

# Utilisation de la paille de blé dans la filière de méthanisation, impact des prétraitements

Christine Peyrelasse\*; Pascal Peu\*

\* Correspondants : [christine.peyrelasse@apesa.fr](mailto:christine.peyrelasse@apesa.fr) , [pascal.peu@irstea.fr](mailto:pascal.peu@irstea.fr)

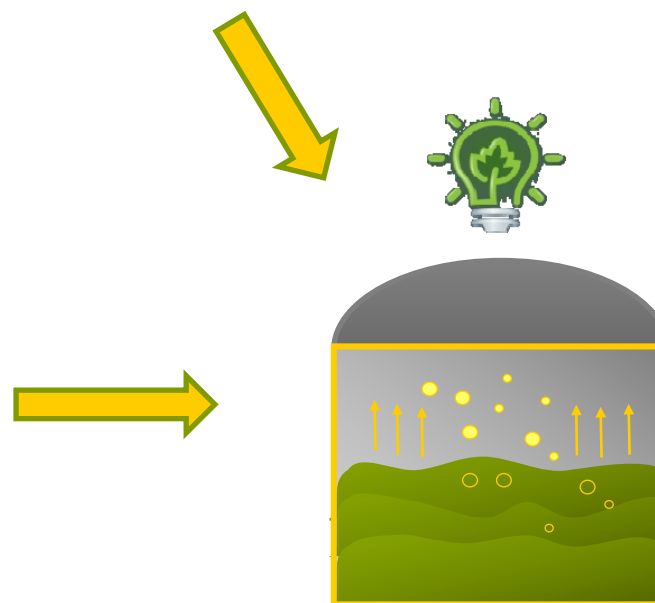
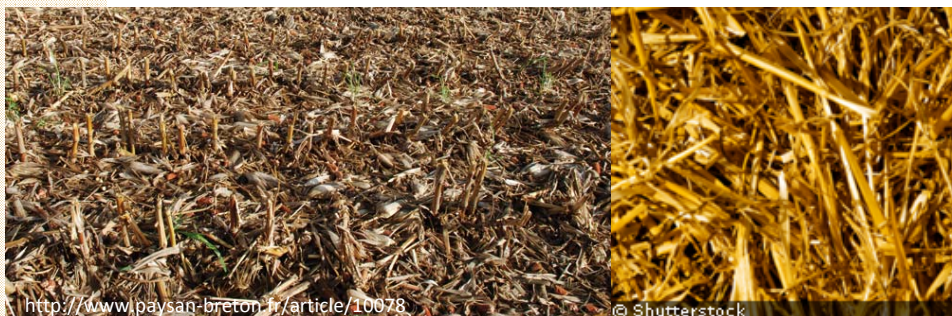
## Contexte

La production de biogaz à partir des résidus de cultures:  
Une option intéressante pour répondre aux besoins de fournitures de  
substrats de la filière agricole



<http://www.volticulteurs.fr/methanisation/avantages-methanisation-agricole.html>

Déchets lignocellulosiques (pailles)  
un substrat potentiel important



## Prétraitements

Résidus de culture : haute teneur en lignocellulose

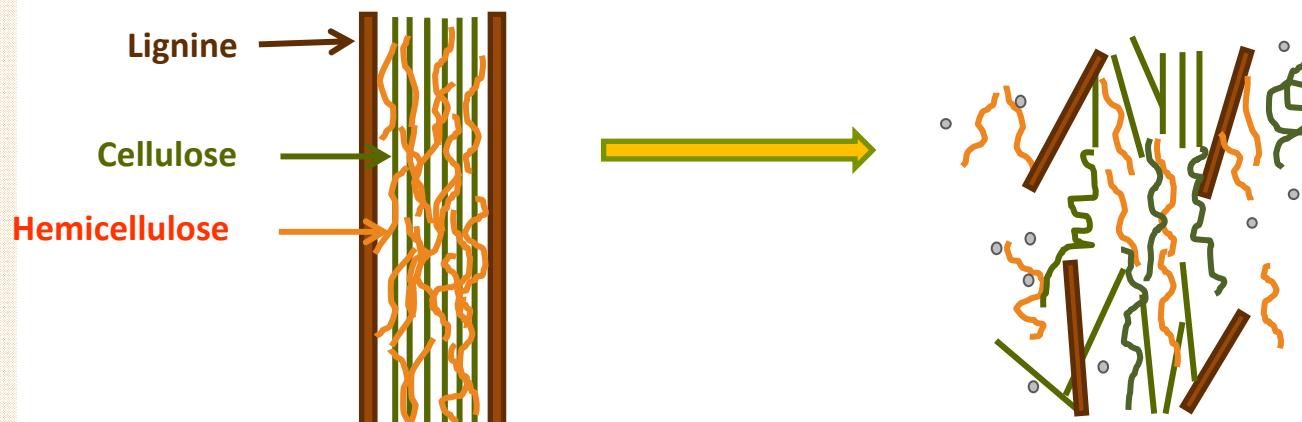


Limitation de la bioconversion anaérobie des pailles

**Augmenter la digestibilité des substrats lignocellulosiques**



### Prétraitements



Afin d'augmenter la conversion en biogaz, la biomasse lignocellulosique doit être prétraitée afin d'exposer ces constituants à l'attaque enzymatique ensuite

## Prétraitements

Résidus de culture : haute teneur en lignocellulose



Limitation de la bioconversion anaérobie des pailles

**Augmenter la digestibilité des substrats lignocellulosiques**



### Prétraitements



#### Chimique ou physique

Réduction de taille  
Traitements acides, alkalis  
Solvents ou oxydants  
Vapeur...



