



biogaz méthanisation



Mise en œuvre de la méthode de tomographie électrique pour cartographier la répartition du liquide au sein d'un réacteur industriel de méthanisation en voie sèche

L. André, E. Lamy, P. Lutz, M. Pernier, O. Lespinard,
A. Pauss, T. Ribeiro

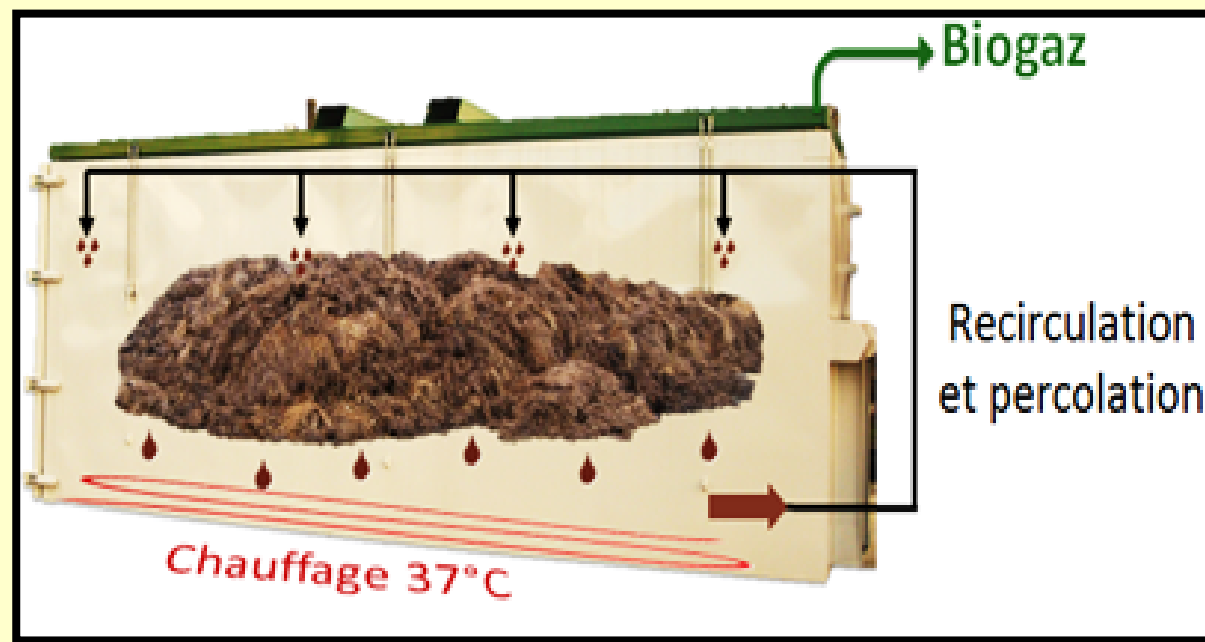


Introduction - Problématique



1/ Système étudié

- Type batch, voie sèche discontinue (*Isman et Ducellier, 1939*)



- Systèmes peu décrits dans la littérature
- En général, suivi du procédé par caractérisations physico-chimiques (pH, conductivité, FOS/TAC, ...)

Introduction - Problématique

2/Recirculation d'une phase liquide

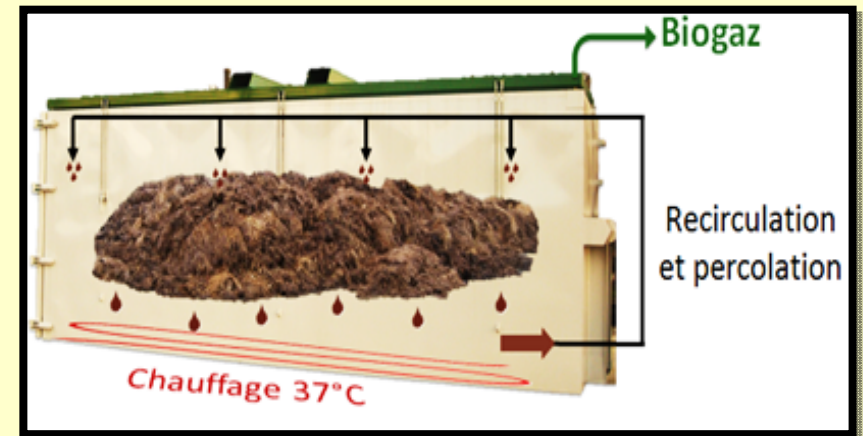


Objectifs?

- Optimiser le procédé (El Mashad et al., 2006)
- Augmenter la production de biogaz (Klink and Ham, 1982; Bayard et al., 2005; François et al., 2006; El-Mashad et al., 2006; Filipkowska, 2008; Kusch et al., 2009; Shahriari et al., 2012)

Par quel moyen la phase liquide impacte t-elle le procédé?

