

TOITURES VÉGÉTALISÉES À GENÈVE

Questions pratiques et état des connaissances



TABLE DES MATIÈRES

1. Un état de l'art sur les toitures végétalisées : pour qui ? Et pourquoi ?	4
2. Les éléments importants à prendre en compte dès le départ	4
2.1 Que signifient les termes extensif et intensif ?	5
2.2 Quelles toitures végétalisées trouve-t-on à Genève ?	6
2.3 De quoi est constituée une toiture végétalisée ?	6
2.4 Quels sont les éléments les plus importants lorsque l'on planifie une toiture végétalisée extensive ?	6
2.5 Où trouver des aides pour réaliser une toiture végétalisée à Genève ?	7
3. Quels sont les services rendus par les toitures végétalisées ?	7
3.1 La biodiversité sur les toitures végétalisées extensives	7
3.1.1 À Genève quelles espèces trouvent-t-on sur les toitures extensives ?	9
3.1.2 Quels rôles jouent les toitures extensives pour les pollinisateurs ?	9
3.1.3 Quels autres invertébrés sont présents sur les toitures extensives à Genève ?	10
3.1.4 Les autres animaux des toitures végétalisées	10
3.2 les fonctions hydrologiques des toitures	11
3.2.1 Quelle quantité d'eau de pluie peut retenir une toiture végétalisée ?	11
3.2.2 Quelles performances dans le retardement et la réduction du débit d'évacuation des pluies ?	11

4. Substrat et végétalisation d'une toiture extensive	12
4.1 Le substrat	12
4.1.1 Les différentes couches	12
4.1.2 Qu'appelle-t-on un substrat de toiture ?	12
4.1.3 Quelles sont les fonctions d'un substrat de toiture ?	13
4.1.4 De quoi est constitué un substrat ?	13
4.1.5 Caractéristiques importantes des éléments minéraux	14
4.1.6 Épaisseur du substrat	14
4.1.7 Existe-t-il des substrats plus écologiques ?	15
4.1.8 Normes de capacité de rétention en eau du substrat	15
4.1.9 Comment le substrat évolue-t-il au cours du temps ?	16
4.2 Techniques de végétalisation	16
4.2.1 Quels sont les différents modes de végétalisations ?	16
4.2.2 Qu'est-ce que la technique de l'herbe à semence ?	16
4.2.3 Pourquoi se préoccuper de l'origine des végétaux ?	17
4.2.4 A quelle période semer ?	18
4.2.5 Qu'est-ce que le recouvrement végétal ?	19
4.2.6 Après combien de temps le recouvrement végétal est-il optimal ?	19
4.2.7 Comment évolue une végétalisation extensive ?	19
4.2.8 Est-ce qu'une toiture extensive nécessite un entretien ?	20
4.3 Interaction entre substrat et végétation	21
4.3.1 Comment le substrat influence le recouvrement végétal ?	21
4.3.2 Est-ce qu'un substrat riche en matière organique est indiqué sur les toitures végétalisées extensives ?	21
5. Quelles sont les limites d'une toiture extensive à Genève ?	21
5.1. Quels sont les effets du changement climatique à prendre en compte ?	21
5.2. Peut-on végétaliser des toitures avec une très faible portance ?	21
5.3. Quels paramètres influencent l'effet "refroidissant" d'une toiture végétalisée ?	22
5.4. Quelles sont les limites de l'effet isolant d'une toiture végétalisée ?	22
6. Peut-on combiner panneaux solaires et toitures végétalisées ?	22
7. Bibliographie	24

1. Un état de l'art sur les toitures végétalisées : pour qui ? Et pourquoi ?

Ce document est destiné aux acteurs s'intéressant aux toitures végétalisées : planificateurs, architectes, responsables de communes, particuliers, etc. Il est conçu sous forme de "questions - réponses". Il traite des différents aspects liés aux toitures végétalisées extensives ou semi-intensives (Chapitre 2.1). Il se réfère aux normes et recommandations existantes en Europe (Suisse, France, Allemagne) et aux connaissances acquises par HEPIA (Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève), dans le cadre de diverses études récemment menées :

- **Toitures végétalisées dans l'agglomération genevoise** (TVEG, 2014-16), ayant réalisé un diagnostic d'une trentaine de toitures végétalisées à Genève, sous l'angle de la biodiversité, de l'hydrologie, du substrat, de la thermique et du microclimat (<https://www.hesge.ch/hepia/recherche-developpement/projets-recherche/termine/tveg>);
- **SEminum on Edifices Downtown** (SEED, 2015-2018), ayant testé la possible reconstitution de communautés végétales indigènes favorables à l'entomofaune, notamment aux abeilles, en utilisant des substrats recyclés "non nobles" (rebus de démolition ou d'excavation, "Terra Preta") sur des toitures de l'Espace expérimental de Lullier (<https://www.hesge.ch/hepia/recherche-developpement/projets-recherche/termine/seed>);
- **Fleurs locales** (2017-2020), ayant pour partie comme objectif de réaliser des suivis floristiques sur les essais de toitures végétalisées mis en œuvre dans le cadre du projet SEED (<https://www.hesge.ch/hepia/recherche-developpement/projets-recherche/termine/fleurs-locales>);
- **Montoit** (dès 2020), réalisant des suivis floristiques et entomologiques de 4 toitures végétalisées à Genève (Figure 1).

Pour mieux comprendre les toitures végétalisées, il existe plusieurs lieux de démonstration. A Genève un espace se trouve au Domaine Horticole de Lullier (route de Presinge 150, 1254 Jussy). Ouvert au public et accessible de plain pieds, il permet de découvrir les différents types de toitures et d'approfondir les connaissances sur des projets de recherche en cours (Figure 1). Un espace d'exposition est également disponible à Lausanne au Service des parcs et domaines (Avenue du Chablais 46, 1007 Lausanne).



Figure 1 : A Genève, il existe un espace dédié aux toitures végétalisées ouvert au public, au Domaine horticole de Lullier, route de Presinge 150, 1254 Jussy (©HEPIA_Violaine Martin)

2. Quels sont les éléments importants à prendre en compte dès le départ ?

Une toiture végétalisée est un aménagement permettant la croissance des végétaux sur un toit, le plus souvent sur une toiture presque plate. Il est possible de végétaliser une toiture inclinée, mais à partir de 15° une protection spéciale contre les glissements est nécessaire (SIA, 312). L'aménagement comporte une communauté de plantes qui évoluent au cours du temps, en fonction des saisons et des conditions climatiques. Il existe de ce fait une multitude de toitures végétalisées répondant à des contextes et objectifs différents. Chaque toiture végétalisée est ainsi unique et il n'y a pas de "recette" toute prête, mais une multitude d'opportunités et de possibilités. Néanmoins, il existe des standards de construction et des typologies de référence en fonction de leur vocation.

2.1 Que signifient les termes extensif et intensif ?

On distingue les toitures végétalisées *extensives*, *semi-intensives* et *intensives*. Ces 3 catégories se différencient par :

- les types de végétaux présents,
- l'épaisseur du substrat,
- la fréquence de leur entretien.

Les toitures extensives et semi-intensives présentent une végétation basse, peu dense (herbes annuelles et vivaces, plantes grasses de type orpin, sous-arbrisseaux), souvent associée à des mousses et des lichens, qui se développent sur un sol/substrat peu épais (hauteur jusqu'à 50 cm). Elles nécessitent peu d'entretien (1 à 2 interventions annuelles). A l'inverse, sur les toitures intensives au sol épais (à partir de 30 cm), peuvent pousser des arbustes, voire des arbres et/ou des plantes ornementales, potagères ou des gazons. Elles nécessitent un entretien fréquent (plusieurs interventions annuelles). La limite de distinction entre ces types de toitures est évidemment théorique et nécessairement progressive, mais les termes utilisés font l'objet d'un consensus. Ils ne préjugent cependant ni de l'usage, ni de l'aspect global du toit (Figures 2 et 3).

La terminologie varie également d'un pays à l'autre, en France on parle aussi de toiture-terrasse ou toitures jardins pour les toitures intensives.

Enfin, d'autres classifications sont basées sur le type de végétaux présents et les strates (arborée, arbustive, herbacée, muscinale). Cette approche liée à l'aspect visuel des plantes, reflétant les structures végétales, présente ainsi une certaine analogie avec les typologies de milieux naturels.

Il existe également des toitures végétalisées de manière spontanée. En l'absence d'entretien des plantes amenées par le vent où les animaux réussissent à s'implanter généralement d'une manière temporaire.

Concrètement la plupart des toitures végétalisées sont extensives avec une épaisseur de substrat faible à très faible (< 10-12 cm). Il faut noter que plus le substrat est épais, plus il est lourd, ce que la plupart des bâtiments ne peuvent pas supporter.



Toiture intensive



Toiture extensive

Figure 3 - Les différents types de végétalisations (dessin ©HEPIA/T. Brüttsch)



Epaisseur de substrat
Entretien



2.2 Quelles toitures végétalisées trouve-t-on à Genève ?

L'inventaire semi-automatisé réalisé par les Conservatoire et Jardin botaniques de la ville de Genève et l'Etat de Genève (CJBG, 2018) recense 3250 toitures, balcons ou terrasses végétalisées d'une manière intentionnelle ou spontanée à Genève. Ce chiffre correspondait en 2018 en nombre et en surface à 22 % de l'ensemble des toitures plates du canton, contre 30 % à Bâle-Ville, "championne en la matière". De plus, la majorité des toitures inventoriées par les CJBG n'ont pas été prévues en tant que toitures végétalisées, mais ont été colonisées spontanément par les végétaux ! La part de toitures végétalisées peut donc encore augmenter.

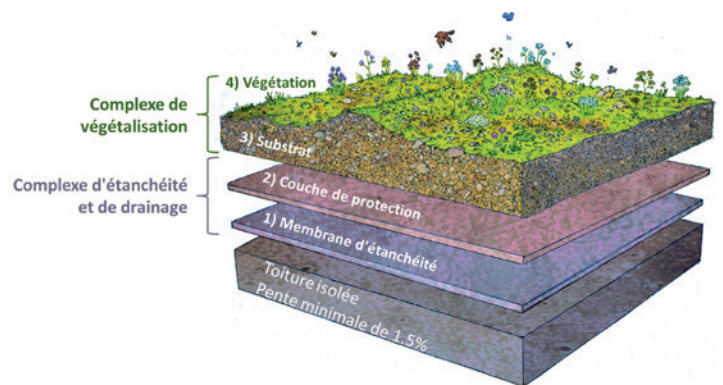
La tendance actuelle privilégie la réalisation de toitures extensives, moins contraignantes que les toitures intensives par rapport au poids et à l'entretien notamment. On assiste également à l'émergence de nouvelles utilisations telles que les potagers sur les toits ou des combinaisons entre les panneaux solaires et une végétalisation.

