

JRI
2024

26 – 28 mars 2024 PAU

JOURNÉES RECHERCHE INNOVATION

Biogaz Méthanisation



ARVALiS





DIGESTE AUSOL 1.0 : Impact des retours au sol de digestats sur les propriétés hydrodynamiques et structurales

Chloé Caurel^{1,3}, **Anne-Sophie Lissy**^{1,2*}, Romain Cresson¹, Stéphane Ruy³, Eric Michel³, Stéphane Sammartino³, Sabine Houot², Florent Levavasseur², Julie Jimenez⁴, Léo Benichou⁵, Vincent Jean-Baptiste⁵

¹ INRAE Transfert Metys, France.

² INRAE, AgroParisTech – UMR ECOSYS, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, Palaiseau, France.

³ INRAE, Avignon Université – UMR EmmaH, INRAE – Avignon Université, Avignon, France.

⁴ INRAE, UR LBE, Narbonne, France

⁵ GRDF, Direction Biométhane, Paris, France.



Contexte & Enjeux – Zoom sur le digestat en agriculture

- **Fraction de matière organique stable plus importante** : dynamiques de minéralisation différentes dans les sols par rapport aux produits classiquement épandus (*Lashermes et al. 2007*)
- **Teneurs en matière sèches** (faible %) = MO dissoute ; transfert facilité des contaminants dissous vers les eaux souterraines (*Yeganeh et al., 2010 ; Dollinger et al., 2022*).
- **Très variable** :
 - variabilité des matières entrantes dans les méthaniseurs (*Monlau et al. 2015; Tayibi et al. 2021*).

Variabilité des traitements avant leur retour au sol (centrifugation, compostage avec des déchets verts, mélange avec d'autres produits comme les biochars)

MAIS typologie des digestats en court

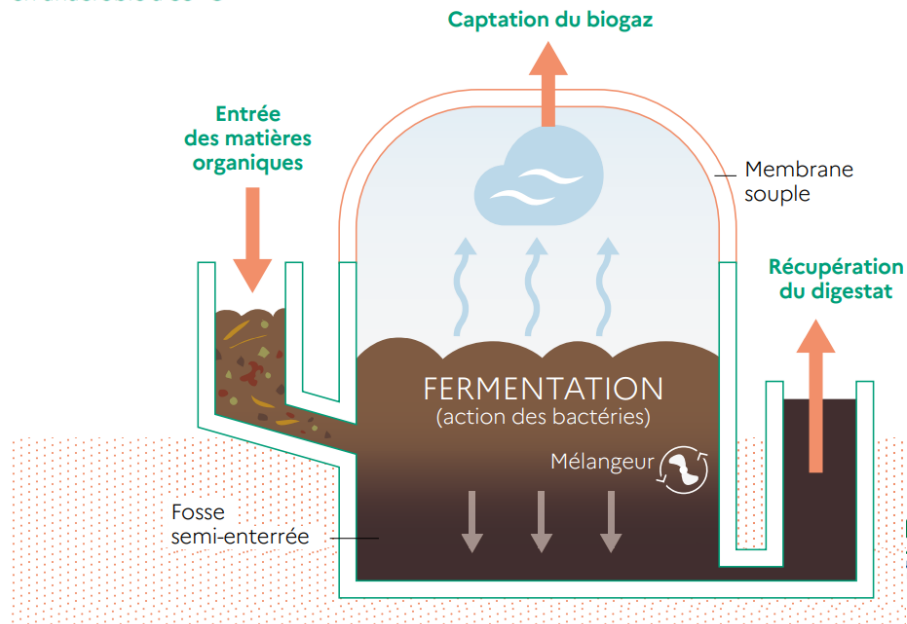
Projet FERTIDIG ADEME – GRDF – INRAE (2021 – 2023)



Rend plus difficile l'analyse de leurs effets sur les propriétés hydrodynamiques des sols.

