



HAL
open science

Construction de sols végétalisés à partir de déchets afin de préserver la ressource naturelle “sol ”

Patrice Cannavo, Laure Vidal Beudet, C. Grosbellet, D. Yilmaz, Geoffroy Séré, M. Legret, O. Damas, P.E Peyneau

► To cite this version:

Patrice Cannavo, Laure Vidal Beudet, C. Grosbellet, D. Yilmaz, Geoffroy Séré, et al.. Construction de sols végétalisés à partir de déchets afin de préserver la ressource naturelle “sol ”. *Innovations Agronomiques*, 2015, 45, pp.73-81. 10.15454/1.4622655320234775E12 . hal-01455997

HAL Id: hal-01455997

<https://hal.science/hal-01455997>

Submitted on 27 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Construction de sols végétalisés à partir de déchets afin de préserver la ressource naturelle «sol »

Cannavo P.¹, Vidal-Beaudet L.¹, Grosbellet C.², Yilmaz D.³, Séré G.^{4,5}, Legret M.³, Damas O.⁶, Peyneau P.-E.³

¹ Agrocampus Ouest - Campus d'Angers,IRSTV - EPHor, F-49042 Angers

² Florentaise, La Grande Gâcherie, F-44850 Saint Mars du Desert

³ IFSTTAR, GERS, EE, F-44340 Bouguenais

⁴ Laboratoire Sols et Environnement, Université de Lorraine, UMR 1120, TSA 40602, F-54518 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex

⁵ Laboratoire Sols et Environnement, INRA, UMR 1120, TSA 40602, F-54518 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex

⁶ Plante & Cité, F-49066 Angers

Correspondance : patrice.cannavo@agrocampus-ouest.fr

Résumé

L'Homme attiré par la ville consomme de la ressource en terre agricole non renouvelable pour agrandir les villes et les doter d'espaces végétalisés de qualité. De plus l'homme urbain est un très grand producteur de déchets non recyclables. L'objectif de ce travail a été d'évaluer la capacité des végétaux à se développer dans des sols construits à partir de sous-produits organiques ou de mélanges de déchets organiques et minéraux pour les aménagements végétalisés en milieu urbain. Depuis 2005, nous avons réalisé deux études sur le fonctionnement hydrodynamique de sols construits dans des lysimètres de 500 L et plantés d'arbres. La première étude a consisté à étudier l'effet de la nature d'un produit organique (compost de déchets verts et co-compost de boue de station d'épuration (STEP) et de bois de palette) en mélange à de la terre végétale à raison de 40% en volume sur le fonctionnement d'un horizon de croissance, tandis que la deuxième a porté sur le fonctionnement de sols portants construits à partir de déchets divers contenant 70% d'éléments pierreux (calcédoine ou déchets de bâtiment, ou ballast usagé de voie ferrée). Les travaux ont montré l'importance de la nature et de la maturité du compost mélangé au sol afin de créer et de maintenir la macroporosité (aération racinaire) et de la microporosité (réserve en eau) du mélange de croissance et de favoriser le développement racinaire. Les mélanges terre-pierre construits à partir de déchets ont limité le risque de compaction des sols, ont montré un bon fonctionnement hydrodynamique et ont été propices au bon développement racinaire.

Mots-clés : Technosol, Matière organique, Arbre, Racines, Propriétés hydrodynamiques

Abstract: Soils constructed with waste materials for urban greening as an alternative to the use of natural soil

People attracted by the cities use no reusable agricultural soil resource to extend cities and to provide green spaces of quality. Moreover, urban people produce large amounts of no reusable wastes. The objective of this study was to evaluate plant ability to develop in soils constructed with organic byproducts or mixed organic and mineral waste materials for urban greening. Since 2005, we carried out two studies on constructed soil hydrodynamic behavior in 500-l lysimeters and planted with trees. The first study consisted in studying the nature effect of organic products (green waste compost, sludge/wood chip cocompost) mixed to arable soil by 40% in volume on a growing media layer functioning, and the second consisted in studying soil support functioning constructed with various waste materials containing stony elements up to 70% (chalcedony or demolition rubble or track ballast). Results showed the importance of the nature and the maturity of the compost to create or maintain

macroporosity (root aeration) and microporosity (water reserve) of constructed soils to favor root development. Soil-stone mixes constructed with wastes reduced soil compaction risk, proved their acceptable hydrodynamic functioning, and favored root development.

