

L'ÎLOT DE FRAÎCHEUR URBAIN À STRASBOURG : MYTHE OU RÉALITÉ?

Pierre KASTENDEUCH¹, Naïs MASSING², Nathalia PHILIPPS³, Georges NAJJAR⁴

¹ ICube, 300 bd Sébastien Brant, 67412 Illkirch CEDEX, kasten@unistra.fr

² Faculté de géographie, 3 rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg CEDEX,

³ ICube, 300 bd Sébastien Brant, 67412 Illkirch CEDEX, nathalia.philipps@strasbourg.eu

⁴ ICube, 300 bd Sébastien Brant, 67412 Illkirch CEDEX, georges.najjar@unistra.fr

Résumé : l'îlot de fraîcheur urbain (IFU) est un phénomène qui se traduit par des températures plus faibles en ville qu'à la campagne en journée. La présence d'IFU a été démontrée pour un certain nombre de villes dans le monde, mais des interrogations subsistent pour savoir s'il se manifeste partout. Le mécanisme physique qui en est à l'origine est connu, de même que son lien avec la morphologie urbaine et les conditions météo. Les mesures dont nous disposons à Strasbourg tendent à prouver qu'il existe également dans cette ville, sous une forme plus ou moins intense selon les sites, les saisons et les conditions météo.

Mots-Clés : IFU, îlot de fraîcheur urbain, Strasbourg, températures.

Abstract : the urban cool island is a phenomenon that results in lower temperatures in the city than in the countryside during the day. The presence of IFU has been demonstrated for a number of cities around the world, but questions remain as to whether it is manifesting everywhere. The physical mechanism behind it is known, as well as its link with urban morphology and weather conditions. The measurements we have in Strasbourg tend to prove that it also exists in this city, in a more or less intense form depending on the sites, the seasons and the weather conditions.

Keywords : ICU ; urban cool island, Strasbourg, temperatures.

Introduction

L'îlot de fraîcheur urbain (IFU) est un phénomène très peu étudié en comparaison de l'îlot de chaleur urbain (ICU) qui accapare toute l'attention des scientifiques. L'IFU est le phénomène opposé à l'ICU : il correspond à des températures de l'air plus faibles en ville qu'à la campagne et il se produit plutôt en journée dans des quartiers très urbanisés. Il ne doit pas être confondu avec les zones fraîches qui peuvent se former au cours de la nuit, comme dans les parcs urbains par exemple. Le phénomène a été mentionné dans des villes telles que Bragança (Gonçalves et al., 2018), Fès (Johansson, 2006), Hong-Kong (Yang et al., 2016), Adelaïde (Erell et Williamson, 2007), Okayama (Shigeta et al., 2009) mais aucun article n'a, à notre connaissance, jamais été publié sur le sujet pour une ville Française. Le but de cette étude est d'établir si un IFU est capable de se former dans une agglomération de taille moyenne comme Strasbourg qui est soumise à un climat tempéré de type continental. Nous en rappelons d'abord le mécanisme, puis nous comparons l'IFU de quelques sites très différents au plan de la morphologie urbaine, ensuite nous en étudions la saisonnalité, la fréquence et l'intensité pour un site de centre-ville. Nous mettrons également en évidence le rôle des conditions météorologiques et de la morphologie urbaine. Enfin, les résultats obtenus sont analysés par rapport aux incertitudes instrumentales dont il ne faut surtout pas sous-estimer l'importance.

1. Contexte et mécanisme physique

Le mécanisme physique à l'origine de l'IFU survient dans les quartiers densément urbanisés qui présentent des canyons profonds et étroits, où les bâtiments bloquent le rayonnement solaire en pleine journée, ce qui procure de l'ombre et permet de conserver des températures fraîches (Yang et al., 2016). Simultanément l'air se réchauffe rapidement dans la zone rurale ensoleillée (Gonçalves et al., 2018). Ainsi,

