

Etude de faisabilité de la méthanisation des résidus de culture : mobilisation et digestion anaérobie par voie solide

P. Peu , B. Louchard, J. Buffet

Méthaniser les pailles de céréales



Caractéristiques des pailles

Mise en œuvre
Digestats

?

....

CH_4

Carbone « Labile »

Carbone « stable »



Méthanisation par voie sèche à la ferme de résidus de cultures

- Digestion des résidus de culture / compatible avec une gestion durable de la ressource
- Quelles conditions de mobilisation et de digestion des résidus de culture :
 - Caractérisation des ressources
 - Définir des conditions optimales de digestion anaérobie (Mono-digestion)
 - Liens entre disponibilité de la ressource et retour au sol des digestats
 - Double performance économique et environnementale

Projet de recherche à visée applicative : 1. Prétraitements simples / robustes (broyage)
2. Méthanisation voie solide (Labo/ Solida/ Bois Joly)
3. Définir un modèle technique... si possible

Quelles ressources ?

Et quelles caractéristiques? (20 résidus collectés)



➤ Paille de blé tendre

- **11,4% HR%**; 84,4% MV; 4,2% MM
- **C= 49,3 %**; H= 6,7%, O= 43,2%, **N= 0,7%**; S= 0,1%> (%MS)
- **Cellulose = 47,8%; Hémicellulose = 31,3%; lignine = 7,2% (%MS)**
- **Potentiel méthanogène : 318 NI CH₄/kg MV**



➤ Canne de maïs

- **27,4% HR%**; 63,9% MV; 8,2% MM
- **C= 44,8%**; H= 6,8%, O= 47,2%, **N= 1,1%**; S= 0,1%> (%MS)
- **Cellulose = 37,3%; Hémicellulose = 34,13%; lignine = 11,3% (%MS)**
- **Potentiel méthanogènes : 241 NI CH₄/kg MV**



➤ Paille de colza

- **14,1% HR%**; 78,1% MV; 7,8% MM
- **C= 47,1%**; H= 6,6%, O= 45,0%, N= 0,7%; S= 0,1%> (%MS)
- **Cellulose = 47,8%; Hémicellulose = 31,3%; lignine = 7,2% (%MS)**
- **Potentiel méthanogènes : 231 NI CH₄/kg MV**

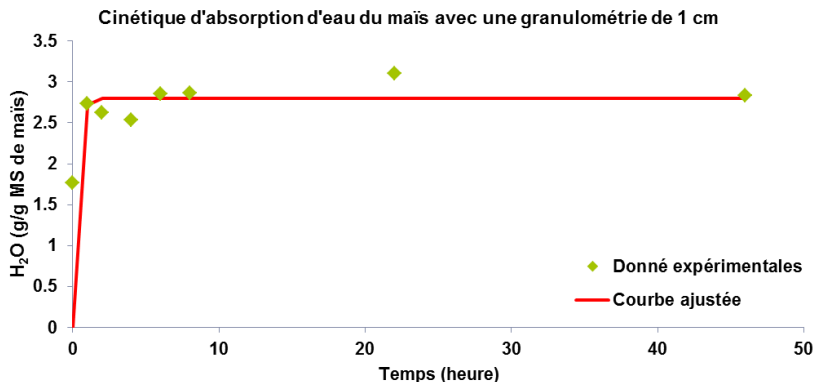
➔ Pailles après récolte # ↗MS/MV, Polysaccharides, ↘N ➔BMP

Des ressources sèches mais pas que !

