SIGNATURE GÉOGRAPHIQUE ET MÉTÉOROLOGIQUE DES VARIATIONS SPATIALES ET TEMPORELLES DE LA TEMPÉRATURE DE L'AIR AU SEIN D'UNE ZONE URBAINE

par Jeremy Bernard
IRSTV - Institut de Recherche en Sciences et Techniques de la Ville
jeremy.bernard@zaclys.net

Introduction

La température de l'air est souvent plus élevée dans les zones urbaines que dans leur périphérie. Ce phénomène, appelé Îlot de Chaleur Urbain (ICU), est principalement observé la nuit. Il peut avoir des conséquences néfastes sur la consommation d'énergie estivale, sur le confort thermique extérieur et sur la santé humaine (troubles respiratoires dus à la pollution de l'air, coups de chaleur, etc.). L'origine de l'ICU est multiple : il est attribué à la morphologie de la ville (piégeant le rayonnement et réduisant la ventilation des rues), aux matériaux utilisés pour la construction (stockant la chaleur), à l'imperméabilité des sols (réduisant l'évaporation) et aux activités humaines (Landsberg, 1981).

Étudier le climat urbain implique souvent une modélisation fine des phénomènes physiques régissant les flux d'énergie et de matière qui s'opèrent entre le sol, les surfaces urbaines et les différentes couches de l'atmosphère. Ayant des perspectives plus opérationnelles, ma thèse avait comme objectif de modéliser les variations spatiales et temporelles de l'ICU à partir de modèles empiriques basés directement sur des informations géographiques décrivant le territoire (bâtiments, sols, etc.).

Méthode

L'Institut de Recherche en Sciences et Techniques de la Ville (IRSTV) où j'ai réalisé ma thèse disposait de plusieurs années de mesures de la température de l'air réalisées au sein de plusieurs quartiers de l'agglomération de Nantes. Les modèles empiriques proposés dans ma thèse devaient ainsi relier la température observée sur chacun des sites à des indicateurs géographiques caractérisant l'environnement du capteur (fraction de surfaces de végétation, fraction de bâtiments, etc.).

La première partie de ma thèse a consisté à évaluer la qualité des données micro-météorologiques enregistrées. En effet, la mesure de la température de l'air peut être sur-estimée pendant le jour et sous-estimée pendant la nuit du fait du rayonnement solaire et infra-rouge échangé entre le capteur et son environnement. Des abris recouvrant le capteur sont donc souvent utilisés pour réduire ce phénomène. Cependant, la performance des abris n'étant pas identique pour toutes les technologies, le développement d'une approche semi-empirique a permis d'isoler les principales caractéristiques de chaque abri.

La deuxième partie de ma thèse a consisté en l'élaboration d'une méthode permettant de modéliser empiriquement la température de l'air à partir de données météorologiques et de données géographiques. Cette méthode devait pouvoir être reproduite pour n'importe quelle agglomération française, il importait donc que les données géographiques et météorologiques utilisées soient homogènes et disponibles sur l'ensemble du territoire. Par conséquent, les informations relatives aux bâtiments, routes et surfaces d'eau étaient issues de la BD Topo, celles décrivant l'activité photosynthétique de la végétation étaient issues d'images satellitaires (capteur Rapid-Eye) et les données météorologiques provenaient des stations Météo-France.

La méthode employée pour modéliser les variations spatiales de l'ICU repose sur quatre étapes (figure 1) :

1. Production de nouvelles informations géogra-

phiques : identification des zones définies comme ouvertes sur le ciel, calcul du Normalized Difference Vegetation Index (NDVI),

2. Calcul d'indicateurs géographiques pour caractériser chaque site de mesure comme par exemple la densité de façades et le NDVI moyen dans un rayon de 500 m par rapport au site ou encore le logarithme de la distance à l'espace ouvert sur le ciel le plus proche.
3. Calcul d'indicateurs micro-climatiques : moyenne et écart-type de la différence de température entre chaque station et la station de référence (Météo-France).
4. Identification de relations entre les indicateurs micro-climatiques et les indicateurs géographiques (régressions linéaires multiples).

Les variations temporelles (quotidiennes) de l'intensité de l'ICU sont modélisées à partir des conditions météorologiques (figure 2). La différence de température entre chacune des stations micro-météorologiques et la station météorologique de référence est normalisée par sa moyenne et son écart-type. Le résultat obtenu est ensuite relié à des indicateurs météorologiques (par exemple vitesse du vent, température ou rayonnement moyen pendant une période donnée) à partir de régressions non-linéaires multiples.

