



LES MURS VÉGÉTALISÉS

4 mai 2022

Société québécoise de phytotechnologie - info@phytotechno.com
3230, rue Sicotte, local E-300, ouest, Saint-Hyacinthe QC J2S 2M2

PHYTOTECHNO.COM



Préambule

LES MURS VÉGÉTALISÉS

Les murs végétalisés (*green wall, living wall* ou *vertical garden* en anglais) se divisent en deux groupes, soit les façades végétalisées avec des plantes grimpantes et les murs vivants, constitués de plantes enracinées dans un support vertical. Ces murs peuvent être installés à l'intérieur ou à l'extérieur. Chaque type possède ses caractéristiques propres et est composé de végétaux spécifiques. Les murs vivants peuvent être de nature hydroponique, avec substrat de croissance ou en formule hybride. Tout en étant esthétiques, les murs végétalisés remplissent diverses fonctions écologiques. Ceux extérieurs aident à la gestion des eaux pluviales, à la régulation de température du bâtiment et à l'amélioration de la qualité de l'air. Ceux intérieurs servent surtout à améliorer la qualité de l'air, mais peuvent également être utilisés pour récupérer les eaux pluviales. Toutefois, certains murs végétalisés hydroponiques sont axés davantage sur l'esthétisme et obtiennent un bilan écologique mitigé puisqu'ils nécessitent plus d'intrants. Les murs végétalisés ont également l'avantage de maximiser les superficies utilisables en milieu urbain. En fait, un mur végétal phytotechnologique aura comme objectifs principaux de fournir des services environnementaux, mais aussi économiques en réduisant les coûts de climatisation d'un bâtiment et en limitant certaines interventions sur les infrastructures grises.

Le but de cette fiche est de décrire les différents systèmes, d'en résumer les principales fonctions et de faire ressortir dans quelles conditions l'installation maximise son rôle phytotechnologique.

1.0 HISTORIQUE

Dans le milieu naturel, la végétation colonise souvent les structures verticales telles les parois rocheuses. La végétation est utilisée depuis de nombreux siècles pour les bâtiments et dans la construction des villes. Durant l'Antiquité, l'utilisation de supports en bois fabriqués à partir de troncs et de branches d'arbres permettait d'y faire grimper des vignes et des plantes grimpantes. D'autres supports tels que des poteaux et des colonnes furent inventés au fil du temps et permirent le développement de treillis et de pergolas. Les jardins du château de Versailles, construits au XV^e siècle, sont un bel exemple d'utilisation de ces supports (Figure 2). Par la suite, des contenants de différentes tailles furent introduits dans les supports pour suspendre les différentes espèces de végétaux.



PHOTO : LOUISE HÉNAULT-ETHIER

Figure 1 – Paroi verticale rocheuse recouverte de mousses en milieu naturel qui peut être une source d'inspiration pour la conception de murs végétalisés phytotechnologiques.



Figure 2 – Les Jardins de Versailles, Bosquet de l'Encelade.

Les façades végétalisées sont utilisées dans le paysage urbain depuis plusieurs siècles. Cependant, les murs vivants tels que nous les connaissons aujourd'hui ont été développés au milieu du XXe siècle. En effet, c'est Stanley Hart White, professeur d'architecture du paysage à l'Université de l'Illinois de 1922 à 1959, qui est reconnu pour être l'inventeur des jardins verticaux. C'est en 1938 qu'il dépose le premier brevet dans ce domaine, qu'il décrit comme étant un nouveau domaine de l'architecture possédant une végétation à sa surface (Broto, 2016).

La popularité des murs de végétaux enracinés sur un support s'est accrue en partie grâce au biologiste Patrick Blanc, spécialiste des plantes de sous-bois tropicaux. Il est l'inventeur d'un modèle particulier de *mur végétal*. Dans ce modèle, aucun substrat n'est utilisé, car les plantes sont placées en hydroponie dans un feutre synthétique imputrescible. Son premier mur végétal a été réalisé en 1986 à la Cité des sciences et de l'industrie à Paris. Aujourd'hui, il est reconnu dans le monde entier pour ses murs verticaux qui se retrouvent un peu partout sur la planète, de Bangkok à Paris, de New York à Tokyo.

Depuis la Révolution industrielle, l'urbanisation et la croissance de la population ont créé un impact majeur sur la densification en milieu urbain, amenant une perte importante des espaces végétalisés dans les villes. Pour faire face à cette situation, les zones urbaines nécessitent une augmentation des superficies en végétation, afin de pallier à différents problèmes environnementaux et sociaux : réduction de la qualité de l'air, augmentation des îlots de chaleur urbains, diminution de la rétention *in situ* des eaux pluviales, diminution de la santé des citoyens, etc.

De nos jours, de nombreux immeubles commerciaux ou résidentiels arborent différentes variétés de murs végétalisés à l'in-

terieur. La tendance est à la nature, et beaucoup de gens voient les avantages de commencer à disposer des plantes sur un plan vertical pour sauver de l'espace. Le mur végétalisé devient donc décoratif, aide à alléger le moral des habitants, et améliore la qualité de l'air (Torpy et al., 2016).

La NASA avait effectué en 1989 une étude pour voir s'il serait efficace d'utiliser des plantes vertes dans les véhicules spatiaux pour aider à purifier l'air. Ils ont donc fait des recherches contrôlées sur des espaces fermés hermétiquement, spécifiquement pour étudier les capacités des plantes dans un espace clos tel qu'une station spatiale. Les résultats semblaient indiquer une bonne habileté de certaines plantes à purifier l'air de certains composés nocifs. Malheureusement, cette étude a été le début de beaucoup de désinformation à ce sujet puisque les gens en ont déduit que les plantes sont d'excellentes purificatrices d'air, sans prendre en compte les conditions d'espace fermé et hermétique de l'étude.

Toutefois, c'est en se basant sur des résultats de l'étude d'air pur de la NASA que des biofiltres ont été développés. Il s'agit du concept de tirer l'air à travers un mur végétal hydroponique pour le filtrer. Les microbes qui se trouvent sur les racines s'occupent de filtrer la majorité des composés organiques volatils (COV) de l'air. Ce système est utilisé par une des plus grosses entreprises de murs végétalisés au Canada, Nedlaw.

Avec la préoccupation concernant les changements climatiques et leurs répercussions sur la population mondiale, l'utilisation de murs végétalisés représente une stratégie de développement durable pour l'environnement urbain, en maximisant les superficies utilisables.

2.0 OBJECTIFS VISÉS PAR LES MURS VÉGÉTALISÉS

La végétalisation des surfaces verticales, telles les façades des bâtiments, les murs intérieurs ou encore des clôtures et murs autoportants peuvent répondre à certains objectifs généraux tel que synthétisé au Tableau 1. La principale différence entre un mur extérieur et intérieur est que le premier exerce aussi une influence sur l'environnement immédiat du cadre bâti.

Tableau 1 : Quelques objectifs généraux des murs végétalisés extérieurs et intérieurs

	Murs extérieurs	Murs intérieurs
Améliorer l'empreinte écologique du cadre bâti	✓	✓
Rétention des eaux pluviales	✓	
Réduction des effets d'îlot de chaleur	✓	
Augmentation de la biodiversité (surfaces végétalisées)	✓	✓
Amélioration de la qualité de l'air	✓	✓
Augmenter la superficie utile du bâtiment	✓	✓
Plantes comestibles ou utiles	✓	✓
Répondre à des critères de certification	✓	✓
Effet biophilique	✓	✓

Plus spécifiquement, afin que les murs végétalisés améliorent la performance des bâtiments, leur conception doit s'orienter de façon à maximiser la livraison des fonctions souhaitées, qu'elles soient à l'intérieur ou à l'extérieur des bâtiments.

La conception d'un mur végétalisé extérieur peut contribuer à :

Mur végétalisé extérieur

- Réduire la rétention thermique des bâtiments en été
- Réduire la consommation énergétique des bâtiments
- Séquestrer du dioxyde de carbone et capter les poussières
- Apaiser l'ambiance sonore urbaine
- Favoriser la biodiversité
- Protéger les revêtements contre la météorisation (pluies qui affectent le mortier ou les briques) et la détérioration due aux ultraviolets
- Augmenter la valeur immobilière du bâtiment
- Améliorer le paysage et la qualité esthétique d'un quartier
- Se démarquer par une image environnementale
- Améliorer la qualité de vie des citoyens (effets biophiliques)
- Augmenter, selon le cas, l'espace nourricier (plantes comestibles)
- Faciliter l'acceptation sociale d'un projet

Mur végétalisé intérieur

- Filtrer l'air intérieur et réduire la concentration ambiante en dioxyde de carbone
- Augmenter l'humidité de l'air pour améliorer le confort des utilisateurs
- Apporter des effets biophiliques
- Augmenter la valeur immobilière du bâtiment
- Se démarquer par une image environnementale



PHOTO : LOUISE HÉHAULT-ETHIER

Figure 3 – Les murs végétalisés intérieurs peuvent contribuer à donner une signature architecturale distinctive. Ambassade de France à Ottawa.

La biophilie est le concept qui décrit l'amour inné des humains pour le vivant. Le terme a été avancé dans les années 1960 par le psychanalyste Erich Fromm, puis développé dans les années 1980 par le biologiste Edward O. Wilson.

De nombreuses études scientifiques montrent que le contact avec la nature est indispensable à la santé mentale humaine et que ce lien est universel. Entre autres, la proximité de la nature apporte comme bienfaits une réduction du stress, un plus grand sentiment de bien-être et une stimulation de la créativité.

PHOTO : LOUISE HÉNAULT-ETHIER



PHOTO : LOUISE HÉNAULT-ETHIER



Figure 4 – La végétation stratégiquement placée peut apaiser les usagers d'un bâtiment comme à la bibliothèque de l'Université Concordia.

3.0 FONCTIONS OU SERVICES ÉCOLOGIQUES

3.1 Gestion des eaux pluviales

Murs végétalisés extérieurs

Lors de fortes intempéries, les surfaces végétales extérieures permettent de réduire le ruissellement des eaux sur les surfaces minéralisées. En limitant la quantité d'eau de pluie recueillie par le système d'évacuation d'eau pluviale, on évite ou on retarde sa surcharge. De plus, l'infiltration au sol de l'eau pluviale, favorisée par la présence du système racinaire des plantes grimpantes, contribue à la recharge essentielle de la nappe phréatique. Dans les zones urbaines munies d'égouts unitaires – un système encore vastement répandu – l'eau de pluie se mêle aux eaux usées et les excès entraînent une hausse des coûts de gestion des eaux usées. Lors des pluies intenses – dont la fréquence est appelée à augmenter avec les changements climatiques – on assiste à des surverses qui polluent les cours d'eau. Les murs végétalisés extérieurs diminuent la quantité d'eau de pluie pouvant ruisseler jusqu'aux surfaces imperméabilisées de deux façons :

1. par la rétention de l'eau sur l'ensemble de la surface foliaire du mur végétal et sa subséquente évaporation ou transpiration vers l'atmosphère
2. en favorisant l'absorption de l'eau dans le substrat mis en place pour la croissance racinaire et son infiltration dans le sol

Murs végétalisés intérieurs

Il est possible de récolter l'eau de pluie et de l'utiliser pour irriguer des murs végétalisés intérieurs. Il existe plusieurs ressources en ligne pour aider à aménager un mur végétalisé avec un système circulaire d'eau. L'eau de pluie est une bonne source pour irriguer un mur végétalisé intérieur puisqu'elle est naturellement non calcaire, donc ne risque pas d'encrasser le système d'irrigation. De plus, l'eau de pluie contient moins de minéraux donc il est plus facile de contrôler la fertilisation en ajoutant soi-même une solution nutritive aux plantes. L'irrigation avec l'eau de pluie nécessite un réservoir pour récolter cette eau, en plus du système d'irrigation du mur végétalisé. Il est possible de le faire en circuit ouvert, c'est-à-dire d'irriguer avec de l'eau de pluie et de rejeter ce qui goutte dans le bas du mur, ou en circuit fermé, qui nécessite une pompe pour remettre dans le réservoir l'eau qui goutte dans le bas du mur végétalisé. Cette option utilise moins d'eau, mais il faut changer l'eau du réservoir à l'occasion pour

éviter que l'eau ne devienne trop concentrée en minéraux accumulés durant son passage dans le mur végétalisé.



PHOTO : LOUISE HÉNAULT-ÉTHIER

Figure 5 – Réservoir d'eau sous un mur végétal.

3.2 Amélioration de la qualité de l'air

Murs végétalisés extérieurs

Les murs végétalisés extérieurs peuvent abaisser les concentrations en CO₂ et en matières particulaires (poussières) ou en composés organiques volatils présents dans l'atmosphère. L'utilisation du dioxyde de carbone par les plantes pour la production de sucre lors de la photosynthèse génère comme sous-produit de l'oxygène. Les plantes contribuent donc à réduire la concentration en CO₂ en milieu urbain, majoritairement émis par les émissions de combustibles fossiles produites par les véhicules et les industries. Les murs végétalisés ont la capacité d'absorber dans leur biomasse entre 0,44 et 3,18 kg de CO₂ par mètre carré par an selon leur localisation géographique et les espèces végétales qui les composent (Marchi et al., 2015; Zaid et al., 2018). La séquestration du carbone peut aussi être influencée par la coloration du feuillage, l'indice de surface foliaire, leur taille, la densité racinaire, le taux de croissance et le taux de mortalité.

Les matières particulaires présentes dans l'atmosphère sont principalement filtrées par adhésion sur le feuillage des plantes. L'efficacité de l'adhésion des particules aux végétaux dépend cependant de plusieurs facteurs relatifs à la végétation, aux contaminants et à la localisation du mur végétalisé. L'espèce, la structure de la biomasse aérienne, la surface foliaire, l'agencement,

la rugosité et la porosité des feuilles sont quelques exemples de caractéristiques végétales qui peuvent influencer l'adhérence des contaminants. Certaines caractéristiques des contaminants comme leur dimension, leur charge électrostatique et leur hydrophobicité, influencent également la capacité des plantes à les épurer.

