



HAL
open science

Ecosystem services provided by trees in the city: Assessing the cooling capacity by measuring the dendrometric parameters (trunk diameter growth)

Abdelkader Bensaoud, Frédéric Ségur, Thierry Ameglio

► **To cite this version:**

Abdelkader Bensaoud, Frédéric Ségur, Thierry Ameglio. Ecosystem services provided by trees in the city: Assessing the cooling capacity by measuring the dendrometric parameters (trunk diameter growth). 2018, pp.25-31. hal-01843738

HAL Id: hal-01843738

<https://hal.science/hal-01843738>

Submitted on 18 Jul 2018

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.

ECOSYSTEM SERVICES PROVIDED BY TREES IN THE CITY: ASSESSING THE COOLING CAPACITY BY MEASURING THE DENDROMETRIC PARAMETERS (TRUNK DIAMETER GROWTH)

Services écosystémiques des arbres en ville : évaluation du pouvoir rafraîchissant par micro-dendrométrie

by *Abdelkader Bensaoud, HYDRASOL SAS, Frédéric Segur, Métropole de Lyon – Service Arbres et Paysage, Thierry Améglio, INRA, UMR PIAF.*

Today, in an attempt to combat the effects of urban heat islands (UHI), the planners and public policy makers have qualitative information available to enable them to come up with recommendations for planting trees without being able to assess their real impact.

Aujourd'hui, pour lutter contre les îlots de chaleur urbains (ICU), les aménageurs et les politiques publiques disposent d'une information qualitative pour élaborer des recommandations de plantations sans pouvoir évaluer leur impact réel.

There are many bibliographical references available for information about the services provided for trees grown in an urban landscape. However, there are very few publications available that provide statistical data and an objective quantification of how the presence of trees has a direct effect on heat mitigation in the city. The principal research studies into these effects are contained in a review paper written by Emmanuel Boutefeu (2011) and in the theses of Cécile de Munck (2013) and Wissal Selmi (2016). Today, in an attempt to combat the effects of urban heat islands (UHI), the planners and public policy makers have qualitative information available to enable them to come up with recommendations for planting trees without being able to assess their real impact.

Within this context, it would appear necessary to invest in a quantitative study of the ecosystem services provided by trees grown in the city, particularly their cooling capacity during the summer periods.

The newly developed rue Garibaldi - 3rd arrondissement of Lyons, has been selected as a trial site for collecting data within the context of the massive European H2020 project. The Metropolitan Area of Lyons is a partner in this project for validating and disseminating the technologies used to acquire localised bioclimatic data on how the UHI effect can be mitigated by the natural cooling of the vegetation.

Les références bibliographiques sur les services rendus par les arbres en milieu urbain sont nombreuses. Cependant, peu de publications rapportent des données chiffrées et une quantification objective des effets directement imputables à la présence d'arbres dans l'atténuation thermique en ville. Les principales études consacrées à la mise en évidence de ces effets sont rassemblées dans un article de synthèse d'Emmanuel Boutefeu (2011) et dans les thèses de Cécile De Munck (2013) et de Wissal Selmi (2016).

Aujourd'hui, pour lutter contre les îlots de chaleur urbains (ICU), les aménageurs et les politiques publiques disposent d'une information qualitative pour élaborer des recommandations de plantations sans pouvoir évaluer leur impact réel. Dans ce contexte, il paraît nécessaire d'engager une étude d'évaluation quantitative des services écosystémiques des arbres en ville et notamment leur pouvoir rafraîchissant en périodes estivales.

La rue Garibaldi - Lyon 3^e nouvellement réaménagée a été choisie comme site pilote de recueil des données dans le cadre d'un vaste projet européen H2020. La Métropole de Lyon est partenaire de ce projet pour valider et diffuser les technologies mises en œuvre pour l'acquisition de données bioclimatiques localisées de lutte contre les ICU par le rafraîchissement naturel de la végétation.