Keywords: Technosol, Organic matter, Tree, Roots, Hydrodynamic properties

Introduction

Les sols en milieu urbain ont la particularité d'être généralement peu fertiles pour la croissance de végétaux (Morel et al., 2005). Notamment, les arbres sont installés dans des fosses de plantation dont le volume est limité, ce qui contraint le développement racinaire (Lindsey et Bassuk, 1991). Ces sols sont soumis à la compaction en raison de l'activité humaine, réduisant la circulation de l'eau et de l'air. De plus, la gestion de la fertilisation chimique est problématique car les apports d'éléments fertilisants sont techniquement difficiles après plantation d'arbres. Ainsi les propriétés physico-chimiques des sols urbains peuvent limiter la croissance des arbres.

Pour pallier ces contraintes lors de la mise en place d'espaces verts, le sol peut être conservé mais remanié, voire excavé et remplacé par un autre matériau tel que la terre végétale. La terre végétale correspond à l'horizon de labour (environ 30 cm d'épaisseur) d'anciennes parcelles cultivées destinées à être urbanisées. Le problème aujourd'hui réside dans la surexploitation de cette terre (3 millions de m³ annuel moyen sur tout le territoire français, soit un décapage annuel de 1000 ha). Cette surexploitation se fait au détriment des surfaces cultivables qui ont baissé (3% de sols artificialisés en France entre 2000 et 2006). En parallèle, l'Homme est producteur de déchets et en 2012, la production de déchets en France a représenté 344 millions de tonnes, dont seulement 64% sont valorisés. La récente Loi d'Avenir pour l'Agriculture (Octobre 2014) prévoit la préservation du foncier agricole et une meilleure conservation et protection des sols. Ainsi, le défi à relever est la construction de sols fertiles à partir de déchets à recycler ou à valoriser afin de préserver la ressource naturelle « sol ».

L'objectif de cet article est de présenter l'évolution des propriétés physiques des sols urbains construits à partir de sous-produits et déchets et leur impact sur le fonctionnement hydrodynamique du mélange et leur aptitude à favoriser la croissance des végétaux.

1. Matériels et méthodes

Deux études ont été réalisées dans des lysimètres de 500 L à Agrocampus Ouest, Campus d'Angers (49).

1.1 Impact de l'ajout de matière organique en grande quantité sur les propriétés physiques et le transfert d'eau dans le sol (2005-2010)

En 2005, 21 lysimètres ont été installés afin d'imiter le trou de plantation d'un arbre. Neuf des lysimètres ont été plantés d'*Ostrya carpinifolia* (charme-houblon). Deux composts (compost de déchets verts ou co-compost de boue de station d'épuration (STEP) et de bois de palette) ont été mélangés (40% en volume) avec de la terre de décapage agricole afin de constituer un matériau de croissance et ont été comparés à la terre témoin. Aucun apport supplémentaire de compost n'a eu lieu les années suivant la mise en place. Chaque lysimètre était constitué de 2 couches de 28 cm chacune, la couche de surface contenant la terre témoin + un compost et la couche inférieure constituée uniquement de terre témoin (pour le témoin, 56 cm de sol). Dans la couche de surface, la teneur en C organique initiale était respectivement de 7.7, 47.4 et 52.5 g kg⁻¹ dans le témoin, le mélange terre + co-compost de boue de STEP et bois de palette, et le mélange terre + compost de déchets verts. Dans la couche de profondeur,

cette teneur était de 7.4 g kg⁻¹. Pour chaque traitement, un lysimètre a été démonté après 0.5, 1, 2 et 5 ans pour les bacs sans arbre et à 2.5 et 4.5 ans pour les bacs avec arbre.

1.2 Propriétés physiques de sols construits à partir de déchets en mélange terre-pierre (2013-2016)

En 2013, 9 lysimètres ont été construits pour imiter, cette fois, une fosse de plantation de 12 m³ (réduit à une échelle 1/3) et ces lysimètres ont tous été plantés d'érable platane (*Acer platanoides*). Chacun d'entre eux est constitué de deux matériaux : un matériau de croissance favorisant la reprise racinaire et commun à l'ensemble des lysimètres et un matériau squelette assurant la résistance à la compaction du sol et une bonne infiltration. Le matériau de croissance – mélange de brique et de compost de déchet vert noté BR-CO - occupe un volume de 25 L au centre de chaque lysimètre (forme cylindrique 36 cm diamètre, 25 cm profondeur), tandis que le matériau squelette occupe le reste du lysimètre (475 L). Trois matériaux squelettes ont été étudiés. Il s'agit de mélanges terre-pierre contenant environ 70% de pierres (calibre 40-80 mm) en volume, le mélange témoin utilisé en routine par la ville d'Angers depuis 30 ans, un mélange de terre acide – ballast de voie ferrée – et boues de station d'épuration noté TA-BA-BS, un mélange de terre acide – déchet de démolition de bâtiment – déchet vert noté TA-DB-DV. Le Tableau 1 détaille l'ensemble des matériaux utilisés et leurs proportions. Trois répétitions pour chaque matériau squelette ont été réalisées. Les densités apparentes sèches initiales étaient de 0.49, 1.71, 1.68 et 1.38 g cm⁻³ pour les matériaux BR-CO, Témoin, TA-BA-BS et TA-DB-DV, respectivement. Chaque année, une répétition de chaque traitement est démontée (2014, 2015 puis 2016).

