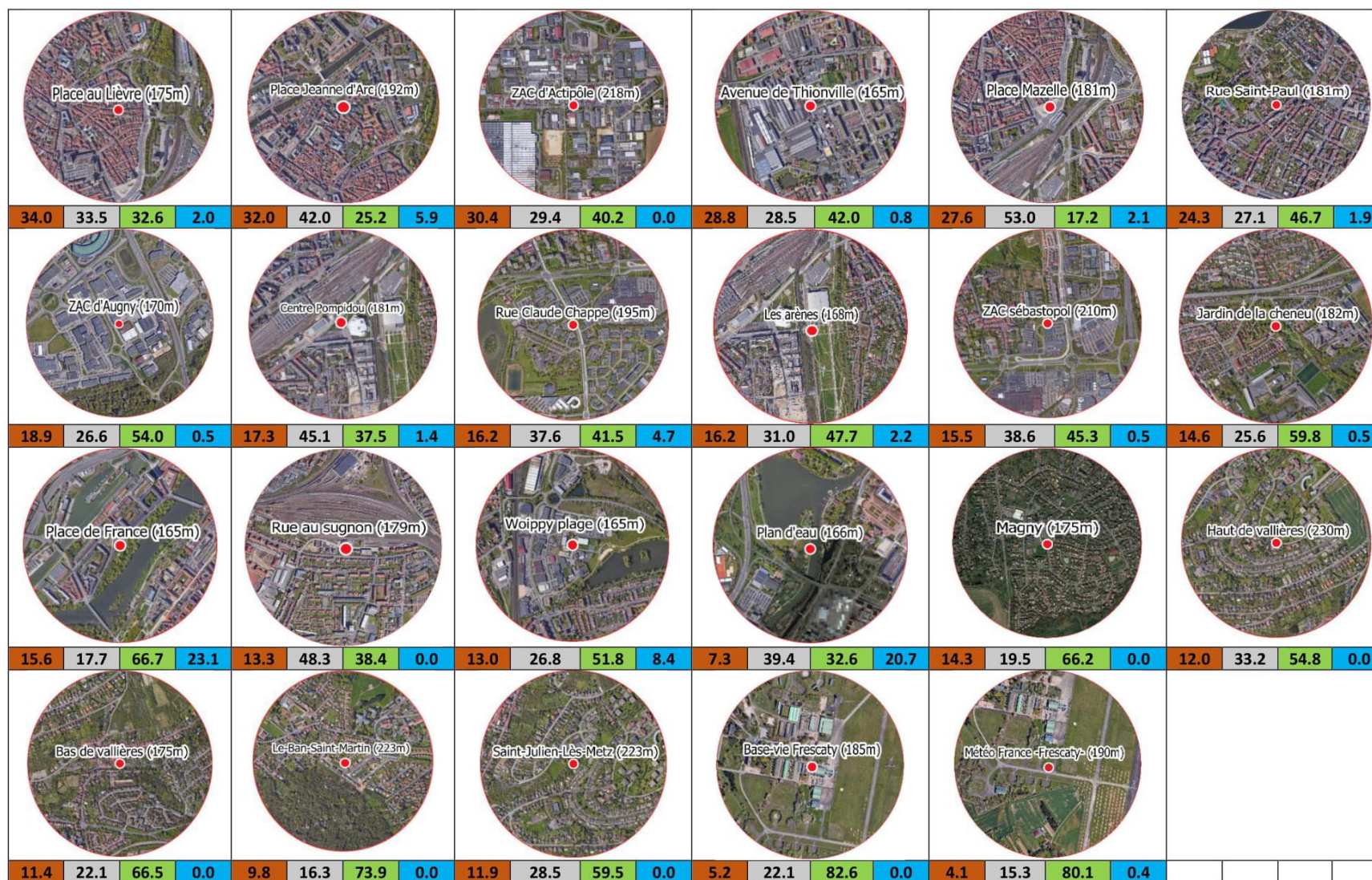


Figure 3 : Localisation des stations météorologiques et part d'occupation du sol en % (bâti = marron, surfaces imperméables = gris, végétation = vert et plans d'eau = bleu) dans un rayon de 500 m autour des stations météorologiques du réseau REMTHAM.

Données : BD TOPO IGN.

Notons que le territoire de Metz Métropole est équipé d'autres stations météorologiques dont les données nous ont été aimablement fournies dans le cadre de notre étude : il s'agit de la station de *Saint-Julien-lès-Metz* (installée en 2001) appartenant au réseau de mesure ATMO Grand-EST, à laquelle s'ajoute la station synoptique de Météo France installée en 1929 sur le plateau de Frescaty. Cette dernière a été sélectionnée comme station de référence périurbaine, car bien qu'elle soit équipée d'une instrumentation différente de celle du réseau REMTHAM, elle s'est avérée être la plus fraîche, après consultation des données relevées par l'ensemble des stations. Ce choix est conforté par une fraction de bâti inférieure à 4 % et une fraction de végétation atteignant 80 % (figure 3).

