



HAL
open science

Hydropédologie d'une gamme de sols au sein d'un gradient d'anthropisation

Marwa Tifafi, Ryad Bouzouidja, Stéphanie Ouvrard, Geoffroy G. Séré

► To cite this version:

Marwa Tifafi, Ryad Bouzouidja, Stéphanie Ouvrard, Geoffroy G. Séré. Hydropédologie d'une gamme de sols au sein d'un gradient d'anthropisation. 39. Journées Scientifiques du GFHN, Nov 2014, Angers, France. 2014. hal-02743890

HAL Id: hal-02743890

<https://hal.inrae.fr/hal-02743890v1>

Submitted on 3 Jun 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.

HYDROPÉDOLOGIE D'UNE GAMME DE SOLS AU SEIN D'UN GRADIENT D'ANTHROPISATION

TIFAFI M. ⁽¹⁾, BOUZOUIDJA R. ^(1, 2, 3), OUVRARD S. ⁽¹⁾, SERE G. ⁽¹⁾

(1) Université de Lorraine, LSE, UMR 1120 INRA, av. de la Forêt de Haye, 54505 VANDŒUVRE-LÈS-NANCY, FRANCE, geoffroy.sere@univ-lorraine.fr, marwa.tifafi@lsce.ipsl.fr

(2) Université de Lorraine, LEMTA UMR 7563, av. de la Forêt de Haye, 54505 VANDŒUVRE-LÈS-NANCY, FRANCE,

(3) CEREMA, DTer Est, 71 rue de la grande Haie, 54510 TOMBLAINE, FRANCE

RÉSUMÉ

Ce travail a pour objectif de mettre en évidence l'évolution de la structure des sols sous l'effet de leur pédogenèse (évolution tendancielle) et des variations saisonnières (évolution supposée cyclique). Pour cela, quatre sols ont été étudiés suivant un gradient d'anthropisation, depuis un Néoluvisol jusqu'à un Anthroposol construit. Ils ont été étudiés selon deux modalités (planté ou non) dans des colonnes lysimétriques de 2 m³ équipées permettant la réalisation de bilan hydrique et de suivi des transferts d'eau à différentes profondeurs. L'exploitation de ces données de suivi hydrodynamique a permis de mettre en évidence des comportements contrastés des sols, suivant le gradient testé. Alors que de simples variations cycliques ont été observées pour les sols les moins anthropisés, les sols les plus influencés par l'action de l'Homme qui s'avérait également être les plus récents, montraient des traces de variations tendancielle. Une approche de modélisation inverse menée sur l'un des sols à différents pas de temps a permis de dégager une tendance d'évolution de l'architecture porale.

Mots clés : pédogenèse, structure, architecture porale, modélisation, Technosols

HYDROPEDOLOGY OF SOILS ACROSS A GRADIENT OF HUMAN INFLUENCE

ABSTRACT

This work aims at describing the evolution of soils' structure under the influence of pedogenesis (acyclic evolution) and seasonal variations (cyclic evolution). Four distinct soils have been studied that reflect a gradient of human impacts, from a Luvisol to a Spolic Garbic Technosol (Histic). They have been studied under two treatments (with or without vegetation) in monitored 2 m³ lysimetric columns. Water balances have been performed as well as the monitoring of water transfer at different depths. The results exhibit contrasted hydraulic behaviors that are mainly correlated to the age of the soils and human influence. Only cyclic variations were visible on natural and slightly anthropogenic soils. In addition to that, more drastic evolutions were observed on the Technosols. An inverse modelling approach confirmed that result by highlighting an evolution of poral architecture with time.

Keywords: pedogenesis, structure, poral architecture, modelling, Technosols

1. INTRODUCTION

1.1. Variabilité temporelle de la structure et des propriétés hydrodynamiques des sols

La dynamique de l'eau dans les sols est contrôlée par les conditions aux limites du système et par un ensemble de propriétés hydrodynamiques, traduisant l'architecture de ces milieux poreux spécifiques. Le postulat qui est généralement fait est que ces propriétés hydrodynamiques sont caractéristiques de chaque type de sol, mais invariantes dans le temps. Il est pourtant connu que la structure des sols

évolue sous l'effet de leur pédogenèse (évolution tendancielle) et des variations saisonnières (évolution supposée cyclique).

