



HAL
open science

Ilot de chaleur urbain et qualité de l'air, Dijon, hiver 2014-2015.

Sébastien Zito, Yves Richard, Benjamin Pohl, Julien Pergaud, M.-F. Dodet,
O. Codet-Hache, F. Dumaitre, M. Jeanneret, A.-C. Tissot, D. Thevenin, et al.

► To cite this version:

Sébastien Zito, Yves Richard, Benjamin Pohl, Julien Pergaud, M.-F. Dodet, et al.. Ilot de chaleur urbain et qualité de l'air, Dijon, hiver 2014-2015.. 29ème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Jul 2016, Besançon, France. pp.87-92. hal-01359603

HAL Id: hal-01359603

<https://hal.science/hal-01359603>

Submitted on 14 Feb 2022

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.

ILOT DE CHALEUR URBAIN ET QUALITE DE L'AIR, DIJON, HIVER 2014-2015

ZITO S.¹, RICHARD Y.¹, POHL B.¹, PERGAUD J.¹, DODET M.-F.²,
CODET-HACHE O.², DUMAITRE F.³, JEANNERET M.³, TISSOT A.-C.⁴,
THEVENIN D.⁵, MONTEIRO S.⁶, THEVENIN T.⁷, JOLY D.⁷

¹Centre de Recherches de Climatologie, UMR 6282 Biogéosciences, CNRS/Univ Bourgogne Franche-Comté, sebastien.zito@u-bourgogne.fr, yves.richard@u-bourgogne.fr,

²Service écologie urbaine, Communauté Urbaine du Grand Dijon

³ADEME Bourgogne Franche-Comté

⁴Alterre Bourgogne

⁵CDM 21, Météo France

⁶ATMOSF'air Bourgogne

⁷THEMA, UMR 6049, CNRS/univ Bourgogne Franche-Comté

Résumé – Sur l'hiver 2014-2015, les variations spatio-temporelles de température et de la Qualité de l'Air (QA) mesurées sur le territoire du Grand Dijon sont étudiées conjointement. Sont distinguées les conditions météorologiques favorisant le développement d'un îlot de chaleur urbain (ICU) de celles à l'origine d'épisodes de pollution. L'ICU hivernal est documenté, dissociant des situations radiatives où il est relativement prononcé (de l'ordre de 3°C), et des situations sans soleil où la chaleur anthropogénique est suspectée d'induire un petit ICU (quelques dixièmes de °C).

Mots-clés : Grand-Dijon, hiver, Îlot de Chaleur Urbain (ICU), Qualité de l'Air (QA)

Abstract – *Urban Heat Island and Air Quality, Dijon, Winter 2014-2015.* For the 2014-2015 Winter, the temperature patterns and the Air Quality measured over the Grand Dijon urban area are studied together. Meteorological conditions favoring the development of an Urban Heat Island (UHI) are distinguished from those giving rise to pollution episodes. Winter UHI are next characterized, with radiative situations followed after the sunset by relatively strong UHI (about 3°C), and days with no insolation during which anthropogenic heat is suspected to produce a small UHI (few tenths of °C).

Keywords: Grand-Dijon, Winter, Urban Heat Island (UHI), Air Quality (AQ)

Introduction

En atmosphère urbaine, les spécificités des conditions de surface, occupation du sol ou émissions de polluants, forment une couche limite urbaine (Mestayer *et al.*, 2005 ; Rotach *et al.*, 2005). Par temps calme, anticyclonique, peu venté, sans pluie, des Îlots de Chaleur Urbains (ICU) sont observés (Lázló *et al.*, 2015). En contexte de blocage favorisant la subsidence, la faible dispersion peut induire des épisodes de pollution (Hewson, 1956). On distingue les épisodes radiatifs s'installant la nuit avec développement d'une pollution endogène, des épisodes advectifs associés à un niveau d'inversion plus haut pouvant persister plusieurs jours et incluant des polluants exogènes (Roussel, 2015). Avec fraîcheur et faible ensoleillement, les polluants primaires prévalent, la destruction d'ozone l'emporte sur sa formation. Inversions thermiques, ICU et mauvaise Qualité de l'Air (QA) sont-ils systématiquement associés ? L'analyse porte sur l'agglomération dijonnaise hiver 2014-2015.