l'IFU dépend de la morphologie urbaine et du sky view factor¹ : plus ce dernier est faible, plus l'air est frais (Johansson, 2006). Dans leur étude, Gonçalves et al. (2018) obtiennent les IFU maximum dans des Local climate zone (LCZ) de type 2 (résidentiel) et 8 (commercial) et expliquent ces résultats par l'importance des ombres portées obtenues. Le phénomène survient donc essentiellement en matinée ou au cours de la journée dans les zones où l'ombre persiste (Polrolniczak et al., 2017), mais le début de matinée semble être la période la plus propice puisque le soleil est encore assez bas sur l'horizon et les ombres importantes. L'IFU ne dépend pas seulement des facteurs morphologiques. Il dépend aussi des conditions météorologiques, en particulier du vent et de l'ensoleillement. Ainsi Gonçalves et al. (2018) montrent clairement une diminution de l'intensité de l'IFU avec la vitesse du vent et notent aussi l'absence d'IFU intense au cours des situations précipitantes à fortes couvertures nuageuses. Erell et Williamson (2007) confirment ces observations et notent que les IFU les plus intenses sont obtenus pour des journées à ciel clair quand le rayonnement solaire direct prédomine, en association avec des vents faibles et des températures élevées. Polrolniczak et al. (2017) observent que les situations les plus propices à des IFU de forte intensité ($IFU \leq -2^{\circ}C$) sont les situations anticycloniques générant un flux d'air chaud de sud sur la Pologne. Johansson (2006) observe dans la ville de Fès des différences pouvant atteindre 6 à 10°C durant les jours les plus chauds dans des ruelles très étroites. D'après Erell et Williamson (2007), l'IFU est un phénomène qui présente également une forte saisonnalité puisqu'il est plus fréquent et intense durant les mois chauds que pendant les mois froids.

2. Zone d'étude et données

La ville de Strasbourg se situe dans le département du Bas-Rhin au sein de la région Grand Est français. C'est une ville qui compte environ 300 000 habitants répartis sur 80 km². Elle est implantée dans une plaine à proximité du Rhin qui marque la frontière entre l'Allemagne et la France. Elle est encadrée par les massifs de la Forêt Noire d'un côté et les Vosges de l'autre. C'est une ville où le climat est de type tempéré classé Cfb d'après Köppen-Geiger (fr.climate-data.org) avec une température moyenne annuelle de 11.1°C. Il peut parfois y faire très chaud en été tandis que les hivers sont plutôt frais (Kastendeuch et al., 2019, Philipps et al., 2020). Notre travail a été réalisé à partir des données de 5 stations météorologiques urbaines et d'une station météorologique rurale qui sert de référence (Figure 1). Pour tous ces sites nous possédons des mesures de température de l'air sous abri depuis 2013. Toutes ces données sont acquises par des thermo-hygromètres rigoureusement contrôlés et placés sous abris selon les normes météorologiques en vigueur (Abri SOCRIMA à coupelles). La station « rurale » de référence se situe à 15 kilomètres du centre de Strasbourg au niveau de l'aéroport d'Entzheim. Elle fait partie du réseau d'observation synoptique de Météo France et fournit aussi bien la température que la vitesse de vent et la fraction d'insolation. Les autres stations sont implantées sur des sites urbains variés : une clairière au sein d'un parc urbain (Jardin Botanique, Météo-France), un toit plat de bâtiment (DRIRE, ATMO Grand Est), une petite place (Clémenceau, ATMO Grand Est), un carrefour piétonnier (Lafayette, Université de Strasbourg). Notons cependant que la station Lafayette n'a fonctionné que durant les trois premières années seulement. Toutes les données de températures ont été contrôlées pour détecter d'éventuelles valeurs manquantes puis mises en forme pour être traitées. Tous les écarts de températures (ΔT) ont été calculés par rapport à Entzheim et les écarts hors normes ont été contrôlés.

¹ Facteur qui indique le pourcentage de ciel visible en un endroit.

