

EXTENSIVE GREEN ROOFS/LA TOITURE AVEC VEGETALISATION EXTENSIVE

PART 1: ANDRÉ BRUDER

SOPREMA

Strasbourg, France

PART 2: MARIE-ANNE BOIVIN

SOPREMA

Quebec City, Canada

Extensive green roof systems have been fully developed in Europe, particularly in France, where they were introduced more than a decade ago.

- Part I of this paper describes the current results of this evolution, focusing on the main advantages of rooftop greening systems and the technical criteria necessary to ensure the success of the project: the choice of components, quality of installation, and a minimum of maintenance. It is necessary to adapt present technologies to various climates or to different conditions. This adaptation has been achieved in France after many tests and extensive research work during the past few years.
- Part II presents research work performed at the Laval University in Quebec in order to adapt the concept of rooftop greening systems to North American climatic conditions and to the Canadian and U.S. roofing markets. The plant species were chosen according to their cold and drought resistance. The greening system was installed on the top of one of the buildings at Laval University into an artificial substrate at three depths—50, 100, 150 mm² (, 4, and 6 inches). Winter damage and growth were measured for the 360 studied plants, and climatic conditions were recorded. The results show a different behavior in relation to the depth of the substrate. This behavior is characteristic of all six herbaceous perennials.

KEYWORDS

Green roof, roofing, rooftop garden, rooftop greening.

RÉSUMÉ

La végétalisation des toitures est en plein développement en Europe et en particulier en France. Une expérience de plus de 10 années est maintenant disponible.

- Une première partie fait le point sur cette évolution en France, en mettant en lumière les principaux avantages présentés par les toitures végétales ainsi que les conditions techniques pour assurer la réussite des projets: choix des composants, qualité de la mise en oeuvre et minimum d'entretien. La transposition de ces technologies à des climats ou des emplois diversifiés et dans un environnement différent nécessite une adaptation que les essais et les recherches ont permis de réaliser en France au cours de ces dernières années.

- Une deuxième partie présente les travaux de recherche en cours à l'Université Laval à Québec, pour l'adaptation du concept de végétalisation extensive aux conditions climatiques de l'Amérique du Nord et aux marchés de la toiture au Canada et aux U.S.A. Les plantes, choisies en fonction de leur résistance connue au froid et à la sécheresse, ont été plantées dans un substrat artificiel d'épaisseur variable 50, 100, 150 mm (2, 4, 6 inches) sur la toiture d'un des bâtiments de l'Université Laval. Les dommages et la croissance en hiver des 360 plantes ont été étudiés en hivernaux enregistrant de façon permanente les conditions climatiques. Les résultats montrent un comportement différencié selon l'épaisseur du substrat et ce pour les six variétés de plantes.

MOTS CLÉS

Étanchéité, toiture, toiture-jardin, toiture verte, végétalisation.

LA TOITURE AVEC VEGETALISATION EXTENSIVE

PARTIE I—DEVELOPPEMENTS RECENTS ET TENDANCES EN FRANCE

Utiliser l'espace perdu des terrasses urbaines pour y planter des végétaux n'est pas en soi, une nouveauté. De nombreuses réalisations sont là pour en témoigner. Mais jusqu'à un passé récent, ces "jardins suspendus" ne pouvaient être réalisés qu'en apportant une épaisseur de terre considérable sur les terrasses; ce qui imposait au concepteur, de renforcer sensiblement les structures du bâtiment et renchérisait par conséquent le coût de la construction. Par ailleurs, l'entretien de ces surfaces s'avérait souvent compliqué et coûteux.

Les progrès du génie horticole en matière de culture hors sol, de même que l'amélioration des systèmes d'étanchéité ont permis de déboucher sur un nouveau concept de protection des toitures par une couche végétale légère, moyennant un coût d'installation modéré et des dépenses d'entretien minimales.

Ce concept est généralement connu sous la désignation de "végétalisation extensive," qui vient donc compléter le concept de "végétalisation intensive" bien connu par ailleurs.

En France, cette technique a été introduite depuis près de dix ans et a été adaptée aux spécificités locales, tant climatiques que culturelles. C'est ce que nous allons voir dans une première partie de cet exposé.

Une forte demande se fait sentir au CANADA et aux USA

et il est évident que des adaptations doivent être apportées. Ce point fera l'objet de la deuxième partie de cet exposé.

