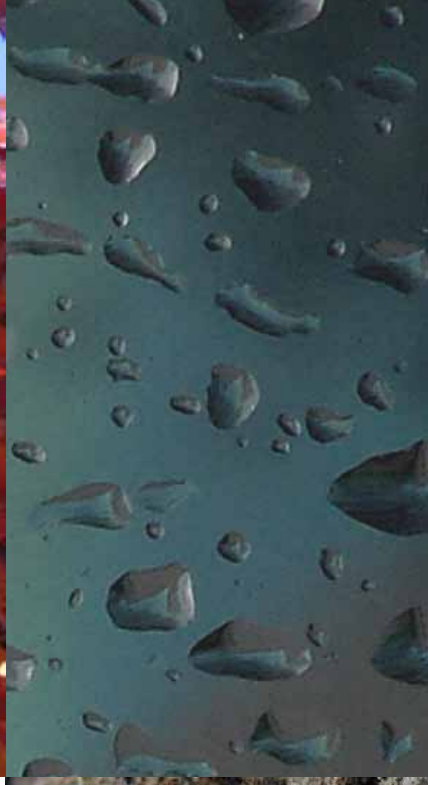

La gestion urbaine durable des eaux pluviales grâce aux arbres et aux sols structuraux

Une nouvelle PGO de l'infiltration permettant d'économiser de l'espace et de réduire les eaux de ruissellement provenant des sites pavés

Publié sous la direction de
Susan Downing Day et de Sarah B. Dickinson

Avec le soutien de

La publication de ce manuel a notamment été rendue possible grâce à une subvention octroyée par le Programme de foresterie urbaine et communautaire du Service des forêts du ministère de l'Agriculture des États-Unis, sur la recommandation du Conseil consultatif national de la foresterie urbaine et communautaire (NUCFAC).

Titre du projet : « Le développement d'une technologie d'infrastructure écologique associant les arbres et les sols artificiels pour réduire les eaux de ruissellement provenant de la chaussée ».

Directrices de la rédaction : Susan Downing Day et Sarah Beth Dickinson

Auteurs collaborateurs : Nina Bassuk, Julia Bartens, Laurence Costello, Joseph E. Dove, Jason Grabosky, Ted Haffner, J. Roger Harris, E. Gregory McPherson, Peter Trowbridge, Theresa Wynn et Qingfu Xiao

Design & Production : Sarah Beth Dickinson

Comment citer ce manuel :

Day, S.D, and S.B. Dickinson (Eds.) 2008. Managing Stormwater for Urban Sustainability using Trees and Structural Soils. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA.

Tous droits réservés © 2008, Susan Downing Day et Sarah Beth Dickinson

Remerciements

Ce manuel est l'aboutissement d'un projet de quatre ans réalisé grâce au travail assidu et aux idées de plusieurs personnes. Nous tenons à souligner le travail accompli par John O. James, Stephanie Worthington, Mona Dollins, Liz Crawley, Velva Groover, Félix Rubén Arguedas, Andy Hillman et plusieurs autres, ayant permis d'achever ce projet.

Auteurs collaborateurs

Nina Bassuk, Ph. D., Professeure et directrice de programme à l'Institut d'horticulture urbaine, Cornell University

Julia Bartens, Assistante à la recherche de troisième cycle, Département d'horticulture, Virginia Tech (poste actuel : étudiante au doctorat, Département de foresterie, Virginia Tech)

Laurence Costello, Ph. D., Spécialiste en éducation des adultes, University of California, Davis

Susan Downing Day, Ph. D., Professeure adjointe, Départements de foresterie et d'horticulture, Virginia Tech

Sarah B. Dickinson, Associée de recherche, Département d'horticulture, Virginia Tech

Joseph E. Dove, Ph. D., Ing., Professeur adjoint de recherche, Département de génie civil et environnemental, Virginia Tech

Jason Grabosky, Ph. D., Professeur agrégé, Département d'écologie, évolution et ressources naturelles, Rutgers University

Ted Haffner, Assistant à la recherche de troisième cycle, Département d'horticulture, Cornell University (poste actuel : architecte paysagiste associé, Terry Guen Design Associates, Chicago, IL)

J. Roger Harris, Ph. D., Professeur et directeur, Département d'horticulture, Virginia Tech

E. Gregory McPherson, Ph. D., Directeur, Centre de recherche en foresterie urbaine de la région du PCW, Service des forêts du ministère de l'Agriculture des États-Unis

Peter Trowbridge, titulaire d'une maîtrise en architecture du paysage, professeur titulaire de la chaire en architecture du paysage, Cornell University

Theresa Wynn, Ph. D., Professeure adjointe, Ingénierie des systèmes biologiques, Virginia Tech

Qingfu Xiao, Ph. D., Chercheur scientifique sur les eaux, Département des ressources foncières, atmosphériques et hydriques, University of California, Davis

Traduction

Traduit de l'anglais au français par Laurence Gendron et Matériaux Paysagers Savaria Ltée.

Table des matières

Introduction **1**

Chapitre 1— Les arbres et les sols structuraux-Description du système **5**

Les arbres imitent les avantages hydrologiques des forêts en ville 6

Les sols structuraux stimulent la croissance des arbres en protégeant la chaussée 7

Les sous-sols 10

Quelques limites concernant l'infiltration dans le sous-sol 11

Chapitre 2— Un système conçu pour satisfaire aux exigences de votre site **13**

Spécifications 13

Les revêtements superficiels 13

Dimensions du réservoir et conception du tuyau de trop-plein 14

Les géotextiles 18
Par Joseph E. Dove

Les arbres et autres plantes 20

Chapitre 3— Les revêtements superficiels **25**

Les sols structuraux et le gazon 25
Par Nina Bassuk, Ted Haffner, Jason Grabosky et Peter Trowbridge

L'utilisation de chaussée poreuse sur les sols structuraux 30
Par Ted Haffner, Nina Bassuk, Jason Grabosky et Peter Trowbridge

Chapitre 4— Recherches et recommandations **33**

La pénétration des racines d'arbres dans les sols compactés augmente l'infiltration 33
Selon les recherches menées par Julia Bartens, Susan Day, Joseph E. Dove, J. Roger Harris et Theresa Wynn, Virginia Tech

Le développement des arbres plantés dans les sols structuraux selon différents taux de drainage 34
Selon les recherches menées par Julia Bartens, Susan Day, J. Roger Harris, Joseph E. Dove et Theresa Wynn, Virginia Tech

Le taux de drainage d'un petit stationnement : site de démonstration de Blacksburg, VA 35
Selon les recherches menées par Mona Dollins, Virginia Tech

Les effets du système sur la qualité de l'eau 36
Selon les recherches menées par Qingfu Xiao, University of California, Davis

Ressources utiles **39**

Annexe **43**

Spécification du CU-Sol structural 43

Spécification du sol structural Carolina Stalite 43

Figures

Figure 1. Eaux de ruissellement typiques d'un stationnement s'écoulant dans un égout pluvial. 1

Figure 2. Ce système sert à la fois de stationnement et d'installation de gestion des eaux pluviales. 2

Figure 3. Exemple de bassin de rétention/stockage à proximité d'un centre de conférences sur le campus de Virginia Tech à Blacksburg, en Virginie. 5

Figure 4. Cette photo montre l'impact du volume de sol disponible sur la croissance des arbres. 7

Figure 5. Sol compacté d'un chantier de construction typique. Son manque de structure empêche les racines d'y pénétrer et de croître. 8

Figure 6. CU-Sol, le sol structural développé à Cornell University dans les années 90. 8

Figure 7. Diagramme conceptuel de sol structural montrant le principe de la compaction pierre-sur-pierre et les espaces interstitiels remplis de sol. 10

Figure 8. L'illustration du haut montre l'utilisation d'un système de remblais de déviation sous la chaussée. La photo de gauche montre l'installation de remblais de déviation et celle de droite montre l'installation de sol structural sur ces remblais de déviation. 16

Figure 9. Vue agrandie de géotextiles tissés et non tissés. 19

Figure 10. Comparaison visuelle entre une feuille de chêne des marais saine (à gauche) et une feuille chlorosée (à droite). 20

Figure 11. Le sol Davis, un sol non porteur (non structural) au taux d'infiltration élevé avec un bon potentiel de stockage des eaux. 21

Figure 12. Zone d'un parc de Chicago où un marché de producteurs a lieu chaque semaine. 25

Figure 13. Simulation photo d'espaces de stationnement recouverts de gazon dans le parc de stationnement d'une grande surface à Ithaca, NY. 25

Figure 14. Plan aérien de lotissements expérimentaux de sol structural et de gazon à Cornell University à Ithaca, NY. 26

Figure 15 Détail de construction de gazon renforcé sur sol structural. 27

Figure 16. En hiver, lorsque le gazon est dormant, le terre-plein central sert d'aire supplémentaire d'entreposage et d'exposition pour les véhicules en stock du concessionnaire. 29

Figure 17. La figure de gauche montre ce qui advient de la pluie qui tombe sur un stationnement traditionnel en asphalte. La figure de droite montre ce qui advient de la pluie qui tombe sur un stationnement en asphalte poreux. 30

Figure 18. Comparaison entre l'asphalte traditionnel (à gauche) et l'asphalte poreux (à droite) lorsque mouillés. 31

Figure 19. Racines d'un frêne ayant pénétré dans le géotextile après que le sous-sol compacté ait été enlevé. 33

Tableaux

Tableau 1. Comparaison entre les propriétés physiques du CU-Sol structural, du Carolina Stalite et du sol de loam limoneux. 9

Tableau 2. Profondeurs de réservoirs et quantités correspondantes de pluie pouvant être absorbées sur la base d'une estimation de 30% d'espace vides au sein du mélange de sol structural (en supposant que le réservoir est vide à la base). 14

Tableau 3. Élimination des polluants suite à un seul évènement pluvio-hydrologique. 37

Tableau 4. Élimination des polluants suite à plusieurs évènements pluvio-hydrologiques. 37

Introduction

Figure 1. Eaux de ruissellement typiques d'un stationnement s'écoulant dans un égout pluvial. Des traces d'huile sont visibles à l'œil nu. Les eaux de ruissellement des stationnements contiennent plusieurs autres polluants tels que divers métaux, des sédiments, du sel et des détritus.
Photo : Susan Day.

L'urbanisation modifie le profil naturel des sols, augmente la surface occupée par les revêtements imperméables et diminue celle du tapis végétal. Ces perturbations augmentent le ruissellement des eaux pluviales au détriment de la recharge des nappes phréatiques, ce qui a un impact négatif sur la qualité de l'eau et les habitats aquatiques. Les répercussions de cette source diffuse de pollution se font ressentir partout dans le monde. Il est nécessaire de trouver des pratiques de gestion optimales (PGO) créatives qui exploitent la capacité de la végétation et des sols à réduire les eaux de ruissellement urbaines. Ce document est l'aboutissement de quatre années de recherche menées à Virginia Tech, à Cornell University et à l'University of California, Davis sur la conception et le fonctionnement d'une PGO des eaux pluviales originale utilisant les arbres d'ombrage et les sols structuraux. Quelques questions demeurent sans réponse pour l'instant mais l'approche présentée dans ce document fonctionne et elle a été mise en oeuvre sur nos sites de démonstration à travers les États-Unis. Nos avons rédigé ce guide afin d'aider d'autres organisations à mettre en place cette PGO. Nous espérons qu'il vous permettra de développer les moyens à votre disposition et de trouver de nouvelles approches pour exploiter le potentiel des arbres en milieu urbain.

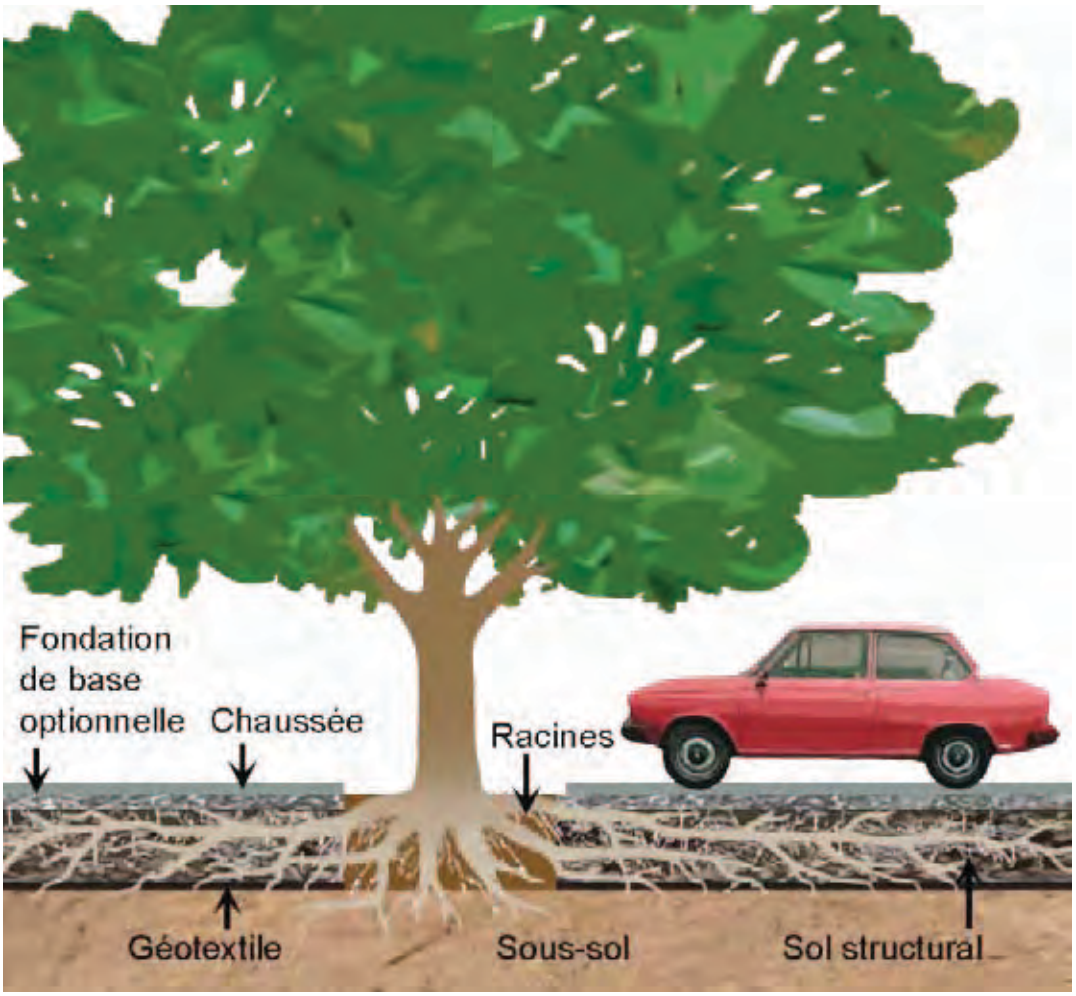

Figure 2. Ce système sert à la fois de stationnement et d'installation de gestion des eaux pluviales. En plus de cette double utilisation de l'espace, les sols structuraux offrent un volume de sol grandement supérieur pour la croissance des racines des arbres que les stationnements construits selon les méthodes traditionnelles.
N.B. L'installation d'une fondation de base en gravier est facultative puisque le sol structural est conçu de manière à être aussi résistant qu'une fondation de base.
Figure : Sarah Dickinson.

