

Exploration de paramètres d'un modèle de structure de sol

Sophie LEGUÉDOIS¹, Nicolas MARILLEAU²,
Jean Rémi TOGUEBAYE¹

1. INRA, Laboratoire Sols et Environnement, Vandœuvre-lès-Nancy,
France

2. IRD, Ummisco, Bondy, France



Modéliser la structure des sols : un besoin



- Un élément clef pour estimer :
 - Évolution des sols, transferts hydriques, croissance et prélèvement racinaire...
- Approches de modélisation-simulation nécessaires pour explorer l'action de ces processus interactifs et leurs rétroactions avec la structure du sol
- Modélisation de la structure des sols encore très « simpliste »
 - Représentation statique,
 - Généralement 2D
 - Réduite à discrétisation de propriétés des sols ou un réseau poral



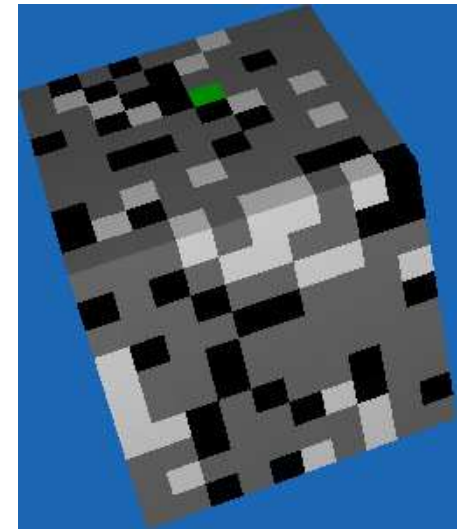
Objectifs

- Évaluer un modèle de structure existant (APSF) pour représenter, dynamiquement, la structure des sols
 - Calibration
 - Incertitudes au regard :
 - Des incertitudes sur les mesures
 - De la variabilité temporelle