3. Résultats

3.1. Variabilité intrasaisonnière de l'ICU

Afin d'évaluer la variabilité intrasaisonnière de l'ICU au cours de l'été 2019, un binôme de stations a été constituée : il est composé d'une station située en plein centre-ville (station *Place au Lièvre*) servant de référence urbaine, et de la station synoptique de *Metz Frescaty* choisie comme référence périurbaine (figure 3). Ainsi l'écart thermique moyen horaire entre l'hypercentre et la périphérie de l'agglomération a pu être établi pour la période s'étendant de la mi-juin à la fin septembre. Celui-ci est compris entre +2,5°C et +3°C dès le coucher de soleil durant les mois de juin et de juillet, caractérisés par la survenance d'épisodes caniculaires (tableau 1). Pour les mois d'août et septembre, l'écart moyen ne devient supérieur à +2°C qu'à partir de 21:00. Ensuite, à partir de 9:00 l'écart moyen devient faible ou nul sur l'ensemble de la journée, ce qui rejoint les observations d'autres climatologues comme Cantat (2004).

Mois	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Juin (15-30)	3,0	2,9	2,8	2,6	2,8	2,8	2,3	0,8	0,1	0,3	0,4	0,7	0,6	0,8	1,0	1,0	1,1	1,2	0,5	0,6	0,9	1,7	2,8	3,0
juillet (1-31)	2,6	2,8	2,8	2,8	2,7	2,7	2,6	1,8	0,8	0,4	0,2	0,3	0,6	1,0	0,9	0,9	0,9	0,7	0,6	0,6	0,6	1,1	2,1	2,7
Août (1-31)	2,8	2,8	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,1	0,7	-0,2	-0,3	-0,4	0,1	0,1	0,5	0,9	0,7	0,8	0,4	0,7	1,1	2,2	2,9	2,9
Septembre (1-30)	2,1	2,0	1,8	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,1	0,2	-0,3	0,1	0,3	0,3	1,3	0,9	0,7	0,6	0,3	0,5	1,6	2,2	2,1	2,2

Tableau 1 : Écarts moyens des températures horaires entre la station *Place au Lièvre* et la station de *Metz Frescaty* entre la mi-juin et la fin septembre 2019.

Ces écarts thermiques nocturnes ont pour origine le stockage de chaleur en journée et le piégeage radiatif la nuit. En effet, la présence de bâtiments et de surfaces imperméables (parkings, routes, etc.) conduit au stockage de l'énergie issue du rayonnement solaire durant la journée. Ce stockage d'énergie est également lié au piégeage du rayonnement par les canyons urbains (rues hautes et étroites) et aux caractéristiques physiques des matériaux constituant les bâtiments et les revêtements urbains. Cette énergie stockée durant la journée est restituée la nuit, maintenant ainsi une température élevée au centre-ville.

3.2. Influence des typologies d'occupation du sol sur l'ICU

Pour mieux appréhender l'évolution de l'ICU en fonction de l'environnement immédiat du point de mesure, quatre types d'environnement, « *urbain dense* », « *végétalisé* », « *plan d'eau* » et « *surface imperméable à faible albédo* » ont été identifiés (figure 3) : ils correspondent aux stations *Jardin de la Chêneau* (type *végétalisé*), *Plan d'eau* (type *plan d'eau*), *Place au Lièvre* (type *urbain dense*) *Avenue de Thionville* (type *surface imperméable à faible albédo*). La station de *Metz Frescaty* sert de point de référence périurbain. De la mi-juin à la fin septembre, l'ICU maximal est calculé pour les quatre binômes de stations.

Les résultats obtenus montrent que l'ICU n'intervient pas systématiquement au cours de la nuit et qu'il est significativement plus marqué pendant les périodes caniculaires et les vagues de chaleur (figure 3a). L'ICU correspondant à l'environnement de type « *urbain dense* » atteint régulièrement des valeurs supérieures à +4°C et un écart maximal de +6,7°C. De surcroît, les environnements de type « *surface imperméable à faible albédo* » et « *eau* » sont presque identiques d'après les courbes de la figure 3a. Il en ressort que l'effet de l'eau reste modéré pendant toute la période. *A contrario*, l'ICU moyen de l'environnement « *végétalisé* » est de l'ordre de +1°C et sa valeur maximale ne dépasse pas +3°C.

Par ailleurs, les valeurs horaires des quatre types d'environnement ont été calculées afin d'évaluer les effets diurnes et nocturnes des typologies retenues. D'après la figure 3b, on constate que le contraste entre elles est assez faible en journée, mais devient plus net à partir du coucher du soleil. A noter que la végétation a un effet rafraîchissant important durant la nuit contrairement à l'eau, dont l'effet rafraîchissant intervient plutôt en journée. Ensuite, la courbe de l'environnement « *surface imperméable à faible albédo* » reste presque identique à celle de l'environnement « *plan d'eau* » le matin entre 6 :00 et 9 :00, et le contraste entre eux reste faible pour le reste de la journée. Enfin, l'environnement « *urbain dense* » se singularise des autres types d'environnement puisqu'il amplifie l'ICU de jour comme de nuit.

