



HAL
open science

Caractérisation de l'impact du végétal intégré à la conception d'un bâtiment : une étude en climat tropical.

Maxime Boulinguez, Maareva Payet, Jacques Gandemer, Antoine Perrau,
Simon Chauvat

► To cite this version:

Maxime Boulinguez, Maareva Payet, Jacques Gandemer, Antoine Perrau, Simon Chauvat. Caractérisation de l'impact du végétal intégré à la conception d'un bâtiment : une étude en climat tropical.. IBPSA (International Building Performance Simulation Association) - France 2022, IBPSA, May 2022, Chalon en Champagne, France. hal-04669399

HAL Id: hal-04669399

<https://hal.univ-reunion.fr/hal-04669399v1>

Submitted on 8 Aug 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.

Caractérisation de l'impact du végétal intégré à la conception d'un bâtiment : une étude en climat tropical.

Maareva Payet*¹, Simon Chauvat², Maxime Boulinguez¹, Antoine Perrau^{1,3}, Jacques Gandemer⁴

¹ *Laboratoire d'Ecologie Urbaine* 139 rue François Isautier Saint Pierre 97410, La Réunion,

² *Resiliens*, 27 Avenue Docteur Jean-Marie Dambreville Saint Pierre 97410, La Réunion,

³ *ENSAM La Réunion* Rue du 20 décembre 1848 BP 306 Le Port 97827, La Réunion,

⁴ *Jacques Gandemer Conseil* 117 Rue de la Mairie, 44240, Sucé-sur-Erdre.

*mp@leureunion.fr

RESUME. Dans la zone intertropicale, trouver des solutions concrètes pour réduire les besoins en climatisation, est un défi important. Des études ont montré que les jardins, via des mécanismes d'évapotranspiration, permettent de créer des bulles de fraîcheur aux abords des bâtiments, et pourtant leur intégration se fait souvent en dernier dans le processus de conception. Cet article présente les résultats du projet JACO, visant à quantifier l'impact du végétal du point de vue thermique et aéralique, afin d'objectiver sa performance et ainsi inciter les concepteurs à végétaliser d'avantage les projets de construction. Des mesures de températures et de rayonnement solaire global reçu par les façades de trois bâtiments similaires aux environnements variés ont été comparées. Une étude en soufflerie physique a permis de quantifier les champs de pression en façade. Les résultats démontrent l'intérêt d'implanter un tampon végétal à proximité immédiate des façades pour réduire les apports solaires directs et diffus reçus par les façades, sans pour autant que le potentiel de ventilation naturelle disponible ne soit réduit de plus de 10%.

MOTS-CLÉS : Caractérisation du végétal, Climat tropical, Confort thermique et aéralique

ABSTRACT. In the intertropical zone, finding concrete solutions to reduce the need for air conditioning is a major challenge. Studies have shown that gardens, through evapotranspiration mechanisms, can create cool buffer around buildings, but their integration appends often at the last step in the design process. This article presents the results of the JACO project, which aims to quantify the positive impact of vegetation from a thermal and aeraulic point of view, in order to objectivize its performance and encourage designers to give vegetation a better position in construction projects. Measurements of temperature and global solar radiation received by the facades of three buildings with different environments were compared. A physical wind tunnel study allowed to quantify the pressure fields on the facades. The results show the benefit of implementing a vegetation buffer in the close surroundings of the facades to reduce the direct and diffuse solar gains received, without reducing the available natural ventilation potential by more than 10%.

KEYWORDS : Characterization of vegetal, Tropical climate, Thermal and aeraulic comfort

1. INTRODUCTION

1.1. CONTEXTE

La réduction des besoins énergétiques dans la zone intertropicale est un défi important, cette dernière étant en perpétuelle extension démographique. Pour cette zone où l'obtention du confort d'été est prédominant, la climatisation est l'un des postes les plus énergivores (S. H. Réunion 2019). Il convient

donc, dans un contexte où les températures terrestres ne cessent d'augmenter (Leung 2018), de trouver des solutions pour réduire son utilisation.

