

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 » ?

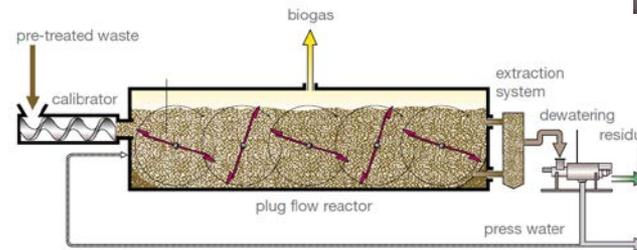
- **Ressources utilisables pour la méthanisation (France)**
 - **Déchets ménagers et assimilés**
47 Mt (2 Mt traités par méthanisation)
 - **Déchets agricoles**
60 % sous forme épaisse (Fumiers)
 - **Résidus de culture**
fortes teneurs en MS

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



© www.CigProjet.info



Mélange et sédimentation

Etats de l'eau



États de l'eau dans les sols

eau liée
grain.

eau capillaire

eau libre

Biologie

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

Inhibitions

(accumulations locales
AGV, H₂, NH₃, ...)

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** ($> \text{cm}$)

Rhéomètres conventionnels pas utilisables !

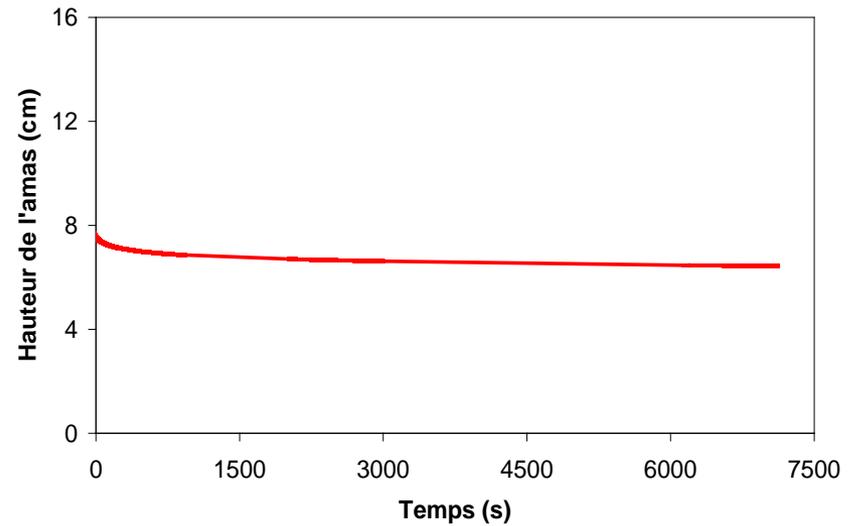
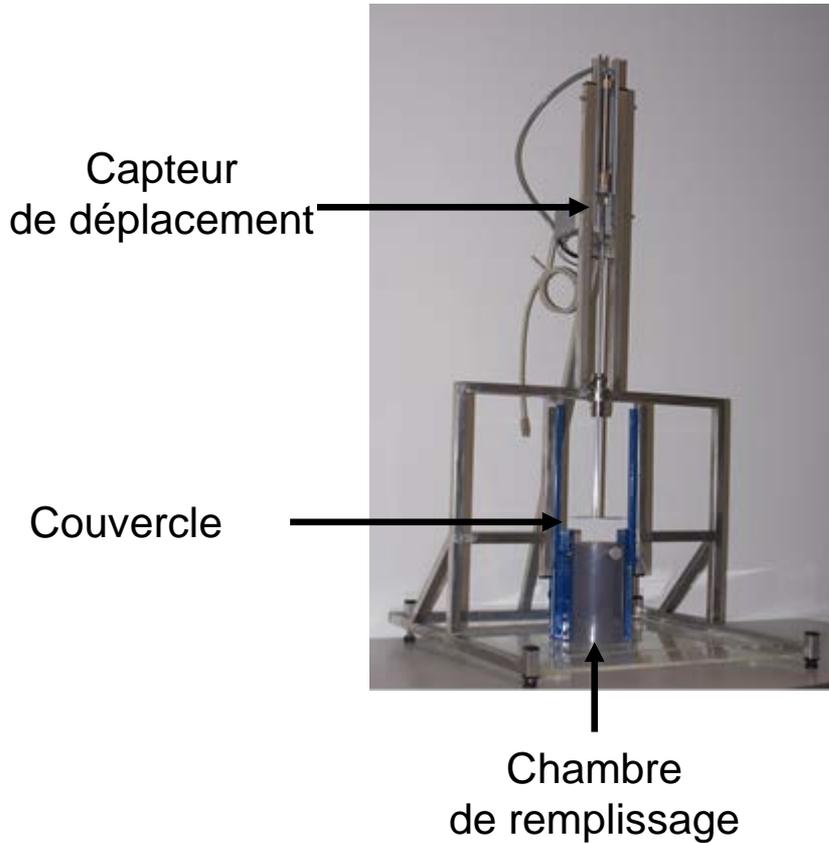
➤ Procédure proposée par Battistoni *(Battistoni et al., 1993, 1997, 2000)*

