

Les arbres et le rafraîchissement urbain : une expérimentation climatique à Metz

Gilles DROGUE, Nassima HASSANI et Luc MANCEAU *

Dans le cadre de nos recherches sur le climat urbain de l'agglomération messine (Hassani et Drogue, 2021), nous étudions dans ce 4 pages, la modulation spatiale du rafraîchissement urbain produite par des espaces arborés. À l'échelle de l'îlot, nous considérons l'effet d'un arbre situé sur la place Jeanne d'Arc (quartier Ancienne Ville).

I. Mise en place d'une paire de sondes (échelle de l'îlot)

L'arbre, un micocoulier occidental (*Celtis occidentalis*), a été instrumenté au mois de juillet 2021 à l'aide d'une sonde HOB0 MX2301A Bluetooth (sonde H2 ; figure 1b) placée dans un abri anti-radiation solaire RS1. L'objectif était de mesurer l'effet des branches et des feuilles de l'arbre sur deux paramètres météorologiques : la température de l'air et l'humidité. En effet, ces deux paramètres sont importants pour évaluer la sensation thermique éprouvée par un individu. La place Jeanne d'Arc a été choisie en raison de sa situation et du faible trafic automobile (le flux de chaleur issu des moteurs thermiques aurait pu fausser nos résultats). Une seconde sonde HOB0, issue du réseau REMTHAM¹ (sonde H1 ; figure 1a) est utilisée comme sonde témoin. Elle est fixée sur un candélabre à 25 m de

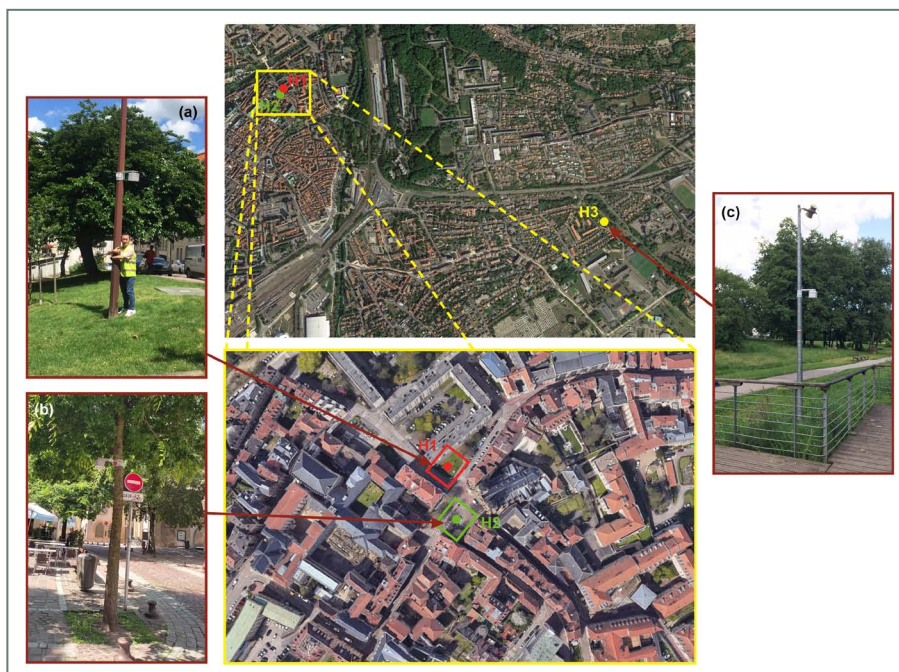


Figure 1 : (a) sonde H1 sur candélabre, rue Marchant (photo prise le 13 juin 2019) ; (b) sonde H2 sous houppier, place Jeanne d'Arc (photo prise le 20 juillet 2021) ; (c) sonde H3 du parc de la Chêneau (photo prise le 13 juin 2019).

la première. Les caractéristiques de l'environnement local de chaque sonde sont décrites dans le tableau 1.

* Gilles DROGUE, Nassima HASSANI, Luc MANCEAU, LOTERR, Université de Lorraine

¹ REseau de Mesure de la Température et de l'Humidité de l'Agglomération Messine (mis en place en juin 2019 dans le cadre de la thèse de doctorat de Nassima Hassani en partenariat avec l'Eurométropole de Metz).

	SONDE H1 (rue Marchand)	SONDE H2 (place Jeanne d'Arc)
Indice de canopée*	≈ 1 %	≈ 30 %
Revêtement au sol	Terre végétale engazonnée	Pavé de granit « à l'ancienne »
Présence d'eau dans un rayon de 10 m.	non	oui (fontaine)
Hauteur / Altitude / orientation	3 m. / 185 m. / sud	3 m. / 183 m. / sud

Tableau 1 : Environnement des deux sondes HOBO. *ratio de la surface projetée au sol des couronnes d'arbre/400 m². H1 : candélabre. H2 : arbre. La surface de 400 m² correspond grosso modo à la taille de la place.

