

RÉSEAU DE MESURES ET ANALYSES SPATIO-TEMPORELLES DE L'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN GRENOBLOIS : L'ÉTÉ 2020

Xavier FOISSARD¹, Sandra ROME¹, Sylvain BIGOT¹, Anne-Cécile FOUVET²

¹ Université Grenoble Alpes, IGE UMR 5001 CNRS, CS 40700 38058 Grenoble Cedex 9, France

[xavier.foissard@univ-grenoble-alpes.fr ; sandra.rome@univ-grenoble-alpes.fr ;
sylvain.bigot@univ-grenoble-alpes.fr]

² Ville de Grenoble, 11 Bd Jean Pain 38000 Grenoble, France [anne-cecile.fouvet@grenoble.fr]

Résumé : Une première étude menée à Grenoble a permis de mettre en évidence l'intensité, l'étendu et la fréquence de l'îlot de chaleur urbain (ICU) notamment lors d'épisodes de chaleur intense. Un réseau d'observation composé de 2 stations météorologiques et de 30 capteurs de température est mis en place à partir de l'été 2020. L'ICU grenoblois est défini par l'analyse des facteurs météorologiques conditionnant sa présence dans un contexte topographique spécifique. A partir de ces premiers résultats, une cartographie de l'ICU est réalisée mettant notamment en évidence le caractère advectif de l'ICU à Grenoble associée à des brises thermiques.

Mots-Clés : îlot de chaleur urbain, brises de montagne, réseau de mesures, Grenoble.

Abstract : The measurement network and the analysis of urban heat island in Grenoble, summer 2020. A first study showed intensity, spread and frequency of the urban heat island (ICU) especially during intense heat wave. A network composed by 2 weather stations and 30 thermal sensors were installed through the 2020 summer. The analysis of weather factors leads to define the ICU occurrence in a specific topographic context. According to these first results, we map the ICU and its advective aspect linked to thermal breezes. Titre + texte 8 lignes maximum ; Calibri 11 ; espace 18 points avant, 6 points après.

Keywords : urban heat island, mountain breezes, measurement network, Grenoble

Introduction

À ce jour, l'année 2020 est l'année la plus chaude enregistrée en France depuis le XX^{ème} siècle avec 14,1°C de température moyenne annuelle (+1,5°C au-dessus de la normale 1981-2010). Plus localement, à l'aéroport Grenoble-Saint-Geoirs en Isère, cette même année est la seconde la plus chaude depuis l'installation de la station météorologique en 1973. Ces records illustrent l'augmentation moyenne des températures constatée dans le contexte du changement climatique de l'échelle globale aux échelles fines. Cette augmentation se traduit notamment par l'accroissement du nombre de vagues de chaleur et leur intensification dont les impacts en ville sont renforcés car associés au phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU) (Rousseau, 2005).

Face à ces enjeux, les collectivités territoriales souhaitent développer la connaissance climatique de leur territoire afin de mettre en œuvre des stratégies d'adaptation. L'étude est menée à Grenoble et a pour but d'identifier et d'analyser le phénomène de l'ICU. Un réseau de mesures de haute densité spatiale est déployé. Les types de temps associés à l'ICU sont analysés ; l'objectif vise d'une part, à établir les conditions favorables à la mise en place de l'ICU et, d'autre part, à pointer les spécificités liées au contexte topographique de la ville (Hidalgo *et al.*, 2018 ; Dubreuil *et al.*, 2020). L'objectif est d'évaluer la variabilité spatiale des gradients thermiques associés à l'ICU grenoblois et de les spatialiser.

1. Observation de l'îlot de chaleur urbain grenoblois

1.1. Mise en place d'un réseau de mesures adaptés

L'ICU est un phénomène topoclimatique local dont l'échelle d'influence varie d'une centaine de mètres à 1 km environ (Oke *et al.*, 2017). Le réseau d'observation synoptique de Météo-France n'est pas adapté à l'observation de ce phénomène dans le contexte grenoblois. Ce réseau de mesures préexistant est composé d'une station périurbaine au nord-est de Grenoble à 12 km et d'une station urbaine située au nord-ouest de la commune de Grenoble à la confluence du Drac et l'Isère (Rome *et al.*, 2020). Elles sont respectivement nommées en figure 1 : *Le Versoud* et *CEA*. La Ville de Grenoble prend place à la jonction de trois vallées, formant un « Y » entre les massifs de la Chartreuse au nord, du Vercors à l'ouest et de Belledonne au sud-est. Ces reliefs imposants culminent à plus de 1000 m d'altitude, offrant un contexte topographique complexe aux communes présentes dans la vallée. Ainsi les stations météorologiques *Le Versoud* et *CEA* sont localisées dans deux portions distinctes de la vallée du Grésivaudan.