#### Biologique

Enzymes microbiennes  
Microorganismes





biogaz méthanisation



# Intérêt du recyclage de la soude dans le prétraitement de la paille de blé à méthaniser

Christine Peyrelasse\*

C.Lagnet, P.Pouech

\* Correspondant pour la publication : [christine.peyrelasse@apesa.fr](mailto:christine.peyrelasse@apesa.fr), +33 (0)6 03 33 63 02



## Contexte / objectif



Paille de blé non broyée



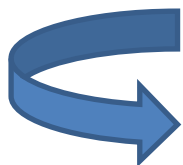
**Prétraitement  
thermo-alcalin**

17 % NaOH – 90°C – 1h  
48 g PB/L



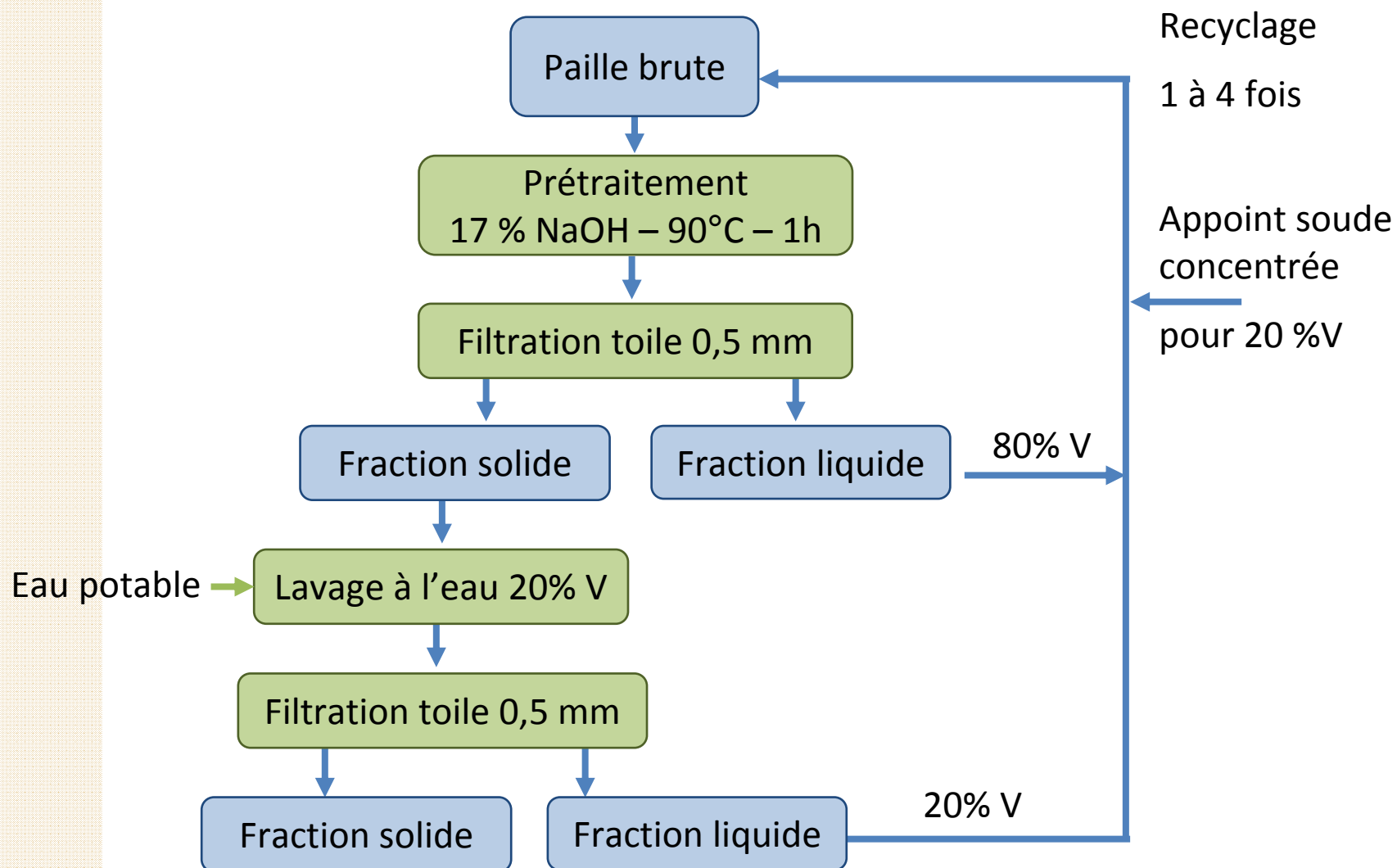
Méthanisation  
Mesure par BMP

| Bilan du prétraitement  |   |
|---|---|
| +   | -   |
| Augmentation des productions de méthane<br>Augmentation des cinétiques de dégradation | Consommation d'énergie, de soude et d'eau |

