



HAL
open science

INTENSITÉ ET DÉLIMITATION DE L'ÎLOT DE CHALEUR NOCTURNE DE SURFACE SUR L'AGGLOMÉRATION PARISIENNE

Malika Madelin, Sylvain Bigot, Sarah Duché, Sandra Rome

► **To cite this version:**

Malika Madelin, Sylvain Bigot, Sarah Duché, Sandra Rome. INTENSITÉ ET DÉLIMITATION DE L'ÎLOT DE CHALEUR NOCTURNE DE SURFACE SUR L'AGGLOMÉRATION PARISIENNE. Colloque international AIC, Jul 2017, Sfax, Tunisie. halshs-02153329

HAL Id: halshs-02153329

<https://shs.hal.science/halshs-02153329>

Submitted on 12 Jun 2019

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.

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/319824739>

INTENSITÉ ET DÉLIMITATION DE L'ÎLOT DE CHALEUR NOCTURNE DE SURFACE SUR L'AGGLOMÉRATION...

Conference Paper · July 2017

CITATIONS

0

READS

3

4 authors, including:



S. Bigot

Université Grenoble Alpes

144 PUBLICATIONS 395 CITATIONS

SEE PROFILE



Sharad navanth Duche

Huntsman Corporation

5 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE



Sandra Rome

Université Grenoble Alpes

71 PUBLICATIONS 70 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Project

WaTFor : Water and light availability in Tropical Forests (CNES - TOSCA) [View project](#)



Project

ECCLAIRA [View project](#)

Climat, ville et environnement

Actes du colloque



**3-6 juillet 2017
Sfax (Tunisie)**



Editeurs scientifiques
Salem DAHECH et Sami CHARFI

Colloque de l'AIC organisé par l'université de Sfax (FLSH, lab SYFACTE) en collaboration avec l'Association Tunisienne de Climatologie

INTENSITÉ ET DÉLIMITATION DE L'ÎLOT DE CHALEUR NOCTURNE DE SURFACE SUR L'AGGLOMÉRATION PARISIENNE

MADÉLIN M.¹, BIGOT S.², DUCHÉ S.³ ROME S.²

¹Université Paris Diderot / Sorbonne Paris-Cité, UMR PRODIG CNRS, Paris, France, malika.madelin@univ-paris-diderot.fr

²Université Grenoble Alpes, CNRS-IRD-GINP, UMR IGE, Grenoble, France

³Université Grenoble Alpes, CNRS, UMR PACTE, Grenoble, France

Résumé : L'îlot de chaleur urbain est une des principales expressions du climat urbain. Mis en évidence depuis longtemps, il correspond aux différences de température entre les zones urbaines et les zones rurales avoisinantes et il a d'abord été défini à partir des températures de l'air mesurées par les stations des réseaux conventionnels ou par des mesures mobiles. Dans cette étude, nous avons utilisé les températures journalières nocturnes de surface (produit MODIS), à la résolution spatiale de 1 km, sur la période 2002-2017, afin d'analyser l'îlot de chaleur de surface sur la région parisienne. Les différentes images synthétiques (à partir de la moyenne, de la médiane des données, d'une analyse multivariée), fortement dépendantes des conditions de surface, ont montré une influence notable de l'occupation/utilisation du sol ; les températures nocturnes de surface des zones densément urbanisées sont beaucoup plus élevées (+ 6°C) que les zones agricoles avoisinantes, lors des nuits de ciel clair.

Mots-Clés : climat urbain, îlot de chaleur de surface, MODIS, agglomération parisienne.

