

## // Description générale et caractérisation du type de SfN

### I.1 Définition et différentes variantes existantes

#### Définition

Les toits verts remplissent plusieurs fonctions pour un bâtiment et pour la ville, comme

- absorber, stocker, filtrer l'eau et ainsi atténuer les risques liés aux fortes pluies (Simmons et al., 2008),
- isoler thermiquement le toit et donc permettre une économie de l'énergie pour le chauffage et la climatisation (Alexandri et Jones, 2008),
- créer un habitat pour la faune (Nagase et Tashiro-Ishii, 2018),
- accroître l'inclusion sociale par la création d'espaces d'agrément
- et contribuer à la santé et au bien-être des citoyens en diminuant le stress et en offrant un paysage plus esthétique (Ragheb et al, 2016) et aussi en contribuant à abaisser la température de l'air extérieur (atténuation de l'effet d'îlot de chaleur urbain par l'évapotranspiration et la transformation de l'albédo des surfaces des bâtiments (Jin et al., 2018)).



Niederösterreich Haus Krems, Autriche  
 Propriétaire: NÖ Landesimmobiliengesellschaft mbH  
 © Verband für Bauwerksbegrünung VfB



Toit vert extensif sur un bâtiment de bureaux en cours intérieur d'un îlot d'habitat, Autriche  
© Verband für Bauwerksbegrünung (VfB)



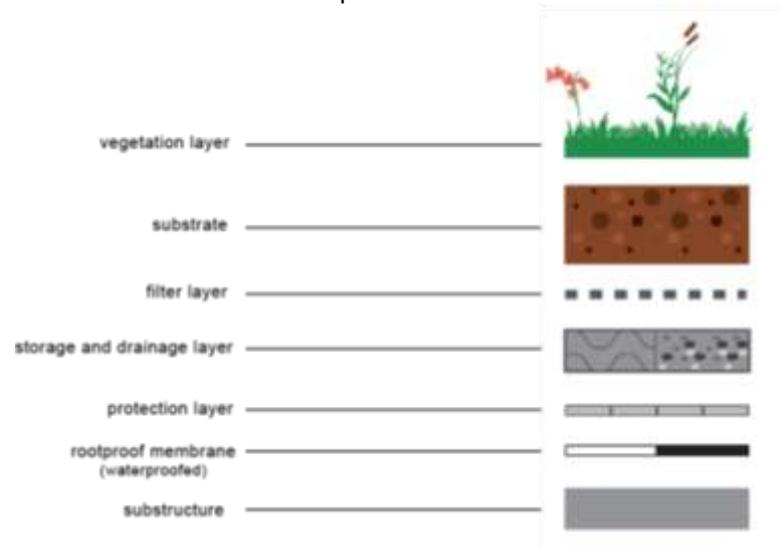
Toit vert extensif dans une aire de jeu, Vienne, Autriche  
© Verband für Bauwerksbegrünung (VfB)

**Différentes variantes existantes**

**Eléments techniques**

Les toits verts extensifs sont normalisés dans plus de 10 pays de l'Union européenne. Ils ont une hauteur totale construite de 8 à 15 cm, sont applicable aux toits plats, inclinés et en pente. Un toit vert extensif doit être un écosystème résilient qui ne nécessite pas d'irrigation après la période d'établissement. La composition des espèces peut changer au cours des années suivant les processus de succession naturelle. Les toits verts extensifs sont généralement composés 1) d'une membrane résistante aux racines (imperméable), 2) d'une couche de protection, 3) d'une couche de stockage et de drainage (minéral ou autre) et 4) d'une couche filtrante, 5) d'une couche de substrat ou d'un autre milieu de substitution et 6) de la couche de végétation composée de plantes à racines peu profondes comme les plantes grasses, les herbes, les mousses et les graminées qui peuvent être plantées, semées ou apportées sous forme d'un tapis de végétation préétablie. Les

couches décrites peuvent être faites de différents matériaux, il est donc important de les choisir en fonction du bâtiment et du site du projet, en fonction notamment des conditions climatiques locales et des espèces végétales. En fonction de la végétation et de l'emplacement du toit, l'épaisseur des couches et les propriétés des matériaux doivent être prises en compte dans le processus de planification. Les composants doivent répondre aux exigences des normes et directives nationales. Des certifications de qualité permettent de s'assurer de composants et de constructions éprouvés et sûrs. La durée de vie d'un toit vert est de plus de 40 ans.



Structure standard de toits verts  
© GRÜNSTATTGRAU

#### 1.) Membrane anti-racines (imperméable)

Cette couche doit être installée soit comme une couche supplémentaire sur des toits non résistants aux racines, soit comme une couche unique pleinement fonctionnelle, formant un environnement étanche et résistant aux racines. Seules les membranes certifiées comme résistantes aux racines doivent être utilisées. Les exigences en matière de transfert de l'humidité doivent être prises en compte en fonction de la structure globale du toit. Différents matériaux sont disponibles, leur empreinte écologique est différente (EPDM, bitume, etc.).

