

# Journées Recherche et Industrie biogaz méthanisation

16-17-18 octobre 2013

Palais des Archevêques de Narbonne

# ***Vers une gestion optimale et fiable des procédés continus de digestion en voie sèche acquis et questions en suspens***

Sébastien POMMIER, LISBP, INSA Toulouse



Renaud Escudié, LBE, INRA Narbonne



Pierre Buffière, LGCIE, INSA de Lyon



# Pourquoi la digestion « voie sèche » ?

- **Ressources utilisables pour la méthanisation (France)**

- **Déchets ménagers et assimilés**

47 Mt (2 Mt traités par méthanisation)

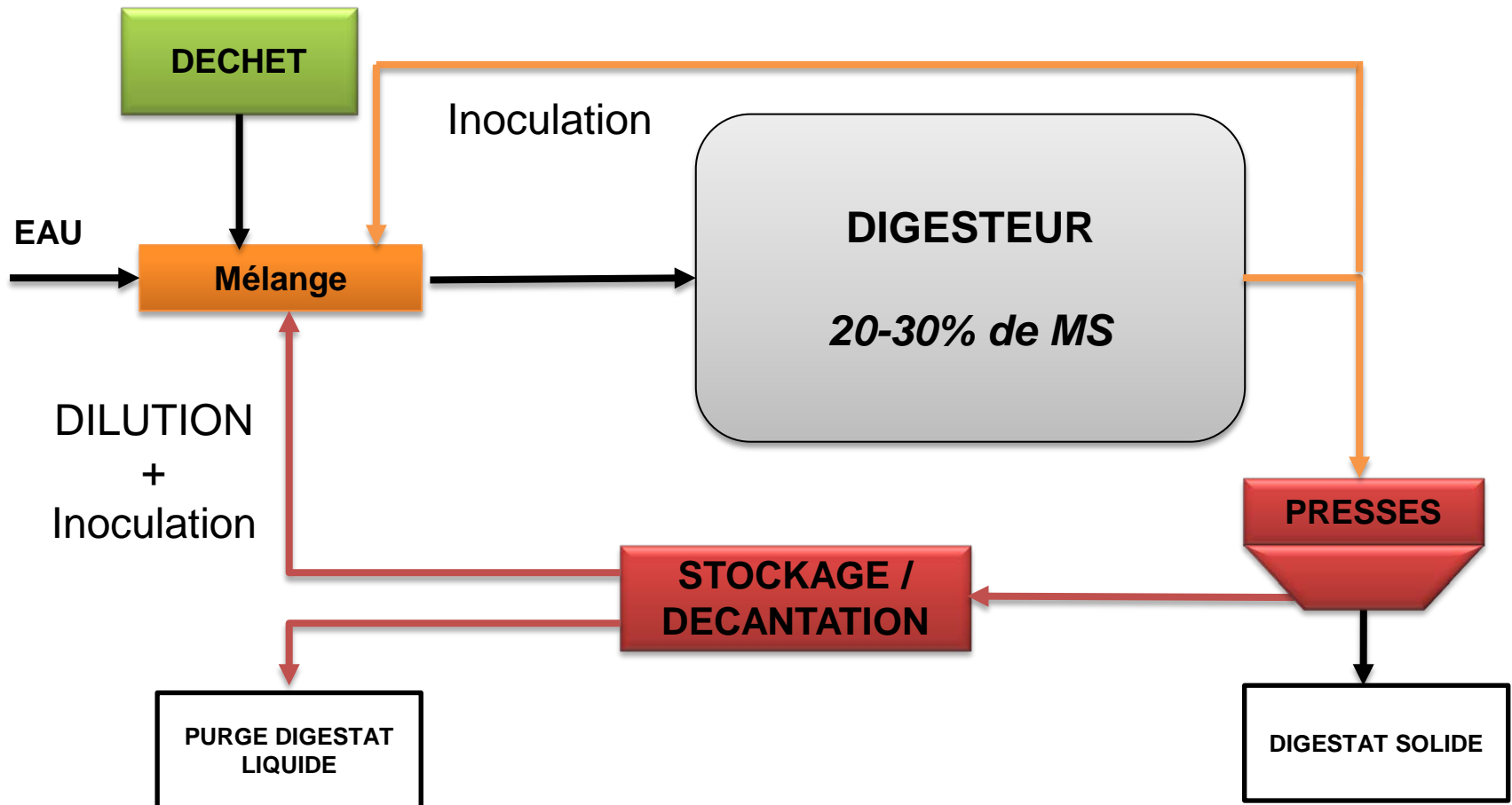
- **Déchets agricoles**

60 % sous forme épaisse (Fumiers)

- **Résidus de culture**

fortes teneurs en MS

# Schéma général de fonctionnement des digesteurs “voie sèche” continus

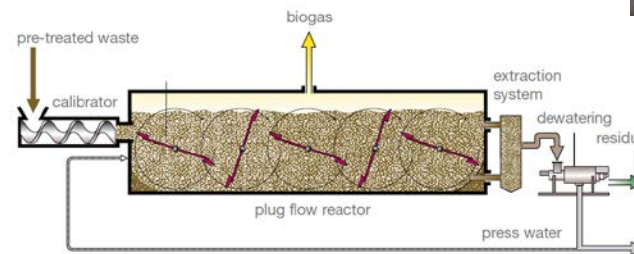


# Technologies en continu



**OWS / Dranco (20-40% MS)**

**KOMPOGAS  
(20-30% MS)**



**SRABAG – Linde (15-45% MS)**



**VALORGA (25-35% MS)**



**OGIN (20-35% MS)**

# Des interactions clés entre physique et biologie

## Physique

Consistance, rhéologie,  
pompage

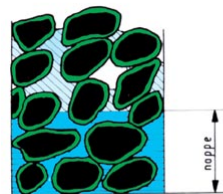


Mélange et sédimentation

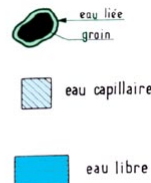


© www.CigPhygea.info

Etats de l'eau



Etats de l'eau dans les sols



## Biologie

Transport **substrats** vers **microorganismes**  
Convection ↔ mélange  
Diffusion ↔ rhéologie

**Inhibitions**  
(accumulations locales  
AGV, H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, ...)

Etats d'équilibres atypiques  
**Stabilité biologique ?**

# Caractérisation rhéologique des digestats

## ➤ Complexité des déchets solides

- Milieux **hétérogènes** (volume de l'échantillon important)
- **Taille des particules importante** ( > cm)