- Répartition des microorganismes, des nutriments, de la température, de l'humidité... (Lay et al., 1997)
- Relation linéaire entre la teneur en eau et l'activité méthanogène spécifique (Le Hyaric et al., 2011)

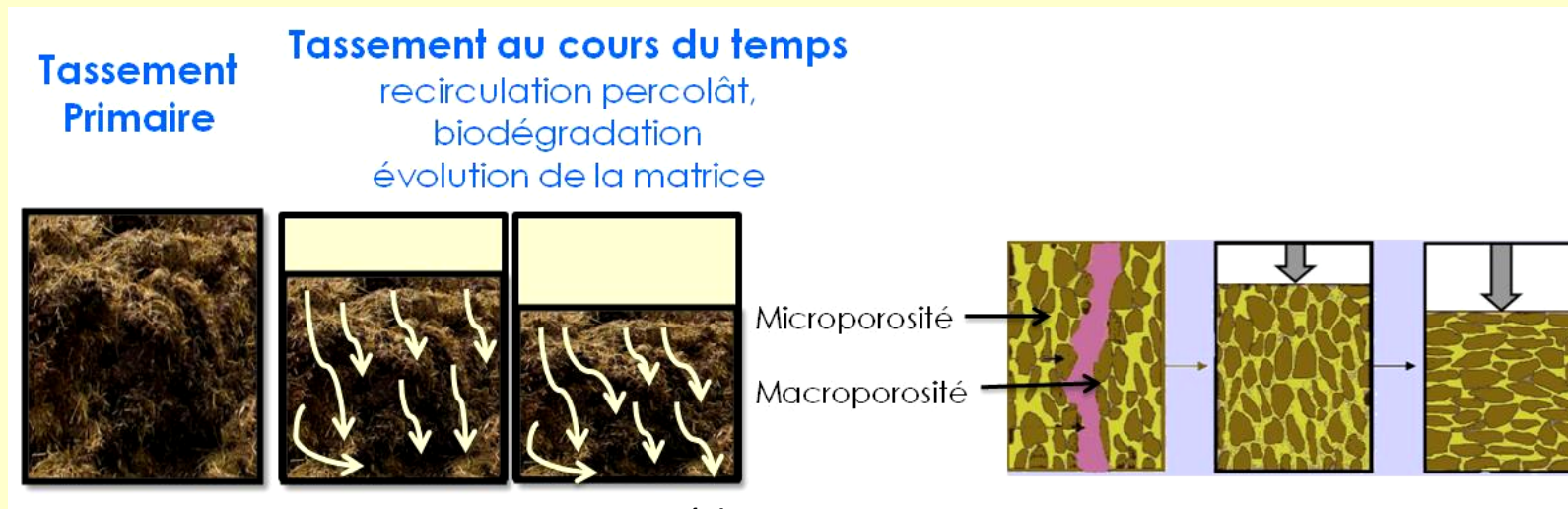


Introduction - Problématique

2/Recirculation d'une phase liquide

Quels verrous scientifiques et technologiques ?

- Massif hétérogène complexe
- Quelques données à des échelles pilotes (100 L ou 60 L) sur les transferts hydriques ([André et al., 2015](#) ; [Shewani et al., 2015](#))
- Diminution de la perméabilité de la phase solide au cours de la digestion anaérobie ([André et al., 2015](#))
- Moins bonne répartition de la phase liquide et présence de zones mortes en fin de digestion anaérobie



Introduction - Problématique

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 de 30 m³
- 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



