

La plateforme de modélisation VSoil

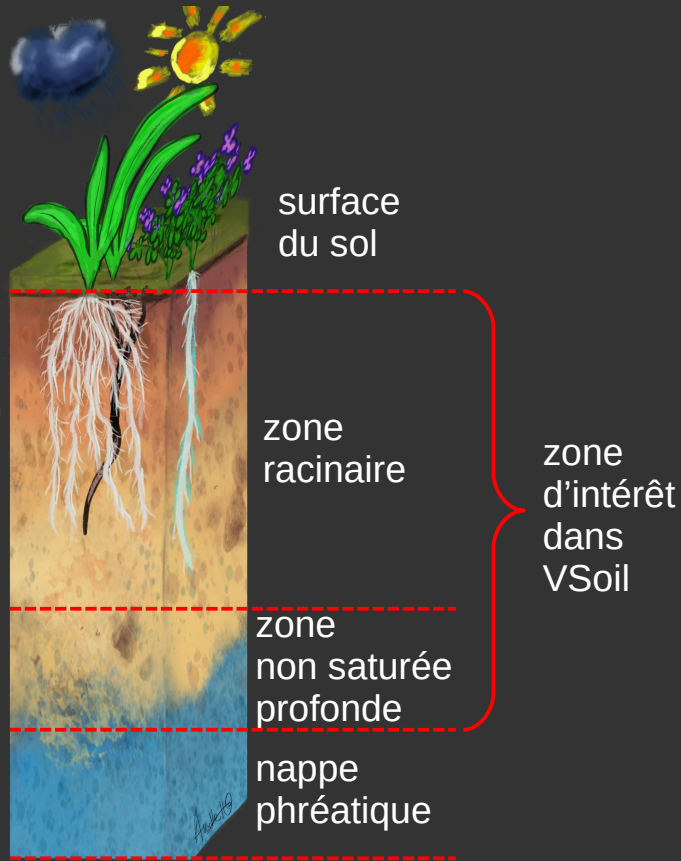
Nicolas Beudez, Nathalie Moitrier, Nicolas Moitrier, Cédric Nouguier
INRAE, UMR EMMAH, Avignon

-

3ème workshop IMAE, Montpellier, 29 septembre 2026



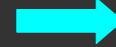
1) VSoil : une plateforme pour développer des modèles de fonctionnement du sol



échelle : **pédon de sol**
(quelques m²)

VSoil : plateforme de modélisation pour développer des modèles numériques 1D décrivant les processus physiques, chimiques et biologiques du sol en interaction avec le climat, les plantes et les actions humaines.

VSoil facilite le couplage entre ces processus.



Création de modèles de complexité variable à partir de l'assemblage de codes informatiques existants ou nouveaux.

Plateforme développée depuis 2009 à EMMAH (INRAE/Avignon Université).

Suite logicielle composée de 4 logiciels :

- **vsoil-processes** : créer des processus de sol et leurs entrées/sorties ;
- **vsoil-modules** : créer un module (représentation informatique d'un processus) ;
- **vsoil-models** : assembler des modules graphiquement en un modèle ;
- **vsoil-player** : exécuter une simulation numérique d'un modèle.

2) Avancées depuis le dernier workshop IMAE (novembre 2024)



2.1) Projets et modèles

- Projet **VSoilForOAD2** (collaboration ONF / INRAE)

Objectif : développer un service climatique (OAD) pour prévenir la dégradation des sols forestiers due à la circulation des engins forestiers.



Travaux réalisés :

- **modèle Rich_Clim_Forest** : dév. (thèse + post-doc M. Martin, 2020-2022), identification des paramètres les plus sensibles (post-doc M. Moradzadeh, 2022-2023), test sur chantiers passés (stage E. Schmitt, 2023) ;
- équipe VSoil (2025-2026) :
 - **officialisation** du modèle ;
 - **prototype de web-service** à destination des opérateurs forestiers : saisie de données simples (localisation et dates du chantier, pente, texture du sol) + données météo prévisionnelles actualisées + prédiction de la **praticabilité** du terrain ;
 - demande de financement d'une **pré-maturation** acceptée : consolidation du prototype de web-service (montée en charge, plus de chantiers, sols différents, pentes différentes, ...).