LE FONCTIONNEMENT D'UN MÉTHANISEUR

en anaérobiose à 38 °C

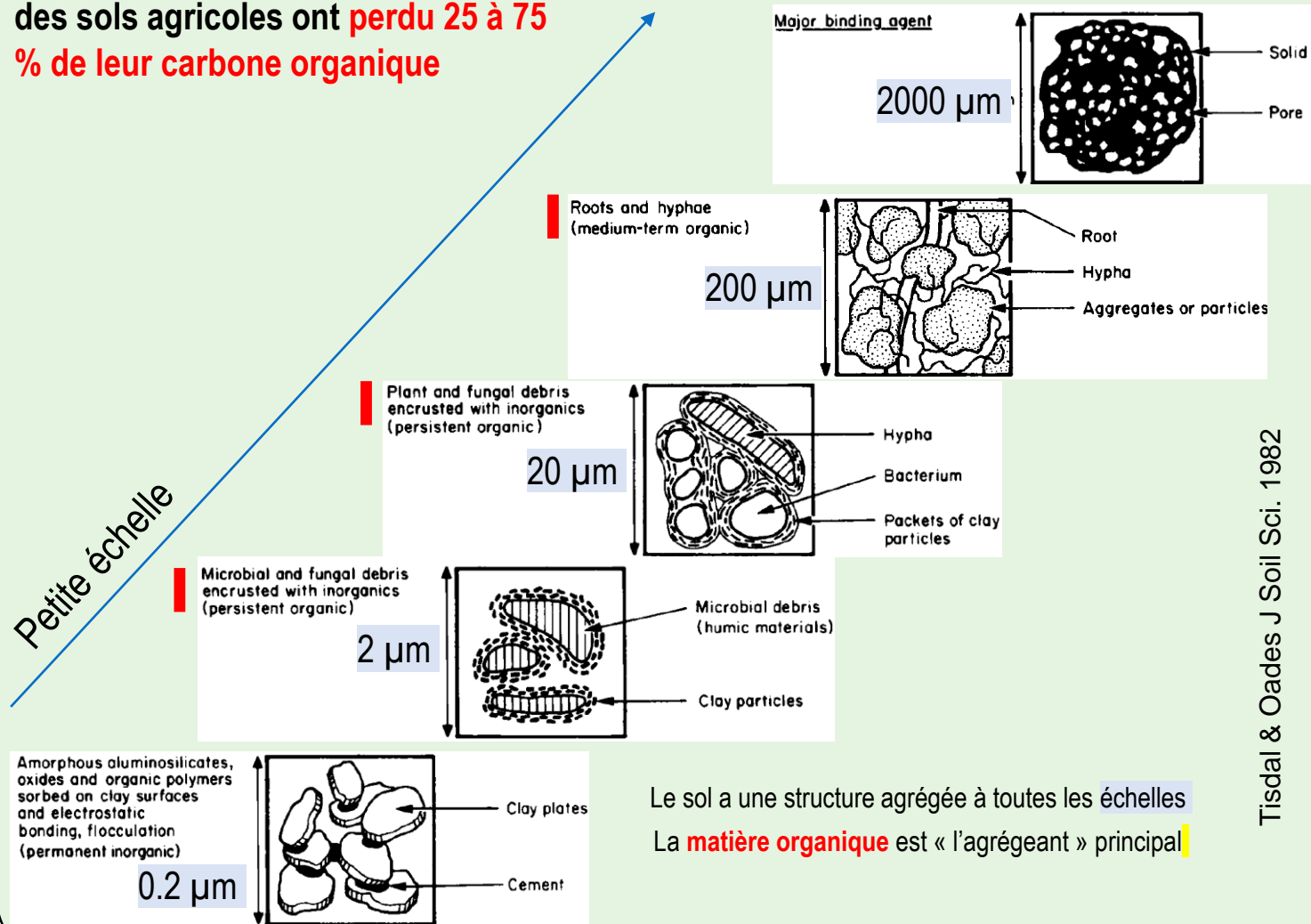


Contexte & Enjeux – Zoom sur le sol et les usages

Agriculture intensive: la plupart des sols agricoles ont **perdu 25 à 75 % de leur carbone organique**

+ grande échelle

Petite échelle



Le sol a une structure agrégée à toutes les échelles

La **matière organique** est « l'agrégant » principal

Tisdal & Oades J Soil Sci. 1982

Usage traditionnel des produits résiduels organiques (PRO) en agriculture :

- Améliorer / restaurer les propriétés des sols dégradés
- Valoriser ces déchets
- Apporter des nutriments et de limiter ainsi les fertilisations minérales
- Stocker du carbone dans les sols

Objectif de maintien des services écosystémiques des sols :

- Agriculture durable (Nations Unies, objectif 2 agriculture durable)
- Initiative 4pour1000

