



**HAL**  
open science

## Etude du rôle du végétal, en particulier les arbres, dans la création de microclimats en milieu urbain

Georges Najjar, Jerome Colin, Pierre Kastendeuch, Jérôme Ngao, Marc Saudreau, Tania Landes, Thierry Améglio, Laure Roupioz, Ramazani Luhahe, Samuel Guillemin, et al.

### ► To cite this version:

Georges Najjar, Jerome Colin, Pierre Kastendeuch, Jérôme Ngao, Marc Saudreau, et al.. Etude du rôle du végétal, en particulier les arbres, dans la création de microclimats en milieu urbain. Colloque AIC, Besançon, 6-9 juillet 2016, Jul 2016, Besancon, France. hal-04835040

**HAL Id: hal-04835040**

<https://hal.science/hal-04835040v1>

Submitted on 12 Dec 2024

**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.

# ETUDE DU ROLE DU VEGETAL, EN PARTICULIER LES ARBRES, DANS LA CREATION DE MICROCLIMATS EN MILIEU URBAIN

NAJJAR, G.<sup>1</sup>, COLIN J.<sup>1</sup>, KASTENDEUCH P.<sup>1</sup>, NGAO J.<sup>2</sup>, SAUDREAU M.<sup>2</sup>, LANDES T.<sup>1</sup>, AMEGLIO T.<sup>2</sup>, ROUPIOZ L.<sup>1</sup>, LUHAHE R.<sup>1</sup>, GUILLEMIN S.<sup>1</sup>, SCHREINER G.<sup>1</sup>, KLEINPETER J.<sup>3</sup>, BRUCKMANN F.<sup>4</sup>, OBRECHT P.<sup>5</sup>, NERRY F.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire ICube (UMR 7357 Univ. Strasbourg – CNRS – INSA Strasbourg), 300 bd. Brant, 67400 ILLKIRCH, FRANCE, [georges.najjar@unistra.fr](mailto:georges.najjar@unistra.fr)

<sup>2</sup> Laboratoire PIAF (UMR 547 INRA - Université Blaise Pascal), BP 10448, 63100 Clermont-Ferrand, France

<sup>3</sup> ASPA, 5, rue de Madrid, 67300 Schiltigheim, France

<sup>4</sup> Faculté de Géographie et d'Aménagement, Université de Strasbourg, 3 rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg

<sup>5</sup> Université de Strasbourg, 4 rue Blaise Pascal, 67000 Strasbourg

**Résumé :** Les micro-climats urbains et l'influence de la végétation font l'objet depuis 2013 d'une campagne de mesure spécifique sur l'agglomération de Strasbourg. Cette campagne comprend d'une part un réseau météorologique classique réparti sur l'ensemble de la ville, mais aussi des sites dédiés spécifiquement à l'étude détaillée des bilans radiatif et d'énergie dans deux zones différentes : un parc urbain et un quartier minéral dense. L'une des originalités de cette campagne réside dans un ensemble de mesures éco physiologiques permettant une étude fine du fonctionnement des différents éléments constitutifs de la végétation. Des résultats préliminaires de mesure sont présentés.

**Mots-Clés :** micro-climat, végétation, bilan d'énergie, bilan radiatif.

**Abstract :** Study of the role of vegetation in the creation of urban microclimate, with a particular focus on trees. This paper presents an on-going field campaign started in 2013 over the city of Strasbourg dedicated to urban micro-climates studies, with a specific focus on the role of vegetation. This campaign embraces many aspects, from city-wide meteorological measurements to highly specific radiative and energy balance monitoring. The UHI is monitored using a network of 23 stations, while detailed physical processes are investigated on two specific sites : an urban park and a dense mineral district. Eco physiological parameters are measured to finely analyse the contribution of the various vegetation covers to local micro-climates.

