

---

3 novembre 2011 – OFEN

Journée pour la recherche sur la biomasse en Suisse

# **Optimisation des tests standardisés de production de biogaz (BMP)**

**Christof Holliger** - EPFL ENAC IIE LBE

Marc Deront, Jean-Pierre Kradolfer - EPFL ENAC IIE LBE

**Nathalie Bachmann**, Yves Membrez - EREP SA

Arthur Wellinger - NovaEnergie GmbH

Hélène Fruteau de Laclos - Assistance méthanisation

# Contexte

## A quoi servent les tests BMP ?



Estimer la quantité de  
biogaz produit à partir  
d'un substrat

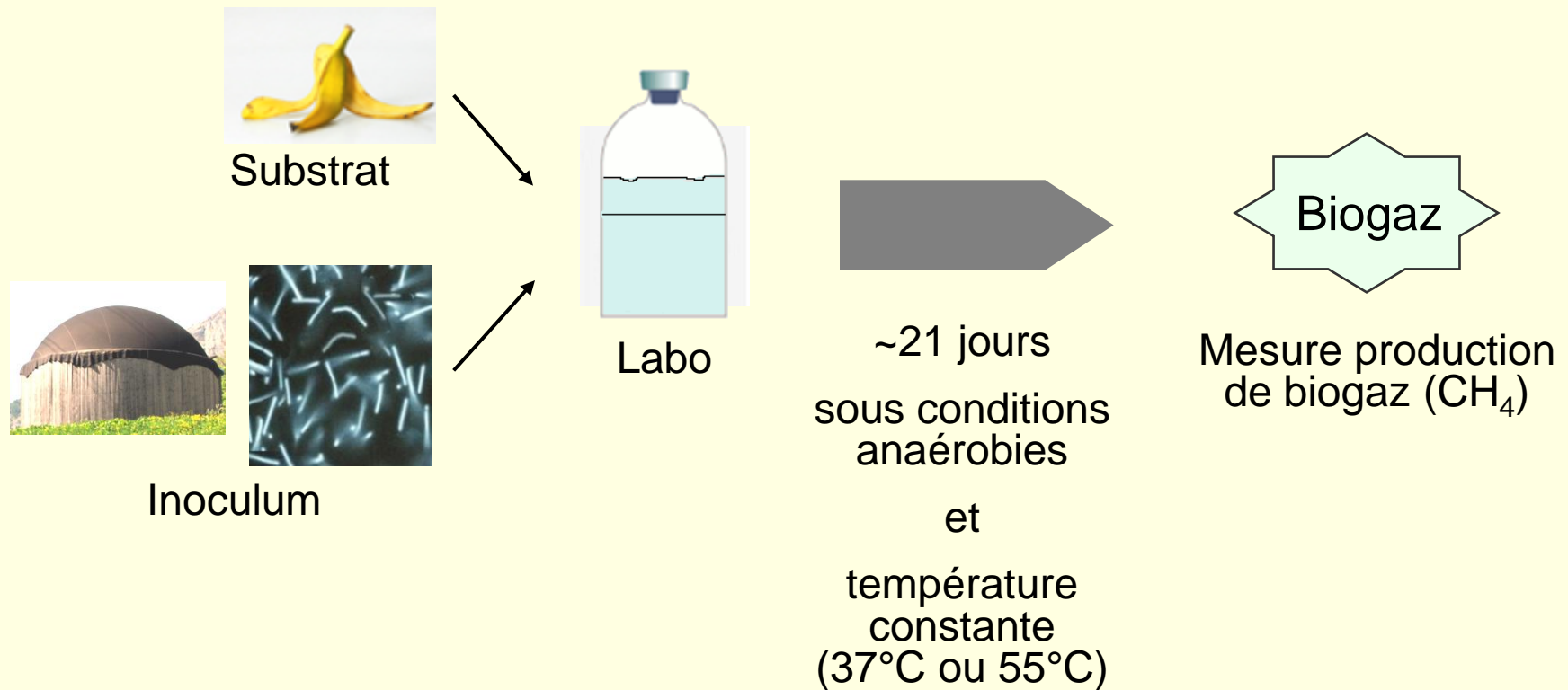
### Planification d'installations

- Dimensionnement
- Calcul de rentabilité

### Exploitation d'installations

- Changement substrats
- Agrandissements

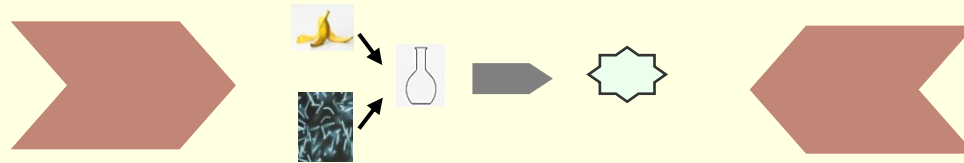
# Comment fonctionnent-ils ?