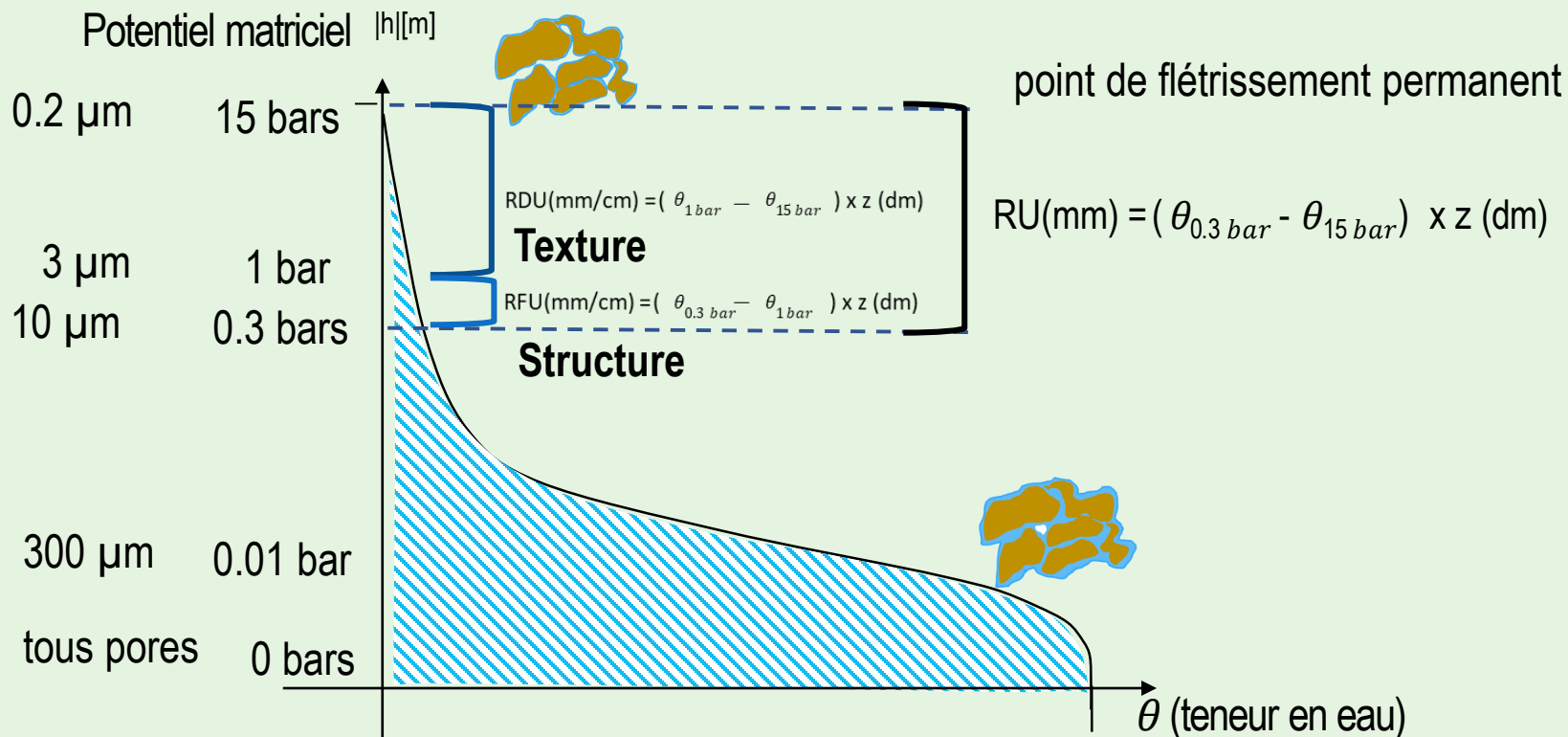
Contexte & Enjeux – Zoom sur l'eau du sol

Définition Réserve Utile

Volume d'eau dans les pores de taille comprise entre 0.2 μm et 10 ou 30 μm

-dans les pores > 10 μm , **eau draine (macroporosité)**

-dans les pores < 0.2 μm , eau retenue par capillarité, **inaccessible pour les plantes (microporosité)**