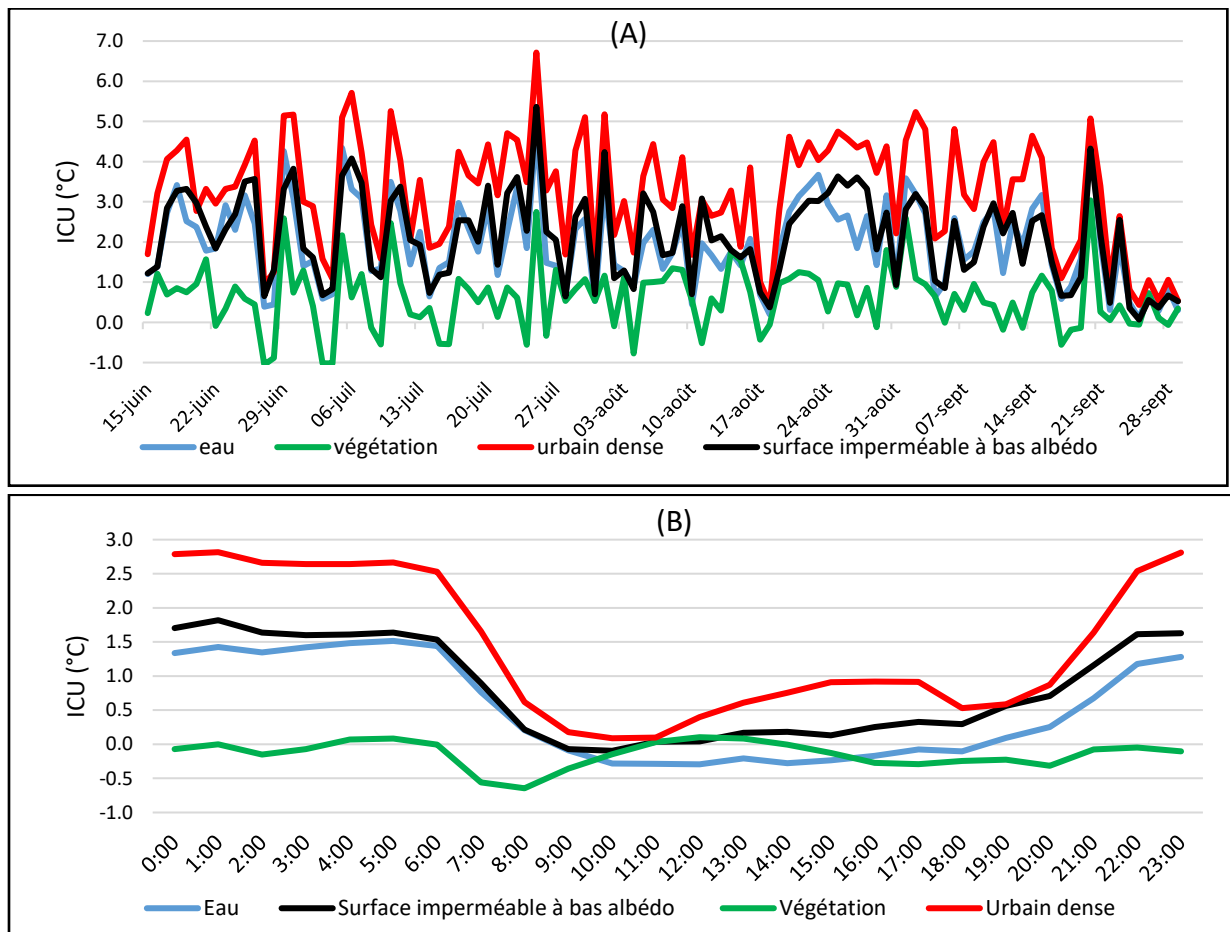


Figure 3 : a) Valeurs quotidiennes de l'ICU des environnements « eau », « végétalisé », « urbain dense » et « surface imperméable à faible albédo » entre le 15 juin et le 30 septembre 2019. b) Moyennes horaires de l'ICU sur un cycle journalier pour les indices « eau », « végétation », « urbain dense » et « surface imperméable à faible albédo » entre le 15 juin et le 31 août 2019.

3.3. Relation entre ICU et canicule

Pour mieux comprendre le comportement de l'ICU en période de canicule, il est intéressant d'étudier la relation entre ces deux phénomènes afin d'établir si l'un a une influence sur l'autre (Richard *et al.*, 2018). Cela passe par une étude de l'ICU sur toute la période estivale (juin-août) incluant les deux épisodes caniculaires de juin et juillet.

