

LE PHOTOVOLTAÏQUE ET LA VÉGÉTALISATION

Les façades sont bien plus que les parois nues d'un bâtiment : elles peuvent être utilisées avec des modules photovoltaïques (PV) pour la production d'électricité, ou créer une valeur ajoutée pour les habitantes et les habitants à l'aide de la végétalisation. Un projet de recherche de la Haute École Spécialisée de Lucerne a étudié ce que les façades peuvent apporter à la production d'électricité solaire en fonction de leur orientation, et comment le PV et la végétalisation peuvent être combinés.

Au cours des dernières décennies, les températures moyennes ont augmenté et à l'avenir, la température en Suisse devrait être encore supérieure. Dans le pire des cas, si aucune mesure n'est prise pour limiter l'effet de serre, les températures pourraient, au milieu de ce siècle, être en moyenne de 2 à 3,3 degrés supérieures à celles de la fin du siècle dernier. C'est ce que prévoit le réseau fédéral de services climatiques (NCCS), en se basant sur le scénario RCP8.5 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

Les mesures contre le réchauffement climatique

« Si ce scénario extrême devait se produire, renforcé dans les villes par ledit effet d'îlot de chaleur, notre vie en serait fortement affectée et nous devrions prendre des contre-mesures efficaces », explique Gianrico Settembrini, responsable du groupe de recherche sur la construction et la rénovation durables à la Haute École Spécialisée de Lucerne (HSLU). Ces contre-mesures comptent l'équipement des façades de pan-



Quatre systèmes de façade ont été mesurés sur le campus de la HSLU (de gauche à droite): végétation au sol, végétation au mur, installation PV opaque, installation PV transparente. Photo: rapport final GreenPV



Exemple d'une végétalisation murale: le centre commercial Stückli à Bâle. La végétalisation compte 23 espèces arborées différentes et des plantes grimpantes. Les plantes se trouvent dans des bacs et grimpent le long de cordes. Photo: Beat Breitenfeld



Exemple d'une végétalisation au sol: maison de ville « M1 » à Fribourg en Allemagne. Photo: Bundesverband GebäudeGrün e.V.

neaux photovoltaïques, lesquels produisent de l'électricité renouvelable, mais aussi les façades végétalisées, notamment parce qu'elles améliorent le confort des citoyens lorsque les températures augmentent. Dans ce contexte, une équipe de chercheurs de la HSLU a défini des critères qualitatifs et quantitatifs qui montrent comment combiner au mieux les modules PV et la végétalisation en fonction de l'orientation de la façade.

L'équipe de chercheurs a notamment analysé cinq types de végétalisation de façade (cf. illustration en bas). Des simulations de calculs et un essai sur le terrain à la Haute école ont permis d'estimer à quel point la végétalisation de façade, mais également celle de l'environnement avec des pelouses

et des arbres, permettait de réduire les besoins en énergie pour le refroidissement pendant les journées chaudes. « La végétalisation avec des pelouses et des arbres est loin d'être réalisables partout dans l'espace urbain. C'est pourquoi la végétalisation des façades peut représenter une bonne alternative, même s'il ne s'agit pas de la mesure la plus efficace pour réduire la température », affirme Sina Büttner, directrice du contenu du projet de recherche.

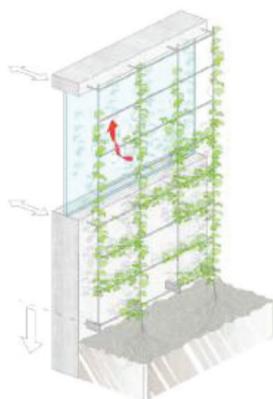
Production électrique de la façade en hiver

La question centrale du projet était de savoir comment combiner le photovoltaïque et la végétalisation des façades le plus judicieusement possible, aussi bien du point de vue écologique qu'économique. Dans leur étude, les scienti-

