

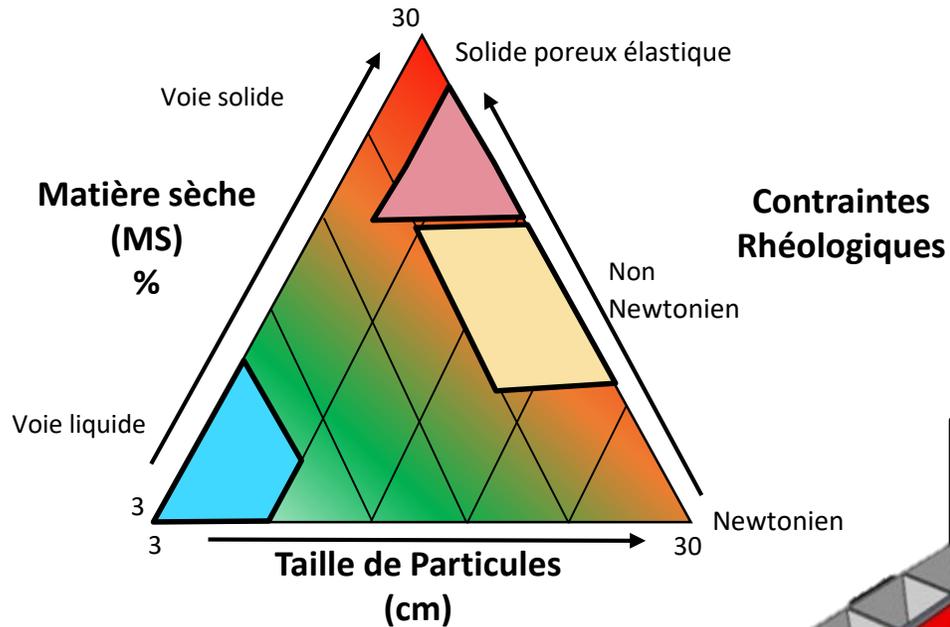
Avec le soutien de

**Développement d'une nouvelle méthode d'analyse  
de la distribution de temps de séjour par des traceurs solides  
imprimés en 3D dans un pilote de méthanisation en voie  
solide continue de 0,5 m<sup>3</sup>**

**M. A. HERNANDEZ-SHEK, A. COUTU, J. FAYOLLE, P. PEULTIER,  
A. PAUSS, T. RIBEIRO**



# Les PROCÉDÉS de MÉTHANISATION en fonction de la MS



**Voie solide discontinue**

Garages ou Silos  
Déchets solides  
10-40% MS

Pas de flux continu de biogaz  
Main d'œuvre assez importante

Avec le soutien de

**Voie liquide continue**

Cuves agitées  
Déchets liquides  
<10% MS

Performante mais chère  
Peu disponible pour petites et moyennes exploitations

Broyage des intrants (Mélange et pompage)

**Voie solide continue : Procédé Easymetha**

- Couloirs de méthanisation
- Système modulable et adaptable à tous les gisements
- Pas de système de broyage des intrants

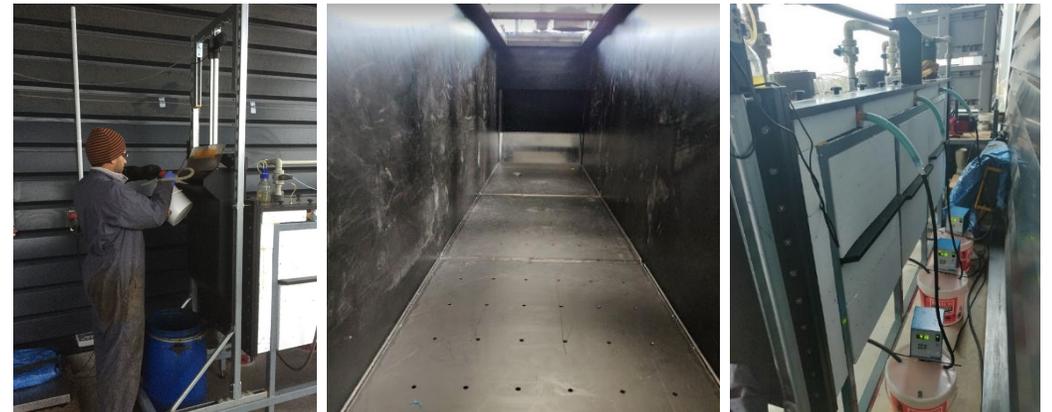
**Problématiques**

1. Déplacement des fumiers pailleux à l'intérieur du réacteur (**rhéologie**)
2. Identification de zones mortes et détermination du temps de séjour du solide dans le digesteur