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

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

- Milieu **plastique** (Modèle de Bingham)
- Fluide à **seuil de contrainte** (τ_c)

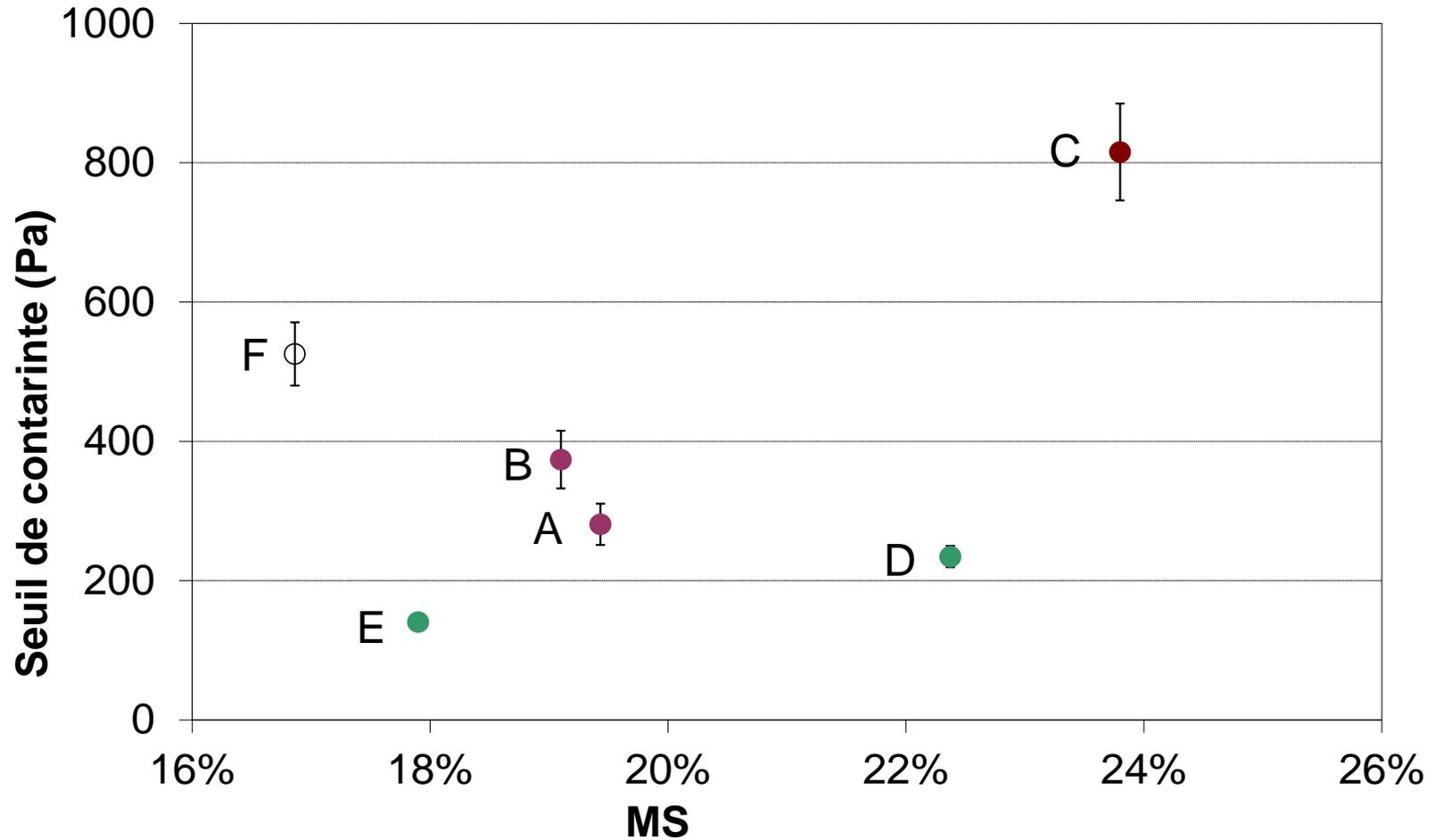
Test d'effondrement (Slump test)



