

Des toitures-jardins pour une meilleure durabilité des enveloppes des bâtiments

par K.Y. Liu et A. Baskaran

Les concepteurs nord-américains sont de plus en plus nombreux à considérer les toitures-jardins comme une option de conception durable. Le présent numéro résume une étude de terrain sur la performance thermique de cette technologie et sa capacité à retenir les eaux pluviales.

Les toitures-jardins, également appelées toitures vertes ou terrasses-jardins, sont des systèmes de toitures spécialisés aménagés en jardins. Grâce à l'amélioration technique des matériaux et des éléments de toiture, les toitures-jardins peuvent aujourd'hui être

installées sous la plupart des climats. Les concepteurs y trouvent une option de conception nouvelle et attrayante, notamment dans les zones urbaines, où les espaces verts sont relativement limités. Ils y voient par ailleurs une réponse possible aux problèmes

que posent le changement climatique et la durabilité des enveloppes des bâtiments. Mais si la popularité des toitures-jardins ne cesse d'augmenter, leur performance dans les climats froids reste encore mal connue.

Éléments d'une toiture-jardin

Les toitures-jardins, que l'on peut installer sur un revêtement conventionnel ou un revêtement protégé imperméable (figures 1 et 2), nécessitent des éléments additionnels indispensables à la croissance de la végétation : une couche anti-racines, une couche de drainage, une membrane filtrante et un substrat de culture. Ces éléments typiques des toitures-jardins et leurs fonctions sont résumés dans le tableau 1. Selon leur charge structurale, les toitures-jardins sont dites « intensives » ou « extensives » (tableau 2).

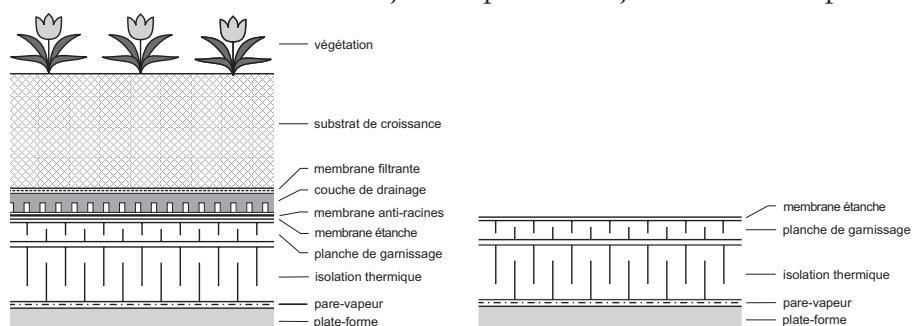


Figure 1. Système de toiture conventionnelle (a) avec toiture-jardin et (b) sans toiture-jardin.

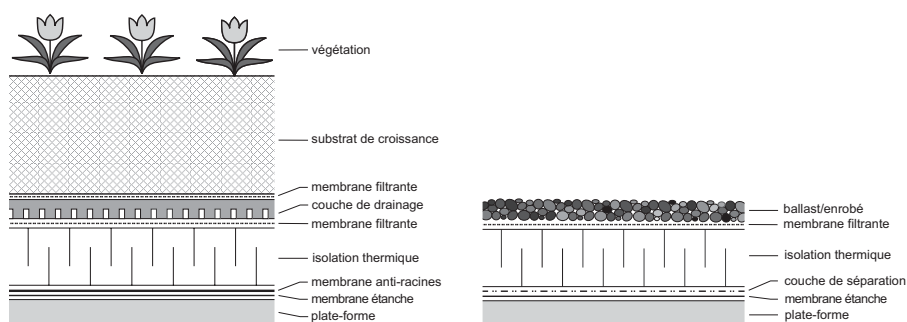


Figure 2. Système de toiture à revêtement protégé imperméable (a) avec toiture-jardin et (b) sans toiture-jardin.

Tableau 1. Éléments additionnels typiques (avec leurs fonctions) des toitures-jardins.

