



Figure 1 : L'institut de physique de l'université Humboldt de Berlin, campus Aldershof. La végétalisation de la façade sud forme en été un rideau vert étanche. À chaque étage, sont placés des bacs à plantes, avec un système d'irrigation automatique qui est alimenté à partir d'un réservoir d'eau de pluie. Différentes sortes de plantes ont été testées, afin de trouver la variété possédant les meilleures propriétés en termes d'ombrage.

Ombrage et rafraîchissement de collectivités à l'aide d'eau de pluie

Des processus inspirés de la nature permettent d'économiser jusqu'à 90% d'énergie électrique

Les habitations QNE du futur seront, en été, vertes à l'extérieur et fraîches à l'intérieur. La végétalisation des bâtiments apporte de l'ombre et assure un refroidissement par évaporation. Lorsque les plantations sont irriguées avec de l'eau de pluie stockée, cela permet d'économiser des frais en eau et en énergie. Dans les milieux urbains, cela améliore de plus le microclimat et le circuit naturel de l'eau. Dans la conception des bâtiments, il sera bientôt possible de compléter cette technique économique pour collectivités avec le refroidissement adiabatique de l'air de ventilation à l'aide d'eau de pluie.

D'un point de vue physique, l'énergie qui est nécessaire à l'évaporation d' 1 m^3 d'eau correspond à 700 kWh. Cela concerne le changement de phase à une température de 45°C . À 100°C , elle est encore de 630 kWh. Dans les milieux urbains, l'effet d'absorption de chaleur peut très bien être utilisé pour le rafraîchissement naturel, à condition qu'il y ait suffisamment de masses d'eau à disposition. Le rayonnement solaire est toutefois la plu-

part du temps transformé en rayonnement à grandes longueurs d'onde, et donc en chaleur sensible, en lieu et place d'évaporation de l'eau. La plupart des immeubles urbains sont soumis à un effet dit d'îlot thermique. Les mois d'été ne sont par ailleurs pas toujours suffisamment venteux pour évacuer les charges thermiques.

La végétalisation des bâtiments offre une solution à ce problème, par le biais de l'irrigation

à l'aide d'eaux pluviales. La réutilisation de l'eau de pluie pour soutenir le circuit naturel de l'eau, revêt une importance capitale dans la préservation du climat. Tant que nous continuerons à évacuer les eaux pluviales de la manière dont on le fait actuellement, il n'y aura pas assez d'humidité de l'air pour permettre d'autres précipitations.



Figure 2 : La plaine intérieure avec le réservoir d'eau souterrain, le vivier d'évaporation et la façade végétalisée. L'eau de pluie est utilisée à 100% au sein de la parcelle.

Projet modèle à Berlin

En été, les toitures vertes expansives transforment 58% du bilan radiatif en évaporation de l'eau. Dans le cas des toitures bitumineuses, ce chiffre n'est que de 6%, comme le démontrent les mesures réalisées sur deux toitures attenantes de l'Usine UFA à Berlin. Les façades végétalisées affichent en outre un grand potentiel d'économie d'énergie, en comparaison avec les pare-soleil traditionnels. Ceci est prouvé par le monitoring d'un bâtiment neuf de l'institut de physique sur le campus Aldershof de l'université Humboldt de Berlin. De l'eau de pluie est ici utilisée tant pour l'arrosage des plantations que pour le refroidissement par évaporation dans la ventilation équilibrée. Dans ce cas, le confort reste garanti sans rafraîchissement conventionnel pour des températures extérieures jusqu'à 30°C. Cela ouvre d'intéressantes perspectives en matière de construction écologique. La végétalisation des bâtiments garantit l'ombrage de la façade sud et la protège ainsi des températures trop élevées (figure 1). La Hochschule Neubrandenburg et la Technische Universität Berlin mènent depuis déjà 15 ans des recherches sur ce projet modèle de ville écologique pour l'instance publique de développement urbain de Berlin.

De cette étude, il ressort que des processus inspirés de la nature permettent d'économiser jusqu'à 90% des coûts de fonctionnement de refroidissement, par rapport à des systèmes conventionnels^{3,6}.

Végétalisation de façade pour un meilleur ombrage

Neuf façades de l'institut de physique furent végétalisées. L'eau de pluie de 4.700 m³ de toiture est récoltée dans des réservoirs en béton souterrains et partiellement utilisée pour irriguer les plantations (figure 2). Une irrigation automatique par gouttes prend soin des bacs à plantes répartis en 29 segments. Le niveau de l'eau dans les bacs à plantes est contrôlé à l'aide d'une commande électronique PLC. Sur base des données disponibles, l'irrigation des façades végétalisées nécessite environ 250 m³ d'eau par an.