LA VÉGÉTALISATION EXTENSIVE DES TOITURES

Cette technique est une façon simple d'apporter de la végétation sur les toits en associant des plantes qui se régénèrent et s'entretiennent quasiment d'elle-mêmes. Le tapis végétal ainsi formé se rapproche de la végétation sauvage.

Elle apporte aux constructeurs une solution simple, fiable et économique pour transformer une surface perdue en un espace végétal attrayant et vivant, compatible avec les structures existantes.

Une toiture comportant de la végétalisation extensive se compose essentiellement de cinq éléments.

- **Le support porteur:** Tout type de support peut convenir à la condition expresse que la surcharge admissible atteigne 50 kg/m² (10 psf), soit environ 10 fois moins qu'une toiture-jardin traditionnelle. Cela signifie aussi que la végétalisation extensive peut être installée aussi bien sur des structures en béton ou maçonnerie que sur des éléments porteurs en bois ou en métal. Elle peut aussi trouver sa place sur une toiture existante sans qu'il soit nécessaire, dans la plupart des cas, de renforcer la structure. Cependant la surcharge admissible par le support porteur doit être évalué par un architecte ou un ingénieur avant toute intervention.
- **Le complexe isolant:** dans le cas d'une isolation thermique, on mettra en place, conformément aux règles en vigueur, un pare-vapeur (si nécessaire) et un isolant thermique. Tout type d'isolant habituellement admis sous étanchéité (polyuréthane, verre cellulaire, perlite expansée, laine minérale, polystyrène, ...) et dont la résistance à la compression est compatible avec les surcharges prévues.
- **Le complexe d'étanchéité:** celui-ci doit assurer l'étanchéité de la terrasse et doit être conçu pour résister à la pénétration des racines. Un système adapté à cet emploi est indispensable et doit avoir fait l'objet des essais et agréments correspondants.
- **Le complexe végétal qui comprend:**
 - la couche drainante dont le rôle est de permettre l'écoulement de l'eau vers les évacuations pluviales. Il est constitué par l'un des matériaux suivants, selon la pente: granulats meubles en argile expansée ou en roche volcanique, plaque de polystyrène expansé alvéolé ou géotextile de drainage.
 - Le filtre constitué d'une nappe de fibres synthétiques non tissées, dont la fonction est d'empêcher le colmatage de la couche drainante par les particules fines du substrat.
 - Le substrat. La conception et la fabrication du substrat lui assurent des caractéristiques optimales constantes pour la végétalisation extensive des toitures, en particulier, capacité de rétention en eau, perméabilité, résistance à l'érosion et densité.
 - La végétation dont les composants sont sélectionnés pour leurs capacités à s'adapter à des conditions extérieures difficiles (pollution, humidité et températures irrégulières, absence d'arrosage), ainsi qu'à une épaisseur de substrat faible, généralement comprise entre 30 et 200 mm (1.2 and 7.8 inches). La végétation

extensive est une association de plantes annuelles, bi-annuelles et vivaces, qui se régénèrent et colonisent le sol de manière naturelle.

- La bande stérile en rive et autour des émergences en gravier ou dalles sur une largeur suffisante. Cette bande, pas toujours obligatoire, facilite l'accès au drainage, aux évacuations pluviales et aux relevés d'étanchéité. Elle permet aussi de compenser la différence de niveau entre la hauteur d'acrotère réglementaire et la hauteur de la végétalisation.

RAPPEL HISTORIQUE ET ÉTAT DU MARCHÉ

C'est en Allemagne que le principe de végétalisation "extensive" de toiture a été conceptualisé, dans le courant des années 80, à partir de différentes sources parmi lesquelles on peut citer:

- Une première évolution de la terrasse-jardin traditionnelle dont on cherchait à diminuer les surcharges pondérales, observable notamment en Suisse (par exemple Thalmatt, dans les années 70), et dans différents pays d'Europe.
- La prise en compte de techniques traditionnelles de végétalisations de toitures utilisées en Scandinavie et Islande (principe du chalet Norvégien).
- Le travail de recherche mené par plusieurs Universités, spécialement celle de Hanovre et celle de Weihenstephan (Munich), qui intégrèrent le principe "d'entretien extensif" concernant initialement les espaces verts au sol.
- L'écologie et la phytosociologie comme outils de conception des projets
- Le développement de nouveaux matériaux par des entreprises spécialisées

En 1986, la synthèse de processus diffus de réflexion et d'expérimentation fut exprimée, par le groupe de travail végétalisations de toitures de la FLL, dans le document à caractère normatif "Grundsätze für Dachbegrünungen, Bonn 1986" (Principes pour les végétalisations de toitures).