2.3 De quoi est constituée une toiture végétalisée ?

Une toiture végétalisée est un aménagement composé d'un ensemble de matériaux permettant le développement à long terme de végétaux. Recréer et surtout assurer dans le temps les conditions favorables à la croissance des végétaux sur une toiture n'est pas aisé et demande des connaissances de différents corps de métiers (ingénieurs civils, étancheurs, jardiniers, architectes paysagistes, etc.).

Une végétalisation implique l'ajout de différents matériaux supplémentaires par rapport à une toiture conventionnelle. Il s'agit d'une sorte de "sandwich" avec en partant du bas : une couche de protection assurant l'étanchéité, un pare-racine, éventuellement une couche drainante (appelée aussi couche de rétention), un substrat et une strate de végétaux.

Dans le cas de toitures végétalisées, le **substrat** est l'élément clef. Sa composition et son épaisseur doivent permettre l'enracinement et procurer l'eau, les éléments nutritifs et l'aération aux racines des végétaux. La création d'un substrat idéal pouvant être réutilisé pour toutes les toitures extensives demeure un vœu irréaliste car il faut prendre en compte les objectifs visés, la disponibilité des matériaux, etc. Heureusement, il existe des recommandations, des normes et des exemples pour guider les choix (par exemple Fiche conseil de l'Etat de Genève ou site du Spadom, Ville de Lausanne).



2.4 Quels sont les éléments les plus importants lorsque l'on planifie une toiture végétalisée extensive ?

Pour permettre aux plantes de prospérer sans porter atteinte au bâtiment et à ses occupants (sans risque de pénétration des racines dans la couche d'étanchéité) et pour prendre en compte les contraintes liées à la limite de la charge porteuse du toit, le respect de certaines règles est primordial.

Ainsi, les éléments de base lors de la planification d'une toiture végétalisée extensive sont :

- la portance du toit (la charge admissible calculée par les ingénieur-es civil-es),
- l'évacuation de l'eau,
- les composants du substrat,
- la végétation attendue (spontanée, type de mélange grainier semé, etc.),
- l'entretien futur (1 à 2 fois par année pour les toitures extensives),
- et la sécurité (norme de sécurité EN 795).

Une toiture extensive n'est généralement pas accessible au public et ne nécessite pas de garde-corps ou de barrière permettant d'assurer la sécurité. En revanche, des systèmes antichute telles que des lignes de vie doivent être mis en place (norme de sécurité EN 795).

Une planification est donc essentielle et il est nécessaire de faire appel aux différents professionnels à chaque étape, de se référer aux documents techniques, recommandations et textes réglementaires.

2.5 Où trouver des aides pour réaliser une toiture végétalisée à Genève ?

A Genève, il n'existe pour l'heure pas de soutien systématique aux projets de toitures végétalisées. Lors de nouvelles constructions, une végétalisation est recommandée, voire parfois exigée, comme mesure de remplacement ou de compensation (Loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage LPN - RS 451, art. 18 et 18b.).

Un "coup de pouce" peut être sollicité auprès de :

- **L'Office cantonal de l'agriculture et de la nature (OCAN)** : le programme Nature en ville propose des subventions pour la végétalisation des toitures dans le cadre de nouvelles constructions ou lors de rénovations. Une demande de soutien est à envoyer sous www.1001sitesnatureenville.ch/creer-votre-site/financer-votre-projet/ ;
- **L'Office cantonal de l'eau (OCEau)** : dès 2015, à Genève, la végétalisation d'une toiture permet de diminuer les taxes de la composante "eaux pluviales" (Règlement relatif aux taxes d'assainissement des eaux (RTAss - L 2 05.21)). Une toiture végétalisée respectant la norme SIA 312 de la Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA 312, 2013) permet un abattement (voir chapitre 3.2.1) supplémentaire de 50 % sur la composante "eaux pluviales". La diminution de la taxe dépend notamment de la surface de toiture. Les modalités sont indiquées dans le calcul de la taxe unique de raccordement (TUR).

A Genève, la plupart des toitures végétalisées extensives sont réalisées par les étancheurs. Selon le projet, ils peuvent faire appel à des jardiniers ou des architectes paysagistes. Il existe également des entreprises qui proposent leurs produits spécifiques pour la végétalisation et réalisent ces aménagements "clef en main". Pour un projet de qualité incluant la biodiversité, il est nécessaire de prendre en compte la répartition des compétences et d'impliquer des professionnels "du végétal".

3. Quels sont les services rendus par les toitures végétalisées ?

Les toitures végétalisées font partie des aménagements permettant d'améliorer les conditions de vie en ville à travers la promotion de la biodiversité, la gestion de l'eau, la protection des matériaux du toit ou encore l'amélioration du cadre de vie. Les toits occupent une surface potentielle importante dans une ville de plus en plus dense, ils représentent environ 20% de la surface construite.

Les services rendus par les toitures végétalisées dépendent de la qualité de l'aménagement, du contexte et des attentes. L'amélioration de la biodiversité et la gestion de l'eau des toitures végétalisées seront décrits dans ce document sans pour autant oublier les autres services.



Différentes espèces d'orpins

3.1 Quelle biodiversité se développe sur les toitures végétalisées extensives?

Les inventaires floristiques et entomologiques récemment conduits confirment l'importance des toitures végétalisées en tant que refuges pour la biodiversité en ville (Rochefort et al. 2016). Ainsi, 35 espèces végétales vasculaires menacées (une plante vasculaire est une plante avec des tiges, feuilles et racines, les mousses et les lichens n'en font pas partie) dont une espèce en danger au niveau national (*Althaea hirsuta*) et trois espèces de

haute priorité au niveau cantonal (*Aïra caryophyllea*, *Galium parisiense*, *Geranium sanguineum*) ont été identifiées lors des relevés à Genève. Pour les mousses sept espèces menacées ont été trouvées dont une menacée d'extinction au niveau suisse (*Pseudocrossidium revolutum*). De même, une nouvelle espèce de carabes à Genève (famille des coléoptères Carabidés) inscrite sur la liste des espèces menacées de Suisse a également été observée (*Amara kulti*). Des observations similaires sont constatées dans d'autres villes (Paris, Londres) montrant l'importance que peuvent jouer ces aménagements (ARB, 2021).

Pour favoriser la biodiversité sur une toiture végétalisée, on peut s'inspirer de la composition et de la structure de milieux naturels à forte valeur patrimoniale tels que les dalles rocheuses, les alluvions et les prairies sèches au sol superficiel irrégulier (à faibles réserves en eau et nutriments, soumis à des températures élevées et présentant des creux et reliefs offrant des abris pour la faune et la flore).

Lors d'une végétalisation, ces variations d'épaisseurs du substrat et les aménagements associés pour la faune et la flore (branchages et souches de bois, sable, cailloux, zone d'eau provisoire, etc.) sont des éléments clefs permettant de créer une multitude de conditions variées propices à la diversité des espèces (SIA 312, 2013).

La qualité de la biodiversité sur une toiture extensive dépendra donc beaucoup de l'épaisseur, de la répartition et de la composition du substrat, des structures et végétaux présents et de l'entretien. Ainsi, choisir des espèces indigènes spécifiques et créer une multitude de petites structures (Figure 4) favorise la biodiversité.



Une espèce rare et vulnérable se réfugie sur les toitures végétalisées genevoises : la canche caryophyllée (*Aïra caryophyllea*), une graminée discrète aux fleurs minuscules.

Vulnérable sur le plan helvétique, elle est même au bord de l'extinction à Genève. Inféodée aux biotopes sableux secs en forte régression régionale, elle a trouvé refuge sur quelques toitures végétalisées qui lui offrent des milieux de substitution.

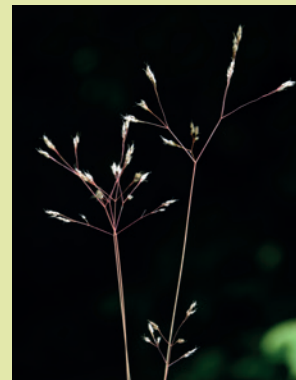


Photo : *Aïra caryophyllea* (©HEPIA / P. Prunier)


Type de végétaux pour végétalisation extensive				
				
Aspect	Végétation rudérale (couverture clairsemée)	Prairie fleurie* (couverture clairsemée)	Prairie fleurie*, avec plus de graminées	Prairie fleurie*, avec graminées, gazon, vivaces
Epaisseur de couche (après tassement)	A partir de 8 à 10 cm	A partir de 12 cm	A partir de 15 cm	A partir de 20 cm
Type de végétation	Sedums (orpins), mousses, quelques herbacées	Sedums (orpins), herbacées, quelques graminées	Graminées, herbacées	Graminées, quelques herbacées

Figure 4 - Type de végétalisation extensive et semi intensive possible en fonction de l'épaisseur du substrat - d'après SIA 312, modifié (© SIA 312)

* le terme "Prairie fleurie" est pris au sens large et non d'un point de vue agronomique.

3.1.1 À Genève, quelles espèces trouvent-t-on sur les toitures extensives ?

L'inventaire effectué sur 30 toitures végétalisées genevoises (extensives et intensives) a recensé 298 espèces végétales (2/3 des espèces étaient présentes uniquement sur les toitures extensives). Ce nombre correspond à 21 % de la flore vasculaire et 10 % des mousses de l'ensemble de la flore genevoise (Rocheffort et al. 2016) ! Sur un si petit échantillon de territoire, ces chiffres reflètent la contribution importante des toitures à la biodiversité régionale en tant que refuge en milieu urbain. Les deux espèces les plus fréquentes recensées sont la petrorhagie saxifrage (*Petrorhagia saxifraga*) et l'orpin blanc (*Sedum album*) (Figure 5).

3.1.2 Quels rôles jouent les toitures extensives pour les pollinisateurs ?

Le rôle crucial des insectes pollinisateurs (abeilles domestiques ou sauvages, papillons, syrphes, etc.) est régulièrement mis en avant pour les services qu'ils rendent notamment dans la production de notre alimentation. Différentes études montrent que les toitures végétalisées peuvent fournir des habitats en milieu urbain en fournissant "gîte et couvert" à différents pollinisateurs (Prunier et Steffen ed., 2018 ; Sonnay et Pellet, 2016), mais avec des limites liées à la nature du substrat et de son épaisseur.

