

Codigestion d'herbages fauchés issus de bas-côtés de routes et de fumier bovin par digestion anaérobie en voie sèche discontinu à l'échelle pilote (60 L)

L.ANDRÉ, I.ZDANEVITCH, J.LENCAUCHEZ, A.DAMIANO,
C.PINEAU, A.PAUSS, T.RIBEIRO

1. Contexte de l'étude

Session 1: Présentation du projet CARMEN, Caractérisation des fauchages de bord de route pour la méthanisation Isabelle ZDANEVITCH, INERIS

Objectifs de cette axe étudié : Vérifier si la digestion anaérobie est possible sur des fauchages de bas-côtés potentiellement chargés en micropolluants.

2. Méthodologie

A. Echantillonnage

B. Caractérisation physico-chimique

C. Test Potentiel méthane en voie liquide 500 mL

D. Test Pilote en voie sèche 60 L

E. Caractérisation physico-chimique des digestats

**2 campagnes de mesure :
Juin et octobre 2016**



Tonte d'Herbe



Fumier Bovin

C. Tests Potentiel méthane en voie liquide 500 mL

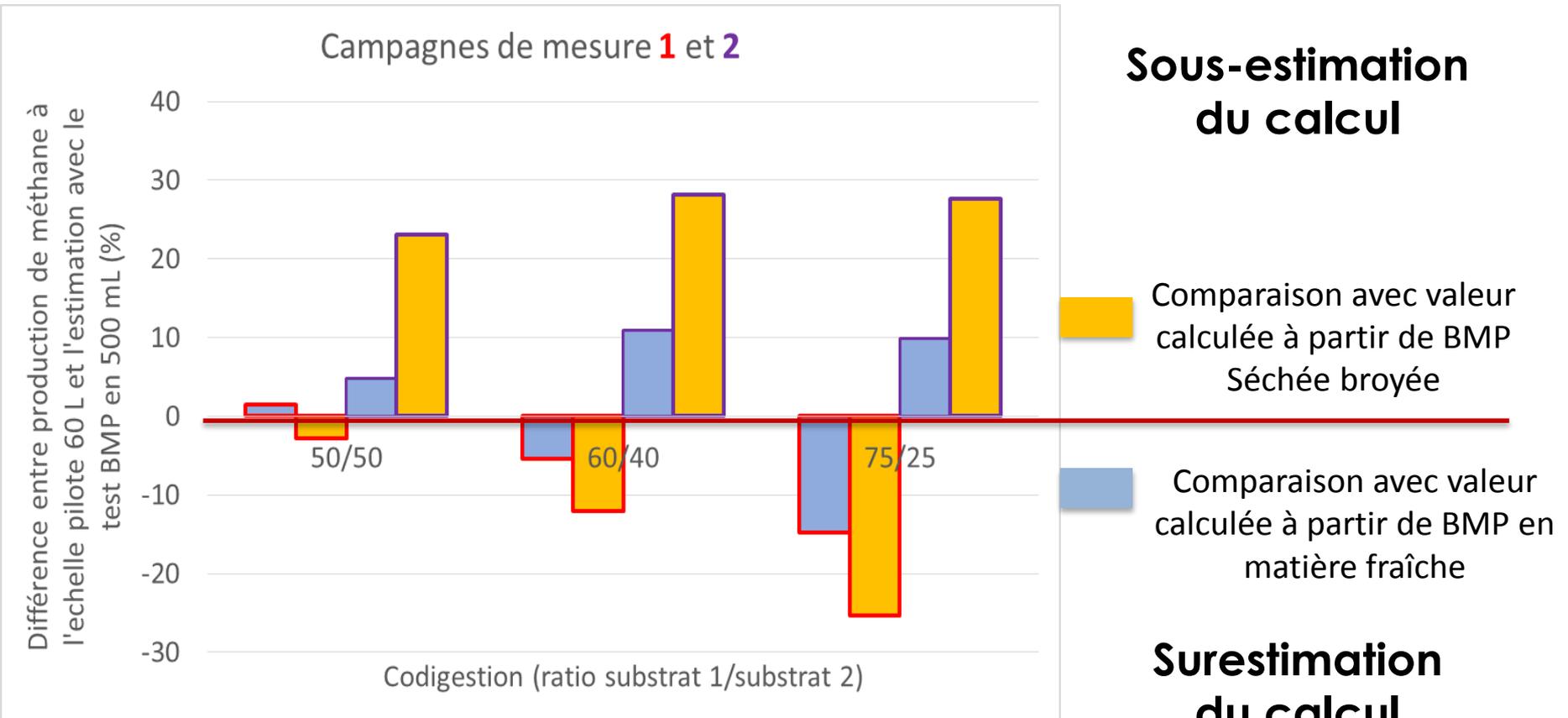
Le fumier bovin et la tonte d'herbe ont été testés **séparément** pour obtenir leur potentiels méthane

