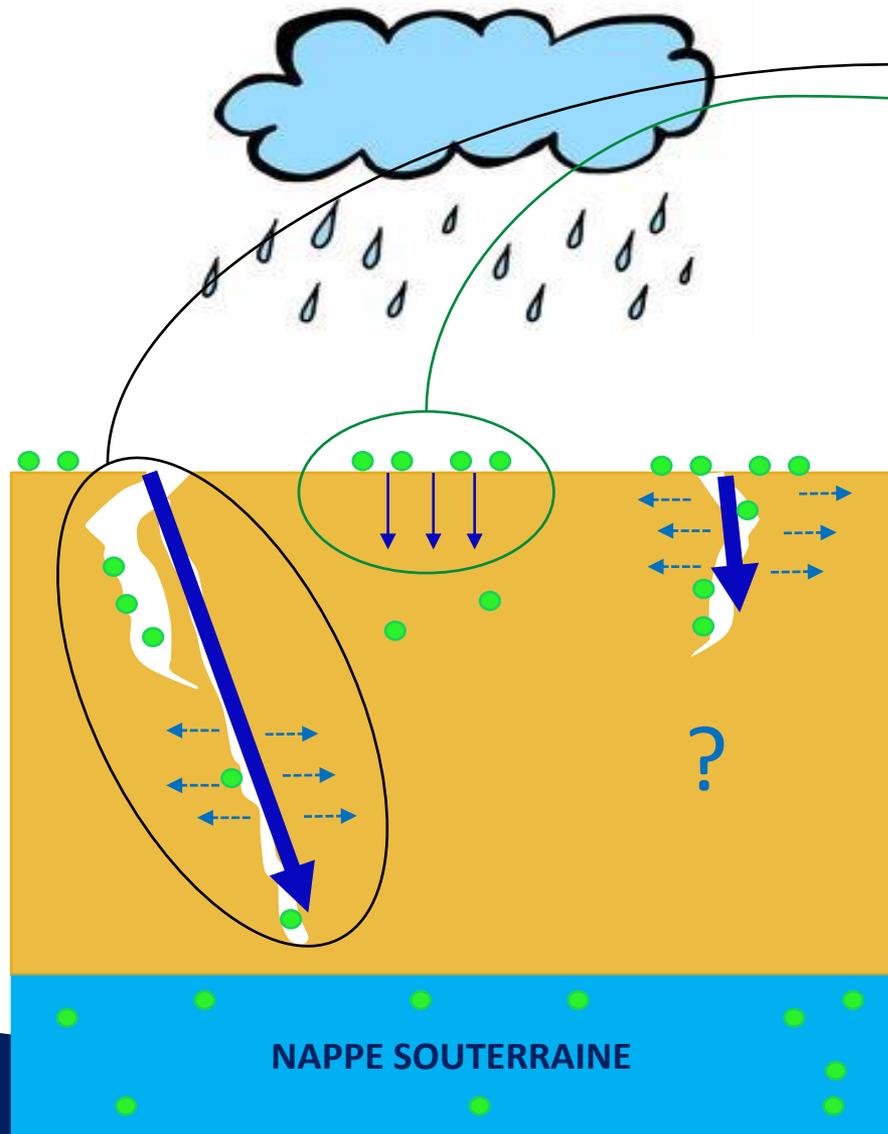


Visualisation et modélisation des phénomènes d'écoulements préférentiels en milieux poreux hétérogènes – Application aux sols structurés

Direction : Liliana Di Pietro
Co-encadrement : Stéphane Ruy & Stéphane Sammartino



Micropores :
Ecoulement lent et diffusif
→ Darcy Richards

Macropores :
Ecoulement rapide et gravitaire
→ KDW *(Di Pietro et al. 2003)*

Terme d'échange macropores – matrice

$S = f(\text{micropores}, \text{macropores})$

Hypothèses
distance intermacropores
macroporosité détectée au scanner

Sommes – nous capable d'intégrer des paramètres mesurés en tomographie RX dans un modèle d'écoulement d'eau à double compartiments ?

Questions scientifiques

Objectifs

Méthode

Observations

Observations variations structures selon le sol / condition initiale ?
Observation de l'eau dans porosité ?