**Rhéomètres conventionnels pas utilisables !**

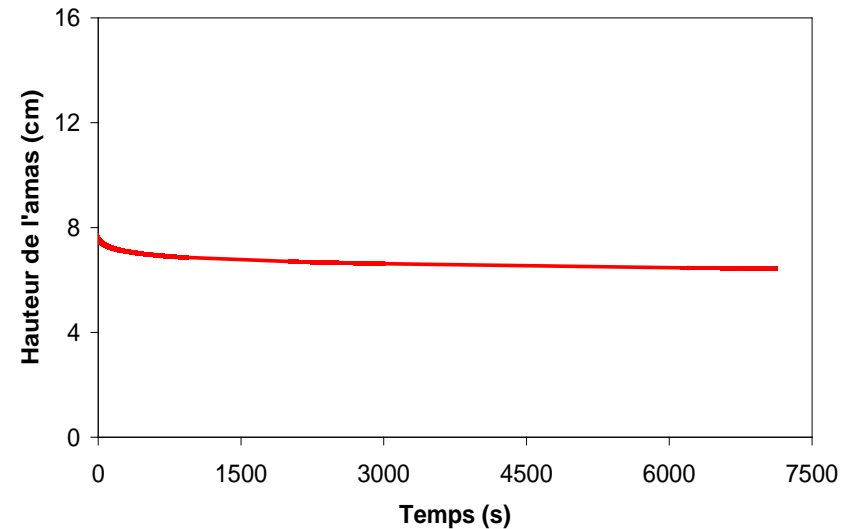
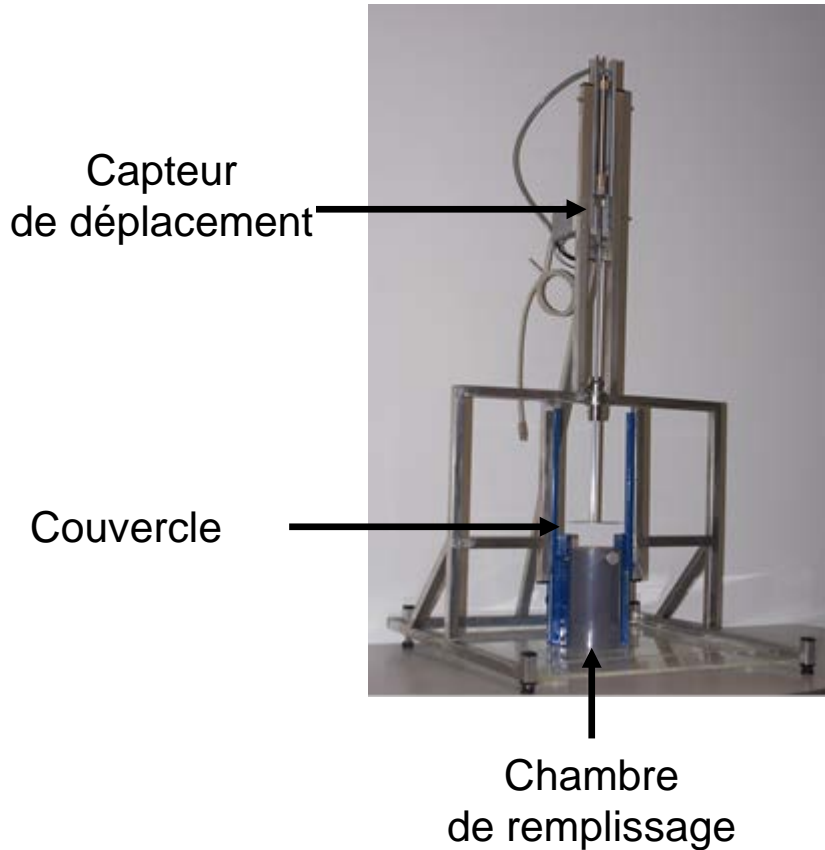
## ➤ Procédure proposée par Battistoni *(Battistoni et al., 1993, 1997, 2000)*

- **Tamissage** pour sélectionner la fraction fine (<0.84 mm)
- Utilisation d'un **rhéomètre** conventionnel commercial

*Analyse des boues et de digestats solides (60% MS< fraction fine < 80% MS)*

- Milieu **plastique** (Modèle de Binghaml)
- Fluide à **seuil de contrainte** ( $\tau_c$ )