Murs végétalisés intérieurs

De façon analogue aux murs extérieurs, les murs végétalisés intérieurs permettent de réduire plusieurs polluants présents dans l'air des bâtiments tels que les composés volatils organiques, le dioxyde de carbone, le dioxyde d'azote, l'ammoniac et l'ozone (Pettit, et al., 2018). La décontamination se fait en partie par les plantes et leur système racinaire, mais aussi en grande partie par les microorganismes qui se trouvent dans le sol ou à la surface des racines (Dela Cruz et al., 2014).

Ces murs peuvent également améliorer la teneur en humidité relative de l'air ambiant, principalement l'hiver lors de l'utilisation du système de chauffage, augmentant ainsi le confort des usagers.

Si le mur est en contact avec les mouvements d'air, sa capacité d'amélioration de la qualité de l'air ambiant sera plus grande. Il convient donc de distinguer les systèmes actifs (intégrés au système de ventilation du bâtiment) des systèmes passifs (non intégrés au système de ventilation). Celui intégré au système de ventilation du bâtiment sera plus performant qu'un mur simplement disposé sur une surface intérieure pour des considérations esthétiques ou architecturales avant tout. (Léveillé, 2020). Il est par contre difficile de généraliser l'efficacité d'épuration d'un mur végétal, puisque les résultats sont variables selon les différentes plantes et le type de mur.

3.3 Réduction des îlots de chaleur urbains (uniquement pour les murs extérieurs)

C'est un fait établi que les changements climatiques et l'accroissement des surfaces minéralisées ont engendré la formation d'îlots de chaleur et l'augmentation de la température en zone urbaine. Une présence à grande échelle de végétation, par exemple avec le développement de façades végétalisées, arrive à mitiger ce problème, grâce à l'évapotranspiration des plantes, à leur propriété d'ombrage et d'isolation du bâtiment. De plus, les plantes possèdent un albédo plus élevé que plusieurs revêtements qui sont souvent de couleur foncée. L'albédo est une propriété qui permet au feuillage de réfléchir les radiations solaires au lieu de les absorber et d'éviter que la chaleur ne s'accumule. Cette caractéristique les distingue des matériaux souvent utilisés comme revêtement mural avec une forte capacité d'accumulation thermique, tels le béton ou les briques. Un mur végétalisé diminue l'échauffement du mur du bâtiment et aide à limiter l'augmentation de la température ambiante. Enfin, le mur végétal permet de végétaliser de nombreuses surfaces verticales, là où l'espace restreint (aérien ou au sol) ou encore la hauteur ne permettent pas la plantation d'arbres à grand déploiement ou autres formes de plantes. Il s'ajoute à l'éventail possible de végétalisation de nos villes.

PROCESSUS DE PURIFICATION DE L'AIR

La capacité de purification de l'air ambiant par les murs végétalisés dépend de facteurs physico-chimiques et biologiques. Les mécanismes physico-chimiques incluent la déposition gravitationnelle des particules en suspension ou des aérosols, l'interception de ces particules sur le feuillage des plantes, leur adsorption à la surface des racines ou du substrat, ainsi que le processus d'oxydo-réduction. Quant à eux, les mécanismes biologiques impliquent l'activité de la plante, des microorganismes de la rhizosphère ou de leurs enzymes, ainsi que des processus comme la photosynthèse, l'absorption ou la biodégradation. Les mécanismes physico-chimiques et biologiques qui ont lieu dans les murs végétalisés interviennent simultanément et altèrent la nature et la concentration des polluants atmosphériques.

Les murs végétalisés ont un rôle important d'amélioration de la qualité de l'air, soit en agissant principalement sur quatre facteurs :

- **Le taux de gaz carbonique** : la végétation contribue naturellement à l'absorption de CO_2 atmosphérique, par le biais de la photosynthèse. Le carbone inorganique (CO_2) est transformé sous forme de carbone organique et est ensuite emmagasiné dans la biomasse végétale. Le carbone peut également être emmagasiné dans le substrat de croissance, plus particulièrement dans la biomasse racinaire et extraracinaire, qui comprend les exsudats de racines. En retour, les plantes émettent de l'oxygène. L'évacuation du CO_2 couplée au renouvellement de l'oxygène offre des conditions optimales aux usagers des bâtiments.
- **Le taux de composés organiques volatils (COV)** : Ces substances sont parfois présentes sous forme de gaz en concentrations importantes dans l'air intérieur parce qu'ils sont dégagés par divers produits synthétiques présents dans l'infrastructure du bâtiment et de son mobilier (les solvants, les colles, etc). De nombreux composés ont été reconnus pour leurs effets nocifs pour la santé, qui vont de la carcinogénèse à la neurotoxicité. L'absorption par le feuillage des plantes n'est pas le processus majeur de filtration de cette composante. Ce sont surtout les microorganismes vivant dans le substrat des végétaux et dans la rhizosphère qui permettent principalement la dégradation des composés organiques volatils. En effet, les COV sont utilisés directement par les microorganismes pour leur propre alimentation, comme source de carbone (Pettit, et al., 2018). Puisque ce sont principalement les bactéries issues du substrat qui agissent sur la dégradation des composantes toxiques dans l'air,

l'efficacité de filtration est donc limitée par le flux d'air passant au travers du substrat.

- **Les matières particulaires** : Les plantes peuvent contribuer à filtrer les particules en suspension grâce à l'adhésion de ceux-ci sur la surface des feuilles, contrairement à la plupart des autres contaminants gazeux qui peuvent pénétrer dans les feuilles par les stomates. L'efficacité de l'adhésion des particules aux végétaux dépend de plusieurs facteurs : la variété de plantes (forme, surface foliaire, feuilles caduques ou persistantes), la structure de la végétation (largeur et hauteur, rugosité, porosité, orientation) et la localisation (présence de bâtiments, distance de la source d'émission) (Ottelé, Bohemen et Fraaij 2010; Paull et al. 2019). La dimension et la nature physico-chimique des particules elles-mêmes influencent aussi leur interaction avec les végétaux. En effet, les particules ultrafines comme les aérosols peuvent rester en suspension dans l'air beaucoup plus longtemps que les particules plus grossières qui vont se déposer à la surface des végétaux avec lesquels ils interagissent plus rapidement grâce à la force gravitationnelle. Par ailleurs, la charge électrostatique des particules influencera les forces d'attraction ou de répulsion entre les particules en suspension et la surface végétale (Voltaggio et al., 2016).
- **L'humidité ambiante** : Les murs végétalisés peuvent être conçus afin non seulement de filtrer l'air, mais aussi de recharger son humidité ambiante. Dans certains édifices, l'installation d'humidificateurs nécessite beaucoup d'espace, d'investissements et de coûts énergétiques d'opération. Lorsque l'air est aspiré à travers la paroi du mur végétalisé, elle se charge en humidité au passage à travers le substrat. Les murs végétalisés représentent parfois une option économiquement plus avantageuse que les systèmes traditionnels d'ingénierie visant à équilibrer l'humidité ambiante. De surcroît, le mur végétalisé contribue aussi au bien-être des occupants de l'édifice (Abdo, 2017).

De nouvelles technologies végétalisées offertes sur le marché permettent une meilleure épuration de l'air par les murs végétaux en les ajoutant directement au système de ventilation des immeubles. Ces murs végétalisés dits « actifs » permettent d'acheminer l'air pollué des bâtiments à travers des plantes et du substrat, où il est filtré et ensuite réacheminé dans le système de circulation du bâtiment ou diffusé dans la pièce. C'est d'ailleurs un système de ce genre qui a été installé à l'aéroport international Pierre-Elliott-Trudeau de Montréal.



PHOTO : LOUISE HÉNAULT-ÉTHIER

Figure 6 – Exemple de bâtiment totalement recouvert de végétation dans le quartier Saint-Sauveur à Québec, reconnu comme îlot de chaleur urbain.

3.4 Amélioration de la régulation thermique des bâtiments (uniquement pour les murs extérieurs)

La végétation peut réduire les températures d'un bâtiment en protégeant ses surfaces des rayonnements directs du soleil. En été, la végétalisation des façades sud et ouest des bâtiments protège davantage le bâtiment de l'effet thermique du rayonnement solaire sur ce dernier. Ainsi, jusqu'à 50 % des fluctuations journalières de la chaleur sur un bâtiment peuvent être réduites par la simple mise en place de surfaces végétalisées (Vergriete et Labrecque, 2007). Un mur protégé par la végétation serait 33 % moins chaud que son homologue non végétalisé. La végétation murale permet la création d'une couche d'air plus frais et isolant entre le bâtiment et le mur végétal. Une étude de Vivre en ville (2007) a mesuré une température inférieure de 13,9°C derrière un écran de vignes vierges par rapport à la température prise en l'absence de feuillaison. Une diminution de seulement 1°C de la température sur un mur extérieur peut permettre d'abaisser les coûts de climatisation de 5 %, ce qui est monétairement et environnementalement considérable sur une grande superficie. La réduction des besoins en climatisation contribue également à réduire les effets des îlots de chaleur urbains puisque les climatiseurs rejettent de l'air chaud à l'extérieur (Salamanca et al., 2014).

Toujours selon Vergriete et Labrecque (2007), les réductions annuelles de GES entraînées par la présence d'un mur végétalisé pourraient représenter 123,2 kg eq-CO₂ par kWh de consommation énergétique d'un bâtiment. Les caissettes murales végé-

talisées (voir section 4) peuvent également diminuer les coûts en chauffage des bâtiments, à condition que les modules de surface aux propriétés isolantes ne soient pas retirés de la structure en automne.

3.5 Augmentation du potentiel de végétalisation des zones urbaines

Murs végétalisés extérieurs

En milieu fortement urbain, en raison de la densification du bâti, les zones de végétalisation au sol deviennent de plus en plus restreintes. Les avenues futures de végétalisations de ces zones urbaines résident donc en grande partie dans la végétalisation du bâti, par exemple, sur les toits et les façades des édifices, de même que sur les infrastructures routières, là où c'est possible. Le tout en compléments et en connectivité avec les aménagements végétalisés au sol (milieux naturels ou semi-naturels, terrains privés et publics, infrastructures routières, etc.). L'ensemble de ces installations végétalisées forment ce que nous appelons les infrastructures naturelles, végétalisées ou vertes d'un milieu urbain. Un tel réseau interconnecté permet d'améliorer la qualité de l'environnement et le bien-être humain et pour ce faire, la végétalisation des façades du bâti est un incontournable. En effet, la végétalisation des murs est la meilleure façon d'augmenter le coefficient de biotope du cadre bâti, sans avoir besoin d'une plus grande empreinte au sol. Selon l'Agence de la transition écologique (ADEME), le coefficient de biotope décrit la proportion des surfaces favorables à la biodiversité par rapport à la surface totale d'une parcelle, d'un îlot ou d'un quartier. Son calcul per-

met donc d'évaluer la qualité environnementale d'un territoire donné (ADEME, sd). Le coefficient de biotope est un facteur clé des choix d'aménagement dans des grandes villes comme Paris et à l'étude comme objectifs d'adaptation aux changements climatiques à Montréal.

Murs végétalisés intérieurs

Bien évidemment, il y a de nombreuses surfaces utilisables à l'intérieur des bâtiments pour y placer des végétaux. L'option du mur végétalisé est avantageuse, car elle exploite les surfaces verticales qu'on a tendance à sous-exploiter tout en augmentant le potentiel de végétalisation des espaces intérieurs, avec un impact négligeable sur l'empreinte au sol. De plus, dans des bâtiments avec de grandes surfaces vitrées, les murs végétaux intérieurs sont visibles de l'extérieur et assurent une belle continuation du paysage végétal.

3.6 Bonification de la qualité esthétique du paysage

Murs végétalisés extérieurs

Un mur végétal permet de rendre un bâtiment plus organique et mieux intégré au paysage. Il est utile pour couvrir une grande variété de murs tels que les écrans acoustiques installés le long des routes ou pour dissimuler un mur sans charme. Leur mise en place améliore la qualité visuelle de l'espace aménagé, en offrant un paysage naturel à la vue. Également, leur présence a des effets biophiliques sur la population contribuant à leur santé mentale.

Murs végétalisés intérieurs

Comme mentionné plus haut, la grande quantité de verdure que les murs végétaux intérieurs offrent peut être aperçue de l'extérieur à travers de grandes fenêtres et assurent un beau complément à la végétation extérieure. De plus, les plantes intérieures ont un très haut pouvoir décoratif.

3.7 Favorise la biodiversité (uniquement pour les murs extérieurs)

Les murs végétalisés peuvent contribuer à la création de corridors écologiques pour la faune et la flore, en reliant entre eux les îlots de végétation isolés comme les parcs, les abords de routes, les portions végétalisées de terrains privés et publics surtout dans un environnement où la superficie en végétation est limitée. Les façades végétales sont de bons habitats pour plusieurs plantes vasculaires, ainsi que pour plusieurs vertébrés et invertébrés. Par exemple, il a été répertorié dans la littérature que les façades végétalisées servent d'habitat pour de nombreux mammifères, oiseaux et arthropodes. En effet, les plantes grimpantes fournissent des abris et des lieux de nidification aux oiseaux. Elles peuvent également servir comme habitat estival ou gîte d'hivernage pour plusieurs insectes bénéfiques ainsi que pour des pollinisateurs. Comme dans tout aménagement, il est possible de prioriser les plantes indigènes, mais il faudra parfois faire des concessions pour assurer la performance des murs végétalisés.