À la fin des années 80, il existait déjà en Allemagne une vingtaine de fournisseurs de procédés distincts que l'on peut répartir en fonction des matériaux constitutifs de la couche drainante:

- ceux utilisant le principe de rétention en eau dans des alvéoles de matériaux synthétiques
- ceux utilisant les agrégats minéraux poreux
- ceux utilisant des matelas ou plaques synthétiques.

Concernant la palette végétale utilisée en Allemagne, on a beaucoup privilégié initialement les systèmes à dominante graminées (xérophiles) par référence aux techniques traditionnelles scandinaves (chalet Norvégien). Puis progressivement, les systèmes à dominante Sedum se sont imposés comme alternative plus économique. Une composante de plantes vivaces (oeillet, thym,...) est toutefois introduite dans la plupart des systèmes. Le traitement paysager est le plus souvent ramené à un mélange homogène des différentes espèces ou bien entend refléter un écosystème existant parmi les modèles naturels comme les prairies sèches, les végétations spécifiques de talus secs, etc.

En France, dès le début des années 70, l'évolution des techniques d'étanchéité avec, notamment, les bitumes élastomères SBS avec armatures polyester non tissé, puis les procédés antiracines directement sous la couche drainante, a profondément modifié les habitudes de l'étanchéité, et a donné un essor considérable aux toitures terrasses jardin. C'est vers le milieu des années 80 que l'on s'est intéressé à la végétalisation extensive.

L'adaptation de la palette végétale est allée dans le sens d'une utilisation différenciée des espèces, conformément à l'esprit paysager français, historiquement façonné par Le NOTRE et les fameux "jardins à la Française." On préfère souvent essayer de créer du beau avec les moyens techniques de la Végétalisation Extensive de Toiture plutôt que d'accepter la caractéristique d'évolution naturelle, inhérente au concept même de végétalisation extensive. C'est toutefois la diversité des choix d'aspects qui caractérise le mieux l'approche française en la matière. Par ailleurs, les conditions climatiques méditerranéennes ont été et restent l'objet de recherches visant une adaptation et une extension de la palette végétale.

En Allemagne, le marché des surfaces étanchées représente environ 50 millions de m² (538 million ft²), celui de la végétalisation de toiture approximativement 4 à 5 millions de m² (43 à 54 million ft²) pour 1994. On estime à 10 à 20 % la part de la végétalisation intensive et à 80 à 90 % celle de la végétalisation extensive.

En France, il s'agit plutôt d'une prise en compte au cas par cas, qui, pour aboutir, doit être fortement soutenue par l'architecte et l'entreprise d'étanchéité. On voit cependant apparaître ces dernières années des cas où le permis de construire impose la végétalisation d'une toiture plate. Il existe également un exemple où le plan d'urbanisme d'une future zone artisanale octroie 10 % de surface constructible supplémentaire en cas de végétalisation de l'ensemble des toitures. On estime que les surfaces totales étanchées représentaient 25 millions de m² (270 million ft²) pour 1994, dont environ 2 millions (2.1 million) en végétalisation dont seulement 50 000 m² (538,000 ft²) en extensif.

LES ARGUMENTS

Il existe au moins sept bonnes raisons de choisir une terrasse avec végétalisation extensive.

- **L'esthétique:** Les fleurs et les herbes vives procurent une impression visuelle agréable, renouvelée au rythme des saisons, plus esthétique que les gravillons ou les autoprotecteurs classiques, bien qu'il ne s'agisse pas véritablement d'un jardin.
- **L'écologie:** les végétaux améliorent la qualité de l'air par la production d'oxygène et par la fixation du gaz carbonique. Le tapis végétal fixe les poussières et humidifie l'air asséché par la pollution urbaine. La nature fait revivre la ville en appelant la vie animale (oiseaux, papillons...) et on améliore ainsi la biodiversité. A la différence d'une terrasse-jardin traditionnelle, la végétalisation extensive représente un moyen concret d'économiser l'eau d'arrosage.
- **Le confort:** la couche végétale filtre les bruits et améliore l'isolation thermique été comme hiver.
- **La protection de la construction:** la végétation protège l'étanchéité d'une façon optimale. Les végétaux protègent la

toiture contre les agressions des agents atmosphériques et contre les rayonnements UV. Le système régule les variations de température, évite les chocs thermiques et réduit les sollicitations propres à la toiture (dilatation, retrait). En amortissant les chocs éventuels, la terrasse végétale réduit les risques de poinçonnement statique ou dynamique de l'étanchéité.

