



COHABITATION EN TOITURE ENTRE  
VÉGÉTALISATION & PANNEAUX SOLAIRES

## **LIVRET PEDAGOGIQUE SUR LES TOITURES BIOSOLAIRES**

# LIVRET PÉDAGOGIQUE SUR LES TOITURES BIOSOLAIRES



© id-solaire,fr



© CDC Ville de Grenoble – Ecole Lucie Aubrac



© Ecovégétal

**Solariser ou végétaliser ? Ces deux solutions sont souvent opposées quand on évoque le traitement d'une toiture terrasse.** Les rares fois où elle est envisagée, la combinaison entre végétalisation et panneaux n'est imaginée qu'avec une végétation rase de type sédum.

**Or il est possible d'allier végétalisation intensive et mise en place de dispositifs de production d'énergie solaire. Cela a même des avantages.**

De nombreux exemples de toits offrant cette synergie se développent en Suisse, Belgique, Allemagne ou encore en Autriche, mais ils restent encore rares en France. On les appelle les toitures biosolaires.

**Une toiture biosolaire est la combinaison d'une toiture végétalisée présentant une biodiversité et de panneaux solaires.**

Pourquoi la combinaison de panneaux solaires et de végétalisation sur les toits est-elle encore peu connue et peu mise en œuvre ? Le premier facteur est un manque de connaissance du côté des concepteurs. Le deuxième est le manque de conscience qu'une telle solution existe parmi les acteurs de l'immobilier.

## Objectifs de ce livret pédagogique :

- ✓ Montrer que c'est possible
- ✓ Montrer ce que ça apporte
- ✓ Montrer comment ça peut être mis en œuvre
- ✓ Montrer des exemples de réalisations



- 1. Toitures végétalisées et panneaux solaires : phénomènes en jeu, rôle et impact** *p4*
- 2. Les toitures biosolaires : enjeux, atouts et contraintes** *p9*
- 3. Précautions de mise en œuvre** *p16*
- 4. Exemples** *p23*



- 1. Toitures végétalisées et panneaux solaires : phénomènes en jeu, rôle et impact** *p4*
2. Les toitures biosolaires : enjeux, atouts et contraintes *p9*
3. Précautions de mise en œuvre *p16*
4. Exemples *p23*



## Les toitures végétalisées : rôle et phénomènes en jeu

### Phénomènes en jeu

Les toitures végétales améliorent le **confort intérieur** et dans le cas de bâtiments climatisés, elles réduisent sa consommation de climatisation et donc ses rejets de chaud. Il s'agit là d'un effet indirect sur la surchauffe urbaine.

Les toitures végétales jouent un **rôle d'ombrage de la toiture** et le **substrat isole sensiblement**. Si elles contiennent de l'eau, elles évapotranspirent, ce qui réduit la température et améliore l'efficacité.

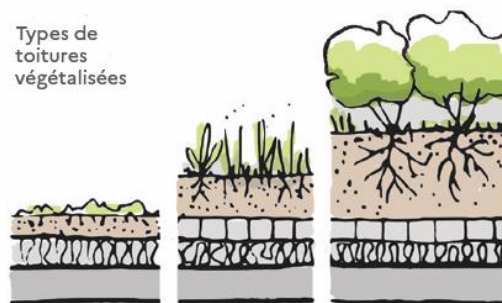
Une toiture végétalisée peut également retenir 50% à 80% des précipitations annuelles sur la surface qu'elle occupe

**L'efficacité** des toitures végétalisées sur le rafraîchissement urbain **dépend de l'échelle à laquelle on se place et du type de toiture mis en œuvre**. Un toit intensément végétalisé a des températures plus faibles qu'une toiture terrasse classique ou qu'une toiture végétalisée extensive, ce qui peut présenter un réel avantage pour les toits ayant vocation à accueillir du public.

### Types de toitures végétalisées

On distingue trois types de toitures végétalisées :

- ✓ Les **toitures végétalisées extensives** ont une épaisseur totale de 8 à 10 cm, elles ne nécessitent pas d'irrigation après la période d'établissement. **Possibles jusqu'à 35° d'inclinaison de pente de toit.**
- ✓ Les **toitures végétalisées semi-intensives** (15 à 30 cm) accueillent de petites plantes herbacées nécessitant un entretien modéré. **Possibles jusqu'à 20° d'inclinaison de pente de toit.**
- ✓ Les toitures **végétalisées intensives** (> 30cm) sont généralement multifonctionnelles et accessibles. Les toits verts intensifs peuvent servir de jardins ouverts au public et certains d'entre eux sont situés au niveau du sol (par exemple, au-dessus d'un parking souterrain). **Possibles jusqu'à 5° d'inclinaison de pente de toit.**





## Les panneaux solaires photovoltaïques & thermiques : rôle et phénomènes en jeu



**Un panneau solaire photovoltaïque** transforme la lumière du soleil en électricité.

**Un panneau solaire thermique** transforme l'énergie solaire en chaleur. On l'utilise pour avoir de l'eau chaude sanitaire et pour certains cas de chauffage domestique.

### Phénomènes en jeu

Les panneaux solaires peuvent être utilisés dans l'espace extérieur (ombrières de parking, insérés dans les revêtements de sol) ou sur les bâtiments (en façade, en toiture ou peuvent être combinés).