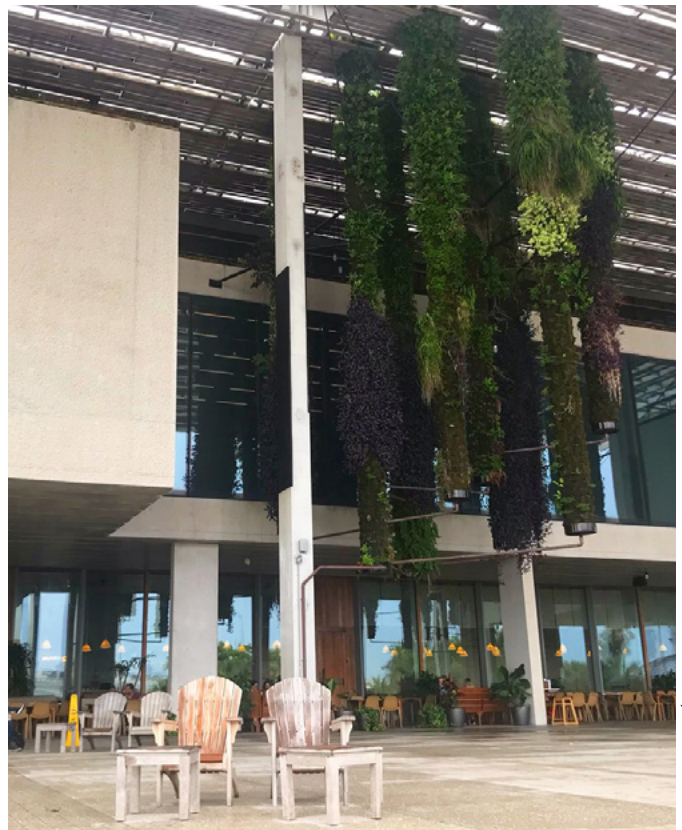


PHOTO : LOUISE HÉNAULT-LETHIER

Figure 7 – Les surfaces verticales végétalisées aux fonctions esthétiques peuvent aussi se présenter sous forme de colonnes comme au Miami Dade Arts Center en Floride.

3.8 Réduction de la nuisance sonore

L'implantation d'un mur vivant avec substrat peut améliorer le confort sonore des occupants d'un bâtiment en procurant une isolation acoustique (Azkorra et al., 2015). Sa présence sur une façade extérieure permet d'absorber les ondes sonores grâce au substrat présent dans les caissettes ce qui permet d'atténuer les bruits entrants. Des réductions sonores allant jusqu'à 15 dB ont été documentées dans la littérature (Azkorra et al., 2015). Les écrans végétalisés antibruit en bordure d'autoroute près des quartiers résidentiels sont un autre exemple de murs vivants utilisés pour diminuer la pollution sonore (Labrecque et Téodorescu, 2005). Dans ces aménagements, il faut prévoir du substrat ou un matériel dont la densité optimise l'atténuation du bruit. On peut ainsi utiliser une épaisseur appréciable de substrat de croissance pour enraciner des plantes directement à même le mur, ce qui requiert des murs plus épais.

3.9 Amélioration de la qualité de vie

L'humain ayant évolué au sein des systèmes naturels y a développé une forte affinité désignée par le biologiste Edward O. Wilson sous le terme biophilie. L'environnement urbain isole les êtres humains de la nature, ce qui peut se répercuter par des conséquences sur la santé mentale de la population. Un syndrome bien connu dans le domaine de l'architecture des édifices, le *sick-build-*

ding syndrome, peut rendre ses occupants improductifs et malades (Burge, 2004). Dans le domaine de l'architecture, on tente parfois de concevoir des espaces qui se rapprochent ou imitent l'environnement naturel. Les murs végétalisés sont un exemple de biomimétisme. Vivre et travailler dans un environnement vert a un impact positif sur le bien-être, en permettant de détendre et d'engendrer moins de stress aux occupants (Sempergreen, 2020). La mise en place d'une structure végétale dans un environnement de travail peut également offrir de nombreux avantages pour les employeurs : augmentation de la productivité et de la performance, amoindrissement des impacts négatifs du stress, diminution du taux d'absentéisme et favorise les comportements positifs (Soucy, 2015).

4.0 DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE

Les murs végétalisés font référence à tous les systèmes qui permettent de verdir une surface verticale, que ce soit une façade, des murs ou des cloisons de séparation, avec des espèces de végétaux spécifiques et résistantes aux différentes contraintes environnantes (Wood et al., 2014). L'objectif est de permettre la croissance de plantes à la verticale soit à l'intérieur ou à l'extérieur d'un bâtiment.

Les façades végétalisées sont caractérisées principalement par la croissance de plantes sur ou près de la surface du mur dans l'objectif que celui-ci soit partiellement ou totalement recouvert de végétaux. Ce type de mur peut recouvrir tant de petits édifices que des gratte-ciels (Wood et al., 2014). Les façades végétales comprennent tous les types de murs végétalisés, dont entre autres, celles avec utilisation de plantes grimpantes.

Les façades végétalisées peuvent être directes ou indirectes. Les façades directes font référence aux murs sur lesquels les plantes s'agrippent grâce à des structures anatomiques adaptées (ventouses, racines-crampons), comparativement aux façades indirectes, qui impliquent l'installation d'un support de croissance contre le mur afin que les plantes puissent s'y agripper. Ce type de mur, parfois appelé façade à double paroi, a une performance énergétique inférieure (33,8 % d'économies d'énergie) comparativement aux murs dont la surface est directement végétalisée (58,9 % d'économie d'énergie; Coma et al., 2017).

Il existe deux types de murs ou façades végétalisées, soit ceux recouverts de plantes grimpantes, que nous allons aussi appeler façades végétalisées, et celles composées de plantes enracinées dans un système de support, que nous allons aussi appeler murs vivants. La figure 8 présente les différents types de murs végétalisés ainsi que leurs sous-catégories.

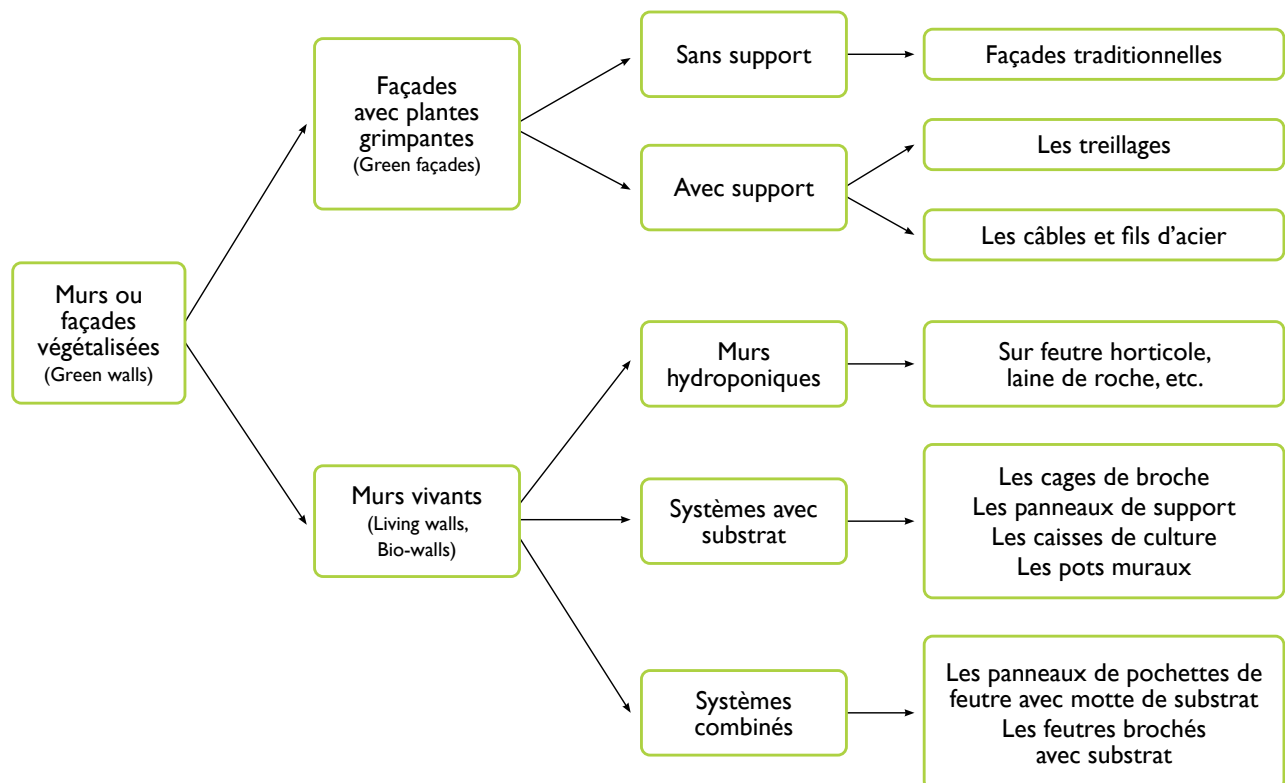


Figure 8 – Caractérisation des différents types de murs végétalisés et leurs sous-catégories
Adapté par : Jessica Champagne-Caron, 2020. Source : Claude Vallée, 2016 et Manso et Castro-Gomes, 2015

4.1 Les façades végétalisées

Les murs plantes grimpantes peuvent être classifiés en 2 sous-catégories : avec ou sans l'utilisation d'un support. Les plantes grimpantes munies de ventouses ou de crampons peuvent s'accrocher naturellement sur divers revêtements de bâtiment et ne nécessitent aucun support. Il s'agit de la méthode la plus économique pour végétaliser une surface verticale. Les plantes grimpantes munies de vrilles, d'épines et celles volubiles nécessitent pour leur part un support pour se fixer :

4.1.1 LES TYPES DE PLANTES GRIMPANTES

Les plantes grimpantes peuvent être catégorisées selon les 3 façons suivantes :

1. Plantes grimpantes qui possèdent leur propre système d'attache indépendamment d'un support (ex : plantes crampons, ventouses)
2. Plantes grimpantes qui possèdent leur propre système d'attache, mais qui nécessitent une structure de support (ex. : plantes volubiles, vrilles)
3. Plantes grimpantes à palisser, qui se fixe au support grâce à des épines, des poils ou des pousses latérales—plantes ligneuses qui se supportent d'elles-mêmes contre un mur (ex. : plantes à palisser)

Le tableau 2 donne de plus amples informations sur les différents types de plantes grimpantes.

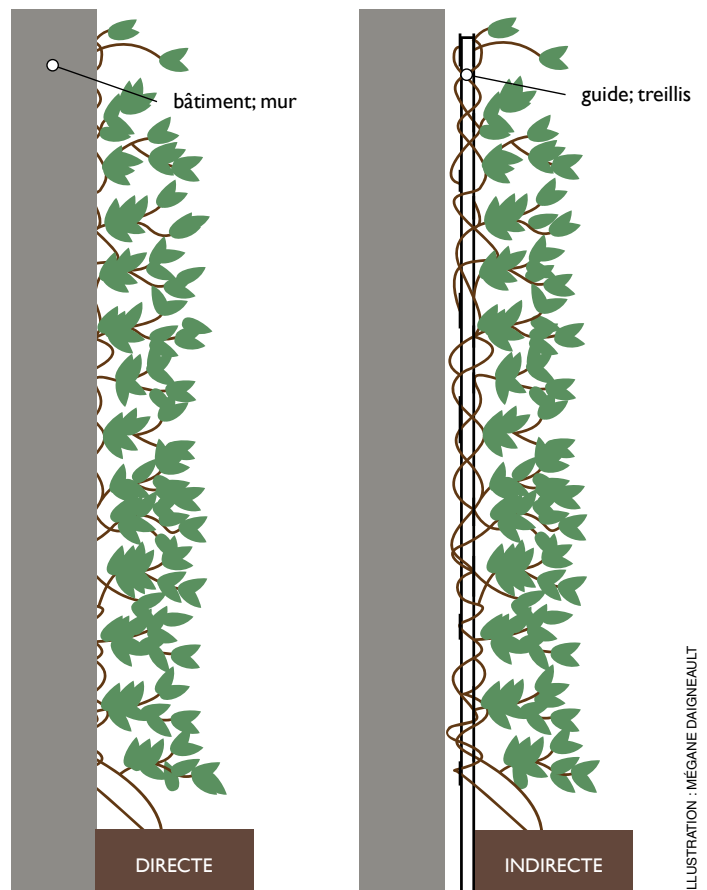


Figure 9 – Façades végétalisées avec des plantes grimpantes avec et sans support.

ILLUSTRATION : MÉGANE DAIGNEAULT

Tableau 2 : Caractérisation des types de plantes grimpantes

Types de plantes grimpantes	Moyen de préhension	Nécessité d'un support	Types de support	Exemple de plantes grimpantes
À ventouses	Formation de substance adhésive sécrétée par les extrémités de disques ventouses	Non	-	Vigne vierge (<i>Parthenocissus quinquefolia</i>) Lierre de Boston (<i>Parthenocissus tricuspidata</i>)
À racines-crampons	Racines adventives se fixent aux surfaces nues	Non	-	Bignone commune (<i>Campsis radicans</i>) Hydrangé grimpant (<i>Hydrangea anomala</i> susp. <i>Petiolaris</i>)
À tiges volubiles	Enroulement des tiges autour des supports	Oui	Support vertical (ex. : câbles d'acier)	Bourreau des arbres (<i>Celastrus scandens</i>) Houblon commun (<i>Humulus lupulus</i>) Chèvrefeuille (<i>Lonicera</i> sp.) Glycine (<i>Wisteria</i> sp.)
À pétioles volubiles	Pétiole de la feuille s'enroule autour d'un support	Oui	Support en croisement (ex. : treillage)	Clématites (<i>Clematis</i> sp.)
À vrilles	Vrilles en forme de spirale s'enroulent autour de supports	Oui	Support en croisement (ex. : treillage)	Pois de senteur vivace (<i>Lathyrus latifolius</i>)
À palisser	Des épines, des poils ou des pousses latérales s'accrochent aux supports	Oui	Supports horizontaux (ex. : câbles d'acier)	Rosier grimpant (<i>Rosa</i> sp.)

Adapté de : « Les plantes grimpantes : une solution rafraîchissante », par Anne-Marie Bernier, A.-M. & Centre d'écologie urbaine de Montréal, 2011

4.1.2 LES TYPES DE SUPPORT

Il existe trois formes de support pour les plantes grimpantes : les supports horizontaux, les supports verticaux et les supports en croisement. Le choix des structures de soutien et leur bonne installation sont essentiels pour assurer la sécurité et le succès d'une façade végétalisée. En effet, il est primordial que la capacité de portance de la structure de soutien concorde avec la croissance et les dimensions adultes de la plante (Dunnett et Kingsbury, 2008). De plus, dans les climats nordiques il faut aussi considérer le poids de la neige ou de la glace pouvant s'y accumuler.

