



Simulation du rôle de la végétation d'un parc urbain à partir du modèle microclimatique LASER/F : le cas du jardin du Palais Universitaire à Strasbourg.

Elena Bournez, Pierre Kastendeuch, Tania Landes, Georges Najjar, Marc Saudreau, Jerome Colin, Jérôme Ngao

► To cite this version:

Elena Bournez, Pierre Kastendeuch, Tania Landes, Georges Najjar, Marc Saudreau, et al.. Simulation du rôle de la végétation d'un parc urbain à partir du modèle microclimatique LASER/F : le cas du jardin du Palais Universitaire à Strasbourg.. Colloque AIC, Nice, 4-6 juillet 2018, Jul 2018, Nice, France. hal-03933850

HAL Id: hal-03933850

<https://hal.science/hal-03933850>

Submitted on 10 Jan 2023

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.

SIMULATION DU ROLE DE LA VEGETATION D'UN PARC URBAIN A PARTIR DU MODELE MICROCLIMATIQUE LASER/F : CAS D'UN PARC URBAIN A STRASBOURG

**BOURNEZ E.¹, KASTENDEUCH P.¹, LANDES T.¹, NAJJAR G.¹, SAUDREAU M.²,
COLIN J.¹, NGAO J.²**

¹ Laboratoire ICube, équipe TRIO, groupe PAGE, Institut National des Sciences Appliquées (INSA), 24 Boulevard de la Victoire, 67084 Strasbourg, France. E-mail : elena.bournez@insa-strasbourg.fr, kasten@unistra.fr, tania.landes@insa-strasbourg.fr, georges.najjar@unistra.fr, j.colin@unistra.fr

² Université Clermont Auvergne, INRA, PIAF, 63000 Clermont-Ferrand, France. E-mail : marc.saudreau@inra.fr, jerome.ngao@inra.fr

Résumé : Les îlots de chaleur urbains impactent fortement le confort thermique de la population urbaine et sont parfois renforcés par des vagues de chaleur. Pour minimiser ce phénomène, la végétalisation des villes s'avère nécessaire. Or, la manière dont la végétation interagit avec le milieu urbain n'est pas encore tout à fait bien comprise. L'analyse de son rôle peut se faire soit grâce à des campagnes de mesures in-situ, soit en reproduisant numériquement son comportement avec des modèles adaptés. Deux modules de végétation (sol enherbé et arbre) ont été implémentés dans le modèle microclimatique LASER/F. L'objectif de cette étude est de comparer les résultats obtenus par ce modèle, tels que l'évapotranspiration des surfaces végétales, avec des campagnes de mesures in-situ. La zone d'étude se situe dans un parc urbain de la ville de Strasbourg en France. Bien que de nombreuses améliorations restent à apporter au module de végétation, les résultats fournis par LASER/F, tels que l'évapotranspiration d'arbre sous-estimée d'en moyenne 80 W/m², sont encourageants.

Mots-Clés : Microclimat urbain ; Végétation ; Rafraîchissement ; LASER/F ; Validations.

Abstract: *Simulation of the impact of vegetation on the microclimate of urban parks using the LASER/F model: case of an urban park in Strasbourg.* Urban heat islands strongly impact the thermal comfort of the urban population and are sometimes reinforced by rising temperatures. To minimize this phenomenon, the greening of cities is necessary. However, the way vegetation interacts with the urban environment is not well figured out yet. The analysis of its role can be carried out either through field measurement campaigns, or by reproducing numerically its behavior with adapted models. Two vegetation modules (low vegetation and tree) have been implemented in the LASER/F microclimatic model. The objective is to compare the results obtained by this model, such as the vegetation evapotranspiration with field measurements. The study area is located in an urban park in Strasbourg, France. Although there are still many improvements to be made to the vegetation module, the results provided by LASER/F, such as a tree evapotranspiration simulated with an underestimation of 80 W/m², are promising.

Keywords: Urban microclimate; Vegetation; Cooling effect; LASER/F; Validations.

