



**BJÖRN EMBREN**  
Spécialiste des arbres – Stockholm  
*Rendre l'eau au sol et à l'arbre de la cité.*



**Stockholm's structure plant beds**  
Björn Embrén  
Stockholm Traffic Administration  
Swedish University of Agricultural Sciences  
Arbor Konsult AB

2018 Les premières carottes cultivées dans un mélange de pierres concassées, biochar et compost

**La principale source d'inspiration pour  
les fosses de plantation de Stockholm**

---

### 3. Jungbäume: Standort – Pflanzung – Pflege

---

#### **3.1 Standortoptimierung für die Pflanzung von Straßenbäumen – Zwischenergebnisse von Langzeitversuchen**

*Prof. Dipl.-Ing. Gilbert Lösken, Institut für Grünplanung und Gartenarchitektur,  
Universität Hannover, Herrenhäuser Straße 2A, 30419 Hannover*

1989-1999

En 2002, nous avons commencé à utiliser un substrat de croissance à base de pierres "macadam" afin d'améliorer la gestion des arbres et des eaux pluviales. A present, plus de 5000 arbres (anciens et nouveaux) ont tiré profit de fosses de plantation à base de "macadam"



Le "macadam" est un type de construction routière, dont l'ingénieur écossais John Loudon McAdam a été le pionnier vers 1820. La technique consiste à poser une épaisse couche de pierres dont les fragments ont été soigneusement calibrés selon une granulométrie précise. Cette couche est ensuite solidement tassée (WIKI)



Offre 35-40% de porosité



Première route en  
"macadam" USA 1823 (WIKI)

Lors d'un essai, nous avons trouvé une construction similaire dans une zone d'exploitation. Celle-ci est devenue capitale pour convaincre les ingénieurs civils qu'il s'agissait là d'un concept exploitable pour la construction de routes et d'allées piétonnes respectueuses du système racinaire.





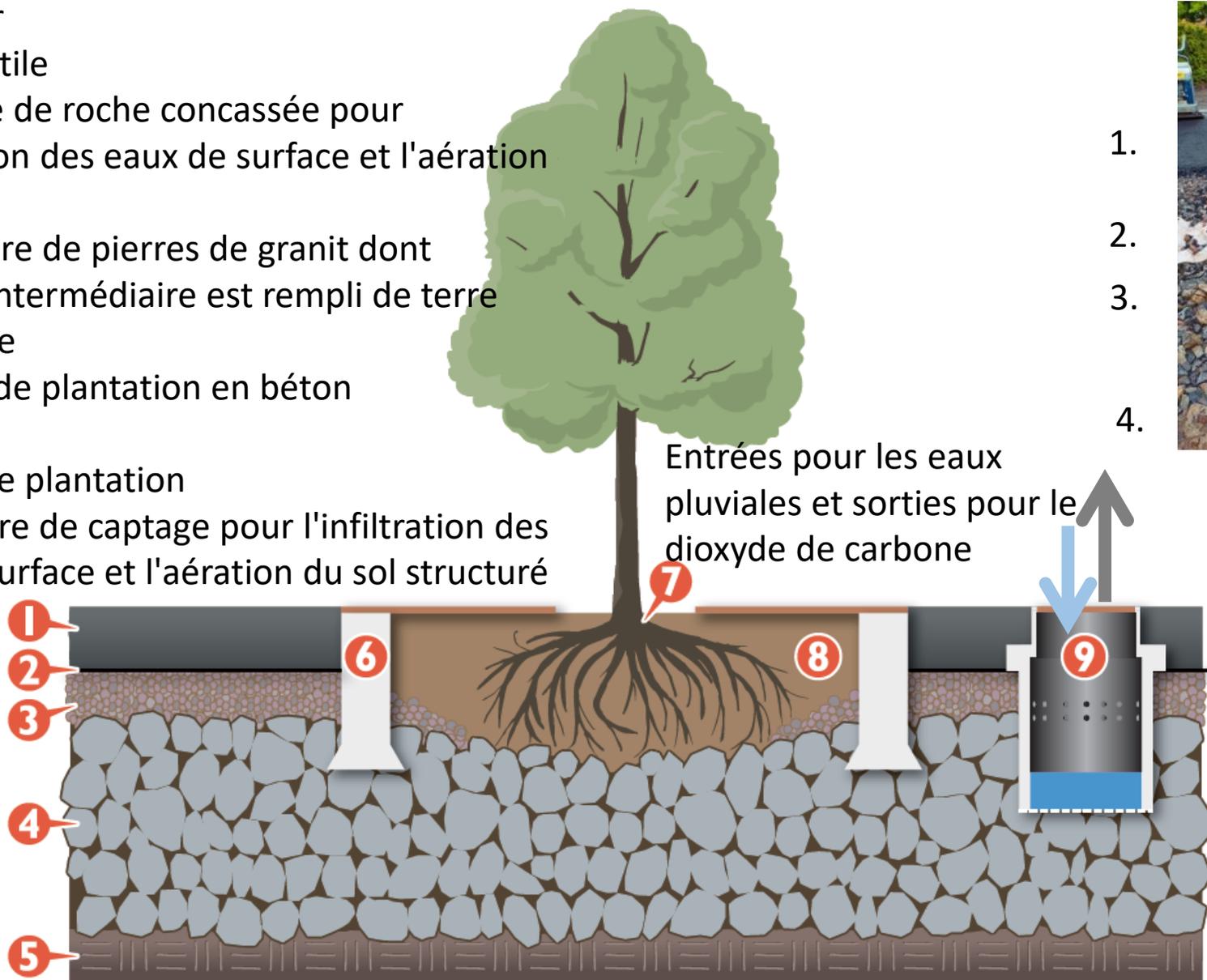
2020 Un fossé récemment découvert en bord de route où pierres et racines se côtoient.