A forte teneur en matière sèche et avec quelques particularités

Ex. paille de blé

- **Densité faible** : 45 Kg/m³ = vrac; 60 Kg/m³ = bottelée basse densité ; 95 Kg/m³ = pressée moyenne densité ; 155 Kg/m³ = paille pressée haute densité
- **Biodégradabilité lente...**
- Déficit en certains nutriment (**C/N \dot{X} = 60 \pm 15 # 20-30**) / **Pas de pouvoir tampon** (CO₃²⁻)
- **Sans microorganismes** nécessaire à la digestion anaérobie # lisiers, fumiers, boues etc. (**S/I = 0**)



Capacité de rétention d'eau (CRE)

Blé : 88.6 % MS et **3.3 gH₂O/gMS**

Colza : 85.9 % MS et 3.4 gH₂O/gMS

Maïs : 73.6 % MS et 2.8 gH₂O/gMS

Réhydratation qui mobilise beaucoup d'eau
(**eau liée**)

Blé : **23.2 % MS**

Colza : 22.7% MS

Maïs : 26.3 % MS

Un **potentiel biométhanogène intéressant** : 318 NI/KgMV

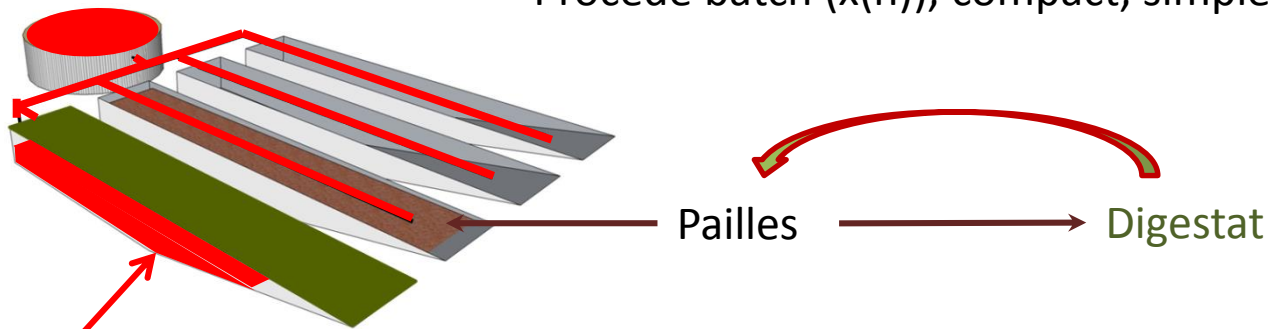
Une **ressource # 20 Mt/an** (utilisée pour l'élevage (10-15 Mt)... mais mobilisation d'une partie possible...)

➔ **Comment les mettre en œuvre et lever ces contraintes?**

Monodigestion = méthanisation solide

Adapté aux substrats à fortes teneurs en MS

Procédé batch (x(n)), compact, simple... mais TSS long etc.



Lixiviat

- Eau (réhydratation) (Parts d'eau nécessaire et liée)
- Nutriments (N...) et pouvoir tampon
- Ensemencement (inoculum) (F/I, type/origine)
- Recyclage...(rééquilibrage entre bâchées)

GAEC du Bois Joly (depuis 2007)

Réacteurs type « silo »

4 réacteurs de 125 m³ = 500m³ (volume utile)

Cogénératrice 30 kW électrique

(Fonctionnement optimal = **240 m³ CH₄/jour**)