Éléments	Fonctions
Membrane anti-racines	Minimiser les dommages des racines à la membrane. Cet élément pourrait être un agent chimique incorporé à la membrane ou un écran physique, type couche de PVC, de polyester ou de polyéthylène.
Couche de drainage	Enlever les eaux excédentaires du substrat de croissance. Cet élément pourrait être une couche de gravier, des panneaux de mousse polymère ou un matelas polymère très poreux.
Membrane filtrante	Empêcher les fines particules du substrat de croissance de boucher la couche de drainage. Cet élément est généralement un filtre géotextile.
Substrat de croissance	Supporter la croissance des plantes. Sa composition et sa profondeur dépendent de la végétation choisie. Le sol normal est habituellement remplacé par un substrat de croissance artificiel léger pour réduire la charge structurale.
Végétation	Les plantes doivent être choisies pour leur adaptabilité aux conditions climatiques locales. Certaines plantes et certains climats exigent parfois l'installation d'un système d'irrigation.

Tableau 2. Classification des toitures-jardins selon leur charge structurale.

Classification	Charge		Caractéristiques et fonctions	Niveau d'entretien	Accessibilité
	Poids d'un système type	Profondeur du substrat de croissance type			
À végétation extensive	<300 kg/m ²	<200 mm	Décor écologique; visible des bâtiments qui le surplombent ou qui le jouxtent.	Entretien léger – peu ou pas d'irrigation une fois les plantes établies.	Accès limité – rarement visitée, sauf pour les besoins d'entretien.
À végétation intensive	>300 kg/m ²	>200 mm	Donne l'aspect d'un jardin ou d'un parc.	Entretien lourd – irrigation et entretien régulier du jardin	Accessible – offre des espaces verts aux occupants

Les toitures-jardins à végétation intensive sont généralement plus lourdes et demandent plus d'entretien. Elles sont composées d'un substrat de croissance plus profond, capable de soutenir une grande variété de petits arbres et d'arbustes. En raison de leur importante charge structurale, les toitures-jardins à végétation intensive sont habituellement prises en compte dans la conception architecturale d'origine.

Les toitures-jardins à végétation extensive sont composées d'un substrat de croissance peu profond et plus léger qui ne peut soutenir que de petites plantes, comme des herbacées, des graminées et des fleurs sauvages. Nécessitant peu d'entretien, les toitures-jardins à végétation extensive sont généralement plantées de plantes rustiques, spontanées et résistantes à la sécheresse. Grâce à leur faible charge structurale, les toitures-jardins à végétation extensive

peuvent être facilement aménagées sur des bâtiments existants.

Étude expérimentale

Pour étudier la performance des toitures-jardins, les chercheurs de l'IRC/CNRC ont aménagé et comparé un système de toiture-jardin et un système de toiture conventionnelle sur le campus d'Ottawa. Une toiture de type industriel, de faible inclinaison et d'environ 72 m², a été divisée en deux parties égales. La première moitié est une toiture-jardin à végétation extensive reposant sur un substrat de croissance léger de 150 mm de gazon, la seconde (la toiture de référence) une toiture conventionnelle en bitume modifié. Les deux types de systèmes sont composés des mêmes éléments jusqu'à la membrane, ceux d'une toiture traditionnelle au Canada; la toiture-jardin comprend en plus les éléments additionnels qui supportent le substrat de croissance (figure 1).

