

LA VEGETALISATION DES BATIMENTS



Med Bouattour
Fuchs Alain

Paris –2009

@d aménagement durable®

Une contribution de la DREIF
et des EPA d'Ile-de-France
à l'aménagement durable de la ville



Sommaire

Introduction	p3
Partie I Les toitures végétalisées	p4
I- Définition et présentation des toitures végétalisées	p5
II- Historique des toitures végétalisées	p5
III- La typologie des toitures végétalisées	p7
IV- Les avantages des toitures végétalisées	p8
V – Les inconvénients des toitures végétalisées	p12
VI- Subventions et Coûts des toitures végétalisées	p13
VII- Mise en œuvre des toitures végétalisées	p14
VIII – Maintenance des toitures végétalisées	p19
VIII – Exemples	p21
Partie II Les murs végétalisés	p27
I- Définition et présentation	p28
II- Historique des murs végétalisés	p28
III- La mise en Œuvre des murs végétalisés	p29
IV- Les avantages des murs végétalisés	p34
V- Le confort été/hiver	p35
VI - La maintenance des murs végétalisés	p35
VII – Inconvénients	p36
VIII – Coût	p36
VIII – Exemples	p37
Conclusion	p43
Bibliographie	p45

Introduction

De façon générale, la végétalisation des bâtiments permet de composer avec la nature en ville.

« L'inclusion du végétal dans l'architecture restitue la nature dans la proximité que l'on croyait réservée à l'univers de la campagne ou du potager et qui, là, s'offre aux urbains, à tous ceux que la conscience du développement des villes et de la réduction des territoires oblige à repenser la présence de la nature »¹.

Aujourd'hui, les plantes sur les toits et les murs sont de plus en plus intégrées dès la phase de conception de la construction, tandis que des supports allégés et des matériaux modernes facilitent leur diffusion progressive à l'ensemble des projets, de construction neuve comme de réhabilitation.

Alors que la crise affecte le secteur du bâtiment, le marché de la végétalisation des toitures ne cesse, depuis 2004, de contribuer à l'intégration du développement durable dans la construction. Avec une progression en 2008 supérieure à 50 % (le demi million de m² a été franchi en 2008²), la France prend enfin conscience des avantages environnementaux des toitures végétales et rattrape son retard.

Les murs végétaux constituent quant à eux une solution de végétalisation dont l'application la plus simple, la façade verte, doit encore être redécouverte, tandis que les applications sophistiquées peuvent être considérées comme des étendards de la nature en ville.

¹ Claude Eveno, Construire avec la nature, Vingt architectures dans le paysage.

² Communiqué de Presse : 18/03/2009 ADIVET

I - Les toitures végétalisées



Académie des sciences de Californie
Architecte - Renzo Piano



I- Définition et présentation des toitures végétalisées

Le principe de la toiture végétale (aussi : toit vert ou toit végétalisé) existe depuis la préhistoire. Il consiste à recouvrir d'un substrat végétalisé un toit plat ou à faible pente (jusqu'à 35° et rarement plus, au-delà, on parlera de mur végétalisé).

De nombreuses expériences conduites en Europe (depuis les années 1970 surtout en Allemagne, Pays-Bas, Suisse, pays scandinaves, et depuis peu en Belgique, France, etc.) ont montré que pour des objectifs esthétiques ou de durabilité, comme dans la perspective de restauration ou protection de la biodiversité et de l'environnement en milieu urbain (en particulier concernant la qualité de l'air et l'atténuation des îlots de chaleur urbain), l'aménagement d'un « écotit » se révélait intéressant.

Plusieurs entreprises spécialisées ont mis au point des systèmes complets de verdissement des toitures, fiables et performants. Elles proposent toutes sortes de systèmes, allant des tapis pré-végétalisés à la station d'arrosage automatisée. L'intégration d'un toit vert dans le bâtiment sera d'autant mieux réussie qu'elle sera envisagée dès la conception du bâtiment, mais elle est toutefois réalisable sur des constructions déjà existantes. Les coûts d'entretien et surcoûts de construction sont faibles, en comparaison des services rendus, particulièrement pour les terrasses plantées en extensif qui ne nécessitent qu'un nettoyage annuel des écoulements, aucun arrosage et un entretien très réduit. Cette technique, qui est parfaitement au point et relativement aisée à mettre en place, ne provoque pas l'altération du bâtiment. La stabilité et l'étanchéité des toitures végétalisées sont même au contraire supérieures aux toitures plates classiques.

II- Historique des toitures végétalisées

Le principe d'installer des plantes sur les toits n'est pas nouveau, nous avons tous entendu parler des « Jardins suspendus de Babylone », et autour de nous aperçu des arbres sur des terrasses, intégrés dans de véritables « jardins en l'air ». Les personnes qui ont eu l'occasion de visiter la Scandinavie ont quelquefois pu voir des exemples beaucoup plus étonnants de maisons traditionnelles, avec des toitures à double pente...vertes ; c'est ce qu'il est convenu d'appeler le « chalet norvégien ». Dans d'autres sociétés traditionnelles, que ce soit en Turquie, en Mongolie ou chez certains peuples Amérindiens, la présence voulue ou acceptée de végétaux sur les toitures est normale, car contribuant au rafraîchissement des volumes intérieurs en été. Pensons aussi au faîte des toitures normandes en chaume, qui est planté en Iris...



Jardins suspendus de Babylone - Maarten van Heemskerck - XVIe siècle



Graminées sur habitat traditionnel - Musée des traditions d'Oslo - Norvège

Dans l'architecture du XX^{ème} siècle, la terrasse-jardin est progressivement devenue une des solutions permettant de conserver à la ville une relation avec la nature. Les éléments techniques qui constituent cette solution ont été améliorés à partir des années 1970, avec l'arrivée des membranes d'étanchéité légères et résistantes à la pénétration racinaire, et de mélanges terreux allégés.

Au milieu des années 80, l'Allemagne fut à l'origine de la mise à jour d'une solution novatrice, dite « végétalisation extensive des toitures », appelée à un très important développement dans ce pays. C'est ainsi qu'à partir du milieu des années 90, près de 15% des toitures-terrasses nouvellement créées en Allemagne étaient végétalisées, essentiellement avec cette solution. C'est la prise en compte rapide par les pouvoirs publics (subventions au niveau des Länder et des villes notamment) et l'intégration de « l'esprit environnemental » dans la société allemande qui ont permis cette réussite remarquable. Aujourd'hui, en Allemagne où le marché est estimé à 13 millions de mètres carrés par an, plus de 40% des villes proposent des incitations financières pour le développement des toitures végétalisées. A Berlin, par exemple, la ville prend à sa charge 60% des dépenses liées aux toitures végétalisées et à l'installation de traitement de l'eau de pluie.

En France, le concept de végétalisation extensive des toitures est apparu au début des années 90, porté par des industriels de l'étanchéité. Il s'est développé très lentement durant la décennie 90, et il entre de plus en plus en phase avec les attentes de la société française depuis 2004, se concrétisant notamment autour de la démarche HQE et le souci de prendre en compte, dans la construction, des solutions respectueuses de notre environnement (développement durable).

La Suisse quant à elle, a mis en place toute une politique d'information et de sensibilisation à destination des architectes, des professionnels de la construction et des services en charge de la délivrance des permis de construire. La ville de Baden, en Suisse, va jusqu'à prélever une taxe de 40 francs suisses par mètre carré de surface bâtie pour les bâtiments sans végétalisation de toit et sans infiltration de l'eau pluviale.

Le Canada mise sur la réduction des gaz à effet de serre et des effets îlot de chaleur les jours de canicule. Une réduction de 1°C de l'effet d'îlot thermique entraînerait une baisse de 5% de la demande en électricité pour la climatisation et la réfrigération et par conséquent une diminution des émissions de gaz à effet de serre. Une étude d'Environnement Canada estime que la végétalisation de 6% de toute la surface de toits disponibles pourrait faire baisser la température de Toronto de 1 à 2°C.

Au Japon où 120 millions de personnes vivent dans des zones urbaines avec en corollaire une forte consommation d'énergie en air conditionné, la réalisation de toitures végétalisées est encouragée par une réduction de taxes.

Dans les pays scandinaves, les toitures végétalisées sont utilisées pour leurs avantages thermiques et écologiques³.

³ Une construction écologique est centrée sur le concept de 'durabilité de l'environnement' c'est-à-dire l'adoption d'un mode de vie qui permet de préserver, de maintenir et d'améliorer la qualité des ressources et des équilibres naturels, et donc de ménager l'avenir. Un bâtiment qui contribue à cet objectif, doit prendre en considération cinq concepts : le faible impact de la construction sur l'environnement, l'économie de l'énergie, la durabilité, la non toxicité et l'esthétique.

III- La typologie des toitures végétalisées

Depuis une dizaine d'année, on assiste à un renouveau des produits d'allègement de la terre végétale qui, combiné avec une plus grande maîtrise de la culture hors sol et avec des avancées de l'horticulture, a permis un essor des terrasses vertes.

Selon l'épaisseur de substrat et le degré d'arrosage souhaité, on pourra faire une plantation de type extensive, semi-extensive ou intensive.

A - Extensive

Il s'agit d'un type de plantation sur substrat de 10 à 15 cm d'épaisseur qu'on ne veut pas nécessairement arroser, sauf éventuellement en cas de sécheresse prolongée. Cette plantation utilise surtout des couvre-sols très rustiques capables de supporter des sécheresses et qui prennent rapidement de l'expansion pour ombrager le sol et le stabiliser par leurs racines. Son substrat de culture contiendra jusqu'à 70 % d'agrégats poreux, en volume, afin de conserver le plus d'eau possible.



B - Intensive

C'est un type de culture dans des bacs pouvant faire jusqu'à 1 ou 2 mètres de profondeur. La culture intensive peut permettre la culture d'arbres tels les arbres fruitiers décoratifs ou nains. De manière générale, il est recommandé de leur poser des haubans pour résister aux grands vents. Ces systèmes devraient toujours être munis d'arrosage automatique pour assurer la survie des arbres. Le volume d'agrégats est souvent réduit à 40 % pour faire place à plus d'éléments nutritifs.



C- Semi-intensive

C'est aussi une plantation de faible épaisseur ayant généralement un système d'arrosage automatique goutte-à-goutte se faisant par petits conduits situés sous le substrat de culture entre le géotextile filtrant et le géotextile anti-racine. Voilà pourquoi le géotextile filtrant doit aussi être un géotextile absorbant. Il absorbe les gouttes d'eau pour humidifier les racines sans réduire leur oxygénation. Ce système est aussi très économe en eau, ne créant presque pas d'évaporation. Ce type de culture peut mélanger les couvre-sols, les



plantes à fleurs ou à feuillage, les légumes et même de petits arbustes ou des grimpants comme la vigne vierge ou le chèvrefeuille. Le substrat d'une culture semi-extensive est généralement composé d'environ 50 % d'agrégats poreux.

Ci-joint un tableau comparatif des trois typologies :




	Extensive	Semi-intensive	Intensive
			
Utilisation	Toitures écologiques	Jardins / Toitures écologiques	Jardins et parcs
Type de végétation	Mousse, herbe et plantes grasses	Herbe, plantes grasses et buissons	Gazon, plantes vivaces, buissons et arbres
Epaisseur du substrat	60-200mm	120-250mm	150-400mm
Charge	60-150 kg/m ²	120-200 kg/m ²	180-500 kg/m ²
Irrigation	Non	Périodiquement	Régulièrement
Maintenance	Faible	Périodiquement	Intense
Coût	Faible	Moyen	Elevé

Tableau comparatif des types de toitures végétalisées

Aujourd'hui, des expériences de végétalisation sur sol squelettique allégé attestent que la charge du complexe végétal peut ne pas dépasser 50kg/m², soit 15 fois moins qu'un jardin traditionnel installé sur une toiture terrasse.

IV- Les avantages des toitures végétalisées

La toiture végétalisée présente de nombreux avantages, tant sur le plan de l'esthétique et de la durabilité, que dans une perspective de protection de la biodiversité et de l'environnement en milieu urbain.