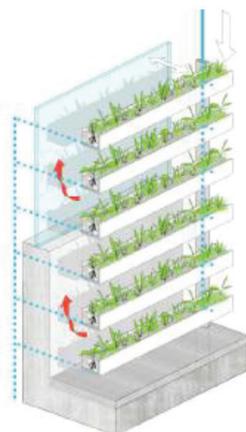
Façades végétalisées liées au sol



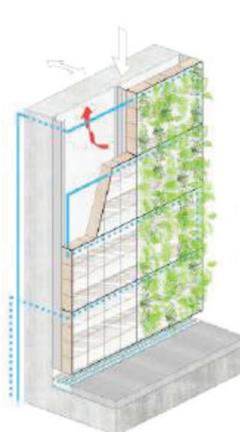
Végétation directe sur la façade



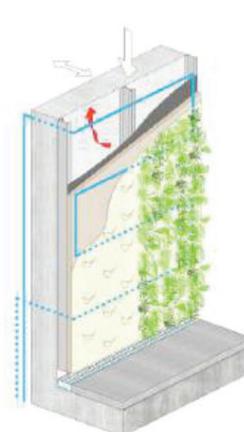
Végétation grimpante sur une structure de croissance séparée



Surfaces végétalisées horizontales, pots

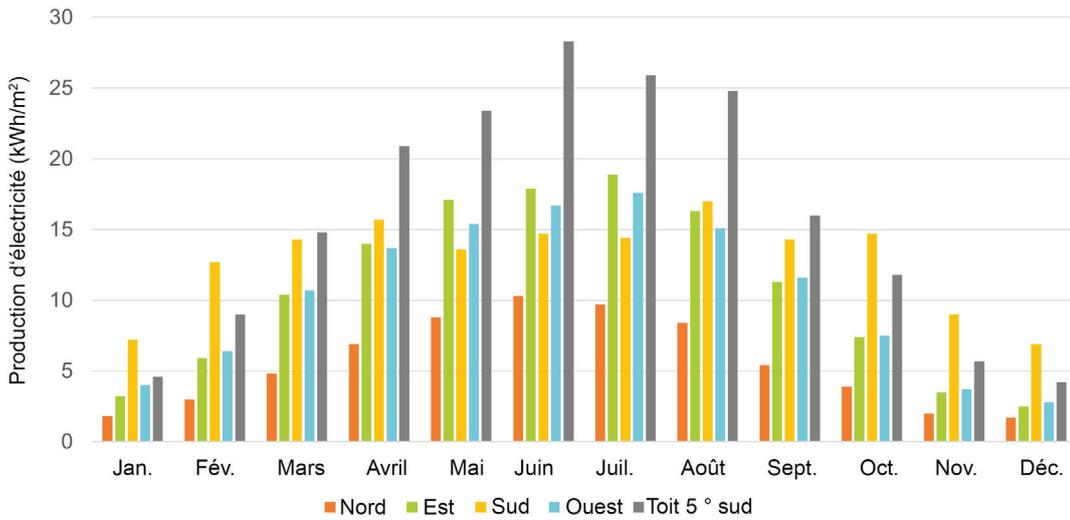


Surfaces végétalisées verticales, modulaires



Surfaces végétalisées verticales, toute la surface

Les façades peuvent être végétalisées de différentes manières: représentation schématique de deux systèmes « liés au sol » et de trois systèmes « liés au mur ». Tableau: N. Pfoser: Façades vertes

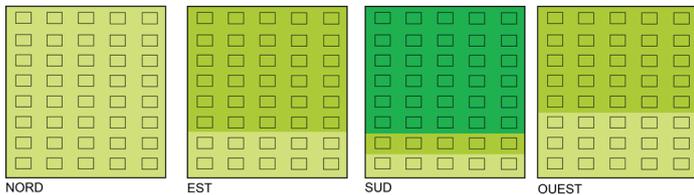


Les colonnes grises montrent les rendements mensuels d'une installation photovoltaïque de toiture. Les rendements des modules muraux sont plus faibles: sur une période de douze mois, les modules muraux installés sur une façade sud produisent tout de même 82% du rendement de l'installation sur le toit. Pour la façade est, c'est 68%, pour la façade ouest 66% et pour la façade nord 35%. Graphique: rapport final GreenPV