**Keywords:** micro-climate, vegetation, energy balance, radiative balance.

## Introduction

La climatologie urbaine a connu un développement important lors des deux dernières décennies. Les données climatologiques disponibles ne répondent pas toujours aux objectifs spécifiques des recherches envisagées, ce qui pousse les laboratoires à organiser des campagnes de mesures spécifiques comme BUBBLE (Rotach *et al.*, 2005) ou encore ECORURB (Dubreuil *et al.*, 2011) et à DIJON (De Lapparent *et al.*, 2015)

Le groupe TRIO du laboratoire ICube (UMR 7357 Université de Strasbourg-CNRS) mène depuis 2013, en collaboration avec le laboratoire PIAF (UMR 547 INRA-Université Blaise-Pascal Clermont-Ferrand), un projet de recherche (Najjar *et al.*, 2015) qui a pour objectif de comprendre et de modéliser la réponse de la zone urbaine de Strasbourg aux conditions imposées par le climat général, en particulier lors de paroxysmes climatiques (canicules et périodes de grand froid). Un objectif central dans ce projet est la détermination du rôle exact joué par la végétation (en particulier les arbres) dans la création de conditions microclimatiques particulières en milieu urbain.

Ces recherches, financées conjointement par le projet Atmo-IDEA (de l'appel d'offre européen INTERREG IV) et le projet AVENUE (appel d'offre TOSCA du CNES), sont structurées selon trois échelles complémentaires :

- l'échelle de la ville avec un réseau adapté à l'étude de la variabilité spatiale et temporelle de l'Îlot de Chaleur Urbain (ICU).

- L'échelle du quartier avec deux sites de mesures des bilans radiatifs et d'énergie. Le premier est situé dans un parc urbain proche du centre-ville et le deuxième dans une zone urbaine dense.
- A l'échelle locale, avec des mesures éco physiologiques et édaphiques permettant de mieux cerner les processus du fonctionnement de la végétation dans un milieu urbain.

L'un des aspects novateurs de ces recherches est la mise au point d'un dispositif et d'une méthodologie adaptés à la mesure des indices de confort et à l'étude des conditions bioclimatiques dans le milieu urbain en relation avec l'occupation du sol.

### **1. Dispositif expérimental:**

Un réseau de 23 stations est déployé sur l'ensemble de l'agglomération. Certaines de ces stations appartiennent au réseau de Météo-France ou celui de l'Association de la surveillance de la Pollution Atmosphérique en Alsace (ASPA), les autres ont été installées depuis 2013. Les sites couvrent au mieux les différents types de bâti et d'occupation du sol de l'agglomération et de la zone rurale environnante. Toutes les stations mesurent la température et l'humidité de l'air avec un pas de temps de 15 minutes (1 heure pour les stations de Météo-France) et certaines enregistrent la vitesse et direction du vent ainsi que les précipitations. En ville et dans la zone périurbaine, les stations ont été installées sur des mâts d'éclairage à une hauteur de 3 à 4 m au-dessus du sol.

Le rôle de la végétation dans la création de microclimats urbains est appréhendé dans notre cas à travers deux aspects complémentaires :

1. Le premier aspect consiste en une étude comparative du bilan d'énergie entre un parc urbain proche du centre et une zone fortement minéralisée. Le parc urbain est caractérisé par une surface couverte de pelouse et la présence de nombreux arbres, en particulier du tilleul argenté (espèce fréquente à Strasbourg). Il est entouré par une série de bâtiments anciens d'une vingtaine de mètres de hauteur. Ce site a été équipé d'un mât de 20m, situé entre deux rangées d'arbres (tilleuls argentés de 9 mètres de hauteur) et muni au sommet d'un dispositif permettant la mesure des flux turbulents de chaleur sensible et latente (CSAT-3 Campbell Scientific et LICOR LI-7500). Le bilan radiatif est mesuré au niveau de la surface et au sommet du mât. Le site à dominante minérale est situé plus au nord, mais assez représentatif de l'urbanisation du centre-ville, avec une absence de pelouse, un nombre limité d'arbres et des bâtiments dont la hauteur oscille entre 15 et 30 m. Ce site est aussi équipé d'un dispositif de mesure des flux turbulents au sommet d'une antenne de 15m située sur le toit d'un bâtiment (ce qui fait 30m par rapport au niveau de la rue). Le dispositif est complété par un système de mesure du bilan radiatif et par un anémomètre classique au sommet du mât, ainsi que deux abris météorologiques (T,Hr), l'un au sommet de l'antenne et l'autre à 5 m au-dessus du toit.
2. Le second aspect consiste à étudier le comportement éco-physiologique des arbres et de la pelouse en relation avec les caractéristiques de la masse d'air et des conditions du sol. Une série de six tilleuls argentés a été équipée, depuis 2013, de capteurs pour la mesure de la transpiration par la méthode de flux de sève (en collaboration avec l'UMR PIAF de l'INRA de Clermont-Ferrand). Elle est complétée par des mesures d'humidité et de température du sol sur 7 niveaux (jusqu'à 1,20 m), ainsi que de mesures de la variation du diamètre des branches, par le biais de capteurs PépiPIAF qui renseignent sur le comportement hydrique de l'arbre. L'un des six arbres a été choisi pour des mesures complémentaires portant sur la température de surface des feuilles selon deux orientations Est et Ouest, ainsi que des profils de température, d'humidité et du rayonnement photo-