A- Intérêt écologique et sanitaire

La toiture écologique, qui peut par ailleurs s'inscrire dans une démarche de Haute qualité environnementale ou HQE, permet :

- **une amélioration de la qualité de l'air** du point de vue des composés chimiques (diminution des concentrations de CO et CO₂, apport d'oxygène, filtration de polluants atmosphériques tels le dioxyde de soufre ou l'oxyde d'azote) mais aussi du point de vue de la fixation des poussières et des pollens. En effet, l'évapotranspiration engendrée par les terrasses plantées



élève l'humidité de l'air et favorise donc la formation de rosée, indispensable à la fixation des poussières et des pollens en suspension dans l'air. Les particules de plomb, de carbone, les matières organiques particulaires ou de faible densité sont fixées dans le substrat ou nourrissent les bactéries, plantes et insectes qui s'y développent.

- **une atténuation des îlots de chaleur urbains.** En effet, les villes sont toujours plus chaudes que les campagnes adjacentes. Le réchauffement excessif des toitures, du béton, de l'asphalte des rues et de la maçonnerie extérieure des murs réchauffe l'air environnant de plusieurs degrés supplémentaires. La température estivale moyenne dans les villes a augmenté durant les dix dernières années ajoutant encore à l'inconfort et aux malaises dus à la chaleur. Selon une étude du Ministère canadien de l'Environnement⁴, la présence de toitures vertes sur seulement 6 % des toits des villes canadiennes ferait descendre la température d'environ 1,5°C et ferait ainsi économiser près de 5 % des coûts de climatisation dans tous les immeubles climatisés des villes.

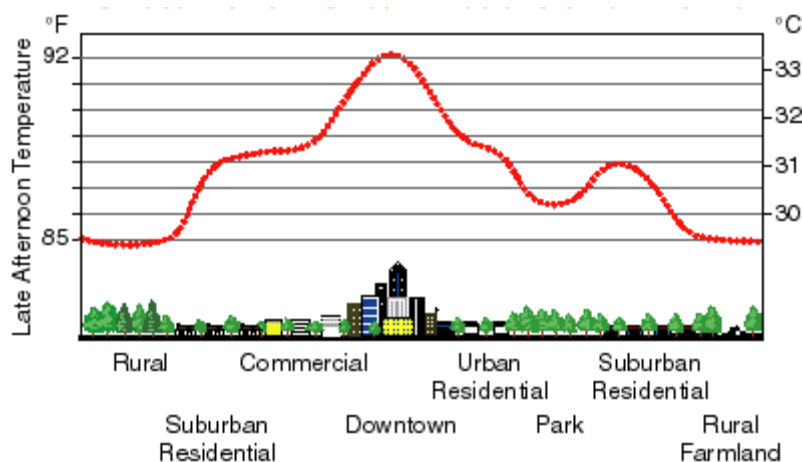


Figure - Gradient de température ville/milieu rural⁵

- **une augmentation de la superficie d'espaces verts :** les surfaces habituellement délaissées sont récupérées et un nouvel usage leur est donné. Cet usage peut être récréatif ou constituer uniquement un nouveau support d'accueil de la nature sauvage.

- une protection de la biodiversité, car ces toits offrent des habitats à la flore et à la faune, permettant à des équilibres de se recréer. Sur les terrasses extensivement végétalisées, les plantes les plus adaptées sont les plantes de milieux secs et oligotrophes qui sont justement menacées de disparition à cause de l'eutrophisation générale des milieux. Les cortèges faunistiques associés trouvent ainsi des îlots où leur survie est possible. On peut également associer un rucher à la toiture végétalisée, ce qui permet notamment la réintroduction des abeilles en ville, indispensables à la pollinisation des végétaux.



- **une filtration et une épuration biologique des eaux de pluies** par complexation⁶, par exemple, des métaux lourds dans le substrat.

⁴ wikipedia.org

⁵ Heat Island Group - 2nd International Conference on Countermeasures to Urban Heat Islands / Lawrence Berkeley National Laboratory, 2000.

• **une régulation des débits hydriques**, le toit végétalisé accumulant l'eau dont une partie est par ailleurs utilisée par les plantes. Les toitures représentent jusqu'à 20 % des surfaces de nos villes. Les eaux de pluies qui tombent sur les toits sont ensuite acheminées vers les égouts pluviaux. Ceci surcharge les égouts et les stations d'épuration d'eau tout en causant parfois des inondations de sous-sols. À l'image d'une éponge, la toiture végétalisée accumule l'eau dont une partie est utilisée par les plantes, une autre est évaporée et une autre évacuée par les canalisations avec un retard favorisant le bon écoulement. Les toitures et terrasses plantées, par leur capacité de rétention, d'évaporation et de relargage différé des eaux de pluies contribuent à lutter contre les effets néfastes de l'imperméabilisation des sols, à savoir : augmentation constante des débits de pointe, engorgement des réseaux d'assainissement en période crue, afflux de pollutions métalliques et organiques après les orages, etc. **Annuellement, un toit végétal pourrait absorber jusqu'à 50 % de la quantité d'eau tombant sur les toits, permettant ainsi une réduction des coûts de traitement de l'eau de 5 à 10 %.**

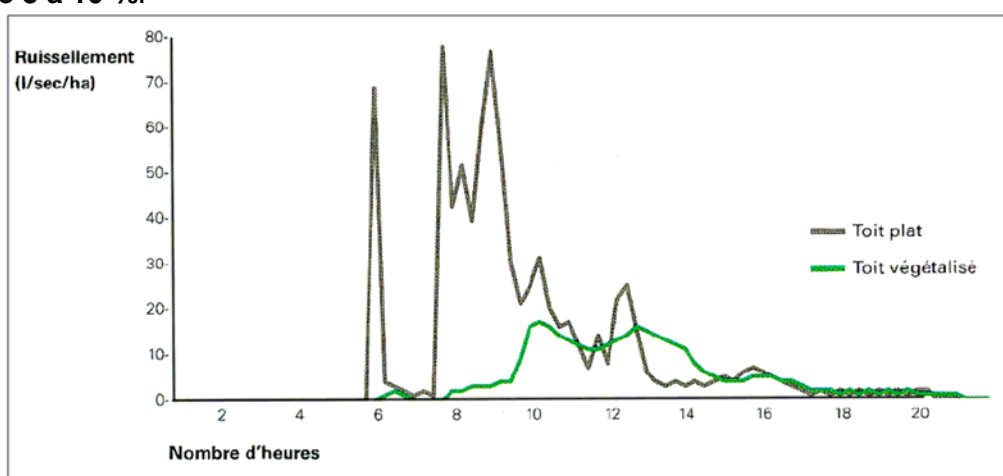


Figure - Ruissellement sur un toit plat conventionnel et un toit végétalisé extensif sur une période de 22 heures⁷

Pour des pluies typiques d'Ile de France par exemple, le CSTB a calculé les coefficients de ruissellement des différents types de toiture, ce qui illustre l'intérêt de la toiture végétalisée par rapport aux toitures traditionnelles.

Type de toiture	coefficient de ruissellement	Type de toiture	coefficient de ruissellement
panneau de tuiles	88,6%	panneau végétalisé (1 m2)	34,8%
panneau acier	93,6%	toiture végétalisée (146 m2)	47,3%
panneau de gravillons	57,6%		

⁶ Le calcul des chemins réactionnels de complexation permet d'expliquer la fixation du cation métallique sur un site préférentiel

⁷ Entre 2002 et 2004, le CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction, en Belgique) a mené une étude destinée à vérifier les performances de neuf "toitures vertes" disponibles sur le marché belge. Les conclusions portent sur leurs capacités de rétention hydraulique sur de longues périodes, leur effet retardateur lors d'averses intenses et la qualité des eaux rejetées. Les différences observées dans les toitures testées grandeurs nature proviennent de la composition et de l'épaisseur des couches de drainage, de la densité des filtres, de la nature des substrats et des couches de végétation. Cette étude a permis de démontrer que les toitures vertes rejettent clairement moins d'eau que les toitures traditionnelles ; que dans la fraction d'eau rejetée, plus le substrat est épais, plus importante est la rétention. Cependant, la combinaison d'un substrat moins épais et d'une couche drainante adéquate permet également d'optimiser la rétention d'eau. Quant à la question de l'effet retard permis par la toiture végétalisée, qui dépend de ses dimensions, de sa composition et de sa pente, il a été observé que les TVE à substrat inférieur ou égal à 100 mm réduisaient le débit de 30 à 50% et qu'elles décalaient de 5 à 10mn le point culminant des averses intenses.

B- Impact technique

Techniquement, la stabilité et l'étanchéité des toitures végétalisées sont supérieures à celles des toitures plates classiques. Cette technique améliore le confort acoustique du bâtiment et offre en outre :

- une protection sur l'étanchéité assurée par le fait que les matériaux imperméabilisants résistent plus longtemps quand ils sont à l'abri des ultraviolets (UV) et du rayonnement thermique solaire. En effet, la dégradation des membranes est principalement due à la chaleur. Celle-ci dégrade les huiles du bitume élastomère qui devient alors plus cassant. Finalement, le substrat bloque aussi les rayons UV qui sont responsables d'environ 5 % du vieillissement des membranes. De plus, l'écotoit constitue une barrière contre les intempéries. Ces actions combinées permettent d'espérer une durée de vie de 30 à 50 ans pour la membrane d'étanchéité.

- Une isolation phonique : la terre végétalisée est un des meilleurs isolants acoustiques, elle absorbe les ondes sonores. Elle permet notamment de diminuer les bruits de l'environnement urbain. Un substrat de 12 cm d'épaisseur peut réduire les bruits aériens de près de 40dB. Un avantage non négligeable dans les secteurs survolés par des avions à basse altitude.



C- Impact sur le confort été/hiver

Les toitures végétalisées améliorent le confort thermique du bâtiment, humidifient l'air ambiant et offrent :

- **une protection contre les chocs thermiques** (pluie froide sur les toitures chaudes) dont bénéficie le bâtiment (réduction des contraintes mécaniques) et ses occupants. Les toitures végétalisées permettent une réduction des variations de température jusqu'à 40 %.

- **une inertie thermique** permettant de réaliser d'importantes économies d'énergie. En été, les toitures végétalisées réduisent globalement l'énergie transmise de 70 à 90% par rapport à une toiture nue⁸. Une membrane de toiture exposée au soleil peut atteindre une température de surface de 65 °C, alors que la même membrane recouverte de végétaux demeure à une température de 15 à 20 °C. La température de la toiture influence la température intérieure d'un logement et donc les besoins de climatisation. Une toiture couverte de végétaux et de son substrat de culture (une terre légère) réduit aussi sensiblement les pertes de chaleur en hiver, mais cet impact est moindre que celui sur la climatisation.

⁸ CSTB - Webzine - Edition Septembre 2009

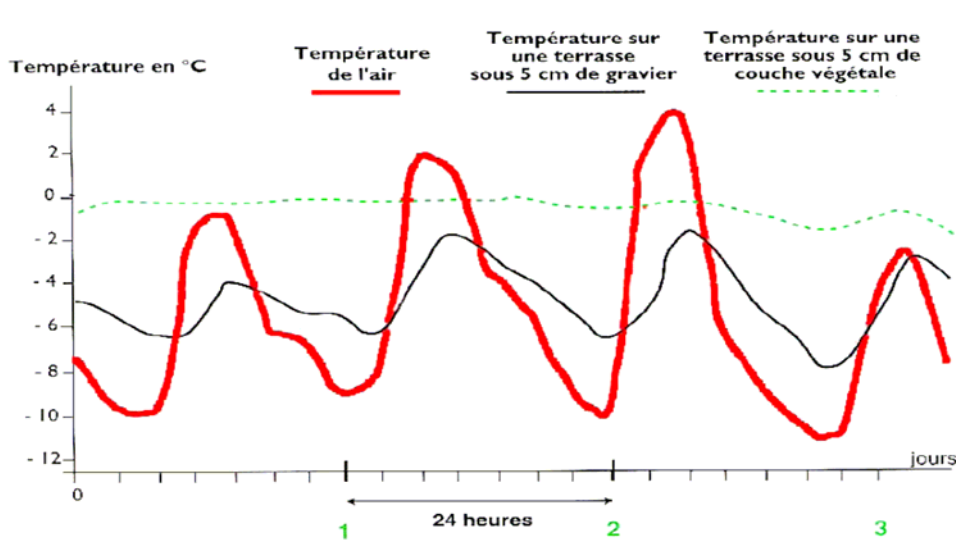


Figure - Les toitures végétalisées contribuent à adoucir le climat urbain⁹

D- Impact paysager

Judicieusement conçues, les toitures végétalisées redonnent aux villes, notamment industrielles, une indéniable valeur esthétique et valorisent l'habitat en offrant une bonne solution pour que le bâtiment s'intègre dans son environnement.