Les treillis en bois : Les treillages en bois traité ont une durée de vie comprise entre 25 et 30 ans lorsqu'ils sont bien entretenus. Ils peuvent être peints ou recouverts d'un produit de protection teinté, mais ces produits s'écailleront ou se dégraderont avec le temps.

Les treillis métalliques : Les treillis composés en matériaux anticorrosifs, tels que l'acier inoxydable et l'acier galvanisé, possèdent une durée de vie supérieure au treillage en bois. Les treillis de couleur claire ou de faible diamètre sont à privilégier afin d'éviter la surchauffe au soleil en été, qui pourrait nuire à la croissance de certains végétaux.



PHOTO : LOUISE HÉNAULT-ETHIER

Figure 10 – Exemple de mur végétalisé utilisant un treillis métallique aux Pays-Bas.

Les câbles et les fils d'acier : Les câbles en acier ont l'avantage d'offrir de nombreuses possibilités créatives comparativement aux treillis et aux systèmes à cadres rigides. En effet, ils peuvent être orientés dans de nombreuses directions, en étant assemblés par des serre-câbles à croix aux intersections. Les fils de fer traditionnels sont moins recommandés à moins d'avoir des matériaux spécialisés permettant de les tendre suffisamment pour qu'ils soient bien droits.

Les supports en plastique ou fibre de verre : L'utilisation du plastique n'est pas recommandée comme support pour les plantes grimpantes de façades végétalisées, à moins que ce dernier soit traité pour résister aux UV. Quant aux produits composés de fibres de verre, ces matériaux sont très coûteux, mais tout de même intéressants à utiliser pour leur solidité, leur flexibilité et leur légèreté. Ils ont un bon pouvoir de tension et sont non corrosifs. Pour les supports en fibre de verre, il est recommandé d'avoir un matériau avec une surface rugueuse avec un diamètre d'au moins 7,75 mm et une teneur en verre de 80 % (Dunnett et Kingsbury, 2008).

Les cordes : Ce sont des matériaux convenables pour des projets de courte durée (par exemple avec l'emploi de plantes annuelles). Les cordes faites de fibre naturelle se fragiliseront avec le temps à cause du processus de biodégradation. Les cordes faites de fibres synthétiques peuvent se fractionner avec le temps, contaminant l'environnement de microparticules. Les cordes possèdent néanmoins de nombreux avantages : elles sont économiques, faciles d'emploi, esthétiques, en plus d'offrir une bonne adhésion aux plantes grimpantes.



PHOTO : LOUISE HÉNAULT-ETHIER

Figure 11 – Les cordes sont une bonne façon de prolonger la végétalisation verticale au-delà des murs existants.

4.1.3 LES SUPPORTS DE CONSTRUCTION

Les supports de construction font référence aux structures de support qui dépassent la hauteur de deux étages. En effet, à partir de cette hauteur, l'installation et le choix du support dépendent plutôt du domaine de l'architecture et du génie que de celui de l'horticulture. Quatre facteurs doivent être pris en compte par rapport à la structure de support retenue : le mécanisme de préhension des plantes, le développement, les proportions et le poids total au stade mature, le degré d'exposition aux variables climatiques et l'esthétique des structures (Dunnett et Kingsbury, 2008). Il peut s'avérer important de vérifier auprès de notre municipalité s'il est nécessaire d'obtenir un certificat d'autorisation ou d'un permis de construction avant la mise en place de telles structures.

Dépendamment du développement et de la taille adulte des plantes, l'écartement entre les câbles pour le support va être variable ; plus la plante est vigoureuse, moins il est nécessaire d'avoir un réseau de câblage dense. Au contraire, les plantes grimpantes de moyenne ou faible vigueur nécessitent un réseau de câblage plus dense pour pouvoir recouvrir uniformément la surface voulue.

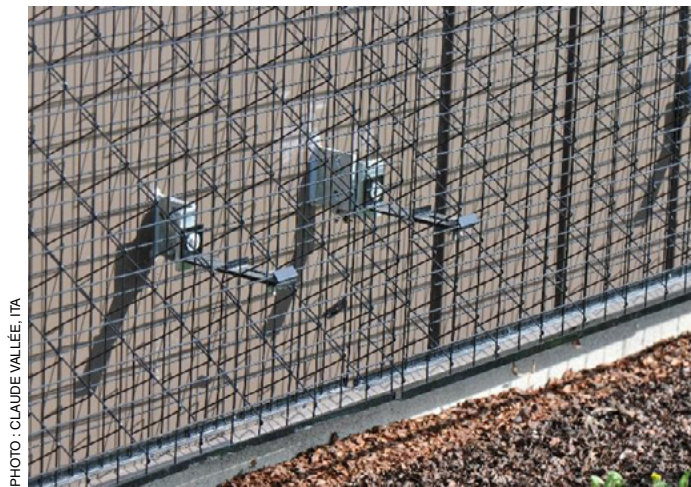


PHOTO : CLAUDE VALLÉE, ITA



PHOTO : LOUISE HÉNAULT-ETHIER

Figures 12 et 13 – Réseau de câblage dense.

4.2 Les murs vivants

Ce type de murs végétalisés fait partie des nouvelles technologies en émergence dans le domaine de l'architecture végétale. En effet, de plus en plus d'architectes intègrent ces structures dans la construction d'infrastructures dans les villes. Les murs vivants (syn. mur végétal et jardin vertical) sont constitués de plantes directement enracinées dans le support vertical, leur permettant ainsi de croître à même le mur. Ils peuvent couvrir une large surface verticale de façon uniforme, s'agencer aux différents types de bâtiments et peuvent inclure une plus grande variété d'espèces végétales. Ces murs sont toutefois plus complexes en termes d'installation et d'entretien, comparativement aux murs de plantes grimpantes. Les murs vivants sont classés en 3 catégories, soit les murs en croissance hydroponique, les murs avec substrat de croissance ou une combinaison des deux (Groult, 2008).

Voici les principales techniques actuellement disponibles :

- Système hydroponique (sur fibre inerte ou sur fibre organique);
- Système avec substrat de culture traditionnel;
- Système combiné.

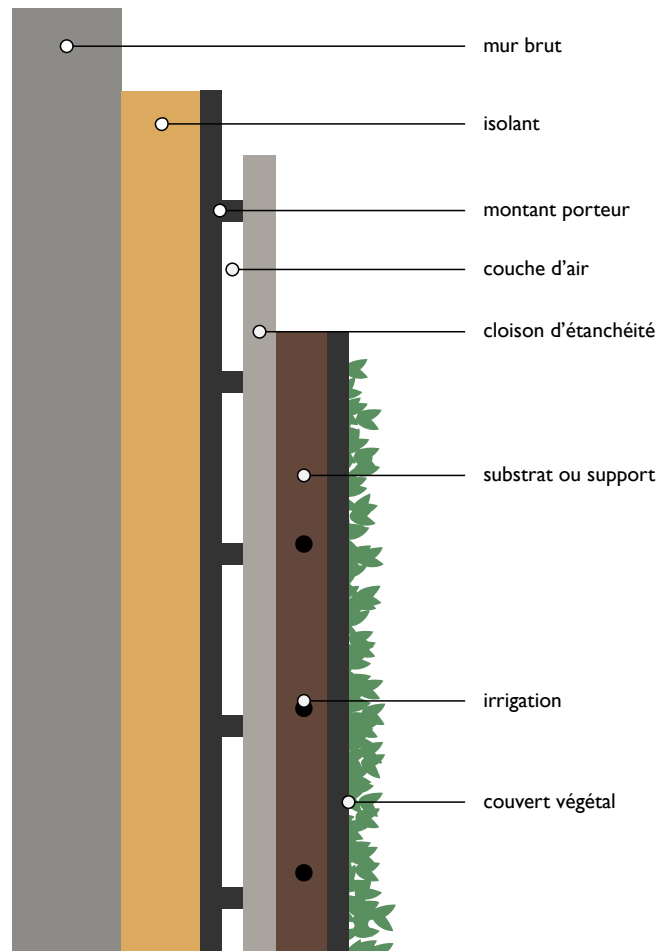


ILLUSTRATION : MEGANE DAIGNEAULT

Figure 14 – Composantes de base d'un mur vivant.



PHOTO : LOUISE HÉNAULT-ETHIER

Figure 15 – Entretien d'un mur végétalisé à l'aide d'une nacelle.

4.2.1 LES MURS HYDROPONIQUES

Le terme hydroponie fait référence à la culture de plantes réalisée sur un substrat neutre et inerte, où il est régulièrement irrigué au moyen d'une solution nutritive qui permet d'apporter les éléments essentiels à la plante. Plusieurs milieux de culture peuvent faire office de substrat tels que la laine de roche, le géotextile, la fibre de coco et le feutre horticoles.



PHOTO : LOUISE HÉNAULT-ETHIER

Figure 16 – Fibres dans une poche de géotextile servant de substrat de croissance à l'aéroport de Schipol.

A) Système hydroponique sur fibre inerte

L'hydroponie sur feutre horticoles est une technique largement répandue, c'est pourquoi il est important de bien comprendre son fonctionnement. Il s'agit d'ailleurs de la technique la plus documentée et la plus accessible pour la confection de murs intérieurs (Grout, 2008). En Europe, cette technique est utilisée pour la confection de murs végétalisés intérieurs et extérieurs. Toutefois, sous notre climat nordique Québécois, l'utilisation de l'hydroponie sur feutre n'est utilisée que pour la confection de murs végétalisés intérieurs.



PHOTO : CLAUDE VALLÉE, ITA

Figure 17 – Plantes avec substrat entourées d'un feutre hydrophile.

Fonctionnement

Les plantes sont cultivées entre deux couches de feutre horticoles hydrophile fait de fibres textiles synthétiques. Le plus connu de ces feutres est l'Aquanappe, toutefois, d'autres types de feutre peuvent être utilisés, pourvu qu'ils soient stables, hydrophiles et qu'ils puissent permettre facilement la croissance des racines. Les racines sont donc en contact direct avec le feutre hydrophile. Celui-ci permet de garder les racines suffisamment humides pour leur bon développement, tout en assurant que le substrat soit assez poreux pour permettre une pénétration adéquate de l'air et ainsi éviter l'asphyxie racinaire. La solution nutritive circule par gravité dans le mur, à partir du haut jusque dans la réserve située au bas du mur, dans laquelle une pompe immergée permet la recirculation des eaux d'égouttement. On parle alors d'un système en circuit fermé. À l'opposé, dans un système en circuit ouvert, l'eau d'égouttement n'est pas recyclée.



Figure 18 – Plantes cultivées sur un feutre horticoles « Aquanappe ».

Voici les principales composantes du système (Groult, 2008) :

1. **Cuve, bassin ou réservoir** : la réserve de solution nutritive doit être dimensionnée selon la surface à végétaliser. Pour des raisons d'approvisionnement, il faut compter environ 100 L de solution par m² de mur végétal.
2. **Pompes** : La pompe nécessite une forte puissance (100 W par m² de surface végétalisée) pour contrer la résistance des tuyaux, coudes et goutteurs afin de véhiculer la solution dans le sens ascendant. En effet, pour bien choisir sa pompe, il faut prendre en compte la hauteur du mur végétal, la longueur totale du circuit d'irrigation ainsi que le nombre de goutteurs. Dans le cas de réservoir ouvert au pied du mur, une deuxième pompe (15 W) peut être utile pour permettre l'agitation de la solution en permanence et éviter les problèmes dus à l'eau stagnante. Il est important de munir la pompe principale d'un filtre (100 µm) afin d'éviter l'obstruction des goutteurs. L'utilisation d'eau calcaire devrait être évitée afin de prévenir le colmatage des goutteurs.
3. **Tuyauterie** : Il faut compter minimum 6 goutteurs par mètre de largeur (espacement maximum de 15 cm entre chaque goutteur), le double peut être nécessaire pour des murs très hauts. Les tuyaux utilisés (goutteurs et tuyau en polyéthylène) sont les mêmes que ceux utilisés généralement dans les systèmes horticoles d'irrigation automatiques.
4. **Collecteur** : Si la cuve est petite, alors l'eau (solution nutritive) doit être acheminée dans un bassin collecteur qui servira de réserve de solution pour l'irrigation du mur. Ce bassin peut être camouflé à l'aide d'un coffrage ou placé dans une pièce de rangement à proximité.
5. **Minuteur** : Il sert à commander la pompe principale. Un modèle électronique est préférable au modèle mécanique, afin d'offrir davantage de précision (Figure 19). Il est important d'ajuster l'apport d'eau ainsi que la fréquence d'arrosage selon le besoin des plantes. Le minuteur doit pouvoir gérer plusieurs zones et permettre un nombre minimal de départs par jour afin d'éviter l'assèchement du mur.
6. **Conductimètre** : Cet appareil permet de déterminer la conductivité électrique (CE) dans la solution, c'est-à-dire la quantité d'éléments minéraux dissous dans celle-ci. C'est un outil indispensable à la gestion des cultures, qui offre la possibilité d'ajuster la quantité d'engrais à ajouter dans la solution nutritive. On évite ainsi les problèmes de carence ou d'excès en éléments nutritifs. On conseille une conductivité électrique de 1,5 mS/cm².
7. **pH-mètre** : Cet appareil permet de mesurer l'acidité active d'une solution. Plusieurs plantes sont sensibles au changement de pH et il est donc important de prendre ces mesures régulièrement. Un pH optimal se trouve entre 5,5 et 6,5.
8. **Éclairage** : Les végétaux devraient être choisis selon la luminosité disponible à l'endroit où le mur sera localisé. En effet, certains végétaux ne sont pas adaptés pour des lieux avec de fortes intensités lumineuses, tandis que pour d'autres, c'est plutôt une nécessité pour leur croissance. Les murs intérieurs peuvent nécessiter l'utilisation de lumière artificielle; une puissance de 200 W/m² permet de combler les besoins d'une grande proportion de végétaux.



Figure 19 – Exemple de minuteur électronique pour contrôler la fréquence d'arrosage.