synthétiquement actif (PAR) à l'intérieur et en dessous du houppier, sur 4 niveaux. Il fait l'objet de relevés réguliers réalisés avec un scanner LIDAR terrestre pour élaborer un modèle géométrique en 3D qui sera implanté dans les simulations (Landes *et al.*, 2014). La transpiration de la pelouse est mesurée par une chambre à transpiration fermée sur deux socles différents situés à 2 m l'un de l'autre. Ce système est complété par une série de 5 microlysimètres pesables.

La mesure du forçage radiatif du système urbain est réalisée sur le toit d'un bâtiment universitaire situé non loin de la zone centrale. Le dispositif mesure le rayonnement solaire direct ainsi que le rayonnement solaire global, et photo-synthétiquement actif (PAR) et l'infrarouge atmosphérique au pas de temps de deux minutes.

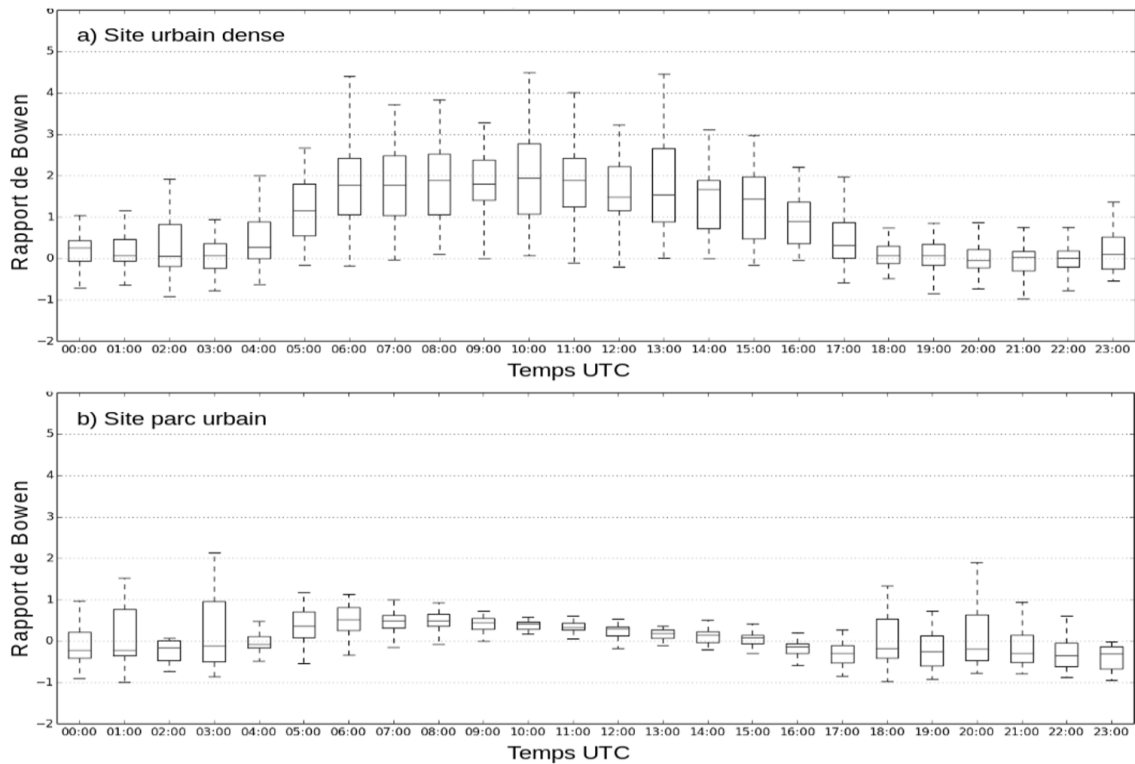
L'un des aspects novateurs de cette campagne de mesures est la prise en compte des indices de confort à travers l'étude de leur évolution temporelle et de leur répartition spatiale en relation avec l'occupation du sol. Les mesures sont réalisées selon deux méthodes différentes : la mesure du bilan radiatif selon 3 plans respectivement perpendiculaires (difficile à utiliser pour des mesures mobiles) et la méthode utilisant les thermomètres globe (noir et gris). Ces approches ont