Tableau 1 : Composition du matériau de croissance et des matériaux squelette. Les valeurs sont des proportions volumiques

Mélange	Fraction terreuse		Fraction minérale grossière		Fraction organique	
	Origine	Proportion	Origine	Proportion	Origine	Proportion
Matériau de croissance						
BR-CO	--	--	Brique	0.47	Co-Compost boue STEP et déchets verts	0.53
Matériau squelette						
Témoin	Terre excavée acide (TA)	0.27	Calcédoine	0.70	Compost de déchets verts	0.03
TA-BA-BS	Terre excavée acide (TA)	0.20	Ballast usagé (BA)	0.76	Boue de station d'épuration (BS)	0.04
TA-DB-DV	Terre excavée acide (TA)	0.22	Déchet de bâtiment (DB)	0.75	Déchets verts (DV)	0.03

1.3 Mesures réalisées

A chaque date de démontage des lysimètres, les mesures suivantes ont été réalisées :

- Au niveau du végétal, les biomasses aérienne et racinaire ont été quantifiées par séchage à l'étuve à 60°C pendant 72h. La biomasse racinaire a été caractérisée spatialement dans les lysimètres par la méthode des blocs (Böhm, 1979).

- Au niveau du sol, pour le dispositif expérimental 2005-2010, des échantillons de sol non remaniés ont été prélevés dans chacun des horizons pour mesurer la masse volumique apparente et la conductivité hydraulique à saturation à charge constante. La stabilité des agrégats a été mesurée par la méthode de Le Bissonnais (1996). Elle a été quantifiée par réhumectation rapide. Pour le dispositif expérimental 2013-2016, la caractérisation des propriétés hydrodynamiques (courbe de rétention en eau, conductivité hydraulique à saturation) a été obtenue par des mesures d'infiltration faites en surface du

sol (infiltromètres à mini-disque, 8 cm de diamètre, Decagon Devices, Pullman, WA, USA). Les propriétés hydrodynamiques ont ensuite été obtenues par résolution inverse avec le logiciel HYDRUS 2D (Simunek et al., 1998). En effet, l'extraction d'échantillons non remaniés dans des mélanges terre-pierre est techniquement impossible sans risquer de déstructurer le sol. A partir des courbes de rétention, la réserve utile (différences des teneurs en eau volumiques aux potentiels matriciels 31.6 et 1600 kPa) et la macroporosité (différences des teneurs en eau volumiques aux potentiels matriciels 0 et 31.6 kPa) ont été calculées. La fraction de terre fine (< 2 mm) a été analysée pour ses caractéristiques chimiques (Laboratoire LCA).

2. Résultats et discussion

2.1 Rôle de la matière organique dans la structuration du sol (matériau de croissance)

L'apport de matières organiques en grande quantité (jusqu'à 40% en volume) et en une seule fois lors de la mise en place du sol support de végétation est une pratique classique des gestionnaires des espaces verts en ville pour des usages tels que « squares et parcs » ou arbres d'alignement. L'objectif est en effet de garantir une durabilité à long terme des bonnes conditions physiques du sol. L'effet de l'apport de matière organique sur l'évolution de la masse volumique apparente et de la conductivité hydraulique à saturation sans présence d'arbre est présenté à la Figure 1 :

