HAL
open science

Îlot de Chaleur Urbain et canicules : quelles relations ?

Yves Richard, Mario Rega, Benjamin Pohl, Julien Pergaud, Justin Emery, Thibaut Vairet, Julita Diallo-Dudek, Sébastien Zito, Denis Thevenin, Thomas Thévenin

To cite this version:

Yves Richard, Mario Rega, Benjamin Pohl, Julien Pergaud, Justin Emery, et al.. Îlot de Chaleur Urbain et canicules : quelles relations ?. 31ème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Jul 2018, Nice, France. pp.213-218. hal-01859192

HAL Id: hal-01859192

https://hal.science/hal-01859192v1

Submitted on 4 May 2020

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.

ÎLOT DE CHALEUR URBAIN ET CANICULES : QUELLES RELATIONS ?

RICHARD Y.[1], REGA M.[1], POHL B.[1], PERGAUD J.[1], EMERY J.[2], VAIRET T.[2], DUDEK J.[3], ZITO S.[1], THEVENIN D.[4], THEVENIN T.[2]

[1] *Centre de Recherches de Climatologie, UMR 6282 Biogéosciences, CNRS/Univ Bourgogne Franche-Comté*
[2] *UMR 6049 ThéMA, CNRS/Univ Bourgogne Franche-Comté*
[3] *UMR 5600 Environnement Ville Société, CNRS/Univ Lyon III*
[4] *CDM 21, Météo France*

Résumé *: Fort de quatre ans de mesures et doté d'un échantillon de stations conséquent, le réseau MUSTARDijon permet de mesurer l'îlot de chaleur urbain (ICU), phénomène de saison chaude. Mais les maximas d'ICU et de température sont déphasés selon deux échelles de temps. Saisonnièrement, les maximas de l'ICU sont observables de mai à juillet, précédant ceux de température (juillet à août). Au pas quotidien, l'analyse des deux canicules de juillet 2015 montre un déphasage de l'ordre de quelques jours entre maxima de l'ICU et pic de canicule. Deux hypothèses sont suggérées pour expliquer ces déphasages : évolution de l'insolation ou/et des échanges d'énergie entre le sol et l'atmosphère.*

Mots-Clés *: Îlot de Chaleur Urbain (ICU) ; canicule ; déphasage ; végétation ; Dijon*

Abstract: ***Urban Heat Island (UHI) and heat waves: what relations?*** *With four years of measurements and a large sample of stations, the MUSTARDijon network allows for a detailed characterization of the Urban Heat Island (UHI), a warm season phenomenon. But UHI and maximum temperature values are out of phase at two distinct time-scales. Seasonally, the maxima of UHI occur from May to July, i.e. before the annual peak of temperature (July to August). At a daily time-scale, analysis of the two heat waves of July 2015 shows a lag of a few days between the peak of UHI and the heat wave. Two hypotheses are suggested to explain these lags: changes in radiative conditions and/or energy fluxes between the ground surface and the atmosphere.*

Keywords*: Urban Heat Island (UHI); heat wave; lag; vegetation; Dijon*

Introduction

Les recherches portant sur l'Îlot de Chaleur Urbain (ICU) sont antérieures (Oke, 1973) à l'émergence des problématiques relatives au changement climatique (fin des années 1980). Néanmoins, en France, les recherches portant sur l'ICU se sont considérablement développées depuis la canicule d'août 2003 et ses impacts sanitaires (Ouzeau et al., 2016). Les effets combinés de l'ICU et du changement climatique rendent les villes et leurs populations de plus en plus vulnérables face à des canicules plus fréquentes, intenses ou longues (Willett et Sherwood, 2012). En effet, le stress thermique est plus élevé que la somme des effets de l'ICU et des canicules (Li et Bou-Zeid, 2013). Ainsi, quoique la question des ICU soit rarement présente dans la législation environnementale française et quasi absente des documents d'urbanisme (Lambert-Habib et al., 2013), c'est généralement au titre de l'adaptation des villes face aux canicules que les études actuelles sur l'ICU commencent à recueillir l'intérêt, voire le soutien actif des collectivités.