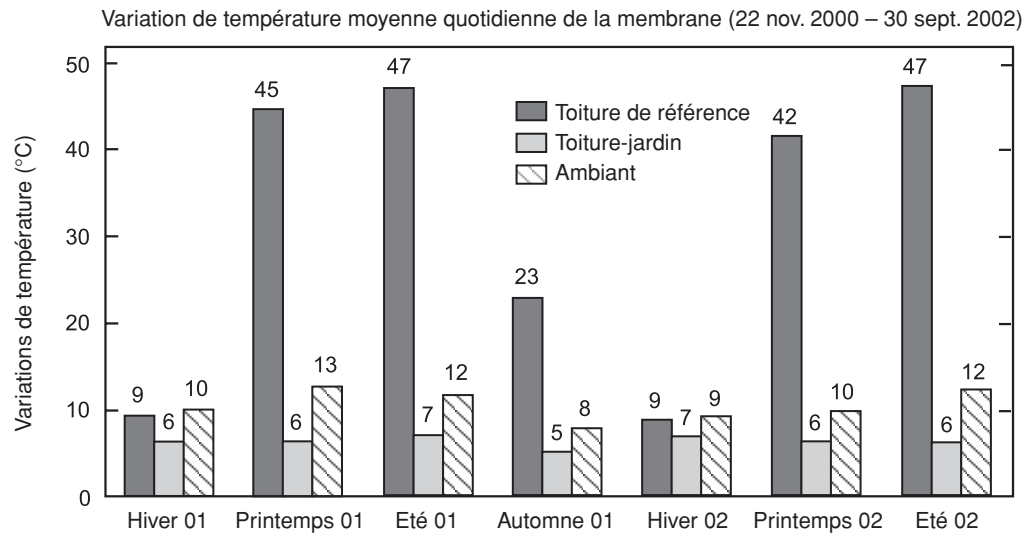


Figure 3. Les relevés de température sur les installations de recherche de l'IRC/CNRC montrent que la toiture-jardin réduit sensiblement les variations de température quotidienne subies par le revêtement de la toiture.

Toiture-jardin et toiture de référence sont équipées toutes deux d'instruments pour mesurer :

- l'écoulement des eaux pluviales;
- la température (mesurée en différentes couches dans le système de toiture et dans le substrat de croissance);
- le flux de chaleur dans le système de toiture;
- la réflexion solaire sur la surface de la toiture;
- la teneur en eau du sol;
- le microclimat de la toiture.

Les conditions météorologiques locales comme la température, l'humidité relative, la pluviosité et le rayonnement solaire sont également surveillés en permanence par deux stations météorologiques situées respectivement sur l'élément de séparation des deux systèmes de toiture et à environ 50 m du site pour la seconde. Tous les capteurs et les instruments de mesure sont reliés à un système d'acquisition de données.

Résultats, conclusions et répercussions

Les données recueillies sur l'installation de recherche pendant les 22 premiers mois de fonctionnement (de novembre 2000 à septembre 2002) sont résumées ci-après.

Profils et variations de température

Le revêtement d'étanchéité peut être négativement affecté par l'exposition à la chaleur, laquelle peut accélérer le vieillisse-

ment des matériaux de la toiture et réduire leur durabilité. Les variations de température peuvent causer des contraintes thermiques dans ces matériaux et affecter ainsi l'intégrité de la toiture. De plus, les rayons ultraviolets peuvent altérer la composition chimique des matériaux de la toiture et dégrader leurs propriétés mécaniques.

La membrane de la toiture de référence a subi des températures sensiblement plus élevées que celle de la toiture-jardin, notamment pendant les mois chauds. Pendant un jour d'été typique, la membrane exposée de la toiture conventionnelle a atteint 70° C dans l'après-midi, tandis que celle de la toiture-jardin est restée à environ 25° C. Pendant l'hiver, les profils de température des deux toitures étaient identiques, en raison de l'effet isolant du manteau de neige.

La membrane de la toiture-jardin a subi des variations de température sensiblement plus faibles pendant les mois chauds que celle de la toiture conventionnelle. Au printemps et en été, la variation de température moyenne quotidienne de la membrane de la toiture-jardin était de 6° C, contre 45° C, pour la membrane de la toiture conventionnelle. Par ailleurs, cette variation de température est restée constamment plus faible que la variation de la température moyenne quotidienne de l'air ambiant (figure 3).

