

## EXPLORATION DES VARIATIONS THERMIQUES DIURNES DANS UNE AIRE URBAINE DE MILIEU TEMPÉRÉ SEMI-COTINENTAL À L'AIDE DES DONNÉES DE TEMPÉRATURE DE SURFACE TERRESTRE ECOSTRESS

Sébastien LEBAUT<sup>1</sup>, Nassima HASSANI<sup>1</sup>, Gilles DROGUE<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LOTERR, UFR SHS-Metz, Île du Saulcy, 57045 METZ cedex01, [sebastien.lebaut@univ-lorraine.fr](mailto:sebastien.lebaut@univ-lorraine.fr), [nassima.hassani@univ-lorraine.fr](mailto:nassima.hassani@univ-lorraine.fr), [gilles.droque@univ-lorraine.fr](mailto:gilles.droque@univ-lorraine.fr)

**Résumé :** L'étude porte sur l'observation et la caractérisation quantitative des îlots de chaleur de l'aire urbaine de Metz Métropole à partir des données de température de surface (Ts) provenant du capteur infrarouge thermique ECOSTRESS. Ce capteur placé sur l'ISS a la capacité d'imager les températures de surface au fil du cycle diurne à une résolution spatiale de 70 m. L'étude se focalise sur des épisodes de mai à septembre enregistrés de 2018 à 2021. Les valeurs de Ts sont confrontées aux données de température de l'air enregistrées par un réseau de 28 stations météorologiques, puis les cartographies de température de surface sont analysées au regard des classes de LCZ. Les résultats obtenus participent à la compréhension des effets des paysages urbains sur l'hétérogénéité spatiale des températures de surface.

**Mots-Clés :** ICU ; ECOSTRESS ; température de surface ; Metz Métropole

**Abstract :** The study concerns the observation and quantitative characterisation of heat islands in the Metz Métropole urban area using surface temperature (Ts) data from the ECOSTRESS thermal infrared sensor. This sensor placed on the ISS has the capacity to image surface temperatures over the diurnal cycle at a spatial resolution of 70 m. The study focuses on May-September episodes recorded from 2018 to 2021. The Ts values are compared with air temperature data recorded by a network of 28 meteorological stations, and then the surface temperature maps are analysed with respect to LCZ classes. The results obtained contribute to the understanding of the effects of urban landscapes on the spatial heterogeneity of surface temperatures.

**Keywords :** ICU ; ECOSTRESS ; surface temperature ; Metz Metropole

### Introduction

L'urbanisation a pour conséquence la transformation des paysages naturels en surfaces imperméables ce qui conduit à une modification importante de l'albédo, des propriétés thermiques des surfaces et de l'humidité des aires urbaines (Mackey *et al.*, 2012). Cela induit une température plus élevée des villes par rapport à leur environnement. Ce phénomène, connu sous la notion d'îlot de chaleur urbain (ICU) (Oke, 1982) est observé dans de nombreuses villes à travers le monde (Jones *et al.*, 2008) et peut altérer le climat régional, augmenter la consommation d'énergie et d'eau et accroître la mortalité lors de vagues de chaleur (Larsen, 2015). La compréhension de l'ICU est donc à la fois un enjeu environnemental et de santé public pour lequel l'élaboration de mesures d'atténuation nécessite une investigation poussée dans le cadre d'une démarche scientifique. L'intensité de l'ICU, habituellement quantifiée par la différence entre la température d'une aire urbaine et celle de son environnement rural, peut être répartie en un ICU de la canopée urbaine caractérisé par la température de l'air (Ta) enregistrée par des stations météorologiques et un ICU de surface déterminé à partir des températures de surface (Ts) dérivées des mesures faites par des capteurs embarqués à bord de satellites (Chang *et al.*, 2021). Les mesures de la Ta ne peuvent s'appuyer que sur un faible nombre de stations si bien que les Ts, observées à l'échelle régionale voire globale et de façon répétitive sont des données largement utilisées. Cependant, elles étaient jusqu'à récemment enregistrées par des satellites d'orbite polaire n'autorisant qu'une ou deux acquisitions par jour. Il était donc impossible de reconstituer l'ICU de surface sur un cycle diurne ou par des satellites géostationnaires dont la résolution spatiale d'ordre kilométrique n'est pas adaptée à une application sur une aire urbaine. Le capteur ECOSTRESS embarqué à bord de l'ISS en 2018, dont l'orbite est basse (400 km) et non polaire, rend possible l'acquisition de données

