



Toitures végétalisées et installations photovoltaïques



Dans le cadre de la transition énergétique et de la mise en œuvre de la Stratégie énergétique 2050 de la Confédération, la production d'électricité à l'aide du photovoltaïque gagne une importance croissante. Actuellement, les cantons transposent les «Modèles de prescriptions énergétiques des cantons» dans la Loi cantonale sur l'énergie respectives. Lors du remplacement de l'installation de production de chaleur d'un bâtiment d'habitation existant, la plupart des cantons exigent que la part d'énergies non renouvelables n'excède pas 90% des besoins globaux. Par conséquent, un plus grand nombre d'installations photovoltaïques ou solaires thermiques doit être installé sur les toits. Cela permet de produire une énergie plus propre et de réduire les émissions de CO₂ considérables. Cette brochure s'adresse aux projeteurs et exécutants ainsi qu'aux maîtres d'ouvrage intéressés et vise à leur montrer comment planifier et réaliser correctement des installations solaires et des toitures végétalisées. De plus, elle contient des renvois précieux vers d'autres publications et sites Internet. Enfin, cette brochure présente des solutions adéquates tirées de la pratique qui ont pour but d'inspirer le public cible à combiner les installations photovoltaïques avec les toitures végétalisées afin de créer de remarquables bâtiments à toit plat écologiques accueillant une biodiversité riche.

Les installations photovoltaïques transforment les rayonnements solaires en eau chaude ou en électricité pour répondre aux besoins au sein du bâtiment d'habitation. Les toitures végétalisées stockent les eaux de pluie dans leur structure en couches et contribuent ainsi à décongestionner les conduites d'eaux usées et les bassins d'épuration (rétention de l'eau). Parallèlement, elles permettent de restaurer une partie de la nature sur le terrain bâti et d'accueillir de la biodiversité. En été, les toitures végétalisées participent à rafraîchir l'air ambiant du logement, la protection contre la chaleur étant considérablement améliorée du fait de la structure en couches plus importante.

La toiture végétalisée solaire présente ainsi six avantages:

1. Protection contre la chaleur estivale
2. Biodiversité
3. Décongestion des conduites d'eaux usées et des bassins d'épuration
4. Amélioration du rendement électrique en raison de l'effet de refroidissement
5. Protection du climat du fait de la réduction des émissions de CO₂ par le rendement solaire
6. Protection du climat grâce à la fixation du CO₂ par la toiture végétalisée



Figure 1: Installation PV combinée avec une végétalisation extensive, source: Contec

1	Étude de projet	6
1.1	<i>Normes, prescriptions, ordonnance sur les constructions/travaux de construction, sécurité au travail</i>	6
1.1.1	Normes, prescriptions, ordonnances sur les constructions	6
1.1.2	Phase d'étude de projet	6
1.1.3	Procédure de demande de permis de construire ou d'annonce	6
1.1.4	Protection contre les incendies	6
1.1.5	Protection contre la foudre	6
1.1.6	Prescriptions d'installation	6
1.1.7	Sécurité au travail	6
1.2	<i>Conditions relatives aux toitures végétalisées avec des installations solaires</i>	7
1.2.1	Nouvelles constructions	7
1.2.2	Constructions existantes	8
1.2.3	Exigences techniques relatives aux installations solaires	9
2	Réalisation	10
2.1	<i>Solutions techniques</i>	10
2.1.1	Structure en couches	10
2.1.2	Types de cadres de montage	10
2.1.3	Solutions spécifiques, modules bifaciaux	10
2.1.4	Passage des câbles	11
2.2	<i>Végétalisation extensive de la toiture</i>	12
2.3	<i>Exemples</i>	13
2.3.1	Végétalisation extensive, structure en couches avec une épaisseur minimale de substrat, orientation au sud	13
2.3.2	Végétalisation extensive, structure en couches modelée, orientation au sud	14
2.3.3	Végétalisation extensive, structure en couches avec une épaisseur minimale de substrat, orientation à l'est/ouest	15
2.3.4	Végétalisation extensive, structure en couches modelée, orientation à l'est/ouest	16
2.3.5	Végétalisation extensive, structure en couches avec une épaisseur minimale de substrat, orientation à l'est/ouest	17
2.3.6	Végétalisation extensive, structure en couches modelée, orientation à l'est/ouest	18
2.3.7	Végétalisation extensive, structure en couches avec une épaisseur minimale de substrat, cadre de montage vertical	19
2.3.8	Végétalisation extensive, structure en couches modelée, cadre de montage vertical	20
2.4	<i>Installations photovoltaïques avec une végétalisation intensive de la toiture</i>	21
3	Entretien/exploitation	21
3.1	<i>Concept d'entretien des installations solaires et de la toiture végétalisée</i>	22
	<i>Conclusion</i>	23

1. Étude de projet

1.1 Normes, prescriptions, ordonnance sur les constructions/travaux de construction, sécurité au travail

1.1.1 Normes, prescriptions, ordonnances sur les constructions

Des normes, des prescriptions et des ordonnances différentes s'appliquent pour le montage d'installations PV en fonction de la phase de construction (étude de projet, réalisation, réception).

Pour approfondir le sujet:

– Dépliant n° 6: recueil des réglementations applicables de Swissolar

1.1.2 Phase d'étude de projet

Avant de monter une installation solaire, les différents composants de l'installation ainsi que la structure du toit doivent faire l'objet d'une planification. Dans ce contexte, il convient de respecter les normes requises ou de faire appel à un projeteur spécialisé.

1.1.3 Procédure de demande de permis de construire ou d'annonce

Les prescriptions locales et cantonales doivent être respectées. Actuellement, il est en règle générale possible de monter des installations solaires en ayant recours à une simple procédure d'annonce au lieu de demander un permis de construire.