Etat du substrat	1 ^{ère} campagne de mesure		2 ^{ème} campagne de mesure	
	Matière fraîche	Matière séchée et broyée	Matière fraîche	Matière séchée et broyée
Fumier bovin	194,4 +/- 5%	221,8 +/- 5%	215,6 +/- 4%	172,5 +/- 2%
Tonte d'herbe	202,9 +/- 3%	192,9 +/- 4%	214,3 +/- 5%	174,4 +/- 3%

*Les potentiels méthane sont exprimé en $\text{Nm}^3_{\text{CH}_4} \cdot \text{T}_{\text{MO}}^{-1}$

- La tonte d'herbe et le fumier bovin présentent des valeurs de potentiel méthane similaires
- Le potentiel méthane dépend de la saisonnalité du substrat et de *l'inoculum* utilisé (variation du taux de matière sèche et de la capacité tampon)

C. Tests Potentiel méthane en voie liquide 500 mL Ratio I/S = 3



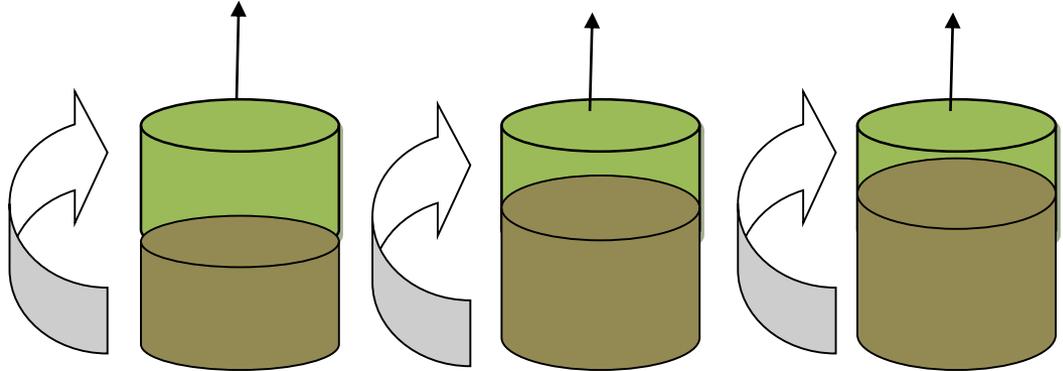
- Pour être représentatif, le test de potentiel méthane doit être effectué dans des conditions opératoires proches de la mise en œuvre du procédé et/ou être effectué avec de la matière fraîche plutôt que séchée en 500 mL

D. Tests Pilote de codigestion en voie sèche 60 L

1^{ère} campagne de mesure (Juin 2016)

Production et composition de biogaz

15 L.h⁻¹



Réacteur 1 Réacteur 2 Réacteur 3

Composition 50%TH-50%FB 40%TH-60%FB 25%TH-75%FB



Photo des strates

Mode « strate »



D. Tests Pilote de codigestion en voie sèche 60 L

1^{ère} campagne de mesure (Juin 2016)

