

EFFETS DES RACINES, DES VERS DE TERRE ET DU COMPOST SUR LES PROPRIETES PHYSIQUES DE TECHNOSOLS CONSTRUITS

DEEB, M. (1, 2), GRIMALDI, M. (3), LERCH, T.Z. (1), PODWOJEWSKI, P. (3),
DUBS, F (2), GIGON, A. (1), BLOUIN, M. (1)

(1) IEES Paris, UPEC, équipe BioDis, blouin@u-pec.fr, thomas.lerch@u-pec.fr,
gigon@u-pec.fr

(2) IEES Paris, IRD, équipe BioDis, maha.deeb@ird.fr, florence.dubs@ird.fr

(3) IEES Paris, IRD, équipe BioPhys, michel.grimaldi@ird.fr,
pascal.podwojewski@ird.fr

RESUME

Les technosols construits sont une alternative au prélèvement de terre végétale en milieu naturel. La gestion durable de ces technosols suppose de comprendre l'évolution de leurs propriétés hydriques. Nous avons analysé les courbes de retrait de technosols dont la teneur en compost varie de 0 à 50%, en présence ou non de plantes et/ou de vers de terre. Les résultats montrent que ces organismes expliquent plus la variance (19%) des propriétés hydriques du sol que la dose de compost (14%). Le compost et les plantes jouent un rôle positif sur l'eau disponible présente à la fois dans la macroporosité et dans la microporosité, les vers de terre jouant un rôle positif uniquement sur cette dernière. L'effet conjoint des organismes et du compost explique davantage la variance (40%) que les effets simples de ces facteurs. En règle générale, l'effet simple du compost est inférieur à celui des plantes et des vers.

Mots clés : structure du sol, matière organique, courbe de retrait, système racinaire, vers de terre

ABSTRACT

Constructed Technosols are an alternative to the loss of natural soils caused by human activities. The sustainable Technosols management implies that we understand the evolution of their hydric properties. Here, we analyzed shrinkage curves on technosols with a proportion of compost varying between 0 and 50%, in the presence or absence of plants and/or earthworms. Our results show that these organisms explain better the variance of the hydric properties (19%) than the compost content (14%). The compost and plants play a positive role on available water present both in macroporosity and microporosity. Earthworms play a positive role only on the latter. The interaction between organisms and compost was more important than the simple effect of each factor (40%). Generally, plants and earthworms show a more positive effect than compost alone.

Keywords: soil structure, organic matter, soil shrinkage curve, root system, earthworm

1. INTRODUCTION

Bien que la pédogenèse soit reconnue comme étant le résultat de l'interaction dynamique du climat, de la roche mère et des organismes (DUCHAUFOR, 1977), l'effet des organismes sur leur environnement physique reste insuffisamment connu (COLEMAN, 2008). Cet effet sur les propriétés hydriques n'a jamais été étudié sur un technosol construit. La courbe de retrait est une propriété qui permet d'aborder les relations entre l'hydrodynamique du sol et sa structure (BRAUDEAU et MOHTAR, 2009). La méthode consiste à mesurer simultanément le volume du sol et sa masse humide au cours d'une dessiccation continue. L'objectif de cette étude est d'évaluer les effets respectifs des vers de terre, du système racinaire des plantes et de leurs interactions avec la teneur en compost sur l'eau disponible présente dans la macroporosité et la microporosité.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1 Choix des matériaux et préparation des mélanges

Le remblai (R), constitué d'un mélange de déchets inertes du bâtiment, et le compost de déchets verts (Co) ont été obtenus grâce au département de la Seine-Saint-Denis et à la société ECT, qui sont intéressés par la possibilité de constituer des sols fertiles à partir des déchets urbains. Le remblai est composé de 88 % de sable, de 10 % de limon et de 2 % d'argile. La diffraction des rayons X montre qu'il est composé de quartz, de calcite et de dolomite. Il possède par ailleurs des taux de carbone organique et d'azote très faibles (0,38% et 0,035% respectivement), un pH basique ($\text{pH}_{\text{eau}} = 8,3$), une capacité d'échange cationique faible ($\text{CEC} = 3,13 \text{ cmol}^+\text{kg}^{-1}$), une masse volumique réelle élevée ($2,75 \text{ g.cm}^{-3}$). Le compost contient 21,4 % de carbone organique, 1,5 % d'azote et son pH est un peu moins basique que celui du remblai ($\text{pH}_{\text{eau}} = 7,9$). Sa masse volumique réelle est de $2,06 \text{ g.cm}^{-3}$.