1.1.4 Protection contre les incendies

Le guide de protection incendie «Capteurs et panneaux solaires» de l'Association des établissements cantonaux d'assurance incendie (AEAI) offre un aperçu de tous les aspects relatifs à la protection contre les incendies en lien avec le montage d'installations solaires. Les prescriptions cantonales doivent être respectées.

1.1.5 Protection contre la foudre

Par principe, les prescriptions cantonales doivent être respectées. L'Association des établissements cantonaux d'assurance incendie (AEAI) régit le domaine d'application des systèmes de protection contre la foudre.

1.1.6 Prescriptions d'installation

La norme générale sur les installations à basse tension s'applique (NIN SN 411000:2020). L'installation électrique d'une installation PV nécessite une autorisation générale ou limitée d'installer conformément à l'art. 7, art. 9 ou art. 14 de l'OIBT.

1.1.7 Sécurité au travail

Les installations solaires/photovoltaïques montées sur des toits plats végétalisés requièrent un concept relatif à la sécurité d'entretien et de maintenance. Ce dernier comprend une planification générale des dispositifs de protection contre les chutes, de la végétalisation du toit et de installations solaires et garantit ainsi un travail efficace et une exploitation sans panne. Dans le cadre de la planification, la protection individuelle est toujours prioritaire. Le respect des prescriptions de la norme SIA 271, ch. 2.1.3.2 doit garantir à tout moment un entretien sans danger du toit plat, de toutes les installations (solaires, ventilation, etc.) et des surfaces végétalisées. Les dispositifs de protection contre les chutes doivent impérativement faire l'objet d'une planification et réalisation conformes aux prescriptions en vigueur et aux indications du fabricant et les documents nécessaires à ce sujet doivent être établis.

Pour approfondir le sujet:

– Fiche technique «La sécurité contre les chutes sur les toits plats» d'Enveloppe des édifices Suisse

– Feuillet d'information SUVA 44095.F, Énergie solaire: intervenir en toute sécurité sur les toits



Figure 2: Indications du fabricant d'un dispositif de protection contre les chutes, source: Contec

1. Étude de projet

1.2 Conditions relatives aux toitures végétalisées avec des installations solaires

1.2.1 Nouvelles constructions

1.2.1.1 Statique

- Établir une convention d'utilisation selon la norme SIA 260.
- Déterminer les contraintes localisées dues à la neige ou au vent en tenant compte des normes SIA 260 et 261. Intégrer également les expériences et connaissances locales de longue date lorsque cela est possible ou que de telles expériences et connaissances sont disponibles.
- Déterminer le lestage du système (contre les contraintes dues au vent) dès lors qu'il n'est pas autorisé/possible de réaliser des fixations mécaniques sur la structure porteuse.
- Le lestage de l'installation photovoltaïque (profils de sous-construction et modules PV) dépend du système choisi. Les indications du fabricant doivent être respectées.
- Les poids de lestage nécessaires dépendent cependant fortement de la situation géographique et du degré d'exposition, de la hauteur du bâtiment, de l'angle du cadre de montage du module, de la hauteur de ce dernier ainsi que de la distance entre l'installation solaire et le bord de la toiture. Les logiciels de calcul à cet effet offrent une aide précieuse.
- Les poids et le lestage obtenus par calcul doivent être communiqués à l'ingénieur en statique responsable de l'objet et être approuvés en vue de leur réalisation.
- Concernant la structure de la construction, il convient de veiller à ne pas dépasser les charges ponctuelles autorisées (y compris la quantité de neige prévue). Cela s'applique

également au levage des poids sur le toit (ou au dépôt/stockage provisoire de matériel avant et pendant le montage).

Pour approfondir le sujet:

- windlast.gh-schweiz.ch/ d'Enveloppe des édifices Suisse

1.2.1.2 Structure du système de végétalisation de la toiture et de gestion de l'eau

La structure du toit est réalisée conformément aux normes de végétalisation extensive de la toiture (normes SIA 271 et 312). Il est aussi judicieux de prendre en compte la «directive pour la végétalisation extensive des toitures» de l'ASVE à titre complémentaire. La structure et la rétention de l'eau doivent correspondre aux obligations de l'ordonnance sur les constructions et du projecteur. Les sous-constructions accueillant les installations PV peuvent être directement intégrées dans la couche de végétation en fonction du fabricant. Les épaisseurs de substrat peuvent être aménagées de manière plane ou avec des différences de niveau selon les besoins. Associé aux rangées de modules PV, cet aménagement peut avoir une répercussion positive sur la couverture de végétation ou l'ombrage et améliorer la biodiversité. Dans tous les cas, les structures en couche doivent être harmonisées. Les surfaces végétalisées et humides ont un impact positif sur la production d'électricité des installations PV.



Figure 3: Combinaison d'une végétalisation intensive/extensive de la toiture à côté d'une installation PV, source: Contec

1. Étude de projet

1.2 Conditions relatives aux toitures végétalisées avec des installations solaires

1.2.1.3 Végétalisation et biodiversité

Afin de planifier correctement la végétalisation, il convient de déterminer au préalable un objectif de végétalisation en respectant les normes et directives. L'intention, la finalité et les prescriptions doivent être clairement définies pour choisir les composants de système adéquats. Il convient d'ambitionner une végétalisation de grande qualité avec une biodiversité riche et variée. Les substrats et les plantes doivent être déterminés conformément aux normes SIA et aux directives de l'ASVE. En outre, les substrats doivent être définis au préalable afin d'harmoniser les poids spécifiques (systèmes nécessitant un lestage), la rétention d'eau et la couverture de végétation attendue. Le choix des plantes est extrêmement important lorsqu'il s'agit de combiner des installations photovoltaïques et une toiture végétalisée. Il diffère grandement des mélanges de semences standards. Les plantes sont soumises à d'autres exigences par rapport à des surfaces extensives ouvertes. Il est important que les plantes choisies ne projettent aucune ombre sur les installations solaires afin d'éviter toute réduction du rendement solaire. Les mélanges de semences destinés aux toitures solaires se composent de plantes de petite taille qui supportent l'ombre et l'humidité.