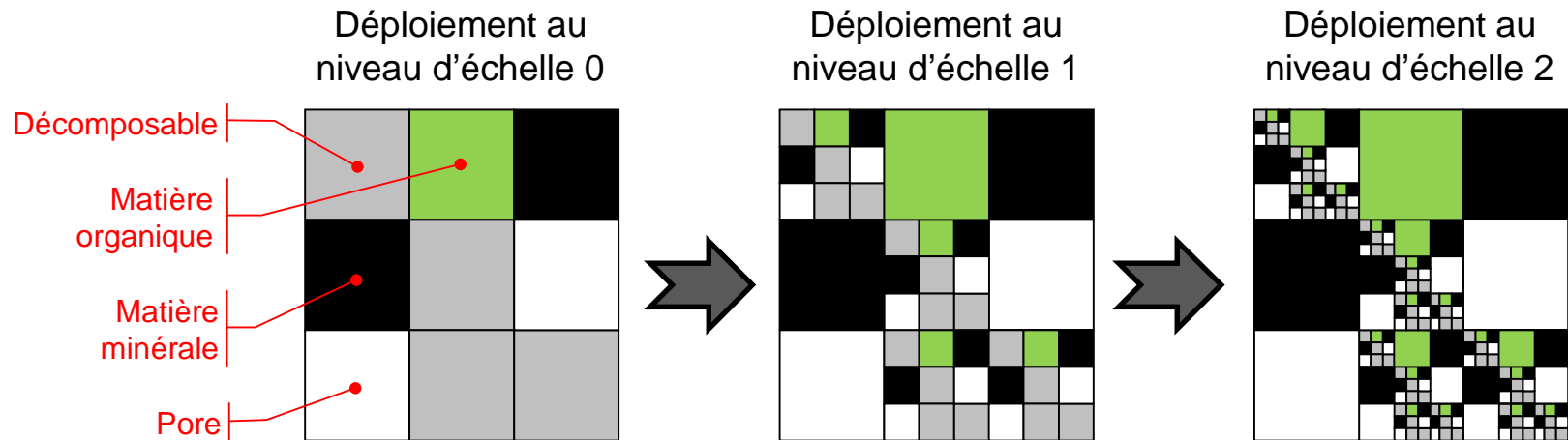


Le modèle APSF

- Arborescent-Pore-Solide-Fractal
- Représentation numérique 3D, inspirée des fractales et multi-échelle
- Un environnement pertinent pour développer de systèmes multi-agents
 - Swarm (action des vers de terre)
 - Mior (décomposition microbienne MO)
 - Simycor (croissance mycorhizienne)
- Actuellement
 - Méthode de calibration empirique
 - Validé uniquement sur un sol sableux



Principe de l'APSF




- Voxels cubiques sur n niveaux d'échelle
- À chaque niveau n , un motif de base (canevas) composé de voxels poreux, solides (organiques, minéraux, etc) et «fractals»
- Voxels «fractals» décomposés en voxels au niveau $n+1$
- Programmé par un arbre de canevas

Étude de cas : le Technosol construit

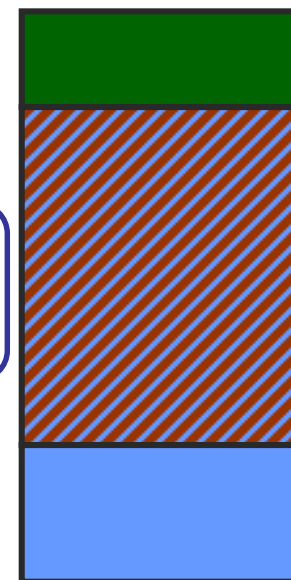
- Procédé de réhabilitation des sols
- Modèle expérimental pour l'étude de l'évolution des sols
- Des données expérimentales
 - Expérimentation *in situ* démarrée en 2008
 - 19 échantillons sur 1 ha



 Compost de déchet vert

 Mélange sous-produit papetier et terre industrielle traitée

 Sous-produit papetier



t_0



$t_{6 \text{ mois}}$

Paramètres APSF pour le Technosol construit



- Deux solides:
 - Matière minéraler (MM)
 - Matière organique (OM)
- 25 niveaux d'échelle : de 2 cm à $< 2 \mu\text{m}$
- Données sur les 6 premiers niveaux
- Hypothèses:
 - Densités réelles constantes
 - OM= 0.8
 - MM= 2.62

Exploration des paramètres :

Méthode suivie

- Sur les proportions de voxels des 6 premiers niveaux
 - → 18 paramètres avec des dépendances
- Procédure « force brute »
 - Sous R (des essais sous Java également)
 - Monte Carlo
 - 10 000 échantillons
 - Distribution de Dirichlet: $Dir(a_1=1, a_2=1, a_3=1)$
 - Fonction objective: RMSE sur distribution taille particules minérales, densité apparent et teneur totale en OM
 - IC à 95% de la RMSE par bootstrap sur les 19 valeurs mesurées (1 000 ré-échantillons)