Même endroit que sur l'image précédente



1. Trottoir
2. Géotextile
3. Couche de roche concassée pour l'infiltration des eaux de surface et l'aération du sol
4. Structure de pierres de granit dont l'espace intermédiaire est rempli de terre
5. Terrasse
6. Coffre de plantation en béton
7. Arbre
8. Terre de plantation
9. Chambre de captage pour l'infiltration des eaux de surface et l'aération du sol structuré



- 1.
- 2.
- 3.
- 4.





Combien d'eau supplémentaire chaque arbre sur sol structuré peut-il absorber, par rapport aux sols urbains «normaux»?

La question est de savoir comment les systèmes racinaires peuvent-ils se développer et comment l'eau peut-elle pénétrer dans le sol?



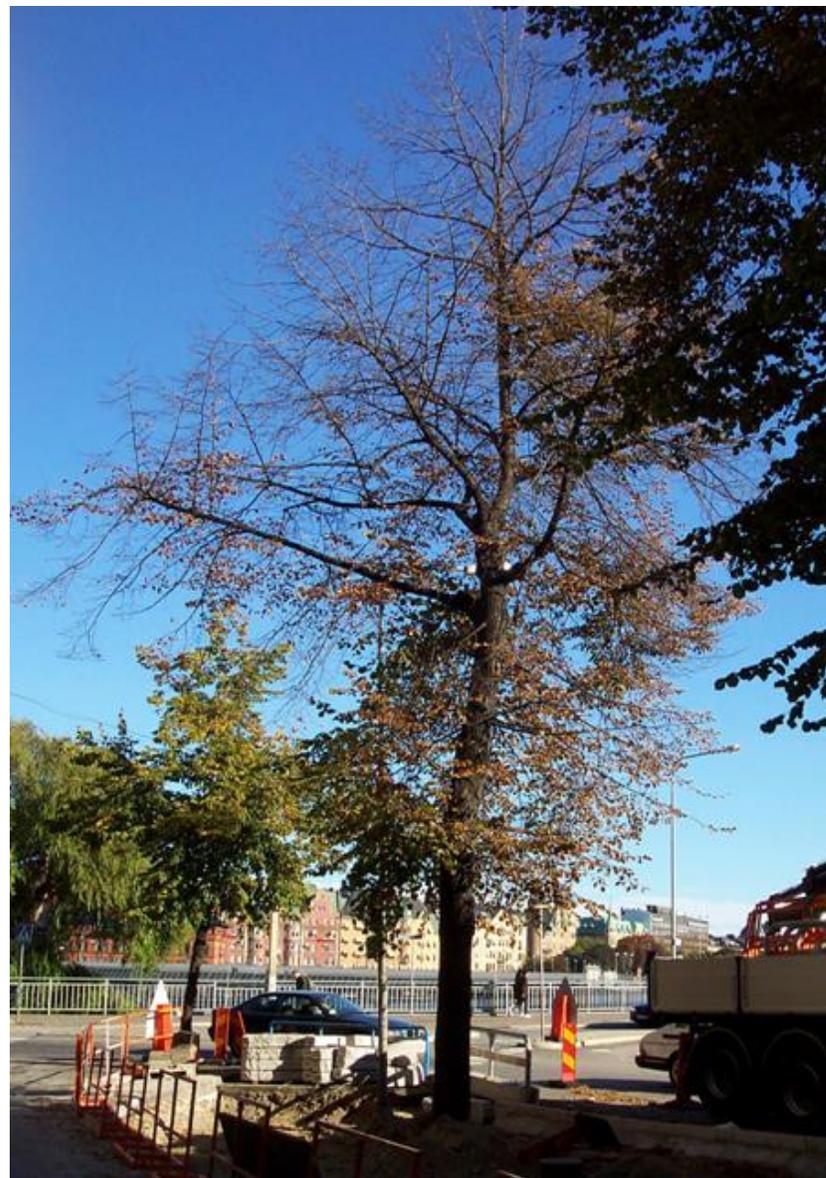
Structure de sol avec une bonne infiltration et un bon échange gazeux