II. Analyses des données et interprétation

II.1 Dynamique de la température de l'air

La figure 2 retrace les écarts de température horaires sur la période allant du 21 juillet au 31 août 2021. On observe que la nuit, les écarts sont très faibles et homogènes. 75 % des écarts H1-H2 sont inférieurs à 0,4°C : sur la place, en général, il n'y a donc pas de rafraîchissement sensible la nuit par rapport à la rue Marchand. En journée, la variabilité des écarts augmente. Le site H1 est légèrement plus frais entre 8h et 11h (îlot de fraîcheur urbain plus intense rue Marchand à mettre en relation avec l'éclairement solaire), tandis que le site H2 est légèrement plus frais au moment le plus chaud de la journée (entre 16h et 18h). À ce moment-là, la sonde est à l'ombre du fait de l'interception du rayonnement solaire direct par le huppier. Le rafraîchissement moyen de ~ -0,5°C produit par l'arbre est observé pour la tranche horaire 17h-18h (Fig. 2).

Les données représentées sur la figure 3 montrent que la température maximale de l'environnement du huppier est

toujours inférieure (-1,14°C au maximum) à celle prise sur un candélabre à environ 25 m de l'arbre. Ces observations sont cohérentes avec par exemple, celles de l'étude sur la requalification de la rue Garibaldi à Lyon (Segur, 2019).

Les données permettent également de distinguer *grosso modo* deux séquences sur un cycle de 24h : 1) entre midi et minuit l'ambiance est plus fraîche sous l'arbre de la place (jusqu'à -1,2°C) ; 2) entre minuit et midi l'ambiance est plus chaude sous l'arbre de la place (jusqu'à +1,3°C). La séquence 2 peut s'expliquer i) la nuit, par le fait que l'arbre s'interpose entre le sol et le ciel (le feuillage capte et réémet une partie de l'IR reçu) et ii) en matinée par un effet de masque différencié sur les 2 sites (plus d'éclairement solaire en H2 qu'en H1 en raison de l'ombre projetée de l'église Sainte-Ségolène située au sud-est et à proximité de la sonde H1). La séquence 1 se poursuit parfois jusqu'au petit matin (nuits du 14 au 15 et du 15 au 16).

La courbe verte (sonde REMTHAM du parc de la Cheneau située à ~ 2 km à 180 m d'alt. quartier Borny-Actipôle; voir figure 1c) montre un refroidissement nocturne de l'air plus rapide dans le parc de la Cheneau que sur la place Jeanne d'Arc conduisant, par exemple dans la nuit du 12

au 13, à un écart maximal à minuit de -3,7°C entre le parc (19,4°C) et la place (23,1°C). Cet écart de température, très sensible, est la signature d'un îlot de chaleur nocturne urbain (ICU) centré sur le quartier Ancienne Ville et sur lequel quelques arbres isolés n'ont aucun effet rafraîchissant. Cet ICU s'explique par le stockage de chaleur dans le sol en journée place Jeanne d'Arc et rue Marchand et le piégeage radiatif de l'IR nocturne par les parois des immeubles la nuit. Le plateau, commun aux trois sondes, observé

