

L

IGNES DIRECTRICES DE CONCEPTION DE TOITS VERTS

par Steven Peck and Monica Kuhn, B.E.S., B. Arch, O.A.A.

SOMMAIRE

La construction de toits verts risque d'intéresser de plus en plus les urbanistes et les propriétaires d'immeubles. À l'aube du XXI^e siècle, les toits verts peuvent régler bon nombre de problèmes auxquels sont confrontés les citoyens. Le coût du cycle de vie du matériel révèle que la construction d'un toit vert est autant ou moins onéreuse que celle d'un toit traditionnel et constitue un investissement comportant de nombreux avantages sociaux, environnementaux et économiques sur le plan public comme sur le plan privé. Au nombre de ces avantages, citons l'efficacité énergétique (climatisation l'été et isolation supérieure l'hiver), la durée supérieure de la membrane, l'isolation acoustique et la capacité de transformer la toiture inutilisée en divers types d'aire de détente pour les occupants d'un immeuble. Les toits verts filtrent les particules aéroportées, retiennent et nettoient les

eaux pluviales et offrent de nouvelles possibilités de création d'habitats et de préservation de la biodiversité. Ils comportent des avantages esthétiques et contribuent à réduire « l'effet d'îlot thermique urbain », soit la surchauffe estivale des villes qui augmente la pollution atmosphérique et la consommation d'énergie. Dans cet article, nous exposerons l'infrastructure des toits verts et la façon de les mettre en place et en marché, nous en examinerons les coûts et nous présenterons trois études de cas.



Fig. 1 – Toit vert sur la résidence d'ânés Pelgromhof Amersfort, Netherlands

Les photos sont une gracieuseté de S. Marshall



Ontario Association of Architects



AU COEUR DE L'HABITATION
Canada

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

Après avoir lu cet article, vous devriez comprendre ce qui suit :

1. Les éléments d'un toit vert
2. Comment choisir le type de toit vert convenant à votre ensemble résidentiel
3. Les avantages publics et privés et les coûts des toits verts
4. Les questions techniques importantes à prendre en compte
5. Les questions d'entretien assurant la longévité d'un toit vert
6. Les variables détaillées des coûts des toits verts
7. Le potentiel des toits verts selon plusieurs études de cas

1.0 HISTORIQUE

Les toits verts ne constituent pas un nouveau phénomène. Il s'agit d'une méthode de construction standard que de nombreux pays ont adoptée depuis des centaines et même des milliers d'années pour les excellentes qualités isolantes des couches de terre et de végétation (gazon). Dans les climats froids de l'Islande et de la Scandinavie, les toits de gazon contribuent à garder les immeubles au chaud, alors que dans les climats chauds comme celui de la Tanzanie ils contribuent à les garder au frais. Les premiers exemples de toits verts au Canada remontent à l'époque des Vikings, ce qu'ont imité par la suite les colons français, dans les provinces de Terre-Neuve et de Nouvelle-Écosse.

Les architectes Le Corbusier et Frank Lloyd Wright sont deux ardents défenseurs modernes de la technologie des toits verts. Si Le Corbusier préconisait l'emploi de toits verts en tant qu'espaces verts urbains et que Wright s'en servait comme outil lui permettant de mieux intégrer ses immeubles au paysage, aucun d'eux ne s'est rendu compte des profondes répercussions environnementales et économiques que cette technologie pourrait avoir sur le paysage urbain.

Jusqu'au milieu du XX^e siècle, d'aucun considérait les toits verts comme une méthode de construction vernaculaire. Cependant, dans les années 1960, les préoccupations croissantes que soulevaient la dégradation de la qualité du milieu et la raréfaction rapide des espaces verts dans les villes ont ravivé l'intérêt à l'égard des toits verts en tant que solution écologique en Europe du Nord. De nouvelles études techniques ont été menées, depuis celles sur les agents anti-racines, les membranes, le drainage et les substrats de croissance légers jusqu'aux études sur la pertinence de certaines plantes.



**Fig. 2 – Maison de pêcheur français à Fort Louisbourg
Nouvelle-Écosse, Canada**

Toit vert incliné

Les photos sont une gracieuseté de M. Kuhn

En Allemagne, le marché des toits verts a connu une forte expansion dans les années 1980, sa croissance annuelle atteignant alors entre 15 et 20 % et le nombre de mètres carrés passant d'un à dix millions. Une grande partie de cette croissance résulte de lois adoptées par l'État, de subventions municipales et de l'allocation de 35 à 40 deutsche mark par mètre carré de toit ainsi transformé.⁽³⁾ D'autres pays européens ont adopté des mesures incitatives analogues. Plusieurs municipalités ont intégré la technologie des toits verts à leurs règlements. Stuttgart, par exemple, exige l'application de cette technologie à toutes les toitures-terrasses de nouveaux immeubles industriels.⁽⁴⁾ Vienne prévoit également des subventions pour la construction de toits verts pour les nouveaux immeubles au moment de la planification, de l'installation et trois ans après la construction, afin d'en assurer l'entretien à long terme. Présentement, plus de 75 municipalités européennes prévoient des mesures incitatives ou des règlements pour l'installation de toits verts. Le principal motif de cet appui réside dans les avantages que comportent la réduction de l'écoulement pluvial et l'amélioration de la qualité de l'air et de l'eau. Un nouveau secteur dans l'industrie de la construction a donc vu le jour, et les toits verts sont devenus un élément courant du paysage urbain.

Le Canada et les États-Unis accusent au moins dix années de retard par rapport à l'Europe en matière d'investissement dans la technologie des toits verts comme solution viable aux nombreux problèmes de qualité de vie auxquels sont confrontées nos villes. Au début des années 1990, plusieurs grands fabricants européens de toits verts ont commencé à convoiter les marchés nord-américains. Toutefois, leurs systèmes étaient difficiles à vendre faute d'une sensibilisation du public, d'études locales sur le rendement technique et d'exemples accessibles, d'autant plus que le climat culturel et politique en Amérique du Nord est formé de nombreux individus, entreprises et gouvernements hésitant à investir dans les technologies écologiques. Cette situation a commencé à changer.

Au Canada, l'architecte paysagiste Cornelia Hahn Oberlander, les architectes Doug Pollard et Charles Simon et les ingénieurs Greg Allen et Mario Kani comptent parmi ceux qui ont contribué à l'établissement des premiers toits verts, dont le toit du Boyne River Education Centre dans le sud de l'Ontario et celui du Robson Square à Vancouver. Plus récemment, le *Rooftop Gardens Resource Group* (organisme de bénévoles) et le *Green Roofs for Healthy Cities* (organisme du milieu industriel) ont collaboré au développement du marché du toit vert en Amérique du Nord. Ensemble, ils fournissent de l'information, mettent en oeuvre des projets de démonstration et mènent des études techniques pour démontrer les avantages de cette technologie.

Le partenariat formé de l'Institut de recherche en construction (IRC) du Conseil national de recherches du Canada, d'Environnement Canada, de la ville de Toronto et de *Green Roofs for Healthy Cities* a dirigé des projets de recherche à Toronto, dont celui de la toiture accessible au public de la mairie.

À l'Université Laval à Québec, l'entreprise en couverture Soprema examine présentement la « survivabilité » de certaines plantes à l'appui de son produit de toit vert Sopranature. Chicago, Portland, Winnipeg et Ottawa bourdonnent d'une multitude de nouvelles activités de démonstration et d'étude sur les toits verts. On a refait un des toits de l'IRC à Ottawa pour obtenir plus de données techniques détaillées sur le rendement des toits verts dans les domaines tels que l'efficacité énergétique et la durée de la membrane.

I.1 TOITS VERTS INTENSIFS ET EXTENSIFS

Un toit vert, c'est un espace vert qu'on crée en installant plusieurs couches de substrat de croissance et des plantes sur une couverture traditionnelle. Il ne faut pas confondre cette technologie avec les jardins installés à des endroits accessibles d'un toit-terrasse ou d'une terrasse par l'ajout de pots à fleur et de jardinières déplaçables. Le système de toit vert contemporain comporte, de haut en bas, les couches suivantes :

- Les plantes, souvent choisies en fonction de certaines applications;
- Un substrat de croissance fabriqué, parfois sans terre;
- Un tissu filtrant pour contenir les racines et le substrat tout en laissant pénétrer l'eau;
- Une couche de drainage spécialisé, qui comprend parfois des réservoirs d'eau intégrés;
- Une membrane imperméable de couverture comportant un agent anti-racines;
- La structure du toit et un matériau isolant au-dessus ou au-dessous de celle-ci.