Sol ordinaire avec mauvaise structure et mauvaise infiltration des eaux pluviales



À gauche 2002. À droite 2013. Arbre à Kungsbrogplan avant et après la restructuration du sol





16-32mm

Macadam

32-63mm

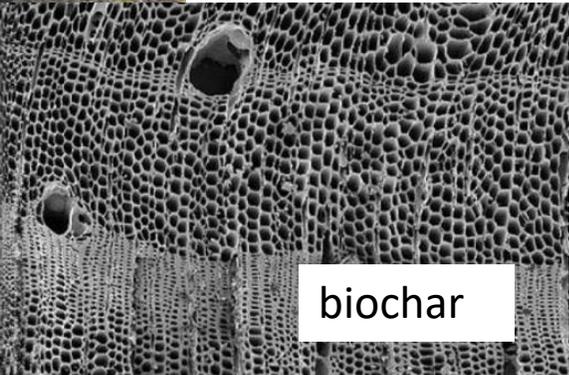
Pour garantir le succès, pensez Porosité!

8-16mm

16-32mm



2-6mm



biochar

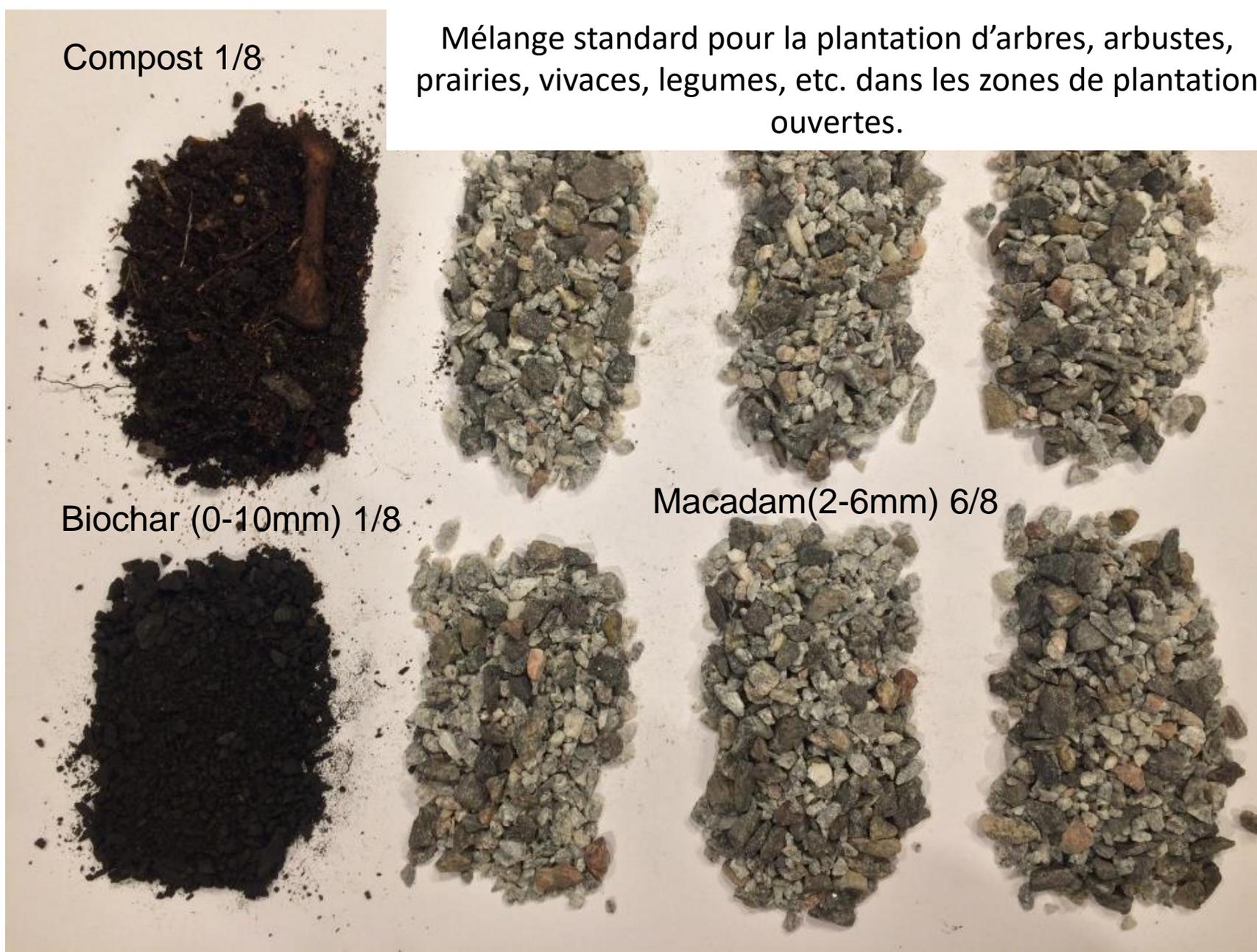


Compost 1/8

Mélange standard pour la plantation d'arbres, arbustes, prairies, vivaces, légumes, etc. dans les zones de plantation ouvertes.