Introduction - Problématique



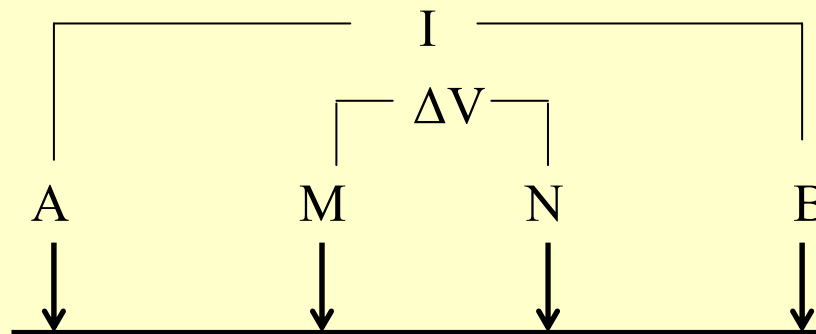
Tomographie électrique

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

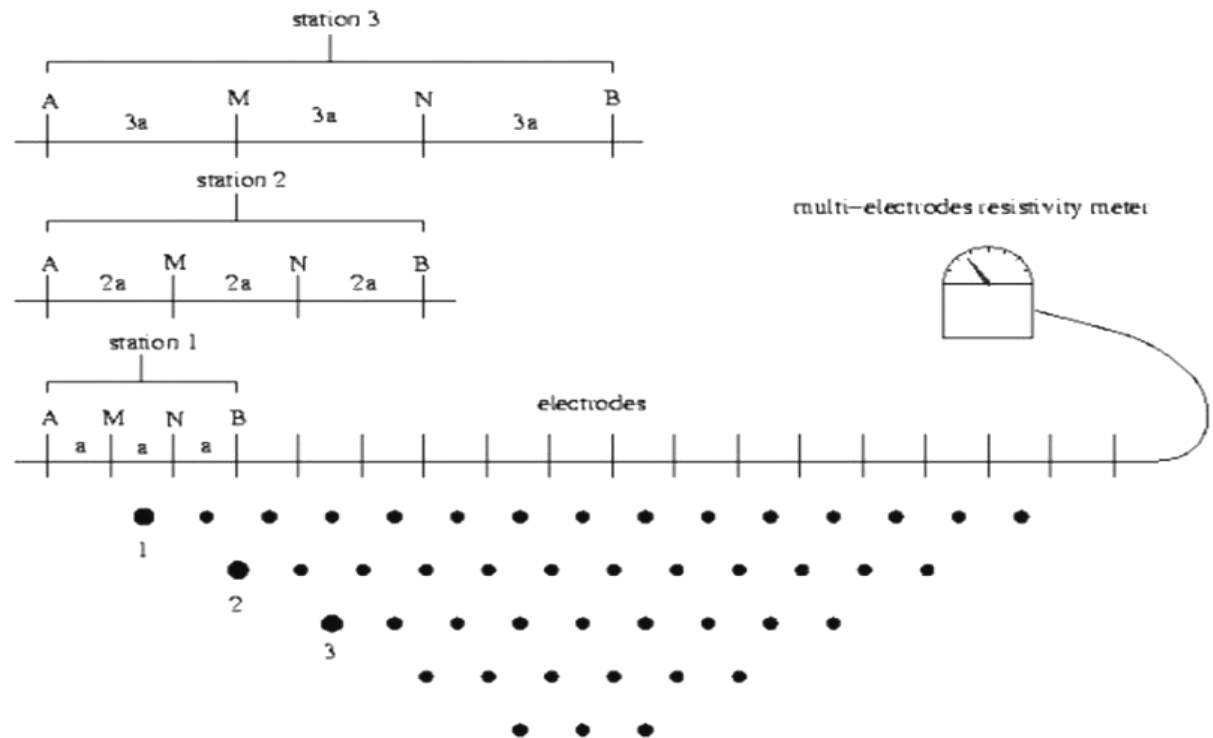
Résistivité : capacité à ne pas conduire un courant électrique

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



Matériel et Méthode



Résistivité apparente

Paramètre qualitatif lié à la profondeur

Représente une valeur moyenne de résistivité entre la surface et un niveau de profondeur dans le solide investigué

$$\rho_a = k \cdot (\Delta V_{MN} / I_{AB})$$

Mesure
Terrain

Pseudo section de
résistivité apparente

Matériel et Méthode



Traitement des données de résistivité apparente

- Inversion des pseudo-sections de résistivité apparente à l'aide du code Gauss-Newton en utilisant le logiciel RES2DINV (Loke and Barker, 1996; Loke et al., 2003)
- Le logiciel en fonction de la configuration choisie des électrodes et des caractéristiques du milieu va déterminer la meilleure hypothèse pour représenter les valeurs de résistivité apparente obtenues précédemment
- Obtention d'une section modélisée représentant le milieu de résistivité



Matériel et Méthode



Calcul du pourcentage d'erreur

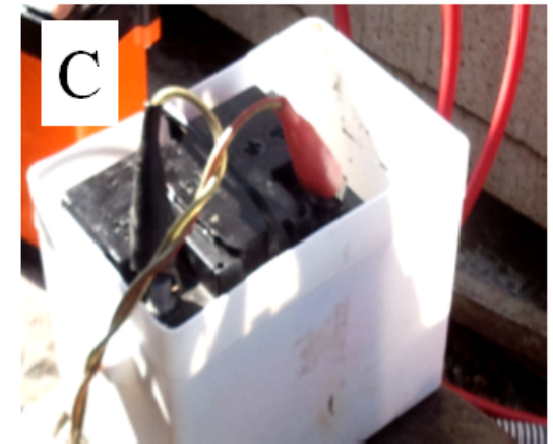
Différence entre les valeurs de résistivité calculées et les valeurs mesurées