# Problématique

---

Le résultat d'un test BMP est influencé par la démarche du test (manipulations, conditions, techniques):



- ***Différents résultats selon la démarche***
- ***Sur- ou sous-estimation de la production de biogaz***
- ***Planification et exploitation non optimale d'installations de biogaz***

# Objectifs

---

## ***Globaux:***

- Meilleure estimation de la production de biogaz à partir d'un substrat avec les tests BMP
- Optimisation du fonctionnement des installations de biogaz à travers une meilleure planification

## ***Spécifiques:***

- Détermination des sources de variation du résultat  
--> analyse des paramètres d'influence
- Elaboration d'un protocole de test  
--> approcher au mieux la production de biogaz sous conditions réelles

# Recherche bibliographique et internet

---

- **Protocoles normés de test BMP**

- *Diversité : DIN, ISO (2), ASTM (2), VDI*
- *Méthodes de test BMP différentes*
- *utilisé par les laboratoires offrant des tests BMP, mais toujours un peu adapté selon expérience propre*

- **Publications**

- *Peu de résultats récents (mi-juillet 2010)*

- **Acteurs: groupes et projets de recherche**

- *ABAI Group de l'IWA (2001)*
  - *Objectif: harmonisation des tests BMP*
  - *Objectif similaire, mais peu d'actions par la suite*

# Protocoles normés de test BMP

---

## Divergences ou manque d'indications:

- Prétraitement du substrat
- Volume de test
- Ajout de suppléments (milieu de culture, vitamines, éléments de trace)
- Source / prétraitement / adaptation de l'inoculum
- Concentration du substrat testé et de l'inoculum
- Mesure du gaz
- Durée du test
- ...

# Etude inter-laboratoire Raposo et al. (1)

---

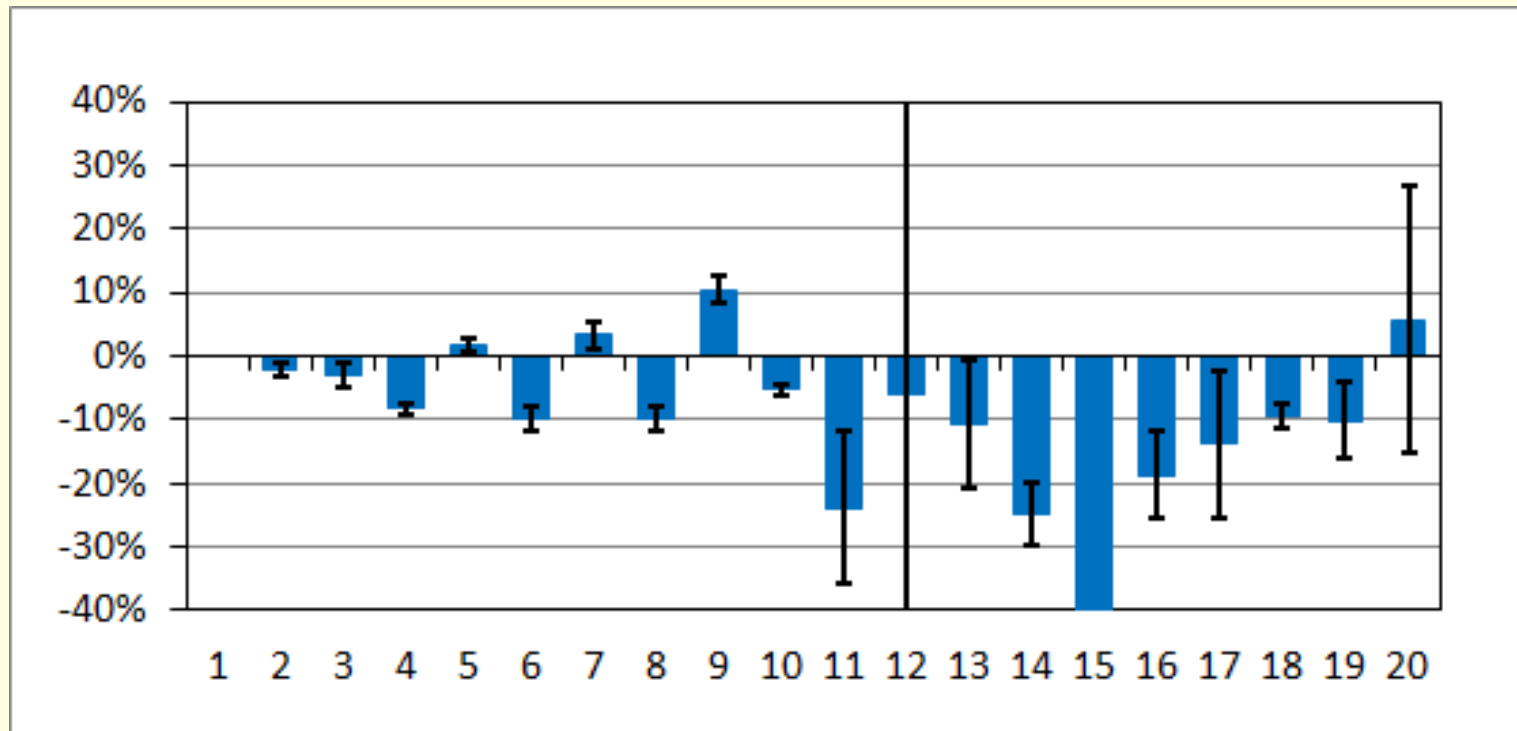
- Etude présentée à l'AD-12 en Mexique 2010 et discutée avec l'ABAI group de l'IWA
- Organisation
  - 20 laboratoires répartis dans 10 pays
  - Tests BMP sur
    - 3 substrats de référence (amidon, cellulose, gélatine)
    - 1 substrat complexe (mung bean)
  - Utilisation de ses propres conditions de test BMP avec un seul paramètre fixé:
    - le rapport Inoculum/Substrat  $\geq 2$ .