Biochar (0-10mm) 1/8

Macadam(2-6mm) 6/8



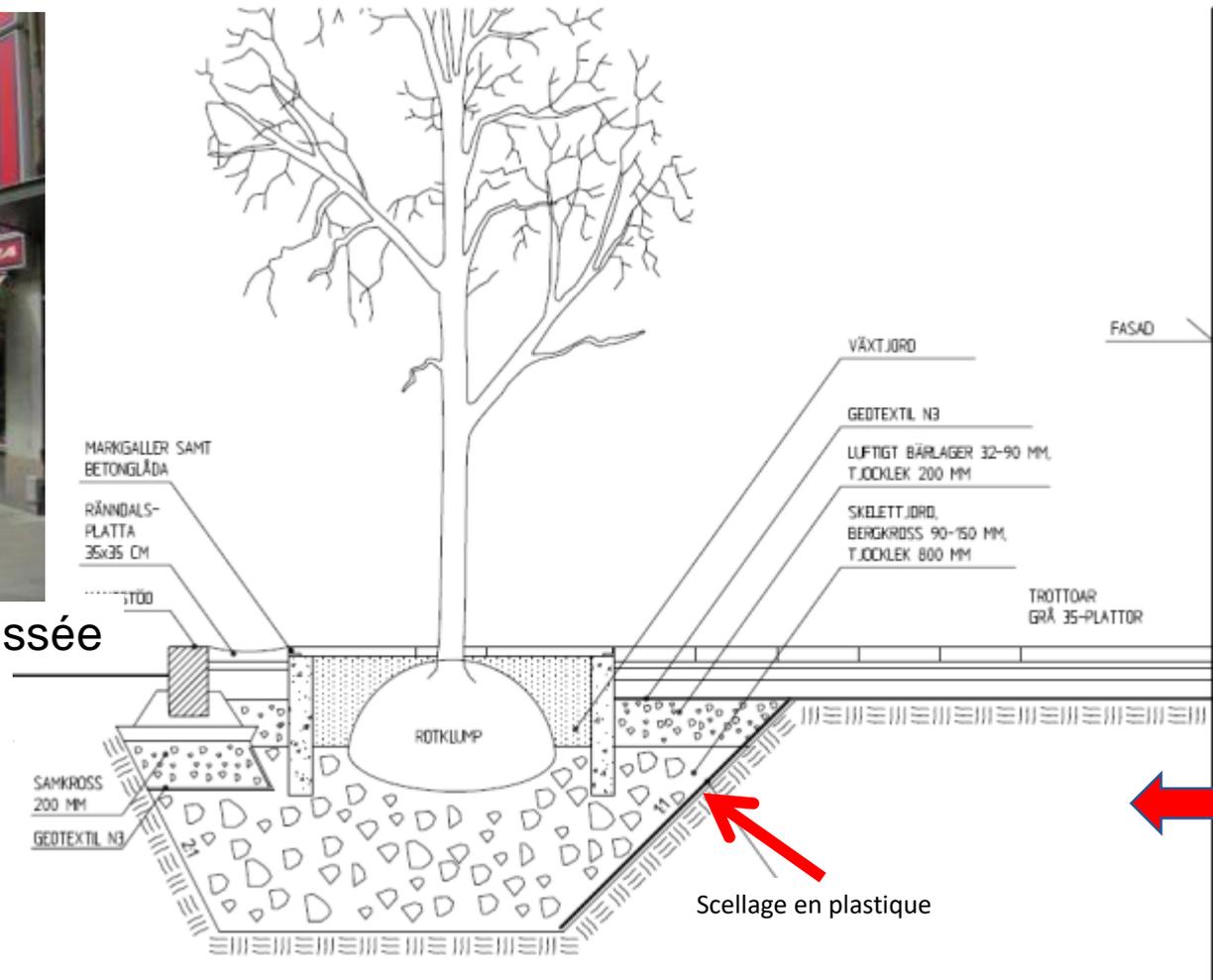
Biochar et fragments de pierre = granit broyé **6/8 parts par volume (2-6mm)** +  
biochar enrichi en nutriments **1/8 volume** + compost **1/8 volume**



# Coupe transversale du trottoir de la fosse de plantation longitudinale



Chaussée



Bâtiment

Tuyaux, câbles et fils recueillis près de la façade

Les fosses sont reliées entre elles le long de l'îlot ou du trottoir pour garantir les meilleures conditions pour les arbres

Au cours des années, nous avons changé la composition du n°5 (terre de structure). Avant = terre ordinaire fabriquée en usine. Aujourd'hui = biochar enrichi de différents types de compost.