Abstract: *Intensity and delimitation of the night Surface Urban Heat Island over the Paris metropolitan area.* The Urban Heat Island is one of the main factors of the urban climate. Known for a long time, it corresponds to a temperature difference between urban and rural areas surrounding and was defined firstly from the temperatures measured in the conventional network weather stations or by mobile measurements. In the present study, we used the daily night MODIS Land Surface Temperature (LST) product at 1 km resolution and during the years 2002-2017 in order to investigate the Surface Urban Heat Island (SUHI) over the Paris metropolitan area. The different synthetic images, obtained from the mean, median of all the dates selected and a principal component analysis (PCA), show clearly high surface temperatures over dense urban areas and a strong decrease (over 6°C) from the center of Paris to about 30 km.

Keywords : urban climate, Surface Urban Heat Island (SUHI), MODIS, Paris metropolitan area.

Introduction

Les propriétés thermiques des matériaux de surface en milieu urbain sont très différentes de celles rencontrées en zones rurales et le milieu urbain est souvent rendu imperméable (moins de végétation et de sols humides, plus de surfaces imperméables). Il en résulte des différences de flux radiatifs et convectifs entre ces deux milieux ainsi que des différences de température des surfaces puis de l'air sus-jacent. L'expression la plus emblématique de ces écarts thermiques est le phénomène bien identifié de l'îlot de chaleur urbain (Oke, 1982 ; Stewart, 2011), surtout perceptible la nuit, lors des conditions radiatives. En situation estivale (en particulier de canicule), la température élevée de l'air en ville peut amener à des situations d'inconfort et à un risque sanitaire pour les personnes les plus vulnérables.

Traditionnellement, l'îlot de chaleur urbain est évalué à partir des températures mesurées par les stations des réseaux conventionnels (Cantat, 2014 pour l'agglomération parisienne) ou *ad hoc* (e.g. Foissard, 2015 ; De Lapparent *et al.*, 2015 ; Azevedo *et al.*, 2016). La qualité de l'estimation de l'îlot de chaleur urbain repose alors sur la pertinence de l'implantation des stations et leur représentativité d'un climat dit « urbain » d'un autre « rural » (voir le développement sur les stations pour définir le climat urbain de Grenoble dans Bigot *et al.*, 2017). Pour pallier la faiblesse des points de mesure de la température, plusieurs auteurs s'appuient sur la modélisation numérique des champs de température (e.g. Kastendeuch et

Najjar, 2015 ; Colombert, 2008 et le projet EPICEA sur Paris), d'autres sur les données satellitaires pour définir un « îlot de chaleur urbain de surface » (SUHI *Surface Urban Heat Island* ; e.g. Cheval et Dumitrescu, 2009 ; Dousset *et al.*, 2011 ; Sakhy, 2016).

Dans cette étude, qui s'inscrit dans le prolongement de Madelin *et al.* (2012), il s'agit d'analyser l'îlot de chaleur de surface de l'agglomération parisienne, espace densément urbanisé au centre, avec une population importante (12 millions d'habitants en Île-de-France) et relativement pauvre en stations météorologiques (par exemple, avec seulement 2 stations complètes dans le réseau Météo-France : Montsouris et Tour Eiffel). Après une comparaison des températures de surface et de l'air, nous cherchons à délimiter l'emprise spatiale de l'îlot et à montrer les relations avec l'occupation/utilisation du sol, puis nous étudions la variabilité saisonnière du SUHI.