Pourtant, le climat tropical et plus particulièrement celui de La Réunion, de type tropical humide tempéré, offre la possibilité de favoriser une approche bioclimatique passive pour la conception des bâtiments

Le végétal fait partie intégrante de cette conception bioclimatique et était historiquement mis en œuvre aux abords des bâtiments dans l'architecture traditionnelle Réunionnaise (Perrau, s. d.). C'est à partir des années 60, que la conception architecturale a commencé à s'affranchir du climat extérieur, en oubliant, entre autres, les bénéfices de la végétalisation. Cela a engendré le développement des systèmes actifs de rafraîchissement, très énergivores, ainsi que la minéralisation des sols et l'augmentation notable des températures d'air aux abords des bâtiments, créant des îlots de chaleur avec les conséquences que l'on connaît sur le confort (Gago et al. 2013).

Des études ont montré que les jardins, via des mécanismes d'évapotranspiration, présentent de nombreux avantages : régulation de la température et l'humidité ambiante (Chowdhury, Hamada, et Shabbir Ahmed 2017), mais également captation des polluants (MacNaughton et al. 2017), fixation des poussières, gestion des eaux pluviales ou encore atténuation des nuisances sonores. L'étude de Spangenberg et al. (Spangenberg et al. 2019) à Sao Paulo au Brésil, a montré qu'un parc était jusqu'à 2°C plus frais qu'un square ou qu'un canyon. Du point de vue intérêt énergétique, Coccolo et al. (Coccolo et al. 2018) ont réalisé une étude permettant de quantifier l'impact de l'évapotranspiration sur la demande en énergie du bâtiment ainsi que sur les températures de surface, dans un bâtiment situé à Genève. Une diminution moyenne de 2.5°C avec de la végétation a été mesurée, et jusqu'à 5°C en plein été. Qiu, et al. (Qiu et al. 2013) ont indiqué que les effets de refroidissement apporté par la végétation sur la température ambiante peuvent varier de 0,24 à 4,0 °C en fonction de la localisation.

Stathopoulos et al. (Stathopoulos, Chiovitti, et Dodaro 1994) ont quant à eux montré qu'une rangée d'arbres plantés à quatre hauteurs d'un bâtiment pouvait avoir un effet « brise-vent », et ainsi réduire les infiltrations d'air, ce qui est un avantage pour des bâtiments chauffés. Sous les latitudes tropicales à l'inverse, nous chercherons à réduire les effets d'îlots de chaleur tout en assurant un potentiel de ventilation naturelle suffisant au droit des bâtiments.

Ces caractéristiques ne sont pas ou trop peu reconnues par les acteurs de la construction et la réflexion sur l'intégration du végétal est souvent délaissée. Parmi les outils d'aide à la conception existants, seul l'outil local PERENE 2009 a spécifié la nécessité d'éviter les surfaces minérales. Aucune disposition ni réglementation n'incite à la création de jardins plantés en périphérie de bâtiments. Par exemple, les Certificats d'Economies d'Énergie permettent d'aider la mise en place de certains dispositifs améliorant le confort à l'intérieur des logements (toiture performante, protection solaire des murs & baies, équipements performants, etc.) mais aucun ne concerne la végétalisation. Du point de vue recherche, de plus en plus d'outils permettent maintenant d'étudier l'impact de diverses stratégies d'écologisation sur la consommation d'énergie et le confort au niveau urbain (Musy, Malys, et Inard 2017), mais il existe peu d'études sur l'impact du végétal au niveau bâtiment mettant en avant une approche couplée thermique et aéraulique.

1.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE ET ORGANISATION

Dans ce cadre, nous avons souhaité mieux appréhender et quantifier les apports du végétal dans les projets de bâtiments en climat tropical sur les aspects thermiques et aérauliques. Nous présentons ici les résultats du projet de recherche JACO (des JAr dins pour le COnfort), financé par le PACTE, l'ADEME et EDF, et dont l'équipe projet était composée des bureaux d'études LEU Réunion, Delhom acoustique, de l'expert en aéraulique Jacques Gandemer et du laboratoire aérodynamique Eiffel.

Dans un premier temps, pour étudier l'impact du végétal du point de vue thermique, nous avons sélectionné comme cas d'étude 3 bâtiments, sur un même site, de même forme et même orientation à Saint-Pierre de La Réunion. Les rayonnements globaux reçus par les façades sous influence de plots végétaux variés ont été mesurés de manière synchrone et comparés. Dans un second temps, l'impact de l'intégration du végétal aux abords des bâtiments sur le potentiel de ventilation naturelle a été qualifié, pour différentes typologies de plots de végétations placés en amont des espaces à ventiler. Ceci afin de garantir un impact limité sur la performance de la ventilation naturelle de confort au sein des espaces intérieurs, condition d'un rafraîchissement passif à faible cout énergétique.