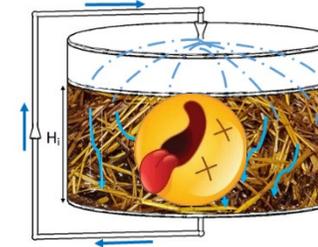
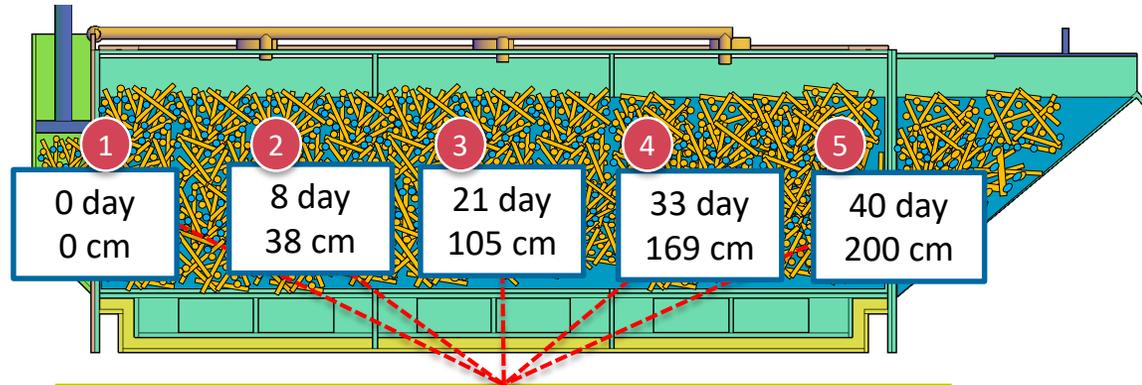
# Développement d'un réacteur à écoulement piston à l'échelle pilote (0,5 m<sup>3</sup>)

Avec le soutien de

- Suivi multi phases du procédé (solide - liquide - gaz)
- Volume utile (l-h-la): 2 x 0.6 x 0.4 m = 480 L
- Stockage du liquide de recirculation au fond du réacteur (70 L)
- Etanchéité hydraulique à l'entrée et en sortie de réacteur
- Dessus transparent afin de visualiser le déplacement de matière
- Trois compartiments de chauffage indépendants



# La dégradation du fumier est-elle similaire en batch et en continu ?

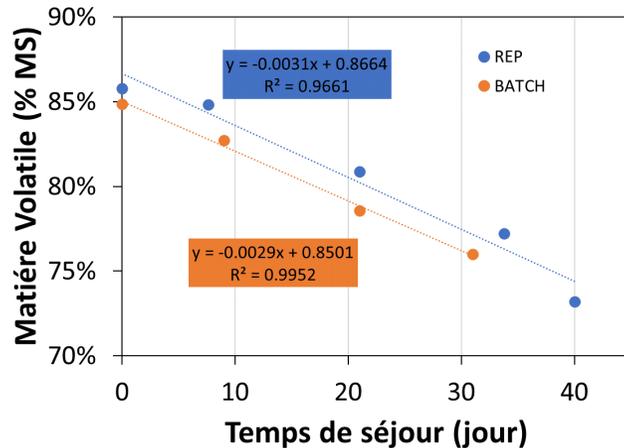


Echantillons de réacteurs batch sacrifiés de 60 L aux jours 0, 10, 21 et 31

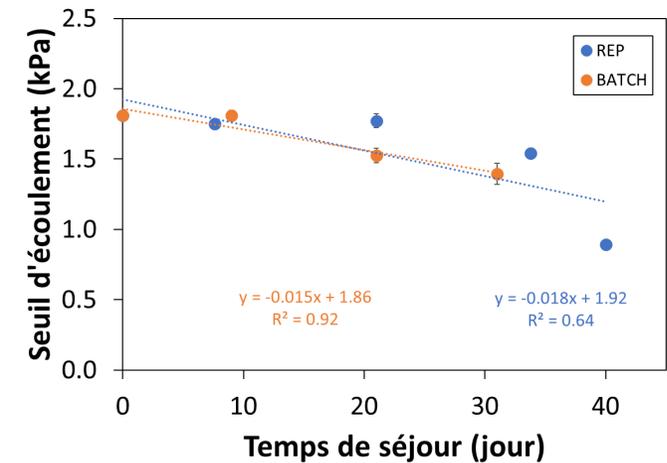
Echantillonnage à différentes positions d'avancement de la matière dans le réacteur continu 500 L