En particulier dans les milieux urbains denses, les vues sur les toits terrasses végétalisés sont une plus-value indéniable par rapport aux vues donnant sur les toits minéraux ponctués d'installations techniques inesthétiques.

E- Impact social

Les toitures végétalisées contribuent à rendre la ville plus « calme », moins stressante. Les habitants retrouvent une certaine harmonie urbanisme-nature.



V – Les inconvénients des toitures végétalisées

L'inconvénient majeur des toitures végétalisées reste le poids à prendre en compte sur la structure, pour lequel les solutions extensives sur sols allégés apportent aujourd'hui des solutions efficaces. Les sols allégés autorisent en effet aujourd'hui, en toute sécurité, l'embellissement de nombreuses terrasses perchées, avec la possibilité de végétaliser des bacs aciers et même des toitures en bois, sans problème de surcharge.

Les terrasses végétalisées nécessitent une bonne étanchéité et sont mal adaptées aux toits à forte pente. Une pelouse maigre peut cependant verdir une toiture inclinée, y compris un toit dont la pente varie de 5% à 45%. Dans ce cas, il suffit que le toit soit bordé d'une corniche inférieure, voire muni d'un dispositif de retenue contre les risques de glissement du complexe végétal, à partir d'une inclinaison de 20%. Les terrasses extensives peuvent convenir presque partout, quand une végétation arborée sur des toitures végétalisées intensives nécessite une charpente ou une dalle surdimensionnée, selon le type d'arbre et le poids de terre que l'on voudra y disposer. Dans ce dernier cas un système d'arrosage peut être nécessaire en période sèche et chaude.

⁹ CSTB – ADIVET Colloque Toitures végétalisées : une contribution au Développement Durable

VI- Subventions et coûts des toitures végétalisées

Les coûts d'entretien et les surcoûts de construction des toitures végétalisées sont faibles en comparaison des avantages qu'elles procurent. En effet, la création d'un toit végétal offre parfois une aire extérieure additionnelle aux occupants, ce qui en zone urbaine ajoute une plus-value pour l'usage, pour la vente ou la location. Pour les édifices de bureaux, le toit-terrasse vert ajoute du prestige aux entreprises qui y ont un accès direct. Cet espace vert extérieur devient un reflet de l'engagement social et/ou environnemental de l'entreprise. L'espace vert extérieur crée aussi un climat propice aux rencontres et aux bonnes relations entre les employés et contribue à augmenter la productivité de ses occupants de 5 à 15 %.

Selon le CSTB¹⁰, en 2008 et en France, le complexe étanchéité & végétalisation extensive coûte de 45 à 100 € le m² (selon la surface, la pente, les végétaux choisis et les éventuels travaux de renforcement), soit un surcoût apparent de 45€/m². En réalité l'allongement de la durée de vie de l'étanchéité rend à long terme cette solution moins coûteuse qu'un toit de tuile ou d'ardoise. La terrasse-jardin reste plus chère (150 à 300 €/m²). Il faut également prévoir un coût d'entretien annuel, de 1€ an pour une toiture type extensive à 3 € le m² en semi intensive.

En décembre 2006, Le Conseil Régional d'Île de France, suivi par le Conseil Général des Hauts-de-Seine, ont voté deux subventions en faveur de la création de toitures végétalisées. Pour les Hauts-de-Seine, le département subventionne à 80% les travaux de végétalisation, pour un total de travaux maximum de 60 €/m², avec un plafond fixé à 48€/m² pour la subvention. Quant à la région IDF, elle prend en charge 50% de la dépense, plafonnée à 45€/m², dans le cadre de travaux de constructions neuves ou de rénovation des toitures. Le taux de subvention attribué pour une opération ne peut excéder 80%. L'Agence de l'eau Seine-Normandie est également susceptible, dans certaines conditions, de financer la végétalisation de toitures¹¹.

La rénovation est parfois pénalisée pour les applications sur structure légère en raison de la prise en compte de la surcharge, ce qui entraîne des coûts de renforcement. Mais aujourd'hui de nouvelles techniques utilisent des matériaux et des substrats de plus en plus légers, qui atténuent cette contrainte.

D'après le CSTB¹² le marché des toitures végétalisées est segmenté comme suit : 10% des cas sont sur de la rénovation et 90% des cas se font en construction neuve. La construction publique reste le moteur de l'accroissement du nombre des toitures végétalisées avec 75% du marché contre 25% pour le privé, donnant ainsi l'exemple en matière de développement durable.

¹⁰ CSTB - Webzine - Edition Février 2008

¹¹ Etanchéité INFO n°9 de mars 2006 - page 18

¹² CSTB – ADIVET Colloque Toitures végétalisées : une contribution au Développement Durable

VII- Mise en œuvre des toitures végétalisées

Une toiture végétalisée est constituée d'un certain nombre de composantes. En partant du support de toit, on trouve (voir figure) :

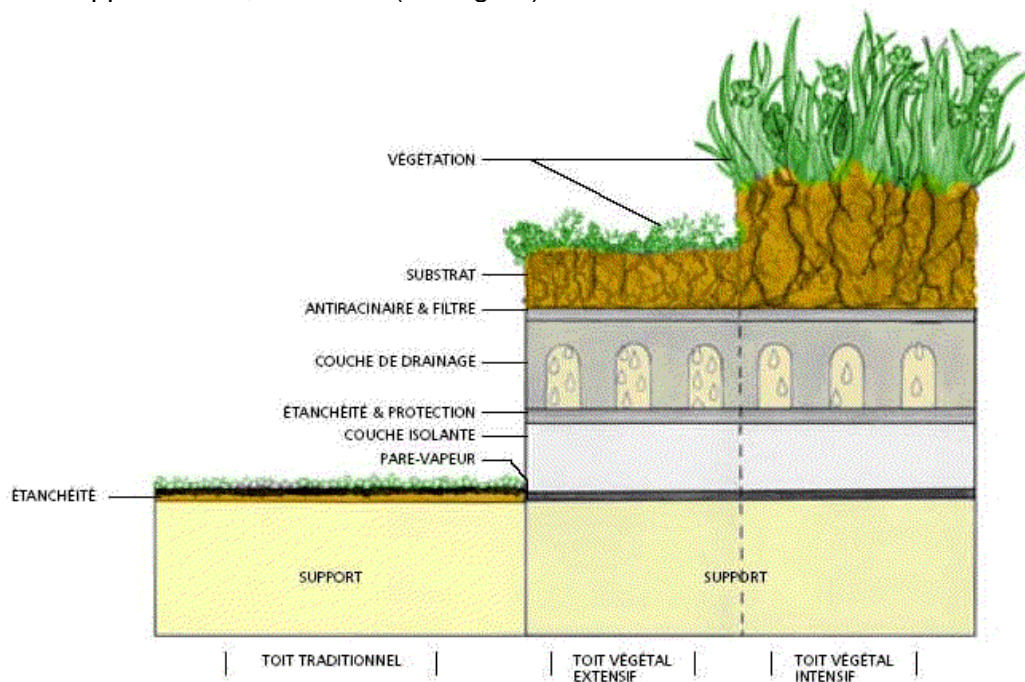


Figure – Composition d'une toiture végétalisée¹³

A- La structure portante

Elle peut être en béton, acier ou bois et doit supporter le poids de l'installation prévue qui peut doubler voire tripler lorsqu'elle est gorgée d'eau en cas de pluie ou de fonte de la neige accumulée. De façon générale, il convient d'intégrer la surcharge inhérente au poids de la terre végétale humide et aux piétons dans le calcul des structures portantes. Le toit peut être plat ou incliné (35° au maximum). Il est recommandé de construire des terrasses avec une pente minimale de 1 à 2 %, pour diminuer l'épaisseur de la couche drainante et donc le poids de la structure.

B- Un complexe isolant

L'isolation de la toiture constitue une phase essentielle dans la construction ou la rénovation d'une maison. L'isolation toiture permet de conserver la chaleur qui s'évacue facilement par le toit et de réaliser ainsi des économies énergétiques et financières.



¹³ La végétalisation des bâtiments, Agence locale de l'énergie de l'agglomération grenobloise, Octobre 2007

C- Un système d'étanchéité

Comme pour toute toiture, elle est essentielle. L'importance de la couche d'étanchéité ne doit jamais être sous-estimée ; une terrasse végétalisée bien faite fuit beaucoup moins que si elle ne l'était pas, mais les coûts de réparation d'une fuite sont souvent au moins doublés comparés aux toitures-terrasses classiques. Le complexe isolant doit être résistant à la compression et aux racines.

Les membranes bitumineuses SBS (éventuellement APP) sont les plus adaptées, mais dans leurs versions "anti-racine" uniquement. Elles offrent une épaisseur plus importante que leurs sœurs synthétiques et présentent moins de problème de recyclage selon leurs promoteurs. L'application en deux couches d'une membrane anti-racine est recommandée. Il est aussi possible de mettre en oeuvre des étanchéités en polyoléfine dites TPO ou FPO (cartouche éthylène propylène + polypropylène), le caoutchouc synthétique (EPDM) et le PVC.



Les choix des espèces de plantes, le type de drainage (barrière composée d'une couche d'air) et l'entretien régulier rendent inutile le traitement herbicide inclus dans le bitume. Cependant, la réglementation¹⁴ exige l'ajout d'une couche anti-racine car les fabricants d'étanchéité utilisent du bitume qui est une base "attirant" les racines.

D- Un système de drainage

Selon l'inclinaison de toit, la résistance de la structure portante et l'épaisseur et la nature du substrat, une couche drainante peut être mise en oeuvre. C'est le plus souvent du polyéthylène gaufré qui crée un espace de drainage d'environ 10 mm de hauteur dirigeant l'eau de pluie vers le drain du toit ou vers les gouttières extérieures. Le drain peut être aussi composé de cailloux, graviers, plaques de polystyrène alvéolées et nervurées, Enkadrain¹⁵...



¹⁴ - Norme NF-DTU 43.1 (étanchéité de toiture avec élément porteur en maçonnerie - dalle béton)

- Norme NF-DTU 43.3 (étanchéité de toiture avec élément porteur en tôles d'acier nervurées)

- Norme NF-DTU 43.4 (étanchéité de toiture avec élément porteur en bois)

- Règles professionnelles pour la conception et la réalisation des terrasses végétalisées, éditées par la Chambre Syndicale Française de l'Etanchéité (CSFE)

- Avis Techniques (CSTB) du GS n°5 ou Cahier des Charges prescription de Pose des systèmes de végétalisation bénéficiant d'une Enquête de Technique Nouvelle favorable d'un Bureau de Contrôle membre du COPREC

¹⁵ L'Enkadrain est un géocomposite très utilisé en centres d'enfouissement techniques et en réhabilitation de décharges pour drainer l'eau.

E- Un système de filtration

Pour éviter le colmatage du système de drainage par des particules du sol/substrat, il est éventuellement possible de lui adjoindre un filtre géotextile non-tissé qui retient les fines particules du sol et laisse l'eau s'égoutter. Ce géotextile absorbe aussi l'eau qui la traverse, offrant un milieu humide pour les racines des plantes. Cependant, le non-tissé offre peu de résistance aux racines qui le pénètrent en réduisant son efficacité. On le recouvre donc généralement encore d'un autre géotextile traité anti-racine.



F- Un substrat de croissance avec bande pourtour

Le substrat doit être léger et résistant à la compaction tout en retenant l'eau. Sa composition est généralement un mélange de terre et/ou de compost végétal de feuilles ou d'écorces mélangé à des agrégats de pierres légères et absorbantes (pierre ponce, matériau expansé tel que des billes d'argile, éventuellement récupération de déchets de tuiles broyées, particules de lave, zéolithe¹⁶, pouzzolane¹⁷...) ayant un diamètre de 3 à 12 mm. Les agrégats représentent un volume variant de 40 à 70 % du substrat de culture en fonction de l'épaisseur de substrat, de l'irrigation (si engazonnement) et du type de culture souhaité. L'épaisseur totale du substrat peut ainsi être réduite à seulement 10 cm d'épaisseur, voire moins pour les rouleaux prévégétalisés de sédums. 15 cm est en zone tempérée l'épaisseur minimale convenant aux plantes très résistantes au gel. 15 cm sont nécessaires aussi pour bénéficier d'une plus grande variété de plantes. Il faut attacher une importance majeure quant au renforcement de la structure d'un immeuble existant car la terre devient très lourde lorsqu'elle est saturée d'eau avec des risques de dommages à l'étanchéité et à stabilité.