été comparées sur le site du parc. Pour l'étude de la répartition spatiale des indices de confort, deux chariots mobiles ont été équipés chacun d'un abri météo (température et humidité de l'air), d'un thermomètre globe gris, d'un anémomètre girouette et d'un bilanmètre. De plus, des capteurs thermomètres globe gris ont été installés sur un certain nombre de sites du réseau ICU. Une première validation de cette démarche expérimentale a eu lieu durant l'été 2015 lors de deux campagnes de mesures intensives. La première sur la place centrale de Strasbourg (place Kléber) avec les chariots mobiles complétés par des vues panoramiques en infrarouge thermique de l'ensemble des bâtiments entourant la place (Caméra FLIR) ainsi que des mesures ponctuelles avec un radio-thermomètre portable FLIR (Kastendeuch *et al.*, 2016). La deuxième campagne intensive a eu lieu autour du parc urbain avec un véhicule mobile équipé d'un scanner LIDAR terrestre et d'une caméra infrarouge pour des prises simultanées (Roupioz *et al.*, 2016).

## 2. Résultats préliminaires

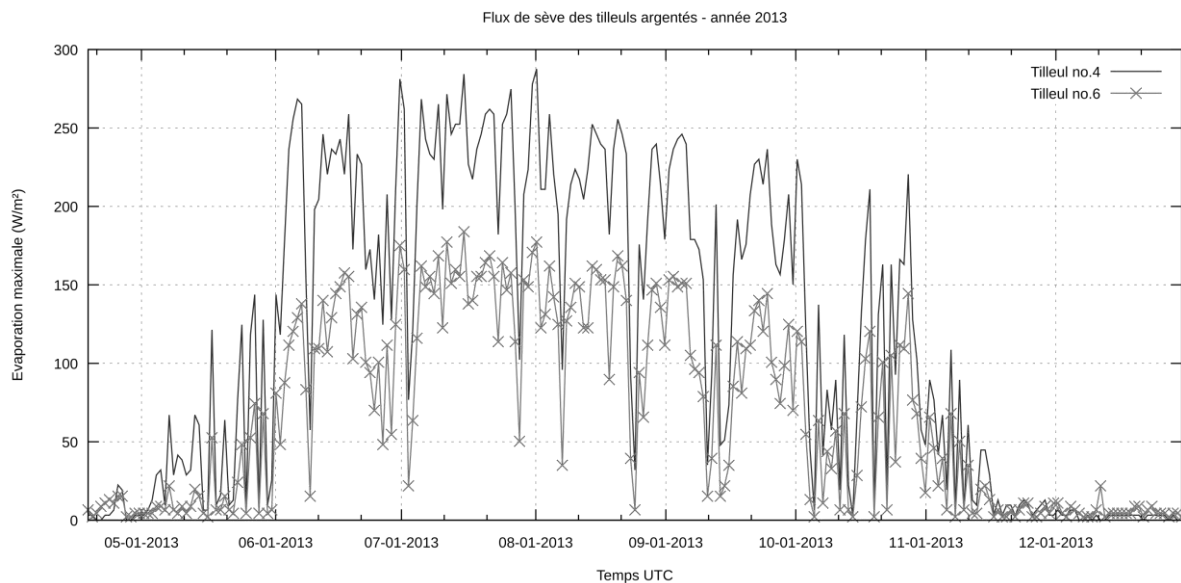
La base de données obtenue dans le cadre de cette expérimentation est très importante. Elle est en cours d'exploitation et les résultats ci-dessous sont donnés à titre d'exemple pour montrer l'énorme potentiel de cette opération.

