

Caractérisation des îlots de chaleur urbains et test d'une solution d'humidification de chaussée dans le quartier de la Part-Dieu à Lyon

■ P. MAILLARD¹, F. DAVID², M. DECHESNE², J.-B. BAILLY³, E. LESUEUR^{1,3}

Mots-clés : îlots de chaleur urbains, adaptation au changement climatique, cartographie ICU, solutions d'atténuation des ICU, humidification de chaussée

Keywords: urban heat islands, climatic change adaption, UHI GIS diagnosis, UHI countermeasures, sprinkling of urban road

1. Contexte et objectifs

1.1. Causes, impacts et atténuation des îlots de chaleur urbains (ICU)

L'existence des îlots de chaleur urbains (ICU) est désormais bien établie et bien documentée [OKE, 1982; ESCOURROU, 1991; ELIASSON, 1996; TAHA, 1997; AKBARI et KONOPACKI, 2004; SANTAMOURIS, 2007; STEWART et OKE, 2012]. Ce phénomène physique climatique d'origine naturelle et anthropique est principalement causé par l'absorption accrue d'énergie solaire, les surfaces minéralisées (bâtiments, voiries) et la géométrie

urbaine. Il aboutit en fonction des formes urbaines à un écart de température de 5 à 10 °C entre les zones urbaines minéralisées et les zones périurbaines et a pour conséquence d'exacerber les épisodes de chaleur intense et d'engendrer de nombreux impacts négatifs sur l'environnement et la santé : maladies liées à la chaleur, concentration de pollution aérienne, surconsommation énergétique des bâtiments (réduction des besoins de chaleur en hiver, augmentation des besoins de froid en été).

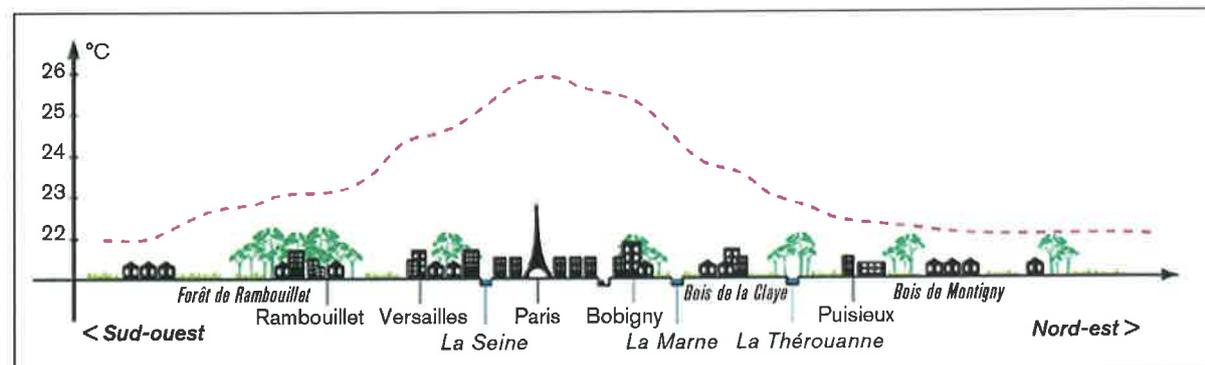
Un effet typique des ICU est une faible réduction de la température nocturne, ce qui ne permet pas aux habitants de récupérer des vagues de chaleur diurnes.

L'événement caniculaire de 2003 (15 000 morts en France [INVS, 2004]) a mis en évidence ce phénomène de façon dramatique dans certaines villes françaises et plus largement européennes.

¹ Veolia Environnement - direction Innovation & Marchés - Innove (Incubateur Nouvelles Offres VE) - 40, rue Letort - 75018 Paris. Courriel : philippe.maillard@veolia.com

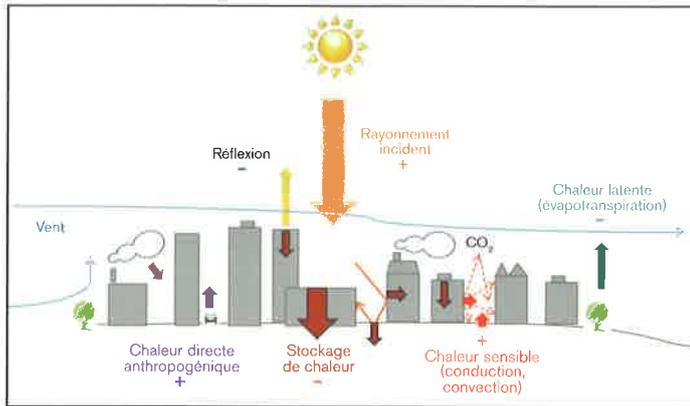
² Veolia Environnement Recherche & Innovation - Chemin de la Digue - 78603 Maisons-Laffitte.

³ Eco-Environnement Ingénierie - 40, rue Letort - 75018 Paris.



Source : groupe Descartes pour la consultation du Grand Paris, 2009.

Figure 1. Illustration du phénomène d'ICU à Paris



Source : Veolia Environnement,

Figure 2. Illustration des phénomènes physiques à l'origine du phénomène d'ICU

Le groupement d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) s'accorde sur une intensification future des événements météorologiques extrêmes comme les vagues de chaleur [IPCC, 2013]. C'est pourquoi, dans le cadre d'une mise en œuvre d'une stratégie globale de résilience au changement climatique, de nombreuses villes dans le monde élaborent des stratégies d'atténuation des ICU. Ces stratégies font l'objet d'articles scientifiques [GAGO *et al.*, 2013 ; SANTAMOURIS, 2012 ; SANTAMOURIS, 2013 ; AKBARI et KONOPACKI, 2004].

Si certains pays urbanisés comme le Japon font figure de précurseur dans l'élaboration de stratégies d'atténuation des ICU depuis plus de 10 ans, de nombreuses métropoles ont élaboré des stratégies correspondant aux enjeux locaux de ce phénomène : Toronto, Montréal, New York, Chicago, Stuttgart, Londres, Varsovie, Athènes, etc.

En France, la plupart des villes et agglomérations de grande et de moyenne taille se préoccupent à divers degrés de ce phénomène, notamment dans le cadre du volet « adaptation » des plans climat-énergie territoriaux (PCET) : Paris, Lyon, Marseille, Toulouse, Nantes, Lille, Strasbourg, Rennes, Bordeaux, Clermont-Ferrand, Nancy, Grenoble, Rouen, Annecy, Saint-Étienne, Orléans, Montpellier, Nice, etc.