de bonne résolution spatiale à n'importe quelle heure du jour et de la nuit et permet ainsi d'échantillonner le cycle diurne des Ts et ses contrastes spatiaux. Dans cette communication, sur la base des températures issues de l'instrument ECOSTRESS, nous identifions le modèle spatial et l'évolution temporelle de la gamme de températures diurnes sur la métropole de Metz située en région Grand-Est, dans le quart nord-est de la France (49° 07' N, 6° 40' E). Elle compte environ 220 000 habitants (Insee, 2016) répartis dans 44 communes et s'étend sur 306 km<sup>2</sup>. La période scrutée est de mai à septembre car elle est la plus susceptible de présenter de fortes chaleurs et ainsi de mettre en contraste tant les variations spatiales que temporelles.

## 1. Données et méthodes

### 1.1. Les données ECOSTRESS

Dans le cadre de cette étude, les données ECOSTRESS, issues d'une mission récente de la NASA-JPL dont l'objectif est de mesurer la température des plantes et comprendre leur stress lié à l'évaporation (Silvestri *et al.*, 2020), sont mobilisées. Lancée en juin 2018 à bord de l'ISS et devenu opérationnel en juillet 2018, le capteur thermique comporte 5 bandes spectrales entre 8,29 et 12,09  $\mu\text{m}$ . ECOSTRESS a une résolution native de 69 m x 38 m au nadir mais ses produits sont rééchantillonnés à 70 m x 70 m. La précision et l'incertitude des produits de température de surface (LST 2) rapportée est respectivement de 0,15 K et 0,5 K à 300 K (Hook *et al.*, 2020).

Les requêtes relatives à la période et l'aire géographique ont été faites dans l'interface "*Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples*" (AppEARS) du "*Land Processes Distributed Active Archive Center*" (LP DAAC). Sur les plusieurs centaines d'images remontées par la requête, après un travail de filtrage tenant compte de la qualité et de la couverture nuageuse, nous avons retenu 47 images sur la période de mai à septembre pour les années de 2018 à 2021 (tab.1).

**Tableau 1.** Images ECOSTRESS retenues, classées selon le moment de la journée.

lever soleil	2h après lever soleil	4h après lever soleil	soleil Zénith	3h après zénith	fin après-midi	coucher soleil	nuit
2019_06_26 à 06h21'54"	2018_09_01 à 08h41'58"	2019_08_26 à 10h06'34"	2018_08_22 à 12h31'54"	2020_06_02 à 15h37'38"	2018_07_30 à 17h58'26"	2019_07_19 à 21h53'56"	2018_09_18 à 02h00'25"
2019_06_28 à 06h19'29"	2019_06_30 à 07h53'34"	2020_06_22 à 10h58'26"	2019_06_19 à 12h08'41"	2020_05_30 à 16h24'18"	2019_07_25 à 18h34'55"	2018_09_17 à 22h47'10"	2019_07_02 à 04h38'01"
2019_07_04 à 06h12'57"	2019_07_02 à 07h51'41"	2020_06_23 à 10h10'23"	2020_08_20 à 11h25'24"	2020_07_31 à 15h59'05"	2020_05_25 à 18h46'27"	2020_07_20 à 23h08'15"	2019_07_03 à 03h47'49"
2020_06_23 à 06h56'26"	2019_08_22 à 08h30'57"	2021_06_13 à 10h05'11"	2020_08_09 à 12h04'26"	2020_08_05 à 16h51'46"	2020_05_25 à 17h58'43"		2020_07_05 à 05h26'13"
2019_08_26 à 06h52'41"	2019_08_23 à 07h41'55"	2020_06_24 à 09h22'01"	2020_08_07 à 13h39'38"	2021_05_30 à 16h18'42"	2020_07_27 à 17h33'17"		2020_09_12 à 02h50'14"
	2019_08_31 à 07h39'26"	2020_06_26 à 09h23'46"	2021_06_01 à 14h43'56"		2020_05_29 à 17h12'06"		
	2020_08_20 à 08h11'26"	2019_08_27 à 09h17'41"			2021_05_31 à 18h45'13"		
					2021_07_20 à 20h16'08"		
					2021_07_21 à 19h29'24"		