Ces changements de la structure sont induits tout d'abord par les facteurs extérieurs (climat, végétation, activité biologique) puisque le sol est considéré comme un système ouvert avec des échanges de matière et d'énergie (Lin, 2011). Les transferts dans le sol intéressent des mécanismes liés aux transferts de matière (eau, gaz, solutés), d'énergie (chaleur, travail) et d'information (principalement liés aux processus biologiques). L'évolution de la structure est aussi le résultat de la transformation de la phase solide ou de la redistribution des particules. Contrairement aux phénomènes de transfert de masse ou d'énergie, l'évolution de la composition et de l'organisation de la phase solide du sol constitue globalement un processus de longue, voire très longue durée, et relève de ce fait davantage de l'approche pédologique (Musy et Soutter, 1991). Ils peuvent ainsi se traduire par des modifications du volume poral, de la taille ou encore de la connectivité des pores du sol et ainsi, tous les paramètres d'équations décrivant les processus de transport dans le sol (Kutilek, 2004).

Cette dynamique temporelle et spatiale des propriétés hydrauliques est complexe à mettre en évidence par la mesure, d'autant que les processus pédogénétiques dans les sols naturels se caractérisent par une cinétique lente.

1.2. Les Technosols comme modèle d'étude

En réponse à ces contraintes, de mesure et de cinétique d'évolution, nous avons choisi d'une part une approche indirecte au travers de l'étude de l'hydrodynamique et d'autre part de travailler sur des sols connus pour leur relative rapidité d'évolution : les sols créés ou fortement modifiés par l'Homme

En effet, le fonctionnement des sols anthropisés est comparable aux sols naturels car ils sont également soumis à des interactions avec la biosphère, l'atmosphère et l'hydrosphère qui vont engendrer leur évolution. Les différences entre sols anthropisés et sols naturels résident au niveau des facteurs qu'on a appelé passifs (Jenny, 1941) de formation des sols: nature des matériaux parents, mode de mise en place et la durée estimée de leur évolution. Les facteurs actifs sont cependant identiques dans les deux cas (énergie et initiateurs des processus pédogénétiques). La nature des matériaux parents des Anthrosols déterminent d'une manière importante les cinétiques d'altération et contrôle la pédogenèse, qui est plus intense et plus rapide dans ce cas (Séré, 2007). En effet, quand un sol est nouvellement construit, le nombre de pores augmente (Jangorzo, 2013). Simultanément, les dimensions des pores d'assemblage décroissent significativement. Ceci est une conséquence de la compaction du sol qui conduit à une augmentation de la microporosité et une diminution de la macroporosité (Jangorzo, 2013).

Pour conclure, la structure des sols, aussi bien naturels qu'anthropisés, varie au cours du temps. Cette évolution est similaire dans les deux cas, mais, elle est beaucoup plus rapide dans les Technosols. De plus, les Technosols – sols fortement anthropisés – ont une pédogenèse intense et rapide et un état initial facile à maîtriser. L'hydrodynamique de ces sols sera alors suivi à la fois à l'échelle de variations climatiques de courte durée et sur le long terme (5 à 7 ans).

1.3. Caractérisation indirecte de l'évolution structurale des sols

Puisqu'il n'y a pas de mesures physiques directes qui pourraient être appliquées aux matériaux du sol à l'intérieur du lysimètre pour tester différentes hypothèses sans perturber de façon significative le flux d'eau, la prochaine étape sera d'utiliser une approche de modélisation du système pour tenter d'évaluer la variabilité temporelle des propriétés hydrauliques.

L'approche retenue est celle de la modélisation inverse qui estime les propriétés hydrauliques du sol des expériences transitoires. La modélisation inverse permet en effet d'estimer simultanément la rétention d'eau du sol et la conductivité hydraulique d'une seule expérience en régime transitoire (Durner *et al.*, 2008).