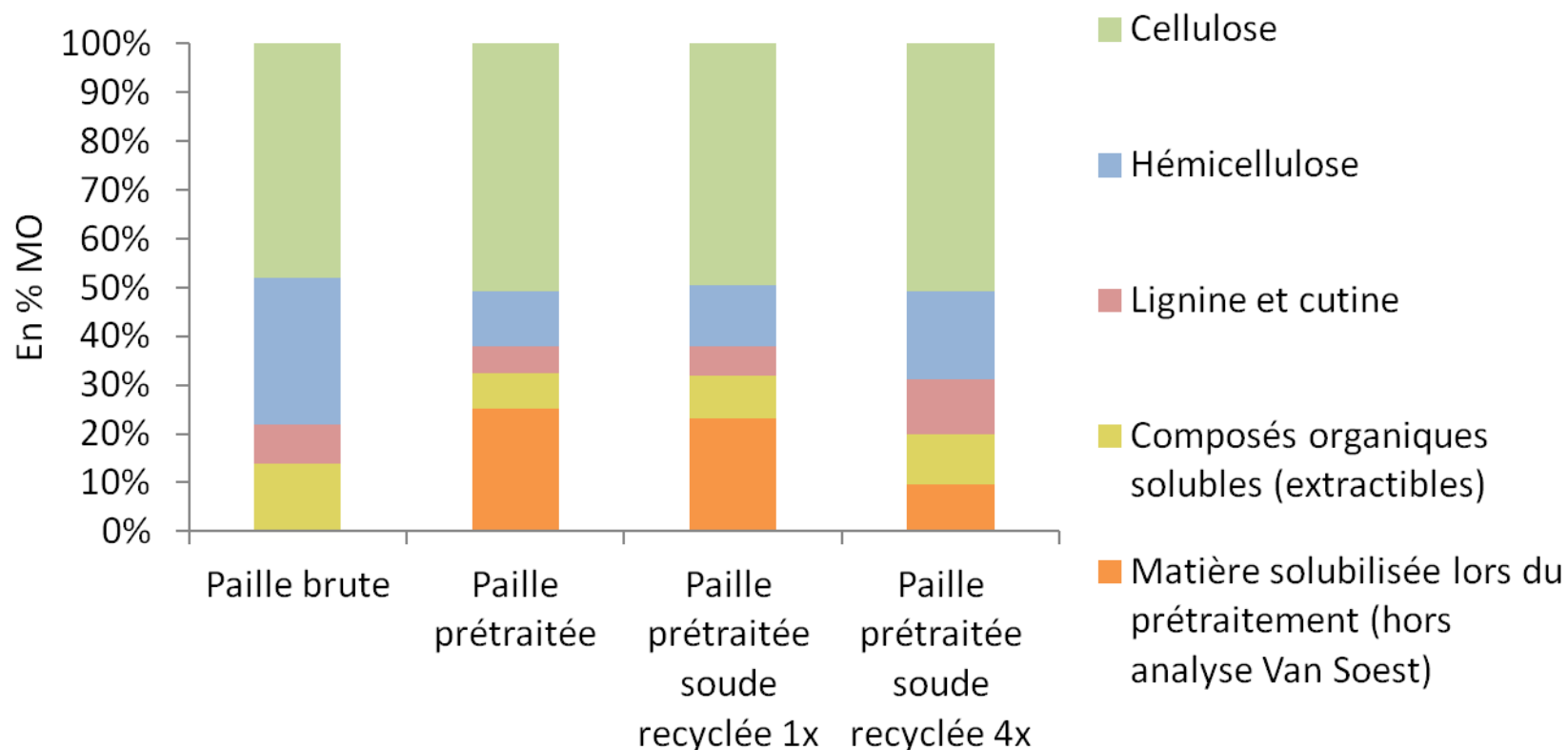


Essais de recyclage de la solution de soude pour réduire le coût du prétraitement

# Méthodologie du recyclage de la soude



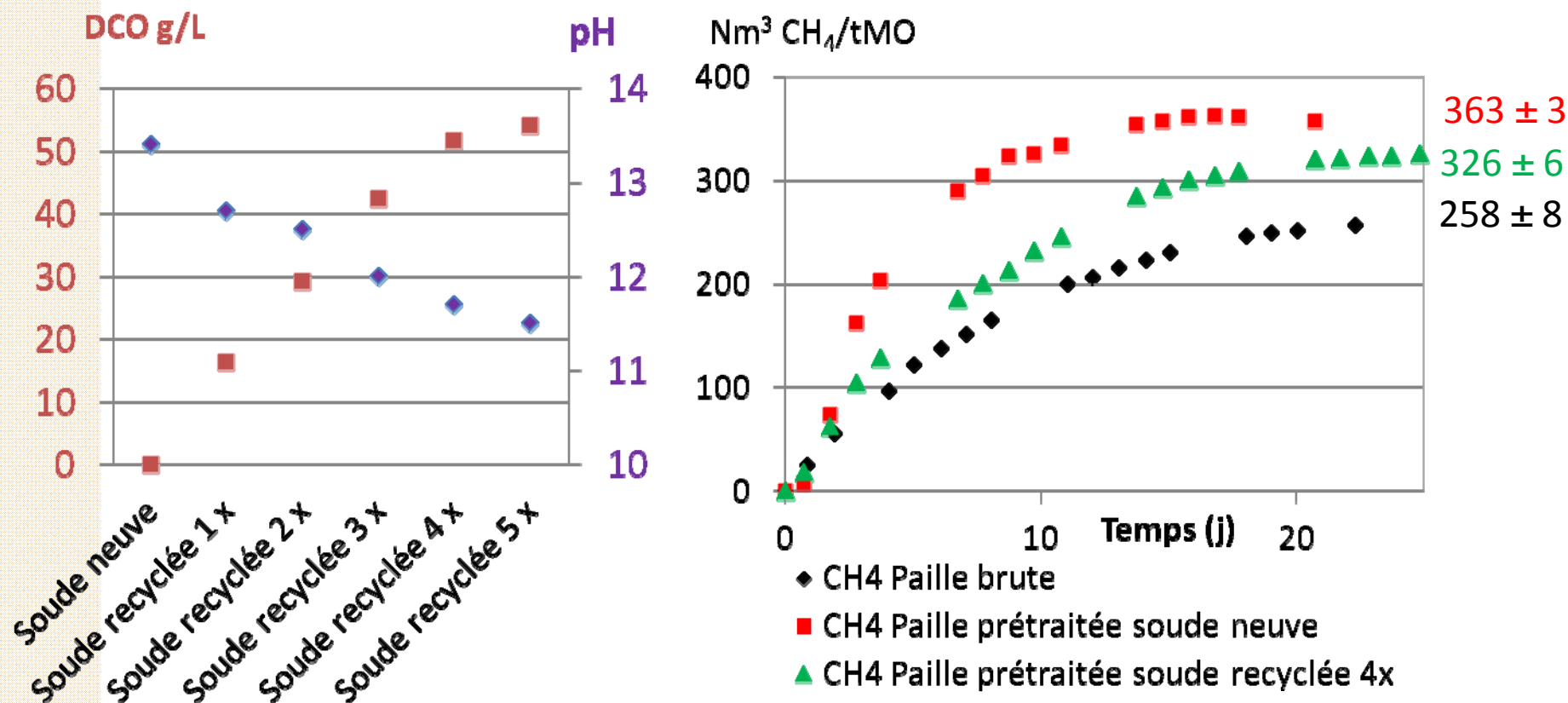
## Composition biochimique de la paille brute et prétraitée