THE NEWLY DEVELOPED RUE GARIBALDI - 3RD ARRONDISSEMENT OF LYONS, HAS BEEN SELECTED AS A TRIAL SITE FOR COLLECTING DATA WITHIN THE CONTEXT OF THE MASSIVE EUROPEAN H2020 PROJECT.
La rue Garibaldi - Lyon 3^e nouvellement réaménagée a été choisie comme site pilote de recueil des données dans le cadre d'un vaste projet européen H2020.

The prime objective of the study is to formulate a protocol for identifying the degree of thermal comfort induced by the presence of the trees at the Garibaldi site and analyse the parameters that can exert an influence. Micro-dendrometric sensors of the Pépi-Piaf type were installed to provide continuous measurements during the summers of 2016 and 2017 of the level of water stress and tree growth and thus deduce the physiological state of the trees monitored. Sensors for measuring the air temperature, plant water status and soil temperature were also installed to evaluate the level of heat mitigation vis-à-vis the level of available soil water.

RUE GARIBALDO TRANSFORMED

The rue Garibaldi, long ago designed as an urban expressway that crosses the city of Lyons from the Parc de la Tête d'Or in the north to the Parc Blandan in the south, has undergone a major transformation since 2013. This project has focused on the introduction of trees and other greenery and the number of traffic lanes was reduced. The section affected by the experiment now has almost half a hectare of green space along its 800-m length. The old plane trees have been conserved alongside more drought-resistant species.

Un premier objectif de l'étude est d'élaborer un protocole de caractérisation du confort thermique induit par la présence des arbres sur le site de Garibaldi et d'analyser les paramètres pouvant l'influencer. Des capteurs micro-dendrométriques de type PépiPiaf ont été ainsi mis en place pour mesurer en continu durant les étés 2016 et 2017, le fonctionnement hydrique et la croissance des arbres et en déduire le bon fonctionnement physiologique des arbres suivis. Des mesures de la température de l'air, de l'état hydrique et de la température du sol ont également été mises en place pour évaluer l'atténuation thermique en fonction de la disponibilité en eau du sol.

RUE GARIBALDI RÉAMÉNAGÉE

La rue de Garibaldi, jadis conçue comme une autoroute urbaine qui traverse la ville de Lyon depuis le parc de la Tête d'Or au nord jusqu'au parc Blandan au sud, connaît depuis 2013 un réaménagement profond. Celui-ci favorise l'espace végétalisé et adoucit la circulation automobile. Le tronçon concerné par l'expérimentation offre près d'un demi-hectare de surface végétale sur environ 800 m de long. Les anciens platanes ont été conservés au côté de nouvelles essences plus résistantes à la sécheresse.

MEASURING DEVICES

Micro-dendrometric measurements using the PépiPiaf system.

Just like all plants, the trees promote their growth by absorbing water through the roots and transporting it through their organs due to the transpiration of the leaves, which acts as the driving force for the sap rising through the xylem. At the leaves, the water, before becoming vaporised in the substomatal chambers, is part of the process of photosynthesis, producing the sugar molecules that are going to nourish plant growth. Thus, this transpiration and photosynthesis activity varies in the course of the day and during the season, this being affected

by the climate (climate change) and also the water resources available in the soil. The PEPIPIAF micro-dendrometric system developed by INRA-UMR PIAF (French National Institute of Agricultural Research) is a displacement sensor, which allows the user to measure and memorise (micrometric sensitivity) variations in the radial growth of a part of the tree in order to determine the leaf/water transpiration potential and the water constraints that affect them.