## STOCKHOLM STRUCTURAL SOIL

A construction method that optimises gaseous exchange and use of stormwater runoff to create good conditions for trees in paved areas and provide excellent load bearing capacity for streets while minimising risks of damage to paving and underground pipes



## Première couche 300mm de macadam 90-150mm étalé et compacté



Les côtés du fossé sont composés d'une construction routière fortement compactée avec une très faible capacité d'infiltration dû à la faible porosité de la structure



2017 à Magnus Ladulåsgatan:  
Première structuration de sol avec  
du biochar et du compost

Macadam: fragments de granit 90-150mm.  
Chaque couche de 300 mm est compactée pour  
plus de stabilité.  
Du béton recyclé peut être utilisé comme  
élément de structure dans le sol à la place du  
granit



Taille du granit 90-150mm



Compactage avant que la terre ne s'infiltré par les vides



Coffre en béton pour maintenir en place la surface pavée autour de l'arbre



La pierre doit tomber dans le coffre pour obtenir une construction stable





On force l'infiltration du biochar et du compost entre les fragments de pierres par arrosages successifs. Chaque couche ne doit pas faire plus de 30mm. On répète jusqu'à ce que la couche de fragments soit rempli. À la fin, la pierre doit être apparente à la surface.



La couche de "macadam" (90-150mm) ainsi que le compost de biochar (50/50) versé puis infiltré entre les pierres fournit la structure la plus solide pour les charges lourdes



