

Apports de la tomographie électrique pour caractériser les transferts de liquide au cours du procédé de méthanisation en voie solide et discontinu

Laura ANDRÉ (UniLaSalle, UTC)
Axelle DEGUEURCE (IRSTEA)

Contextes de ces études menées en parallèles sur des procédés voie sèche discontinu?

- Peu de données sur ce verrou à une échelle industrielle
- Optimisation de la production de biogaz de procédés
- Optimisation de la répartition de la phase liquide au sein du digesteur
- Détecter les zones mortes de ces procédés

Quelles sont les méthodes de quantification de l'eau, de l'humidité?

Sondes à neutron, sondes TDR, sondes capacitatives, fibres optiques, ...
(Imoff et al., 2007)

- Méthodes non adaptées pour sonder un massif
- Méthodes donnant accès à des mesures locales de la teneur en eau
- Méthodes intrusives impliquant un grand nombre de sondes
- Méthodes impossibles à mettre en œuvre à cette échelle

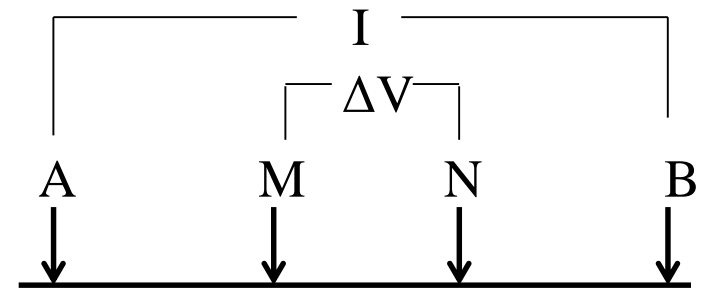
La Tomographie électrique

Méthode d'imagerie **non destructive** qui permet de définir un milieu en termes de **résistivité électrique** à partir de mesures du **potentiel électrique**
Principalement utilisée dans l'étude des sols et dans les décharges

Résistivité : capacité à ne pas conduire un courant électrique

Principe

- Mesure de la résistivité (ohm.m) par injection d'un courant électrique (I) entre deux électrodes de courant (A et B)
- Mesure du potentiel électrique réalisée entre les électrodes M et N



Mesure
Terrain

Pseudo section de
résistivité apparente

Inversion des
données

Modélisation

%
Erreur

Cellule (12L)