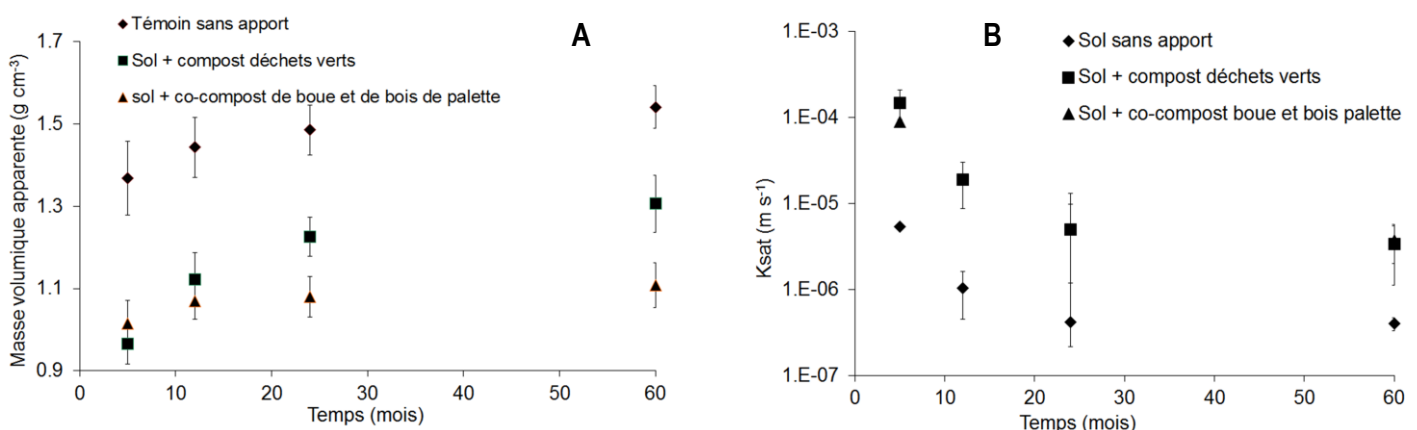


Figure 1 : Evolution de la masse volumique apparente (A) et de la conductivité hydraulique à saturation (B) en fonction du temps et en fonction de la nature de la matière organique apportée, dans la couche de surface (0-28 cm) (d'après Cannavo et al., 2014)

Quels que soient les traitements, la masse volumique apparente tend à croître durant les 5 années d'expérimentation (Figure 1A). Ceci est lié à deux phénomènes combinés, le tassement du sol et la biodégradation de la matière organique. La teneur en C organique s'est stabilisée au bout de 2 ans dans tous les traitements et au bout de 5 ans était de 7.4, 27 et 34 g kg⁻¹ pour le témoin, le mélange sol + déchets verts, et le mélange sol + co-compost de boue de STEP et bois de palette, respectivement et a donc fortement diminué dans les mélanges avec compost. Nous n'avons pas détecté de migration de carbone organique dans l'horizon de profondeur ni de perte par lessivage de ce carbone. Le diminution du carbone dans les mélanges correspond uniquement à un phénomène de minéralisation (Vidal-Beaudet et al., 2012). Cependant, l'apport de matière organique a un effet positif sur cette masse volumique comparativement au témoin. La masse volumique apparente initiale de la matière organique est plus faible (0.3 g sec cm⁻³) que celle du sol (1.27 g sec cm⁻³), ce qui explique que les sols amendés

ont des densités globalement plus faibles que le témoin. Les travaux montrent également une stabilisation de la masse volumique apparente après 2 ans de mise en place. Le sol témoin sans apport de matière organique évolue vers une masse volumique élevée ($1.6 \text{ g sec cm}^{-3}$) qui correspond à un seuil de contrainte pour le développement racinaire (Jim, 1998). Enfin, la nature du compost a également un impact sur la masse volumique apparente puisque le sol avec compost de déchets verts se compacte plus que le sol avec co-compost de boue et de bois de palette. L'analyse de l'indice de stabilité biologique du compost de déchets verts a révélé que ce compost était moins mature qu'annoncé par le fournisseur et était donc plus fortement biodégradable. La maturité du compost est donc un critère de vigilance pour la préparation de sols urbains.

Les mêmes grandes tendances ont été observées pour la conductivité hydraulique à saturation K_s (Figure 1B). On observe dans le temps une diminution progressive de K_s pour les raisons citées précédemment. L'effet ajout de compost a permis d'obtenir une meilleure valeur de K_s , d'un facteur environ 10 fois supérieur. En revanche, nous n'avons pas constaté d'effet nature du compost sur les valeurs de K_s .

La matière organique a aussi eu un effet bénéfique sur le développement de l'arbre et notamment sur le compartiment racinaire. Pour les deux dates, 2,5 et 4,5 ans après plantation, les racines se sont développées principalement dans la couche organique (0-10 et 10-25 cm) (Figure 2) et la masse de racine dans la couche profonde est très réduite et constituée principalement de racines $< 5 \text{ mm}$ de diamètre. Après 2,5 ans, la masse totale de racines était légèrement plus élevée dans le mélange sol + compost de déchet vert (DV) et le plus faible dans le mélange sol + compost de boue. Après 4,5 ans, la masse totale de racines étaient plus élevée dans le mélange sol + compost de boue et le plus faible dans le témoin. Pour tous les traitements, les racines $> 5 \text{ mm}$ se sont surtout développées dans la couche 0-10 cm avec une forte augmentation de leur masse toujours pour le mélange sol + compost de boue. Entre les deux dates, les masses de racines fines et moyennes ont augmenté pour tous les traitements dans la couche de surface et ont peu augmenté dans la couche 10-25 cm.