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\log(\rho_{meas_i}) - \log(\rho_{cal_i})}{\log(\rho_{cal_i})} \right)^2}$$



Matériel et Méthode

Adaptation de la tomographie électrique



Résultats et Discussion

1^{ère} Campagne de mesure



→ Valider l'adaptation de la tomographie électrique au container 30 m³

- 57 électrodes à la place de 64
- Clous
- Possibilité d'artefacts avec les parois métalliques et avec l'air autour des électrodes
- Intensité du courant d'injection ajusté automatiquement entre 10 mA et 200 mA
- Profil Gradient
 - Obtention d'un **bon profil sans artefacts** avec le dispositif gradient
 - Validation de la faisabilité de la méthodologie sur un container de 30 m³

Inconvénient

La profondeur d'investigation est de 70 cm
La profondeur du container est de 2,5 m

Solution

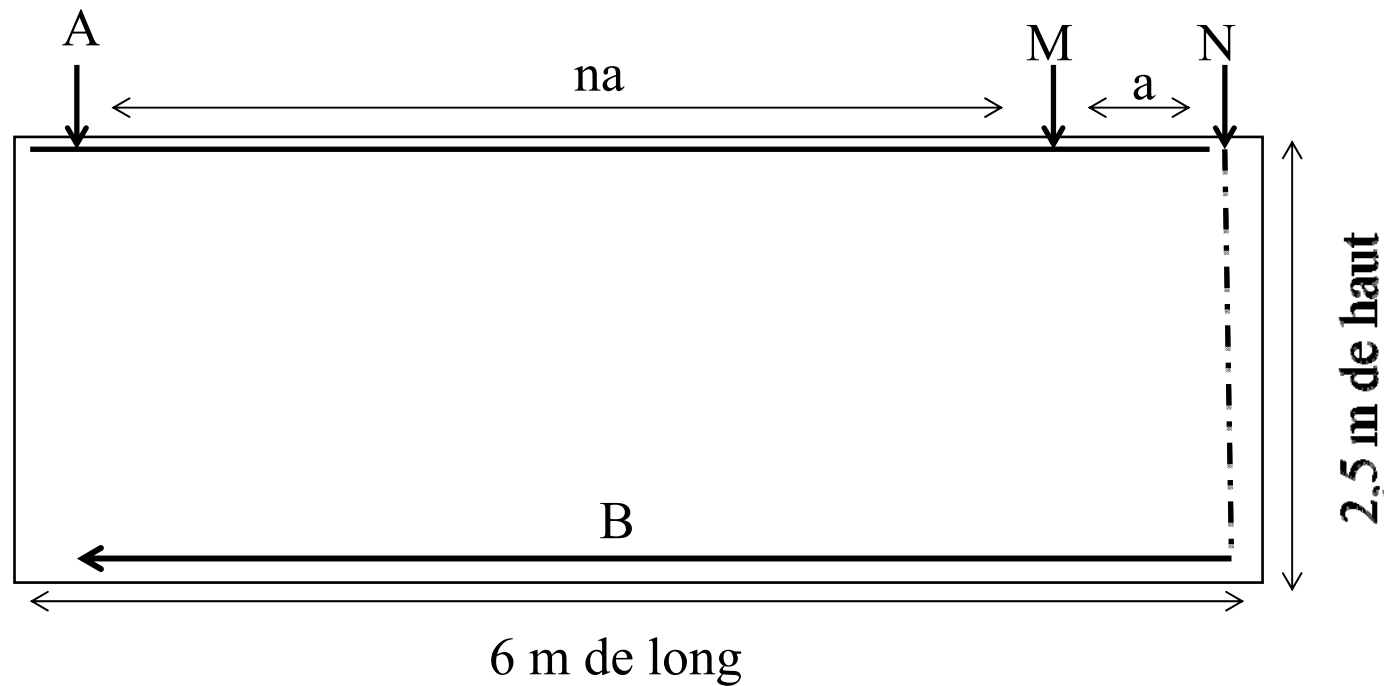
Utiliser un autre dispositif d'électrodes

Résultats et Discussion

2^{ème} Campagne de mesure

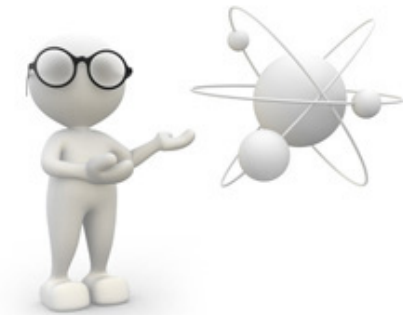


Pôle-dipôle: investigation plus en profondeur avec une bonne résolution
Adaptation de ce dispositif au container 30 m³