Recommandation pour les substrats:

- Qualité des substrats conforme aux directives de l'ASVE
- Adapter les substrats aux objectifs de végétation (maigre substrat = faible couverture de végétation)
- Déterminer au préalable les mélanges de substrats par rapport aux poids spécifiques

Recommandation pour les plantes:

- Faire attention au lieu d'implantation et à la situation du bâtiment
- Privilégier des plantes à feuilles claires et argentées (la réflexion de la lumière sur les modules PV augmente le rendement solaire)
- Utiliser des variétés de plantes à faible croissance
- Éviter les plantes à forte radication et invasive
- Utiliser des mélanges adaptés au site et riches en termes d'espèces
- Veiller à la période de floraison des plantes (ressource alimentaire à l'année pour les insectes)
- Veiller aux dates de semis/conditions météorologiques
- Si besoin, compléter avec les mélanges de semences de plantes annuelles
- La végétation peut être agradée avec des éléments écologiques (vieux bois, plans d'eau, hôtels à abeilles, dunes de sable, etc.)

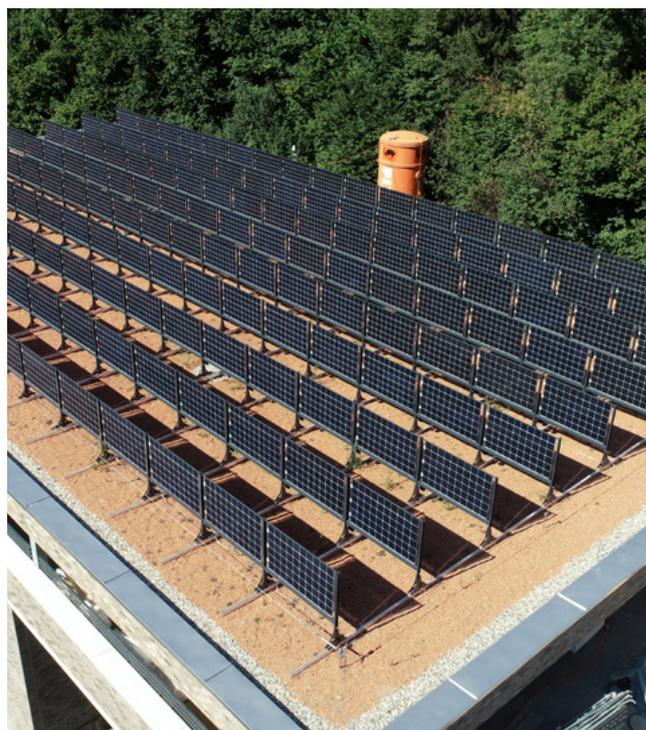


Figure 4: L'installation PV doit être installée à une distance suffisante du bord de la toiture (≥ 60 cm), source: reech gmbh

1.2.2 Constructions existantes

Dans l'ensemble, les constructions existantes sont soumises aux mêmes paramètres que les nouvelles constructions (1.2.1.1 jusqu'à 1.2.1.4). C'est pourquoi l'énumération suivante ne contient que les points complémentaires pertinents pour les bâtiments existants.

1.2.2.1 Statique

- État des lieux de la structure en couches (matériaux, contrainte de compression, isolation thermique, épaisseurs, etc.) et du système porteur du toit
- Détermination de l'ingénieur en statique mandaté pour la construction, clarification du lestage autorisé et des réserves de charge éventuelles (kg/m^2)
- Si la statique du bâtiment n'est pas disponible, il convient de se procurer les calculs et les justificatifs

1.2.2.2 Vérification du toit

La structure existante du toit doit faire l'objet d'un contrôle avant tout changement d'utilisation. Une analyse d'état du toit plat doit être réalisée avec des pronostics. De plus, il convient de clarifier si la durée d'utilisation prévue peut être atteinte. Cette analyse d'état doit être réalisée et documentée par un spécialiste de l'enveloppe des édifices.

Pour ce faire, des listes de contrôle sont à disposition:

- Analyse d'état du toit plat par Enveloppe des édifices Suisse
- Application Web «Entretien et maintenance» de suisstec

1. Étude de projet

1.2 Conditions relatives aux toitures végétalisées avec des installations solaires

1.2.2.3 Sécurité

Un changement d'utilisation peut entraîner de nouvelles prescriptions concernant les mesures de sécurité. En cas de nouvelles installations ou de changement d'utilisation, des obligations réglementaires peuvent éventuellement s'appliquer et nécessiter un dispositif fixe d'accès à la toiture ou un accès par le bâtiment.

1.2.3 Exigences techniques relatives aux installations solaires

Dans l'ensemble, les mêmes paramètres que pour les nouvelles constructions s'appliquent.

En ce qui concerne le montage d'installations solaires sur des toitures végétalisées, il convient de respecter les mêmes exigences que pour les toits plats sans couverture végétale. Seule différence: la distance entre les modules et le sol doit être plus grande et l'entretien de la végétation doit être possible.

Le montage d'installations photovoltaïques directement sur un substrat n'est autorisé que dans les cas suivants:

- Une couche de protection suffisamment épaisse est utilisée;
- La distance minimale entre les modules et le substrat est respectée (voir chapitre 2.1) et;
- Les influences statiques sont prises en compte.