Une toiture végétalisée attire les pollinisateurs lorsqu'elle offre des ressources en pollen et nectar adaptées à chaque espèce (Figure 6). Certains pollinisateurs sont généralistes (polylectiques) et peuvent prélever du pollen et du nectar sur de nombreuses espèces végétales de familles diverses, tandis que d'autres sont étroitement liés à une famille de plantes (oligolectiques). La composition florale influencera donc la biodiversité entomologique de la toiture.

A Genève, 42 % des espèces végétales inventoriées sur les toitures végétalisées sont favorables aux pollinisateurs (Rocheffort et al., 2018). Pour augmenter l'attractivité des toitures végétalisées pour les abeilles sauvages, il conviendrait de favoriser les espèces des genres : *Onobrychis*, *Carduus*, *Cirsium*, *Centaurea*, *Knautia*, *Scabiosa*, *Allium* ou *Campanula* (Sonnay et Pellet, 2016). Cependant, il faut une épaisseur de substrat suffisante pour leur croissance.

Une majorité d'abeilles sauvages suisses sont terricoles. Elles aménagent des galeries au sol pour y déposer leurs œufs. Elles n'utilisent donc pas les hôtels à insectes et trouvent difficilement des zones de nidification favorables en ville, où les sols sont souvent imperméables. Pour pouvoir nidifier sur les toitures végétalisées, les abeilles terricoles doivent avoir accès à des sols meubles. Il est donc nécessaire que le substrat présente une épaisseur suffisante d'au moins 15 cm et comporte des matériaux plutôt sablonneux car pour creuser leur cavité, les matériaux ne doivent pas être ni trop friables ni trop argileux. On peut utiliser par exemple un mélange d'horizon B de sol (correspond à la partie du sol sous la première couche de terre végétale) complété par du sable non lavé qui contient encore de l'argile. Le sable pour bac à sable ne convient pas car il est trop friable (Pro Natura). Les substrats classiques (de type pouzzolane) sont donc moins favorables à la nidification des abeilles sauvages terricoles (Prunier et Steffen ed., 2018).



Figure 5 : Les espèces les plus fréquentes sur les toitures extensives inventoriées : la petrorhagie saxifrage (*Petrorhagia saxifraga*) et l'orpin blanc (*Sedum album*) ; probablement issues de mélanges de graines (©HEPIA / P. Prunier)

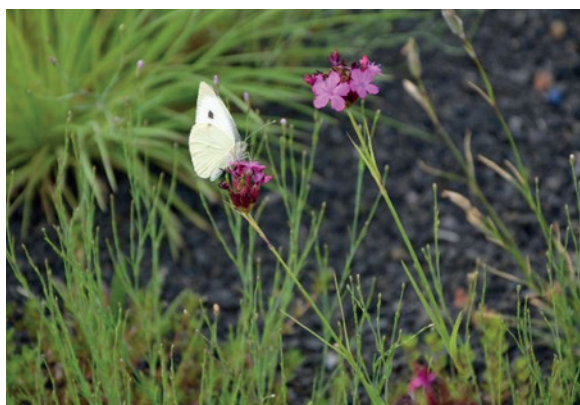


Figure 6 : les pollinisateurs, comme ce papillon, trouvent du nectar sur les toitures végétalisées extensives (©HEPIA / P. Prunier)

3.1.3 Quels autres invertébrés sont présents sur les toitures extensives à Genève ?

Les toitures végétalisées jouent un rôle important pour l'entomofaune urbaine en tant que refuge pour des espèces tendant à disparaître au sol. Différents invertébrés peuvent ainsi y réaliser une partie de leur cycle de vie, ils y trouvent leur nourriture et des zones pour nidifier. Dans un contexte de déclin des insectes, la présence d'invertébrés sur les toits peut être mise en avant en tant que bénéfique, d'autant plus que les invertébrés vivants sur les toits sont discrets et n'ont pas d'intérêt à coloniser l'intérieur des logements. Les moustiques sont attirés par l'eau stagnante qui est rare sur une toiture extensive, mais qui peut en revanche exister sur les balcons dans des sous pots par exemple.

Depuis plus de 30 ans en Suisse, les carabes (*Coleoptera*, *Carabidae*) et les abeilles (*Hymenoptera*, *Apidae*) sont particulièrement bien étudiés sur les toitures végétalisées. Ce sont de bons indicateurs car ils sont sensibles aux perturbations du milieu (Rocheffort et al., 2016 ; Prunier et Steffen ed., 2018 ; Sonnay et Pellet, 2016). D'autres invertébrés sont présents selon l'épaisseur du substrat, la quantité de matière organique ou le type de végétaux. Selon les espèces, la colonisation s'effectue plus ou moins rapidement. Une différence entre des toitures récentes et de plus de 10 ans a ainsi été constatée.

3.1.4 Quels animaux les toitures végétalisées peuvent héberger ?

Les toitures végétalisées peuvent être attractives pour beaucoup d'animaux différents. L'accessibilité est cependant limitée pour les espèces peu mobiles et avantage les espèces volantes (certains invertébrés ou oiseaux). Un projet de l'Office fédéral de l'environnement s'est intéressé aux oiseaux nicheurs au sol, tel que le vanneau huppé (*Vanellus vanellus*), une espèce menacée en Suisse qui utilise certaines toitures en Suisse alémanique (Baumann, 2010). D'autres oiseaux plus fréquents tels que la bergeronnette grise ou le rougequeue noir sont également présents sur les toits pour y trouver leur nourriture (graines ou insectes).

Globalement, il apparaît qu'une connexion entre le toit et le sol par un mur végétalisé ou des plantes grimpantes favorise la présence de groupes d'espèces non volantes. La proximité de végétaux au sol, la qualité biologique jouent également un rôle, mais on connaît encore mal les différents critères qui favorisent la présence d'animaux sur une toiture végétalisée (Braaker, 2014).

⊕ EN BREF

Quelques éléments importants pour offrir le gîte et le couvert aux animaux sur une toiture végétalisée

- Une profondeur de substrat suffisante d'au minimum de 12 cm avec des épaisseurs variables (des creux et des reliefs) ;
- La présence de différentes strates végétales depuis les mousses jusqu'aux herbes ;
- La présence d'espèces indigènes diversifiées, mellifères et nectarifères ;
- Des structures telles que les branches, du bois flotté, des galets ou des cailloux ou tout élément naturel qui permet de créer des micro-biotopes.



Toitures végétalisées avec des aménagements associés pour la faune et la flore.

3.2 Les toitures végétalisées ont-elles des fonctions hydrologiques ?

Les toitures végétalisées permettent de participer à la gestion du régime hydrologique urbain en diminuant les risques d'engorgement des réseaux d'évacuation et donc d'inondations. Ceci s'obtient par plusieurs effets (Figure 7) :

- Le débit de pointe de la pluie dans le système d'évacuation est retardé et réduit ;
- Le volume écoulé dans le système d'évacuation est inférieur au volume reçu par la toiture (abattement par rétention d'eau sur la toiture).

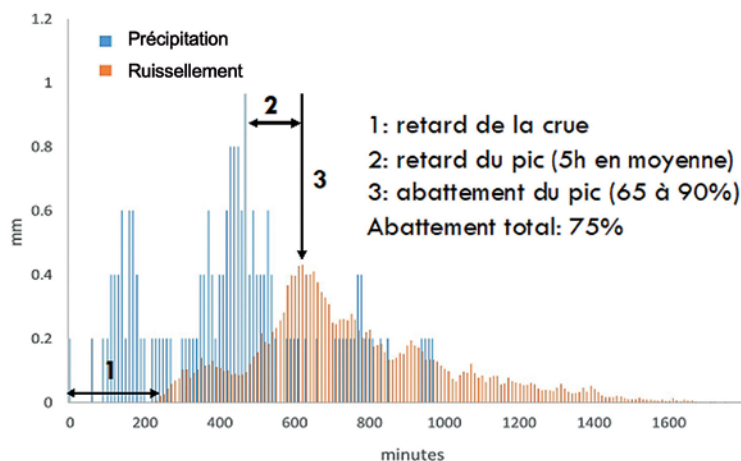


Figure 7 : Exemple de précipitations observées sur une toiture végétalisée à Genève ; en abscisse, le temps (min) ; en ordonnée, les quantités (mm) de pluie (bleu) et d'eau écoulée de la toiture (orange).

3.2.1 Quelle quantité d'eau de pluie peut retenir une toiture végétalisée ?

L'abattement moyen correspond à la différence entre la quantité de précipitations reçues et la quantité d'eau drainée ou évacuée sur une moyenne annuelle. Cet abattement est considéré notamment pour évaluer le rôle des toitures végétalisées dans la modération des risques de crues et d'inondations urbaines.

Les normes allemandes (FLL, 2018) estiment pour les toitures extensives un abattement annuel de 40 à 60 %. Ce qui signifie que durant une année, une toiture végétalisée extensive va retenir 40 à 60 % de l'eau qu'elle reçoit. Les chiffres moyens peuvent prêter à confusion car l'abattement d'une toiture végétalisée est surtout valorisé lors d'épisodes pluvieux modérés. A Genève et selon les pluies, l'abattement annuel varie entre 0 (pour des pluies > 40 mm h⁻¹) et 100 % (pour des pluies < 10 mm h⁻¹) (Rocheffort et al., 2016). Dans le cas de pluies exceptionnelles très localisées, l'effet des toitures est faible à nul car il n'y a plus d'abattement une fois la toiture ennoyée, elle est saturée d'eau ce qui signifie que le débit sortant est alors égal à celui de la pluie incidente.

3.2.2 Quelles performances dans le retardement et la réduction du débit d'évacuation des pluies ?

Les connaissances actuelles montrent que les toitures végétalisées extensives permettent de réduire le débit de pointe d'évacuation des pluies sur la toiture de 22 à 93 % (écrêtage) et de le retarder de 0 à 30 minutes. Ceci dépend évidemment des différents paramètres de la toiture et de l'environnement. En théorie, plus le substrat sera épais et rétenteur, plus les performances seront élevées. Une toiture en pente aura des performances relativement réduites (Li et al., 2014 ; Mentens et al., 2006). Toutefois, sur des toitures extensives (plates), il semble que l'épaisseur du substrat ait peu d'influence sur ces valeurs.

