



TOITURE VÉGÉTALE « INSTRUMENTÉE » À
L'UNIVERSITÉ DE LA ROCHELLE
© E. BOZONNET

APPORTS DE LA VÉGÉTALISATION À L'ÉCHELLE DES BÂTIMENTS ET DES QUARTIERS : ASPECTS THERMIQUES*

Par Emmanuel Bozonnet, Rabah Djedjig, Rafik Belarbi

La végétalisation des toitures et des façades fait partie des techniques « passives » de rafraîchissement. Substrat, végétaux, présence d'eau : autant d'éléments qui interviennent. Emmanuel Bozonnet, suite à un travail mené avec ses collègues de l'Université de La Rochelle, nous explique leur effet et leur mode de fonctionnement.

Le contrôle d'un niveau suffisant de confort intérieur des espaces habités et le maintien d'une ambiance thermique favorable représentent une part importante de la demande énergétique liée aux bâtiments. Cette consommation d'énergie représente en France 43,87 % de l'énergie finale consommée (*Chiffres clés de l'énergie édition 2012*). Le développement des systèmes de chauffage et de climatisation pour assurer le confort thermique des ambiances habitées ne suffit pas aux objectifs de performance éner-

gétique et la conception de l'enveloppe bâtie devient, dans ce contexte, essentielle en particulier en période estivale. En milieu urbain, où le risque de canicule est important, des solutions telles que la végétalisation des enveloppes (toitures et façades) font partie des techniques passives de rafraîchissement. De plus, en zone urbaine dense, les bâtiments sont soumis aux microclimats complexes des villes et les interactions peuvent être fortes en période estivale du fait des apports anthropiques liés aux systèmes de climatisation.

La mise en place de végétalisation des enveloppes bâties doit donc se concevoir du point de vue des effets directs sur les ambiances intérieures mais également extérieures, de par leur effet indirect. La conception de solutions efficaces passe par la compréhension et la modélisation des transferts thermiques de l'échelle du matériau végétal, à la rue et au quartier.

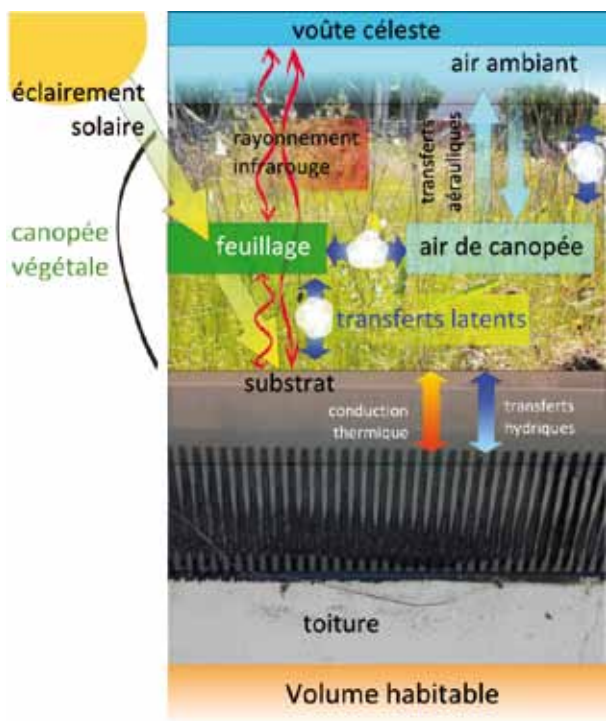


FIGURE 1 - MODES DE TRANSFERT THERMIQUE ET HYDRIQUE SUR UNE PAROI VÉGÉTALISÉE

— LES EFFETS DE LA VÉGÉTALISATION SUR LE BÂTIMENT¹ —

Les apports thermiques liés à l'éclairage solaire absorbé représentent la source d'énergie principale, défavorable en été et bénéfique en hiver. La présence de l'eau dans les surfaces végétalisées permet le rafraîchissement de par l'énergie absorbée par l'évaporation du sol humide ainsi que par la transpiration des plantes. L'énergie solaire absorbée est donc convertie en partie sous forme latente, sans effet sur l'augmentation des températures de surface. Au contraire, pour les surfaces non végétalisées, cette énergie absorbée, peut conduire à des températures élevées, en particulier pour de faibles albédos (toitures sombres). La mise en place de toitures ou façades végétales modifie donc les propriétés thermo-radiatives des surfaces construites et ainsi les modes de transfert de chaleur qui doivent prendre en compte l'interaction des composants végétaux. La figure 1 illustre les principaux modes de transfert thermique et hydrique d'un élément d'enveloppe végétalisé.