Figure 5: L'installation PV doit être installée à une distance suffisante des éléments de construction, raccords muraux, etc. attenants, source: Contec

2. Réalisation

2.1 Solutions techniques

2.1.1 Structure en couches

La structure du toit est réalisée conformément aux normes de végétalisation extensive de la toiture (normes SIA 271 et SIA 312). Il est aussi judicieux de prendre en compte la «directive pour la végétalisation extensive des toitures» de l'ASVE à titre complémentaire. La structure doit respecter l'ordonnance locale sur les constructions et remplir les exigences du plan général d'évacuation des eaux (PGEE) en matière de gestion de l'eau. Les sous-constructions accueillant les installations PV peuvent être directement intégrées dans la couche de végétation en fonction du fabricant.

2.1.2 Types de cadres de montage

Différents systèmes permettent de monter des installations PV sur des toits plats végétalisés. L'orientation (sud, est-ouest) ainsi que la hauteur et l'inclinaison des modules ont une influence sur la part de la surface du toit végétalisée.

Il existe des systèmes de lestage spécifiques pour les toits végétalisés qui utilisent le substrat de végétation comme ballast (voir figure 6).

2.1.3 Solutions spécifiques, modules bifaciaux

Les cellules solaires sont capables de convertir en électricité la lumière qui vient frapper les deux faces du panneau solaire. Dans le cas des modules PV bifaciaux, la face arrière des modules est transparente et permet ainsi à la lumière d'être captée par les deux faces des modules PV. Cette solution améliore le rendement, mais nécessite d'autres systèmes de montage ou rend possible de nouveaux types de montage. Par exemple, de tels modules peuvent aussi être installés à la verticale, ce qui permet d'obtenir des rendements solaires plus importants, en particulier en hiver (voir figure 7).



Figure 6: Système de lestage pour un cadre de montage de module PV, source: Bauder



Figure 7: Installation PV avec modules bifaciaux sur le toit de la résidence pour personnes âgées Eichgut, Winterthour. Un sol clair avec des plantes à feuilles argentées, comme l'hélianthème et le thym, favorise la réflexion de la lumière du soleil et entraîne un gain de rendement de la production photovoltaïque. Source: Solarspar

2. Réalisation

2.1 Solutions techniques

2.1.4 Passage des câbles

La protection mécanique des câbles contre les outils de coupe utilisés pour l'entretien de la végétation est un élément particulièrement important en ce qui concerne les toits végétalisés (voir figures 8 et 9).



Figure 8: Passage des câbles de l'installation PV à l'onduleur, source: Contec



Figure 9: Passage des câbles entre les modules PV, source: Contec

2. Réalisation

2.2 Végétalisation extensive de la toiture

12

Formes de croissance pour une végétalisation extensive de la toiture				
Formes de plantes, aspect	Variétés de sedum, mousses, peu d'herbes aromatiques	Variétés de sedum, herbes aromatiques, peu d'herbacées	Herbacées, herbes aromatiques	Herbacées, peu d'herbes aromatiques
Épaisseur (après semis réussi)	À partir de 80 mm	À partir de 100 mm	À partir de 120 mm	À partir de 150 mm

Tableau 1: Formations végétales réalisables en fonction de l'épaisseur du substrat de végétation pour une végétalisation extensive de la toiture (source: norme SIA 312)

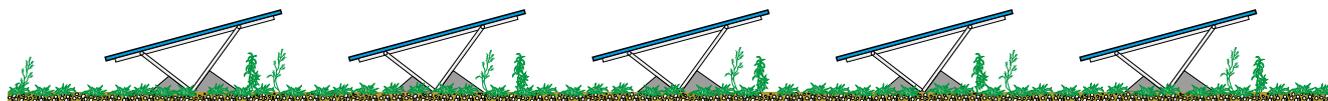


Figure 10: Combinaison d'une végétalisation intensive/extensive de la toiture à côté d'une installation PV, source: Zinco

2. Réalisation

2.3 Exemples

2.3.1 Végétalisation extensive, structure en couches avec une épaisseur minimale de substrat, orientation au sud



- Orientation au sud
- Bord inférieur du module à au moins 30 cm au-dessus du substrat
- Épaisseur minimale du substrat conforme aux calculs de lestage ou à la norme SIA 312
- Couche de rétention d'eau intégrée à la sous-construction
- Inclinaison du module conforme aux calculs (dépend de l'écartement des modules)
- Écartement entre les rangées ou modules d'au moins 60 cm (passage d'entretien) ou conforme aux calculs d'ombrage

Avantages:

- Suffisamment de place pour la végétation
- Suffisamment de place pour la maintenance et l'entretien

Inconvénients:

- Faible utilisation de la surface en raison de l'orientation au sud
- Courbe de puissance de la production d'électricité

Plantes:

- Plantes à faible croissance et couvre-sol conformément aux indications du fournisseur

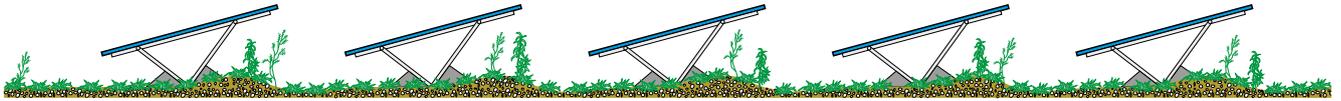


Figure 11: Installation PV orientée au sud avec une structure de substrat minimale, source: Contec

2. Réalisation

2.3 Exemples

2.3.2 Végétalisation extensive, structure en couches modelée, orientation au sud



- Orientation au sud
- Bord inférieur du module à au moins 35 cm au-dessus du substrat
- Épaisseur du substrat de 80 à 150 mm. L'épaisseur doit être modelée de manière à ce que le substrat soit présent en moins grande quantité devant les modules solaires qu'en dessous.
- Couche de rétention d'eau intégrée à la sous-construction
- Inclinaison du module conforme aux calculs (dépend de l'écartement des modules)
- Écartement entre les rangées ou modules d'au moins 60 cm (passage d'entretien) ou conforme aux calculs d'ombrage