Autrement, les capacités du substrat de croissance : de rétention en eau, de perméabilité, de résistance à l'érosion et de densité, conditionnent son bon fonctionnement.

¹⁶ La zéolithe naturelle est employée pour la fertilisation des sols, car elle fournit une source de potassium (engrais) lentement libéré. Si elle est préalablement dopée avec de l'ammonium, la zéolithe permet aussi une libération contrôlée d'azote.

¹⁷ La pouzzolane est une roche naturelle constituée par des scories (projections) volcaniques basaltiques ou de composition proche. Elle possède une structure alvéolaire.



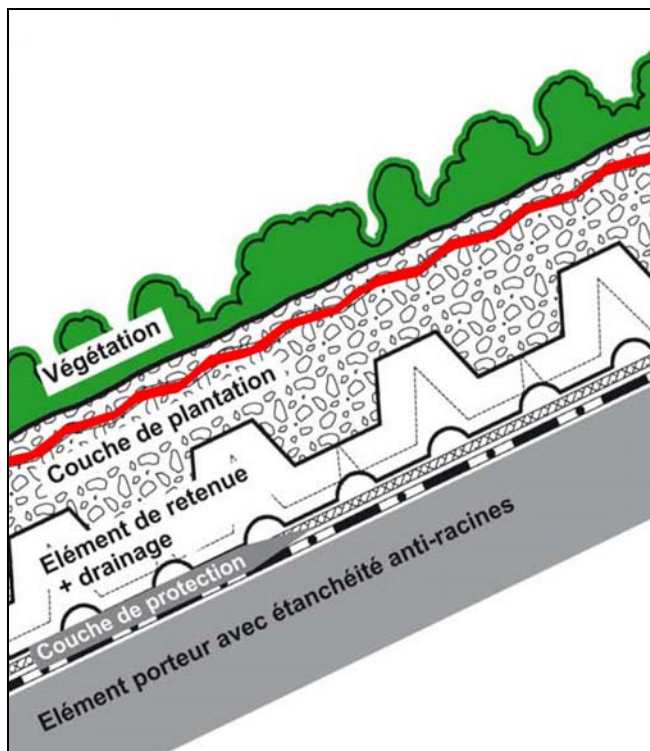
Il est conseillé d'aménager une zone stérile (non végétalisée) composée de gravier d'une granulométrie comprise entre 16 et 32 mm autour de la descente d'eau et le long de la bordure du toit. La largeur de la bande pourtour est de 30 à 50 cm.

G- Une couche végétale

Techniquement, toutes les plantes peuvent pousser sur les toits mais certaines peuvent nécessiter des soins constants pour les préserver d'un soleil permanent, du gel et des grands vents. Dans la plupart des cas, soit en végétalisation semi-intensive ou extensive, la végétation ne sera qu'herbacée ou arbustive. Elle sera choisie en fonction du climat de la région, de l'ensoleillement, de la pente du toit, de l'épaisseur du substrat, etc. De manière générale, on devrait privilégier des plantes vivaces et indigènes très résistantes aux températures extrêmes et qui s'implanteront rapidement pour couvrir les surfaces de sol afin de réduire son assèchement par le soleil et le vent. Les plantes couvre-sols ont aussi l'avantage de laisser peu de place aux herbes sauvages ou indésirables et de réduire l'entretien. Les plantes alpines et rudérales conviennent parfaitement à cet usage.



Selon l'épaisseur et le type de substrat et le climat local, certaines plantes peuvent être proscrites. Ceux qui veulent favoriser la biodiversité chercheront à y favoriser les espèces plus locales, mais adaptées à ces « milieux extrêmes » très secs et chauds au plus fort de l'été et exposés aux chocs thermiques de forte amplitude. Les rouleaux « pré-végétalisés » peuvent être réenroulés pour contrôle ou réparation de l'étanchéité. Certaines terrasses sont couvertes de plantes en godets qu'on peut enlever ou déplacer.



En cas de toiture en pente, la toile de jute biodégradable est utilisée comme matière anti-érosion.

Les plantes à privilégier peuvent être :

- des plantes fleuries : les Origans ; les alliums de petite taille comme la ciboulette, qui offre aussi l'avantage d'être un condiment ; un mélange de fleurs des champs pour créer un pré fleuri ; le gazon d'Espagne ou armérie maritime (*Armeria maritima*) ; les iris nain comme l'iris
- des Couvre-sols : les œillets ; les gypsophiles ; les Sedums ; les thym, etc.
- des Graminés : les fétuques et particulièrement la fétuque bleue (*Festuca glauca*) et fétuque améthyste (*Festuca amethystina*) particulièrement compactes et décoratives.
- des plantes vertes : les ibéris comme la corbeille d'argent (*Ibérus sempervirens*) ; les armoises, etc.



Exemples de végétations, type Sédums

VIII – Maintenance des toitures végétalisées

A- Généralités

L'entretien doit être formalisé pour chaque chantier de toiture végétalisée par un contrat avec une entreprise spécialisée portant sur la végétalisation de l'ensemble de la toiture y compris les zones stériles. L'accès à la toiture nécessaire aux futures opérations d'entretien doit être prévu par le maître d'oeuvre dès la conception de la toiture. Lors des opérations d'entretien, et comme pour toute toiture inaccessible, la sécurité du personnel doit être assurée vis à vis des chutes de hauteur.

Le degré d'entretien à prévoir dépend bien sûr du type de végétalisation choisie.

B- L'entretien de l'étanchéité

Les dispositions relatives à l'entretien des ouvrages d'étanchéité sont décrites dans les DTU 43.1,43.3 et 43.4.

C- L'entretien de la végétalisation

La pérennité de la végétalisation dépend de l'entretien réalisé pour assurer une installation optimale des végétaux. L'entreprise ayant posé la toiture végétalisée devra préciser au maître d'ouvrage les modalités d'entretien de la végétalisation. Celles-ci prendront souvent la forme d'une proposition de contrat d'entretien. **L'entretien pendant la période d'accompagnement est indispensable** (durée de 3 mois à 3 ans selon le mode de plantation, voir tableau ci-dessus). A l'issue de cette période d'accompagnement, un entretien courant devra être effectué, souvent formalisé par un contrat avec une entreprise spécialisée, à l'exception des toits ensemencés de sédums qui ne devraient demander aucun entretien spécifique et ne nécessitent ni taille, ni tonte, ni arrosage ni désherbage.

D- Les périodes d'entretien

Après installation du système, les Règles professionnelles de la CSFE distinguent 2 périodes d'entretien de la végétalisation qui se succèdent comme suit :

1- **période de confortement** : période d'entretien nécessaire après installation du système en toiture pour obtenir un taux de couverture végétale supérieur à 80%. Sa durée est variable en fonction du mode d'installation de la végétation.

2- **période d'entretien courant** : elle suit celle de confortement afin de maintenir un taux de couverture végétale supérieur à 80%.

E- Les préconisations d'entretien

Les préconisations générales d'entretien sont les suivantes :

- enlèvement des déchets apportés par le vent sur les surfaces végétalisées et les zones stériles

- remise en place de la couche de culture en cas de déplacement par le vent ou la pluie

- désherbage manuel des végétaux indésirables (adventices hautes)

- en cas de défaut de reprise (partielle ou totale), opération complémentaire de semis (graines ou fragments de sedum) ou de plantation (de micromottes ou godets) ou d'installation d'éléments précultivés

- fertilisation d'appoint

- nettoyage des dispositifs d'évacuation d'eaux pluviales

- arrosage si nécessaire en relation avec le type de la toiture, les végétaux et les conditions climatiques

- les plantes semi-ligneuses et ligneuses peuvent faire l'objet de tailles, au même titre que si elles étaient plantées dans le sol naturel

F- La fréquence d'arrosage

Les besoins en eau sont variables selon la localisation géographique, la configuration du toit et le système de végétalisation de toiture installé. Une arrivée d'eau devra toutefois être prévue sur la toiture afin de permettre l'arrosage ponctuel et/ou automatique.

1- Au démarrage de la végétation : l'arrosage quotidien est nécessaire 3 fois par jour à raison de 7 mm d'eau à chaque opération pour maintenir une humidité permanente sur les végétaux qui viennent d'être plantés. Ces 3 arrosages doivent se faire aux heures les plus fraîches. Généralement la durée est de 3 à 4 semaines. Dans le sud de la France il sera maintenu tout l'été de juin à septembre l'année de la mise en oeuvre et la suivante afin d'accélérer l'enracinement des végétaux dans le substrat.

2- Arrosage courant : les plantes sélectionnées pour la végétalisation des toitures extensives (sedums et autres vivaces principalement) sont très résistantes à la sécheresse. Leur besoin en eau est très faible.

Pour les toitures-terrasses, donc plates, en France, aucun arrosage n'est nécessaire, sauf en méditerranée, en période de canicule et de sécheresse un arrosage de début juin à fin septembre est nécessaire. Une fois par semaine à raison de 14 à 20 mm d'eau selon les températures. Il sera fait en 2 fois, 7 à 10 mm à l'aube et 7 à 8 mm le soir. En été l'arrosage ne sera mis en fonctionnement qu'après le premier épisode de forte chaleur afin que ce dernier puisse agir en tant que désherbant naturel sur les éventuelles adventices qui se seraient installées sur la toiture.

Pour les toitures en pente, un système d'arrosage est très souvent nécessaire. Le besoin en eau variera en fonction de la pente, de l'exposition et du climat.

VIII - Exemples

Parking végétalisé

Lieu : Lauterbourg 67

Pays : France

Type de Bâtiment : Parc public

Maitre d'ouvrage : Mairie de Lauterbourg

Maitre d'oeuvre : Berest 67 Illkirch

Entreprise travaux : Klein TP 67 Sessenheim

Entreprise végétalisation : Ecovégétal

Réalisation : 2008

Surface : 2000m²



L'aménagement du parking des Cygnes à Lauterbourg s'imposait : manifestations sportives et festives à la salle polyvalente et le stationnement d'une quarantaine de voitures au quotidien ont nécessité l'aménagement d'aires de stationnement sécurisées.

Le choix de la municipalité de Lauterbourg s'est porté sur l'aménagement d'un parking « vert ». Quelques 200 aires de stationnement constituées de dalles de polyéthylène pré-engazonnées et perméables à l'eau ont ainsi été mises en place. Les travaux ont été réalisés en plusieurs phases. Au terrassement a succédé la pose d'un géotextile anti-contaminant recouvert d'une couche drainante de concassé. Puis une interface fertile, constituée de 70% de concassé de carrière et de 30% de terre végétale amendée.

Station de Métro

Lieu : Lausanne

Pays : Suisse

Type de Bâtiment : station de métro

Maître d'ouvrage : Transport Lausannois

Maitre d'oeuvre : TMV Architectes

Entreprise travaux :

Entreprise végétalisation : Canevaflor

Réalisation : 2008

Surface : 400m²



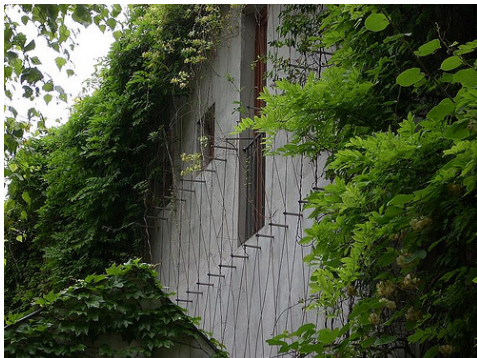
Située place de l'Europe, la station de métro Flon a été conçue afin de répondre au label MINERGIE. Misant sur les avantages des plantes en milieu urbain les architectes ont voulu créer une architecture végétale combinant mur et toit, pour une surface totale de plus de 400 m².

L'installation du mur végétalisé en tant que bardage d'isolation par l'extérieur permettra d'apporter confort thermique d'hiver et d'été au bâtiment, limitant ainsi les consommations énergétiques. Quant au toit végétalisé, il a été réalisé selon un système de dalles alvéolaires à rétention d'eau permettant d'économiser l'eau d'arrosage.