Les deux types de base de toit vert - extensif et intensif - se distinguent principalement par leur coût, la profondeur de leur substrat et leurs plantes.

Les toits verts extensifs sont rarement accessibles et comportent les caractéristiques suivantes :

- Légèreté;
- Faible coût en capital;
- Faible diversité de la végétation;
- Entretien minimal.

Le substrat, en général un terreau minéral composé de sable, de gravier, de briques concassées, de boulettes d'argile expansé (Leca), de tourbe, de matières organiques et d'un peu de terre, mesure de 5 à 15 cm (2 à 6 po) de profondeur et pèse entre 72,6 et 169,4 kg/m² (16 à 35 lb/pi²) lorsqu'il est saturé d'eau.⁽¹⁾ Puisque ce substrat est peu profond et que de nombreux toits reproduisent les conditions extrêmes des déserts, il faut que les plantes s'y trouvant soient de faible hauteur, indigènes et rustiques pour les milieux alpins ou arides. En général, on ne fertilise et on n'arrose plus les plantes lorsqu'elles sont bien établies et, après la première année, l'entretien se résume à deux visites annuelles aux fins du désherbage des espèces envahissantes et des inspections de sécurité et de la membrane.⁽²⁾

Les toits verts intensifs sont souvent accessibles et comportent les caractéristiques suivantes :

- Profondeur et poids supérieurs;
- Coût en capital plus élevé;
- Diversité accrue de la végétation; et
- Entretien plus fréquent.



Fig. 3 – Mountain Equipment Co-op Toronto, Ontario, Canada

Toit vert Soprema avec bordure, couche de drainage, tissu filtrant et substrat de croissance ensaché
Les photos sont une gracieuseté de M. Kuhn

Le substrat de croissance se compose principalement de terre. Sa profondeur oscille entre 20 et 60 cm (8 à 24 po) et son poids saturé d'eau, entre 290 et 967,7 kg/m² (60 à 200 lb/pi²). En raison de la profondeur supérieure du sol, le choix de plantes est plus varié et peut comprendre, des arbres et des arbustes, d'où le développement d'un écosystème plus complexe. L'entretien et en particulier l'arrosage sont plus exigeants et fréquents, et il faut habituellement prévoir des systèmes d'irrigation. Il est recommandé de faire appel à des installateurs et à des conseillers en structure et en horticulture chevronnés.

Il faut souligner que certains facteurs, dont l'emplacement, la capacité structurelle de l'immeuble, le budget, les besoins du client et la disponibilité des matériaux et des plantes, conféreront un caractère unique au toit vert, qui combinera vraisemblablement les systèmes intensif et extensif. Le Tableau I résume les avantages et les inconvénients des systèmes de toit vert intensif et extensif.

Tableau I : Comparaison des systèmes de toit vert intensif et extensif	
TOIT VERT EXTENSIF	TOIT VERT INTENSIF
<ul style="list-style-type: none"> • Substrat mince; peu ou pas d'irrigation; conditions difficiles pour les plantes; faible diversité dans le choix de plantes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sol profond; système d'irrigation; conditions plus faciles pour les plantes; grande diversité dans le choix des plantes; souvent accessible.
<p>Avantages :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Léger; renforcement de la structure du toit rarement nécessaire • Idéal pour les grandes surfaces. • Convient aux toits de 0 à 30 degrés de pente. • Faible entretien et longue durée. • Systèmes d'irrigation et de drainage spécialisé rarement nécessaires • Expertise technique moins cruciale • S'intègre bien à des travaux de rénovation permet une végétation spontanée • Peu onéreux • Apparence plus naturelle • Le service municipal d'urbanisme peut plus facilement l'exiger comme condition à l'autorisation de construire. <p>Inconvénients :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Efficacité énergétique et rétention des eaux pluviales moindres • Choix de plantes plus restreint • Rarement accessible pour des loisirs ou d'autres fonctions • Repoussant pour certains, surtout l'hiver 	<p>Avantages :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plus grande diversité de plantes et habitats • Bonne propriétés isolantes • Peut simuler un jardin naturel au sol • Peut être très beau • Souvent accessible et permet des fonctions variées : loisirs, espace vert, potager, etc. • Efficacité énergétique et rétention des eaux pluviales supérieures • Durée supérieure de la membrane <p>Inconvénients :</p> <ul style="list-style-type: none"> • charge sur le toit supérieure • nécessité de systèmes d'irrigation et de drainage, d'où consommation d'énergie, d'eau et de matériaux • coûts d'immobilisation et d'entretien supérieurs • systèmes et expertise plus complexes

Source : Adaptation tirée de Des toitures vertes et des billets verts : un nouveau secteur d'activités au Canada, SCHL, 1998.



Fig. 4– Queen's Quay Terminal Toronto, Ontario, Canada

Terrasse verte avec puits de lumière

Architecte : Zeidler Roberts

Les photos sont une grâce de M. Kuhn

2.0 VENDRE LE CONCEPT – LES AVANTAGES

L'une des plus précieuses qualités des toits verts, c'est qu'ils comportent de nombreux avantages sociaux, économiques et environnementaux pour les secteurs public et privé. Bon nombre de ces avantages font encore l'objet d'études dans diverses zones climatiques de l'Amérique du Nord par l'utilisation d'essais in-situ et d'outils de modélisation. Puisque chaque installation de toit vert est unique, la clé du succès consiste à trouver le bon mélange d'avantages pour un client donné et son ensemble résidentiel. Les rubriques qui suivent exposent quelques arguments de vente des toits verts.

2.1 AVANTAGES POUR LE SECTEUR PRIVÉ ET LE PROPRIÉTAIRE

2.1.1 ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

L'été, les plantes d'un toit vert protègent l'immeuble contre les rayons solaires et, grâce au phénomène d'évapotranspiration, peuvent atténuer voire éliminer les gains thermiques, ce qui contribue à rafraîchir l'endroit et à réduire les besoins énergétiques en climatisation de l'immeuble.

L'hiver, l'isolation supplémentaire fournie par le substrat contribue à réduire les besoins énergétiques en chauffage de l'immeuble. L'ampleur des économies d'énergie dépend :

- de la taille de l'immeuble;
- de son emplacement;
- de la profondeur du substrat de croissance;
- du type de plantes et d'autres variables.

Selon les études de modélisation, la réduction des besoins de climatisation l'été est supérieure à celle des besoins de chauffage l'hiver. Le type d'immeuble est un facteur clé dans la détermination des économies globales. Par exemple, dans les collectifs d'habitation à un ou deux étages dont le toit représente une forte pourcentage de l'enveloppe du bâtiment, les économies d'énergie de climatisation l'été pourraient atteindre 25 % selon les modèles.⁽⁵⁾ Un substrat de 20 cm (8 po) avec une épaisse couche de végétation à une valeur RSI de 0,14 (R20).⁽⁶⁾ Selon les études, la température d'un substrat de 30 cm (12 po) ne glisse pas sous le point de congélation même si la température extérieure atteint -20° C⁽⁷⁾. Selon la zone climatique, la mise en place d'un toit vert peut même réduire les besoins en isolation traditionnelle. Les chercheurs de l'IRC et d'Environnement Canada visent à mettre au point un modèle qui leur permettra de prédire avec plus d'exactitude les gains énergétiques de divers systèmes de toit vert sur divers types d'immeubles.

2.1.2 PROTECTION ET PROLONGATION DE LA DURÉE DE LA MEMBRANE DE TOIT

Les toits verts contribuent à protéger les membranes de toit contre les grands écarts de température, la dégradation par les rayons ultraviolets et les dommages accidentels causés par les piétons. Si l'on se fie à l'expérience européenne, les toits verts doublent aisément la durée utile des toits traditionnels, d'où une réduction des travaux de réfection des couvertures et, donc, des déchets aboutissant à un site d'enfouissement. Il s'agit-là d'économies directes d'exploitation pour les propriétaires d'immeuble. Selon les données sur le coût du cycle de vie du matériel, qui comprend le coût de l'entretien et du remplacement reportés, le coût d'un toit vert est égal ou inférieur à celui d'un toit traditionnel.

2.1.3 ISOLATION ACOUSTIQUE

On peut concevoir des toits verts qui atténuent les bruits, le substrat bloquant les basses fréquences et les plantes, les hautes. Selon les essais menés à ce jour, un substrat de 12 cm (5 po) à lui seul peut atténuer les bruits de 40 dB.

