

Prise en compte de l'hétérogénéité des sols à l'échelle des habitats microbiens pour modéliser la biodégradation des substrats carbonés dans les sols

POT Valérie¹, GARNIER Patricia¹, MONGA Olivier², PETH Stephan³, PINHEIRO Marc¹,
VIEUBLÉ-GONOD Laure¹, GENTY Alain⁴, VOGEL Laure¹, OGURRECK M.⁵ et
BECKMANN Felix⁵

¹: UMR 1091 EGC, INRA, AgroParisTech, F-78850 Thiverval-Grignon, France, vpot@grignon.inra.fr

²: Laboratoire MAT (UCAD2/IRD), UR UMMISCO, IRD, Centre IRD de Dakar, BP 1386, 18524 Dakar, Sénégal

³: Institute of Plant Nutrition and Soil Science, Christian-Albrechts-University of Kiel, Olshausenstr. 40, D-24118 Kiel, Germany

⁴: Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives, CEA-Saclay, DEN DANS DM2S STMF, F-91191 Gif sur Yvette Cedex, France

⁵: GKSS-Research Centre, Max-Planck-Str. 1, D-21502 Geesthacht, Germany

La biodégradation des substrats carbonés dans les sols est au cœur des cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote dans les écosystèmes terrestres et a des implications majeures sur le stockage de C mais aussi sur la dynamique des polluants dans les sols. Cependant, une des limites majeures à la prévision des fonctions microbiennes dans les sols et en particulier de la biodégradation, réside dans la prise en compte du caractère structuré et hétérogène du sol (Parkin *et al.* 1993). Le sol est en effet un milieu très hétérogène à différentes échelles, au plan de ses constituants, de la taille et la forme de ses pores, des conditions physiques locales (saturation en eau ou en oxygène) et de la distribution des ressources trophiques. De plus, différents travaux ont montré la très grande variabilité spatiale de la distribution des microorganismes à des échelles inférieures au cm-mm (Chenu *et al.* 2001, Vieublé-Gonod *et al.*, 2003). L'accessibilité des microorganismes aux substrats, paraît être un déterminant majeur de la vitesse de biodégradation des composés organiques, naturels ou xénobiotiques, dans les sols. En outre, la teneur en eau conditionne la mobilité des substrats et des produits de dégradation, ainsi que la mobilité des microorganismes. De faibles teneurs en eau limiteront a priori les probabilités de contact entre substrats et microorganismes, voire entre métabolites de dégradation et microorganismes avec des conséquences d'autant plus importantes que les populations microbiennes dégradantes, si elles ne possèdent pas tout l'équipement enzymatique pour aller jusqu'à la phase ultime de minéralisation, ne sont pas co-localisées dans les mêmes micro-habitats.

La description 3D de la structure du sol et de la localisation des différents acteurs de la décomposition à l'échelle des habitats microbiens apparaît donc essentielle dans la quantification de la décomposition des substrats carbonés dans les sols.

La démarche proposée est d'obtenir des mesures expérimentales ou simulées des différents descripteurs de la structure du sol (espace poral, distribution de l'eau et de l'air, distribution des sites réactifs et des microorganismes) qui serviront de données d'entrée à des modèles discrets modélisant la biodégradation des substrats carbonés. L'espace poral 3D est mesuré à partir de techniques non invasives d'imagerie tomographique sur des échantillons de sol scannés aux rayons X à des résolutions fines jusqu'à 5 µm. Deux approches de modélisation sont testées : un modèle discret de Boltzmann sur réseau utilisant une description de l'espace poral à partir des voxels des images tomographiques et un modèle discret géométrique basé sur la théorie des graphes utilisant une description compacte de l'espace poral. Ces deux approches permettent de simuler la répartition de l'eau et de l'air dans l'espace poral avec des niveaux de simplification différents. Des répartitions hétérogènes de microorganismes co-localisées ou non avec les nutriments sont simulées dans l'espace

poral. Un même modèle de biodégradation de substrats carbonés est ensuite couplé à ces deux approches discrètes.