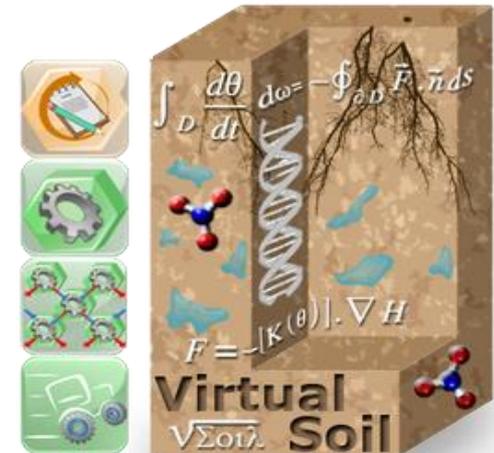
Comprendre l'écoulement dans les macropores.
Mesurer des paramètres



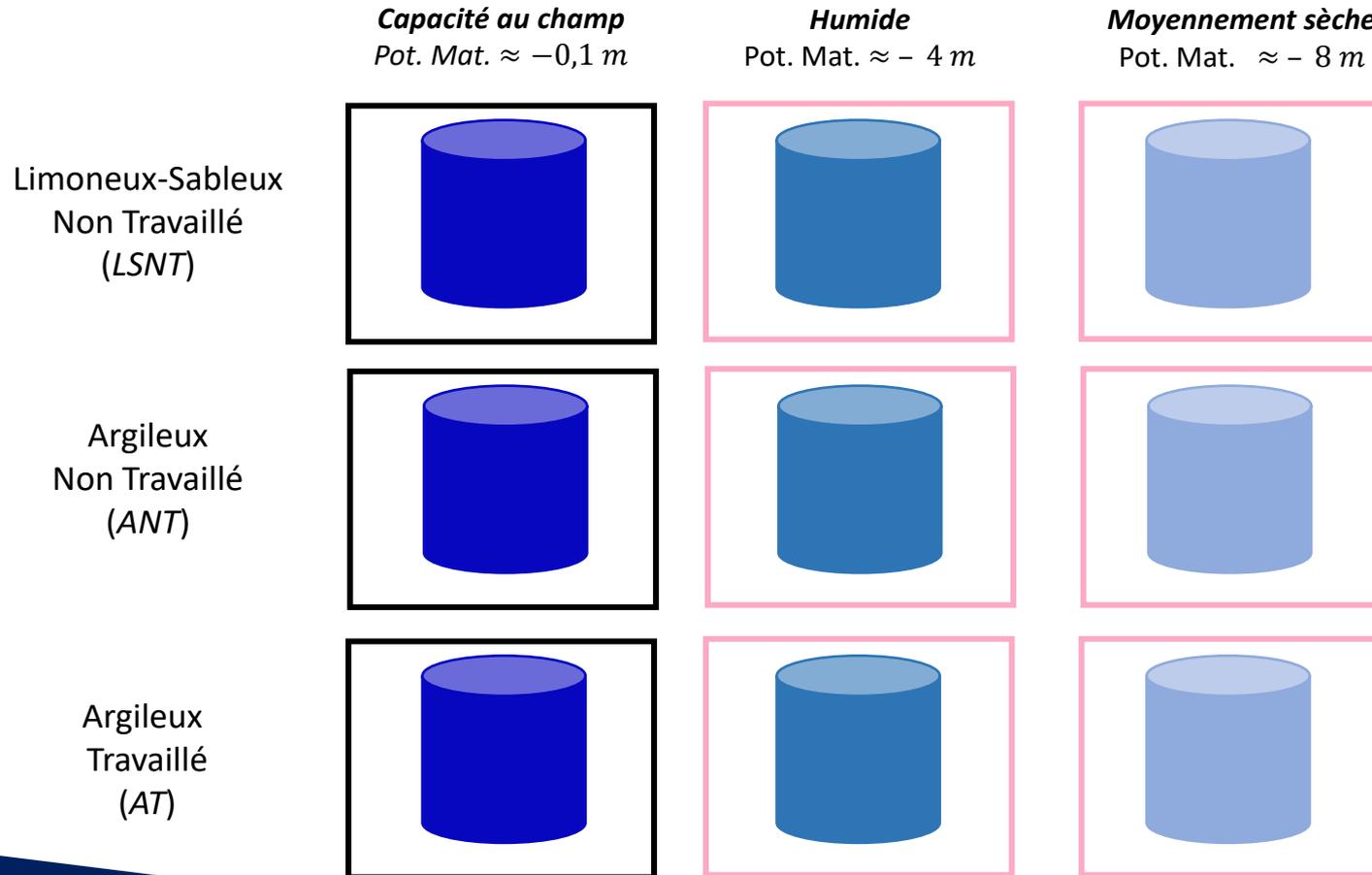
Modèle

Modélisation des écoulements dans les milieux poreux hétérogènes ?
Généricité ?

Mieux connaître le modèle.
Intégrer des mesures physiques.