Avantages:

- Suffisamment de place pour la végétation
- Suffisamment de place pour la maintenance et l'entretien
- Plus de biodiversité en raison des différentes épaisseurs de substrat
- Pas d'ombrage si l'épaisseur de substrat est plus faible au niveau de bord avant du module

Inconvénients:

- Faible utilisation de la surface en raison de l'orientation au sud
- Courbe de puissance de la production d'électricité

Plantes:

- Plantes à faible croissance et couvre-sol conformément aux indications du fournisseur



Figure 12: Installation PV orientée au sud avec une structure de substrat modelée de hauteur différente, source: Contec

2. Réalisation

2.3 Exemples

2.3.3 Végétalisation extensive, structure en couches avec une épaisseur minimale de substrat, orientation à l'est/ouest



- Orientation à l'est et à l'ouest
- Bord inférieur du module à au moins 30 cm au-dessus du substrat
- Épaisseur minimale du substrat conforme aux calculs de lestage ou à la norme SIA 312
- Couche de rétention d'eau intégrée à la sous-construction
- Inclinaison du module conforme aux calculs (dépend de l'écartement des modules)
- Écartement entre les rangées ou modules d'au moins 60 cm au niveau du bord de module le plus bas (passage d'entretien) ou conforme aux calculs d'ombrage

Avantages:

- Utilisation importante de la surface en raison de l'orientation à l'est et à l'ouest
- Suffisamment de place pour la maintenance et l'entretien
- Plus de biodiversité en raison des différentes situations d'ensoleillement ou d'ombrage
- Surface d'exposition au vent plus faible
- Courbe de puissance de la production d'électricité

Inconvénients:

- Entretien difficile en dessous des modules

Plantes:

- Plantes à faible croissance et couvre-sol conformément aux indications du fournisseur



Figure 13: Installation PV orientée à l'est/ouest avec une structure de substrat minimale, source: Bauder

2. Réalisation

2.3 Exemples

2.3.4 Végétalisation extensive, structure en couches modelée, orientation à l'est/ouest



- Orientation à l'est et à l'ouest
- Bord inférieur du module à au moins 35 cm au-dessus du substrat
- Épaisseur du substrat de 80 à 150 mm. L'épaisseur doit être modelée de manière à ce que le substrat soit présent en moins grande quantité devant les modules solaires qu'en dessous.
- Couche de rétention d'eau intégrée à la sous-construction
- Inclinaison du module conforme aux calculs (dépend de l'écartement des modules)
- Écartement entre les rangées ou modules d'au moins 60 cm au niveau du bord de module le plus bas (passage d'entretien) ou conforme aux calculs d'ombrage

Avantages:

- Utilisation importante de la surface en raison de l'orientation à l'est et à l'ouest
- Suffisamment de place pour la maintenance et l'entretien
- Plus de biodiversité en raison des différentes situations d'ensoleillement ou d'ombrage
- Plus de biodiversité en raison des différentes épaisseurs de substrat
- Surface d'exposition au vent plus faible
- Courbe de puissance de la production d'électricité

Inconvénients:

- Entretien difficile en dessous des modules

Plantes:

- Plantes à faible croissance et couvre-sol conformément aux indications du fournisseur

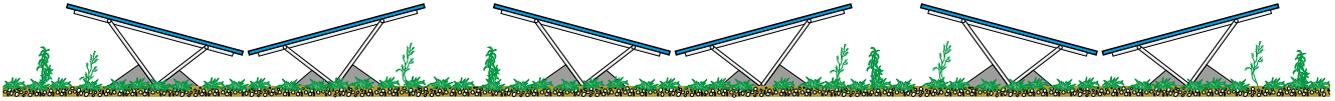


Figure 14: Installation photovoltaïque orientée à l'est/ouest avec une structure de substrat modelée de hauteur différente, source: Contec

2. Réalisation

2.3 Exemples

2.3.5 Végétalisation extensive, structure en couches avec une épaisseur minimale de substrat, orientation à l'est/ouest



- Orientation à l'est et à l'ouest
- Bord inférieur du module à au moins 30 cm au-dessus du substrat
- Épaisseur minimale du substrat conforme aux calculs de lestage ou à la norme SIA 312
- Couche de rétention d'eau intégrée à la sous-construction
- Inclinaison du module conforme aux calculs (dépend de l'écartement des modules)
- Écartement entre les rangées ou modules d'au moins au niveau du bord de module le plus haut (passage d'entretien) ou conforme aux calculs d'ombrage; écartement d'au moins 10 cm au niveau du bord de module le plus bas

Avantages:

- Utilisation importante de la surface en raison de l'orientation à l'est et à l'ouest
- Bonne accessibilité pour la maintenance et l'entretien, et ce également sous les modules
- Plus de biodiversité en raison des différentes situations d'ensoleillement ou d'ombrage
- Courbe de puissance de la production d'électricité

Inconvénients:

- La neige reste plus longtemps sur les modules lorsque ceux-ci sont faiblement écartés les uns des autres (elle ne peut pas glisser et entraîne donc une perte de rendement)

Plantes:

- Plantes à faible croissance et couvre-sol conformément aux indications du fournisseur



Figure 15: Installation PV orientée à l'est/ouest avec une structure de substrat minimale, source: Zinco