Finalement, l'intensité de l'ICU de tout point i du territoire peut être calculée pour un jour j à partir des relations linéaires précédemment établies (cf. figures 1 et 2) et de l'équation suivante :

$$\Delta T_{i,j}^{est} = \frac{\widetilde{\Delta T_j} \cdot \sigma_{\Delta T_i}}{\alpha} + \overline{\Delta T_i}$$

où $\Delta T_{i,j}^{est}$ l'intensité de l'ICU au point i pour un jour j

$\widetilde{\Delta T_j}$ la différence de température entre la station micro-météorologique i et la station météorologique de référence normalisée par sa moyenne $\overline{\Delta T_i}$ et son écart-type $\sigma_{\Delta T_i}$

$\alpha = -1$ si $\overline{\Delta T_i} < 0$, 1 dans le cas contraire

Résultats

L'analyse de la qualité des données micro-météorologiques a permis de mettre en évidence les deux propriétés fondamentales pour caractériser un abri ventilé : sa sensibilité au rayonnement et sa constante de temps. Le traitement de données issues d'une campagne d'inter-comparaison d'abris menée par l'Organisation Mondiale de la Météorologie a permis de comparer ces propriétés pour 11 abris couramment utilisés en météorologie. Les résultats de cette étude sont accessibles dans (Bernard et al., 2019).

Les variations spatiales et temporelles de l'ICU ont été modélisées pour chaque saison. L'analyse des résultats a permis de mettre en évidence que le NDVI est un paramètre déterminant pour expliquer l'intensité de l'ICU tandis que les variations temporelles de l'ICU sont principalement régies par la vitesse du vent et la nébulosité. Le détail de la méthodologie employée et des résultats obtenus peuvent être consultés dans Bernard, Musy et al. (2017).

Les résultats obtenus ont été validés sur l'agglomération de Nantes. Ils ont permis de cartographier l'intensité nocturne de l'ICU pour la commune de Nantes dans des conditions météorologiques estivales propices à son développement. L'équation a été utilisée conjointement aux modèles spatiaux et temporels obtenus pour la saison estivale pour calculer la température de 855 points uniformément répartis tous les 300 m sur le territoire nantais. Les valeurs d'ICU obtenues ont ensuite été interpolées à partir d'une triangulation de Delaunay (fig. 3).

Conclusion

Ce travail de thèse présente une méthodologie complète permettant de cartographier le phénomène d'ICU seulement à partir d'informations géographiques et météorologiques. Cependant, avant d'être utilisé dans un cadre opérationnel, ce travail devra faire l'objet de modifications (par exemple en utilisant des jeux de données plus conséquents et en modifiant le rayon du cercle utilisé pour l'analyse géographique des sites de mesure). Pour plus d'informations concernant les limites de la méthode proposée, se référer à Bernard, Musy et al. (2017).

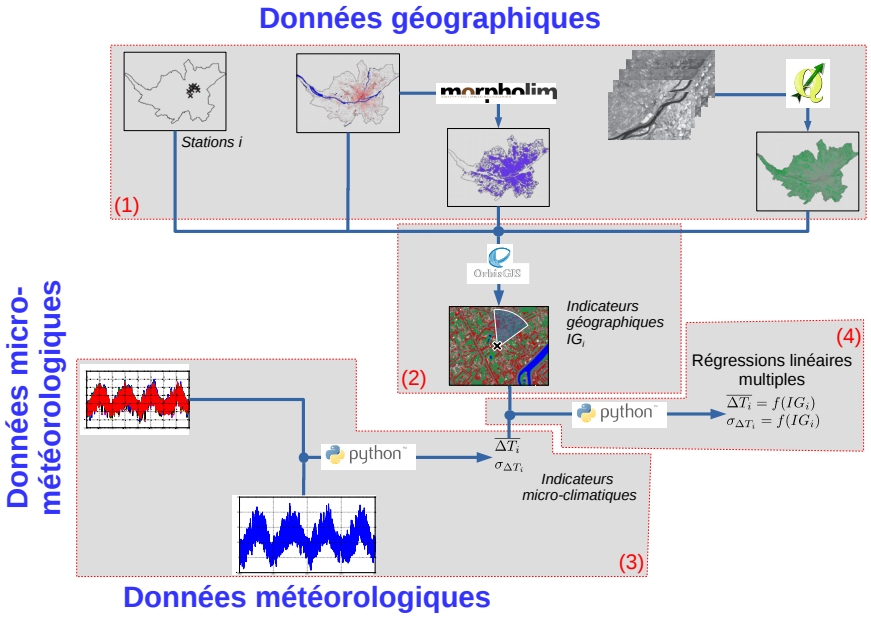

Figure 1 : Méthodologie utilisée pour déterminer les modèles régissant les variations spatiales de l'ICU (source : adapté de Bernard, Bocher, et al. - 2017)