Electrodes

Photo du dispositif

Batterie

Génération du courant et mesures

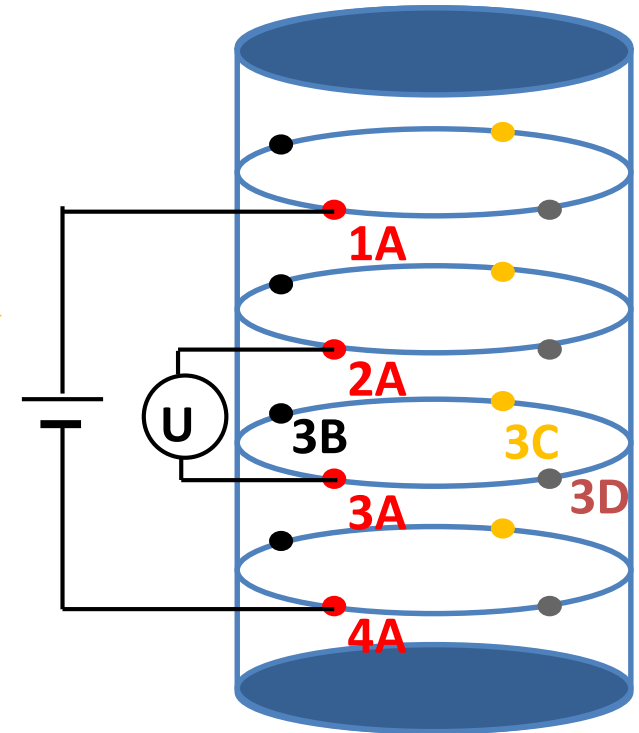


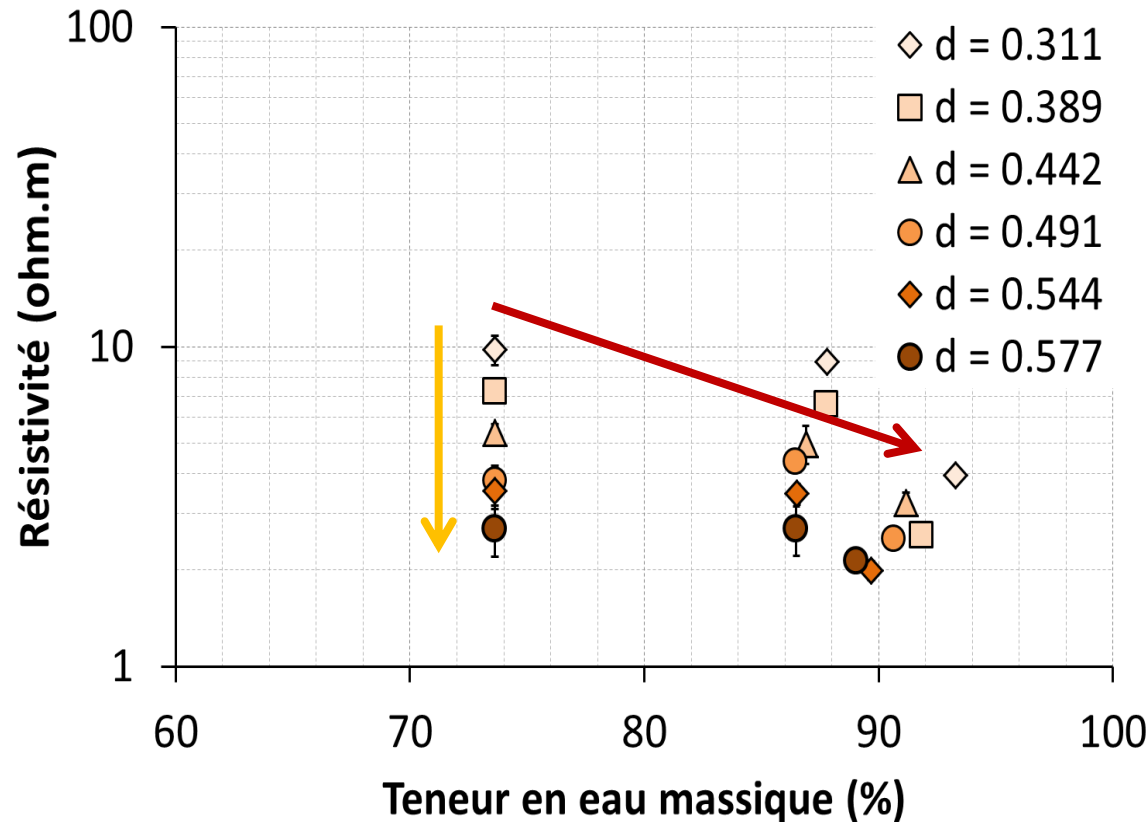
Schéma d'une cellule, 12L

Mesures selon **124 quadripôles** ⇔ Résistivité Moyenne

Objectif : Reproduire les conditions du terrain

- **6 densités** ⇔ profondeur du massif
- **3 teneurs en eau** ⇔ Etat initial (chargement)
⇔ Saturation (recirculation)
⇔ Capacité au champ (après recirculation)

Variations de la résistivité



Résultats

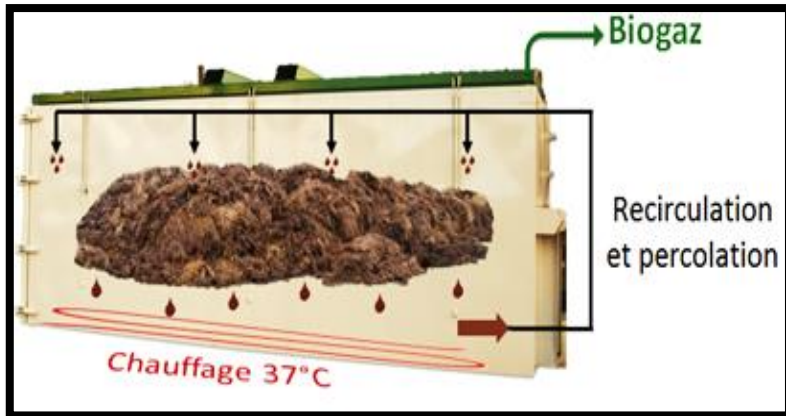
**Diminution de la
résistivité électrique :**