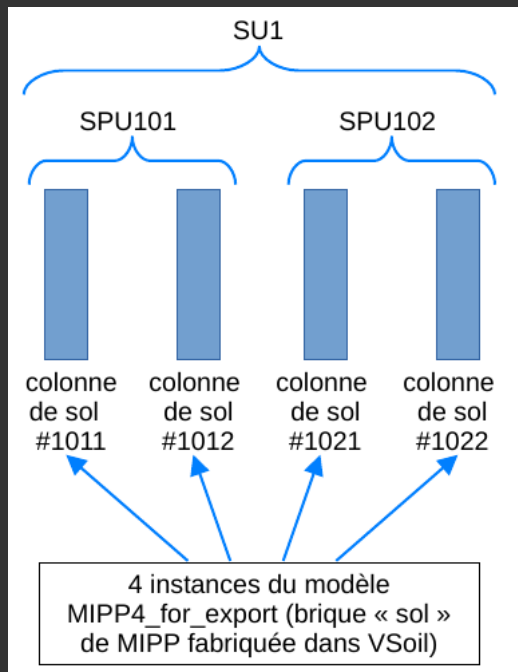
2) Avancées depuis le dernier workshop IMAE (novembre 2024)

2.1) Projets et modèles

- Modèle **MIPP** (Modélisation Intégrée du devenir des Pesticides dans les Paysages agricoles – collaboration entre plusieurs unités d'INRAE dont EMMAH, LISAH, EcoSys) :

- **contexte** :

- prédire les **concentrations de pesticides** dans les compartiments sol / eau / air ;
- intégré dans la plateforme logicielle OpenFLUID (UMR LISAH) ;
- une brique = modèle mécaniste VSoil : transfert eau / chaleur / pesticides dans un profil de sol 1D + devenir des pesticides sur les feuilles ;
- **travaux** : résolution de problèmes liés à des concentrations < 0 de pesticides dans les phases liquide et gazeuse (dans la brique « sol ») ;
 - ⇒ problème : sorties « sol » de MIPP agrégées sur une SU ou SPU ;
 - ⇒ quelle(s) colonne(s) pose(nt) problème ? ⇒ 4 col. dans l'exemple ;
 - ⇒ collaboration avec D. Crevoisier : solution technique pour reproduire dans VSoil une simulation OpenFLUID sur **une colonne de sol précise** ;
 - ⇒ test de **modifications du modèle VSoil** sans impact sur MIPP.



2) Avancées depuis le dernier workshop IMAE (novembre 2024)

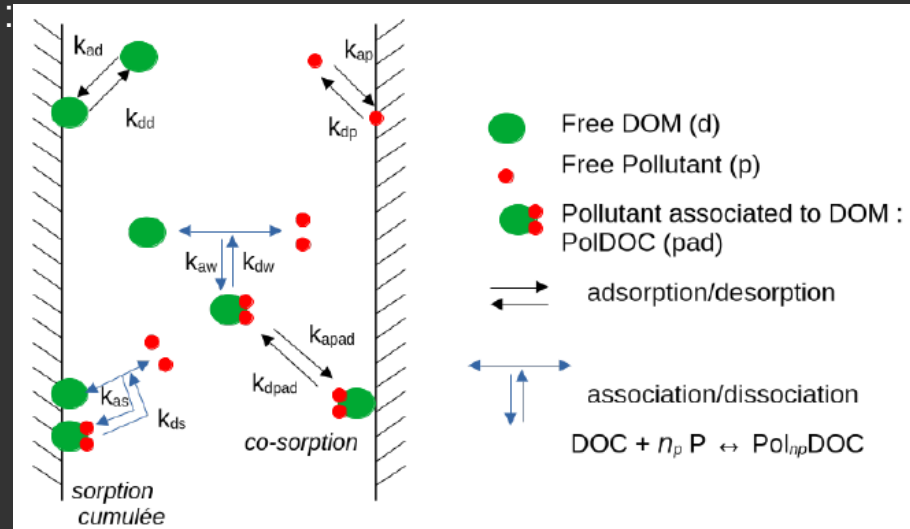


2.1) Projets et modèles

- Modèle **PolDoc** (Valérie Pot, INRAE, UMR EcoSys, Palaiseau) :