Il est clair que les toitures-jardins peuvent réduire la température du revêtement de la toiture et modifier les variations de tem-

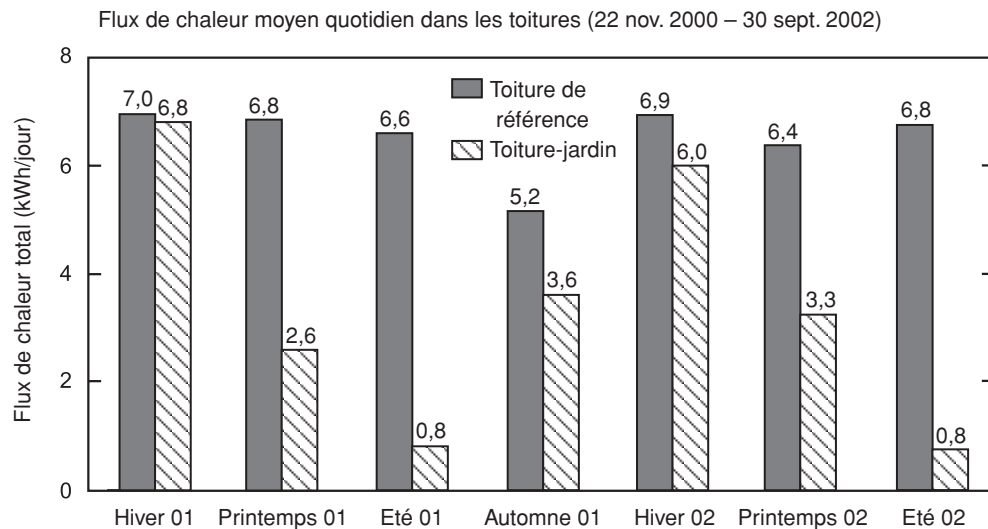


Figure 4. Les mesures de l'énergie sur la toiture échantillon de l'IRC/CNRC montrent que la toiture-jardin réduit sensiblement le flux de chaleur moyen quotidien dans la toiture au printemps et en été.

pérature qu'il subit. Cette réduction de température peut à son tour induire une réduction des effets de la chaleur sur les matériaux de la toiture (détérioration prématurée), comme les faibles variations de température peuvent influencer positivement sur la contrainte thermique de la membrane de la toiture. Cette réduction de la vitesse de détérioration peut signifier une meilleure durabilité et une durée de vie plus longue pour la membrane de la toiture. L'étude a également révélé que les toitures-jardins pouvaient mieux protéger le revêtement de la toiture contre l'exposition aux rayons ultraviolets et la grêle.

Flux de chaleur et efficacité énergétique

Au printemps et en été, la chaleur entre dans les bâtiments par la toiture pendant l'après-midi, en raison du rayonnement solaire, et ne quitte les bâtiments que le soir ou tôt le matin. Il convient alors de refroidir les bâtiments.

En été, le flux de chaleur qui passe par la toiture de référence crée un besoin énergétique moyen quotidien en climatisation de 6,5 à 7,0 kWh/jour (figure 4). Ce besoin en climatisation est inférieur à 1,0 kWh/jour pour la toiture-jardin, soit une réduction de plus de 75 %, certainement attribuable à la présence du substrat de croissance et aux plantes¹⁻³. Ces valeurs de flux de chaleur sont celles de la toiture seulement, et elles ne concernent aucun élément de l'enveloppe du bâtiment.

La toiture-jardin a permis de mieux contrôler les gains de chaleur au printemps et en été qu'elle n'a permis de réduire les pertes de chaleur en automne et en hiver. La raison en incombe aux différents mécanismes thermiques en jeu : ombrage, isolation, évapotranspiration et masse thermique, notamment. Pendant la période d'étude, la toiture-jardin a réduit les gains de chaleur de 95 % et les pertes de chaleur de 26 %, avec une réduction totale du flux de chaleur de 47 % par rapport à la toiture conventionnelle.

Comme la région d'Ottawa est une région où prédomine le besoin de chauffer plutôt que celui de refroidir, les toitures-jardins n'y permettraient que de faibles économies d'énergie. Dans les régions plus chaudes, toutefois, où il s'agira de refroidir plutôt que de chauffer, ces économies seraient bien plus importantes.