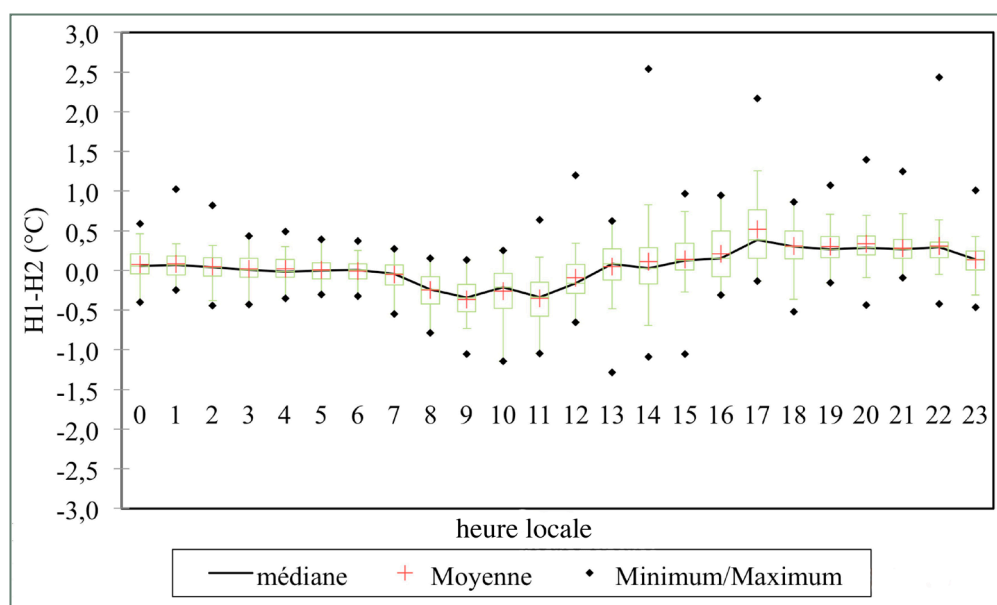


Figure 2 : Écarts de température en degré Celsius en fonction de l'heure locale. Valeurs représentées : médiane (courbe noire), moyenne (croix rouge), quartiles supérieur et inférieur (barres vertes), maximum et minimum (losanges noirs). Statistiques établies pour la période allant du 21 juillet au 31 août 2021.

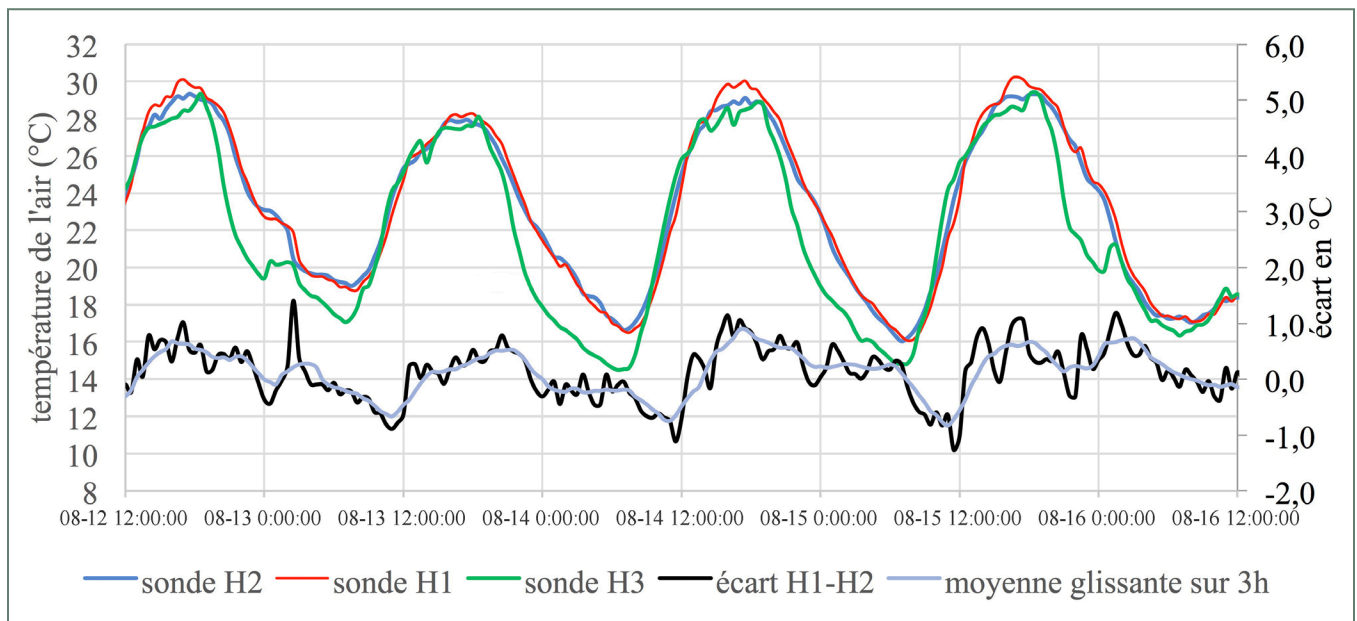


Figure 3 : Courbes de température des sondes H1 (candélabre, rue Marchant), H2 (arbre, place Jeanne d'Arc), H3 (candélabre, Parc de la Chêneau) et d'écart H1-H2 en degré Celsius pour quatre belles journées ensoleillées du 12 août au 16 août 2021. Les données sont représentées au pas de 30 min.