1. Données utilisées

1.1. Les données de températures de surface

Pour analyser l'îlot de chaleur urbain nocturne de surface, cette étude s'appuie sur le produit MODIS MYD11A1 (satellite *MODerateResolution Imaging Spectroradiometer*Aqua) donnant une estimation de la température de surface (LST - *Land Surface Temperature*) et de l'émissivité, à l'échelle journalière, avec une résolution spatiale d'environ 1 km. Le choix d'utiliser ce produit satellitaire a été motivé par la relative profondeur temporelle des données (depuis 2002) et par l'heure du passage au-dessus de la région concernée, vers 2 h TU. À partir du serveur NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC : <http://lpdaac.usgs.gov>), USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center (Sioux Falls, South Dakota), nous avons téléchargé l'ensemble des images nocturnes journalières LST, de septembre 2002 à mars 2017, et délimité la zone d'étude autour de Paris (150 km du nord au sud et d'ouest en est ; Fig. 1). Parmi ces nuits, nous avons sélectionné les images avec moins de 10 % de valeurs manquantes ou aberrantes (élimination des nuages), puis un contrôle visuel des répartitions spatiales a permis d'éliminer les dates avec, en toute vraisemblance, des biais. Au final, nous retenons 191 nuits pour lesquelles nous disposons d'une estimation de la température de surface. Ces nuits de ciel clair sont principalement des nuits au printemps (43 %, surtout 2011 et 2014), puis en été (27 %) et à l'automne (25 %) et très peu en hiver (5 %), en raison des conditions atmosphériques avec une couverture nuageuse fréquentes. Afin de nous affranchir des variations quotidiennes et saisonnières, nous avons utilisé les anomalies LST (différences entre chaque pixel et la moyenne de l'image).

1.2. Les données de températures de l'air

Pour comparer les champs de température de surface aux données de température de l'air, nous avons retenu deux stations du réseau Météo France (Fig. 1), Paris Montsouris (48°49'18"N, 2°20'16"E, 75 m) et Melun (48°36'37"N, 2°40'46"E, 91 m). Ces deux stations ne sont pas particulièrement représentatives d'un climat respectivement « urbain » et « rural » : la première étant située dans un parc parisien ; la seconde, classiquement utilisée (Cantat, 2004 ; APUR, 2012), certes éloignée d'environ 58 km du centre de Paris, mais installée sur un aéroport. Elles sont surtout retenues en raison de la disponibilité des données horaires.

1.3. Les données d'altitude et d'occupation/utilisation du sol

Afin d'analyser l'effet du relief et de l'occupation/utilisation du sol, nous avons utilisé deux bases de données en accès libre, que nous avons ré-échantillonnées selon l'étendue et la résolution des données MODIS (Fig. 1) : (i) la base de données altimétriques SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) donnant une altitude de surface avec initialement une résolution

d'environ 90 m (*via* le site web du CGIAR-CSI SRTM <http://srtm.csi.cgiar.org>) et (ii) la base de données Corine Land Cover (2000, 2006 et 2012) produite par l'Agence Européenne de l'Environnement à partir de photo-interprétations d'images satellitaires et cartographiant l'occupation et l'utilisation du sol. Ces dernières données ont été récupérées *via* le Service de l'observation et des statistiques (SOeS) du ministère chargé de l'environnement (<http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/>). Nous avons simplifié la nomenclature en regroupant plusieurs classes de différents niveaux hiérarchiques et retenons, au final, 8 classes d'occupation et d'utilisation du sol. Enfin, des dizaines de pixels définis comme « Urbain dense » et « Agricole » ont été sélectionnés comme échantillon pour analyser l'intensité de l'îlot de chaleur de surface.