Caractérisation inocula **avant** et **après** digestion anaérobie

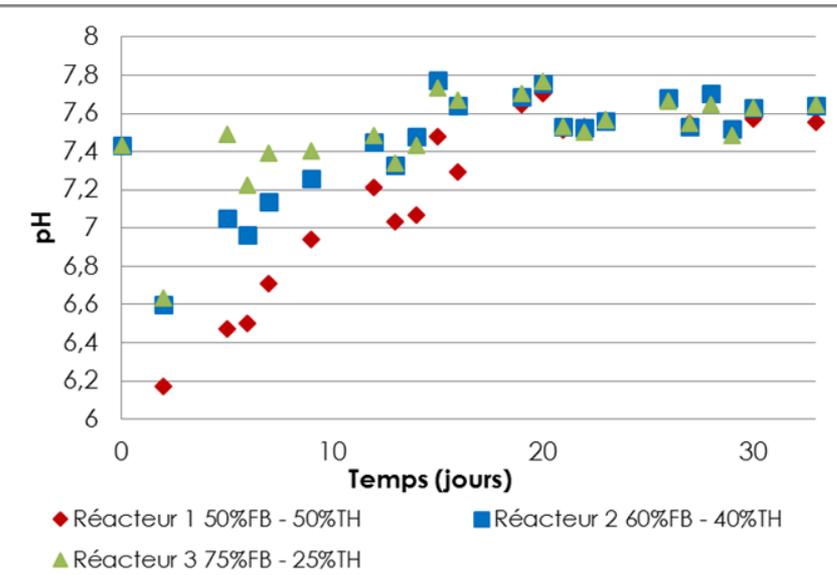
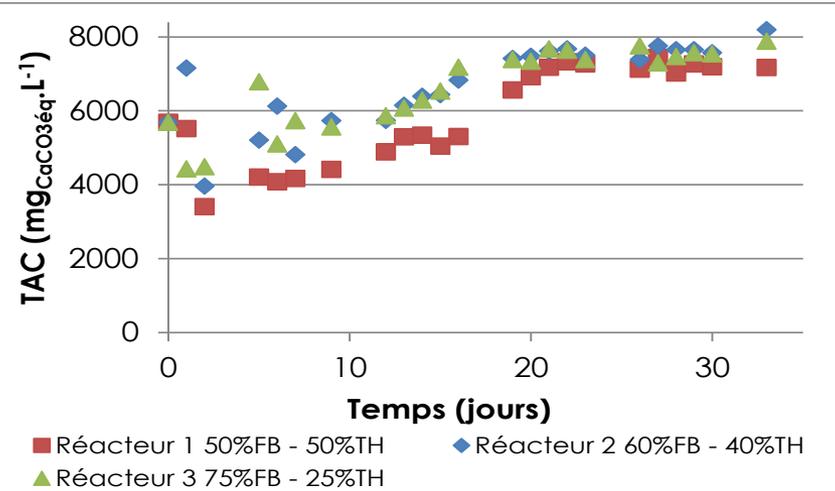
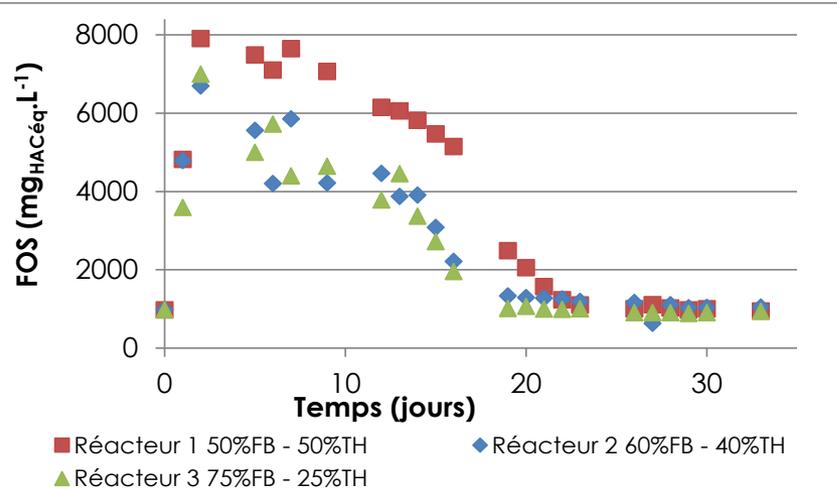
	MS (%)	MO (% _{MS})	pH	FOS (mg _{HACéq.} ·L ⁻¹)	TAC (mg _{CaCO3éq.} ·L ⁻¹)
Lisier	1,8 +/- 0,1	63,8 +/- 0,2	7,4 +/- 0,1	973,8	5692,5
Inoculum R1	1,5 +/- 0,1	55,7 +/- 0,1	7,6 +/- 0,2	943,9	7172,5
Inoculum R2	1,6 +/- 0,1	56,0 +/- 0,1	7,7 +/- 0,1	1041,8	8200,0
Inoculum R3	1,4 +/- 0,1	48,5 +/- 0,1	7,8 +/- 0,1	933,98	7884,0