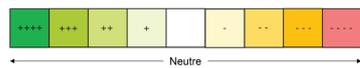
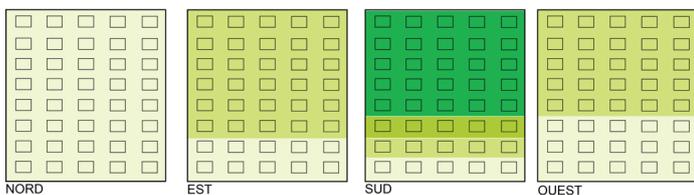
Les études ont montré que l'orientation de la façade jouait un rôle important. Les modules muraux n'atteignent certes pas le même rendement annuel par mètre carré que les modules de toit surélevés, mais tout de même 35% (façade nord) à 82% (façade sud) de la valeur comparative, comme le montrent les calculs des chercheurs de la HSLU (cf. illustration en haute).

Une observation intéressante au regard de la pénurie d'électricité en hiver, laquelle a fait l'objet d'intenses discussions ces derniers temps: les modules PV non ombragés sur la

Potentiel de production d'électricité annuel (modules opaques)

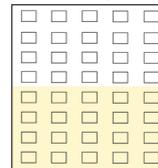


Production d'électricité hivernale (modules opaques)

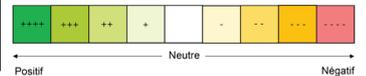
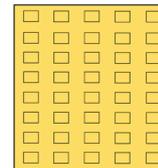


Potentiel annuel de production d'électricité des modules muraux (rendement de 20%) par rapport à la façade de référence (construction murale avec plaques de fibrociment ventilées par l'extérieur), en fonction de l'orientation de la façade et de l'étage. Une disposition ciblée des modules PV permet d'optimiser la production d'électricité en hiver (façade sud) ou l'autoconsommation pendant la journée (façades est et ouest). Graphique: Rapport final GreenPV/rédigé par B. Vogel

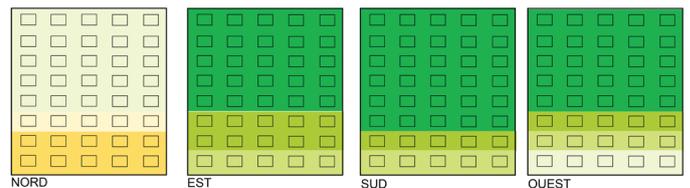
Végétalisation liée au sol
(Hauteur de croissance jusqu'au 3e étage, toute orientations)



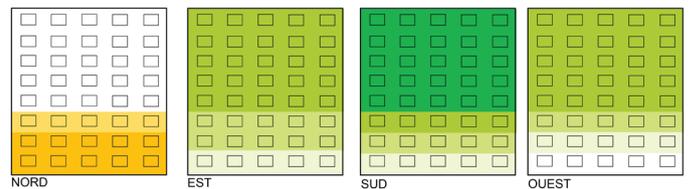
Végétalisation liée au mur
(toute orientations)



Modules PV opaques



Modules PV transparents



Émissions de gaz à effet de serre pour deux systèmes de façade avec végétation et deux types de modules muraux photovoltaïques (par rapport à une façade de référence, c'est-à-dire une construction murale avec des plaques de fibrociment ventilées par l'extérieur). Toutes les émissions liées à la production/construction, à l'entretien et à l'exploitation tout au long du cycle de vie sont prises en considération. Graphique: Rapport final GreenPV/rédigé par B. Vogel

façade sud fournissent plus d'électricité qu'une installation sur le toit pendant le semestre d'hiver. Conclusion dans le rapport final du projet: « La combinaison de modules PV de toiture ainsi que la façade dans les différentes orientations (en fonction des horaires d'utilisation et la consommation propre), peut, sur une année complète, être très intéressante et entraîner un rendement électrique élevé (potentiel de surface accru en raison de la combinaison toit-façade). »