Les matériaux ont été séchés à l'air puis tamisés avec un tamis de maille 4 mm. Ensuite, ils ont été mélangés dans une bétonnière pendant dix minutes pour obtenir six mélanges différents (0, 10, 20, 30, 40 et 50 % de contenu volumique de compost). Chaque niveau de compost est croisé avec quatre traitements « organismes » : un témoin sans organismes (C), un traitement avec vers de terre (*Aporrectodea caliginosa*) (E), un traitement avec plantes (*Lolium perenne*) (P), et un traitement avec vers de terre et plantes (EP). Au total, 96 microcosmes se répartissent en 24 traitements répliqués 4 fois chacun. Ils ont été incubés durant cinq mois en phytotron (photopériode de 12 h, luminosité $500 \pm 20 \mu\text{mol photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, température $22/20 \pm 0.2$ °C jour/nuit, humidité de l'air à 75 ± 2 %). Ils ont été arrosés deux à trois fois par semaine pour maintenir l'humidité du sol à 80 % de la capacité au champ.

2.2 Détermination des courbes de retrait

Les courbes de retrait ont été déterminées sur des échantillons cylindriques d'une centaine de cm^3 (environ 5 cm de diamètre et de hauteur) prélevés directement à la fin de l'expérience à la surface de tous les microcosmes, selon un protocole standard (ASSI *et al.*, 2014). Tout d'abord, la table à succion a été utilisée pour saturer les échantillons. Tout au long du processus de séchage dans une étuve à température fixe

de 30 °C, les échantillons sont pesés (précision 0,01 g). Simultanément, le diamètre et la hauteur sont suivis par des mesures au rayon laser. Pour prendre en compte les altérations de la forme cylindrique de départ pendant le séchage, les estimations du volume sont corrigées en considérant la masse volumique apparente à l'état sec final, mesurée par la méthode de la poussée d'Archimède. La connaissance de la masse et du volume de l'échantillon au cours de la dessiccation permet de représenter les résultats par une courbe dite « de retrait » (CR) reliant la teneur en eau W (kg.kg^{-1}) et le volume massique apparent V ($\text{dm}^3.\text{kg}^{-1}$). Pour illustrer nos résultats, la figure 1 présente un exemple de CR pour un réplikat du traitement 20 % de compost avec plantes.