Introduction

Dans leur stratégie d'adaptation au changement climatique et pour lutter contre le phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU) (Oke, 1982), les villes s'engagent de plus en plus dans des projets d'aménagement durable. Ces projets reposent sur l'introduction de la végétation sous différentes formes, telles que des zones enherbées, des arbres isolés, des parcs ou encore des toitures et façades végétalisées (Bowler *et al.*, 2010 ; Musy, 2014). En effet, par différents mécanismes, la végétation humidifie l'air ambiant par son évapotranspiration et limite la température de surface des zones adjacentes à travers son ombre portée. Les zones végétalisées sont moins chaudes que les zones minérales et limitent ainsi l'ICU. Cependant, le rôle de cette végétation varie considérablement en fonction de nombreux facteurs liés au climat, à l'espèce végétale, à la nature des sols, *etc.* A Strasbourg, nous menons depuis cinq ans, dans le cadre de plusieurs projets financés (CNES/TOSCA – AVENUE, Biodiversa EU - URBANMYCOSERVE et ANR - COOLTREES) une étude sur la compréhension du fonctionnement de la végétation en ville et de son impact sur l'ICU. Cette dernière repose à la fois sur une approche de terrain (Landes *et al.*, 2014) et sur l'utilisation de modèles à différentes échelles permettant, pour l'un, de simuler le fonctionnement d'un arbre (modèle

écophysiologique), et pour l'autre, de simuler le microclimat au sein d'un quartier (modèle microclimatique) voire d'une ville (modèle méso-échelle). Or les modèles numériques qui prennent en compte la végétation à l'échelle du quartier s'appuient sur une géométrie assez simplifiée (Redon *et al.*, 2017 ; Nice *et al.*, 2018). L'objectif de ce résumé est de montrer comment la végétation a été introduite dans le modèle microclimatique LASER/F (Kastendeuch *et al.*, 2017) et de comparer les résultats relatifs à l'évapotranspiration de la végétation avec des mesures provenant de campagnes *in-situ*.

1. Données et méthodes

1.1. Modèle microclimatique utilisé : LASER/F

Le modèle LASER/F (LATent SEnsible Radiation Fluxes), développé par l'équipe TRIO du laboratoire ICube, est un modèle basé sur les principes de la thermodynamique qui permet de simuler les bilans radiatifs et d'énergie en tous points d'un quartier (Kastendeuch *et al.*, 2017). L'intérêt de ce modèle, par rapport à d'autres modèles existants, est sa capacité à réaliser des simulations à une échelle très fine spatialement (prise en compte de petits objets) et temporellement (intervalle de temps entre les simulations de quelques minutes).

LASER/F tient compte de deux types de végétation : le sol enherbé et les arbres. La géométrie 3D prise en compte dans le modèle, pour ces deux types de végétation, est illustrée Figure 1. Cette géométrie comprend la surface de sol, l'enveloppe de la couronne de l'arbre, l'indice de surface foliaire (LAI: Leaf Area Index) et la profondeur racinaire.

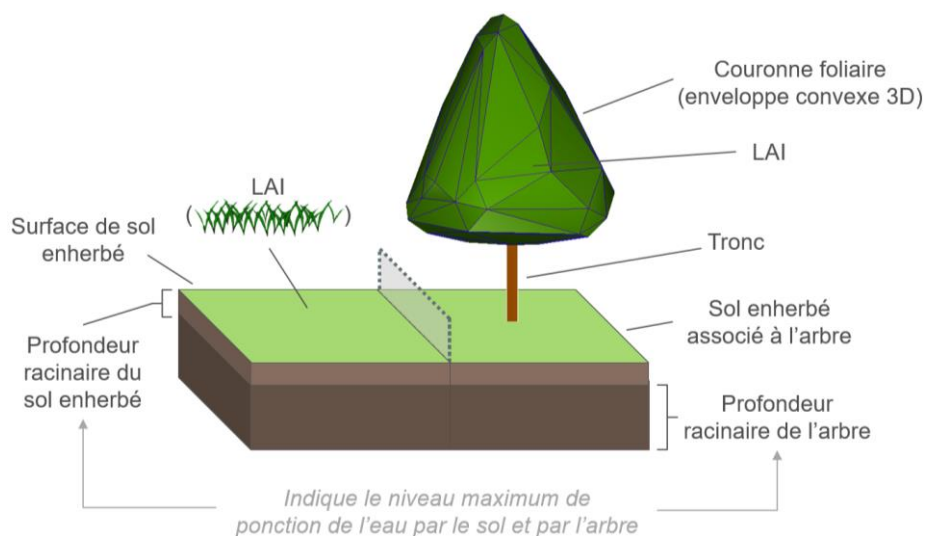


Figure 1. Schématisation de la géométrie 3D que les deux modules de végétation dans LASER/F, « sol enherbé » et « arbre », doivent prendre en compte. Le LAI (indice de surface foliaire) permet d'avoir une idée de la quantité de feuille et de sa spatialisée. Les profondeurs racinaires indiquent le niveau maximum de ponction de l'eau.