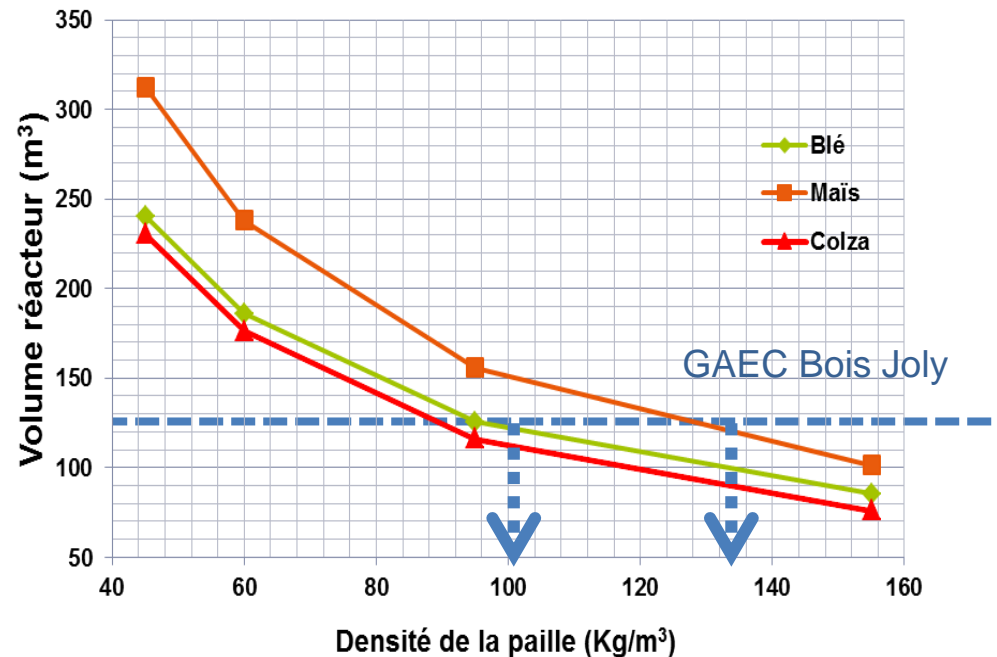


Quelle densité de paille?

Hypothèse : Co-génératrice de 30 kWh à 30 % rdt ($\text{CH}_{4(\text{produit})} = \text{BMP}$)

Quantités de matière fraîche:

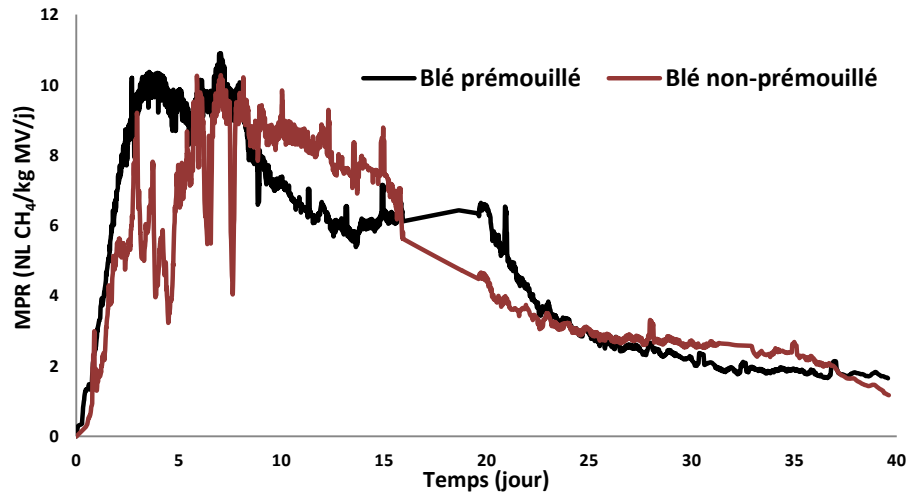
- Blé = 13 tonnes
- Colza = 13 tonnes
- Maïs = 15 tonnes



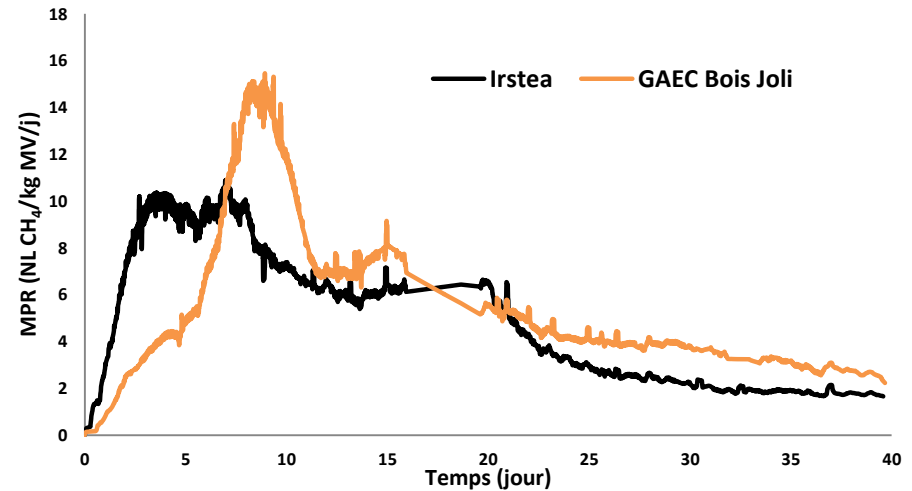
Densités de 100 à 130 kg/m³ ...réalisable...