2. Réalisation

2.3 Exemples

2.3.6 Végétalisation extensive, structure en couches modelée, orientation à l'est/ouest



- Orientation à l'est et à l'ouest
- Bord inférieur du module à au moins 35 cm au-dessus du substrat
- Épaisseur du substrat de 80 à 150 mm. L'épaisseur doit être modelée de manière à ce que le substrat soit présent en moins grande quantité devant les modules solaires qu'en dessous.
- Couche de rétention d'eau intégrée à la sous-construction
- Inclinaison du module conforme aux calculs (dépend de l'écartement des modules)
- Écartement entre les rangées ou modules d'au moins 60 cm au niveau du bord de module le plus haut (passage d'entretien) ou conforme aux calculs d'ombrage; écartement d'au moins 10 cm au niveau du bord de module le plus bas

Avantages:

- Utilisation importante de la surface en raison de l'orientation à l'est et à l'ouest
- Bonne accessibilité pour la maintenance et l'entretien, et ce également sous les modules
- Plus de biodiversité en raison des différentes situations d'ensoleillement ou d'ombrage
- Plus de biodiversité en raison des différentes épaisseurs de substrat
- Courbe de puissance de la production d'électricité

Inconvénients:

- La neige reste plus longtemps sur les modules lorsque ceux-ci sont faiblement écartés les uns des autres (elle ne peut pas glisser et entraîne une perte de rendement)

Plantes:

- Plantes à faible croissance et couvre-sol conformément aux indications du fournisseur

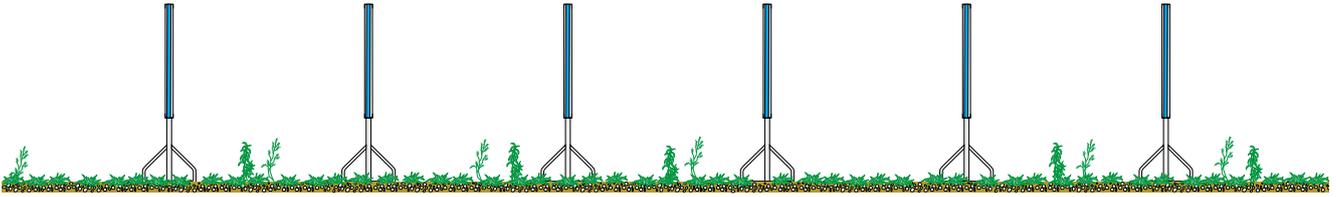


Figure 16: Installation PV orientée à l'est/ouest avec une structure de substrat modelée de hauteur différente, source: Zinco

2. Réalisation

2.3 Exemples

2.3.7 Végétalisation extensive, structure en couches avec une épaisseur minimale de substrat, cadre de montage vertical



- Cadre de montage vertical orienté à l'est/ouest
- Bord inférieur du module à au moins 30 cm au-dessus du substrat
- Épaisseur minimale du substrat conforme aux calculs de lestage ou à la norme SIA 312
- Couche de rétention d'eau intégrée à la sous-construction
- Inclinaison du module conforme aux calculs (dépend de l'écartement des modules)
- Écartement entre les rangées ou modules d'au moins 60 cm au niveau du bord de module le plus bas (passage d'entretien) ou conforme aux calculs d'ombrage

Avantages:

- Suffisamment de place pour la maintenance et l'entretien
- Aucune ombrage par les plantes
- Rendement plus élevé en raison des modules bifaciaux
- Augmentation du rendement grâce aux plantes à feuilles claires ou aux graviers
- Pas de dépôts de neige sur les modules

Inconvénients:

- Surface d'exposition au vent importante
- Hauteur de la construction

Plantes:

- Plantes à faible croissance et couvre-sol conformément aux indications du fournisseur
- Les plantes à feuilles argentées sont particulièrement adaptées