- Une capacité tampon faible et une teneur en AGV faibles pour le lisier utilisé
 → Risque acidose
- Après digestion anaérobie, **augmentation de la capacité tampon et des éléments chimiques** dans la phase liquide après digestion anaérobie

D. Tests Pilote de codigestion en voie sèche 60 L

1^{ère} campagne de mesure (Juin 2016)

Suivis des réacteurs 60 L pendant la digestion anaérobie

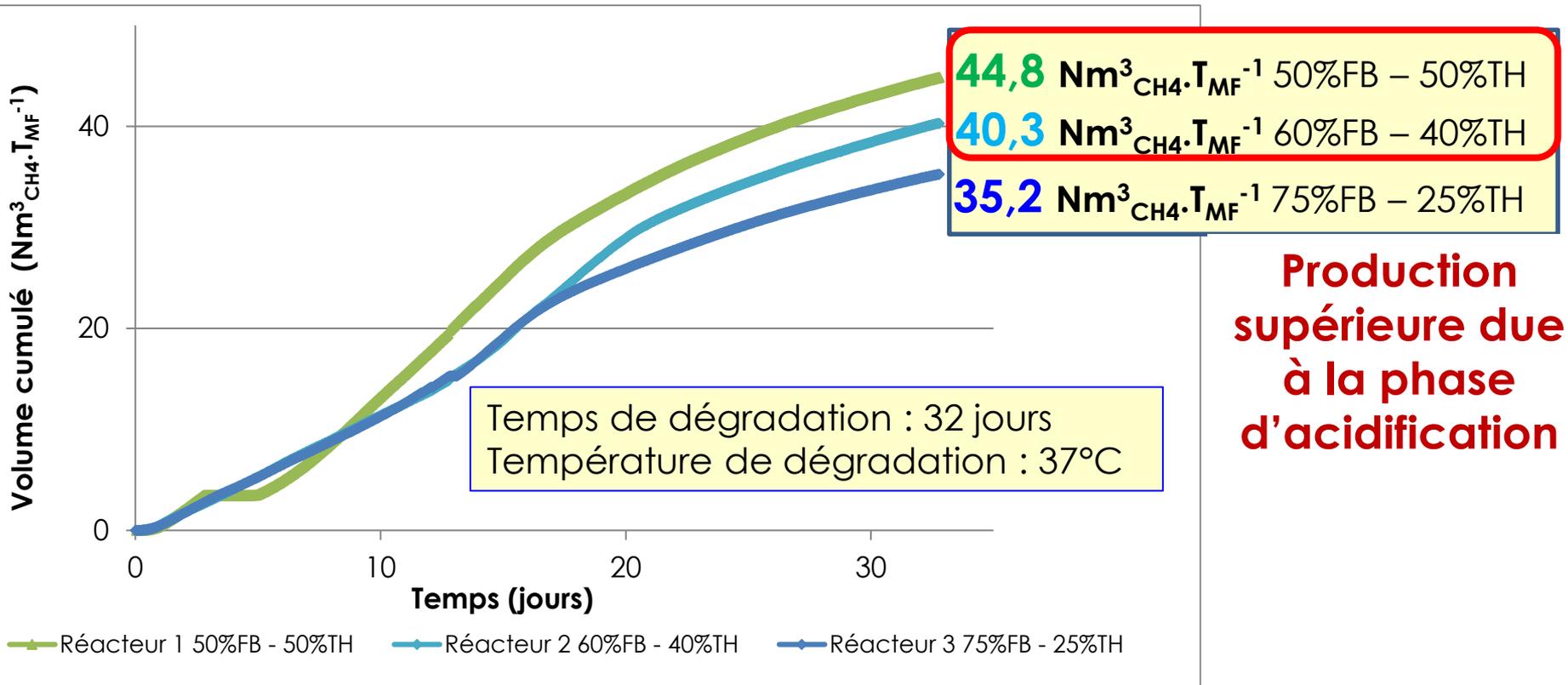


- Acidose constatée dans les 3 réacteurs
- Forte augmentation des AGV dans le réacteur 1, 50% FB – 50%TH
- Plus faible acidose dans le réacteur 3, composition 75%FB-25%TH
- Facteur limitant : **capacité tampon de l'inoculum très faible < 10 g.L⁻¹**

D. Tests Pilote de codigestion en voie sèche 60 L

1^{ère} campagne de mesure (Juin 2016)

Production de méthane sur pilote 60 L



**Production
 supérieure due
 à la phase
 d'acidification**

Quelle est la meilleure condition de remplissage?