*J Chem Technol Biotechnol* 2011; **86**: 1088–1098



# Etude inter-laboratoire Raposo et al. (2)

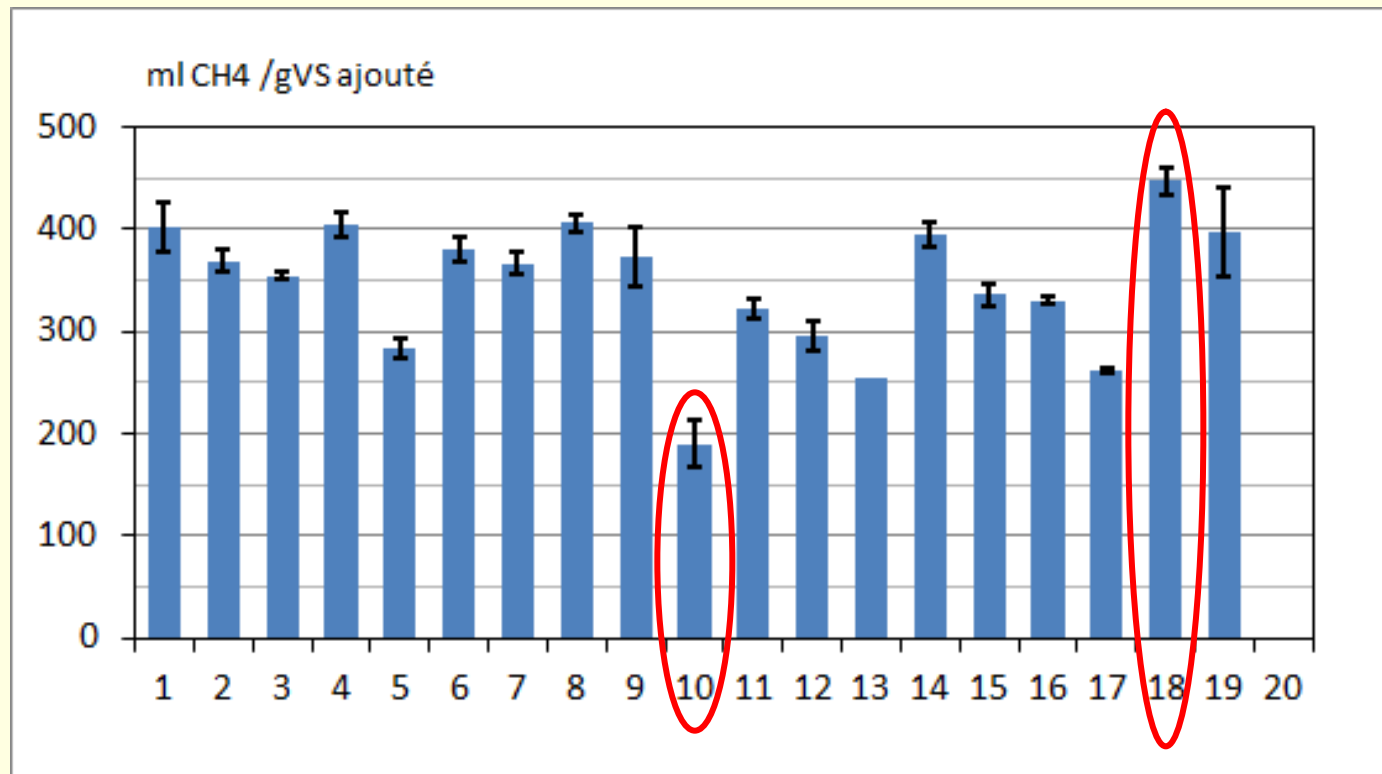
- Résultats avec cellulose
  - Les écarts par rapport à la valeur théorique