En termes de rafraîchissement urbain, **les panneaux solaires sont plus intéressants lorsqu'ils viennent remplacer une surface à faible albédo.** C'est le cas des ombrières qui protègent des surfaces d'asphalte par exemple : les panneaux monteront à des températures similaires à celles atteintes par des surfaces sombres, mais refroidiront beaucoup plus vite.

### Leur rôle aux différentes échelles

#### A l'échelle locale

- ✓ Localement, la journée, l'augmentation de température de l'air peut être élevée du fait de l'échauffement du panneau solaire.
- ✓ Par leur effet d'ombrage, les panneaux en toiture réduisent les besoins de rafraîchissement des bâtiments

#### A l'échelle du quartier et de la ville

- ✓ Dans les études portant sur l'application de PV à l'échelle du quartier ou de la ville, ils se substituent généralement à des surfaces sombres (asphalte, toitures) de sorte qu'ils contribuent à **réduire l'îlot de chaleur urbain**, même faiblement
- ✓ La nuit, les panneaux contribuent à réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain. Cela tient à la faible inertie des panneaux : ils sont chauds en journée mais **rafraîchissent vite la nuit**, contrairement aux surfaces qu'ils remplacent





## Toitures végétalisées

### Rafrâchissement

**++** Etat des connaissances

Bon, nombreuses études

**+** A l'échelle de la ville

La contribution de toiture végétalisée est faible à l'échelle de la ville

**+** A l'échelle du piéton

En cas de toiture accessible, l'effet de rafraîchissement est très faible pour le piéton

### Autres bénéfices

**+** Biodiversité

Potentiel de développement de la biodiversité fort si étage élevé (oiseaux, diffusion des pollens), plus faible si étage bas.

**++** Gestion de l'eau pluviale

Potentiel de tamponnage en toiture intéressant, possibilité aussi de stockage pour l'arrosage

**+** Séquestration carbone

Captation faible du fait de l'absence de pleine-terre

**++** Qualité urbaine et paysagère

Qualité des vues du végétal, traitement de la 5e façade en cas de visibilité de la toiture

**+** Usages et socialité

Support d'usage de jardin pour les toitures intensives

**+** Santé

Bénéfices en santé mentale, pouvoir allergène.

**+++** Confort

Amélioration de l'ambiance acoustique par amortissement des bruits, confort visuel en cas de visibilité de la toiture

## Panneaux solaires

### Rafrâchissement

**+** Etat des connaissances

Faible, très peu d'études

Très faible pour les panneaux thermiques

**+** A l'échelle de la ville

Réduction faible de l'ICU

**A l'échelle du piéton**

Echauffement très localisé, crée de l'ombre en structure d'ombrage

### Autres bénéfices

**Biodiversité**

Impact nul sauf si végétal intégré sous le panneau

**Gestion de l'eau pluviale**

Impact nul

**Séquestration carbone**

Impact nul

**+** Qualité urbaine et paysagère

L'impact paysager peut être positif ou négatif selon les perceptions. Le travail d'intégration de ces panneaux peut être vecteur d'identité architecturale

**Usages et socialité**

Peut-être utilisé en ombrière, abris

**Santé**

Pas d'impact sauf en ombrière : protection des UV nocifs pour la santé

**Confort**

Dépend de l'application



### Toitures végétalisées

#### Impacts

##### ⊖ Empreinte carbone

Extensif : équivalent à une toiture terrasse  
Intensif : assez élevée, du fait du renforcement de structure et du système nécessaire.

##### + Consommation énergétique

Réduction des besoins de rafraîchissement (effet indirect)

##### ⊖ Consommation d'eau potable

Extensif, pas besoin d'arrosage et intensif besoin important (possibilité d'intégrer une récupération de l'eau)

##### ⊖⊖ Ressources

Renforcement de structure

##### ⊖⊖ Coût global

Coût d'investissement : systèmes extensifs 60€/m<sup>2</sup>, systèmes intensifs : 100 à 200€/m<sup>2</sup>  
Coût d'exploitation : dans le cas de systèmes intensifs nécessité de l'entretien comparable à la pelouse ou au parc. La réintervention sur l'étanchéité nécessite une dépose du substrat végétalisé.

### Panneaux solaires

#### Impacts

##### ++ Empreinte carbone

Le bilan carbone d'une installation photovoltaïque est intéressante : 55geqCO<sub>2</sub>/kWh (6geqCO<sub>2</sub>/kWh pour le nucléaire, 443geqCO<sub>2</sub>/kWh pour le gaz naturel, 1058geqCO<sub>2</sub>/kWh pour le charbon)

##### +++ Consommation énergétique

Les panneaux solaires produisent de l'énergie : de l'eau chaude pour les panneaux thermiques et de l'électricité pour les photovoltaïques

##### Consommation d'eau potable

Nulle

##### ⊖⊖ Ressources

Impact sur les ressources : silicium  
Fin de vie nécessite un recyclage (DEEE)

##### +++ Coût global

Coût d'investissement : 200 à 1000€/m<sup>2</sup> selon la dimension de l'installation  
Coût d'exploitation : revente d'énergie



1. Toitures végétalisées et panneaux solaires : phénomènes en jeu, rôle et impact *p4*
2. **Les toitures biosolaires : enjeux, atouts et contraintes** *p9*
3. Précautions de mise en œuvre *p16*
4. Exemples *p23*



## Principaux projets de recherche en cours

Le projet **PROOF** (Photovoltaic and green ROOF) s'intéresse, entre 2019 et 2024, à l'étude d'un combiné associant toiture végétalisée extensive extensive (TVE) et un panneau photovoltaïque (PPV).