2.1.4 RÉSISTANCE AU FEU

Selon des données tirées de fabricants européens, les toits verts peuvent retarder la propagation d'un incendie d'un toit vers l'immeuble, et vice versa, surtout si le substrat est saturé d'eau. Néanmoins, les plantes peuvent présenter un risque d'incendie si elles sont sèches. De la même manière qu'il faut prévenir les feux de brousse au niveau du sol, il faut prévenir les feux de toits verts en y intégrant au périmètre et à intervalles réguliers, ainsi qu'autour toute ouverture, des coupe-feu. Ces coupe-feu doivent être composés de matériaux non combustibles, tels que du gravier ou des dalles de béton de 60 cm (24 po) de largeur tous les 40 m (130 pi) dans toutes les directions. Sinon, on peut utiliser des plantes ignifugeantes tels que des orpins, dont la teneur en eau est élevée, ou un système d'irrigation avec sprinklers relié à une alarme incendie.

2.1.5 AUTRES AVANTAGES

De nombreuses applications peuvent justifier des dépenses additionnelles en immobilisations pour un toit vert, selon le territoire où il se trouve et le type d'occupation de l'immeuble. Par exemple, les toits verts accessibles, qui offrent une aire additionnelle aux occupants, peuvent contribuer à bonifier la valeur de copropriétés. Outre la bonification de la valeur marchande d'un bureau ou d'un logement résidentiel, l'installation d'un toit vert peut favoriser l'obtention d'autorisations auprès de certaines administrations locales, de membres de la collectivité et d'associations de contribuables.

Les organismes de logement public peuvent offrir aux aînés et aux familles des espaces verts sûrs et accessibles au sommet d'ensembles résidentiels et améliorer ainsi leur qualité de vie. Les conseils scolaires peuvent intégrer les toits verts à leur programme d'études et offrir des espaces verts additionnels à leurs étudiants (classes extérieures sur le toit). Un projet de démonstration du genre mettant en collaboration le Toronto Hydro, le Toronto Catholic School Board et *Green Roofs for Healthy Cities* est présentement en cours. Des administrations publiques produisent ainsi des parcs publics sur le toit de garages, comme le nouveau Roundhouse Park au centre-ville de Toronto. Ce parc repose sur le garage du nouveau centre de congrès. Même les espaces verts inaccessibles sur le toit d'immeubles commerciaux revêtent une importante valeur esthétique et peuvent accélérer le processus d'autorisation de nouveaux chantiers.



Fig. 5 – Mountain Equipment Co-op, Toronto, Ontario, Canada
Toit vert

Les photos sont une gracieuseté de M. Kuhn



Fig. 6 – Roundhouse park, Toronto, Ontario, Canada
Toit vert au niveau du sol

Les hôpitaux et d'autres installations de soins de santé fournissent des occasions de thérapie par l'horticulture, méthode éprouvée d'accélération du recouvrement de la santé et de la réduction de la toxicomanie. On prévoit mettre sur pied un programme de toit vert thérapeutique sur la couverture d'un centre de convalescence pour les victimes de traumatismes crâniens dans le nord de Toronto.

On a intégré des toits verts spécialisés à certains immeubles industriels pour les climatiser, offrir une aire de détente aux employés ou simplement améliorer le paysage qu'on aperçoit du haut des bâtiments voisins. Ecover Inc. est un fabricant belge de produits de lessive biodégradables. Construite en 1992, son usine comporte un toit vert de deux acres garni d'herbes indigènes et de fleurs sauvages. L'effluent de l'usine est traité sur place par un étang d'épuration au niveau du sol puis filtré par le toit vert; il agit donc aussi en tant que système d'irrigation et de fertilisation des plantes.

La conception de toits verts sert également à créer des possibilités d'agriculture urbaine pour la production d'aliments biologiques de haute qualité et de plantes médicinales et ornementales. Cela comporte aussi l'avantage de réduire les coûts de transport et de réfrigération connexes, le temps qui s'écoule entre la cueillette et la consommation et la distance qui sépare la terre agricole du consommateur, tout en permettant une récolte à pleine maturité et la création d'emplois pour les citoyens.

2.2 AVANTAGES PUBLICS

Si les toits verts comportent de nombreux avantages pour le secteur privé, des lois et des mesures incitatives ont été prévues en Europe afin que le secteur public puisse en tirer parti aussi. Les deux principaux avantages de ces toits pour le secteur public sont la réduction de l'effet d'îlot thermique urbain et l'accroissement de la rétention des eaux pluviales.

2.2.1 L'EFFET D'ÎLOT THERMIQUE URBAIN

L'effet d'îlot thermique urbain est la surchauffe des zones urbaines et suburbaines, par rapport à la campagne environnante, en raison de l'accroissement des aires dures, pavées et construites.

Les températures estivales moyennes dans les grandes villes de l'Amérique du Nord ont crû au cours des dix dernières années. Ces températures estivales artificiellement supérieures ont des répercussions négatives directes et indirectes sur la qualité de notre vie.

L'effet d'îlot thermique urbain augmente la consommation d'électricité pour la climatisation et le taux de formation de produits chimiques générateurs de polluants atmosphériques comme l'ozone troposphérique. Il aggrave également les maladies reliées à la chaleur. Les toits verts interceptent les rayons solaires qui autrement frapperaient les surfaces dures et seraient convertis en chaleur, d'où une amélioration de la conservation d'énergie. À l'instar des forêts urbaines et des couvertures réfléchissantes, les toits verts absorbent et/ou font dévier les rayons solaires pour les empêcher de produire de la chaleur.



Fig. 7 – Hazelburn Co-op, Toronto, Ontario, Canada
Potager sur le toit
Les photos sont une gracieuseté de M. Kuhn

La ville de Chicago a soumis le toit de sa mairie à un essai de simulation ASHRAE afin de démontrer que chaque fois qu'on réduit la température ambiante d'un degré Fahrenheit, on économise 1,2 % en énergie de climatisation. Cet essai révèle que si, au cours des dix prochaines années ou davantage, on dotait tous les immeubles de Chicago d'un toit vert (soit 30 % de la surface totale), on économiserait un million de dollars par année en frais de climatisation. L'abaissement de la température ralentirait également les procédés chimiques producteurs d'ozone troposphérique, d'oxydes nitreux et de brumée (smog) et contribuerait à réduire la production de dioxydes de soufre par les centrales à charbon.⁽⁸⁾

2.2.2 RÉTENTION DES EAUX PLUVIALES

On peut concevoir des toits verts ayant d'excellentes capacités de rétention des eaux pluviales. Les plantes absorbent et retiennent l'eau de pluie. L'eau retenue par le substrat de croissance est libérée par évaporation et évapotranspiration. Les taux de rétention des eaux pluviales sont déterminés par le coefficient d'infiltration, l'épaisseur du substrat, la capacité de rétention, la porosité, la rétention et la circulation de l'eau dans la couche de drainage inférieure et l'espacement des drains de décharge. Un toit vert comportant une végétation dense et un substrat de 20 à 40 cm (8 à 16 po) d'épaisseur peut retenir entre 10 et 15 cm (4 à 6 po) d'eau.⁽⁹⁾ Selon une étude sur la rétention des eaux pluviales menées par la ville de Portland en Oregon, si la moitié des immeubles du noyau central de cette ville étaient pourvus d'un toit vert (219 acres), 66 millions de gallons d'eau seraient retenus par année. Cette rétention soulagerait de 17 millions de gallons le système d'égout unitaire.⁽¹⁰⁾ L'étude révèle qu'on réduirait ainsi de 11 à 15 % la décharge des eaux pluviales.

Dans les territoires exigeant la rétention des eaux de pluie au niveau des terrains ou dans des bassins d'orage ou dans ceux ayant des politiques d'écoulement zéro, la capacité de retenir les eaux pluviales peut permettre des mesures financières incitatives directes et indirectes. En Allemagne, 13 municipalités acceptent de réduire leurs frais d'égout pluvial là où des toits verts sont installés. Ce type de mesure est envisagé dans plusieurs villes de l'Amérique du Nord. La ville de Portland en Oregon vient d'adopter une mesure incitative qui prévoit une prime de densité de trois pieds carrés pour chaque pied carré de toit vert installé, pourvu que 60 % du toit soit couvert de végétation.