*J Chem Technol Biotechnol* 2011; **86**: 1088–1098

# Etude inter-laboratoire Raposo et al. (3)

- Résultats avec mung bean
  - La production de méthane



*J Chem Technol Biotechnol* 2011; **86**: 1088–1098

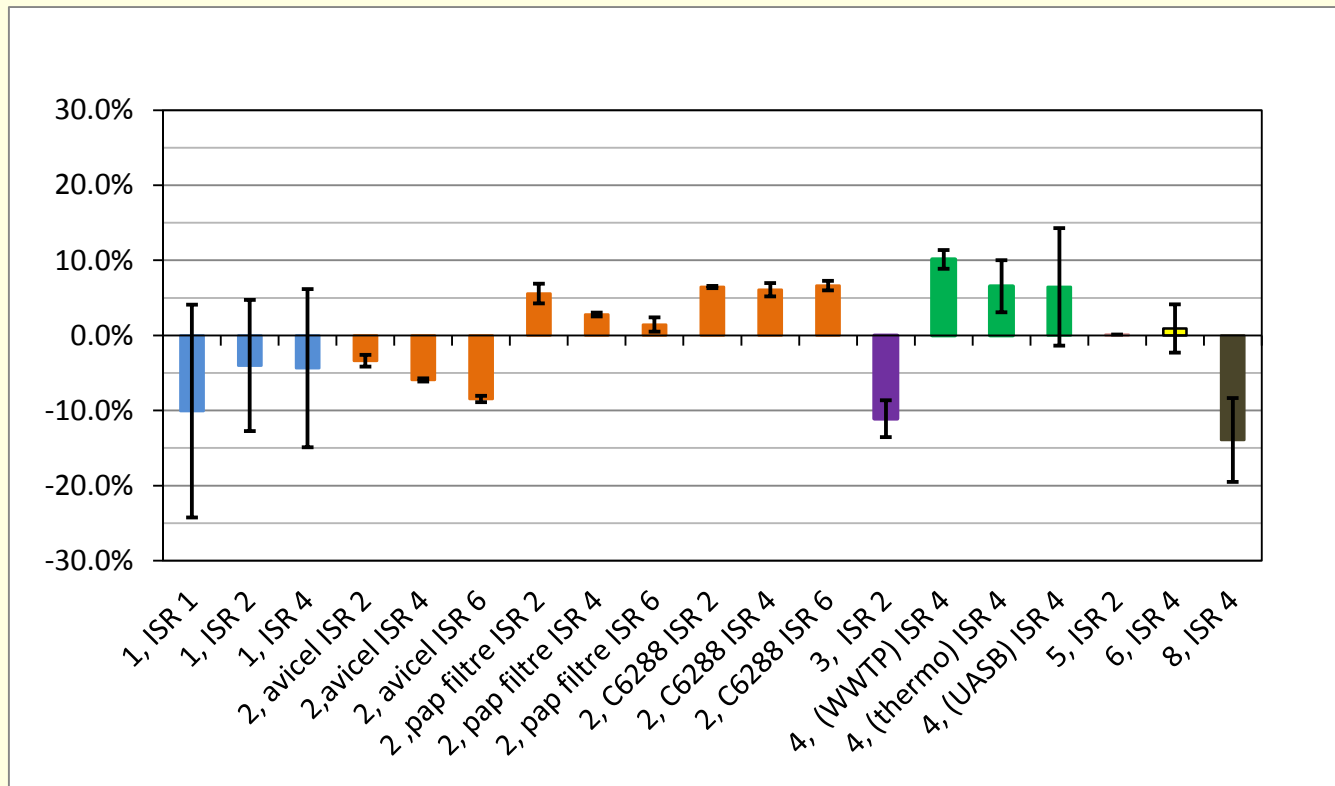
# Etude inter-laboratoire ABAI (1)

---

- **Etude coordonnée par notre projet en collaboration avec l'ABAI group de l'IWA**
- **Organisation**
  - 10 laboratoires répartis dans 9 pays
  - Tests BMP sur
    - 1 substrat de référence (cellulose)
    - 3 substrats complexes (farine animale, farine de paille et de luzerne)
  - Utilisation du protocole BMP de l'ABAI group avec une série qui teste :
    - un rapport Inoculum/Substrat = 4.

# Etude inter-laboratoire ABAI (2)

- Résultats avec cellulose de 7 laboratoires
  - Les écarts par rapport à la valeur théorique



# Etudes inter-laboratoires - Conclusions

---

- Les deux études inter-laboratoires ont clairement montré un **besoin d'un protocole plus précis**
- L'étude ABAI montre une amélioration de la dispersion des résultats obtenu avec la cellulose
  - 25% au lieu de 35%
- La **dispersion intra-laboratoire** peut atteindre des valeurs de **20-30%** ce qui ne rassure pas non plus

# Définition du protocole de test BMP (1)

---

***La démarche choisi a consisté à:***

- Définir les conditions fixes
- Définir les méthodes de mesure
- Choisir les paramètres à tester
- Définir la matrice expérimentale
- Mettre en place les expériences

# Définition du protocole de test BMP (2)

---

## ***Les conditions fixes:***

- Utiliser des bouteilles avec un volume de 1 L
- Respecter en rapport  $v_{aq} : v_g$  de 1:2
- $[MSV]_{totale} = 40 \text{ g/L}$
- $MSV_{inoculum} : MSV_{substrat} = 4:1$
- Ciel gazeux de  $N_2 : CO_2$  (60% : 40%)
- Epuisement de l'inoculum pendant une semaine
- Analyse qualité de l'inoculum (AGV,  $NH_4$  et alcalinité)
- Pas d'ajout de sels minéraux et autres
- Pas définir la durée, attendre épuisement (environ 3 sem)

# Définition du protocole de test BMP (3)

---

## *Les méthodes de mesure*

- Volume du biogaz produit
  - manométrie
- Composition du biogaz
  - Gaz chromatographie
- Fréquence de mesure
  - Au début 1-fois par jour au moins
  - Quand la production diminue, tous les 2-3 jours



# Définition du protocole de test BMP (4)

---

## *Les conditions à tester*

### ■ L'influence de l'inoculum

- **Origine:** Est-ce qu'on obtient la même production de méthane avec un inoculum agricole qu'avec un inoculum de STEP (p.ex.), ou avec un inoculum mésophile ou thermophile ?
- **Adaptation:** Est-ce que l'ajout du substrat (inconnu au milieu microbien) ne provoque pas une inhibition de l'activité ?