La Figure 1 montre l'évolution du rapport de Bowen (rapport entre les flux turbulents de chaleur sensible et latente) pour le secteur urbain dense et le jardin central durant le mois d'août 2014. Les mesures reflètent assez bien les caractéristiques des surfaces correspondantes avec la grande part de l'énergie turbulente consacrée à l'échauffement de la masse d'air dans la zone urbaine dense (valeur médiane du rapport de Bowen proche de 2 en milieu de journée) et à l'évapotranspiration dans la zone du parc urbain (valeur médiane du rapport de Bowen proche de 0,5). Le site urbain (situé sur le toit d'un bâtiment) possède une représentativité spatiale plus large, ce qui se traduit par un écart interquartile plus important. Ce résultat sera affiné par la correction des mesures (en cours) pour tenir compte de la zone contributive (footprint).

Pour bien analyser ces valeurs de flux, des mesures complémentaires ont été entreprises sur les arbres et la pelouse sous-jacente. La Figure 2 montre les résultats obtenus par les flux de sèves entre avril et décembre 2013, pour deux individus représentant les extrêmes de l'échantillon. Les différences constatées peuvent être attribuées au degré du développement de ces arbres, à leur indice foliaire et leurs conditions édaphiques, vu qu'ils ont approximativement le même âge.



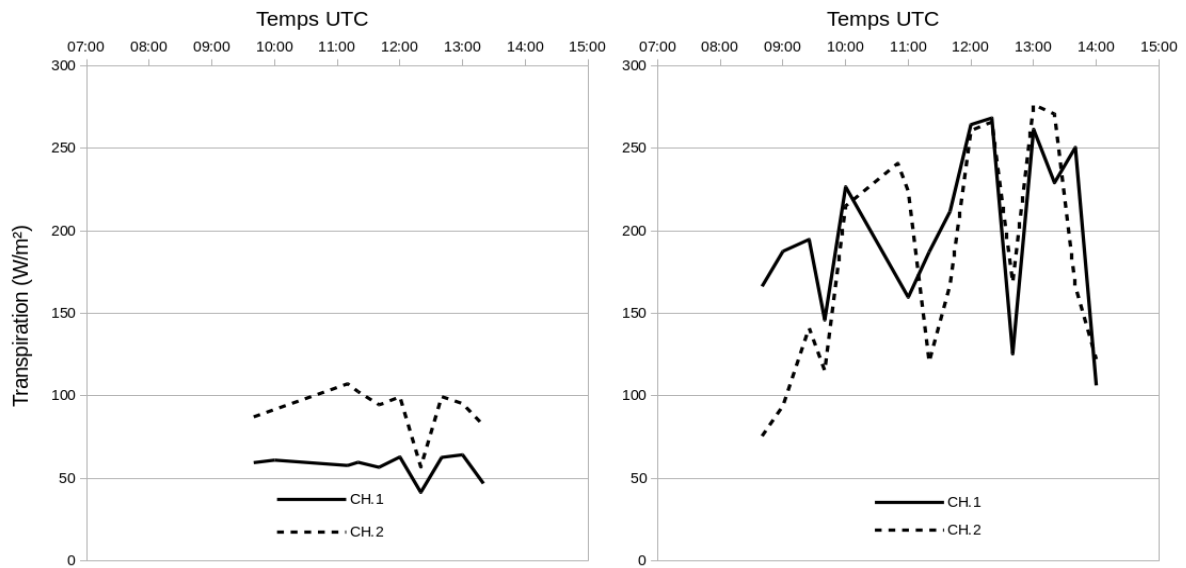
**Figure 1.** Valeurs horaires moyennes mensuelles du rapport de Bowen pour le mois d'août 2014, mesurées sur le site urbain dense (a) et le parc urbain (b). Sont représentées les valeurs médianes et l'écart interquartiles. Les moustaches représentent les 1er et 99ème centiles.