9. **Engrais :** Il est important d'utiliser un engrais complet avec oligoéléments, soit sous forme liquide ou bien soluble, pour assurer tous les besoins de la plante. Les engrais minéraux sont souvent privilégiés en hydroponie en raison de leur stabilité chimique et de leur compatibilité connue avec de tels systèmes. Il faut toutefois porter attention à alterner les solutions nutritives ou d'utiliser des solutions tampons afin de stabiliser le pH de la solution.

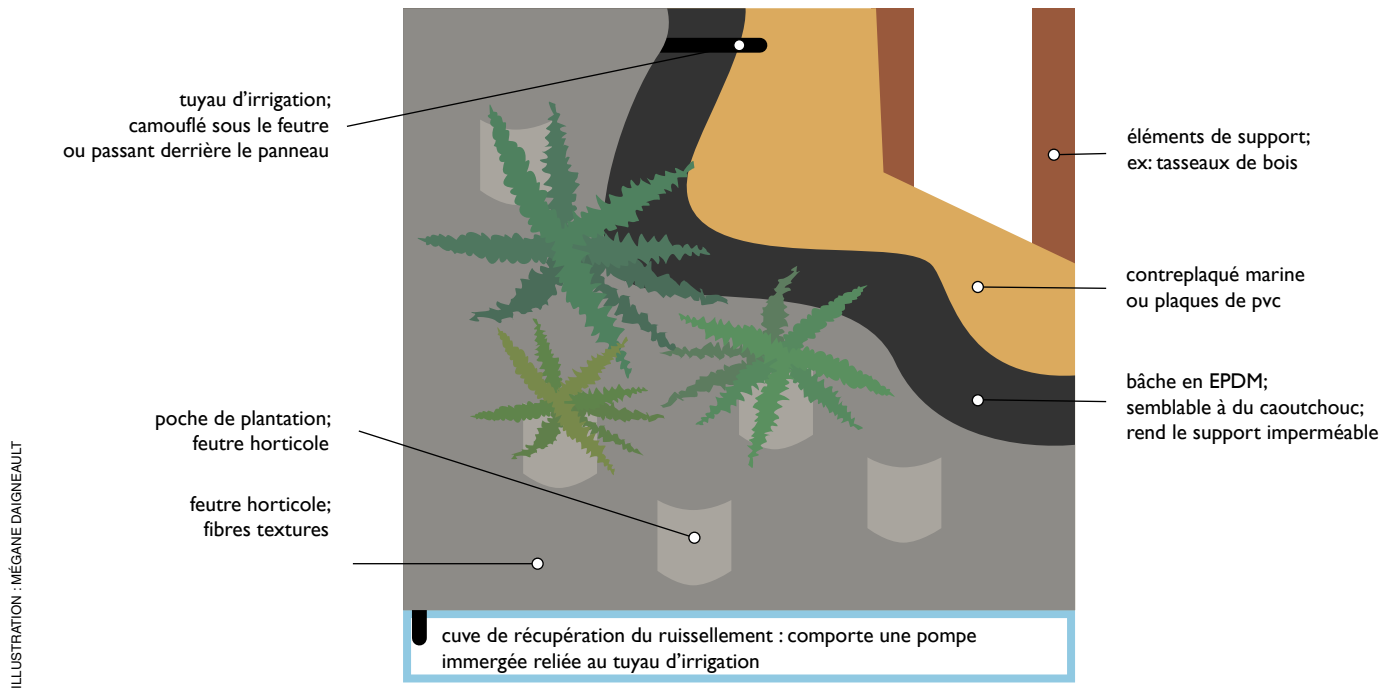


Figure 20 – Principe du mur végétal sur nappe horticole en circuit fermé.

B) Système hydroponique sur fibre organique

Comme expliqué précédemment, le principe général reste identique à la technique d'hydroponie sur support inerte. Ce type de paroi repose sur le principe de la végétalisation sur un support hydrophile, comme la sphaigne non décomposée et la fibre de coco. Le support est maintenu à la verticale grâce à un grillage ou à un filet plastique (Groult, 2008).

4.2.2 LES MURS AVEC SUBSTRAT DE CROISSANCE TRADITIONNEL (TERREAU)

Cette technique de végétalisation consiste à faire pousser les plantes dans un substrat horticole standard (terreau) fixé au mur, soit avec des structures modulaires ou avec des pots muraux.

Les structures modulaires consistent en des caissettes murales (aluminium, plastique, broche, etc.) superposables contenant du substrat de croissance ou encore en des panneaux avec pochettes (plastique, feutre, etc.) pouvant contenir du substrat.

Les pots muraux sont une autre alternative afin de végétaliser une surface verticale. Différents types de supports peuvent être utilisés pour fixer les pots au mur. Ces supports intègrent un système d'irrigation (goutteurs, subirrigation, etc.) permettant l'irrigation des pots).

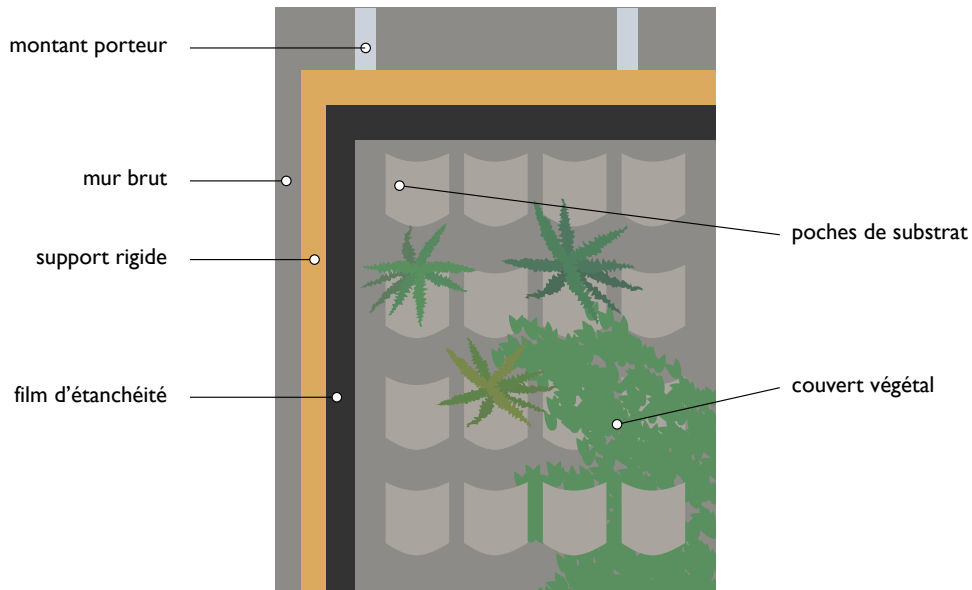


Figure 21 – Mur végétalisé en construction utilisant un terreau dans des pochettes de géotextile à l'Aéroport de Schiphol.

4.2.3 LES MURS MIXTES

Ces systèmes combinés fonctionnent avec l'implantation de végétaux enracinés dans leur motte de substrat organique, tout en étant placés entre deux couches de support hydroponique, comme par exemple du feutre. Le feutre permet la diffusion de la solution d'engrais et l'enracinement hors de la motte de substrat.

L'irrigation peut aussi se faire de façon automatisée.



VÉGÉTALISATION SUR MESURE

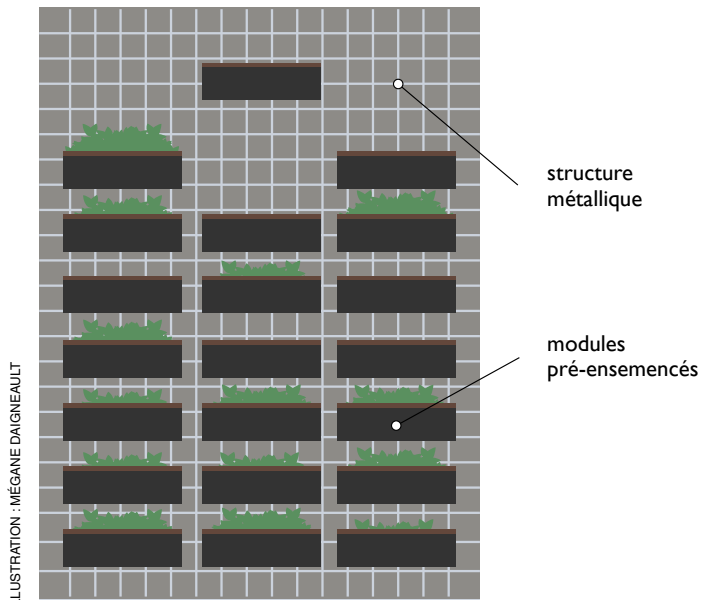
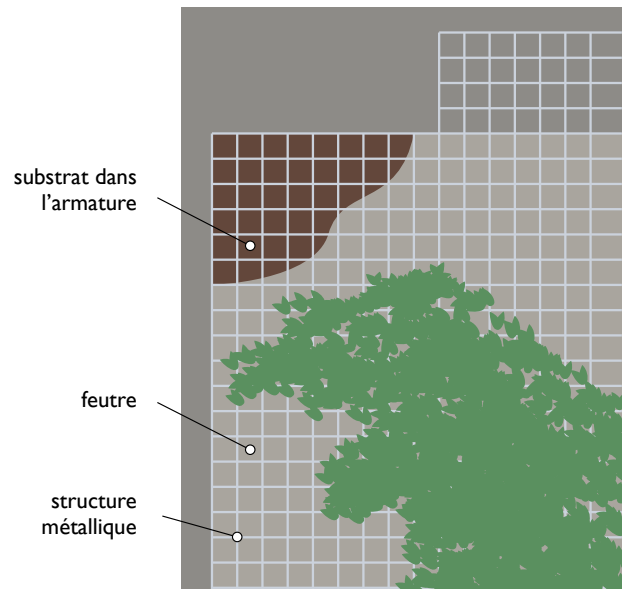


ILLUSTRATION : MÉGANE DAIGNEAULT

VÉGÉTALISATION MODULÉE



VÉGÉTALISATION À PLANTER

Figure 22 – Différents types de murs vivants

PHOTO : LOUISE HÉNAULT-ETHIER



Figure 23 – Exemple de mur mixte sur grillage à l'Hôtel One à New York.



PHOTO : LOUISE HÉNAULT-ETHIER



PHOTO : LOUISE HÉNAULT-ETHIER

Figures 24 et 25 – Exemple de mur végétalisé modulé utilisant des bouteilles récupérées dans un restaurant en Colombie ou dans un aéroport aux États-Unis.

Tableau 3 : Résumé des propriétés physiques de divers systèmes vivants

Système	Substrat	Irrigation	Entretien
Hydroponique	Feutre horticole (aquanappe), laine de roche, géotextile non tissé de fibre de polyester, fibre de coco, etc.	Automatisé : irrigation quotidienne dépendamment des conditions d'exposition et de la nature de l'installation ; la mécanique d'irrigation se trouve souvent dans un emplacement plus éloigné (placard, sous-sol)	Taille, vérification des goutteurs (obstruction possible par les engrais) et du minuteur; inspection du support (homogénéité sur l'ensemble du support), apport d'engrais et suivi des ravageurs/maladies régulièrement
Combiné	Terreau enrobé de feutre ou fixé entre deux feutres		
Structure modulaire	Panneaux de support modulaire	Manuel ou automatisé : irrigation aux quelques jours (1 semaine) dépendamment des conditions d'exposition et de la nature de l'installation	Quelques visites techniques de contrôle et d'entretien par an : taille, désherbage; alarme téléphonique pour défaut d'irrigation; inspection de la structure et de l'irrigation, apport d'engrais et suivi des ravageurs/maladies régulièrement
	Caisses de culture		
	Cages de broches		

En date de 2022, les principaux modèles disponibles de murs hydroponiques sur le marché sont le système *Nedlaw Living Wall* et le *Green Over Grey Living Wall*. Pour les murs combinés, il y a le système *Planterra*, le *Florafelt Living Wall*, ainsi que les murs de fabrication artisanale. Pour les murs hydroponiques et combinés, les coûts en 2022 sont à peu près de 150 \$ à 250 \$ par pied carré, dépendamment du choix de plantes. Finalement, pour les structures modulaires, il y a le système *ELT*, le *ModuloGreen Living Wall*, le *LiveWall GSKy*, le *Gro-Wall Vertical Garden* ainsi que le procédé *Végétalis*. Leurs coûts en 2022 sont autour de 100 \$ à 150 \$ par pied carré.

Mur actif vs passif

Les murs vivants intérieurs peuvent aussi être classés selon deux modes de fonctionnement, actif ou passif. Les murs dits « actifs » sont intégrés à un système de ventilation permettant à l'air pollué du bâtiment de passer au travers du mur (plantes, racines et substrat/support de croissance) pour être filtré. Les murs passifs ne sont pas intégrés à un système de ventilation. Cette distinction joue un rôle crucial concernant les propriétés d'épuration de l'air des murs végétalisés.

5.0 VÉGÉTAUX UTILISÉS

5.1 Caractéristiques des espèces de végétaux

Plusieurs caractéristiques sont à prendre en compte pour le choix des végétaux d'un mur végétalisé, autant pour un mur végétal intérieur qu'extérieur. Par contre, un mur végétalisé placé à l'extérieur subit beaucoup plus de contraintes qu'un mur végétal intérieur, notamment en matière d'ensoleillement et d'intempéries. Certains aspects sont donc plus importants à considérer pour le bon fonctionnement de la paroi végétale puisque celle-ci est plus exposée au vent, au froid et aux épisodes caniculaires. Malgré cette différence, les caractéristiques recherchées des végétaux pour la réalisation d'un mur végétal sont sensiblement les mêmes. En voici donc plusieurs (Vallée, 2016) :

- Bonne adaptation au support de culture
- Bonne capacité à résister aux écarts d'humidité
- Entretien moindre (taille, nettoyage, etc.)
- Bon pouvoir camouflant du support végétal
- Type de croissance adaptée pour les murs végétalisés
- Bonne résistance au vent (mur extérieur seulement)
- Aucune période de dormance nécessaire (mur intérieur seulement)
- Exempt de maladies et d'insectes
- Sensibilité moindre aux maladies et aux insectes

5.2 Types de végétaux

Les plantes retombantes

Cette catégorie regroupe des plantes possédant des tiges assez longues, qui retombent sous leur propre poids. Ces tiges ne cherchent pas à s'enraciner dans le support, contrairement à d'autres types de plantes. Leurs ports permettent de camoufler le support tout en donnant un effet de mouvement de vague aux murs. Ces plantes sont très peu exigeantes, mais nécessitent toutefois quelques tailles régulières afin de contenir leur croissance. Le désavantage : une croissance excessive peut étouffer les plantes situées en dessous de celles-ci. Parmi ce type de plante, on retrouve par exemple les lierres, les hoyas et les tradescantias.