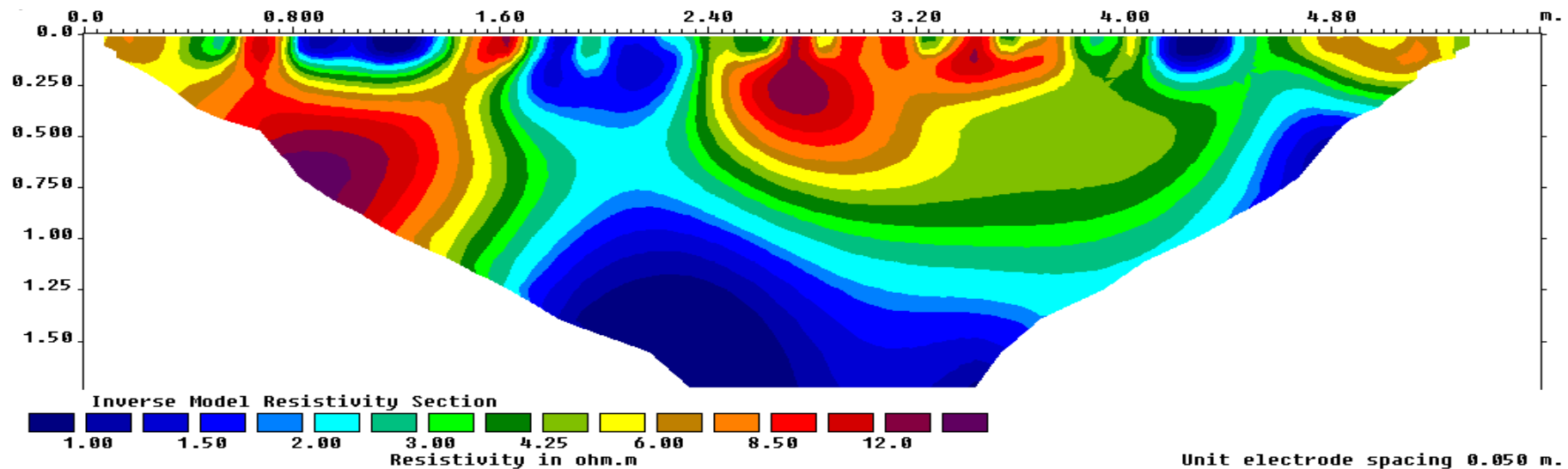
Résultats et Discussion

2^{ème} Campagne de mesure



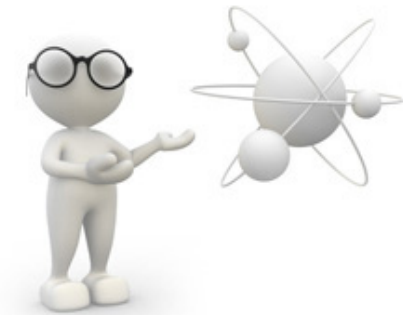
Avant la digestion anaérobie :