Le fonctionnement des deux modules de végétation, intitulés « module sol enherbé » et « module arbre », est défini de la manière suivante :

- Pour le module « sol enherbé » :
 - l'évapotranspiration du sol enherbé est modulée en fonction des conditions météorologiques, de la conductance stomatique de l'herbe (régulation physiologique) et du contenu en eau du sol,
 - un bilan d'énergie complet peut être obtenu pour le sol enherbé.
- Pour le module « arbres » :

- les feuilles des arbres sont scindées en deux groupes : celles qui reçoivent du rayonnement solaire direct durant la journée et celles qui ne reçoivent que du rayonnement diffus. Pour chacun de ces groupes, les termes du bilan d'énergie sont calculés séparément, conformément aux travaux réalisés par Campbell et Norman (1998). Cette approche permet d'accéder à la température de surface des feuilles ainsi qu'à tous les autres flux,
- l'ombre portée des arbres peut être calculée sur les surfaces adjacentes,
- la présence de la couronne foliaire des arbres modifie la part de ciel visible,
- l'évapotranspiration de la couronne foliaire des arbres est modulée en fonction des conditions météorologiques, de la conductance stomatique et de la disponibilité en eau dans la zone racinaire.

1.2. Zone d'étude et reconstruction 3D

Pour tester l'ensemble des modules de végétation de LASER/F, nous avons choisi un parc situé au cœur de la ville de Strasbourg, France (Figure 2), dans lequel nous étudions depuis plusieurs années le comportement de tilleuls argentés taillés. Parmi les 85 000 arbres urbains présents dans cette ville, le tilleul fait partie des plus représentés (15% des arbres).

La reconstruction de la géométrie 3D de cette zone (Figure 2), a été réalisée à partir de données photogrammétriques et lasergrammétriques acquises par voies aériennes, fournies par l'Eurométropole de Strasbourg. Pour réaliser ces reconstructions numériques, des méthodes semi-automatiques ont été employées, telles que la stéréorestitution des toits, la digitalisation des sols, le calcul d'enveloppes convexes des couronnes foliaires, *etc.*

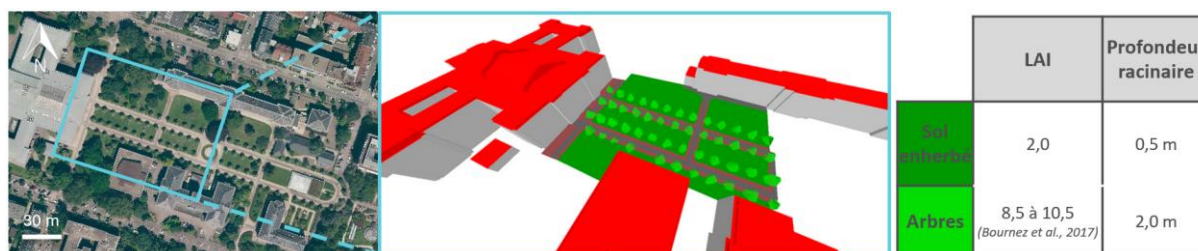


Figure 2. Gauche : zone d'étude du Jardin du Palais Universitaire à Strasbourg (coordonnées géographiques : 48°35'4.5" N ; 7°45'49.6" E et photo : Eurométropole de Strasbourg). Centre : reconstruction 3D associée utilisée dans LASER/F avec 18% de végétation comprenant le sol enherbé (vert foncé) et les arbres (enveloppes en vert clair), du sol nu (marron), du sol bitumineux (gris foncé) et des bâtiments (toits en rouge et façades en gris). Droite : LAI et profondeur racinaire associés à la végétation.

1.4. Campagnes de mesures *in-situ*

Plusieurs campagnes de mesures *in-situ* sont réalisées depuis 2013 dans le parc et ses alentours (Najjar *et al.*, 2015). Les données d'entrée au modèle LASER/F, permettant le forçage météorologique, ont été obtenues grâce à certaines de ces mesures. D'autres mesures ont été effectuées afin d'être en mesure de comparer les résultats obtenus avec le modèle sur trois aspects : (i) le sol enherbé ; (ii) les arbres et (iii) l'ensemble du parc (Tableau 1). Ainsi, une analyse à différentes échelles va être effectuée.