**L'efficacité du prétraitement diminue avec le nombre de recyclages**



## Impact des recyclages



- Le prétraitement améliore de 40% la production de méthane et accélère la cinétique de 40% (soude neuve)
- Le recyclage de la soude (4 cycles) :
  - améliore de 26% la production de méthane.
  - Plus d'impact positif sur la cinétique de biodégradation

## Pré-étude économique

### Hypothèses de calculs

*(adapté de la méthodologie de Sambusiti et al., 2013, Applied Energy, 104)*

- ✓ Soude : 558 €/tonne granulé (tarif 2015)
- ✓ PCI = 9,96 kWh/m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>, Chaleur (45% NRJ), Electricité (40% NRJ)
- ✓ PCS = 10,8 kWh/m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>
- ✓ Gain électrique : 0,18 €/kWh (cogénération), 0,11 €/kWh (injection)
- ✓ Chaleur nécessaire au prétraitement = Q (kJ/t MO paille) = Cp x m x Δt
- ✓ Ne sont pas comptabilisés les coûts personnels, l'amortissement du matériel de prétraitement et les coûts électriques liés (pompe, tamis ...)

### Bilan économique cogénération:

- ⇒ défavorable sans recyclage : - 35 €/t MO (déficit chaleur)
- ⇒ favorable avec recyclage : + 35 €/t MO (déficit chaleur)



Doubler le ratio solide/liquide (100 g PB/L): bilan chaleur positif

Etude bio injection : + 28 €/t MO

*(ratio 100 g PB/L, recyclage soude, achat chaleur externe 6 c€/kwh)*

## Conclusion

**Pour la paille de blé testée, le prétraitement à la soude permet d'augmenter de 40% la production de biométhane et sa cinétique  
Les conditions de faisabilité sont à analyser en fonction des conditions économiques existantes**



- Le recyclage de soude permet de maintenir une augmentation de la production de méthane de 26% après 4 cycles de recyclage mais annule un bénéfice important sur l'augmentation des cinétiques
- Le bilan économique du prétraitement avec/sans recyclage peut être amélioré :
  - réduction des quantités de liquide et soude appliquées
  - réduction de la température (70°C) et de la granulométrie de la paille traitée (10 mm) → conditions de l'hygiénisation
- L'impact de ces prétraitements doit être mesuré sur des substrats réels par exemple des fumiers (travaux en cours)



biogaz méthanisation

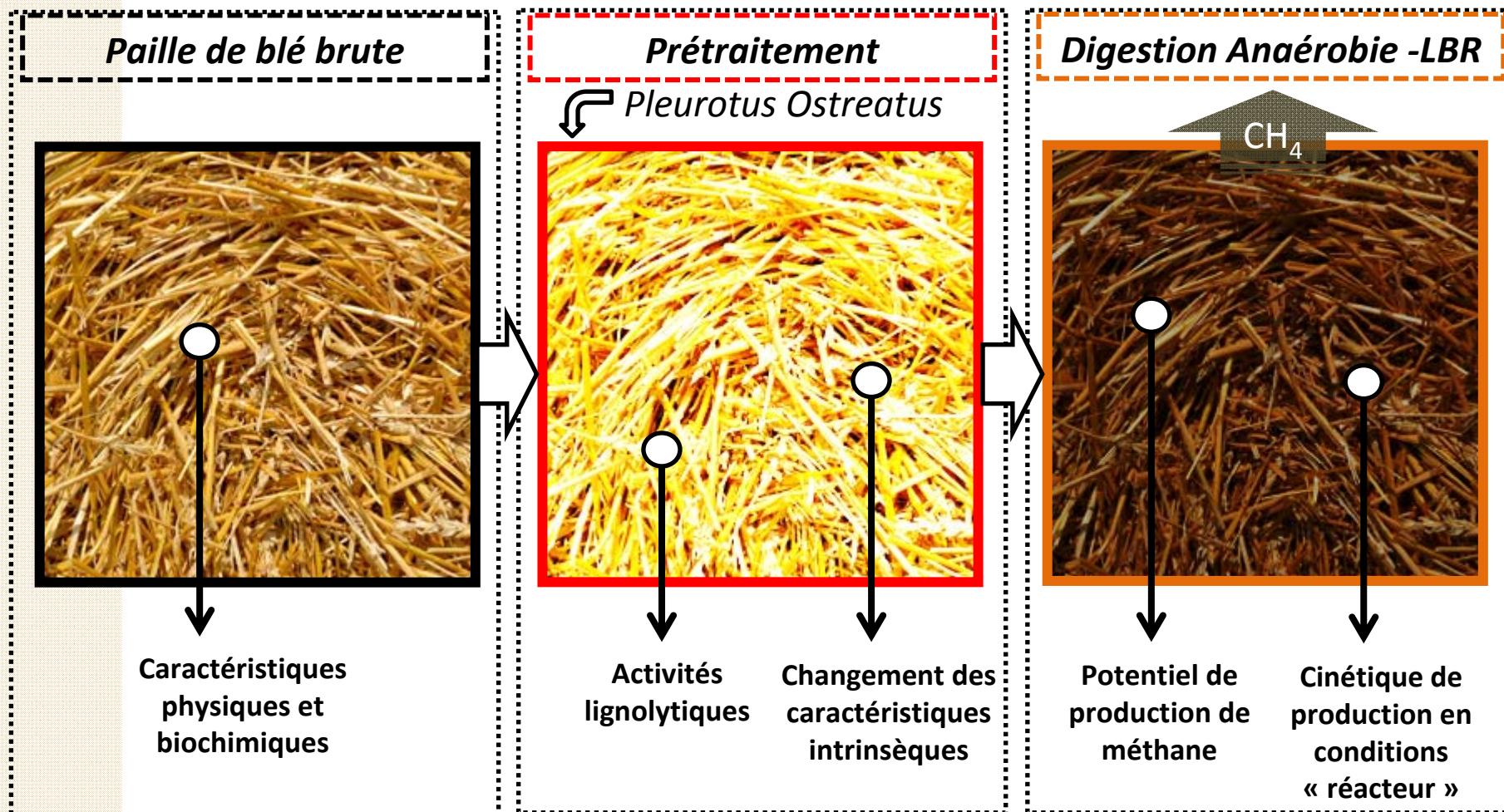


# Prétraitement fongique de paille de blé pour une valorisation dans la filière de méthanisation

Angélique Cocaïgn, Pascal Peu\*,  
Anne-Marie Pourcher, Valérie  
Vasseur, Julie Buffet