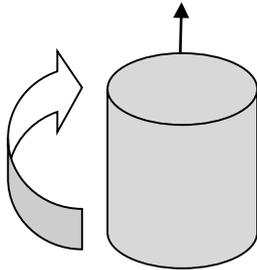
- Celle qui a la plus forte production de méthane ?
- **Inconvénient majeur du substrat** : caractère acidogène
- Compromis : acidose récupérable (faible temps de latence) associée à une bonne production de méthane → Réacteur 2, 60%FB – 40%TH

D. Tests Pilote de codigestion en voie sèche 60 L

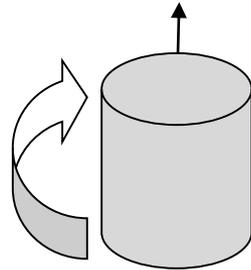
2^{ème} campagne de mesure (octobre 2016)

Production et composition de biogaz

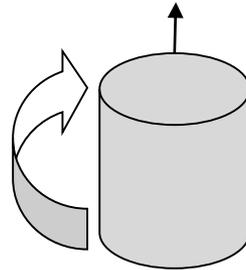
15 L.h⁻¹



Réacteur 1



Réacteur 2



Réacteur 3

Composition 50%TH-50%FB

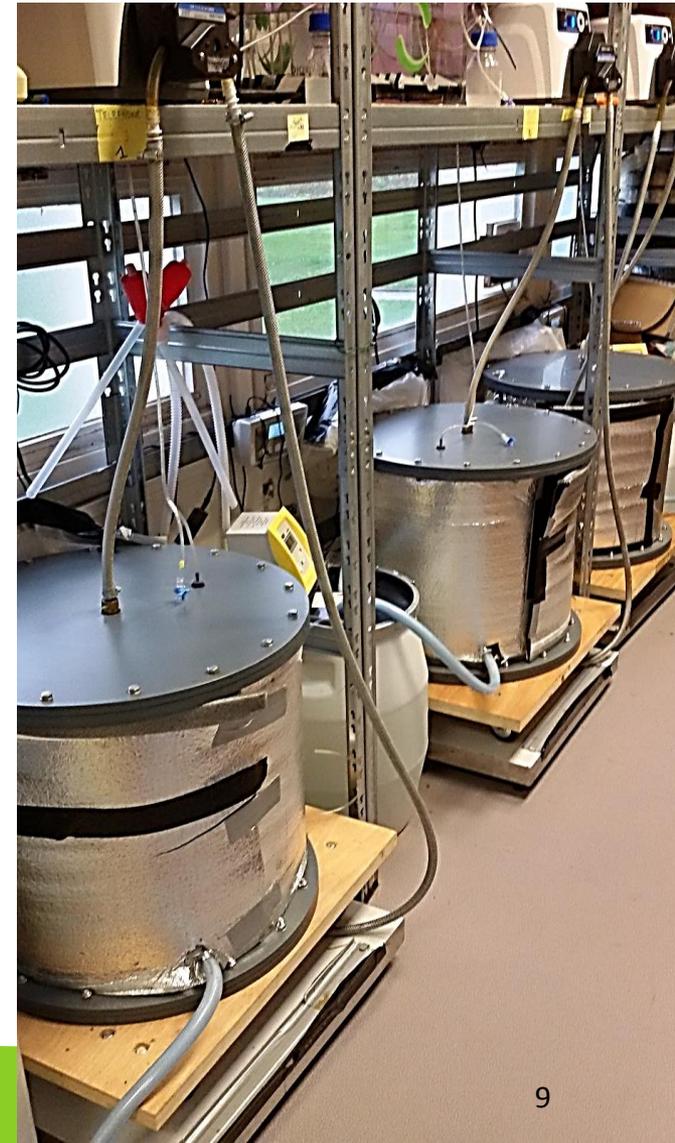
40%TH-60%FB

25%TH-75%FB

Photo du
mode
« **mélange** »



Mode « **Mélange** »



D. Tests Pilote de codigestion en voie sèche 60 L

2^{ème} campagne de mesure (octobre 2016)