Les effets combinés de l'ICU et des canicules multiplient les risques sanitaires. Mais quelles sont les autres relations entre ces deux phénomènes ? L'ICU est-il nécessairement fort, voire maximal, lors des canicules ? L'ICU est-il de même ampleur lors des canicules précoces (juin-juillet) et tardives (août-septembre) ? L'ICU se renforce-t-il au cours d'une canicule, atteint-il une valeur plateau, ou bien décroît-il si la canicule se prolonge ? Le réseau MUSTARDijon, déployé depuis juin 2014, fort de quatre étés d'enregistrements horaires sur 60 points de mesures depuis 2016, permet de commencer à explorer la question des relations entre ICU et canicules à Dijon.

1. Données et Méthode

1.1 Période et pas de temps

L'analyse porte sur la saison chaude, printemps et été, incluant les mois d'avril à septembre. Il s'agit de la saison propice au développement de l'ICU (Richard et al., 2017) et

de canicules. La période inclue quatre saisons chaudes (2014-2017) mais, comme en 2014 le déploiement du réseau MUSTARDijon n'a été effectué que le 06 juin (de Lapparent et al., 2015), la première saison est amputée de 65 jours. L'effectif passe ainsi de 732 jours théoriques à 667 jours. Le pas de temps des mesures est horaire. Les heures se rattachent à des « journées-ICU » allant de 7 UTC à 6 UTC de manière à ce que les analyses quotidiennes ne scindent pas la succession jour nuit déterminante pour le développement des ICU nocturnes (Zito et al., 2016). Aux températures et humidités relatives du réseau MUSTARDijon s'ajoutent des relevés Météo France à la station de Longvic (n°51, Figure 1) : rayonnement global, insolation, pression, vitesse du vent ainsi que températures à différentes hauteurs, au sol, comme à différentes profondeurs du sol.

1.2 Construction d'un indice ICU

Les stations les plus représentatives du centre-ville et du milieu rural sont sélectionnées (Fig. 1). La moyenne des trois stations (01, 02 et 06) du centre de Dijon permet d'élaborer l'indice « urbain ». La même méthode est employée pour calculer l'indice « rural » à partir de quatre stations (33, 34, 38 et 40) rurales de plaine (Fig. 1). L'ICU résulte de la différence « urbain » - « rural ». Au sein de chaque « journée-ICU », la valeur maximale quotidienne (ICUmax) est identifiée. L'absence de valeur manquante sur les séries utilisées pour bâtir les indices « urbain » et « rural » a permis de calculer « ICUmax » sur 645 « journées-ICU ».