#### 2.) Couche de protection

Cette couche protège la membrane du toit contre les dommages mécaniques causés par l'installation et l'utilisation du toit vert.



Feutre de protection et de stockage RMS 500  
© Optigrün international AG

#### 3.) Couche de stockage et de drainage (formes minérales ou corps solides)

Cette couche assure le drainage et le stockage de l'eau, elle est accessible aux racines des plantes. Elle est constituée soit de matériaux minéraux (issus du recyclage) en vrac, soit de corps solides (tapis de drainage, plaques de drainage, éléments de drainage) composés de différents matériaux (par exemple, recyclage du PVC) avec ou sans fonction de stockage de l'eau. La couche ne doit pas perdre ses propriétés physiques pendant au moins 40 ans.



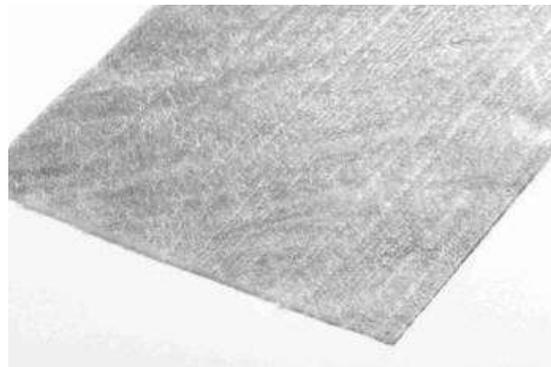
Matériau de drainage PERL 2-10 BS  
© Optigrün international AG



DrainPlaque de drainage et de stockage FKD 40  
© Optigrün international AG

#### 4.) Couche filtrante

La couche est installée entre la couche de drainage et le substrat. Elle retient les fines particules dans le substrat végétal et protège la couche de drainage contre le colmatage. Cette couche est constituée de géotextiles perméables aux racines et à l'eau.



Couche filtrante FIL 105  
© Optigrün international AG

#### 5.) Couche de substrat ou autre milieu de substitution

Cette couche est structurellement stabilisée, ne doit pas perdre ses nombreuses propriétés physiques (par exemple, capacité de rétention d'eau, aération, drainage, pH, répartition de la taille des grains, etc.) pendant au moins 40 ans et doit être adaptée à un large éventail d'espèces végétales. Le substrat est constitué de matériaux minéraux à pores ouverts, par exemple argile expansée, schiste expansé, granulés de briques, qui sont mélangés à une substance organique, comme le compost. Il est important d'utiliser des substrats provenant de sources locales. Les toits verts extensifs contiennent une quantité réduite de composants organiques par rapport aux toits verts intensifs. Des composants de substitution de substrat (par exemple, la laine minérale) sont également disponibles, mais leur fonctionnalité à long terme doit être examinée en détail. La couche de substrat doit être adaptée à la végétation envisagée. Cela est particulièrement important pour les toits verts solaires où les plantes peuvent partager l'espace avec les panneaux solaires.



Substrat multicouche pour toiture extensive E-Light  
© Optigrün international AG

#### 6.) Couche de végétation

La couche de végétation peut être constituée de plantes à racines peu profondes comme les plantes grasses, les herbes, les mousses et les graminées qui peuvent être plantées, semencées ou apportées comme tapis de végétation préétablie.



Mix typique de succulentes pour toit vert extensif  
© Verband für Bauwerksbegrünung VfB

#### 7.) Equipements techniques pour toits inclinés

Les toits verts extensifs en pente nécessitent l'installation d'une structure supplémentaire pour maintenir les éléments de la toiture<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Selon les normes, les toits verts peuvent être installés sur des toits ayant une pente de 1,8 % (1°) à 58 % (30°). Pour les toits ayant une pente supérieure à 9 % il est nécessaire de prévenir le glissement de la membrane antiracine et la couche de protection et, à plus de 26 %, la structure entière du toit vert doit être sécurisée.



Eléments de stabilisation pour toiture verte extensive sur toits en pente  
© Optigrün

### Mise en place de la végétation et des systèmes

Il existe différents types de méthodes de production et de plantation de la végétation selon l'approche systémique des toits verts extensifs :

- système à base de substrat à couches multiples : ce système est le plus courant et le plus résistant aux conditions changeantes.
- système de substrat à couche unique : utilisé uniquement pour les toits verts extensifs réduits (et les toits verts intensifs), Il est surtout utilisé dans des projets à faible budget visant des situations statiques légères. Attention : ce système de construction ne peut pas être installé sur des toits inversés.
- systèmes de substrat modulaire en structure de plateau tout en un : systèmes préfabriqués, le plus souvent utilisés dans des projets à petite échelle comme les abris de voiture ou les projets qui ont un accès restrictif ou des limites relatives à l'usage de machines. Parfois irrigués.
- systèmes à couches multiples avec des substrat alternatifs, par exemple géotextiles et laine minérale : ces systèmes sont surtout utilisés dans des situations légères et doivent toujours être irrigués.