L'effet d'ombrage des plantes est mesuré par 7 capteurs de rayonnement et comparé avec un pare-soleil conventionnel. Afin de pouvoir extrapoler les résultats à d'autres situations, des mesures importantes du microclimat (figure 3) ont également été réalisées. Au cours des premières années, pas mal de plantes de façade sont mortes. Marco Schmidt de la Tech-

nische Universität Berlin a pu identifier différentes causes. L'une d'entre elles était le dégagement de pesticides issus de l'étanchéité de toiture. Les autorités publiques berlinoises ont entretemps pris des mesures pour contrer cet effet⁹. Le gel et le manque de soin furent aussi des causes de mortalité de certains types de plantes.

Afin de garantir le fonctionnement à long terme, certains composants techniques de la façade végétalisée doivent être régulièrement contrôlés. Il s'agit entre autres des câbles de fixation des bacs à plantes, des treillis et des installations d'irrigation et de fertilisation. Il semble que trois à quatre cycles d'entretien soient nécessaires au cours de cette période de croissance. On peut également s'en satisfaire dans ce cas-ci³. En fonction du feuillage des treillis de plantes, seuls 20% du rayonnement solaire peut atteindre la paroi. Des mesures, il ressort que les températures de paroi sont jusqu'à 15 K inférieures à celles d'une paroi non végétalisée. L'effet est en grande partie dû à l'ombrage généré par le feuillage, et seulement pour une petite partie à la transpiration¹.

Les arbres des villes, les façades et les toitures vertes contribuent au rafraîchissement



Figure 3 : Station de mesure du fonctionnement du rafraîchissement passif par la toiture verte, ainsi qu'un bac à plantes à irrigation automatique par eau de pluie et un trop-plein.

par ombrage, à l'évaporation et à l'isolation. La végétalisation protège par ailleurs nos villes contre les changements climatiques, et augmente en même temps leur pouvoir d'attraction ainsi que la qualité de vie. La nature urbaine doit donc être soutenue et développée en tant qu'infrastructure verte, a déclaré la Prof. Beate Jessel, présidente du BfN, lors de l'ouverture d'un congrès professionnel à Bonn en 2015. Il s'agissait d'une initiative commune du BfN (Bundesamt für Naturschutz), du centre Helmolz de recherche environnementale (UFZ) et du centre allemand pour l'étude intégrative de la biodiversité (iDiv). La contribution de la végétalisation urbaine dans les économies d'énergie et donc de la protection climatique, a aussi été démontrée à l'aide d'une façade végétalisée à Vienne. L'évaporation des plantes en été sur la façade de 850 m² correspond environ à la puissance frigorifique de 45 climatiseurs de 3.000 watts chacun, fonctionnant huit heures par jour. D'après Beate Jessel, en hiver, les déperditions thermiques diminuent également dans ce cas jusqu'à 50%⁵.

Refroidissement adiabatique de l'air évacué à l'aide d'eau de pluie

On utilise normalement dans cette optique le même échangeur de chaleur que celui qui est utilisé en hiver pour la récupération de chaleur. L'eau de pluie est pulvérisée dans le flux sortant et refroidit ainsi considérable-