▪ **Augmentation de la
densité**

▪ **Augmentation de la
teneur en eau**

Conclusion

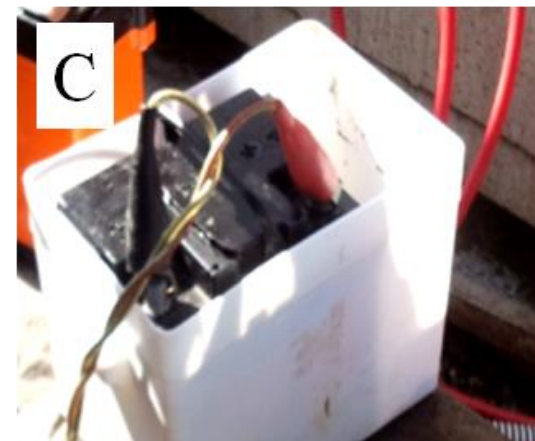
**Application terrain
possible**



Procédé : en voie sèche de type batch
Discontinu
Volume utile : 30 m³
Gestion phase liquide : une partie en immersion + une recirculation appliquée



Adaptation de la tomographie électrique au container de 30 m³

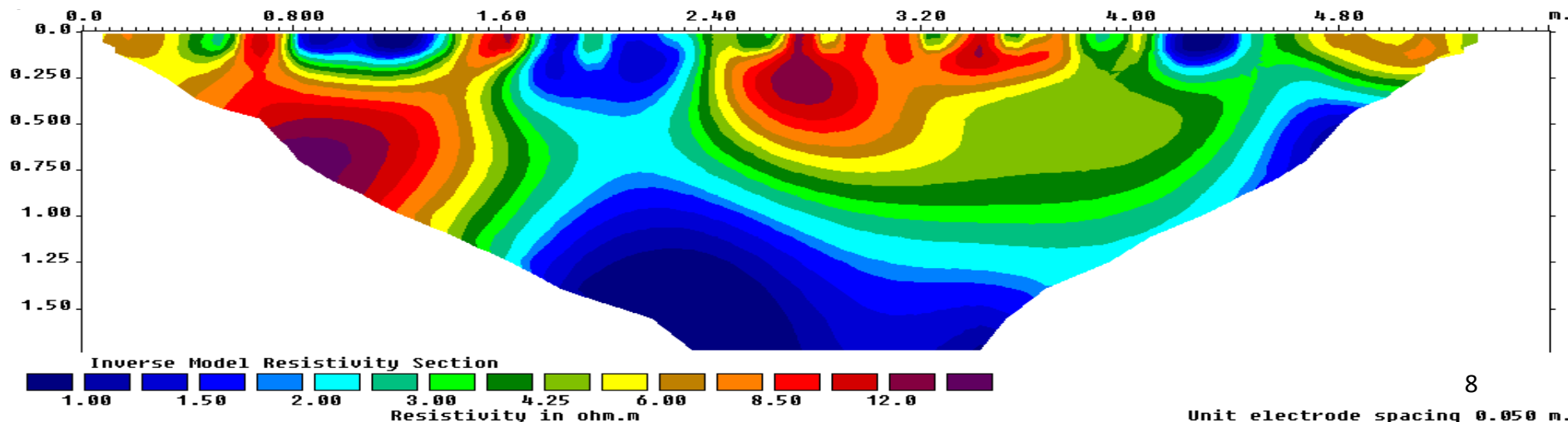


1.1

Avant la digestion anaérobie :

- Container rempli de déchets agricoles (ensilage de maïs, fumier bovin...)
- Pas de liquide (entièrement soutiré)
- Echantillonnage après les mesures de résistivité
- Caractérisation des échantillons (MS, MO, BMP, teneur en fibres)
- Dispositif PDP validé

**Faibles valeurs de Résistivité
= Fortes teneurs en MS
= Plus hautes productions de CH₄
= Plus haute teneur en cellulose
= Zones à fort potentiel méthane**