### Exemples de méthodes de plantation de la couche de végétation :

Il existe différentes méthodes de plantation, en fonction des propriétés botaniques :

- Semis :
  - ensemencement à sec avec/sans fixation par collage (en fonction des conditions météorologiques et du vent)
  - ensemencement humide avec/sans pousses (le plus souvent combiné avec une fixation collée)
  - ensemencement hydraulique (y compris la colle organique et les démarreurs mykhorrisa)
  - épandage de parties de plantes ou de pousses
  - ensemencement naturel à partir de graines issues de plantes d'autres zones.



Exemple d'ensemencement hydraulique © ZinCo

- Couverture :

Support / couverture / tapis végétal pré-cultivé (graminées, herbes, succulentes) avec :

- o un renfort en nattes de fils
- o natte de paille avec/ sans tapis de coco
- o natte non tissée
- o géotextiles

**Plantation :**

Installation en godets ou micro-mottes :

La plantation de mottes ou de plantes en godets sur les toits permet de diversifier la richesse en espèces du toit vert. L'installation de ce complexe de revégétalisation n'est possible qu'au printemps ou à l'automne pour optimiser l'enracinement des plantes dans le substrat. Le taux de couverture végétale atteint 80% après une période de 12 à 24 mois.



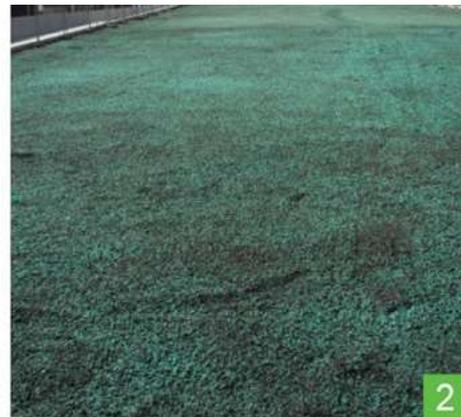
*Micro-mottes utilisées lors de l'installation d'un toit vert © micro-mottes.fr*

**Propagation des boutures**

La revégétalisation avec des boutures d'espèces succulentes est particulièrement adapté aux projets de grande envergure (plus de 1000 m<sup>2</sup>). Facile et rapide à mettre en œuvre, le taux de couverture végétale atteint 80% après une période de 18 à 36 mois si la plantation s'est faite dans les règles de l'art. L'aspect final du projet dépend de la qualité de la plantation (distribution des boutures et arrosage après l'épandage), mais aussi des soins apportés à l'entretien du toit pendant la phase d'établissement des plantes. Il est essentiel d'avoir un raccordement à l'eau sur le toit lors de l'épandage des boutures. Pour avoir des chances optimales de réussite, quelques étapes essentielles doivent être franchies lors de la plantation avec la méthode d'épandage :

- o obtenir les boutures de plantes,
- o bien répartir les boutures sur l'ensemble de la surface

Cette plantation est souvent combinée avec l'ensemencement et la plantation supplémentaire de bulbes.



Apparence d'un toit vert obtenu par épandage de boutures de sedum cuttings. 1. Par épandage manuel / 2. Par épandage en gel  
© Vegetal I.D.

**Couverture végétale extensive - systèmes tout-en-un**

Les systèmes tout-en-un sont constitués de différentes couches dans une structure d'encadrement (effort supplémentaire en ressources matérielles) permettant une installation facile et rapide des systèmes sur une membrane de toiture étanche à l'eau et résistante aux racines :

- o végétation pré-cultivée (plantée, semée, tapis végétal)
- o Irrigation : en général, un toit vert extensif n'est pas irrigué automatiquement, mais certains fournisseurs de systèmes tout-en-un exigent l'installation d'un système

d'irrigation pour les toits verts extensifs, ce qui entraîne une augmentation des besoins et des coûts d'entretien et de maintenance

- Une couche de drainage et de stockage qui sert à contrôler l'arrivée d'eau pendant les périodes de sécheresse et qui permet de drainer le système

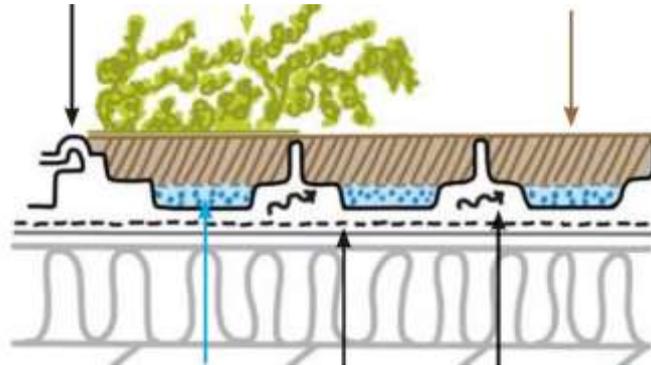


Schéma d'un système de toit vert pré-fabriqués sans irrigation  
© HAAS GARTEN-, DACH- UND LANDSCHAFTSBAU



Ce système modulaire comprend toutes les couches d'un système de toit vert (drain, filtre, milieu de culture et plantes) regroupées dans une unité appelée plateau, module ou pavé © Vegetal I.D.