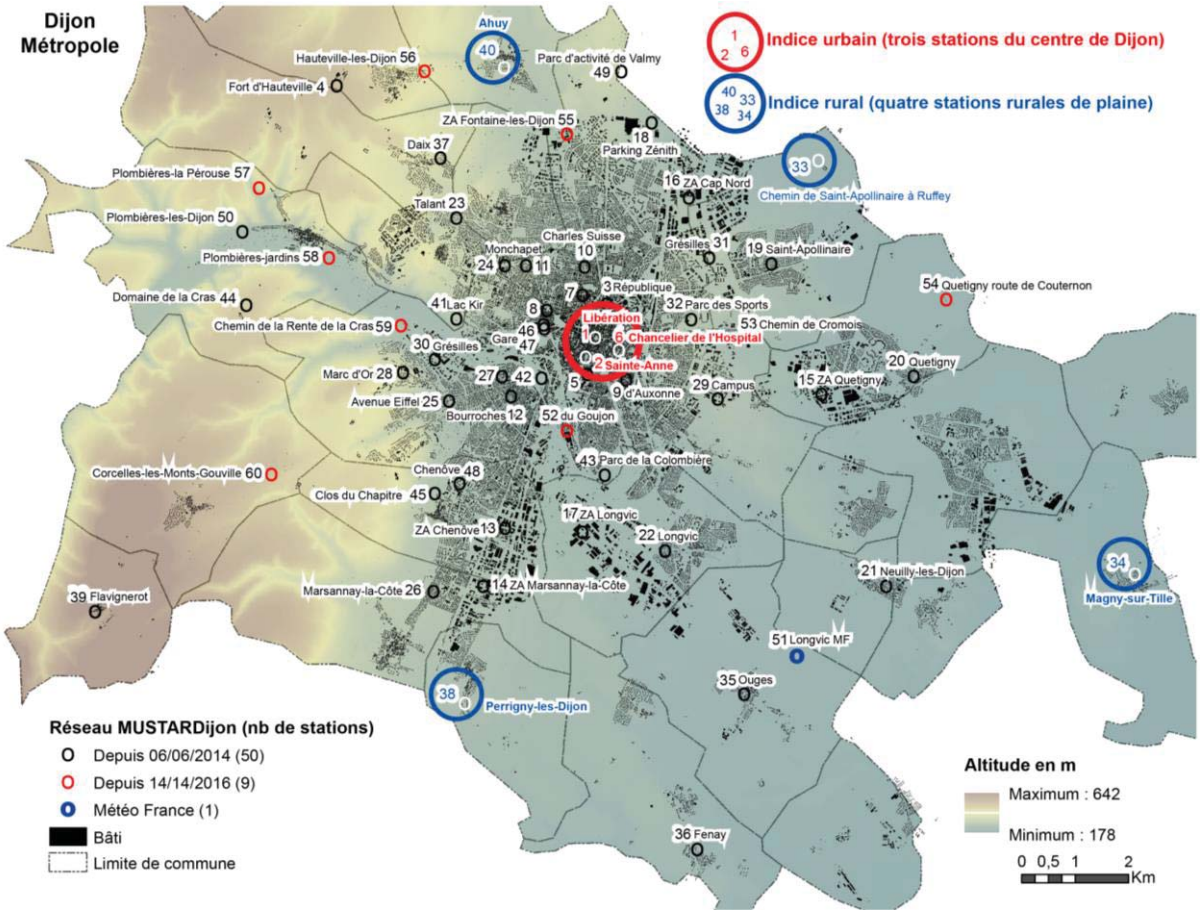

Figure 1. Carte du réseau MUSTARDijon et élaboration des indices « urbain » et « rural »1.3 Définition des canicules et mise en relation avec l'ICU.

Pour définir les canicules deux seuils de température, adaptés à la Côte d-Or, ont été utilisés : température minimale nocturne ≥ 19°C et température maximale diurne ≥ 34°C, ont été prises en compte. Les dépassements de ces seuils ont été identifiés sur les indices « urbain » et « rural ». Les canicules ainsi définies, comme l'ICU, sont deux phénomènes intermittents et peu fréquents. Les distributions des indices associés ne sont pas gaussiennes. En conséquence la méthodologie développée s'appuie sur des tables de contingence. « ICUmax », variable quantitative continue, a préalablement été discrétisée en six classes d'amplitude 1°C.

2. Résultats

La relation entre l'ICU et les canicules est étudiée selon deux échelles temporelles emboîtées. La première privilégie le pas de temps mensuel, la seconde les séquences quotidiennes.

2.1 Saisonnalité et cooccurrence des canicules et de l'ICU

Sur la période 2014-2017, le seuil 34°C a été dépassé lors de 16 journées sur l'indice rural et de 23 journées sur l'indice urbain. La nuit, le seuil 19°C a été dépassé 20 fois sur l'indice rural et 72 fois sur l'indice urbain. En théorie, pour chaque jour, les dépassements de seuils peuvent être observés sur 0 à 4 indices. En l'absence de dépassement, la modalité associée à la variable canicule est codée « 0 », avec dépassement d'un seul seuil « 1 », et avec dépassement d'au moins deux seuils « 2 ». Statistiquement, lors de la saison chaude, canicules et ICUmax sont associés (Tableau 1). Lors des jours de canicule de type 1 ou 2, les ICUmax supérieurs à 3°C sont sur-représentés tandis que ceux inférieurs à 3°C sont sous-représentés. La valeur de 3°C, semble ici constituer un seuil. En première lecture, le lien entre ICU est canicule est indiscutablement avéré.

Tableau 1. Tableau de contingence canicule et ICU (avril-septembre 2014-2017).

Canicule	ICUmax<1	1≤ICUmax<2	2≤ICUmax<3	3≤ICUmax<4	4≤ICUmax<5	5≤ICUmax	Total
« 0 »	27	**137***	158	**132***	**78***	**37***	569
« 1 »	0	**1***	9	14	6	**12***	42
« 2 »	0	4	**3***	9	**13***	5	34
Total	27	142	170	155	97	54	645

Nombre de jours sur-représenté : x, avec théorique – observé > 4 **x***
Nombre de jours sous-représenté : x, avec théorique – observé > 4 **x***
χ^2 = 57,5. Hypothèse d'indépendance (H_0) : probabilité < 10^{-4}