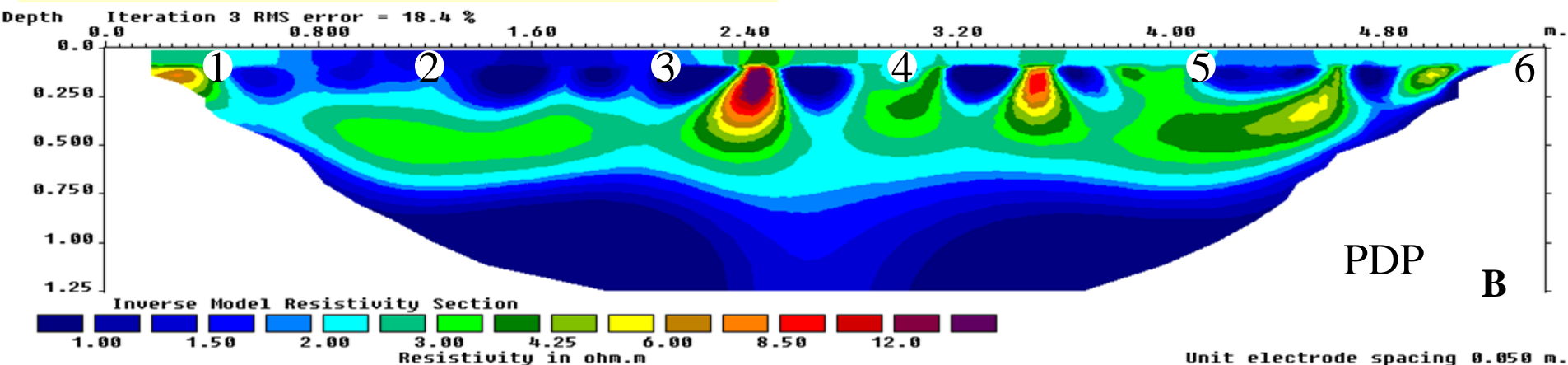


Après 30 jours de digestion anaérobie :

- Container rempli de déchets agricoles méthanisés (ensilage de maïs, fumier bovin...)
- 4 m³ de liquide résiduel dans le container lors de la mesure
- Echantillonnage après les mesures de résistivité
- Caractérisation des échantillons (MS, MO, BMP, teneur en fibres)

1.2

- Substrats toujours saturés en eau, pas de drainage
- Faible valeurs de résistivité
- Pas de corrélation possible avec les valeurs de résistivité
- RMS>18%, dû à la forte teneur en eau
- Répartition homogène du liquide dans le caisson
- La répartition du liquide au sein des déchets est-elle homogène?



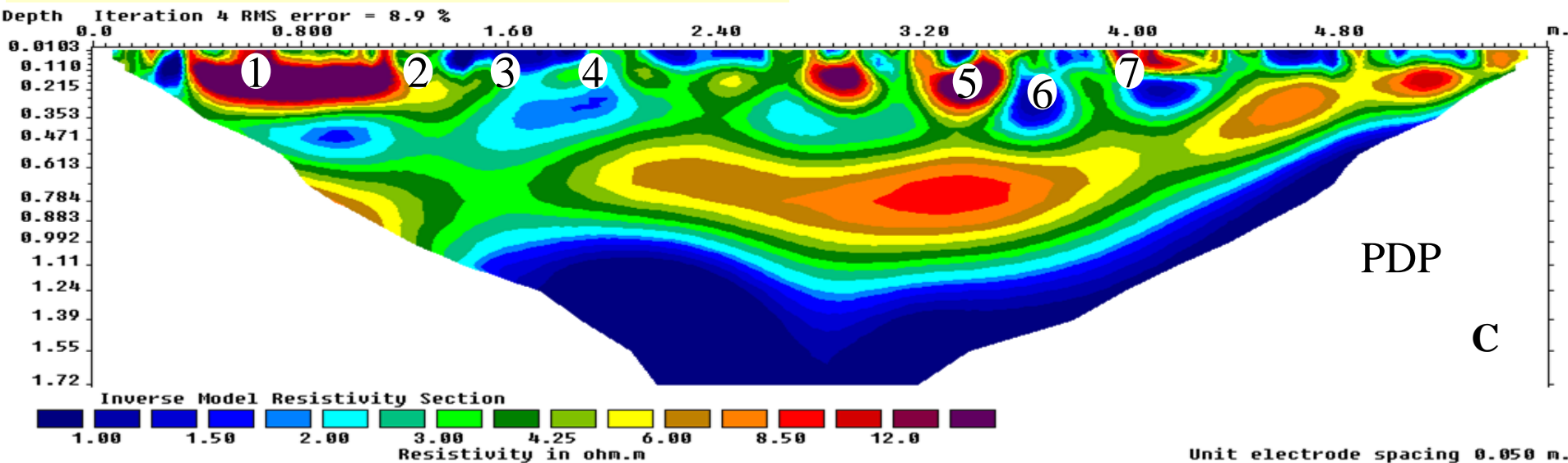
2

Après 60 jours de digestion anaérobie :