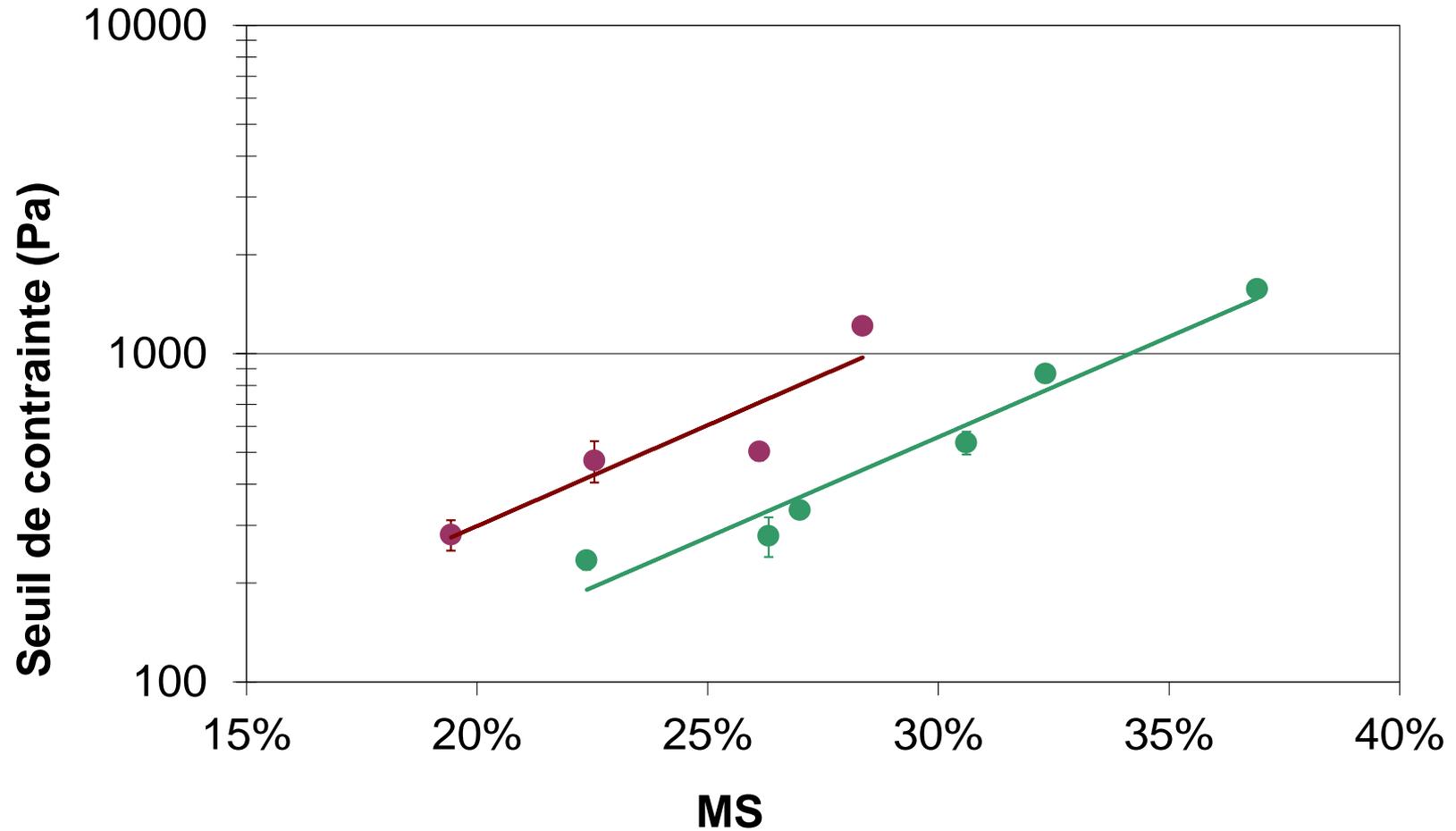
**Hauteur finale d'effondrement
⇒ seuil de contrainte (τ_c)**