# Définition du protocole de test BMP (5)

---

## *Les différentes hypothèses formulées:*

- La quantité de méthane produite à partir d'un certain substrat est indépendante de l'origine de l'inoculum et de la température du test si :
  - On adapte par étape l'inoculum au substrat
  - On fait le test à la température adaptée à l'inoculum (mésophile ou thermophile, 37°C ou 55°C)
- La cinétique de la production de méthane n'est, par contre, pas la même pour différents inocula

# Définition du protocole de test BMP (6)

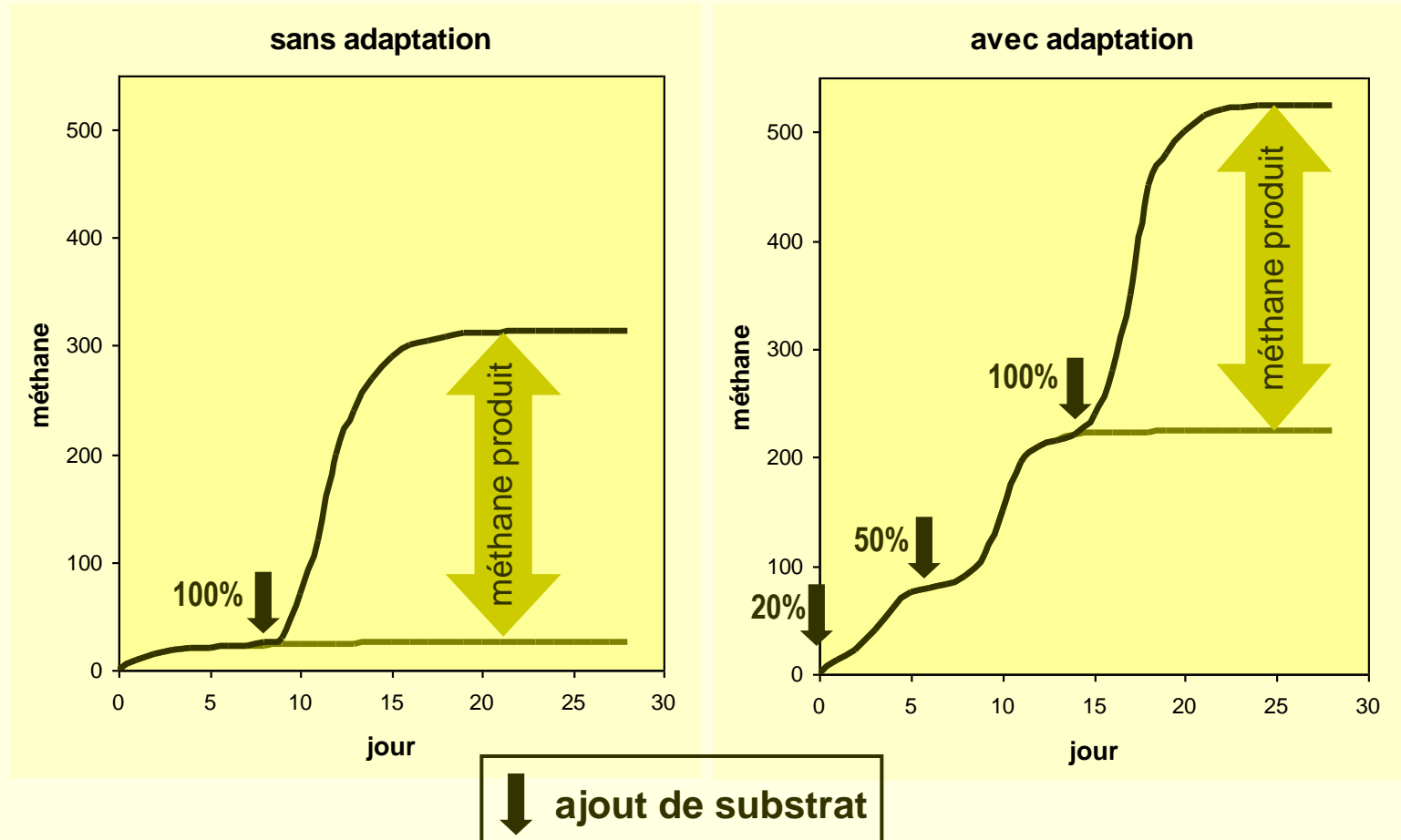
## *La matrice expérimentale*

- 4 inocula d'origines différentes (STEP/agro/ind, méso/thermo)
- 2 niveaux d'adaptation (avec/ sans)
- 2 substrats de référence (cellulose / lait en poudre)
- 4 substrats complexes (farine animale, farine de paille, de foin et de luzerne)

No.	Niveau <i>origine</i>	Niveau <i>adaptation</i>	Substrat	Réplicats
1	IN1	oui	Cellulose	3
2	IN1	non	Cellulose	3
3	IN1	oui	Lait	3
4	IN1	non	Lait	3
5	IN2	oui	Cellulose	3
6	IN2	non	Cellulose	3
7	IN2	oui	Lait	3
8	IN2	non	Lait	3
9	IN3	oui	Cellulose	2
10	IN3	non	Cellulose	2
11	IN3	oui	Lait	2
12	IN3	non	Lait	2
13	IN4	oui	Cellulose	2
14	IN4	non	Cellulose	2
15	IN4	oui	Lait	2
16	IN4	non	Lait	2