Au sein de ces éléments topographiques, l'observation de l'ICU requiert un réseau de mesure complémentaire et adapté afin d'observer les gradients de température à l'échelle des quartiers. Deux stations météorologiques de modèle *Vantage Pro 2* (Davis Instruments®) ont été implantées, l'une dans le centre de Grenoble (*Centre-Ville*) et la seconde au *Centre Horticole* à l'est de Grenoble. Elles ont pour but de qualifier l'état de l'atmosphère par l'enregistrement au pas de temps horaire de la température, de l'humidité relative, des précipitations, du vent (intensité et direction) et de la pression. Le choix du lieu d'implantation a été défini afin de mesurer l'amplitude maximum de l'ICU entre le centre et la périphérie ainsi que la présence éventuelle de brises orientées selon le sens des vallées.

Associé à ces deux stations météorologiques, un réseau de 30 capteurs de température a été implanté sur l'ensemble de la commune de Grenoble afin de mesurer les gradients de température relatifs à l'ICU. A partir de l'occupation du sol (bâtiments, surfaces imperméabilisées et végétation) et des principaux indicateurs de formes urbaines influant sur l'ICU ont été calculés, la cartographie des « Local Climate Zones » a permis de définir et de qualifier les différents quartiers (Stewart, 2012). La décision du lieu d'implantation des capteurs a été élaborée selon les différents types de LCZ en présence dans la ville et selon le gradient potentiel de l'ICU. Le modèle des capteurs retenu est *Tinytag Talk2* (Gemini®), monté avec un abri RS3 (Onset®) ; il présente l'avantage d'être économique, compact et d'être facile à installer sur le mobilier urbain ; chaque capteur est installé à environ 3 m du sol afin de prévenir d'éventuels risques de dégradations.