Faire pénétrer le mélange dans la structure



Chambre de ventilation et entrée d'eau de pluie



Couche d'infiltration de l'eau de pluie sur le sol structuré



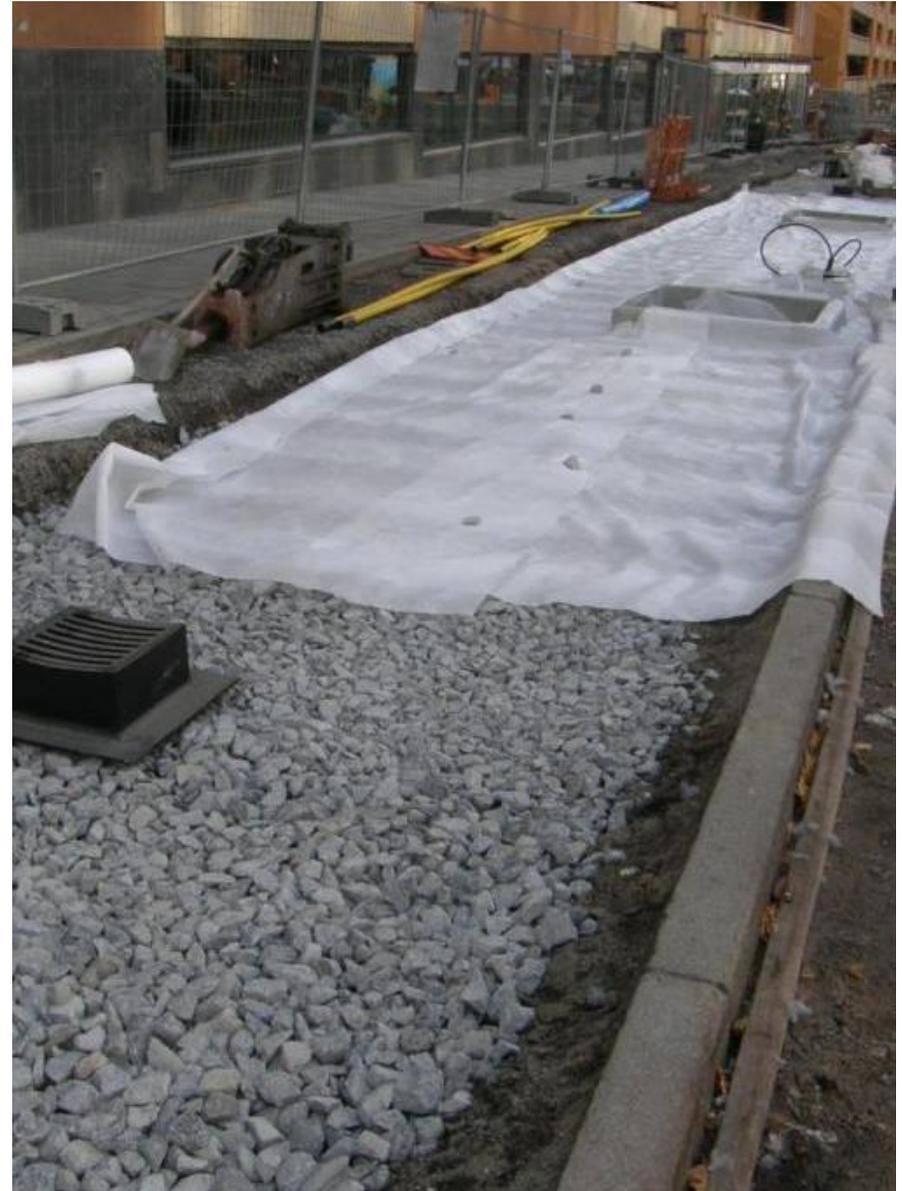


La couche d'infiltration pour l'eau de pluie et la ventilation du sol





Aux connections avec les bordures, ou les entrées des coffres en béton, on intègre une couche importante faite de géotextile afin qu'aucun matériau fin ne puisse s'écouler et boucher les chemins d'infiltration et d'aération.





Si les vieux arbres sont sains, nous enlevons la matière autour des racines et nous remplissons à nouveau avec de la terre structurée



Nous récupérons l'eau des toits, des trottoirs et des rues à travers des grilles d'infiltration vers la couche porteuse et le sol structuré.



Si la couche de percolation est pleine, les eaux d'orage s'écoulent dans l'ancienne évacuation de la rue.



Estimation du nombre d'arbres de Hornsgatan 40 x 25 m2  
Toit et surface des trottoirs: 5000 m<sup>2</sup> . Pluie: 600 mm par an. Environ 3 millions de litres d'eau par an.  
Économie de coûts pour le traitement des eaux pluviales = 3000 euros /an  
=> Réduction de la charge sur le réseau d'égouts et la mer Baltique / et les lacs

## Grille pour l'infiltration des eaux de pluie





# Koelreuteria paniculata deuxième saison de croissance



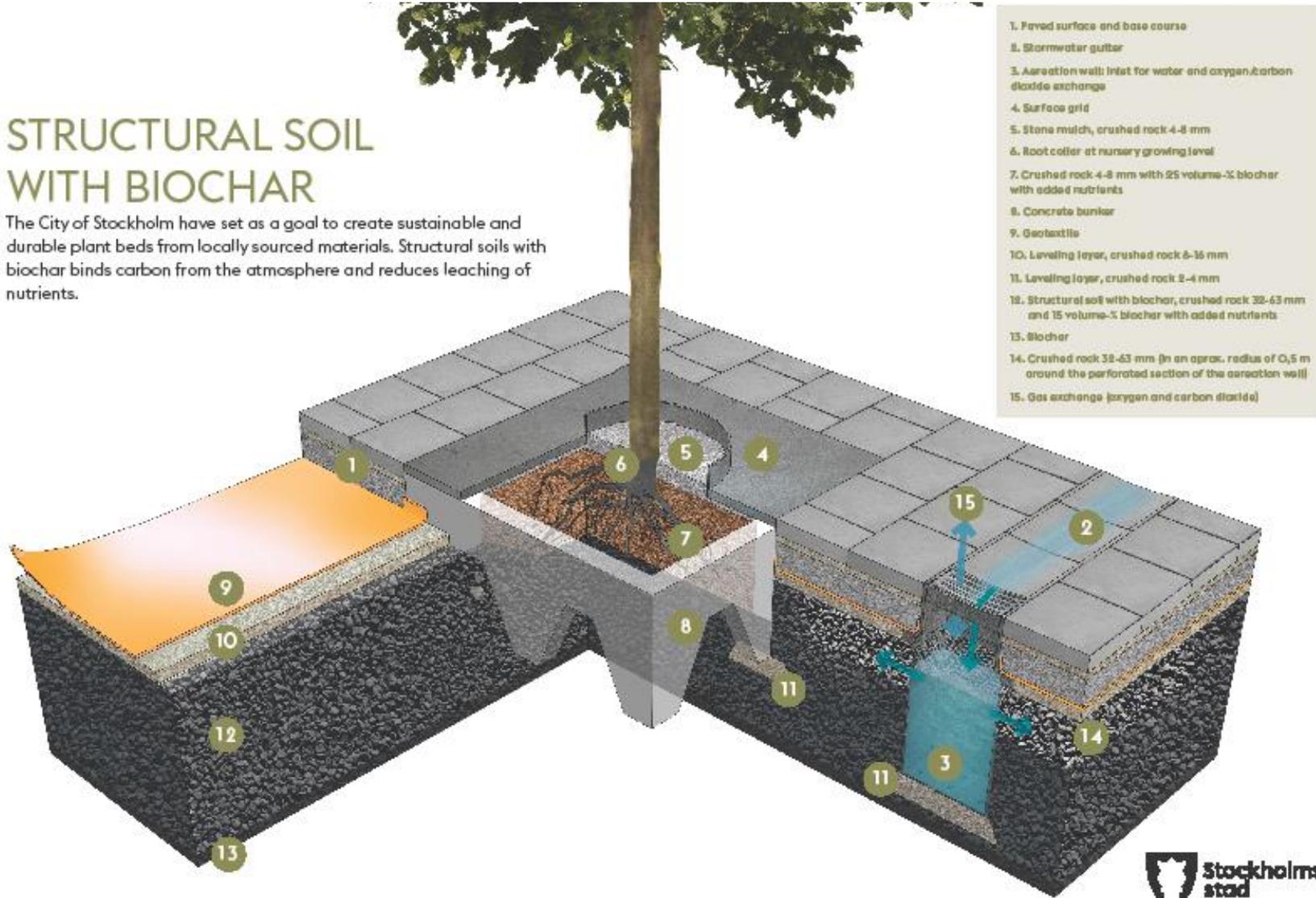
# Koelreuteria paniculata troisième saison de croissance