Il s'agit d'un système complet de toit vert extensif dans un plateau modulaire, assurant une excellente qualité de plantation avec une installation simple © Axter



Installation d'un toit vert extensive pré-fabriqués, Autriche © Haas

	<p>- Périodes de maintenance et d'entretien :</p> <p>Deux périodes sont distinguées : la période d'établissement (maintien de l'établissement de la 1ère période de végétation) jusqu'à ce qu'une couverture spécifique soit atteinte (60-80%) et la période de développement (normalement la 2ème période de végétation qui se termine la réception officielle de la toiture par le client, après l'entretien de finalisation)</p> <p>Pendant les deux périodes qui couvrent les 24 mois suivant l'installation, la végétation doit être régulièrement contrôlée et entretenue (nutrition, eau, retrait de la végétation problématique, par exemple les graines des arbres ou les plantes envahissantes), afin que la végétation cible puisse se développer avec succès et que l'écosystème soit vivant. L'entretien et les soins, surtout au début, sont de la plus haute importance. Par la suite, les efforts peuvent être réduits lorsque le toit lui-même a atteint une phase stable. L'entretien peut faire l'objet de contrats d'entretien annuels réguliers.</p>
--	---

## I.2 Enjeux urbains principaux et secondaires associés + impacts

<p><b>Principaux enjeux et sous-enjeux ciblés par la SfN</b></p>	<p>02  Gestion et qualité de l'eau urbaine          &gt; 02-1 Gestion de l'eau urbaine          &gt; 02-2 Gestion des crues          07  Santé publique et bien-être          &gt; 07-2 Qualité de vie</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le toit vert semi-intensif réduit le ruissellement des eaux pluviales et les débordements des réseaux d'eaux non séparatifs. L'avantage le plus important des toits verts est qu'ils peuvent réduire la quantité de pluie arrivant dans les réseaux et améliorent la qualité de l'eau de ruissellement. Ces bénéfices dépendent de la période de l'année et de l'épaisseur du substrat (Mentens et al., 2006).</li> <li>- Esthétique et bien-être. Un avantage des toits verts qui n'est pas facilement quantifiable est l'amélioration esthétique qu'il procure au paysage. C'est particulièrement important pour les occupants de bâtiments qui surplombent des toits verts, plus appréciés que des toits stériles ou envahis d'équipements mécaniques.</li> </ul>
<p><b>Co-bénéfices</b></p>	<p>01  Questions climatiques          &gt; 01-1 Atténuation climatique          &gt; 01-2 Adaptation au climat          04  Biodiversité et espace urbain          &gt; 04-1 Biodiversité          &gt; 04-2 Développement et régénération de l'espace urbain          &gt; 04-3 Gestion de l'espace urbain          05   Gestion des sols          &gt; 5.1 Gestion et qualité des sols          06  Efficacité des ressources          &gt; 06-1 Aliments, énergies et eau          7  Santé publique et bien-être          &gt; 07-1 Acoustique</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain. Les plantations et le substrat des toits verts atténuent l'effet d'îlot de chaleur en modulant mieux les fluctuations locales de la température de l'air de 1 à 2 °C causées par l'échauffement des toits par le rayonnement solaire pendant la journée (Bass et al., 2003).</li> <li>- Le substrat des toits verts peut comprendre des microarthropodes et des microbes (Rumble et al., 2018)</li> <li>- Mise en valeur de l'intérêt architectural et de la biodiversité (Castleton et al., 2010)</li> <li>- Le substrat du toit vert est capable de supporter la végétation. De plus, il peut stocker du carbone (Bouzouidja et al., 2018).</li> <li>- Les toits verts peuvent contribuer à réduire les coûts énergétiques d'un bâtiment en agissant comme une autre couche d'isolation entre l'intérieur et l'extérieur du toit</li> <li>- Prolonger la durée de vie du toit : la durée de vie du matériau d'étanchéité peut passer de 10-20 ans à 50 ans car il est protégé des UV et des dommages chimiques (Theodosiou, 2009) par le substrat et les végétaux.</li> <li>- Les toits verts peuvent également contribuer à réduire la transmission du son par le toit depuis l'extérieur du bâtiment.</li> </ul>
<p><b>Possible negative effects</b></p>	<p>7  Santé publique et bien-être          &gt; 07-3 Santé          10  Sécurité          10.3 Autre : mauvaises conceptions structurelles</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les plantes peuvent provoquer des allergies, par exemple les néophytes comme l'herbe à poux pendant la période d'établissement si le toit vert n'est pas entretenu, etc.</li> <li>- Risque d'effondrement de la structure du toit en raison d'un manque de planification et d'installation professionnelles des toits verts. Un toit vert augmente la charge structurelle, il est donc essentiel de mener une étude structurelle pour déterminer la capacité portante de la structure existante du bâtiment. Cela fait augmenter le coût d'investissement des toits verts.</li> </ul>