D'après la définition de Météo France, on parle de canicule lorsque deux seuils de températures l'un diurne et l'autre nocturne, sont atteints ou dépassés. En ce qui concerne le département de la Moselle, ces deux seuils sont fixés respectivement à $T_n = 19^\circ\text{C}$ et $T_x = 34^\circ\text{C}$. Par ailleurs, étant donné que l'ICU est défini comme la différence de température entre les zones urbaines et les zones suburbaines ou périurbaines, deux stations installées en milieu urbain (*Place au Lièvre* et *Place Jeanne d'Arc*) et deux stations installées en milieu périurbain (*Base-vie Frescaty* et *Metz Frescaty*) ont été sélectionnées pour servir de points de référence. L'ICU est calculé quotidiennement par pas de 30 mn, comme la différence entre la moyenne des températures mesurée par les stations urbaines et la moyenne mesurées par les stations périurbaines. Pour chaque journée disponible, seule la valeur maximale de l'ICU (ICU_{max}) est considérée.

Sur toute la période de mesure disponible, les stations *REMTHAM* ont permis d'échantillonner 107 journées. Le seuil de 19°C a été dépassé pendant 20 jours en milieu urbain et pendant 7 jours en milieu péri-urbain. Quant aux mesures diurnes, elles indiquent que le seuil de 34°C a été dépassé 9 fois autant en milieu urbain qu'en milieu péri-urbain. Les journées de mesure sont alors triées et codées en 3 classes (tableau 2):

- La classe « A », qui comprend les journées qui n'ont pas atteint ou dépassé les seuils de température,
- La classe « B », qui représente les journées où un seul des deux seuils a été atteint ou dépassé,
- La classe « C », qui représente les journées pour lesquelles les deux seuils ont été atteints ou dépassés.

Si l'on s'intéresse aux journées de type « B » et « C », on constate que l' ICU_{max} ayant une valeur supérieure à $+3^\circ\text{C}$ est représenté de manière plus importante alors que celui inférieur à $+3^\circ\text{C}$ est sous-représenté. La classe « A » n'est quant à elle pas pertinente. On en conclut donc qu'il y a un lien évident entre canicule et intensité de l'ICU.

Types de journée	$ICU_{max} < 1^\circ\text{C}$	$1 \leq ICU_{max} < 2$	$2 \leq ICU_{max} < 3$	$3 \leq ICU_{max} < 4$	$4 \leq ICU_{max} < 5$	$5^\circ\text{C} \leq ICU_{max}$	Total
« A » (non caniculaire)	0	4	15	31	35	4	89
« B » (dépassement d'un des 2 seuils)	0	0	1	5	5	0	11
« C » (caniculaire)	0	1	0	1	4	1	7
Total	0	5	16	37	44	5	107

Tableau 2 : Nombre de jours par classe d'ICU en fonction du dépassement ou non des seuils de 19°C et 34°C définissant une journée comme caniculaire. L'écart thermique est mesuré pour chaque jour entre des sites urbains (*Place au Lièvre* et *Place Jeanne d'Arc*) et des sites périurbains (*Base-vie Frescaty* et *Metz Frescaty*).

Après avoir établi le lien entre canicule et ICU, il convient à présent d'étudier le comportement de ce dernier au cours d'une séquence caniculaire afin de déterminer si son intensité reste constante ou fluctuante. Pour ce faire, les données du même lot de stations que

celui sélectionné précédemment ont été considérées en restreignant cette fois la comparaison à la période du 15 juin au 31 juillet 2019. Rappelons que les deux séquences caniculaires s'étendent respectivement du 25 au 30 juin et du 21 au 26 juillet. Les résultats sont présentés sur la figure 4. L'analyse de cette figure montre que :

- L'écart thermique entre les stations sélectionnées est manifeste aussi bien de jour que de nuit ; les sites urbains étant les plus chauds et les sites périurbains les plus frais. On remarque aussi deux pics de chaleur relevés lors des deux épisodes caniculaires : le 26 juin par la station du centre-ville à 37,2°C (17 :00 heure locale), et le 25 juillet à 36,4°C relevée par la station *Metz Frescaty*. Les stations urbaines et péri-urbaines ont enregistré des températures respectivement de 40,0°C et 39,6°C (17 :00 heure locale).