Infiltrations – drainages sous tomographie RX en conditions contrôlées :
2h de suivi (90 min de pluie à 20 mm.h⁻¹ + 30 min de drainage) ; 20 à 30 images

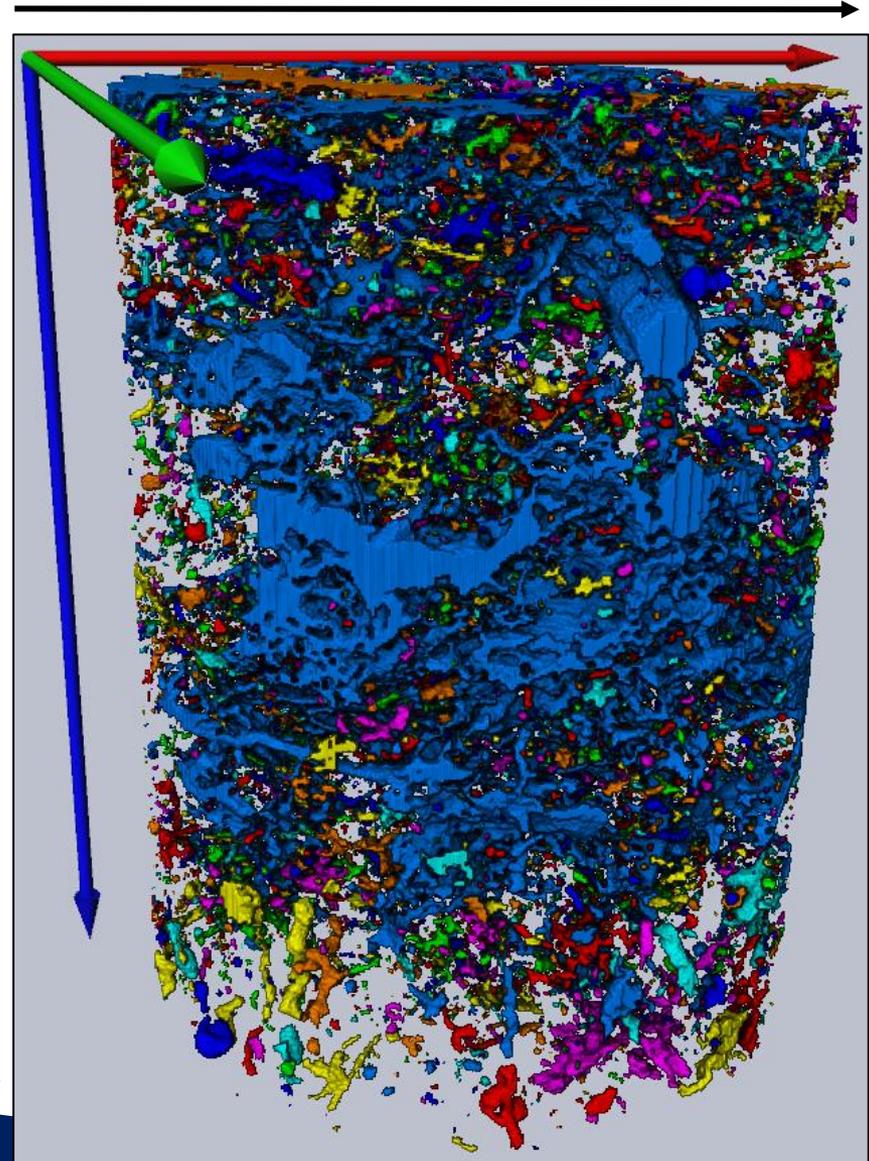


Tomographie

- Fonctionnelles de Minkowski
- Profil de macroporosité (%)
- Profil de distance intermacropores (m)
- Densité de macropores (m^{-3})
- Densité de connexion (m^{-3})

~14 cm

~12 cm

*Sammartino et al. (2015)*

Nouveau modèle :

[Darcy – Richards] + [Ondes Cinématiques Dispersives (KDW)] +
[terme d'échange]

1. Mieux connaître le modèle

Analyse de sensibilité : **paramètres** influençant le **drainage**

Méthode FAST 99 (*Saltelli et al. 1999*)

2. Intégrer des mesures physiques

Estimation par inversion (**simulations** vs **observations**) sur deux versions du modèle