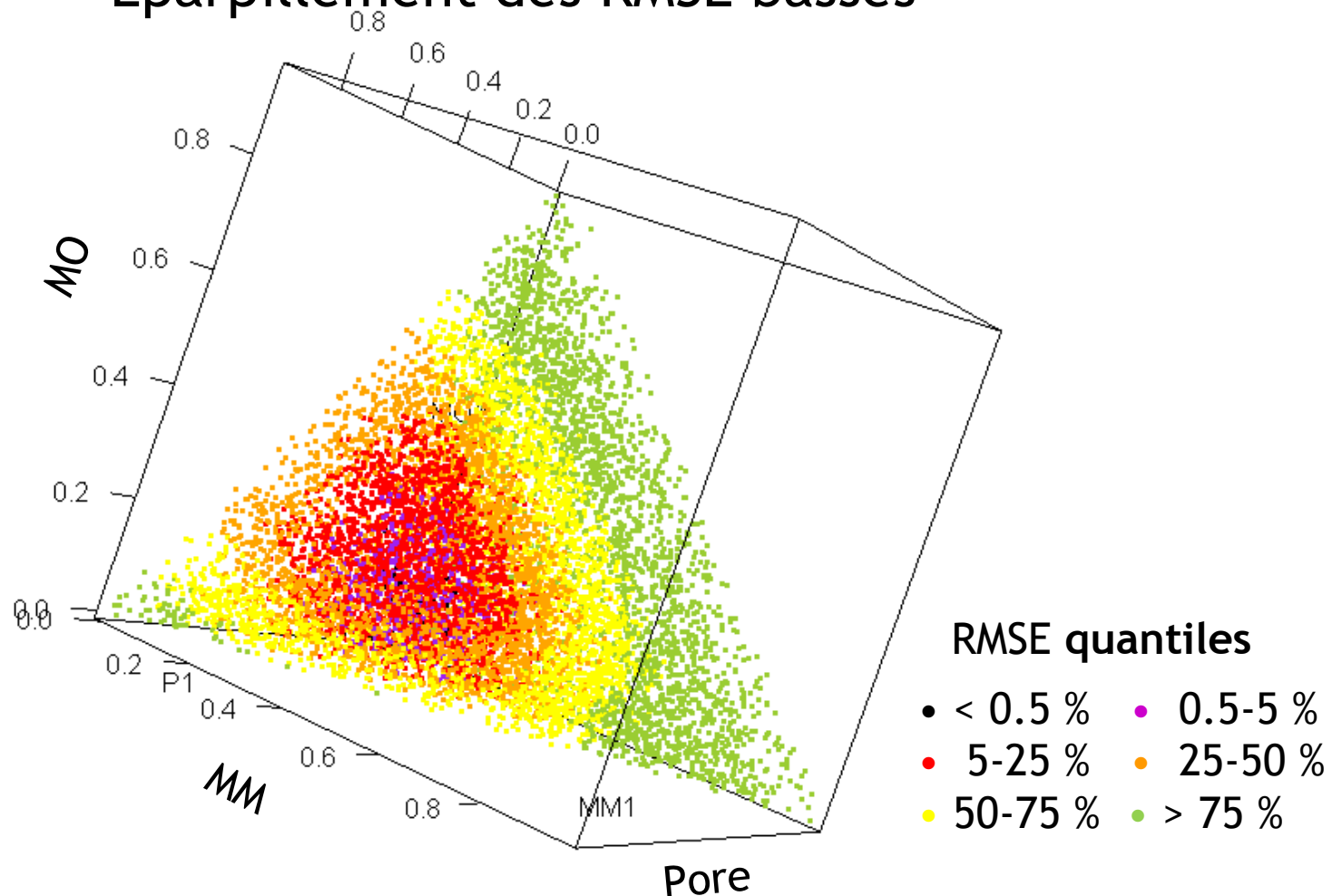


Premiers résultats

- Bonne précision pour 10 000 échantillons
 - Écart-type RMSE minimales de 0,5 %
- Bonne représentation
 - RMSE minimale moyenne ~ 0,029 (soit 3 %)
- Temps de calcul assez long :
 - Avec bootstrap : ~ 10 h