Par définition, la modélisation inverse est une méthode mathématique générale pour déterminer des causes inconnues, sur la base de l'observation de leurs effets, par opposition à la modélisation de problèmes dont la solution implique les effets directs trouvés à partir d'une description de leurs causes (Hopmans *et al.*, 2002). Elle comprend trois parties fonctionnelles reliées entre elles: (i) une expérience d'écoulement transitoire contrôlée pour laquelle les conditions initiales et aux limites sont prescrites et diverses variables de flux sont mesurées, tels que l'infiltration cumulative et /ou le drainage cumulatif et /ou du potentiel matriciel et /ou la teneur en eau, (ii) un modèle numérique d'écoulement simulant le régime d'écoulement transitoire de cette expérience, en utilisant des estimations initiales des fonctions hydrauliques paramétriques du sol, et (iii) un algorithme

d'optimisation qui estime les paramètres inconnus à travers la minimisation de la différence entre les variables de flux observées et simulées définie dans une fonction objective par une solution itérative de l'équation d'écoulement transitoire (Hopmans *et al.*, 2002).

2. MATERIEL ET METHODES

Nos travaux portent ainsi sur une gamme de 4 sols, végétalisés ou non, au sein d'un gradient d'anthropisation (depuis des sols naturels, jusqu'à des Anthrosols construits) (Tableau 1).

Tableau 1 : Les caractéristiques des différents sols choisis

Type du sol	Durée de suivi	Nombre d'horizons	Classification	Référence
Naturel	4 ans	8	Néoluvisol-Rédoxisol	NR
Pollué	6 ans	1	Anthrosol Artificiel contaminé	AA _C
Bioremédié	3 ans et demi	1	Anthrosol Artificiel pseudo-hortique	AA _h
Construit	6 ans	3	Anthrosol Construit	AC

Chacun de ces sols est étudié en colonne lysimétrique instrumentée de 2 m³ (station expérimental du GISFI <http://www.gisfi.fr>). Ce dispositif permet d'établir un bilan hydrique précis et d'effectuer un suivi du comportement hydrodynamique des différents sols.

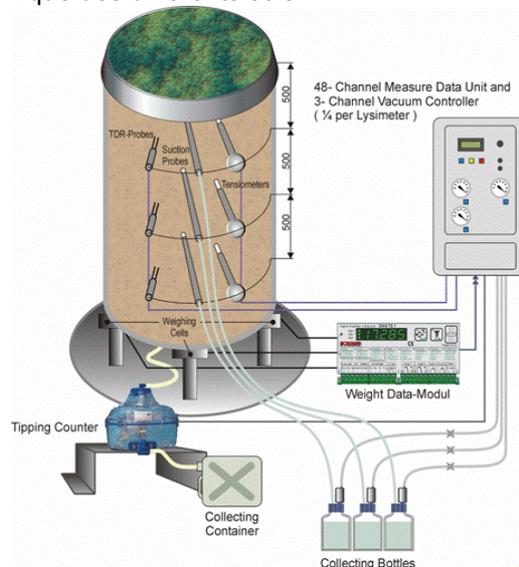


Figure 1 : Schéma d'une colonne lysimétrique permettant le suivi de paramètres physiques et hydriques du sol et le prélèvement de la solution du sol

Par la suite, le changement du comportement hydraulique des sols sera alors décrit en s'appuyant sur la méthode de modélisation inverse à l'aide du logiciel HYDRUS AD. Cette démarche permettra de tester l'hypothèse indiquant que l'évolution des paramètres hydriques du sol suit deux échelles distinctes, une échelle de temps lente et régulière et une échelle rapide et cyclique, ainsi que de mettre en évidence les différents facteurs contribuant à l'évolution de la structure du sol.

3. RESULTATS

Les premiers résultats de cette étude reposent sur l'exploitation des données expérimentales de bilan hydrique (précipitations, évapotranspiration, drainage) et de suivi des teneurs en eau à différentes profondeurs des profils de sols. Globalement, les proportions du débit et de l'ETR cumulés par rapport à la pluviométrie varient d'un sol à l'autre puisque leurs caractéristiques (nature des constituants, structure, mode de mise en place) sont très variées. De plus, pour un même type de sol, la proportion de l'ETR cumulée augmente significativement si celui-ci est végétalisé. Elle varie ainsi de 63 à 87% pour l'anthrosol contaminé, de 76 à 90 % pour l'anthrosol pseudo hortique et de 82 à 90% dans le cas de l'anthrosol construit.