Caractérisation inocula **avant et après** digestion anaérobie

	MS (%)	MO (%MS)	pH	FOS (mg _{HACéq} ·L ⁻¹)	TAC (mg _{CaCO3éq} ·L ⁻¹)
Lisier	4,5 +/- 0,1	72,4 +/- 0,2	7,8 +/- 0,1	1516,1	9685,5
Inoculum R1	1,9 +/- 0,2	55,1 +/- 0,1	7,6 +/- 0,2	1271,0	10682,5
Inoculum R2	2,12 +/- 0,1	55,9 +/- 0,1	7,7 +/- 0,1	1668,5	11853,5
Inoculum R3	2,16 +/- 0,1	58,5 +/- 0,1	7,8 +/- 0,1	1548,2	12010,0

Avant digestion anaérobie :

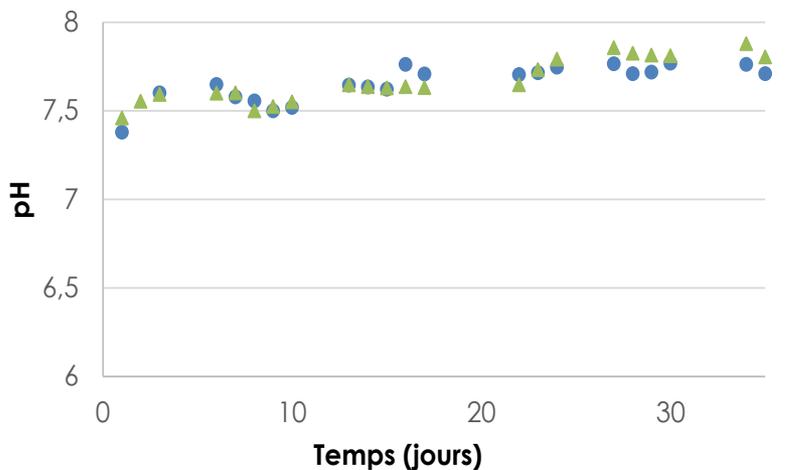
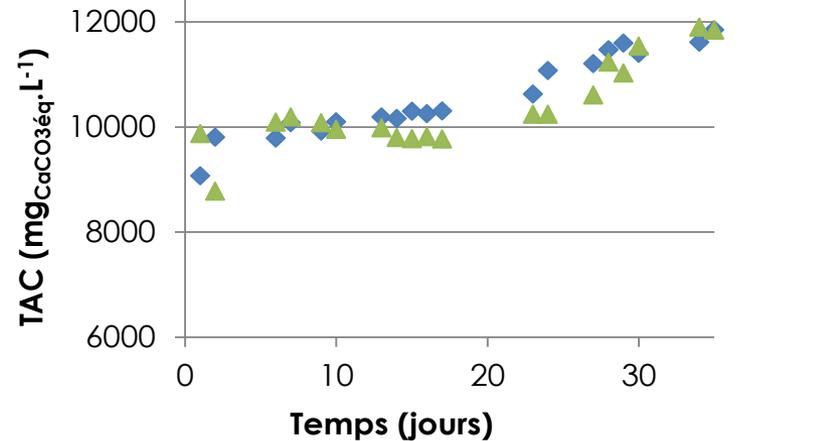
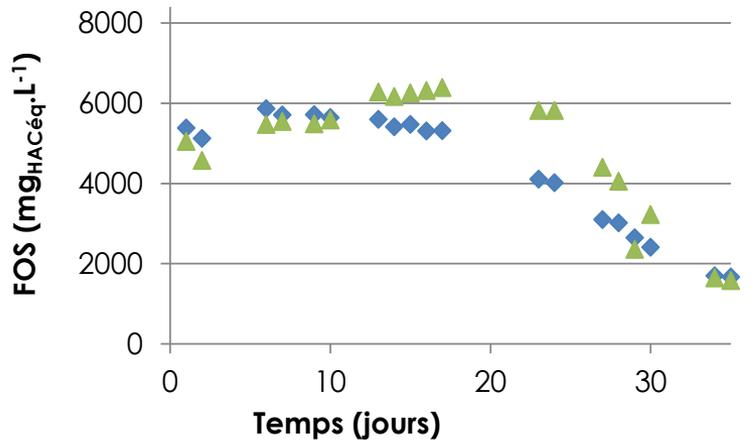
- *Inoculum* avec une forte capacité tampon initiale et une faible quantité d'AGV : acidification ne devrait pas avoir lieu
- Forte augmentation de la capacité tampon après digestion anaérobie
- Fortes valeurs de DCO, de Mg, de K