2.2.3 PURIFICATION DE L'AIR

En outre, les plantes des toits verts filtrent les fines particules aéroportées qui les survolent. Les particules aéroportées tendent à être emprisonnées à la surface de la végétation, et la pluie se charge de les transporter dans le substrat. Les plantes absorbent également les polluants atmosphériques par la photosynthèse et les emprisonnent dans leurs feuilles (qui se transformeront éventuellement en humus).⁽¹¹⁾ Des études ont révélé que les rues urbaines pourvues d'arbres comptent de 10 à 15 % de moins de particules de poussière que celles qui en sont dépourvues.⁽¹²⁾ Par exemple, dans un quartier de Francfort en Allemagne, on a dénombré entre 10 000 et 20 000 particules de poussière par litre d'air dans une rue sans arbres, alors qu'on en a dénombré le tiers dans une rue pourvue d'arbres.⁽¹³⁾ Selon une évaluation sur les arbres, un toit de gazon non coupé de 2 000 m² (100 m² de brins d'herbe par m² de toit) peut purifier jusqu'à 4 000 kg de poussière aéroportée par année (2 kg par m² de toit). Cette évaluation est probablement généreuse puisque la portion inférieure du gazon est trop dense pour être en contact direct avec l'air. Néanmoins, si les toits de gazon ne filtraient que le dixième de ce que filtrent les arbres, 10 m² de ces toits pourraient retirer de l'air un bon 2 kg de poussière par année.⁽¹⁴⁾

2.2.4 CRÉATION D'HABITATS

On peut concevoir des toits verts en tant qu'habitats de rechange acceptables pour certaines espèces, mais ils ne doivent en aucun cas justifier la destruction des habitats naturels au niveau du sol.⁽¹⁵⁾ En Europe, deux types d'habitats sur toit vert ont été définis et établis dans le cadre d'un système plus vaste de couloirs de migration de la faune dans les zones urbaines. Le premier est un habitat « pierres de gué » qui relie les habitats naturels isolés. Il est important de souligner que la connexion n'est possible que par la voie des airs (semences aéroportées, insectes et oiseaux nicheurs et migrateurs). Le second est un habitat « insulaire » qui reste isolé de l'habitat au niveau du sol. Ce dernier type abrite certaines variétés de plantes dont les semences ne sont pas transportées par le vent ou à de longues distances.

On peut aussi concevoir des toits verts dans le but d'imiter des habitats ou des écosystèmes menacés, dont les prairies herbeuses du Midwest des États-Unis ou les steppes rocailleuses de type alvar de l'île Manitoulin et la région des Grands Lacs au Canada. (16) Les toits verts extensifs, où l'homme intervient peu, sont mieux protégés et peuvent devenir un lieu de prédilection pour les plantes sensibles au piétinement et pour les espèces d'oiseau qui ne nichent que sur le sol. Puisque le sol d'un toit vert inaccessible risque peu d'être perturbé lui aussi, il devient un habitat plus sûr pour les insectes. Plus le substrat est profond, plus les insectes qu'il renferme sont variés.

3.0 POINTS À CONSIDÉRER DANS LA CONCEPTION ET LA MISE EN PLACE

La conception et la mise en place d'un toit vert sont assez simples, pourvu qu'on tienne compte des points exposés dans les rubriques qui suivent. Il faut souligner que chaque toit vert est unique, tout comme chaque emplacement, chaque immeuble, chaque propriétaire d'immeuble et chaque utilisateur final.

3.1 FONCTIONS

Les principales fonctions qu'un toit vert donné doit remplir auront de profondes répercussions sur sa conception générale. Par exemple, l'aspect d'un toit vert conçu pour retenir les eaux pluviales différera considérablement de celui d'un toit vert conçu principalement pour enjoliver la cour d'un hôpital. Outre la question de leur esthétique, les toits verts diffèrent par la profondeur de leur substrat, leur programme d'entretien régulier et leur coût global. Cela ne veut pas dire qu'un toit vert conçu pour retenir les eaux pluviales ne peut ou ne doit pas être esthétique. En fait, il peut présenter ces deux qualités, mais on peut se voir forcé d'insister sur une ou plusieurs fonctions en raison de certains facteurs restrictifs, dont le budget et la charpente de l'immeuble.

3.2 EMPLACEMENT

L'emplacement d'un toit vert joue un rôle prépondérant dans le processus de conception. La hauteur du toit par rapport au niveau du sol, son exposition aux vents, son orientation par rapport au soleil et l'ombrage que lui fournissent les immeubles environnants durant certaines parties du jour comptent aussi. Il faut également tenir compte du climat général de l'endroit et du micro-climat du toit même. Le panorama qu'on aperçoit du toit ou celui qu'il offre à partir d'autres points de vue peuvent également déterminer où certains éléments auront meilleure apparence.

3.3 EXPERTS-CONSEILS

Le choix d'experts-conseils repose sur la fonction du toit vert, la taille et l'emplacement du chantier et l'expérience en conception de toits verts du principal expert-conseil et/ou du promoteur. Il faut parfois faire appel à un ingénieur de structure pour déterminer la portance actuelle ou nécessaire du toit. Un architecte pourra coordonner les travaux, concevoir l'immeuble et le toit et rédiger le devis descriptif. Un architecte paysagiste devra peut-être dessiner la surface à planter et effectuer le choix des plantes. Un ingénieur en mécanique se chargera de calculer les implications du toit vert sur les systèmes de chauffage et de climatisation et de discuter des besoins de drainage et de l'intégration de ce toit aux systèmes mécaniques et d'égout de toit actuels ou proposés. Selon la fonction première du toit vert, il faudra peut-être faire appel à d'autres experts-conseils, dont un horticulteur, un spécialiste en thérapie par l'horticulture, un écologiste ou un biologiste, un spécialiste en couverture, un urbaniste, un artiste et des spécialistes en marketing ou en publicité.

3.4 PROCESSUS D'AUTORISATION RÉGLEMENTAIRE

L'aménagement d'une propriété, qu'il s'agisse d'une nouvelle construction ou d'une rénovation, nécessite souvent un pourcentage d'espace vert, selon l'emplacement du terrain et le type d'occupation de l'immeuble. Un toit vert peut être considéré comme un espace vert ou un espace ouvert aménagé, selon les règlements locaux d'urbanisme et de zonage. Ainsi, l'immeuble pourrait occuper une plus grande partie du terrain ou bénéficier d'une prime de densité. Si le toit vert est accessible aux locataires, on pourrait également le considérer comme une aire de détente dans l'immeuble sans qu'il n'y ait de perte d'aire habitable brute à l'intérieur de l'enveloppe du bâtiment. Les toits verts pourraient éventuellement devenir une condition préalable à la construction de certains bâtiments ou une source de crédits fonciers annuels en raison de leur capacité de rétention des eaux pluviales. Entre-temps, l'installation de toits verts devrait être envisagée dans les zones écologiquement fragiles ou par les organismes communautaires de protection de l'environnement. Il faut souligner que les règlements de chaque municipalité sont uniques et devraient faire l'objet d'un examen approfondi auprès des autorités locales d'urbanisme et de zonage.

S'ils ne sont traités expressément ni dans le Code de bâtiment de l'Ontario de 1997 ni dans le Code national du bâtiment du Canada, les toits verts sont considérés comme un prolongement de la couverture et doivent donc répondre aux normes sur les charges et sur la protection contre la moisissure. Si un toit est accessible à d'autres fins que son entretien régulier, c'est-à-dire accessible au public ou aux locataires en tant qu'espace vert extérieur, alors sa conception doit aussi répondre aux normes sur l'occupation, les issues, l'éclairage, les garde-fou et l'accès facile. Cela ne veut pas dire qu'on doit automatiquement les autoriser s'ils répondent au code du bâtiment. Bon nombre d'examineurs de plans dans les divers services municipaux du bâtiment n'ont jamais entendu parler de ce concept et encore moins approuvé les plans d'un toit vert, ce qui oblige souvent le demandeur d'un permis à les éduquer et à leur remettre des documents d'information et des rapports d'essai des fabricants et des fournisseurs de composants de toits verts. Les codes du bâtiment différant d'une province à l'autre, le promoteur devrait vérifier les exigences particulières applicables avant de procéder à l'exécution de travaux.

3.5 STRUCTURE

La charge additionnelle que suppose un toit vert est l'un des principaux facteurs à prendre en compte dans la détermination de la viabilité et du coût de son installation. Si le toit vert fait partie du plan initial de l'immeuble, la charge additionnelle peut aisément être supportée à peu de frais. Néanmoins, si on installe un toit vert sur un immeuble existant, sa conception sera limitée par la portance du toit actuel, à moins que le propriétaire de l'immeuble ne soit disposé à renforcer la structure, ce qui peut nécessiter un investissement important.