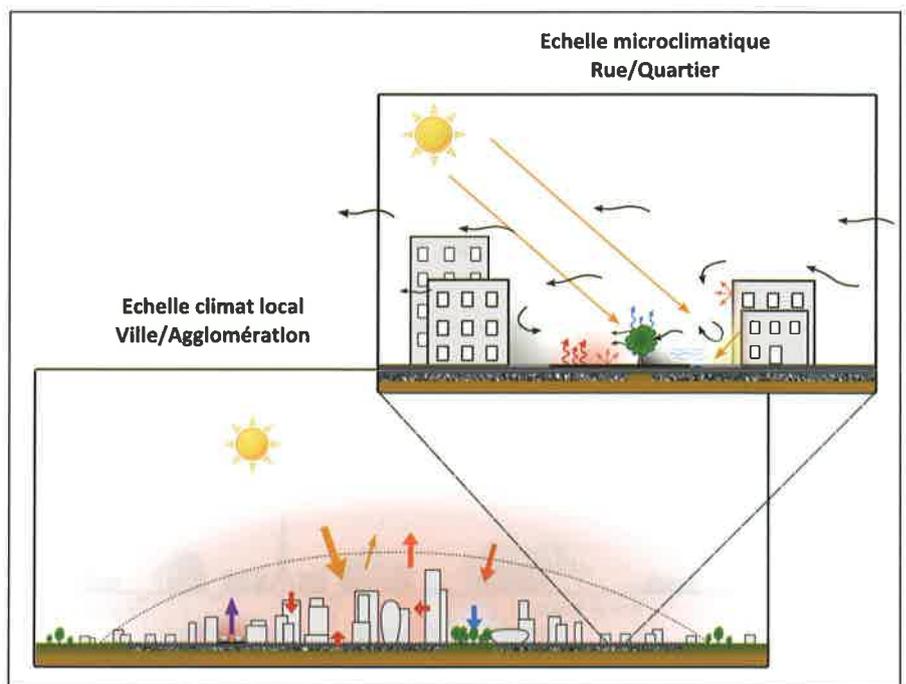
Le phénomène ICU est aussi de plus en plus pris en compte à l'échelle des projets urbains (construction ou rénovation) qui se fixent des objectifs ambitieux en matière d'aménagement durable pour atteindre, par exemple, les exigences du label Écoquartier, suivant en cela les recommandations du plan national d'adaptation au changement climatique de 2011 [ONERC, 2011].

Des stratégies d'atténuations sont évaluées à ces deux échelles : ville/agglomération et projet urbain/quartier.

Les stratégies qui sont élaborées par les villes concernant les ICU comportent deux étapes :

- identifier les risques d'apparition d'ICU et de leurs impacts potentiels ;
- définir des plans d'actions à court, moyen et long terme pour prendre en compte ce phénomène dans les schémas d'aménagement, notamment au sein du plan local d'urbanisme (PLU) et mettre en œuvre des solutions d'atténuation.

Des premières solutions d'atténuation des ICU sont donc d'abord mises en œuvre et testées au niveau de projets d'aménagement avant d'être diffusées à l'ensemble du territoire d'une agglomération, notamment à travers les recommandations du PLU.



Source : Veolia Environnement.

Figure 3. Les deux échelles d'étude du phénomène d'ICU

Dans un premier temps, il s'agit d'abord de réaliser un diagnostic des enjeux et des impacts, à travers la mise en œuvre :

- de méthodes géomatiques permettant, à travers l'utilisation d'images satellites et de bases de données urbaines, d'élaborer des cartographies d'indicateurs d'ICU ;
- de campagne de mesures par capteurs fixes ou mobiles, permettant de compléter l'approche géomatique en élaborant des corrélations entre formes urbaines et données physiques et de mieux comprendre le phénomène par la surveillance et l'analyse de mesures sur plusieurs années ;
- de modélisations physiques du climat urbain au niveau de la ville et/ou d'un quartier, à l'aide d'outils développés en France par le Centre national de recherches météorologiques (CNRM : Météo France – CNRS) à Toulouse et l'Institut de recherche en sciences et techniques de la ville (IRSTV) à Nantes, qui doivent permettre, en s'appuyant sur les deux approches précédentes, de modéliser les ICU sur la base du climat actuel et des scénarios d'évolution du climat, ainsi que les solutions d'atténuation des ICU, afin d'élaborer des plans d'actions.

Cette première étape de diagnostic de ce phénomène complexe doit aboutir, dans un deuxième temps, à définir un plan d'actions hiérarchisées dans le temps. Or il existe de nombreuses solutions d'atténuation

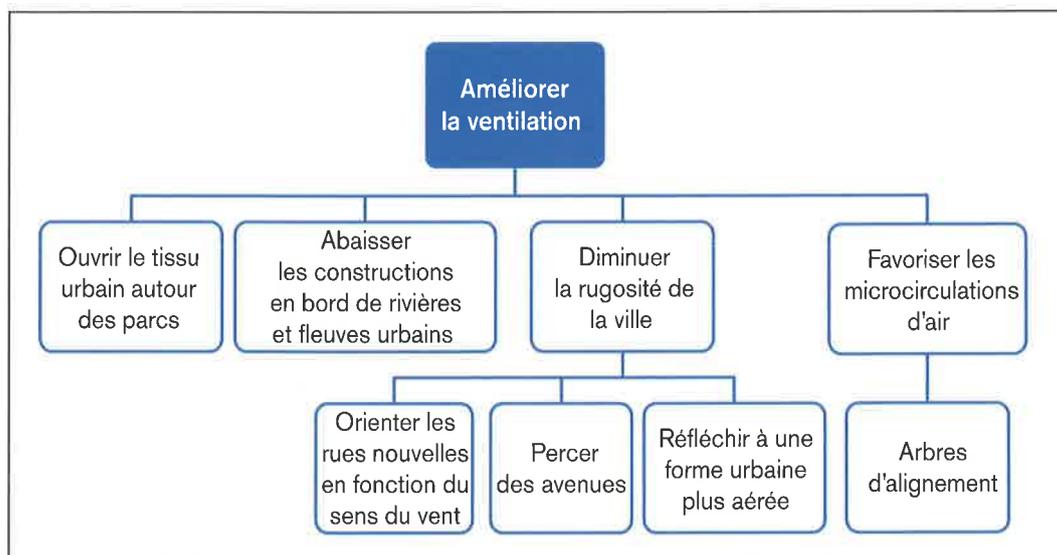
des ICU, qui concernent tous les domaines de l'aménagement urbain, qu'il est nécessaire d'évaluer et de comparer d'un point de vue global dans le cadre d'une approche coût/bénéfice (efficacité sur l'ICU, coût global, consommation de ressources comme l'eau, autres impacts).