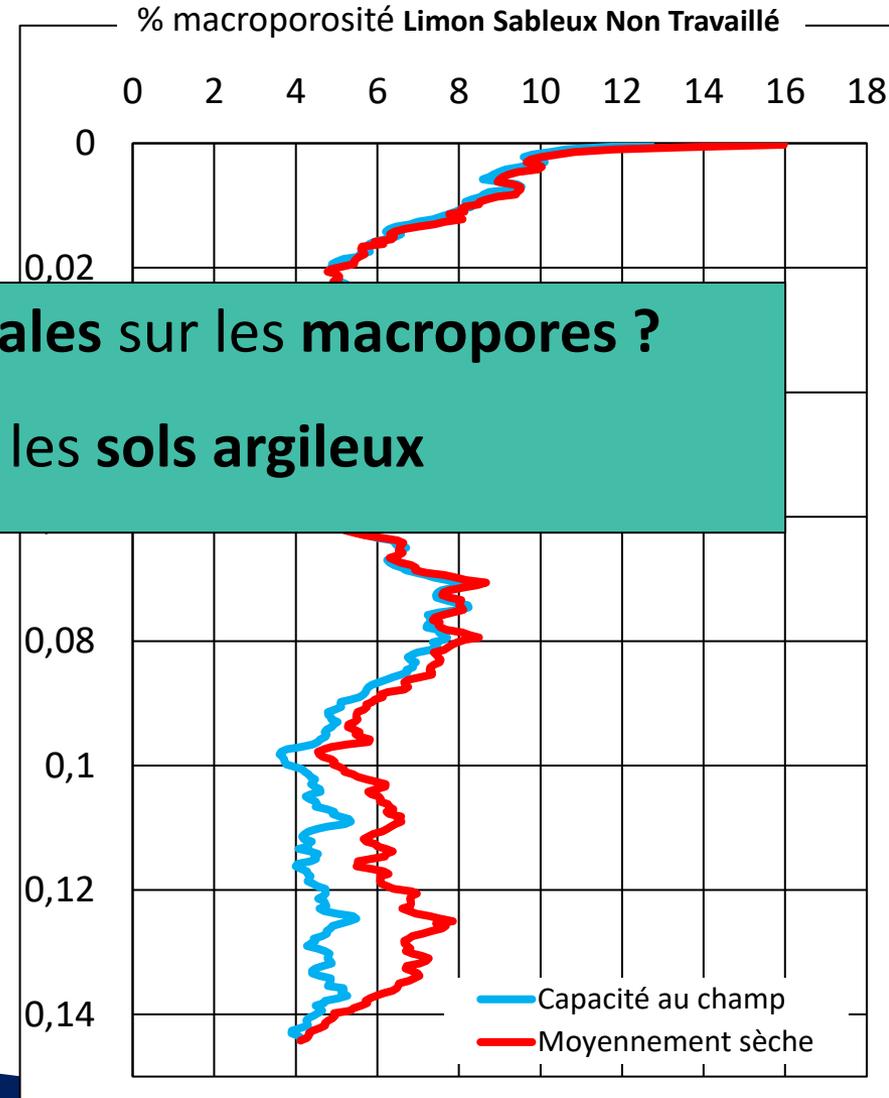
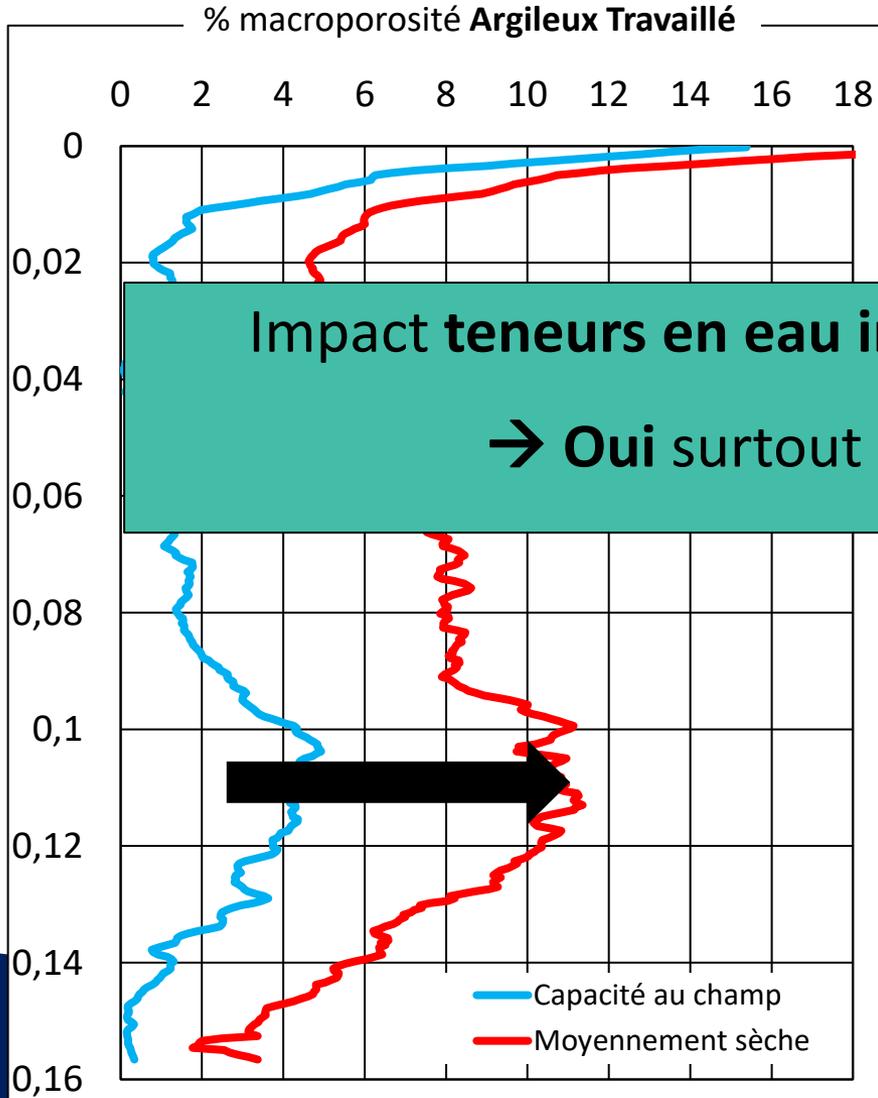
V1 : estimation sans utiliser les mesures de tomographie (« estimation classique »)