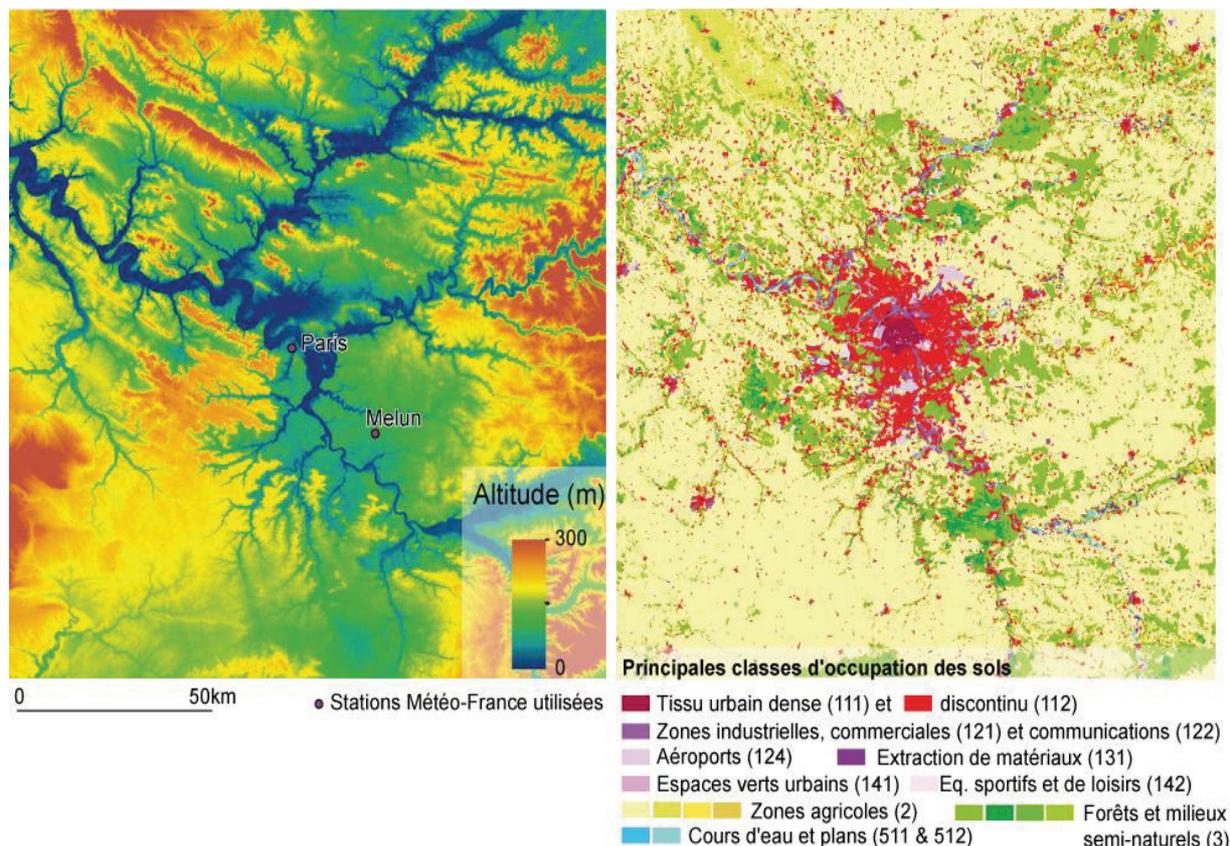


Figure 1. Relief et occupation/utilisation du sol de la zone étudiée, autour de Paris (sources : SRTM ; Corine Land Cover 2006)

2. Résultats

Avant d'explorer l'îlot de chaleur de surface, nous voulions, dans un premier temps, examiner la relation entre températures de surface et températures de l'air (traditionnellement utilisées pour définir l'îlot de chaleur). La corrélation linéaire entre les données ponctuelles des deux stations retenues ici pour évaluer l'îlot de chaleur urbain (avec toutes les réserves déjà mentionnées) et les données des pixels dans lesquels sont situées ces stations est significativement forte (0,99 pour Paris et 0,98 sur un échantillon de données horaires à 2 h TU pour 36 nuits).

2.1. Répartition spatiale et délimitation de l'îlot de chaleur nocturne de surface

La figure 2 représente la répartition spatiale de la médiane calculée, par pixel, à partir des anomalies des 191 nuits retenues. Pour délimiter l'îlot, nous avons détecté les ruptures de pente des gradients thermiques entre le centre de Paris et les zones avoisinantes, selon 36

transects (tous les 10° ; inspiré de Cheval et Dumitrescu, 2009), et représenté sur la figure les 1^{ers}, 2^{èmes} (médianes) et 3^{èmes} quartiles. Les surfaces les plus chaudes apparaissent clairement au centre de l'agglomération, avec des températures nocturnes de surface de plus de 6°C (p/r aux données de la zone entière), une nuit sur deux. Les vallées de la Seine, la Marne, l'Oise et des autres affluents, zones largement artificialisées (Fig. 1), se distinguent également avec des températures de surface plutôt élevées. À l'inverse, des zones agricoles souvent situées plus en altitude présentent des surfaces plutôt plus froides. La délimitation de l'îlot reste globalement très stable au cours du temps (sur les 191 nuits), sauf dans le sud de Paris qui présente une variabilité spatiale élevée, sans doute liée au mitage des territoires (entre tissu urbain discontinu et zones agricoles).