Bâtiment d'habitat

Lieu : Paris
Pays : France
Type de Bâtiment : Habitat
Maitre d'ouvrage : RIVP
Maitre d'oeuvre : Herzog & de Meuron
Entreprise travaux : Klein TP 67 Sessenheim
Entreprise végétalisation : SOPREMA
Réalisation : 2001
Surface :



Lauréats du Pritzker cette année là, Jacques Herzog et Pierre de Meuron reçoivent l'Equerre d'argent pour l'immeuble de la rue des Suisses. Le bâtiment offre deux visages. Le premier est cette résille de volets métalliques qui danse sur les rues des Suisses et Jonquoy. Tandis que le second est un bâtiment posé en coeur de parcelle mélangeant bois et métal noir, aux coursives extérieures flanquées de persiennes de bois courbes, comme un bateau échoué au milieu de nulle part. Ce dernier donne sur une parcelle intérieure de 150 mètres de long.

42 Logements à Mulhouse - ANRU

Lieu : Cité Wagner, Mulhouse

Pays : France

Type de Bâtiment : Habitat

Maitre d'ouvrage : Mulhouse Habitat

Maitre d'oeuvre : Atelier Ott Collin

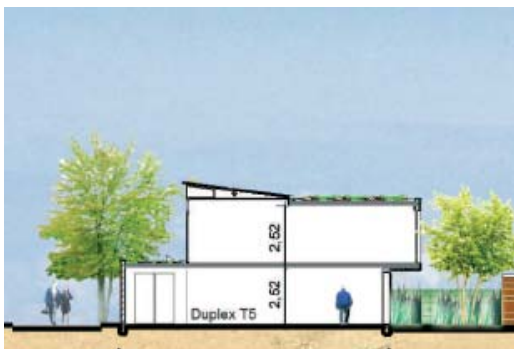
Entreprise travaux :

Entreprise végétalisation :

Réalisation : 2007

Surface :

Opération ANRU - Agence Nationale pour la
Rénovation Urbaine



L'opération est composée de logements collectifs, de logements intermédiaires (appartement en rez-de-jardin et duplex aux étages) et de maisons de ville, avec des tailles allant du T2 au T5. Elle s'inscrit dans la démarche de développement durable et est constitué par des constructions certifiées « Habitat et Environnement ».

Le projet se caractérise par :

- un écran sonore en panneaux antibruit servant de façade aux pavillons de stationnement, végétalisés le long de la rue Mertzau ;
- des voitures contenues en périphérie des zones d'habitat.
- utilisation de la brique monomur, ossature bois, menuiseries extérieures et façades en bois sur les attiques ;
- toitures végétalisées sur les maisons de ville, les pavillons de stationnement et le local d'activités ;
- l'orientation des bâtiments optimise les apports solaires et l'éclairage naturel ;
- un système de panneaux d'osier tressé et de pergolas végétalisées permet la régulation des apports solaires ;
- un mode de chauffage au gaz optimisé (chaudières individuelles à condensation pour les logements intermédiaires et individuels) ;
- un système de puits permet l'infiltration des eaux de toiture.



Bâtiment bureautique public

Lieu : Noisy-le-Grand 93

Pays : France

Type de Bâtiment : Bâtiment bureautique

Maitre d'ouvrage : Ministère des Finances

Maitre d'oeuvre : Paul Chemetov

Entreprise travaux :

Entreprise végétalisation : Ecovégétal

Réalisation : 2006

Surface :



Ce programme de bureaux a fait l'objet d'un concours organisé par le ministère de l'Economie, des Finances, et de l'Industrie dont SEMIIC Promotion a été lauréat. Il est réalisé sous la forme d'un bail emphytéotique, et comprend un très haut niveau d'équipements techniques et environnementaux (câblage, climatisation par plafond rayonnant, ventilation alimentée par puits canadiens, menuiseries bois écocertifiées, etc.)



Terrasse-jardin Immeuble 'The Louisa' à Portland

Lieu : Portland, Oregon
Pays : USA
Type de Bâtiment : Bâtiment résidentiel
Maitre d'ouvrage : Gerding Edlen
Development
Maitre d'oeuvre : GBD Architects & Walker
Macy
Entreprise travaux :
Entreprise végétalisation :
Réalisation :
Surface :



L'immeuble le Louisa (242 appartements) à Portland, reflète la vision écologiste des concepteurs, avec des toits verts intensifs et extensifs qui permettent de réduire le ruissellement des eaux pluviales, atténuent l'effet de la chaleur urbaine et offrent un intérêt visuel vu de l'étage supérieur. Véritable espace de détente, ces toitures végétalisées offrent aux occupants l'occasion de se réunir, de partager des bons moments.

Pour une profondeur de 12-24 cm, la toiture végétalisée est composée de terreau sablé, de pierre ponce et de matière organique (compost). Le coût total de ces toits verts étaient de 15 \$ / m² pour la partie extensive et de 25 \$ / m² pour la zone intensive. L'entretien paysagé se fait quatre fois par année par un entrepreneur spécialisé. L'eau est judicieusement appliquée avec un système d'irrigation goutte à goutte uniquement pendant les mois d'été.



II - Les murs végétalisés



Jardin d'un hôtel particulier – XVIème arrondissement
Paris / Architecte : Cargo Rouge



I- Définition et présentation

Les concepts de mur vivant, mur végétalisé et mur végétal décrivent des jardins ou écosystèmes verticaux, plus ou moins artificiels, conçus tantôt comme éléments esthétiques de décor, dans le cadre de ce que l'on appelle le jardinage urbain, tantôt comme œuvres d'art utilisant le végétal, ou encore comme éléments d'écologie urbaine. Dans ce dernier cas, ces murs, comme les terrasses végétalisées ou les clôtures végétales, peuvent contribuer à la quinzième cible HQE (Haute Qualité Environnementale)¹⁸, ainsi peut-être qu'à la restauration de réseaux de corridors biologiques, en ville notamment.

Le mur végétal est une paroi qui s'élève parallèlement aux murs du bâtiment à protéger. Selon son orientation et sa composition, le mur vert servira à la fois d'écran contre les vents dominants, les intempéries, le bruit, l'ensoleillement mais également la pollution. Ils peuvent servir de refuge ou de garde-manger pour les oiseaux, les invertébrés ou les mammifères, mais ils semblent également pouvoir jouer un rôle en matière de microclimat et de qualité de l'air.

La façade végétalisée constitue ainsi une approche complémentaire et innovante de penser l'espace vert en ville. Elle peut se faire soit à partir du sol directement, les racines de plantes grimpantes y puisant leur nourriture et l'eau, soit en intégrant la flore au bâtiment, via des balconnières, des jardinières, ou des systèmes plus complexe de murs végétaux.



Mur végétal avec balconnières



Lierre poussant à partir du sol sur une structure métallique

II- Historique des murs végétalisés

La colonisation naturelle de murs par des plantes est habituellement considérée comme un problème, les racines endommageant les mortiers naturels de terre, décollant les briques, favorisant l'humidité du mur, sa sensibilité au gel. En zone tropicale, les arbres

¹⁸ Le principe de la cible n°15 de la démarche HQE est la restauration ou le maintien de la biodiversité. Plus un milieu est complexe (creux, bosses, zones d'ombre, de soleil, sèches, humides, milieu boisé, strates herbacées, etc.), plus il est susceptible d'accueillir une faune et une flore riches et diversifiées. Cet écosystème doit pouvoir se stabiliser et se réguler de lui-même ou à faible coûts

peuvent coloniser et recouvrir des architectures telles que celle du temple d'Angkor en quelques siècles.



Le temple d'Angkor

Des structures architectoniques artificielles, ciment ou appareils de pierres maçonnées couvertes de mousses et de quelques plantes existent néanmoins depuis plus de 200 ans, dans quelques grands parcs royaux ou municipaux, toujours associés à des fontaines ou cascades. Les "fabriques" romantiques (faux bâtiments anciens, fausses ruines) les ont aussi utilisés au XIXe siècle. Ils ont ensuite été développés par certains zoos et pour le décor de terrariums ou d'aquaterrariums publics ou privés, utilisant généralement des espèces tropicales¹⁹, avant que le botaniste et chercheur français Patrick Blanc ne crée, teste et développe son concept horticole²⁰ de mur végétal sur support de feutre.



Murs végétaux simples de façade

III- La mise en oeuvre des murs végétalisés

Les murs végétalisés peuvent être aménagés tant à l'extérieur qu'à l'intérieur de bâtiments, avec ou sans source artificielle de lumière.

¹⁹ Un grand nombre de plantes tropicales épiphytes ou poussant à l'ombre de la canopée se contentent de peu de lumière et de peu de nutriments.

²⁰ L'horticulture désigne la branche professionnelle de l'agriculture consacrée à la production intensive de plantes pour l'alimentation ou la plantation d'agrément dans les jardins publics ou privés. C'est en quelque sorte produire un maximum sur une surface minimum.

A. Principe de la végétalisation d'une façade

Le principe s'appuie sur le fait qu'en l'absence d'intervention humaine, en présence d'air propre et d'une humidité suffisante de l'air, tout support tend à être naturellement colonisé par des bactéries (biofilm), des algues, puis des mousses et des lichens, avant l'apparition de petites plantes, qui sont généralement aussi des épiphytes des arbres. Dans le cas où le mur reste sec, ou en atmosphère plus sèche, il peut également être colonisé par des plantes grimpantes (lierre, vigne vierge en climat tempéré). A partir du sol, seules certaines variétés de plantes grimpantes prennent racine au pied des murs et peuvent atteindre 30m de hauteur. Ce sont des variétés voisines appartenant à la famille des Vitacées et aux genres Parthenocissus, Ampelopsis et Cissus. Ce sont en général des plantes utilisées comme couvre murs, à feuilles caduques. Au printemps les petites feuilles qui apparaissent sont vert tendre ou pourpre selon la variété, en été leur couleur fonce, en automne, par exemple, la vigne vierge atteint toute sa splendeur en virant à l'écarlate, il n'y a généralement guère que l'hiver qu'elle n'assure pas le spectacle.

Ces plantes peuvent s'agripper aux murs de diverses manières :

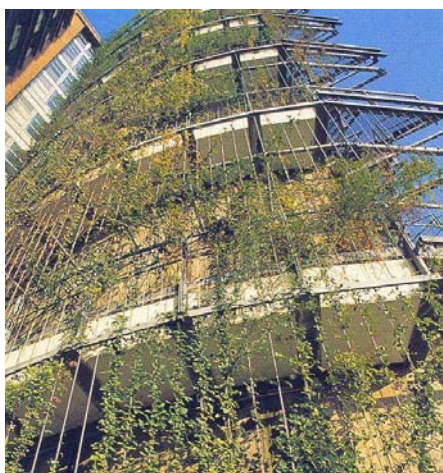
- soit en utilisant leurs racines (comme le lierre) ou leurs pelotes adhésives (comme la vigne vierge du Japon). Ces plantes peuvent ne pas convenir aux murs maçonnés (à la chaux hydraulique comme à la terre naturelle) car ceux-ci sont assez humides pour permettre aux racines de s'y introduire.



Mur couvert par de la vigne vierge



Des pelotes adhésives



Hôpital de Hullier à Lille –
photo : S. Stefulesco

- soit en s'appuyant sur un support²¹, avec ou sans l'aide de leurs ventouses (comme la 'quinquefolia'). Lorsque le support (en treillis (en acier galvanisé, bois...), câble tendu ou autres formes) est décalé du mur, il constitue avec ce dernier un espace tampon. Une fois la végétation bien développée, cette façade double peau contribue à régulariser thermiquement le bâtiment. Elle le protège des contraintes météorologiques (pluie, soleil, vent...). Ce procédé, bien qu'il soit plus complexe à mettre en œuvre que le mur apposé de plantes grimpantes, avec un coût plus élevé et un entretien nécessaire un peu plus régulier, participe plus à l'enrichissement de la biodiversité et son impact sur la qualité de l'air est plus important.