Après digestion anaérobie : pas d'enrichissement en éléments chimiques dans les phases liquides des réacteurs

D. Tests Pilote de codigestion en voie sèche 60 L

2^{ème} campagne de mesure (octobre 2016)

Suivis des réacteurs 60 L pendant la digestion anaérobie



Peu de données pour le réacteur 1, problème de recirculation et de percolation de la phase liquide (détaillé plus loin)

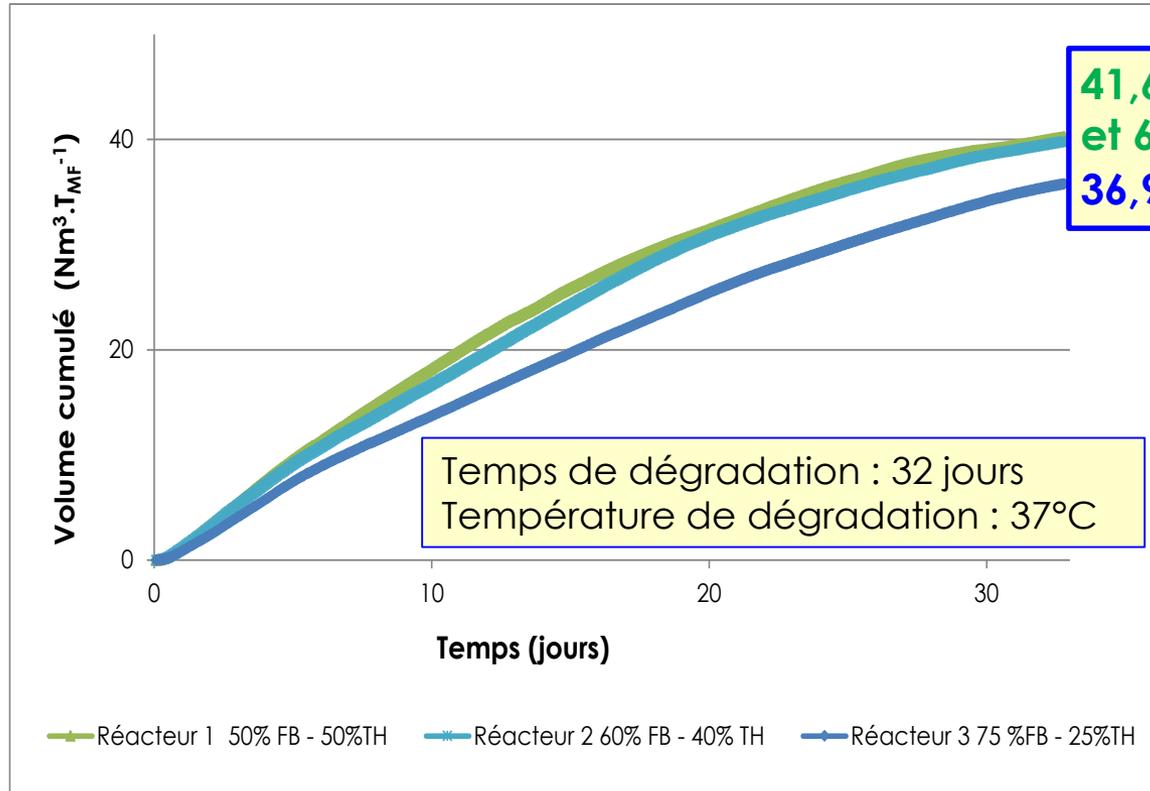
Pas de chute de pH, quantité d'AGV diminuant au cours de la digestion anaérobie

D'un point de vue chimique, bonne digestion anaérobie pour ces deux recettes.