**L'objectif est de mesurer en conditions réelles puis de modéliser des performances climatiques et énergétiques de cette combinaison.**

***Porteurs de projet :** consortium composé du Cerema (Est et IdF), du Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Théorique et Appliquée (LEMTA), du Laboratoire Matériaux optiques, photonique et systèmes (LMOPS), du Laboratoire Sols et Environnement (LSE), du Centre Scientifique et technique du Bâtiment (CSTB) et de Efficacity. Il bénéficiera aussi de l'appui de l'Institut National de l'Énergie Solaire (INES)*



© CEREMA, Laboratoire de Nancy



© CDC Biodiversité, projet « Un toit vert et solaire », Parc Orly-Rungis

Le projet **Un Toit Vert et Solaire**, installé en 2014, vise à **évaluer les services rendus par une toiture végétalisée multi-fonctionnelle**, qui associe la production d'énergie renouvelable grâce à des panneaux solaires, et vise à lutter contre les îlots de chaleur urbains, réduire le ruissellement des eaux de pluie, et préserver la biodiversité

***Porteurs de projet :** CDC biodiversité, en partenariat avec ICADÉ, Vertige, l'Institut d'Ecologie et des sciences de l'environnement de Paris, Solstyce*

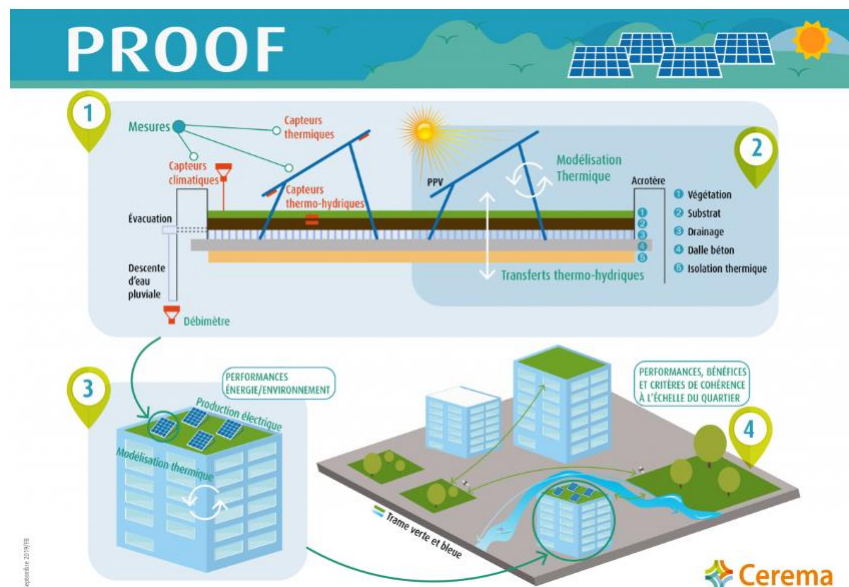


## Principaux projets de recherche en cours : ZOOM SUR LE PROJET PROOF

Le projet ANR 2019 PROOF (Photovoltaic and Green Roof) labellisé par l'Agence Nationale de la Recherche est consacré à un système combinant toitures végétalisées extensives (TVE) et panneaux photovoltaïques.

Il fonde sa démarche scientifique sur 4 hypothèses :

- ✓ L'énergie solaire incidente en période estivale dissipée par une toiture végétalisée sous forme de flux de chaleur latente principalement, crée une **diminution de la température d'air** localisée et fournit les conditions favorables à l'augmentation du rendement électrique d'un panneau photovoltaïque
- ✓ Une toiture végétalisée extensive avec une structure pouvant stocker les eaux pluviales, favorise les flux d'**évapotranspiration** et peut, dès lors encore améliorer le rendement du panneau
- ✓ A l'échelle du bâtiment, nous supposons que le **bilan énergétique global** (production / consommation énergétique à l'usage + énergie grise) est plus avantageux pour un système combiné que pour une toiture terrasse nue ou végétalisée standard
- ✓ Par rapport à une configuration classique de toiture, un système combiné rend des **services écosystémiques supplémentaires**, évaluable et valorisable à l'échelle du quartier



### Les 1ers résultats

- Le rafraîchissement sera sans doute assez faible : au mieux 8%, au moins 1,3%
- Sur la biodiversité seule (faune et flore), les premiers résultats sont très significatifs : la diversité floristique est très différente avec une t°C de surface sous le PV plus faible. La pousse y est plus forte (facteur x2). pas les mêmes végétaux (sedums moins développés mais développement des graminées),...