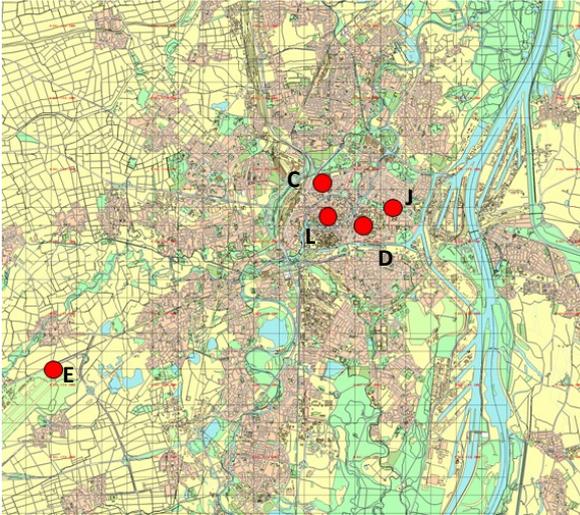


figure 1. Localisation des stations de mesures : E = Entzheim, J = Botanique, D = DRIRE, L = Lafayette, C = Clémenceau.

3. Comparaison de l'IFU par sites

Les ΔT calculés pour les quatre sites urbains mentionnés ci-dessus sont présentés pour la saison d'été uniquement (Figure 2). Le comportement diurne des IFU (lorsque le ΔT est négatif) est nettement différent selon les sites car la configuration géométrique provoque un masque particulier à chaque fois. Lafayette est le site où l'îlot de fraîcheur dure le plus longtemps au cours de la journée puisqu'il s'étale de 8 h à 16 h, avec un minimum entre 10 h et 12 h. C'est le site qui se situe dans le canyon urbain le plus encaissé : le rapport hauteur/largeur y est de l'ordre de 1.1. Le site de Clémenceau est beaucoup moins favorable à l'IFU : cette placette est beaucoup plus ouverte au sud-ouest ce qui fait qu'elle connaît surtout un IFU le matin entre 8h et 11h lorsque le soleil est masqué par les bâtiments, puis la zone finit par se réchauffer et l'IFU disparaît l'après-midi. Le site de la DRIRE, qui se situe sur une toiture plate voit le soleil toute la journée et c'est celui qui échappe le plus à l'IFU : notons cependant que l'IFU n'y est pas totalement absent puisqu'il survient pendant 25% du temps à 12 h TU par exemple. Le site Botanique se situe au milieu d'une clairière au sein d'un parc densément végétalisé. C'est un site qui subit un ICU faible la nuit et un double IFU diurne : le premier entre 6 h et 9 h du matin et le second entre 14 h et 19 h de l'après-midi. Ces IFU correspondent aux deux moments de la journée où les arbres des alentours étendent leurs ombres sur le site, ce qui n'est plus le cas autour de midi, lorsque le soleil est suffisamment haut dans le ciel.