V2 : estimation en intégrant les mesures tomographiques

Méthode DREAM (*Vrugt et al. 2009*)

Tomographie

Variation de la structure initiale $f(\theta)$?



Impact teneurs en eau initiales sur les macropores ?

→ Oui surtout sur les sols argileux

Tomographie

- + LSNT - Humide
- + LSNT - Moy. sec
- + ANT - Humide
- + ANT - Moy. sec
- + AT - Humide
- + AT - Moy. sec

Image initiale

Image finale

Impact écoulement sur les macropores ?

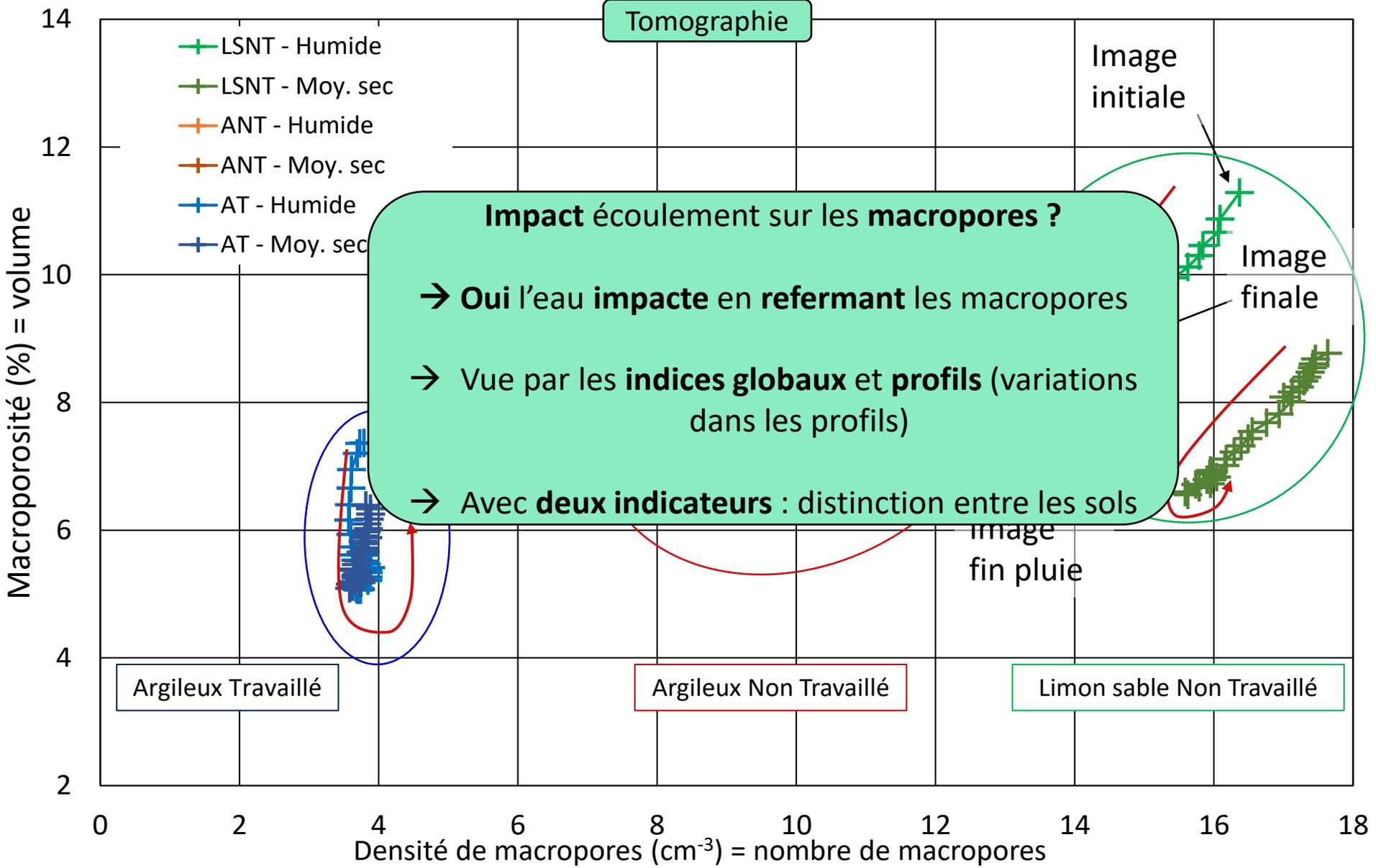
- **Oui l'eau impacte en refermant** les macropores
- Vue par les **indices globaux et profils** (variations dans les profils)
- Avec **deux indicateurs** : distinction entre les sols