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

Seuil de contrainte de digestats « voie sèche »

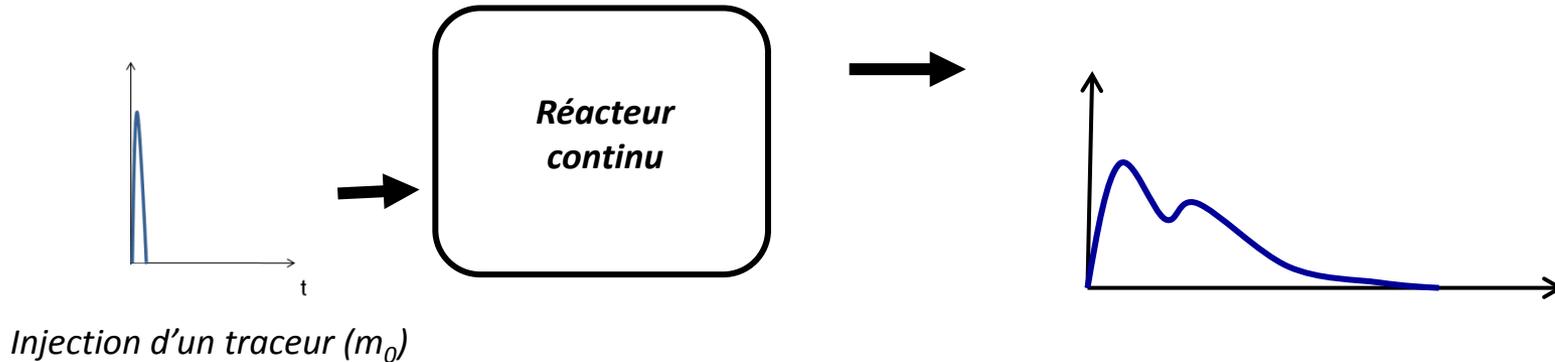


Influence du taux de MS



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[®]

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

Verre

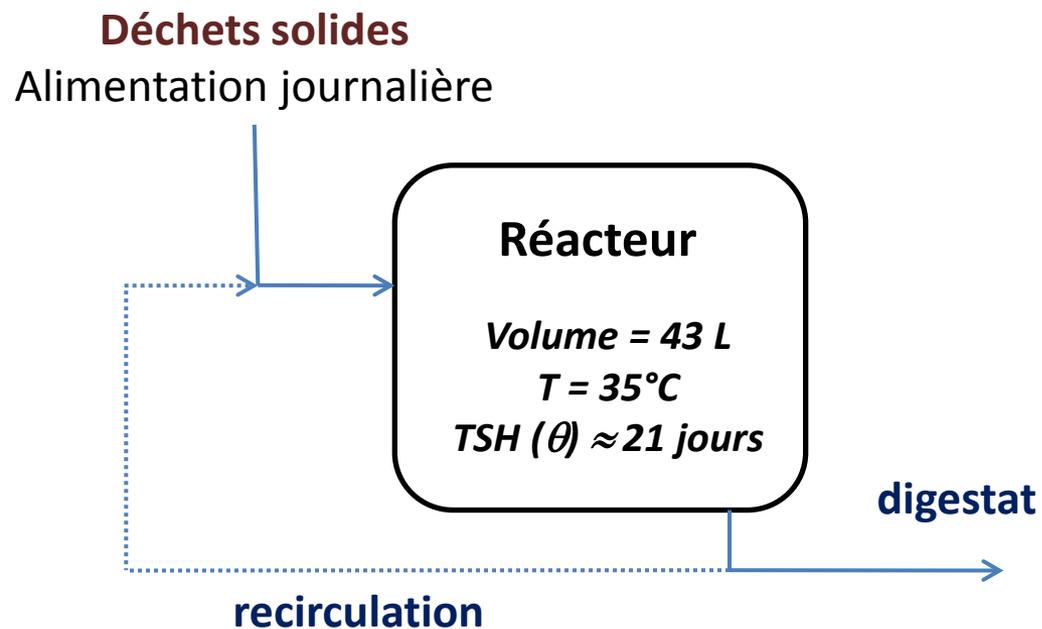
$d = 8 \text{ mm}$
 $\rho_s = 2.5 \text{ kg.L}^{-1}$