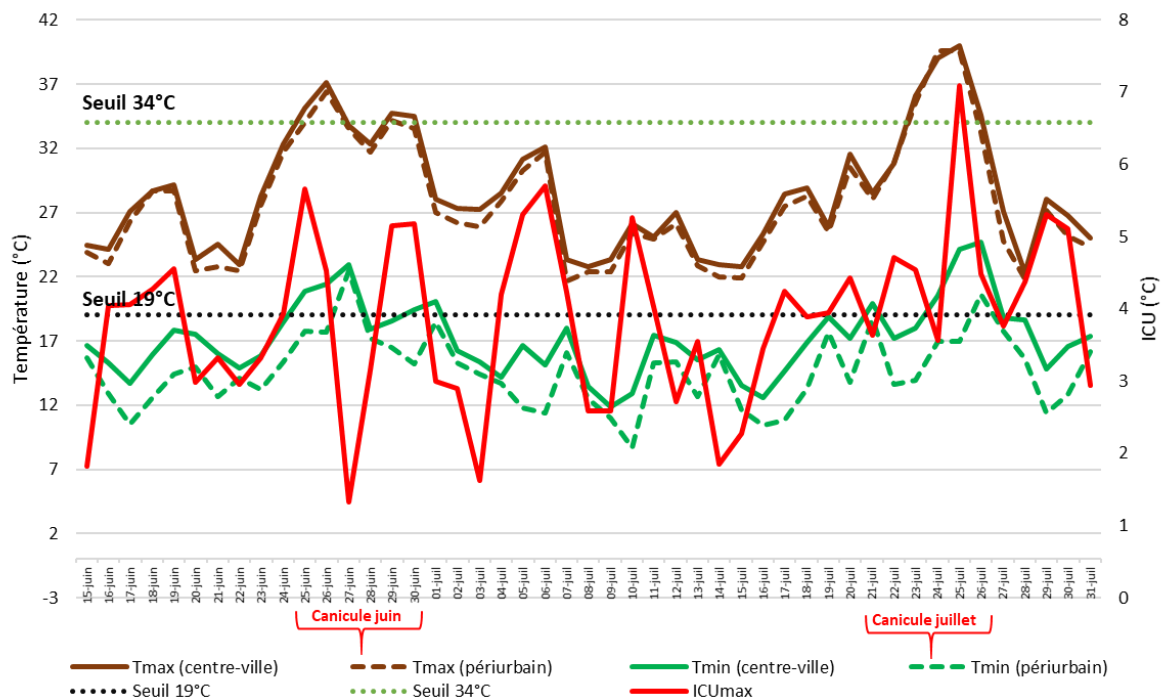


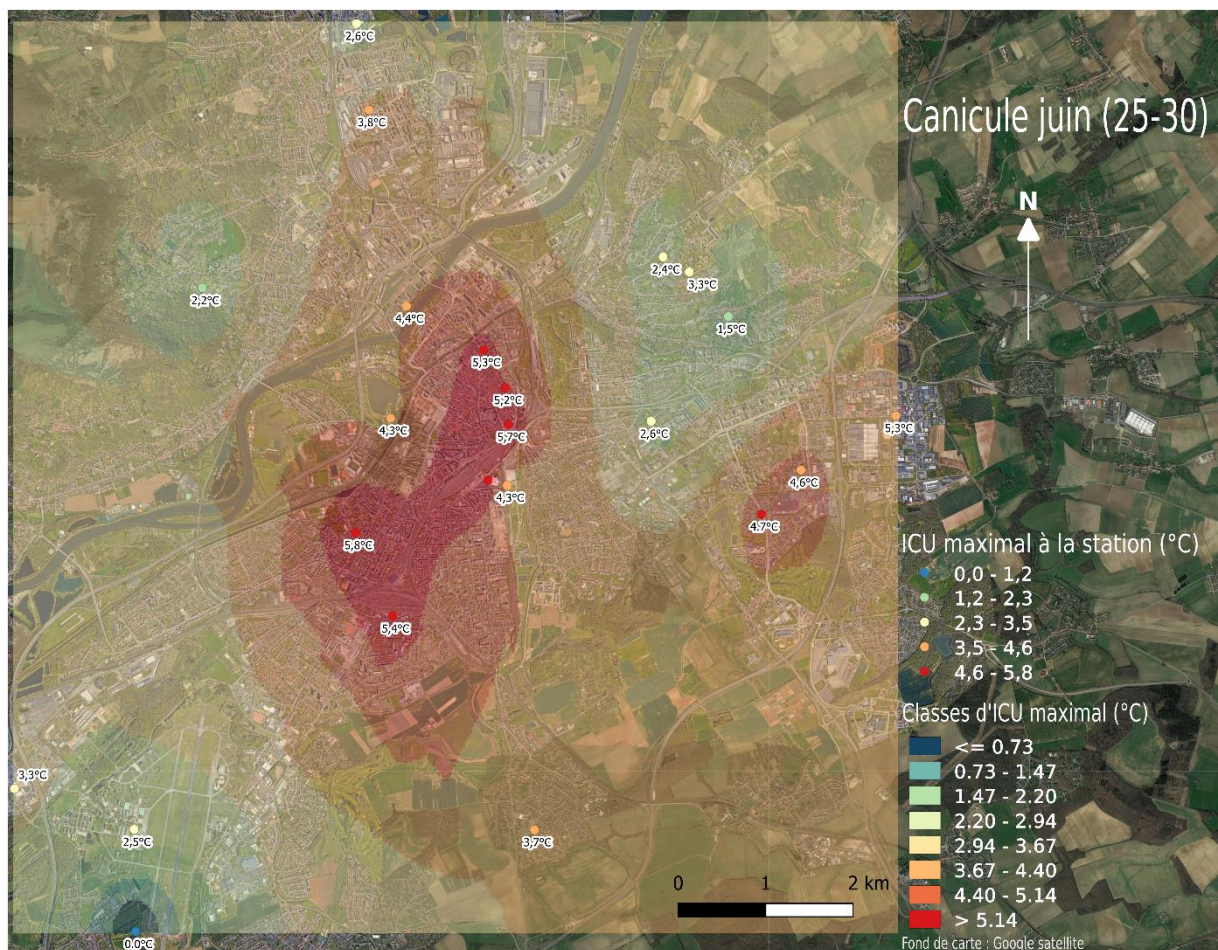
Figure 4 : Valeurs des températures maximales et minimales observées en milieu urbain et en milieu périurbain du 15 juin au 31 juillet 2019.