1. Données et méthode

Les mesures sont horaires, le pas de temps analysé quotidien : 182 jours du 01/10/2014 au 31/03/2015. Les données relèvent de trois sources : le programme MUSTARDijon (de Lapparent *et al.*, 2015), l'association agréée de surveillance de la QA ATMOSF'air Bourgogne, et Météo France. MUSTARDijon fournit la température sur 47 points du Grand Dijon (Figure 1). Six stations de QA renseignent la pollution azotée (NO et NO₂), en ozone (O₃) et en particules fines (PM₁₀ et PM_{2.5}). A la station de Dijon Longvic, en plus des

températures de l'air à 2m et du point de rosée, est mesurée la température à 50 cm, en surface et dans le sol (à 1 m, 50 cm, 20 cm et 10 cm). Pour chacun des 182 jours, sont calculées moyennes, minimales, maximales et amplitudes diurnes. Les moyennes quotidiennes d'humidité relative et absolue, de pression au niveau de la mer, de vitesse du vent à 2 m, de rayonnement global, de durée d'insolation et de hauteur de la base de la première couche nuageuse sont également analysées.

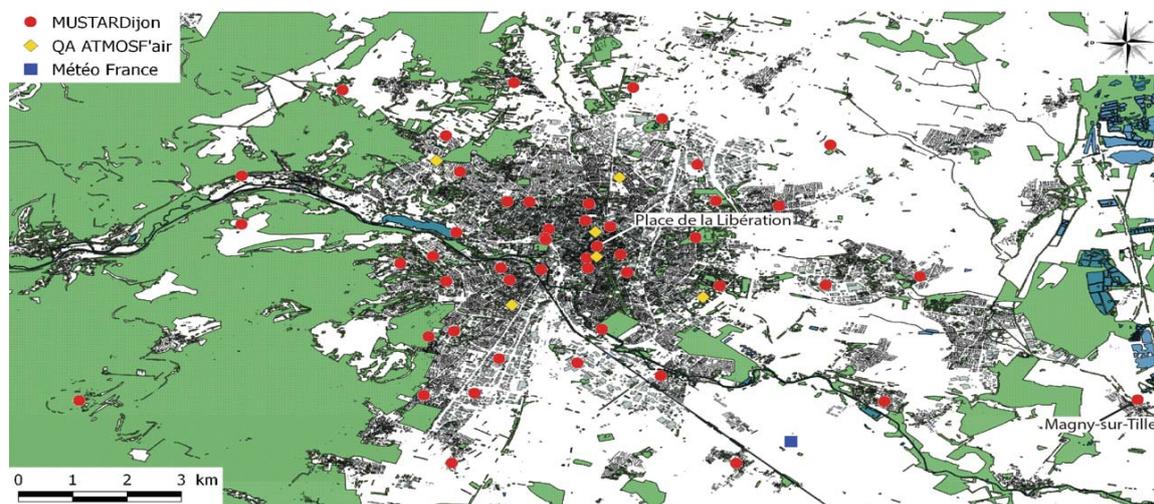


Figure 1. Réseau de mesures sur le Grand Dijon.

Sept Analyses en Composantes Principales (ACP) permettent d'élaborer des indices synthétiques, via la première Composante Principale (CP1) de chaque ACP. Ces indices décrivent les conditions météorologiques mesurées par Météo France à Dijon Longvic, les contrastes de température (inversions thermiques, ICU, ...) mesurés par MUSTARDijon et la QA mesurée par ATMOSF'air Bourgogne. Cette méthode, contrairement à une simple moyenne, permet de donner à chaque variable initiale un poids proportionnel à son niveau de corrélation avec l'ensemble des autres variables.