### 1.2. Les données de température

Comme phénomène physique à la base du diagnostic de l'ICU, la température de l'air, caractéristique de l'ambiance climatique de la couche de canopée urbaine, est mesurée dans de nombreux protocoles de recherches sur le phénomène ICU (Dubreuil *et al.*, 2021). Dans Metz Métropole celle-ci est mesurée par les stations du Réseau de Mesures Thermo-Hygométriques de l'agglomération de Metz (REMTHAM) constitué de 28 stations météorologiques légères (abri Davis + sondes connectées de type HOBO) (Hassani et Drogue, 2020).

### 1.3. Les "Local Climate Zone"

*Local Climate Zone* (LCZ) est une classification internationale mise au point par Stewart et Oke (2012) visant à construire une typologie climatique urbaine à l'échelle du quartier. Cette typologie s'appuie sur une division logique du territoire selon une classification utilisant plusieurs paramètres influençant le climat (indicateurs quantitatifs concernant l'exposition, la rugosité, la couverture du sol, la hauteur des bâtiments, la densité, la typologie urbaine, etc.). La classification LCZ retenue 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).

La carte LCZ ci-après (fig. 1) a été réalisée en suivant la méthode WUDAPT (World Urban Database and Portal Tool) initiée en 2012. Cette méthode s'appuie sur la classification semi-automatique des irradiances d'images satellitaires pour identifier les LCZ, sur la base de zones d'entraînement définies par l'utilisateur et numérisées avec le logiciel Google Earth. Chaque zone d'entraînement correspond à une classe LCZ d'un type particulier (Bechtel et Daneke, 2012 ; Brousse *et al.*, 2016). La carte a été générée à l'aide du logiciel SAGA GIS (System for Automated Geoscientific Analyses) en utilisant une image Landsat 8 (09/04/2020) et les données de zones d'entraînement.

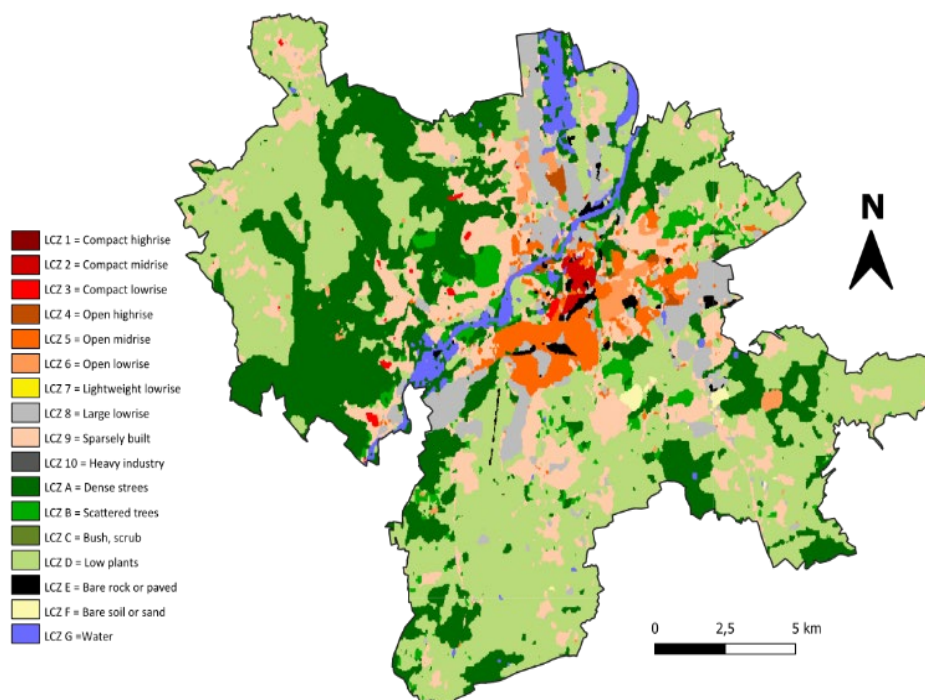


figure 1. Carte des Local Climate Zones (LCZ) de l'Eurométropole de Metz.