Canicules et ICU sont ensuite discrétisés selon le mois. Les canicules sont sur-représentées lors des mois de juillet et d'août. Sur les quatre étés (2014-2017), c'est juillet qui a été le plus souvent concerné avec 37 dépassements contre 22 en août. Mais l'échantillon est trop réduit pour en tirer des conclusions généralisables. Des dépassements de seuils sont également possibles sur une saison plus longue. On enregistre deux dépassements en dehors de l'été, un en mai et un en septembre, et surtout quinze dépassements en juin. La saisonnalité des canicules est très marquée. Elle correspond sans surprise à l'été, et plus précisément au cœur de l'été. A Dijon, l'ICU est un phénomène saisonnier. En hiver, de forts ICU sont rares et limités en magnitude (Richard et al., 2017). Au cours de la saison chaude, l'hypothèse d'indépendance entre intensité de l'ICU et mois est rejetée (Tableau 2).

Tableau 2. Tableau de contingence ICU et mois.

	avril	mai	juin	juillet	Août	septembre	Total
ICUmax<1	6	**10***	1	5	1	4	27
1<=ICUmax<2	20	**12***	27	31	24	**28***	142
2<=ICUmax<3	21	24	28	**21***	**47***	29	170
3<=ICUmax<4	19	23	25	32	28	**28***	155
4<=ICUmax<5	12	11	21	**23***	21	**9***	97
5<=ICUmax	**12***	**13***	**14***	12	**3***	**0***	54
Total	90	93	116	124	124	120	667

Nombre de jours sur-représenté : x, avec théorique – observé > 4 **x***
Nombre de jours sous-représenté : x, avec théorique – observé > 4 **x***
χ^2 = 63,7. Hypothèse d'indépendance (H_0) : probabilité < 10^{-4}

L'ICU ne se développe pas de manière équiprobable d'avril à septembre. Les plus forts ICU (≥ 5°C) sont sur-représentés au printemps et en début d'été, d'avril à juillet. La sur-représentation d'ICU intermédiaires (≥ 4°C) correspond à l'été météorologique, juin-août. Enfin, la fin de l'été et le début de l'automne, août et septembre, sont propices au développement d'ICU modérés, compris entre 1 et 4°C. L'absence d'ICU (ICUmax < 1), associée à des conditions météorologiques perturbées, peut intervenir tout au long des six mois. Mais l'occurrence préférentielle est printanière (avril et mai). La saisonnalité de l'ICU et des canicules est légèrement décalée. Les deux phénomènes se développent en saison chaude, mais les ICU sont les plus intenses en début de saison, tandis que les canicules sont les plus fréquentes au cœur de la saison.

2.2 Séquences quotidiennes

La figure 2 superpose « ICUmax », borné pour plus de lisibilité aux valeurs ≥ 3°C, et les températures minimale et maximale de l'indice « urbain ». Au printemps, en l'absence de canicule, des ICU très forts, à savoir ≥5°C, sont observés dès avril (2015) ou mai (2016 et 2017).