## Les avantages d'une combinaison entre végétalisation et panneaux solaires

Les toitures biosolaires génèrent des effets synergiques issus de la combinaison entre panneaux solaires et végétation :

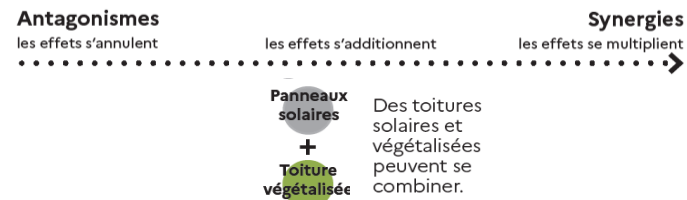
### >> Permet de combiner les effets positifs des deux systèmes

- ✓ D'un côté, on traite des aspects énergétiques : on valorise une source d'énergie renouvelable et on limite ainsi les consommations énergétiques fossiles et l'émission de gaz à effet de serre.
- ✓ D'un autre côté, on traite des aspects liés à la biodiversité, à la gestion de l'eau de pluie et à l'amélioration du micro-climat urbain (surchauffes, qualité de l'air, acoustique...).

### >> La toiture végétalisée aura un effet bénéfique sur le vieillissement du complexe d'étanchéité

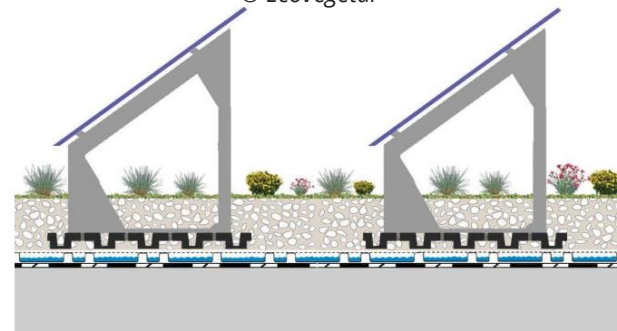
- ✓ Elle protège les membranes du rayonnement solaire (*UV et infrarouge*), de la grêle, des changements brusques de température (*exemple d'un orage estival après une journée chaude*), des plantations parasites (*la toiture verte est munie d'une membrane anti-racine*), des détériorations dues aux animaux (*oiseaux, souris...*)...
- ✓ La fixation des supports des panneaux crée des points de faiblesse et donc des risques de déchirement des membranes d'étanchéité et d'infiltration. Si le lestage est réalisé par le substrat ce dernier agit comme un ballast. Le risque de dégradation des membranes d'étanchéité est réduit à court, moyen et long terme.

**Attention : le poids de ballast ne suffit pas aux tapis de sedum minces et au substrat peu profond (d'environ 2-4 cm).**



### Lestage des panneaux solaires sans perforation

© Ecovégétal





## Les avantages d'une combinaison entre végétalisation et panneaux solaires

Les toitures biosolaires génèrent des effets synergiques issus de la combinaison entre panneaux solaires et végétation :

### >> Amélioration des rendements de production d'énergie

- ✓ En période estivale, un panneau solaire subissant une température supérieure à 25°C perd jusqu'à 0,5 % de rendement par degré supplémentaire (source EDF EnR, [www.edfenr.com](http://www.edfenr.com)).  
L'évapotranspiration des plantes refroidit la sous-face des panneaux, évitant ainsi des surchauffes qui peuvent atteindre les 60 °C et la perte de rendement qui en résulte (jusqu'à 8% d'augmentation de production en période estivale).\*
- ✓ Le végétal capture les poussières et particules, qui finissent donc moins sur les panneaux solaires.

### >> Soutien de la biodiversité urbaine

- ✓ L'installation de panneaux solaires crée des zones ombragées et des taux d'humidité différents, favorables à la diversité végétale et à la faune.

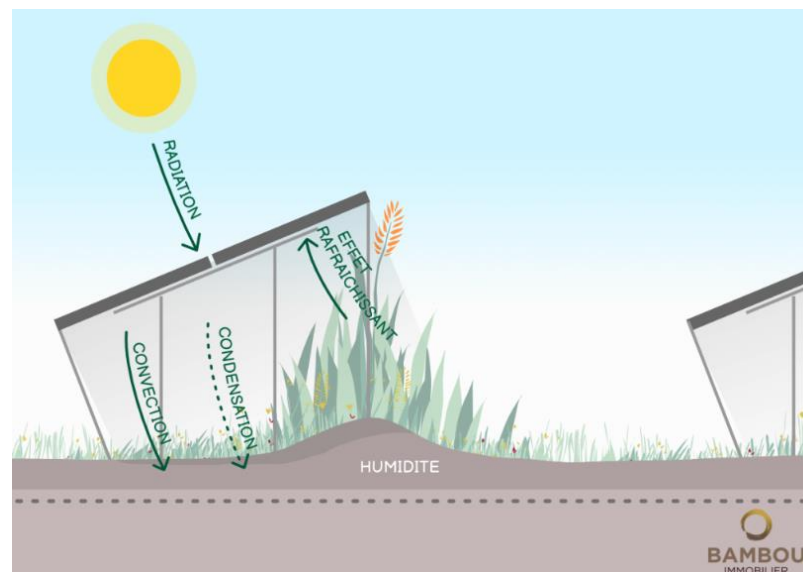


Schéma d'une synergie entre panneaux solaires et végétalisation

\* SOURCE : « Biosolaire - La production d'énergie dopée par la nature » - Le Moniteur, 8 juillet 2022