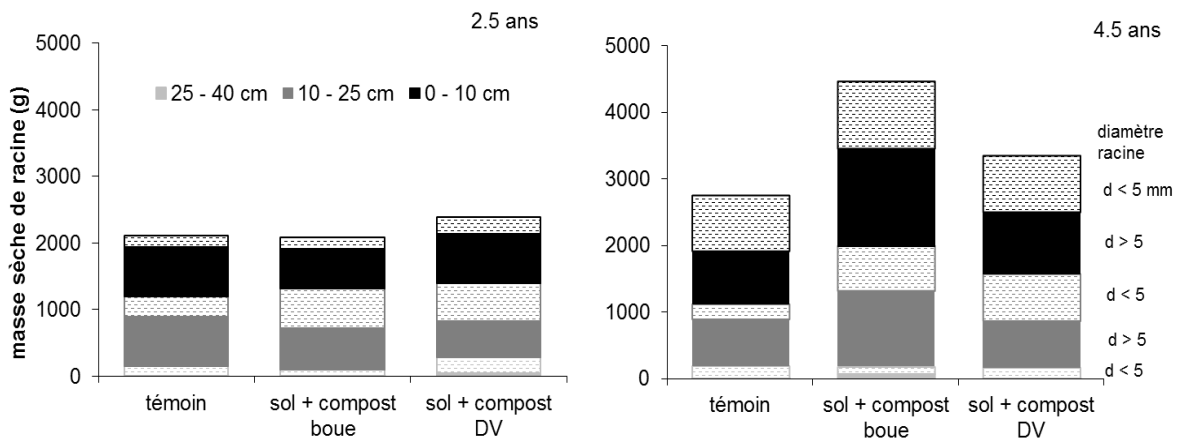


Figure 2 : Biomasse racinaire des *Ostrya carpinifolia* 2,5 et 4,5 ans après plantation

La matière organique exogène a eu un effet positif sur la croissance des arbres ; en retour l'enracinement de l'arbre a également eu un impact bénéfique sur les propriétés physiques du sol et notamment sur la structuration du sol. Nous avons comparé la stabilité structurale des agrégats à différentes profondeurs dans les bacs non plantés et plantés (4 ans et 4,5 ans respectivement après mise en place) pour évaluer les effets du développement racinaire sur la résistance des agrégats (Figure 3). Dans la couche organique (0-25 cm), le test de réhumectation rapide est très destructeur pour les agrégats des bacs non plantés et le diamètre moyen pondéré (DMP) est inférieur à 0,5 mm ce qui révèle une désagrégation des agrégats en fractions plus petites sauf pour le mélange sol + compost de boue. Les agrégats des sols non plantés sont instables et peu résistants à l'éclatement. Dans les bacs plantés, la résistance à l'éclatement augmente significativement. Dans la couche 0-10 cm,

l'amélioration de la stabilité structurale avec la présence de racines est considérable pour tous les traitements qui ont des agrégats stables qui atteignent un DMP de 1,8 mm dans le mélange sol + compost de boue. Dans la couche 10-25 cm, les racines maintiennent une bonne stabilité des agrégats dans le mélange sol + compost de boue tandis que les autres traitements montrent des agrégats peu stables. Dans la couche de profondeur, les agrégats sont instables avec des valeurs de DMP autour de 0,5 mm dans tous les traitements plantés et non plantés. Ces valeurs correspondent aux valeurs de DMP observées dans la couche de surface du témoin non planté..