Un sol détrempe typique pèse environ $1\ 597\ \text{kg/m}^3$ ($100\ \text{lb/pi}^3$), ce qui est considérable, car les toits en Ontario (Canada) sont conçus pour supporter une charge de seulement $195\ \text{kg/m}^2$ ($40\ \text{lb/pi}^2$), y compris la charge constituée par la neige. L'industrie des toits verts a réagi par la mise au point de divers types de substrat léger. Le toit vert de la nouvelle bibliothèque de Vancouver, en Colombie-Britannique (Canada) comporte un substrat léger de 35,6 cm (14 po) d'épaisseur se composant de sable, de pierre ponce et de compost. Ce toit ne pèse que $292,6\ \text{kg/m}^2$ ($60\ \text{lb/pi}^2$) lorsqu'il est saturé d'eau et n'a nécessité aucun renforcement additionnel de la structure pour satisfaire les normes du code du bâtiment de la Colombie-Britannique.⁽¹⁷⁾

Dans les dernières éditions du Code de bâtiment de l'Ontario, les normes sur la charge de neige ont changé. Dans les régions comme Toronto, on n'exige plus que $107\ \text{kg/m}^2$ ($22\ \text{lb/pi}^2$, $40\ \text{lb}$ auparavant) comme tolérance à la charge de neige générale sur le toit et une charge supérieure de neige seulement aux endroits où la neige s'accumule. Il reste donc $88\ \text{kg/m}^2$ ($18\ \text{lb/pi}^2$) pour l'installation d'un toit vert, soit assez pour un système extensif simple.

Sur les toitures inversées, où la membrane d'imperméabilisation est installée sous l'isolant simplement posée et une couche de ballast, généralement du gravier ou des pavés de béton, on peut remplacer le ballast par un toit vert, ce qui augmente la portance du toit par l'élimination de la charge statique que présente le ballast. Par l'analyse approfondie de la structure du toit, on peut trouver des endroits où la charge peut être augmentée, peut-être au-dessus d'une colonne ou d'un mur porteur, ce qui permet l'utilisation d'un système semi-extensif (tantôt extensif, tantôt intensif) et l'installation d'un substrat plus profond et de plantes plus imposantes à ces endroits. Il faut souligner que les propriétaires d'immeuble, les locataires et les gestionnaires immobiliers doivent connaître les restrictions touchant les charges de toit admissibles, grâce à un plan ou à un manuel d'entretien, pour éviter de mauvais réaménagements ou l'ajout de plantes à des endroits ne pouvant en supporter la charge.

3.6 ENTRÉES ET SORTIES

L'accès aux toits verts est crucial non seulement pour en assurer l'installation et l'entretien régulier, mais aussi pour y apporter des matériaux, de la terre et des plantes. Lorsqu'on construit un nouvel immeuble, la conception d'escaliers internes ou d'un arrêt additionnel d'ascenseur aux étapes de la planification est assez facile et peu onéreuse. Par contre, lorsqu'on rénove un immeuble existant, cela peut se révéler onéreux. Si aucun ascenseur ne se rend sur le toit, il faudra y apporter les matériaux par les escaliers et des échelles ou au moyen d'une grue, soit deux solutions pouvant entraîner des coûts additionnels de main-d'oeuvre et d'équipement. Une échelle et un escalier intérieurs sont moins dangereux qu'un escalier ou une échelle temporaire fixé à l'extérieur du bâtiment, et il vaut mieux passer par une porte piétonne que par une petite trappe de pavillon. Si le toit vert sera accessible aux locataires ou au grand public, alors les entrées et les sorties deviennent plus cruciales, passant d'une simple commodité à une exigence rigoureuse de sécurité prévue par les codes locaux du bâtiment.

3.7 COUVERTURE

L'un des composants les plus importants du toit vert est la membrane d'imperméabilisation. Pour un bâtiment existant, il faut soigneusement inspecter la membrane afin de déterminer s'il faut la réparer ou la remplacer avant l'installation du toit vert. Bon nombre de fabricants de toits verts n'offrent aucune garantie à défaut de l'installation d'une membrane neuve. Les 10 à 15 ans que durent une couverture donnent tout le temps voulu pour envisager la possibilité d'installer un toit vert plus durable. On peut installer des toits verts tant sur les toitures traditionnelles que sur les toitures inversées. Dans le cas d'une toiture inversée, il faut déterminer si l'isolant peut être remplacé par un substrat de croissance de même valeur isolante. Si l'isolant doit demeurer en place, alors il faut prévoir un bon système de drainage pour empêcher que le contact constant de l'eau avec l'isolant n'endommage ce dernier.

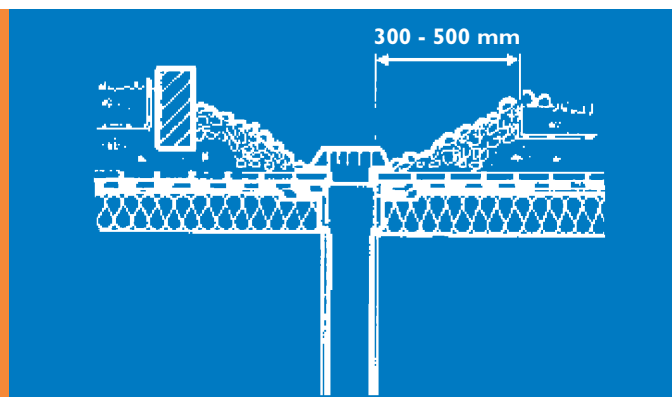
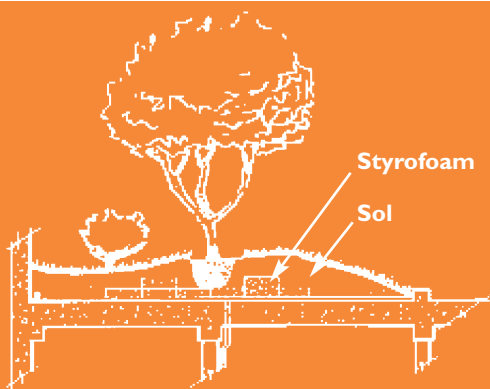


Fig. 8 – Détail montrant la charge ponctuelle des arbres
Sol profond au-dessus d'une colonne portante

Fig. 9 – Égouttage de toit entouré par une barrière de gravier.

Les photos sont une gracieuseté de R. Hippolite, d'après *Grundlagen der Dachbegreenung*, Patzer Verlag, Berlin, 1989.

Si la membrane, qu'elle soit neuve ou non, renferme du bitume ou tout autre matière organique, il faut absolument la séparer de manière permanente de la couche de végétation, sinon elle sera exposée à la pénétration de racines et aux micro-organismes. Certaines membranes mises au point expressément pour les toits verts renferment quand même du bitume, mais aussi un produit chimique anti-racines ou une feuille métallique entre chacune de leurs couches et de leurs coutures pour empêcher les racines de les endommager. La composition chimique d'une membrane doit en outre être compatible avec les composants qui entrent directement en contact avec elle.

Bien qu'un toit vert retienne la majeure partie de la pluie qui y tombe, il est très important d'assurer un bon drainage du toit. Les garde-fou, les bordures, les solins et les ouvertures nécessaires aux puits de lumière, aux systèmes mécaniques, aux événements et aux cheminées doivent être bien protégés par un contour de gravier et, parfois, un drain. Si la couche de drainage est trop mince ou que les canaux menant aux égouts de toit sont obstrués, la membrane peut avoir des fuites en raison de son contact constant avec l'eau ou le substrat humide. Le substrat même peut se dégrader et noyer ou faire pourrir les plantes.

Pour une pente de toit supérieure à 20 degrés, l'installateur du toit vert doit s'assurer que la couche de gazon ou de plantes ne glisse pas ou ne s'enfonce pas en raison de son propre poids, surtout lorsqu'elle est mouillée. Pour ce faire, il peut installer des bandes horizontales en bois, en plastique ou en métal sous la membrane ou les poser simplement sur celle-ci. Des treillis de soutien pour les toits verts ont été conçus par certaines entreprises de fabrication de toits verts à cette fin.