# Test d'effondrement (Slump test)

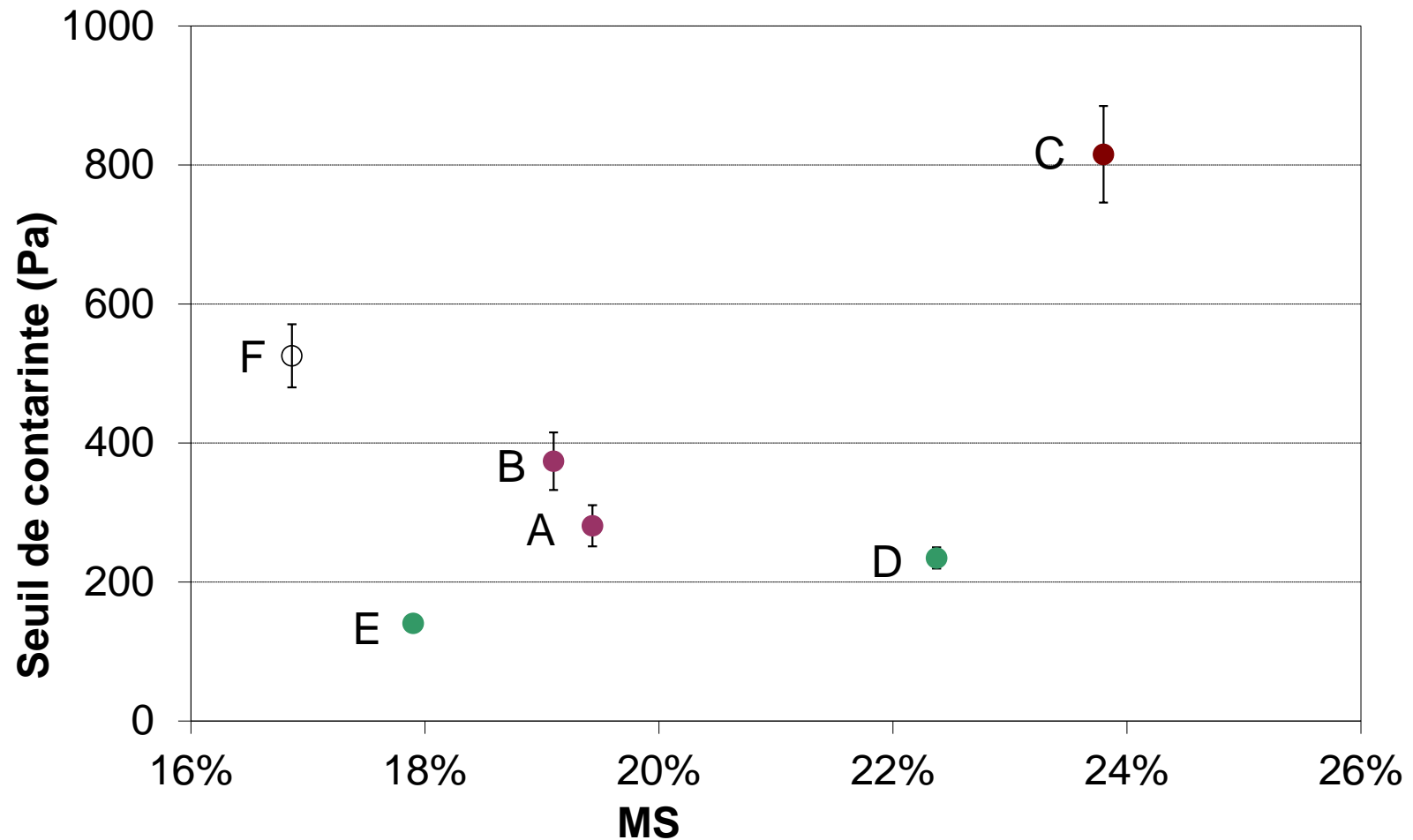


**Hauteur finale d'effondrement  
⇒ seuil de contrainte ( $\tau_c$ )**

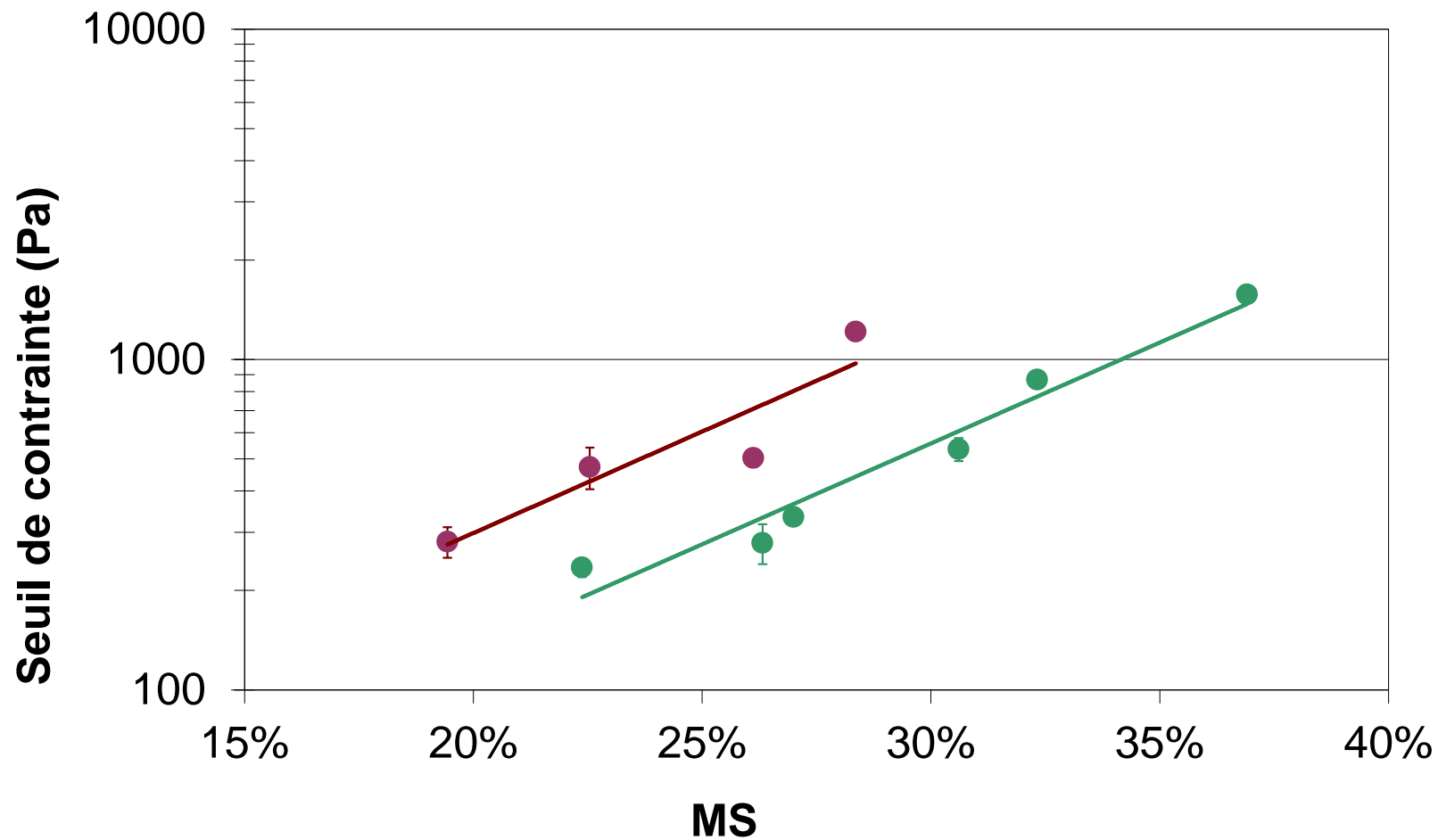
$$s = H + \frac{m_0}{\rho\pi R^2} - \frac{2\tau_c}{\rho g} \left( 1 + \ln \left( \frac{\rho g (H + m_0 / \rho\pi R^2)}{2\tau_c} \right) \right)$$



# Seuil de contrainte de digestats « voie sèche »

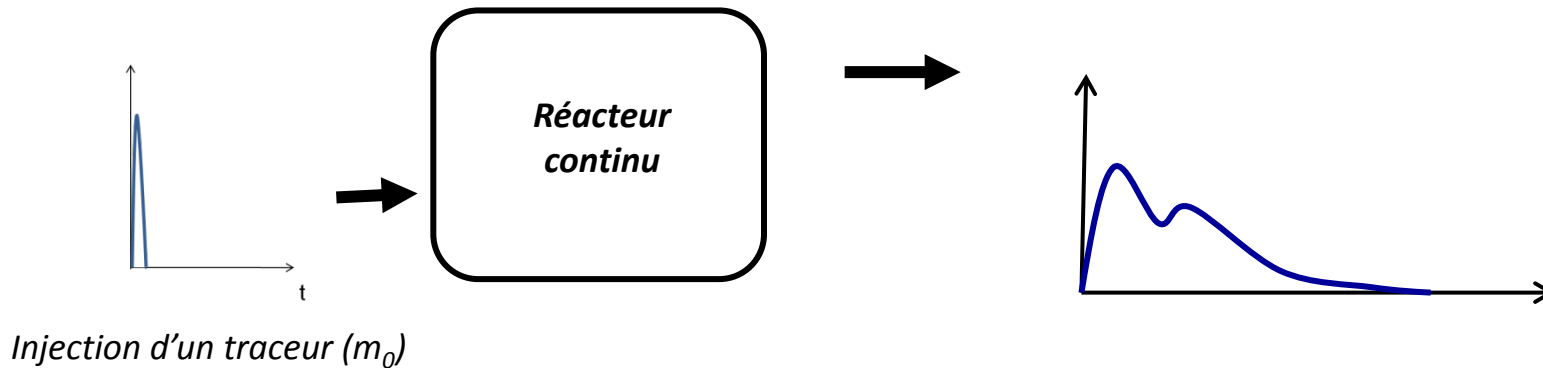


# Influence du taux de MS



# Mélange des solides dans les réacteurs secs

## ➤ Caractérisation du mélange par la technique de DTS



### Traceurs solides

#### Polypropylène

$d = 8 \text{ mm}$   
 $\rho_s = 0.95 \text{ kg.L}^{-1}$



#### Bioflow 9<sup>®</sup>

$d \approx 10 \text{ mm}$   
 $\rho_s \approx 1 \text{ kg.L}^{-1}$

#### Verre

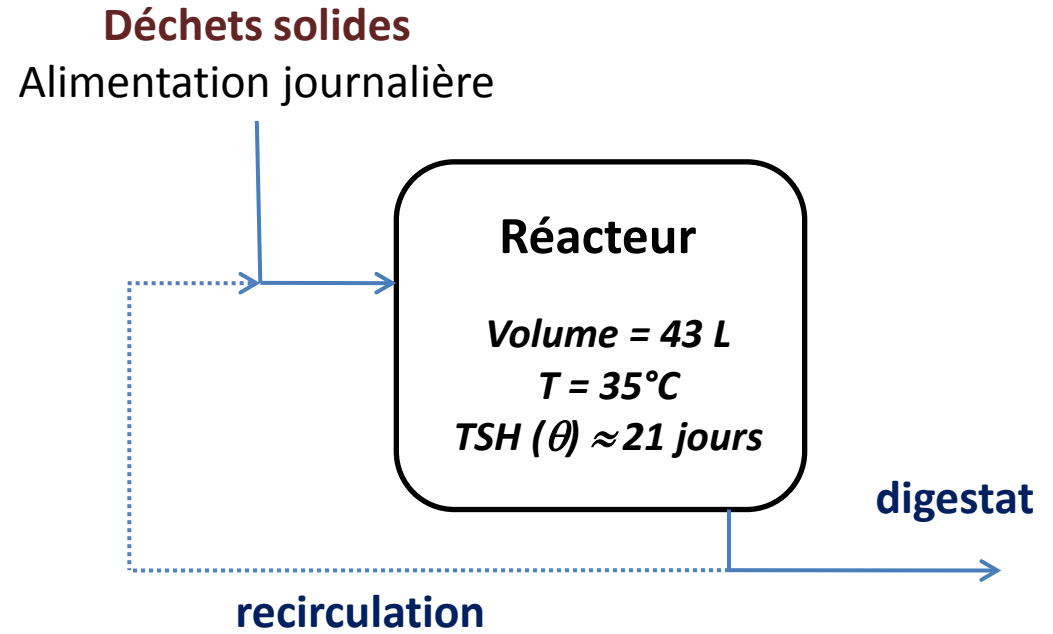
$d = 8 \text{ mm}$   
 $\rho_s = 2.5 \text{ kg.L}^{-1}$