En règle générale, les économies d'énergie permises par les toitures-jardins dépendent du climat, du type et de l'efficacité du système de chauffage ou de refroidissement utilisé dans le bâtiment et des sources d'énergie, lesquelles sont spécifiques aux sites. La réduction des besoins énergétiques signifierait toutefois la réduction des émissions de gaz à effet de serre qui accompagnent la production de cette énergie, et c'est là en soi un gain important dans la lutte contre le changement climatique et la protection de l'environnement.

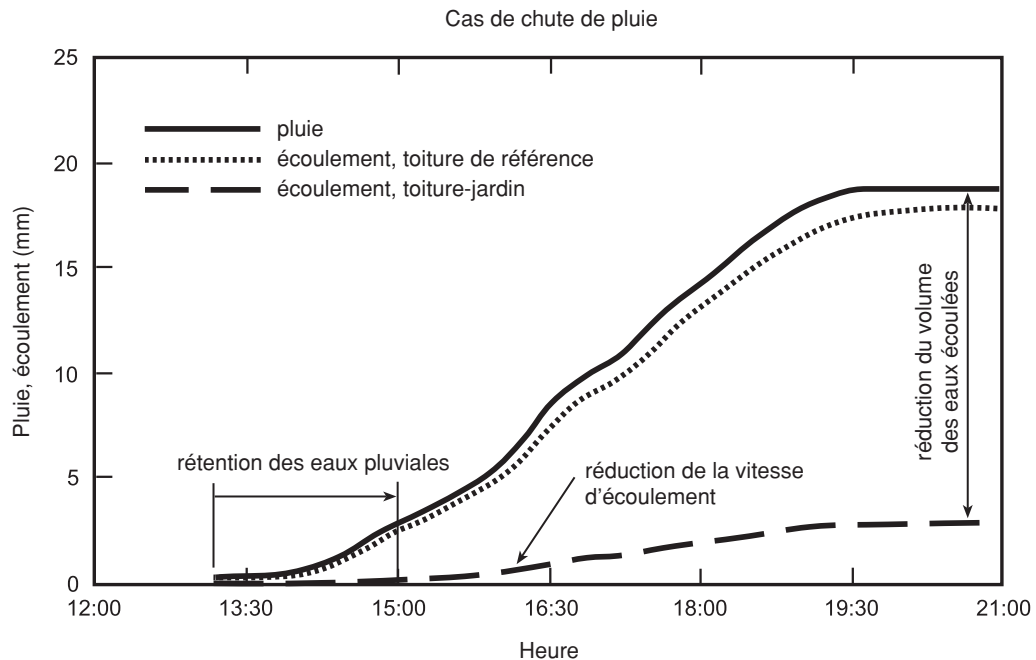


Figure 5. Le graphe de l'écoulement de surface enregistré sur la toiture échantillon de l'IRC/CNRC pendant une chute de pluie montre que la toiture-jardin a retardé l'écoulement des eaux pluviales et réduit le débit et le volume d'écoulement maximum.

Rétention des eaux pluviales

Pendant un orage, l'eau ruisselle des surfaces imperméables comme les toitures et les chaussées pour se déverser dans les égouts pluviaux, causant un afflux soudain dans le système des eaux pluviales. Lorsque les eaux pluviales débordent la capacité des égouts pluviaux, des crues brutales se produisent. Combinées parfois au trop-plein des eaux d'égout (lorsque l'eau des égouts pluviaux déborde dans les égouts sanitaires), elles provoquent alors des problèmes environnementaux et sanitaires⁴.