→ Effet variable selon les études

- augmentation de la RU sous amendement organique sur des essais court terme (9 ans) (Shukla et al. 2004; Zhao et al. 2009)
- réduction de la RU (Herencia et al. 2011)
- Variation d'augmentation selon le type d'amendement (fumier, résidus de plantes) (Olness et Archer. 2005).
- Successions culturales modifient la RU d'un sol (Cousin et Doussan. 2016)
- Difficulté du choix des bornes de la RU
 $\theta_{\text{capacité au champs}}$, $\theta_{\text{point de flétrissement permanent}}$
- Effet des apports de PRO sur la RU mais pas sur les bornes : teneurs en eau à capacité au champs et au point de flétrissement (Méta analyse 54 essais, Eden et al., 2017)

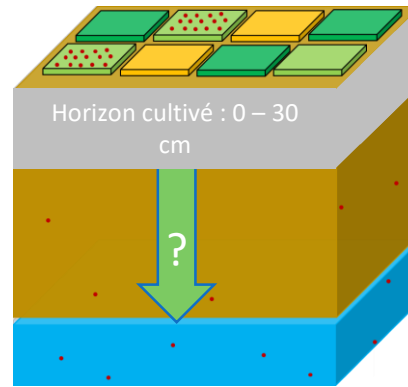
Contexte & Enjeux – Zoom sur l'origine du projet

Le développement de la filière et implantation d'unités de méthanisation entraînent des **interrogations des agriculteurs**

- Quelle est la qualité agronomique de mes digestats épandus
- Quels sont leurs impacts sur les **propriétés hydrodynamiques** de mes sols :
 - la capacité du sol à infiltrer l'eau (infiltrabilité)
 - La capacité du sol à stocker l'eau (rétention, réserve utile)
- Préservation de la **structure du sol** afin d'éviter
 - l'érosion et les pertes en nutriments et sol
 - Transport de contaminants
 - Impact sur la macro et microbiologie des sols...

Pas d'articles de revue ou de méta-analyse de l'impact d'épandage de digestats sur les propriétés hydrodynamiques des sols

DigestEauSol 1.0 – Approche macroscopique



Terrain

« Perméabilité »
Infiltration favorisée ?

la conductivité du sol :

capacité d'un sol à laisser s'écouler l'eau

- mesure *in situ* au champs, volume infiltré en fonction du temps
- caractérisé par la conductivité hydraulique à saturation $K(s)$

Imagerie (tomographie médicale)

Caractéristiques de la macroporosité

Caractérisation de l'espace poral :

- volume de stockage / matrice de sol
- distance inter macropores
- surfaces d'échange
- taille de pixel : 350 μm
- taille d'objet minimale $\sim 1 \text{ mm}$
- **macroporosité**

Caractérisation de l'espace poral :

- **Méso porosité**
- Localisation POM

Laboratoire

Réserve Utile (RU RFU RDU)
stocker plus et mieux ?

le Volume gravitaire : $V_{\text{gravitaire}}$

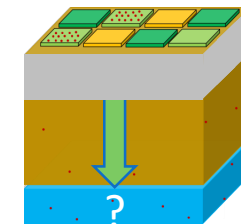
Volume d'eau s'écoulant par gravité dans la macroporosité du sol.

- Mesurée par quantification des volumes d'eau retenus dans le sol entre les points caractéristiques de saturation et capacité au champs
- teneurs en eau volumiques $\Theta \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$
- exprimée en $\text{mm}.\text{cm}^{-1}$ de sol

Apports exogènes, caractérisation des PRO
(quantité, qualité, Corg, ROC)

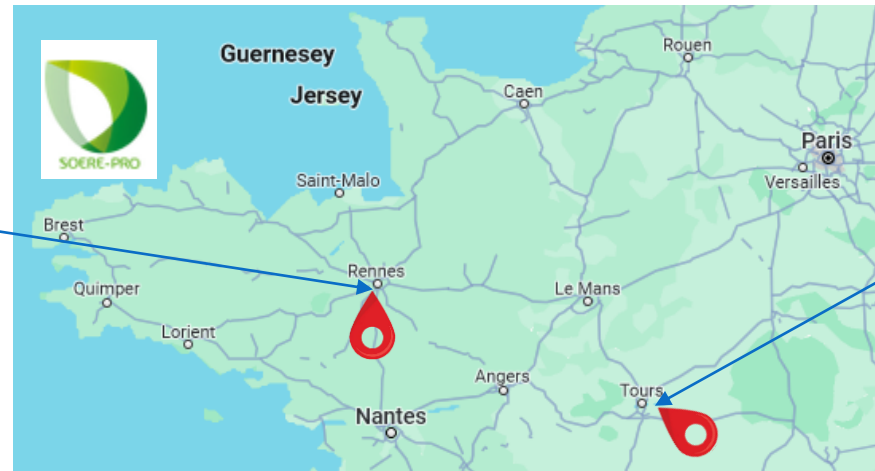
Caractéristiques physico-chimiques des sols
Stock Corg