Les plantes tapissantes

Ces types de plantes offrent une couverture uniforme du support et peuvent parfois devenir envahissantes sans entretien. Il est donc plus important de contrôler la croissance de ces végétaux pour les empêcher d'étouffer les autres végétaux dans le mur. Elles nécessitent d'être mélangées à d'autres types de végétaux pour éviter une composition trop terne et plate. Certaines fougères et sedums font partie de ce groupe de plantes.

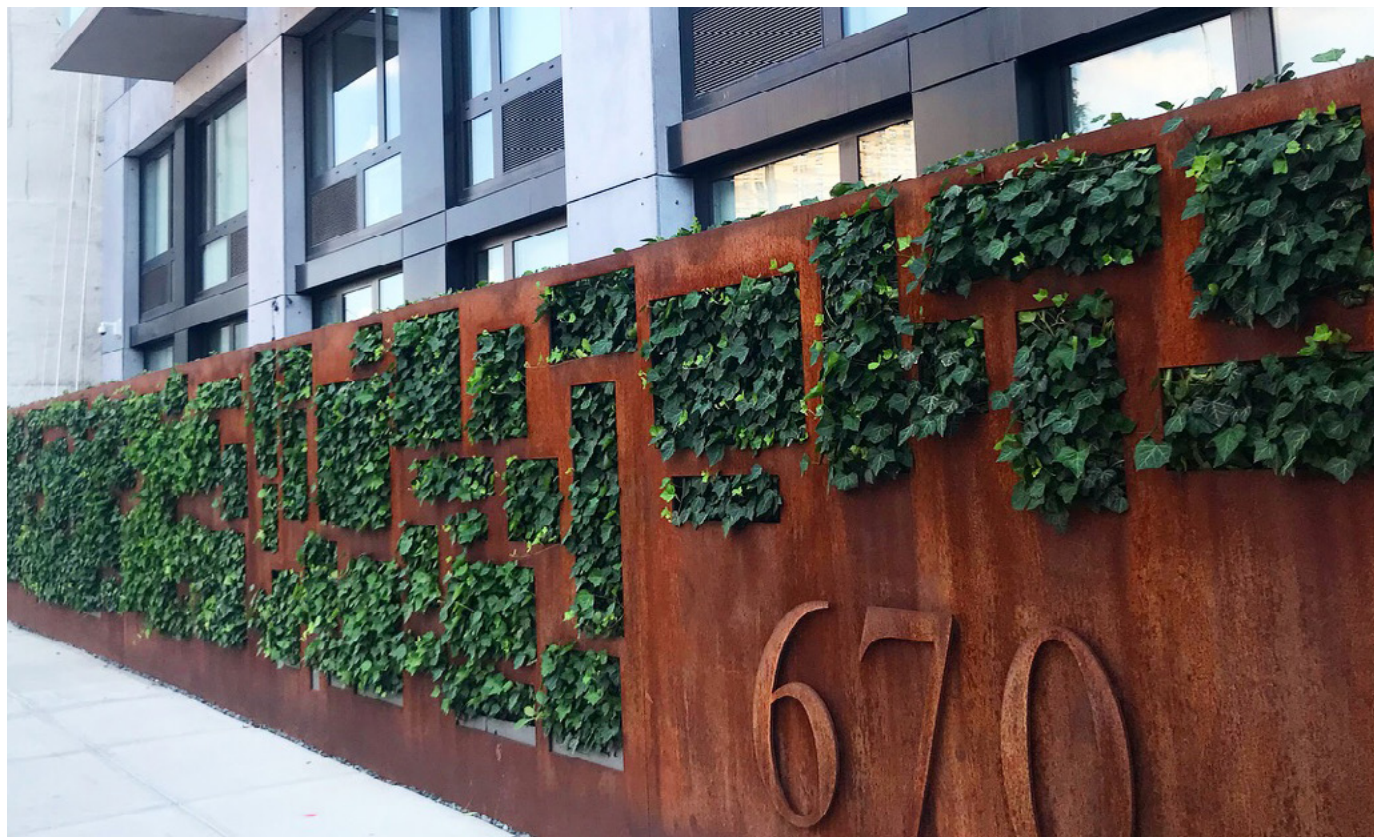


Figure 26 – Exemple de mur végétalisé contenant des lierres à New York.

Les plantes buissonnantes

Le port des végétaux est plus adapté pour la végétalisation des murs lorsque la croissance des plantes est modérée ou moindre. Ces plantes sont intéressantes pour fournir un relief, soit en apportant du volume à la structure végétale. L'utilisation de plantes au feuillage dense est à privilégier afin d'éviter un entretien supplémentaire qui consiste à tailler régulièrement les extrémités des tiges pour favoriser la croissance latérale. Les *figus*, *crotons* et *scheffleras* font partie dans cette catégorie.

Les talles

Ces types de plantes forment des pousses à partir d'un bourgeon proche de la base du plant, ce qui permet de couvrir et de cacher le support efficacement. Ce sont donc des plantes adaptées pour la confection de murs végétalisés. Il faut toutefois porter attention à la croissance de la plante. En effet, celle-ci peut rapidement devenir à l'étroit si elle est confinée à un espace limité, comme des pots ou des cellules. Parmi les espèces de plantes en talles pouvant être utilisées, on retrouve par exemple les *Chlorophytums*, *Anthuriums* et *Calatheas* (Groult, 2008; Vallée, 2016).

Tableau 4 : Exemples de plantes utilisées pour des murs végétalisés extérieurs au Québec et leurs principales caractéristiques

Plante	Nom français	Rusticité	Lumière	Humidité	Croissance	Floraison
Plantes grimpantes indigènes pour des façades végétalisées						
<i>Apios americana</i>	Patates en chapelet	4	Tout type	Sol frais, sol humide	Rapide	Juillet à septembre
<i>Celastrus scandens</i>	Bourreau des arbres	4	Soleil Mi-ombre	Sol frais	Rapide	Juin à juillet
<i>Clematis virginiana</i>	Clématite de Virginie	3	Soleil Mi-ombre	Sol frais	Rapide	Juillet à septembre
<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	Vigne vierge	2	Soleil Ombre	Sol frais	Rapide	-
<i>Vitis riparia</i>	Vigne des rivages	2	Soleil Ombre	Sol sec, sol frais et sol humide	Rapide	Juillet et août
Plantes pour murs vivants extérieurs						
<i>Acorus calamus</i>	Jonc parfumé	3	Soleil Mi-ombre	Sol humide	Lente	Juin et juillet
<i>Agrostis spp.</i>	Agrostide	Variable	Soleil Mi-ombre	Sol frais ou sol humide	Lente	-
<i>Corydalis spp.</i>	Corydale	Variable	Mi-ombre	Sol frais	Moyenne	Variable
<i>Heuchera spp.</i>	Heuchère	Variable	Mi-ombre Ombre	Sol frais	Moyenne	Mai à juillet

Adapté de : Les murs végétalisés : Notes de cours et illustrations, I53-317-IT, par Vallée, C., 2016, Institut de technologie agroalimentaire (ITA).

Il est à noter qu'une grande variété de plantes peut être sélectionnée pour l'utilisation de murs végétalisés extérieurs. Les seuls critères à respecter sont ceux mentionnés dans la section plus haut, concernant les caractéristiques des végétaux recherchés pour la réalisation d'un mur végétal.

Tableau 5 : Liste de plantes utilisées pour les murs végétalisés intérieurs

Plantes	Types de murs	Port						Luminosité ¹			Irrigation			Facilité		Commentaires	
		Hydroponiques	Avec substrat	Talle	Retombante	Tapissante	Érigée	Tolère faible	Modérée	Vive	+++	++	+	Entretien ²	Cote ³		
Nom latin (Famille)	Nom commun																
<i>Aechmeas spp.</i> (Broméliacées)	Aechmée fasciée, à bandes	x	x				x	x	x				x	x	I	E	Après la floraison, la tige principale meurt, les rejets reforment le plant. Ne refleurira pas sous un éclairage faible.
<i>Aglaonema spp.</i> (Aracées)	Aglaonème	x	x	x			x	x	x				x		I	E	Très résistant aux conditions de faible luminosité.
<i>Anthurium andreicola</i> (Aracées)	Anthurium d'André, Langue de feu	x	x	x			x	x	x			x	x		I	E	Une faible floraison peut indiquer un manque de lumière, les racines sont sensibles à la pourriture.
<i>Anthurium crystallinum</i> (Aracées)	Langue de feu	x	x	x			x	x	x				x		I	E	Feuillage au dessin argenté très intéressant.
<i>Anthurium sherzerianum</i> (Aracées)	Langue de feu, Queue de cochon	x	x	x			x	x	x				x		I	E	Les racines sont sensibles à la pourriture.
<i>Aeschynanthus spp.</i> (Gesnériacées)	Plante rouge à lèvres	x	x		x				x				x		I	F	N'aiment pas les excès d'eau.
<i>Ardisia spp.</i> (Primulacées)	Ardisie	x					x		x				x		3	F	La base est peu garnie, à accompagner avec une plante tapissante.
<i>Aspidistra spp.</i> (Liliacées)	Aspidistra, Plante en fer forgé	x	x	x					x	x			x	x	I	F	
<i>Billbergia spp.</i> (Broméliacées)	Bilbergie penchée	x	x				x	x	x					x	I	F	Plante très facile.
<i>Calathea makoyana</i> (Marantacées)	Plante-paon	x	x	x			x		x				x		I	E	Très résistante.
<i>Callisia repens</i> (Commelinacées)	Callisie rampante	x	x		x	x			x				x		2	F	Demande une taille régulière.
<i>Chamaedorea elegans</i> (Aracées)	Chamédorée élégante, palmier nain	x	x	x			x	x	x				x		I	E	
<i>Chlorophytum spp.</i> (Liliacées)	Plante araignée	x	x	x					x	x	x	x	x		2	F	Le cultivar "Bonnie" est à conseiller pour les murs. Le Chlorophytum amaniense 'Fire Flash' permet d'ajouter une touche orangée, mais celui-ci n'apprécie pas les fortes intensités lumineuses.
<i>Columnnea spp.</i> (Gesnériacées)	Columnéa	x	x		x				x	x			x	x	I	F	Éviter les excès d'eau.

Plantes		Types de murs		Port			Luminosité ¹			Irrigation			Facilité		Commentaires		
		Nom latin (Famille)	Nom commun	Hydroponiques	Avec substrat	Taille	Retombante	Tapissante	Érigée	Tolère faible	Modérée	Vive	+++	++		+	Entretien ²
<i>Cordyline spp.</i> (Agavacées)	Cordyline, Dragonnier	x	x					x	x	x			x	x	I	F	La base est peu garnie, à accompagner avec une plante tapissante.
<i>Cryptanthus spp.</i> (Broméliacées)	Cryptanthus, Cryptanthe	x	x	x				x		x			x	x	I	F	Faible pouvoir camouflant. Éviter les excès d'eau.
<i>Ctenanthe spp.</i> (Marantacées)	Ctenanthe	x	x	x				x		x			x	x	I	E	Très résistante.
<i>Davallia spp.</i> (Davalliaceés)	Fougère patte-de-lapin, Davallie	x	x				x			x			x		2	F	N'apprécie pas les stress hydriques.
<i>Episcia dianthiflora</i> (Gesnériacées)	Épiscia	x	x				x		x	x			x		I	E	Bon pour l'ombre.
<i>Episcia reptans</i> (Gesnériacées)	Épiscia	x	x				x		x	x			x		I	E	Taille modeste. Feuillage marbré et floraison rouge intéressante. Peu couvrir une grande surface en peu de temps sur les murs hydroponiques.
<i>Guzmania spp.</i> (Broméliacée)	Guzmania	x	x				x		x	x			x	x	I	F	Après la floraison, la tige principale meurt, les rejetons reforment le plant. Ne refleurira pas sous un éclairage faible.
<i>Hatiora salicornioides</i> (Cactacées)	Hatiora	x	x			x		x	x	x			x	x	I	E	S'adapte à toutes les situations. Faible pouvoir camouflant du support.
<i>Hedera helix</i> (Araliacées)	Lierre commun, lierre grimpant	x	x			x	x		x	x			x	x	3	F	Couvre bien, facile et grand choix. Bon pour l'ombre, mais sensible aux insectes et aux excès d'eau.
<i>Maranta spp.</i> (Marantacées)	Marante, plante dormeuse	x	x	x				x		x			x		I	F	Très résistante et l'une des favorites pour les murs hydroponiques.
<i>Peperomia argyreia</i> (Pipéracées)	Pépéromia d'argent	x	x	x						x	x		x	x	2	F	Éviter les excès d'eau.
<i>Peperomia obtusifolia</i> (Pipéracées)	Pépéromia à feuilles obtuses	x	x					x		x			x	x	I	F	Très facile et coloré.
<i>Peperomia scandens</i> (Pipéracées)	Pépéromia	x	x			x				x			x	x	I	F	Surveiller la pourriture des racines si trop irriguées.
<i>Philodendron spp.</i> (Aracées)	Philodendron	x	x						x	x			x		I	F	Plante très tolérante aux écarts de luminosité et d'irrigation.