## Les freins à la mise en place d'une toiture biosolaire

### ✓ Le coût financier

Le bilan économique et énergétique est meilleur sur un toit uniquement solaire, et ce même si on perd du rendement en pleine canicule :

- Densité de panneaux solaires pouvant être plus importante
- Surdimensionnement moins important de la structure du bâtiment
- Pas de frais liés à la pose d'un substrat et d'une végétalisation



***MAIS... un meilleur bilan environnemental d'un toit biosolaire et un meilleur confort des habitants (bien-vivre et bien-être)***

### ✓ Un entretien plus régulier de la végétation à prévoir

Une toiture végétale « classique » (toiture verte extensive) ne nécessite qu'un seul entretien par an. Celui-ci consiste à retirer les végétaux non souhaités, replanter éventuellement quelques végétaux aux endroits vides. Un entretien plus régulier devra être réalisé dans le cas d'une toiture biosolaire (arrachage des plantes hautes qui réduisent le rendement énergétique en créant de l'ombre). Il faudra prévoir un entretien plus fréquent si la toiture végétale est de type semi-intensive ou intensive, mais il ne sera néanmoins pas supérieur à celui d'un espace vert au sol.



***MAIS... des mesures adaptées permettent d'influencer fortement les interventions nécessaires, comme le choix de la composition et de la quantité de substrat, mais également la hauteur du bord inférieur des modules à partir de la surface du substrat.***



## Exemples de coûts de mise en œuvre d'une toiture biosolaire

	Système lesté par le substrat	Système lesté par plot béton
<b>Mise en œuvre technique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Support béton</li> <li>- Pente 0 à 5%</li> <li>- Orientation des panneaux à 15° SUD ou EST-OUEST</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Support béton / bac acier &gt; 3%/ bois pente &gt; 3%</li> <li>- Orientation des panneaux à 10° à 15° SUD ou EST-OUEST</li> <li>- Pente mini 1%, pente maxi 5%</li> </ul>
<b>Végétalisation et substrat</b>	Epaisseur de substrat de 30cm maxi tassé.	Epaisseur de substrat de 6cm mini tassé
<b>Estimatif de prix</b>	<p><b>Fourniture et pose des supports = environ 210 € TTC / panneaux</b></p> <p><b>Fourniture et pose de la végétalisation (système de drainage + substrat de 20cm tassé + végétation type semis Prairie Fleurie) = 120-130 € TTC / m<sup>2</sup> (hors levage)</b></p>	<p><b>Fourniture et pose des supports = environ 180€ TTC / panneaux</b></p> <p><b>Fourniture et pose de la végétalisation (système de drainage + substrat de 6cm tassé + végétation sedum) = 45€ TTC / m<sup>2</sup> (hors levage)</b></p>

### Les éléments pouvant impacter sur le coût sont :

- **l'épaisseur de substrat,**
- **la réalisation de l'étude aux vents** qui détermine le poids de lestage nécessaire en fonction de la configuration du projet : localisation géographique, hauteur de bâtiment, hauteur de l'acrotère, emplacement des panneaux solaires etc. (prévoir notamment les panneaux à minimum 2.50m de l'acrotère de sorte à ne pas avoir un poids de lestage trop important à prévoir vis-à-vis des effets du vent.



1. Toitures végétalisées et panneaux solaires : phénomènes en jeu, rôle et impact *p4*
2. Les toitures biosolaires : enjeux, atouts et contraintes *p9*
- 3. Précautions de mise en œuvre** *p16*
4. Exemples *p23*



## Précaution : LE DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE PORTANTE DE LA TOITURE

### Les surcharges conséquentes des dispositifs imposent un surdimensionnement de la structure du bâtiment

Une toiture solaire doit cumuler la surcharge :

- liée à l'installation de panneaux solaires > de 115 à 125 kg / m<sup>2</sup>
- liée à la pose d'un substrat > de 135 à 525 kg / m<sup>2</sup>



L'intégration des panneaux solaires sur une toiture végétalisée permet de limiter le lestage supplémentaire des panneaux puisque celui-ci peut être réalisé par le **substrat** (pour une toiture végétale extensive d'au moins 20cm d'épaisseur).

La surcharge par rapport à la toiture végétale seule ne provient alors que du poids propre du panneau (15 à 25kg), du cadre d'accroche et de la pression des vents.



## Précaution : LE DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE PORTANTE DE LA TOITURE

### Les surcharges conséquentes des dispositifs imposent un surdimensionnement de la structure du bâtiment

Les panneaux solaires exercent différents efforts sur la structure de la toiture.

Il est nécessaire de prendre en compte :

- Le poids propre des panneaux, qui est généralement peu significatif ;
- Le lestage des panneaux ;
- La pression du vent qui peut représenter, quant à elle, une certaine charge supplémentaire : fonction de la hauteur du bâtiment et des caractéristiques du site.