Dans cet article, nous ciblons uniquement les comparaisons relatives à l'évapotranspiration (Le) de la végétation. En effet, c'est une grandeur importante à déterminer via le modèle pour simuler l'effet rafraîchissant de la végétation. La mesure de l'évapotranspiration a été obtenue au travers de l'exploitation des données produites par trois capteurs distincts :

- deux chambres à transpiration d'environ 60 cm², positionnées sur le sol enherbé du parc, qui mesurent l'évapotranspiration du sol enherbé,

- des capteurs de flux de sève, installés sur six arbres du parc qui caractérisent l'évapotranspiration des tilleuls (Ngao *et al.* 2015),
- un anémomètre sonique et un analyseur de gaz, installés au sommet d'un mat de 17 m de hauteur, et qui mesurent l'évapotranspiration globale sur l'ensemble du parc (pelouse et arbres).

Tableau 1. Possibilités de comparaison des variables simulées par le modèle avec celles obtenues lors des campagnes de mesures *in-situ*.

VOLET	VARIABLE COMPAREE	CAPTEUR ASSOCIE SUR LE TERRAIN
SOL ENHERBE	Température de surface	Capteur de rayonnement net à 40 cm et radio-thermomètre à 4 m
	Rayonnement net	Capteur de rayonnement net à 40 cm
	Températures dans le sol	Profil de sept mesures avec des sondes de température
	Flux de chaleur dans le sol	Rapport de Bowen à 8 cm dans le sol
	Evapotranspiration	Chambre à transpiration
ARBRE	Température de surface	Radio-thermomètres proches d'une couronne d'arbre
	Evapotranspiration	Flux de sève avec des thermocouples à 1.3 m sur six troncs
PARC	Rayonnement montant	Pyranomètre et pyrgéomètre à 17 m sur un mat
	Flux de chaleur sensible	Anémomètre sonique et analyseur de gaz à 17 m
	Evapotranspiration	Anémomètre sonique et analyseur de gaz à 17 m
	Indice de confort thermique (UTCI)	Globe gris et globe noir au milieu de la scène à 2 m

1.5. Période de simulation

Les simulations ont été réalisées pour deux périodes différentes : une période estivale (17 au 18 juillet 2014) et une période automnale (30 septembre au 1^{er} octobre 2015). Ces dates ont été choisies pour analyser les capacités de LASER/F à simuler des journées ensoleillées mais sans stress hydrique (le sol a une réserve utile remplie). Les deux journées d'été sont caniculaires (33,5°C max) avec une humidité faible (20% min). Les deux journées d'automne présentent une température proche de 20°C. Le pas de temps des simulations est le quart d'heure.

2. Résultats

2.1. Comparaison relative au sol enherbé

L'évapotranspiration simulée avec LASER/F a été comparée aux mesures issues des chambres à transpiration (Figure 3). En l'état actuel, le modèle surestime l'évapotranspiration du sol enherbé de 150 W/m² au moment du maximum. La cause pourrait être multiple : une surestimation du LAI de l'herbe, une mauvaise paramétrisation de la résistance stomatique, ou un contenu en eau du sol trop important. En début de matinée, on observe une évapotranspiration simulée pour la chambre n°2 quasiment nulle alors que la mesure indique des valeurs de 100 W/m². Sachant que cette chambre est encore à l'ombre et soumise uniquement à un rayonnement solaire diffus, on peut émettre l'hypothèse que ces écarts proviennent d'une mauvaise conductance stomatique de l'herbe au rayonnement. Néanmoins, ceci reste à vérifier.

