



Association  
française  
pour l'étude  
du sol



UNIVERSITE  
CHAMBERY  
ANNE CY  
SAVOIE

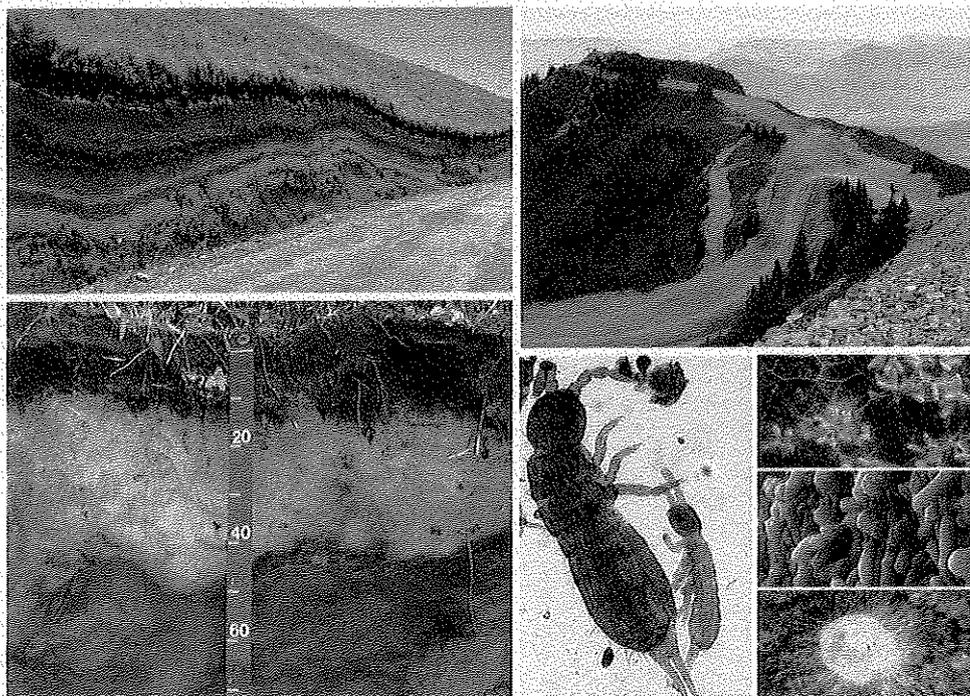


Société  
suisse  
de pédologie

30 juin - 4 juillet 2014

# 12<sup>e</sup> Journées d'Étude des Sols

## le sol en héritage



EDYTEM



FLAME



FR09



Rhône-Alpes



Thermo



Université de Savoie, Campus scientifique, 73370 Le Bourget du Lac

## Modélisation en 3D de la structure d'un sol : Analyse de sensibilité et évaluation de l'approche APSF

AMEUR Amina<sup>1</sup>, LEGUEDOIS Sophie<sup>1</sup>, MARILLEAU Nicolas<sup>2</sup>,  
BREDECHE Nicolas<sup>3,4</sup>, WATTEAU Françoise<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup> : Laboratoire Sols et Environnement (LSE), UMR INRA 1120, Université de Lorraine, 2 Avenue de la Forêt de Haye, F-54505 Vandœuvre-lès-Nancy, France, [amina.ameur@univ-lorraine.fr](mailto:amina.ameur@univ-lorraine.fr), [sophie.leguedois@univ-lorraine.fr](mailto:sophie.leguedois@univ-lorraine.fr)

<sup>2</sup> : UMI 209 UMMISCO, IRD, 32 Avenue Henri Varagnat, 93140 Bondy, France, [nicolas.marilleau@ird.fr](mailto:nicolas.marilleau@ird.fr)

<sup>3</sup> : Sorbonne Universités, UPMC Université Paris 06, UMR 7222, ISIR, F-75005, Paris, France, [nicolas.bredeche@upmc.fr](mailto:nicolas.bredeche@upmc.fr)