SURCHARGES	Panneaux photovoltaïques	Capteurs thermiques
<b>Panneaux</b>	• +/-15kg/m <sup>2</sup>	• +/-25kg/m <sup>2</sup>
<b>Lestage</b>	• +/-100kg/m <sup>2</sup>	• +/-100kg/m <sup>2</sup>
<b>Vent</b>	• Dépend de la hauteur du bâtiment, de la surface de toiture, de la surface de panneaux et de la vitesse du vent	• Dépend de la hauteur du bâtiment, de la surface de toiture, de la surface de panneaux et de la vitesse du vent
<b>SURCHARGE SUPPLEMENTAIRE MINIMALE</b>	• +/-115 kg/m <sup>2</sup>	• +/-125kg/m <sup>2</sup>

#### *Surcharges induites par la mise en place de panneaux solaires*

© Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement - MATRIciel

# LIVRET PÉDAGOGIQUE SUR LES TOITURES BIOSOLAIRES



## Précaution : LE DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE PORTANTE DE LA TOITURE

### Les surcharges conséquentes des dispositifs imposent un surdimensionnement de la structure du bâtiment

La surcharge induite par la végétalisation sera essentiellement dépendante :

- Du type de substrat et de l'épaisseur de substrat mis en œuvre ;
- Des capacités de rétention en eaux de pluies ;
- Des contraintes climatiques, comme la neige, qui induiront des surcharges (*norme NF EN 1991-1-3*).

#### Surcharges induites par la mise en place de végétalisation en toiture

© Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement - MATRIciel

TYPES DE TOITURES VERTES	Surcharges par temps pluvieux	Surcharges en cas de neige
<b>Toitures vertes extensives :</b> 2-4cm de substrat pour des plantations de type mousses / sedums	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si substrat allégé (roches volcaniques, billes de terre cuite...): <b>+/-60kg/m<sup>2</sup></b></li> <li>• Si l'on met en œuvre de la terre arable, une surcharge de +/-50% doit être considérée soit <b>90 à 100kg/m<sup>2</sup></b></li> <li>• (poids à saturation)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• +/-125kg/m<sup>2</sup></li> <li>• Soit une surcharge de <b>75kg/m<sup>2</sup></b> par rapport à une toiture 'nue'</li> </ul>
SURCHARGE SUPPLEMENTAIRE	• +/-135 à 175kg/m <sup>2</sup>	
<b>Toitures vertes extensives :</b> 4-6cm de substrat pour des plantations de type sedums / mousses (complexe < 10cm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si substrat allégé (roches volcaniques, billes de terre cuite...): <b>+/-90kg/m<sup>2</sup></b></li> <li>• Si l'on met en œuvre de la terre arable, une surcharge de +/-50% doit être considérée soit <b>135kg/m<sup>2</sup></b></li> <li>• (poids à saturation)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• +/-125kg/m<sup>2</sup></li> <li>• Soit une surcharge de <b>75kg/m<sup>2</sup></b> par rapport à une toiture 'nue'</li> </ul>
SURCHARGE SUPPLEMENTAIRE	• +/-165 à 210kg/m <sup>2</sup>	

<b>Toitures vertes extensives :</b> 6-10cm de substrat pour des plantations de type sedums / épices (complexe < 15cm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si substrat allégé (roches volcaniques, billes de terre cuite...): <b>+/-120kg/m<sup>2</sup></b></li> <li>• Si l'on met en œuvre de la terre arable, une surcharge de +/-50% doit être considérée soit <b>180kg/m<sup>2</sup></b></li> <li>• (poids à saturation)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• +/-125kg/m<sup>2</sup></li> <li>• Soit une surcharge de <b>75kg/m<sup>2</sup></b> par rapport à une toiture 'nue'</li> </ul>
SURCHARGE SUPPLEMENTAIRE	• <b>+/-195 à 355kg/m<sup>2</sup></b>	
<b>Toitures vertes semi-intensives :</b> Au-delà de 10cm de substrat pour des plantations de type graminées (complexe > 15cm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si substrat allégé (roches volcaniques, billes de terre cuite...): <b>&gt;200kg/m<sup>2</sup></b></li> <li>• Si l'on met en œuvre de la terre arable, une surcharge de +/-50% doit être considérée soit <b>&gt;300kg/m<sup>2</sup></b></li> <li>• (poids à saturation)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• +/-125kg/m<sup>2</sup></li> <li>• Soit une surcharge de <b>75kg/m<sup>2</sup></b> par rapport à une toiture 'nue'</li> </ul>
SURCHARGE SUPPLEMENTAIRE	• <b>+/-195 à 375kg/m<sup>2</sup></b>	
<b>Toitures vertes intensives :</b> Au-delà de 20cm de substrat pour des plantations de type graminées → arbustes (complexe > 25cm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si substrat allégé (roches volcaniques, billes de terre cuite...): <b>&gt;300kg/m<sup>2</sup></b></li> <li>• Si l'on met en œuvre de la terre arable, une surcharge de +/-50% doit être considérée soit <b>&gt;450kg/m<sup>2</sup></b></li> <li>• (poids à saturation)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• +/-125kg/m<sup>2</sup></li> <li>• Soit une surcharge de <b>75kg/m<sup>2</sup></b> par rapport à une toiture 'nue'</li> </ul>
SURCHARGE SUPPLEMENTAIRE	• <b>+/-375 à 525kg/m<sup>2</sup></b>	



## Précaution : LE DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE PORTANTE DE LA TOITURE

### Et en cas de bâtiments existants ?

#### Les surcharges sont-elles acceptables en rénovation ? Privilégiera-t-on plutôt les panneaux solaires que les toitures vertes ?