DigestEauSol 1.0 – Approche macroscopique



EFELE (35) – essai en bloc répétés

- digestat de lisier de porc
- fumier bovin
- lisier de porc
- témoin minéral



METAMETHA (37) – essai systémique

- digestat
- fumier – lisier
- témoin minéral

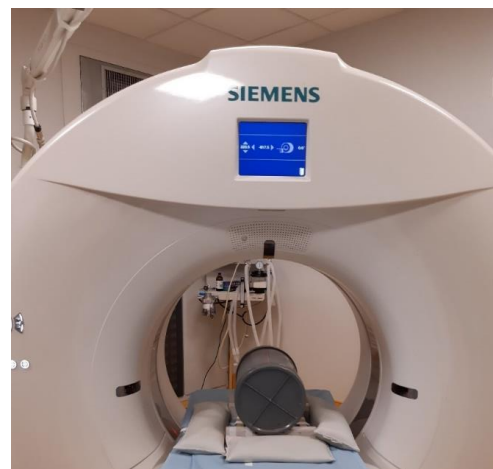
Terrain

« Perméabilité »
Infiltration favorisée ?



Imagerie (tomo. médicale)

Caractéristiques de la
macroporosité



Laboratoire

Réserve Utile (RU RFU RDU)
stocker plus et mieux ?



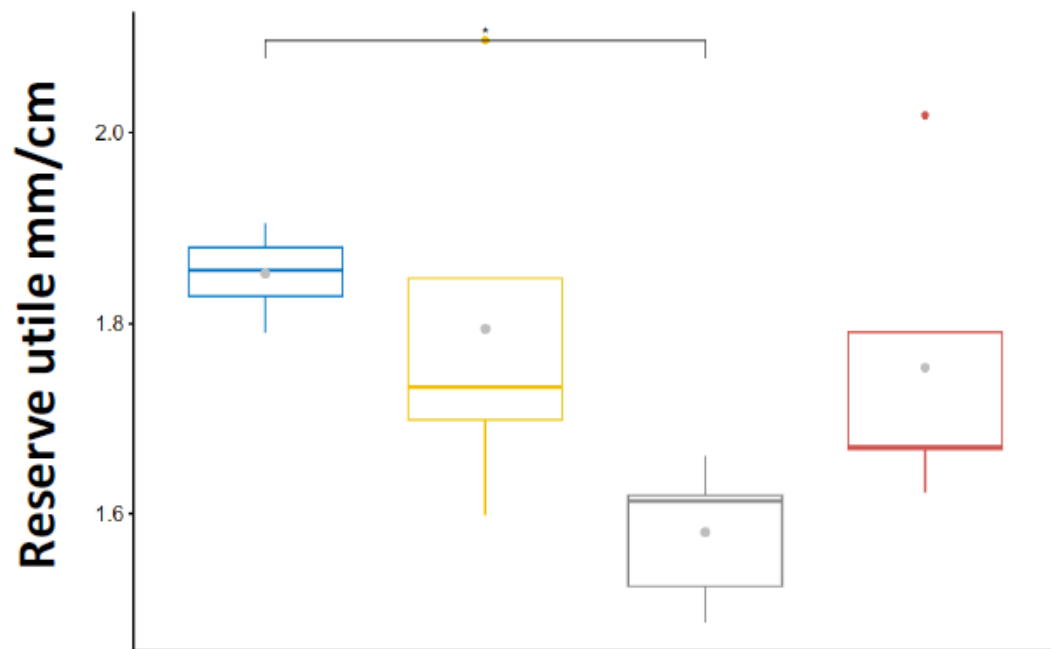
DigestEauSol 1.0 – acquisitions des résultats

- 2 sites
 - 1 mois de terrain
 - 210 tests d'infiltrations
 - 410 échantillons d'humidité
 - 42 colonnes de sol
 - 42 sous échantillons de colonnes
 - 35 sous échantillons non remaniés pour analyses en laboratoire
 - 35 analyses granulométriques et physico chimiques de sol
- ➔ Consolidation du jeu de données par grand thème
- ➔ Analyses statistiques : corrélation entre paramètres



DigestEauSol 1.0 – Résultats (1/2)

Augmentation de la Réserve Utile ?