A Genève, sur les toitures végétalisées on observe un temps de retard moyen de 3 à 5 heures (Rocheffort et al., 2016) et des pics de crue (pluies > 10 mm h⁻¹) amortis de 65 à 90 % indépendamment de l'épaisseur du substrat. Ceci en se souvenant que les antécédents climatiques modulent très fortement cette réponse hydrologique de la toiture, et que les fortes pluies s'écoulent sans réduction de débit une fois la toiture saturée en eau.

4. Substrat et végétalisation d'une toiture extensive

4.1 Les constituants d'une toiture végétalisée

4.1.1 Quels sont les différents constituants d'une toiture végétalisée ?

Une toiture végétalisée est formée d'une succession de matériaux. On distingue :

- Le substrat
- La couche filtrante
- La couche drainante supplémentaire (ajoutée si le substrat ne peut assurer ce rôle)
- Le système d'étanchéité associé à un pare-racines

Le substrat est détaillé au chapitre suivant (4.1.2.)

La couche filtrante est généralement composée d'un tissu géotextile, un matériau synthétique dit "non tissé" avec une masse surfacique de 100 à 150 g/m² (Norme SIA 312, 2013). Elle empêche le substrat de passer dans la couche située en dessous. En revanche, elle doit pouvoir être traversée par les racines à la recherche d'eau et d'espace (Norme SIA 312, 2013).

La couche drainante assure l'évacuation de l'eau en excès, évitant ainsi l'asphyxie et la mort des racines. Ce rôle peut être assuré soit uniquement par le substrat, qui est composé de matériaux minéraux drainants tels que des roches volcaniques, du gravier ou de l'argile expansée, soit par une couche séparée supplémentaire, équipée d'alvéoles ou de godets. Celle-ci peut également servir à retenir l'eau (couche de rétention). En effet, lorsque le substrat ne permet pas de retenir une quantité d'eau suffisante pour la survie des végétaux (en général car l'épaisseur ou la composition du substrat ne le permet pas), une couche de rétention supplémentaire est mise en place (SIA 312, 2013). Bien que celle-ci soit souvent conseillée par les revendeurs, elle présente un mauvais bilan écologique lors de sa production et le plastique qui la compose est souvent difficilement recyclable. Il est parfois possible de s'en passer grâce à un substrat épais et de bonne composition (chapitre 4.2.4) en tenant compte bien entendu de la portance du toit.

Le système d'étanchéité d'une toiture végétalisée doit assurer l'étanchéité à long terme du toit sans risque de perforation par les racines (SIA 271, 2007). Différentes familles de matériaux sont utilisées notamment, les lés d'étanchéité à base de bitume élastomère, de l'asphalte coulé ou des lés de matière synthétique de type TPO (polyoléfine thermoplastique) ou PVC (Chlorure de polyvinyle) sous forme de rouleaux ou de bâches souples.

Le pare-racine permet de protéger la couche d'étanchéité de la perforation par les racines. Il peut s'agir d'une protection chimique (biocide), incorporée directement dans l'étanchéité dont les problématiques écologiques sont évoqués dans la partie 6.7, ou d'une protection physique de type membrane PVC d'une épaisseur variable comprise entre 0,8 et 1mm.

4.1.2 Qu'appelle-t-on un substrat de toiture ?

Un substrat pour toitures végétalisées est un sol artificiel (appelé aussi "Technosol"), reconstitué à partir de divers matériaux naturels ou produits industriellement, éventuellement recyclés. Le substrat est généralement léger, de manière à répondre aux contraintes de portance du toit. Comme un sol, il est composé d'éléments minéraux et organiques. Il s'agit de l'élément le plus important d'une toiture végétalisée (Young et al., 2014), ses propriétés physiques et chimiques devront fournir les contextes de vie favorables aux végétaux dans des situations souvent extrêmes (températures, manque d'eau, etc.). Il n'est donc pas judicieux de chercher à économiser des matériaux ou des moyens à ce niveau.

Il est possible de composer soi-même son substrat dans le cas par exemple où l'on désire de réutiliser ou d'utiliser des matériaux recyclés localement, lors de chantiers de terrassements ou de récupération des graviers déjà en place sur un toit par exemple (Figure 8). Il existe aussi sur le marché suisse des substrats "tout prêts" conçus spécialement pour les toitures extensives (par exemple : Substrat extensif – RICOTER Erdaufbereitung AG). Cette solution est cependant plus coûteuse et leur production induit un bilan écologique souvent défavorable.



Figure 8 : Un substrat composé de 40% de gravier récupéré sur la toiture et recyclé, 50% de tuiles concassées et 10% de compost (©HEPIA/ E. Renaud)

En Suisse, il existe, de nombreuses recommandations (non obligatoires) liées aux caractéristiques des substrats à utiliser pour les toitures extensives (voir chapitres suivants). Dans le cas de substrats commerciaux ces informations sont souvent renseignées. En revanche, dans le cas d'une fabrication "maison" du substrat, il est conseillé de faire appel à un laboratoire (région de Genève : Laboratoire d'analyse des sols, HEPIA ou Laboratoire et bureau d'étude au service de l'agriculture et de la protection de l'environnement – SOL-CONSEIL, par exemple) pour s'assurer que ce dernier répond aux recommandations et est adapté à l'usage désiré.

4.1.3 Quelles sont les fonctions d'un substrat de toiture ?

Un substrat de toiture doit remplir au moins trois fonctions essentielles :

- Fonction de **support**, permettant l'ancrage des végétaux ; les racines doivent trouver suffisamment d'espace pour se développer,
- Fonction de **nutrition** des végétaux ; les nutriments nécessaires aux plantes doivent être disponibles,
- Fonction de **réten-tion d'eau** pour la végétation nécessitant de l'eau en suffisance pour se développer.

4.1.4 De quoi est constitué un substrat ?

Les substrats pour toitures extensives sont généralement composés à plus de 65 % de matériaux minéraux de taille relativement grossière (graviers, roche volcanique, tuiles ou argile expansée concassées, etc.), complétés par des matériaux organiques (compost, terre végétale, paille de roseaux, etc.) (Figure 9).

Avec cette composition, les éléments grossiers sont en contact et forment un ensemble autoporteur ce qui permet de ménager des espaces vides. Ceux-ci vont assurer une porosité et une perméabilité importante. L'eau s'infiltre entre les éléments grossiers du substrat, dans ce que l'on appelle la macroporosité, mais elle peut également être retenue dans des microcavités que possèdent certains de ces matériaux tels que la brique concassée. Ceci contribue à assurer la colonisation par les racines et une bonne circulation de l'eau.

En Suisse, sur les toitures extensives, les normes de l'Association Suisse de Verdissement des Edifices (ASVE) préconisent une macroporosité supérieure ou égale à 40 % du volume total du substrat (ASVE, 1998/2000) ; c'est-à-dire suffisamment d'espaces vides entre les éléments grossiers du substrat (Figure 10). Cet espace vide sera occupé par de l'air (macroporosité) ou des particules fines minérales et organiques formant une porosité fine (microporosité). Elle assure la rétention d'eau et de nutriments.

Le taux de matière organique a historiquement été faible de manière à ne pas favoriser les plantes adventices indésirables et par conséquent un entretien supplémentaire. Il est recommandé par les différents centres de compétence un taux de matière organique de 6 à 10 % de volume de substrat pour les toitures extensives. Pourtant en réalité et d'après l'étude réalisée sur les toitures de Genève (Roche-fort et al., 2016), le taux de matière organique est souvent en dessous



Figure 9 : Exemple de différents matériaux pouvant constituer un substrat (©HEPIA / T. Lemaître)

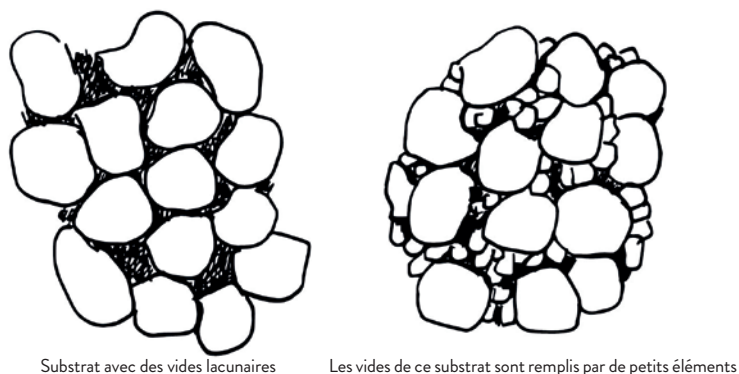


Figure 10 : Deux substrats avec des espaces vides différents ; le premier avec plus de vides (en noir) que le second (remplis par des éléments grossiers) (dessins E. Renaud /HEPIA)

des recommandations (4,7 % en moyenne contre 6-8 % recommandé par la FLL (2018)). Ceci pourrait expliquer la faible couverture végétale sur certaines toitures. La partie organique du substrat provient quant à elle majoritairement de l'ajout de compost, parfois de tourbe ou de tout autre composé végétal (par exemple de la paille de roseaux, etc.). Au cours du temps, cette partie est renouvelée par les organismes vivants, les résidus végétaux et les produits en décomposition (Adivet et al., 2018). Il n'est pas nécessaire, voir déconseillé, d'apporter des engrais.

La partie minérale d'un substrat peut être composée de divers matériaux tels que des tuiles concassées, de la pouzzolane (roche volcanique), de l'argile expansée, ou de tout autre matériau minéral de faible masse volumique de préférence. En effet, le lien entre cette masse volumique et la portance du toit déterminera l'épaisseur maximale de substrat admissible.

Il n'existe pas de substrat unique pour toutes les toitures végétalisées extensives car les possibilités sont très nombreuses et doivent avant tout répondre aux contraintes locales et aux objectifs visés. En revanche, on connaît les paramètres importants pour le développement des végétaux qui sont principalement l'épaisseur (Chapitre 4.2.6) et la réserve en eau du substrat (Chapitre 4.2.8).

⊕ EN BREF

La composition "idéale" d'un substrat (en pourcentage du volume)

- Plus de 65 % de substrat minéral
- 10 % de matière organique
- 40 % minimum de macroporosité, grâce à des éléments de taille grossière et des espaces vides

4.1.5 Quelles sont les caractéristiques importantes des éléments minéraux d'un substrat ?

La granulométrie, c'est-à-dire la taille des matériaux de la partie minérale du substrat influe fortement sur la porosité du substrat, et donc sur le stockage de l'eau. Pour obtenir une macroporosité d'au moins 40% comme recommandé en Suisse (ASVE 1998/2000), il est nécessaire que cette partie minérale soit composée par au moins 50 % de matériaux de taille supérieure à 4 mm et pas plus de 15 % de matériaux très fins (moins de 63 µm) (FLL, 2018).