## 2. Résultats

### 2.1. Courbe des températures de l'air ( $T_a$ ) et de surface ( $T_s$ )

Pour analyser les  $T_a$  et les  $T_s$  à différents moments de la journée, les températures moyennes ont été calculées à partir des images disponibles (tab.1) et confrontées aux températures de l'air observées par le réseau REMTHAM aux mêmes moments. Ces valeurs ont été calculées pour différentes LCZ (fig. 2). Le cycle diurne des  $T_a$  et  $T_s$ , avec l'alternance du jour et de la nuit mais aussi au cours de la journée est effectivement mesuré. Le premier constat est le déphasage entre les courbes de  $T_a$  et  $T_s$ . Les  $T_s$  sont directement calées sur l'irradiation solaire avec des températures maximales, quelles que soient les LCZ, lorsque le soleil est au « zénith » (fig. 2) et minimales durant la nuit. En revanche les  $T_a$  maximales sont mesurées au moins 3 heures après le midi solaire. On note donc ici l'inertie thermique de l'air. Cette inertie différentielle entre  $T_a$  et  $T_s$  est le second point marquant. Les  $T_s$  sont minimales durant la nuit et augmentent dès que le soleil éclaire les surfaces alors que les températures de l'air sont minimales à ce moment. Cette inertie se traduit également par l'amplitude thermique diurne ; d'une trentaine de degrés pour les  $T_s$ , elle est de la moitié pour les  $T_a$ .

En ce qui concerne les classes LCZ, les résultats indiquent que la classe "zone d'activités" (LCZ 8) est celle qui affiche les températures de surface les plus élevées, vient ensuite la classe "centre-ville" (LCZ 2). En revanche, lorsque l'on s'intéresse aux températures de l'air, c'est l'inverse qui ressort : la classe "centre-ville" est celle qui affiche les températures les plus élevées car la densité urbaine empêche la circulation de l'air. A l'inverse, la classe "points d'eau" (LCZ G) est celle qui affiche les températures les plus basses en journée,

mais cela s'inverse la nuit du fait de l'inertie thermique de l'eau : les températures de surface au niveau de cette classe deviennent les plus élevées à partir du coucher de soleil.

Comme l'ont déjà montré de nombreux auteurs, il n'y a pas de corrélation entre les  $T_s$  et les  $T_a$ , si ce n'est pour les températures de nuit pour des types de temps calme. Néanmoins la connaissance des températures de surface reste très importante non seulement pour obtenir les conditions limites de l'atmosphère mais également car elles traduisent l'ambiance thermique, la température ressentie par la population, en fonction des différents états de surface.