Les défis de la gestion des eaux pluviales en milieu urbain

Les milieux urbains posent un défi particulier en raison de l'étendue des surfaces imperméables, de l'endommagement des sols et du manque de place pour les espaces verts et les installations de gestion des eaux pluviales. Les PGO des eaux pluviales ont pour objectifs de réduire les débits de pointe, de réduire le volume des eaux de ruissellement et d'éliminer les polluants. Le système décrit dans ce manuel répond à ces trois objectifs en tirant parti des arbres et des sols structuraux pour contribuer à l'interception, au stockage et à l'infiltration des eaux tout en augmentant le potentiel d'évapotranspiration.

2 Day, S.D. et S.B. Dickinson (eds.) 2008. La gestion urbaine durable des eaux pluviales grâce aux arbres et aux sols structuraux.

La gestion décentralisée des eaux pluviales en milieu urbain

Les techniques de gestion décentralisée des eaux pluviales telles que les rigoles de drainage biologiques sont utilisées pour stocker les eaux pluviales dans plusieurs installations réparties à travers le paysage urbain, au lieu de collecter les eaux de ruissellement dans une installation plus centralisée, comme un bassin de stockage, ou de compter sur un réseau d'égouts pluviaux. Cependant, certains sites ne disposent pas d'une étendue de terrains découverts suffisante pour gérer l'eau collectée s'écoulant depuis les surfaces imperméables environnantes de manière décentralisée. De plus, les sites en grande partie pavés ne peuvent généralement pas accueillir de grands arbres et il est donc impossible pour eux de bénéficier de l'interception par le couvert forestier et de l'influence des racines sur l'hydrologie des sols. Grâce au système décrit dans ce manuel, il devient possible de gérer les eaux pluviales de manière décentralisée en tirant parti de la capacité des arbres à absorber les eaux pluviales, même dans des sites confinés et hautement urbanisés où l'espace réservé à la gestion des eaux pluviales et à la végétation est très limité. Ce système pourrait s'avérer particulièrement utile dans les zones urbaines recourant à l'édification sur terrain intercalaire. De plus, ce système offre une alternative aux bassins de stockage là où le manque d'espace n'est pas encore une préoccupation majeure.

Comment ce système fonctionne-t-il ?

Le système dirige l'eau vers une zone de rétention en sol structural sous la chaussée où elle est temporairement stockée. L'eau quitte ensuite ce réservoir en s'infiltrant dans le sol et grâce à l'absorption racinaire nécessaire à la transpiration des arbres. Puisque le réservoir permet aux racines d'occuper un volume important, les arbres sont en mesure de développer un couvert forestier dense permettant une interception des précipitations accrue. Les racines des arbres absorbent le surplus d'eau et de nutriments dans le réservoir de sol et peuvent favoriser l'infiltration dans le sous-sol. Ensemble, les arbres et les sols structuraux peuvent éliminer complètement les eaux de ruissellement sur un site donné. Dans l'éventualité où l'infiltration, l'absorption par le sol et la consommation en eau des plantes ne suffiraient pas à gérer l'ensemble des eaux pluviales, des tuyaux de trop-plein empêcheront le réservoir de déborder. Jusqu'à maintenant, aucune des installations de démonstration de ce système n'a débordé. Ceci est attribuable à la nature décentralisée du système : le réservoir étant situé sous la chaussée, le rapport entre la superficie du terrain recevant les précipitations et celle du terrain où les eaux pluviales sont traitées est de un à un.

Avant d'opter pour toute PGO, les contraintes du site doivent être évaluées. Ce système est conçu pour être installé sous la chausée; ainsi, la gestion des eaux pluviales est répartie sur l'ensemble du site au lieu d'être limitée aux parties non pavées du site. La capacité du système à traiter une importante quantité d'eau de ruissellement collectée dans les zones environnantes n'a fait l'objet d'aucune évaluation. Les PGO de l'infiltration ne conviennent pas aux sites devant traiter des eaux hautement polluées ou contaminées en raison du risque de contamination des nappes phréatiques. Certaines caractéristiques topographiques ou géologiques sont également susceptibles de limiter l'utilisation des PGO de l'infiltration (voir la section limites au chapitre 1).

Contexte du projet et ressources

Ce manuel est l'aboutissement d'une série d'études de recherche menées à Virginia Tech, à Cornell University et à l'University of California, Davis. Ces recherches visaient à évaluer de nombreux aspects de la PGO originale des eaux pluviales décrite dans le présent document. Les travaux menés à Virginia Tech portaient sur la santé des arbres et le développement racinaire à l'intérieur du système, ainsi que sur la capacité des racines des arbres à augmenter l'infiltration dans le sous-sol lorsque les PGO des eaux pluviales sont mises en oeuvre. À Cornell, de nombreux projets étudiaient les caractéristiques physiques des mélanges de sol structural ayant un impact sur le stockage des eaux pluviales, ainsi que la faisabilité d'un grand nombre de revêtements superficiels dont l'asphalte poreux et le gazon. Les recherches menées par le département des ressources foncières et hydriques de l'University of California, Davis ont permis d'obtenir des données de base sur la capacité de plusieurs mélanges de sol structural à éliminer les polluants typiques contaminant les eaux de ruissellement urbaines. Chaque université s'est associée à des entreprises privées ou à des municipalités pour installer un ou plusieurs site(s) de démonstration afin d'évaluer l'ensemble du système. Dans l'ensemble, le système présenté dans ce document est une réussite. Nous avons rédigé ce manuel afin d'aider les ingénieurs hydrauliciens, les services des travaux publics ainsi que d'autres entités à mettre en pratique cette nouvelle approche, ou certains de ces éléments.

L'organisation du manuel

Ce manuel est conçu dans le but de vous familiariser avec les caractéristiques du système, y compris ses limites, et de vous aider à élaborer un système qui réponde aux besoins de votre site. Les références des rapports de recherche originaux sont fournies ; il est possible de se les procurer dans les bibliothèques universitaires ou en contactant les auteurs. De brefs résumés de ces recherches figurent dans le manuel.

Le **chapitre 1** présente le système de gestion des eaux pluviales, ses caractéristiques et ses limites.

Le **chapitre 2** donne des indications pour la conception d'un système utilisant les sols structuraux et les arbres et répondant aux besoins spécifiques de chaque site.

Le **chapitre 3** décrit les revêtements superficiels pouvant être utilisés conjointement avec cette PGO des eaux pluviales, à savoir le gazon et la chaussée poreuse. L'ensemble de l'information présentée dans cette section est basée sur une série de publications de l'Institut d'horticulture urbaine de Cornell University.

Le **chapitre 4** fait un résumé de plusieurs projets de recherche originaux ayant trait au développement et à l'évaluation de ce système, réalisés par les collaborateurs de ce manuel. Les recherches présentées dans cette section ont notamment été rendues possibles grâce à une subvention octroyée par le programme de subventions pour la foresterie urbaine et communautaire du Service des forêts du ministère de l'Agriculture des États-Unis, sur la recommandation du Conseil consultatif national de la foresterie urbaine et communautaire (NUCFAC).

Chapitre 1— Les arbres et les sols structuraux
Description du système

Figure 3. Exemple de bassin de rétention/stockage à proximité d'un centre de conférences sur le campus de Virginia Tech à Blacksburg, en Virginie. Ce traitement utilise un espace qui pourrait autrement servir à d'autres usages.
Photo : Susan Day.

La gestion des eaux pluviales en milieu urbain pose des défis particuliers : les surfaces pavées et les immeubles génèrent une grande quantité d'eau de ruissellement et laissent peu d'espace pour la construction d'installations de gestion des eaux pluviales ou pour la combinaison de sol et de végétation qui pourrait réduire la nécessité de telles installations.

Le système décrit dans ce manuel cherche à pallier ces limites en utilisant les sols structuraux pour permettre à la fois la croissance d'arbres sains, l'infiltration des eaux et la présence d'une chaussée sur un même terrain. Les systèmes racinaires des arbres et le sol structural où ils évoluent s'associent pour former un réservoir peu profond mais spacieux pouvant capter et stocker les eaux pluviales. Les sols structuraux sont des mélanges de sols artificiels à forte porosité permettant aux racines des arbres de pénétrer aisément dans le sol et aux eaux pluviales de s'infiltrer rapidement et d'être stockées avant de passer dans le sol sous-jacent. Le couvert forestier intercepte efficacement la pluie, ce qui réduit la quantité de pluie au sol et allonge la période du ruissellement dans le système de gestion des eaux pluviales. De plus, les arbres transpirent activement, absorbant l'eau et les nutriments présents dans le réservoir. Lorsque les eaux de ruissellement s'infiltrent dans le sous-sol, les polluants et contaminants peuvent être éliminés des eaux pluviales grâce à la filtration et/ou l'adsorption des eaux pluviales (en particulier dans les sols argileux).

Cette double utilisation des étendues de terrain (par exemple : stationnement et gestion des eaux pluviales) augmente l'efficacité de l'utilisation des sols et permet l'infiltration des eaux sur un grand secteur, ce qui se rapproche davantage de l'hydrologie naturelle que les systèmes de gestion des eaux pluviales qui concentrent le débit d'orage. De plus, un couvert forestier dense augmente les possibilités pour la pluie de retourner dans l'atmosphère grâce à l'évapotranspiration et à l'interception

et le stockage des précipitations opérés par le couvert forestier. Dans la suite de cette section, les composantes spécifiques de ce système, soit les arbres et les sols structuraux, seront présentées.

Les arbres imitent les avantages hydrologiques des forêts en ville

Les forêts naturelles, grâce à leur couvert forestier dense, à leur importante surface foliaire et à leurs sols perméables, gèrent efficacement les eaux pluviales au moyen de l'interception et de l'infiltration, permettant ainsi à l'eau de retourner dans les nappes phréatiques et dans l'atmosphère tout en protégeant la qualité des eaux de surface. Cependant, il est difficile de reproduire les éléments de ce cycle hydrologique en milieu urbain puisque les bâtiments, les infrastructures, les individus et les plantes et animaux acclimatés sont en concurrence pour les ressources en sols.

De plus, il est généralement reconnu que les forêts urbaines constituent un moyen efficace de gérer les eaux pluviales. À l'instar de leurs homologues des forêts, les arbres urbains interceptent la pluie, dirigent les précipitations vers le sol en laissant l'eau s'écouler le long de leur tronc et absorbent les eaux pluviales par leurs racines. De plus, lorsqu'elles parviennent à pénétrer à travers des couches de sols urbains généralement imperméables pour rejoindre des zones plus perméables, les racines des arbres urbains ont le potentiel d'augmenter le taux d'infiltration des eaux pluviales. Cependant, le couvert forestier urbain (et donc l'interception des eaux de pluie) est considérablement limité par les conditions du sol urbain telles que la compaction, le volume d'enracinement réduit et le pH élevé. Dans les zones urbanisées, même les terrains découverts sont généralement perturbés ou compactés, inhibant ainsi les fonctions hydrologiques normales du sol. Le système présenté ici aborde directement les limites des sols urbains dans le but de soutenir le développement de la végétation et de gérer les eaux pluviales. Le système offre un milieu racinaire hautement perméable pouvant accueillir de grands arbres, permettant ainsi de bénéficier des avantages de la forêt en ville.

« … les arbres urbains interceptent la pluie, dirigent les précipitations vers le sol en laissant l'eau s'écouler le long de leur tronc et absorbent les eaux pluviales par leurs racines. »

D'autres avantages des arbres

- Ombrage, réduction de la température ambiante
- Réduction de la pollution atmosphérique
- Qualités esthétiques

Pour toutes informations additionnelles, veuillez consulter le site www.fs.fed.us/psw/programs/cufr/

« … le couvert forestier urbain (et donc l'interception des eaux de pluie) est considérablement limité par les conditions du sol urbain telles que la compaction, le volume d'enracinement réduit et le pH élevé. »

Day, S.D. et S.B. Dickinson (eds.) 2008. La gestion urbaine durable des eaux pluviales grâce aux arbres et aux sols structuraux.

Les sols structuraux stimulent la croissance des arbres en protégeant la chaussée

Dans quel objectif les sols structuraux ont-ils été conçus ?