Plantes	Types de murs	Port						Luminosité ¹			Irrigation			Facilité		Commentaires	
		Hydroponiques	Avec substrat	Taille	Retombante	Tapissante	Érigée	Tolère faible	Modérée	Vive	+++	++	+	Entretien ²	Cote ³		
Nom latin (Famille)	Nom commun																
<i>Phlebodium spp.</i> (Polypodiacées)	N/A	x	x	x		x	x		x				x		1	F	Très robuste, pousse assez vite et peut devenir trop gros.
<i>Pilea spp.</i> (Urticacées)	Piléa	x	x			x		x	x				x		2	F	.
<i>Rhipsalis spp.</i> (Cactacées)	Rhipsalis, cactus-gui	x	x		x		x	x	x				x	x	1	E	Facile, on peut les bouturer directement dans les feutres. De nombreuses espèces s'adaptent très bien à une faible luminosité (<i>gurchelli</i> , <i>eliptica</i> , <i>cribata</i> , etc.)
<i>Trandescantia spathacea</i> (Commelinacées)	Rhoéo	x	x	x			x		x				x		1	F	Supporte beaucoup de conditions.
<i>Scindapsus spp.</i> (Aracées)	Pothos, scindapsus, epipemnum	x	x		x			x	x				x	x	1	F	Bon pour l'ombre.
<i>Spathiphyllum wallisii</i> (Aracées)	Fleur de lune, lis de la paix	x	x	x			x	x	x				x	x	1	E	Préférer les cultivars courts.
<i>Syngonium spp.</i> (Aracées)	Syngonium, patte d'oie	x	x		x			x	x				x	x	1	E	Les cultivars 'Regina Red' et 'Neon' apportent de la couleur et sont faciles. Une des plantes préférées pour la confection de murs.
<i>Vriesea spp.</i> (Broméliacées)	Vriésie, Vriesia	x	x				x		x				x	x	1	F	Peu exigeant, le cultivar 'Astrid' est très performant.

¹ : lumière vive = plus de 2690 lux (250 pieds-bougies) ; modérée = entre 1076 et 2690 lux (100 et 250 pieds-bougies) ; faible = entre 538 et 1076 lux (50 et 100 pieds-bougies)

² : 1 = facile ; 2 = moyen ; 3 = soutenue

³ : E = excellent ; F = facile

Adapté de : Les murs végétalisés : Notes de cours et illustrations, 153-317-IT, par Vallée, C., 2016, Institut de technologie agroalimentaire, formation continue (ITA).

6.0 AVANTAGES ET LIMITES DES MURS VÉGÉTALISÉS

L'urbanisation et la croissance active de la population a créé un impact majeur sur la densification en milieu urbain, limitant ainsi les espaces disponibles pour la végétation. L'implantation de murs végétalisés est donc considérée comme une solution innovante pour permettre d'optimiser l'espace en ville, soit en utilisant les surfaces verticales inoccupées sur les infrastructures. Ces technologies offrent également une multitude d'autres avantages et bénéfices tant pour les individus que pour l'environnement. Toutefois, il est également important de considérer les limitations que peuvent offrir ces infrastructures végétalisées, surtout lors de l'étape de la planification de la construction de ceux-ci.

6.1 Avantages

- Amélioration de la régulation thermique des bâtiments
- Protection aux fluctuations de température des revêtements des infrastructures
- Captation, épuration et réduction de la vitesse de ruissellement des eaux pluviales
- Réduction des îlots de chaleur urbains
- Production de services écologiques
- Purification de la qualité de l'air ambiant à l'extérieur ou à l'intérieur des bâtiments
- Réduction de la pollution sonore (confort acoustique)
- Corridors de connectivité écologiques entre les infrastructures naturelles (parcs, toitures végétalisées, etc.) de la trame urbaine
- Connectivité de la population avec la nature
- Amélioration du bien-être des individus

6.2 Limites

Si l'installation des murs végétalisés est de plus en plus accessible aux citoyens et entrepreneurs, certains paramètres restrictifs doivent être pris en compte lors de la planification. En effet, dépendamment du type de mur végétal choisi et des espèces de végétaux utilisés, l'entretien et la survie des murs représentent tout un défi et nécessitent une excellente expertise sur plusieurs aspects, notamment en irrigation et en production végétale (irrigation, fertilisation, phytoprotection, conditions environnementales).

D'autres aspects supplémentaires nécessitent d'être considérés avant la mise en place de murs végétalisés pour éviter bien des problématiques et des désagréments non intentionnels :

- Les murs technologiques nécessitent un entretien régulier à ne pas négliger surtout pour les systèmes hydroponiques
- Les murs requièrent des végétaux adaptés aux conditions limitatives du milieu de culture
- Les coûts élevés à court terme de certains types de murs verticaux peuvent être un frein à l'achat, mais dans certains cas, les murs végétalisés peuvent être une option économique à l'installation de système d'humidification de l'air ambiant dans les édifices (Abdo, 2017)

Il existe également quelques perceptions populaires sur les murs végétalisés qui nécessitent d'être démystifiés. En voici quelques exemples :

Certaines plantes grimpantes peuvent endommager les murs de bâtiments

Contrairement à ce que la plupart des individus peuvent penser, les plantes grimpantes n'endommagent pas les revêtements de bâtiment tels que le mortier ou la brique, à moins que ceux-ci soient déjà en très mauvais état. En effet, les structures d'ancrage de type vrilles peuvent s'insérer dans les fissures préexistantes du revêtement des bâtiments. Les craques et les fissures devraient être réparées avant d'établir une couverture végétale sur un mur. Il n'est donc pas conseillé dans ce cas-ci d'y cultiver des plantes grimpantes. Par ailleurs, certains végétaux comme les lierres peuvent exsuder des acides organiques faibles qui entrent en contact avec les structures murales par exemple par les crampons. Ces acides ne représentent généralement pas un risque important, particulièrement à court terme, ou en comparaison avec les pluies acides (Cathersides et al. 2010).

Si, dans certains cas spécifiques, les végétaux peuvent exercer un stress physique sur les matériaux du bâtiment, dans la majorité des situations, les murs végétalisés permettent plutôt de protéger les matériaux de revêtement déjà en bon état des facteurs environnants. Ainsi donc, la végétation protège contre les rayons solaires, les températures élevées et les fluctuations journalières de température. En effet, ces éléments peuvent avoir un impact sur la durée de vie du matériel, soit en causant leur désagrégation, des fissures ou même des ruptures. Dans le cas où il serait nécessaire de retirer les plantes grimpantes de la façade, des précautions sont de mises afin de ne pas endommager la structure, puisque certaines plantes, plus particulièrement les plantes à crampons, peuvent causer des dommages à la structure lors du retrait si une traction est exercée pour arracher le crampon à son ancrage sur le mur (Dumond, 2014 et Dunnett et Kingsbury, 2008).

Les murs couverts de plantes grimpantes restent humides plus longtemps, ce qui peut causer une dégradation accélérée du bâtiment.

Cela dépend du type de matériaux et de plusieurs autres facteurs. Par exemple, une maçonnerie bien entretenue n'est pas à risque d'une dégradation liée à l'augmentation de l'humidité induite par les végétaux contrairement à une palissade de bois. En effet, cette dernière pourrait se dégrader plus rapidement si des plantes grimpantes s'infiltraient dans les interstices du maté-

riau et y maintenaient un taux d'humidité élevé. Ceci favoriserait également la dégradation des résidus organiques de la plante et de la surface murale (Cathersides et al. 2010).

De manière générale, cependant, l'air entre les plantes grimpantes et la façade isole le bâtiment contre les fluctuations d'humidité et de température. Lorsqu'un mur passe d'un état humide à sec suite à une pluie, la contraction et l'expansion des matériaux, particulièrement si elle est couplée à une phase de gel et dégel, peut provoquer la dégradation lente du bâtiment par météorisation des matériaux. On remarque également que les plantes grimpantes empêchent en réalité les eaux de pluie d'atteindre les murs, ce qui limite donc l'humidité présente sur la structure (Dumond, 2014 et Dunnnett et Kingsbury, 2008).

La survie hivernale des murs vivants extérieurs sous le climat québécois représente un défi important, dont les conditions de succès sont encore difficilement réalisables.

Au Québec, un des principaux freins à la composition d'un mur vivant extérieur et durable est vraisemblablement la survie hivernale. En effet, la saison de croissance pour les végétaux est courte et l'hiver peut être glacial et rigoureux. En plus du gel direct causé par la température de l'air, le gel de l'eau et les vents hivernaux peuvent contribuer à la déshydratation des végétaux et à la réduction de leur survie. Différentes conditions affectent donc directement le succès d'une implantation de plantes vivaces. Un mur végétalisé balayé par un vent glacial et exposé aux sels de déglacage en bordure de route n'aura pas les mêmes facteurs de succès qu'un mur végétalisé abrité, dans une cour arrière par exemple. Comparativement aux toitures végétalisées, les murs végétalisés font face à de plus grandes contraintes de gel, puisqu'ils ne possèdent aucune protection habituellement apportée par la neige. C'est pour cela qu'il est important d'utiliser des végétaux rustiques et robustes qui peuvent bien résister à de grands stress hivernaux. Finalement, l'utilisation de plantes grimpantes pour végétaliser un bâtiment est beaucoup plus adaptée au climat québécois et apporte son lot d'avantages, en plus d'être simple et peu coûteuse à installer. Des espèces rustiques telles que la vigne vierge (*Parthenocissus quinquefolia*) ou la vigne de rivage (*Vitis riparia*) grimpent souvent spontanément sur les structures verticales de nos maisons (Bernier, 2011).



PHOTO : LOUISE HÉNAULT-ETHIER



PHOTO : LOUISE HÉNAULT-ETHIER



Figures 27, 28 et 29 – Si les murs végétalisés extérieurs sont plus faciles d'entretien dans les pays tropicaux, comme ces trois exemples de Colombie, ils peuvent aussi être implantés au Québec.

Tableau 6 : Comparaison des avantages et désavantages des différents systèmes de murs végétalisés

Système	Sous-catégorie	Avantages	Désavantages
Façades végétalisées avec plantes grimpantes	Sans support	Aucun matériau nécessaire (support, substrat, système d'irrigation) Faible coût Protection du revêtement du bâtiment (bon état) Accessibilité facile au public Impact environnemental positif	Choix des végétaux limités Couverture lente de la surface verticale Nécessite un entretien régulier (taillage) Dégradation possible du revêtement (mauvais état)
	Avec support	Système de guidage des végétaux Facilité d'installation, de retrait de la structure et de remplacement des végétaux Moins de risques de dommages au revêtement extérieur	Choix des végétaux limités Couverture lente de la surface verticale Impact environnemental négatif de certains matériaux Coût élevé de certains matériaux
Murs vivants	Hydroponique	Grande diversité de plantes possibles Potentiel de développement optimal des végétaux Technologie la plus légère du marché Facilité d'entretien et de remplacement des végétaux	Permanence à long terme du système Système plus complexe (système d'irrigation, substrat) Coût très élevé Impact environnemental négatif
	Avec substrat	Facilité d'installation, de retrait de la structure et de remplacement des végétaux Idéal pour les installations temporaires Optimal pour les cultures saisonnières	Développement racinaire limité Choix des végétaux limités Nécessite une préplantation Risque de lessivage et de détachement des plants Coût élevé Technologie très lourde

Adapté de : Green wall systems :A review of their characteristics, par Manso et Castro-Gomes, 2015, 41, 863-871.

7.0 EXEMPLES DE PROJETS DE MURS VÉGÉTALISÉS

7.1 Projets réalisés au Québec

7.1.1 LE PLUS HAUT MUR VÉGÉTAL INTÉRIEUR SITUÉ À LÉVIS

Ce projet d'envergure a été réalisé par la firme Green over Grey en 2014 dans un nouvel édifice du Mouvement Desjardins situé à Lévis. Cet imposant mur végétal intérieur de 65 mètres (213 pieds) de hauteur a été aménagé sur les 15 étages de l'immeuble et possède près de 11 000 plantes, dont 45 variétés différentes. Il s'agirait du plus haut mur végétal intérieur au monde. Cette œuvre, intitulée Les Courants, s'inspire de la présence du fleuve Saint-Laurent dans le paysage de Lévis.

La structure hydroponique est constituée de fibres recyclées à 100 % où un système d'irrigation automatique permet d'apporter une solution nutritive à la végétation. En plus d'améliorer la qualité de l'air de l'immeuble, ce mur végétal apporte également plusieurs autres bénéfices pour l'entreprise, soit une valeur ajoutée au bâtiment et une amélioration de la qualité de vie des employés, ce qui influence donc positivement le rendement de ceux-ci (Radio-Canada, 2014).



PHOTO : GUILLAUME GRÉGOIRE

Figure 30 – Mur végétal du mouvement Desjardins à Lévis.

7.1.2 UNE ÉCONOMIE D'ÉNERGIE RÉALISÉE GRÂCE À UN MUR VÉGÉTAL À L'AÉROPORT MONTRÉAL-TRUDEAU

Depuis décembre 2019, le nouveau centre de correspondance de l'aéroport Montréal-Trudeau s'est doté d'un nouveau mur végétal de 22 mètres carrés (240 pieds carrés) dans un but bien précis : régler un problème d'humidité relative à l'intérieur de ce secteur de 3000 mètres carrés. En effet, le retour d'air de la ventilation traverse le mur végétal et ses composantes (substrat, végétaux) permettant ainsi d'abaisser l'humidité ambiante.

Ce projet n'était pas le premier implanté à l'aéroport de Montréal. En fait, un projet-pilote a été effectué en 2016 dans un autre secteur, avec une superficie de 6000 mètres carrés. L'humidité relative de l'endroit descendait parfois à 12 % avant la mise en place du mur végétal, ce qui était loin du minimum de 25 % exigé par le Code du bâtiment. La mise en place de l'infrastructure végétale a permis d'augmenter de 18 % le taux d'humidité, ce qui a permis de faire des économies d'énergie et de frais d'entretien de 20 % comparativement à l'installation d'un système mécanique. En plus d'offrir des bénéfices énergétiques et monétaires, ces murs végétalisés apportent également des avantages esthétiques et environnementaux. Ceux-ci permettent l'épuration de l'air, soit en captant les COV et le CO₂ présents dans l'air (Léveillé, 2020).



PHOTO : LOUISE HÉNAULT-ETHIER

Figure 31 – Mur végétal à l'aéroport Montréal-Trudeau dans le pavillon des arrivées internationales.