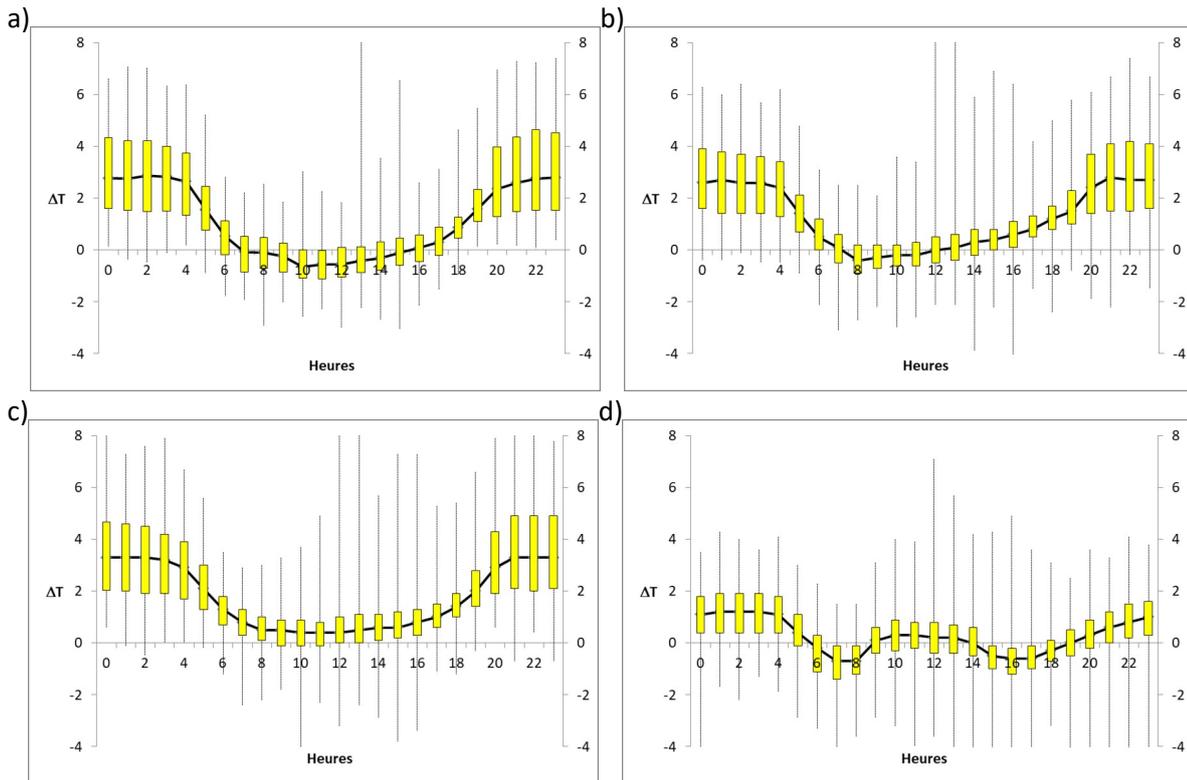


figure 2. Ecarts de températures entre trois sites urbains et Entzheim (a = Lafayette, b = Clémenceau, c = DRIRE, d = Botanique). Médiane, quartiles, extrêmes. Journées d'été pour la période 2013-2016. Les heures sont en TU.

Ce qui est remarquable, c'est que cette station de parc urbain connaît les valeurs d'IFU les plus importantes, quelle que soit l'heure de la journée. Gonçalves et al. (2018) ont observé le même phénomène dans des parcs à Bragança au printemps et en été ($IFU \leq -3^{\circ}C$) et l'expliquent par la présence d'arbres à feuilles caduques qui accentuent l'IFU à la fois par l'effet d'ombre et par l'évapotranspiration. Ces graphiques montrent bien que l'IFU n'est pas clairement un phénomène nocturne : les ΔT de certaines stations ont du mal à descendre en-dessous de zéro la nuit surtout pour celles qui sont les plus urbanisées.

4. Saisonnalité, fréquence et intensité

L'IFU à Strasbourg est un phénomène qui présente une saisonnalité marquée comme le démontre la figure 3a établie pour le site Lafayette. Il est assez peu présent en Hiver (DJF) tandis qu'il est très marqué au printemps et en été (JJA). Durant l'hiver et le printemps, il atteint une intensité médiane autour de midi de près de $-0.5^{\circ}C$. Seule la durée du phénomène est un peu plus courte au printemps (MAM). La disparition de l'IFU en hiver pourrait s'expliquer par l'activation du système de chauffage qui rendrait la ville plus chaude.

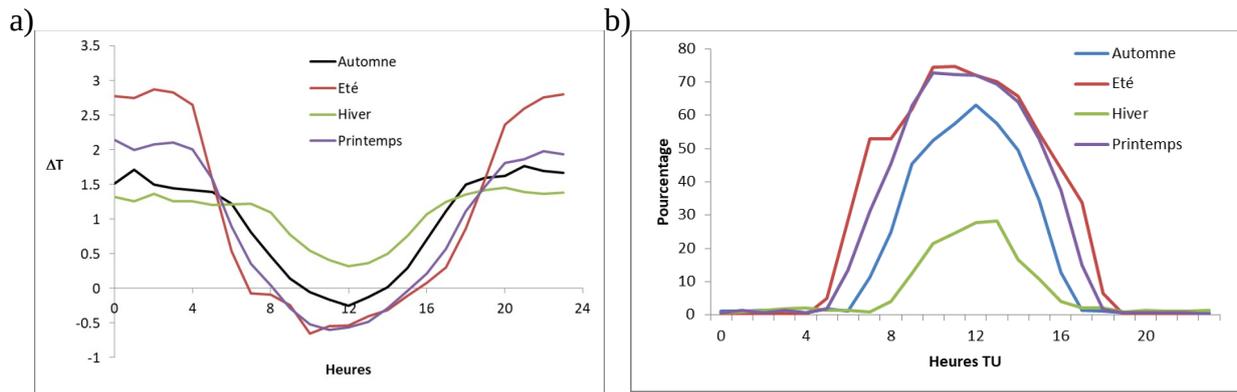


figure 3. a) Écarts saisonniers des températures à Lafayette-Entzheim. Valeur de la médiane, toutes journées, période 2013-2016. Les heures sont en TU. b) Fréquence des IFU ($\Delta T < 0$) selon l'heure de la journée et les saisons.