En règle générale, les sols sous la chaussée sont compactés afin de satisfaire aux exigences d'ingénierie permettant de supporter le poids des véhicules, de la chaussée et des installations. Malheureusement, la vie végétale ne peut généralement survivre dans les sols compactés à cette fin. Les racines ne peuvent pénétrer dans les sols très denses. De plus, la compaction du sol détruit sa structure en écrasant les pores, soit ces grands interstices nécessaires afin que les racines bénéficient de suffisamment d'air et d'eau. Par conséquent, le sol peut supporter la chaussée mais ne peut accueillir d'arbres. Les sols structuraux sont conçus afin de satisfaire aux exigences en termes de support de la chaussée tout en laissant suffisamment d'espace pour les pores qui permettent aux racines de croître. Pour ce faire, les sols structuraux doivent être fabriqués avec soin et testés en fonction de spécifications prédéfinies.

Un bon sol structural dispose de caractéristiques reconnues en termes de rétention en eau, de drainage et de capacité portante. Il doit être possible de le compacter jusqu'à 95% de la densité Proctor standard tout en maintenant la possibilité pour les plantes de croître. Il doit également avoir fait ses preuves dans la recherche et faire l'objet de bonnes pratiques. Les mélanges de pierres et de sols ne sont pas tous des sols structuraux. Plusieurs soi-disant sols structuraux ont subi des revers majeurs lorsque les praticiens croyaient avoir fait l'achat d'un bon sol alors que celui-ci n'était en réalité qu'un mélange non testé n'ayant fait l'objet d'aucune vérification par la recherche. Bien que les deux sols présentés dans ce document aient été testés de manière approfondie, chaque produit devrait tout de même être évalué après l'installation afin de s'assurer que le produit fini soit conforme aux normes de la spécification. Le CU-Sol Structural devrait être acheté auprès de producteurs autorisés, ceux-ci étant soumis à l'obligation de tester leurs matériaux afin de se conformer à une spécification fondée sur la recherche.

Figure 4. Cette photo montre l'impact du volume de sol disponible sur la croissance des arbres. Ces deux rangées de chênes à feuilles de saule ont été plantées au même moment sur Pennsylvania Avenue, à Washington DC, à gauche dans des fosses de plantation et à droite dans un milieu ouvert.
Photo : Nina Bassuk.

Figure 5. Sol compacté d'un chantier de construction typique. Son manque de structure empêche les racines d'y pénétrer et de croître. *Photo : John W. Layman.*

Le fonctionnement des sols structuraux

Les sols structuraux sont conçus pour satisfaire aux exigences de compaction des stationnements, des routes et d'autres surfaces pavées tout en permettant aux racines des arbres de pénétrer sous la chaussée. Les systèmes racinaires excavés de sols structuraux ont démontré que l'enracinement profond des arbres dans ces sols semble empêcher le soulèvement des trottoirs, de leurs bordures et des caniveaux par les racines d'arbres. Le sol structural peut ainsi permettre d'augmenter le volume de sol disponible pour les racines d'arbres dans les places publiques, les stationnements et les autres zones pavées.

Figure 6. Le CU-Sol, le sol structural développé à Cornell University dans les années 90. Les particules de sol du substrat sont clairement visibles ; les éléments nutritifs qu'elles contiennent et leur capacité de rétention en eau permettent la croissance de racines saines. *Photo : Ted Haffner.*

Il existe plusieurs types de sol structural qui sont tous basés sur le même principe : de grosses particules « structurales », généralement des pierres angulaires, forment une matrice qui répartit le poids de la chaussée et des installations sur toute la surface du sous-sol porteur grâce au contact pierre-sur-pierre. Les espaces entre les particules structurales sont ensuite comblés par un sol minéral de qualité supérieure disposant d'une bonne capacité de rétention en eau et d'un bon état d'ameublissement. Un hydrogel servant d'agent poisseux est souvent ajouté au sol minéral, empêchant ainsi la ségrégation du sol durant le mélange et l'installation. Les sols structuraux compactés forment une matrice rigide au sein de laquelle le sol constituant le milieu d'enracinement est suspendu entre les vides communicants de la matrice de pierres. Les racines peuvent facilement pénétrer dans ce sol minéral non compacté situé entre les pierres de la matrice compactée. Lorsque les racines poussent dans le sol structural, il semble qu'elles encapsulent la matrice de pierres plutôt que de la déplacer ou qu'elles se déforment temporairement pour s'immiscer entre les pores les plus petits. Comme les pierres constituent l'élément porteur du sol structural, les agrégats utilisés doivent être conformes aux normes régionales ou provinciales du ministère des Transports concernant la fondation de base des sites pavés.

- Adaptation de Bassuk, et al. 2005

8 Day, S.D. et S.B. Dickinson (eds.) 2008. La gestion urbaine durable des eaux pluviales grâce aux arbres et aux sols structuraux.

	CU-Sol structural	Stalite	Sol seulement
Porosité totale	26%	32%	34%
Porosité des macropores (% de la porosité totale)	31%	39%	2,20%
Taux d'infiltration	>60cm/h	>60cm/h	1,24cm/h
Humidité disponible des plantes	7%	9,80%	n/a

Tableau 1. Comparaison entre les propriétés physiques du CU-Sol structural, du Carolina Stalite et du sol de loam limoneux. N.B. Les spécifications du Stalite exigent généralement un loam sableux mais l'humidité disponible pour les plantes a été évaluée en utilisant le même loam argileux limoneux dans les espaces interstitiels que celui du CU-Sol structural.
Les informations du tableau sont tirées de Haffner, E.C. 2008.

L'histoire du sol structural

Ce manuel traite des techniques de gestion des eaux pluviales où celles-ci sont stockées dans des réservoirs de sol structural sous la chaussée. Le premier de ces sols, le CU-Sol structural (Amereq Inc., New York, NY), a été développé à Cornell University à Ithaca, New York, au milieu des années 90 afin de s'attaquer au problème de l'insuffisance des volumes de sol permettant aux racines des arbres de croître. Ce nouveau type de mélange de sol résulte de recherches visant à trouver un moyen de créer un substrat permettant à la fois aux racines des arbres de croître de manière adéquate et de supporter le revêtement de bitume des trottoirs, des rues et des stationnements. La capacité portante des sols structuraux les définit en les différenciant des autres types de sol. Depuis l'invention du CU-Sol structural, d'autres sols structuraux aux composantes différentes ont été développés (par exemple le Carolina Stalite, un schiste argileux se dilatant à la chaleur, par la Carolina Stalite Company, Salisbury, NC). Les composantes structurales du Carolina Stalite sont plus poreuses et légères que le gravier employé dans le CU-Sol structural. Comme la surface de la matrice de pierres est rugueuse, il n'est pas nécessaire d'utiliser un agent poisseux pour empêcher la ségrégation lors du mélange.

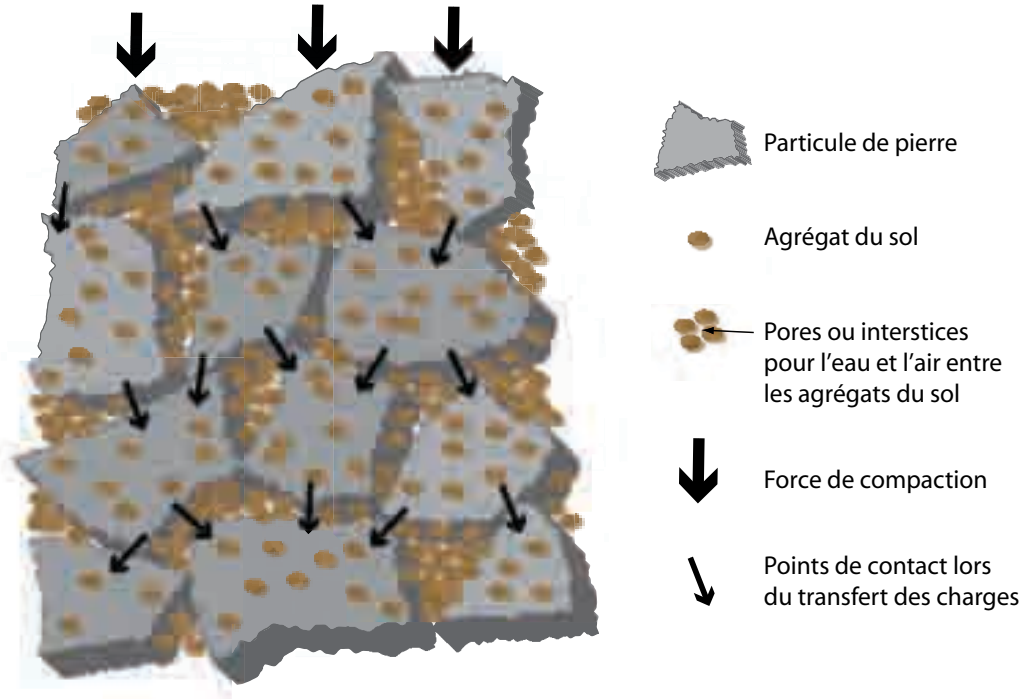

Figure 7. Diagramme conceptuel de sol structural montrant le principe de la compaction pierre-sur-pierre et les espaces interstitiels remplis de sol.
Figure : Sarah Dickinson. Adaptation d'une figure réalisée par Nina Bassuk.

Les sous-sols

L'ultime composante de ce système est le sous-sol existant sur la base duquel le réservoir de sol structural est construit. Pour que le système fonctionne de manière optimale et permette le développement de racines saines, le réservoir d'eaux pluviales doit se vider en deux jours maximum. Lorsque le sous-sol est perméable ou comprend certaines zones perméables, il est probable que l'infiltration soit rapide car la circulation latérale de l'eau dans les sols structuraux est extrêmement rapide. Lorsque des sols imperméables se situent au-dessus de couches perméables, la pénétration des racines dans le sous-sol peut éventuellement améliorer l'infiltration (voir au chapitre 4 : La pénétration des racines d'arbres dans les sols compactés augmente l'infiltration), mais les modèles devraient pallier l'infiltration insuffisante en prévoyant l'installation de tuyaux de trop-plein (voir l'encadré bleu à la page 15). Bien qu'il ne soit généralement pas nécessaire d'installer un géotextile de séparation sous les sections de sol structural, lorsque le sol structural est utilisé comme réservoir pour les eaux pluviales, le sous-sol peut parfois devenir saturé, ce qui diminue la résistance du sol. Un ingénieur en géotechnique devrait donc toujours être consulté afin d'évaluer l'opportunité d'installer un géotextile de séparation entre le sous-sol et les composantes du sol structural (voir la section Géotextiles).

Quelques limites concernant l'infiltration dans le sous-sol

Les PGO de l'infiltration ne peuvent être utilisées sur tous les sites. Un ingénieur en géotechnique peut déterminer si l'infiltration est une PGO adaptée à une situation spécifique. Dans certains cas, des ajustements mineurs au modèle peuvent être suffisants afin de recourir à l'infiltration mais certaines situations ne sont absolument pas compatibles avec les techniques d'infiltration. Voici une liste non exhaustive des limites :

- Lorsque les eaux pluviales contiennent des concentrations élevées de contaminants et/ou de polluants, l'infiltration peut s'avérer inappropriée en raison du risque de contamination des nappes phréatiques. Il est essentiel de prendre connaissance des règlements locaux.

- Les sites au sol très rocailleux, dont la fondation rocheuse est près de la surface, dont la nappe phréatique est à moins de 4 pieds de la surface, avec un drainage limité ou à l'inclinaison très abrupte ne sont pas appropriés aux PGO de l'infiltration.

- Les sites à la géologie karstique sont exposés à un risque de contamination des nappes phréatiques car les effluents peuvent passer directement dans les nappes sans qu'aucun contaminant ou polluant ne soit éliminé du sol au préalable.

- D'autres facteurs tels que les coûts et la faisabilité peuvent également jouer dans certaines régions. Le Carolina Stalite est produit dans l'est des États-Unis et, en raison des frais de transport élevés, son utilisation n'est pas recommandée dans les régions de l'ouest d'un point de vue pratique.

Références

Bassuk, N.L., J. Grabosky, and P. Trowbridge. 2005. Utiliser le CU-Sol structural dans un environnement urbain. Urban Horticulture Institute, Cornell University, Ithaca, NY.

Haffner, E.C. 2008. Porous asphalt and turf: exploring new applications through hydrological characterization of CU Structural Soil® and Carolina Stalite Structural Soil. Master's Thesis. Department of Horticulture, Cornell University.

12 Day, S.D. et S.B. Dickinson (eds.) 2008. La gestion urbaine durable des eaux pluviales grâce aux arbres et aux sols structuraux.

Chapitre 2— Un système conçu pour satisfaire aux exigences de votre site

La conception d'un site durable exige que diverses professions se coordonnent et se consultent. Par exemple, un ingénieur en géotechnique peut déterminer si cette PGO de l'infiltration peut être utilisée sur votre site en fonction de sa géologie souterraine et de sa topographie.

Un ingénieur hydraulicien peut évaluer la quantité d'eau que le système devra être en mesure de gérer. En plus de la quantité d'eau, il devrait connaître les contaminants et polluants contenus dans les eaux pluviales ainsi que les règlements et permis exigés dans votre région.

Il est recommandé de consulter des horticulteurs, des ingénieurs forestiers et d'autres professionnels qualifiés des plantes lors de la phase de conception afin de choisir des espèces d'arbres et d'autres plantations qui se développeront bien en fonction du modèle du système utilisé et du climat.

- Les données pluviométriques locales et les calculs des eaux de ruissellement permettent de déterminer la profondeur minimale du réservoir de sol structural. Le réservoir peut être conçu de façon à être en mesure de gérer un évènement de précipitation spécifique (par exemple, une tempête qui ne survient qu'une fois tous les 25 ans).
- Pour une croissance optimale des arbres, les modèles doivent prévoir une profondeur et un volume de sol structural suffisants (voir la section Dimensions du réservoir).
- Il importe de connaître le type de sol et les niveaux saisonniers des nappes phréatiques sous le réservoir. Le drainage des sols argileux est beaucoup plus lent que celui des sols sableux, ce qui a un impact sur la quantité d'eau que le réservoir peut accueillir et sur les taux d'infiltration et de recharge des nappes phréatiques par l'écoulement des eaux du réservoir dans le sous-sol.
- Il se peut que les mesures de l'infiltromètre ne reflètent pas avec précision les taux de drainage du réservoir dans son ensemble car la circulation latérale de l'eau dans les sols structuraux est très rapide et les zones d'infiltration rapide peuvent ainsi avoir un effet démesurément important.