- but : simuler les effets de la matière organique dissoute sur le **transport des polluants organiques** dans les horizons du sous-sol ;

- prise en compte du processus de **complexation** dans le calcul des concentrations en polluant, matière organique dissoute et objet PolDOC associé dans les **eaux apportées par aspersion**.



- Projet **Regen'Eau** (partenariat INRAE + ReGeneration, financement ADEME) :

- but : mesurer l'impact de **pratiques agricoles** sur la capacité des sols à **infiltrer** et **gérer l'eau** ;

- développement du modèle Rich_Clim_Agro (transferts d'eau dans les sols agricoles) :

- adaptation de Rich_Clim_Forest aux **grandes cultures** (maïs, sorgho, tournesol et blé) ;
- lecture de données météo SAFRAN (pas de temps horaire) ;
- profils de densités racinaires + LAI issus **modèle STICS** (pas de temps journalier).

2) Avancées depuis le dernier workshop IMAE (novembre 2024)



2.1) Projets et modèles

- Travaux sur le développement d'**approches non-destructives** pour caractériser les propriétés hydrauliques des sols (Claude Doussan, Rémi Valois, INRAE, UMR EMMAH) :

⇒ stage de Gilen Aznar-Etchepare (Avignon Université – institut Agrosciences, Environnement et Santé) :



Développement d'un modèle mécaniste pour représenter le **transfert d'eau 1D** à travers la zone non saturée de la **parcelle lysimétrique** du site INRAE PACA d'Avignon :

- base : modèle officiel Rich_Clim (transfert d'eau 1D avec l'équation de Richards) ;

- ajout de modules pour simuler la présence d'une culture + prélèvement racinaire d'eau.

2) Avancées depuis le dernier workshop IMAE (novembre 2024)



2.2) Valorisation de VSoil

- **Article de référence** de VSoil soumis dans « Environmental Modelling and Software » (août 2026) :

VSoil: an open-source collaborative platform for modelling soil processes.
Nicolas Beudez, Nathalie Moitrier, Cédric Nouguier, Stéphane Ruy, Nicolas Moitrier

- **Poster** présenté à la conférence
EGU General Assembly 2025 (Vienne, Autriche)

Coupling easily numerical models using the VSoil modelling platform. *EGU General Assembly 2025*, Avril 2025, Vienna, Austria.
<https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-9899>



Coupling easily numerical models using the VSoil modelling platform

Nicolas Beudez¹, Nicolas Moitrier¹, Nathalie Moitrier¹, Cédric Nouguier¹, Stéphane Ruy¹, François Lafolie¹
¹INRAE, Avignon Université, UMR EMMAH, F-84914, Avignon, France



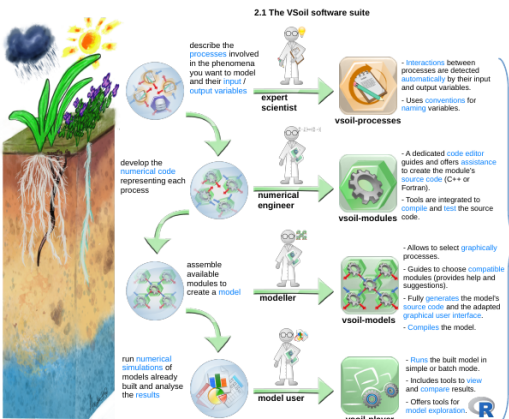
1. Scientific needs

To provide a detailed representation of soil functioning, it is necessary to couple a large number of models that represent the various processes taking place within it.