Caractérisation physique et rhéologique

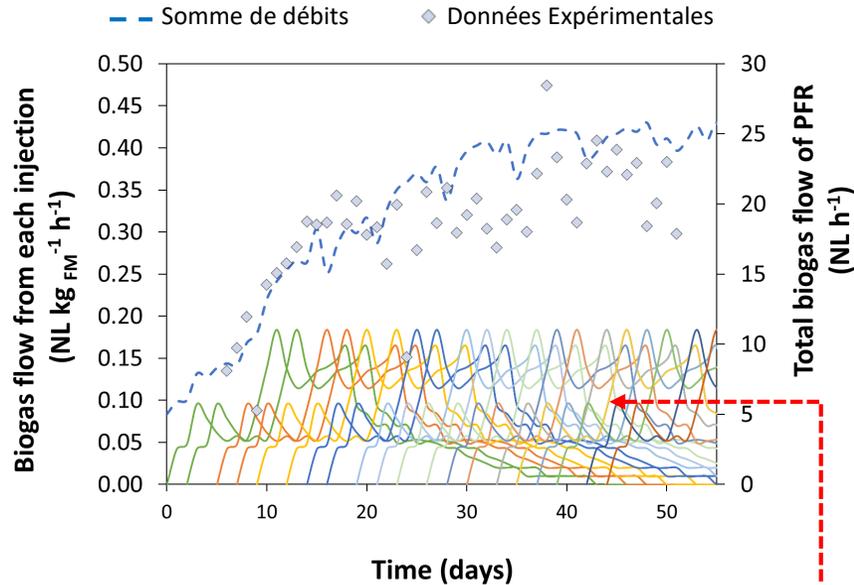
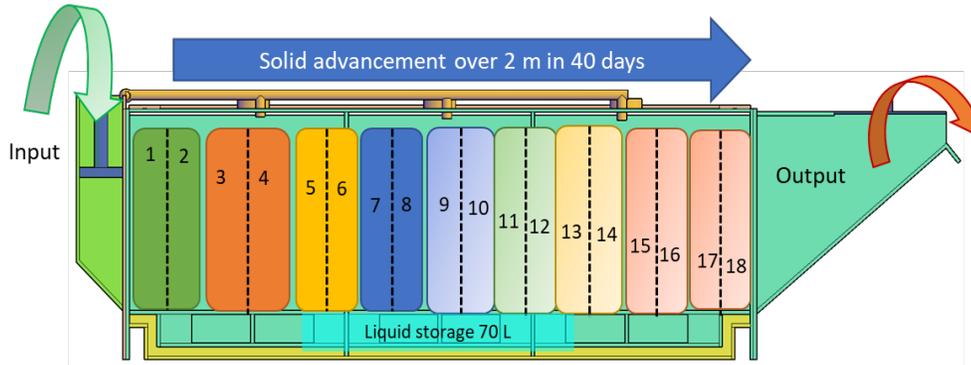
% Matière volatile, Contenu en fibres, Flash BMP®, Seuil d'écoulement



**Constat:** Similarités et haute corrélation entre l'abattement de la matière organique et la rhéologie des échantillons des réacteurs batch sacrifiés et le pilote en continu



# Ce REP se comporte-t-il comme une série de réacteurs discontinus ?



Une hypothèse est posée :

"Le déplacement de la phase solide dans le réacteur se comporte comme dans un REP idéal"

Pour le prouver: : **Une Détermination de Temps de Séjour du Solide (DTS) est nécessaire**



Est-il possible d'estimer le débit de biogaz du REP à partir des données des batch ?

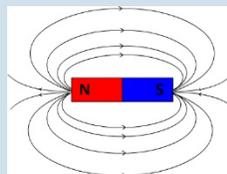
# Caractéristiques d'un traceur solide optimal – Méthodes actuelles pour réaliser une DTS du solide?

Avec le soutien de

1. Propriétés physiques similaires aux particules dans le réacteur
2. Si plus d'une phase est impliquée dans l'expérience, il doit rester dans la phase d'intérêt.
3. Il doit être non réactif
4. Le traceur et le dispositif de détection ne doivent pas être trop coûteux.