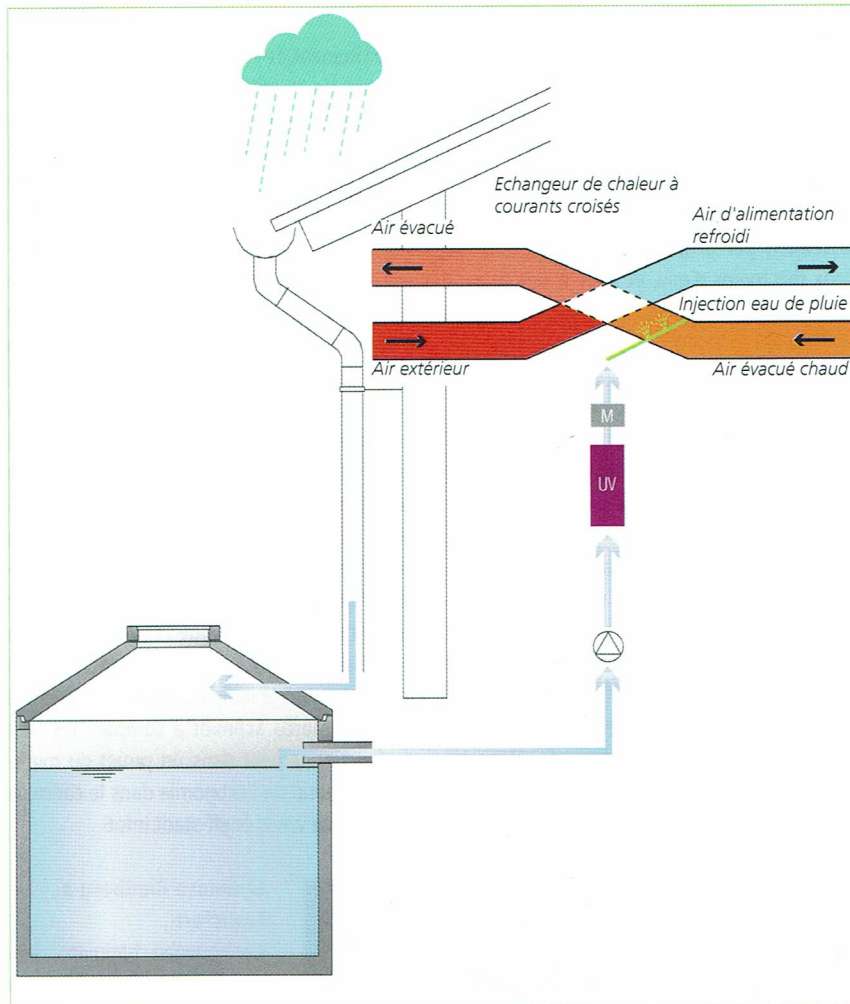


Figure 4: Principe du refroidissement adiabatique de l'air évacué. L'eau de pluie des toitures est collectée dans un réservoir. Elle est ensuite pulvérisée dans l'échangeur de chaleur pour l'air évacué, ce qui refroidit l'air. L'air évacué ainsi refroidi extrait alors de la chaleur de l'air entrant.

ment l'air évacué (figure 4). Ce dernier refroidit alors l'air entrant, en général à travers un échangeur de chaleur air-air. Les flux d'air n'entrent donc pas en contact direct les uns

avec les autres. On parle ici de refroidissement adiabatique de l'air évacué. Cette manière de refroidir avec de l'eau de pluie améliore par ailleurs le microclimat autour du bâtiment.



Figure 5: Le centre scolaire à Mössingen, Baden-Württemberg. L'eau de pluie est utilisée comme eau de rinçage pour le sanitaire, et sert également au refroidissement adiabatique de l'air évacué.



Figure 6: Le réservoir d'eau de pluie a une contenance de 48 m³; il est relié à 1.800 m² de toiture verte.



Figure 7: Les armoires de traitement de l'air dans la cave, avec un débit nominal de 15.660 m³/h pour les classes et de 9.000 m³/h pour le réfectoire. Pour un débit maximal, le refroidissement adiabatique fournit une capacité de respectivement 156 et 90 kW.

Idéalement, l'air évacué est pulsé à la même température que l'air extérieur avec un taux d'humidité de 100%. L'eau de pluie a en général une faible conductivité électrique, ce qui traduit un faible taux en sel. En comparaison avec l'utilisation d'eau de pluie pour le refroidissement par évaporation, on a besoin de deux fois moins d'eau, et il n'y a absolument pas d'eaux usées⁶.

Projets déjà réalisés

Ecole à Mössingen (Baden-Württemberg)
Ce bâtiment scolaire dit « intégratif » (figure 5) a été bâti en 2014. Une des préoccupations est l'utilisation de l'eau de pluie. Celle-ci sert à la fois d'eau de rinçage pour le sanitaire et pour le refroidissement adiabatique. L'eau de pluie est collectée sur une toiture verte de 1.800 m² (figure 6). Le système comporte par ailleurs un réservoir d'une contenance de 48 m³, une installation de surpression ainsi qu'un réseau de conduites distinct vers les consommateurs. Le trop-plein du réservoir d'eau de pluie est relié à l'installation de filtration sur le terrain scolaire. Les deux armoires

de traitement de l'air (figure 7) ont un volume nominal de 15.660 m³/h pour les classes et de 9.000 m³/h pour le réfectoire. Pour un débit maximal, le refroidissement adiabatique fournit une capacité de respectivement 156 et 90 kW. Les armoires de traitement de l'air ne sont pas équipées de refroidissement mécanique conventionnel comme back-up. Cela se traduit par des coûts inférieurs en termes tant d'investissement que d'utilisation⁴. Par rapport à une machine frigorifique traditionnelle mue par un compresseur, on économise 178 euros en électricité par jour, à partir de huit heures de fonctionnement, ajoute Marco Schmidt de la TU Berlin. Par rapport à une machine frigorifique à absorption, cette économie est même de 369 euros par jour, pour la chaleur, le courant, l'eau et les eaux usées. La consommation de courant des pompes de l'installation d'eau de pluie et du refroidissement adiabatique se réduit considérablement: seulement 4 euros par jour. Marco Schmidt a comparé les frais de fonctionnement dans un projet du ministère allemand de l'économie dans le cadre du programme www.eneff-stadt.info.