Outre la réduction des émissions de chaleur anthropiques (transports, système de climatisation), les solutions d'atténuation peuvent être classées en trois catégories principales :

- l'amélioration de la ventilation de la ville (figure 4) ;
- la réduction du stockage de chaleur (figure 5) ;
- la mise en œuvre de sources de rafraîchissement urbain (figure 6).

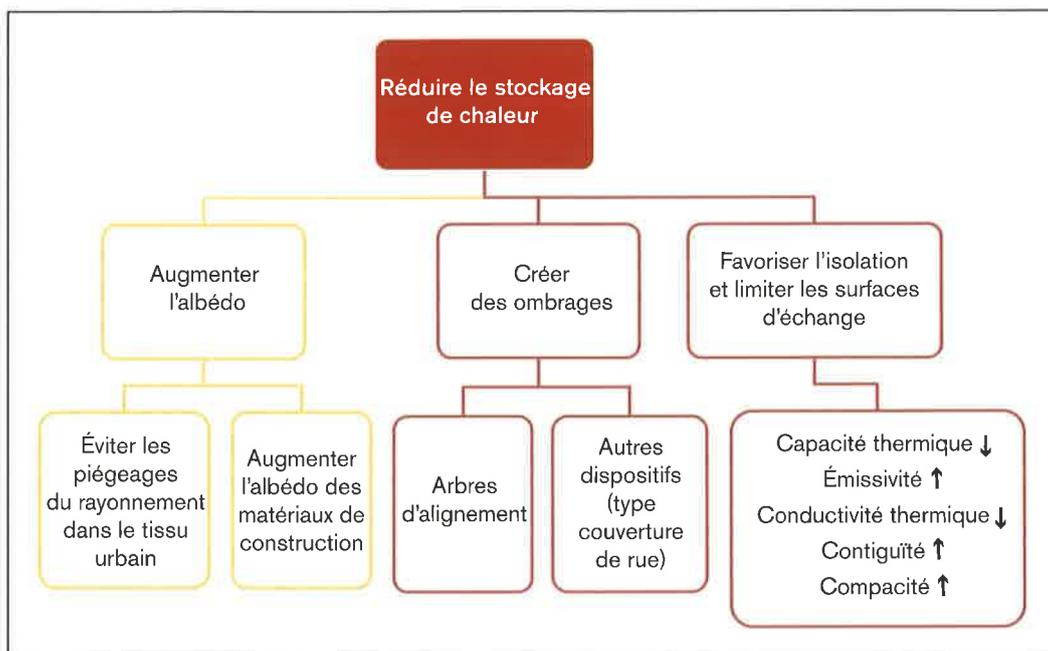
La solution optimale pour minimiser le risque d'ICU dans un projet neuf ou un quartier existant peut mettre en œuvre l'un ou plusieurs de ces dispositifs de rafraîchissement urbain (végétalisation, présence d'eau, albédo, ventilation) en les combinant. Ainsi, dans le cadre de la conception du pôle multimodal de Nice Saint-Augustin, le phénomène d'ICU a été modélisé à l'aide du logiciel ENVI-met [HUTTNER *et al.*, 2008], qui a permis de déterminer des cartographies de PET⁴ et de simuler différentes solutions d'atténuation. Ce projet a été subventionné par le Fonds écocité ville de demain [MEDDTL, 2011].

⁴ Le PET (pour : *physiological equivalent temperature*) est un indicateur de confort extérieur [HÖPPE, 1999], au même titre que le WBGT, présenté dans cet article.



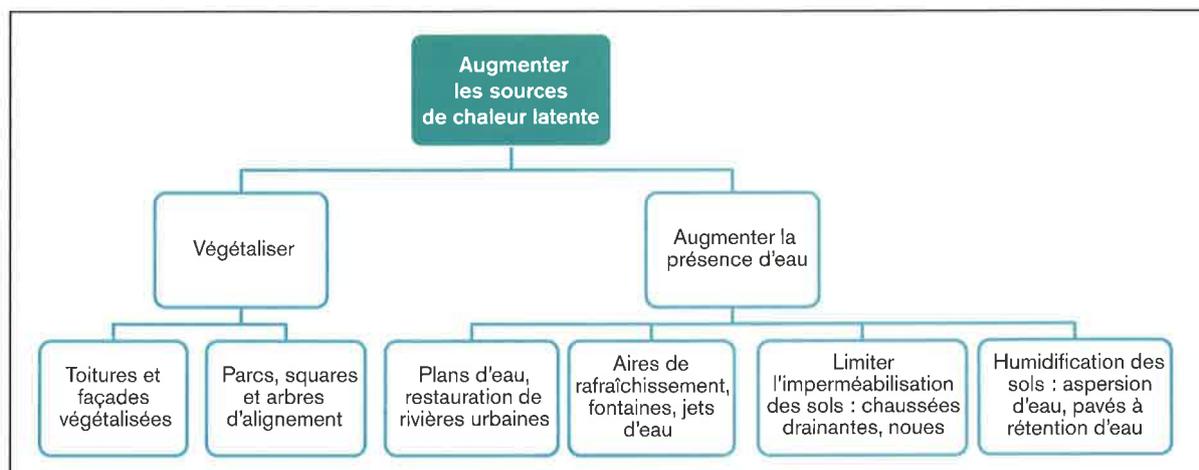
D'après [COLOMBERT, 2008].

Figure 4. Solutions d'atténuation des ICU : l'amélioration de la ventilation



D'après [COLOMBERT, 2008].

Figure 5. Solutions d'atténuation des ICU : la réduction du stockage de chaleur



D'après [COLOMBERT, 2008].