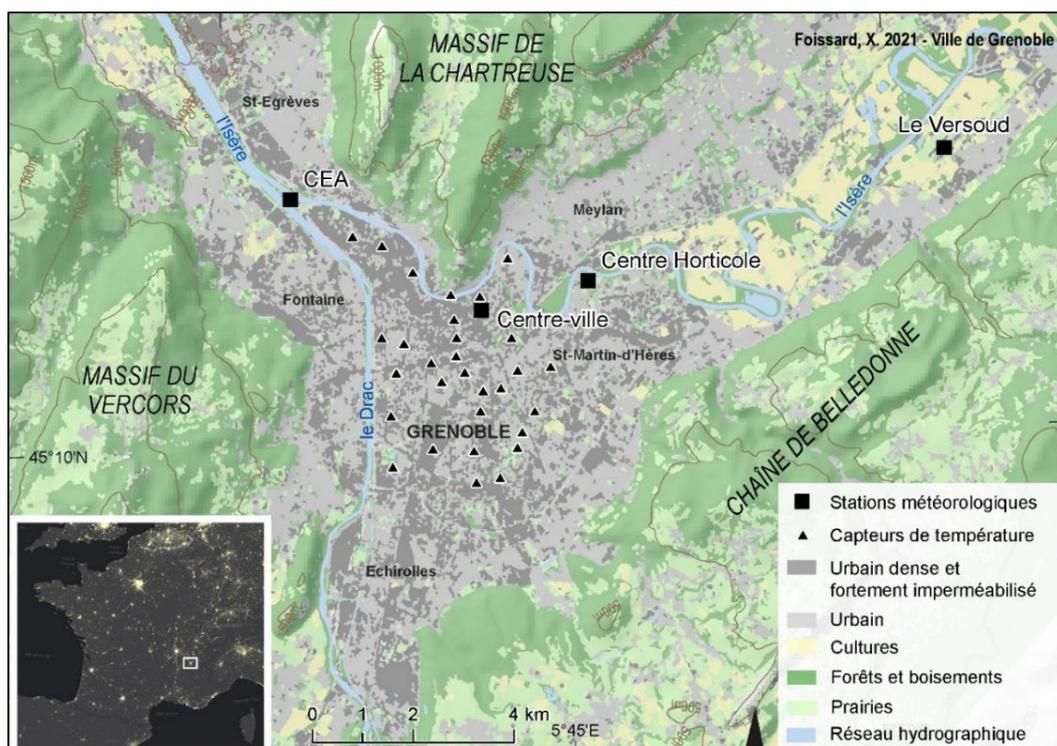


figure 1. Le réseau d'observation de l'ICU à Grenoble. Les stations *Le Versoud* et *CEA* sont gérées par Météo-France.

1.2. Caractéristiques de l'été 2020 à Grenoble

L'ensemble des points d'observation du réseau est opérationnel à dater du 22 juillet 2020 ; la période d'analyse de l'ICU s'étend jusqu'au 30 septembre 2020 afin de couvrir l'ensemble des vagues de chaleur estivales. Durant ces premiers mois d'enregistrements, plusieurs vagues de chaleur successives sont relevées (figure 2). Celles-ci peuvent être dénombrées en trois périodes pour lesquelles la température maximale (Tx) relevée est supérieure à 30°C et la température minimale (Tn) relevée en ville est supérieure à 19°C (voir les trois bandes grisées en figure 2). L'intensité de l'ICU s'exprime par la différence des Tn relevées entre les stations météorologiques *Centre-ville* et *Le Versoud* (notée ΔTn). La figure 2 montre la variabilité de ΔTn dont la présence associée aux vagues de chaleur engendre une exposition des citoyens à des températures nocturnes élevées à la suite d'une journée chaude. Ainsi la station *Centre-ville* dénombre 16 nuits tropicales (nuits où $Tn \geq 20^\circ\text{C}$) contre aucune pour la station *Le Versoud* pour la même période. Cet écart traduit l'empreinte de l'ICU sur cet indicateur thermique. Un pic nocturne a été relevé le matin du 1^{er} août 2020, la Tn relevée à 7h (heure locale) était de 24,3°C dans le centre-ville de Grenoble contre 19,0°C dans la campagne avoisinante (*Le Versoud*). Ce pic fait suite à une Tx de 38,8°C relevée la veille. Au cours de la période analysée, on dénombre 34 « journées chaudes » (où $Tx \geq 30^\circ\text{C}$) dont 9 « journées très chaudes » (où $Tx \geq 35^\circ\text{C}$).