Polyamide

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

- ▶ Injection de 500 particules
- ▶ Détection manuelle

Dispositif de laboratoire

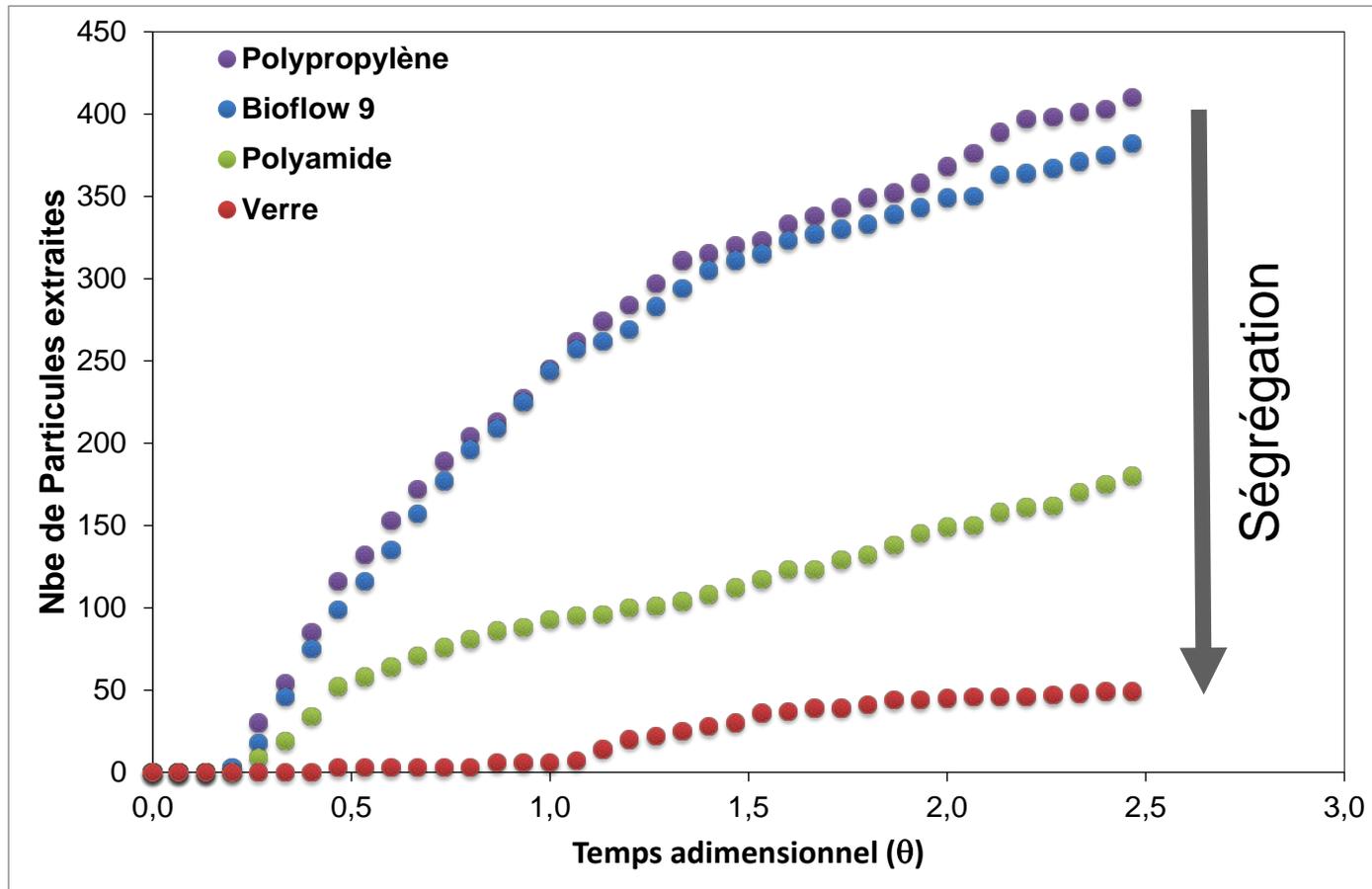


4 conditions opératoires