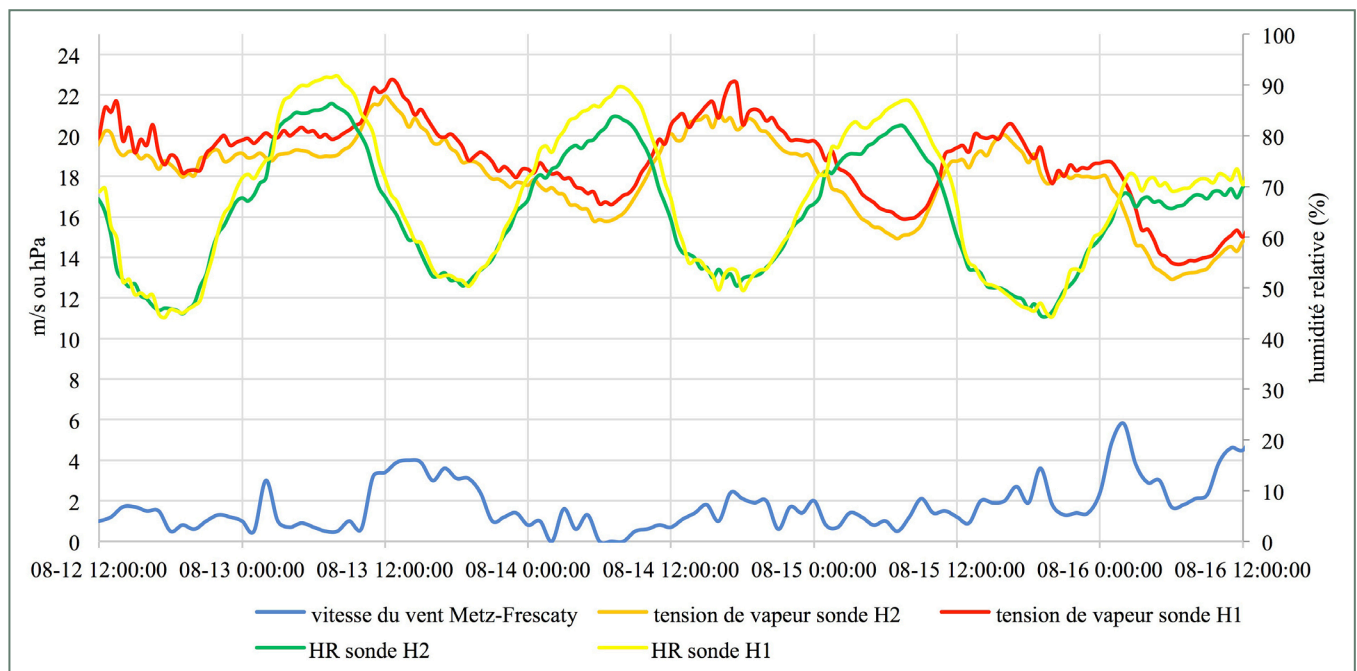


Figure 4 : Courbes d'humidité relative, de tension de vapeur³ des sondes H1 (candélabre) et H2 (houppier) et vitesse du vent horaire (moyenne des 10 dernières min à l'heure ronde) à la station météorologique de Metz-Frescaty (Météo France) pour quatre belles journées ensoleillées du 12 août au 16 août 2021. Les données d'humidité sont représentées au pas de 30 min.

de 0 :30 à 2 :00 du matin (+0,5°C) (précédé d'un rebond dans le Parc de la Chêneau) est probablement dû à de la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air (dépôt de rosée libérant de la chaleur latente en surface qui se propage dans l'air sus-jacent par conduction).

II.2 L'humidité de l'air

Les données représentées sur la figure 4 montrent que l'humidité relative a varié entre 45 (air sec) et 90 % (air humide) au cours de la période étudiée, et que la masse d'air s'assèche progressivement (baisse de la tension de vapeur). L'évolution de l'humidité relative est cohérente avec celle de la température (les deux paramètres évoluent en sens inverse).

³ Aussi appelée pression partielle de vapeur d'eau (unité : hPa).

De minuit à midi, l'air est plus frais (et donc plus proche de la saturation) et plus stable rue Marchant que sur la place Jeanne d'Arc. En matinée, celle-ci est mieux éclairée par le soleil. Par conséquent, la vapeur d'eau se diffuse à partir du lever du jour sous l'effet de la turbulence/convection générées par l'instabilité verticale de l'air ce qui appauvrit l'air en vapeur d'eau : la tension de vapeur observée en H1 (eH1) est donc supérieure à celle observée en H2 (eH2). La présence d'un couvert herbacé sous H1 contribue aussi à enrichir l'air par évapotranspiration. Dans le même temps, la tension de vapeur saturante en H1 (esH1) est inférieure à celle en H2 (esH2) puisqu'il fait plus chaud sur la place. Il en résulte que l'humidité relative (ratio e/es) en H1 (HRH1) est supérieure à celle en H2 (HRH2). De midi à minuit : $HRH1 \approx HRH2$, l'écart en tension de vapeur se réduit avec toujours $eH1 > eH2$ mais ceci est compensé par le fait que la place soit légèrement plus fraîche donc $esH2 < esH1$.