- 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



Résultats et Discussion

2^{ème} Campagne de mesure



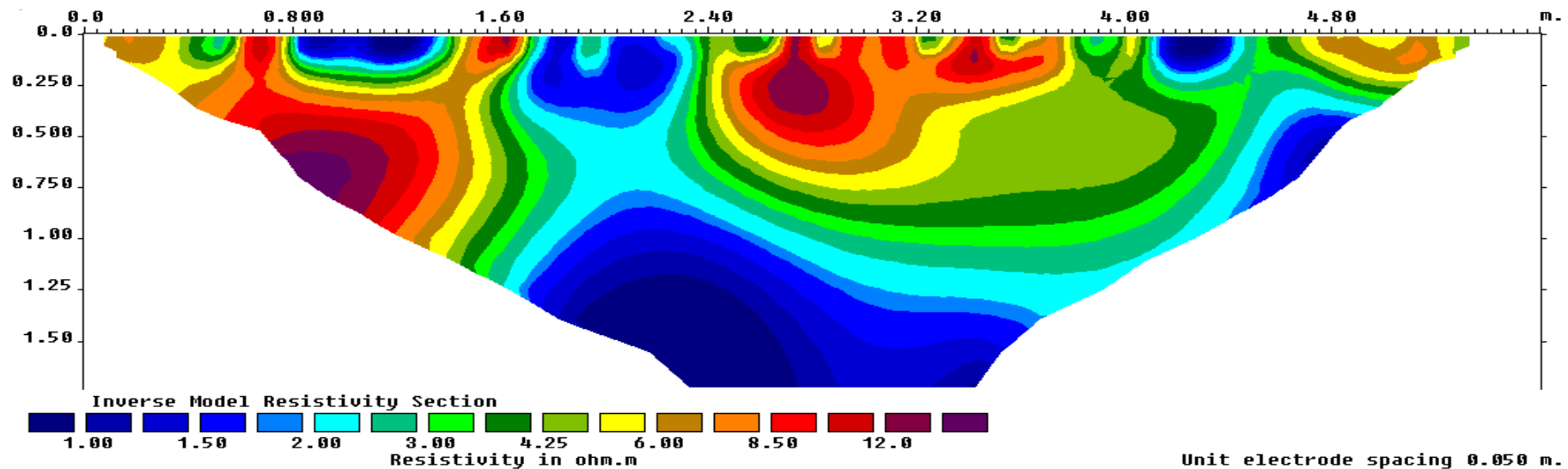
Faible valeurs de Résistivité

= Fortes teneurs en MS

= Plus hautes productions de CH₄

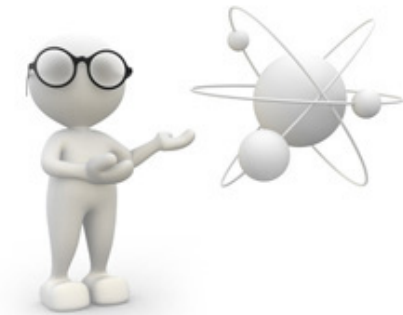
= Plus haute teneur en cellulose

= Zones à fort potentiel méthane



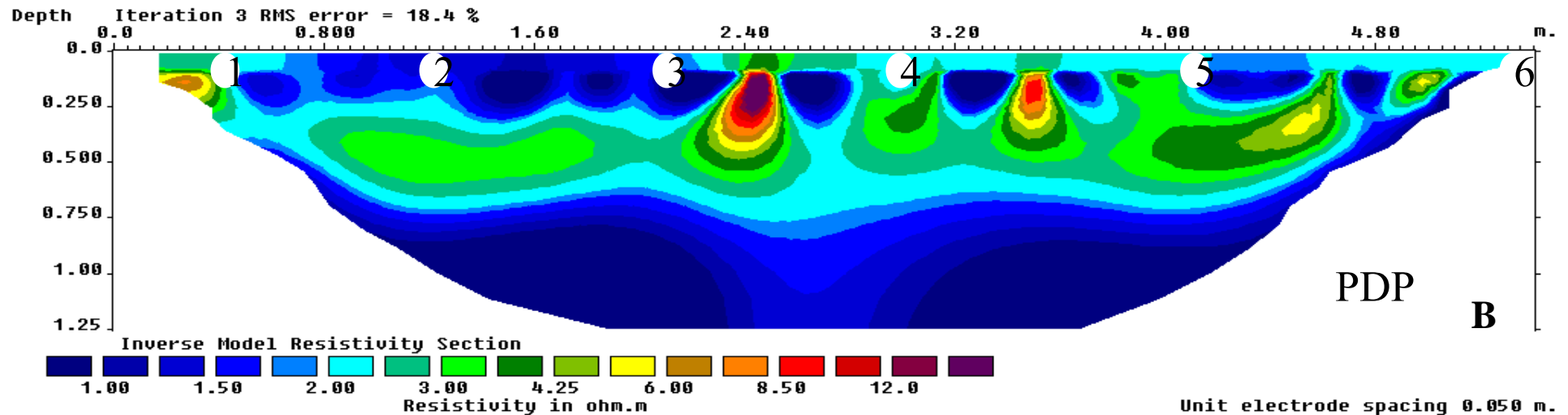
Résultats et Discussion

2^{ème} Campagne de mesure



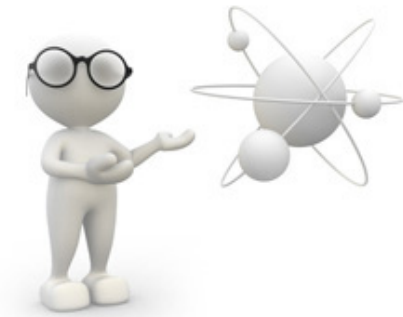
Après 30 jours de digestion anaérobie :

- 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)