#### Polyamide

$d = 8 \text{ mm}$   
 $\rho_s = 1.14 \text{ kg.L}^{-1}$

- Injection de 500 particules
- Détection manuelle

# Dispositif de laboratoire

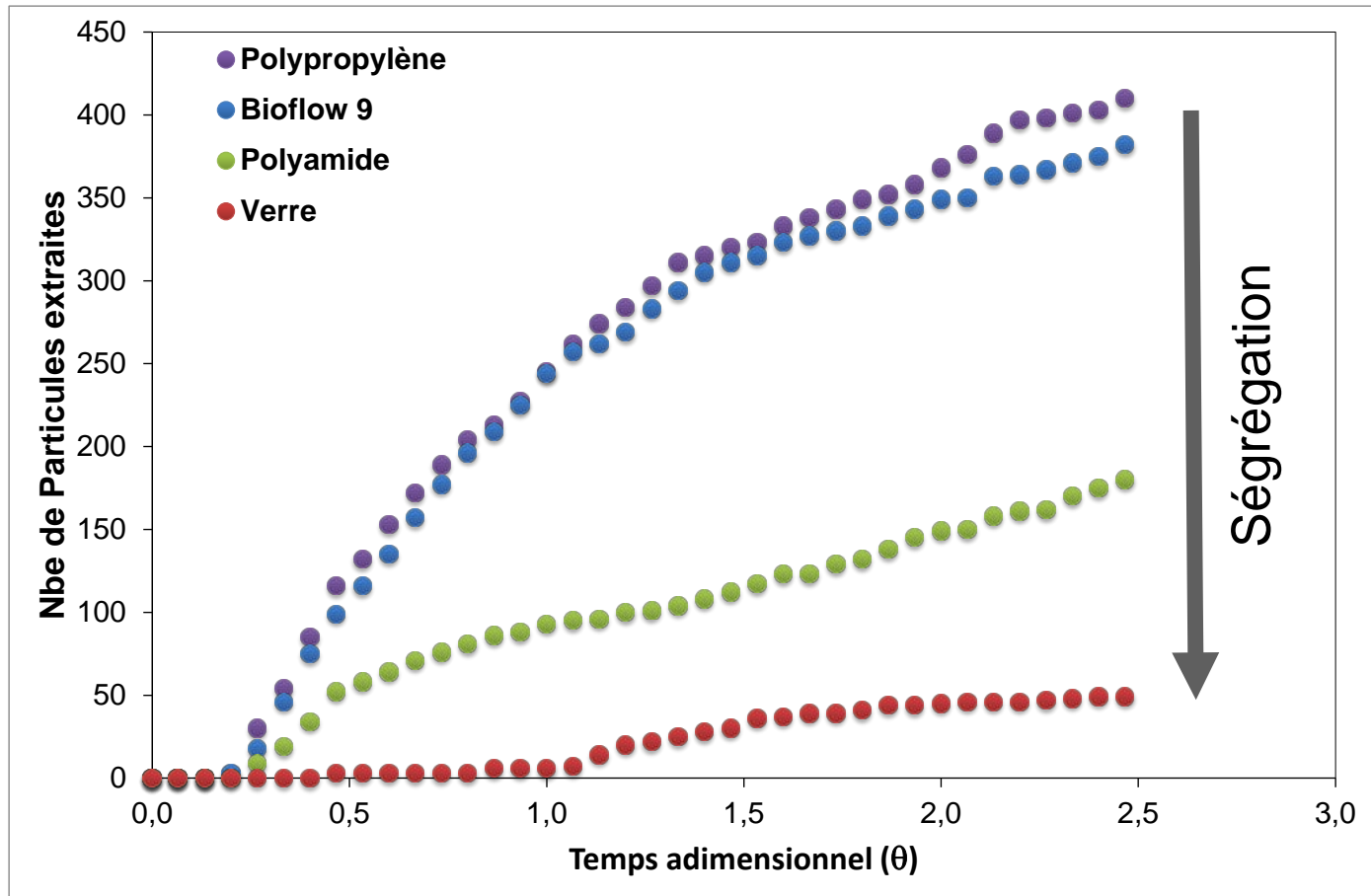


## 4 conditions opératoires

- FFOM à 22%, 26% and 30% TS
- DV à 23% TS

# Macro-mélange des solides

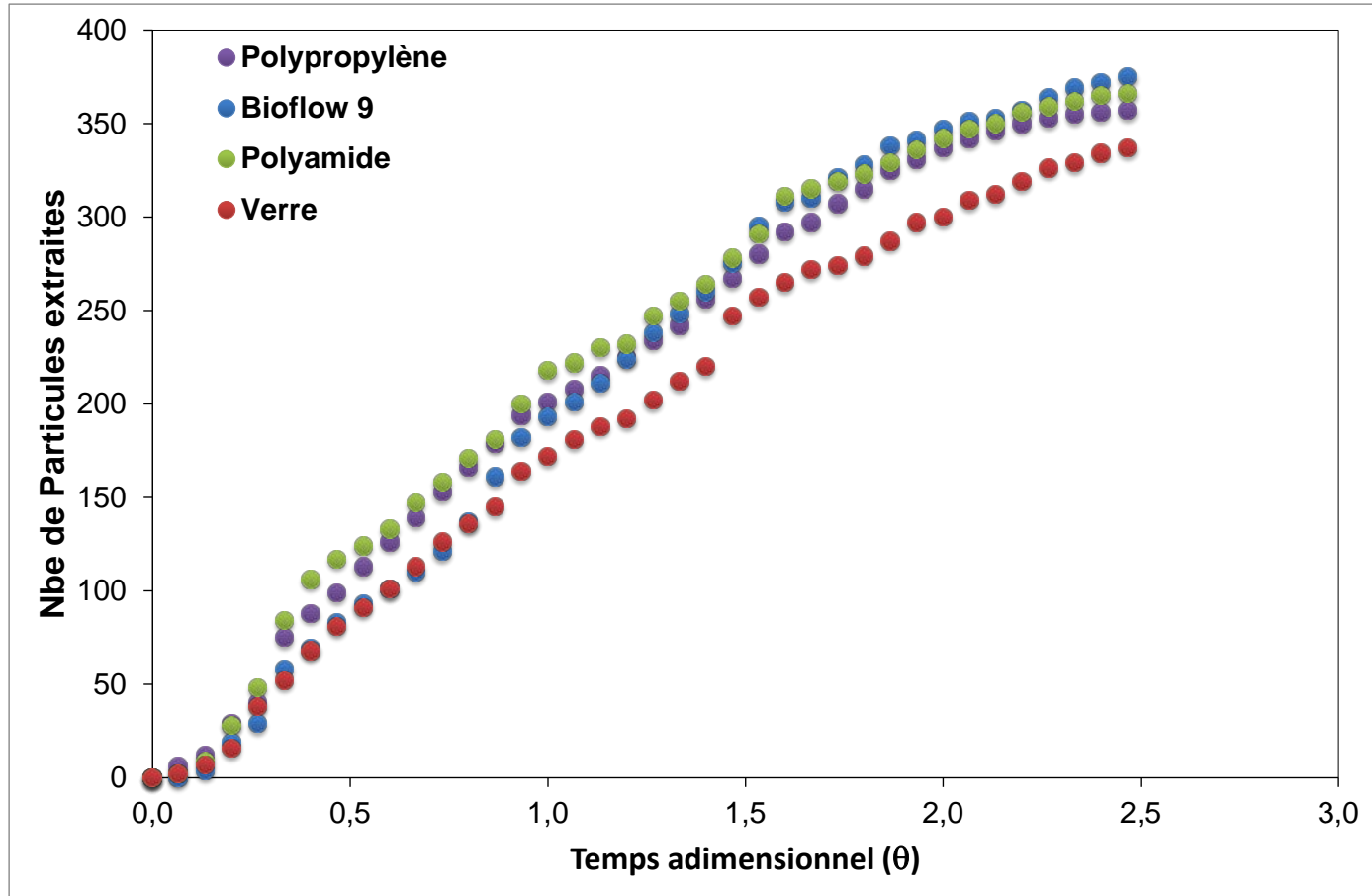
*FFOM, 22% TS*



Décantation des particules en fonction de la densité

# Macro-mélange des solides

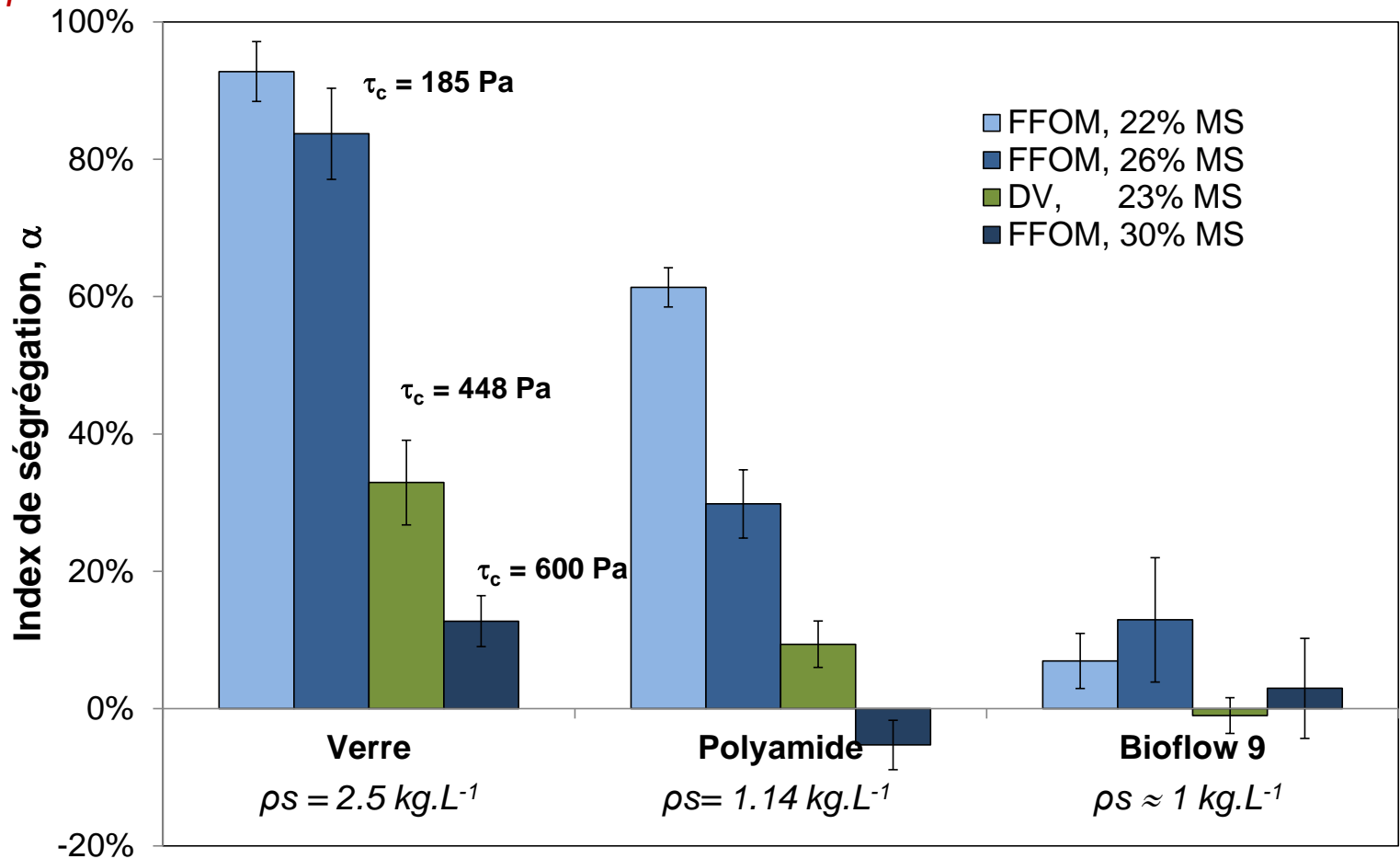
*FFOM, 30% TS*



Effet de la siccité sur la décantation

# Macro-mélange des solides

*Ségrégation  
complète*



*Absence de  