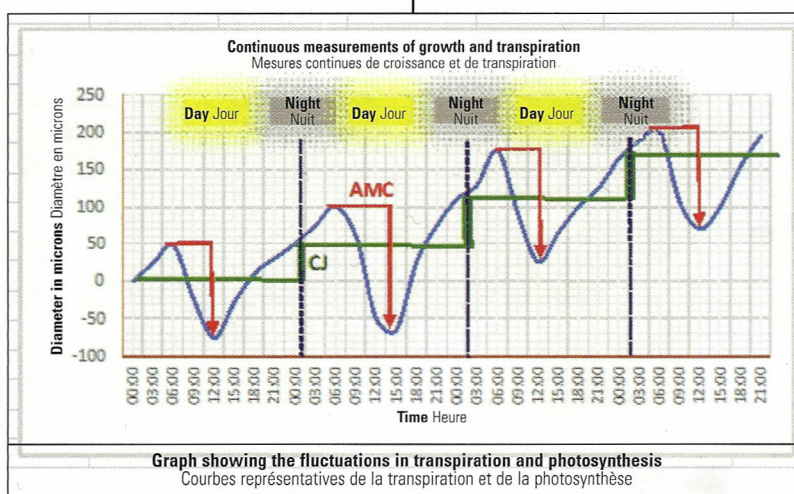
The water balance of all parts of the tree at any given moment is, therefore, the difference between the water absorbed through the roots, the water transpired through the leaves and the variations in the amount of water stored within the plant (e.g. for the manufacture of new cells or cellular plasmolysis). Therefore, the bark cells at a given level participate towards the transpiration stream according to the changes in the plant water balance throughout the day. At daybreak, the opening of the stomata leads to the transpiration of the tree. The water lost through transpiration is, at any given time, greater than the water absorbed through the roots, even in the presence of a wet soil. During this phase, the diameter of the different parts of the tree decreases. As illustrated in the graph below, this degrowth phase corresponds to the maximum contraction range (MCR) which reflects the intensity of transpiration. At night-time, in the absence of any transpiration, the rehydration of the tree allows for a recovery in the stem diameter accompanied by a growth of the latter, which corresponds to the apparent daily increment (ADI). This growth gain takes place when the level of water available and the climatic conditions are favourable for photosynthesis.

DISPOSITIFS DE MESURE

Mesure micro-dendrométrique par le système PépiPiaf.

Comme tous les végétaux, les arbres assurent leur croissance en absorbant l'eau par les racines et en la véhiculant dans tous leurs organes grâce à la transpiration des feuilles qui assurent le moteur de l'ascension de la sève du xylème. Au niveau de ces dernières, l'eau avant d'être vaporisée dans les chambres sous-stomatiques, intervient dans le processus de photosynthèse pour fabriquer des molécules de sucre qui vont nourrir la croissance. Ainsi, cette activité de transpiration et de photosynthèse varie au cours de la journée et durant la saison en lien avec

le climat (demande climatique), mais aussi en fonction des ressources en eau du sol. Le système micro-dendrométrique PEPIPIAF développé par l'INRA (UMR PIAF), est un capteur de déplacement qui permet de mesurer et de mémoriser très précisément (sensibilité micrométrique) les variations de croissance radiale d'un



Graph showing the fluctuations in transpiration and photosynthesis
Courbes représentatives de la transpiration et de la photosynthèse

organe de l'arbre et d'en déduire le potentiel transpirant et les contraintes hydriques qui s'exercent sur celui-ci.

L'état hydrique de tous les organes de l'arbre à un instant donné est donc la différence entre l'eau absorbée par les racines, l'eau transpirée par les feuilles et la variation du stock d'eau interne (ex. fabrication de nouvelles cellules ou plasmolyse cellulaire). Ainsi, les cellules de l'écorce à un niveau donné, participent au flux transpiratoire en fonction de l'évolution de l'état hydrique au cours de la journée. Dès le lever du jour, l'ouverture des stomates des feuilles entraîne la transpiration de l'arbre. Les pertes en eau transpirée restent, à chaque instant, supérieures à l'absorption au niveau racinaire, même en présence d'un sol humide. Durant cette phase, le diamètre des différents organes décroît. Comme illustrée par le graphique ci-dessus, cette phase de décroissance correspond à une amplitude maximale des contractions (AMC) qui traduit l'intensité de la transpiration.

Pendant la nuit, en l'absence de transpiration, la réhydratation de l'arbre permet une récupération du diamètre des branches accompagnée d'une augmentation de celui-ci qui correspond à la croissance apparente journalière (CJ). Ce gain de croissance a lieu lorsque les conditions hydriques et climatiques ont été favorables à la photosynthèse.

The PepiPiaf system includes an LVDT (Linear Variable Differential Transformer) displacement sensor and a wireless data logging and transmission unit installed high up on the branch of an adult plane tree.