La capacité de rétention en eau du substrat est une des caractéristiques principales du succès de la végétalisation et la fraction minérale peut jouer un rôle important. Certains matériaux minéraux comme la tuile concassée sont poreux et disposent donc d'une microporosité qui leur confère la capacité de retenir de l'eau tout en gardant un poids relativement faible (Figure 9). Ces matériaux sont donc à privilégier.

Lorsqu'un substrat est composé par des matériaux en partie recyclés, il est nécessaire de s'assurer qu'ils ne soient pas pollués et qu'ils respectent les normes en vigueur (Ordonnance sur les atteintes portées aux sols, 2016). Les tuiles concassées recyclées, selon leur origine (rurale ou urbaine) peuvent contenir des polluants (métaux lourds, HAP). En Suisse, la plupart des mélanges de substrat contenant des tuiles concassées proviennent de rebuts de tuileries et sont donc en principe exempts de polluants. Pour l'utilisation de matériaux recyclés usagés, une analyse des métaux lourds en laboratoire est conseillée (www.hesge.ch ou <http://www.sol-conseil.ch/>).

⊕ EN BREF

Un substrat extensif

- Minimum 50 % de matériaux de taille supérieure à 4 mm
- Moins de 15 % de matériaux très fins
- Utiliser des matériaux poreux pour leur capacité à stocker l'eau
- Si utilisation de matériaux recyclés, faire une analyse en laboratoire

4.1.6 Quelle recommandation quant à l'épaisseur du substrat ?

L'épaisseur du substrat et sa composition ont un impact important sur les végétaux, sur le stockage d'eau et la réserve de nutriments (Figure 11) (Nardini 2012, Thuring, 2010). On considère qu'une épaisseur inférieure ou égale à 10 cm augmente le risque de gel et de manque d'eau. En Suisse, les normes SIA préconisent une épaisseur minimum de 10 cm, la ville de Lausanne conseille un minimum de 12 cm si la statique du bâtiment le permet (Ville Lausanne, 2018). A Genève, un minimum de 12 cm est également préconisé pour la survie des végétaux et pour que le toit puisse assurer les bénéfices attendus (fiche conseil : "Les toitures végétalisées").



Figure 11 : Sur une même toiture, des variations d'épaisseurs de substrat (1 = 24 cm, 2 = 18 cm et 3 = 12 cm) vont influencer l'expression du mélange de graines initial (©HEPIA/ P. Prunier).

4.1.7 Existe-t-il des substrats plus écologiques ?

Les substrats peuvent avoir des impacts néfastes sur l'environnement par leur provenance et le transport qu'ils nécessitent (roches volcaniques ou pouzzolane), leur processus de fabrication énergivore (billes d'argile) ou encore en induisant une destruction de certains écosystèmes (tourbière). Pour améliorer l'impact environnemental des toitures végétalisées, l'utilisation de matériaux locaux et recyclés apparaît comme une option à privilégier.

Dans cette démarche, le canton de Genève et la ville de Lausanne notamment encouragent, via une subvention, l'utilisation de matériaux recyclés ou non valorisables tels que les tuiles, les déchets d'excavation ou encore les céramiques pour autant qu'ils ne soient pas pollués (fiche conseil : " Les toitures végétalisées "). Des essais menés à Genève ont montré de bons résultats et l'absence de polluants lors de la revalorisation de matériaux tels que la céramique, la moraine issue de terrassement et les bétons de démolition (Prunier et Steffen ed., 2018). Lors d'une rénovation de toiture, il est aussi possible d'éviter la mise en décharge du gravier présent en le revalorisant dans un mélange de substrat. En cas, d'utilisation de matériaux recyclés, des analyses en laboratoires sont conseillées afin de s'assurer que le substrat créé répond aux recommandations.

On trouve sur le marché des substrats contenant déjà des matériaux revalorisés tels que la tuile ou la brique concassée, cependant actuellement aucune filière de récupération et de distribution de ces matériaux n'a été mise en place. Le poids des matériaux est aussi un facteur limitant le recyclage car la plupart sont plus lourds que les roches volcaniques des substrats commerciaux classiques pour toitures végétalisées.

Une autre source de pollution est celle liée au pare-racine dans la couche d'étanchéité. En effet, pour éviter la pénétration des racines un herbicide peut être intégré dans la couche bitumineuse d'étanchéité des toitures. Malheureusement, cet herbicide se retrouve ensuite dans les eaux de ruissellement, contaminant notre environnement (notamment Preventol®B2). L'information est souvent inaccessible, et les installateurs ou les planificateurs peu sensibles ou avertis. L'Institut fédéral suisse EAWAG a recommandé de faire appel à des produits de remplacement efficaces à moindre dose (Preventol®B5 ou de l'Herbitect®) (EAWAG, 2009), mais ceci ne présage pas de leur nocivité. Il est impératif d'exiger ces informations avant la réalisation du projet.

4.1.8 Existe-t-il des normes concernant la capacité de rétention en eau d'un substrat ?

La capacité de rétention en eau est le facteur primordial pour le bon développement des végétaux. La composition du substrat, son épaisseur ainsi que sa granulométrie définissent sa capacité de rétention en eau. D'ailleurs les normes liées à ces différents facteurs ont principalement pour objectif d'assurer une capacité de rétention en eau suffisante (ASVE, 2007).

On prend en compte généralement deux mesures de capacité de rétention en eau : (1) le volume d'eau total disponible, qui correspond à toute l'eau que peut contenir le substrat à saturation c'est-à-dire la porosité totale du substrat et (2) la capacité utile de rétention, qui correspond à l'eau retenue (qui ne s'écoule pas après une pluie) et assurera la vie de la plante. En Suisse, les normes de l'Association suisse de verdissement des édifices (ASVE, 2007) préconisent un volume poral total supérieur ou égal à 60 % du volume total du substrat et une capacité utile de rétention d'eau supérieure ou égale à 20 %. Ces données sont souvent indiquées dans les substrats commerciaux. Pour des mélanges spécifiques "maison", l'aide d'un spécialiste ou d'un laboratoire d'analyse est nécessaire. Les techniques de mesure correspondantes sont définies par différents standards (ceux de Adivet et FLL sont détaillés), elles s'inspirent toujours des mesures sur support de culture et sont donc simples à mettre en œuvre.

Ces propriétés recommandées sont exprimées en pourcentage du volume du substrat : où l'on retrouve donc l'influence essentielle de son épaisseur. Si le substrat ne permet pas de répondre aux recommandations par son épaisseur ou ses performances de rétention d'eau, il est alors conseillé de mettre en place une couche de rétention.

EN BREF

Pour retenir l'eau un substrat extensif devrait avoir :

- Epaisseur minimum de 12 cm
- Volume poral total au minimum de 60 % du volume total du substrat
- Capacité utile de rétention au minimum de 20 % du volume total du substrat

4.1.9 Comment le substrat évolue-t-il au cours du temps ?

L'évolution physique et chimique de substrats pour toitures végétalisées dans le temps a fait l'objet de peu d'études jusqu'à présent. Getter et al. (2007) ont comparé le taux de matière organique d'un substrat neuf au même substrat après 5 ans sur une toiture végétalisée. Les résultats montrent que le taux de matière organique a doublé (de 2,33 à 4,25 %). Ceci est également confirmé par l'étude de toitures anciennes (5 ans et plus) sur Genève (Rocheffort et al., 2016), avec des teneurs relativement élevées de matière organique qui ne sont pas dépendantes de l'âge de la toiture, même si elles restent inférieures aux recommandations de FLL (2018). Notons que les teneurs de départ lors de la mise en place n'ont jamais pu être connues.

De même, les propriétés de porosité et de réserve en eau des substrats anciens se sont révélées dans l'inventaire genevois proches des recommandations pour des toitures neuves dans l'inventaire genevois. Il semble donc que les propriétés de fertilité obtenues lors de l'installation, par mélange d'éléments grossiers, de matériaux fins et de matière organique, se conservent dans le temps. On peut donc s'appuyer sur les normes et les protocoles associés pour évaluer le potentiel d'un substrat de toiture.

4.2 Techniques de végétalisation

4.2.1 Quels sont les différents modes de végétalisations ?

Il existe différents modes de végétalisation extensive. Les plus courants en Romandie sont :

- Le semis diversifié de graines, associé ou non à des boutures d'orpins (fragments de tiges).
- La plantation de mini-mottes (petits pots avec des jeunes plantes).
- La pose de plaques pré-cultivées ou de rouleaux de végétaux (notamment des orpins).
- L'utilisation de la technique de "l'enherbement direct".
- La récupération du substrat d'une toiture végétalisée existante où subsistent encore des graines ou des boutures.

Le choix d'un mode de végétalisation dépend des objectifs, des contraintes, de la surface disponible et des moyens et techniques à disposition. La plupart du temps, on utilise des mélanges grainiers spécialement conçus pour les toitures végétalisées. A Genève, il existe des mélanges spécifiques d'espèces indigènes de provenance locale. Ils sont disponibles chez les semenciers (actuellementment www.hauenstein.ch ou www.ufasamen.ch) et comportent la mention "Mélange Genève". La densité de graines à semer varie entre 0,1 et 0,3 grammes de graines au mètre carré sans le support de semis ajouté pour faciliter le semis. C'est la technique la moins onéreuse et la plus simple, mais c'est également celle dont les résultats nécessitent le plus de temps. Il faut compter environ 2 à 3 saisons de croissance végétale pour une végétalisation optimale.

On peut également combiner différents modes de végétalisation sur un même toit. Ainsi, on pourra coupler un semis de graines à une plantation de mini-mottes. Visibles à l'implantation et assurant immédiatement leur fonction, ces dernières sont en revanche sensibles aux périodes de sécheresse en raison de leur faible enracinement (Figure 12).

4.2.2 Qu'est-ce que la technique de l'enherbement direct ?

L'enherbement direct englobe différentes techniques de végétalisation comportant un transfert de semences et/ou du foin d'une prairie source sur une surface à ensemencher. Différents procédés d'enherbement existent, par exemple la technique de l'herbe à semences ou fleur de foin.

Ces techniques favorisent la biodiversité régionale, mais elles nécessitent des connaissances botaniques spécifiques pour évaluer la compatibilité de la prairie source avec l'objectif de végétalisation : les plantes sont prélevées dans des prairies sèches à mi-sèches (de type *Xerobromion* ou *Mesobromion*), aux conditions écologiques proches de celles d'une toiture, mais également pour estimer la période optimale de collecte. Trop tôt, il n'y aura pas encore de graines, trop tard, il n'y en aura plus.