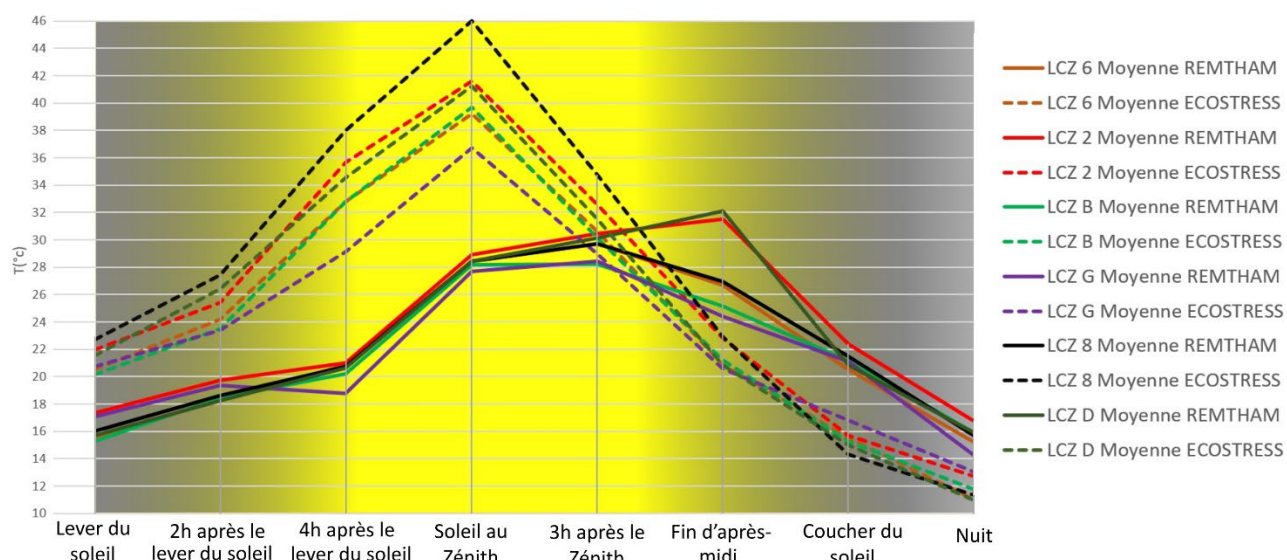
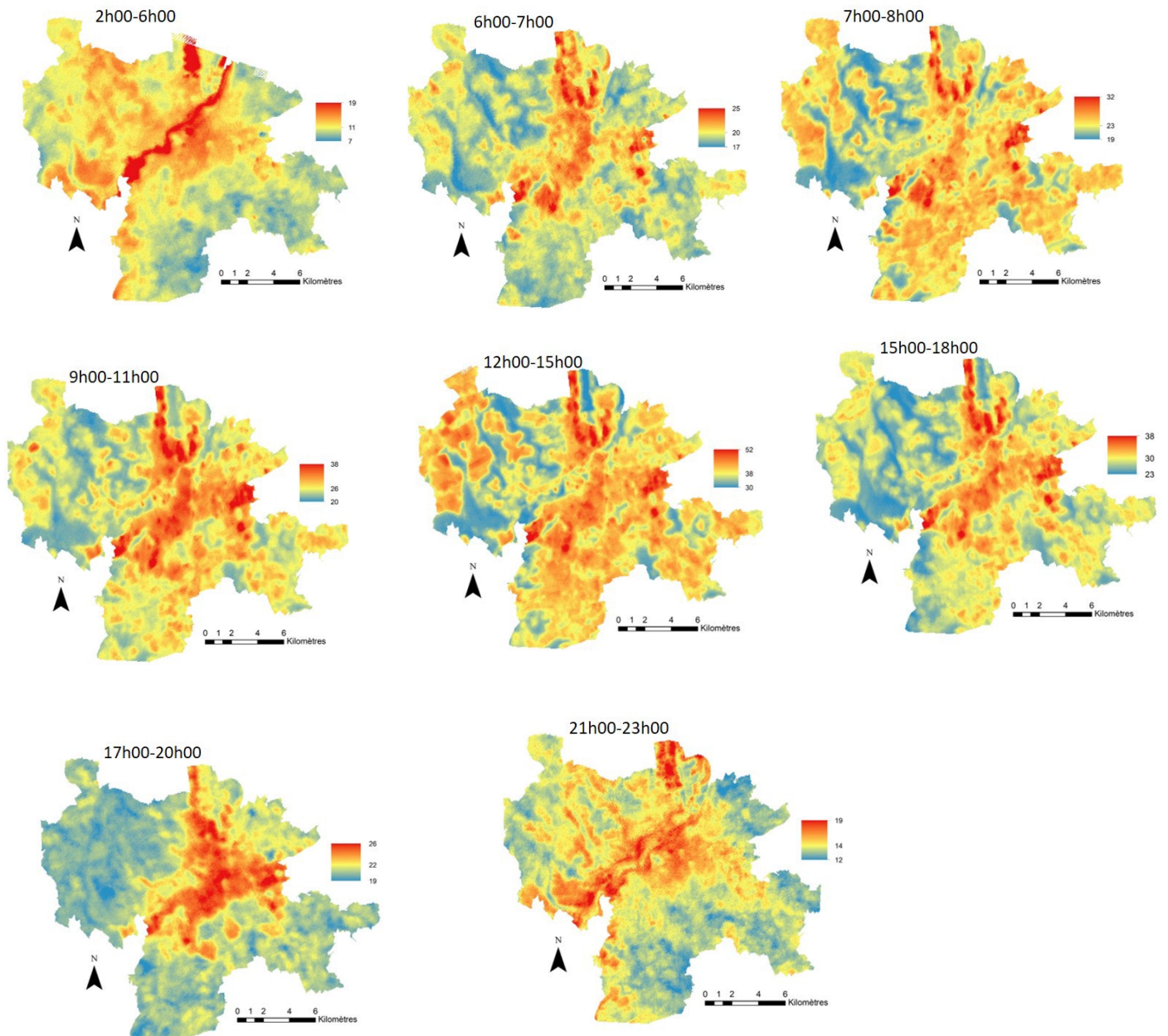


figure 2. Moyennes des températures de l'air (REMTHAM) et de surface (ECOSTRESS) selon les classes LCZ (2, 6, 8, B, D et G) pour la période allant de mai à septembre (années de 2018 à 2021).