Spécifications

Les revêtements superficiels

L'objectif de cette PGO est de gérer les eaux pluviales provenant des environs immédiats. Elle ne doit pas être utilisée pour gérer de grandes quantités d'eaux pluviales convergeant depuis les territoires environnants. Dans tous les cas, le système implique que l'eau soit dirigée vers un réservoir de sol structural sous la surface du sol. Deux options sont disponibles pour ce système et peuvent être utilisées seules ou en combinaison :

Option 1 : La chaussée poreuse

La chaussée poreuse permet à la pluie qui tombe sur la chaussée de s'infiltrer directement à travers le revêtement surface et dans le réservoir de sol structural sous-jacent. En règle générale, les taux d'infiltration sont très élevés et bien supérieurs à l'intensité de la plupart des précipitations. Il existe plusieurs types de chaussée poreuse et de nouvelles options continuent d'être développées. Pour obtenir des renseignements additionnels sur les alternatives à la chaussée imperméable traditionnelle, prière de se reporter au chapitre 3.

Option 2 : La chaussée imperméable traditionnelle

L'eau peut également être aisément dirigée sous une chaussée traditionnelle. Les sols structuraux permettent une circulation latérale rapide de l'eau, ce qui signifie que l'eau pénétrant dans un système de sol structural à un endroit donné atteindra son propre niveau en se répandant dans le réservoir en fonction de la topographie du sous-sol. Des rigoles de drainage en gravier au bord des zones imperméables permettent à l'eau d'entrer dans le système. Ce système peut également être utilisé comme système de secours avec une chaussée poreuse lorsque l'on craint son obstruction.

Dimensions du réservoir et conception du tuyau de trop-plein

Si l'on souhaite pouvoir atténuer les effets de toutes les tempêtes, il importe d'obtenir des données pluviométriques précises auprès des stations météorologiques locales. Pour aider à déterminer la profondeur adéquate du réservoir permettant de gérer tout évènement de précipitation, le tableau ci-contre (tableau 2) peut être utilisé. Les informations qu'il contient sont basées sur une estimation conservatrice de la porosité totale d'un sol structural standard, soit 30%. Si vous calculez la porosité totale réelle de votre mélange particulier de sol structural, il est possible d'ajuster le tableau en conséquence. Il est important de noter que si une profondeur de moins de 24'' permet de gérer et d'atténuer les effets d'un évènement pluvio-hydrologique avec des précipitations allant jusqu'à 5,4'' en moins de 24 heures, pour les grandes espèces d'arbres, une profondeur de réservoir entre 24'' et 36'' est préférable.

Importance de l'évènement de précipitation (en pouces)	Profondeur de réservoir requise (en pouces)
1,8	6
3,6	12
5,4	18
7,2	24
9	30
10,8	36

Tableau 2. Profondeurs de réservoirs et quantités correspondantes de pluie pouvant être absorbées sur la base d'une estimation de 30% d'espace vides au sein du mélange de sol structural (en supposant que le réservoir est vide à la base). L'encadré gris indique les profondeurs requises afin de favoriser le développement optimal de racines d'arbres saines.
Tableau : Ted Haffner.

Même si un réservoir de sol structural est un excellent moyen d'assurer la collecte des eaux pluviales et de ruissellement conformément aux directives établies par le système de permis NPDES (National Pollutant Discharge Elimination System) et de diminuer la pression exercée sur les réseaux municipaux de collecte des eaux pluviales, il se peut que certains évènements de précipitation génèrent une telle quantité d'eaux de ruissellement que le réservoir souterrain ne soit pas en mesure de les absorber entièrement. L'installation d'un tuyau de trop plein au-dessus du niveau de rétention des eaux pluviales prévu pour le réservoir peut permettre d'éviter la défaillance du système lors d'évènements météorologiques extrêmes.

La combinaison des deux systèmes permet d'éviter la défaillance du système.

1. Les réservoirs de sol structural d'une profondeur prédéterminée permettent le stockage et l'infiltration des eaux afin d'alimenter les nappes phréatiques, si les conditions du sol sous le réservoir le permettent.

2. Des infrastructures de canalisation traditionnelles peuvent être installées à un niveau suffisamment élevé pour empêcher l'eau de refouler sous la chaussée si le réservoir déborde en raison d'évènements pluvio-hydrologiques multiples. La combinaison de ces deux systèmes permet d'assurer que le système fonctionnera lors de pluies plus importantes que la capacité prévue du système.

La position du **tuyau de trop-plein** devrait être déterminée en fonction du taux d'infiltration du sous-sol. Idéalement, ce taux d'infiltration devrait être calculé pour le site en entier, puisqu'un taux d'infiltration rapide dans une zone peut permettre de drainer l'eau de zones moins perméables. Cependant, si cela s'avérait impossible, une série de tests devrait être réalisée au moyen d'un infiltromètre après avoir creusé le réservoir. Si l'infiltration est insuffisante pour que l'eau s'écoule de la zone des racines (les 18 à 24 pouces supérieurs du sol structural) dans un délai de 48 heures, cela signifie que le réservoir de sol structural doit être plus profond ou alors qu'un tuyau de trop-plein doit être installé afin que si l'eau monte jusqu'au niveau de la zone des racines, elle puisse s'écouler par le tuyau.

Conseils utiles

- Le système devrait être conçu de manière à pouvoir absorber toutes les eaux de ruissellement, quelle que soit l'ampleur de l'évènement pluvio-hydrologique. Dans la plupart des cas, le système peut être conçu de manière à pouvoir absorber toutes les eaux de ruissellement résultant d'une pluie de récurrence 100 ans. Au minimum, la conception du système devrait permettre de gérer un évènement dont l'ampleur atteint 90% de la quantité annuelle totale d'eaux de ruissellement dans votre région.
- Quant à l'infiltration, l'eau ne devrait pas rester dans les 18 à 24 pouces supérieurs du réservoir plus longtemps que 48 heures. Au-delà de ce délai, la présence d'eau dans la zone des racines est susceptible de compromettre l'implantation, la croissance, la santé et la stabilité des arbres et de leur système racinaire.

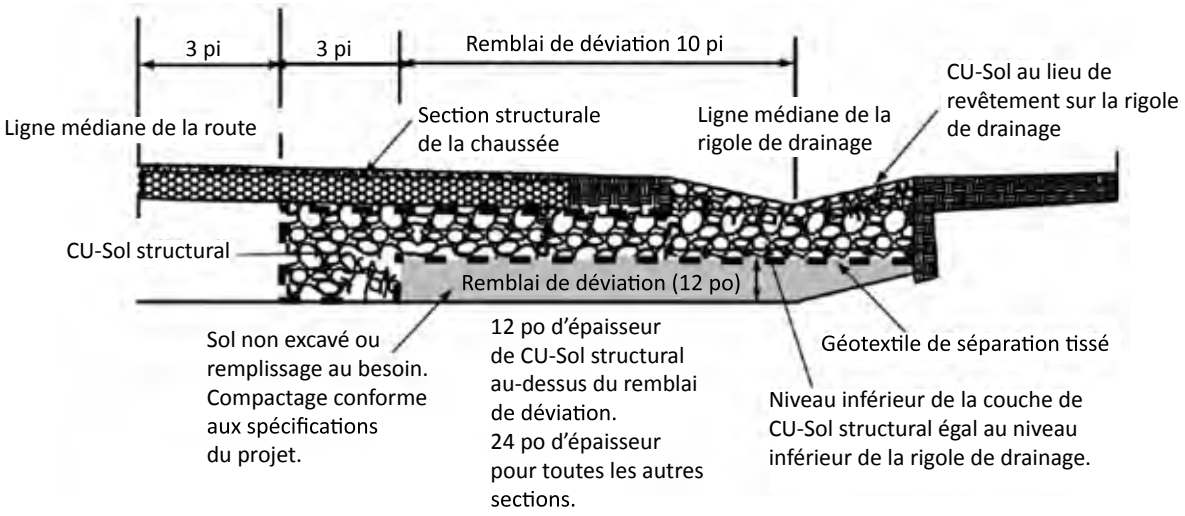

Figure 8. L'illustration du haut montre l'utilisation d'un système de remblais de déviation sous la chaussée. La photo de gauche montre l'installation de remblais de déviation sous une voie d'accès. Les remblais de déviation sont entourés en rouge. La photo de droite montre l'installation de sol structural sur ces remblais de déviation.
Figure Joe Dove. Photos Susan Day.

Un drainage additionnel peut être nécessaire pour gérer les inondations résultant d'évènements pluvio-hydrologiques extrêmes. Même si le sol structural est très poreux, une inondation aura lieu si l'eau s'écoule du système par l'infiltration à un rythme plus lent qu'elle y entre en raison de la pluie et du ruissellement (voir la section Dimensions du réservoir ci-dessus).

Selon les spécifications du CU-Sol structural, le sol minéral contenu dans le mélange doit être un loam argileux lourd ou un loam contenant au moins 20% d'argile, en raison de sa meilleure capacité de rétention en eau et en nutriments. Les mélanges de sol structural Carolina Stalite comprennent un loam sableux car les particules structurales poreuses ont aussi une bonne capacité de rétention en eau, mais d'autres sols à la texture plus fine (contenant plus d'argile) peuvent également être utilisés. Le sol structural devrait aussi contenir entre 2 et 5% de matières organiques afin d'assurer la rétention en nutriments et en eau tout en stimulant l'activité microbienne bénéfique.

 Day, S.D. et S.B. Dickinson (eds.) 2008. La gestion urbaine durable des eaux pluviales grâce aux arbres et aux sols structuraux.

Les sites plats et en pente

Est-il nécessaire de construire le réservoir sur un terrain plat ? Un réservoir plat ou presque plat favorise une distribution optimale des eaux pluviales, permettant de pleinement exploiter la capacité d'infiltration du sous-sol. Cependant, il est possible de concevoir un système en pente de deux manières. Premièrement, le sous-sol peut être excavé de manière à former une série de terrasses. Cette méthode convient aux aires de stationnement légèrement inclinées, par exemple. Deuxièmement, des remblais de déviation (figure 8) peuvent être utilisés pour diriger l'eau sous la chaussée dans une pente. Cette technique a été utilisée pour une voie d'accès à Blacksburg, en Virginie. Les eaux de ruissellement recueillies par des rigoles de drainage le long de la route étaient ensuite dirigées sous la chaussée au moyen de remblais de déviation croisant les rigoles de drainage. Dans de tels cas, un drainage adapté doit permettre de réduire la pression sous la chaussée. Comme le réservoir permet à l'eau de s'écouler le long de la pente, il ne la stocke pas et il est donc possible que l'infiltration soit minime.

Une conception favorisant la bonne croissance des arbres est la clé de la réussite du système

Une terre végétale de qualité et bien drainée peut être utilisée autour des arbres nouvellement plantés si l'ouverture dans le béton est assez grande. Si ceci n'est pas pratique, la motte de l'arbre peut être plantée directement dans le sol structural. Dans les régions au climat plus sec, l'implantation de certaines espèces d'arbres directement dans le sol structural peut nécessiter une irrigation fréquente en raison de la porosité élevée du sol. Les racines d'arbres doivent établir un bon contact avec le sol avant d'être en mesure d'extraire l'eau de la matrice du sol efficacement. Les espèces d'arbres résistant mal à la sécheresse lors de la phase d'implantation (par exemple, les chênes bicolores ou Quercus bicolor) peuvent exiger plus de soins en termes d'irrigation pendant un ou deux ans suite à leur plantation. Comme le sol structural offre un volume important de sol aux racines d'arbres, l'irrigation peut cesser d'être nécessaire suite à l'implantation. Encore une fois, cela dépend du climat et il serait pertinent de faire appel à l'expertise d'un professionnel des plantes connaissant bien la région.

Bien que l'humidité totale par volume de sol structural soit inférieure à celle du sol conventionnel (environ 16% par rapport à une normale de 25% pour le sol agricole), l'humidité disponible pour les plantes au sein de la matrice du sol structural est en fait assez comparable à celle d'un sol de jardinage normal (environ 8 à 11% par volume). Les plans d'aménagement paysager traditionnels pour les sites pavés prévoient d'entourer la fosse de plantation de matériaux empêchant la pénétration et la croissance des racines. Comme les sols structuraux augmentent le volume d'enracinement total, les arbres ont accès à des ressources en eau plus importantes et peuvent généralement être gérés de façon similaire aux arbres plantés dans un sol de jardinage. Comme pour les arbres dans les espaces verts, un apport supplémentaire en eau devrait être prévu jusqu'à ce que la phase d'implantation de l'arbre soit terminée. Par la suite, les pratiques d'irrigation seront fonction des besoins climatiques locaux.

Les géotextiles

Par Joseph E. Dove

Les géotextiles font partie de la grande classe de matériaux qu'on désigne sous le nom de matériaux géosynthétiques ; ces matériaux en polymère synthétique sont utilisés pour de nombreuses applications géotechniques telles que le renforcement, la lutte contre l'érosion, la séparation, la filtration et le drainage. Des renseignements généraux et du matériel pédagogique relatifs aux matériaux géosynthétiques peuvent être obtenus auprès de la Société internationale des géosynthétiques (http://www.geosyntheticssociety.org/guideance.htm).