2. Conditions météorologiques versus contrastes spatiaux de température et qualité de l'air

Pour les conditions météorologiques, 4 indices sont élaborés. Le premier décrit la température moyenne. Il est constitué de la CP1 d'une ACP portant sur les 8 séries de températures quotidiennes moyennes (Tableau 1) où seule la température du sol à 1m de profondeur ne contribue pas. Le second est une mesure de l'ampleur des « Contrastes nuit / jour ». Ici CP1 synthétise les variations d'amplitude diurne des 8 séries de températures, des moyennes quotidiennes de rayonnement global (GLO), d'insolation (INS) et de hauteur de la base de la première couche nuageuse (B1). Le troisième indice vise à décrire l'instabilité de l'atmosphère. CP1 « Instabilité » synthétise quatre variables : précipitations, humidité absolue et relative et inverse de la pression. La « Vitesse du vent », non corrélée avec les autres variables météorologiques, est considérée seule.

Quatre indices décrivent les variations spatio-temporelles de la température et de la QA au sein de l'agglomération (Tableau 1). Le premier est une mesure des variations spatiales de températures mesurées sur 48 points (47 séries MUSTARDijon et Météo France Longvic). CP1 est une métrique, pour chaque jour, de l'ampleur des « Variations spatiales de T° » sur le Grand Dijon. Les trois suivants sont des indices de la QA. Utiliser une ACP, et non une moyenne, minore le poids des stations atypiques, par exemple de proximité trafic. Les indices décrivent (i) la pollution en oxyde d'azote via la CP1 « NOx » d'une ACP portant sur 12 séries de concentrations moyennes de NO et de NO₂ mesurées aux 6 stations ATMOSF'air, (ii) la

pollution à l'ozone via la CP1 « O₃ » d'une ACP sur 3 séries d'ozone et (iii) les particules fines avec la CP1 d'une ACP sur 5 séries de particules (3 en PM₁₀ et 2 en PM_{2,5}).

Tableau 1. Corrélations entre conditions météorologiques à la station Météo France de Dijon Longvic, versus contrastes spatiaux et dégradation de la QA sur l'agglomération du Grand Dijon (1 octobre 2014 – 31 mars 2015).

En gras, valeurs significatives au seuil 99% ; entre parenthèses, nombre de variables des matrices soumises à ACP et valeurs propres des CP1.

Dijon Longvic\Agglomération	Var. spatiales de T° (48, CP1 $\lambda=0.49$)	NO _x (12, CP1 $\lambda=0.68$)	O ₃ (3, CP1 $\lambda=0.97$)	PM (5, CP1 $\lambda=0.93$)
Température moyenne (8, CP1 $\lambda=0.9$)	0.32	-0.08	-0.1	-0.23
Contrastes nuit / jour (11, CP1 $\lambda=0.63$)	0.79	0.08	0.29	0.31
Instabilité (4, CP1 $\lambda=0.45$)	-0.22	0.08	-0.29	-0.32
Vitesse du vent	0.12	-0.53	0.55	-0.19

Au sein de l'agglomération du Grand Dijon, lors de l'hiver 2014-2015, les variations spatiales de températures se développent lors des jours où les contrastes nuit / jour sont importants ($R=0.79$, Tableau 1), à savoir une forte amplitude diurne de température associée à des valeurs élevées de rayonnement global, d'insolation et de hauteur de la base des nuages (Figure 2). Ces éléments signent des conditions radiatives ou de « beau temps ».