²¹ Le support doit permettre aux végétaux de s'y fixer, de se développer naturellement et de former un revêtement végétal couvrant et dense. **Les matériaux constituant le support doivent avoir une texture**

En dehors de ces deux techniques simples mais efficaces, des techniques sophistiquées dites de "génie végétal" optimisent les conditions de colonisation et de pousse de plantes hors sol, grâce à des supports de feutre synthétique ou sur des blocs de substrat dans lesquels circule de l'eau enrichie en sels nutritifs.

B. Principe du mur végétal sur nappe horticole

Le support est imperméabilisé par une bâche comme celle que l'on utilise pour les bassins et l'irrigation est assurée via une pompe immergée dans la réserve située en bas. C'est dans celle-ci que reviennent les eaux de ruissellement après leur trajet sur le mur.

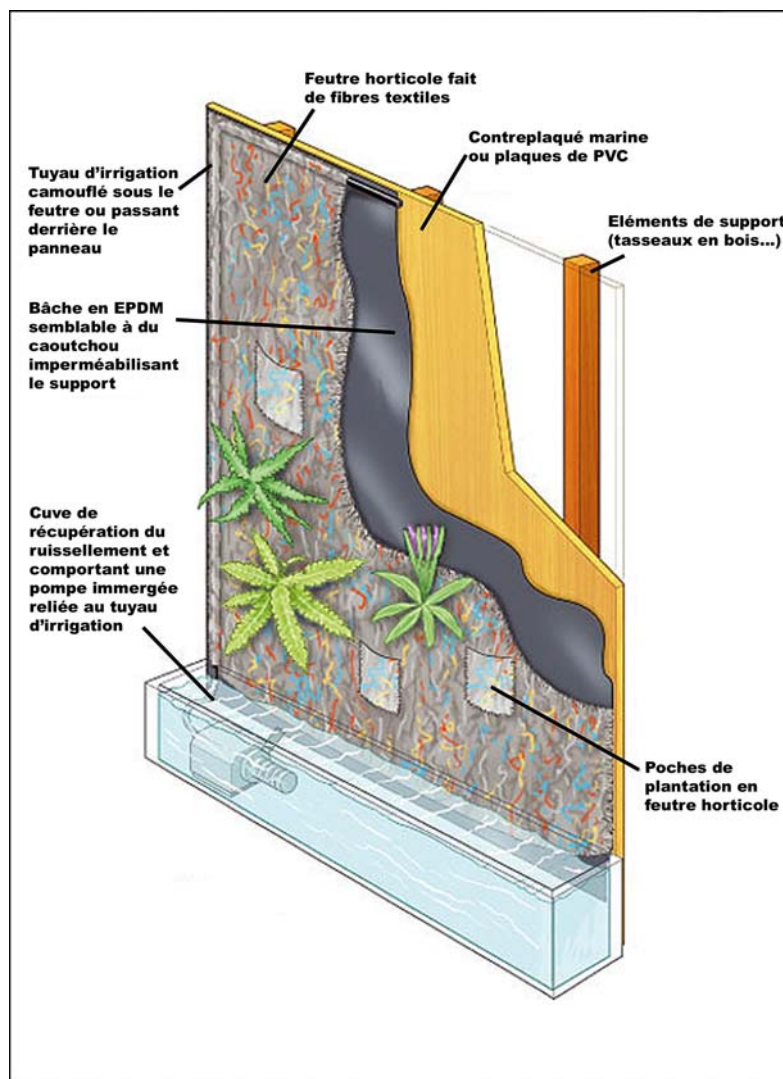


Figure – Composition d'un mur végétal sur nappe horticole

Le mur végétal est constitué d'une structure solide verticale, servant de support, construite parallèlement à la façade du bâtiment. La structure permet de laisser un coussin

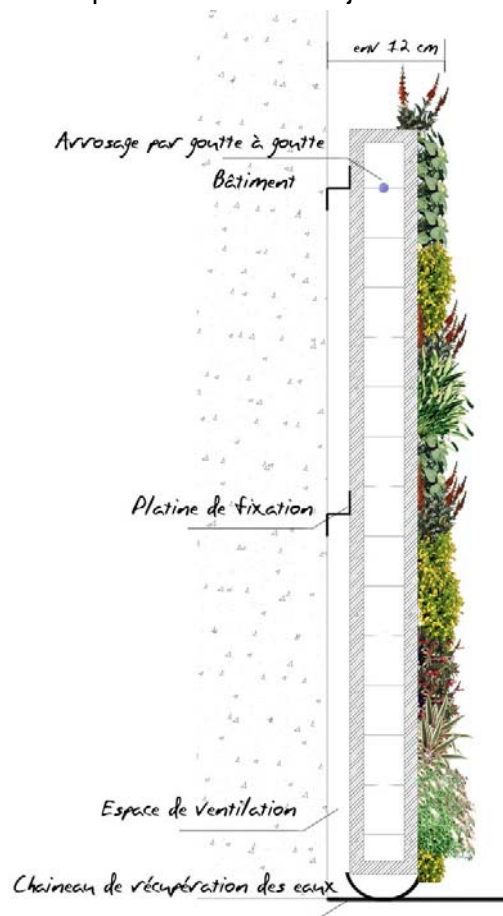
suffisamment rugueuse afin de faciliter l'adhérence et la progression des végétaux grimpants, et les empêcher de glisser vers le bas sous l'effet de leur propre poids. La disposition des éléments du support est généralement verticale, ou horizontale, ou les deux (treillis), et l'écartement entre eux sera fonction de la grandeur de développement des végétaux. (min. 55 mm, jusqu'à 50 cm pour végétaux à grand développement) En outre le support doit répondre au mieux aux exigences de solidité, stabilité, légèreté, durabilité et esthétique.

d'air entre la façade du bâtiment et le mur végétalisé. Sur cette ossature métallique (préférentiellement de l'acier, car non corrosif et léger) sont fixées des plaques de PVC expansé de 10 mm d'épaisseur, ainsi le mur est bien séparé de la partie humide. Une bâche en EPDM (Éthylène Propylène Diène Monomère) couvre le support pour l'imperméabiliser. Ensuite, des plaques de feutre de polyamide (plus résistant qu'un feutre naturel) sont agrafées dessus; d'une épaisseur d'environ 6mm elles servent de support aux plantes, les racines s'incrustant et se fixant dans la matière. Ces couches de feutre miment en quelque sorte les mousses qui se développent sur les parois rocheuses et qui servent de support aux racines des plantes. La plantation se fait facilement en incisant au cutter le feutre et en y implantant la micro-motte avec le plant.

L'alimentation en eau et en matières nutritives se fait par un réseau de tuyaux commandés par des électrovannes, situé en partie supérieure de la structure. La solution nutritive s'écoule le long du mur par gravité et s'infiltre dans le feutre par capillarité. De cette façon les racines ne prélèvent que ce dont elles ont besoin et ne sont pas noyées. La solution appauvrie en éléments nutritifs est récupérée au pied du mur et réinjectée en haut après avoir été réalimentée. Ce système fonctionne en circuit fermé. L'eau de pluie peut très bien être utilisée à cet effet. La consommation d'eau est d'environ 200 litres d'eau/m²/an.

C. Principe du mur végétal monobloc

Ce procédé repose sur un assemblage de cellules en maillage d'acier galvanisé, remplies d'un substrat stable et léger composé d'un mélange de matières organiques et minérales. Ces cellules sont de plus ou moins grande taille fixées sur une structure métallique. L'épaisseur de la structure du mur végétal peut aller de 5 à 8 cm environ. Le mur végétalisé se distingue par son caractère autoportant et sa conception monobloc. L'absence de rupture dans le remplissage de substrat permet une meilleure répartition de l'eau et évite les ponts thermiques et phoniques.



Une variété de substrat naturel se distingue des autres. Il s'agit de la Sphaigne originaire de l'île de Chiloé, à l'ouest du Chili. C'est une mousse possédant des propriétés remarquables. Sa grande capacité de rétention d'eau sans perte de volume dans le temps, ses caractères antibactériens et inodores résultant d'un pH naturellement acide et son efficacité en termes d'isolation thermique et phonique, font d'elle le substrat idéal pour murs végétaux en intérieur, façades végétalisées et toitures végétales à l'extérieur. La

sphaigne est un substrat qui ne se tasse pas facilement et résiste car il est fibreux. Les végétaux plantés directement dans la sphaigne colonisent le mur rapidement.

L'utilisation de la sphaigne présente d'autres avantages :

- le gain de temps, car aucun désherbage n'est nécessaire
- propre et sans odeur particulière, le mur en sphaigne peut être situé dans des espaces intérieurs, comme au jardin.



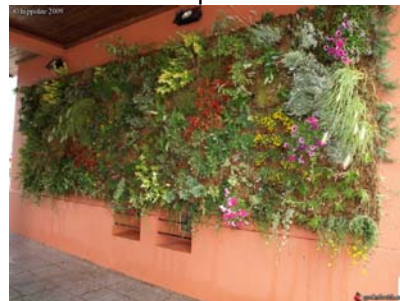
Etape -1



Etape -2



Etape -3



Etape -4

Mise en oeuvre d'un mur végétalisé monobloc

Les végétaux (densité de plantation de 30 à 80 plantes par m²) prennent racine dans une épaisseur importante de substrat, 20 cm au minimum, à fort pouvoir de rétention en eau qui ne nécessite pas un arrosage et une fertilisation permanente. Le substrat maintenu à l'intérieur du support par une toile imputrescible peut accueillir une gamme végétale très large. Le choix des espèces de plantes tient compte des conditions climatiques du site d'installation. Dans la plus part des cas, l'assemblage du mur et la plantation des végétaux sont réalisés directement sur site (pas de pré-culture).

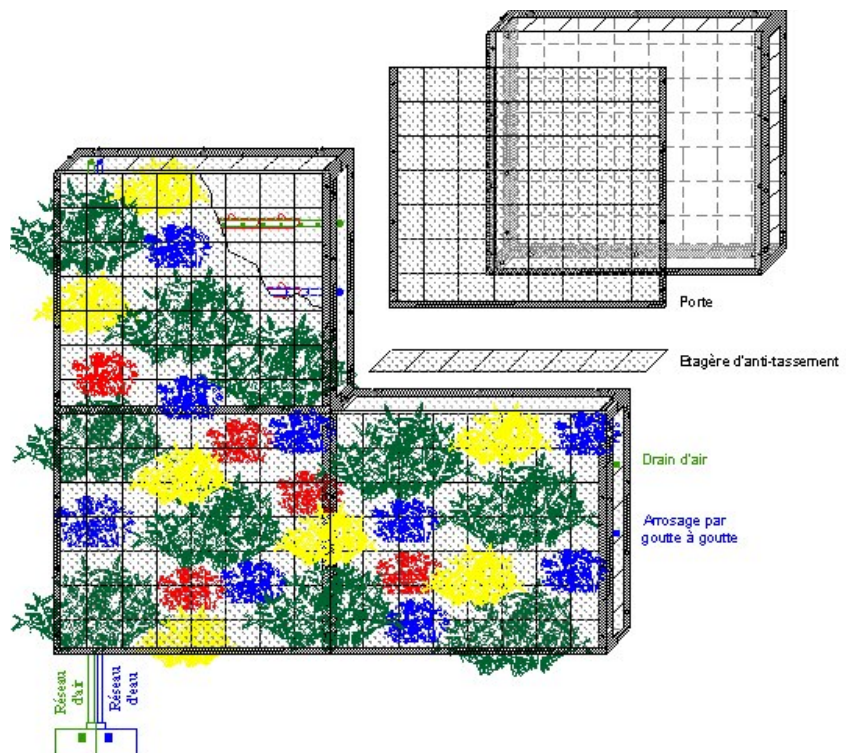


Figure – Composition d'un mur végétal monobloc

L'irrigation des plantes en solution nutritive est assurée par un système de tuyaux micro-goutteurs automatique intégré. Un réseau d'air pulsé constitué de tuyaux perforés peut être intégré en plus au mur. A l'aide de ces réseaux, on peut ajouter des bactéries spécialisées dans la dégradation des polluants atmosphériques qui transforment le mur en biofiltre.

IV- Les avantages des murs végétalisés

Le mur végétalisé présente plusieurs avantages :

- **Diminution de l'effet 'Ilot de chaleur'** : 'Les villes vont devoir se préparer au changement climatique : une végétalisation abondante des tissus urbains permettra de réduire les effets dramatiques des vagues de chaleur sur la santé humaine'²².