<sup>4</sup> : CNRS, UMR 7222, ISIR, F-75005, Paris, France, [nicolas.bredeche@upmc.fr](mailto:nicolas.bredeche@upmc.fr)

<sup>5</sup> : UMS CNRS 3562, 15 rue Notre-Dame des Pauvres BP 20, F-54501 Vandœuvre-lès-Nancy, France, [francoise.watteau@univ-lorraine.fr](mailto:francoise.watteau@univ-lorraine.fr)

### Introduction

La reconstitution virtuelle de la structure d'un sol donné, pour une large gamme de sols, représente un enjeu important en pédologie. C'est notamment le cas pour les Technosols construits que nous considérons comme des modèles de sols anthropisés et qui sont constitués initialement de matériaux technogéniques disposés en couches successives (Séré *et al.*, 2008). Ainsi, une représentation virtuelle explicite pertinente doit être capable, d'abord, de reproduire en 3D la structure d'un sol à un instant donné, puis d'intégrer les processus biotiques et abiotiques en modifiant cette même structure suivant son évolution dans le temps. Cela permet, par exemple, de simuler l'évolution de la structure d'un sol donné, à court ou à long terme, sous l'effet de l'activité des vers de terre (Blanchart *et al.*, 2009), des transferts hydriques ou du développement racinaire. Nous nous intéressons plus particulièrement aux Technosols construits, car il y a de surcroît un intérêt scientifique à pouvoir reconstituer et prédire l'évolution de leur structure à partir de l'état initial  $t_0$  dans le but de préciser l'impact de la formulation de ces sols sur leurs propriétés physico-chimiques.

### Modélisation de la structure du sol par l'APSF

Plusieurs travaux s'accordent à comparer la géométrie d'un sol donné à une structure hiérarchique fractale (Baveye *et al.*, 1998 ; Bird *et al.*, 2003). Cette hypothèse permet, tout d'abord, d'analyser et de caractériser l'hétérogénéité et la complexité d'une telle structure. Dans ce sens, l'approche APSF (Arborescence Pores Solides Fractals), proposée par Marilleau *et al.* (2008), consiste à modéliser un cube de sol pour une représentation synthétique de sa structure sous la forme d'un arbre composé de plusieurs possibilités de motifs appelés les canevas (arbre de canevas). A chaque niveau d'échelle, définissant une fraction granulométrique choisie, l'APSF génère une répartition spatiale des différentes particules et des pores de la taille correspondante ainsi que les volumes fractals qui seront décomposés aux échelles inférieures (voir la Figure 1).

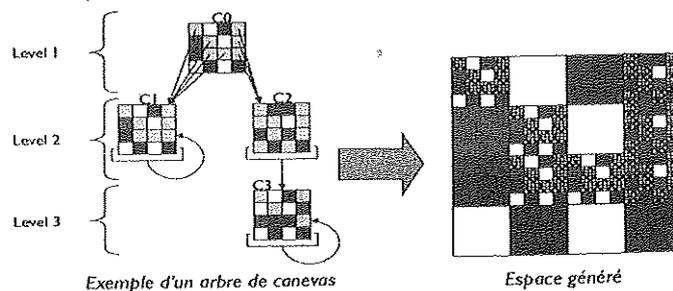


Figure 1 : Coupe en 2D d'une structure de sol avec l'APSF en 3D qui génère un arbre de canevas suivant plusieurs niveaux échelles avec une répartition spatiale de la matière organique (en vert), de matière minérale (en blanc), des pores (en noir) et des parties fractales (en gris)

Notre travail de recherche consiste à évaluer et à améliorer cette approche pour que la structure virtuelle générée en 3D représente au mieux la structure réelle d'un sol. La problématique qui se pose est la suivante : comment la méthode APSF peut-elle quantifier la distribution taille-nombre des particules et des pores d'un sol virtuel à partir d'un sol réel? Cela revient à s'interroger, d'une part, sur les paramètres clés du modèle pour lesquels l'optimisation des valeurs permettrait de mieux calibrer le modèle de simulation et d'autre part sur l'évaluation des niveaux d'incertitude et de sensibilité de l'APSF qui résultent de l'incertitude des variables aléatoires de notre modèle. Ainsi, nous concevons et développons un démonstrateur qui intègre l'approche APSF indépendamment du code de SWORM (Blanchart *et al.*, 2009). Cet outil nous permettra de réaliser une analyse de sensibilité et d'incertitude (les résultats seront discutés dans le poster).