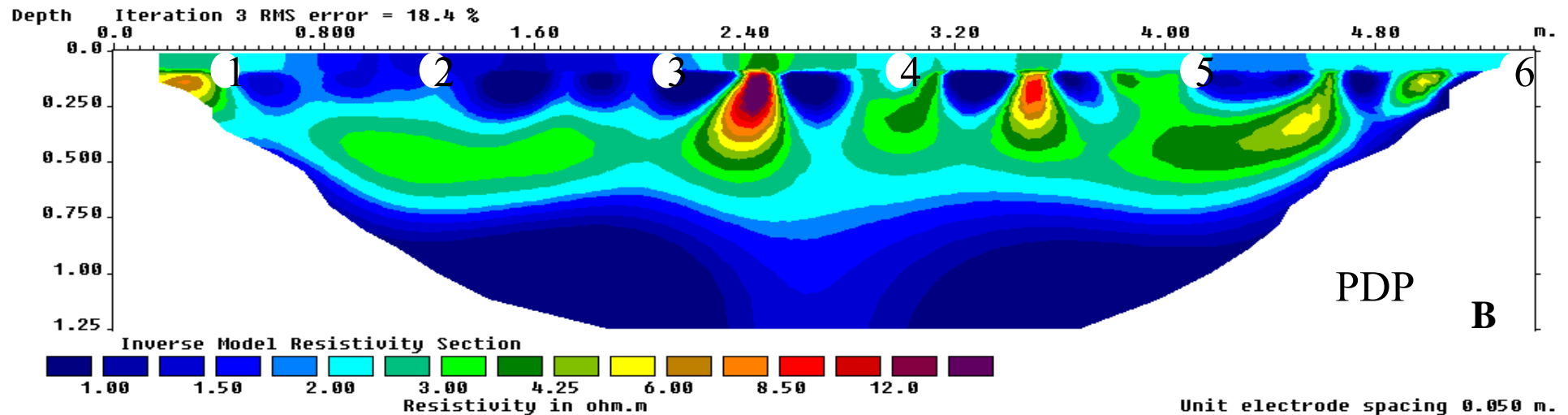


Résultats et Discussion

2^{ème} Campagne de mesure

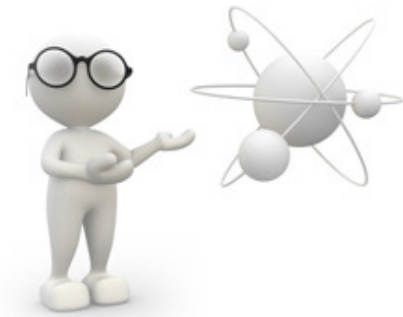


- Substrats toujours saturés en eau, pas de drainage
- Faibles valeurs de résistivité
- Pas de corrélation possible avec les valeurs de résistivité
- $RMS > 18\%$, dû à la forte teneur en eau
- Répartition homogène du liquide dans le caisson
- La répartition du liquide au sein des déchets est-elle homogène?