- Soutirage + Drainage de la phase liquide, 24 h avant la mesure
- Echantillonnage après les mesures de résistivité
- Caractérisation des échantillons (MS, MO, BMP, teneur en fibres)
- 2 gammes de résistivité bien distinctes

-R = + CH₄ = - MS = - LIGNINE
Zones très dégradées

+ R = - CH₄ = + MS = + LIGNINE
Zones faiblement dégradées



Résumé des conclusions à l'échelle 30 m³

1/ Avant digestion anaérobie
Zones de potentiel méthane

2/ Saturation du milieu
Répartition du liquide dans le container, pas de corrélation

3/ Vidange + soutirage de la phase liquide (24 h avant)
Zones fortement et faiblement dégradées

- Adaptation et validation de la méthode de tomographie électrique à un procédé de méthanisation voie sèche de type batch

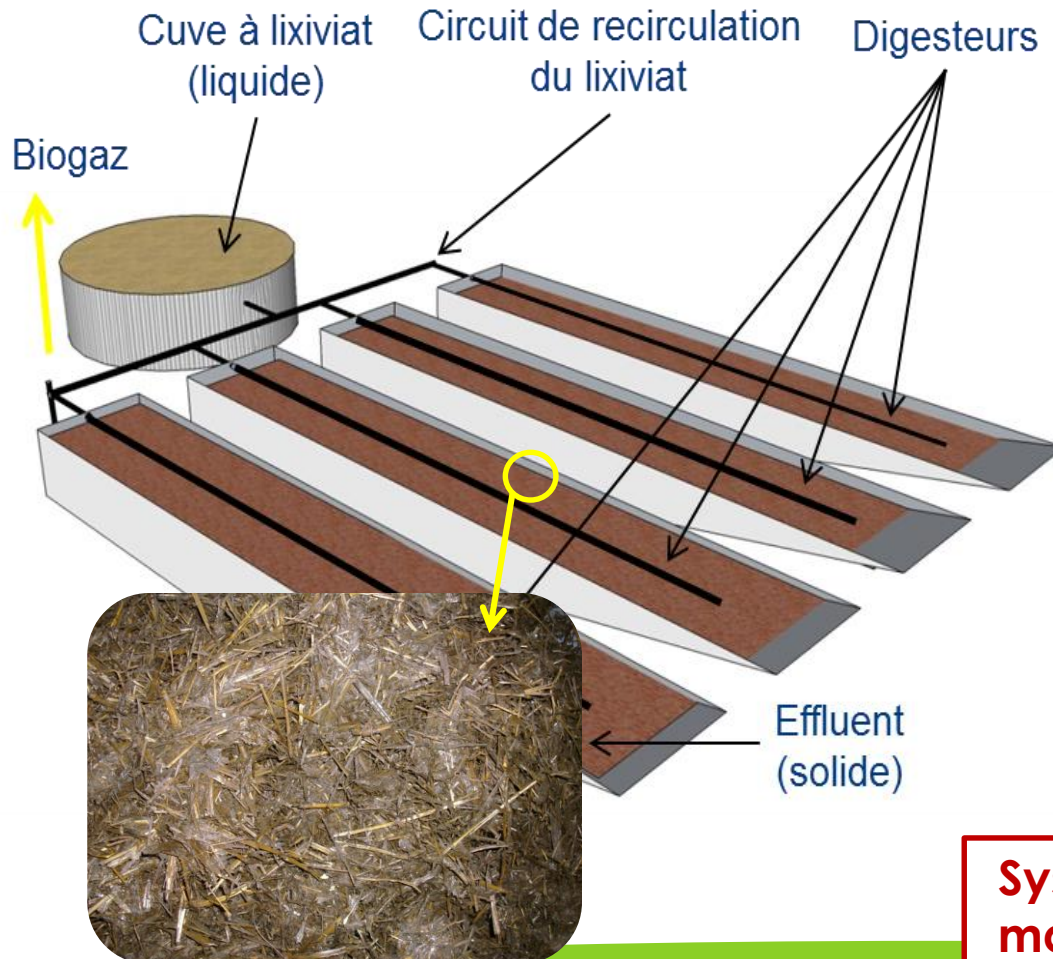
- Calibration de la méthodologie par échantillonnage nécessaire