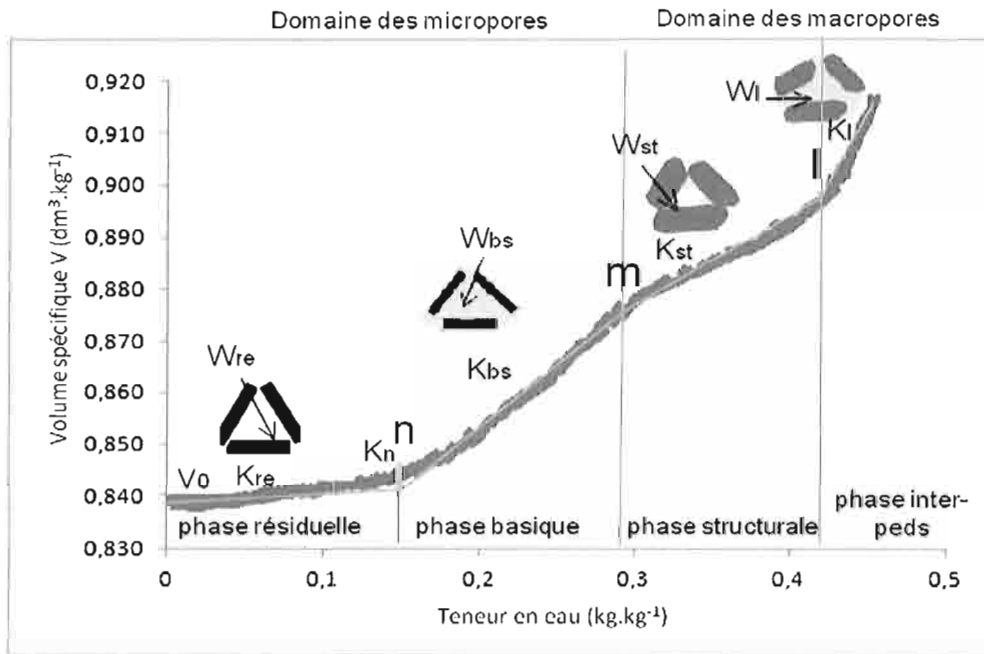


Figure 1 : courbe de retrait du traitement 20% de compost avec plantes

Toutes les CR ont été modélisées selon ASSI *et al.* (2014) pour obtenir les paramètres hydro-structuraux V_0 , K_{re} , K_{bs} , K_{st} , K_l , W_{re} , W_{bs} , W_s , W_l , qui expriment le comportement de l'échantillon au cours du retrait : $V = V_0 + K_{re}W_{re} + K_{bs}W_{bs} + K_{st}W_{st} + K_lW_l$; V_0 étant le volume de l'échantillon à la fin de la mesure ; K_{re} , K_{bs} , K_{st} et K_l étant respectivement les pentes des phases de retrait linéaire résiduel, plasmique, structural et « inter-peds » ; W_{re} , W_{bs} , W_s , W_l exprimant les différents types d'eaux : résiduelle, plasmique, structurale (non saturante) et inter-peds (saturante). Toutes ces données ont été transformées en indice d'eau v et de vide e ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$), connaissant la masse volumique réelle, selon les relations suivantes : $v = W \rho_s$ et $e = (V \rho_s)^{-1}$ où ρ_s est la masse volumique réelle (g.cm^{-3}). Ces grandeurs sont préférées aux volumes massiques de vide et d'eau pour comparer des échantillons de densités solides différentes, ce qui est le cas dans nos technosols.

3. RESULTATS

Afin d'expliquer la variance des paramètres hydro-structuraux sur l'ensemble de nos échantillons, nous avons réalisé une analyse de redondance (RDA). Elle montre que les facteurs « teneur en compost » et « organismes » ont un effet sur les paramètres

hydro-structuraux. La part de variance totale expliquée par les facteurs compost et organismes est de 72% ($p = 0.005$, Monte Carlo test). La part de variance totale expliquée par le facteur compost indépendamment du facteur organisme est de 14% ($p = 0.005$), tandis que celle expliquée par le facteur organisme indépendamment du facteur compost est de 19% ($p = 0.005$). On en déduit que la part de variance expliquée par l'effet conjoint entre ces deux facteurs compost et organisme est de 40%.

Afin d'identifier les paramètres hydro-structuraux les plus affectés dans chacun des traitements, une analyse discriminante linéaire (ADL) a été réalisée. Le paramètre K_{re} étant constant pour l'ensemble des traitements, il n'a pas été pris en compte dans cette analyse. Les traitements sont bien séparés par cette ADL ($p < 0.0001$, Wilks test). Le premier axe explique 42 % de la variance et le deuxième axe 26 % (figure 2).

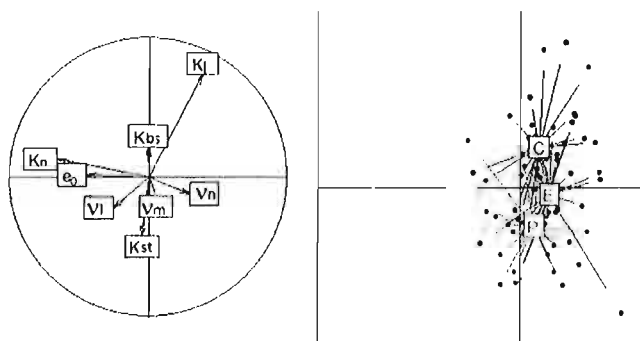


Figure 2 : Analyse discriminante linéaire (ADL) de l'effet des organismes (C : contrôle, E : vers de terre, P : plantes, EP : vers de terre et plantes) sur les paramètres hydro-structuraux ; F1 : 42%, F2 : 26%.