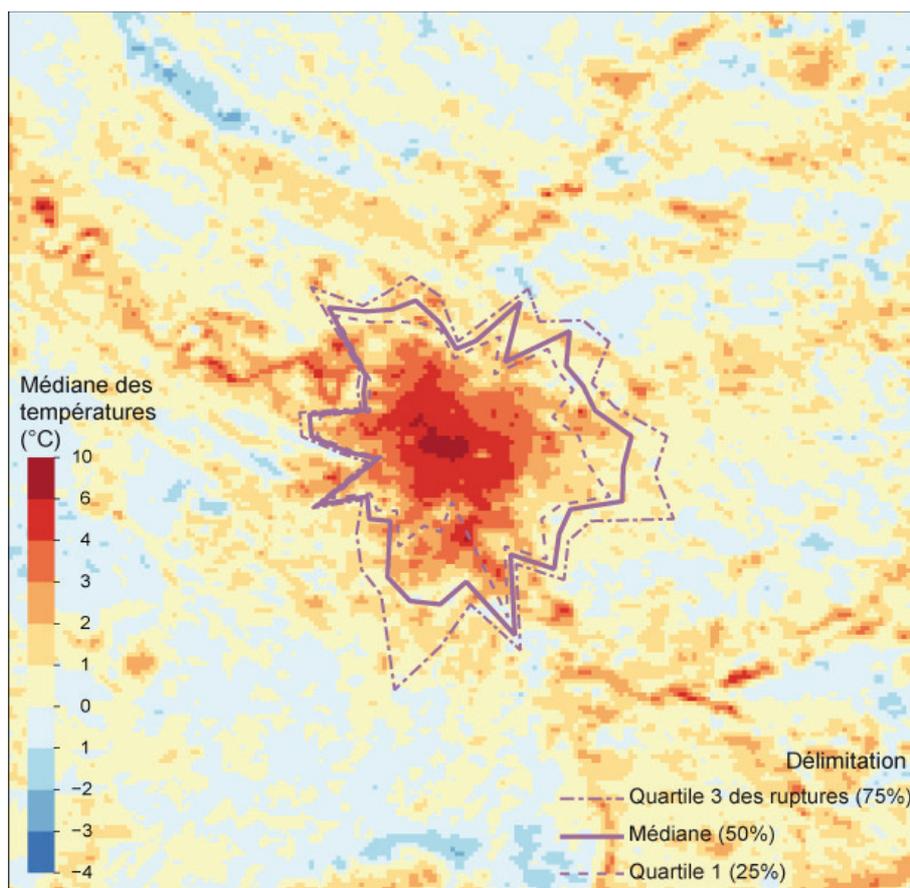


Figure 2. Répartition spatiale des valeurs médianes des anomalies de températures de surface et proposition de délimitation de l'îlot de chaleur urbain de surface (sources : MODIS Aqua 2003-2017, ici sur 101 dates ; Corine Land Cover 2006)

2.2. Influence de l'occupation/utilisation du sol

Pour approfondir cette influence de l'occupation/utilisation du sol, la figure 3 représente les profils thermiques de plusieurs occupations du sol, à partir des *boxplots* réalisés par superposition de ces données avec les médianes des anomalies par pixel. Ce graphique montre très clairement le poids des surfaces agricoles (66,8 %) dans la valeur médiane de l'image (moyenne autour de 0°C), surfaces qui sont les plus froides (tout comme les surfaces forestières). Inversement, les zones urbaines denses ont des températures de surface élevées (avec 75 % des valeurs supérieures à +5°C) et, dans une moindre mesure, les parcs et jardins urbains (en moyenne, +3°C). Le tissu urbain discontinu présente une forte variabilité de températures de surface, en raison de la diversité des occupations du sol.