- Les conditions de vidange ou de remplissage du container impactent l'interprétation des résultats et les valeurs de résistivité

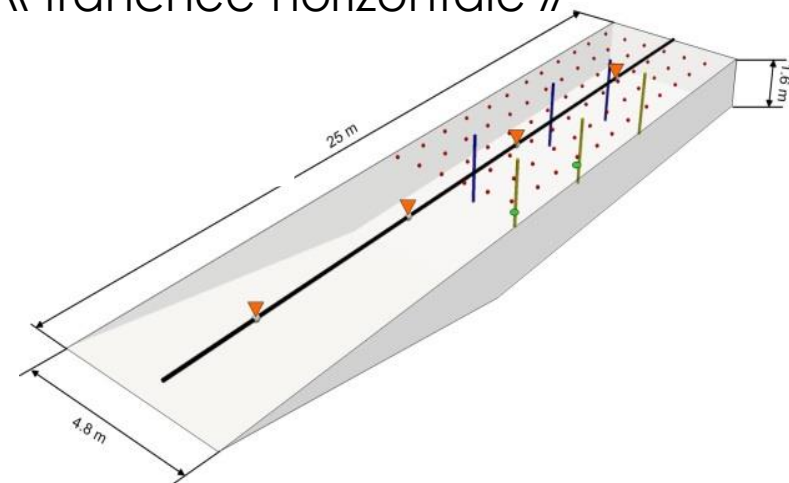
- Méthode permet un suivi *in situ* du procédé de méthanisation voie sèche de type batch

A l'échelle industrielle,
185 m³

Le système d'injection du lixiviat



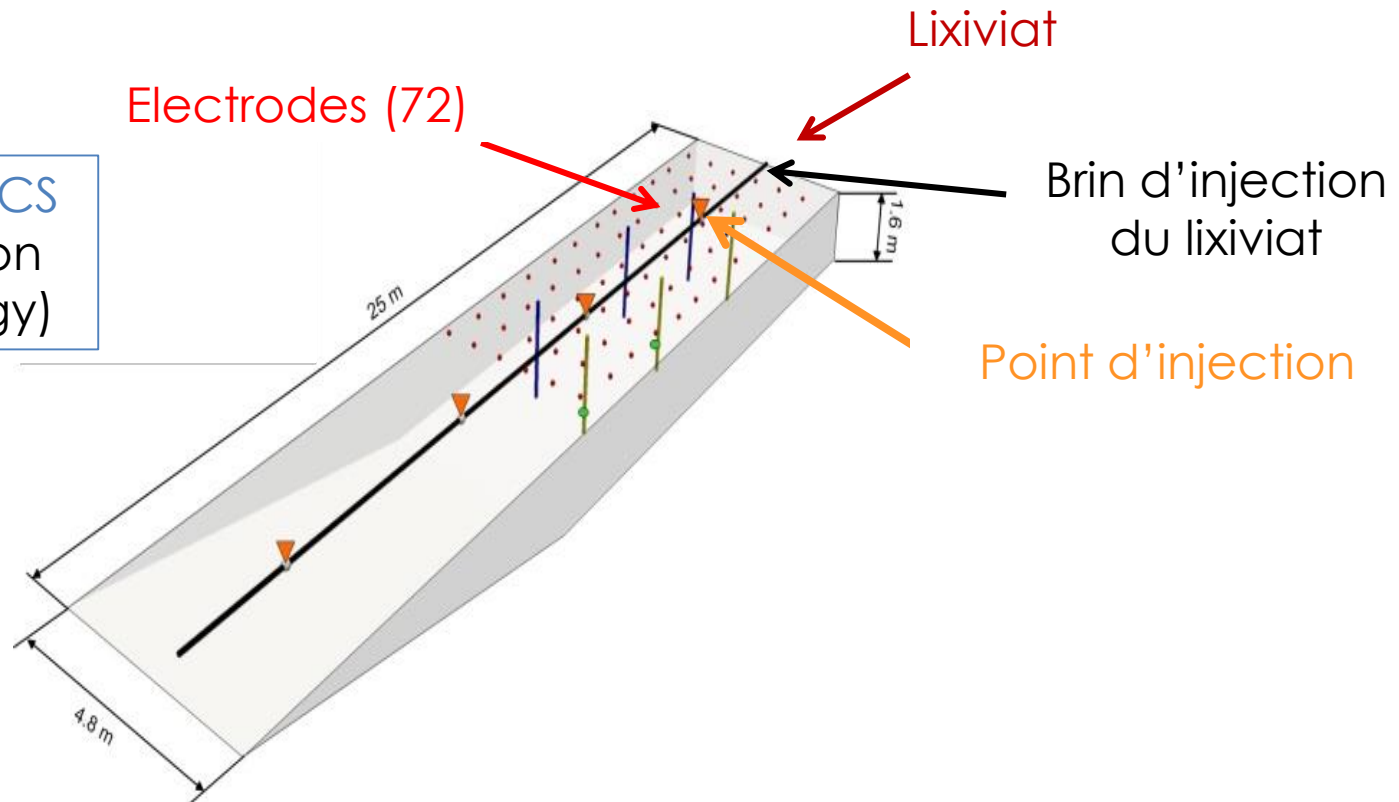
Système d'injection
« tranchée horizontale »