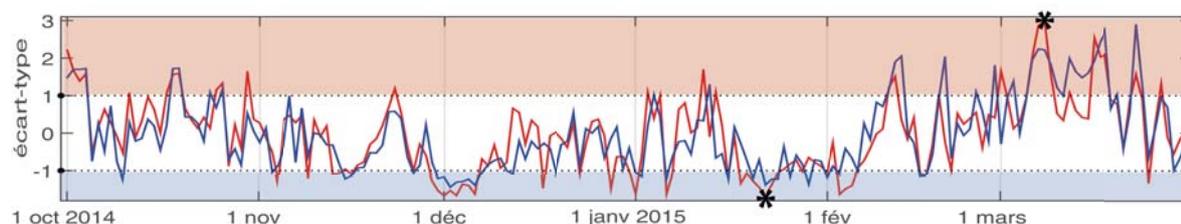


Figure 2. Variations spatiales de la température (courbe rouge) et contrastes nuit/ jours (courbe bleue) quotidiens sur l'agglomération du Grand Dijon et à la station Météo France de Dijon Longvic.

Fond rose : CP1 > 1 ; fond bleu : CP1 < -1 ; * : valeur mini (22 janvier) et maxi (8 mars) de CP1 « spa. spatiales de T° ».

Par beau temps, les concentrations d'ozone tendent également à augmenter (Tableau 1). Toutefois, en saison froide, la formation d'ozone et le lien statistique sont faibles. Le beau temps hivernal est également associé à une dégradation de la QA en termes de particules fines (Tableau 1). Le lien entre conditions favorables au développement de variations spatiales de températures, inversions thermiques ou ICU, et pollution hivernale existe donc. Pour autant ce lien est tenu car d'autres éléments génèrent des effets opposés. Par exemple une température élevée est favorise de fortes variations spatiales de température mais limite les pollutions aux particules fines (Tableau 1). De son côté, la pollution aux oxydes d'azote et à l'ozone est surtout associée au vent qui disperse les oxydes d'azote émis au sein de l'agglomération, tout en advectant de l'ozone de fond en provenance des espaces ruraux environnants.

3. Conditions météorologiques et ICU

CP1, qui décrit les variations spatiales maximales quotidiennes de température sur l'agglomération dijonnaise, est inférieure à -1 écart-type lors de 36 journées, les plus fréquemment situées en décembre et janvier au cœur de l'hiver (Figure 2). Elle est minimale le 22 janvier. CP1 est supérieure à 1 écart-type lors de 30 journées, fréquemment situées en octobre et mars, et est maximale le 8 mars. Une métrique de l'ICU est la différence de

température entre la station d'hyper-centre place de la Libération et la station rurale de plaine de Magny-sur-Tille (Figure 1). En moyenne, hiver 2014-2015, l'ICU est supérieur à 1°C de 17h à 5h et maximal (1,57°C) à 20h TU (Figure 3).

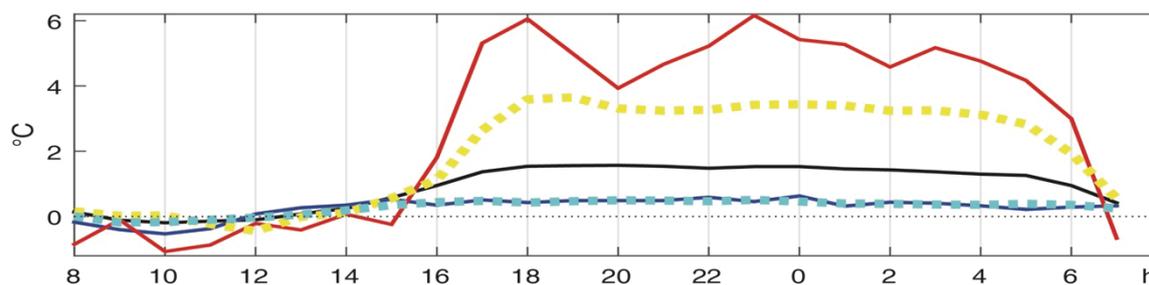


Figure 3. Rythmes diurnes de l'Îlot de Chaleur Urbain (ICU) à Dijon, hiver 2014-2015. Noir : moyenne 01 octobre 2014 au 31 mars 2015 ; jaune : moyenne des 30 jours où $PC1 > 1$; rouge : 08 mars 2015, jour où $PC1$ est maximale ; cyan moyenne des 36 jours où $PC1 < -1$ et bleu : 22 janvier 2015, jour où $PC1$ est minimale.