- **L'urbanisme:** les associations naturelles de plantes élargissent la perception globale de l'environnement; ainsi de nombreuses possibilités d'intégration au site sont offertes. Les toitures végétalisées sont assimilables à un espace vert et à ce titre, elles facilitent la répartition de l'occupation des sols, permettant d'arriver à 100% de surfaces vertes sur un projet. Dans certaines villes très peuplées, la végétalisation des toitures pourrait permettre la création de "Havres de paix" en toiture par opposition aux rues quelquefois dangereuses...La couche végétale a également un effet régulateur important sur l'évacuation des eaux pluviales. En retenant 70 à 100% des précipitations, le complexe de végétalisation peut éviter l'engorgement des canalisations.
- **La légèreté:** la surcharge admissible varie entre 50 et 150 kg/m² (10 et 30 psf) soit environ 10 fois moins qu'une toiture-jardin traditionnelle avec végétalisation intensive.
- **L'économie:** perceptible au niveau des coûts de la construction et de l'installation, comme pour l'entretien. Celui-ci est réduit au minimum et ne nécessite ni tonte, ni taille, ni désherbage. L'arrosage est inutile sauf en cas de sécheresse prolongée. On estime le temps moyen d'entretien d'une végétalisation extensive à seulement 1h 30 par 100 m² (1100 ft²) par an contre 35 h pour une toiture terrasse jardin traditionnelle.

DÉVELOPPEMENTS RÉCENTS ET TENDANCES EN FRANCE

Les développements actuels et dans un futur proche sont axés sur des préoccupations d'ordre esthétiques, climatiques et techniques.

- **Esthétique:** comme déjà évoqué plus haut, l'inconscient collectif français est fortement influencé par l'esprit paysager et les jardins à la "française". Ceci se traduit dans la demande de toitures végétalisées sous la forme d'un aspect rigoureux et ordonné, ce qui n'est pas toujours facilement réalisable avec cette technique. Toutefois, la recherche d'une diversité d'aspect a permis de créer une "gamme" de végétalisations nettement différenciées, nécessitant la mise au point de substrats et d'associations végétales spécifiques. Un des meilleurs exemples est la mise au point d'un système de tapis végétal de type "gazon", conservant la plupart des avantages de la végétalisation extensive tout en nécessitant un entretien plus important. On parle alors de végétalisation "semi-intensive."
- **Climatique:** la France se caractérise par sa diversité climatique qui précisément est un des charmes de ce pays. Du Nord au Sud et de l'Est à l'Ouest, on peut rencontrer des situations climatiques très diverses. C'est cependant le climat méditerranéen présent dans le Sud-Est de la France et particulièrement sur la Côte d'Azur et en Corse qui a nécessité le plus gros effort d'adaptation. Soleil intense,

chaleur et sécheresse de longue durée en été, souvent froid en hiver, venteux pendant une grande partie de l'année (Mistral), ces régions fortement peuplées représentent un gros marché potentiel pour les végétalisations de toitures. Les substrats ont du être adaptés à ces conditions par le choix d'éléments hydrorétenteurs efficaces sur une longue période, les épaisseurs ont souvent été renforcées et les associations végétales choisies en fonction des espèces naturellement présentes dans ces régions.

Des essais récents attestent que certaines plantes succulentes couvre-sol (Sédum) peuvent résister jusqu'à trois mois sans apport d'eau sur des substrats appropriés.

De nombreuses références attestent maintenant que la végétalisation extensive peut fonctionner de manière satisfaisante sous ce type de climat. Cela pourrait être un exemple pour d'autres régions du Globe où les conditions climatiques sont proches (Floride, Californie, ...).

■ Technique: trois exemples de développement peuvent être cités: l'utilisation sur toiture métallique, la mise en place sur forte pente et la caractéristique de rétention des eaux de pluie.