**Système d'injection idéal pour
maximiser l'humidification des
fumiers de bovins?**

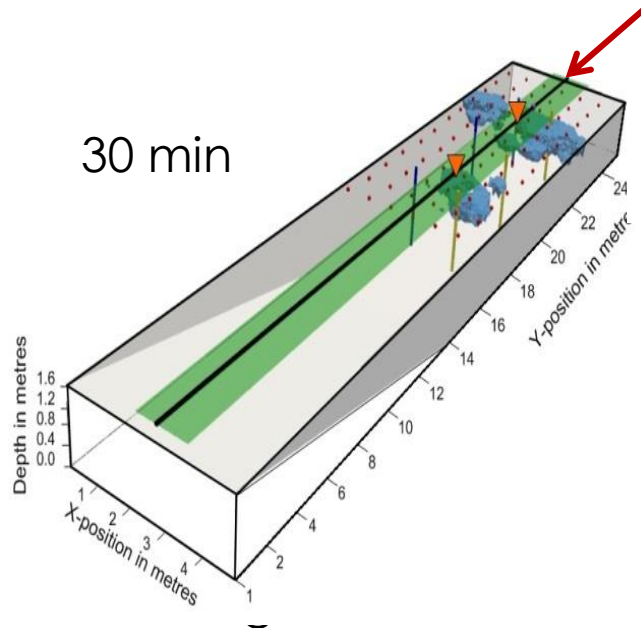
Répartition du lixiviat à grande échelle

Méthodologie MICS
(Multiple Inversion
Clustering Strategy)