Cet article est organisé comme suit : La section 2 décrit la méthodologie employée du point de vue thermique. La section 3 concerne la méthodologie permettant d'étudier les aspects aérauliques. L'ensemble des résultats est présenté à la section 4, et enfin, la section 5 apporte des éléments de conclusion.

2. METHODOLOGIE : ETUDE THERMIQUE

2.1. CAS D'ETUDE

Nous avons cherché à quantifier la différence d'impact sur le confort thermique, entre une façade en environnement « minéral », et la même en environnement « végétalisé ».

Le choix des sites à comparer a constitué un véritable défi car il a fallu identifier une unité bâtie et son homologue végétalisé dans une même exposition climatique, ainsi qu'une morphologie, des matériaux et des couleurs proches ou similaires. Les trois bâtiments sélectionnés sont des bâtiments de logements collectifs occupés, situés dans la ville de Saint Pierre à La Réunion. Chacun de ces bâtiments présente des façades avec des environnements différents allant du tout minéral à la végétation dense.

2.2. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Le protocole expérimental consistait à mesurer le rayonnement global, la température extérieure et l'humidité relative au droit des façades, pour des hauteurs de 1,8m ; 3,6m et 5,4m. Pour cela, des mâts de mesure ont été conçus « sur mesure » pour le projet car ils devaient être à la fois rapides à installer et en même temps être autoportants et résistants aux vents. Les conditions météorologiques extérieures ont également été mesurées grâce à une station météorologique de référence positionnée sur un bâtiment émergent du quartier. En complément, un anémomètre et des girouettes ont été positionnés en pied du bâtiment et au niveau des deux façades afin de s'assurer de l'homogénéité de l'angle d'incidence du vent.

Paramètre mesuré	Capteur	Unité	Plage de mesure	Précision	Résolution	Cycle de mesure
Température ambiante	Testo 174H sous abris ventilés	°C	- 20... +70°C	±0,5°C	0,1°C	1 min à 24h
Hygrométrie ambiante		%HR	0... 100%	±3%	0.10%	
Eclaircement énergétique	KIMO Solarimètre SL 200	W/m ²	1W/m ² à 1300 W/m ²	±0,5W/m ²	1W/m ²	1 min
	Delta OHM - LP PYRA 03	W/m ²	0 à 2000 W/m ²	10 µV/(W/m ²)	1W/m ²	1 min

Tableau 1 Caractéristiques des grandeurs mesurées au droit de chaque façade

Nous avons réalisé ces mesures en été austral, sur la durée d'ensoleillement d'une journée complète, ceci de manière synchrone sur des façades de même orientation. Chaque façade ayant un environnement différent, nous avons sélectionné 4 scénarios d'étude :

- Scénario 1 : Comparaison des façades Sud des bâtiments A et B ;
- Scénario 2 : Comparaison des façades Est des bâtiments A et B ;
- Scénario 3 : Comparaison des façades Nord des bâtiments A et C ;
- Scénario 4 : Comparaison des façades Est et Ouest du bâtiment B.



Figure 1 Vue en plan des bâtiments étudiés. Surfaces minérales en gris et végétalisées en vert.



Figure 2 Mât autoportant comportant 3 niveaux de mesures, positionné au droit des façades.

Pour chaque scénario, nous avons comparé les données de rayonnement solaire global de chaque façade étudiée, hauteur par hauteur. Nous avons analysé l'évolution des écarts instantanés entre les rayonnements globaux mesurés, ainsi que l'évolution sur la journée des données de température d'air.

3. METHODOLOGIE : ETUDE AERAIQUE

3.1. PROTOCOLE EXPERIMENTAL SUR SITE

Si l'impact thermique du végétal a été étudié, il était nécessaire de vérifier s'il n'appauvriait pas la potentialité de ventilation naturelle. Une série de mesures sur différents plots végétaux de densité différente a été réalisée afin de calibrer des maquettes de végétation. Une station de référence de 6 m de haut positionnée en amont, mesurait et enregistrait la vitesse d'air et l'orientation du vent. Les vitesses d'air en aval de la végétation étaient mesurées grâce à une deuxième station de 4.5m de haut et

positionnée à 3m en aval du plot végétal, à 2 niveaux de mesures i1 et i2. Les stations de mesures ont été positionnées de telle sorte que la direction du vent soit perpendiculaire à la largeur du plot végétal.