Impact du prémouillage et de l'inoculum

Production de CH₄ (Blé) vs. pré-mouillé ou non



Production de CH₄ (Blé) vs. innocula



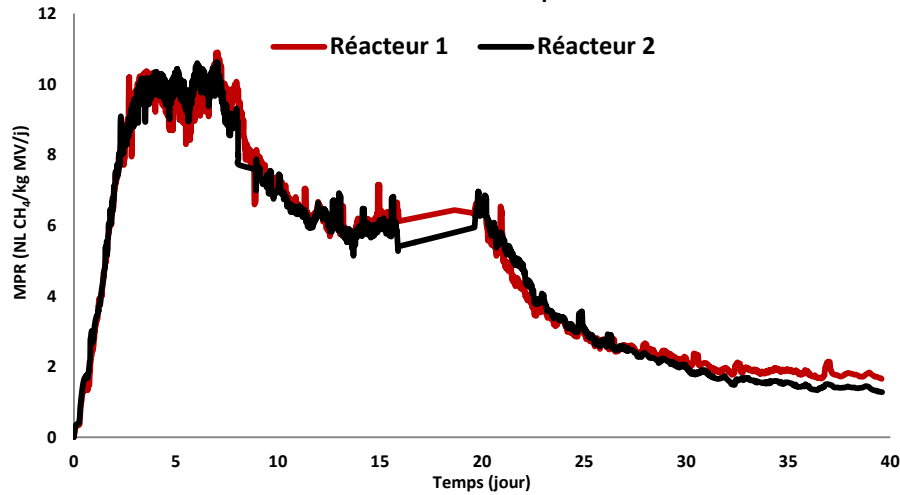
Réacteur	prémouillés		non-prémouillé	Ino GBJ
Nm ³ CH ₄ /t MV de paille	203	194	187	231
%BMP	64%	61%	59%	73%

- Pas de mise en contact substrat/inoculum préalable = production instable
- Profil de la production de CH₄ dépendant de la nature de l'inoculum

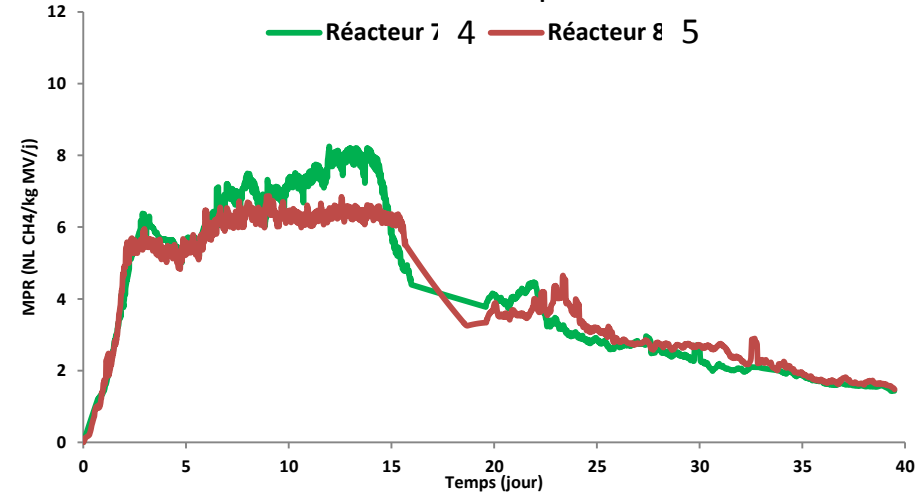
Impact des résidus de culture utilisés

Mise en œuvre des résidus de culture, des cinétiques propres...