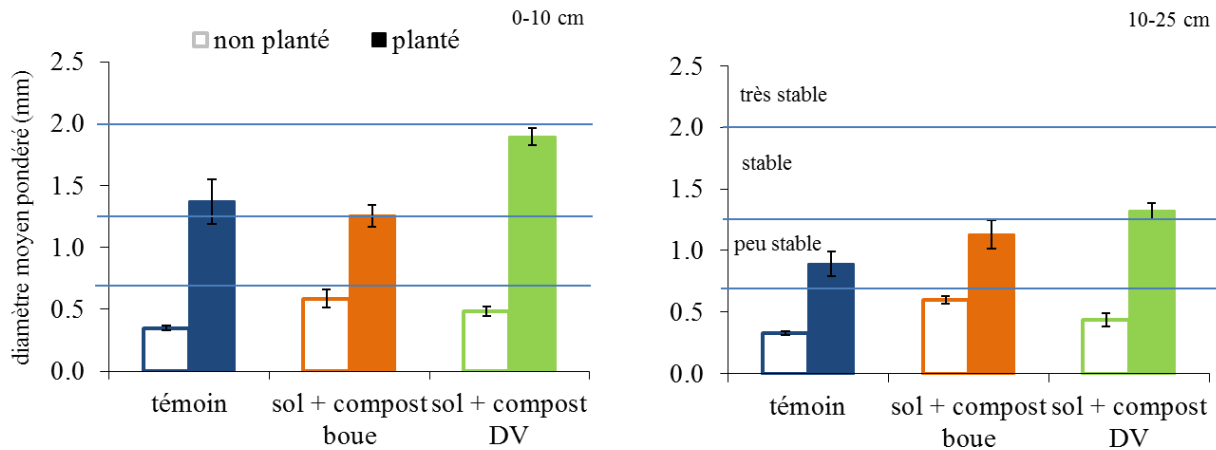


Figure 3 : Diamètre moyen pondéré des agrégats 4 ans et 4,5 ans après plantation dans les bacs non plantés et plantés les couches 0-10 et 10-25 cm

2.2 Aptitude des végétaux à se développer dans des sols construits à partir de déchets (matériau de croissance et matériau squelette)

Les principales caractéristiques hydrodynamiques sont données dans le Tableau 2. Après un an d'installation, les matériaux dans les lysimètres se sont tassés avec un affaissement allant de 4 à 6.3 cm. Ceci a eu pour conséquence une légère augmentation des masses volumiques apparentes. Le matériau de croissance présente une masse volumique très faible comparée aux matériaux squelettes, en raison d'une forte proportion en matière organique (53% en volume, Tableau 1). Le matériau de croissance BR-CO présente également une plus forte RU (0.84 mm cm⁻¹) que les matériaux squelettes (0.58 mm cm⁻¹ en moyenne). L'autonomie hydrique des matériaux a été estimée sur la base d'une évapotranspiration maximale en été de 5 mm j⁻¹. A l'échelle des lysimètres (500 L), la réserve utile est telle qu'elle permet aux arbres une autonomie hydrique d'environ 6 jours en l'absence de pluies.

La conductivité hydraulique à saturation varie de 0.7 à 7.3 m s⁻¹, avec une valeur en moyenne 4 fois plus élevée dans le matériau de croissance. Ceci étant, les valeurs de Ks montrent que ces matériaux favorisent la circulation de l'eau, critère agronomique important en contexte urbain. Cette circulation de l'eau est notamment favorisée par la présence de pierres à hauteur de 70% qui génèrent un squelette limitant le phénomène de compaction et ainsi permettent une circulation satisfaisante de l'eau. Cependant, on peut constater que les valeurs de macroporosité sont très contrastées selon les matériaux considérés : 0.55 v/v pour le matériau de croissance et 0.3 voire 0.1 v/v (TA-DB-DV) pour les matériaux squelettes. Selon Pagliai et Vignozzi (2002), un sol doit avoir une macroporosité au moins supérieure à 0.15 v/v pour satisfaire les besoins d'aération du sol. Finalement, les caractéristiques hydrodynamiques de ces matériaux après 1 an d'installation ne présentent pas de contraintes majeures à l'enracinement des arbres, malgré le risque d'aération insuffisante dans certains matériaux. Ces résultats sont confirmés par les mesures de développement du végétal (Tableau 3).

Tableau 2 : Caractéristiques hydrodynamiques des matériaux un an après leur mise en place dans les lysimètres. Mva = masse volumique apparente sèche, Hcc = teneur en eau volumique à la capacité de rétention, Hpf = teneur en eau volumique au point de flétrissement, RU = réserve utile, Ks = conductivité hydraulique à saturation. Les valeurs entre parenthèses sont les erreurs standards (n=3)

Matériau	Mva (g cm ⁻³)	Hcc (v/v)	Hpf (v/v)	RU (mm cm ⁻¹)	RU ^a (mm)	Autonomie hydrique (j)	Ks (10 ⁻⁵ m s ⁻¹)	Macroporosité (v/v)
BR-CO	0.53	0.23 (0.02)	0.14 (0.01)	0.84 (0.12)	20.9 (4.2)	4.2 (1.3)	7.3 (0.9)	0.55 (0.05)
Témoin	1.83	0.21 (0.04)	0.15 (0.05)	0.60 (0.14)	33.2 (7.7)	6.7 (1.5)	1.9 (0.8)	0.10 (0.04)
TA-BA-BS	1.89	0.27 (0.06)	0.20 (0.07)	0.58 (0.09)	31.7 (4.9)	6.3 (1.0)	0.7 (0.0)	0.09 (0.06)
TA-DB-DV	1.49	0.2 (0.08)	0.07 (0.01)	0.55 (0.05)	30.5 (3.6)	6.1 (1.2)	2.6 (0.8)	0.29 (0.03)