Les géotextiles sont des morceaux de tissu flexible et perméable ayant l'apparence générale du tissu des vêtements. En règle générale, ils sont faits de polypropylène ou de polyester. Ils se divisent en deux familles : les produits tissés et les produits non tissés. Les géotextiles tissés sont fabriqués en tissant deux nappes de fils orthogonales ensemble. Ils ont généralement une bonne résistance à la traction et à l'allongement. Les géotextiles non tissés sont fabriqués en extrudant des filaments individuels au hasard sur une surface horizontale pour former une nappe. Les filaments sont ensuite enchevêtrés par le processus d'aiguilletage ou de thermosoudure. Les géotextiles aiguilletés sont généralement hautement perméables, alors que les géotextiles non tissés thermosoudés ont une meilleure résistance à la traction.

Au sein du système de sol structural, il est possible d'installer des géotextiles (figure 8) : 1) entre la limite supérieure du sol naturel (de fondation) et la limite inférieure du sol structural, et/ou 2) entre la limite inférieure de la couche de base granulaire supportant la chaussée ou tout autre revêtement superficiel et la limite supérieure du sol structural. Dans le premier cas, le géotextile peut servir à la fois de renforcement et de séparation, alors que dans le deuxième, le géotextile sert uniquement de séparation. La fonction de renforcement entre en jeu lorsque le sol de fondation est faible et que la charge due à la circulation déforme le sol de fondation, formant ainsi des ornières à la surface du sol. Pour remplir cette fonction, les géotextiles doivent généralement bénéficier d'une bonne résistance à la traction. Un ingénieur civil peut déterminer si un géotextile de renforcement est nécessaire et recommander la résistance à la traction appropriée afin de choisir entre différents matériaux, au besoin. Dans le deuxième cas, la fonction de séparation entre en jeu pour empêcher la couche granulaire de se mélanger au sol structural sous-jacent. Une telle migration vers le bas peut réduire la tenue de la chaussée et l'installation d'un géotextile de séparation comme mesure d'atténuation peut être justifiée. Des tests peuvent être réalisés afin d'évaluer si la dimension des grains de la couche de base granulaire est suffisamment fine pour permettre à des parties de la couche de base de tomber dans les espaces vides entre les particules du sol structural sous-jacent. Heureusement, la migration de la couche de base granulaire n'a pas posé problème avec les autres installations. L'installation de géotextiles n'est pas nécessaire si les conséquences mentionnées ci-dessus n'ont pas d'importance pour le propriétaire.

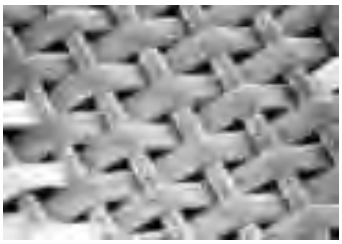

Figure 9. Vue agrandie de géotextiles tissés et non tissés.
Photos tirées de « IGS Geosynthetics in Drainage and Filtration by J.P. Gourc and E.M. Palmeira ».

Après avoir estimé les propriétés requises du matériau à partir de calculs de conception réalisés par un ingénieur civil, il est possible de choisir un géotextile (pour des exemples, voir Koerner, 2005). Un élément important à considérer lors du choix d'un géotextile pour cette application est la réduction de la performance mécanique due aux dommages causés lors de l'installation sur le terrain (survivabilité). La norme de spécification des matériaux M288-00 « Geotextile Specifications for Highway Applications » publiée par l'AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) donne des conseils pour la sélection des géotextiles. Cette norme vise les géotextiles utilisés pour leurs fonctions de drainage souterrain, de séparation, de stabilisation et de lutte permanente contre l'érosion. La norme M288-00 définit trois classes de géotextiles différentes et établit les propriétés mécaniques minimales pour chaque fonction. Il est possible de déterminer les propriétés minimales permettant d'assurer la survivabilité du matériau géotextile à partir de tableaux inclus dans la spécification. Enfin, il est possible de choisir des produits géotextiles disponibles localement et disposant des propriétés mécaniques requises à partir de l'information publiée par les fabricants. La plupart des fabricants de géotextiles offrent des produits conformes à la norme M288-00 en ce qui a trait à la survivabilité.

Les tests réalisés sur les géotextiles tissés installés dans le système de sol structural ont révélé qu'ils n'empêchaient pas la pénétration des racines d'arbres. Un résumé de cette recherche figure au chapitre 4 (La pénétration des racines d'arbres dans les sols compactés augmente l'infiltration).

Références

Koerner, R.M., 2005. Designing with geosynthetics, 5th Ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

Les arbres et autres plantes

Les arbres font partie intégrante de ce système de gestion des eaux pluviales et leur bonne croissance est nécessaire afin de gérer les eaux pluviales de manière optimale. En augmentant le volume d'enracinement généralement disponible pour les arbres sur les sites pavés, la taille du couvert forestier peut augmenter plus rapidement et les arbres peuvent éventuellement atteindre une taille plus grande. L'interception des eaux pluviales, leur stockage et l'évapotranspiration éventuelle à la surface des feuilles dépendent directement de la taille du couvert forestier. De plus, l'eau de pluie interceptée par le couvert forestier s'écoule le long des branches et des troncs jusqu'au sol à la base des arbres, contournant ainsi efficacement la chaussée.

Les arbres sont des organismes vivants et ont certains besoins afin de bien pousser et d'offrir des avantages à long terme pour l'environnement. Dans cette section, nous traiterons brièvement de certains points particulièrement pertinents pour ce système de gestion des eaux pluviales concernant la sélection d'arbres spécifiques et la conception du site. Cependant, les arbres ne devraient jamais être choisis sans l'aide d'un professionnel qualifié (forestier urbain, horticulteur, arboriste ou autre professionnel du genre). La résistance aux ravageurs, la diversité de la forêt urbaine, les facteurs climatiques régionaux, la forme de croissance et le potentiel invasif sont autant de facteurs dont il faut tenir compter pour faire un choix final.

La composition chimique du sol

Le pH des sols structuraux est très différent de celui des sols minéraux locaux. Les sols structuraux à base de calcaire ont généralement un pH élevé. Un sol structural à base de granit peut avoir un pH moindre. Entre autres choses, le pH du sol détermine la quantité de nutriments disponible. Un pH de 7 est neutre, un pH plus faible est acide et un pH plus élevé est basique ou alcalin. Le pH idéal pour la plupart des arbres est d'environ 5 à 6,5 mais, en règle générale, les sols urbains sont très basiques (pH de 7.5 à 8,5) en raison des perturbations qu'ils subissent, comme par exemple la présence de débris de béton ou calcaires dans le sol. La chlorose internervale ou le jaunissement des feuilles (figure 10) est un symptôme typique des carences nutritives résultant d'un pH élevé. Si le pH du sol structural utilisé dans le système est élevé, une espèce d'arbre dotée d'une bonne résistance au pH basique devrait être utilisée. Plusieurs ormes et frênes, certains érables et chênes, ainsi que plusieurs autres espèces peuvent convenir (voir les références de guides sur les arbres à la fin du présent chapitre). **La clé d'un choix éclairé est de tester le pH du sol structural et de sélectionner des arbres qui sont en mesure de le supporter.**

Figure 10. Comparaison visuelle entre une feuille de chêne des marais saine (à gauche) et une feuille chlorosée (à droite). En fin de compte, cette chlorose affecte la production d'hydrate de carbone de la plante. Elle résulte de carences nutritives causées par un sol au pH élevé. *Photo : Susan Day.*

Une solution innovante aux frais de transport élevés des sols structuraux pour les régions de l'ouest

Figure 11. Le sol Davis, un sol non porteur (non structural) au taux d'infiltration élevé avec un bon potentiel de stockage des eaux. *Photo : Qingfu Xiao.*

En raison des frais de transports élevés, le prix de l'usage du Carolina Stalite, produit en Caroline du Nord, est prohibitif pour les régions de l'ouest. L'University of California, Davis a conçu un sol artificiel fait à partir de roche volcanique locale et peu coûteuse et lui a donné le nom de sol Davis. Ce sol a été utilisé avec succès pour augmenter le drainage des espaces découverts à proximité des stationnements et de certains sites gazonnés. **Le sol Davis n'est pas considéré comme un sol structural** parce qu'il ne peut supporter le poids de la chaussée, de voitures et d'autres structures. Il conserve sa perméabilité malgré la circulation piétonne et favorise la croissance d'arbres sains. Il est très poreux (porosité de 40%) et il est donc en mesure de stocker les eaux pluviales qui seront ensuite utilisées par les arbres. De plus, sa superficie importante et ses nombreux coins et recoins permettent de retenir les polluants se trouvant fréquemment dans les eaux usées. Pour savoir comment vous procurer du sol Davis, veuillez contacter Qingfu Xiao à l'adresse suivante : qxiao@ucdavis.edu.

Le volume du sol

Les arbres, leurs racines et leur couvert forestier ont besoin de suffisamment d'espace pour croître. Les fosses de plantation devraient être aussi spacieuses que possible, mais quelle est la taille suffisante ? La clé pour concevoir des sites pouvant accueillir de grands arbres est de bénéficier d'un espace d'enracinement quasi-illimité. Une fosse typique de 4 x 4 pi sans accès au sol alentour limite presque immédiatement la croissance de l'arbre. Une fosse de 25 x 25 pi limite très peu la croissance jusqu'à ce que l'arbre ait déjà atteint une taille considérable. L'espace d'enracinement utilisable offert par n'importe quelle fosse peut être élargi grâce à une couche continue de sol structural sous la chaussée. Certaines espèces exploitent mieux que d'autres les faiblesses du sol sous la chaussée et pénètrent à travers des sols compactés ou atteignent des espaces verts situés à proximité. Cependant, la conception du système doit permettre de favoriser entièrement la croissance des arbres sans causer de dommages aux infrastructures. Il a été démontré que les sols structuraux permettaient aux systèmes racinaires de s'implanter plus profondément que les profils de chaussée conventionnels et qu'ils offraient donc un espace d'enracinement additionnel sans compromettre l'intégrité structurale. Encore une fois, un professionnel des plantes devrait être consulté puisque les espèces choisies doivent être compatibles avec les conditions du site. Il importe de connaître les règlements locaux et les permis exigés.

La capacité de drainage et du réservoir a un impact sur la croissance des arbres

Ce système de gestion des eaux pluviales permet d'assurer leur collecte et la façon dont il est conçu influence le développement des racines des arbres. Lors d'expériences menées avec des espèces résistantes aux inondations (voir au chapitre 4 : Le développement des arbres plantés dans les sols structuraux selon différents taux de drainage), les systèmes racinaires se sont le mieux développés lorsque les eaux étaient retenues dans la zone des racines pendant moins de 48 heures. Plusieurs espèces résistantes aux inondations, telles que les chênes bicolores (Quercus bicolor) ou les ormes d'Amérique (Ulmus americana), peuvent survivre pendant plusieurs mois avec des systèmes racinaires inondés, mais les arbres ne peuvent se contenter de survivre en milieu urbain. Si l'infiltration dans le sol sous le réservoir est rapide, des espèces moins résistantes aux inondations peuvent être choisies. Si l'infiltration dans le sol sous-jacent est lente et que des tuyaux de trop-plein doivent être utilisés, des espèces résistantes aux inondations devraient être choisies. Selon l'utilisation finale à laquelle l'espace est voué, d'autres plantes telles que le gazon ou les plantes couvre-sol peuvent être utilisées si le climat le permet. Pour obtenir des informations additionnelles sur les revêtements superficiels, veuillez vous reporter au chapitre 3.

Même si les nappes phréatiques au niveau élevé sont susceptibles de limiter la profondeur d'enracinement des racines, lorsque les espèces choisies et la conception du site permettent aux arbres de prendre racine dans des zones plus profondes du sol et de pénétrer à travers des zones imperméables, ils sont susceptibles d'améliorer l'infiltration (voir au chapitre 4 : La pénétration des racines d'arbres dans les sols compactés augmente l'infiltration). On peut s'attendre à ce que cette amélioration soit d'autant plus spectaculaire avec les sols hautement restrictifs. Afin de faciliter l'implantation, les arbres devraient idéalement être plantés dans une terre végétale minérale, le sol structural étant réservé à la zone sous la chaussée. Cependant, planter les arbres directement dans le sol structural peut simplifier l'installation. Si l'on compte irriguer régulièrement les arbres pendant la phase d'implantation et si les conditions climatiques sont favorables, cette approche peut être utilisée.

Les systèmes racinaires des arbres se développent sur une superficie importante. Pour une croissance optimale des arbres, le diamètre de la zone prévue pour les racines doit être le double de celui du couvert forestier désiré à maturité.

Références de guides sur les arbres généraux :

Dirr, Michael. Woody Landscape Plants.

PLANTS Database, http://www.plants.usda.gov/

Northern Trees, http://orb.at.ufl.edu/TREES/index.html

Références de guides sur les arbres pour l'est des États-Unis :

Appleton, B. 2001. New York / Mid Atlantic Gardener's Book of Lists. Taylor Publishing Company, Dallas.

Bassuk, N.L. Cornell Department of Horticulture Woody Plant Database, http://hosts.cce.cornell.edu/woody_plants/

Bassuk, N.L., J. Grabosky, and P. Trowbridge, 2005. Utiliser le CU-Sol structural dans un environnement urbain, http://www.hort.cornell.edu/uhi/outreach/csc/index.html

Day, S.D. Virginia Urban Tree Selector, http://www.cnr.vt.edu/dendro/treeselector/

Trowbridge, P.J. and N.L. Bassuk. 2004. Trees in the Urban Landscape: Site Assessment, Design, and Installati on. Wiley and Sons, New York.