La toiture-jardin a retardé l'écoulement des eaux pluviales et réduit le débit et le volume d'écoulement maximum. La figure 5 montre l'écoulement de la surface des deux toitures après une chute de pluie de 19 mm pendant 6,5 heures. Sur la toiture-jardin, la rétention de l'écoulement était de 95 minutes et le volume de l'écoulement de 2,9 mm, soit une réduction en volume de 85 %. Sur un an (2002), la toiture-jardin a retenu (et dérivé par évaporation et évapotranspiration) 245 mm des 450 mm de pluie tombés d'avril à septembre, soit une réduction d'écoulement totale de 54 %. Il est fort probable que des toitures-jardins aux substrats plus profonds et plus absorbants, et mieux fournis en végétation, retiendraient

un plus grand volume d'eaux pluviales que le système testé par les chercheurs de l'IRC/CNRC.

La toiture imperméable d'une toiture conventionnelle recouverte d'une couche perméable retarderait l'écoulement des eaux pluviales et réduirait le flux et le volume maximum déversé dans le système d'égouts. Ainsi, « l'heure de pointe » dans les égouts pluviaux au début de l'orage serait évitée, et la réduction du volume total de l'écoulement allègerait la charge du système des eaux d'égout. La réduction du volume des eaux pluviales permise par les toitures-jardins dépend de plusieurs facteurs, dont l'intensité et la durée des précipitations et la teneur en humidité du substrat de croissance avant les précipitations.

Sommaire des avantages potentiels

L'analyse des données recueillies sur les installations de recherche démontre que les toitures-jardins :

- permettent de réduire la température et modifier les variations de température subies par le revêtement de la toiture, prolongeant ainsi sa durée de vie;
- permettent de modifier le flux de chaleur, réduisant ainsi les besoins énergétiques en climatisation, grâce à l'ombrage direct

de la toiture, l'évapotranspiration et à la meilleure isolation fournie par le substrat de croissance et la végétation¹⁻³;

- permettent de réduire les gains de chaleur en été plus que les pertes de chaleur en hiver en raison des mécanismes thermiques en jeu (ombrage et évapotranspiration), entraînant ainsi d'éventuelles économies d'énergie sous les climats où il faut refroidir;
- permettent de retarder l'écoulement des eaux pluviales, réduisant ainsi le flux et le volume maximum déversés dans les égouts pluviaux.

Les systèmes de toitures-jardins sont des systèmes spécialisés qu'il faut concevoir avec soin. Pendant leur construction, il sera important de coordonner les différentes tâches des différents corps d'état et d'effectuer un test de détection des fuites sur la membrane avant et après l'installation de la surcharge (le substrat de croissance et la végétation). Enfin, les propriétaires seront avisés de s'enquérir des travaux et des coûts d'entretien.

Références

1. Christian, J.E. and Petrie, T.W. Sustainable Roofs with Real Energy Savings, Proceedings of the Sustainable Low-Slope Roofing Workshop, ed. Desjarlais, A. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, 1996, p. 99.
2. Eumorfopoulou, E. and Aravantinos, D. The Contribution of a Planted Roof to the Thermal Protection of Buildings in Greece, *Energy and Buildings*, 27:29-36, 1998.
3. Palomo Del Barrio, E. Analysis of the Green Roofs Cooling Potential in Buildings, *Energy and Buildings*, 27:179-193, 1998.
4. Environmental Building News, November 2001, p. 11.

Karen Liu, Ph. D., est agente de recherche au sein de l'équipe Enveloppe du bâtiment de l'Institut de recherche en construction du Conseil national de recherches Canada.

A. Baskaran, Ph. D., est agent de recherche sénior au sein du même programme.

Consortium sur les toitures-jardins du CNRC

Les membres du Consortium sur les toitures-jardins qui ont apporté leur contribution financière et leur expertise technique à l'étude sont : Bakor, l'Association canadienne des entrepreneurs en couverture (ACEC), EMCO, Environnement Canada, Garland, Hydrotech, IKO Industries, Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (TPSGC), Roof Consultants Institute (RCI), Soprema Inc., Tremco, le Laboratoire national d'Oak Ridge (ORNL) et le Fonds d'action pour le changement climatique (FACC).

© 2005
Conseil national de recherches du Canada
Septembre 2005
ISSN 1206-1239