Radioactif



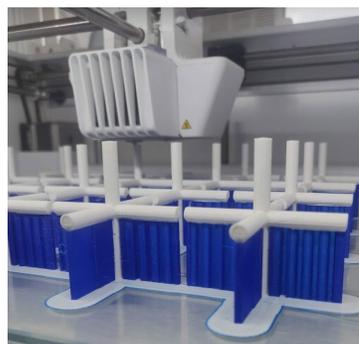
Magnétique



Chimique

Méthodes chères  
et potentiellement  
dangereuses

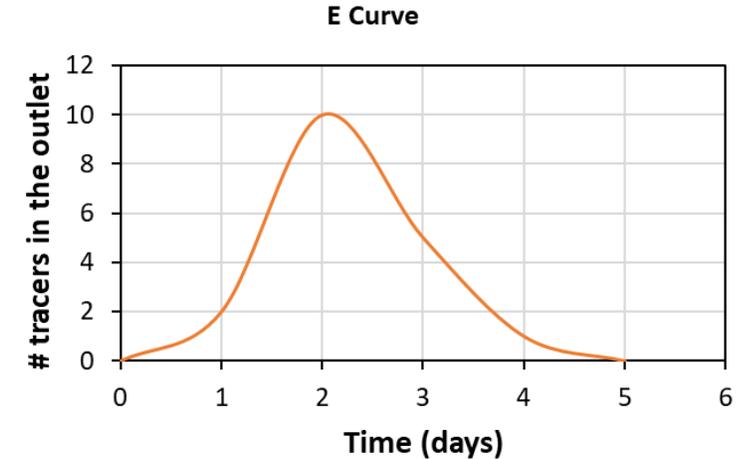
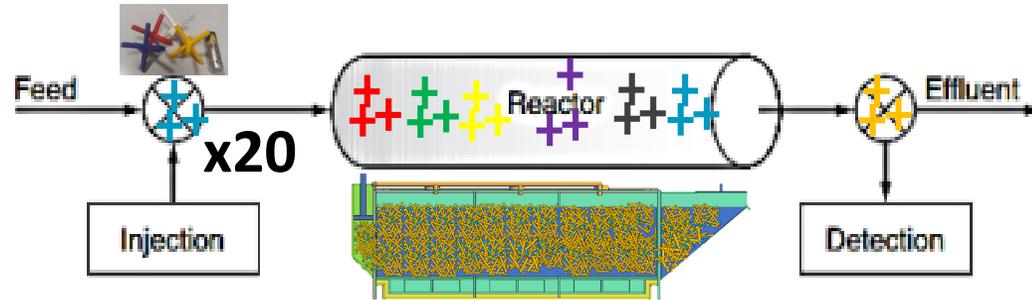
**NOUVEAUTE:**  
Impression 3D pour  
la création des  
nouveaux traceurs  
solides



Géométrie permettant l'enchevêtrement avec la paille du fumier bovin  
0,13 € HT le traceur

# Résultats de la distribution du temps de séjour : le critère de Peclet

Après avoir récupéré 4 groupes de traceurs, la détermination du temps de séjour moyen dans le réacteur est effectuée.



Avec le soutien de

## Critère de Peclet (Pe)

$$Pe = \frac{uL}{D}$$

u: Vitesse du substrat ( $m\ s^{-1}$ )

D: coefficient de dispersion ( $m^2\ s^{-1}$ )