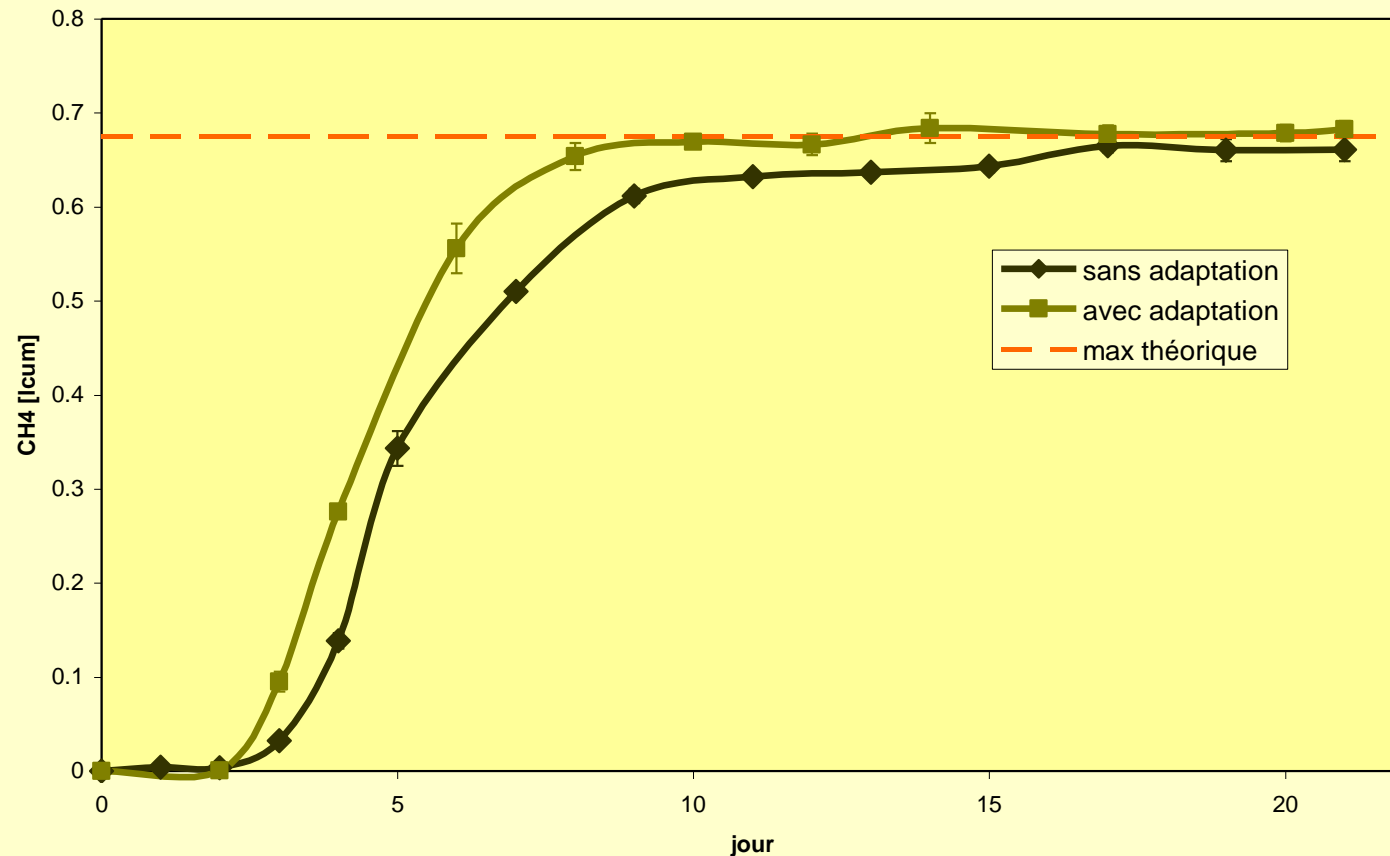
# Définition du protocole de test BMP (7)

## *Courbe théorique de production de méthane*



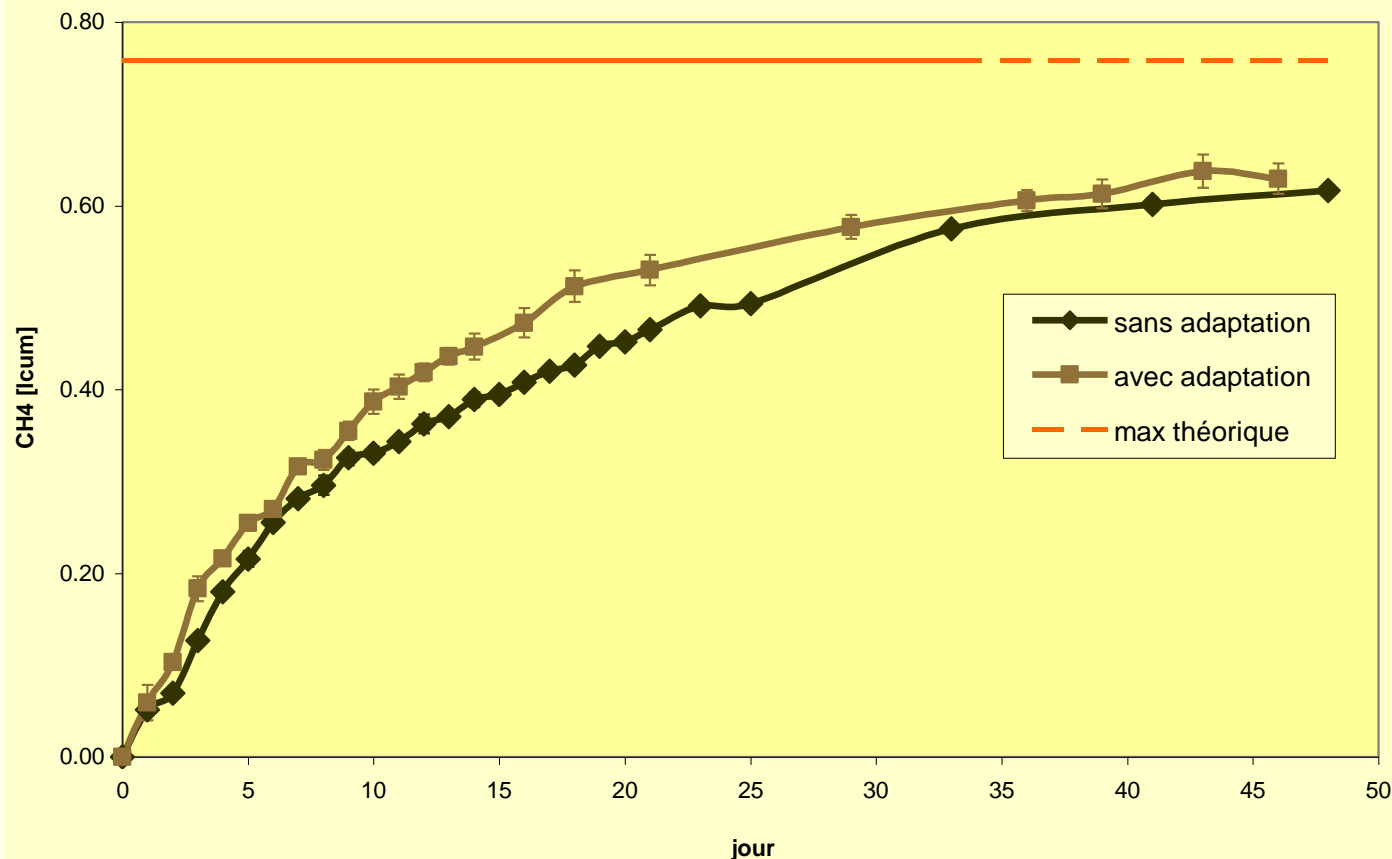
# Résultats - Tests BMP (1)