Plusieurs études font état de l'importance primordiale de la végétalisation et de la protection des espaces verts et boisés actuels afin de lutter contre l'effet d'îlot thermique urbain (Heisler et al., 1994; Taha et al., 1996; McPherson et al., 2005; Solecki et al., 2005). En effet, la végétation permet de créer de la fraîcheur par différents processus, plus précisément par :

- l'ombrage saisonnier des infrastructures;
- l'évapotranspiration;
- la minimisation des écarts de température au sol.

- Il protège le bâtiment contre **l'effet corrosif des pollutions urbaines** (pluie acide, pollution atmosphérique) et contre l'humidité (acide, en ville), en offrant une surface imperméable à la pluie. En effet, la disposition "en tuiles" des feuilles de certaines grimpantes, telles que le lierre, permet de protéger presque totalement le mur de la pluie.

- Dans le cas de plantes poussant à partir du sol, les racines participent à son assèchement à proximité des fondations.

- La végétalisation des façades offre une surface végétale supplémentaire et significative pour **l'épuration de l'air** et la production d'oxygène.

- Certains murs **anti-bruit** sont végétalisés, augmentant leur fonction dé-stressante. Le feuillage seul est réputé inefficace (une épaisseur de 10 m de feuillage d'arbres ne réduit un son puissant que d'à peine 1 dba), cependant le bruit du vent dans les feuilles et celui des oiseaux (comme celui des fontaines) ont des vertus psychologiquement apaisantes, et sans vraiment cacher le bruit ambiant, ils le rendent plus supportable.

- **Intérêt visuel et esthétique** : les murs végétalisés ont des qualités esthétiques indéniables. Les plus élaborés sont d'ailleurs comparés à des peintures, de paysage ou abstraites. **Sur un bâti existant sans qualité notable, la plus simple des façades vertes contribuera à changer positivement l'image du bâtiment.**

- **Biodiversité** : participant à la préservation de la biodiversité floristique et faunistique en milieu urbain, par les plantes utilisées comme par les espèces de faune qui viennent y trouver leur habitat, la question de l'entretien des murs végétalisés doit respecter certains principes. Il faut éviter d'opérer sur la façade pendant les périodes de nidification ou les périodes de froid hivernal pendant lesquelles la végétation sert d'abri pour de nombreux invertébrés.

²² Revue Techni-Cités n°129 du 8 mai 2007

V- Le confort été/hiver

Le mur végétalisé permet une meilleure régulation thermique du bâtiment. Lors de la fixation du cadre végétalisé sur un mur existant, il y a création d'un coussin d'air de quelques centimètres entre la façade du bâtiment et le mur végétalisé. Ceci assure un peu d'isolation contre le froid en hiver, mais surtout contre la chaleur en été car l'ensoleillement est réduit et l'évapotranspiration diminue les températures. La température maximale des murs végétaux est de 30 °C, alors que les murs classiques peuvent atteindre 60 °C en fonction du type de revêtement²³. **Sandifer et Givoni (2002) ont évalué l'effet rafraîchissant de la vigne vierge sur un mur. Ils ont observé des réductions de températures allant jusqu'à 20°C, comparativement à un mur non ombragé.**

La simple végétalisation d'une façade constitue donc une réponse très efficace aux problèmes des grandes chaleurs en milieu urbain, pour un coût minime.

L'évapotranspiration du lierre ou d'autres grimpantes contribue au rafraîchissement de l'air et à une régulation de l'hygrométrie. En hiver et dans ce dernier cas, ce couvert végétal seul ne peut jouer un véritable rôle d'isolant, mais en asséchant les fondations et en protégeant les murs de la pluie (grâce à l'orientation des feuilles et à leur densité dans le cas du lierre), il les rend plus isolants.

VI - La maintenance des murs végétalisés

Afin de préserver au maximum le potentiel de végétalisation des façades, le mur doit conserver ses irrégularités, sans altérer l'état général de la surface. Faire grimper du lierre sur un mur dont les joints sont abîmés (joints sableux) peut être dommageable pour la surface.

Une attention particulière doit être apportée à l'entretien des façades et structures végétalisées. Si les plantes grimpantes ou la flore des terrasses extensives sont rustiques et ne nécessitent ni arrosage ni engrais, il faut cependant respecter les points suivants :

- Les plantes grimpantes ne doivent pas atteindre les tuiles ou ardoises, ni les gouttières. Si leurs feuilles mortes bouchaient ou freinaient l'évacuation des eaux pluviales, celles-ci pourraient déborder et s'écouler le long des façades, au risque d'altérer les matériaux, de favoriser la pénétration de racines et l'implantation de fougères, graminées, voire de plantes buissonnantes ou d'arbres dans les ciments de mauvaise qualité ou composés de chaux hydraulique naturelle, ou de terre.
- De la même façon, il faut tailler régulièrement les végétaux autour des ouvertures, prises d'air, cheminées, de manière à ce que la végétation ne guide pas des espèces indésirables ou invasives vers les espaces intérieurs (insectes comme les fourmis ou araignées...). Un filtre de type moustiquaire peut protéger les prises d'air.

Généralement, ces façades végétalisées exigent :

- un entretien bisannuel pour les jeunes plantes.
- un entretien annuel pour les plantes bien développées.
- une vérification des supports et fixations tous les 5 ans. Dans le cas de fils et câbles, ils seront retendus tous les ans.

²³ Kingsbury N.,Dunnett N.- 2008

VII - Inconvénients

Les murs végétalisés présentent certains inconvénients :

- L'aménageur doit prendre en compte les problèmes qui peuvent être posés par l'humidité (salissures par les spores de fougères, de mousses et de champignons, risques de court-circuit en cas d'éclairage artificiel, de chauffage, présence de pompes, etc.), et par le poids des végétaux qui grandissent.
- Ces murs peuvent aussi être colonisés par une faune d'invertébrés tolérés ou souhaités en aquaterrarium, mais non désirés dans une habitation ou un lieu public. Dans le cas de murs végétaux, le mur ou le support, s'ils ne sont pas conçus par l'architecte pour résister à l'eau enrichie de nutriments, doivent en être protégés.
- Certains murs maçonnés à la terre ou à la chaux hydraulique doivent être protégés de la pénétration de racines susceptibles de les dégrader. Un entretien et des vérifications régulières sont nécessaires.
- En cas d'utilisation de plantes exotiques, afin d'éviter d'importer des organismes indésirables ou microbes pathogènes, il est recommandé de travailler avec des horticulteurs spécialisés et des plantes dont l'origine est traçable et légale.

VIII - Coût

Le budget d'une simple façade verte dépend de nombreux facteurs (accessibilité, superficie, demandes spécifiques d'aménagement, systèmes de support des végétaux, espèces végétales...). **Quoi qu'il en soit, ce coût reste relativement faible à la réalisation et à l'entretien.**

Coûts (€/ m2 hors TVA)	Revêtement végétal apposé directement sur le mur	Paroi végétale séparée
Végétaux	0,16 - 1,60	0,16 - 1,60
Support linéaire	4,00 - 8,00	9,00 - 18,00
Support bidimensionnel	10,00 - 25,00	25,00 - 55,00
Support tridimensionnel		100,00 - 200,00

Le coût des murs végétalisés hors sol est quant à lui beaucoup plus élevé et varie²⁴ :

- entre 500 à 1500 €HT/m² pour un mur sur mesure horticole
- entre 300 et 600 €HT/m² pour un mur modulaire

On estime que le marché des murs végétalisés hors sol est aujourd'hui de 5 000 m² installés par an en France.

En tenant compte de ces données budgétaires, il s'avère que le premier type de procédé des murs végétaux peut s'appliquer facilement et plus particulièrement pour des bâtiments collectifs et de logements sociaux. **A ce titre, les projets de rénovation urbaine devraient voir dans ce procédé un outil peu cher pour changer l'image extérieure d'un bâtiment, en plus des autres avantages techniques détaillés ci-dessus.** Malheureusement les murs végétalisés ne sont pas subventionnés en France, à quelques exceptions de grands projets.

VIII - Exemples

²⁴ La végétalisation des bâtiments, Agence locale de l'énergie de l'agglomération Grenobloise, Octobre 2007

Parking de la gare Lyon Perrache

Lieu : Lyon
Pays : France
Type de Bâtiment : Bâtiment public
Maitre d'ouvrage : Grand Lyon
Maitre d'oeuvre : Grand Lyon
Entreprise travaux :
Entreprise végétalisation : Canevaflor
Réalisation : 2008
Surface : 400m2
Prix : 213 000€



400 m2 de “mur végétal dépolluant” ont ainsi été plantés, ou du moins accrochés, à une façade du centre d'échange de Perrache. Le principe est d'absorber l'air vicié d'un parking et de ventiler cet air dans le terreau de ces murs végétalisés. Des bactéries présentes dans ce terreau sont censées filtrer les particules nocives de l'air.

Une bonne idée, en somme. Même si ces 400 m2 paraissent dérisoires face aux 100 000 véhicules qui empruntent quotidiennement le tunnel de Fourvière, situé à quelques centaines de mètres de ces murs.

Ce mur d'un coût de 213 000 euros devrait être étendu à 2000 m2 pour couvrir l'ensemble des murs du centre d'échange de Perrache.



Musée du Quai Branly

Lieu : Paris
Pays : France
Type de Bâtiment : Bâtiment public
Maitre d'ouvrage : Ministère de la culture
Maitre d'oeuvre : Jean Nouvel & Patrick Le Blanc
Entreprise travaux :
Entreprise végétalisation :
Réalisation : 2004
Surface : 800m²



D'une surface de 800 m², le mur végétal se compose d'environ 15000 plantes issues principalement du Japon, de la Chine, des Etats-Unis et de l'Europe centrale.

Le brevet du Mur Végétal de Patrick le Blanc est basé sur une nouvelle technique de culture verticale permettant de s'affranchir des problèmes de poids du substrat et assurant tout au long de l'année la végétalisation des surfaces des bâtiments, quelle que soit leur hauteur.



Espace Diego Rivera

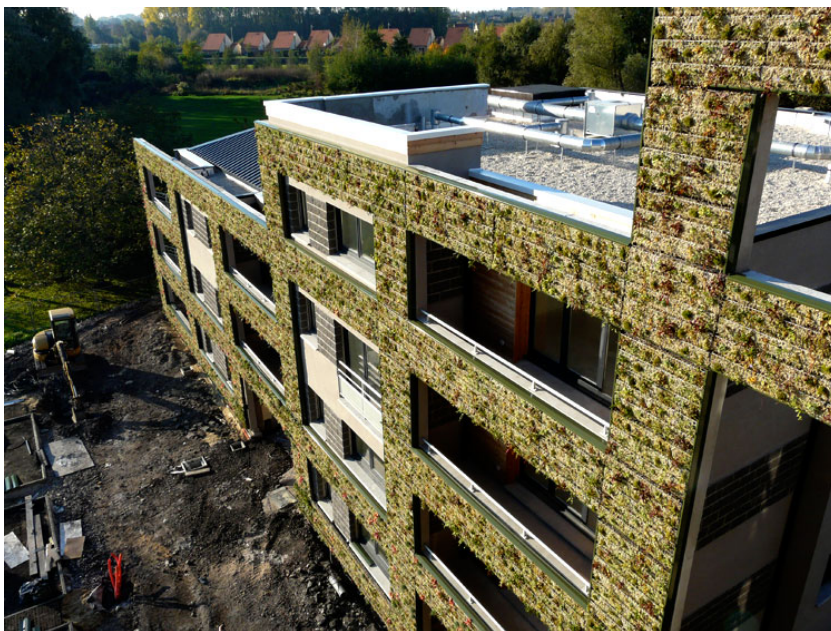
Lieu : Lyon
Pays : France
Type de Bâtiment : Immeuble privé
Maitre d'ouvrage : SACVL
Maitre d'oeuvre : Michel Poncet
Entreprise travaux :
Entreprise végétalisation : Canevaflor
Réalisation : 2007
Surface :



La Fondation Diego Rivera choisit la coopérative de peintres muralistes CitéCréation pour réaliser, en Europe, une œuvre monumentale originale à l'occasion du 50e anniversaire de la mort du peintre mexicain, l'un des pères de l'art mural. Au cœur d'un quartier populaire du 7ème arrondissement de Lyon (69), cet espace, raconte l'histoire du Mexique au travers de thèmes chers à l'artiste. Trois fresques et une place publique ont été aménagées et installées. L'installation d'un mur végétal intégré aux fresques contribue à la beauté du site offert aux passants dans le réel esprit de l'artiste.