Image fin pluie

Argileux Travaillé

Argileux Non Travaillé

Limon sable Non Travaillé

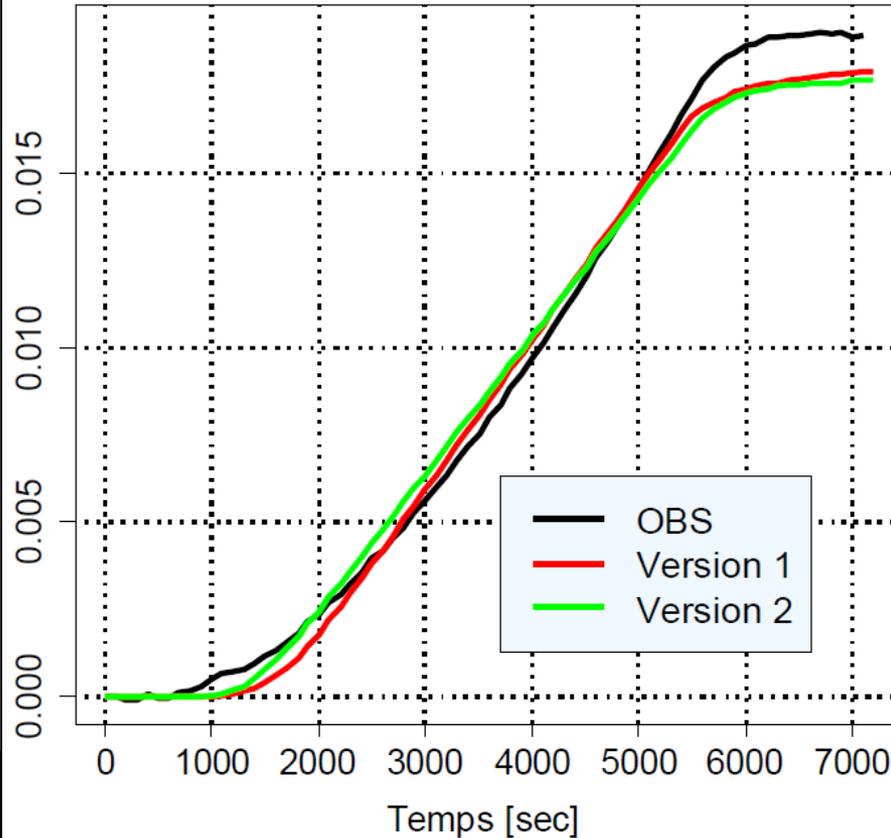


Modèle

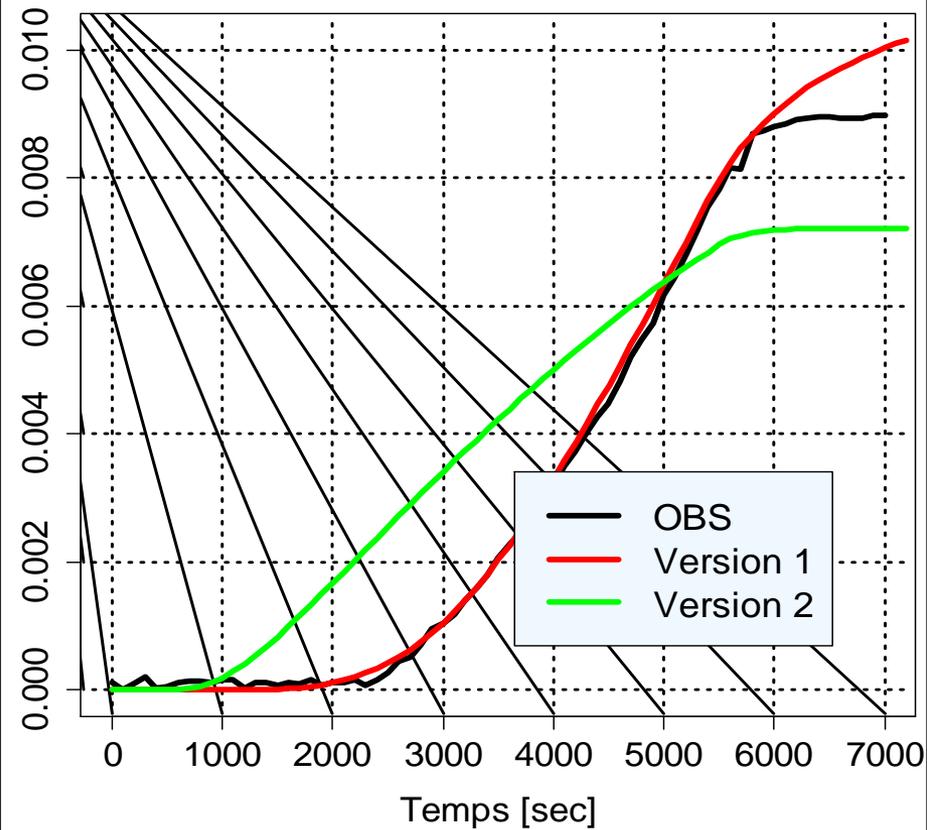
Version 1 (classique) : estimation **KDW** + **terme échange** par ajustement DREAM

Version 2 (tomographie) : estimation **KDW** par ajustement DREAM
et **terme d'échange** → mesures tomographiques

ANT moyen. sec



LSNT moyen. sec



Les mesures réalisées en tomographie RX en dynamique permettent de :

- Identifier et caractériser la structure initiale
- Suivre et quantifier l'évolution de la structure en fonction de l'humidité du sol et de la dynamique d'écoulement : la structure dépend de l'humidité du sol et évolue au cours de l'infiltration
- Mesurer des paramètres que l'on peut intégrer dans un modèle d'écoulement complexe

Le nouveau modèle développé permet de :

- Intégrer des mesures réalisées en tomographie RX à la place de paramètres empiriques
- Valider des hypothèses faites sur les processus d'échange entre macroporosité et microporosité
- Identifier les paramètres les plus influents sur lesquels porter les efforts de recherche futurs

Publication : *Lissy et al. 2020 – Geoderma*
Can structure data obtained from CT images substitute for parameters of a preferential flow model ?

L'intégration des données issues de la tomographie RX dans le modèle d'écoulement soulève de nouvelles questions scientifiques

Tomographie

Modèle

Les mesures dynamiques réalisées en tomographie RX sont une réelle avancée pour mieux comprendre les interactions entre la dynamique de l'eau et la dynamique de la structure dans les sols.

Comment aller plus loin sur :

- *Comment se déroulent les échanges micro – macropores ?*
- *Comment sont transportés les composés chimiques ?*

Pistes :

- Taille échantillon → résolution des images
- Utilisation agents de contraste / marqueurs *visualiser l'interface macropores – matrice*
- Tester d'autres sols (texture / structure) multiplier observations

→ Le modèle est générique mais il n'est pas totalement prédictif

- Pas de relation entre jeux de paramètres f (type de sol) *ou* (teneur en eau donnée)

→ Certains formalistes retenus doivent évoluer:

- Le terme d'échange doit intégrer deux longueurs caractéristiques :
 - une liée à la structure (distance intermacropore),
 - l'autre liée à l'écoulement (distance caractéristique de diffusion de la macroporosité vers la microporosité)