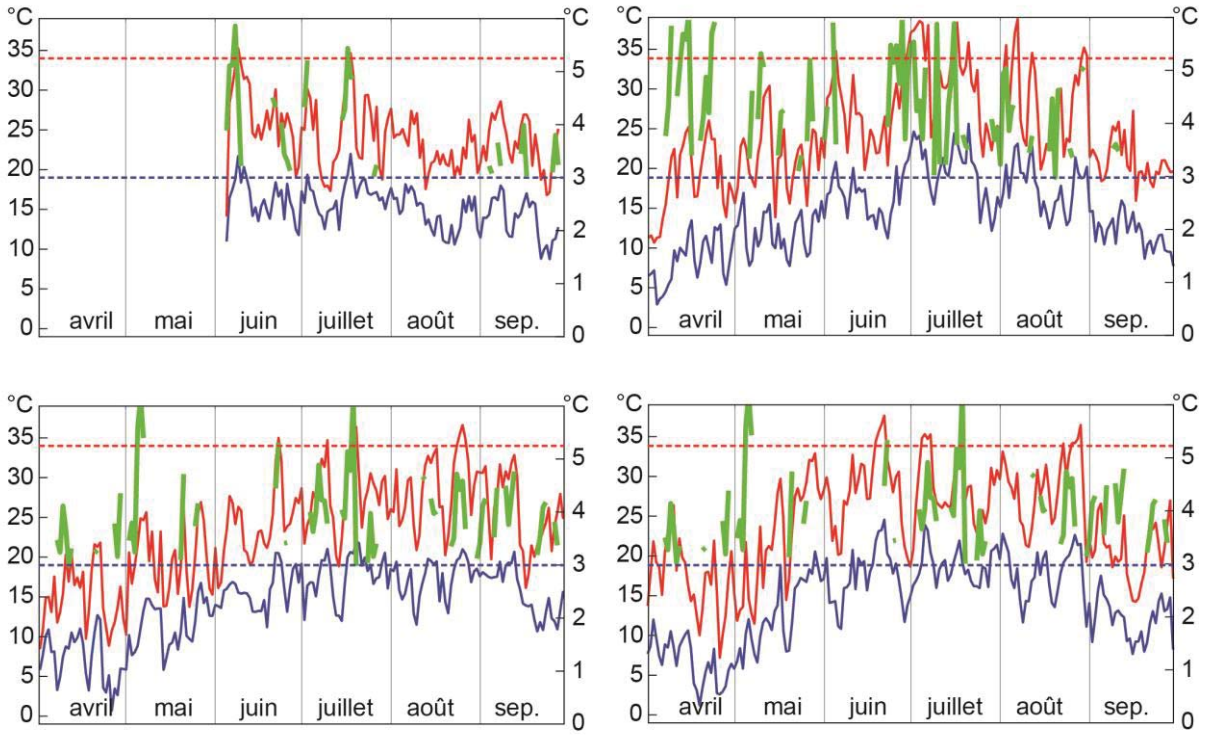

Figure 2. Indices urbains et ICUmax ≥ 3°C ; rouge : température urbaine maximale, bleu : température urbaine minimale, et vert ICUmax de la « journée-ICU ».

En début d'été, au mois de juin, ICU ≥ 5°C et seuils 19°C pour les températures minimales comme 34°C pour les maximales, sont brièvement dépassés chaque année. Les dépassements se multiplient en juillet. Seul juillet 2015 a permis d'observer une canicule se prolongeant sur plusieurs jours. En août, malgré la présence de plusieurs canicules, les ICUmax n'atteignent plus 5°C.

2.2 Le double épisode caniculaire de Juillet 2015

En juillet 2015, Météo France relève deux épisodes de canicule ayant concerné la France, épisodes entrecoupés d'un léger rafraîchissement du 8 au 14 juillet. Ceci correspond parfaitement au cas de Dijon (Figure 3) où l'indice urbain a dépassé le seuil 19°C lors de huit nuits consécutives (29 juin au 6 juillet), deux nuits isolées (11 et 12 juillet), puis à nouveau neuf nuits consécutives (15 au 23 juillet). Avec dix-neuf dépassements en un mois, c'est clairement la chaleur nocturne qui a généré les stress les plus importants et qui est vraisemblablement à l'origine d'une forte sur-mortalité à Dijon, comme cela a été observé en 2003 (Vandentorren et al., 2004). En zone rurale, la chaleur nocturne a été nettement moins

sciencesconf.org:aic2018:197025

marquée. La température nocturne est restée supérieure à 19°C lors de huit nuits seulement. En journée, l'écart entre indices urbain et rural est nettement moins marqué. Dans les deux cas, les dépassements du seuil 34°C ont été observés lors des mêmes neuf journées.