Les témoins (C) présentent une phase inter-pédale dans laquelle la perte de volume par unité de volume d'eau perdu (K_L) est la plus élevée. Les traitements avec plantes (P) présentent une phase structurale dont la pente (K_{st}) est la plus élevée, ainsi qu'un volume d'eau microporal en phase de retrait basique ($v_m - v_n$) le plus élevé. Les traitements avec vers de terre (E) présentent le retrait basique (K_{b_s}) le plus marqué, avec un indice d'eau microporal maximal (v_m) le plus élevé. Les traitements vers et plantes (EP) présentent une pente avant la phase de retrait résiduel (K_n), un indice de vide en fin de retrait (e_0) et un volume d'eau saturant la macroporosité (ou eau minimale de la phase saturée, v_l) les plus élevés.

Afin d'obtenir des variables avec un sens agronomique, nous avons calculé les volumes d'eau disponible pour les plantes dans les micropores et dans les macropores à partir des CR selon les équations suivantes (ASSI *et al.*, 2014) : $\text{Max}(v_{bs}) = v_m - v_n$ (eau dans les micropores) et $\text{Max}(v_{st}) = v_l - v_m$ (eau dans les macropores).

Les effets respectifs des facteurs compost, vers de terre et plantes sur la répartition de l'eau disponible dans le sol sont donnés dans le Tableau 1. Les traitements compost et plantes ont chacun un effet sur les deux types d'eau (macroporale et microporale). Les vers de terre ont un effet très significatif sur l'eau des micropores mais pas sur l'eau des macropores. Les interactions entre les facteurs vers de terre et plantes ou compost et plantes sont significatives sur l'eau des macropores ($p=0,03$ et $p = 0,001$, respectivement), mais pas sur l'eau microporale ($p > 0,05$), tandis que l'interaction des facteurs compost et vers de terre est significative sur les deux types d'eau ($p=0,001$ et

$p=0,05$, respectivement). Enfin, l'interaction triple compost, plantes et vers de terre n'a d'effet que sur l'eau macroporale ($p=0,001$). L'effet du facteur compost sur l'eau des micropores est dépendant de la présence de vers de terre.

Tableau 1 : ANOVA à 3 facteurs testant l'effet du compost, des vers de terre et des plantes sur les deux types d'eau et le l'eau disponible totale (* : $p \leq 0,05$, ** : $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$, ns : $p > 0,05$)

	Macropores	Micropores	Eau Totale
Compost (C)	36,4***	220***	206,1***
Plantes (P)	74,7***	33,8***	105,6***
Vers de terre (E)	1,1 ^{ns}	67,6***	42,5***
P * E	7,7**	1,0 ^{ns}	1,6 ^{ns}
C * P	28,0***	2,1 ^{ns}	10,7***
C * E	3,6**	2,9*	1,7 ^{ns}
C * P * E	10,8***	1,4 ^{ns}	3,6**

L'effet du facteur compost sur l'eau des macropores est dépendant de la présence de plantes, de vers de terre et de l'interaction entre plantes et vers. Plus précisément, en absence de plantes, l'effet du compost sur l'eau des macropores est positif pour les taux de compost de 0 à 40 % inclus, puis devient négatif à 50%. En revanche, en présence de plantes, cet effet du compost est positif quelle que soit la dose. En absence de vers, le compost n'a plus d'effet positif sur l'eau macroporale à partir de 30%, alors que cet effet positif du compost est prolongé jusqu'à 50% en présence de vers. En absence de plantes, l'effet négatif des fortes doses de compost sur la macroporosité est conservé en présence de vers. Toutefois, en présence de plantes, les vers amplifient l'effet positif de l'interaction entre compost et plantes, donnant un volume d'eau maximal dans les macropores.