2. The VSoil collaborative platform

An open-source platform under Apache 2 licence designed to aid the development of numerical models at the soil profile scale describing physical, chemical and biological processes in soil and its interactions with climate, plants and anthropic activities.

2.1 The VSoil software suite



The diagram illustrates the VSoil software suite workflow. It starts with a 'describe the processes' step where an expert scientist defines the processes and their input/output variables. This leads to 'develop the numerical code', where a numerical engineer creates the model's source code (C++ or Fortran). The next step is 'assemble available modules to create a model', where a modeller integrates the code and selects compatible modules. Finally, 'run numerical simulations of models already built and analyse the results' is performed by a model user using the 'VSoil-player' interface. The workflow is supported by 'VSoil-processes' (expert scientist), 'VSoil-modules' (numerical engineer), 'VSoil-models' (modeller), and 'VSoil-player' (model user).

2.2 Particular features

- Open library: currently ~700 variables, ~50 processes, ~150 modules and ~20 models. Examples of processes: water, heat and gas transfers, organic matter dynamics, solute transport, evapotranspiration...
- Automatic generation of:
 - model's source code and graphical user interface;
 - output files;
 - R scripts for sensitivity analysis and parameter estimation.
- Remote computing: on servers or clusters.
- 'Stop and resume' functionality (for example to update weather data during simulation).

VSoil models can be integrated into three-party models / platforms.

- A *co-simulation* tool: exchanges between users (export / import system) + capitalisation by the VSoil team (sharing with the community).

3. Some use cases

3.1 Modelling pedogenesis processes



Processes involved in the OC_VGEN model (H. Chiffolleau).

Introduced time-adaptive prefiltering in VSoil: save computing time on century-scale simulations.

Recent improvement of OC_VGEN model: add a module to take account of volume change of soil over time (Chiffolleau et al., 2023) → better prediction of bulk density evolution at the century scale.

3.2 Building a model for predicting the risk of rutting in forest soils

Funding: ADEME, partners: ONF, CNPF-IDF, FCBA, INRAE.

Context: forestry machinery traffic is one of the main causes of physical degradation of forest soils and, consequently, of forest stands.

Forestry machinery travels on dedicated tracks known as skid trails, whose predictability must be maintained over the long-term.

Development of a climate service prototype for real-time prediction of the water status of skid trails over the next 14 days: observed and forecast weather data (ECMWF) + model to simulate the degree of water saturation of skid trails + ask minimum information to forestry operators = predicting the risk of rutting.

Steps:

- 1) Building the model within VSoil:
 - 1D mechanism: model of the soil-litter-tree-atmosphere system to simulate water transfer in an undisturbed and compacted forest soil (Martin et al., 2024).
 - module for calculating soil predictability indices.
- 2) Sensitivity analysis to identify most important model parameters on the number of practical steps predicted: use of R packages through VSoil.

Graphical selection of processes and associated modules (VSoil model)

4. Perspectives

- New models available soon (ex: hydro-geophysics).
- Development of 3D modelling to take better account of soil heterogeneity.
- Access to live forecast and observed weather data to feed models.

References

Lafolie (1991), DOI: 10.1007/BF00151119.
Frederick et al. (2007), DOI: 10.1111/j.1365-2389.2006.00628.x
Pérez and Muñoz (2008), DOI: 10.1016/j.procs.2008.10.117
Keyvanfar et al. (2019), DOI: 10.1016/j.sbspro.2019.03.028
Martin et al. (2024), DOI: 10.1186/s13047-024-01294-4
Chiffolleau et al. (2023), DOI: 10.1016/j.procs.2023.131228

Informations, contact and support

You can access the VSoil website here:  vsoil.inrae.fr

You can contact us here: vsoil@inrae.fr

Support:

- VSoil team: 1 researcher, 3 software engineers and 1 scientific computing engineer;
- reference scientists for the models.

Acknowledgements

We thank Annette Blérand, André Chénay, Claude Doussan, Eric Michel and Céline Pellet for their advances in the conception of this poster.