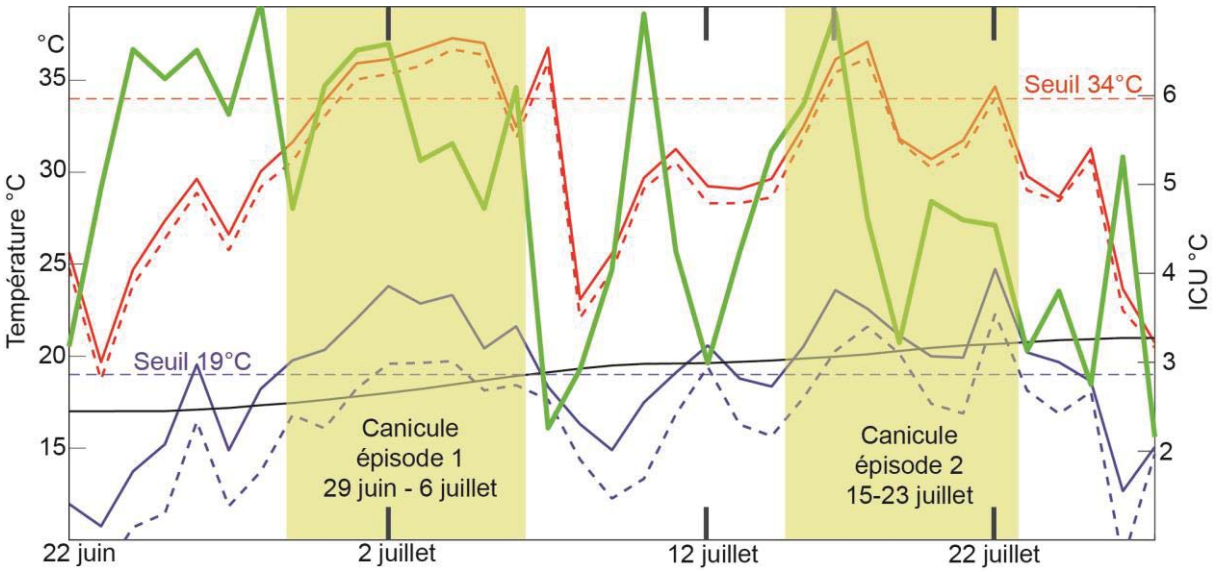

Figure 3. Canicules de juillet 2015 ; rouge : T° maximale ; bleu : T° minimale ; trait plein : urbain ; pointillés : rural ; vert : ICUmax ; noir : Température du sol à 1 m de profondeur.

Au regard des températures nocturnes en ville, les deux épisodes caniculaires sont très comparables. Au regard de l'ICU, ils sont dissemblables (Figure 3). Le premier épisode est précédé de cinq jours (24–28 juin) caractérisés par un ICU très marqué (moyenne = 5,41°C). L'ICU fut ensuite légèrement moins fort pendant l'épisode caniculaire (moyenne= 4,68°C). La seconde canicule est précédée d'ICU variables, puis n'a donné lieu qu'à un ICU moyen de 3,62°C. On observe également une diminution de l'ICU au cours de cette seconde canicule. Comment expliquer la présence d'un ICU maximal avant le premier épisode caniculaire, la réduction de l'ICU entre les deux épisodes puis au cours du second épisode ? La première hypothèse renvoie à des différences de conditions météorologiques (rayonnement, vent, ...). La seconde suggère que les échanges entre le sol et l'atmosphère ont pu évoluer. Lors du premier épisode, les températures de l'air et l'ensoleillement présentent des valeurs plus élevées que lors du second (Tableau 3).

Tableau 3. Conditions météorologiques observées lors des deux épisodes de canicule de juillet 2015

Épisode de canicule		Température de l'air				T°	Température dans le sol				Rayonnement		Pression	Humidité				Vent
	ICU Max °C	URB. Min °C	URB. Max °C	RUR. Min °C	RUR. Max °C	du sol °C	10 cm °C	20 cm °C	50 cm °C	100 cm °C	Inso. h	RG W/m^2	PSTAT hPa	Relat. URB. Max %	Relat. RUR. Max %	Spéci. URB. Max g/kg	Spéci. RUR. Max g/kg	Vit. m/s
29 juin 6 juillet	4,68	21,77	35,13	18,33	34,34	28,3	26,1	24,4	21,6	18,1	778	2729	992	63,9	78,6	10.5	10.4	2,75
15–23 juillet	3,62	21,37	32,57	19,04	32,01	27,4	27,1	25,8	23,7	20,4	560	2291	989	69,9	76,4	11.3	10.6	2,62

Température et vitesse du vent : moyennes par jour; Rayonnement : sommes par jour ; Humidité : maxima par jour. Comparaison entre les deux épisodes : valeur maximale

Ainsi, même si le vent était légèrement plus soutenu, les conditions de développement d'un ICU sont meilleures que lors du second épisode. L'hypothèse météorologique ne peut être réfutée. Lors du second épisode, les températures rurales minimales se distinguent des autres températures de l'air en étant plus élevées que lors du premier épisode. Les températures du sol, de 10 cm à 1 m de profondeur étaient également plus élevées. Enfin, entre les deux indices (urbain et rural), les différences d'humidité (relative et spécifique) sont moins marquées que lors du premier épisode. La seconde hypothèse, reposant sur un moindre différentiel urbain / rural en termes de capacité du sol à humidifier et rafraîchir les basses couches de l'atmosphère rurale lors des nuits du second épisode, ne peut pas non plus être

réfutée.