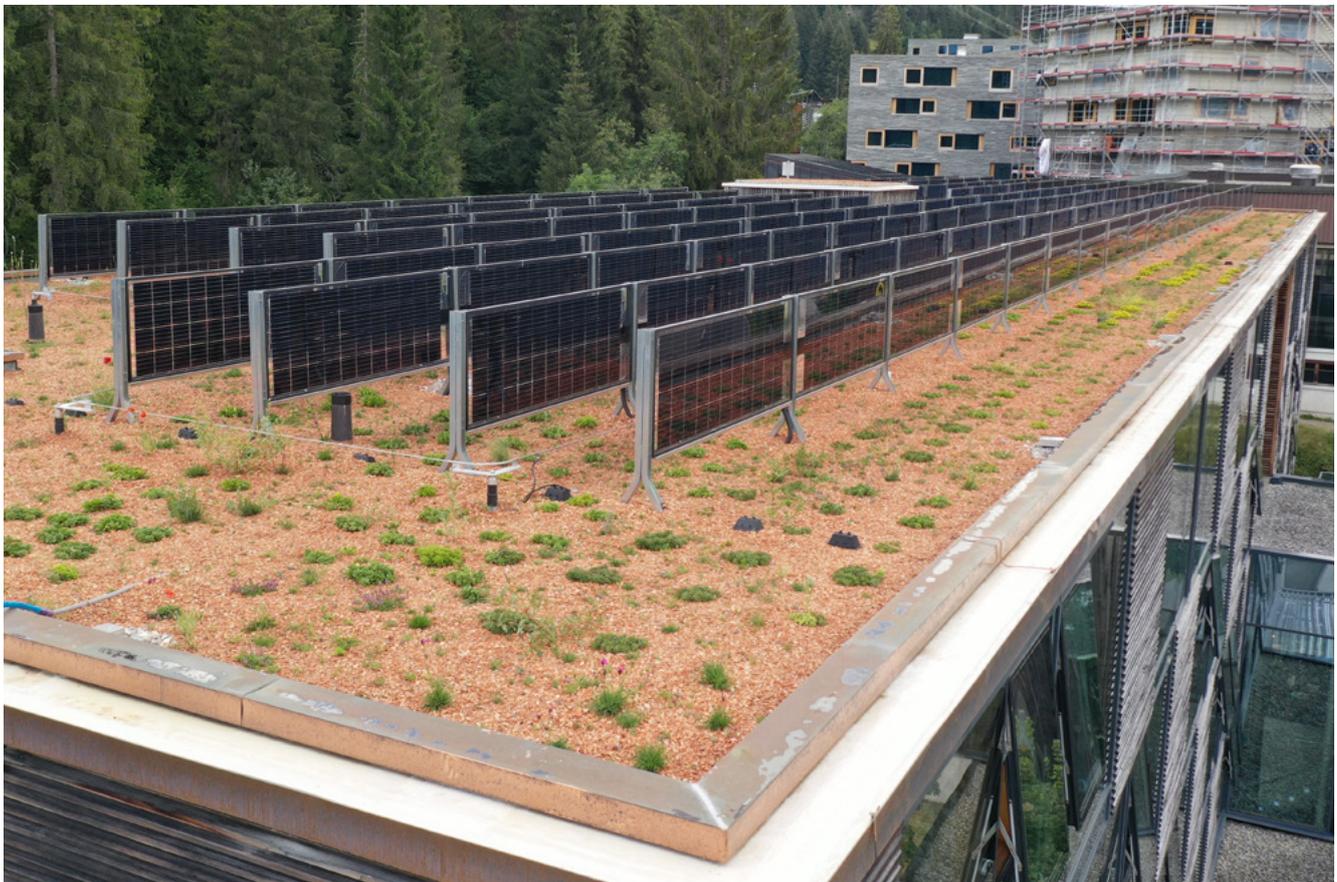
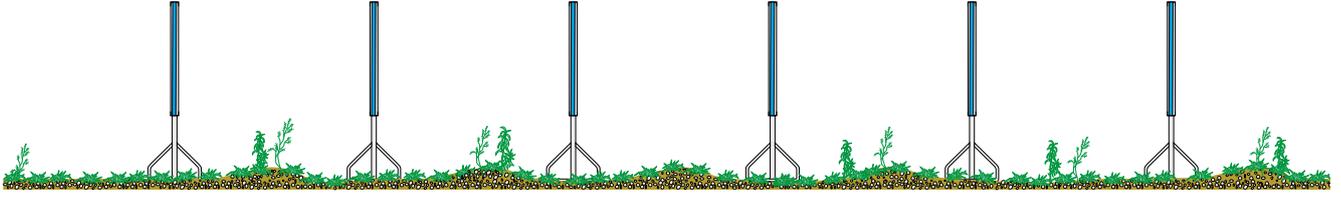


Figure 17: Modules PV à cadre de montage vertical avec une structure de substrat minimale, source: Zinco

2. Réalisation

2.3 Exemples

2.3.8 Végétalisation extensive, structure en couches modelée, cadre de montage vertical



- Cadre de montage vertical orienté à l'est/ouest
- Bord inférieur du module à au moins 30 cm au-dessus du substrat
- Épaisseur du substrat de 80 à 150 mm. L'épaisseur doit être modelée de manière à ce que le substrat soit présent en moins grande quantité sous les modules solaires qu'entre eux
- Couche de rétention d'eau intégrée à la sous-construction
- Écartement entre les rangées ou modules conforme aux calculs d'ombrage

Avantages:

- Aucune ombrage par les plantes
- Rendement plus élevé en raison des modules bifaciaux
- Augmentation du rendement grâce aux plantes à feuilles claires ou aux graviers
- Suffisamment de place pour la maintenance et l'entretien
- Plus de biodiversité en raison des différentes épaisseurs de substrat
- Pas de dépôts de neige sur les modules

Inconvénients:

- Surface d'exposition au vent importante
- Hauteur de la construction

Plantes:

- Plantes à faible croissance et couvre-sol conformément aux indications du fournisseur
- Les plantes à feuilles argentées sont particulièrement adaptées



Figure 18: Installation test de la ZHAW, source: Solarspar

2. Réalisation

2.4 Installations photovoltaïques avec une végétalisation intensive la toiture

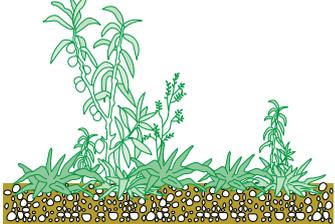
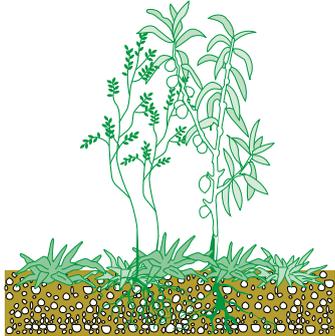
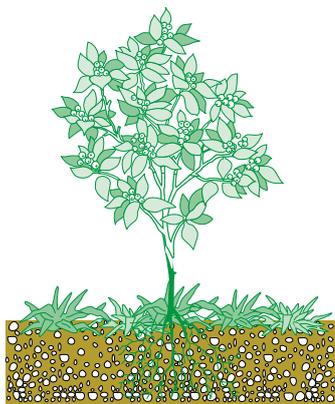
Formes de croissance pour une végétalisation intensive de la toiture			
			
Aspect	Pelouse, prés, arbustes et petits arbres	Arbustes et arbres de taille moyenne	Grands arbres
Épaisseur	De 120 à 300 mm	De 300 à 500 mm	À partir de 500 mm
Formes de plantes	Herbacées, arbustes, petits arbres	Arbustes, petits arbres	Petits et grands arbres

Tableau 2: Formations végétales réalisables en fonction de l'épaisseur du substrat de végétation pour une végétalisation intensive de la toiture (source: norme SIA 312)

Il est possible de réaliser des surfaces partielles avec une épaisseur de substrat plus importante (jusqu'à 50 cm, végétalisation intensive du toit avec des arbustes et buissons) pour compléter les surfaces accueillant les modules. En revanche, la végétalisation intensive de ces surfaces partielles ne doit pas ombrager les modules.