Figure 3 Caractérisation aéraulique d'un plot végétal haut



Figure 4 Anémomètre de précision utilisé pour la caractérisation des plots végétaux

Les mesures ont été analysées de façon adimensionnelle :

$$P_i = V_i/V_{\text{réf}} \quad (1)$$

Avec P_i le coefficient adimensionnel caractérisant la performance aérodynamique de chaque point de mesure, V_i la vitesse de vent sur le point de mesure i en aval du plot (m/s), $V_{\text{réf}}$ la vitesse de vent de la station de référence en amont du plot (m/s).

L'intérêt de travailler en nombre adimensionnel est de pouvoir comparer la performance aérodynamique de la végétation à des moments différents. Ainsi, même si le vent n'a pas la même intensité entre les deux mesures, les données peuvent-être comparées.

3.2. PROTOCOLE EXPERIMENTAL EN SOUFLERIE PHYSIQUE

A partir de ce travail de caractérisation terrain, des maquettes de végétation ont été fabriquées et calibrées, et une maquette de bâtiment a été réalisée à l'échelle 1/50. Une simulation en soufflerie a permis de quantifier les champs de pression en façades et toiture en fonction des caractéristiques de la végétation au droit de la façade. Trois configurations ont été testées : végétation haute avec couronne, végétation haute sans couronne et végétation basse. Nous avons retenu comme bâtiment d'étude, un immeuble collectif R+3 de longueur 40m, de largeur 12m et de hauteur 12m.

Des mesures de coefficients locaux de vitesse et de champs de pression aérodynamique ont été effectuées. Pour caractériser le champ de pression aérodynamique, 24 prises de pression ont été placées sur les façades au vent et sous le vent, du bloc représentant le bâtiment. Les résultats sont présentés sous forme de coefficient adimensionnel

$$C_p: C_p = D_p / q_{\text{réf}10m} \quad (2)$$

$$\text{Avec } D_p = p - p_0 \text{ [Pa]} \quad (3)$$

p est la pression statique mesurée en paroi [Pa], p_0 la pression statique de référence atmosphérique de référence [Pa] et $q_{\text{réf}10m}$ la pression dynamique mesurée à une hauteur de référence de 10m.

Les 3 types de végétation ont été testés pour différents d'azimut du vent, et différentes distances de plots végétaux par rapport à la façade. Une configuration de référence qui représente le bâtiment sans présence de masse végétale a été étudiée.



Figure 5 Essai en soufflerie pour détermination des coefficients de pression en façade en fonction d'un plot végétal. Incidence du vent 0°, végétation haute et basse à 12 m de distance.

4. RESULTATS

4.1. ETUDE THERMIQUE

Les figures 6 et 7 représentent le rayonnement solaire global mesuré sur 2 façades de même orientation, avec un environnement végétalisé en vert, et minéral en gris, sur une journée. On constate que le rayonnement solaire varie en fonction de l'orientation. Au mois de décembre et dans un environnement minéral un pic de rayonnement solaire de l'ordre de 900 W/m² sur la façade Est a été mesuré alors que pour les façades Nord et Sud, il était de l'ordre de 300 W/m². La présence d'une masse végétale aux abords d'une façade permet de réduire ces apports solaires directs, en fonction de la hauteur de la végétation, son épaisseur, sa profondeur et sa distance par rapport à la façade. D'après nos mesures, cet impact est plus significatif pour le niveau de mesure le plus bas. Sur les façades Sud, nous avons relevé un écart relatif moyen sur les deux jours de mesures au point bas, entre le cas minéral et végétal, compris entre 33% et 35%. Pour cette orientation, l'effet de la végétation sur le rayonnement aux points les plus hauts n'est pas flagrant.