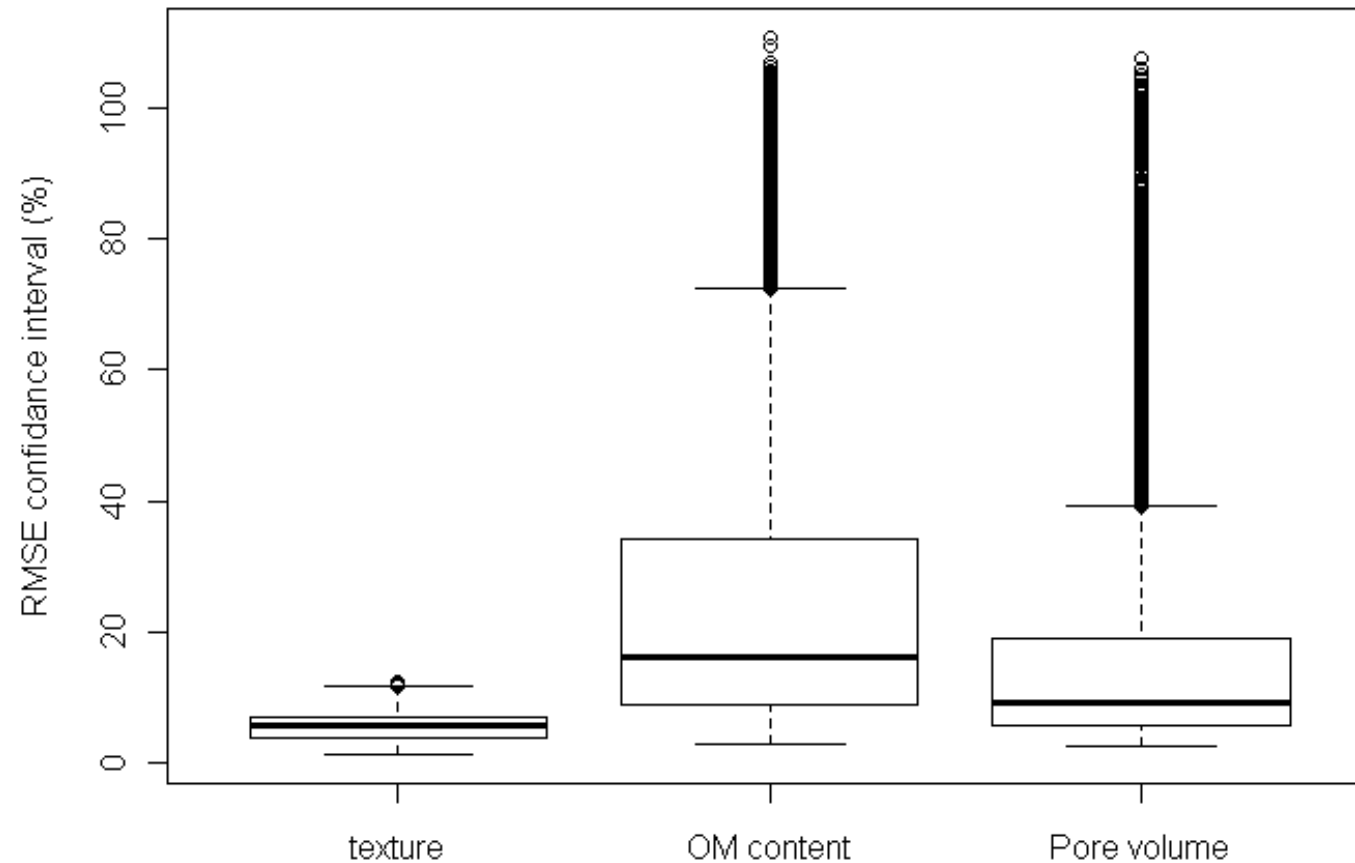
Exploration de l'espace des paramètres

- Proportions de voxels au 1^{er} niveau
 - Contrôle par les éléments grossiers (2-0,2 cm)
 - Éparpillement des RMSE basses



Prise en compte de l'incertitude liée à l'erreur de mesure

- Du même ordre de grandeur que la RMSE pour teneur en MO et volume total de pore





Conclusion de ce travail en cours

- Calibration sur les proportions des premiers niveaux d'échelle ?
- Importance de la prise en compte de l'incertitude des mesures



Perspectives

- Calibration et AS par méthode bayésienne
- Comparaison des structures virtuelles calibrées avec
 - Données 2D sur la porosité obtenues par analyse d'image sur des lames minces
 - → analyse d'images virtuelles
- Comparaison de la sensibilité des paramètres avec la variabilité temporelle mesurée
- Simulation de la dynamique de la structure virtuelle par action des vers de terre