- Sur le plan chronologique, on relève que lors de la période qui a précédé l'épisode caniculaire de juin, l'ICU est modéré avec une moyenne de +3,5°C. Cela s'explique par les conditions météorologiques marquées par une couverture nuageuse discontinue et des vents modérés. Puis, l'ICU du premier épisode caniculaire est bien marqué, atteignant une intensité maximale de +5,7°C et une intensité moyenne de +4,5°C. La période entre les deux canicules (du 1^{er} au 20 juillet) a donné lieu ensuite à un ICU moyen de +3,6°C. On observe également une intensité maximale relevée pendant cette période de 5,7°C. Ensuite, l'ICU connaît une baisse d'intensité juste avant l'épisode caniculaire de juillet. L'ICU est alors très marqué pendant la canicule de juillet où il a atteint une intensité maximale de +7,1°C et une moyenne de +4,7°C.

3.4. Spatialisation de l'ICU lors des deux épisodes caniculaires

L'ICU d'été, qui se limite à certaines nuits particulièrement chaudes, nécessite de travailler sur des périodes caractérisées par des conditions météorologiques spécifiques (un ciel dégagé couplé à un vent faible) propices à son apparition. Nous avons donc cherché à spatialiser les écarts maximaux entre les valeurs de température minimale de l'air (T_n) enregistrées par les stations du réseau *REMTHAM* et celle enregistrée par la station de référence périurbaine de la zone d'étude (ICU_{max}).

Pour cela nous avons appliqué la méthode d'interpolation *Radial Basis Function* (RBF). Cette méthode permet de produire des surfaces lisses à partir d'un grand nombre de points de mesures et d'obtenir des résultats satisfaisants pour des variables à faible gradient spatial ce qui est bien adapté à la température de l'air. Il s'agit d'une première spatialisation un peu naïve au sens où elle ne fait intervenir que les données de température. Elle ne s'appuie donc sur aucune variable auxiliaire pouvant servir de « béquille » à l'interpolation. Elle permet néanmoins de mettre en évidence une certaine organisation spatiale de l'ICU qui est remarquablement similaire entre les deux séquences caniculaires (figure 5a vs figure 5b). Un îlot de chaleur recouvre l'hyper-centre et les parties urbaines des communes de Montigny-lès-Metz, de Metz et de Woippy. En revanche, autour des stations suburbaines (*Bas de Vallières* et *Jardin de la Chêneau*) et de la station péri-urbaine (*Metz Frescaty*) des îlots de fraîcheur se dessinent sous l'effet des caractéristiques physiques de leur site (respectivement creux topographique et présence de végétation à un taux supérieur à 58%).