Vous trouverez des informations sur la technique et les surfaces au sol identifiées en Suisse sur www.regioflora.ch. Dans le Canton de Genève, c'est l'Office cantonal de l'agriculture et de la nature (OCAN) qui pourra vous orienter (Tableau 1 page suivante).

Figure 12



Semi manuel d'un mélange grainier



Boutures d'orpins



Mini-mottes de jeunes plants



Plantes et plaques pré-cultivées
(photo ©HEPIA/E. Renaud)

Tableau 1 : Avantages et limites des principales techniques de mise en place de végétaux sur une toiture extensive

Techniques	Avantages	Limites
Semis de graines	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en place rapide • Peu onéreux 	<ul style="list-style-type: none"> • Germination et croissance plus ou moins longue selon la saison
Mini-mottes de jeunes plantes	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en place précise • Rendu visuel rapide 	<ul style="list-style-type: none"> • Moyennement onéreux • Fragile avant l'enracinement • Convient peu sur les toitures extensives (survie à la sécheresse difficile) • Mise en place chronophage
Plaques ou rouleaux pré-cultivés	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en place relativement rapide • Rendu visuel rapide • Possible surtout sur des toitures à faible réserve de charge 	<ul style="list-style-type: none"> • Peu favorable à la biodiversité (en général peu diversifié, surtout constitué d'orpins) • Coût élevé • Génère beaucoup de déchets
Herbes à semences	<ul style="list-style-type: none"> • Préservation du patrimoine génétique local • L'humidité du foin favorise la levée des graines 	<ul style="list-style-type: none"> • Connaissances botaniques nécessaires pour identifier la prairie source et la période de fauche • Logistique élevée sur un temps court (récolte, transport, accès, mise en place)

4.2.3 Pourquoi se préoccuper de l'origine des végétaux ?

Privilégier du matériel végétal certifié "genevois" permet de favoriser les populations locales d'espèces indigènes, qui parfois tendent à régresser. Pourtant, les graines et végétaux vendus pour les toitures extensives n'appartiennent pas tous à des espèces ou sous-espèces présentes dans la région genevoise. Certains, bien que vendus sous le terme "indigènes" avec mention "Mélange Genève", sont parfois issus de cultures provenant d'autres régions, quelquefois lointaines, et peu adaptés aux conditions locales. Les semenciers sont attentifs à ce point (OHS, UFA). Malheureusement, il y a encore peu de jardinerie en Romandie qui fournissent des plantes à partir de graines venant de Suisse. La technique de l'herbe à semences récoltée localement peut alors être une alternative (voir 4.1.2.).

La norme SIA 312 indique différentes classes selon l'origine des graines (Tableau 2). Ces classes fixent le niveau de compensation écologique, elles peuvent constituer un critère d'attribution par les maîtres d'ouvrage ou les autorités lors de soumissions de projets ou de demandes de soutiens financiers.



Tableau 2 : Classes fixant le niveau d'exigence en ce qui concerne l'origine des graines (d'après SIA 312, complété (© SIA 312))

**Classe 1 – “Niveau d'exigence élevée (pour la préservation du patrimoine génétique local).
Végétaux récoltés localement avec un spécialiste”**

Du matériel végétal (graines, foin, bulbes, boutures, etc.) est prélevé au sol uniquement sur le territoire du canton de Genève ou du “plateau ouest” (division de la Suisse en plusieurs régions biogéographiques reconnues par l'Office fédéral de l'environnement). Ce matériel est ensuite placé sur la toiture végétalisée.

Exemple : utilisation à Genève de la technique de l'herbes à semences (voir chap.4.2.2) qui consiste à collecter le produit d'une fauche de prairie sélectionnée du canton de Genève, ceci sous supervision de l'OCAN.

Classe 2 – “Niveau d'exigence moyen haut : écotypes suisses de la même région biogéographique pour espèces régionales différentes”

Le matériel végétal (graines, foin, bulbes, boutures, etc.) provient de plantes indigènes locales du canton de Genève ou du “plateau ouest” (division de la Suisse en plusieurs régions biogéographiques reconnues par l'Office fédéral de l'environnement). Ce matériel est ensuite placé sur la toiture végétalisée.

Exemple : utilisation à Genève de graines d'œillet des chartreux (*Dianthus carthusianorum*) provenant de plantes issues de la région et produite localement dans le canton de Genève ou sur le “plateau ouest”.

Classe 3 – “Niveau d'exigence moyen bas : écotypes suisses formes sauvages d'origine indigène sans différence régionale”

Le matériel végétal (graines, foin, bulbes, boutures, etc.) provient de plantes issues du canton de Genève, mais peut aussi provenir de toute la Suisse. Ce matériel est ensuite placé sur la toiture végétalisée.

Exemple : utilisation à Genève des graines d'œillet des chartreux (*Dianthus carthusianorum*) issus de plantes poussant dans des zones alpines.

Classe 4 – “Niveau d'exigences bas : semences disponibles dans le commerce, sans indication d'origine particulière”

Le matériel végétal (graines, foin, bulbes, boutures, etc.) provient de plantes non indigènes et non locales. Ce matériel est ensuite placé sur la toiture végétalisée.

Exemple : utilisation à Genève des graines d'œillet des chartreux (*Dianthus carthusianorum*) provenant de plantes originaires du Nord de l'Europe ou non indigène par exemple l'orpin du Kamtchatka.

4.2.4 A quelle période semer ?

Travailler avec des organismes vivants impose de cibler les périodes favorables pour leur installation, soit les périodes propices à la germination des graines, hors gel et hors sécheresse prolongés. Actuellement, des périodes de sécheresses de plus en plus longues tendent à recommander de semer à l'automne (septembre-octobre) plutôt qu'au printemps. Cette période semble donner de meilleurs résultats sur des toitures extensives sans aucun arrosage (Prunier et Steffen ed., 2018).

De plus, pour éviter les dommages aux végétaux fraîchement installés, leur mise en place doit être effectuée après que tous les corps de métiers ont fini de travailler sur la toiture. Le semis devra idéalement être réalisé avant ou lors d'une période pluvieuse.

4.2.5 Qu'est-ce que le recouvrement végétal ?

Le recouvrement végétal correspond à la surface du substrat d'une toiture végétalisée recouverte par la végétation vasculaire (une plante vasculaire est une plante avec des tiges, feuilles et racines, les mousses et les lichens n'en font pas partie). Il est fondamentalement lié à l'épaisseur du substrat (voir chapitre 4.3.1). C'est un paramètre facilement appréciable par chacun. Il peut constituer un élément contractuel de garantie entre le maître d'ouvrage et l'entreprise, pour autant que celle-ci assure l'entretien pendant les deux premières périodes de végétation (saison de croissance des végétaux du printemps à l'automne en situation sèche).

L'Association Suisse de Verdissement des édifices (ASVE 1998/2000) préconise un recouvrement uniforme de la surface par les plantes vasculaires de 75 % après deux périodes de végétation (saison de croissance des végétaux du printemps à l'automne). Ce recouvrement et les méthodes d'examen sont décrits par l'ASVE (ASVE 1998/2000).

D'après les inventaires réalisés à Genève (Rocheffort et al., 2016), la majorité des toitures extensives inventoriées présentent un faible recouvrement végétal (Figure 13), en moyenne de 50 %, ce qui signifie que la moitié d'entre elles ne répondent pas aux préconisations de l'ASVE. Ce taux de recouvrement ne doit cependant pas toujours être interprété comme un signe de "mauvaise" qualité biologique car la couverture non intégrale de plantes vasculaires peut permettre à d'autres organismes tels que les mousses et les lichens de s'implanter. Or, ceux-ci montrent une influence positive sur les autres végétaux lors de sécheresses et sont parfois menacés régionalement, il est donc primordial de les favoriser et de les protéger.

4.2.6 Après combien de temps le recouvrement végétal est-il optimal ?

En général, il faut compter 2 à 3 saisons de végétation pour atteindre un optimum de recouvrement du toit par les végétaux. Les deux premières années, des espèces transportées par le vent par exemple, viennent spontanément compléter le semis. Elles peuvent diversifier le mélange, mais sont parfois envahissantes (Prunier et Steffen ed., 2018 ; Steffen et al., 2019). Les espèces exotiques envahissantes telles que la Vergerette annuelle (*Erigeron annuus*) (Figure 14) ou des plantes ligneuses, futurs arbres ou arbrisseaux doivent être supprimés. De ce fait, l'entretien est important durant cette période pour éviter que les espèces adventices et indésirables ne s'imposent aux espèces ciblées.

L'implantation, l'évolution et la survie des végétaux dépend fondamentalement de l'épaisseur et de la composition du substrat, qui leur permettent (ou non) de survivre à une période de sécheresse prolongée. A défaut, un nouveau cycle de colonisation spontanée recommence avec son lot d'espèces adventices et indésirables.

4.2.7 Comment évolue une végétalisation extensive ?

Au-delà de la période initiale, une toiture végétalisée extensive n'est pas figée dans le temps. Au fil des saisons son aspect change. Le taux de recouvrement végétal évolue donc continuellement. Lors d'un cycle annuel, les végétaux (souvent seule leur partie aérienne est visible) meurent après floraison, alors que leurs parties souterraines (bulbe ou rhizome) ou leurs graines survivent. La toiture présente ainsi un aspect desséché en été tout à fait "normal". Les populations se renouvellent par leurs graines et/ou leurs parties souterraines pérennes. Par contre, si les végétaux sont morts avant de produire leur descendance (production grainière insuffisante), "leur place" est laissée à une colonisation végétale spontanée.



Figure 9 : Une toiture végétalisée extensive avec un recouvrement végétal non optimal constitué presque uniquement d'orpins (HEPIA / E. Renaud)



Rejet de ligneux

En général, une fraction de la flore d'une toiture extensive (30-35 %) est d'origine spontanée (Rochefort et al., 2016). En effet, dès la mise en place du substrat, des graines déplacées par le vent ou présentes dans le compost colonisent spontanément les sites, surtout si la place est disponible. La plupart de ces espèces proviennent de milieux rudéraux telles que des friches, les dépôts de matériaux, les bords de voies de circulation, présents à proximité au sol. Ces espèces contribuent à la biodiversité régionale et certaines sont menacées à l'échelle cantonale ou fédérale.