3.8 PLANTES

L'emplacement, les vents, la pluie, la pollution atmosphérique, la hauteur du bâtiment, l'ombrage et la profondeur du sol sont autant de facteurs déterminant quelles plantes conviennent et à quel endroit les installer. La capacité de survie des plantes sur un toit vert est directement proportionnelle à l'intensité de leur entretien et au budget alloué au projet, en particulier les deux premières années suivant leur établissement. Les conditions climatiques sur les toitures s'avèrent souvent extrêmes. À moins de prévoir des dispositifs d'ombrage, d'irrigation et de fertilisation, il ne faut choisir que les variétés rustiques ou indigènes de gazon et d'orpin. Il faut également tenir compte de la taille et de la profondeur des racines pour déterminer si les plantes se stabiliseront dans un substrat de croissance de 10 cm (4 po) ou de 60 cm (24 po). Il est essentiel de savoir si les conditions où se trouvaient les plantes auparavant, le cas échéant, ressemblent à celles prévalant sur le toit vert où elles seront installées, afin qu'elles s'y adaptent et s'y épanouissent. En général, les toits verts extensifs se composent d'un mélange de gazons, de mousses, d'orpins, de joubarbes, de fétuques, d'iris et de fleurs sauvages qui proviennent de déserts, de toundras, d'alvars et de flancs de montagnes. Sauf quelques rares exceptions, le choix de plantes pour un toit vert intensif est illimité.

3.9 CONSTRUCTION ET INSTALLATION

Tenez compte des considérations touchant l'installation. Il faut que les installateurs aient une bonne expérience en systèmes de toit vert. En fait, il vaut peut-être mieux confier tout le projet, depuis la réfection de la couverture jusqu'à l'installation des plantes, à une seule entreprise, afin d'éviter les conflits de calendrier d'exécution et les réclamations entre divers corps de métier. Cette manière de procéder fera également porter à une seule entité la responsabilité postérieure à la construction. Les méthodes adoptées pour apporter les matériaux sur le toit doivent être débattues afin de préciser les coûts et d'envisager

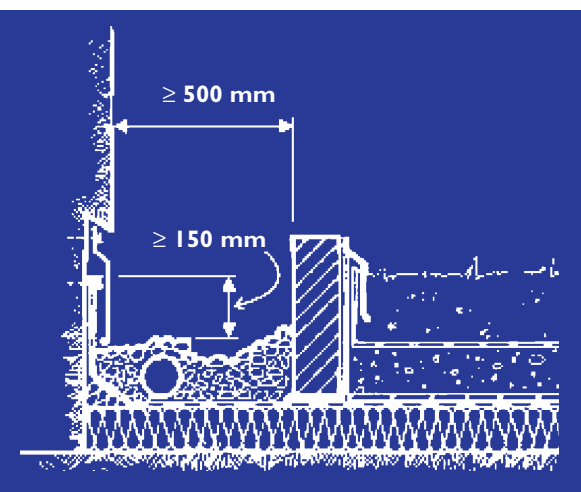


Fig. 10 – Solin avec barrière de gravier et égout de toit à la jonction mur-toit

Les photos sont une gracieuseté de R. Hippolite, d'après *Grundlagen der Dachbegruenung*, Patser Verlag, Berlin, 1989.

la possibilité de louer de l'équipement. Le synchronisme est également important. Selon le climat, la plantation au plus fort de l'été peut nécessiter une irrigation supplémentaire, car les plantes ont du mal à supporter la chaleur tant qu'elles ne sont pas bien établies. La plantation l'automne est possible si on peut trouver les plantes nécessaires et qu'on les installe assez tôt pour leur permettre de s'établir avant les temps froids. Si vous préparez le sol l'automne pour y installer les plantes le printemps suivant, le substrat de croissance peut être érodé par les vents d'hiver et la fonte de la neige. Pour atténuer ce problème, couvrez le substrat d'une toile de jute ou d'un autre matériau. La division du toit vert en sections peut faciliter l'accès à la membrane et aux égouts de toit, aux fins de leur inspection et de leur entretien, car il n'est plus nécessaire alors de tout enlever.

3.10 ENTRETIEN

Il faut entretenir les plantes ainsi que la membrane d'imperméabilisation. Selon qu'on a affaire à un toit vert extensif ou intensif, l'entretien des plantes devra être réalisé au moins deux ou trois fois par année pour sarcler et réparer les dommages jusqu'à une fois par semaine pour arroser, émonder et replanter. Pour que la garantie et le bon état du toit vert perdurent, nous vous recommandons de prévoir dans la soumission originale des frais d'entretien pour les trois à cinq premières années et de confier l'entretien à la même entreprise qui se charge de l'installation du toit vert ou à une des ses filiales. En général, les toits intensifs nécessitent plus d'entretien que les toits extensifs en raison de la diversité supérieure de leur végétation.

L'entretien et les inspections visuelles de la membrane d'imperméabilisation peuvent être compliquées par le fait que le toit vert couvre toute la membrane. Si le toit vert protège la membrane contre la perforation et les rayons solaires, ce qui en double la durée, des fuites peuvent toujours se produire aux coutures ou près des ouvertures et des solins, le plus souvent en raison d'une mauvaise installation que d'une déféctuosité. Il faut programmer des inspections d'entretien régulier comme pour un toit standard, surtout juste avant l'expiration de la garantie. Certaines entreprises recommandent l'intégration d'un système électronique de détection des fuites sous la membrane ou entre ses couches afin de déterminer avec précision où se trouvent des fuites. Dans les stratégies d'accès au toit, on prévoit ne pas installer de plantes et de substrat aux endroits névralgiques (en installant plutôt un contour de gravier, par exemple) et de diviser le toit vert en sections pour en faciliter l'enlèvement. Éventuellement, il faudra remplacer la membrane, après 30 à 50 ans d'usage. Selon la taille de la toiture, la hauteur du bâtiment, le type de végétation et la profondeur du substrat de croissance, il faudra enlever le système de toit vert et le réinstaller sur la nouvelle membrane ou le remplacer entièrement. Si vous pouvez enlever le toit vert et l'entreposer sur la toiture durant le remplacement de la membrane par sections, alors vous n'aurez que des frais de main-d'oeuvre analogues à ceux pour l'installation du toit vert. Si vous devez retirer le toit vert de la toiture pour l'y rapporter après avoir remplacé la membrane, les frais augmenteront en conséquence, et il en coûtera peut-être moins de tout refaire.

3.11 ASSURANCE ET RESPONSABILITÉ

La prime d'assurance des biens immeubles ne devrait pas augmenter à la suite de l'ajout d'un toit vert, à moins qu'il ne soit accessible aux locataires ou au public. Tous les fabricants de toits verts garantissent leurs produits s'ils sont installés conformément à leurs spécifications. Le sentiment de sécurité qui en découle peut intéresser certains clients, en particulier les grands établissements, même s'il en coûte davantage que de combiner divers produits prêts à utiliser et remplissant les mêmes fonctions mais non conçus spécifiquement pour les toits verts. Si, pour des raisons de coût, vous préférez combiner des produits prêts à utiliser, alors la seule garantie que vous obtiendrez concernera l'installation des produits et non leur rendement.

4.0 DEVIS DESCRIPTIF ET VARIABLES

Si tous les toits verts ont en commun certains composants, il n'y a pas de coûts standard pour leur installation. Les deux tableaux ci-après fournissent un éventail de coûts pour les composants et précisent les principales variables déterminant ces coûts.

4.1 TOIT VERT EXTENSIF INACCESSIBLE

(Nous présumons qu'il s'agit d'un bâtiment existant dont la portance est suffisante et que l'accès au toit par une trappe n'est possible qu'à l'aide d'une échelle. Plus la superficie du toit vert est grande, plus les coûts au mètre carré sont faibles.)