15% d'augmentation de la RU sur un des sites au bout de 10 ans d'apport !?

Digestat de lisier	Fumier Bovin	Lisier	Minéral
n=4	n=5	n=5	n=5

11.56	12.60	10.88	12.74	Soil OC ₂₀₂₁	(g/kg)
-0.14	+1.10	-0.72	+0.06	Soil OC ₂₀₂₁ – Soil OC ₂₀₁₂	(g/kg)

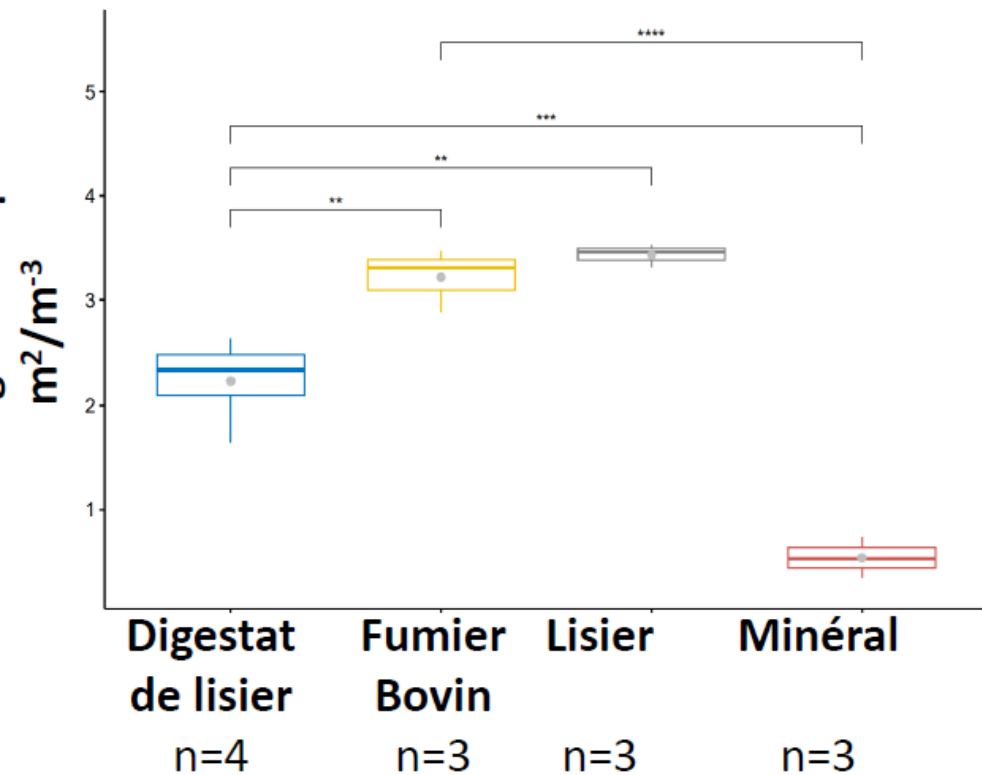
→ Seulement une partie des différences peut être attribuée à la variabilité spatiale de la granulométrie

→ Mais les différences ne peuvent pas être attribuées sans ambiguïté au traitement

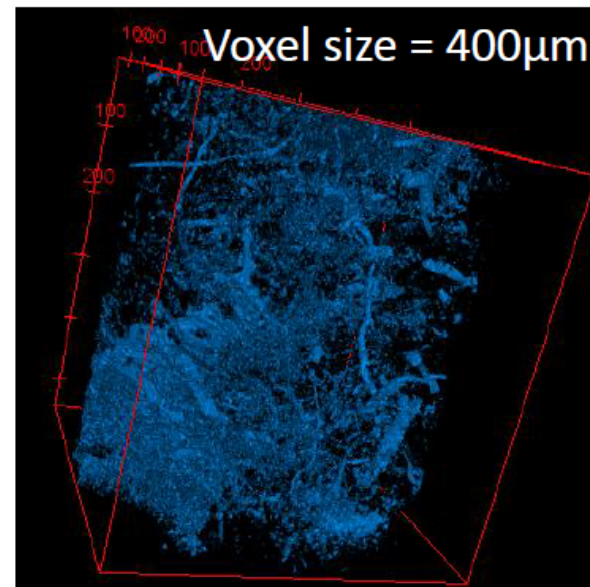
DigestEauSol 1.0 – Résultats (1/2)

Effet amendements sur la macroporosité ?