Production de CH₄ du blé



Production de CH₄ du maïs

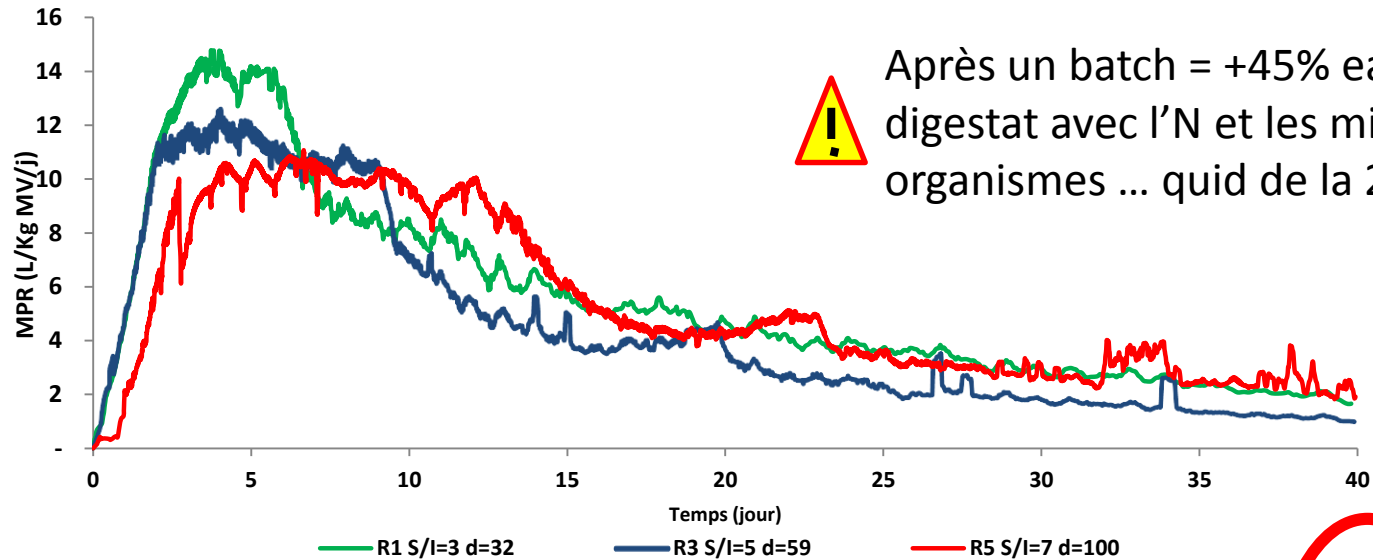


Réacteur	1	2	4	5
Nm ³ CH ₄ /t MV de paille	203	194	166	163
%BMP	64%	61%	69%	68%

➔ Des cinétiques propres à chaque type de résidus de culture mais cinétique lente (40J = 61-69 % BMP)

Impact des ratios substrat/inoculum (S/I)