**Figure 2.** Exemple de la transpiration des arbres instrumentés avec les capteurs de flux de sève d'avril à septembre 2013. Ont été représentées les transpirations extrêmes de l'échantillon.

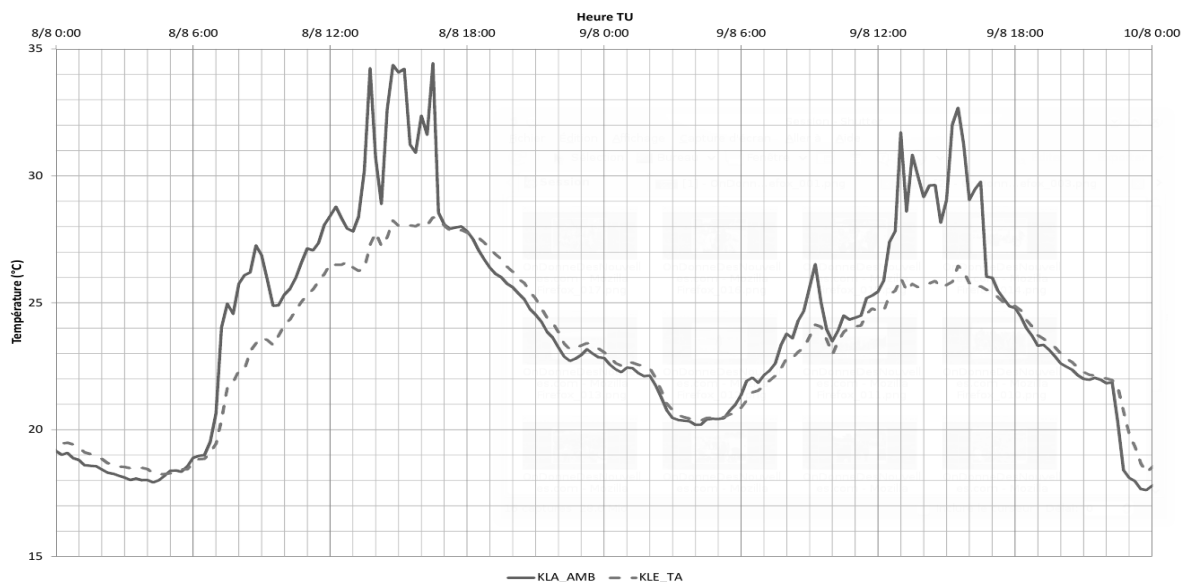
La mesure de la transpiration de la pelouse (essentiellement un mélange de gazon, de pissenlit et de trèfle) réalisée avec une chambre à transpiration fournit des informations importantes sur le fonctionnement du sous-couvert dans différentes conditions de stress hydrique. La Figure 3 montre la transpiration mesurée sur les deux socles et à deux dates différentes, le 19 juin 2014 après une période de sécheresse et le 15 juillet après une période de pluies. Pour le 19 juin, la transpiration est très faible (stress hydrique très fort) et surtout les deux socles donnent des résultats différents, passant presque du simple au double, selon la

proportion des différentes espèces qui constituent le couvert et qui exercent des résistances stomatiques différentes.



**Figure 3.** Transpiration de la pelouse mesurée sur deux socles distants de 2m et durant deux journées appartenant à deux périodes très différentes de 2014 (à gauche le 19 juin période sèche et à droite le 15 juillet période humide).