Les courbes de variation de la masse des différents sols au cours du temps traduisent l'évolution de la quantité d'eau contenue dans chaque modalité de sol (Figure 2). Cette variation de masse est

sinusoïdale dans tous les cas, avec une alternance de périodes d'augmentation et de diminution de la masse, suivant globalement les variations saisonnières. Sur les modalités les moins anthropisés (NR, AAc_NP et AAc_P), seules des variations cycliques sont observées. Pour les anthroposols pseudo-hortiques et construits, en plus des variations cycliques, une variation tendancielle apparaît clairement. En effet, la masse moyenne a chuté durant les quatre ans de suivi pour l'AAh. La masse moyenne de l'AAh_NP pendant la période hivernale de 2011 était de 4231 Kg. Elle est passée en période estivale à 4030 Kg. Ce phénomène est d'autant marqué en présence de végétation.

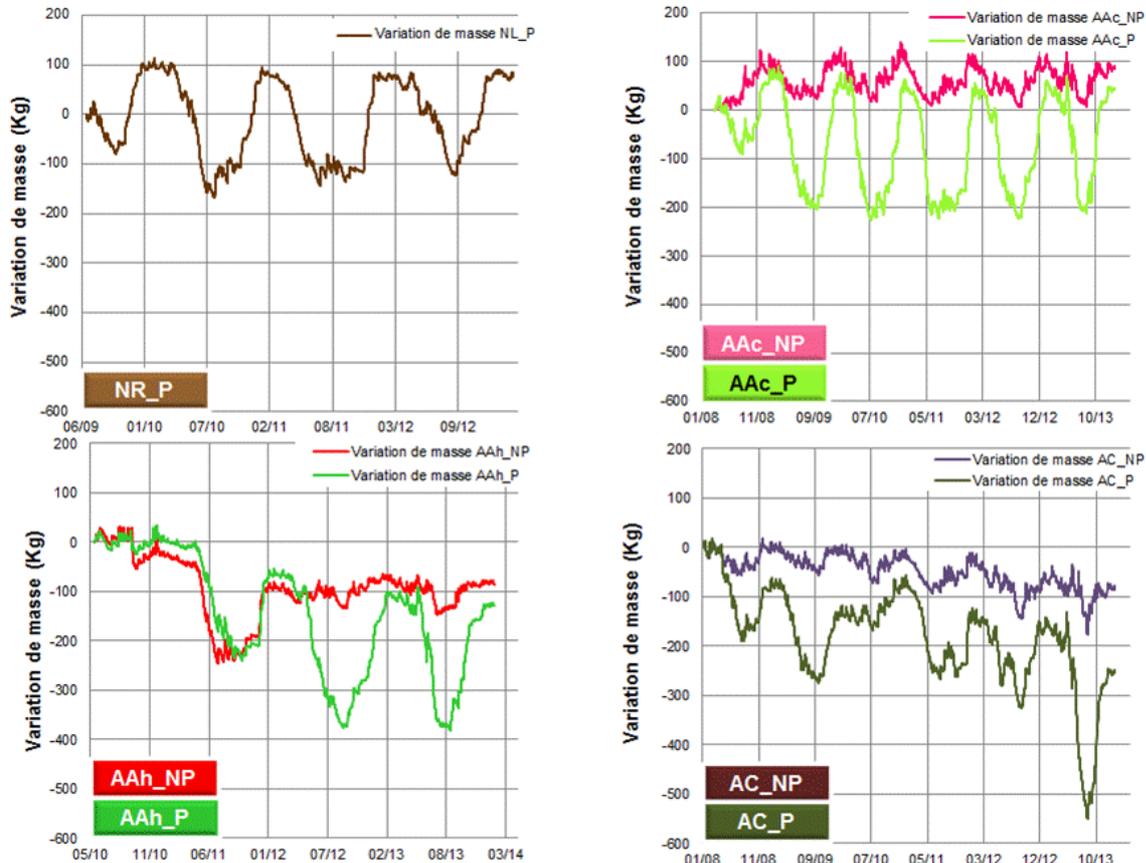


Figure 2 : Variation de masse au cours du temps des sols étudiés

Une optimisation de paramètres hydrauliques a été appliquée de manière systématique sur des périodes de mars à septembre pour plusieurs années de suivi. Les courbes de distribution de la taille des pores sont finalement estimées à partir des courbes de rétention en eau modélisées en prenant toujours comme modèle l'équation de Van-Genuchten et par l'application de la loi de Jurin-Laplace (Huot, 2013). Il en résulte une représentation graphique simplifiée de l'évolution de l'architecture porale des sols étudiés au cours du temps (Figure 3). Une baisse de la porosité est observée pour la modalité AAc_NP, en particulier pour les