Cette solution s'avère être moins cher et plus rapide à mettre en œuvre dans les allées, les parkings et les places. Le biochar et le compost de macadam sont achetés prêts à l'emploi et compactés une fois qu'ils ont été étalés. Le volume du compost et du macadam est de 15% ; il n'augmente pas le volume du macadam.

## STRUCTURAL SOIL WITH BIOCHAR

The City of Stockholm have set as a goal to create sustainable and durable plant beds from locally sourced materials. Structural soils with biochar binds carbon from the atmosphere and reduces leaching of nutrients.



1. Paved surface and base course
2. Stormwater gutter
3. Aeration wall: Inlet for water and oxygen, carbon dioxide exchange
4. Surface grid
5. Stone mulch, crushed rock 4-8 mm
6. Root collar at nursery growing level
7. Crushed rock 4-8 mm with 25 volume-% biochar with added nutrients
8. Concrete bunker
9. Geotextile
10. Leveling layer, crushed rock 6-16 mm
11. Leveling layer, crushed rock 2-4 mm
12. Structural soil with biochar, crushed rock 32-63 mm and 15 volume-% biochar with added nutrients
13. Biochar
14. Crushed rock 32-63 mm (in an aprox. radius of 0,5 m around the perforated section of the aeration well)
15. Gas exchange (oxygen and carbon dioxide)



Biochar et fragments de pierres = granit broyé (macadam 32-63 mm) et charbon de bois enrichi en nutriments 15%. Volume prémélangé





# Nybrogatan 2015





# Nybrogatan 2016 Magnolia



Fosse de plantation pour les arbres des rues : charbon de bois et macadam = granit broyé 32-63 mm mélangé à 15% de charbon de bois enrichi en nutriments. Le granit peut être remplacé par du béton recyclé de même taille.





## Kolonivägen 2016-2017

Magnolias, Cersis, Prunus.

1 part biochar 0-10mm och 3 parts macadam 4-8 mm 600mm.



2018 première saison de croissance après que les arbres aient obtenu de nouveaux lits de plantation au cours de l'année la plus sèche jamais enregistrée à Stockholm



2020 troisième saison de croissance après la rénovation. Les plantes et arbres sont en bonne santé.