	Composant	Coût	Remarques et variables
a)	Conception et devis	5 à 10 % du coût global du projet de toiture	Le nombre et le type de spécialistes nécessaires varient selon la taille et la complexité du projet.
b)	Administration du projet et examen des lieux	2,5 à 5 % du coût global du projet de toiture	Le nombre et le type de spécialistes nécessaires varient selon la taille et la complexité du projet.
c)	Réfection de la couverture à l'aide d'une membrane anti-racines	100 \$ à 160 \$/m ² (10 \$ à 15 \$/pi ²)	Les facteurs liés au coût comprennent le type de toiture existante à enlever, le type de toiture à installer, la facilité d'accès au toit et le type de solins nécessaires.
d)	Toit vert (bordure, couche de drainage, tissu filtrant et substrat de croissance)	55 \$ à 110 \$/m ² (5 \$ à 10 \$/pi ²)	Les facteurs liés au coût comprennent le type et la profondeur du substrat de croissance, le type de bordure et la taille du projet.
e)	Plantes	11 \$ à 32 \$/m ² (1 \$ à 3 \$/pi ²)	Les facteurs liés au coût comprennent l'époque de l'année, le type et la taille des plantes – semis, capsules ou pots.
f)	Installation et main-d'oeuvre	32 \$ à 86 \$/m ² (3 \$ à 8 \$/pi ²)	Les facteurs liés au coût comprennent la location d'équipement pour apporter les matériaux sur le toit et les y déplacer (jusqu'à 4 000 \$/jour pour louer une grue), la taille du projet, la complexité de la conception et les techniques de plantation.
g)	Entretien	13 \$ à 21 \$/m ² (1,25 \$ à 2 \$/pi ²) les deux premières années seulement	Les facteurs liés au coût comprennent la taille du projet, le moment de l'installation, le système d'irrigation et la taille et le type de plantes.
h)	Système d'irrigation	21 \$ à 43 \$/m ² (2 \$ à 4 \$/pi ²)	*Facultatif, car le toit peut être arrosé à la main. Les facteurs liés au coût comprennent le type de système utilisé.

4.2 TOIT VERT INTENSIF ACCESSIBLE

(Nous présumons qu'il s'agit d'un bâtiment existant dont la portance est suffisante et que l'accès au toit par une trappe n'est possible qu'à l'aide d'une échelle. Plus la superficie du toit vert est grande, plus les coûts au mètre carré sont faibles.)

Composant		Coût	Remarques et variables
a)	Conception et devis	5 à 10 % du coût global du projet de toiture	Le nombre et le type de spécialistes nécessaires varient selon la taille et la complexité du projet.
b)	Administration du projet et examen des lieux	2,5 à 5 % du coût global du projet de toiture	Le nombre et le type de spécialistes nécessaires varient selon la taille et la complexité du projet.
c)	Réfection de la couverture à l'aide d'une membrane anti-racines	100 \$ à 160 \$/m ² (10 \$ à 15 \$/pi ²)	Les facteurs liés au coût comprennent le type de toiture existante à enlever, le type de toiture à installer, la facilité d'accès au toit et le type de solins nécessaires.
d)	Toit vert (bordure, couche de drainage, tissu filtrant, substrat de croissance, terrasse et allées piétonnes)	160 \$ à 320 \$/m ² (15 \$ à 30 \$/pi ²)	Les facteurs liés au coût comprennent le type et la profondeur du substrat de croissance, le type et la hauteur de la bordure, le type de terrasse et la taille du projet. (Le coût ne comprend pas les boîtes à plantes déplaçables.)
e)	Plantes	54 \$ à 2 150 \$/m ² (5 \$ à 200 \$/pi ²)	Le coût dépend entièrement du type et de la taille des plantes choisies, car presque n'importe quelle type de plante peut convenir au climat local (un arbre peut coûter entre 200 et 500 \$).
f)	Système d'irrigation	21 \$ à 43 \$/m ² (2 \$ à 4 \$/pi ²)	Les facteurs liés au coût comprennent le type de système utilisé et la taille du projet.
g)	Garde-fou et clôture	65 \$ à 130 \$/mètre linéaire (20 \$ à 40 \$/pi ² linéaire)	Les facteurs liés au coût comprennent le type de clôture et de garde-fou, leur fixation au toit, la taille du toit vert et la longueur nécessaire.
h)	Installation et main-d'oeuvre	85 \$ à 195 \$/m ² (8 \$ à 18 \$/pi ²)	Les facteurs liés au coût comprennent la location d'équipement pour apporter les matériaux sur le toit et les y déplacer, la taille du projet, la complexité de la conception et les techniques de plantation.
i)	Entretien	13,50 \$ à 21,50 \$/m ² (1,25 \$ à 2 \$/pi ²) par année	Les facteurs liés au coût comprennent la taille du projet, le système d'irrigation et la taille et le type de plantes.

5.0 MESURES INCITATIVES PUBLIQUES D'INSTALLATION DE TOITS VERTS

Contrairement à ce qui se fait en Europe, peu de politiques officielles en Amérique du Nord prévoient des mesures incitatives directes ou des règlements pour les toits verts. Malgré tout, quelques possibilités ci-après exposées méritent d'être envisagées pour le bénéfice du client. Ces possibilités fluctuent beaucoup en fonction du territoire.

5.1 GESTION DES EAUX PLUVIALES

Certains territoires peuvent réduire l'impôt qu'ils exigent pour les systèmes d'aqueduc et d'égout ou offrir des incitatifs financiers aux promoteurs ou aux propriétaires d'immeubles dont le terrain retient les eaux pluviales. Certains territoires interdisent l'écoulement des eaux pluviales dans les quartiers réaménagés, et plus particulièrement dans ceux dont le réseau pluvial ou d'assainissement fonctionne à pleine capacité ou ayant un système d'égout unitaire.

Dans les quartiers neufs où la construction de bassins d'orage est obligatoire, les toits verts peuvent contribuer à réduire la taille des bassins nécessaires, d'où une précieuse économie de terrains.

5.2 EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Certaines administrations publiques prévoient des programmes offrant une aide financière pour la recherche et la mise en oeuvre de technologies permettant des économies d'énergie supérieures à la norme du code local du bâtiment. Dans ce cas, il faut calculer l'accroissement de la valeur isolante et les économies d'énergie réalisables.

5.3 EXIGENCES RELATIVES AUX ESPACES OUVERTS

En vertu de leurs règlements d'urbanisme et de zonage, de nombreuses municipalités exigent qu'un pourcentage d'une nouvelle propriété soit aménagé en espace ouvert et/ou en espace vert accessible au public. Les toits verts peuvent satisfaire, en partie ou en totalité, cette condition ou agir en tant que moyen de négociation pour l'autorisation d'une densité supérieure ou d'un autre avantage auprès des autorités locales.

5.4 AVANTAGES ESTHÉTIQUES

Là où de nombreux toits en surplombent un autre, on peut accélérer le processus d'autorisation ou réduire l'opposition du public à un projet en y intégrant un toit vert le plus esthétique qui soit.

6.0 CONCLUSIONS ET RESSOURCES

Les toits verts constituent une technologie éprouvée qui offrent aux propriétaires d'immeubles des possibilités d'utilisation des toitures tout en leur permettant d'économiser de l'énergie, de gérer les eaux pluviales, d'atténuer les bruits et d'améliorer l'esthétique. Les toits verts accessibles peuvent apporter d'importants avantages aux locataires d'un immeuble ou au grand public : lieu éducatif pour les écoles, parcs privés pour les copropriétaires, parc public, thérapie par l'horticulture et même production d'aliments. Chaque toit vert doit être adapté aux besoins particuliers du client, les variables en déterminant les coûts. Plus il y aura d'administrations publiques reconnaissant le vaste éventail d'avantages publics des toits verts et la façon dont ces toits peuvent régler de nombreux problèmes auxquels sont confrontées les villes, plus ces administrations prévoiront des mesures incitatives pour amener les propriétaires d'immeubles privés à engager les coûts additionnels que supposent ces toits. Entre-temps, plusieurs créneaux de marché permettent la mise en place de toits verts et peuvent contribuer à démontrer les multiples avantages de cette technologie, y compris l'ajout de commodités.

Pour de plus amples renseignements sur les toits verts, veuillez visiter les sites Web suivants :

- Green Roofs for Healthy Cities
www.greenroofs.ca
- Rooftop Gardens Resource Group
www.interlog.com/~rooftop/
- Site Web de la SCHL:
Le point en recherche: Série Technique:
Des toitures vertes et des billets verts
www.cmhc-schl.gc.ca/publications/fr/rh-pr/tech/01-101_f.pdf
L'innovation dans les immeubles
www.cmhc-schl.gc.ca/fr/amquablo/toenha/index_i.cfm

7.0 ÉTUDES DE CAS

MOUNTAIN EQUIPMENT CO-OP, TORONTO

Aperçu : Toit vert inaccessible situé au siège social de Mountain Equipment Co-op au centre-ville de Toronto. Les 903m² de toit vert entourent un puits de lumière au deuxième étage de l'immeuble. Le toit est entièrement exposé au soleil et peut supporter une charge de 40 lb/po². Il comporte un dispositif de drainage SOPRADRAIN PSE, un filtre SOPRAFILTRE et un substrat de croissance SOPRAFLOR-X, tous trois de Soprema. La végétation est un mélange de fleurs sauvages de tournesol et de vivaces (dans des pots de 4 po, à une densité de 14 plants/m²).