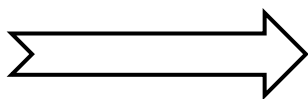






**Pré-culture  
milieu optimisé**  
2 semaines

**Ensemencement paille :**  
Mycélium *P. ostreatus* +  
enzymes milieu  
(3 fioles)

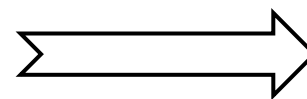


Mesures  
d'activités  
enzymatiques



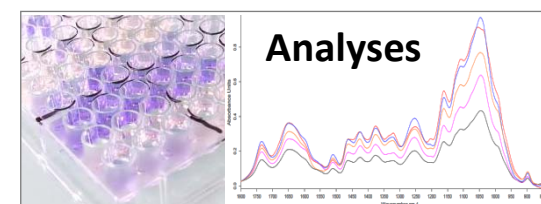
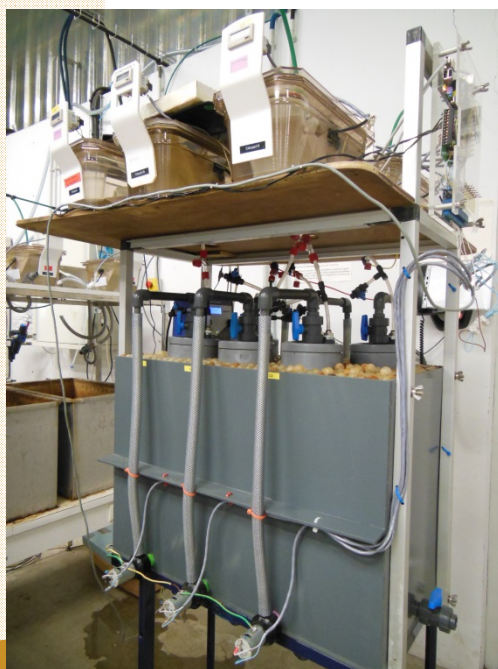
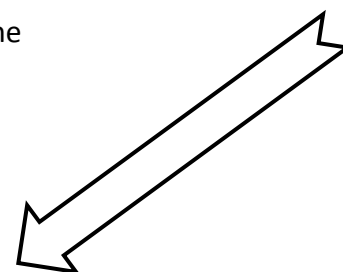
SacO2 : 250 g paille de blé sèche

**Pré-traitement fongique :**  
0, 4, 9, 14 semaines  
n=3



## Méthanisation par voie sèche

- ✓ Pilotes LBR  
3 cellules = paille pré-traitée  
3 cellules = paille témoin non inoculée
- ✓ Recirculation du lixiviat  
(digestat)
- ✓ Cinétique de production de biogaz  
(CO<sub>2</sub> + méthane)



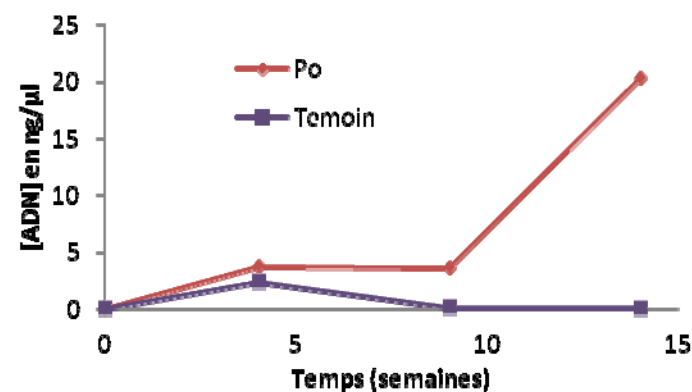
- ✓ Dégradation de la lignine
- ✓ Activités lignocellulosiques  
(laccase, MnP, LiP, cellulase, xylanase)
- ✓ Croissance fongique (qPCR)



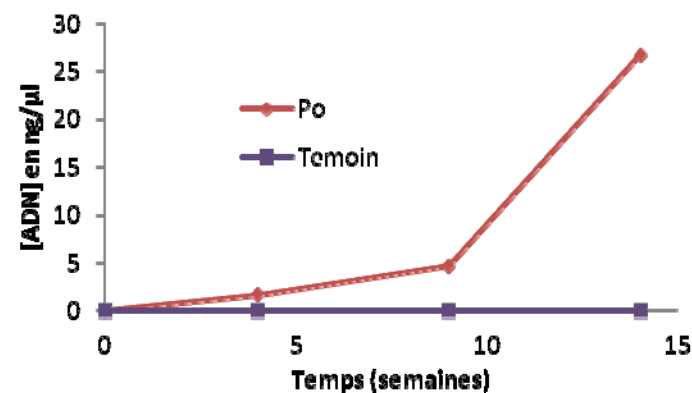
## Paille de blé après 9 semaines de culture