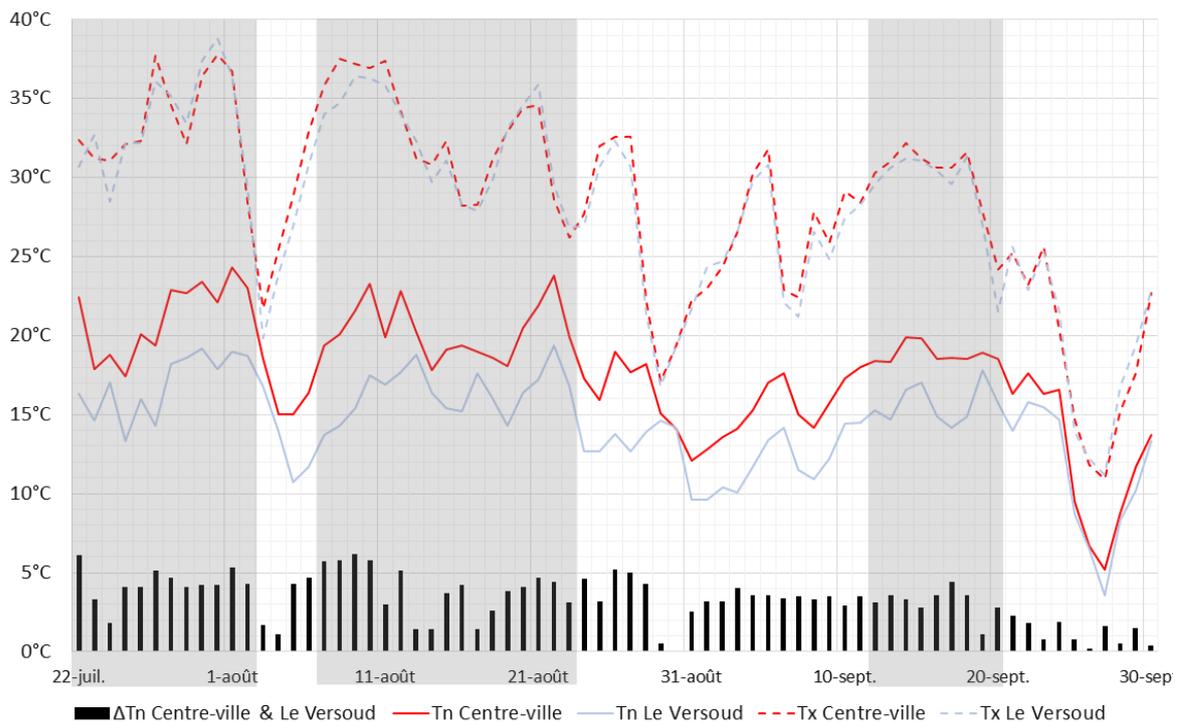


figure 2. Températures maximales (Tx) et minimales (Tn) quotidiennes observées par la station météorologique urbaine (Centre-ville) et extra-urbaine (Le Versoud) du 22 juillet au 30 septembre 2020 à Grenoble. La différence entre les Tn des deux stations est exprimée par ΔTn . Les bandes grises indiquent à la période des trois épisodes de chaleur identifiés.

1.3. Définition de l'îlot de chaleur urbain grenoblois selon les types de temps

Dans ce contexte estival chaud, la variabilité de l'ICU est analysée en fonction des conditions météorologiques. L'intensité de l'ICU est estimée par ΔTn , cependant elle dépend de situations radiatives avec un vent faible (Cantat, 2004). La relation entre la vitesse du vent observé au moment de l'enregistrement de la Tn et la présence d'un gradient de température nocturne ville/campagne (ΔTn) est illustrée en figure 3a. Seules 3 nuits enregistrent un $\Delta Tn \geq 3^\circ\text{C}$ avec un vent supérieur à 2 m/s, soit seulement 6% des nuits. En moyenne le vent observé au moment de la mesure de la Tn est de 1 m/s pour $\Delta Tn \geq 3^\circ\text{C}$.

La distribution de ΔTn (figure 3b) montre une distinction entre deux groupes au seuil de 3°C, où les 2/3 des enregistrements sont supérieurs à ce seuil. Ne disposant pas de mesures de l'état du ciel pour cette période d'enregistrement, l'amplitude thermique quotidienne (Tx-Tn) permet indirectement d'associer les fortes amplitudes à un ciel clair. La figure 3c présente la combinaison résultante entre l'intensité du vent et l'amplitude thermique avec ΔTn . Pour une amplitude thermique $>10^\circ\text{C}$ avec un vent inférieur à 2 m/s, 83%

des nuits où l'écart ΔT_n est supérieurs ou égal à $+3^\circ\text{C}$ est relevé. Ainsi l'ICU est défini comme présent avec un seuil $\Delta T_n \geq 3^\circ\text{C}$ et un vent $\leq 2 \text{ m/s}$, soit un total de 44 nuits d'observation pour un ICU moyen de $+4,2^\circ\text{C}$ avec un ICU maximum de $+6,2^\circ\text{C}$.

2. La variabilité spatiale de l'îlot de chaleur urbain

2.1. Spatialisation de l'îlot de chaleur urbain moyen

A partir de ces 44 nuits où l'ICU est présent, l'intensité moyenne de l'ICU est définie pour l'ensemble des points d'observation (figure 4). L'étape de spatialisation des gradients thermiques est réalisée à partir de plusieurs indicateurs de formes urbaines : la fraction bâtie, le « Sky View Factor » (l'effet de canyon urbain, SVF), la part de surfaces imperméabilisées, la fraction de végétation haute et basse. Le modèle de spatialisation est construit en établissant les échelles les plus corrélées à l'ICU pour l'ensemble des paramètres (Foissard *et al.*, 2019). Pour la modélisation de l'ICU, en figure 4, deux paramètres ont été employés : la fraction de végétation dans un rayon de 400 m, associée à l'indice SVF calculé pour un rayon de 300 m. Le modèle obtenu explique 83% de la variabilité spatiale de l'ICU (pour une validation croisée de 10%) avec une RMSE (racine carrée de la moyenne des erreurs) de 0,32 et une MAE (moyenne de l'erreur absolue) de $0,24^\circ\text{C}$.