Il est important de constater le grand écart avec la transpiration mesurée des arbres. Pour le 15 juillet la transpiration des deux socles est identique (sauf pour les moments où l'un des socles est à l'ombre) et elle est du même ordre de grandeur que celle des arbres. La diminution simultanée de la transpiration des socles est due aux passages nuageux et montre la réaction rapide de la transpiration des couverts à la variation du rayonnement solaire.



**Figure 4.** Mesure de la température de l'air (bleu en pointillé) et de celle du globe gris (rouge trait plein) pour le 8 et 9 août 2014 sur un site situé au centre-ville

La Figure 4 montre une mesure réalisée pour l'étude des indices de confort avec un thermomètre globe gris sur un site situé au centre-ville à la croisée de deux rues de géométrie identiques (hauteur de bâtiments et largeur de la rue), l'une est orientée N-S et l'autre grossièrement E-W. Si pendant la nuit les deux capteurs donnent des températures très proche, l'écart débute dès l'arrivée des premiers rayons solaires directs vers 8h30 du matin (le

soleil se trouve dans l'axe de la rue orientée E-W) et atteint un maximum de l'ordre de 6°C en début d'après-midi (soleil dans l'axe de la rue orientée N-S). Ces deux températures sont utilisées dans les calculs des indices de confort (PET, UTCI, ...).

## Conclusion

L'ensemble des données collectées durant cette campagne doit permettre une analyse fine du fonctionnement de la végétation -et en particulier les arbres- et leur contribution dans la création de micro-climats particuliers dans la ville. Cet ensemble est aussi utilisé actuellement pour la validation des deux modèles utilisés par l'équipe, à savoir LASER/F à l'échelle de la rue et du quartier, et MESO-NH de l'échelle du quartier à l'échelle régionale. Les résultats des modélisations seront présentés lors de l'exposé oral.

## Bibliographie

- Dubreuil V., Quénel H., Foissard X., Planchon O., 2011. Climatologie urbaine et îlot de chaleur urbain à Rennes. Ville et Biodiversité (sous de la direction de P. Clergeau) Presses Universitaires de Rennes, 137-159
- De Laparent B., 2015. Mesures de la température et spatialisation de l'îlot de chaleur urbain à Dijon. *Actes du 28<sup>ème</sup> colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Liège, Belgique, 1-4 juillet 2015.
- Kastendeuch P., Najjar G., Philipps N., Nerry F., Roupioz L., Colin J., Luhache R., 2016. Mesures pour l'étude des ambiances climatiques à Strasbourg lors de la canicule de juillet 2015. *Actes du 29<sup>ème</sup> colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Besançon, France, 6-9 juillet 2016.
- Landes T., Hayot C., Najjar G., Kastendeuch P., Saudreau M., Colin J., Luhache R., Guillemin S., 2014. Modélisation 3D d'arbre pour comprendre le climat urbain. *Revue XYZ*, **141**, 55-62.
- Najjar G., Colin J., Kastendeuch P., Ngao J., Saudreau M., Landes T., Ameglio T., Luhache R., Guillemin S., Schreiner G., Kleinpeter J., Nerry F., 2015. A three years long fieldwork experiment to monitor the role of vegetation on the urban climate of the city of Strasbourg, France. *International conference on urban climate, 12th symposium*, Toulouse, France 20-24 July, 6 p.
- Roupioz L., Kastendeuch P., Najjar G., Landes T., Nerry F., Colin J., Luhache R., 2016. Validation du modèle LASER/F par des images thermiques dans le cadre de la campagne bioclimatique sur Strasbourg. *Actes du 29<sup>ème</sup> colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Besançon, France, 6-9 juillet 2016.
- Rotach M. W., Vogt R., Bernhofer C., Batchvarova E., Christen A., Clappier A., Feddersen B., Gryning S.-E., Martucci G., Mayer H., Mitev V., Oke T. R., Parlow E., Richner H., Roth M., Roulet Y.-A., Ruffieux D. Salmond J. A., Schatzmann M., Voogt J.A., 2005. BUBBLE – an Urban Boundary Layer Meteorology Project. *Theoretical and Applied Climatology*, **81**, 231-261.