Ségrégation*

Rôle clé du seuil de contrainte

# Des interactions clés entre physique et biologie

## Physique

Consistance, rhéologie,  
pompage

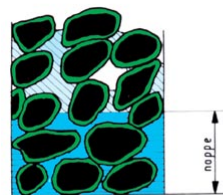


Mélange et sédimentation



© www.CigPhygaz.info

Etats de l'eau



Etats de l'eau dans les sols



## Biologie

Transport **substrats** vers **microorganismes**  
Convection ↔ mélange,  
Diffusion ↔ rhéologie

**Inhibitions**  
(accumulations locales  
AGV, H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, ...)

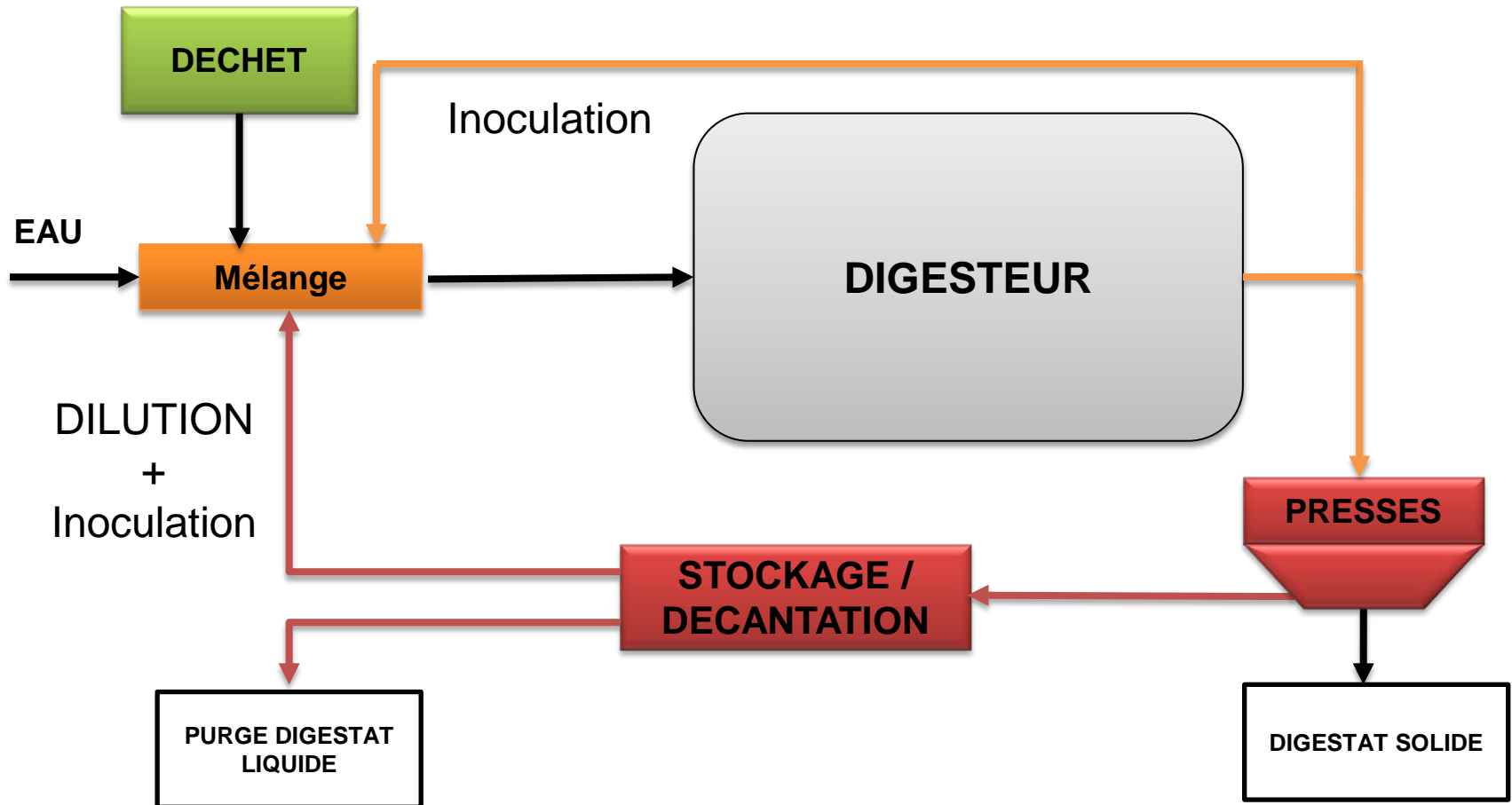
Etats d'équilibres atypiques  
**Stabilité biologique ?**