2) Avancées depuis le dernier workshop IMAE (novembre 2024)



2.2) Valorisation de VSoil

- Par la communauté des utilisateurs de VSoil :

- 4 articles dans des journaux + 1 soumis :

- Fries et al. (2026). 19F magnetic resonance imaging-informed fate models of PFAS in porous media. *Water Research*, 290, 125088. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.125088>

- Chaif et al. (2025). How can X-ray computed tomography help improve the performances of a preferential water flow model in soils? *Journal of hydrology*, 661, Part C, 133791. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.133791>

- Pousse et al. (2025). Le service climatique de praticabilité des cloisonnements : un outil en cours de développement pour mieux programmer les exploitations en fonction des prévisions météorologiques. *Rendez-vous techniques de l'ONF*, 81, pp.21-24.

<https://www.onf.fr/vivre-la-foret/+/273e:les-rendez-vous-techniques-de-lonf-numero-81.html>

- Chaif et al. (2025). Introducing a volume change function in process-based modelling of soil development due to land management: A proof of concept. *Geoderma*, 455, 117228. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2025.117228>

- Pousse et al. Simulating soil water content under forest to predict soil practicability and prevent compaction: model presentation and implementation in operational context (article prochainement soumis dans *Geoderma*).

2) Avancées depuis le dernier workshop IMAE (novembre 2024)



2.2) Valorisation de VSoil

- Par la communauté des utilisateurs de VSoil :

- 2 communications orales dans des congrès :

- N. Pousse. Développer des outils prédictifs de la praticabilité des voies dédiées à la circulation des engins forestiers pour limiter le tassement des sols : le projet VSoilForOAD. *Regards sur les sols forestiers méditerranéens*, novembre 2025, Marseille, France.

<https://www.foret-mediterraneenne.org/fr/evenements/encours/id-133-regards-sur-les-sols-forestiers-mediterraneens>

- C. Doussan et al. Caractérisation des propriétés hydrauliques du sol par inversion jointe électrique-hydrique. 14ème colloque du réseau GEOFCAN, juin 2025, Avignon, France. <https://hal.inrae.fr/hal-05141055>

- 1 poster dans une conférence :

- N. Pousse et al. (2026). Permanent logging corridors as a solution to limit soil compaction, rutting and erosion in french forests – operational keys to success. *Global Symposium on Soil Compaction*, September 2026, Aarhus, Denmark.

2) Avancées depuis le dernier workshop IMAE (novembre 2024)



2.3) Animation de la communauté des utilisateurs de VSoil

- Organisation des premières « **rencontres scientifiques VSoil** » :

- durée : 2 demi-journées (26 et 27 mars 2026) ;
- lieu : centre INRAE PACA d'Avignon ;
- **28 participants** : membres de la communauté VSoil + personnes curieuses du centre INRAE PACA ;
- **8 présentations** orales + **1 poster** + **1 vidéo** enregistrée ;
- un temps d'**échanges** avec les participants ;
- fréquence envisagée : tous les 2 ans ;
- retour très positif des participants.

- 4 **nouveaux modélisateurs** formés à VSoil :

- Juliette Goussopoulos (INRAE, EMMAH, technicienne et doctorante) ;
- Simon Cazaurang (INRAE, EMMAH, chercheur) ;
- Inès Malavialle (INRAE, UMR EMMAH, doctorante collaboration INRAE / CMI-Roullier) ;
- Lucille Mangold (INRAE, UMR EMMAH, CDD).