Pour identifier les structures spatiales sous-tendant les champs de température, nous effectuons des interpolations spatiales pour le 22 janvier et le 8 mars (à 20h). La méthode procède en deux temps : régression linéaire multiple sur les coordonnées (latitude, longitude et altitude) des 48 stations, puis krigeage des résidus.

Le 22 janvier, les coordonnées des stations sont très explicatives ($R^2=0.87$). L'interpolation par régression multiple génère un champ porté par l'altitude (Figure 4a). Le semi-variogramme calculé sur les résidus (Figure 4b) permet de les kriger (Figure 4c). Un noyau chaud de très faible magnitude (0,4°C) est positionné sur le cœur de Dijon. Il est ceinturé de plusieurs noyaux froids induits par des stations de proche périphérie. Enfin, les stations devenant trop éparées, des effets de bords interviennent. La validation croisée, où sont itérativement cachées chacune des 48 stations, permet de tester la fiabilité de l'interpolation. Le nuage de points est bien structuré (Figure 4d) et l'erreur moyenne faible (0,14°C). La carte finale, somme des deux précédentes, associe gradient altitudinal et petit ICU (Figure 4e). La température oscille entre -2°C sur les hauteurs (600m) et 2°C en plaine (200m). Le gradient altitudinal est donc très fort (1°C / 100m), les conditions météorologiques furent classiques pour l'hiver à Dijon : fraîches ($T_{min}=0,8°C$, $T_{max}=2,9°C$), sans pluie et sans soleil. Dès lors, comment expliquer la présence d'un ICU si ce n'est via la chaleur anthropogénique ? Le réseau MUSTARDijon en donne une mesure : quelques dixièmes de degrés. Cet ICU *a priori* généré par le flux de chaleur anthropogénique, a un profil diurne caractéristique (Figure 3) et a été observé lors de 36 jours lors de l'hiver 2014-2015.

Le 08 mars, les coordonnées des stations sont très peu explicatives ($R^2=0.13$). L'interpolation par régression multiple génère un champ porté par l'altitude mais témoignant d'une situation d'inversion (Figure 4f). Le semi-variogramme (Figure 4g) permet de kriger les résidus (Figure 4h) qui signent un ICU de magnitude moyenne de 3°C avec un maximum dépassant localement +6°C à 23h (Figure 3). La validation croisée indique que des erreurs peuvent atteindre 3°C (Figure 4i) et sont en moyenne de 1,11°C. La carte finale associe inversion thermique et ICU (Figure 4j). Le 08 mars est une belle journée, fraîche le matin ($T_{min}=2,9°C$), puis douce en journée ($T_{max}=16,7°C$) du fait d'un ensoleillement optimal (9h). La chaleur accumulée par les surfaces urbaines est restituée en début de nuit où l'ICU atteint localement 6°C. C'est une illustration de l'ICU radiatif. Lors de l'hiver 2014-2015, sur les 30 journées de ce type ayant un profil diurne très caractéristique marqué par une hausse soudaine à la tombée de la nuit (entre 16 et 18h TU), l'ICU radiatif est en moyenne de 3°C.