7.1.3 SIX DIFFÉRENTS MODÈLES DE MURS VERTS AU PAVILLON HORTICOLE ÉCORESPONSABLE À SAINT-HYACINTHE

Inauguré en 2012, le pavillon horticole écoresponsable de l'ITA est dédié aux bienfaits de l'horticulture ornementale sur la santé, l'environnement ainsi qu'au bien-être des gens. Cette infrastructure se veut un exemple de développement durable et de construction écologique, dont le design repose avant tout sur l'intégration de végétaux comme composantes actives du bâtiment. En effet, l'on y retrouve six différents modèles de murs végétalisés, trois types de toits verts et deux jardins de pluie. À l'extérieur du bâtiment, trois modèles de murs végétalisés sont présents, soit : deux façades végétalisées (câbles, treillis) et un système modulaire avec substrat, étant un des plus importants du genre au Québec. À l'intérieur, on y retrouve également trois murs verts utilisant l'eau de pluie, tels que : deux murs vivants combinés (feutre et substrat) et un mur de croissance hydroponique. Ce pavillon représente donc un espace unique en son genre, un lieu d'expérimentation et une vitrine d'éducation sur les phytotechnologies.



PHOTO : CLAUDE VALLÉE, ITA

Figure 32 – Mur végétal modulaire avec substrat présent au pavillon horticole écoresponsable de l'ITA.

7.1.4 LE SKY GARDEN DE SEMIAHMOO AU CANADA

Construit par Green Over Grey, ce mur végétal à l'extérieur de la bibliothèque Semiahmoo à Surrey en Colombie-Britannique, est le plus grand mur extérieur végétalisé jamais construit au Canada avec plus de 279 mètres carrés. Il comprend plus de 10,000 végétaux, et permet la croissance de 120 espèces uniques dont différents types de graminées, de plantes pérennes, des arbustes et même des arbres. Ce jardin vertical représente le premier mur végétal à grande échelle de la ville et offre de nombreux bénéfices environnementaux, en plus de faire office d'œuvre d'art. Parmi ceux-ci, citons une réduction d'émission de gaz à effet de serre, une réduction des coûts énergétiques et une augmentation de la biodiversité au cœur de la ville. En effet, ce mur végétal participe également à l'isolation du bâtiment et à la purification de l'air ambiant, tout en apportant un relief naturel au bâtiment.

7.2 Projets réalisés à l'international

7.2.1 MUSÉE DU QUAI BRANLY À PARIS

Cette œuvre réalisée en 2004 par Patrick Blanc est une de ses plus célèbres, faisant 800 m² de surface et est composé de plus de 15 000 végétaux venant de partout à travers le globe : Amérique du Nord, Europe, Himalaya, Chine, Japon, Afrique du Sud, Chili. Ce mur végétal hydroponique expose des collections d'art africain, asiatique, océanique et américain, représentant la diversité culturelle d'œuvres d'artistes du monde entier. Ce mur végétal apporte certains bénéfices environnementaux, mais demande beaucoup d'irrigation (ex. : eau potable du réseau d'aqueduc), de nutriments (ex. : pas toujours possible de recycler dans le système d'irrigation) et d'énergie (ex. : pompe). Cet exemple apporte une certaine réflexion sur les phytotechnologies et les murs végétalisés, où la superposition entre les deux termes se définit par le bilan environnemental du mur végétal sur le bâtiment.



PHOTO : JEAN-PIERRE DALDÈRA, SOUS LICENCE CREATIVE COMMONS

Figure 33 – Le mur végétal au musée du quai Branly



Figure 34 – Supertrees.

7.2.2 SUPERTREE GROVE À SINGAPOUR

Les Supertrees, dits « Superarbres », sont des jardins verticaux situés à Marina Bay à Singapour allant de 25 à 50 mètres de hauteur. Une composition de 18 Supertrees permet d'exposer près de 162 900 plantes, avec plus de 200 espèces de plantes composées de broméliacées, d'orchidées, de fougères et de plantes grimpantes tropicales. La grande majorité de ces espèces ont été choisies en fonction de leur résistance, de leur adaptation au climat, de leur capacité de croissance sans substrat ou de leur rareté au sein de la ville. Ces structures reproduisent la forme et les mêmes fonctions des arbres adultes, soit en offrant des zones ombragées au cours de la journée. Certains Supertrees possèdent aussi des fonctions environnementales et durables. Par exemple, des cellules photovoltaïques placées dans la cime des Supertrees permettent le captage et le stockage d'énergie solaire pour l'éclairage nocturne. En effet, la nuit, ces Superarbres offrent un magnifique spectacle visuel teinté de couleurs chaleureuses au son de la musique.

7.2.3 LIBERTY PARK, MANHATTAN, NEW YORK, ÉTATS-UNIS

Mur végétalisé à Liberty Park, face au Ground Zero, inauguré 15 ans après les événements du 9/11 dans le Lower Manhattan à New York, juin 2019. Le mur de 100 m de longueur et de 8 m de hauteur abrite 22 000 plantes de six espèces. Cette composition de couvre-sol à feuilles persistantes et de plantes vivaces à fleurs offre un intérêt visuel de couleur et de texture toute l'année, dans un environnement partiellement ombragé. Un système d'irrigation goutte à goutte est utilisé pour arroser les 18 zones du mur vivant. Des gouttières sont installées afin de recueillir l'eau de ruissellement de la structure, ainsi qu'un système de surveillance intégrée pour assurer un suivi des végétaux. Ce mur végétal symbolise la résilience des New Yorkais et rend hommage à ceux qui ont perdu la vie dans la tragédie (Rodrigues et King, 2016).



Figure 35 – Mur végétalisé à Liberty Park, New York, qui abrite 22 000 plantes de 6 espèces.

BIBLIOGRAPHIE

- Abdo, R., & ENG, P. (2017). *Living wall retrofit*. ASHRAE Journal, 59(4), pp.72-78.
- Ademe, sans date, FICHE BIODIVERSITÉ n°11. CAHIER TECHNIQUE ÉCOSYSTÈMES DANS LES TERRITOIRES. p. 63-64. multimedia.ademe.fr/catalogues/CTecosystemes/fiches/outil11p6364.pdf
- Avantages d'un mur végétal—Sempergreen. (2020). Sempergreen. www.sempergreen.com/fr/solutions/facade-vegetale/avantages-facade-vegetale
- Azkorra, Z., Pérez, G., Coma, J., Cabeza, L. F., Burés, S., Álvaro, J. E., ... & Urrestarazu, M. (2015). *Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings*. Applied Acoustics, 89, 46-56. doi.org/10.1016/j.apacoust.2014.09.010.
- Bernier, A. M. (2011). *Les plantes grimpantes : une solution rafraîchissante*. Centre d'écologie urbaine de Montréal. collections.banq.qc.ca/ark:/52327/2219252
- Blanc, P., & Nouvel, J. (2008). Le mur végétal de la nature à la ville. MICHEL LAFON.
- Broto, C. (2016). *Murs végétaux : Manuel pratique + 42 projets* (2016e éd.). Links Books. 250 p.
- Burge, P. S. (2004). Sick building syndrome. *Occupational and environmental medicine*, 61(2), 185-190.
- Cathersides, A., Ashbee, J., White, A., Viles, H., Stronberg, T., Thomas, R. et Turner, C. (2010). *Ivy on Walls, Interim Summary Report*. English Heritage.
- Coma, J., Perez, G., de Gracia, A., Burés, S., Urrestarazu, M., & Cabeza, L. F. (2017). *Vertical greenery systems for energy savings in buildings : A comparative study between green walls and green facades*. Building and environment, 111, 228-237. doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.014.
- Dela Cruz, M., Christensen, J. H., Thomsen, J. D., & Müller, R. (2014). *Can ornamental potted plants remove volatile organic compounds from indoor air? — a review*. Environmental Science and Pollution Research, 21(24), 13909-13928.. doi : 10.1007/s11356-014-3240-x. Epub 2014 Jul 25. PMID : 25056742.
- Dunnett, N. et Kingsbury, N. (2008). *Toits et murs végétaux*. 325 p.
- Johnston, J., Newton, J. et Greater London Authority.(2004). *Building Green : A Guide to Using Plants on Roofs, Walls and Pavements*. London : Greater London Authority.
- Labrecque, M., & Teodorescu, T. (2005). Preliminary Evaluation of a Living Willow (SALIX SPP) Sound Barrier Along a Highway in Québec, Canada. *Arboriculture & Urban Forestry*, 31(2), 95–98. doi.org/10.48044/jauf.2005.012
- Léveillé, J.-T. (2020). Planète bleue, idées vertes : Conjuguer écologie et économies avec les murs végétaux. La Presse. www.lapresse.ca/actualites/environnement/202002/23/01-5262112-planete-bleue-idees-vertes-conjuguer-ecologie-et-economies-avec-les-murs-vegetaux.php
- Manso, M., & Castro-Gomes, J. (2015). Green wall systems : A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 863–871. doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203
- Marchi, M., Pulselli, R. M., Marchettini, N., Pulselli, F. M., & Bastianoni, S. (2015). Carbon dioxide sequestration model of a vertical greenery system. *Ecological Modelling*, 306, 46–56. doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.08.013
- Ottelé, M., van Bohemen, H. D., & Fraaij, A. L. (2010). Quantifying the deposition of particulate matter on climber vegetation on living walls. *Ecological Engineering*, 36(2), 154–162. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.02.007
- Paull, N. J., Krix, D., Irga, P. J., & Torpy, F. R. (2019). Airborne particulate matter accumulation on common green wall plants. *International Journal of Phytoremediation*, 22(6), 594–606. doi.org/10.1080/15226514.2019.1696744
- Pettit, T., Irga, P. J., & Torpy, F. R. (2018). The in situ pilot-scale phytoremediation of airborne VOCs and particulate matter with an active green wall. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 12(1), 33–44. doi.org/10.1007/s11869-018-0628-7
- Radio-Canada. (2014, May 2). Une œuvre végétale de 65 mètres à Lévis. Radio-Canada.ca. ici.radio-canada.ca/nouvelle/665287/mur-vegetal-des-jardins-oeuvre-hauteur-record#:~:text=Selon%20les%20concepteurs%2C%20la%20firme,fait%20un%20projet%20vraiment%20unique.
- Rodrigues, L. et King, R (2016, June 29). World Trade Center : Lower Manhattan Gets a Living Wall. . Literally. Portfolio. portfolio.panyj.gov/2016/06/29/world-trade-center-lower-manhattan-gets-a-living-wallliterally/
- Salamanca, F., Georgescu, M., Mahalov, A., Moustou, M., & Wang, M. (2014). Anthropogenic heating of the urban environment due to air conditioning. *Journal of Geophysical Research : Atmospheres*, 119(10), 5949–5965. doi.org/10.1002/2013jd021225
- Soucy, S. (2015). *Avancée biophilique*. Voir vert. Le portail du bâtiment durable au Québec. www.voirvert.ca/nouvelles/dossiers/avancee-biophilique
- Torpy, F., Zavattaro, M., & Irga, P. (2016). Green wall technology for the phytoremediation of indoor air : a system for the reduction of high CO₂ concentrations. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 10(5), 575–585. doi.org/10.1007/s11869-016-0452-x
- Vallée, C. (2016). *Les murs végétalisés : Notes de cours et illustrations*, 153-317-IT. Institut de technologie agroalimentaire (ITA).
- Vergriete, Y. et Labrecque, M. (2007). *Rôles des arbres et des plantes grimpantes en milieu urbain : revue de littérature et tentative d'extrapolation au contexte montréalais*. ruelleverte.files.wordpress.com/2014/01/roledesarbres.pdf
- Voltaggio, M., Spadoni, M., Carloni, S., & Guglietta, D. (2016). 212Pb as tracer for PM deposition on urban vegetation. *Science of The Total Environment*, 569–570, 9–15. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.051
- Wood, A., Bahrami, P. et Safarik, D. (2014) *Green Walls in High-Rise Buildings : An output of the CTBUH Sustainability Working Group*. Council on Tall Buildings and Urban Habitat : Chicago. Images Publishing, 2014.
- Zaid, S. M., Perisamy, E., Hussein, H., Myeda, N. E., & Zainon, N. (2018). Vertical Greenery System in urban tropical climate and its carbon sequestration potential : A review. *Ecological Indicators*, 91, 57–70. doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.086

8.0 DROITS DE REPRODUCTION

Date d'émission :

4 mai 2022

Droits d'auteur : Société québécoise de phytotechnologie

Rédaction :

Jessica Champagne-Caron, Louise Hénault-Éthier et Guillaume Grégoire

Révision :

Claude Vallée, Lise Gobeille et Madeleine Trickey-Massé

Illustrations :

Mégane Daigneault

Droits de reproduction à des fins non commerciales :

L'information de cette fiche peut être reproduite à des fins personnelles ou publiques non commerciales sans autorisation de la Société québécoise de phytotechnologie (SQP).

Toutefois, les conditions suivantes s'appliquent :

- La source de l'information doit être ainsi citée : *Société québécoise de phytotechnologie, Fiches techniques de la SQP. I. LES MURS VÉGÉTALISÉS. 2 mai 2022. www.phytotechno.com*
- L'utilisateur doit prendre soin de conserver l'exactitude des documents reproduits.
- La copie ne peut être présentée en tant que version officielle originale.
- La copie ne peut être présentée comme étant faite en affiliation avec la SQP ou avec son aval.

Droits de reproduction à des fins commerciales :

La reproduction à des fins commerciales, en tout ou en partie, de cette fiche et de tout autre document publié par la SQP est interdite sans la permission écrite de la SQP. Par cette autorisation, la SQP cherche à s'assurer de la diffusion des versions les plus exactes et actualisées des documents dont elle dispose. On peut obtenir une autorisation de reproduction à des fins commerciales en s'adressant à :

SOCIÉTÉ QUÉBÉCOISE DE PHYTOTECNOLOGIE

3230, rue Sicotte, local E-300, ouest

Saint-Hyacinthe QC J2S 2M2

PHYTOTECNO.COM

Courriel :

info@phytotechno.com

Mise en garde :

La présente fiche est un instrument d'information. Son contenu ne constitue aucunement une recommandation, une liste exhaustive de procédés ou de règles en vigueur. Il demeure la responsabilité du lecteur de se référer aux recommandations, procédés et règlements en vigueur, ainsi qu'à toutes autres normes applicables, le cas échéant.