## 2.1. Organisation spatiale des $T_s$

Les cartes (fig.3) sont réalisées à partir des valeurs moyennes calculées par pixel selon les plages horaires consignées dans le tableau 1. L'amplitude thermique diurne (fig.4) a été calculée comme la différence entre les  $T_s$  moyennes de 12-15h UTC et celles de 02-06h UTC.

On retrouve les contrastes thermiques diurnes ( $\Delta T^\circ\text{C}$ ) les plus faibles, de l'ordre de  $12^\circ\text{C}$ , sur les secteurs associant végétation et masse d'eau conséquentes (LCZ G) sous la forme de gravières environnées d'arbres tels qu'on les trouve au nord du territoire Metz Métropole en rive gauche de la Moselle et au sud en rive droite. La Moselle, large d'une centaine de mètres, présente des  $\Delta T^\circ\text{C}$  plus marqués, compris entre  $17^\circ\text{C}$  pour les secteurs les plus profonds et  $23^\circ\text{C}$  pour les secteurs peu profonds dans sa traversée de la ville de Metz. A noter que le plan d'eau de Metz d'une surface de 10,5 ha a un  $\Delta T^\circ\text{C}$  de  $17^\circ\text{C}$ .



**figure 3.** Organisation spatiale des Ts (°C) pour différents moments de la journée.

Ces entités hydrographiques au sens large sont les milieux les plus chauds la nuit (fig. 3). Les espaces boisés (LCZ A et B), essentiellement situés à l'ouest du territoire présentent des  $\Delta T^{\circ}\text{C}$  de l'ordre de 17°C ; leur Ts maximale n'excède pas 30°C. Les Ts maximales des secteurs agricoles (LCZ D) jouxtant ces bois, peuvent dépasser les 40°C, pour des  $\Delta T^{\circ}\text{C}$  de plus de 30°C. Ceci tient au fait que sur la période investiguée certaines parcelles sont dépourvues de végétation ; ces terrains s'échauffent dès le lever du soleil. Les  $\Delta T^{\circ}\text{C}$  les plus marqués, de l'ordre de 35°C, caractérisent les secteurs d'activités commerciales et industrielles (LCZ 8 et E) caractérisées par de grande surface en bitume et métal (parkings et toits). Ces surfaces présentes au nord, à l'est et au sud de Metz s'échauffent dès le lever du soleil et peuvent atteindre une Ts supérieure à 50°C. L'habitat groupé, que cela soit au centre de la ville de Metz ou dans les villages alentour (LCZ 2 et 3) présente un  $\Delta T^{\circ}\text{C}$  de 29°C ; mais dès que l'habitat devient moins dense (LCZ 4, 5, 6 et 9), notamment en périphérie de la ville de Metz, l'amplitude thermique diurne tombe à 27°C. Les Ts maximales en habitat groupé atteignent 43°C mais tombent à 40°C pour les moins denses. On peut noter que la végétation en centre-ville, qu'elle soit



en bordure d'eau (canaux, Moselle, plan d'eau) ou le fait de parc urbain a une température maximale de l'ordre de 38°C pour un  $\Delta T^{\circ}C$  de 25°C.3

## Conclusion

L'analyse des données de température de surface et de l'air met en évidence un contraste thermique conséquent sur le territoire de Metz Métropole en fonction des types d'occupation du sol. Les caractéristiques physiques des surfaces ainsi que le degré de densité du bâti expliquent la configuration spatiale des champs thermiques.