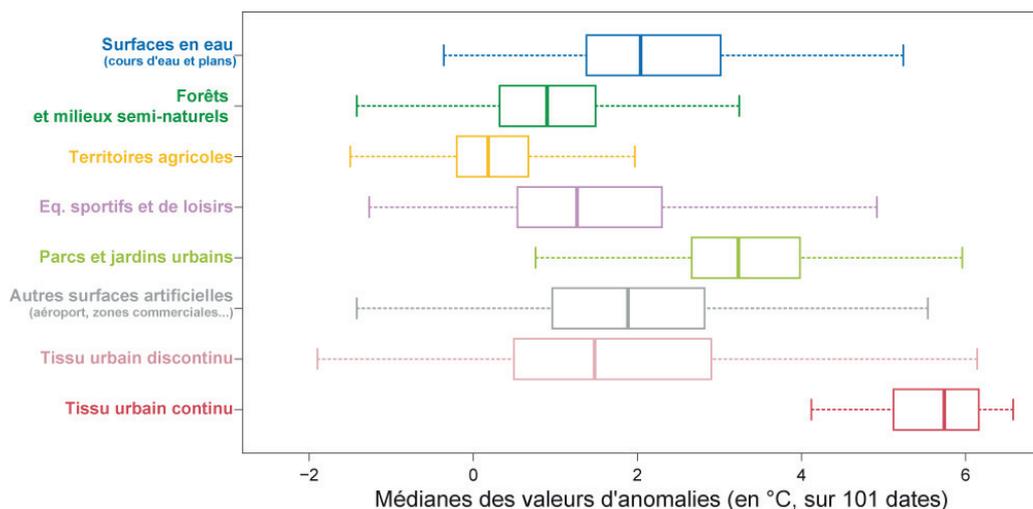


Figure 3. Influence de l'occupation/utilisation du sol sur les températures de surface (médianes des anomalies journalières) ; sources : MODIS Aqua 2003-2017 ; Corine Land Cover 2006

2.3. Images synthétiques des structures spatiales

La structure spatiale des médianes des anomalies de LST se retrouve très fréquemment, comme l'indiquent les résultats d'une analyse en composante principale effectuée sur les températures de surface, ici ramenées au niveau de la mer pour minimiser l'effet altitudinal (utilisation du gradient médian sur l'ensemble des dates : $-0,52^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$; Fig. 4). Le premier axe, très structurant (60 %), s'explique principalement par l'occupation et l'utilisation du sol (une analyse de la variance a montré une relation significative avec les 8 classes retenues). Outre ce résultat peu surprenant au vu des précédentes conclusions, deux gradients spatiaux (NNW-SSE 6,5 % et W-E 5,2 %) structurent l'information ; ils décriraient *a priori* plutôt des répartitions spatiales en lien avec des advections d'air (aucune dépendance saisonnière observée). Rappelons que les nuits retenues à la suite de la critique des données satellitaires sont toutes caractérisées par un ciel clair (quasiment sur la totalité de la zone) et que les conditions atmosphériques liées à des perturbations (pourtant fréquentes sur la région) ne sont pas représentées dans cette analyse.