^a Volume du matériau de croissance : 25 L, volume du matériau squelette : 475 L

Tableau 3 : Teneur volumique en racines et biomasse aérienne des *Acer platanoïdes* après un an de croissance dans les lysimètres.

	Teneur vol. racines (v/v)		Biomasse aérienne (g sec)	
BR-CO / Témoin	0-17 cm	1.3E-03	Feuilles	325.1
	17-34 cm	2.3E-03	Bois	1119.6
	34-50 cm	3.6E-04		
	Total	1.3E-03		1444.7
BR-CO / TA-BA-BS	0-17 cm	3.9E-04	Feuilles	190.3
	17-34 cm	1.7E-03	Bois	461.7
	34-50 cm	3.8E-05		
	Total	6.9E-04		652.0
BR-CO / TA-DB-DV	0-17 cm	1.0E-03	Feuilles	322.0
	17-34 cm	1.7E-03	Bois	743.2
	34-50 cm	3.4E-04		
	Total	1.0E-03		1065.2

La teneur volumique en racine était du même ordre de grandeur entre les traitements BR-CO/Témoin et BR-CO/TA-DB-DV. On remarque néanmoins une teneur plus faible dans le traitement BR-CO/TA-BA-BS et plus particulièrement dans le dernier horizon 34-50 cm où la teneur est 10 fois plus faible que dans les autres traitements. La biomasse racinaire totale au bout d'un an de développement était de 549.6, 277.9 and 423.5 g sec dans le témoin, TA-BA-BS et TA-DB-DV, respectivement. La biomasse aérienne suit la même tendance que pour les racines. Le traitement BR-CO/TA-BA-BS a une biomasse aérienne 2.2 fois plus faible que BR-CO/Témoin.

Ainsi, au bout d'un an d'expérimentation, nous constatons qu'il est possible de faire pousser des arbres dans des sols construits à partir de déchets, avec une exploration complète du volume de sol par les racines. Un bémol apparaît néanmoins pour le matériau squelette TA-BA-BS qui montre une moins bonne capacité d'enracinement. Une hypothèse possible serait la composition chimique de la terre fine. Le Tableau 4 présente les principales caractéristiques chimiques des quatre matériaux étudiés.

Tableau 4 : Analyse chimique de la fraction de sol < 2 mm. MO: matière organique, CEC: capacité d'échange cationique. Les excès et carences en éléments sont basés sur la norme NFU 44-551 standard. Les valeurs entre parenthèses sont les erreurs standards (n=3)

	MO (g kg ⁻¹)	N total (g kg ⁻¹)	C/N	pH H ₂ O	CEC (cmol+ kg ⁻¹)	CaO (g kg ⁻¹)	P ₂ O ₅ (g kg ⁻¹)	K ₂ O (g kg ⁻¹)
BR/CO	119,50 (12,98)	7,13 (0,86)	9.8	7,27 (0,20)	19,97 (2,32)	8,15 (2,36)	0,54 (0,07)	0,26 (0,04)
Témoin	61,77 (7,93)	2,20 (0,70)	18.0	4,63 (0,18)	13,00 (1,29)	3,14 (0,43)	0,20 (0,03)	0,10 (0,01)
TA/BA/BS	48,10 (6,92)	3,43 (0,39)	8.1	6,53 (0,29)	11,10 (1,44)	3,00 (0,02)	0,42 (0,05)	0,17 (0,03)
TA/DB/DV	26,83 (5,08)	1,13 (0,32)	14.4	7,77 (0,04)	4,77 (0,75)	14,03 (1,45)	0,10 (0,0)	0,13 (0,01)