Les données de températures de surface et de l'air sont complémentaires pour contribuer à la connaissance de l'ICU sur un territoire. Si cette dernière caractérise mieux l'ambiance climatique dans laquelle évolue la population, la température de surface acquise par le capteur ECOSTRESS a apporté un nouvel éclairage sur le cycle thermique diurne à l'échelle de Metz Métropole. Il serait néanmoins intéressant de mener une comparaison de ces valeurs avec celle issues d'autres capteurs disposant d'une résolution plus fine, dans le but d'augmenter encore la précision de la cartographie des températures de surfaces.

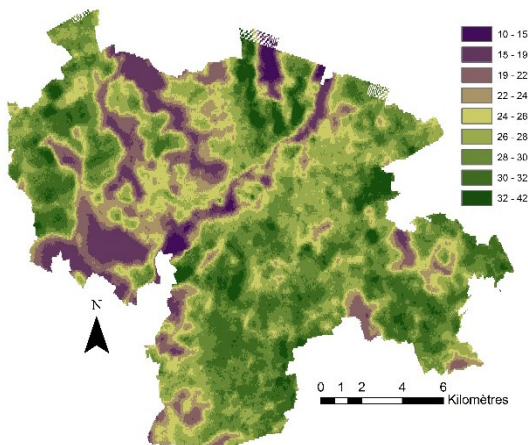


figure 4. Amplitude thermique diurne (T°C)

**Remerciement** : Ce travail a bénéficié du soutien technique et de l'accompagnement de Metz Métropole.

## Bibliographie

Bechtel B., Pesaresi M., See L., Mills G., Ching J., Alexander PJ, Feddema JJ, Florczyk AJ, Stewart I., 2016 : Towards consistent mapping of urban structure-global human settlement layer and local climate zones. *ISPRS-Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, **41**, pp. 1371-1378

Brousse O., Martilli A., Foley M., Mills G., Bechtel B., 2016 : WUDAPT, an efficient land use producing data tool for mesoscale model ? Integration of urban LCZ in WRF over Madrid. *Urban Clim.*, **17**, pp. 116-134

Chang Y., Xiao J., Li X., Froking S., Zhou D., Schneider A., Weng Q., Yu P., Wang X, Li X., Liu S., Wu Y., 2021 : Exploring diurnal cycles of surface urban heat island intensity in Boston with land surface temperature data derived from GOES-R geostationary satellites. *Science of The Total Environment*, Volume **763**, 144224.

Dubreuil V., Foissard X., Nabucet J., Thomas A., Quénot H., 2020 : Fréquence et intensité des îlots de chaleur à rennes : bilan de 16 années d'observations (2004-2019). *Climatologie*, **17**, 6.

Hassani N., Drogue G., 2020 : 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*, **17**, 8.

Hook S. J., Cawse-Nicholson K., Barsi J., Radocinski R., Hulley G., Johnson WR., Rivera G., Markham B., 2020 : In-Flight Validation of the ECOSTRESS, Landsats 7 and 8 Thermal Infrared Spectral Channels Using the Lake Tahoe CA/NV and Salton Sea CA Automated Validation Sites. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **58**(2), pp. 1294–1302.

Jones PD., Lister DH., Li Q., 2008 : Urbanization effects in large-scale temperature records, with an emphasis on China. *J. Geophys. Res.*, **113**.

Larsen L., 2015 : Urban climate and adaptation strategies. *Frontiers in ecology and the Environment*, Volume **13**, Issue 9, pp. 486-492.

Mackey CW., Xuhui L., Smith RB., 2012 : Remotely sensing the cooling effects of city scale efforts to reduce urban heat island. *Building and Environment*, Volume **49**, pp. 348-358.

Malvina S., Romaniello V., Hook S., Musacchio M., Teggi S., Buongiorno MF, 2020 : First Comparisons of Surface Temperature Estimations between ECOSTRESS, ASTER and Landsat 8 over Italian Volcanic and Geothermal Areas. *Remote Sensing* **12**, no. 1 : 184.

Oke T.R., 1982 : The energetic basis of the urban heat island. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **108** (455), pp. 1-24.

Silvestri M., Romaniello V., Hook S., Musacchio M., Teggi S., Buongiorno MF., 2020 : First comparison of surface temperature estimation between ECOSTRESS, ASTER and Landsat 8 over italian volcanic and geothermal areas. *Remote Sens.*, **12**, 184.

Stewart ID., Oke TR., 2012 : Local climate zones for urban temperature studies. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **93**, pp. 1879-1900.