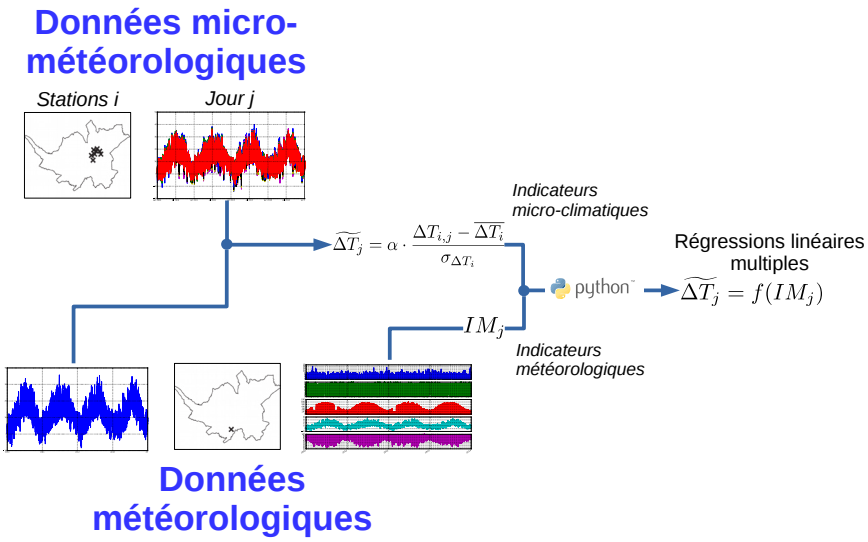

Figure 2 : Méthodologie utilisée pour déterminer les modèles régissant les variations temporelles de l'ICU (source : adapté de Bernard, Bocher, et al. - 2017)

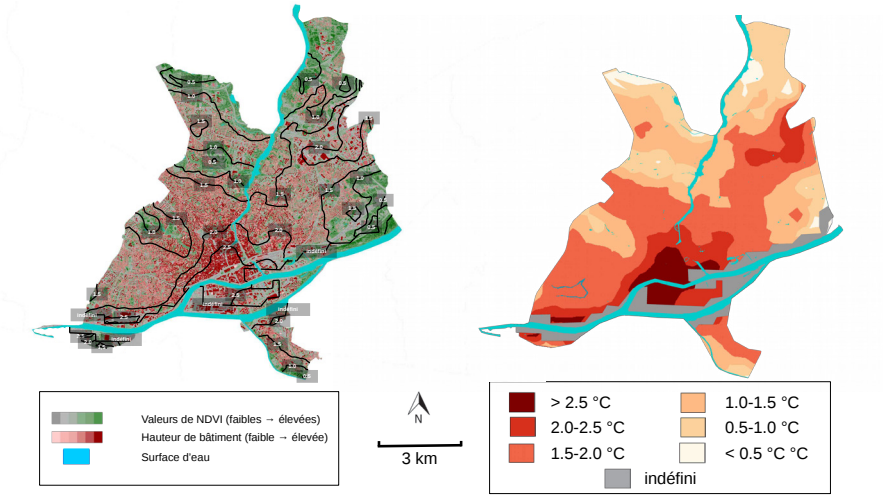

Figure 3 : Intensité de l'ICU au sein du territoire nantais pour une nuit estivale aux conditions météorologiques propices à son développement (source : adapté de Bernard, Musy et al. - 2017)

Références

Bernard, J., Bocher, E., Kéravec et *al.*, 2017, "Towards processing chains to estimate the urban heat island intensity using FOSS tools" *dans European Conference for Applied Meteorology and Climatology 2017. Dublin, Ireland: European Meteorological Society. Consulté à l'adresse https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01585523.*

Bernard, J., Kéravec, P., Morille, B. et *al.*, 2019,. « Outdoor Air Temperature Measurement: A Semi-Empirical Model to Characterize Shelter Performance" *Climate*, 7(2). https://doi.org/10.3390/cli7020026

Bernard, J., Musy, M., Calmet, I et *al.*, 2017, "Urban heat island temporal and spatial variations: Empirical modeling from geographical and meteorological data". *Building and Environment*, 125, p. 423–438.

Landsberg, H., 1981, "The Urban Climate" *International Geophysics* (1st Edition, Vol. 28).