Figure 8: Le gymnase Riedberg à Francfort. Le nouveau bâtiment pouvant abriter 1.350 élèves a été achevé en 2013.



Figure 9: Placement d'un système de stockage d'eau de pluie. L'installation comprend une gaine filtrante et quatre réservoirs en béton d'une contenance totale de 36 m³. Il y a également une installation de relevage avec deux pompes immergées pour un débit total de 16,5 m³/h.

Gymnase Riedberg à Francfort

Ce nouveau bâtiment pouvant abriter 1.350 élèves est en fonctionnement depuis 2013 (figure 8). L'eau de pluie d'une surface totale de toiture de 2.500 m² est collectée dans une installation de stockage de 36 m³ (figure 9) et est utilisée pour le refroidissement adiabatique (figure 10). D'après le concepteur, on économise environ 1.000 euros par an en frais de fonctionnement, par rapport à une machine frigorifique traditionnelle. Aucune installation supplémentaire d'évacuation des eaux pluviales n'est en outre nécessaire².

Hochschule Pforzheim

Un autre exemple est la Hochschule Pforzheim, dont le nouveau bâtiment et l'extension de la faculté de technique, avec refroidissement adiabatique, ont été mis en service en 2015⁷.

Conclusion

L'utilisation de l'eau de pluie pour l'irrigation des façades végétalisées et pour le refroidissement adiabatique de l'air évacué permet d'économiser de l'énergie. Les eaux pluviales douces ne doivent de plus pas être désalinisées. Il y a également moins de frais en termes d'eaux usées si on remplace l'eau potable dans les installations HVAC par de l'eau de pluie. Un effet synergétique supplémentaire: la réutilisation de l'eau de pluie rétablit le circuit naturel de l'eau de précipitation et d'évaporation. Cela a des effets positifs sur le microclimat local, tout en réduisant le réchauffement de la planète⁸.

Par Klaus W. Koenig

Photos: Klaus W. Koenig

■ www.klauswoenig.com

Références

- ¹ Günther, H.: *Vertikalbegrünungen als Element grüner Infrastrukturen in Städten*. In: *fbr-wasserspiegel 1/16*, Seite 18. (Hrsg.:) *Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e. V.*, Darmstadt, 2016.
- ² Kaiser, M.: *Einsatz von Regenwasser zur Kühlung von Gebäuden und Prozessen*, in: *Ratgeber Regenwasser. Für Kommunen und Planungsbüros. Rückhalten, Nutzen und Versickern von Regenwasser im Siedlungsgebiet*. 6. Auflage. (Hrsg.:) *Mall GmbH, Donaueschingen*, 2016.
- ³ *Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung. Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung. Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung*. (Hrsg.:) *Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, Broschüre*, 1. Auflage, Berlin, 2010.
- ⁴ Schmidt, M., Sperfeld, D.: *Adiabate Kühlung mit Regenwasser*. In: *fbr-wasserspiegel 4/14*, S. 14. (Hrsg.:) *Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e. V.*, Darmstadt, 2014.
- ⁵ *Auszug aus 'Sima: Fassadenbegrünungen schaffen neue Grünflächen in Wien und wirken kühlend'*. Quellen: www.wien.gv.at/irrk/Presse. Aufgerufen am 19.07.2016.
- ⁶ *TU Berlin: Abschlussbericht 'HighTech-LowEx: Energieeffizienz Berlin Adlershof 2020' Teil 8 Energieeffiziente Gebäude, BMWi Förderkennzeichen 03ET1038A und 03ET1038B*, 144 S. Berlin, 2014.
- ⁷ *Neubau bzw. Erweiterung der Fakultät für Technik, Hochschule Pforzheim: Service/Projektarchiv unter http://www.vermoegenundbau-bw.de*. Aufgerufen am 19.07.2016.
- ⁸ Schmidt, M.: *Regenwassernutzung zur energieeffizienten Gebäudekühlung*, in: *Ratgeber Regenwasser. Für Kommunen und Planungsbüros. Rückhalten, Nutzen und Versickern von Regenwasser im Siedlungsgebiet*. 6. Auflage. (Hrsg.:) *Mall GmbH, Donaueschingen*, 2016.
- ⁹ *Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Landesamt für Gesundheit und Soziales Berlin: Handlungsempfehlungen zur Vermeidung der Umweltbelastung durch die Freisetzung des Herbizids Mecoprop aus wurzelfesten Bitumenbahnen*. Stand 01.10.2013.