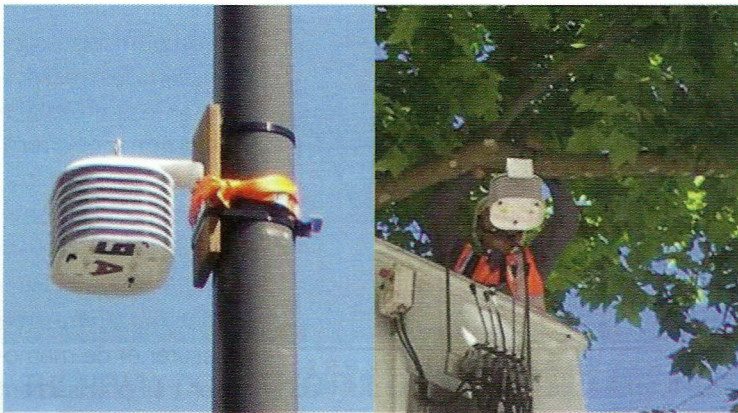
Description of the other measuring sensors. On the same plane tree equipped with the PepiPiaf system, a Watermark tensiometer-type sensor device is put in place to monitor the availability of the soil water.

The temperature sensors are installed in the crown of the tree in question and on a lamp post located about 20 metres from this tree.

Le système PépiPiaf composé d'un capteur de déplacement LVDT et d'une centrale d'acquisition et de transmission sans fil est installé en hauteur sur une branche d'un platane adulte.

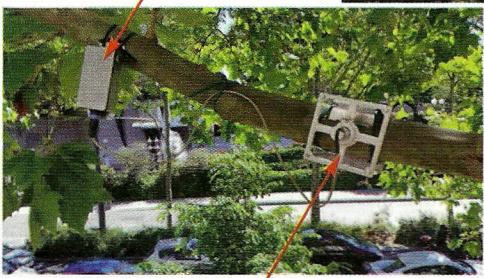
Description des autres capteurs de mesure. Sur le même platane équipé du système PépiPiaf, un dispositif de sondes tensiométriques de type Watermark est mis en place pour suivre la disponibilité en eau du sol.

Les sondes de température sont installées dans le houppier de l'arbre équipé et sur un mât d'éclairage situé à environ 20 m de cet arbre.



Temperature sensor on the tree and on the lamp post Sondes de température sur candélabre et sur arbre

Data logger and transmission unit
Centrale d'acquisition et de transmission



PépiPiaf System
Système PépiPiaf

Displacement sensor: micrometric measurements
Capteur de déplacement: mesure micrométrique



Installation of Watermark sensors with tensiometers Installation de sondes tensiométriques Watermark