La fréquence d'occurrence des IFU est élevée en été puisqu'elle atteint les 75% à 11 h (Figure 3b). Le printemps connaît des fréquences assez similaires. En revanche le phénomène est beaucoup moins fréquent en hiver à la même heure ($\approx 25\%$). D'autre part, l'IFU est très peu présent la nuit quelle que soit la saison. Bien que l'IFU se produise avec les mêmes fréquences en été et au printemps, son intensité IFU est la plus forte en été à la station Lafayette entre 10 h et 12 h : la valeur minimale du ΔT est de -3.01°C et les quartiles sont respectivement de -1.07°C , -0.58°C , 0.03°C dans ce créneau horaire (Figure 4). L'îlot de fraîcheur reste donc modeste la plupart du temps.

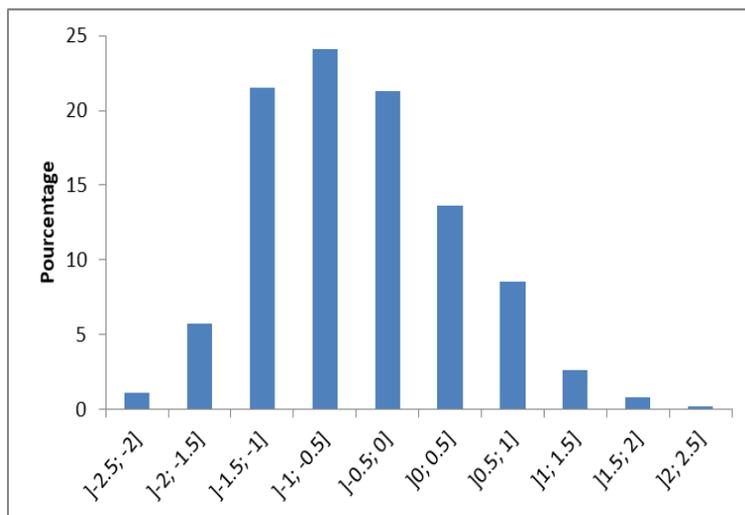


figure 4. Fréquences (fréquence moyenne ? période ??)selon les écarts de températures calculés entre Lafayette et Entzheim entre 10 h et 12 h pour la saison d'été, toutes journées.

5. Le rôle des conditions météorologiques et de la morphologie urbaine

Nous avons cherché à identifier les relations entre l'IFU et les conditions météo, à l'image de ce qu'ont fait Johansson, 2006 et Erell et Williamson, 2007. L'IFU à Strasbourg semble influencé par la fraction d'insolation journalière. Plus la journée est ensoleillée, plus l'IFU est intense (Figure 5a). Il semble également qu'il y ait une certaine relation avec la vitesse du vent. Plus celle-ci est forte, plus l'IFU perd en intensité (Figure 5b).