Surface d'échange Macropore matrice
m²/m³



Surface d'échange des macropores multipliée par 4 à 7 comparée à fertilisation minérale



→ Appétence des vers de terre pour les amendements organiques ?
→ Mais les différences ne peuvent pas être attribuées sans ambiguïté au traitement

11.56	12.60	10.88	12.74	Soil OC ₂₀₂₁	(g/kg)
-0.14	+1.10	-0.72	+0.06	Soil OC ₂₀₂₁ – Soil OC ₂₀₁₂	(g/kg)

DigestEauSol 1.0 – Perspectives → DigestEauSol 2.0

Date début : avril 2023 / 2 ans / Financement : AMI INRAE GRDF (E. Michel, S. Sammartino, S. Ruy, C. Caurel)

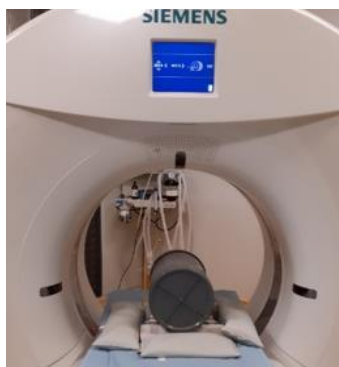
Améliorer le modèle conceptuel de fonctionnement de sols pour comprendre le lien entre:

- (i) apports d'amendements organiques, y compris les digestats de méthanisation,
- (ii) réorganisation de l'espace poral du sol liés à ces apports,
- (iii) conséquences en termes de fonctionnement hydrique des sols



DigestEausol 1 approche « macro »

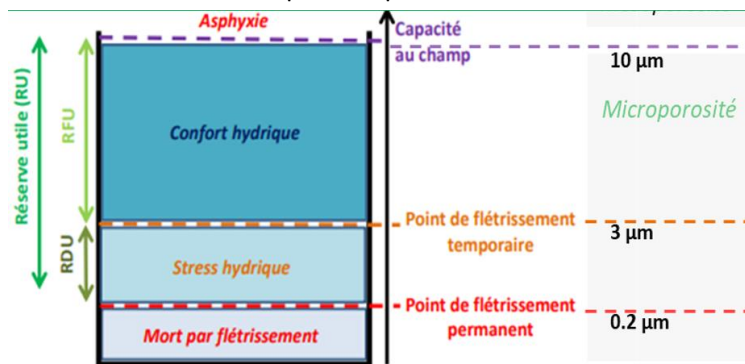
- (i) Mesure in situ conductivité hydraulique
- (ii) Mesure au laboratoire de rétention en eau
- (iii) Caractéristiques espace macroporal en Tomographie X



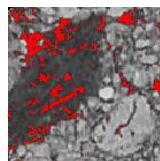
DigestEausol2 approche « micro »

Caractérisation l'espace poral lié à la RU

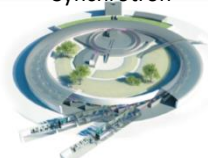
- RDU : 0.2 μm à 3 μm - NON
- RFU : 3 μm à 10 μm - OUI



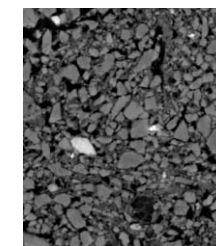
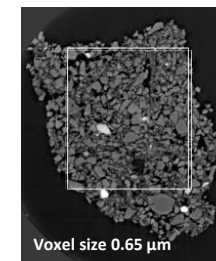
et des relations interphases complexes



μ -Tomographie X
Synchrotron



Analyse de la structure et des relations interphases au Synchrotron SOLEIL



Proposal accepté Beamline PSYCHE
4 jours / 12 shifts (27/11/23)

Agrégats mm / 7 modalités

Protocole incluant :

- Cryo -lyophilisation
- Marquage chimique à l'osmium
- Double à acquisition avec K-edge

Evaluation de la RFU

Porosité : volume, géométrie, topologie
MO : structure, taille, distribution spatiale
Relations spatiales interphases