L: longueur du réacteur (m) = 200 cm

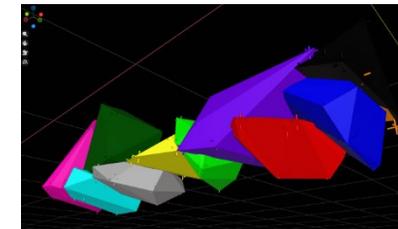
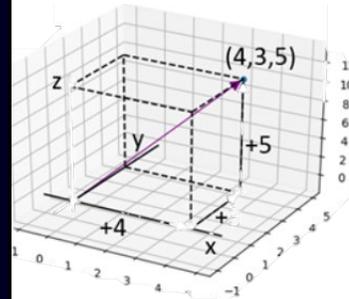
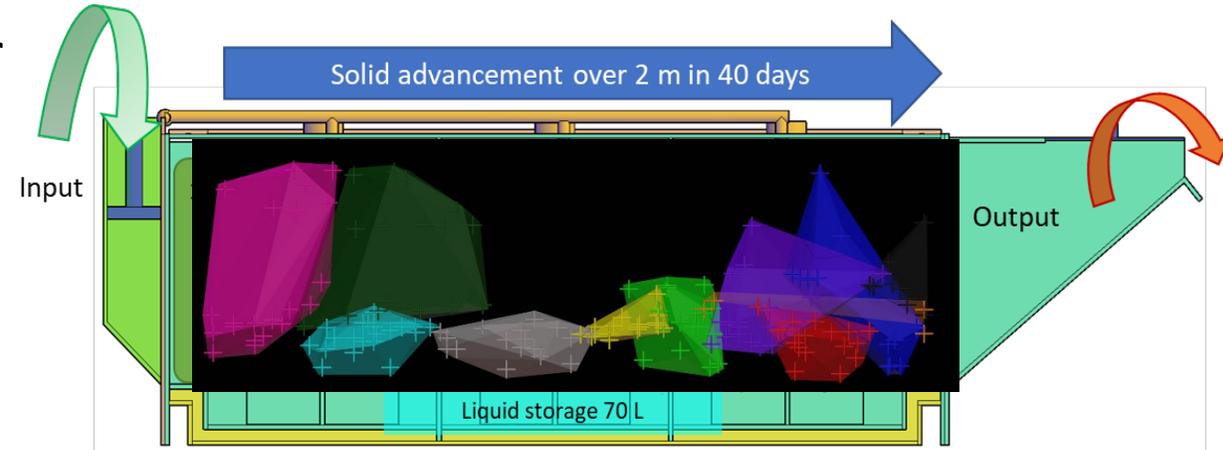
- Temps de séjour mesuré par la DTS = 42,2 jours
- Temps de séjour moyen géométrique = 43,4 jours (Présence de volumes mort)
- Critère de Peclet calculé : 128,6
- **Proche de 200, le réacteur se comporte comme un REP idéal (convection prédominante)**
- Proche de 0, le réacteur se comporte comme un CSTR (Réacteur à cuve agitée en continu, diffusion prédominante)

# Chantier de fouilles pour décrire le flux solide à l'intérieur du réacteur

Une fois la DTS déterminée, le réacteur est ouvert et les coordonnées X, Y, Z de chaque traceur solide sont repérées comme sur un **chantier archéologique**.



Avec le soutien de



- Arrangement spatial de chaque injection et son déplacement dans le réacteur
- Estimation du **changement de volume à chaque injection** et **observation de volumes morts** dans le réacteur



Avec le soutien de

# Conclusions

- L'imprimante 3D peut fournir des **traceurs solides géométriquement optimisés** pour la DTS solide de méthaniseurs en voie solide en continu.
- Le REP a un **comportement analogue à une série de réacteurs en batch**: Chaque alimentation du réacteur piston se comporte comme le lancement d'un nouveau réacteur discontinu dans le REP
- Cette expérience a permis de déterminer **l'évolution de chaque injection de traceurs 3D** à l'intérieur du pilote ainsi que **l'identification de zones mortes dans le réacteur**

# Perspectives

- **Création d'un modèle simplifié pour la prédiction du débit du méthane** du réacteur continu à partir des données en batch
- **Optimisation de la géométrie du système d'injection et de la cuve** à partir des données rhéologiques pour limiter la présence des zones mortes

# Remerciements



- Les auteurs souhaitent remercier le **GeoLab d'UniLaSalle** pour leur support dans l'impression 3D des traceurs solides utilisés dans ces travaux et **Raphael Olivier** pour son aide dans la création graphique

- Pour en savoir plus :

[mahernandezsh@gmail.com](mailto:mahernandezsh@gmail.com) – [thierry.ribeiro@unilasalle.fr](mailto:thierry.ribeiro@unilasalle.fr)

Avec le soutien de



[Visitez le pilote](#)  
[en réalité](#)  
[augmentée!](#)



Avec le soutien de



**Développement d'une nouvelle méthode d'analyse  
de la distribution de temps de séjour par des traceurs solides  
imprimés en 3D dans un pilote de méthanisation en voie  
solide continue de 0,5 m<sup>3</sup>**

**M. A. HERNANDEZ-SHEK, A. COUTU, J. FAYOLLE, P. PEULTIER,  
A. PAUSS, T. RIBEIRO**