pores dont le rayon est compris entre 1 et 100 μm . Pour la modalité AAh_NP, après un phénomène identique (baisse de la porosité entre 2008 et 2010), une nouvelle augmentation de la densité de pores est constatée, en particulier pour les pores les plus fins (rayon < 5 μm).

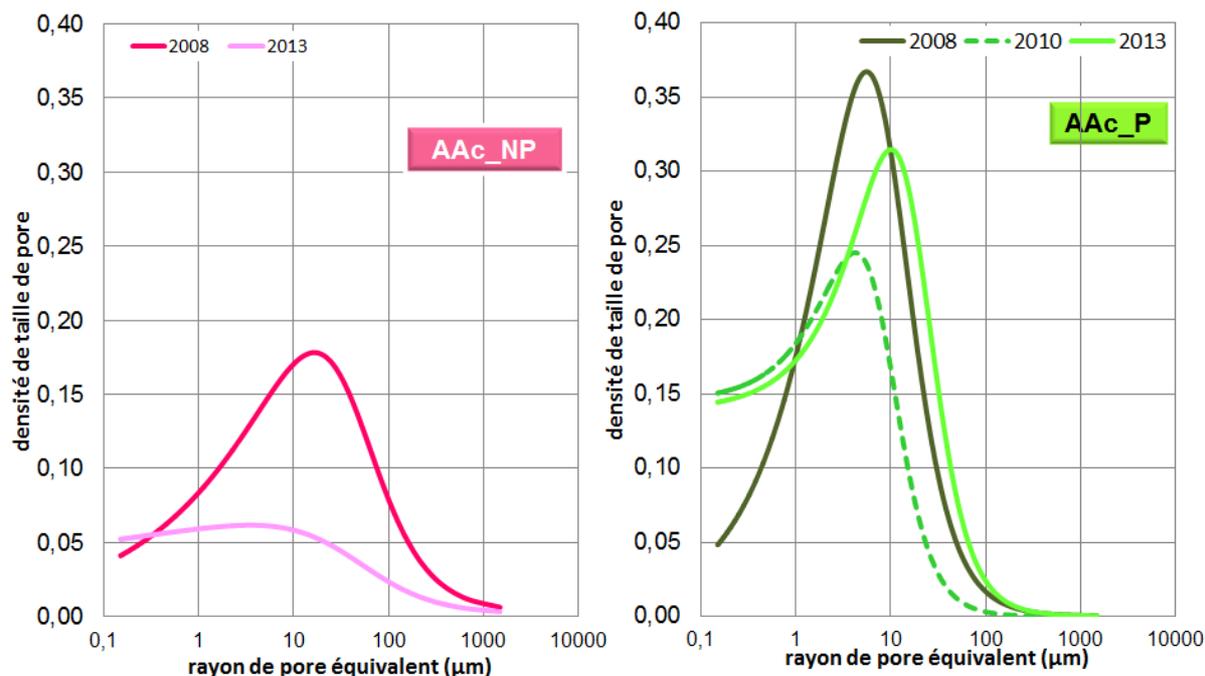


Figure 3 : Evolution temporelle de la distribution de taille de pores pour les modalités AAc_NP et AAc_P

4. DISCUSSION ET CONCLUSION

Deux types de variations de la structure ont pu être indirectement mises en évidence par l'exploitation de données hydrodynamiques. Nos travaux ont ainsi permis de confirmer l'existence de variations cycliques de courte durée, suivant les saisons. Celles-ci concernaient aussi bien le sol naturel que les Anthrosols. Ces observations semblent d'ailleurs cohérentes avec les études antérieures. Les variations cycliques pourraient notamment s'expliquer par le cycle végétatif. Au cours de la phase de croissance, les racines compriment le sol autour d'elles, ce qui diminue la porosité (Bruand et al, 1996). Le nombre de macropores diminuent et celui des micropores augmentent. La distribution en taille des pores change aussi. Au cours de la phase de dégénérescence, les racines laissent des chaînes de macropores continues qu'on appelle biopores (Volkmar et Entz, 1995). Elles sont susceptibles de pénétrer plus profondément dans le sol et engendrent alors l'augmentation de nombre des macropores continus. Ainsi la porosité totale augmente. L'effet de la végétation sur l'évolution de la structure est plus important que l'effet du climat (Gupta et al, 2006).