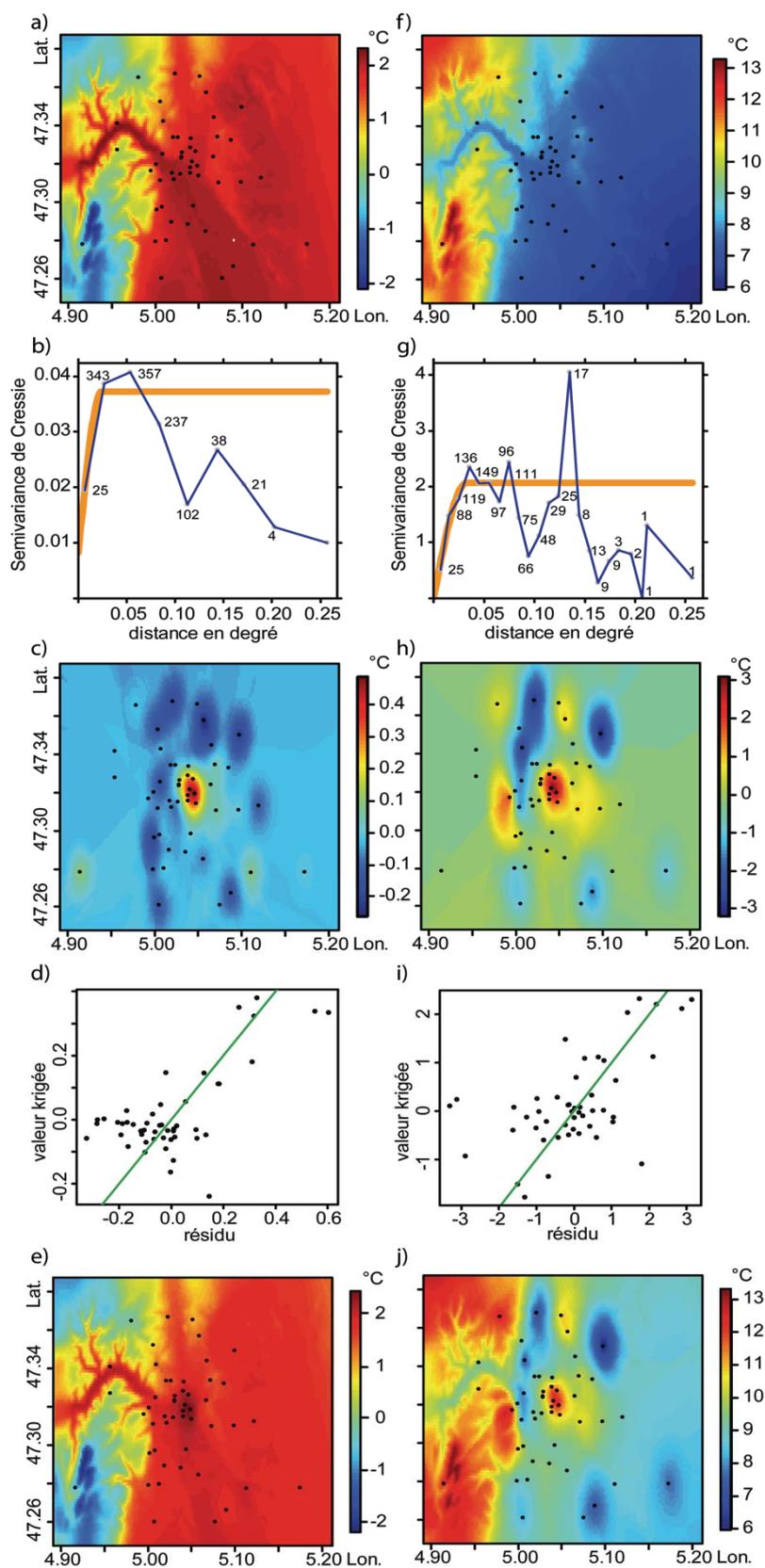


Figure 4. Température à 20h TU le 22 janvier (colonne de gauche) et le 08 mars 2015 (colonne de droite). a) et f) : interpolation par régression multiple ; b) et g) : semi-variogrammes sur les résidus ; c) et h) : krigage des résidus ; d) et i) : validation croisée ; e) et j) température interpolée par régression-krigeage