Production de CH₄ (Blé) vs. S/I

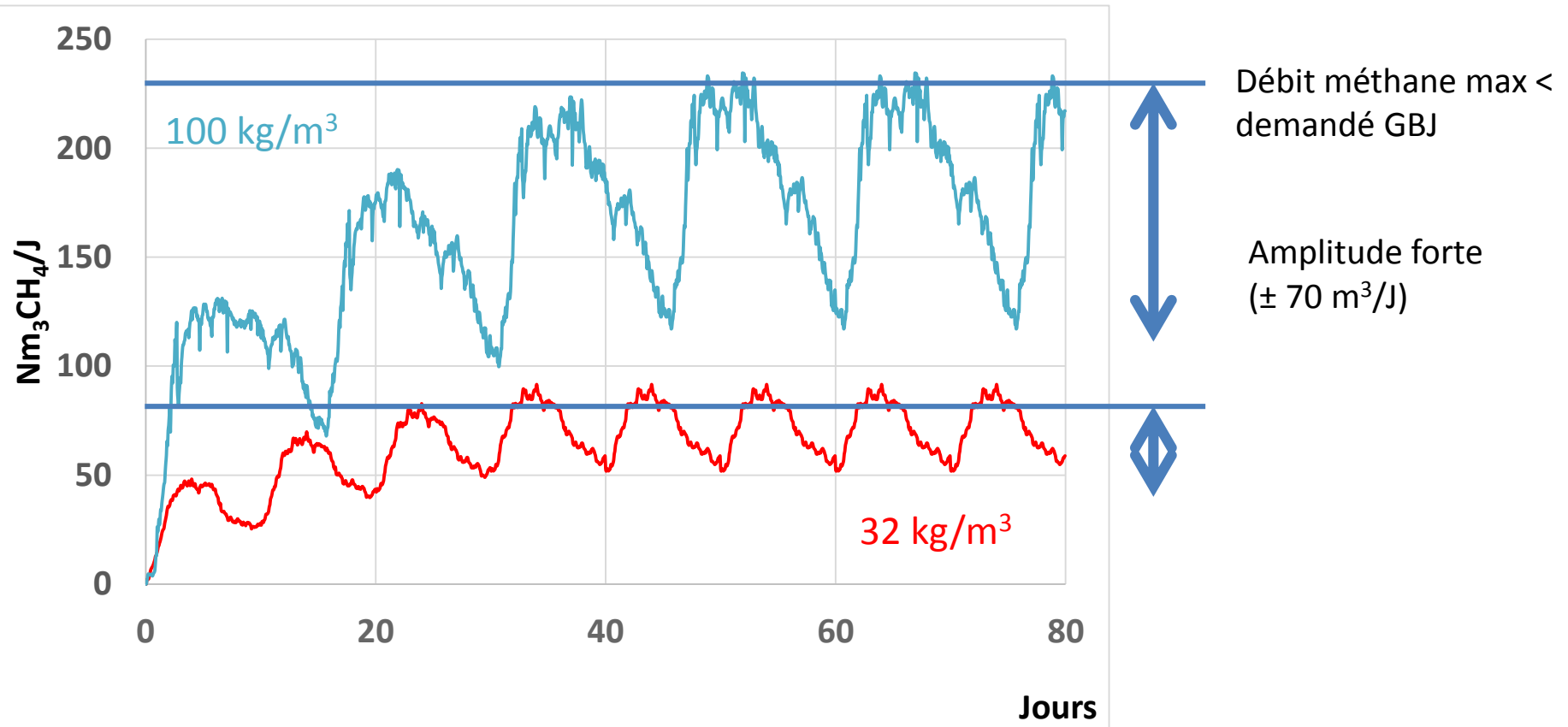


Réacteur	1	2	3	4	5
Production CH ₄ (Nm ³ /t MV)	217	192	177	207	209
%BMP	68%	60%	56%	65%	66%
Nm ³ CH ₄ /m ³ utiles réacteur	80	94	110	161	209

- S/I ou la quantité de micro-organismes présents dans le lixiviat impacte le rendement et la cinétique.
- Afin d'avoir le rendement le plus élevé, le plus intéressant est de d'avoir une charge importante avec un S/I élevé pour minimiser les apports de micro-organismes