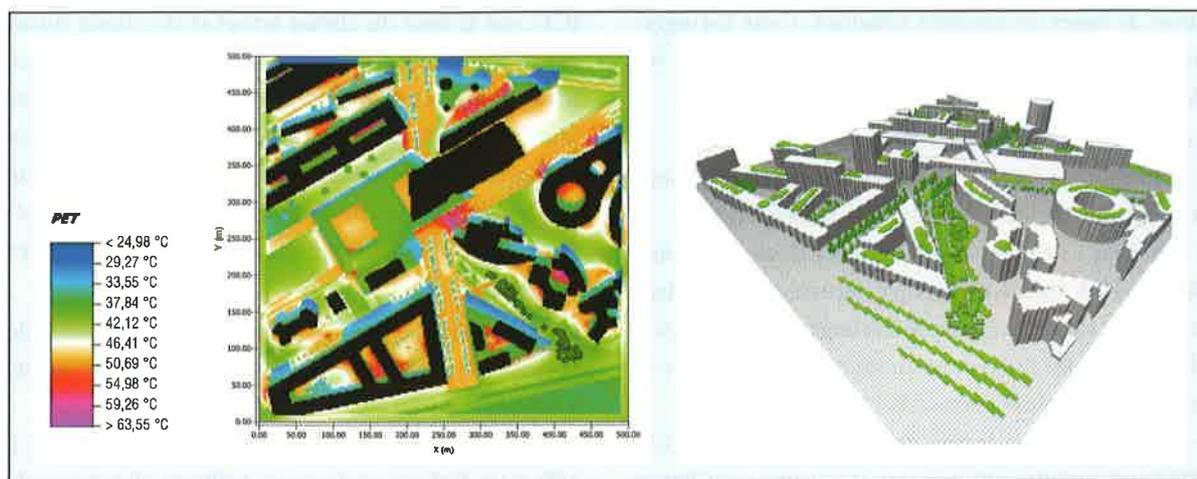
Figure 6. Solutions d'atténuation des ICU : la mise en œuvre de sources de rafraîchissement urbain

Différentes solutions ont déjà été testées depuis des années à travers le monde, basées sur la végétalisation, l'utilisation de l'eau, l'albédo des bâtiments et des voiries, ainsi que la circulation de l'air dans les villes. Si la végétalisation est une des solutions les plus préconisées, les surfaces disponibles peuvent être insuffisantes pour atteindre l'impact recherché. Par ailleurs, l'efficacité de la végétalisation, qui est basée sur l'ombrage et sur l'évapotranspiration, repose sur une ressource en eau disponible.

Il est donc nécessaire d'envisager des solutions complémentaires fondées sur l'utilisation de l'eau, l'albédo et la ventilation. Cette nouvelle utilisation des eaux non potables pourrait redéfinir un nouveau cycle de l'eau en ville.

Toutefois, les performances respectives de ces solutions restent à mieux connaître, et certaines solutions innovantes restent à mettre au point.

Veolia Environnement développe depuis 2010, avec les partenaires appropriés, des outils de diagnostic et de préconisation concernant les ICU à l'échelle de



Source : Veolia Environnement.

PET : *physiological equivalent temperature*.

Figure 7. Modélisation du pôle multimodal de Nice Saint-Augustin

l'agglomération et du projet urbain, ainsi que des solutions d'atténuation innovantes basées sur l'utilisation d'eau non potable. Ces développements nécessitent d'être testés *in situ* dans le cadre d'expérimentations urbaines.

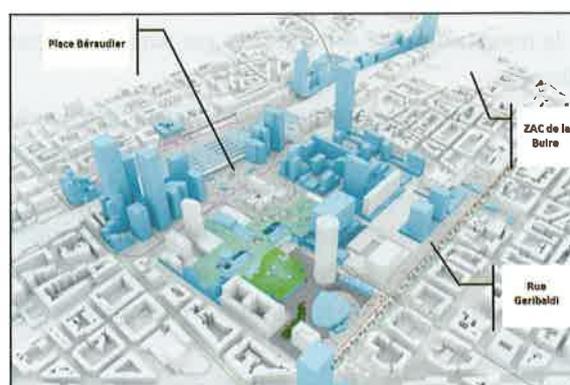
1.2. Le quartier de la Part-Dieu à Lyon comme terrain d'expérimentation

Depuis la vague de chaleur de 2003, le Grand Lyon s'est mobilisé sur le sujet des ICU qui figure dans le volet « adaptation » de son plan climat. Le projet de Veolia Environnement consistant à tester un outil de caractérisation des ICU et des solutions d'atténuation s'articule avec les besoins de l'agglomération, à savoir une meilleure caractérisation du phénomène au niveau local afin d'alimenter les politiques d'aménagement (PLU, programme local de l'habitat PLH, référentiels).

Le quartier de la Part-Dieu a été retenu avec le Grand Lyon et l'Agence d'urbanisme pour le développement de l'agglomération lyonnaise comme terrain d'expérimentation : ce quartier, dont le programme de rénovation et d'extension, piloté par la mission Part-Dieu, a pour objectif de consolider sa place de second quartier d'affaires français et son envergure européenne, est en effet aussi un terrain d'innovation pour de nouvelles solutions et pratiques urbaines.

Trois zones caractéristiques ont été ciblées :

– la place Béraudier (espace public minéralisé et très fréquenté) ;



Source : Grand Lyon – Stratégie prospective et plan guide.

Figure 8. Plan guide du quartier de la Part-Dieu

- la rue Garibaldi (quartier lyonnais typique) ;
- la ZAC de la Buire (quartier neuf, dense, avec espaces verts).

2. Caractérisation des ICU dans le quartier de la Part-Dieu

2.1. Méthodologie

La caractérisation des ICU est généralement la première étape d'une stratégie de prise en compte de ce phénomène dans les schémas d'aménagement urbain de type PLU. La question à laquelle il faut répondre est la suivante : comment identifier les probabilités d'apparition des ICU ?

L'objectif de la caractérisation est d'obtenir une cartographie d'ICU basée sur un indicateur fiable, simple ou composite, calculé à partir de données satellites, de bases de données d'occupation du sol

et/ou de bases de données urbaines. Cette cartographie va permettre de comprendre quels sont les déterminants de l'apparition des ICU.