Propriétaire : Mountain Equipment Co-op.

Construction : L'installation du toit vert a eu lieu en mai 1998 et l'immeuble a été construit à l'automne 1997 et à l'hiver 1998.

Partenaires : Architecte - Stone Kohn McQuire Vogt (SKMV) Architects,
Architectes paysagistes - Ferris et Quinn, avec des recommandations de Marie-Anne Boivin de Soprema Inc.

Ingénieur de Structure : Read Jones Christopherson Ltd.

Ingénieur en En mécanique : Keen Engineering Co. Ltd.

Entrepreneur Paysagiste : Top Nature

Incitatifs : Certains éléments du programme ne comportaient aucun avantage économique mesurable mais, pour le propriétaire, ils revêtaient une importance du point de vue du leadership social et communautaire. L'immeuble a été construit afin de favoriser les débats sur les préoccupations environnementales, ce à quoi le toit vert a contribué.

**Fig. 11 – Mountain Equipment Co-op
Toronto, Ontario, Canada**

Installation et plantation du toit vert Soprema
Les photos sont une gracieuseté de M. Kuhn



Obstacles : Les coûts additionnels que pourrait entraîner la réfection de la structure pour permettre aux employés d'avoir accès au toit vert ont nui au projet. Puisqu'il aurait fallu renforcer la structure du toit pour lui permettre de supporter les charges additionnelles piétonnes, on a écarté la possibilité d'un accès.

Coût : Main-d'oeuvre et matériaux : 115 000 \$; renforcement de la structure : 55 000 \$.

Avantages : Ce toit vert comporte certes des avantages pour l'environnement et la collectivité. Il entraînera de plus des économies de coûts de fonctionnement en raison de l'inertie thermique de la masse de substrat de croissance. La végétation et la faune (oiseaux, papillons, insectes, etc.) ont réussi à s'y installer. Les promoteurs locaux envisagent d'autres initiatives analogues.

Suggestions : Inclure le toit vert dans les plans originaux pour réduire les coûts. Prévoir un accès limité par les employés afin d'ajouter un avantage.

BIBLIOTHÈQUE PUBLIQUE DE VANCOUVER, COLOMBIE-BRITANNIQUE, CANADA

Aperçu : Ce toit vert extensif de 2 400 m² à Vancouver peut être vu des tours à bureaux voisines du centre-ville. Ce toit inaccessible surmonte le septième et dernier étage de la bibliothèque. Il est orienté vers la ville et le port. Quatre types différents d'arbres et de fétuques vertes et turquoise des champs poussent dans un substrat léger composé de déchets végétaux, de sable et de pierre ponce.

Propriétaire : Ville de Vancouver

Construction : L'immeuble et le toit vert ont été construits en 1995.

Partenaires : Architectes - Moshe Safdie and Associates et Downs Archambault & Partners.

Architecte

Paysagiste : Cornelia Hahn Oberlander.

Entrepreneur

Paysagiste : Jackway Landscaping.

Incitatifs : Objectifs environnementaux et esthétiques.

Obstacles : Aucun.

Coût : Le coût global du toit vert de la bibliothèque atteint environ 250 000 \$ (104 \$/m²).

Avantages : Le toit vert a remporté un vif succès, mais aucune données mesurables n'ont été recueillies.



Fig. 12 – Toit vert de la bibliothèque de Vancouver
Vancouver, Colombie-Britannique, Canada
Les photos sont une gracieuseté de Hydrotech

MAIRIE DE TORONTO, ONTARIO, CANADA

Aperçu : Ce projet de démonstration est situé sur le socle du premier étage de la mairie de Toronto, au 100 rue Queen West. Ce toit vert est accessible au public. Il se divise en huit sections, chacune représentant une application des toits verts. Garland et Soprema ont fabriqué un système de toit vert chacun.

Les huit sections comprennent :

- Deux systèmes semi-extensifs démontrant divers types de plantes et de techniques d'aménagement paysager;
- La reproduction d'un rare écosystème - la savane de chênes noirs - à l'aide de plantes indigènes obtenues d'un parc voisin, le High Park;
- Un jardin pour les oiseaux et les papillons composé d'un mélange de plantes indigènes et non indigènes.
- Deux sections de toit vert extensif démontrant une grande variété de plantes;
- Deux sections d'agriculture urbaine, dont l'une expose quelques principes et types de plantes relatifs à la « permaculture ».

Propriétaire : Ville de Toronto.

Construction : La réfection de la couverture et l'installation du toit vert ont été réalisées en automne 2000.

Partenaires : Ville de Toronto, IRC, Environnement Canada et les entreprises membres de *Green Roofs for Healthy Cities* (Flynn Canada, Deboer Environmental Concepts, Sciences du bâtiment d'IRC, Sheridan Nurseries, Soprema et Garland).

Architecte paysagiste : Julien Marton

Incitatifs : Nécessité d'une étude technique sur le rendement et d'un projet de démonstration.

Obstacles : De nombreux secteurs de compétence ont participé, et il a fallu satisfaire leurs exigences pour que se réalise ce toit vert.

Coût : Le coût global du toit vert et de la réfection de la couverture s'est élevé à environ 265 000 \$, coût qu'on assumé conjointement *Green Roofs for Healthy Cities*, le Toronto Atmospheric Fund et le fonds d'action sur le changement climatique du gouvernement fédéral. La ville de Toronto a assumé la valeur de la réfection traditionnelle de la couverture, qui devait être remplacée en 2004.

Avantages : Ce toit vert offre au public et aux spécialistes une excellente occasion d'avoir accès à divers types d'applications à un seul endroit.

NOTES

1. Soprema Roofing Inc., Information de marketing, 1996.
2. Thompson, *Des toitures vertes et des billets verts* (TVBV, voir ci-après), 1998, p. 49.
3. Boivin. 1992, dans TVBV.
4. Johnston. 1996, p. 48 dans TVBV.
5. Communication personnelle avec M. Brad Bass, Adaptation et incidences (Environnement Canada), Février 2001.
6. B. Bass, M. Kuhn, et S. Peck. *Des toitures vertes et des billets verts: Un nouveau secteur d'activités au Canada* (TVBV), SCHL, 1998, p. 24. – voir ce rapport en format Acrobat (.pdf).
7. C. Miller. *Vegetative Roof Covers: A New Method for Controlling Urban Runoff in Urbanize Areas*, Villanova University, Octobre 1998.
8. TVBV, p. 30.
9. *Urban Heat Island Initiative Pilot Project: Final Report*, Rapport produit pour la ville de Chicago par Roy F. Weston et al., 9 mai 2000.
10. S. Beckman, S. Jones, K. Liburdy, et C. Peters. *Greening Our Cities: An Analysis of the Benefits and Barriers Associated with Green Roofs*, Portland State University, Planning Workshop, 1997, p. 26.
11. Minke, 1982, p. 11 dans TVBV.
12. Johnston, 1996, p. 10 dans TVBV.
13. Minke, 1982, p. 11 dans TVBV.
14. *ibid.*, p. 11.
15. Johnston, 1996, p. 49 dans TVBV.
16. North American Wetland Engineering (1998) et Reid (1996).
17. Thompson, 1998, p. 49 dans TVBV.

QUESTIONS

1. Pourquoi l'entretien régulier d'un toit vert extensif diffère-t-il de celui d'un toit vert intensif?
2. Quelles avantages environnementaux les municipalités peuvent-elles tirer des toits verts?
3. Quels économies de coût peuvent en tirer les propriétaires d'immeubles et les promoteurs?
4. Quels en sont les avantages sociaux pour les occupants d'immeubles?
5. Quels avantages peut-on tirer de l'intégration d'un toit vert à la conception d'un projet de construction plutôt qu'à un projet de rénovation?
6. Quels sections du Code de bâtiment de l'Ontario régissent les systèmes de toit vert?
7. Pourquoi vaut-il mieux séparer le substrat de croissance de la membrane d'imperméabilisation?
8. Pour quelles raisons faut-il séparer les plantes des ouvertures de toit?
9. Peut-on installer un toit vert sur une toiture en pente?
10. Qu'advient-il du toit vert quand la membrane d'imperméabilisation atteint la fin de sa durée utile?

Pour connaître les réponses aux questions, veuillez consulter le site Web de votre association professionnelle.