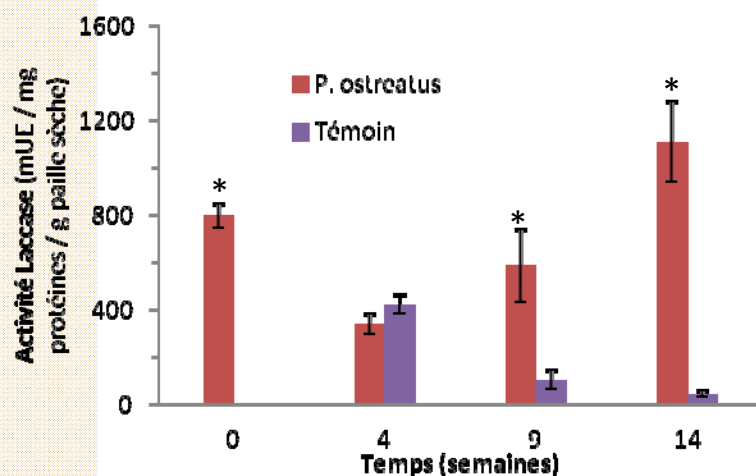
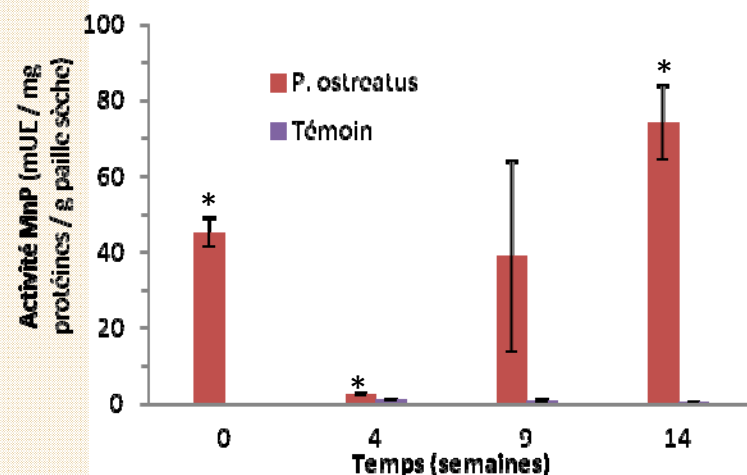
### qPCR basidiomycètes



### qPCR *P. ostreatus* ITS1



## Activités lignolytiques



### ✓ Manganèse peroxydase (MnP)

- Perte de l'activité initiale pour les pailles inoculées par *P. ostreatus*
- Reprise après 9 semaines de culture
- Activité toujours supérieure à celle détectée dans la condition « témoin »

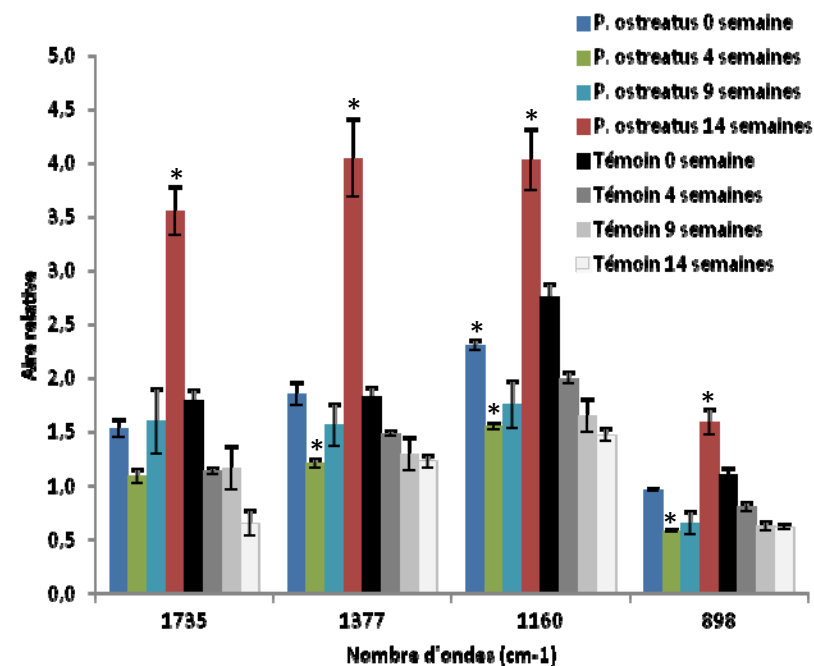
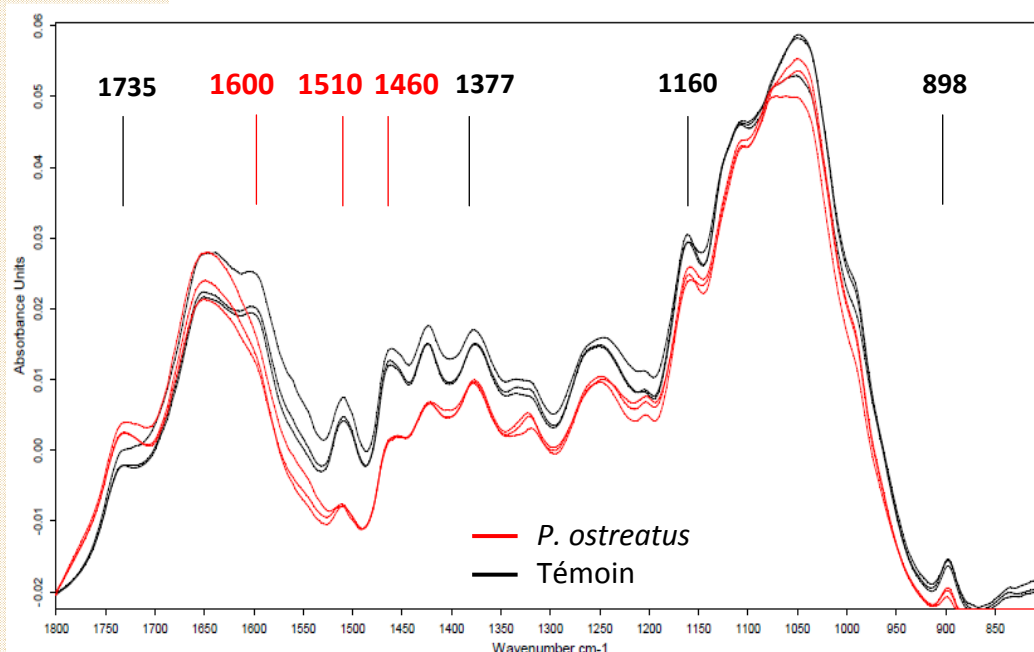
### ✓ Laccase

- Perte de l'activité initiale pour les pailles inoculées par *P. ostreatus*
- Reprise après 9 semaines de culture
- Activité laccase supérieure à celle détectée dans la condition « témoin » à 9 et 14 semaines