Les indicateurs les plus utilisés sont :

- l'occupation du sol (les zones très urbanisées sont susceptibles d'être à l'origine d'ICU importants) ;
- la présence de rues canyons, qui se caractérise à l'aide du ratio H/W (hauteur/largeur) : une rue encaissée, dont la hauteur est très supérieure à la largeur, peut piéger la chaleur diffuse provenant du rayonnement solaire et contribuer au phénomène d'ICU ;
- la rugosité de la forme urbaine, car la formation d'ICU est notamment provoquée par une ventilation insuffisante ;
- la présence du végétal, mesurée notamment grâce à l'indicateur *normalized difference vegetation index* (NDVI) ;
- la température de sol, mesurée par satellite ou par drone ;
- la zone climatique urbaine (*urban climatic zone*), indicateur composite calculé sur la base du taux d'imperméabilisation du sol, de la rugosité et du ratio H/W.

Cette caractérisation doit être validée par des mesures physiques sur le terrain (température, hygrométrie) afin de corrélérer l'indicateur utilisé avec le phénomène physique.

Cette caractérisation devra ensuite être complétée par une évaluation de la vulnérabilité du territoire aux

ICU, sur la base du climat actuel et du climat futur, car le phénomène sera plus critique dans des zones habitées avec une forte présence de personnes fragiles que dans des zones d'activités comportant des locaux climatisés. Il est donc indispensable d'avoir cette double approche afin de hiérarchiser les enjeux et donc les actions à mettre en œuvre pour atténuer les effets des ICU.

La caractérisation des ICU au niveau du quartier de la Part-Dieu a été réalisée en 2011 avec Villes & Climats à travers :

- une approche topoclimatique (maille supérieure à 100 m × 100 m) réalisée en utilisant des bases de données d'un système d'information géographique (SIG) d'occupation du sol et de télédétection (images satellite) ;
- une approche micro-climatique (maille inférieure à 100 m × 100 m) réalisée en utilisant des bases de données urbaines ;
- des mesures physiques (température et hygrométrie) réalisées durant l'été 2011, accompagnées d'une enquête auprès d'habitants du quartier afin de connaître leur perception de ce phénomène.

2.2. Résultats obtenus

Les cartographies réalisées à partir des bases de données ont permis de déterminer les probabilités d'apparition des ICU à travers plusieurs critères (éclairage énergétique reçu, végétalisation, forme



Source : Veolia Environnement/Villes & Climats.

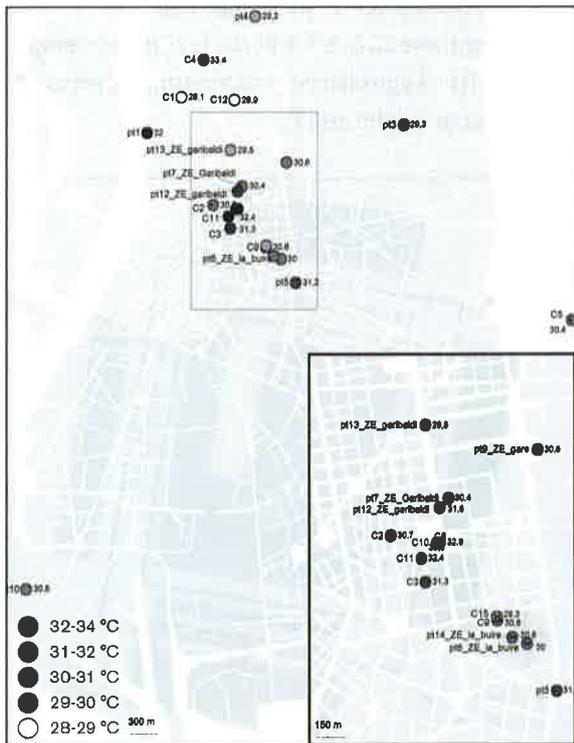
Figure 9. Cartographie du taux de surface végétale et des zones climatiques du quartier de la Part-Dieu

urbaine) et de décomposer le quartier de la Part-Dieu en mailles de 250 m × 250 m possédant chacune une typologie et une forme urbaine spécifique. Ces cartographies sont en cours de corrélation avec les profils de températures mesurées durant l'été 2011. Les mesures physiques réalisées ont mis en évidence les résultats suivants :

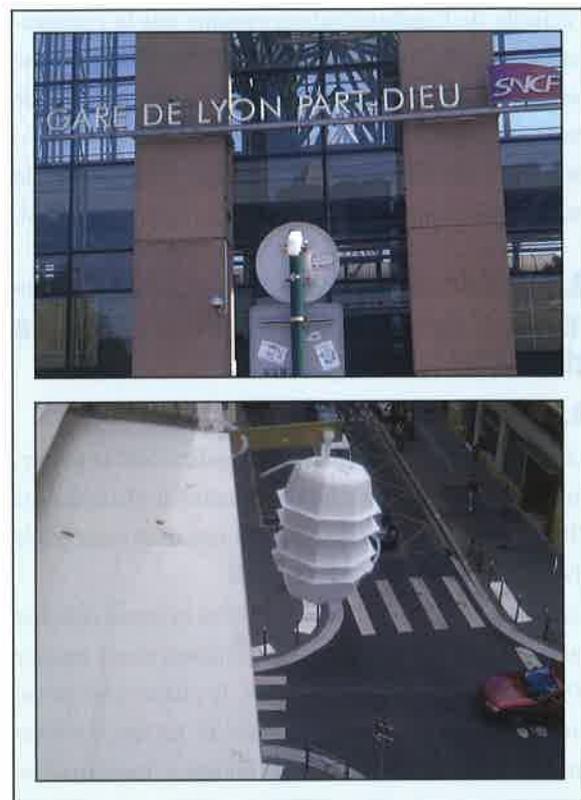
- des valeurs de température moyenne journalière dépassant 20 °C et 25 °C au cours de la période de l'alerte canicule, qui a eu lieu du 18 au 22 août 2011, mais aussi en dehors de cette période ;
- un abaissement de la température de 0,5 à 0,8 °C à proximité du Rhône et du parc de la Tête d'Or, l'effet étant perceptible jusqu'à une distance de 300 m environ ;
- un abaissement de la température, dû aux petits squares, sensible jusqu'au trottoir opposé ;
- des valeurs maximales relevées au niveau de plusieurs points, notamment au niveau de la ZAC de la Buire.