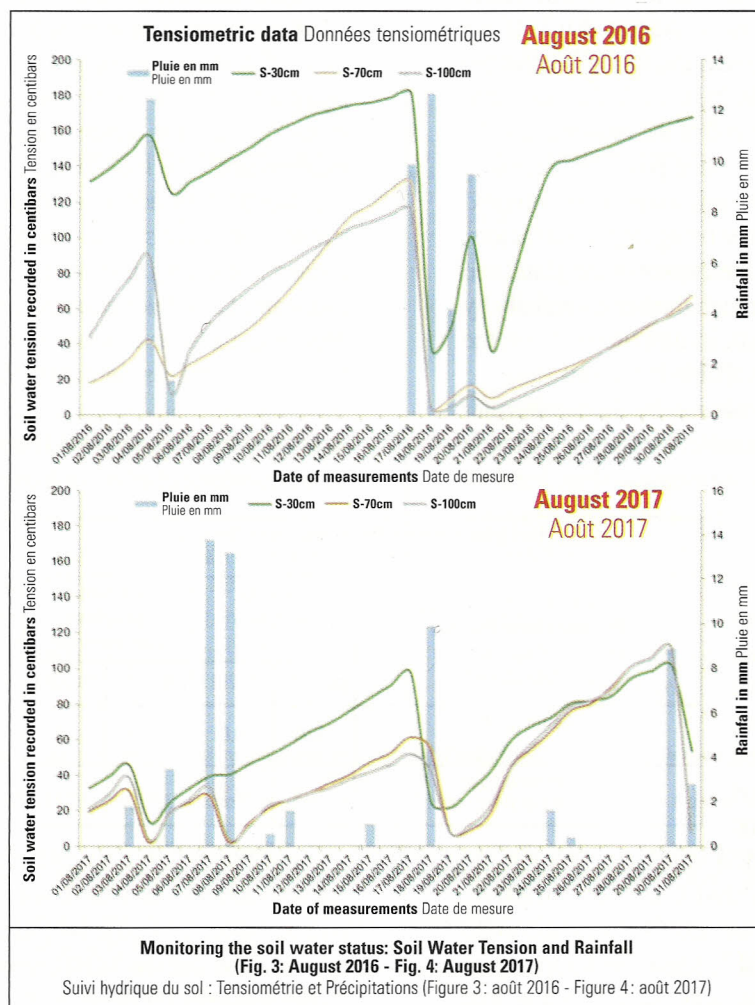
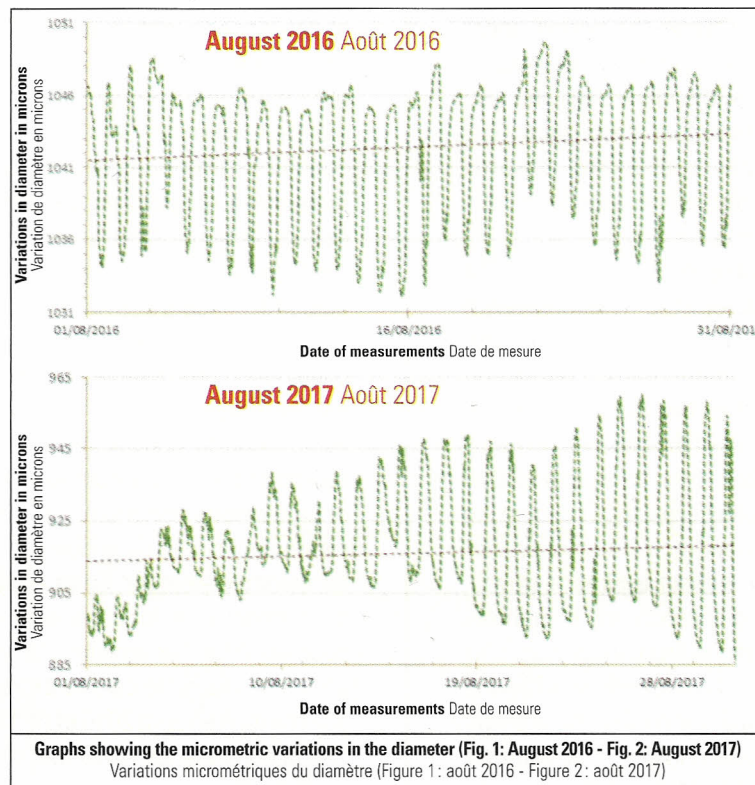
RESULTS

The micro-dendrometric, tensiometric and thermal measurements were conducted during the summer of the years 2016 and 2017 with a measurement taken every 30 minutes. Only the results for the month of August in these two seasons are shown below.

Evaluation of the transpiration capacity of the tree

Soil-Tree-Atmosphere water movement. The monitoring of the micrometric variations of the diameter revealed a growth gain during the two measuring periods (August 2016 and August 2017). This growth gain is represented by the trends shown with the dashed lines in the graphs. It generally demonstrates a good photosynthetic functioning of the tree. A tree in a good state of health is a tree that actively participates in the cooling process. When the curve shows a downward trend, this demonstrates that the tree is suffering from plant water stress. A lack of water in the soil is the most common reason for stress, significantly affecting photosynthesis and transpiration.

The tensiometric measurements and rain gauge readings are



RÉSULTATS

L'acquisition des mesures micro-dendrométriques, tensiométriques et thermiques a été faite pendant l'été des années 2016 et 2017 à raison d'une mesure toutes les 30 minutes. Seuls les résultats du mois d'août de ces deux saisons sont présentés ci-après.

Évaluation du pouvoir transpirant de l'arbre

Transferts hydriques sol-arbre-atmosphère.