En général, **vu le faible poids de certaines toitures vertes extensives, celles-ci pourront être implantées sur la majorité des toitures** à partir du moment où l'on choisi un substrat allégé sur une faible épaisseur.

**Pour la pose de toitures biosolaires avec végétalisation semi-extensives ou intensives,** un arbitrage devra souvent être réalisé entre la pose de toitures vertes extensives et la pose de panneaux solaires en fonction de la surcharge maximale admissible de la toiture existante

### EXEMPLE

Construites entre 2010 et 2011, **les Halles Sud de Beaulieu à Lausanne en Suisse** accueillent depuis avril 2014, une alliance entre végétation et production solaire. Un toit vert extensif couplé avec des panneaux solaires a été mis en place avec une plantation mixte de mini-mottes et semences. Il n'y a aucun apport d'irrigation excepté la pluie.

*Vidéo de la toiture présentée par les porteurs du projet :*

<https://www.youtube.com/watch?v=u9sNPph3IkY&t=239s>



Photos d'Aino Adriens



## Précaution : CRÉER UN TERREAU PROPRICE A LA VEGETATION

### Créer un environnement propice à la végétation

La végétation doit être adaptée pour ne pas gêner les installations (*ne pas faire de l'ombre sur les panneaux*) et être capable de pousser dans ces conditions particulières (*chaleur, alternances de zones d'ombre et de soleil*).

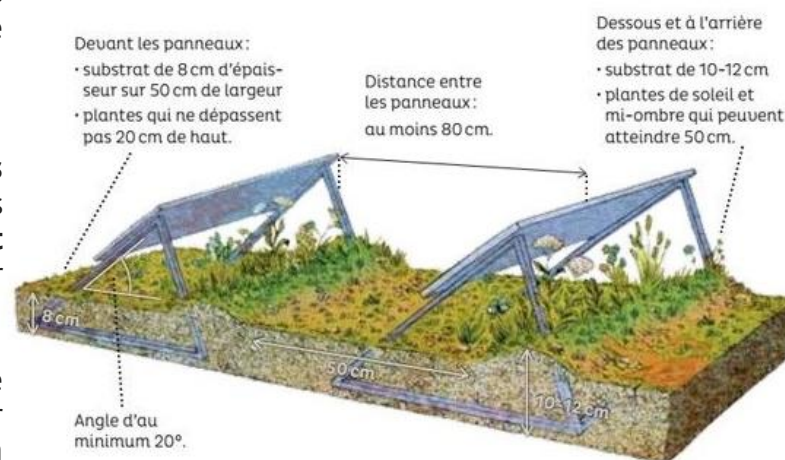
L'idéal est de réaliser **une implantation différenciée des plantes en fonction de la variation d'exposition** (plantes adaptées à un ombrage quasi permanent sous les panneaux) **et en fonction de la proximité des panneaux solaires** pour éviter les ombrages.

Le choix des plantes est essentiel pour éviter que la hauteur de pousse ne génère des ombres sur les panneaux mais aussi pour qu'elle se maintienne durablement. Il doit être fait en fonction du climat et favoriser les espèces locales.

Installés sur l'arrière, les végétaux peuvent atteindre jusqu'à 50 cm, de quoi voir plus loin que les habituels sedums.

Ce type de solution fonctionne pleinement avec une toiture végétalisée semi-intensive, dont l'épaisseur de substrat atteint a minima les 20 cm.

**Les panneaux solaires doivent être légèrement surélevés, inclinés et disposés en bandes espacées, de 50 à 100cm (80 cm idéalement) pour éviter les masques solaires complets.**



**Exemple de préconisations de mise en œuvre du substrat et de végétale pour les toitures biosolaires**

© SPADOM



## Précaution : QUE VEGETATION RIME AVEC BIODIVERSITE

### La biodiversité nécessite quelques impératifs

Le toit biosolaire est une rupture avec la tradition de type monoculture des sedums pour développer la biodiversité en réunissant végétaux et production d'énergie.

Le développement d'une biodiversité nécessite la mise en place d'un substrat d'une épaisseur suffisante et d'essences végétales variée et adaptées au climat local.

Plus le paysage de la toiture est varié plus elle accueillera de la biodiversité parce qu'y sont créés des habitats variés pour des espèces végétales et animales différentes.

Pour favoriser la biodiversité, il est intéressant d'inclure au dispositif des structures écologiques comme des tas de bois, des buches, des tas de pierre, voire même des mares temporaires.