Les exemples du chapitre 2.3 peuvent également être combinés entre eux à souhait.



Figure 19: Solution intelligente combinant la végétalisation intensive et extensive avec une installation photovoltaïque, source: Contec

3. Entretien/exploitation

3.1 Concept d'entretien des installations solaires et de la toiture végétalisée

Il convient de prendre les mesures adaptées pour assurer l'entretien sécurisé de la végétation du toit ainsi que les travaux de maintenance sur les installations solaires (sécurité au travail et protection individuelle).

L'entretien de la végétation du toit doit être réalisée par un spécialiste. Les deux à quatre premières années sont particulièrement déterminantes afin d'atteindre l'objectif de végétalisation défini. Une fois la végétation enracinée, elle doit être entretenue une à deux fois par an conformément aux directives. La norme SIA 312 ainsi que les directives de l'ASVE servent de bases à ce sujet.

En règle générale, l'installation solaire ne requiert aucuns travaux de maintenance et d'entretien. L'installation ne doit faire l'objet d'une vérification sur place par un spécialiste qu'en cas de pannes spécifiques signalées par le système de surveillance à distance (monitoring).

Il est également recommandé de faire vérifier l'installation par un spécialiste après des orages violents ou des chutes de grêle afin de déterminer si les modules solaires ou leurs

sous-constructeurs ont été endommagés. Sinon, il est conseillé d'effectuer un contrôle visuel tous les deux à quatre ans.

Les prestations de maintenance et d'entretien doivent être définies au préalable, de même que les responsabilités. Il est nécessaire de préciser l'identité de la ou des personnes responsables de l'entretien dans le contrat, en particulier dans le cas d'une location de surfaces de toiture par un exploitant d'installations solaires.

À ce sujet, voir aussi: «*Contrat d'entretien*» (gratuit pour les membres d'*Enveloppe des édifices Suisse*)

Les accords portent sur les éléments suivants:

- Accessibilité
- Dispositifs de protection
- Contrôle et mesures relatifs à la couverture de végétation/l'ombrage
- Contrôle de l'installation/du fonctionnement/de la production d'électricité



Figure 20: Protection au travail et individuelle lors de l'entretien de la végétation et la maintenance des installations solaires, source: Contec

Conclusion

Est-il possible de produire une plus grande quantité d'énergie solaire sur les toits plats à l'avenir sans pour autant nuire à la biodiversité de la faune et de la flore? La réponse est oui! Associer les installations photovoltaïques aux toits plats végétalisés est une parfaite combinaison pour un avenir durable et riche en espèces.

Avec une planification et réalisation adéquates, les surfaces créées profitent à la faune et à la flore, mais également aux êtres humains. Les toits aménagés en jardin offrent un habitat essentiel aux petits animaux, protègent les habitats de la chaleur et contribuent à rafraîchir les centres-villes en été.

En effet, le bois, la terre et l'humus absorbent bien moins de chaleur durant la journée que les matériaux de construction comme l'asphalte, le béton ou les graviers.

Pour les organisations de branche associées, il est crucial que les opportunités issues de la combinaison de l'énergie solaire et des toitures végétalisées soient identifiées et saisies pour mettre en œuvre la Stratégie énergétique 2050, pour le bien-être de la faune et de la flore indigènes et pour agir en faveur de la Nature.



Figure 21: Dispositif de protection contre les chutes, source: Contec

Mentions légales

Associations associées

Enveloppe des édifices Suisse, Association suisse des entrepreneurs de l'enveloppe des édifices, Lindenstrasse 4, 9240 Uzwil

Bois suisse, Association suisse des entrepreneurs de la construction en bois, Thurgauerstrasse 54, 8050 Zurich

JardinSuisse, Association suisse des entreprises horticoles, Bahnhofstrasse 94, 5000 Aarau

Association suisse des spécialistes du verdissement des édifices, Waisenhausstrasse 2, 3600 Thoune

Suissetec, Association suisse et liechtensteinoise de la technique du bâtiment, Auf der Mauer 11, 8021 Zurich

Swissolar, Association suisse des professionnels de l'énergie solaire, Neugasse 6, 8005 Zurich

Chef de projet du groupe de travail

Hanselmann Urs, 8454 Buchberg, Enveloppe des édifices Suisse

Groupe de travail

Gut Robin, 5443 Niederrohrdorf, Suissetec

Haus Stefan, 5000 Aarau, JardinSuisse

Hinter Stefan, 9058 Brülisau, Association suisse des spécialistes du verdissement des édifices

Hüppi Bruno, 8730 Uznach, Bois suisse

Moll Christian, D-78224 Singen (HTW.), Swissolar

Nussbaumer Reto, 8808 Pfäffikon, Enveloppe des édifices Suisse

Sigrist Heinz, 3661 Uetendorf, Association suisse des spécialistes du verdissement des édifices

Spiller Nathalie, 8004 Zurich, Swissolar

Struffenegger Rolf, 5000 Aarau, JardinSuisse

Rédaction et illustrations

Ragonesi Marco, RSP Bauphysik AG, 6003 Lucerne

Photo de couverture

Contec

Valable dès le: 16 décembre 2021

Copyright © Ce document et toutes ses parties sont protégés par les droits d'auteur. Sans l'accord des deux associations, toute utilisation non conforme à la loi sur le droit d'auteur est interdite et punissable.