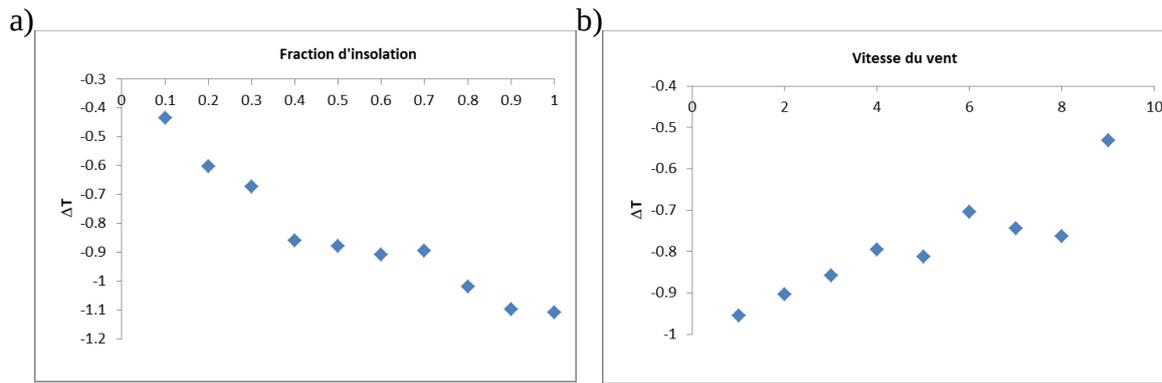


figure 5. Intensité moyenne de l'IFU à 11 h pour la station Lafayette, en fonction de la fraction d'insolation (a) et de la vitesse du vent (b). Toutes saisons et toutes journées pour la période d'observation 2013-2016.

Durant l'année 2015 l'Université de Strasbourg avait mis en place un réseau de mesures temporaire d'une quinzaine de sites dans différents quartiers de Strasbourg afin d'étudier l'ICU nocturne (Philipps et al., 2020). Le sky view factor a été déterminé pour chacun des sites et l'information a été mise en relation avec l'IFU. Il apparaît que l'intensité de l'IFU maximum est directement proportionnelle à la valeur de cet indicateur (Figure 6). Plus le sky view factor est faible, plus le site est frais par rapport à la station de référence rurale, ce qui va dans le sens des observations de Johansson (2006).

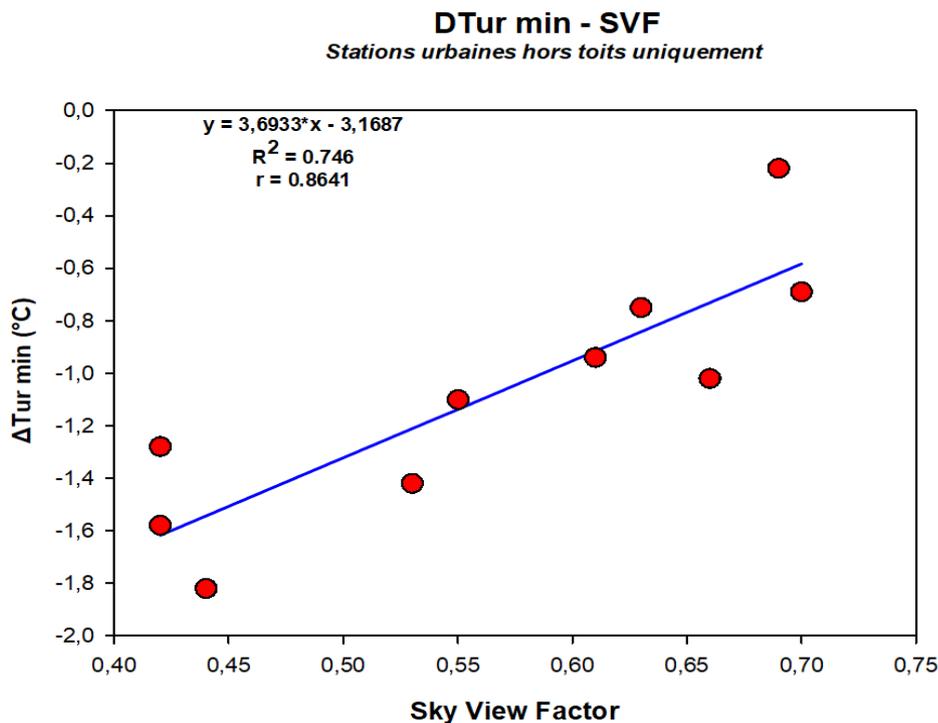


figure 6. Intensité de l'IFU pour un certain nombre de stations urbaines en fonction du sky view factor.