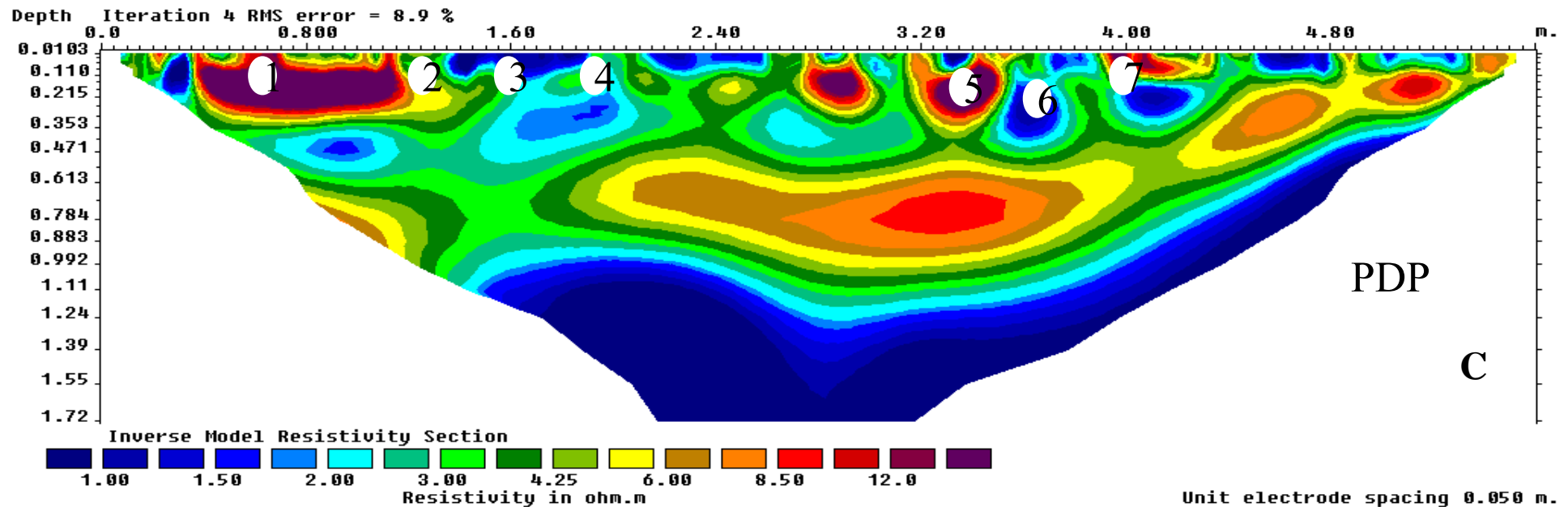
Résultats et Discussion

3^{ème} Campagne de mesure



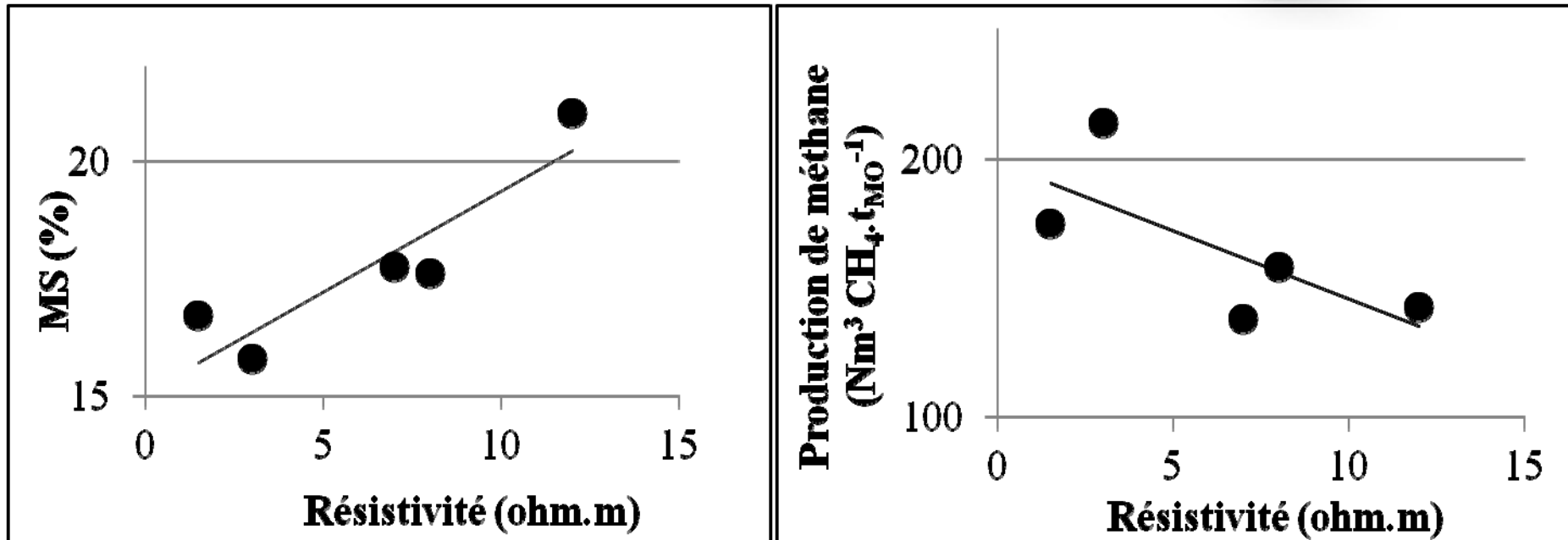
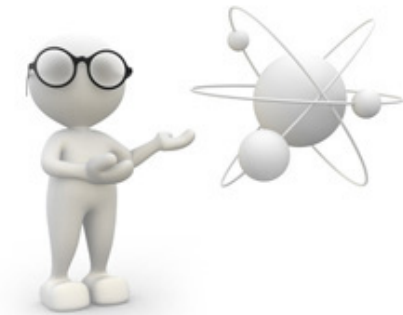
Après 60 jours de digestion anaérobie :

- 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



Résultats et Discussion

3^{ème} Campagne de mesure



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

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

Conclusions - Perspectives

Résumé

1/ Avant digestion anaérobie
Zones de potentiel méthane

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

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



Conclusions - Perspectives



- **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**



Contents lists available at ScienceDirect

Bioresource Technology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/biortech



Electrical resistivity tomography to quantify in situ liquid content in a full-scale dry anaerobic digestion reactor

L. André^{a,b}, E. Lamy^a, P. Lutz^c, M. Pernier^b, O. Lespinard^d, A. Pauss^a, T. Ribeiro^{b,*}

^a Sorbonne Universités, EA 4297 TIMR UTC/ESCOM, UTC, CS 60319, 60203 Compiègne Cedex, France

^b Institut Polytechnique LaSalle Beauvais, Département des Sciences et Techniques Agro-Industrielles, rue Pierre Waguet, BP 30313, 60026 Beauvais Cedex, France

^c Institut Polytechnique LaSalle Beauvais, Département de Géosciences, HydriSE, rue Pierre Waguet, BP 30313, 60026 Beauvais Cedex, France

^d ERigène, 19 rue Pierre Waguet, 60000 Beauvais, France





Merci de votre attention

laura.andre@utc.fr