### Analyse de sensibilité et approche de calibration du modèle

La description spatiale de la structure du Technosol construit engendre la prise en compte de variables comme la distribution de la taille et du nombre de pores et d'agrégats, leurs proportions volumiques, l'indice de forme des particules et l'indice de connectivité du réseau poral (Jangorzo *et al.*, 2013). L'analyse de sensibilité (AS) est un outil très précieux dans l'évaluation de la pertinence et de la stabilité d'un tel modèle (Saltelli *et al.*, 1999). Dans le cadre de l'APSF, cette approche permet de déterminer et de hiérarchiser les différents paramètres suivant leur influence sur la structure finale obtenue. Ainsi, pour améliorer le modèle, il est possible de donner plus d'informations sur les caractéristiques du sol au départ en y introduisant de nouvelles variables d'entrée. La validation de l'APSF nécessite de recourir à un processus d'optimisation pour mieux calibrer les modèles, par exemple en utilisant une approche d'optimisation bayésienne (Kennedy & O'Hagan *et al.*, 2001). Ce processus d'optimisation permet de calibrer, c'est à dire d'ajuster, les paramètres libres du modèle comme les proportions volumiques de matière organique, de matière minérale et des pores pour chaque niveau d'échelle. L'estimation de ces paramètres nécessite l'utilisation de données expérimentales disponibles : analyse d'images en 2D (Jangorzo, 2013) et tomographie à rayons X en 3D (Pey, 2010).

### Références

- Baveye, P.** & Boast, C. (1998). *Concepts of "fractal" in soil science : demixing apples and oranges*, Soil Science Society of America Journal 62 : {1469-1470}.
- Bird, N.** & Perrier, E. (2003). *The pore-solid fractal model of soil density scaling*, Eur. J. Soil Sci.54 : {467-476}.
- Blanchart, E.**, Marilleau, N., Chotte, J. L., Drogoul, A., Perrier, E. & Cambier, C. (2009). *SWORM: an agent-based model to simulate the effect of earthworms on soil structure*, Eur. J. Soil Sci.60 : {13-21}.
- Jangorzo, N. S.**, Watteau, F. & Schwartz, C. (2013). *Evolution of the pore structure of constructed Technosols during early pedogenesis quantified by image analysis*, Geoderma, 207-208, {180-192}.
- Jangorzo, N. S.** (2013) Quantification du processus d'agrégation dans les Technosols. Thèse, Sciences agronomiques, Université de Lorraine.
- Kennedy, M.** & O'Hagan, A. (2001). *Bayesian calibration of computer models*, J. R. Stat. Soc.63 : {425-450}.
- Marilleau, N.**, Cambier, C., Drogoul, A., Chotte, J. L., Perrier, E. & Blanchart, E. (2008). *Multiscale MAS modelling to simulate the soil environment: Application to soil ecology*, SIMUL MODEL PRACT TH : {736-745}.
- Pey, B.** (2010), Contribution de la faune du sol au fonctionnement et à l'évolution des Technosols. Thèse, Sciences agronomiques, INPL.
- Saltelli, A.**, Tarantola, S. & Chan, K. (1999). *A quantitative model-independent method for global sensitivity analysis of model output*, Technometrics 41 : {39-56}.
- Séré, G.**, Schwartz, C., Ouvrard, S., Sauvage, C., Renat, J-C. & Morel, J. L. (2008). *Soil construction: A step for ecological reclamation of derelict lands*, J. Soils Sediments 8 : {130-136}