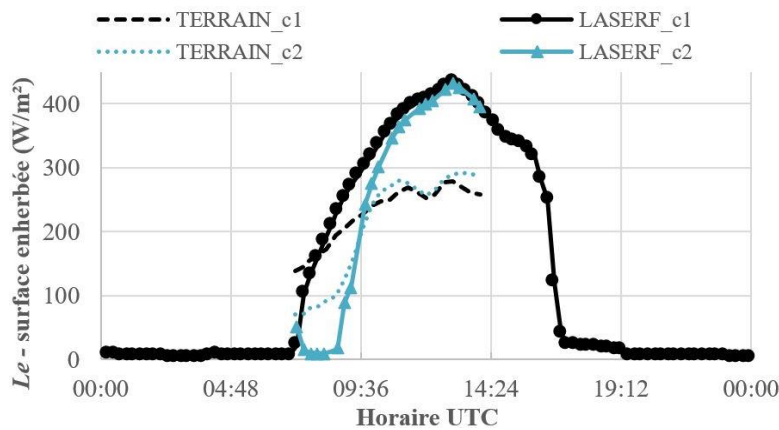


Figure 3. Gauche : Comparaison entre la simulation LASER/F et la mesure des chambres à transpiration : dynamique de l'évapotranspiration de deux surfaces enherbées (chambre 1 « c1 » et chambre 2 « c2 » proche d'un arbre) pour la journée du 17 juillet 2014. Droite : chambre à transpiration, Strasbourg.

2.2. Comparaison relative aux arbres

L'évapotranspiration des arbres estimée par LASER/F a été comparée avec les mesures de flux de sève (Figure 4). L'évapotranspiration simulée le matin a tendance à être surestimée de 30 W/m² en moyenne par le modèle, et sous-estimée de 110 W/m² en moyenne au cours de la journée. La moyenne des écarts atteint 80 W/m². De la même manière que pour l'étude liée au sol enherbé, plusieurs explications pourraient expliquer ces écarts, telles qu'un mauvais paramétrage du LAI ou de la conductance stomatique de l'arbre au rayonnement.

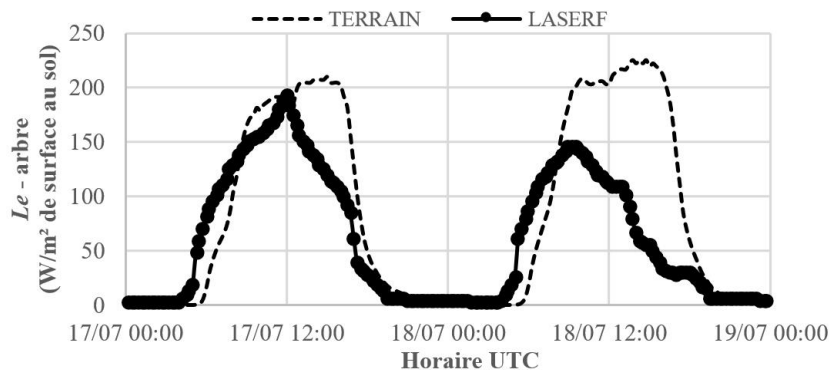


Figure 4. Gauche : Comparaison entre la simulation LASER/F et la mesure de flux de sève : dynamique de l'évapotranspiration d'un arbre pour les journées du 17 juillet et 18 juillet 2014. Droite : capteur de flux de sève, Strasbourg.

2.3. Comparaison relative à l'ensemble du parc

Dans la partie précédente nous avons montré que l'évapotranspiration de l'herbe était surestimée et que celle des arbres était sous-estimée par les simulations. A l'échelle du parc, les erreurs de flux se compensent pour donner une évapotranspiration légèrement sous-estimée d'en moyenne 30 W/m².