\*  $p < 0.05$ , test t de Student comparé à la condition « témoin » au même temps,  $n=3$



## Spectres IRTF à 14 semaines



\*  $p < 0.05$ , test t de Student comparé à la condition « témoin » au même temps,  $n=3$

### ✓ Spectres :

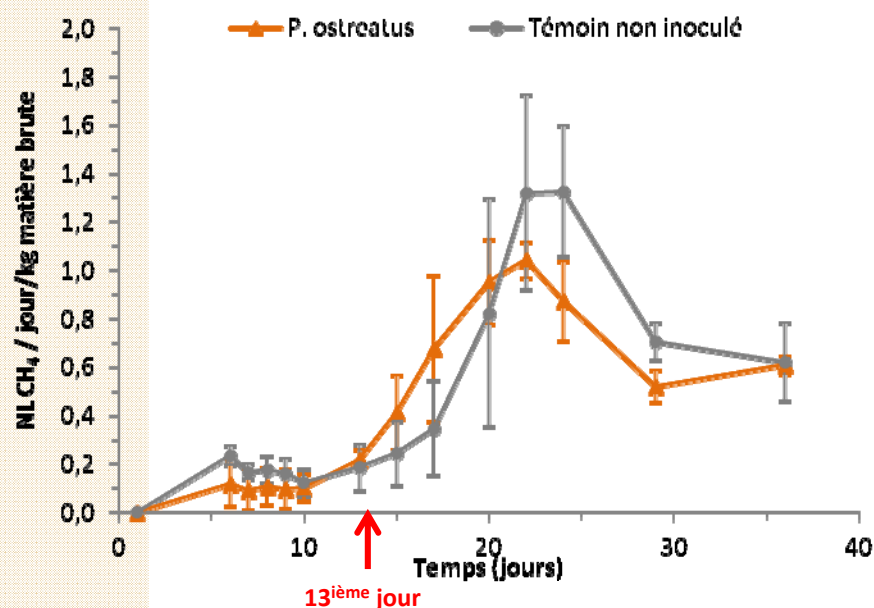
- Aucun changement au niveau des bandes correspondants aux carbohydrates (1735, 1377, 1160 et 898  $\text{cm}^{-1}$ )
- **Fortes variations au niveau des bandes spectrales liées à la présence de lignine** (1462, 1510 et 1600  $\text{cm}^{-1}$ )

### ✓ Normalisation = ratio carbohydrates/lignine :

- Condition « témoin » : diminution des aires relatives au cours du temps → dégradation des carbohydrates
- Condition « *P. ostreatus* » : diminution puis augmentation des aires relatives → **dégradation des carbohydrates puis de la lignine?**

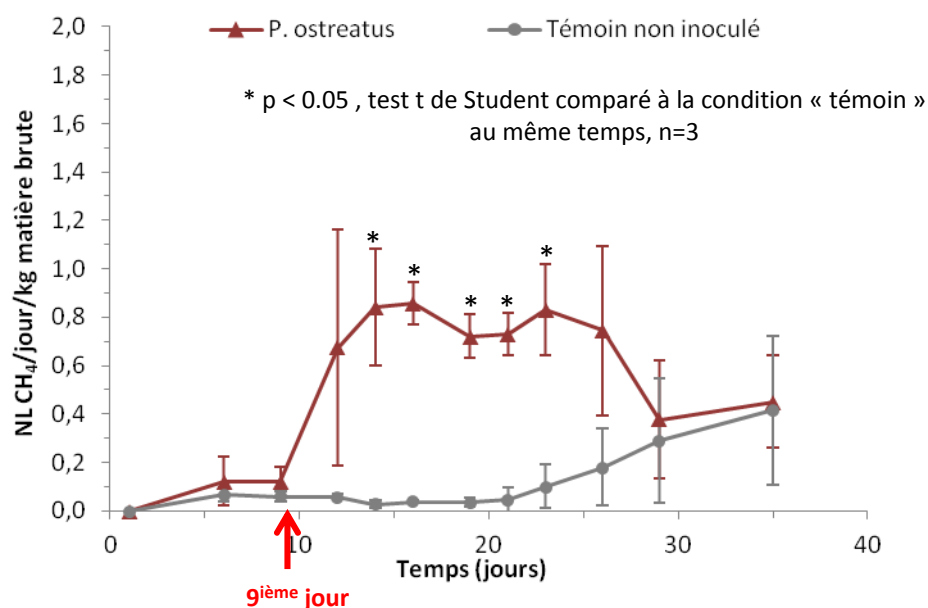
## Pré-traitement de 4 semaines

Volume moyen de CH<sub>4</sub> produit par jour



## Pré-traitement de 9 semaines

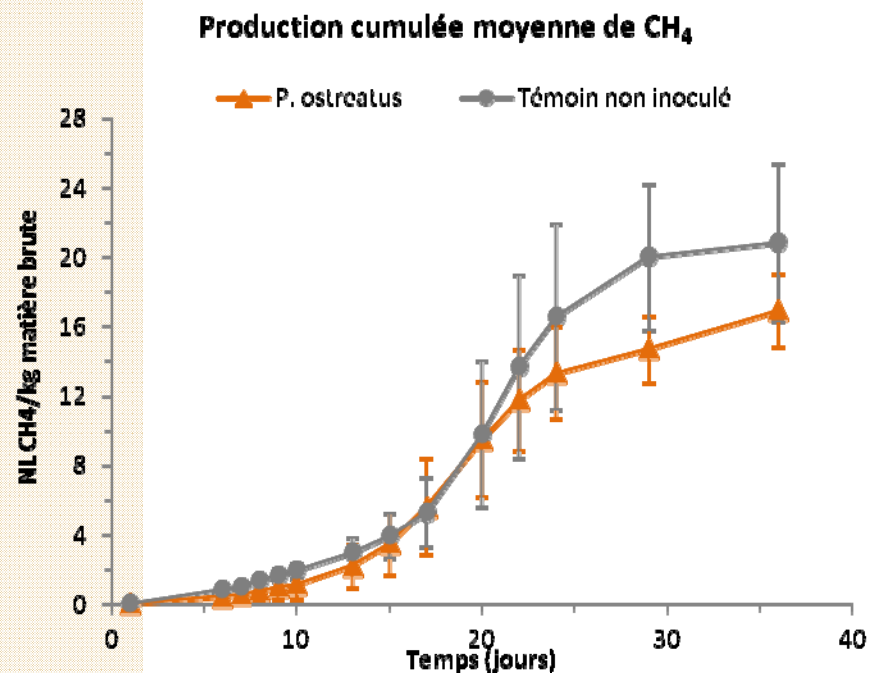
Volume moyen de CH<sub>4</sub> produit par jour