	MgO (g kg ⁻¹)	Na ₂ O (g kg ⁻¹)	Cu EDTA (mg kg ⁻¹)	Zn EDTA (mg kg ⁻¹)	Mn EDTA (mg kg ⁻¹)	Fe EDTA (mg kg ⁻¹)	Bo soluble (mg kg ⁻¹)
BR/CO	0,28 (0,02)	0,08 (0,01)	6,80 (2,98)	41,00 (1,87)	13,33 (2,04)	170,33 (58,59)	0,40 (0,07)
Témoin	0,10 (0,02)	0,03 (0,01)	3,27 (0,15)	7,67 (3,89)	32,00 (2,12)	1074,67 (36,09)	0,43 (0,04)
TA/BA/BS	0,28 (0,03)	0,04 (0,00)	24,57 (1,63)	35,67 (2,94)	18,67 (2,48)	640,00 (23,27)	1,13 (0,04)
TA/DB/DV	0,08 (0,00)	0,03 (0,01)	1,73 (0,25)	14,67 (1,78)	6,00 (0,71)	10,43 (3,64)	0,73 (0,16)

■ excès ■ carence

Matière organique : NF ISO 14235; N total: NF ISO 13878; pH: NF ISO 10390; CEC : NF X 31-130; CaO, K₂O, MgO, Na₂O: NF X 31-108 ; Phosphore Olsen : NF ISO 11263 ; Cu, Zn, Mn: NF X 31-120 ; Fe: NF EN ISO 11885 ; Bo : NF X 31-122

Pour l'ensemble des matériaux, nous pouvons observer qu'il n'y a pas de problèmes majeurs concernant les teneurs excessives ou carencées en éléments au regard de la norme NFU 44-551. Il convient de rappeler qu'aucun apport fertilisant n'est prévu dans ces sols et il est préférable d'avoir des teneurs fortes (mais pas trop) au moment de la mise en place. Concernant les matériaux squelettes, nous n'avons pas observé de différences majeures. Quelques teneurs en éléments sont excessives (fer, zinc pour les métaux), voire une carence en potassium.

Conclusion

Les sols urbains végétalisés nécessitent une attention particulière car les caractéristiques physico-chimiques peuvent être hétérogènes et défavorables à la croissance végétale. Les pratiques agronomiques sont sensiblement différentes du milieu agricole. Dans un contexte de préservation des ressources naturelles et d'incitation au recyclage des déchets, notre étude montre le potentiel des sols urbains en terme de service écosystémique pour la valorisation et le recyclage des déchets. L'apport en grandes quantités de matières organiques est une nécessité pour le maintien à moyen terme de la qualité agronomique des sols et notamment des matériaux de croissance. L'incorporation de matériaux pierreux à hauteur de 70 % en volume diminue la réserve utile disponible pour les racines mais elle permet de limiter l'impact des contraintes mécaniques appliquées aux arbres urbains. Ces études scientifiques en agronomie urbaine sont primordiales pour mieux comprendre les interactions sol-plante-climat en milieu urbain et sont indispensables pour un transfert de connaissances vers les collectivités afin de les aider à mieux appréhender leurs sols et à choisir des végétaux adaptés.

Références bibliographiques

- Böhm W., 1979. Methods of studying root systems. Springer-Verlag, Berlin, Germany. 188p.
- Cannavo P., Vidal-Beaudet L. Grosbellet C., 2014. Prediction of long-term sustainability of constructed urban soil: impact of high amounts of organic matter on soil physical properties and water transfer. Soil Use & Management 30, 272-284.

- Jim C., 1998. Soil characteristics and management in an urban park in Hong Kong. *Environmental Management* 22, 683–695.
- Le Bissonnais Y., 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science* 47, 425–437.
- Lindsey P., Bassuk N., 1991. Specifying soil volumes to meet the water needs of mature urban street trees and trees in containers. *Journal of Arboriculture* 17, 141–149.
- Morel J.L., Schwartz C., Florentin L., 2005. Urban soils. *Encyclopedia of Soils in the Environment*, p.202-208.
- Pagliai M., Vignozzi N., 2002. Soil pore system as an indicator of soil quality. In: M. Pagliai R. Jones (Eds.), *Sustainable soil management for environmental protection. Soil Physics Aspects*. Catena Verlag, Reiskirchen, pp.71-82.
- Schaap M.G., Leij F.J., van Genuchten M.T., 2001. ROSETTA: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *Journal of Hydrology* 251, 163-176.
- Šimůnek J., Angulo-Jaramillo R., Schaap M.G., Vandervaere J.P., van Genuchten M.T., 1998. Using an inverse method to estimate the hydraulic properties of crusted soils from tension-disc infiltrometer data. *Geoderma* 86, 61–81.
- Vidal-Beaudet, L., Grosbellet, C., Forget-Caubel, V., Charpentier, S., 2012. Modelling long term carbon dynamics in soil reconstituted with high quantities of organic matter. *European Journal of Soil Science* 63, 787-797.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « *Innovations Agronomiques* », la date de sa publication, et son URL)