**Toit biosolaire valorisant la biodiversité à Zürich (The Biosolar Roof Project)** © Jonatan Maimbert

La toiture présentée par les porteurs du projet (vidéo en anglais):  
<https://www.youtube.com/watch?v=67yrwP55MO8&t=159s>



**Une toiture installée sur la Standard Chartered Bank à Londres en 2015 :** végétalisée avec semences et mini-mottes de plantes sauvages (un mélange d'espèces développé par livingroofs.org) et du substrat standard. ©Dusty Gedge



1. Toitures végétalisées et panneaux solaires : phénomènes en jeu, rôle et impact *p4*
2. Les toitures biosolaires : enjeux, atouts et contraintes *p9*
3. Précautions de mise en œuvre *p16*
4. **Exemples** *p23*

# LIVRET PÉDAGOGIQUE SUR LES TOITURES BIOSOLAIRES



## Exemples en France : LOGEMENT

### Les Villards - La Biolle

- OPAC Savoie, 2015
- 54 logements : 28 collectifs et 26 individuels
- 1400 m<sup>2</sup> de bacs précultivés
  - *Dispositif en juxtaposition*



### Maison individuelle à Pujaudran (32)

- Panneaux photovoltaïques sur une toiture végétalisée.
- 10 panneaux de 300W
- *Dispositif en juxtaposition*



## Exemples sur la Métropole : LOGEMENT



### Appart'hôtel Le Saint Germain - Grenoble

- Tempologis, conception Arcane Architectes, 2016
- 31 logements en résidence hôtelière
- Panneaux solaires avec toiture végétalisée intensive
- *Dispositif en juxtaposition*

### Central Park, Grenoble

- Conception Amplitude Architectes, 2012
- Panneaux solaires avec toiture végétalisée extensive
- *Dispositif en juxtaposition*



### L'Arboréale, Gières

- COGEDIM, conception Arche 5 architectes, 2014
- 138 logements dans un éco quartier avec certification BBC Efinergie et NF Logements
- *Dispositif en juxtaposition*



## Exemples en France : ECONOMIE & EQUIPEMENTS



### Réalisation Bio-solaire à Pessac (33) :

- "La Fabrik ", atelier de papiers peints : rénovation d'un bâtiment industriel en 2020 par l'entreprise Vertige
- 1500m<sup>2</sup> de toiture végétalisée sous forme de plateaux bio-plastiques
- 84 panneaux photo-voltaiques (Réalisation ICEnergie)
- *Dispositif en superposition*



### Leroy Merlin

- Leroy Merlin Vénissieux,
- 8000 m<sup>2</sup> de végétalisation
- *Dispositif en juxtaposition*



### Lycée des Eaux Claires, Grenoble

- Architecte R2k
- 2014
- *Dispositif en juxtaposition*



## Exemples en France : STATIONNEMENT



© Philippe Holstein. SNCF Gares&Connexions

### **Gare nouvelle de Nîmes - Pont-du-Gard**

- SNCF, 2021
- Installation d'ombrières photovoltaïques sur le parking
- 8.000 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques pour recouvrir 550 places de stationnement
- Hauteur de la végétation allée piétonne (essences pérennes/ pins parasols) comprise entre 10 et 15m & hauteur de la végétation des bosquets (essences caduques/chênes verts) comprise entre 5 et 10m

## LIENS ET CONTACTS

---



### > Recherches et expérimentation de toitures biosolaires

- Le projet PROOF, France, <https://efficacity.com/focus-sur-le-projet-proof-photovoltaic-and-green-roof/>
- Le projet Un Toit Vert et Solaire, Rungis, France [www.montoitvert.fr/projet-dessus-dessous](http://www.montoitvert.fr/projet-dessus-dessous)
- The Biosolar Roof Project, Zürich Suisse, [www.youtube.com/watch?v=67yrwP55MO8&t=159s](http://www.youtube.com/watch?v=67yrwP55MO8&t=159s)
- Livingroofs, Les toitures biosolaires au Royaume-Uni, <https://livingroofs.org/>

### > Documentation

- Biosolar Roof 2015, Cours de toit Biosolaire, <http://www.init-environnement.com/ressources/pdf/Cours-BiosolarRoof-Init-Environnement2015>
- IBGE, Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement - MATRIciel, Analyse « La compatibilité entre les panneaux solaires et la conception des toitures vertes » : [https://document.environnement.brussels/opac\\_css/electfile/IF\\_RT\\_BATEX\\_Fiche4.2\\_Toitures\\_FR.pdf](https://document.environnement.brussels/opac_css/electfile/IF_RT_BATEX_Fiche4.2_Toitures_FR.pdf)
- Végétalisation des toitures : Biodiverse et biosolaire, P, Peiger et N, Baumann, 2018, <https://docplayer.fr/79834438-Vegetalisation-des-toitures-biodiverse-et-biosolaire-philippe-peiger-et-nathalie-baumann-philippe-peiger-nathalie-baumann.html>
- Ville de Lausanne, Guide des toitures végétalisées : <https://issuu.com/villedelausanne/docs/toitures-vegetalisees>

### > Architectes locaux ayant mis en œuvre des toitures biosolaires

- Arcane, [www.arcane-archi.fr](http://www.arcane-archi.fr)
- R2k, [www.r2k-architecte.com](http://www.r2k-architecte.com)
- Arche 5, [www.arche5.com](http://www.arche5.com)

### > Entreprise spécialisée dans la mise en œuvre de toitures biosolaires

- Ecovégétal (système héliovert) : [www.ecovegetal.com](http://www.ecovegetal.com)