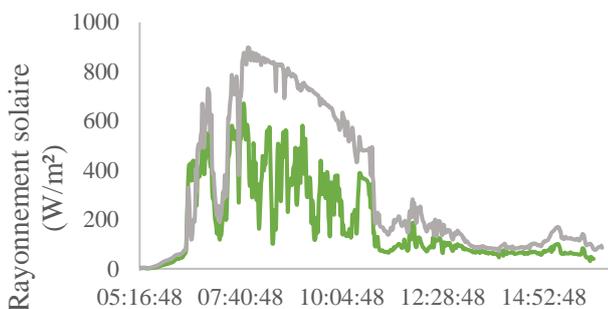


Figure 6 Evolution journalière du rayonnement global au point de mesure 1,8m sur façade végétalisée (vert) et sur une façade minérale (gris) orientation Est

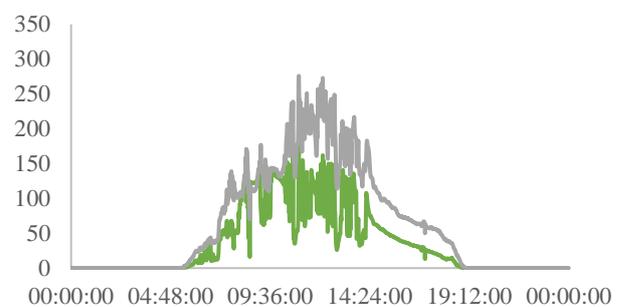


Figure 7 Evolution journalière du rayonnement global au point de mesure 1,8m sur façade végétalisée (vert) et sur une façade minérale (gris) orientation Nord

Cela pourrait être expliqué par la position du soleil, relativement haut et positionné au Sud pendant cette période d'été austral. Sur une façade Est, l'écart entre minéral et végétal est constaté à tous les niveaux de mesures. Néanmoins, cet écart est toujours plus important sur le point de mesure bas (compris entre 41% et 44% pour le point bas, et entre 11% et 15% pour le point haut). L'effet de la végétation sur la température est moins marqué pour le rayonnement solaire. Néanmoins, sur la majorité des cas, minéral ou végétal, on constate que la température au point haut est souvent plus basse que la température au

point bas. Cela pourrait être expliqué par les coefficients d'échanges convectifs des parois qui sont plus importants, ce qui permettrait une meilleure décharge thermique.

4.2. ETUDE AÉRAULIQUE

Globalement sur la façade, une réduction de la pression aérodynamique exercée par le vent, en présence de la végétation a été mesurée. Le cas le plus défavorable est une perte de différence de pression entre les façades de l'édifice de 20%, ceci dans le cas d'une végétation haute en pied de bâtiment, correspondant ainsi à une perte de 10% du débit traversant interne. Cette perte moyenne peut être considérée pour l'ensemble des logements. Néanmoins, la réduction la plus importante est mesurée en partie haute du bâtiment, tandis qu'en partie basse, l'on peut mesurer de légères hausses de débit effectif. Une végétation proche de l'édifice implique une réduction des coefficients de pression plus faible. Pour toutes les configurations, et dans les directions de vents comprises entre $-30^\circ < j < 30^\circ$, les coefficients de pression restent constants. Pour des directions $-30^\circ > j > 30^\circ$, l'on observe une chute du coefficient moyen. Le coefficient moyen le plus fort se trouve à $j=0^\circ$.

5. DISCUSSIONS ET CONCLUSION

Les études expérimentales réalisées dans le cadre du projet PACTE JACO ont permis de quantifier les atouts et inconvénients du végétal du point de vue thermique et aéraulique.

La présence de végétation aux abords des façades impacte le rayonnement solaire global reçu sur la façade. Il est moins important pour un environnement végétalisé que minéral (diminution de l'ordre de 25 à 40% du rayonnement solaire global dans le cas d'une façade végétalisée en fonction de l'orientation). Moins le rayonnement solaire reçu sur une façade sera important, moins le local situé derrière cette façade « surchauffera », meilleur sera le confort thermique et les besoins de climatisation réduits. Nous avons constaté également que l'effet de la végétation varie en fonction de l'orientation des façades et des saisons. Dans notre étude, les mesures ont été réalisées en journées d'été austral pour être le plus démonstrateur possible mais nous n'avons pas extrapolé les mesures au reste de l'année.

Du point de vue aérodynamique, la présence de végétal aux abords de la façade provoque une légère baisse de pression mais ne dépasse jamais 20%, ce qui implique une réduction maximale des débits de ventilation interne de 10%.