Par ailleurs, on ne constate pas d'effet visible de la transpiration de l'arbre (ni de la fontaine) l'après-midi ($eH1 > eH2$) ce qui est probablement lié au fait que la sonde est située à la base du houppier. On note aussi que pour les deux sites, le maximum de tension de vapeur est enregistré entre 13h et 17h ce qui est cohérent avec le fait qu'à ce moment de la journée, à l'échelle de l'îlot, l'émission de vapeur d'eau par les surfaces foliaires et le couvert herbacé est maximale.

Le 13 août après-midi, une légère brise contribue peut-être à renouveler l'air, ce qui se traduit par un appauvrissement en vapeur d'eau. On note que le pic d'écart de $+1^\circ\text{C}$ observé dans la nuit du 12 au 13 à 2h30 correspond à une augmentation ponctuelle de la vitesse du vent à Metz Frescaty (légère brise nocturne). En fin de période d'observation (matinée du 16), le renforcement du vent et la présence probable d'une couverture nuageuse, limitant la convection en matinée, contribuent à stabiliser l'humidité relative.

III. Synthèse et retombées en matière d'urbanisme

Au total, ce suivi en cœur de ville, par capteur autonome, de la variabilité ultra-locale de la température et de l'humidité

de l'air pendant une période estivale, a mis en évidence l'apport de l'arbre et plus largement de la trame verte (et bleue ou TVB) sur le rafraîchissement urbain : celle-ci se comporte comme une véritable trame rafraîchissante. Nos mesures montrent que quelques arbres isolés dans un tissu urbain dense améliorent le confort d'été en journée (rôle de climatiseur passif) au moment le plus chaud de la journée lorsque l'émission de vapeur d'eau est maximale. En revanche, dans un environnement très minéral et « confiné », le confort nocturne est dégradé par « effet de serre ». La nuit, pour rafraîchir le tissu urbain, les parcs et jardins publics semblent être la meilleure solution³. Ils servent alors de refuge et d'oasis, dont la fraîcheur peut se diffuser par les écoulements d'air dans leur environnement proche⁴. Il convient de saluer ici les politiques publiques qui ont intégré ces parcs et jardins publics dans la planification urbaine et les ont préservés dans la durée. D'autres expérimentations climatiques, avec acquisition de données aériennes par drone et mesure de la température moyenne radiante sont en cours à Metz dans des cours d'école⁵, sur des parkings réaménagés⁶ ou encore dans des espaces renaturés de quartiers péricentriques⁷.

Remerciements à Monsieur le Maire de la Ville de Metz et à ses agents, à Sébastien Douche, chargé de mission transition écologique à l'Eurométropole de Metz, à nos partenaires financiers et institutionnels (le MESRI via l'école doctorale HNFB, la Ville de Metz, l'Eurométropole de Metz) ainsi qu'à Météo France.

Bibliographie :

Hassani N., Drogue G. (2021). Mesure et spatiation de l'îlot de chaleur urbain dans l'aire urbaine de Metz Métropole : premiers résultats de la campagne de mesure 2019. *Climatologie*. DOI: <https://doi.org/10.1051/climat/202017008> Réf. HAL: hal-02547065 - OA HAL

Segur F. (2019). Requalification bioclimatique de la rue Garibaldi à Lyon. In *Des solutions pour la ville de demain : vers une renaturation des sols*, Journée technique du Cerema, Puteaux, France.

³ l'efficacité de cette solution étant maximale avec une végétation bien alimentée en eau.

⁴ <https://www.cerema.fr/fr/actualites/optimiser-rafraichissement-apporte-parcs-urbains-projet>

⁵ <https://loterr.univ-lorraine.fr/cour-decole-elementaire-saint-eucaire-a-metz-le-point-sur-les-mesures-meteo-apres-vegetalisation/>

⁶ <https://loterr.univ-lorraine.fr/thermographie-post-amenagement-retour-sur-lexperimentation-du-parking-rue-de-meric-144-route-de-thionville-a-metz-quartier-patrotte/>

⁷ <https://loterr.univ-lorraine.fr/mardi-27-juin-le-loterr-officiellement-associe-au-suivi-scientifique-de-projets-de-renaturation-urbaine/>