Le feuillage réfléchit une partie de l'éclairage solaire reçu par la surface végétalisée. Si la végétation est dense, la quasi-totalité du rayonnement solaire traversant la canopée végétale est absorbé par le tissu foliaire. Dans le

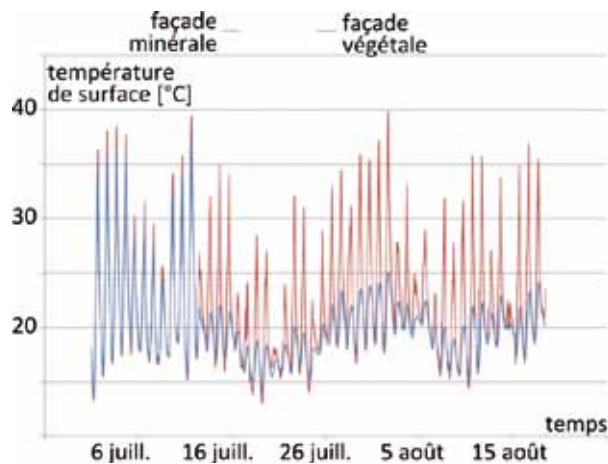


FIGURE 2 - MESURES DE LA TEMPÉRATURE DE FAÇADE EN ÉTÉ LORS DE LA MISE EN PLACE D'UNE FAÇADE VÉGÉTALE COMPARÉE À UNE FAÇADE NON VÉGÉTALISÉE ORIENTÉES TOUTES DEUX VERS L'OUEST

cas contraire, une partie de cette énergie atteint la surface du substrat et y est en partie absorbée. Une part de cette atténuation résulte du processus de la photosynthèse qui consomme une partie du rayonnement photosynthétiquement actif, dans le domaine du rayonnement visible. Les propriétés radiatives d'une feuille varient entre rayonnement visible et infrarouge et dépendent aussi des caractéristiques chimiques et structurales de la feuille. Les différences de température entre les feuilles, le substrat et l'atmosphère entraînent des échanges radiatifs infrarouges entre le feuillage et le ciel, entre le feuillage et le substrat et entre le substrat et le ciel. L'écoulement de l'air au-dessus de la paroi végétalisée accentue les transferts convectifs à l'interface foliaire et à la surface du substrat. Le déficit en pression de vapeur dans l'air, par rapport au tissu foliaire et au substrat, entraîne l'évaporation d'eau contenue dans les pores du substrat et la transpiration par les stomates (évapotranspiration). Cet effet s'accroît sous l'effet des apports énergétiques, majoritairement solaires. Enfin, la couche de substrat contribue à l'augmentation de la résistance et de l'inertie thermiques. Le feuillage, dont la température reste proche de celle de l'air, protège en partie la paroi de l'éclairage solaire direct. De par son opacité au rayonnement infrarouge, le feuillage réduit aussi les déperditions thermiques observées en période nocturne vers la voûte céleste de température équivalente très faible par ciel clair.

Pour les transferts thermiques en façades végétales il faut tenir compte aussi de l'orientation et des masques solaires. Une façade végétalisée orientée nord contribuera peu au rafraîchissement passif de par son éclairage solaire très limité. De plus, une façade végétale doit être arrosée à différentes hauteurs afin d'assurer au mieux l'homogénéité

¹ Pour la constitution des toitures et des façades végétalisées ainsi que leurs variantes on pourra se reporter aux autres articles de ce dossier.

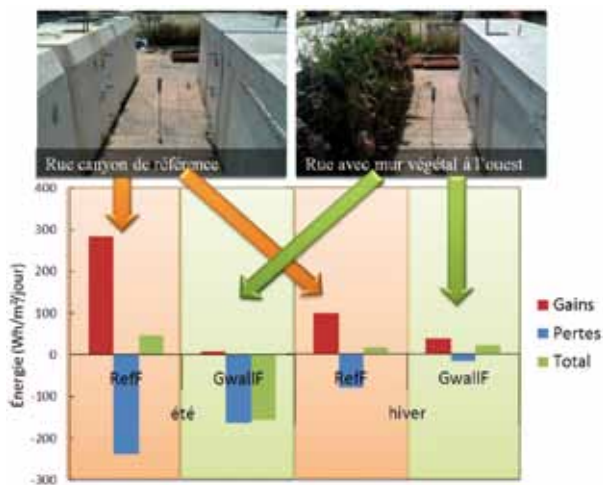


FIGURE 3 - GAINS ET PERTES THERMIQUES POUR UNE FAÇADE OUEST VÉGÉTALISÉE COMPARÉE À UNE FAÇADE MINÉRALE, EN ÉTÉ ET EN HIVER

spatiale de la teneur en eau au cours du temps et compenser l'effet de la gravité dès que la capacité maximale de rétention est atteinte (Djedjig et al, 2013a).