- La légèreté des systèmes permet leur utilisation sur des toitures industrielles dont l'élément porteur est constitué de tôles d'acier nervurées. De telles réalisations sont maintenant courantes en France, mais il faut à chaque fois s'assurer que la surcharge admissible est suffisante. Des adaptations peuvent être nécessaires par l'augmentation de l'épaisseur des tôles ou par la réduction des portées. Comme la pente de ces ouvrages est obligatoirement supérieure à 3%, il n'y a pas, en principe, de problème d'écoulement des eaux. Toutefois, les "flaches" ne sont jamais exclus. Il faudra donc rester attentif à ce point.
- En matière de végétalisation de toitures, il est d'usage en France de distinguer les techniques en fonction de la pente. Les pentes comprises entre 0 et 5 % (0 à 3° ou 0 à 0.6 in/ft) sont considérées comme techniques "traditionnelles" pour les toitures végétales et ne posent pas de problème particulier. Tous les types de végétalisation sont admis, en intensif ou en extensif.

Les pentes comprises entre 5 et 40 % (3 à 22° ou 0.6 à 4.8 in/ft) sont assez fréquentes et nécessitent une adaptation des procédés. Des systèmes de retenue des éléments constitutifs peuvent être nécessaires en fonction de la pente. Ces dispositions ont fait l'objet de nombreux essais et continuent d'être développées.

Au-delà de 40 % (22° ou 4.8 in/ft), l'installation de végétalisation est encore possible mais doit être étudiée soigneusement au cas par cas. L'emploi des rouleaux préculтивés sur armature imputrescible, fixés mécaniquement, est alors particulièrement efficace.

Dans la plupart des cas de végétalisation en pente, un dispositif anti-érosion devient nécessaire. Celui-ci a aussi fait l'objet de mise au point par la recherche de matériaux biodégradables (p. ex.: tissu ou grille en jute).

- Rétention des eaux de pluie: une des qualités techniques de la toiture végétalisée la plus utile est sans doute sa capacité à retenir temporairement les eaux de pluie. Cette caractéristique continue d'être étudiée avec un très grand intérêt car elle permet dans beaucoup de régions d'offrir une solution efficace, économique et

esthétique au problème de l'engorgement des réseaux d'assainissement et des stations d'épuration. On peut ainsi contribuer à éviter les inondations ou même supprimer la nécessité de prévoir des bassins de stockage temporaire des eaux de pluie. Il est maintenant possible de définir un "coefficient de ruissellement" propre aux végétalisations extensives des toitures.

La végétalisation extensive des toitures présente donc un intérêt exceptionnel en tant qu'outil d'aménagement végétal en ville ou en site périurbain par la possibilité de transformer des milliers de terrasses ordinaires en surfaces végétales, par l'exploitation des techniques au niveau de la conception architecturale et paysagère sur des supports légers et par l'introduction d'une valeur d'environnement écologique en ville.

De plus, il s'agit incontestablement d'un marché en plein développement, potentiel d'activité et de création d'emplois nouveaux dont la France, comme tant de pays, a précisément besoin.

PART 2—EXTENSIVE GREEN ROOFS: IMPACT OF A ROOF MICROCLIMATE ON WINTER DAMAGE AND THE GROWTH OF SIX VARIETIES OF PLANTS USED IN A ROOF GREENING SYSTEM

A research project was carried out by the Horticultural Research Center of Laval University, Quebec City, under the direction of Blanche Dansereau, with the goal of adapting a green roof system to northern American climatic conditions. In November 1994, a greening system was installed on two rooftops with different exposures on the Pavilion of Services of the Agricultural and Food Sciences Faculty. The dead load capacity of this 30-year-old building varied from 60 to 150 kg/m² (12 to 31 psf).

The adaptation potential of 85 perennial plant species was studied over a total surface area of 250 m² (2,688 square feet) using different depths of artificial growing substrate. The plants were selected based on their hardiness and drought resistance. A 36-m² (387-square-foot) plot was specifically used to study the impact of a roof microclimate on winter damage and growth of six plant species in an extensive greening system.

INTRODUCTION

When greening systems are transferred to new climates, the first thing to determine is how the environment will influence the adaptation potential of the plants and their ability to self-regenerate over the long term. Environmental conditions influencing vegetation in green roof systems are mainly the shallow artificial growing substrate and the microclimate. Because the growing substrate places an extra load on building structures, the goal is to use the minimum thickness necessary for plants to become well-established.

Green roofs can be considered large-scale, permanent, soilless growth systems. The shallowness of the growing substrate means that roots are not as protected against variations in heat and water levels as they would be in the ground.