D. Tests Pilote de codigestion en voie sèche 60 L

2^{ème} campagne de mesure (octobre 2016)

Production de méthane sur pilote 60 L



41,6 / 41,1 Nm³_{CH₄}·T_{MF}⁻¹ 50%FB – 50%TH
 et 60 %FB – 40 %TH
 36,9 Nm³_{CH₄}·T_{MF}⁻¹ 75%FB – 25%TH

→ **Réacteurs 1 et 2**, A cause du mode de remplissage en « mélange », il y a des **problèmes de percolation** de la phase liquide, induisant un biais dans la production de méthane

Réacteur 3 : la production de méthane est identique à celle du fumier seul majoritaire dans cette recette, bonne recirculation de la phase liquide.
 L'herbe utilisée dans cette campagne est très ligneuse.
 Pas d'acidification.

D. Tests Pilote de codigestion en voie sèche 60 L

Synthèse des deux campagnes de mesure

	Réacteur 1	Réacteur 2	Réacteur 3
Composition Fumier bovin – Tonte d'herbe	50%FB - 50%TH	60%FB - 40%TH	75%FB - 25%TH
1 ^{ère} campagne de mesure			
Condition de remplissage	En strate		
Potentiel méthane ($\text{Nm}^3_{\text{CH}_4} \cdot \text{T}_{\text{MF}}^{-1}$)	44,8	40,3	35,2
Potentiel méthane ($\text{Nm}^3_{\text{CH}_4} \cdot \text{T}_{\text{MO}}^{-1}$)	201,7	187,7	171,3
2 ^{ème} campagne de mesure			
Condition de remplissage	En mélange		
Potentiel méthane ($\text{Nm}^3_{\text{CH}_4} \cdot \text{T}_{\text{MF}}^{-1}$)	41,6	41,1	36,9
Potentiel méthane ($\text{Nm}^3_{\text{CH}_4} \cdot \text{T}_{\text{MO}}^{-1}$)	225,7	241,4	238,9

Pas d'impact de la présence des potentiels micropolluants sur la digestion anaérobie

Impact sur le production de méthane :

- De la saisonnalité des substrats/*inocula*
- De la capacité tampon de *l'inoculum*
- De la composition de la recette de codigestion
- Du mode de remplissage des réacteurs, mélange ou strate

D'autres paramètres notamment les bilans hydriques sont pris en compte et ne sont pas présentés ici

Synthèse des deux campagnes de mesure

Tonte d'herbe



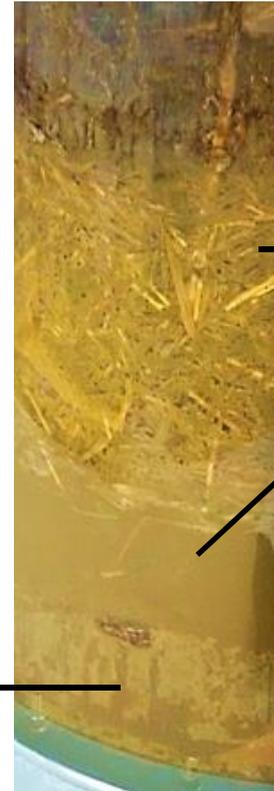
Fumier bovin

Réserve liquide
remplie

Réacteurs en mode « strate »

- La phase liquide est bien drainée au cours du processus
- Bonne percolation
- Bonne recirculation

Mélange
fumier bovin –
tonte d'herbe



Réserve liquide
vide

Rétention de la phase
liquide



Réacteurs en mode « mélange »

- La phase liquide n'est pas bien drainée au cours du processus
- Rétention de la phase liquide
- Mauvaise percolation
- Mauvaise recirculation

Conclusions générales

- Les tests de potentiel méthane permettent d'obtenir la quantité de production maximale de méthane dans des conditions optimales
- Les tests de potentiel méthane devraient **au minimum être réalisés à partir de matière fraîche**
- Les tests en pilote reproduisant les **conditions opératoires du procédé** sont **essentiels** pour obtenir un **bon dimensionnement** de l'unité future et un **bon pilotage** en fonction de la nature du déchet

Conclusions générales

La production de méthane en codigestion voie sèche est associée :

- à la nature du déchet
- à la saisonnalité des déchets et de *l'inoculum*
- à la capacité tampon de *l'inoculum*
- à la recette mise en œuvre
- au mode de mise en œuvre

La production de méthane en codigestion voie sèche

- ne peut être estimée par addition de potentiel méthane effectué en 500 mL
- doit faire l'objet de travaux de R&D
- est un verrou scientifique et technologique

Merci de votre attention

laura.andre@unilasalle.fr