Dans un premier temps, des cartes 3D de la distribution de l'eau et de l'air dans l'espace poral ont été obtenues à partir de mesures par tomographie aux rayons X d'échantillons de sol de taille 0.2 cm³. Ces images, obtenues par imagerie Synchrotron, ont permis de visualiser les ménisques d'eau à l'intérieur des pores pour des potentiels hydriques proches de la saturation (-5 cm). Ces résultats ont été comparés avec succès aux simulations numériques de répartition d'eau et d'air dans l'espace poral (Fig.1). Des premières simulations de biodégradation de substrats carbonés réalisées avec le modèle discret géométrique ont montré l'impact de la structure du sol, de la teneur en eau et de la co-localisation ou non des microorganismes du sol et les substrats carbonés sur la biodégradation (Fig. 2, Monga *et al.*, 2008).

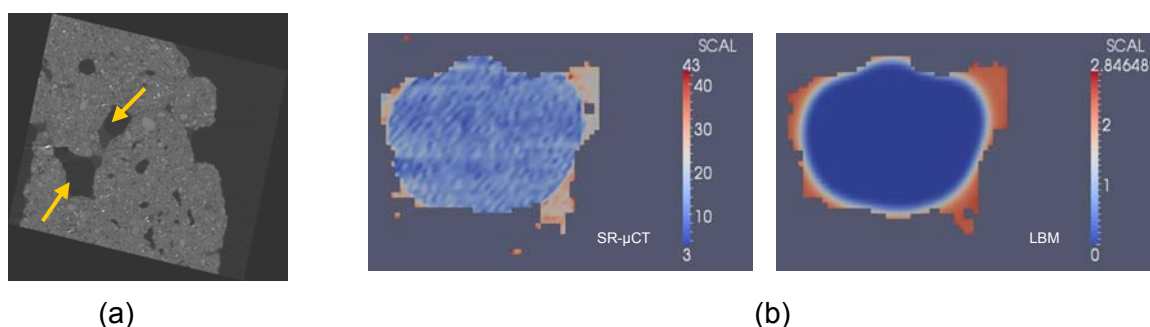


Figure 1 : (a) Section 2D d'un échantillon de sol (6x6x6 mm) scanné au Synchrotron. Les flèches jaunes indiquent la position des ménisques dans les macropores. (b) Comparaison entre les ménisques simulés par la méthode de Boltzmann sur réseau et ceux mesurés dans un macropore de l'image de taille environ 250 μm.

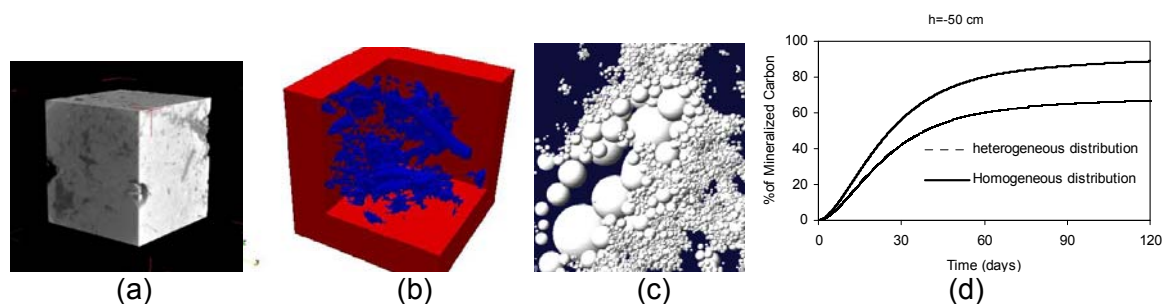


Figure 2 : (a) Image tomographique d'un échantillon de sol. (b) Représentation 3D de l'espace poral à partir de la segmentation des voxels de l'image tomographique entre phase solide et pores. (c) Représentation 3D de l'espace poral par des sphères de Delaunay représentant l'espace poral. (d) Impact de la distribution co-localisée ou non co-localisée des bactéries et de la matière organique sur la biodégradation de la matière organique. Simulations réalisées avec le modèle discret géométrique

Références

- Chenu C, Hassink J, Bloem J, 2001. Short-term changes in the spatial distributions of microorganisms in soil aggregates as affected by glucose addition. *Biology and Fertility of Soils*, 34, 349-356.
- Monga O, Bouso M, Garnier P, Pot V, 2008. 3D geometrical structures and biological activity: application to soil organic matter microbial decomposition in pore space. *Ecological Modelling*, 216, 291-302.
- Parkin TB, 1993. Spatial variability of microbial processes in soil – a review. *Journal of Environmental Quality*, 22, 409-416.
- Vieublé-Gonod L, Chenu C, Soulas G, 2003. Spatial variability of 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) mineralisation potential at a millimetre scale in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 35, 373-382.