Le suivi des variations micrométriques du diamètre a permis de mettre en évidence un gain de croissance pendant les deux périodes de mesures (août 2016 et 2017). Ce gain de croissance est représenté par la courbe de tendance en pointillés. Il témoigne globalement du bon fonctionnement photosynthétique de l'arbre. Un arbre en bonne santé est un arbre qui participe activement au rafraîchissement. Lorsque cette courbe de tendance est décroissante, cela signifie que l'arbre est en situation de stress hydrique. Le manque d'eau dans le sol est la situation de stress la plus courante qui affecte significativement la photosynthèse et la transpiration. Les mesures tensiométriques et les relevés pluviométriques sont reportés sur les figures 3 et 4. Pendant la période étudiée, les variations des tensions témoignent d'une bonne activité racinaire des platanes,

recorded in figures 3 and 4. During the period under review, the variations in the soil water tensions reveal a good level of rooting activity of the plane trees and also as a result of the apparently stress-free water status. The rainfall received has largely contributed towards maintaining the tree's rooting environment in this comfortable stress-free condition.

Evaluation of the tree's transpiration capacity. The typical characteristics of the micrometric variations shown in the green curves (fig. 1 and 2) reveal periodically the dips that correspond to the maximum daily contraction amplitude (MDCA). Each dip in the curve reflects the contribution of the water reserves of the bark cells towards transpiration. The sap flux linked to the transpiration, therefore, represents the tree's cooling capacity. The more the curve oscillates during the day between a maximum diameter and a minimum diameter, without any loss of growth, the more the tree transpires and consequently contributes towards the mitigation of the surrounding temperature. This qualitative evaluation, therefore, corresponds to achieving optimal physiological functioning for cooling the ambient air. In absolute terms, the cumulated losses in the diameter calculated between 06:00 h and 14:00 h is 332 microns in August 2016 and 128 microns in August 2017. If we compare the MDCA of the two seasons, we can see that the transpiration is quasi-regular in 2016 while the plane tree tended to transpire more at the end of the month in 2017. These differences in the transpiration potential are linked to a number of factors, with the soil water conditions and the phenological stage of the tree being important factors. During the month of August, the growth of the plane tree slows. The water is moved through the tree essentially by the pull of transpiration which, in turn, depends on the climatic demand and water available in the soil.

The soil water conditions monitored by the tensiometer have been shown to be favourable for the transpiration activity of the tree during these two seasons (Fig. 3 and 4).

Improving heat comfort

The transpiration of the tree contributes towards a drop in temperature in its close environment. The differences in temperature recorded in the crown of the tree compared with those recorded close to the lamp post situated at around 20 m from the tree and those of the Bron meteorological station, are respectively 1.08°C and 1.78°C in 2016 and 0.81°C et 2.33°C in 2017. The maximum difference of 8.09°C was recorded during the day on 18/08/2017 when the temperature reported by the Bron station was 32.80°, while that

et par conséquent d'un fonctionnement hydrique qui ne semble pas manifester de stress particulier. Les précipitations reçues ont largement contribué à maintenir l'environnement racinaire de l'arbre dans des conditions hydriques confortables.

Evaluation du pouvoir transpirant de l'arbre. L'allure des courbes en vert des variations micrométriques (figures 1 et 2) fait apparaître périodiquement des points d'inflexion qui correspondent à l'amplitude maximale des contractions (AMC). Chaque décroissance de la courbe traduit la contribution des réserves en eau des cellules de l'écorce à la transpiration. Le flux d'eau lié à la transpiration représente donc le pouvoir rafraîchissant de l'arbre. Plus la courbe oscille dans la journée entre un diamètre maximum et un diamètre minimum, sans perte de croissance, plus l'arbre transpire et contribue par conséquent à atténuer la température alentour. Cette évaluation qualitative correspond donc à un fonctionnement physiologique optimal pour rafraîchir l'air ambiant. Dans l'absolu, le cumul des pertes de diamètre calculé entre 6h00 et 14h00 est de 332 microns en août 2016 et de 128 microns en août 2017. Si l'on compare les AMC des deux saisons, on constate que la transpiration est quasi régulière en 2016 alors qu'en 2017, le platane a davantage transpiré à la fin du mois. Ces différences du potentiel transpirant sont liées à plusieurs facteurs parmi lesquels, les conditions hydriques du sol et le stade phénologique de l'arbre sont déterminants. Au mois d'août, la croissance du platane est ralentie. Les échanges hydriques se font essentiellement par le biais de la transpiration qui dépend de la demande climatique et de la disponibilité en eau du sol. Les conditions hydriques du sol suivies par la tensiométrie ont été favorables à l'activité transpiratoire de l'arbre pendant les deux saisons (figures 3 et 4).