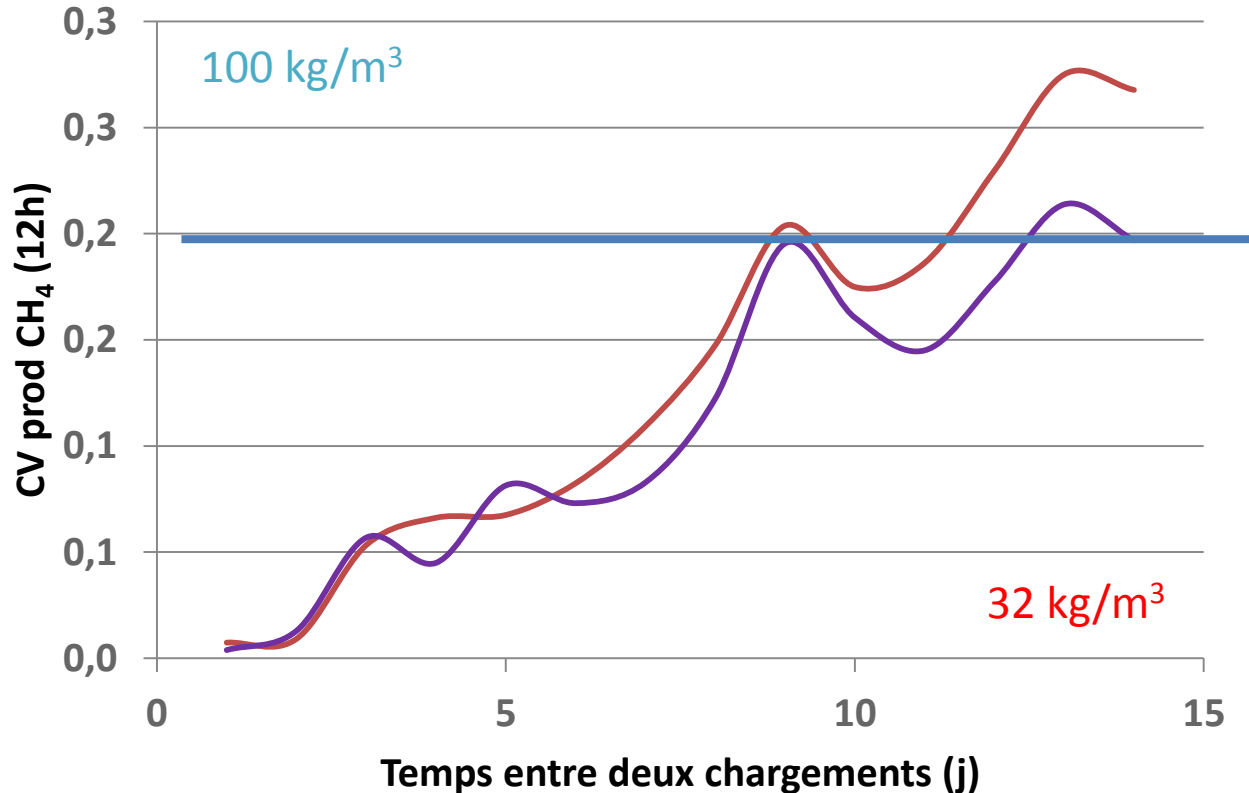
Cinétiques et simulation de fonctionnement

Cinétiques de production = 4 réacteurs/15 J (60j TSS)



Cinétiques et simulation de fonctionnement

Cinétiques de production = amplitude journalière



Cinétiques de production qui sont fonction de la durée du Batch et du nombre de réacteur en parallèles

→ Si l'on veut réduire l'amplitude (<20%) du débit de production de méthane
→ 100 kg/m³, Chargement 13 J, si 4 réacteurs TSS 52 J, si 2, 26 J etc.