All of the species used in this study were herbaceous perennials. When these plants grow, they do not lignify or form wood in aerial structures. Aerial structures have a short life span, while subterranean and soil surface structures survive from one growing season to the next, giving these plants their perennial nature.

The authors decided to study herbaceous plants first because they are most commonly used in European roof greening systems. In addition, they are vascular plants that are often found in extreme environments, from the highest altitudes to the most northerly latitudes and from deserts to tropical forests.

MATERIAL AND METHODS

In fall 1994, 360 herbaceous plants in 10-cm (4-inch) containers were acclimatized and transplanted into an artificial growing substrate, which was a mixture of organic matter and mineral aggregates. The substrate was specially formulated for optimal density and erosion resistance and was designed to offer maximum permeability and very high water-retention capacity.

Six types of plants, *Ajuga reptans*, *Arenaria verna* Var. *Aurea*, *Armeria maritima*, *Draba aizoides*, *Gypsophila repens* and *Sedum Kamtschaticum* were planted at a density of nine plants per 1.0 m² (10.75 square feet) in three different depths of growing substrate [i.e., 5, 10 and 15 cm (2, 4, and 6 inches)].

Two plant parameters were analyzed in this study: winter damage and growth. Winter damage was measured and analyzed in the spring of 1995 and 1996 using a different evaluation scale elaborated for each plant species. During the summer of 1995, growth was measured every two weeks from May to August for each of the 360 plants in the study.

Air temperature, global solar radiation, and total precipitation were continuously measured starting in December 1994. Substrate temperatures were also recorded using thermocouples linked to an AM416 multiplexer and a CR10 data recorder. Temperature readings were taken every two minutes, 24 hours a day. Averages were determined four times a day starting at 6 a.m.

RESULTS AND DISCUSSION

The results showed a significant impact of growing substrate

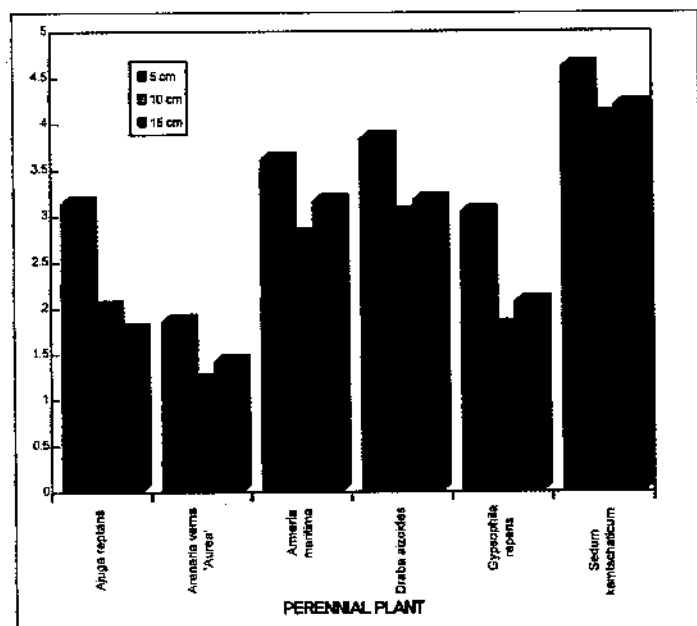


Figure 1.

thickness on the amount winter damage and on the growth of the six types of plants in the research.

Winter Damage

During the winter 1994-1995, there was less winter damage in all plant types grown in 10 and 15 cm (4 and 6 inches) of substrate compared to 5 cm (2 inches). However, there was no significant difference in these damage among plants grown in 4 or 6 (10 or 15 cm) of substrate (Figure 1).

Differences were also noted among plants species. Results obtained after the winter of 1994-1995 enabled the authors to classify the plants into groups according to their acclimatization capacity. *Arenaria verna* Var. *Aurea* plants were more cold-resistant, followed by *Ajuga reptans* and *Gypsophila repens*, which suffered more winter damage. Extreme winter temperatures caused even more damage with *Armeria maritima* and *Draba aizoides* plants. Lastly, plants of *Sedum Kamtschaticum* had the most difficulty adapting to the cold conditions. In the spring of 1996, damage assessments differed slightly.