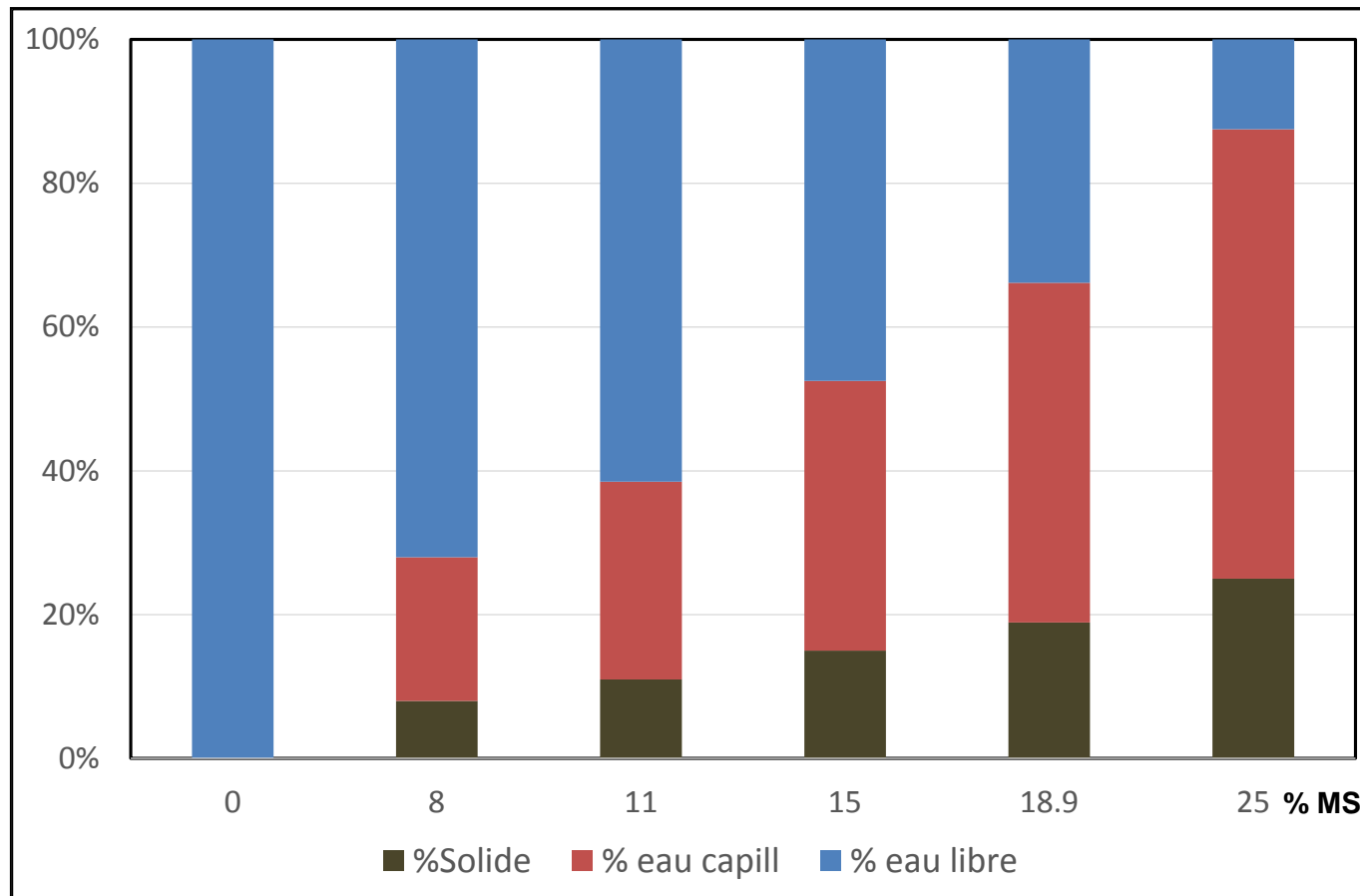
# STABILITE BIOLOGIQUE des digesteurs voie sèche continus

3 points essentiels :

Siccité du milieu  
Inertie du système  
Régimes d'inhibition



## SICCITE du milieu : 1/ Etats de l'eau

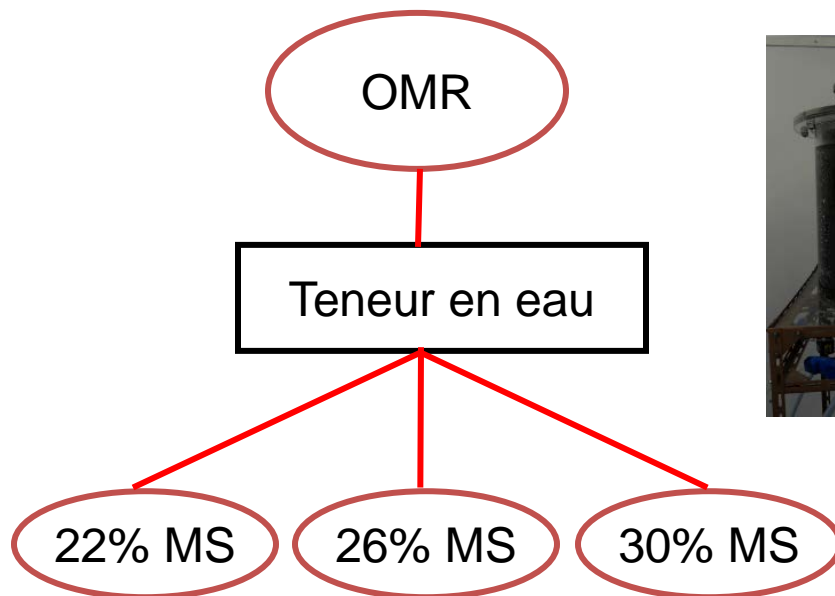


Ratio eau libre / eau « capillaire » déterminé par thermogravimétrie (courbe de séchage), d'après Garcia-Bernet et coll., 2011., *Chem. Eng. J.*, **72**, 924-928.