2.3. Conclusions

La caractérisation des ICU a permis d'établir une typologie des différentes zones climatiques du quartier de la Part-Dieu, qui dépend des différents



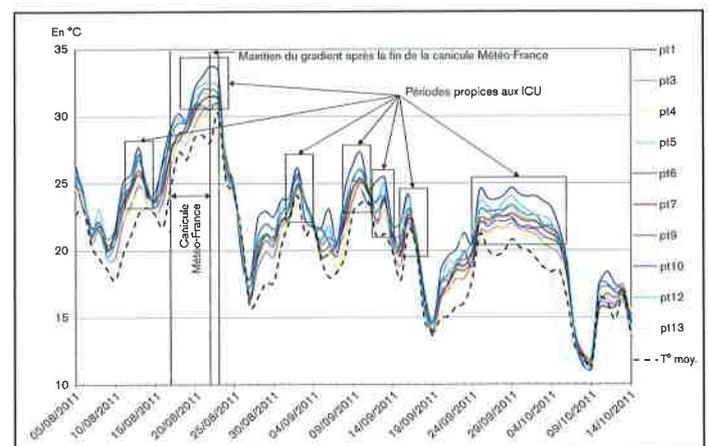
Source : Veolia Environnement/Villes & Climats.
Figure 10. Localisation des capteurs de température



Source : Veolia Environnement/Villes & Climats.
Figure 11. Mode d'implantation des capteurs de température

paramètres locaux (occupation du sol, présence de rues canyon, rugosité de la forme urbaine, présence de végétal, etc.) et qui doit être complétée par une corrélation avec les valeurs physiques mesurées (température et hygrométrie).

Cette approche à l'échelle d'un quartier est complémentaire du travail de caractérisation des ICU à



pt1, pt3... : courbes de température relevées par les différents capteurs.
Source : Veolia Environnement/Villes & Climats.
Figure 12. Profil de température moyenne journalière sur la durée de la campagne de mesures. La courbe T° moy correspond à la température relevée au niveau de la station météo de Bron, en zone périphérique de Lyon



Source : Veolia Environnement.

Figure 15. Station de mesure climatique



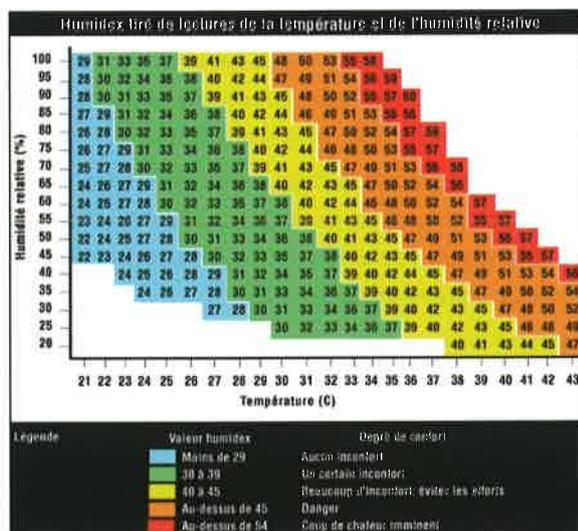
Source : Veolia Environnement.

Figure 16. Pilote d'humidification de la chaussée

– paramètres mesurés à 4 m du sol : température de l'air, hygrométrie, direction et vitesse du vent, ensoleillement.

Ces paramètres vont notamment permettre de calculer des indicateurs de confort extérieurs standardisés :

– humidex : cet indicateur composite qui prend en compte la température et l'hygrométrie de l'air est



Source : Service météorologique du Canada.

Figure 17. Seuils limites de l'humidex

utilisé par le service météorologique du Canada pour décrire l'intensité de la chaleur ressentie en milieu extérieur (figure 17) ;

– WBGT (*wet bulb globe temperature*) : cet indicateur composite qui prend en compte la température et l'hygrométrie de l'air, ainsi que la température moyenne de rayonnement, a été élaboré en 1956 par le United States Marine Corps pour déterminer les limites d'activités physiques des soldats ; il est désormais utilisé comme indicateur de stress thermique au travail (norme ISO 7243) (tableau I).

Le WBGT est un indicateur facilement calculable, utilisé pour évaluer les limites d'activité physique de

WBGT (°C)	Couleur du drapeau	Limite d'activité
< 26,6	Blanc	Travail très lourd
26,7 - 29,4	Vert	Travail lourd
29,4 - 31	Jaune	Travail modéré
31,1 - 32,1	Rouge	Travail léger
> 32,1	Noir	Aucun travail

$$WBGT = 0,7 T_w + 0,2 T_g + 0,1 T_d$$

T_w = température du thermomètre mouillé ou température humide naturelle : température mesurée à l'aide d'un thermomètre légèrement ventilé et entouré d'un chiffon imbibé d'eau ; T_g = température de globe : température mesurée avec un thermomètre à globe, également connu sous le nom de thermomètre à globe noir, pour mesurer le rayonnement solaire ; T_d = température de l'air mesurée à l'aide d'un thermomètre (températures exprimées en °C).

Source : American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH.

Tableau I. Formule de calcul du WBGT et seuils limites

type sport et travail, mais aussi pour caractériser le confort des piétons soumis à un stress thermique en milieu extérieur à cause du phénomène d'ICU.

Les figures 13 et 14 indiquent la localisation du pilote rue de la Buire et des différentes stations où sont installés les capteurs de mesures. Le pilote est mis en œuvre sur une surface de 210 m² sur la rue de la Buire à Lyon. Six stations de mesure sont réparties selon leur type :

- pilote : stations 13 et 14 rue de la Buire ;
- témoin : stations 15, 16 et 17 rue Faynel-Duclos ;
- parc : station 12 rue Professeur-René-Guillet, dans le but d'étudier l'impact de la présence d'un espace vert en comparaison à un système d'humidification de chaussée.

Les différentes mesures réalisées au niveau des deux rues, à 1,5 m de hauteur, sont la température de l'air, l'humidité de l'air, la température du thermomètre mouillé et la température du globe. Se rajoute une mesure de la température de surface de la chaussée grâce à des capteurs placés au milieu de la chaussée, dans l'enrobé à environ 1 centimètre de la surface.