		<p>- Les toits verts nécessitent un entretien paysager de routine, qui peut varier d'occasionnel à régulier et peut ajouter un coût permanent. Une bonne planification réduit le risque de coûts d'entretien imprévus.</p> <p>L'entretien d'un toit vert étendu est le même que l'entretien régulier standardisé d'un toit en gravier. Les toits verts doivent être entretenus au minimum 1 fois par an après la période d'établissement.</p>
--	--	---

## II/ Informations plus détaillées sur l'entité de la SfN

II.1 Description et implication à différentes échelles spatiales	
<b>Échelle à laquelle la SfN est mise en œuvre</b>	Entité : Bâtiments (parfois partiellement), structures souterraines et infrastructures et structures routières secondaires.
<b>Échelles affectées</b>	À l'échelle des bâtiments (énergie, acoustique). En fonction du nombre de toits verts, à l'échelle du voisinage ou de la ville, l'impact des toits verts est moins important pour le bénéfice commun, tout dépend de la zone totale couverte, de la densité, de la capacité totale de stockage d'eau, de la qualité des toitures, de leur entretien et de leur potentiel en termes de biodiversité.
II.2 Perspective temporelle (avec problèmes de gestion)	
<b>Temps estimé avant que la SfN ne prenne entièrement effet après sa mise en œuvre</b>	<p>&gt; Système de plateaux préétablis ou tapis de végétation préétablie : immédiatement</p> <p>&gt; L'établissement d'un toit vert installé sur le site dépend des espèces choisies, de la résilience de l'aménagement et de l'entretien et des soins appropriés pendant les deux premières périodes de végétation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- plantes à racines peu profondes comme le sédum, les mousses et les herbes : 1 an</li> <li>- plantes à fleurs, herbes hautes et petits arbustes : 1 à 2 ans</li> </ul>
<b>Durée de vie</b>	40-50 ans, des toits verts de plus 100 ans existent en Europe
<b>Développement durable et cycle de vie</b>	S'ils sont correctement conçus, les toits verts extensifs utilisent le recyclage et les matériaux locaux (par exemple, les composants du substrat comme la brique broyée) pour atteindre une performance écologique élevée et contribuer à la réduction des émissions de GES et à l'emploi local. Les toits verts extensifs nécessitent des interventions mineures pour être enlevés, les systèmes pré-cultivés tout-en-un peuvent être retirés et réutilisés plus facilement. Dans la plupart des cas, les plantes et le substrat peuvent être compostés ou recyclés, voire réutilisés sur d'autres sites.
<b>Aspects relatifs à la gestion (type d'interventions + intensité)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nutriments</li> <li>- eau à la demande pendant la période d'établissement</li> <li>- entretien continu minimal, 1 à 2 interventions par an (sauf pour les systèmes de toits verts préfabriqués extensifs irrigués dont l'efficacité et la durée de vie sont examinées par des experts)</li> <li>- réduction de l'effort d'entretien après la période d'établissement</li> </ul>
II.3 Intervenants impliqués/aspects sociaux	
<b>Intervenants impliqués dans le processus de décision</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Propriétaires privés ou co-propriétaires des bâtiments</li> <li>- Municipalité en cas de bâtiments publics</li> <li>- Ingénieurs expérimentés</li> <li>- Experts du bâtiment</li> <li>- Responsables de la gestion immobilière</li> </ul>
<b>Intervenants et réseaux techniques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Paysagistes, aménageurs, concepteurs</li> <li>- Ingénieurs structure</li> <li>- Architectes</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sociétés d'entretien paysage spécialisés dans les toits verts</li> <li>- installateurs spécialisés dans les toits verts</li> </ul>
<b>Aspects sociaux</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessité de trouver un accord avec la majorité des co-propriétaires d'un bâtiment (en fonction des lois nationales) =&gt; importance du processus participatif.</li> <li>- Nécessité d'informer la population sur les impacts réels afin de la rassurer concernant les préjugés répandus (risque de conserver l'humidité sur le toit, crainte d'introduire des insectes dans le bâtiment, etc.)</li> </ul>
<b>II.4 Conception/techniques/stratégie</b>	
<b>Connaissances et savoir-faire impliqués</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etude par des ingénieurs en structure, notamment pour les projets de rénovation</li> <li>- Sélection de la végétation cible et des constructions techniques adaptées : <ul style="list-style-type: none"> <li>- aux conditions climatiques locales et aux changements futurs (en particulier la rareté de l'eau et les fortes pluies)</li> <li>- à l'exposition à la lumière et au soleil</li> <li>- à l'exposition au vent</li> </ul> </li> <li>- Mise en place de l'entretien en maintenant les installations dans de bonnes conditions, au cours des différentes périodes.</li> <li>- Adaptation du mode de drainage</li> <li>- Attention particulière pour les constructions de toits en bois : veiller à utiliser des matériaux de construction appropriés (diffusion de vapeur)</li> </ul>
<b>Matériel impliqué</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.) membrane antiracine (imperméabilisation)</li> <li>2.) couche de protection (géotextile)</li> <li>3.) couche de stockage et de drainage (systèmes minéraux ou structure)</li> <li>4.) couche filtrante (géotextile)</li> <li>5.) couche de substrat ou un autre milieu de substitution</li> <li>6.) couche de végétation</li> <li>7.) équipement de sécurité (usage professionnel : protection antichute à point unique ou autre)</li> </ol>