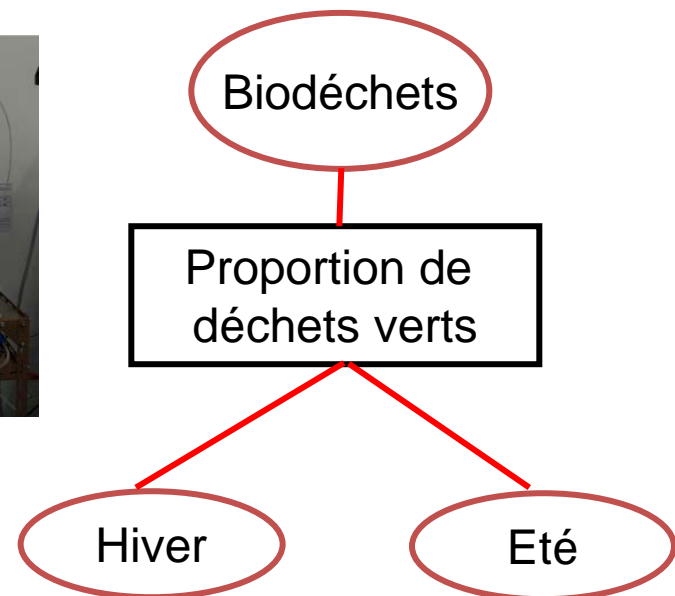
# SICCITE du milieu : 2/ Impact sur les performances

## ► Essais de digestion en continu

INSA LYON



INRA NARBONNE



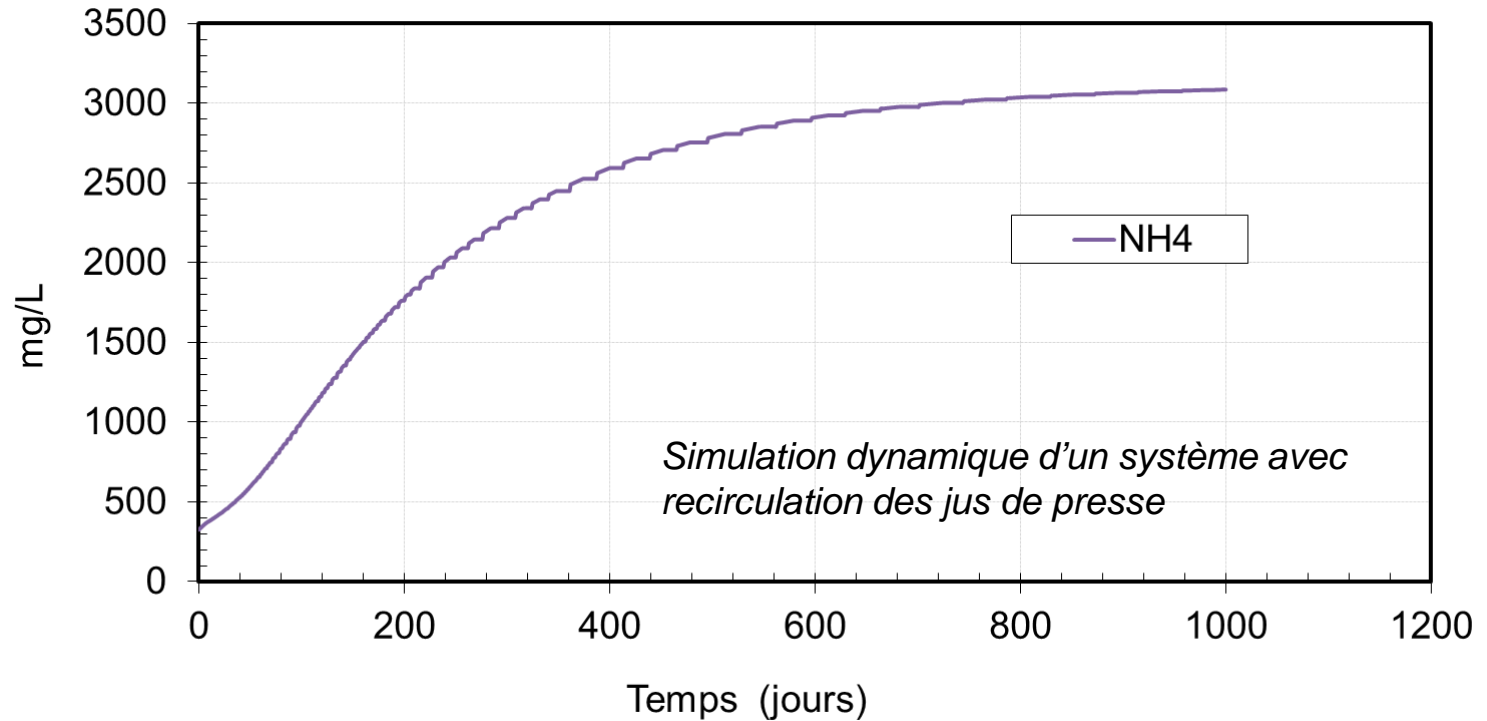
## SICCITE du milieu : 2/ Impact sur les performances

### ► Chute du rendement $\text{CH}_4$ à 30% MS

	R1 MS 22%	R2 MS 26%	R3 MS 30%	hiver MS 23%	été MS 23%
$m^3_{\text{biogaz}}/m^3_{\text{réacteur.j}}$	2,1	2,2 2,9	2,4	2,9	2,7
$m^3_{\text{méthane}}/t_{\text{MV introduite}}$	200	185 180	120	171	177
$\text{CH}_4 \%$	53	56 50	48	52	53
Rendement BMP, %	79	75 71	48	77	79

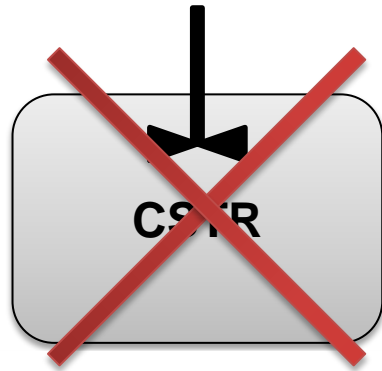
# INERTIE du système : 1/ Recirculation du surnageant de digestat

## ► Découplage des temps de séjour

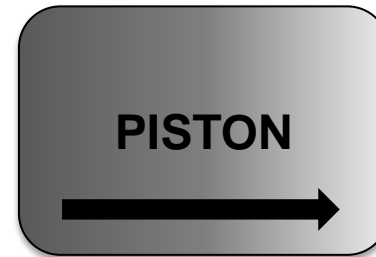


## INERTIE du système : 2/ Réacteur piston

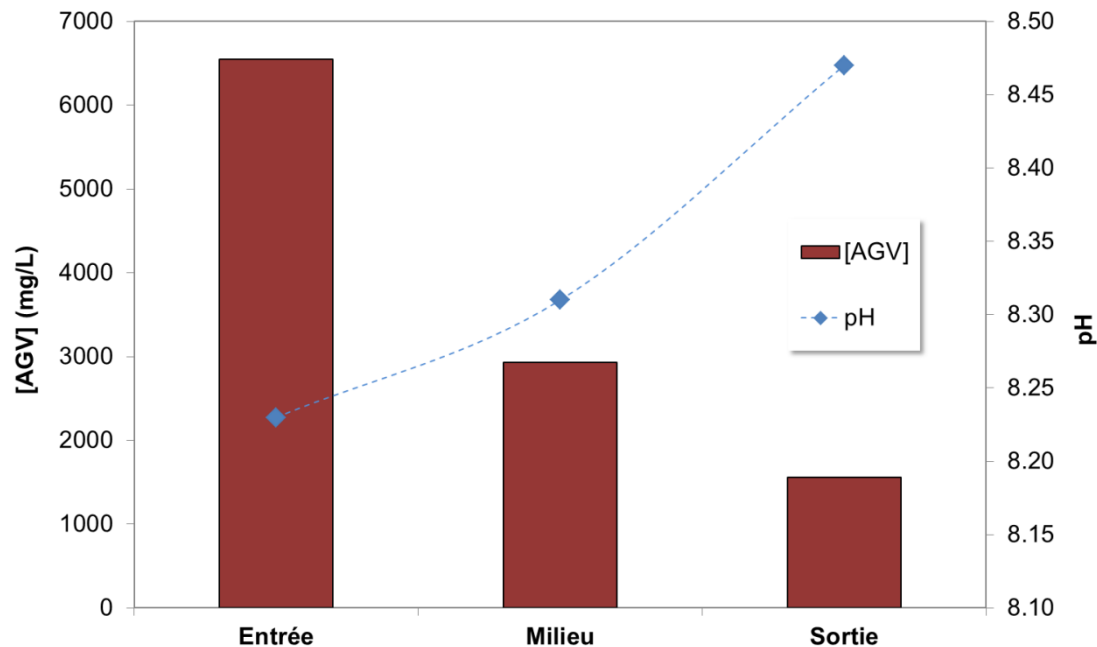
### ► Perturbations étalées sur le temps de séjour du solide