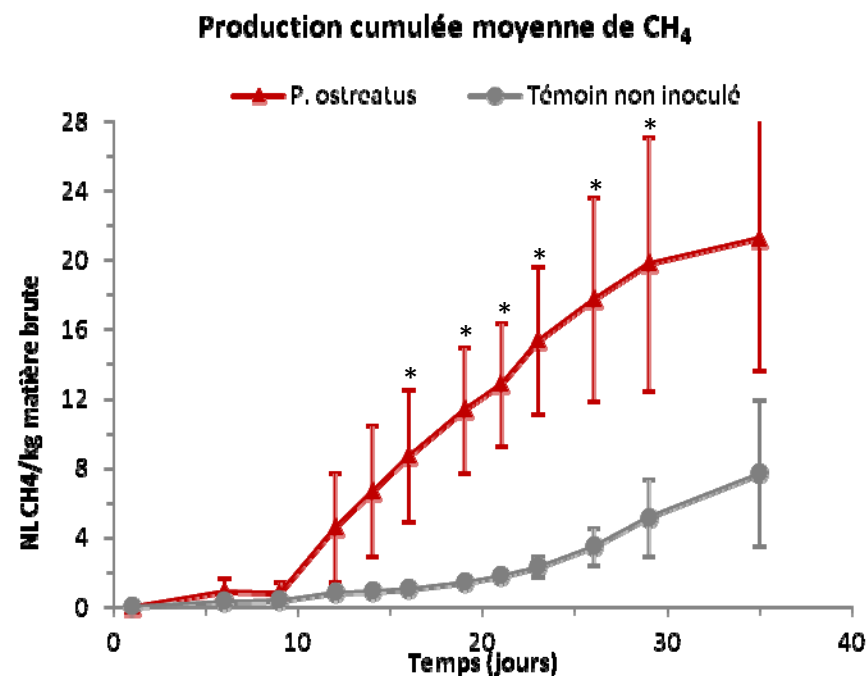
### ✓ Production moyenne de méthane par jour :

- Pré-traitement de 4 semaines : pas de différence entre traité et non traité
- Pré-traitement de 9 semaines :
  - Différence significative entre les deux conditions (traité 18-28x plus élevé)
  - Production globale moins importante que pour la manip 1 (~ 1.5 fois moins)
  - Début de production plus précoce

Pré-traitement de 4 semaines



Pré-traitement de 9 semaines



\*  $p < 0.05$ , test t de Student comparé à la condition « témoin » au même temps,  $n=3$

# Recouvrement du BMP (production cumulée)

|   | BMP                             | BMP <sup>a</sup> exprimé (9 d) | BMP exprimé (19 d) | BMP exprimé (35 d) |
|---|---------------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|
|   | $\text{N}_\text{L}/\text{KgVS}$ | %                              | %                  | %                  |
| Prétraitement 4 semaines<br>(Pleurotus )  | 264 ± 28                        | 3                              | 21                 | 34                 |
| Prétraitement 9 semaines<br>(Pleurotus )  | 208 ± 27                        | 2                              | 28                 | 52                 |
| Prétraitement 14 semaines<br>(Pleurotus ) | 232 ± 39                        | 1                              | 1                  | 2                  |
| Control 4 semaines                        | 268 ± 30                        | 2                              | 17                 | 35                 |
| Control 9 semaines                        | 229 ± 25                        | 1                              | 3                  | 16                 |
| Control 14 semaines                       | 224 ± 18                        | 3                              | 12                 | 32                 |

- ✓ **BMP paille non prétraitée : 320  $\text{N}_\text{L}\text{CH}_4/\text{kgVS}$**
- ✓ **9 semaines de prétraitement avec Pleurotus augmente la part du BMP retrouvé en condition de méthanisation sur 35 J**
- ✓ **Les prétraitements avec ou sans champignon diminuent le BMP**



- ✓ **Croissance fongique sur paille de blé non stérile**
  - Croissance de *P. ostreatus* dès 4 semaines
- ✓ **Production d'enzymes lignolytiques et cellulolytiques**
  - Même schéma pour les quatre enzymes quantifiées : reprise de la production après 9 semaines de culture → Temps d'adaptation du champignon ?
  - Les 4 activités sont supérieures à celle détectée dans la condition « témoin » dès 9 semaines de culture
- ✓ **Dégradation de la lignine**
  - Dégradation de la lignine visible nettement à 14 semaines
- ✓ **Production de biogaz**
  - Amélioration de la production de méthane après 9 semaines de pré-traitement  
MAIS ...

*Merci pour votre attention  
Questions?*



**CONTACTS APESA :**

**Philippe POUECH**

Responsable Pôle Technologies

Mobile : +33 (0)6 19 14 44 96

[philippe.pouech@apesa.fr](mailto:philippe.pouech@apesa.fr)

**Christine PEYRELASSE**

Mobile : +33 (0)6 03 33 63 02

[christine.peyrelasse@apesa.fr](mailto:christine.peyrelasse@apesa.fr)

[www.apesa.fr](http://www.apesa.fr)



**CONTACTS IRSTEA:**

**Pascal PEU**

Ingénieur de Recherche

[Pascal.peu@irstea.fr](mailto:Pascal.peu@irstea.fr)

[www.irstea.fr](http://www.irstea.fr)