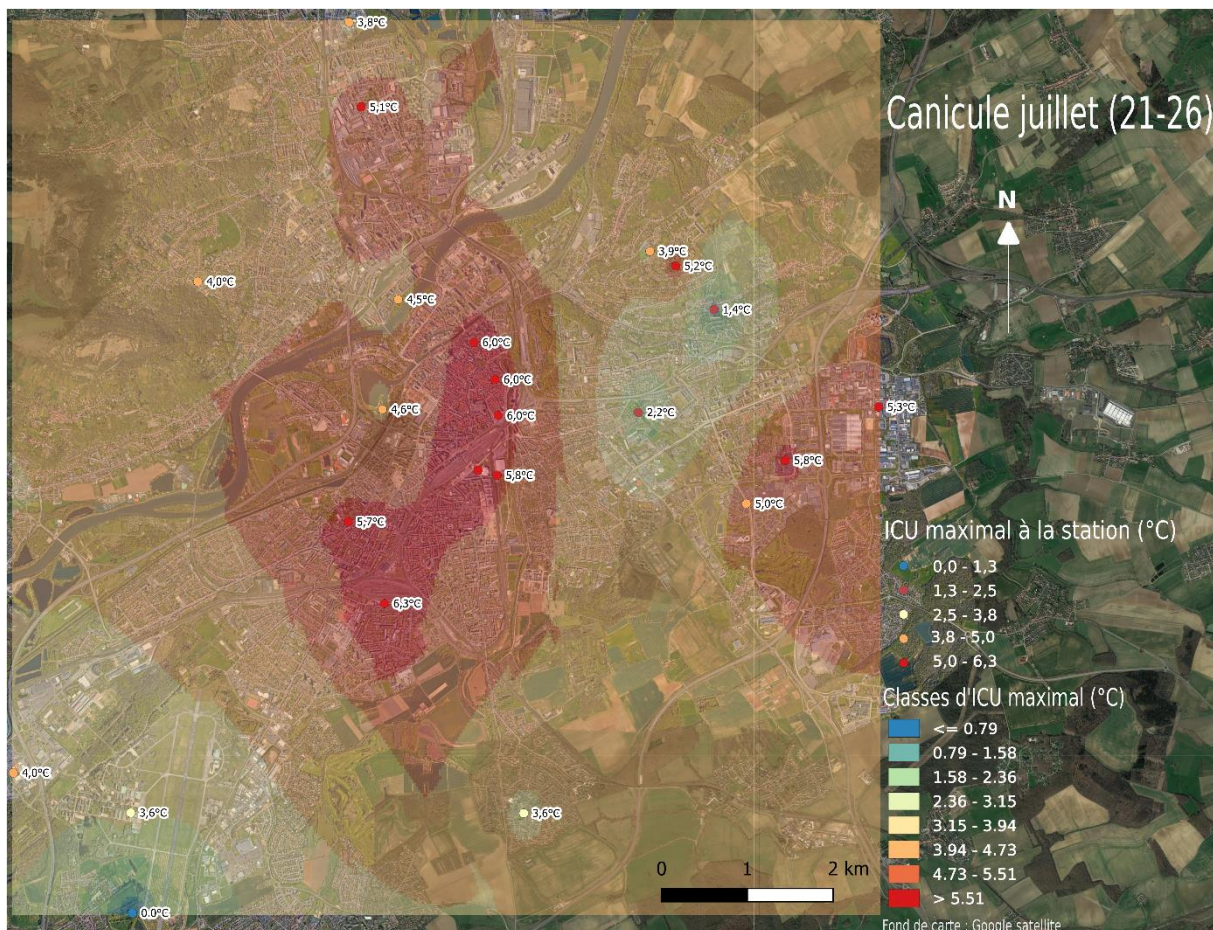


Figure 5 : Spatialisation naïve (méthode RBF) de l'ICU_{max} (écarts maximaux entre les températures minimales relevées par les stations REMTHAM et la station Metz, Frescaty de Météo France pendant les épisodes caniculaires de juin et de juillet 2019).

Discussion et conclusion

Cette étude inédite a permis de mesurer et de spatialiser l'ICU au sein de l'agglomération messine au cours de l'été 2019. Les données collectées par le LOTERR (réseau REMTHAM), ATMO Grand Est et Météo France ont mis en évidence un excédent thermique de l'ordre de 3°C en moyenne sur le territoire de Metz Métropole pour les valeurs nocturnes. En période caniculaire, l'ICU atteint une intensité maximale de 7,1°C. Ce résultat s'accorde remarquablement bien avec le modèle prédictif de Oke (1973) établi à partir de jeux de données déjà anciens, collectés dans différentes métropoles européennes. Appliqué à notre cas d'étude, il s'écrit :

$$\Delta T_{u-r}(\max) = 2,01 \times \log(220\,000) - 4,06 \quad (1)$$

D'où l'on tire que $\Delta T_{u-r}(\max) = 6,7^\circ\text{C}$.

Nos résultats sont également cohérents avec des monitorings de température réalisés dans d'autres agglomérations de taille moyenne (Nancy, Strasbourg et Dijon par exemple). L'étude menée par Fischer (2005) sur la métropole de Strasbourg a relevé un ICU intense légèrement supérieur ($> 7^\circ\text{C}$) à celui relevé dans la métropole de Metz et qui là encore est en adéquation avec le modèle de Oke (1973). Sur le territoire de Dijon Métropole, l'ICU est plus intense en

début de saison tandis que les épisodes de chaleurs sont plus fréquents au cœur de la saison ; ce qui corrobore nos observations bien que le mois de juin n'ait été échantillonné qu'à moitié. Enfin, les relevés effectués Nancy sont similaires aux nôtres alors que la méthode employée est différente (mesures itinérantes) (Leconte, 2014).

Spatialement, nos résultats mettent en évidence une organisation complexe de l'ICU : l'écart thermique en période nocturne est d'environ 5°C à 6°C entre le centre-ville et les zones industrielles d'un côté, et les zones périurbaines moins denses et les espaces verts de l'autre. L'ICU n'est ainsi pas cantonné aux zones à forte densité urbaine mais s'étend aussi aux zones d'activités périphériques (ZAC d'Actipôle, ZAC de Sébastopol, ZAC d'Augny). Ce sont les caractéristiques physiques des surfaces et la forte densité du trafic routier qui expliquent cette répartition spatiale. On retrouve dans ces zones de grandes surfaces artificielles (hangars métalliques, parkings, routes, etc.) à faible réflectivité solaire (donc forte absorption de chaleur radiative), forte diffusivité thermique et faible capacité thermique massique (ou pouvoir stockant) ce qui explique l'important dégagement de chaleur sensible durant la journée.

Par ailleurs, les premières cartographies de l'ICU réalisées par une approche naïve montrent une structure spatiale en archipel constituée d'une mosaïque d'ICU et d'îlots de fraîcheur urbains. Ainsi, une coulée de chaleur se dessine sur un axe allant de Woippy à Montigny-lès-Metz en passant par l'hyper-centre de Metz où persiste une ambiance thermique chaude toute la nuit. En parallèle, un axe de fraîcheur se structure au sein d'une coulée verte qui s'étend entre le fond du vallon de Vallières (rôle de la brise de vallée descendante) et le jardin de la Chêneau.