Les résultats conduisent à préconiser l'implantation d'un tampon végétal à proximité immédiate de la façade (en gardant un espace libre de 3 m pour les aspects fonctionnels notamment). Ce tampon végétal doit être suffisamment épais ($H/2$), qu'il soit bas ($H/4$) ou mieux plus haut ($H/2$) et densifié.

En complément, bien que le présent article ne le présente pas, une étude acoustique a été menée en parallèle des études thermiques et aérauliques. Elle a permis de déterminer qu'à partir d'une vitesse d'air de 4m/s, l'ambiance sonore évoluait et la couleur du son changeait légèrement.

Les conclusions de notre étude pourraient servir de base de données de référence sur la quantification effective des aménagements paysagers. L'objectif étant d'inciter l'ensemble des acteurs de la construction à laisser une place plus importante aux jardins et aux espaces « respirants » dans les projets de bâtiments et d'aménagements. La végétation offre une solution concrète efficace en climat tropical, répliquable également dans d'autres climats qui sont susceptibles de devenir plus chauds dans les années à venir.

6. BIBLIOGRAPHIE

- S. H. Réunion, Bilan énergétique de la réunion 2018, édition 2019, Tech. rep., SPL Horizon Réunion550 (2019).URL <https://energies-reunion.com/nos-actions/observation/bilan-energetique-de-la-reunion-2>
- Chowdhury, Sajal, Yasuhiro Hamada, et Khandaker Shabbir Ahmed. 2017. « Indoor Heat Stress and Cooling Energy Comparison between Green Roof (GR) and Non-Green Roof (n-GR) by Simulations for Labor Intensive Factories in the Tropics ». *International Journal of Sustainable Built Environment* 6 (2): 449-62. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2017.09.001>.
- Coccolo, Silvia, Jérôme Kämpf, Dasaraden Mauree, et Jean-Louis Scartezzini. 2018. « Cooling Potential of Greening in the Urban Environment, a Step Further towards Practice ». *Sustainable Cities and Society* 38 (avril): 543-59. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.019>.
- Gago, E.J., J. Roldan, R. Pacheco-Torres, et J. Ordóñez. 2013. « The City and Urban Heat Islands: A Review of Strategies to Mitigate Adverse Effects ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 25 (septembre): 749-58. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.057>.
- Leung, Ben Chak-Man. 2018. « Greening Existing Buildings [GEB] Strategies ». *Energy Reports* 4 (novembre): 159-206. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2018.01.003>.
- MacNaughton, Piers, Usha Satish, Jose Guillermo Cedeno Laurent, Skye Flanigan, Jose Vallarino, Brent Coull, John D. Spengler, et Joseph G. Allen. 2017. « The Impact of Working in a Green Certified Building on Cognitive Function and Health ». *Building and Environment* 114 (mars): 178-86. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.041>.
- Musy, Marjorie, Laurent Malys, et Christian Inard. 2017. « Assessment of Direct and Indirect Impacts of Vegetation on Building Comfort: A Comparative Study of Lawns, Green Walls and Green Roofs ». *Procedia Environmental Sciences* 38: 603-10. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.134>.
- Perrau, Antoine. s. d. « « Influence de la ventilation naturelle dans l'évolution de l'architecture tropicale » ». « Évaluation de cette influence au travers un regard d'architecte et d'urbaniste exerçant à La Réunion » », 367.
- Qiu, Guo-yu, Hong-yong Li, Qing-tao Zhang, Wan Chen, Xiao-jian Liang, et Xiang-ze Li. 2013. « Effects of Evapotranspiration on Mitigation of Urban Temperature by Vegetation and Urban Agriculture ». *Journal of Integrative Agriculture* 12 (8): 1307-15. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60543-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60543-2).
- Spangenberg, Jörg, Paula Shinzato, Erik Johansson, et Denise Duarte. 2019. « SIMULATION OF THE INFLUENCE OF VEGETATION ON MICROCLIMATE AND THERMAL COMFORT IN THE CITY OF SÃO PAULO ». *Revista Da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana* 3 (2): 1. <https://doi.org/10.5380/revsbau.v3i2.66265>.
- Stathopoulos, Theodore, Dominic Chiovitti, et Luisa Dodaro. 1994. « Wind Shielding Effects of Trees on Low Buildings ». *Building and Environment* 29 (2): 141-50. [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(94\)90065-5](https://doi.org/10.1016/0360-1323(94)90065-5).