2) Avancées depuis le dernier workshop IMAE (novembre 2024)



2.4) Comité scientifique de VSoil

- Initié par Céline Pelosi (directrice UMR EMMAH) pour accompagner N. Beudez (pilotage scientifique).
- Comité scientifique = rôle consultatif.
- Un comité scientifique « local » :
 - composition : 4 chercheurs (Céline Pelosi, André Chanzy, Eric Michel et Stéphane Ruy) + 2 ingénieurs (Samuel Buis et Sylvain Jay) ⇒ tous INRAE EMMAH ;
 - rôle : appui local pour essayer de remplacer les connaissances/compétences de François Lafolie.
- Un comité « élargi » :
 - composition :
 - 3 membres du comité local : C. Pelosi, A. Chanzy et S. Ruy (INRAE, UMR EMMAH) ;
 - 1 représentante du département AgroEcoSystem : Isabelle Cousin (INRAE) ;
 - 1 représentant de la fédération IMAE : Nicolas Donès (INRAE) ;
 - 1 utilisatrice historique de VSoil : Valérie Pot (INRAE, UMR EcoSys) ;
 - 2 extérieurs (non INRAE) : Céline Duwig (CR, IRD, Institut des Géosciences de l'Environnement, Grenoble) + Mathieux Javaux (PR, Université Catholique de Louvain) ;
 - rôle : définition, hiérarchisation et priorisation des grandes orientations de VSoil ;
 - I. Cousin + N. Donès + S. Ruy : adéquation avec les besoins d'AgroEcoSystem et d'INRAE.

2) Avancées depuis le dernier workshop IMAE (novembre 2024)



2.5) Suite logicielle

⇒ 2 nouvelles versions : **VSoil 20250929** (septembre 2025) et **VSoil 20260723** (juillet 2026)

- général :

- canal « **nightly** » pour mise à jour de VSoil accessible dans les préférences ;
- **Ubuntu Noble 24.04** et **Resolute 26.04** disponibles dans un **conteneur Singularity** ;
- entrées/sorties + mots-clés (associés aux processus/modules/modèles) liés au thésaurus INRAE (<http://opendata.inrae.fr/thesaurusINRAE/>)
- les modèles peuvent être exécutés dans une session **gdb (GNU Debugger)** ;

- **vsoil-processes** :

- nouveau processus officiel : **soil practicability** (pour calculer des indicateurs de praticabilité du sol) ;
- plusieurs entrées/sorties renommées ;

2) Avancées depuis le dernier workshop IMAE (novembre 2024)



2.5) Suite logicielle

⇒ 2 nouvelles versions : **VSoil 20250929** et **VSoil 20250929**

- **vsoil-modules** :

- nouveaux **modules officiels** :

- **climate_EMMAH_WS** : lit des données horaires extraites de Open-Meteo (<https://open-meteo.com/>) ;

- **mulch_forced** : simule un paillis simple décrit par son indice de surface et le volume de ses éléments en contact ou non avec la surface du sol ;

- **hydraulic_properties_from_PTF_classes** : permet de définir des propriétés hydrauliques basées sur le choix d'une fonction de pédotransfert (PTF) + une classe de texture associée choisie dans un diagramme de textures ;

- **simple_tree** : décrit le développement d'un arbre à feuilles caduques ou persistantes (distribution stationnaire des racines, évolution annuelle de l'indice de surface foliaire) ;

- **forest_soil_practicability**: calcule plusieurs indices évaluant la praticabilité d'un sol forestier composé de 2 couches d'intérêt (calcul basé sur l'indice de saturation du sol et un seuil de praticabilité).

2) Avancées depuis le dernier workshop IMAE (novembre 2024)



2.5) Suite logicielle

⇒ 2 nouvelles versions : **VSoil 20250929** et **VSoil 20250929**

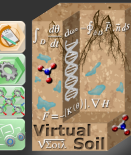
- **vsoil-modules** :

- quelques modules traduits de Fortran à C++ : **homogenous_climate**, **hydraulic_properties** and **organic_fert_CANTIS** ;

- **vsoil-models** :

- le module **time_forced** (synchronisation du temps de simulation avec des dates calendaires) est ajouté automatiquement à un modèle détecté comme nécessitant une synchronisation du temps ;

- nouveau **modèle officiel** : le modèle mécaniste **Rich_Clim_Forest** qui simule le transfert d'eau dans un profil vertical de sol forestier et calcule plusieurs indices visant à prédire la praticabilité des sols forestiers.



Merci pour votre attention