Selon le même mode de colonisation, certaines espèces exotiques envahissantes (ex. la Vergerette annuelle, *Erigeron annuus*, Fig. 14) se développent également sur les toitures extensives. Très dynamiques, elles doivent être éliminées rapidement (prévoir 2 à 3 entretiens par arrachage) dès la première année sur 2 ans minimum. A défaut, elles pourraient prendre la place des végétaux souhaités.

Parfois, ces espèces exotiques envahissantes sont présentes dans certains mélanges grainiers pour toitures végétalisées ! Pour assurer le développement d'une végétalisation de qualité, il est nécessaire de solliciter des horticulteurs, botanistes ou écologues connaissant les espèces à éliminer ou à protéger. Ces professionnels sauront également mettre en place un arrachage sans remanier la première couche de substrat pour ne pas favoriser une nouvelle colonisation indésirable.

4.2.8 Est-ce qu'une toiture extensive nécessite un entretien ?

Contrairement à une croyance répandue, une toiture extensive nécessite un minimum d'entretien, notamment durant les deux premières années ; ceci afin d'assurer la croissance des végétaux et d'assurer les bénéfices attendus.

Les entretiens sont à prévoir la première et la deuxième année 2 à 3 fois par an, puis 1 à 2 fois par an.

Lors de la première année, il convient de vérifier le développement des végétaux, d'éliminer les néophytes et, éventuellement, de prévoir un semis complémentaire lorsque les surfaces non végétalisées sont importantes. Cela évite la colonisation des surfaces nues par des plantes indésirables.

En 2015, plus de la moitié des toitures extensives inventoriées à Genève (Rochefort et al., 2016) comportait des espèces exotiques envahissantes. Selon la loi (Ordonnance sur l'utilisation d'organisme dans l'environnement - ODE RS 814.911), toute personne qui importe, commercialise ou plante des espèces doit s'assurer qu'elles ne seront pas dommageables pour l'environnement. A Genève, une liste d'espèces invasives indésirables est consultable sur www.ge.ch/entretenir-mon-jardin-mon-balcon/especes-exotiques-envahissantes. Néanmoins, le principe d'autocontrôle et le manque de moyens disponibles ne sont pas suffisants pour le moment.

Deux espèces invasives sont particulièrement fréquentes sur les toitures extensives : la Vergerette annuelle (*Erigeron annuus*) et l'Orpin bâtard (*Sedum spurium*) sur les toitures extensives. Leur gestion devrait donc être prévue dans des contrats d'entretien par des personnes ayant les connaissances nécessaires (jardiniers, gestionnaires de la nature).

Pour rappel, l'utilisation de produits phytosanitaires pour traiter la végétation (herbicides, produits anti-mousses et autres biocides) est interdite sur les toitures végétalisées en raison de pollution éventuelle des eaux évacuées (LEaux, RS 814.20).

Les normes de sécurité lors des visites et entretiens doivent être respectées (norme EN 795) par l'utilisation de ligne de vie ou autres dispositifs de sécurité.



Figure 14 : La vergerette annuelle (*Erigeron annuus*) et l'orpin bâtard (*Sedum spurium*) sont des espèces exotiques envahissantes très fréquentes sur les toitures extensives (©HEPIA / P. Prunier, J. Steffen)

⊕ EN BREF

L'entretien d'une toiture extensive

- Supprimer les végétaux des évacuations d'eau et dans les bandes stériles sur le pourtour de la toiture.
- Supprimer les végétaux indésirables tels que les plantes exotiques envahissantes et les plantes ligneuses sur l'ensemble de la toiture au minimum durant les deux premières années.
- Faucher une fois par an lorsque la végétation souhaitée est installée.

4.3 Interaction entre substrat et végétation

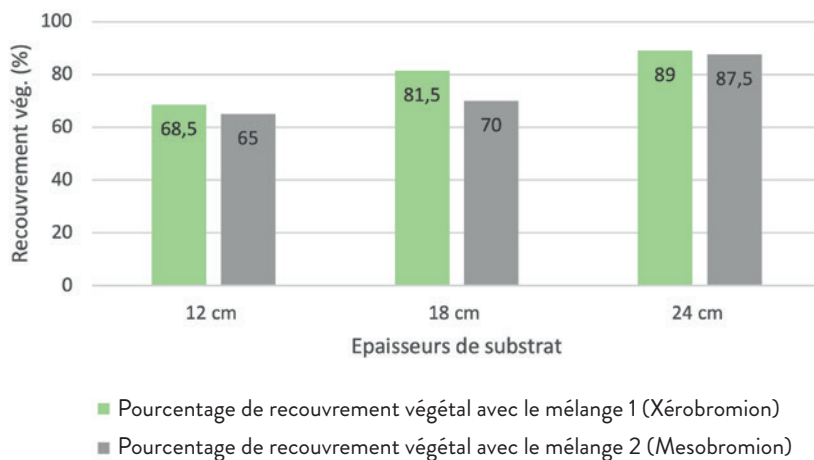
4.3.1 Comment le substrat influence le recouvrement végétal ?

L'épaisseur de substrat et sa composition influencent le recouvrement végétal, c'est-à-dire la surface recouverte par les plantes vasculaires.

L'inventaire de 30 toitures végétalisées à Genève (Rocheffort et al., 2016) montre que deux ans après le semis, les toitures avec moins de 8 cm d'épaisseur de substrat sont beaucoup moins recouvertes par les plantes vasculaires (plantes avec des tiges, feuilles et racines, les mousses et les lichens n'en font pas partie) (39 – 47 % de recouvrement) par rapport à celles de 8 à 15 cm d'épaisseur (66 – 71 % de recouvrement).

Sur un substrat à base de roche volcanique, de grandes différences de recouvrement ont été constatées : recouvrements de 65 – 68,5 %, 70 – 81,5 % et 87,5 – 89 % pour des épaisseurs de 12, 18 et 24 cm, respectivement. On voit donc que le choix de l'épaisseur du substrat conditionne l'aspect du recouvrement végétal (Prunier et al., 2018).

Figure 15 : Influence de l'épaisseur d'un substrat commercial à base de roches volcaniques de 12, 18 et 24 cm sur le recouvrement végétal pour deux mélanges de graines (Prunier et al., 2018)



4.3.2 Est-ce qu'un substrat riche en matière organique est indiqué sur les toitures végétalisées extensives ?

La proportion de matière organique présente dans le substrat influence également le recouvrement en plantes vasculaires. Plus cette part est élevée, plus la quantité de nutriments sera élevée et plus certains végétaux pourront se développer, mais cela signifie également un entretien supplémentaire, notamment sur les plantes adventices non désirées. Il est donc nécessaire de trouver un équilibre entre le taux de nutriments et la fréquence d'entretien. Pour garantir l'implantation des espèces typiques des toitures végétalisées extensives, le substrat ne devrait pas dépasser un taux maximum de 10 % de matière organique.

5. Quelles sont les limites d'une toiture extensive à Genève ?

5.1. Quels sont les effets du changement climatique à prendre en compte ?

Les conditions d'ambiance climatique très contraignantes sur les toits (température, sécheresse, etc.) mettent souvent en péril la survie des végétaux en raison par exemple du manque d'eau et de nutriments. Seules certaines associations végétales se révèlent adaptées dans la durée. Or, on constate que les effets du changement climatique prolongent les épisodes de sécheresse en ville. Une toiture végétalisée avec une faible épaisseur de substrat (moins de 10-12 cm) offre des conditions de vie difficiles pour la plupart des végétaux vasculaires. Seules quelques espèces de la famille des orpins, très résistants à la sécheresse, pourront prospérer ce qui limite les services attendus (biodiversité, gestion de l'eau, etc.). Il faut donc dans la mesure du possible, augmenter l'épaisseur du substrat à 20 cm.

5.2. Peut-on végétaliser des toitures avec une très faible portance ?

Une toiture végétalisée a un apport esthétique et de régulation des eaux de ruissellement important même avec de très faibles épaisseurs. Les bâtiments industriels, centres commerciaux ou bâtiments modulaires de type container ont en général une charge admissible très faible (moins de 150 kg/m²) qui est généralement limitante pour des substrats suffisamment épais. Il est donc difficile de prévoir une végétalisation même avec des substrats commerciaux légers. Ceux-ci, composés principalement de roches volcaniques, argile

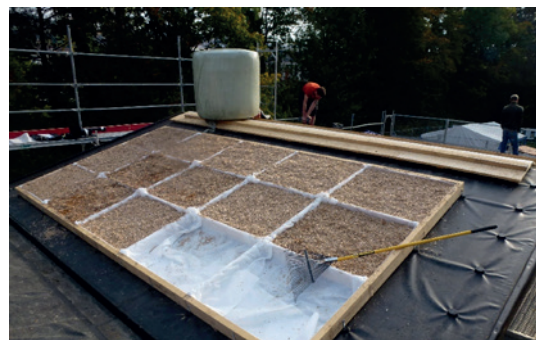


Figure 16 : Paille de roseaux de chine (Miscanthus) sur une toiture en vue d'une végétalisation très légère (©HEPIA / E. Renaud)

expansée ou tuiles concassées pèsent entre 12 et 15 kg/m² par cm d'épaisseur (saturés en eau) (FLL, 2008). Ils sont donc trop lourds pour des épaisseurs de plus de 12 cm recommandées actuellement.

Dans cette situation, des substrats très légers peuvent alors être envisagés, par exemple un mélange de paille de roseau de Chine (*Miscanthus*) (Figure 16), cultivé localement, associée à des matériaux minéraux tel qu'un mélange de graves ou de tuiles concassées et de compost en petite quantité. Il existe de bons exemples qui ont fait leurs preuves, notamment à Genève dans le quartier de St-Jean au-dessus des voies CFF. Des toitures végétalisées ont été réalisées avec un mélange de tuiles, de graves, de compost et de paille de roseau de Chine cultivé localement. A Bâle, le toit du dépôt des trams a également utilisé du roseau de Chine pour pouvoir végétaliser une toiture de très faible portance (environ 100 kg/m²). D'autres matériaux, tels que les biochars peuvent également être adaptés dans ce contexte. A Genève, l'utilisation de ce type de matériaux reste encore rare.