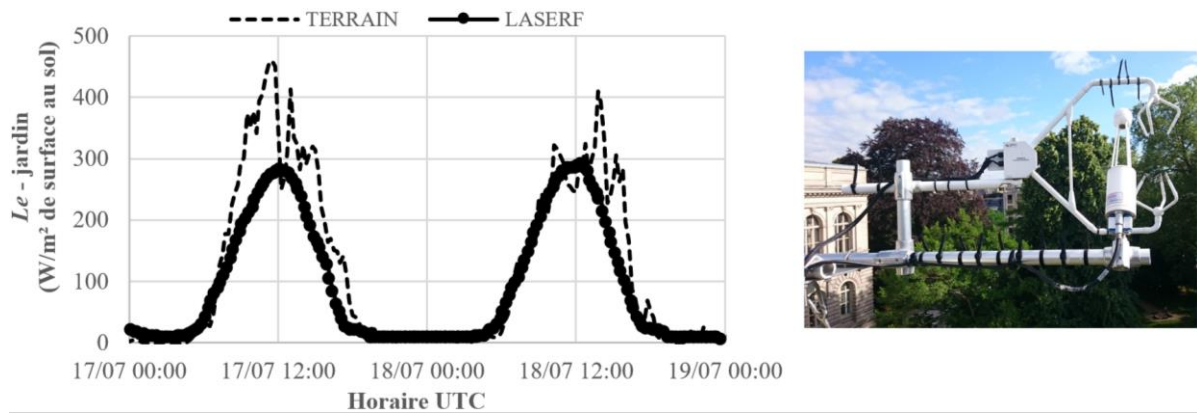


Figure 5. Gauche : Comparaison entre la simulation LASER/F et la mesure de flux sur l'ensemble du parc : dynamique de l'évapotranspiration provenant de l'ensemble du parc pour les journées du 17 juillet et 18 juillet 2014. Droite : anémomètre sonique et analyseur de gaz, Strasbourg.

Conclusion

Cette étude montre que le modèle microclimatique LASER/F fournit des résultats cohérents au niveau de l'évapotranspiration à différentes échelles, que ce soit celle d'une zone enherbée, celle des arbres ou celle de l'ensemble du parc. Cependant, le modèle rencontre encore quelques difficultés à simuler correctement les interactions entre la végétation et l'environnement du parc. En parvenant à résoudre certaines d'entre elles, il semble envisageable à l'avenir de pouvoir étudier l'impact que peut avoir la végétation sur le microclimat urbain avec LASER/F. Cette étude pourra être effectuée à l'échelle d'un arbre en étudiant par exemple l'importance de la présence d'un arbre pour réduire l'indice de confort thermique de la population urbaine, mais aussi à l'échelle de la rue ou du parc.

Remerciements : Les auteurs tiennent à remercier l'Eurométropole de Strasbourg pour la mise à disposition du jardin du Palais Universitaire et des données utiles à ce projet. Les auteurs voudraient aussi remercier le programme Interreg Atmo-IDEE, le projet AVENUE du CNES/TOSCA ainsi que les projets URBANMYCOSERVE du Programme Biodiversa EU et COOLTREES de l'ANR pour leur soutien financier.

Bibliographie

- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., Pullin, A. S., 2010. Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and urban planning*, **97** (3), 147-155.
- Bournez, E., Landes, T., Saudreau, M., Kastendeuch, P., Najjar, G., 2017. From TLS point clouds to 3D models of trees: a comparison of existing algorithms for 3D tree reconstruction. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 3D Arch*, Nafplio, Greece, XLII-2/W3, 113-120.
- Campbell, G. S., Norman, J. M., 1998. *An introduction to environmental biophysics*. 2nd Edition, Springer-Verlag, New York, 286 p.
- Oke, T. R., 1982. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **108** (455), 1-24.
- Kastendeuch, P., Najjar, G., Colin, J., 2017. Thermo-radiative simulation of an urban district with LASER/F. *Urban Climate*, **21**, 43-65.
- Landes, T., Hayot, C., Najjar, G., Kastendeuch, P., Saudreau, M., Colin, J., Luhache, R., Guillemain, S., 2014. Modélisation 3D d'arbre pour comprendre le climat urbain. Un projet multidisciplinaire ambitieux. *Revue XYZ*, **141**, 55-62.
- Musy, M., 2014. *Une ville verte : Les rôles du végétal en ville*. Editions Quae, 195 p.
- Najjar, G., Colin, J., Kastendeuch, P., Ngao, J., Saudreau, M., Landes, T., Améglio, T., Luhache, R., Guillemain, 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. *9th International Conference on Urban Climate, ICUC9*, Toulouse, France, 6 p.

Ngao, J., Améglio, T., Saudreau, M., Kastendeuch, P., Granier, A., Najjar, G., 2015. Temporal variations of transpiration and latent heat fluxes from isolated linden crowns and lawns in a park at Strasbourg, France. *9th International Conference on Urban Climate, ICUC9*, Toulouse, France, 4 p.

Nice, K. A., Coutts, A. M., Tapper, N. J., 2018. Development of the VTUF-3D v1.0 urban micro-climate model to support assessment of urban vegetation influences on human thermal comfort. *Urban climate*. In press, corrected proof.

Redon, E.C., Lemonsu, A., Masson, V., Morille, B., Musy, M., 2017. Implementation of street trees within the solar radiative exchange parameterization of TEB in SURFEX v8.0. *Geoscientific Model Development*, **10** (1), 385-411.