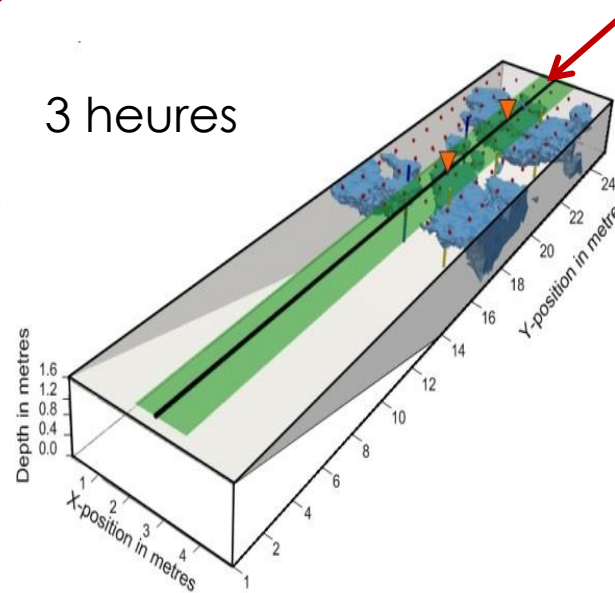


Lixiviât

30 min

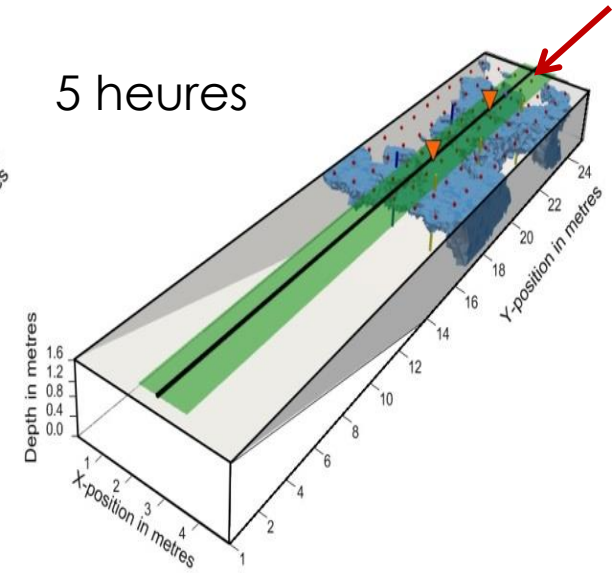


3 heures



Lixiviât

5 heures



Lixiviât

- 1 bulbe plus important
- perte de charge

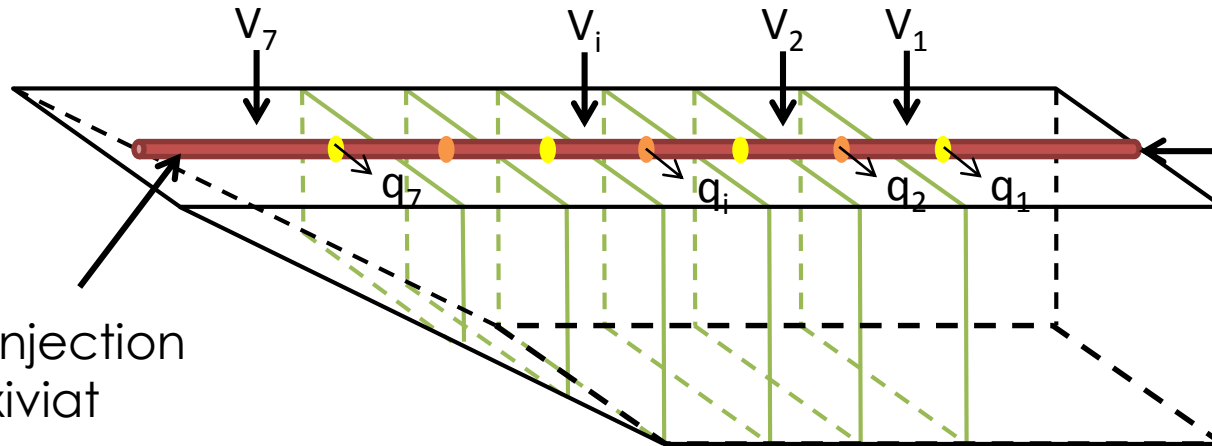
- Grossissement des bulbes
- Zones non humidifiées

- Contact bulbes
- Zones non humidifiées entre points d'injection



Système d'injection peu efficace

Amélioration du système d'injection



Lixiviat

Débit $Q_{tot} = 9,2$
 $m^3.h^{-1}$

Ligne d'injection
du lixiviat

- Point d'injection du lixiviat existant
- Point d'injection du lixiviat simulé

➡ Zones non humidifiées entre points d'injection

➡ Pertes de charge ⇔ moduler dimension des orifices

Longueur des orifices
comprise entre 15,7
et 3,7 cm
(largeur 1 cm)

1. Calcul des q_i

$$q_i = \frac{V_i}{V_{tot}} \times Q_{tot}$$

2. Calcul des sections S_i

$$q_i = C \cdot S_i \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Coeff de décharge
(= 0,61)

Accélération
de la
pesanteur

Charge
hydraulique

- Des travaux de recherche menés en parallèles, des résultats convergents
- Une méthodologie identifiée et adaptée à différentes échelles de réacteurs
- Des études concrètes de cas
- Détection de la phase liquide au sein des réacteurs
- Détection des zones dégradées et des zones « mortes »

Les partenaires académiques sont en relation directe avec les industriels et les exploitants pour développer la méthanisation en voie sèche discontinu

- Comprendre des procédés
- Lever des verrous scientifiques et technologiques
- Optimiser les procédés

Merci de votre attention

laura.andre@unilasalle.fr

axelle.degueurce@irstea.fr