Références de guides sur les arbres pour l'ouest des États-Unis :

McPherson, E.G., J.R. Simpson, P.J. Peper, Q. Xiao, D.R. Pittenger and D.R. Hodel. 2001. Tree Guidelines for Inland Empire Communities. Sacramento, CA: Local Government Commission

McPherson, E.G., J.R. Simpson, P.J. Peper, K.I. Scott and Q. Xiao. 2000. Tree Guidelines for Coastal Southern California Communities. Sacramento, CA: Local Government Commission

McPherson, E.G., J.R. Simpson, P.J. Peper and Q. Xiao. 1999. Tree Guidelines for San Joaquin Valley Communities. Sacramento, CA: Local Government Commission

Préoccupations spécifiques

La migration du sol

L'excavation d'un platane à feuilles d'érable (Platanus acerifolia) installé de manière traditionnelle depuis plus de sept ans dans du CU-Sol structural à la surface poreuse n'a montré aucune migration des agrégats. Les pores entre les pierres des sols structuraux sont en grande partie remplies de sol ; il y a donc peu d'interstices favorisant la migration du sol.

Le soulèvement dû au gel

La conception des sols structuraux prévoit une granulométrie discontinue pour permettre un drainage rapide et limite la fraction limoneuse afin de réduire la propension au soulèvement dû au gel à un niveau très bas, tel que défini par les US Corp of Engineers Cold Weather Research Laboratories. Cependant, deux points importants doivent être soulevés concernant cette question. Premièrement, lorsque le système conçu est installé comme une tranchée sous la chaussée, il importe d'être conscient de la profondeur des couches de chaque matériaux de fondation et de leurs différentes propensions au soulèvement dû au gel. Le concepteur doit s'assurer qu'il n'existe pas de différence majeure entre les propensions au soulèvement dû au gel au point de contact entre les deux systèmes ou de concevoir la transition adaptée entre les matériaux; sans quoi la surface du revêtement se déplacera et se fissurera en raison du comportement différent des deux systèmes en couches. Deuxièmement, des préoccupations concernant le gel vont souvent de pair avec des problématiques concernant le déneigement. Les autorités chargées de l'entretien des routes doivent donc être consultées au sujet de la disposition des arbres dans le système et sur les questions liées au déneigement et au stockage de la neige sur le site afin d'éviter que des dommages ne soient causés aux arbres et au système.

Les observations du sol structural effectuées à travers les États-Unis et le Canada montrent que la profondeur du réservoir empêche tout soulèvement dû au gel et au dégel. De plus, depuis les débuts des installations de sol structural il y a plus de quinze ans, aucun dommage dû au gel et au dégel n'a été observé.

Chapitre 3— Les revêtements superficiels

Ce chapitre décrit deux revêtements superficiels pouvant être utilisés avec ce système : le gazon et la chaussée poreuse. Les sections de ce chapitre sont des résumés de manuels publiés par l'Institut d'horticulture urbaine (Cornell University). À la fin de chaque section, les références du manuel sont fournies.

Les sols structuraux et le gazon

Par Nina Bassuk, Ted Haffner, Jason Grabosky et Peter Trowbridge

Introduction

Le gazon est surtout utilisé comme plante couvre-sol pour les pelouses résidentielles, les parcs, les terrains de jeux et les terrains de sport. Il donne le sentiment de se trouver dans un espace vert et sert de surface de protection pour les personnes s'adonnant à leurs loisirs. Si le gazon est installé de façon appropriée, il peut également servir à d'autres usages, par exemple de coupe-feu à accès restreint ou de stationnement. Dans de tels cas, le gazon peut contribuer à créer une impression d'espace vert et réduire les températures dans des zones urbaines qui seraient autrement pavées.

Par contre, lorsque le gazon est utilisé pour de telles applications, il est exposé à une circulation qui compacte le sol. De telles situations limitent également le drainage, la croissance de racines saines et la capacité du gazon à pousser.

Figure 12. Zone d'un parc de Chicago où un marché de producteurs a lieu chaque semaine. La compaction due à la circulation de piétons et de véhicules a détruit l'herbe dans ce secteur du parc.
Photo : Ted Haffner.

Figure 13. Simulation photo d'espaces de stationnement recouverts de gazon dans le parc de stationnement d'une grande surface à Ithaca, NY. Pour de meilleurs résultats, le gazon devrait être planté dans les espaces de stationnement uniquement et non dans les voies de circulation du stationnement.
Simulation photo : Ted Haffner.

Des développements en matière d'utilisation du gazon à Cornell University

À Cornell University, on a combiné le gazon avec le sol structural afin de créer un substrat de culture sain pour l'herbe qui résiste à la circulation. Il est conçu pour n'exiger pratiquement aucun entretien et il peut être utilisé sur des sites où la circulation des piétons et des véhicules est importante, dont les espaces publics de rassemblement, les allées coupe-feu et les stationnements.

Les sols structuraux ont deux avantages. Premièrement, le sol structural est conçu en vue de son compactage et peut donc supporter une circulation intense, ce qui permet aux individus, aux voitures et aux structures temporaires d'utiliser une surface recouverte de gazon installée au-dessus du sol structural. De plus, le système peut permettre à l'eau de s'infiltrer à travers la surface de gazon et la stocker dans un réservoir souterrain. Un mélange de sol structural contenant plus d'eau et d'air permet non seulement à l'herbe de développer des racines et des pousses plus saines, mais il permet également de collecter et de stocker des volumes plus importants d'eaux pluviales et de ruissellement dans le réservoir avant qu'elles ne s'infiltrent lentement dans le sol sous-jacent. Ceci réduit les besoins en infrastructures de drainage et en réseaux d'égouts et permet la recharge des nappes phréatiques à long terme. Par conséquent, cette combinaison est non seulement bénéfique pour l'environnement en termes de qualité de l'eau, mais elle permet également d'intégrer un élément de développement durable et écologique dans les secteurs très urbanisés.

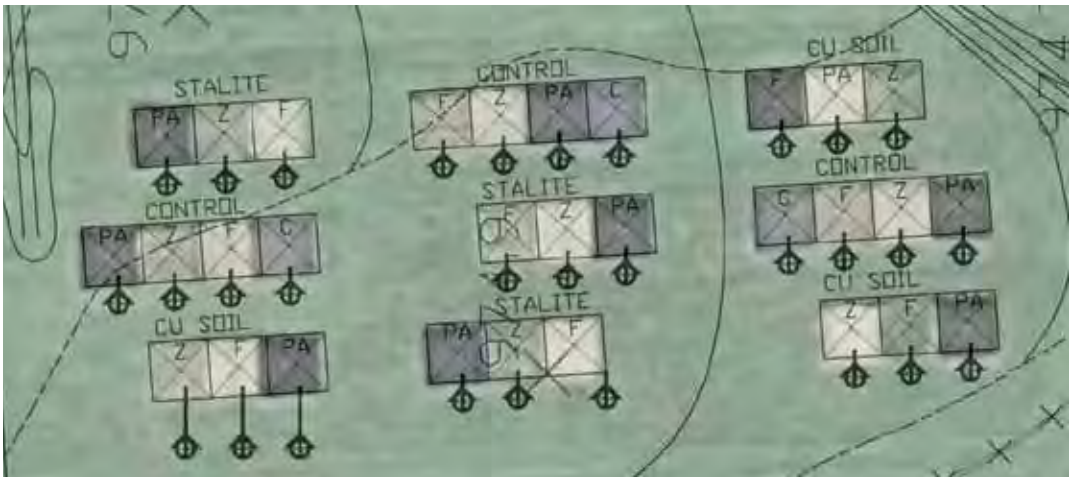

Figure 14. Plan aérien de lotissements expérimentaux de sol structural et de gazon à Cornell University à Ithaca, NY. Revêtements superficiels : PA = asphalte poreux, Z = herbe zoysia, F = fétuque élevée, C = asphalte traditionnel.
Graphisme : Ted Haffner. Photo à l'arrière-plan : Google Earth.

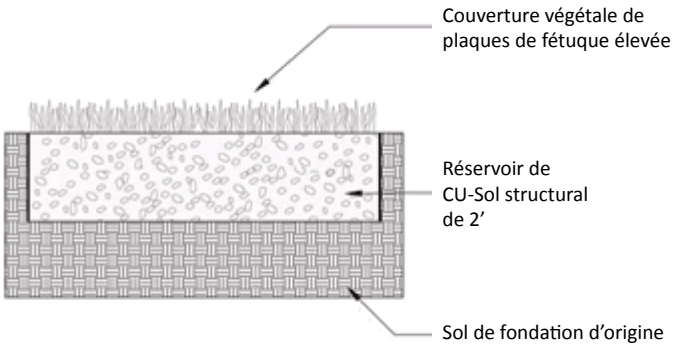

Figure 15. Coupe type d'un gazon renforcé de pelouse en plaque sur sol structural. N.B. La profondeur de 24'' du réservoir se base sur les données pluviométriques locales et est susceptible de varier selon les régions en fonction des données pluviométriques locales et/ou des quantités d'eaux de ruissellement anticipées.
Figure : Ted Haffner.

- Réduisez au minimum les dommages causés au gazon par les véhicules. Pour ce faire, seuls les espaces de stationnement et non les voies de circulation devraient être recouverts de gazon.
- Orientez les espaces de stationnement de façon à réduire le besoin pour les automobiles de tourner leurs roues au minimum. Lors de virages excessifs, les limbes foliaires de la pelouse en plaque se déchirent, ce qui peut occasionner un gazon pelé par endroits. Les recherches indiquent que le gazon peut se remettre de tels dommages mais cela exige plus de temps.
- N'utilisez du gazon que dans les aires de stationnement auxiliaires ou à la périphérie de grands stationnements.
- Utilisez des ouvrages en pierre permanents entre les espaces de stationnement ou alors des poteaux permettant de les identifier. Cette option peut être plus coûteuse à installer au départ, mais elle vous permettra d'économiser du temps et de l'argent lors de l'entretien suite à l'installation.
- Établissez des directives adéquates pour l'entretien suite à l'installation. Il est nécessaire de tondre le gazon à tous les 10 jours et d'appliquer un engrais chaque automne selon les doses d'application adéquates.
- N'utilisez jamais de chasse-neige sur les zones gazonnées du stationnement. Les lames du chasse-neige endommagent et arrachent la surface de gazon, ce qui exige un remplacement coûteux.

La conception et la gestion du gazon et du sol structural

Contrairement aux idées reçues, il est très difficile de faire pousser une pelouse en plaque saine. De nombreux facteurs différents jouent un rôle dans le processus; il ne suffit pas de répandre des semences ou de dérouler un rouleau de gazon cultivé. Il est essentiel de prendre des bonnes décisions à chaque étape du processus : planification, conception, installation et post-installation.

Pour travailler avec le gazon et le sol structural, les concepteurs et les entrepreneurs doivent modifier leurs méthodes de travail. Au lieu de simplement installer du gazon en plaque ou d'enherber directement sur le sol existant, des secteurs entiers doivent être excavés jusqu'à une profondeur d'au moins 18'' à 24'' (de façon à pouvoir accueillir les eaux pluviales – voir tableau 2), selon la profondeur de réservoir désirée, et remplis de sol structural. Une fois le mélange de sol structural en place, celui-ci doit être compacté à l'aide d'une plaque-vibrante ou d'un rouleau-compacteur. Une fois le sol compacté, le gazon en plaque devrait être installé directement sur le sol structural puis irrigué pendant quelques semaines jusqu'à ce qu'il soit implanté. Une fois la phase d'implantation complétée, les recherches indiquent que l'entretien requis est minime et qu'il suffit de tondre le gazon régulièrement et d'appliquer un engrais périodiquement.

Avec les directives ci-dessus et quelques détails de construction simples, vous disposez de tous les renseignements nécessaires pour faire une offre et mettre en œuvre un projet de construction. Si quelques dessins simples peuvent être utiles, il importe de souligner que chaque modèle est différent et que son niveau de détail dépendra du scénario de conception. Des détails additionnels sont requis concernant la conformité ADA des bordures de trottoir, la plantation et le tuteurage des arbres, l'alimentation en eau des bouches d'incendie et la signalisation.

FAQ

La pelouse en plaque et le système de sol structural nécessitent quel genre d'entretien ?

Nos recherches ont été menées en visant le régime d'entretien le plus simple possible. Le seul entretien dont les lotissements expérimentaux du campus de Cornell University ont bénéficié a été de tondre le gazon régulièrement à tous les 7 à 10 jours pendant la saison de végétation. De plus, il est recommandé d'appliquer un engrais chaque automne selon les doses d'application adéquates.

Qu'arrive-t-il lorsque les racines des arbres voisins se développent dans le sol structural ?

Viendra un temps où les racines déplaceront probablement la pierre car aucune couche de chaussée n'est installée au-dessus du sol structural. Dans un tel cas, nos observations ont révélé que lorsque les racines sont profondes, la pression générée par leur expansion est répartie sur une plus grande surface. Nous avons vu des racines contourner la pierre et même encercler certaines pierres dans des installations plus anciennes, plutôt que de les déplacer.

28 Day, S.D. et S.B. Dickinson (eds.) 2008. La gestion urbaine durable des eaux pluviales grâce aux arbres et aux sols structuraux.

Étude de cas

Le CU-Sol structural recouvert de gazon a été utilisé avec succès chez un concessionnaire Mercedes (Crown Automobile) en Alabama. Sur ce site, le sol d'un terre-plein central en entier à été excavé et remplacé par du CU-Sol structural, puis du gazon cultivé a été installé au-dessus. Le terre-plein central peut maintenant supporter la compaction due au poids des voitures et le concessionnaire l'utilise comme aire libre additionnelle offrant un espace flexible pour exposer les véhicules en stock, ou comme stationnement auxiliaire. Après trois ans, l'installation ne requiert toujours aucun entretien et le gazon est aussi sain qu'au jour de son installation.

Figure 16. En hiver, lorsque le gazon est dormant, le terre-plein central sert d'aire supplémentaire d'entreposage et d'exposition pour les véhicules en stock du concessionnaire. Cette flexibilité est très précieuse pour le concessionnaire. *Photo : Bill Isaacs.*

Références :

Haffner, E.C. 2008. Porous asphalt and turf: exploring new applications through hydrological characterization of CU Structural Soil and Carolina Stalite Structural Soil. Master's Thesis. Department of Horticulture, Cornell University.