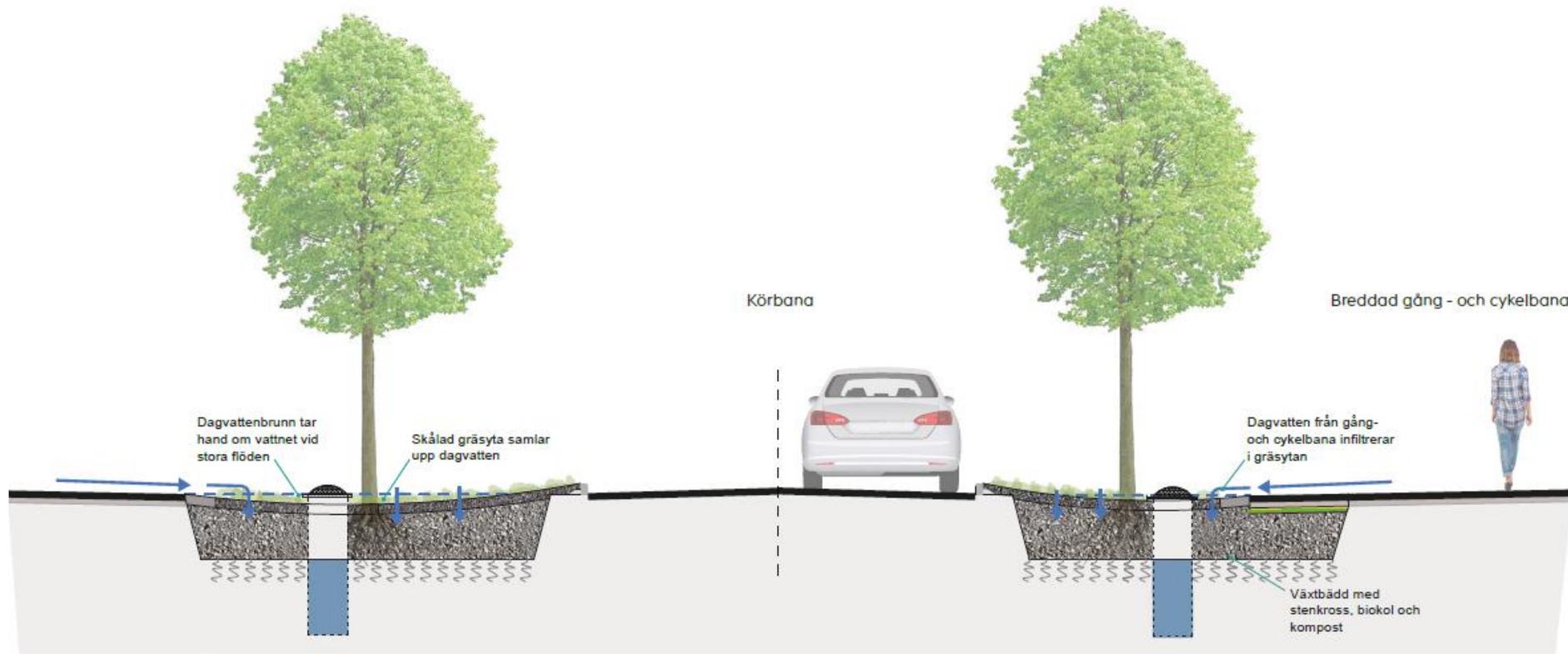


Entrée pour les eaux pluviales vers la fosse de plantation



2020











2020





2020 Sätra

Macadam biochar compost, eaux pluviales du parking et de la route.



grilles pour l'infiltration des eaux de pluie

grille pour l'infiltration des eaux de pluie



Les tests sur nos fosses de plantation avec macadam ont été effectués par

# VTI

Recherche et développement sur les infrastructures, le trafic et les transports

VTI, l'Institut national suédois de recherche sur les routes et les transports, est un institut de recherche indépendant et de renommée internationale dans le secteur des transports. Sa principale mission consiste à mener des activités de recherche et de développement sur les infrastructures, le trafic et les transports. Le système de qualité et le système de gestion de l'environnement sont certifiés ISO selon la norme ISO 9001

[www.vti.se](http://www.vti.se)



Figur 29. Fallviktsmätning vid Odengatan 86 i Stockholm.

## Vti mesure la rigidité de la surface pavée sur un sol structuré

Des mesures sur le terrain effectuées dans les municipalités de Malmö, Stockholm et Kristianstad montrent que la superstructure du sol a une bonne rigidité et que la force portante correspond à la superstructure squelettique standard d'une route de classe 2 si elle est bien construite.

Il est donc possible d'utiliser des structures squelettiques de sol même dans des rues très fréquentées si elles sont conçues et construites de manière adéquate.

# Classe de trafic 2, <1.000.000 Trafic avec charge par essieu de 16 tonnes



environ 18 bus / h ou 1 bus / 3 min

Circulation durant les 12 heures de la journée



environ 400 véhicules de service plus lourds / jour



75 000 véhicules de service légers / jour



Quelques exemples d'arbres que nous avons utilisés ces dernières années pour accroître la diversité dans l'environnement urbain



Une solution pour les surfaces difficiles (ex: sol en béton à 50 cm de profondeur)



Paulownia tomentosa

Aesculus hippocastanum planted 2004 as 30-35cm. after 8 years the trees are 70 - 83cm



2004-2012

Erik Dahlbergsallén

# Grindsgatan

*Metasequoia glyptostroboides*





## Rehngatan 2020

### Andra växtsäsongen

*Celtis occidentalis*

*Celtis australis*

*Eucomia ulmoides*

*Parrotsia persica*

*Metasequoia glyptostroboides*



Ginkgo biloba





Autour des aires de stationnements de Flatenbadet, choix d'arbres indigènes et semis de prairies sèches dans un mélange de Biochar et macadam



# Flaten 2019 première année





2020 deuxième saison



Il est temps de planter les arbres !





## Présence de mycorhizes dans les "sols structurés"





Donne des arbres sains avec tous les effets positifs que cela engendre



Diminue les risques d'inondations



Atténue l'effet d'îlot de chaleur



Retient le dioxyde de carbone dans le sol grâce à l'utilisation du biochar dans les fosses de plantation

Diminue la présence de particules et de dioxyde de carbone dans l'air



Limite la charge sur les systèmes d'eaux pluviales, réduisant ainsi la pollution du lac Mälaren et de la mer Baltique





**Växtbäddar i Stockholms stad**  
– en handbok 2017

[stockholm.se/trad](http://stockholm.se/trad)