Amélioration du confort thermique

La transpiration de l'arbre contribue à abaisser la température de son environnement proche. Les écarts des températures enregistrées dans le houppier de l'arbre par rapport à celles relevées à proximité du candélabre situé à environ 20m et à celles de la station météorologique de Bron sont respectivement de 1,08 et 1,78°C en 2016 et de 0,81 et 2,33°C en 2017. L'écart maximum de 8,09°C est enregistré pendant la journée du 18/08/2017 où la température rapportée par la station de Bron est de 32,80° alors que celle relevée dans l'arbre est de 24,65°C.

Heat gain vis-à-vis the proximity of the tree Gain thermique par rapport à la présence d'arbre				
Difference in °C vis-à-vis the Tmax near the tree Écart en °C par rapport à Tmax près de l'arbre	Average gain/loss Gain moyen		Maximum gain/loss Gain maximum	
	08/2016	08/2017	08/2016	08/2017
Lamp post Candélabre	-1,08	-0,81	-1,90	-1,80
Bron met station Station Bron	-1,78	-2,33	-3,20	-8,09

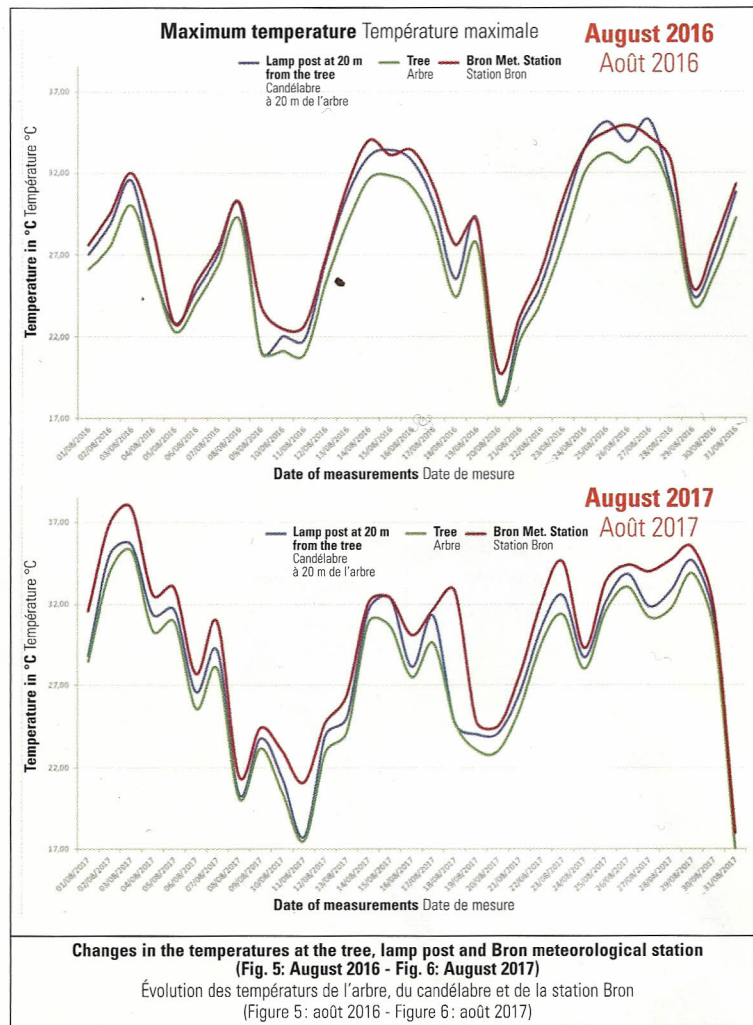
recorded at the tree was 24.65°C. However, the distribution of maximum temperatures throughout the month for each season only showed slight variations in these temperature differences (fig. 5 and 6). The heat reduction generated by the presence of the tree was recorded on each date.