3.3. Résultats obtenus

Les essais se sont déroulés du 13 août au 12 septembre 2012. Plusieurs programmes d'humidification ont été testés manuellement afin de comparer leurs impacts sur les différents paramètres physiques et indicateurs de confort :

- programme n° 2 : humidification toutes les 15 min de 14 h 00 à 18 h 00 ;
- programme n° 3 : humidification toutes les heures de 6 h 00 à 18 h 00 ;
- programme n° 4 : humidification toutes les heures de 6 h 00 à 14 h 00, puis toutes les 30 min jusqu'à 18 h 00.

Les quantités d'eau utilisées ont varié de 5 à 12 litres par m² de chaussée et par jour selon le programme testé.

Une enquête sociologique a par ailleurs été réalisée par Nova7 (agence d'étude et conseils pour les entreprises et les collectivités) auprès des passants sur leur perception du phénomène d'ICU et de la solution d'humidification testée.

Les résultats les plus significatifs obtenus concernent la période allant du 14 au 22 août, qui inclut notamment la période de canicule qui a duré à Lyon du 17 au 22 août.

Les graphiques de la *figure 18* comparent les températures de chaussée (graphiques de gauche) et les indices WBGT (graphiques de droite) mesurés au niveau de la rue de la Buire (point 13) et de la rue Faynel-Duclos (point 16) :

- 14 août : test du programme n° 2 ;
- 20 août : test du programme n° 3 ;
- 21 août : test du programme n° 4 ;
- 19 août : aucun programme d'humidification.

Afin de calculer l'impact réel de la solution d'humidification, il est nécessaire de tenir compte de l'écart structurel de comportement thermique des deux rues

qui peut être observé lorsqu'il n'y a pas d'humidification au niveau de la rue pilote.

Après la prise en compte de ces corrections, il apparaît que la solution d'humidification permet, sur ces quelques jours de forte chaleur :

- de réduire la température de chaussée de 3 à 5 °C ;
- de réduire le WBGT de 0,5 °C environ, l'impact sur cet indicateur étant moins marqué compte tenu des niveaux initiaux.

3.4. Conclusion

Ces essais permettent de réaliser une première évaluation de l'impact d'une solution d'humidification sur la température de la chaussée en période de canicule. Les résultats n'atteignent pas les valeurs obtenues avec des chaussées à rétention d'eau (chaussée drainante à structure réservoir) utilisées à Tokyo [KUBO *et al.*, 2006], soit de 10 à 15 °C de réduction de la température de chaussée, car il serait nécessaire que la chaussée soit humidifiée de façon plus continue. Par ailleurs, l'expérimentation n'a pas permis de différencier l'efficacité des divers scénarios testés.

Afin de pouvoir tester un plus grand nombre de cycles d'humidification et d'optimiser les performances du pilote, celui-ci a été automatisé (pilote par télégestion et récupération des mesures en temps réel) pour la campagne d'essais de l'été 2013.

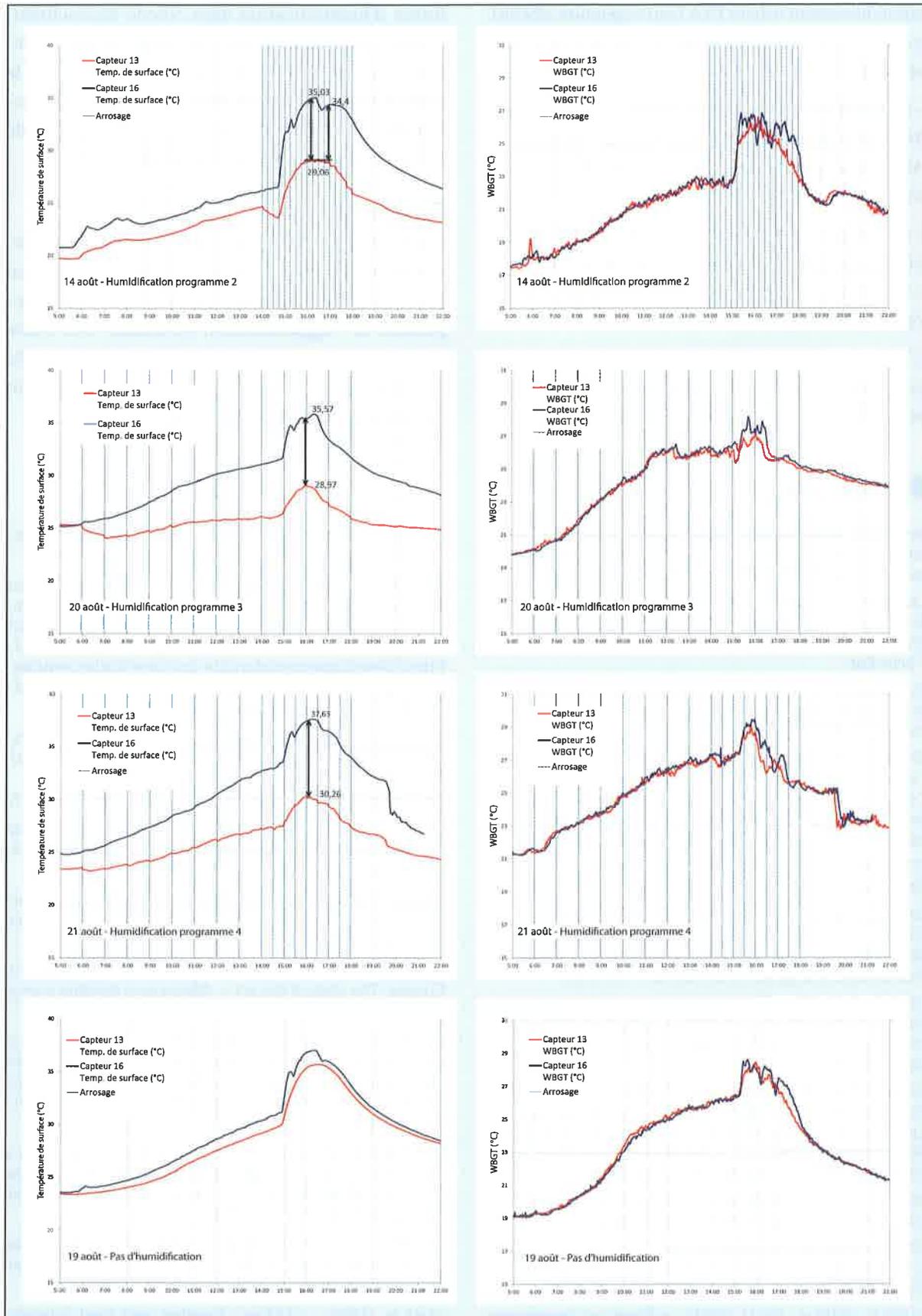
Synthèse et perspectives

La caractérisation des ICU dans le quartier de la Part-Dieu et l'expérimentation de la solution d'humidification constituent une première contribution à la définition de la stratégie d'atténuation des ICU du Grand Lyon à l'échelle de son territoire.