Discussion et conclusion

Pour se développer, l'ICU nécessite un fort ensoleillement. C'est donc un phénomène de saison chaude. Il démultiplie même les risques sanitaires lorsque survient une canicule. Pour autant, l'ICU n'est pas spécifiquement associé aux canicules. Saisonnièrement, le cycle de l'ICU précède celui des températures. Au quotidien, les valeurs maximales de l'ICU ne correspondent pas aux maximales des températures. Un ICU maximal nécessite des températures nocturnes fraîches en milieu rural. Cela suppose que le sol, et le sous-sol, ne soient pas trop chauds. C'est le cas en début d'été lorsque la végétation est très active. En Bourgogne les valeurs maximales de NDVI sont atteintes en mai, elles décroissent légèrement les mois suivants (Poccard et al., 2005). En évapo-transpirant, la végétation contribue à maintenir la fraîcheur des sols. En ville, en l'absence ou presque de végétaux, le rayonnement solaire réchauffe les sols : c'est le mécanisme principal de l'ICU. En fin d'été, les conditions sont globalement inchangées en ville tandis qu'en milieu rural les sols se sont asséchés et réchauffés. La végétation, surtout si elle souffre de stress hydrique, ne joue plus aussi efficacement son rôle rafraîchissant. Indirectement, cela réduit l'intensité de l'ICU.

Remerciements

Les auteurs remercient Météo-France pour la mise à disposition des données (convention avec l'université de Bourgogne), l'ADEME et Dijon Métropole pour leur soutien.

Bibliographie

de Lapparent B., Roux J., Richard Y., Pohl B., Bientz S., Codet-Hache O., Dumaitre F., Toussaint H., Tissot A.-C., Thévenin D., Thévenin T., 2015 : Mesures de la température et spatialisation de l'îlot de chaleur urbain à Dijon. *Actes du XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Liège, Belgique, 257-262.

Lambert-Habib M.L., Hidalgo J., Fedele C., Lemonsu A., Bernard C., 2013 : How is climatic adaptation taken into account by legal tools? Introduction of water and vegetation by French town planning documents. *Urban Climate,* **4**, 16-34.

Li D., Bou-Zeid E., 2013 : Synergistic interactions between urban heat islands and heat waves: the impact in cities is larger than the sum of its parts. *J. Appl. Meteorol. Climatol.,* **52**, 2051-2064.

Oke T.R., 1973 : City size and the urban heat island. *Atmospheric Environ.,* **7**, 769-779.

Ouzeau G., Soubeyroux J.-M., Schneider M., Vautard R., Planton S., 2016 : Heat waves analysis over France in present and future climate: Application of a new method on the EURO-CORDEX ensemble. *Clim. Serv.,* **4**, 1-12.

Poccard I., Chabin J.-P., Richard Y., 2005 : Une nouvelle approche de la forêt bourguignonne : intérêt et limites de l'utilisation des satellites. *Actes du colloque de l'Association inter-universitaire de l'Est* « *La forêt dans tous ses états : de la préhistoire à nos jours* », Dijon, France, 155-172.

Richard Y., Pohl B., Pergaud J., Zito S., Rega M., Thévenin T., Emery J., Vairet T., Dudek J., Thévenin D., 2017 : Évaluation des effets thermiques des leviers d'action visant à réduire l'îlot de chaleur urbain : l'exemple de Dijon. *Actes du XXXe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Sfax, Tunisie, 167-172.

Vandentorren S., Suzan F., Medina S., Pascal M., Maulpoix A., Cohen J.-C., Ledrans M., 2004 : Mortality in 13 French cities during the August 2003 heat wave. *Am. J. Public Health,* **94**, 1518-1520.

Willett K.M., Sherwood S., 2012 : Exceedance of heat index thresholds for 15 regions under a warming climate using the wet-bulb globe temperature. *Int. J. Climatol.,* **32**, 161-177.

Zito S., Richard Y., Pohl B., Pergaud J., Dodet M.-F., Codet-Hache O., Dumaitre F., Jeanneret M., Tissot A., Thevenin D., Joly D., 2016 : Îlot de chaleur urbain et qualité de l'air, Dijon, hiver 2014-2015. *Actes du XXIXe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Besançon-Lausanne, France-Suisse, 87-92.