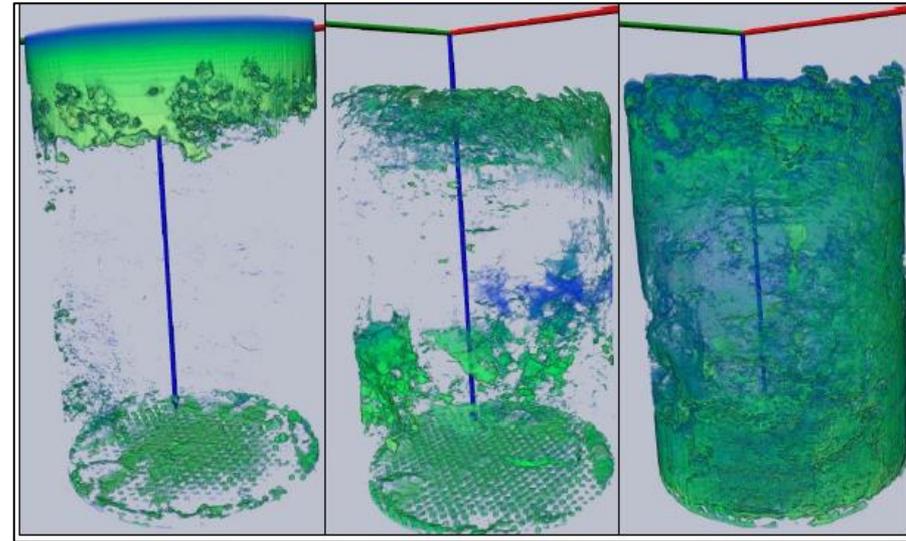
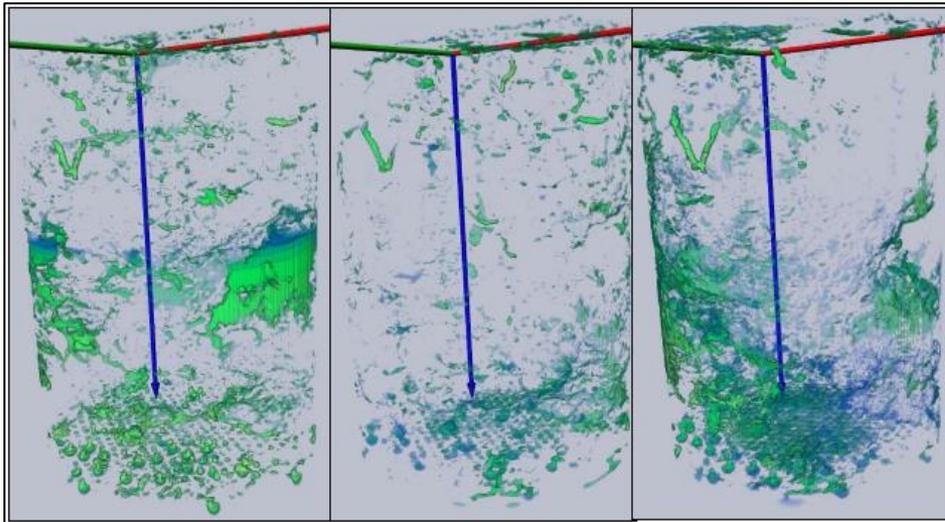


Depuis mars 2020

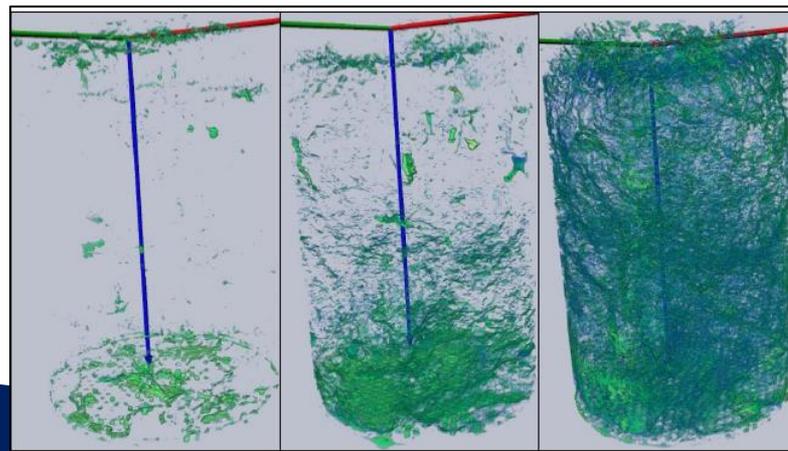
Responsable d'un service de transfert chez INRAE Transfert (*Filiale d'INRAE*)

→ Société d'ingénierie de projet et de transfert technologiques pour l'innovation avec plusieurs grandes missions :

- Dont la réalisation de prestations de services scientifiques basées sur les savoir-faire d'unités de recherche INRAE
- Recrutée en tant que responsable de service de prestations scientifiques basées sur les savoir-faire d'EcoSys qualité de l'air des sols agricoles (INRAE – AgroParisTech Versailles – Grignon)



Je remercie chaleureusement l'Académie d'Agriculture de France
pour son accueil et sa distinction de mes travaux



4 mm