Une combinaison intelligente

Les façades végétalisées fixent le CO₂ et les installations PV peuvent remplacer les sources d'énergie polluantes. Parallèlement, la production/création, l'entretien et l'exploitation de ces systèmes de façade génèrent eux-mêmes des émissions de gaz à effet de serre. Les chercheurs de la HSLU ont comparé ces émissions et ont pu montrer que les façades PV orientées au sud, mais aussi à l'est et à l'ouest, présentaient le meilleur écobilan en termes d'émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble du cycle de vie (illustration p. 3). Cela est dû au fait que les modules ainsi orientés génèrent un rendement électrique élevé et « amortissent » plus rapidement l'énergie grise (ou les émissions de gaz à effet de serre associées) issue du processus de production.

La végétalisation et le photovoltaïque sont deux types d'utilisation des façades qui ont chacun leurs avantages et leurs inconvénients. La végétalisation crée des espaces extérieurs où il fait bon vivre, atténue le bruit, réduit les polluants, produit de l'oxygène et contribue à la biodiversité. Le photovoltaïque soutient l'approvisionnement en énergie sans recours aux énergies fossiles. Les chercheurs recommandent de combiner les deux types d'utilisation: il peut en effet s'avérer judicieux de végétaliser la partie inférieure du bâtiment, qui est plus proche des gens et plus ombragée, et d'utiliser la partie supérieure pour la production d'électricité solaire. En ce qui concerne le choix des modules PV, les chercheurs de la HSLU se prononcent en faveur de modules opaques performants, car leur rendement élevé les rend avantageux sur le plan écologique et économique.

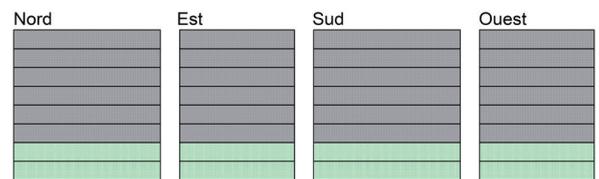
Rentable à long terme

Malgré tous les avantages: l'utilisation des façades pour la végétalisation implique des investissements considérables. Les coûts d'entretien des espaces verts sont parfois considérables et les besoins en eau ne doivent pas être négligés. Les calculs des chercheurs de la HSLU montrent que les façades équipées de modules photovoltaïques opaques orientés

DES VILLES VERTES

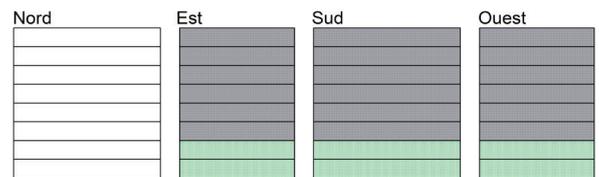
Le projet de recherche de la Haute École Spécialisée de Lucerne – Ingénierie et Architecture pour la végétalisation et l'utilisation de l'électricité solaire sur les façades – est particulièrement intéressant pour les villes. Outre l'Office fédéral de l'énergie, les villes de Zurich et de Saint-Gall ont soutenu le projet, de même que la Steiner Lab Foundation. Le projet de recherche s'est achevé au printemps 2024, après deux ans et demi, avec la publication du rapport final du projet.

Scénario 1 : PV en haut, vert en bas, toutes les façades



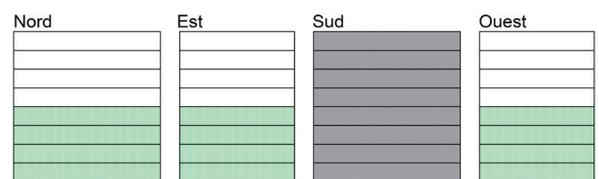
Végétalisation liée au sol: rez-de-chaussée et 1^e étage, toutes les façades ;
modules PV (opaques): étages restants, toutes les façades