4. DISCUSSION

L'augmentation de la teneur en compost accroît significativement les indices de micropores et de macropores. Cet accroissement de porosité avec la quantité de matière organique a déjà été observé sur des sols naturels (TEJADA et GONZALEZ, 2003). La courbe de retrait révèle également un effet significatif du compost sur la phase saturée (Kl), également observé en conditions naturelles (AGGELIDES et LONDRA, 2000).

L'effet de *Aporrectodea caliginosa* sur les propriétés physiques des sols est différent de l'effet du compost. Sa présence génère une augmentation de la porosité totale qui se manifeste sur l'eau disponible. Ces vers auront donc probablement un effet positif dans des climats caractérisés par une période de déficit hydrique. Cette augmentation de la porosité est due à la microporosité. La courbe de retrait montre que les vers de terre (i) produisent des micro-agrégats d'une nature différente de ceux observés dans les traitements sans vers (K_{bs} supérieur en présence de vers); (ii) augmentent la quantité de micro-agrégats (« n » supérieur en présence de vers, Figure 1). Les forces de capillarité étant plus fortes dans les micropores que dans les macropores, les pertes d'eau seront plus lentes en présence de vers lors d'une dessiccation. Les vers de terre jouent donc non seulement un rôle favorable sur la quantité d'eau disponible dans le

sol, mais aussi sur la situation de cette eau dans l'espace poral, ce qui devrait ralentir les pertes d'eau par évaporation.

La plante *Lolium perenne* accroît aussi la microporosité. Elle a en outre un effet positif notable sur la phase structurale (K_{st}). Cette modification s'explique par la capacité des plantes à agréger le technosol et à créer les macro-agrégats. Un tel effet des plantes pourrait s'avérer intéressant dans le cas de sols soumis à l'érosion (BARTHÈS et ROOSE, 2002). L'effet positif des plantes sur la macroporosité est plus important en présence de vers de terre. Il serait dès lors possible d'amplifier l'effet des plantes sur la résistance à l'érosion en inoculant des vers de terre ou en favorisant leur colonisation.

5. CONCLUSION

Les effets du taux de compost et des organismes sur les propriétés hydro-structurales d'un sol peuvent être caractérisés précisément par l'analyse de la courbe de retrait. Le compost et les plantes jouent un rôle positif sur la macroporosité et la microporosité du technosol étudié, tandis que le ver de terre affecte essentiellement sa microporosité. Les interactions entre le compost, les vers et les plantes ont des effets plus importants que ceux de ces facteurs isolés. Des effets positifs sur la macroporosité sont observés lorsque des vers et des plantes sont présents simultanément. Il est donc préférable de caractériser l'effet de la proportion de compost en prenant en compte la présence d'organismes, en particulier quand le taux de compost est important. Ces résultats montrent qu'un technosol ayant subi l'activité de plantes et de vers de terre devrait être plus résistant à la sécheresse ou à l'érosion. Il aurait donc une homéostasie hydrique plus importante qu'un technosol sans organismes, et serait finalement plus propice à accueillir une diversité biologique importante.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGGELIDES, S.M., LONDRA, P.A. 2000-** Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. *Bioresour. Technol.* 71, 253–259.
- ASSI, A.T., BRAUDEAU, E.F., ACCOLA, J.J.O., HOVHANNISSIAN, G., AND MOHTAR, R., 2014-** Physics of the soil medium organization part 2: pedostructure characterization through measurement and modeling of the soil moisture characteristic curves. *Soil Process.* 2, 5.
- BARTHÈS, B., ROOSE, E., 2002-** Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. *CATENA* 47, 133–149.
- BRAUDEAU, E., MOHTAR, R.H. (2009).** Modeling the soil system: Bridging the gap between pedology and soil–water physics. *Glob. Planet. Change* 67, 51–61.
- COLEMAN, D.C. (2008).** From peds to paradoxes: Linkages between soil biota and their influences on ecological processes. *Soil Biol. Biochem.* 40, 271–289.
- DUCHAUFOR, P. (1977).** Pedology. 1. Pedogenesis and classification. 477 pp.
- TEJADA, M., GONZALEZ, J.L. (2003).** Effects of the application of a compost originating from crushed cotton gin residues on wheat yield under dryland conditions. *Eur. J. Agron.* 19, 357–368.