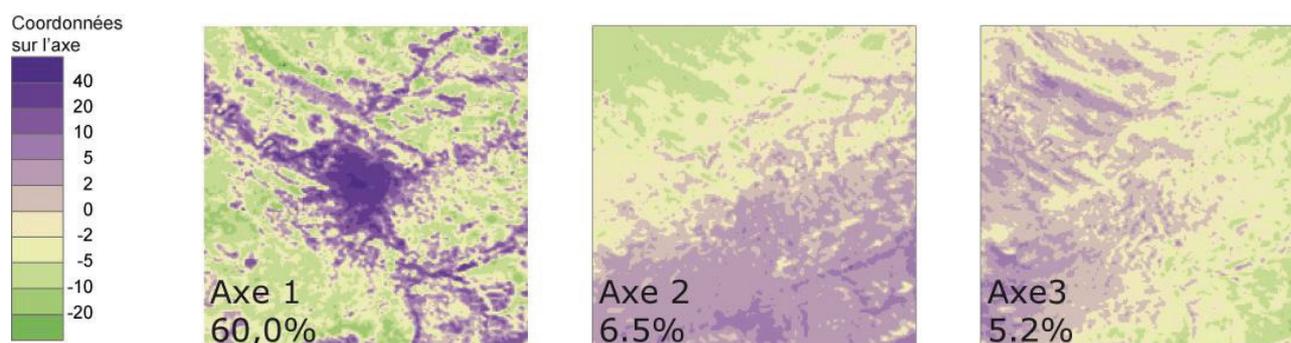


Figure 4. Répartitions spatiales des coordonnées sur les 3 premiers axes d'une ACP réalisée à partir des anomalies journalières des températures de surface ; source : MODIS Aqua 2003-2017

2.4. Variation saisonnière de l'îlot de chaleur nocturne

À partir des données des stations de Melun et de Paris Montsouris, nous avons calculé la différence des températures horaires de l'air : l'îlot de chaleur urbain, phénomène nocturne, est légèrement plus intense au printemps et à l'été qu'en hiver, ce qui corrobore partiellement les travaux de Cantat (2004). Rappelons que les deux stations ne sont pas très représentatives du milieu qu'elles sont censées représenter. L'écart moyen entre les deux stations est de $3,3^{\circ}\text{C}$

à 2 h TU (sur 69 dates), donc plus important que l'écart moyen souvent mentionné de 2,5°C entre Paris et les zones rurales périphériques (APUR, 2012) et se rapprochant des observations de Cantat (2014). À partir d'une sélection de pixels « urbains denses » et « agricoles », les mois estivaux témoignent d'un îlot de chaleur de surface plus intense, ce qui est globalement similaire aux résultats sur les températures de l'air.

Conclusion

Les différentes images synthétiques (à partir de la moyenne, de la médiane des données, d'une analyse multivariée), fortement dépendantes des conditions de surface, ont montré une influence notable de l'occupation/utilisation du sol ; les températures nocturnes de surface des zones densément urbanisées sont beaucoup plus élevées (+ 6°C) que les zones agricoles avoisinantes, lors des nuits de ciel clair. Facilement mobilisable et accessible, ce SUHI reste cependant une approximation de l'îlot de chaleur urbain, ne reflétant pas directement les températures de l'air et la ventilation (Azevedo *et al.*, 2016). Mais les températures de l'air, à 2 m, à l'abri, ne reflètent pas non plus la diversité des températures « vécues » et perçues par les habitants, en particulier à l'intérieur des habitations (Pinson, 2016). D'autres images satellites auraient pu être mobilisées dans une autre optique, privilégiant la résolution spatiale à la profondeur temporelle (ici sur 14 années). D'autres typologies des conditions de surface auraient également pu être utilisées, en particulier les *Local Climate Zones* (Stewart et Oke, 2012) ou les îlots morphologiques urbains définis par l'APUR. Nous avons estimé que leur résolution était trop fine pour l'appariement avec les données MODIS à 1 km, mais cela méritait d'être approfondi. Enfin, au-delà des enjeux sanitaires, sociaux et environnementaux des températures en ville (de plus en plus caniculaires), ce type d'analyse peut aider à la discussion sur l'implantation de nouvelles stations conventionnelles et être une aide à la connaissance - certes partielle - du climat urbain dans le cadre de diagnostics et de services urbains (Bigot *et al.*, 2017). Une piste intéressante serait aussi de s'intéresser aux données participatives ou aux micro-capteurs embarqués, véritable nouvel appui à la mesure du climat en ville (Muller *et al.*, 2015 ; Chapman *et al.*, 2016).