Par ailleurs, nos résultats tendent à démontrer l'existence de variations plus tendancielle. Celles-ci se traduisent tout d'abord une baisse de la capacité maximale de stockage en eau du sol au cours du temps sous l'effet du tassement des sols. Puis, la présence de végétation pourrait permettre de recréer une microporosité au sein du sol. Ces variations ont été d'autant plus clairement mises en évidence que les sols étaient plus anthropisés. D'après la bibliographie, la compaction du sol – phénomène précédemment mis en évidence sur les Anthrosols - réduit le volume des macropores (Lipiec et al, 1998; Hakansson et Lipiec, 2000) et leur continuité (Arvidsson, 1997; Lipiec and Stepniewski, 1995). Par ailleurs, les mécanismes engendrés par la végétation, tels qu'évoqués ci-dessus, pourraient également modifier de manière significative la structure de ces sols fortement anthropisés, dont certains n'avaient jamais été végétalisés.

5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Arvidsson J. 1997**, Soil compaction in agriculture from soil stress to plant stress. *Ph.D. Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 146 pp.*
- Bruand A, Cousin I, Nicoulaud B, Duval O et Begon J.C. 1996**, Backscattered electron scanning images of soil porosity for analyzing soil compaction around roots. *Soil science society of America journal, 60, 895-901.*
- Durner W, Jansen U et Iden SC. 2008**, Effective hydraulic properties of layered soils at the lysimeter scale determined by inverse modelling. *European Journal of Soil Science, 59, 114–124.*

- Gupta SD, Mohanty BP et Kohne JM. 2006**, Soil Hydraulic Conductivities and their Spatial and Temporal Variations in a Vertisol. *Soil science society of America*, 20, 1872-1881.
- Hakansson I et Lipiec J, 2000**, A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil tillage research*, 53, 71– 85.
- Hopmans JW, Simunek j, Romano N et Durner W. 2002**, Simultaneous determination of water transmission and retention properties. Inverse Methods. IN: Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. (J.H. Dane and G.C. Topp, Eds.). *Soil Science Society of America Book Series*, 5, 963-1008.
- Huot H. 2013**, Formation, fonctionnement et évolution d'un technosol sur des boues sidérurgiques. 251p, *Doctorat de l'université de Lorraine, France*.
- Jangorzo N.S. 2013**, Quantification du processus d'agrégation dans les Technosols. 161. *Doctorat de l'université de Lorraine, France*.
- Jenny, H. 1941**, Factors of soil formation. Vol. 4. McGraw-Hill Book Co, New York, 281 p.
- Kutilek M. 2004**, Soil hydraulic properties as related to soil structure. *Soil and tillage research*, 79, 175-184.
- Lin H. 2011**, Three Principles of Soil Change and Pedogenesis in Time and Space. *Soil science society of America*, 75, 2049–2070.
- Lipiec J et Stepniewski W. 1995**, Effects of soil compaction and tillage systems on uptake and losses of nutrients. *Soil Tillage Research*, 35, 37– 52.
- Lipiec J, Hatano R et Syowin'ska-Jurkiewicz A. 1998**, The fractal dimension of pore distribution patterns in variously compacted soil. *Soil Tillage Research*. 47, 61– 66.
- Séré G. 2007**, Fonctionnement et évolution pédogénétique de Technosols issus d'un procédé de construction de sol. 228. *Doctorat de l'université de Lorraine, France*.
- Volkmar K.M et Entz T. 1995**, A method for characterising the effect of root-formed pores on growth of roots in a chernozemic clay loam. *Canadian journal soil sciences*, 75, 293-298.