5.3. Quels paramètres influencent l'effet "refroidissant" d'une toiture végétalisée ?

L'effet d'une toiture végétalisée sur le microclimat extérieur (diminution de la température en été), dépend principalement de l'évapotranspiration des végétaux et de la réserve en eau du substrat. Sur une toiture extensive ou semi-intensive, les plantes souvent basses ne font que peu d'ombrage. Des différences entre les végétaux existent et c'est pourquoi leur choix, ainsi que l'épaisseur du substrat, sont cruciaux. Certains végétaux de la famille des orpins (*Sedum*) fréquemment utilisés sur les toitures végétalisées, n'ont que peu d'effet "refroidissant" car leur évapotranspiration s'effectue la nuit. Ils n'auront donc pas d'influence majeure sur le microclimat. En plus du choix des espèces, l'état des végétaux est important car des végétaux secs en été n'évapotranspirent plus et n'auront aucun effet sur une baisse de la température.

5.4. Quelles sont les limites de l'effet isolant d'une toiture végétalisée ?

En Suisse, les exigences légales demandent de respecter des normes élevées (par ex., SIA 180/1) pour l'isolation des bâtiments. Ainsi, l'intérieur d'un bâtiment neuf ou rénové bénéficie déjà d'une isolation thermique performante et l'apport d'une toiture végétalisée n'est donc pas essentiel. Une étude réalisée à Genève en 2016 (Rochefort et al., 2016), montre ainsi que lorsque le bâtiment est déjà bien isolé, une toiture végétalisée n'a que peu d'effet sur les déperditions de chaleur en hiver.

6. Peut-on combiner panneaux solaires et toitures végétalisées ?

Les toitures végétalisées peuvent être combinées à des panneaux solaires (Figure 17). Cette combinaison peut même s'avérer avantageuse tant pour la production d'électricité, que pour la biodiversité et le microclimat de la toiture (atténuation des températures extrêmes). La norme SIA 312 (SIA 312, 2013) indique ces bénéfices potentiels réciproques. En effet, par son évapotranspiration la végétalisation peut contribuer à réduire la surchauffe estivale des panneaux solaires qui limite leur rendement. Les panneaux solaires créent quant à eux des zones d'ombres pour les végétaux et les protègent du gel hivernal. De plus, le substrat peut permettre le lestage des panneaux solaires.

En revanche, si les panneaux solaires sont peu espacés (moins de 40 cm) ou proches du sol (moins de 30 cm), ces bénéfices sont atténués car les végétaux ne peuvent se développer ou inversement créent de l'ombre à leur surface.

Les technologies liées à la production photovoltaïque évoluent rapidement ; presque toutes les orientations de panneaux sont possibles et il en existe de différents types. Malgré cette diversité, pour garantir que la combinaison avec une végétalisation fonctionne et pour éviter l'ombrage des plantes sur les panneaux solaires certaines règles doivent être respectées.



Figure 17 : Combinaison entre production solaire et végétalisation sur une toiture à Genève, Plan-les-Ouates (©HEPIA / P. Prunier)

Avant tout, il convient de prendre en compte le poids additionnel de la combinaison (panneaux solaires, lestage éventuel, substrat, couche de drainage, végétaux, etc.). Des solutions existent en intégrant des substrats très légers (voir 5.2). Le point le plus bas du panneau doit se situer au moins à 30 cm du substrat pour limiter le risque d'ombrage par les plantes. Celles-ci doivent être choisies avec soins évitant une majorité d'orpins (peu d'effet refroidissant) et des plantes hautes (risque d'ombrage sur les panneaux) tout en mixant les plantes adaptées à l'ombre et au soleil.

Sous le point le plus bas (selon la configuration devant ou derrière les panneaux solaires) on peut éventuellement créer une ligne de gravier, cailloux, sable, un mélange sablonneux sera favorable aux abeilles terricoles. Cela permettra de limiter la croissance des plantes aux points critiques.

Avec des panneaux trop serrés les végétaux risquent également de poser problème, un minimum de 40 cm entre les panneaux devrait être garanti.



Figure 18 : Mauvais exemple de combinaison, les végétaux créent de l'ombrage sur des panneaux solaires trop bas et peu espacés (©HEPIA / P. Prunier)

+ EN BREF

Pour une combinaison optimale entre des modules solaires et la toiture végétalisée

- Des hauteurs et espacements suffisants entre les modules solaires pour permettre le développement d'une couverture végétale (en règle générale hauteur minimale du panneau de 30 cm et espacement minimum de 40 cm).
- Le choix d'espèces végétales basses (certains mélanges sont spécialement conçus pour cela par ex. UFA toiture solaire végétalisée ; OH solar roof).
- Une végétalisation à base majoritaire d'orpins n'apporte pas les effets refroidissants attendus.
- Un entretien 1 à 2 fois par année durant la saison de végétation (couper les végétaux dont les tiges font ombrage sur les panneaux solaires).

7. Bibliographie

- Agence régionale de la biodiversité (ARB), Institut de Paris, Écologie des toitures végétalisées, Synthèse de l'étude GROOVES (green roofs verified ecosystem services), 2021
- Baumann N., Green Roofs – Urban Habitats for Ground-Nesting Birds and Plants, World Green Roof London, 2010
- Braaker S., Moretti M., Boesch R., Ghazoul J., Obrist M.K., Bontadina F., Assessing habitat connectivity for ground-dwelling animals in an urban environment, *Ecological Applications*, 24(7), pp. 1583–1595, 2014
- Conservatoire et Jardin botaniques, Inventaire semi-automatisé des toitures végétalisées sur le canton de Genève, 2017
- Getter K. L., Bradley Rowe D. et. Andresen J. A, “Quantifying the Effect of Slope on Extensive Green Roof Stormwater Retention”. *Ecological Engineering* 31, no 4: 225-31, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.06.004>, 2007
- Institut fédéral suisse des sciences et technologies aquatiques (EAWAG), informations concernant le mécoprop contenu dans les couches bitumeuses des toitures végétalisées, 2009
- Mentens J., Raes D., et Hermy M, “Green Roofs as a Tool for Solving the Rainwater Runoff Problem in the Urbanized 21st Century?”, *Landscape and Urban Planning* 77, no 3 (30 août 2006): 217-26, <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.010>, 2006
- Nardini, A., Andri, S., Crasso, M., Influence of substrate depth and vegetation type on temperature and water runoff mitigation by extensive green roofs: shrubs versus herbaceous plants. *Urban Ecosyst* 15, 697–708. <https://doi.org/10.1007/s11252-011-0220-5>, 2012
- ProNatura, Comment aménager une dune de sable pour les abeilles sauvages ?, en ligne (sans date), consulté le 30 septembre 2021, disponible à l'adresse : www.pronatura.ch/fr/une-dune-de-sable-pour-les-abeilles-sauvages
- Prunier P. (ed.), Steffen J. (ed.), Amos E., Beauverd M., Billing B., Buri P., Frossard P.-A., Figeat L., Guine V., Jeanneret C., O'Rourke J., Perroulaz R., Pétremand G., Renaud E., Rochefort S., Tremblet S., Verdan B., Rapport final du projet “SEminum on Edifices Downtown” (SEED). HEPIA – HES-SO. 91 p., 2018
- Rochefort S., Prunier P., Boivin P., Camponovo R. & Consuegra D., Rapport final du projet “toitures végétalisées” (TVEG) dans l'agglomération genevoise, HEPIA – HES-SO, 193 p. www.hesge.ch/hepia/recherche-developpement/projets-recherche/termine/tveg, 2016
- Sonnay V. & Pellet J., Inventaire des pollinisateurs d'une toiture végétalisée urbaine. *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 95 : 5-19, 2016
- Steffen J., Figeat L., Beauverd M. et Prunier P., De l'influence des substrats sur l'implantation des pelouses sèches en toitures : le retour de 4 ans de suivi in Prunier P. et Huber L. Résumés des communications. Séminaire final du projet Interreg “Fleurs locales”. Archamps (F-74), 21 et 22 mai 2019. https://www.alveole.fr/wp-content/uploads/2019/06/FleursLocales_seminaire_final_Light.pdf, 2019
- Thuring, C.E., Berghage, R.D., Beattie, D.J., Green Roof Plant Responses to Different Substrate Types and Depths under Various Drought Conditions. *HortTechnology* 20, 395–401, 2010
- Ville de Lausanne, Service des parcs et domaines (SPADOM), Toitures végétalisées, Guide de recommandation : pourquoi et comment accueillir la nature sur son toit ?, 2018
- Yanling L. et. Babcock, R. W. Jr, “Green roof hydrologic performance and modeling : a review”, *Water Science and Technology* 69, no 4 (27 novembre 2013): 727-38, <https://doi.org/10.2166/wst.2013.770>, 2013.

Normes et recommandations :

- Association Suisse de Verdissement des Edifices (ASVE), Directives pour la végétalisation extensive des toitures, 2007.
- Association Suisse de Verdissement des Edifices (ASVE), Directives pour la végétalisation de toitures extensives, capacité hydrique et degrés de recouvrement, 1998/2000.
- Loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux, RS 814.20), 1991.
- Loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage (RS 451, 1966 (révisée 2020)).
- Norme suisse Société suisse des ingénieurs et architectes, SIA 312 : Végétalisation de toiture, 2013.
- Norme suisse Société suisse des ingénieurs et architectes, SIA 180 : Isolation thermique et protection contre l'humidité dans le bâtiment, 1999.
- Norme suisse Société suisse des ingénieurs et architectes, SIA 271 : L'étanchéité des bâtiment, 2007.
- Normes françaises : ADIVET, L'enveloppe métallique du bâtiment, et Professionnels de l'étanchéité. "Règles professionnelles pour la conception et la réalisation de terrasses et toitures végétalisées", 2018.
- Norme allemande: FLL, Green roof guideline - Guidelines for the Planning, Construction and maintenance of Green Roofs, 2018.
- Norme Européennes et Suisse : EN 795, Équipement de protection individuelle contre les chutes - Dispositifs d'ancrage, 2016.
- Norme Européennes et Suisse : SN EN 13948, Feuilles souples d'étanchéité - Feuilles d'étanchéité de toitures, bitumineuses, plastiques et élastomères, 2007.
- Ordonnance suisse sur l'utilisation d'organismes dans l'environnement (RS 814.911), Conseil fédéral Suisse 2008.
- Ordonnance suisse sur les atteintes portées aux sols (OSol), Conseil fédéral Suisse, 2016.
- Règlement relatif aux taxes d'assainissement des eaux (RTAss – L 2 05.21), Etat de Genève, 2014

Mandataire :

Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture (HEPIA)

Rédaction :

Ewa Renaud / Patrice Prunier / Marie Fournier / Téo Lemaitre
Martin Secretan / Julie Steffen / Pascal Boivin



Septembre 2023