Scénario 2 : PV en haut, vert en bas, sans la façade nord



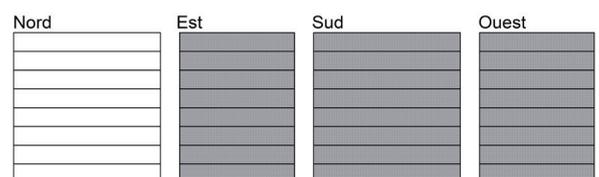
Végétalisation liée au sol: rez-de-chaussée et 1^e étage, E / S / O ;
modules PV (opaques): étages restants, E / S / O ;
façades nord sans système supplémentaire (façade de référence)

Scénario 3 : PV façade sud, vert sur les autres



Végétalisation liée au sol: du rez-de-chaussée au 3^e étage, N / E / O ;
modules PV (opaques) : façade sud, tous les étages

Scénario 4 : concentration sur la production d'énergie



Aucune végétalisation ;
modules PV (opaques) : façades est, sud et ouest, tous les étages

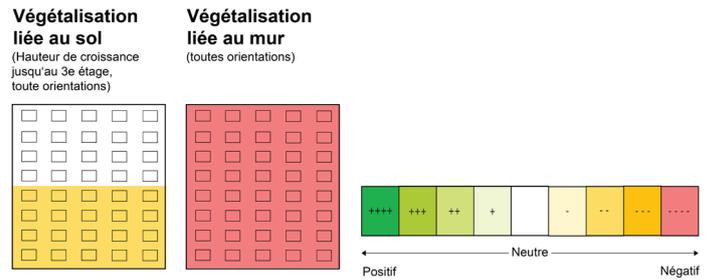
Quatre scénarios pour combiner la végétalisation et l'utilisation du photovoltaïque sur les façades. Dans le scénario 4, on renonce à la végétalisation au profit de la production d'énergie solaire. Graphique: rapport final GreenPV

vers le sud, l'ouest ou l'est sont particulièrement intéressantes d'un point de vue économique sur l'ensemble du cycle de vie. Ainsi, les coûts annualisés sur 30 ans sont les plus élevés pour une végétalisation murale, mais une solution de façade PV est, dans le meilleur des cas, à peine plus chère qu'une façade traditionnelle avec une installation PV sur le toit (voir illustration à droite).

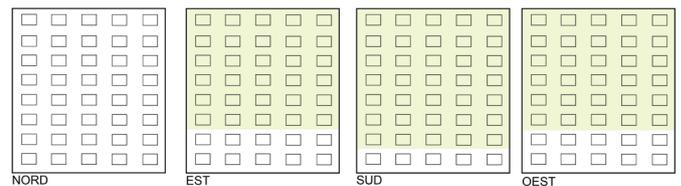
➤ Le **rapport final** du projet « Potentiel de l'enveloppe du bâtiment – Solutions pour une conception optimale des façades avec PV et végétalisation en vue du changement climatique » (GreenPV) est disponible sur: www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=50466. Vous y trouverez une brochure détaillée avec les principaux résultats du projet et les actions recommandées.

➤ Nadège Vetterli (nadege.vetterli@anex.ch), directrice externe du programme de recherche de l'OFEN Bâtiments et villes, communique des **informations** sur le projet.

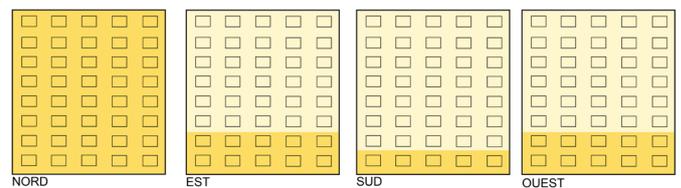
➤ Vous trouverez plus d'**articles spécialisés** concernant les projets pilotes, de démonstration et les projets phares dans le domaine Bâtiments et villes sur www.bfe.admin.ch/ec-batiments.



Modules PV opaques



Modules PV transparents



Coûts du cycle de vie pour différents systèmes de façade (en comparaison avec une façade de référence, c'est-à-dire une construction de mur avec des plaques de fibrociment ventilées par l'arrière côté extérieur). Graphique: rapport final GreenPV