Carré Royal (71 logements)

Lieu : (64) Béthune
Pays : France
Type de Bâtiment : Habitat
Maitre d'ouvrage : Ficredim
Maitre d'oeuvre : BMG Architectes
Entreprise travaux : Groupe Eiffage
Construction - Nord
Entreprise végétalisation : Green Wall
Réalisation : 2007
Surface : 470 m2 pour 17 m de haut



Ce projet immobilier est constitué de bâtiments enrobés partiellement de verdure, ce qui lui donne une esthétique changeante au fil des saisons. La lame d'air continue ventilée posée entre le mur porteur et le mur végétalisé, assure une isolation thermique au bâti. La sphaigne est capable d'absorber 20 fois son poids en eau ce qui lui permet d'être au sein du mur végétalisé un isolant acoustique très performant.



Marché des Halles à Avignon

Lieu : Avignon
Pays : France
Type de Bâtiment : Bâtiment commercial
Maitre d'ouvrage :
Maitre d'oeuvre : Patrick Blanc
Entreprise travaux :
Entreprise végétalisation :
Réalisation : 2005
Surface : 600 m²



Le Mur Végétal d'Avignon représente un haut niveau de biodiversité installé. Près de 400 espèces composent ce Mur Végétal qui couvre une surface d'environ 600 m². Les retours de chaque côté rappellent des entrées de grottes, l'ensemble du Mur Végétal évoquant ainsi un fragment de falaise. Ce très haut niveau de diversité végétale a été choisi en raison du climat méditerranéen et de la configuration du Mur. L'exposition face au Nord soumet le Mur à la force du mistral mais le protège aussi des ardeurs du soleil. C'est pourquoi les espèces sont choisies en fonction de leur biotope d'origine. Le Mur Végétal d'Avignon offre ainsi au spectateur une vision très large de la biodiversité des espèces végétales poussant sur les rochers et les falaises du monde tempéré et méditerranéen.



La Fondation Cartier à Paris

Lieu : Paris

Pays : France

Type de Bâtiment : Bâtiment commercial

Maitre d'ouvrage : Fondation Cartier

Maitre d'oeuvre : Jean Nouvel & Patrick le Blanc

Entreprise travaux :

Entreprise végétalisation :

Réalisation : 1998

Surface :



Ce petit mur végétal à établi d'emblée un rapport avantageux avec la façade : dans la perception du mur d'entrée, il a pris de la valeur d'un matériau esthétique complémentaire, plutôt que le caractère d'un simple panneau décoratif. Le mur végétal participe avec exubérance à une certaine danse perceptive, faite de multiplication de visions et de superposition de séquences légères et transparentes et de séquences verdoyantes et imperméables à la lumière.



Conclusion

La végétalisation des bâtiments est une discipline que les aménageurs, les architectes et les entreprises redécouvrent aujourd'hui, sous l'effet conjugué d'une demande sociale de nature en ville et d'impératifs écologiques pour le milieu urbain. Végétaliser les bâtiments de la ville constitue en effet une opération simple, peu coûteuse et efficace, tant au niveau environnemental que social. **La végétalisation des bâtiments apporte des avantages au bâtiment lui-même et à ses usagers, notamment en termes d'isolation thermique et acoustique, comme en termes de confort d'été, mais contribue également au niveau du quartier, et de la ville en général, à apporter de réponses aux enjeux développement durable.**

En premier lieu, **les surfaces ainsi plantées participent très efficacement à la réduction de l'effet de l'îlot de chaleur urbain**, problème de plus en plus aigu et dont les collectivités commencent à peine à prendre conscience. La végétalisation représente alors l'une des rares solutions envisageables à l'échelle du bâtiment : les toitures végétalisées permettent en effet jusqu'à 40% de réduction des variations thermiques, tandis qu'une simple vigne vierge sur un mur peut abaisser de 20°C la température de la façade. En termes d'impact à plus grande échelle, une réduction de 1°C de l'effet d'îlot thermique pourrait entraîner une baisse de 5% de la demande en électricité pour la climatisation et la réfrigération. Ces solutions efficaces sont par ailleurs d'un coût d'entretien faible, puisqu'une toiture végétalisée nécessite entre 1 et 3€/m² de coût d'entretien annuel. Par ailleurs, outre l'évapotranspiration des feuillages qui, en humidifiant l'air, permet cette régulation de la température, **les plantes fixent également les poussières et les gaz toxiques, diminuant ainsi la pollution atmosphérique à proximité immédiate des lieux de vie.**

Les toitures végétalisées ont en outre un avantage majeur en milieu urbain, celui d'assurer une retenue des eaux de pluie et une régulation des débits qui permettent de ne pas surcharger les réseaux pendant les épisodes pluvieux : annuellement, elles peuvent absorber et réguler jusqu'à 50 % de l'eau de pluie, permettant ainsi une réduction des coûts de traitement de 5 à 10 %.

Enfin, **les habitats floristiques et faunistiques ainsi créés contribuent à enrayer la perte de biodiversité**, préoccupation globale majeure pour laquelle des solutions doivent être envisagées à toutes les échelles, dont celle du bâtiment.

Du point de vue social, la nature ainsi livrée aux regards des citoyens, que ce soit en façade ou en toiture, participe à leur équilibre physique et psychique. Quand elles sont accessibles, les toitures végétalisées constituent des lieux uniques et très utiles au salarié ou à l'habitant. Par ailleurs, une façade habillée d'une belle végétation change l'image du bâtiment et la perception qu'en ont les habitants ou les visiteurs. Elle peut à ce titre contribuer à changer l'image des quartiers en rénovation urbaine. Le confort thermique qu'elle apporte en été en fait une solution rapide à mettre en oeuvre et à privilégier pour les opérations bénéficiant de peu d'investissements financiers.

Compte tenu de tous ces avantages que la végétalisation du bâtiment procure à l'habitant, au bâtiment et à la ville, il serait utile que leur développement soit favorisé par des mesures telles que :

- l'intégration des toitures végétalisées dans les cahiers de prescription des aménageurs
- l'intégration de dispositions dans le PLU qui permettent la mise en oeuvre des toitures végétalisées (cf PLU de Grenoble par exemple)

- une rétrocession de surface dans le calcul du COS²⁵ (plus de surface bâtie en contrepartie de plus de végétalisation, notamment des toitures)
- une majoration du plafond des prêts bonifiés
- des aides financières des collectivités territoriales et/ou agences de l'eau
- une réduction de la taxe d'assainissement (au prorata des volumes retenus).

²⁵ COS Coefficient d'Occupation du Sol

Bibliographie

- Manuel de la construction écologique, Clarke Snell & Tim Callahan, Edition La Plage
- Toitures végétalisées extensives - ARENE - Septembre 2008
- Toitures végétalisées en Bretagne - Envirobot Bretagne
- Guide d'aide à la conception, Végétalisation Intensive des toitures, Ecovégétal
- Green Roofs and Biodiversity, Volume 4, N°1; Décembre 2006
- La contribution thermique des toitures végétalisées, Rafik Belarbi - Laboratoire d'Etude des Phénomènes de Transfert Appliqués au Bâtiment / Université de La Rochelle, Philippe Faucon - ARRDHOR CRITT / Horticole Rochefort - 5 Décembre 2007
- La contribution au confort urbain - Colloque Toitures végétalisées : une contribution au Développement Durable, CSTB & ADIVET- 5 Décembre 2007
- Eau de pluie de toitures végétalisées: qualité, rétention et effet retard, Karel De Cuyper - Centre Scientifique et Technique de la Construction - 5 Décembre 2007
- Revue "Sortir du nucléaire" n° 42 - mai 2009
- Construire avec la nature, Vingt architectures dans le paysage, Edouard François, Duncan Lewis & associés, Edition Edisud
- La végétalisation des bâtiments, Agence locale de l'énergie de l'agglomération Grenobloise, Octobre 2007
- http://www.paysage-en-herbe.com/actualites/index.php/2006/05/04/8-le_mur_vegetal_a_nu
- <http://fr.wikipedia.org/wiki/Accueil>
- <http://www.actu-environnement.com> (Dossier - La végétalisation de toiture- Actu Environnement.com - Publié le 24/11/2008)
- <http://eetd.lbl.gov/HeatIsland/>
- <http://www.efb-greenroof.eu> (European Federation of Green Roof Associations)
- <http://www.livingroofs.org> (Independent UK resource for green roof information)
- <http://www.greenroof.se> (Scandinavian Green Roof Association)
- <http://www.greenroofs.com> (The green roof industry resource portal. USA)
- <http://www.greenroofs.org> (Green Roofs for Healthy Cities. North America)
- <http://www.adivet.net> (Association pour le Développement et d'Innovation en Végétalisation de Toitures)
- <http://www.igra-world.com> (International Green Roof Association)
- <http://www.greenscreen.com>
- <http://www.cstb.fr>

Sites entreprises

<http://www.ecovegetal.fr>
<http://www.soprema.fr>
<http://www.toiture-bio.com>
<http://www.optigreen.fr/>
<http://www.siplast.fr>
<http://www.sarnafil.fr>
<http://www.vegetalid.com/>
<http://www.inovgreen.fr/>
<http://www.tecmat.com/>
<http://www.toitvert.fr/>

- Toits et murs végétaux, Nigel Dunnett, Noel Kingsbury, Edition du Rouergue, Avril 2005
- Jardin verticaux dans le monde entier, Jacques Leenhardt, Anna Lambertini et Mario Ciampi, Edition Citadelles & Mazenod
- L'architecture écologique, Dauminique Gauzin-Muller, Edition Le Moniteur
- Le mur végétal, de la nature à la ville, Patrick Le Blanc, Edition Michel Lafon
- Murs végétaux, la biodiversité en ville, Revu architecture Intérieure, n°298, 2001, page 58-59
- Introduction to green walls technology, benefits & design, Association Green roofs for healthy cities, Septembre 2008
- Philippe Clergeau (écologue, Inra Rennes) « Une écologie du paysage urbain », Ed : Apogée, septembre 2007, 136 pages
- Kingsbury N.,Dunnett N. (2008) Planting green roofs and living walls. 2nd Ed., Timber Press, p336.
- Végétaliser les villes pour atténuer les îlots de chaleur urbains, Le centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques, Article, BOUTEFEU Emmanuel 10-12-2007
- Heisler G.M., Grimmond S., Grant, R.H., Souch, C. (1994) Investigation of the influence of Chicago's urban forests on and air temperature within residential neighborhoods, Northeast Forest Experiment, Vol. 186, pp. 19-40.
- Sandifer, S., Givoni, B. (2002) Thermal effects of vines on wall temperatures, comparing laboratory and field collected data. Proceedings of the annual conference of the American Solar Energy Society, Reno, NV., June 15-20, 6 p.
- Solar Energy Society, Reno, NV., June 15-20, 6 p.
- Taha, H., Konopacki, S., Gabersek, S. (1996) Modeling the meteorological and energy effects of urban heat islands and their mitigation: a 10 region study, report LBNL-44222. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA., 51 p.
- McPherson, G., Simpson, J.R., Peper, P.J., Mco, S.E., Siao, Q. (2005) Municipal forest benefits and costs in Five US Cities, Journal of Forestry, Vol. 103, No. 8, pp. 411-416.
- Solecki, W.D., Rosenzweig, C., Parshall, L., Pope, G., Clark, M., Cox, J., Wiencke, M. (2005) Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey, Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards, Vol. 6, No. 1, pp. 39-49.
- Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains, Mélissa Giguère, Direction des risques biologiques, environnementaux et occupationnels, Institut National de Santé Publique du Quebec, Juillet 2009
- Réaliser des façades vertes, Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments, IBGE Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, 2007
- <http://gardenbreizh.org>
- <http://doc2geo.googlepages.com/film15>
- Composer avec la nature en ville, CERTU 2009

Sites entreprises

<http://www.sphaigne.com/mur-vegetal-prix-fabrication.htm>
<http://www.canevaflor.com/>
<http://www.murvegetalpatrickblanc.com/mainfr.php>
http://www.murvegetalpng.com/accueil_015.htm
<http://www.greenwall.fr>
<http://www.amytis2.com/>