Hardy perennials for cold climates can suffer winter damage when temperatures drop below freezing. In cold climates, these plants have acquired the ability to survive ice formation in their tissues through the phenomenon of hardening. This adaptation develops gradually during the cold season and disappears when spring arrives. The reversible process is triggered when the plants are exposed to variations in environmental signals, such as a decrease in the photoperiod and a gradual decrease in temperature. Each plant species has its own capacity to survive under a certain lethal temperature. In this study, the differences in the winter damage observed among the different species of plants can be explained by their different capacity of hardening.

Differences in damage suffered during the winters 1994-1995 could be linked to the November 1994 planting date. At the beginning of the cold season, the plants were not rooted yet. In addition, the roots of all the plants had been transversely cut 2 inches (5 cm) from the crown to create uniform experimental conditions. This treatment may have perturbed cold resistance mechanisms more severely in certain plant species. During the next winter (1995-1996), however, plants were well-established over the growing season and hardened before winter conditions. Differences are also due to the location of experimental plots. Less damage occurred where snow remained longer on the plants in the spring. In these areas, the snow provided a frost protection, acting as a thermal insulation for the plants.

Growth

During the summer of 1995, substrate depth had a positive impact on the growth of all the plants being studied. A general increase of the growth was observed when the depth increased from 5 cm (2 inches) to 15 cm (6 inches).

Differences were also detected between plant species. Thus, *Draba aizoides* plants had a very low growth rate. *Sedum Kamtschaticum* plants had a higher growth rate, *Arenaria verna* Var. *Aurea* and *Armeria maritima* plants were third in terms of growth rate, while *Ajuga reptans* and *Gypsophila repens* plants had the best growth rate.

Increased growth rates linked to increased growing substrate thickness can be explained by the greater ease with which root systems become established. Increasing the thickness of the growing substrate provides plants with a greater volume to expand into, which enables the root system to bet-

ter establish itself, resulting in a better-developed aerial system. This also provides plants with a greater ability to resist adverse weather conditions.

Climatic Conditions

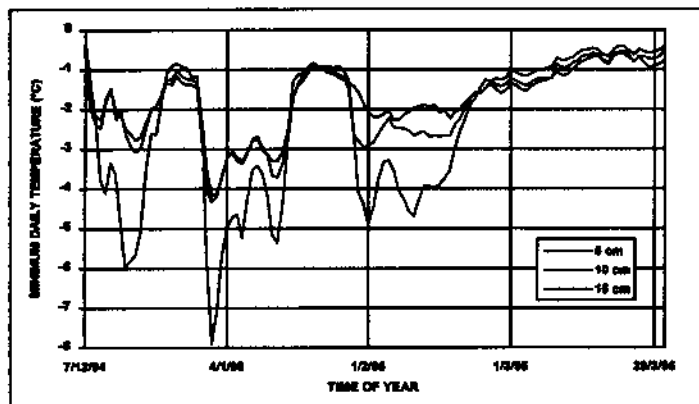


Figure 2.

Measurements of general climatic conditions enabled the authors to evaluate their impact on the thermal regime of the growing substrate. The thermal regime of soil or a substrate consists of a succession of daily and annual temperature cycles whose amplitude decreases with depth and that are delayed in deep layers.

Seasonal and monthly amplitudes fluctuate with latitude and climate, while daily fluctuations are a reflection of constant microclimatic influences: solar radiation, cloud cover, and air and rainwater temperature.

In this study, preliminary data of winter damage suffered by all six plant species during the winter 1994-1995 decreased with increasing substrate depth. These results parallel the decrease in substrate thermal regime fluctuations in the plots with the thickest substrate (Figure 2). Further analysis of data will continue over the next three years to confirm the results over the long term and to increase the selection of plants that can be used for green roofs in this climatic region.

CONCLUSION

The results show that extensive roof greening systems are possible in a North American climate using the plants the authors selected for their experimental green roof. Other types of plants with the same hardiness properties should, thus, also be able to adapt to the difficult conditions encountered on green roofs in cold climates. For those regions, planting should be done before fall for a good establishment of the root system.

To transfer these green roofing systems to other American climatic regions, the authors would recommend to always consider the more extreme climatic factors for the plants' selection. In the region of Canada where this research was carried out, the most severe climatic parameter that could affect their long-term establishment was the cold temperature in winter. In other regions of North America, such as in the southern parts of United States (e.g., Arizona, Florida), the climatic limitations may be linked to the high temperature, the lack of precipitation, or wind. In these region, the characteristics of plants to look for will concern their drought resistance.