Bibliographie

APUR, 2012 : *Les îlots de chaleur urbains à Paris*. Cahier n°1, 38 p.

Azevedo J.A., Chapman L., Muller C.L., 2016 : Quantifying the daytime and nighttime urban heat island in Birmingham, UK: A comparison of satellite derived land surface temperature and high resolution air temperature observations. *RemoteSensing*, 8, 153.

Bigot S., Duché S., Madelin M. et Rome S., 2017 : Étude du climat urbain : pour une mise à disposition de nouveaux services climatiques. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, sous presse.

Cantat O., 2014 : L'îlot de chaleur urbain parisien selon les types de temps, *Norois* [En ligne], 191 | 2004/2.

Chapman L., Bell C., Bell S., 2016 : Can the crowdsourcing data paradigm take atmospheric science to a new level? A case study of the urban heat island of London quantified using Netatmo weather stations. *International Journal of Climatology*, doi:10.1002/joc.4940.

Cheval S. et Dumitrescu A., 2009 : The July urban heat island of Bucharest as derived from MODIS images. *Theoretical and Applied Climatology*, 96, 145-153.

Colombert M., 2008 : *Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville*. Thèse de doctorat en Génie urbain, Université Paris-Est, 341 p. + annexes.

De Lapparent B., Roux J., Richard Y., Pohl B., Bientz S., Codet-Hache O., Dumaître F., Toussaint H., Tissot A.-C., Thevenin D. et Thevenin T., 2015 : Mesures de la température et spatialisation de l'îlot de chaleur urbain à Dijon. *Publications de l'AIC*, 28, 257-262.

- Dousset B., Gourmelon F., Laaidi K., Zeghnoun A., Giraudet E., Bretin P., Mauri E. et Vandentorren, S., 2011 : Satellite monitoring of summer heatwaves in the Paris metropolitan area. *International Journal of Climatology*, 31, 313-323.
- Foissard X., 2015 : *L'îlot de chaleur urbain et le changement climatique : application à l'agglomération rennaise*. Thèse de doctorat en Géographie, Université Rennes 2, 238 p.
- Kastendeuch P., Najjar G., 2015 : Une simulation des interactions ville-atmosphère à différentes échelles : application sur Strasbourg. *Climatologie*, 12, 44-64.
- Madelin M., Beltrando G. et Sakhy A., 2012 : Intensity and delimitation of the Night Urban Surface Heat Island. *EGU General Assembly 2012*.
- Muller C.L., Chapman L., Johnston S., Kidd C., Illingworth S., Foody G., Overeem A., Leigh R.R., 2015 : Crowdsourcing for climate and atmospheric sciences: current status and future potential. *International Journal of Climatology*, 35, 11, 3185-3203.
- Oke T.R., 1982 : The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, 455, 1-24.
- Pinson L., 2016 : *Analyse et représentation des épisodes de caniculaires en zones urbaines denses : de la durée à la conception d'un indice de dangerosité*. Thèse de doctorat en Science de l'information géographique, Université Paris-Est, 408 p.
- Sakhy A., 2016 : *Îlots de chaleur et morphologie urbaine de l'agglomération parisienne : conséquences sur la mortalité durant la canicule de 2003*. Thèse de doctorat en Géographie, Université Paris Diderot, 306 p. + annexes.
- Stewart I.D., 2011 : A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. *International Journal of Climatology*, 31, 200-217.
- Stewart I.D., Oke T. R., 2012 : Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of American Meteorological Society*, 93, 1879-1900.