Conclusion

A Dijon, lors de l'hiver 2014-2015, la stabilité de l'air favorise l'individualisation d'une couche limite urbaine associant inversion de température, ICU et dégradation de la QA. Mais cette association n'est pas systématique. Surtout en mars, les fortes variations spatiales et l'ICU sont souvent synchrones de pollutions en particules fines, toutes deux potentiellement favorisées par les inversions thermiques. En l'absence de radio-sondage sur l'agglomération, il serait utile d'avoir recours à des sorties de modèles météorologiques, par exemple AROME de Météo France, pour le vérifier. Il existe également un mécanisme allant au-delà de la simple corrélation : les particules fines modifient le bilan radiatif. Elles interceptent le flux solaire incident courtes longueurs d'ondes (Shahmohamadi *et al.*, 2011). Mais ceci n'est pas favorable au développement de l'ICU puisqu'il réduit le stockage de chaleur des surfaces urbaines.

Une association entre ICU et pollution à l'ozone est également observée. Un mécanisme explicatif est que l'ICU générerait des températures de l'air élevées qui contribueraient à la formation de précurseurs (transformation du NO en NO₂) de l'ozone (Malik et Bhatt, 2015). Mais en hiver, la présence d'ozone en ville est surtout à mettre en relation avec sa faible destruction (peu de NO) ou son advection depuis les espaces environnants. Ces deux éléments sont neutres ou peu favorables à la formation d'un ICU. Ainsi, ICU et pollutions aux oxydes d'azote ou à l'ozone sont des phénomènes généralement dissociés.

L'origine radiative de l'ICU est connue (Shahmohamadi *et al.*, 2011). Durant la journée, le rayonnement solaire est converti en chaleur par bâtiments, routes et autres constructions. Cette chaleur est réémise vers l'atmosphère après le coucher du soleil et génère des différences de température entre aires urbaines et rurales. Cela a été observé lors d'une trentaine de journées lors de l'hiver 2014-2015 et est illustré par le cas du 08 mars. En l'absence d'insolation, cas du 22 janvier 2015 et observé 36 fois hiver 2014-2015, ce mécanisme ne peut être évoqué. L'hypothèse d'un ICU dont l'origine est la chaleur anthropogénique se doit d'être approfondie. Des mesures itinérantes répétées, effectuées lors de soirées aisant suite à des journées sans soleil, devraient permettre de mieux la documenter.

Bibliographie

- Hewson E. W., 1956. Meteorological factors affecting causes and control air pollution. *Journal of the Air Pollution Control Association*, **5**, 235-241.
- 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 XXVIII^{ème} colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, 1-4 juillet 2015 (pp. 257-262). Liège, Belgique.
- Lázló E., Zsolt B., Szegedi S., 2015. Long-term changes of meteorological conditions of urban heat island development in the region of Debrecen, Hungary. *Theor Appl Climatol*, **119**, DOI 10.1007/s00704-015-1427-9.
- Malik A., Bhatt M., 2015. Rain water harvesting – a solution for Urban Heat Island. *Open International Journal of Technology Innovations and Research*, **14**, 7 p.
- Mestayer P. G., Durand P., Augustin P., Bastin S., Bonnefond J.-M., Bénech B., ... Voogt J., 2005. The urban boundary-layer field campaign in Marseille (UBL/CLU-ESCOMPTE): set-up and first results. *Boundary Layer Meteorology*, **114**, 315-365.
- Rotach M. W., Vogt R., Bernhofer C., Batchvarova E., Christen A., Clappier A., ... Voogt J. A., 2005. BUBBLE – an Urban Boundary Layer Meteorology Project. *Theoretical and Applied Climatology*, **81**, 231–261.
- Roussel I., 2015. Les épisodes de forte pollution : introduction. *Pollution Atmosphérique*, n^o spécial, 8-19.
- Shahmohamadi P., Che-Ani A. I., Mauld K. N. A., Tawil N. M., Abdullah N. A. G., 2011. The impact of Anthropogenic Heat of formation on Urban Heat Island and energy consumption balance. *Urban Studies Research*, **2011**, 9 p., doi:10.1155/2011/497524.