L'utilisation de chaussée poreuse sur les sols structuraux

Par Ted Haffner, Nina Bassuk, Jason Grabosky et Peter Trowbridge

Un système d'asphalte poreux permet à l'eau de s'écouler à travers la chaussée dans un réservoir de sol structural souterrain. À partir de ce réservoir, l'eau filtre lentement dans le sol de fondation sous-jacent, rechargeant ainsi les nappes phréatiques naturellement.

L'asphalte poreux est similaire à l'asphalte traditionnel en tous points, excepté la spécification du mélange. Contrairement à l'asphalte traditionnel, le mélange d'asphalte poreux exclut certaines fines particules. L'exclusion de ces particules plus fines crée des vides dans le profil de l'asphalte permettant à l'eau de s'écouler à travers la chaussée plutôt que sur celle-ci. Pour que l'eau s'infiltre correctement, l'inclinaison des chaussées poreuses ne devrait pas dépasser 1 à 6%.

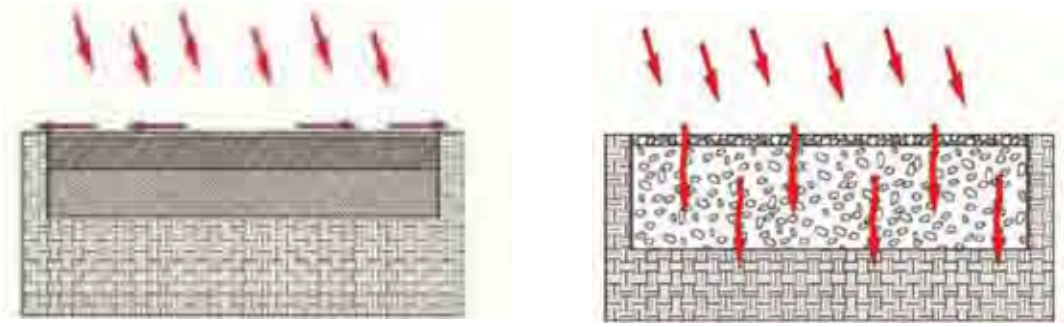

Figure 17. La figure de gauche montre ce qui advient de la pluie qui tombe sur un stationnement traditionnel en asphalte ; après avoir atteint la surface, elle s'écoule généralement dans un égout pluvial. La figure de droite montre ce qui advient de la pluie qui tombe sur un stationnement en asphalte poreux ; après avoir atteint la surface, elle s'infiltre à travers la chaussée dans le réservoir de sol structural sous-jacent. L'eau s'infiltre ensuite dans le sol, permettant la recharge des nappes phréatiques à long terme.
Figures : Ted Haffner.

La combinaison du sol structural et de l'asphalte poreux est une association nouvelle entre deux technologies créées il y a 15 et 30 ans respectivement. Ainsi, cette combinaison a été installée pour la première fois à Ithaca, NY en 2005. Il existe de nombreux stationnements en asphalte poreux. Parmi les plus anciens, mentionnons celui de la réserve d'État de Walden Pond à Concord, MA, celui de l'arboretum Morris à Philadelphie, PA, ainsi que ceux d'une liste grandissante d'entreprises et d'universités à travers les États-Unis. Le sol structural a été utilisé à de nombreuses reprises sans chaussée en asphalte poreux, les deux installations les plus anciennes datant de 1994. La première est une plantation de féviers épineux (Gleditsia triacanthos) sur le site du projet d'esplanade de Staten Island à New York, et la deuxième est une plantation de platanes à feuilles d'érable (Platanus acerifolia) sur le site Ho Plaza du campus de Cornell University à Ithaca, NY. Des centaines d'installations de tailles différentes existent maintenant à travers les États-Unis et le Canada.

Figure 18. Comparaison entre l'asphalte traditionnel (à gauche) et l'asphalte poreux (à droite) lorsque mouillés. Dans l'asphalte poreux, les vides créés lors de l'exclusion de fines particules permettent à l'eau de s'infiltrer à travers la chaussée dans le réservoir de sol structural sous-jacent. Par conséquent, l'asphalte poreux mouillé a un aspect mat parce que l'eau passe à travers sans former de flaques. Le coefficient de friction de sa surface est élevé.
Photo : Ted Haffner.

Comment éviter l'obstruction de la chaussée poreuse

Le meilleur entretien dont une chaussée poreuse puisse bénéficier est un traitement sous vide à tous les deux à cinq ans permettant d'enlever les sédiments des pores dans la chaussée. Cependant, les installations les plus anciennes n'ont jamais subi de tel traitement et peu d'effets d'obstruction y sont observés. Les systèmes d'asphalte poreux ne doivent pas subir de lavage à la pression puisque ce traitement enfonce les sédiments encore plus profondément dans la surface. De plus, les systèmes d'asphalte poreux ne doivent en aucun cas être étanchéisés. Si un enduit étanche est appliqué, le système cessera de fonctionner à jamais.

Spécification de l'asphalte bitumineux poreux

Stationnement en asphalte poreux à utilisation moyenne à Ithaca, NY

1. Le revêtement de surface bitumineux de la chaussée poreuse doit avoir une épaisseur de deux pouces et demi (2,5'') et le mélange bitumineux doit constituer de 5,5% à 6% du poids de ses agrégats secs. Conformément à ASTM D6390, l'écoulement du liant ne doit pas dépasser 0,3%. Si des agrégats plus absorbants comme le calcaire sont utilisés dans le mélange, la quantité de bitume doit être basée sur les procédures d'essai décrites dans le document d'information 131 de la National Asphalt Pavement Association, « Porous Asphalt Pavements » (2003), ou sur un document équivalent publié par le ministère des Transports de l'État de New York.

2. Utilisez un liant d'asphalte pur modifié à l'aide d'un polymère élastomère afin de produire un liant conforme aux exigences de PG 76-22. Le polymère élastomère doit être fait de styrène-butadiène séquencés (SBS), ou d'un produit équivalent approuvé, et faire l'objet d'une application à un taux de 3% du poids total du liant. Les matériaux composites doivent être entièrement mélangés à la raffinerie d'asphalte ou au terminal avant d'être chargés dans le véhicule de transport. Le liant d'asphalte modifié par des polymères doit pouvoir résister à la chaleur et au stockage.

3. Les agrégats du mélange d'asphalte doivent être constitués d'un minimum de 90% de matières concassées et avoir une granulométrie de :

Norme américaine

Taille du tamis / % passant

½" (12.5mm) / 100

3/8" (9.5mm) / 92-98

4 (4.75mm) / 32-38

8 (2.36mm) / 12-18

16 (1.18mm) / 7-13

30 (600mm) / 0-5

200 (75mm) / 0-3

4. Ajoutez de l'hydroxyde de calcium en dose unitaire de 1.0% du poids total des agrégats secs aux mélanges contenant du granit. L'hydroxyde de calcium doit satisfaire aux exigences d'ASTM C 977. L'additif doit permettre d'empêcher le liant d'asphalte de se séparer des agrégats et atteindre un rapport de résistance à la traction minimum de 80% par rapport au mélange d'asphalte.

La résistance du mélange asphaltique au désenrobage dû à l'eau doit être testée conformément à ASTM D-3625. Si la surface de revêtement estimée n'excède pas 95%, des additifs d'adhésivité doivent être ajoutés à l'asphalte.

Références :

Haffner, T., Bassuk, N.L., Grabosky, J., and P. Trowbridge. 2007. Using Porous Asphalt and CU-Structural Soil. http://www.hort.cornell.edu/uhi/outreach/csc/index.html Urban Horticulture Institute, Cornell University, Ithaca, NY.

La pénétration des racines d'arbres dans les sols compactés augmente l'infiltration

Selon les recherches menées par Julia Bartens, Susan Day, Joseph E. Dove, J. Roger Harris et Theresa Wynn, Virginia Tech

Résumé de la recherche

Une expérience menée dans des conteneurs avec des chênes noirs (Quercus velutina) et des érables rouges (Acer rubrum) a testé si les racines pouvaient pénétrer à travers un sol compacté et, le cas échéant, si elles permettaient d'augmenter l'infiltration. Les deux espèces d'arbre ont poussé dans un paillis de pin entouré de sols compactés sur les côtés et en-dessous. En moins de 12 semaines, les deux espèces d'arbre ont été en mesure de pénétrer à travers le sol compacté et d'augmenter l'infiltration. Les racines pénétrant dans le sous-sol augmentent l'infiltration de 153%. Aucune différence entre les résultats des chênes noirs (grosses racines) et des érables rouges (racines fines) n'a pu être observée.

Figure 19. Racines d'un frêne ayant pénétré dans le géotextile après que le sous-sol compacté ait été enlevé. Les racines ont multiplié le taux d'infiltration par 27.
Photo : Susan Day.

Dans le cadre d'une deuxième expérience menée dans des conteneurs, des frênes de Pennsylvanie *(Fraxinus pennsylvanica)* ont été cultivés dans le CU-Sol structural et ont été séparés du sous-sol compacté à l'aide d'un géotextile. Les racines ont été en mesure de pénétrer à travers le sous-sol compacté et de multiplier le taux d'infiltration par 27.

Pistes de recherches futures

Comme cette recherche a été menée dans des conteneurs, des recherches confirmant que ses résultats s'appliquent à des arbres plus grands plantés dans le sol sont nécessaires. Des espèces d'arbre aux besoins différents devraient également être observées.

Références

Bartens, J., S. D. Day, J. R. Harris, J. E. Dove, and T. M. Wynn. 2008. Can urban tree roots improve infiltration through compacted subsoils for stormwater management? Journal of Environmental Quality, 37 (6):2048-2057.

Le développement des arbres plantés dans les sols structuraux selon différents taux de drainage

Selon les recherches menées par Julia Bartens, Susan Day, J. Roger Harris, Joseph E. Dove et Theresa Wynn, Virginia Tech

Résumé de la recherche

Une expérience menée dans des conteneurs avec deux espèces d'arbre, le chêne bicolore (Quercus bicolor) et le frêne de Pennsylvanie (Fraxinus pennsylvanica), selon trois taux de drainage (lent, moyen, rapide) et avec deux sols structuraux (CU-Sol structural et Carolina Stalite) a permis d'évaluer les périodes de stockage optimales dans le réservoir pour le développement des racines des arbres et l'absorption d'eau à partir du réservoir. Les sols structuraux ont un impact sur la distribution des racines : les racines des arbres se sont développées sur une superficie plus étendue avec le Carolina Stalite en comparaison avec le CU-Sol structural. Le taux de drainage a également un impact sur la croissance des arbres : les rapports entre le système racinaire et le système foliacé sont beaucoup plus élevés avec le traitement par drainage lent et les arbres aux systèmes racinaires moins profonds sont plus petits. Les frênes de Pennsylvanie sont plus résistants aux inondations et aucune différence n'a pu être observée entre les rapports système racinaire / système foliacé pour les différents taux de drainage. Par contre, les racines se sont développées plus profondément avec le traitement par drainage rapide.

Recommandations fondées sur cette recherche

En règle générale, l'eau devrait être drainée du stationnement en moins de deux jours pour que des systèmes racinaires adéquats puissent se développer. L'absorption d'eau à partir du réservoir est clairement supérieure lorsque les systèmes racinaires se développent sur toute la profondeur du réservoir. Une inondation prolongée peut empêcher les racines de se développer en profondeur selon les espèces. Les taux de transpiration sont variés mais similaires à ceux d'arbres cultivés dans un sol de jardinage normal. Évidemment, la taille du couvert forestier a un impact important sur la quantité d'eau pouvant être absorbée. En général, les arbres les plus grands aux systèmes racinaires les plus développés absorbent la plus grande quantité d'eau à partir des réservoirs d'eaux pluviales.

Pistes de recherches futures

Des expériences futures pourraient comparer les températures des sols structuraux, puisque celles-ci sont également susceptibles d'affecter la croissance des racines, ce qui pourrait présenter un intérêt lorsque l'eau sort du système au moyen d'un tuyau de trop-plein (en raison du risque de pollution thermique des cours d'eau). De plus, une étude sur le terrain permettrait d'obtenir des informations additionnelles sur la croissance latérale des racines (qui était limitée par les conteneurs dans le cadre de cette expérience). Même si on peut s'attendre à ce que les espèces d'arbres dont la résistance aux inondations et à la sécheresse est similaire réagissent de manière semblable, il serait utile de réaliser des tests avec d'autres espèces d'arbre.

Références

Bartens, J., J. R. Harris, S. D. Day, J. E. Dove, and T. M. Wynn. 2008 Ecologically integrated stormwater distribution using urban trees and structural soils. (en cours d'évaluation)

Le taux de drainage d'un petit stationnement : site de démonstration de Blacksburg, VA

Sur la base de recherches menées par Mona Dollins, Virginia Tech

Résumé de la recherche

Un petit stationnement servant de site de démonstration avec un réservoir de sol structural Carolina Stalite (18' x 18' x 23'') a été entièrement rempli d'eau. On l'a ensuite laissé se drainer naturellement dans le sous-sol argileux. Le niveau de l'eau a été vérifié au moyen de 15 puits d'observation à toutes les 5 minutes au cours des 40 premières minutes, puis à toutes les 15 minutes pour le reste de l'expérience, afin de déterminer la vitesse de drainage et d'observer la circulation latérale de l'eau dans le système.

En moins de 2,5 heures, l'eau s'est complètement écoulée du réservoir. La circulation latérale de l'eau à travers le mélange de sol structural était très rapide dans le réservoir, celle-ci parcourant 18 pieds en quelques minutes.

Pistes de recherches futures

Des tests additionnels devraient être réalisés pour obtenir des données sur le drainage dans des systèmes plus grands, avec des profondeurs variées et avec différents types de sous-sols afin de mieux comprendre les comportements du système dans différentes conditions.