Il s'agit d'une première étape dans l'élaboration d'une méthodologie globale de diagnostic et préconisation qui permettra aux collectivités de déterminer leur stratégie d'atténuation des ICU.

Comme indiqué dans l'introduction, une stratégie complète de prise en compte des ICU dans un PLU nécessitera une meilleure connaissance des performances comparées des différentes solutions d'atténuation dans le cadre d'une approche globale.

Veolia Environnement s'est donc associé avec l'IRSTV dans le cadre du projet d'évaluation des dispositifs de



Source : Veolia Environnement.

Figure 18. Comparaison des températures de chaussée et du WBGT calculés pour la rue pilote (capteur 13) et la rue témoin (capteur 16)

rafraîchissement urbain EVA (eau végétation albédo), qui est soutenu par l'Ademe. Ce projet aura pour objectif :

- de modéliser les différentes solutions d'atténuation dans les logiciels Solene-microclimat, EnviBat E et ARPS afin de les simuler dans le cadre de la conception de projets urbains ;
- de comparer ces solutions dans le cadre d'une approche globale coût/bénéfice (efficacité sur l'ICU, coût global, consommation de ressources comme l'eau, autres impacts).

C'est le quartier de la Part-Dieu qui servira de site test pour ce projet, avec des premiers résultats attendus pour 2014 qui concerneront la modélisation de la so-

lution d'humidification dans Solene-microclimat, l'étude comparative de plusieurs dispositifs de rafraîchissement urbains dans une rue canyon type, et la collecte des informations nécessaires pour la réalisation des simulations au niveau de trois quartiers de la Part-Dieu identifiés avec le Grand Lyon.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement le Grand Lyon (service stratégies d'agglomération/plan climat et mission Part-Dieu), l'Agence d'urbanisme pour le développement de l'agglomération lyonnaise, SAS Buire Aménagement et D2P pour la mise à disposition du site d'expérimentation et leur aide précieuse qui ont permis la réalisation de ces travaux.

Bibliographie

- AKBARI H., KONOPACKI S. (2004) : « Energy effects of heat-island reduction strategies in Toronto ». *Canada Energy* ; vol. 29, Issue 2 : 191-210.
- 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. Université Paris-Est.
- ELIASSON I. (1996) : « Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use ». *Atmospheric Environment* ; vol. 30, n° 3 : 379-392.
- EPICEA – Météo-France (2012) : « Projet Epicea (étude pluridisciplinaire des impacts du changement climatique à l'échelle de l'agglomération parisienne) – Volet 3 : Lien entre l'urbanisme et le climat urbain tests de sensibilité dans le contexte de la canicule de l'été 2003 ».
- ESCOURROU G. (1991) : « Climate and Pollution in Paris ». *Energy and Buildings* ; 15-16 : 673-676.
- GAGO E.J., ROLDAN J., PACHECO-TORRES R., ORDÓÑEZ J. (2013) : « The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* ; vol. 25 : 749-758.
- HÖPPE P.R. (1999) : « The physiological equivalent temperature: a universal index for the assessment of the thermal environment ». *International Journal of Biometeorology* ; 43 : 71-5.
- HUTTNER S., BRUSE M., DOSTAL P. (2008) : « Using ENVI-met to simulate the impact of global warming on the microclimate in central European cities », in : Mayer H., Matzarakis A. (eds.) : *5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology*, October 2008, pp. 307-312.
- INVS – Institut national de veille sanitaire (2004) : « Plan Canicule ». *Bulletin épidémiologique hebdomadaire* ; n° 30-31.
- IPCC – Intergovernmental Panel On Climate Change (2013) : « Climate Change 2013: The Physical Science Basis ». Consultable sur : www.ipcc.ch (accès avril 2014).
- KUBO K., KIDO H., ITO M. (2006) : « Study on pavements technologies to mitigate the heat islands effect and their effectiveness ». International Society for Asphalt Pavements, 10th International Conference on Asphalt Pavements, August 12 to 17, 2006, Quebec City, Canada.
- MEDDTL – Ministère l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (2011) : « Investissements d'avenir : L'État soutient 93 projets innovants présentés par les 13 EcoCités ». Dossier téléchargeable (avril 2014) : http://developpementdurable.documentation.equipement.gouv.fr/documents/Urbamet/0303/Urbamet-0303858/investissementsdavenir_Ecocites.pdf
- MINISTRY OF THE ENVIRONMENT OF JAPAN (2012) : Heat Islands Countermeasures Manual (traduit du japonais). Consultable (avril 2014) : http://www.env.go.jp/air/life/heat_island/manual_01.html
- OKE T.R. (1982) : « The energetic basis of the urban heat island ». *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* ; vol. 108 : 1-24.
- ONERC – Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (2011) : *Plan national d'adaptation de la France aux effets du changement climatique 2011-2015*.
- SANTAMOURIS M. (2007) : « Heat island research in Europe: The state of the art ». *Advances in building energy research* ; 1 : 123-150.
- SANTAMOURIS M. (2012) : « Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments ». *Solar Energy*, In Press, Corrected Proof. DOI : 10.1016/j.solener.2012.07.003
- SANTAMOURIS M. (2013) : « Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island – A review of the actual developments ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* ; 26 : 224-240.
- STEWART I.D., OKE T.R. (2012) : « Local climate zones for urban temperature studies ». *Bulletin of the American Meteorological Society* ; vol. 93, Issue 12 : 1879-1900.
- TAHA H. (1997) : « Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration and anthropogenic heat ». *Energy and Buildings* ; 25 : 99-103.