Boues digérées STEP Morges & Cellulose

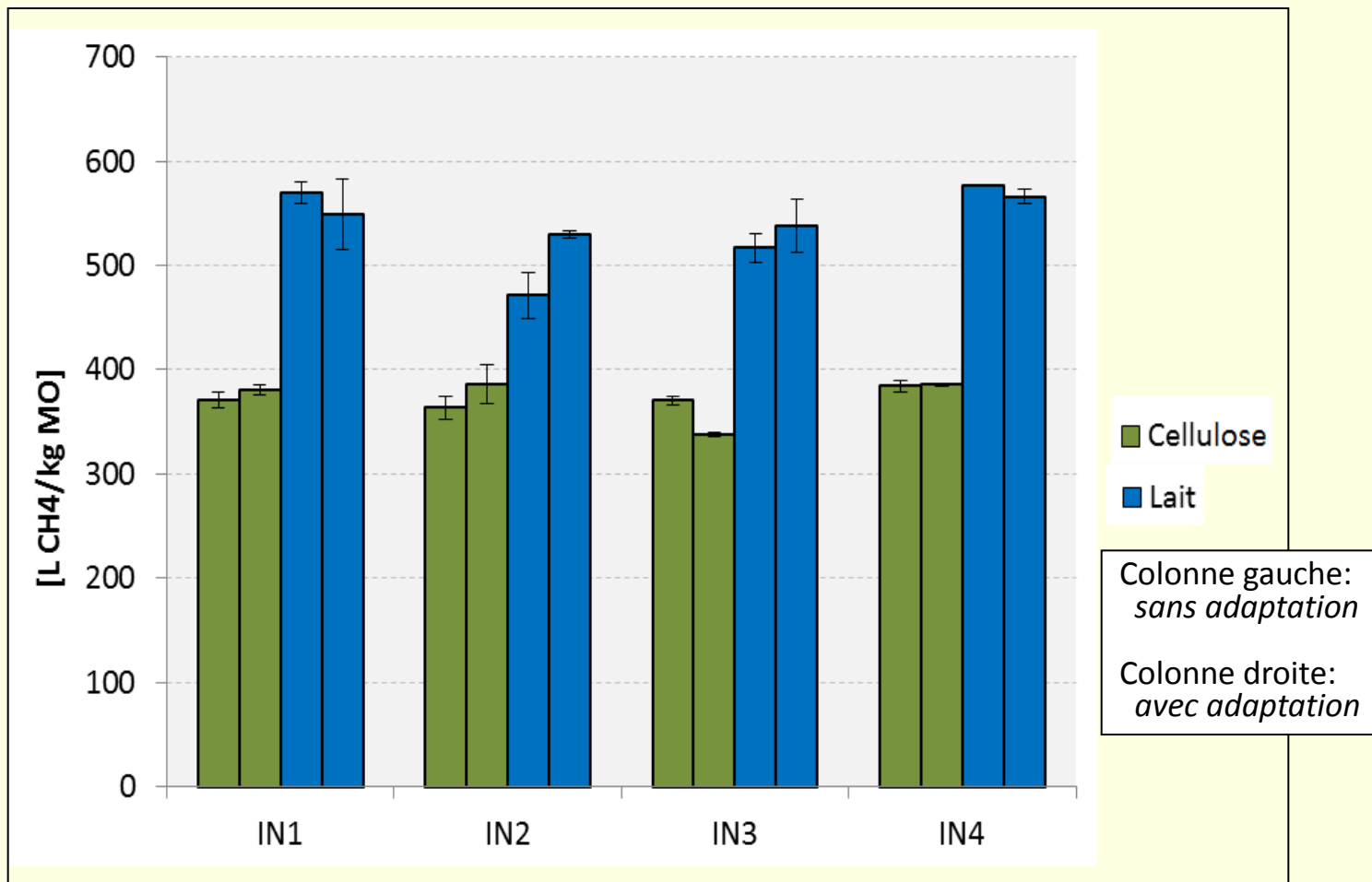


# Résultats - Tests BMP (2)

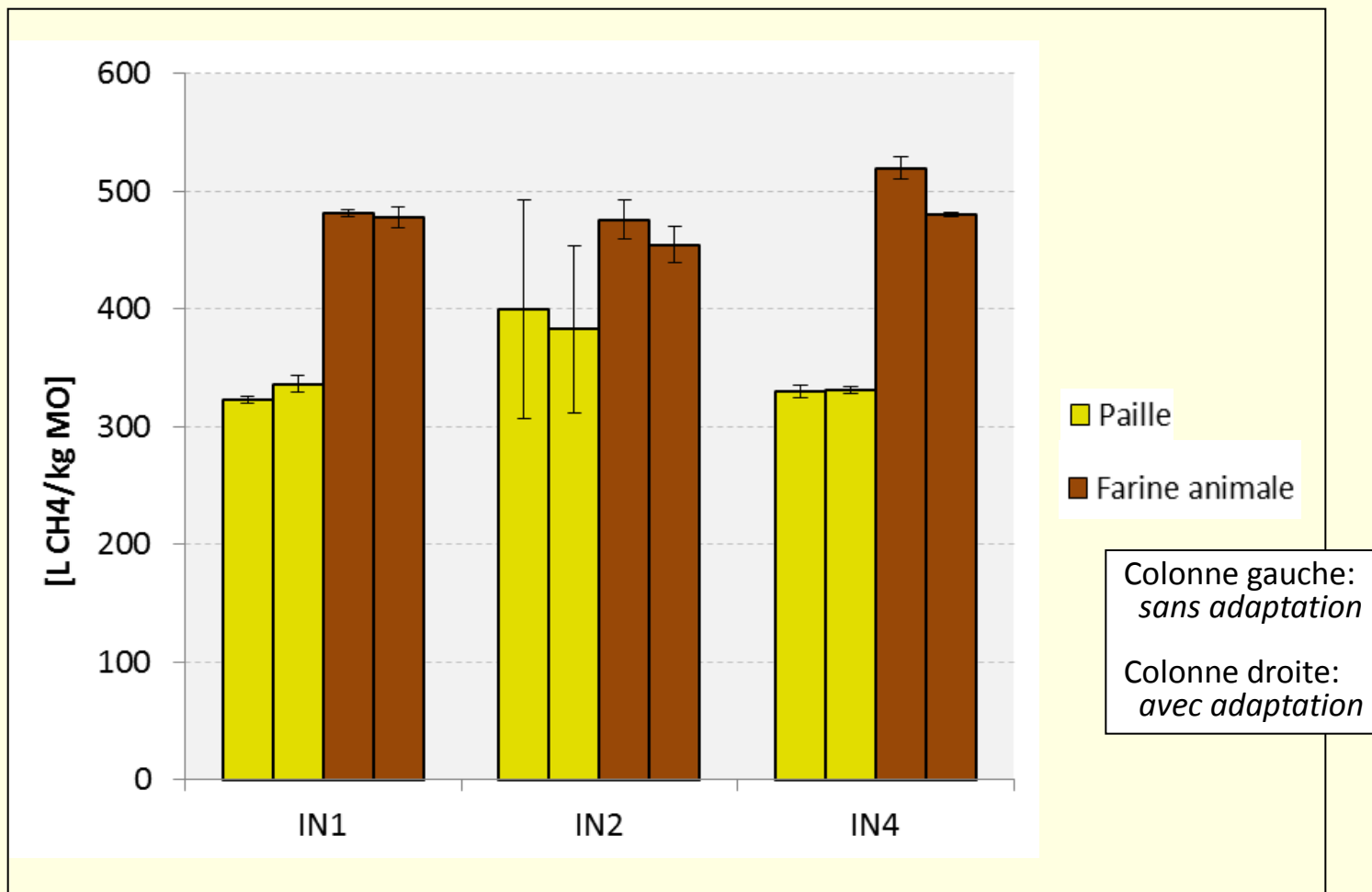
## Boues digérées STEP Morges & farine de paille



# Résultats - Tests BMP (3)



# Résultats - Tests BMP (4)





# Conclusions - Tests BMP (1)

---

*L'analyse statistique a montré le suivant :*

- **Substrats de référence**

- Effet faible de l'inoculum
- Effet négligeable de l'adaptation

- **Substrats complexes**

- Effet faible de l'inoculum
- Effet négligeable de l'adaptation

# Conclusions - Tests BMP (2)

---

***Le travail expérimental a mis en évidence que:***

- Le protocole défini dans cette étude permet des tests BMP en général reproductibles
- L'inoculum boues granulaires anaérobies posait des problèmes de manipulation
- Il faut encore définir des paramètres pour pouvoir accepter ou écarter avec confiance des résultats d'un test BMP
  - Résultat BMP avec cellulose comme référence
  - Écarts maximale entre réplicats
- Il faut encore définir la durée des test BMP

# Perspectives - Tests BMP

---

## ***Les conditions à tester :***

- L'influence des substrats plus hétérogènes
- L'influence du stockage des substrats à tester

## ***Comparaison test BMP – production biogaz installation en vraie grandeur***

- Étudier l'influence du mélange des substrats
- Estimer un facteur d'extrapolation pour déterminer la production d'une installation en vraie grandeur avec des tests BMP