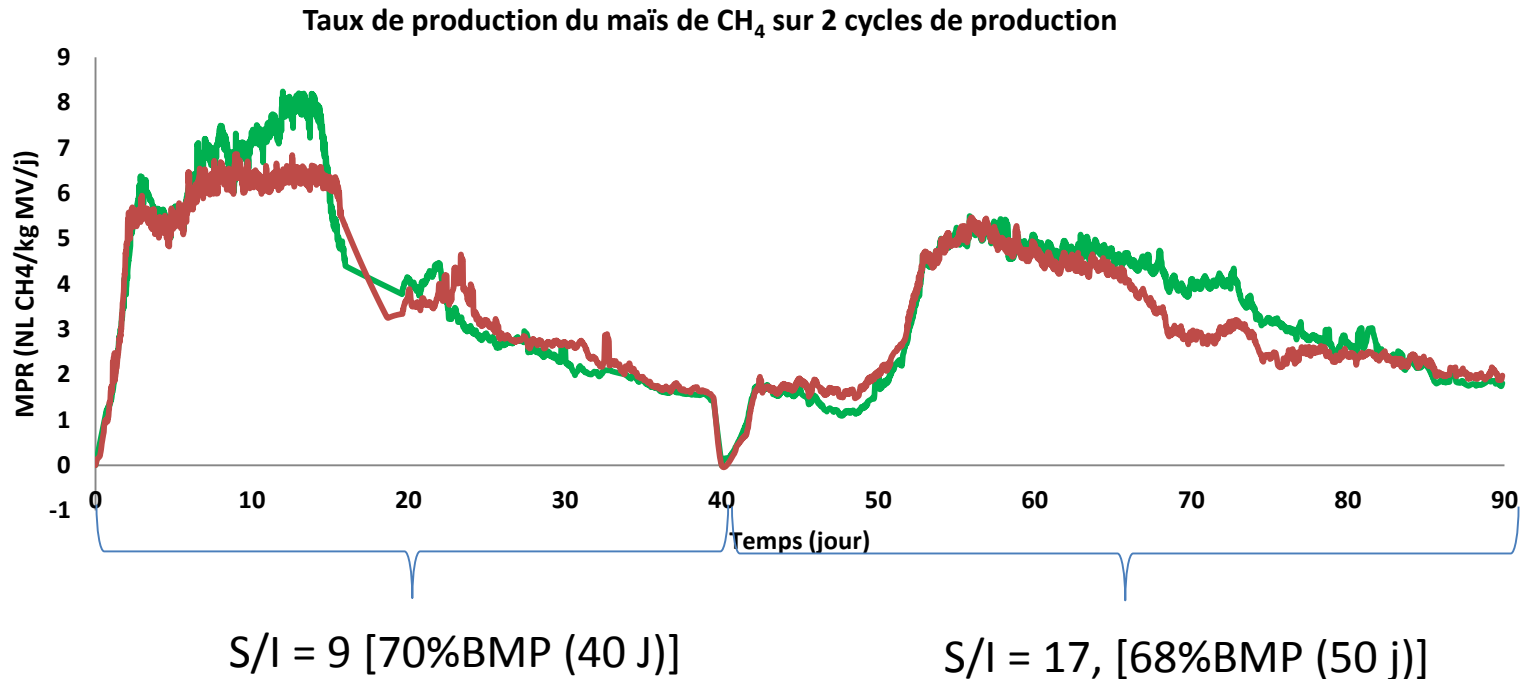
Essai sur plusieurs cycles

2eme cycle: nouveau batch avec le lixiviat issu du 1er batch

- Lixiviats complétés avec : de l'eau pour rétablir les mêmes volumes, du NH_4HCO_3 pour apporter azote et pouvoir tampon (rétablir les paramètres du lixiviat d'origine)

Essai sur plusieurs cycles

2^{ème} cycle: nouveau batch avec le lixiviat issu du 1^{er} batch



- ➔ Accumulation d'AGV dans les réacteurs (blé/colza) aboutissant à un échec du procédé (pouvoir tampon consommé) sauf pour le maïs
- ➔ Ratio S/I trop élevé pour réaliser un second cycle...

Conclusions

- Substrats secs, pas équilibrés (C/N...), pas de tampon, pas de microorganismes, BMP intéressants
- Référence = GBJ 30 kWh = 100 kg/m³
- Cinétiques de dégradation spécifiques (70% BMP, 40 j),
- 45 % d'eau piégée dans les digestats
- Difficile de faire plusieurs cycles à suivre car manque de micro-organismes...Apporter de l'eau et des micro-organismes... (lisiers, boues ou recyclage des digestats (Ok pour les micro-organismes mais l'eau ?))

Merci pour votre attention