4. Discussion

Nous avons vu que le mécanisme d'IFU peut se justifier au plan physique et les résultats que nous avons obtenus démontrent l'existence d'un IFU à Strasbourg, au même titre que dans d'autres villes dans le monde. Son intensité apparaît cependant assez faible en comparaison avec les observations faites par

Johansson (2006) à Fès dans des canyons très étroits et par des températures très élevées. Les intensités observées à Strasbourg restent néanmoins conformes à celles notées par d'autres auteurs, car elles sont limitées par les caractéristiques du climat local et par la morphologie urbaine autour des points de mesures. La question qui reste en suspens reste le rôle joué par le matériel de mesure et des abris météo qui accueillent les capteurs. Même s'il s'agit d'abris aux normes internationales (SOCRIMA à coupelles) qui sont sensés éliminer le rôle du rayonnement solaire, ils ne sont pas exempts de phénomènes de surchauffe lorsqu'ils sont éclairés et mal ventilés. Ainsi, certaines études montrent des écarts qui peuvent atteindre jusqu'à 1.5°C entre des abris de marques différentes dans ces conditions (Météo-France, 1999), tandis que l'OMM précise et explique dans le Guide des instruments et des méthodes d'observation météorologique (2010) que: « *Les plus grands écarts [de températures] sont causés par les surfaces artificielles et par les ombres portées* » qui modifient complètement l'équilibre radiatif des abris. L'OMM note des différences pouvant atteindre jusqu'à 2.5°C d'écart dans ces conditions. Sur la base de ce constat, il est légitime de se demander si les IFU que nous avons mis en évidence ne résultent pas uniquement d'un artefact dû aux effets du rayonnement sur les abris eux-mêmes ? Comment conclure alors définitivement à la réalité de l'IFU à Strasbourg dont l'intensité se situe justement dans les mêmes marges ?

Conclusion

Au terme de cette étude les mesures démontrent l'existence d'un IFU dans les zones densément urbanisées qui possèdent un sky view factor faible à Strasbourg, puisque les mesures y révèlent des températures plus fraîches lors des journées de la saison chaude et par temps ensoleillé à vent faible par rapport à la zone rurale. Cependant, il convient de rester prudent, car les incertitudes de mesures liées aux abris météorologiques jettent le trouble sur la réalité du phénomène constaté, qui pourrait simplement être la résultante d'un biais lié aux mesures elles-mêmes.

Remerciement : à Météo-France et Atmo Grand Est pour nous avoir facilité l'accès aux données.

Bibliographie

- Erell E., Williamson T., 2007: Intra-urban differences in canopy layer air temperature at a mid-latitude city. *International Journal of Climatology*, **27**, 1243-1255.
- Gonçalves A., Ornellas G., Castro Ribeiro A., Maia F., Rocha A., Feliciano M., 2018 : Urban cold and heat island in the city of Bragança (Portugal). *Climate*, **6**, 14p.
- Johansson E., 2006: Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate : a study in Fez, Morocco. *Building and Environment*, **41**, 1326-1338.
- Kastendeuch P., Najjar G., Philipps N., 2019 : îlot de sécheresse et d'humidité à Strasbourg (France). *Climatologie*, **16**, 72-90.
- Météo-France, 1999 : comparaison d'abris météorologiques, abri CIMEL à coupelles. *Rapport d'essai*, 17 p.
- OMM, 2010 : Partie I Mesure de variables météorologiques. *Guide des instruments et des méthodes d'observation météorologiques*, 742 p.
- Philipps N., Kastendeuch P.P., Najjar G., 2020 : Analyse de la variabilité spatio-temporelle de l'îlot de chaleur urbain à Strasbourg (France). *Climatologie*, **17**, 11 p.
- Polrolniczak M. Kolendowicz L., Majkowska A, Czernecki B., 2017: The influence of atmospheric circulation on the intensity of urban heat island and urban cold island in Poznan, Poland. *Theoretical and Applied Climatology*, **127**, 611-625
- Shigeta Y., Ohashi Y., Tsukamoto O., 2009 : Urban Cool Island in Daytime — Analysis by Using Thermal Image and Air Temperature Measurements. *The seventh International Conference on Urban Climate*, Yokohama, Japan, 4 p.
- Yang X. Li Y., Luo Z., Chan P.W., 2017 : The urban cool island phenomenon in a high-rise high-density city and its mechanisms. *International Journal of Climatology*, **37**, 890-904.