— DU BÂTIMENT À LA RUE, COMBINAISON DES EFFETS DIRECTS ET INDIRECTS... —

Le caractère confiné du milieu urbain dense typique pour les rues dites de types canyons peut être préjudiciable en été. En effet, le piégeage radiatif (réflexions multiples et absorption solaire) et le confinement aérodynamique des canyons urbains (zones de recirculation) peuvent entraîner des îlots de chaleur localement. La végétalisation des enveloppes de bâtiment participe aussi au rafraîchissement direct de cet environnement proche, comme le montre la figure 2 sur les mesures de température de façade avec et sans végétalisation.

Les bénéfices d'une façade végétale en été et en hiver ont été étudiés expérimentalement sur une maquette à l'échelle 1/10^e (Figure 3). De la comparaison en été avec la façade minérale, on observe une réduction des pics de température de 15 °C en surface et 97 % de réduction de gains thermiques le jour, mais également 30 % de gains la nuit. Au contraire, en hiver, on observe une forte diminution des pertes thermiques la nuit (- 80 %), mais également des apports gratuits le jour (- 40 %). Globalement, ces effets restent positifs dans cette configuration et sous ce climat (La Rochelle, France), ce qui s'explique aussi par le faible ensoleillement l'hiver (effets négatifs limités), la résistance thermique additionnelle du composant végétal et, en été, par l'arrosage régulier.

Ces bénéfices se traduiraient ici par une baisse de 33 % de l'énergie de climatisation pour un bâtiment seul, phéno-

mène qui s'accroît dans cette configuration urbaine de type canyon avec 37 % de réduction.

Les résultats expérimentaux et le développement de modèles numériques de prédiction du comportement thermique du bâtiment doivent permettre une conception des bâtiments qui intègre la complexité des phénomènes décrits ici. Ces travaux pourront d'une part contribuer à l'amélioration des outils d'aide à la décision à destination des différents acteurs du bâtiment (outils réglementaires et de calcul) quant à l'utilisation des solutions innovantes de conditionnement et permettront, d'autre part, de promouvoir l'utilisation de la végétalisation en façade et en toiture.

— DES EFFETS AU NIVEAU DU QUARTIER —

Enfin, si les effets thermiques directs peuvent être atténués pour des bâtiments déjà bien isolés, les effets thermiques à l'échelle du quartier et de la ville sont aussi potentiellement intéressants. Les avancées dans la modélisation à cette échelle montrent les rétroactions possibles sur le microclimat urbain et le bâtiment (Bozonnet et al., 2013; Gros et al., 2014, Djedjig et al., 2013b). À terme, l'évolution des outils intéressera les acteurs de la conception des bâtiments mais aussi des urbanistes pour une approche intégrant à la fois l'habitat et les problématiques liées à l'environnement proche et aux microclimats urbains, avec des solutions de végétalisation pour ces différents objectifs.

* Ce travail a bénéficié d'un soutien financier de L'Agence Nationale de La Recherche. Il a été entrepris dans le cadre du projet portant la référence ANR-09-Vill-0007-04 (projet VegDUD « Rôle du VÉGÉTAL dans le Développement Urbain Durable, une approche par les enjeux liés à la climatologie, l'hydrologie, l'énergie et les ambiances »).

À lire...

- Bozonnet, E., Musy, M., Calmet, I., and Rodriguez, F. (2013). "Modeling methods to assess urban fluxes and heat island mitigation measures from street to city scale" *International Journal of Low-Carbon Technologies*.
- *Chiffres clés de l'énergie édition 2012* (n.d.). (MEDDE, Commissariat général au développement durable), p. 40.
- Djedjig, R., Bozonnet, E., and Belarbi, R. (2013). "Experimental study of the urban microclimate mitigation potential of green roofs and green walls in street canyons" *Int. J. Low-Carbon Tech.*
- Djedjig, R., Bozonnet, E., and Belarbi, R. (2013). "Integration of a green envelope model in a transient building simulation program and experimental comparison" *Building simulation for a sustainable world* (Chambéry, France), pp. 49–55. Presented at the Building Simulation 2013.
- Gros, A., Bozonnet, E., and Inard, C. (2014). "Cool materials impact at district scale, Coupling building energy and microclimate models" *Sustainable Cities and Society* in Press.