## II.5 Aspects légaux associés

- Réglementations et lois nationales en matière de construction, normes, lignes directrices, politiques, état de l'art, codes de bonne pratique, réglementations en matière de santé et de sécurité, préoccupations concernant la durabilité des matériaux et des composants, aspects liés à la biodiversité -> s'appliquent aux conditions nationales
- Statut de l'occupant, propriétaire et locataire. Il existe une différence claire entre un propriétaire (bailleur) et un locataire (preneur). Un propriétaire a le droit exclusif d'utiliser sa propriété de n'importe quelle manière, conformément aux contraintes et aux autorisations d'urbanisme de chaque juridiction (et aucun consentement de tiers n'est généralement requis pour créer un toit ou un mur végétal). Un locataire est lié par les termes de son bail, et un toit ou un mur végétal peut être interdit ou une mise en place autorisée avec son consentement. Le consentement du propriétaire sera probablement requis.
- Charges structurelles. Une analyse par un ingénieur en structure est requise, en particulier dans les projets de rénovation et si le maître d'œuvre /architecte n'offre pas cette qualification.
- Drainages : L'alimentation en eau est généralement un simple raccordement, un ingénieur hydraulicien/fournisseur de système est requis pour le calcul des dimensions du drainage.
- Permis d'accès sécurisé au toit pendant l'installation et la maintenance, si l'accès de parties/visiteurs non formés est prévu, si les assurances et les réglementations nationales applicables régissent les normes de sécurité.

## II.6 Aspects économiques et financiers

<b>Gamme de coûts</b>	Le coût d'un toit vert varie de 25 à 75 €/m <sup>2</sup> installé selon la distance entre le site et le stockage des matériaux structurels (Niu et al., 2010). Ces systèmes peuvent par ailleurs permettre une économie d'énergie, donc financière en fonction des conditions régionales et climatiques (Besir et Cuce, 2018). En fonction de l'effort d'entretien dans le temps, les coûts d'entretien des toits verts extensifs ou intensifs varient entre 45 et 80 €/h, assurés par des professionnels qualifiés en Europe.
-----------------------	--

**Origine du financement (public, privé, public/privé, autre)**

- Investissement privé : la propriété est privée (par exemple, immeuble de bureaux/industrie, hôtels, logements privés)
  - Investissement public : le propriétaire du bâtiment est un propriétaire public, par exemple les municipalités et l'État (par exemple les écoles, les organismes publics, les logements sociaux, etc.)
- Dans la plupart des pays de l'UE, il existe des fonds locaux ou publics supplémentaires, des subventions et des possibilités de cofinancement pour les toits verts (rénovation, nouveaux bâtiments)

## II.7 Associations possibles avec d'autres types de solutions (autres solutions écologiques ou conventionnelles)

- Il est possible de combiner un système de toit vert avec la production d'énergie photovoltaïque (PV) et solaire sans perforer les membranes (le toit vert extensif fournit la capacité de charge nécessaire à l'installation solaire). Cette solution apporte un changement structurel dans les micro-habitats disponibles pour les espèces végétales et les insectes pollinisateurs, ainsi que pour les oiseaux (zones ombragées, zones avec plus ou moins d'eau). Une influence positive de cette intégration : les températures de la surface du toit vert et du sol sont réduites grâce à l'ombrage et le refroidissement de l'air lié à l'évaporation permet d'obtenir une puissance plus élevée du panneau photovoltaïque. Bien entendu, tous les autres avantages qui découlent des toits verts sont également inclus. Pour un bâtiment commercial de faible hauteur, les résultats montrent que la consommation d'énergie pour la climatisation du système intégré est légèrement inférieure à celle du système PV seul et que le système photovoltaïque sur l'approche intégrée génère 8,3 % d'électricité en plus (Hui et Chan, 2011).