N.B. Certains sols à la texture fine ne se drainent pas aussi rapidement que ceux utilisés dans le cadre de cet essai. Il est toujours recommandé de tester le drainage du sol au préalable et d'installer un tuyau de trop-plein.

Les effets du système sur la qualité de l'eau

Sur la base de recherches menées par Qingfu Xiao, University of California, Davis

Résumé de la recherche

Les recherches démontrent qu'entre 97,9 et 99% des hydrocarbures que l'on retrouve dans les polluants, comme l'huile, sont suspendus à moins de quelques pouces de la surface. Lors de la suspension, les micro-organismes dégradent les hydrocarbures biologiquement et les décomposent en leurs éléments constitutifs. Ces éléments chimiques cessent alors d'être des polluants et deviennent inoffensifs pour l'environnement.

Les eaux de ruissellement superficielles provenant de quatre types de stationnement ont été collectées : commercial, institutionnel ancien (?10 ans), institutionnel nouveau (<3 ans) et résidentiel. L'élimination des polluants (évaluation des nutriments, des métaux lourds et de la colonne de sol) par 3 types de substrats (CU-Sol structural, sol Davis et Carolina Stalite) a fait l'objet de comparaisons.

Tests : évènement unique, évènements multiples et ruissellement des matières synthétiques.

Les trois sols artificiels permettent d'éliminer efficacement les nutriments et les matériaux des eaux de ruissellement superficielles polluées. Les taux d'élimination des polluants sont fortement liés au type et à l'ampleur de l'évènement pluvio-hydrologique.

Pistes de recherches futures

Des recherches permettant de déterminer le point de saturation en polluants de ces sols devraient être menées. De plus, les chiffres présentés sont des données de référence s'appliquant uniquement aux sols structuraux. On peut s'attendre à ce que le développement des racines d'arbres dans le réservoir augmente l'élimination des polluants mais des recherches doivent être menées pour évaluer ces effets de manière précise.

L'efficacité du système pour l'élimination et/ou la dégradation des nutriments et des polluants grâce aux arbres pourrait être évaluée.

Comment peut-on réguler les fluctuations du niveau de pollution au sein du système ? Dans les zones très polluées, d'autres PGO doivent être utilisées pour le prétraitement des eaux de ruissellement superficielles.

Réduction de la pollution (%)

	Max			Min			Moyenne			É-t			[1]No		
	CS	CU	DS	CS	CU	DS	CS	CU	DS	CS	CU	DS	CS	CU	DS
TKN	67	39	85	8	20	12	42	29	46	21	8	19	17	4	23
NH4-N	100	99	100	36	7	42	84	54	83	18	31	16	15	13	17
NO3-N	95	88	95	58	58	58	77	73	77	26	21	26	2	2	2
[2]P_S	96		95	13		11	62		59	26		25	16	0	19
P	82		78	0		0	58		52	23		25	16	0	19
[2]K_S	78		73	25		34	59		56	16		13	9	0	9
K			64			37			50			19	0	0	2
Zn	100	100	100	50	50	50	80	75	80	21	21	21	15	15	14
Cr	100	100	100	0	0	50	78	88	92	36	35	20	9	8	6

[1] : Nombre d'échantillons

[2] : S pour soluble

Tableau 3. Élimination des polluants suite à un seul évènement pluvio-hydrologique. CU = CU-Sol structural, CS = Carolina Stalite et DS = sol Davis.
Tableau : Qingfu Xiao.

Réduction de la pollution (%)

	Max			Min			Moyenne			É-t			[1]No		
	CS	CU	DS	CS	CU	DS	CS	CU	DS	CS	CU	DS	CS	CU	DS
TKN	70	60	71	11	6	4	48	30	50	23	22	23	15	8	13
NH4-N	100	99	100	29	27	23	76	64	77	23	20	22	15	12	15
NO3-N	95	92	92	58	48	58	85	71	76	18	22	15	4	4	5
[2]P_S	94	48	95	15	48	23	65	48	65	24		25	14	1	13
P	89	0	86	0	0	0	55		55	29		25	15	0	13
[2]K_S	77	0	79	1	0	4	53		54	24		23	9	0	9
K	77	0	77	45	0	45	61		61	22		22	2	0	2
Zn	100	100	100	50	33	50	74	86	80	20	21	20	15	15	14

[1] : Nombre d'échantillons

[2] : S pour soluble

Tableau 4. Élimination des polluants suite à plusieurs évènements pluvio-hydrologiques. CU = CU-Sol structural, CS = Carolina Stalite et DS = sol Davis.
Tableau : Qingfu Xiao.

38 Day, S.D. et S.B. Dickinson (eds.) 2008. La gestion urbaine durable des eaux pluviales grâce aux arbres et aux sols structuraux.

Balages, J.D., L. Legret, and H. Madiec, 1995. Permeable pavements: pollution management tools. Water Science and Technology, 32 (1): 49-56.

Barley, K., 1963. Influence of soil strength on growth of roots. Soil Science, 96: 175-180.

Bartens, J. 2006. Trees and structural soil as a stormwater management system in urban setting. Master's Thesis. Department of Horticulture, Virginia Tech.

Bartens, J., S. D. Day, J. R. Harris, J. E. Dove, and T. M. Wynn. 2008. Can urban tree roots improve infiltration through compacted subsoils for stormwater management? Journal of Environmental Quality, 37 (6):2048-2057.

Bassuk, N.L., J. Grabosky, and P. Trowbridge. 2005. Utiliser le CU-Sol structural dans un environnement urbain. Urban Horticulture Institute, Cornell University, Ithaca, NY. http://www.hort.cornell.edu/uhi/outreach/csc/index.html

Bramley, H., J. Hutson, and S.D. Tyerman, 2003. Floodwater infiltration through root channels on a sodic clay floodplain and the influence on a local tree species Eucalyptus largiflorens. Plant Soil, 253: 275-286.

Bühler, O., P. Kristofferson, and S.U. Larson, 2007. Growth of street trees in Copenhagen with emphasis on the effect of diff erent establishment. Arboriculture
& Urban Forestry, 33(5): 330-337.

Cahill, T., 1993. Porous pavement with underground recharge beds, engineering design manual. Cahill Design Associates, West Chester, PA.

Cahill, T., 2008. A second look at porous pavement/underground recharge. Watershed Protection Techniques, US Environmental Protection Agency, 1: 76-78.

Cahill, T., M. Adams, and C. Marm, 2003. Porous asphalt: the right choice for porous pavements, Hot Mix Asphalt Technology, September/October.

Carolina Stalite Specifications, Section 2.1 Structural Soil Mix. www.Stalite.com.

Colandini, V., M. Legret, Y. Brosseaud, and J.D. Balades, 1995. Metallic pollution in clogging materials of urban porous pavements. Water Science and Technology, 32(1): 57-62.

Cresswell, H.P. and J.A. Kirkegaard, 1995. Subsoil amelioration by plant roots: the process and the evidence. Australian Journal of Soil Restoration, 33: 221- 239.

Day, S. and N. Bassuk, 1994. A review of the effects of soil compaction and amelioration treatments on landscape trees. Journal of Arboriculture, 20: 9-17.

Day, S.D., J.R. Seiler, and N. Persaud, 2000. A comparison of root growth dynamics of silver maple and flowering dogwood in compacted soil at differing soil water contents. Tree Physiology, 20: 257-263.

Evans, M., N.L. Bassuk, and P.J. Trowbridge, 1990. Street trees and sidewalk construction. Landscape Architecture. 80(3): 102-103.

Ferguson, B.K., 1996. Preventing the problems of urban runoff. Renewable Resources Journal, Winter 1995-1996: 14-18.

Ferguson, B.K., 2005. Porous Pavements. Taylor and Francis Group; Boca Raton, London, New York, Singapore.

Goldstein, J., N.L. Bassuk, P. Lindsey, and J. Urban, 1991. From the ground down. Landscape Architecture, 81(1): 66-68.

Grabosky, J. 1996. Developing a structural soil material with high bearing strength and increased rooting volumes for street trees under sidewalks. Master's Thesis. Department of Horticulture, Cornell University.

Grabosky, J. 1999. Growth Response of Three Tree Species in Sidewalk Profiles. Doctoral Dissertation. Department of Horticulture, Cornell University.

Grabosky, J. and N. Bassuk, 1995. A new urban tree soil to safely increase rooting volumes under sidewalks. Journal of Arboriculture, 21: 187-200.

Grabosky, J. and N. Bassuk, 1996. Testing of structural urban tree soil materials for use under pavement to increase street tree rooting volumes. Journal of Arboriculture, 22: 255-263.

Grabosky, J. and N. Bassuk, 1998. Urban tree soil to safely increase rooting volume. Patent No. 5,849,069. U.S.P.a.T. Office.

Grabosky, J. and N. Bassuk, 2008. Sixth- and tenth- year growth measurements for three tree species in a load-bearing stone-soil blend under pavement and a tree lawn in Brooklyn, NY, U.S. Arboriculture & Urban Forestry, 34(4): 265-266.

Grabosky, J., N.L. Bassuk, L. Irwin, and H. Van Es, 2001. Shoot and root growth of three tree species in sidewalks. Journal of Environmental Horticulture, 19(4):206-211.

Grabosky, J., N.L. Bassuk, and M.B Marranca, 2002. Preliminary findings from measuring street tree shoot growth in two skeletal soil installations compared to tree lawn plantings. Journal of Arboriculture, 28(2):106-108.

Grabosky J., N. Bassuk, and P. Trowbridge, 1999. Structural Soils: A new medium to allow urban trees to grow in pavement. Landscape Architecture Technical Information Series (LATIS).

Grabosky, J. and E.F. Gilman, 2004. Measurement and prediction of tree growth reduction from tree planting space design in established parking lots. Journal of Arboriculture, 30:154-159.

Gregory, J.H., M.D. Dukes, P.H. Jones and G.L. Miller, 2006. Effect of urban soil compaction on infiltration rate. Journal of Soil and Water Conservation, 61: 117-124.

Haffner, E.C. 2008. Porous asphalt and turf: exploring new applications through hydrological characterization of CU Structural Soil and Carolina Stalite Structural Soil. Master's Thesis. Department of Horticulture, Cornell University.

Haffner, T., Bassuk, N.L., Grabosky, J., and P. Trowbridge. 2007. Using Porous Asphalt and CU-Structural Soil. Urban Horticulture Institute, Cornell University, Ithaca, NY. http://www.hort.cornell.edu/uhi/outreach/csc/index.html

Heilman, P., 1981. Root penetration of Douglas-fir seedlings into compacted soil. Forestry Science, 27: 660-666.

Johnson, M.S. and J. Lehmann, 2006. Double-funneling of trees: stemflow and root-induced preferential flow. Ecoscience, 13: 324-333.

Koerner, R.M., 2005. Designing with geosynthetics, 5th Ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

Lindsey, P. and N.L. Bassuk, 1991. Specifying soil volume to meet the water needs of mature urban street trees and trees in containers. Journal of Arboriculture, 17: 141-149.

Lindsey, P. and N.L. Bassuk, 1992. Redesigning the urban forest from the ground below: a new approach to specifying adequate soil volumes for street trees. Arboricultural Journal. 16(1): 25-39.

Loh, F.C.W., J.C. Grabosky, and N.L. Bassuk, 2003. Growth Response of *Ficus benjamina* to limited soil volume and soil dilution in a skeletal soil container study. Urban Forestry & Urban Greening, 2(1):53-62.

McPherson G., J.R. Simpson, P.J. Peper, S.E. Maco, and Q. Xiao, 2005. Municipal forest benefits and costs in five US cities. Journal of Forestry 103:411-416.

Smiley, T. E., L. Calfee, B. Fraedrich and E.J. Smiley, 2006. Compaction of structural soil and noncompacted soils for trees surrounded by pavement. Arboriculture and Urban Forestry, 32(4): 164-169.

Thelen, E., W.C. Grover, A.J. Hoiberg, and T.I. Haigh, 1972. Investigation of Porous Pavements for Urban Runoff Control. Environmental Protection Agency.

Trowbridge, P. and N.L. Bassuk, 2004. Trees in the urban landscape: site assessment, design and installation. Chapter 3:61-81. Wiley and Sons, Inc.

Trowbridge, P. and N.L. Bassuk, 1999. Redesigning paving profiles for a more viable urban forest. ASLA Proceedings Annual Conference, pp. 350-351. 13(2): 64-71.

Xiao Q., and E. McPherson, 2003. Rainfall interception by Santa Monica's municipal urban forest. Urban Ecosystems, 6:291-302.

N.B. Ces spécifications de sols structuraux sont fournies à titre informatif pour aider le lecteur. Elles sont présentées « telles quelles » à partir de ressources fournies par les fabricants ou les titulaires de licences. L'inclusion de ces spécifications dans le présent document ne signifie en aucun cas que Virginia Tech, Cornell University ou l'University of California, Davis, ou l'un de leurs employés, endossent ou garantissent ces produits.

Le CU-Sol structural est un matériau breveté et doit être acheté auprès d'un fournisseur autorisé. Amereq (http://www.amereq.com/) concède une licence pour la fabrication du CU-Sol structural afin d'assurer un contrôle de qualité sur les installations.

Le Carolina Stalite est principalement composé d'éléments fabriqués achetés auprès de la Carolina Stalite Company (Salisbury, NC). Il est possible de s'en procurer auprès du département d'horticulture de Carolina Stalite (www.permatill.com).

savaria

Matériaux Paysagers
Savaria Ltée

Certifié ISO 9001

950, de Lorraine
Boucherville (Québec) J4B 5E4
www.savaria.ca
info@savaria.ca

Téléphone
450 655-6147 / **1 877 728-2742**
418 832-0180 (Charny)
613 679-1010 (Alfred)

Télécopieur
450 655-5133
418 832-6879 (Charny)
613 679-0440 (Alfred)

Alfred - Boucherville - Charny - Laval - St-Roch-de-Richelieu