ou



?



Mesures sur digesteur type  
Kompogas

*Syndicat Mixte du Point Fort,  
Cavigny (50)*

# Sensibilité aux INHIBITIONS : 1/ Spécificités

Recirculation

Forte siccité

Concentrations élevées

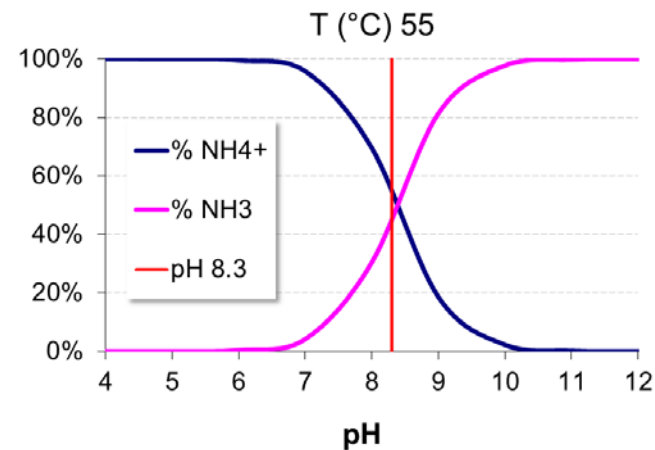
pH : très alcalin (>8)

N ammoniacal

$\text{NH}_3$

Sels ( $\text{K}^+$ , ...)

AGVs



Hétérogénéité

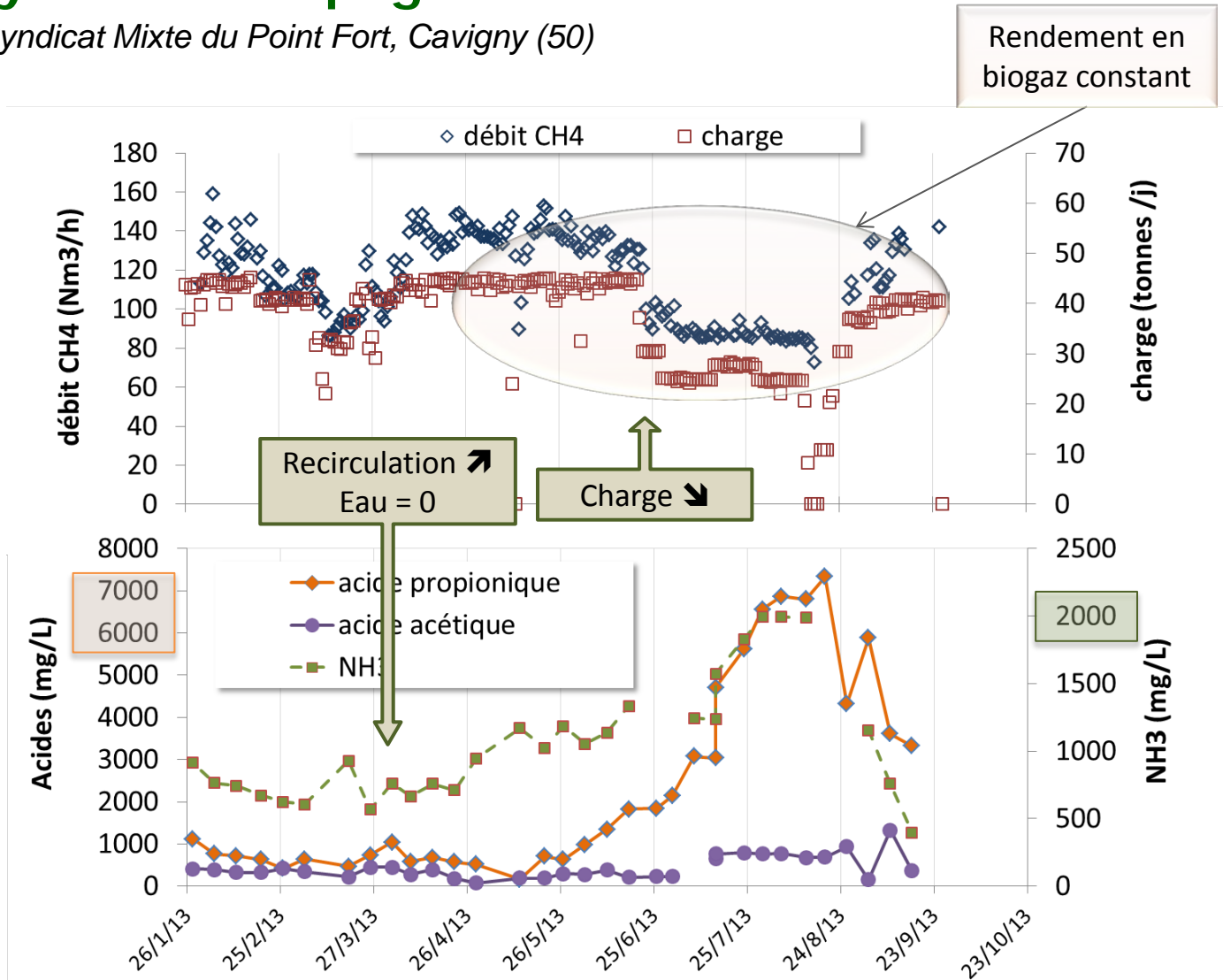
Temps de séjours longs

Grandes capacités d'adaptation

# Sensibilité aux INHIBITIONS : 2/ Exemple

## ► système Kompogas sur OMR

Syndicat Mixte du Point Fort, Cavigny (50)





# PERSPECTIVES POUR LE DEVELOPPEMENT DE LA FILIERE



## Mise en œuvre industrielle

### **FIABILISATION des installations :**

- Maîtrise des contraintes de site (gestion des entrants, des stockages intermédiaires)
- Métrologie / mesure / capteurs : types de mesures (on/off line ; localisation et représentativité ; traitement de l'information)

## Enjeux R&D

### **DEVELOPPEMENT D'OUTILS DE DIAGNOSTIC et d'AIDE A LA CONDUITE :**

- Apports de la simulation numérique (ex : programmes DIAMETHA et ODEXA ADEME/LISBP) → des modèles à reconstruire

### **ACCROISSEMENT DES CONNAISSANCES du métabolisme microbien sous haute siccité :**

- Tolérance aux inhibitions, effets de la forte salinité
- Voies métaboliques alternatives mises en œuvre (adaptation)

### **COMPREHENSION DES MECANISMES PHYSIQUES**

- Transport / mélanges, etc.
- Nécessité d'un changement d'échelle (voir plus près pour voir plus loin)