*Attention : une solution adéquate est nécessaire (distance minimale entre les panneaux et la végétation, bonne gestion de l'eau sous les panneaux et construction d'un toit végétal extensif) pour que les besoins d'entretien restent prévisibles.*



Combinaison standardisée d'une toiture verte et de PV  
© 2019, Optigrün

Les toits verts sont des habitats pour la nidification au sol et d'autres espèces pollinisatrices qui visitent les fleurs (abeilles, papillons, syrphes, etc.), les coléoptères, les fourmis, les insectes et les larves de diptères et de coccinelles (Pfoser et al., 2013).

Ils fournissent un habitat, une source de nourriture et un lieu de nidification à de nombreuses espèces d'abeilles sauvages. Les recherches montrent que 236 espèces d'abeilles sauvages ont été identifiées sur les toits verts (Hofmann, 2017). Par exemple, à New York, aux États-Unis, une étude sur la diversité des abeilles dans les jardins urbains a permis de trouver un total de 54 espèces provenant de 19 sites (Matteson et al., 2008).

*Attention : la diversité de la structure de l'habitat offerte par le toit est un atout important pour la flore et la faune (voir les fiches techniques sur les toits semi-intensifs). Les abeilles domestiques peuvent concurrencer et supprimer les espèces d'abeilles sauvages !*



Toit vert extensif incluant des structure support pour les abeilles sauvages et des zones d'eau temporaires © Bauder

### III/ Éléments clés et comparaison avec des alternatives

#### III.1 Facteurs de réussite et de limite

<p><b>Facteurs de réussite</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Objectif du toit vert</b> : il est essentiel de démarrer la planification d'un projet en réfléchissant à l'objectif du toit vert. Est-il principalement conçu pour générer des avantages écologiques, économiques ? Doit-il servir d'élément décoratif ? A-t-il un usage agricole urbain ? Pour définir la direction d'un projet, il faut d'abord définir l'objectif du toit vert, établir les priorités de chaque objectif et s'aligner sur les attentes des intervenants (Rugh, 2014).</li> <li>- <b>Facteurs architecturaux</b> : La capacité de charge structurelle du toit est le problème le plus basique (Rowe et al., 2003)</li> <li>- <b>Lieu</b> : le climat régional détermine le type de toit vert et de plantes qui peut être mis en place (Rowe et al., 2003).</li> </ul>
<p><b>Facteurs de limite</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prendre en compte la nouvelle charge structurelle lors de la rénovation d'un bâtiment. Un élément important à prendre en compte est l'augmentation de la charge structurelle. L'ingénieur structure doit intégrer le poids du sol entièrement saturé après les plantations et la quantité d'eau considérable qu'il va contenir (1).</li> <li>- Durée de vie de la membrane du toit. Les toits verts tendent à améliorer la durée de vie de la membrane d'au moins 10 ans car elle est complètement recouverte de plantations et n'est pas exposée aux rayons UV directs du soleil. Toutefois, il faut être très attentif à la qualité de la membrane et l'intervention des professionnels doit être gérée très attentivement. La recherche de fuite peut également être faite sur des toits verts.</li> <li>- <b>Coût réel de la maintenance. Il est également important de prendre en compte</b> que les toits verts nécessitent une maintenance de l'aménagement, qui peut être occasionnelle ou régulière en fonction des besoins.</li> </ul>

#### III.2 Comparaison avec des alternatives

<p><b>Solutions grises ou conventionnelles</b></p>	<p>Toit blanc ou frais : le toit vert réduit les besoins annuels du bâtiment en termes de chauffage et de climatisation de 1,2 % tandis que le toit blanc contribue à la réduction des besoins de seulement 0,4 %. Cette légère différence provient principalement de la capacité d'isolation supérieure du toit vert et des températures de surface plus basses (Santamouris, 2014)</p>  <p style="text-align: center;">White or light-colored roofs © NREL/CRAIG MILLER PRODUCTIONS/DOE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Toit de gravier : Les toits de gravier sont des toits de ballast qui permettent d'absorber la chaleur, empêchent le soleil de réchauffer les matériaux du toit et rendant le toit plus efficace en termes d'énergie. En outre, le gravier protège le toit contre la grêle et contre le piétinement lors des travaux de réparation ou de maintenance. Le gravier est simple à déplacer lors de ces travaux.</li> <li>- Jusqu'à 65 à 70 % des précipitations annuelles peuvent être retenues par des toits verts extensifs avec 10 cm de substrat, un toit de gravier ne retient que 0 à</li> </ul>
--	--

18 % (Köhler, Kaiser, Wolff, 2018). Ainsi, un toit de gravier ne s'accompagne d'aucun des avantages et co-bénéfice du toit vert.