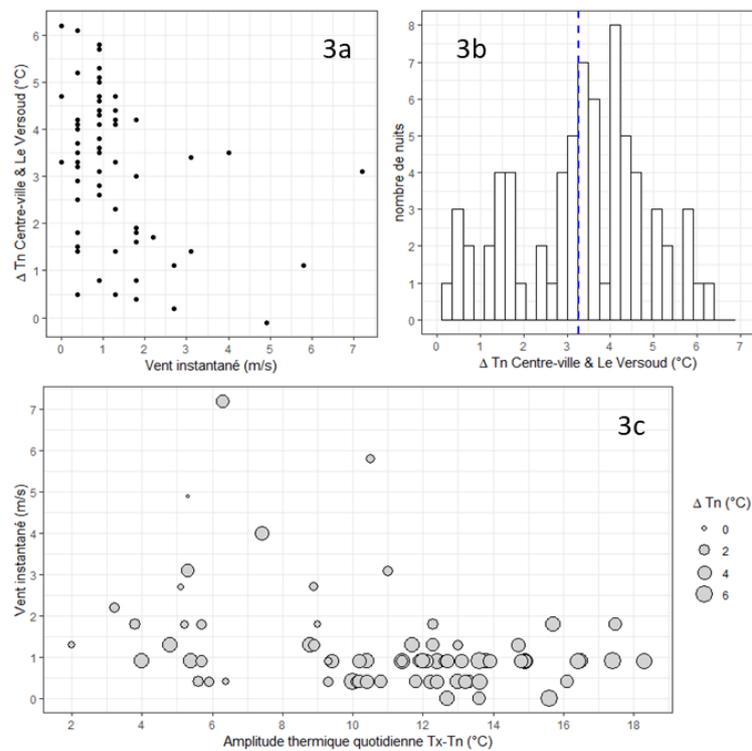


figure 3. Relation entre ΔT_n et le vent (3a) et combiné à l'amplitude thermique (3c). Distribution de ΔT_n (3b).

L'ICU le plus intense est observé dans les quartiers du centre-ville composé d'un tissu bâti dense (compris entre 40% et 50%) avec en moyenne 10% de fraction de végétation. Cependant le gradient de température du centre vers la périphérie ne forme pas une structure concentrique. Au nord du centre un abrupt de 300 m de hauteur surplombe la ville (nommée La Bastille). Il est très largement couvert par une végétation arborée (80%). Ce relief escarpé n'est pas pris en compte par la modélisation. Le point de mesure situé au pied de La Bastille est situé au bord de l'Isère, où l'intensité de l'ICU relevé diminue de $-1,5^\circ\text{C}$ par rapport au centre. Cette relative fraîcheur peut s'expliquer par l'ouverture liée à la plus faible présence de bâtiments et par la proximité de ladite rivière en contre-bas. L'effet de canyon (SVF) est de 0,73 pour ce site contre 0,60 en moyenne dans le centre.

La cartographie de l'ICU met en évidence les principaux parcs de Grenoble avec les îlots de fraîcheurs associés (en moyenne $+2^\circ\text{C}$ par rapport à la station *Le Versoud*). Les îlots de fraîcheur les plus remarquables

Oke T.R., Mills A., Christen A., Voogt J.A., 2017 : *Urban Climates*. Cambridge University Press, 519 pages.

Rome S., Bigot S., Foissard X., Madelin M., Duché S., Fouvet A.-C., 2020. Les deux épisodes caniculaires de l'été 2019 à Grenoble : constat et perspective pour une gestion des extrêmes thermiques futurs. *Climatologie*, **17**, 12.

Rousseau D., 2005. Analyse fine des surmortalités pendant la canicule 2003. *La Météorologie*, **51**, 16-22.

Stewart I. D., Oke T. R., 2012. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **93**, 1879-1900.