Au terme de cette première campagne de mesure, plusieurs perspectives d'amélioration et de valorisation de nos travaux se dessinent : en vue de spatialiser l'ICU à l'échelle de l'agglomération il serait pertinent de densifier le réseau de mesure dans certains quartiers qui ne sont pas encore échantillonnés et de corrélérer les mesures de l'ICU avec des indicateurs urbains de manière à pouvoir le spatialiser objectivement par une approche de type géorégression (Foissard, 2015). Les résultats obtenus dans le cadre de ce travail, par leur caractère démonstrateur, pourront servir de support pour rendre concrète l'adaptation au changement climatique pour le grand public et l'accompagner au changement en matière de comportement et de pratique des lieux en période de forte chaleur.

Bibliographie

AGURAM, 2017 : « DENSITES ET FORMES URBAINES RESIDENTIELLES SUR LE TERRITOIRE DU SCOTAM », OCT. 2017 EN [LIEN](#).

BESANCENOT J.P., 2002 : « VAGUES DE CHALEUR ET MORTALITE DANS LES GRANDES AGGLOMERATIONS URBAINES », ENVIRONNEMENT, RISQUES ET SANTE, TOME I, N° 4, P. 229-240.

CANTAT, O., 2004, « L'ILOT DE CHALEUR URBAIN PARISIEN SELON LES TYPES DE TEMPS », [HTTPS://JOURNAL.OPENDITION/NOROIS/1373](https://journal.opendition.com/nor01s/1373).

FADLI Y., 2018, « CARTOGRAPHIE PRELIMINAIRE DES LCZ A L'ECHELLE DE METZ METROPOLE », P. 9-28.

FISCHER L., 2005, « PHENOMENES RADIATIFS ET ILOT DE CHALEUR URBAIN DANS L'AGGLOMERATION DE STRASBOURG », REVUE GEOGRAPHIQUE DE L'EST, 45, P. 26.

FOISSARD X., 2015, « L'ILOT DE CHALEUR URBAIN ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE : APPLICATION A L'AGGLOMERATION RENNAISE », P. 248.

HIDALGO ET BRETAGNE, 2016, [HTTP://WWW.OCCITANIE.DEVELOPPEMENT-DURABLE.GOUV.FR/IMG/PDF/6_G_BRETAGNE_J_HIDALGO.PDF](http://www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr/img/pdf/6_G_BRETAGNE_J_HIDALGO.PDF).

INSEE, 2016, RECENSEMENTS DE LA POPULATION, INSEE DOSSIER GRAND EST.

LECONTE F., 2014, « CARACTERISATION DES ILOTS DE CHALEUR URBAIN PAR ZONAGE CLIMATIQUE ET MESURES MOBILES : CAS DE NANCY. », P. 274.

LEE S.H., BAIK J.J., 2010: « STATISTICAL AND DYNAMICAL CHARACTERISTICS OF THE URBAN HEAT ISLAND INTENSITY IN SEOUL », THEOR. APPL. CLIMATOL., 100, 227–237.

OKE T. R., 1973, « CITY SIZE AND THE URBAN HEAT ISLAND », ATMOS. ENVIRON., 7, 769–779, DOI: 10.1016/0004-6981(73)90140-6.

OKE T. R., 1987, « BOUNDARY LAYER CLIMATE », ROUTLEDGE, P. 435.

OKE, T. R., 2006: « INITIAL GUIDANCE TO OBTAIN REPRESENTATIVE METEOROLOGICAL OBSERVATIONS AT URBAN SITES ». 47 PP.

RENARD F., ALONSO L., 2019, « COMPLEMENTARITE DE DIFFERENTES SOURCES D'ACQUISITION DE TEMPERATURE EN MILIEU URBAIN : CARTES MENTALES, MESURES PARTICIPATIVES ET DONNEES SATELLITES » ACTES DU XXXII COLLOQUE DE L'ASSOCIATION INTERNATIONALE DE CLIMATOLOGIE, THESSALONIKI, P. 227-232.

RICHARD Y., REGA M., POHL B., PERGAUD J., EMERY J., VAIRET T., DUDEK J., ZITO S., THEVENIN D., THEVENIN T., 2018 « ÎLOT DE CHALEUR URBAIN ET CANICULE : QUELLES RELATIONS ? » ACTES DU XXXI COLLOQUE DE L'ASSOCIATION INTERNATIONALE DE CLIMATOLOGIE, NICE, P. 213-217.

STEWART I. D., OKE T. R., 2012, « LOCAL CLIMATE ZONES FOR URBAN TEMPERATURE STUDIES », BULLETIN OF THE AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY, 93(12), P. 1879-1900

Remerciements

A Sébastien Douche, Luc Manceau, Litifu Paruke, Mario Rega ainsi qu'aux maires (en particulier Monsieur le Maire de la ville de Metz) et techniciens des communes de Metz Métropole.