Toit de graviers  
© Anderson Roofing

#### SfN similaire

- Autres types de toits verts (semi-intensifs et intensifs)
- Systèmes à support de plantation construits ou fixés (y compris balcons)

## IV/ Références

### IV.1 Références scientifiques et opérationnelles

- Alexandri, E., Jones, P., 2008. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Build. Environ.* 43, 480–493.
- Bass, B., Liu, K., Baskaran, B., 2003. Evaluating rooftop and vertical gardens as an adaptation strategy for urban areas.
- Besir, A.B., Cuce, E., 2018. Green roofs and facades: A comprehensive review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 82, 915–939.
- Castleton, H.F., Stovin, V., Beck, S.B.M., Davison, J.B., 2010. Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy Build.* 42, 1582–1591. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.004>
- Hofmann, Michaela. Wildbienen auf Gründächern - Hoch hinaus. *GebäudeGrün.* 2017, 2, S. 25-29.
- Hui, S.C., Chan, S., 2011. Integration of green roof and solar photovoltaic systems, in: *Joint Symposium.* pp. 1–12.
- Jin, C., Bai, X., Luo, T., Zou, M., 2018. Effects of green roofs' variations on the regional thermal environment using measurements and simulations in Chongqing, China. *Urban For. Urban Green.* 29, 223–237.
- Köhler, Manfred, Kaiser, Daniel und Wolff, Fiona. Regenwassermanagement mit bewässerten Gründächern zur Gebäudeklimatisierung sowie zur Verbesserung der Aufenthaltsqualität. s.l. : Hochschule Neubrandenburg, 2018.
- Matteson, K.C., Ascher, J.S., Langellotto, G.A., 2008. Bee richness and abundance in New York City urban gardens. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 101, 140–150.
- Mentens, J., Raes, D., Hermy, M., 2006. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landsc. Urban Plan.* 77, 217–226.
- Nagase, A., Tashiro-Ishii, Y., 2018. Habitat template approach for green roofs using a native rocky sea coast plant community in Japan. *J. Environ. Manage.* 206, 255–265.
- Pfoser, Nicole, et al. Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen. s.l. : Technische Universität Darmstadt, 2013
- Ragheb, A., El-Shimy, H., Ragheb, G., 2016. Green architecture: a concept of sustainability. *Procedia-Soc. Behav. Sci.* 216, 778–787.
- Rowe, D.B., Rugh, C.L., VanWoert, N., Monterusso, M.A., Russell, D.K., 2003. Green roof slope, substrate depth, and vegetation influence runoff, in: *Proceedings of the 1st North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities.* The Cardinal Group, Chicago. pp. 354–362.
- Rugh, C.L., 2014. Critical Success Factors for Green Roof Projects. *Roof. Contract. Mag.*
- Rumble, H., Finch, P., Gange, A.C., 2018. Green roof soil organisms: Anthropogenic assemblages or natural communities? *Appl. Soil Ecol.* 126, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.01.010>
- Santamouris, M., 2014. Cooling the cities—a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Sol. Energy* 103, 682–703.

Simmons, M.T., Gardiner, B., Windhager, S., Tinsley, J., 2008. Green roofs are not created equal: the hydrologic and thermal performance of six different extensive green roofs and reflective and non-reflective roofs in a sub-tropical climate. *Urban Ecosyst.* 11, 339–348. <https://doi.org/10.1007/s11252-008-0069-4>

Theodosiou, T., 2009. Green roofs in buildings: Thermal and environmental behaviour. *Adv. Build. Energy Res.* 3, 271–288.

Tommasi, D., Miro, A., Higo, H.A., Winston, M.L., 2004. Bee diversity and abundance in an urban setting. *Can. Entomol.* 136, 851–869.

## IV.2 Sources utilisées dans la fiche

FLL Green Roof Guideline (2018), Austrian Green Roof Standard ÖNORM L1131 (2010), Swiss Greenroof Standard SIA 312 (2013)

Measurable Benefits of Green Roofs [https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-fachinfos/Dachbegruenung/BuGG\\_Fachinformation\\_Positive\\_Wirkungen\\_Gebaeudebegruenung19112019.pdf](https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-fachinfos/Dachbegruenung/BuGG_Fachinformation_Positive_Wirkungen_Gebaeudebegruenung19112019.pdf)

Exemplar Projects: EFB <https://efb-greenroof.eu/exemplar-projects/> , GSG

[https://gruenstattgrau.at/datenbank/?type=projekt&tax-art-der-begruenung%5B%5D=000\\_dachbegruenung](https://gruenstattgrau.at/datenbank/?type=projekt&tax-art-der-begruenung%5B%5D=000_dachbegruenung)

## V/ Auteurs

Nom	Institution / entreprise	Ecriture / révisions
Marta de Regoyos Sainz	Acciona Ingeniería	Ecriture
Ryad Bouzouidja	Agrocampus Ouest	Ecriture
Florian Kraus	Green4Cities	Révision
Marjorie Musy	Cerema	Révision
Tijana Matic	GRÜNSTATTTGRAU	Révision
Vera Enzi	GRÜNSTATTTGRAU	Révision