CONCLUSION

The PepiPiaf micro-dendrometric measurement of the variations in the diameter of a tree gives a good indication of its growth, level of water stress and, therefore, ultimately the intensity of its transpiration. The values obtained during the first study allowed us to define how the transpiration flow contributes towards a reduction in heat and, consequently,

towards combatting the urban heat island effects. However, this qualitative approach requires the implementation of a wider protocol, formulating a number of modalities and repeats for quantifying the cooling capacity and establishing the correlation between the transpiration of the tree and the temperature drop in the proximity compared with those of the nearest meteorological station.

This benefit provided by the cooling capacity of the tree is not the only ecosystem service of the urban tree. This can be added to a range of other useful services: storing carbon, air purification, refuge of biodiversity, soil protection and water infiltration...



Changes in the temperatures at the tree, lamp post and Bron meteorological station (Fig. 5: August 2016 - Fig. 6: August 2017)
Évolution des températures de l'arbre, du candélabre et de la station Bron (Figure 5: août 2016 - Figure 6: août 2017)

Cependant, la distribution des températures maximales au cours du mois pour chaque saison fait apparaître de faibles variations de ces écarts de température (figures 5 et 6). L'atténuation thermique engendrée par la présence de l'arbre se confirme à chaque date.

CONCLUSION

La mesure par micro-dendromètre PépiPiaf des variations de diamètre d'un arbre est un bon indicateur de sa croissance, de sa contrainte hydrique et donc in fine de l'intensité de sa transpiration. Les valeurs obtenues au cours de cette première étude ont permis de caractériser la contribution du flux transpiratoire de l'arbre à l'atténuation thermique et par conséquent à la lutte contre les îlots de

chaleur urbains. Cependant, cette approche qualitative nécessite la mise en place d'un protocole plus large mettant en œuvre plusieurs modalités et répétitions permettant de quantifier le pouvoir rafraîchissant et d'établir la corrélation entre la transpiration de l'arbre et la baisse des températures de proximité par rapport à celles de la station météorologique la plus proche. Ce bénéfice rendu par le pouvoir rafraîchissant de l'arbre n'est pas le seul service écosystémique de l'arbre urbain. Il s'ajoute à ceux utiles à bien des niveaux: stockage du carbone, purification de l'air, refuge de la biodiversité, protection des sols et infiltration des eaux...

To learn more about the principles of use of the PepiPiaf micro-dendrometer, please refer to these main articles of reference:

Pour en savoir plus sur les principes d'utilisation de la micro-dendrométrie PépiPiaf, consulter ces principales références :

- AMEGLIO T., B. MORANDINI, CORELLI-GRAPPADELLI L., NAOR A., 2015 - Observer l'arbre plutôt que le sol. Réussir Fruits & Légumes 355, supplément Irrigation Arbo (Novembre 2015), 4-5.
- AMEGLIO T, DUSOTOIT-COUCAUD A, GUILLOT V, COSTE D, ADAM B., 2009 - PépiPIAF : une nouvelle génération de biocapteurs pour le pilotage d'une arboriculture de précision. 2ème conférence sur l'entretien des espaces verts, jardins, gazons, forêts, zones aquatiques et autres zones non agricoles, 2009, Angers, France. pp.10. < hal-00964672 >
- DAUDET F.A., AMÉGLIO T., COCHARD H., ARCHILLA O., L. LACOINTE, 2005 - Experimental analysis of the role of water and carbon in the tree trunk diameter. Journal of Experimental Botany 56 (409), 135-144. (DOI: 10.1093 / jxb / eri026)
- AMÉGLIO T., CRUIZIAT P., 1992. - Daily variations of stem and branch diameter: short overview from a developed example. NATO ASI Series, Vol. H64. Mechanics of Swelling. Ed T.K. KARALIS. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1992, 193-204