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

Macro-mélange des solides

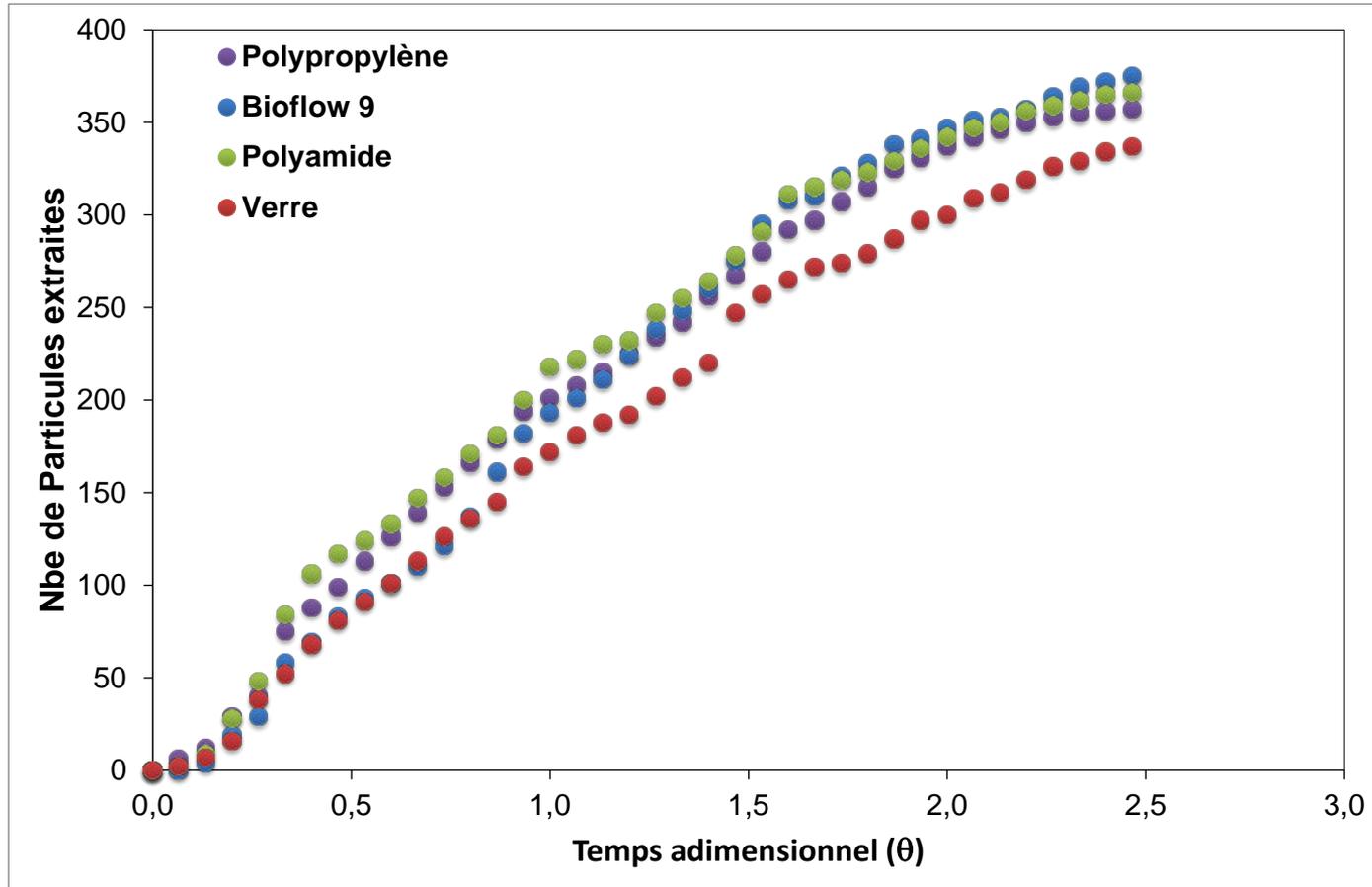
FFOM, 22% TS



Décantation des particules en fonction de la densité

Macro-mélange des solides

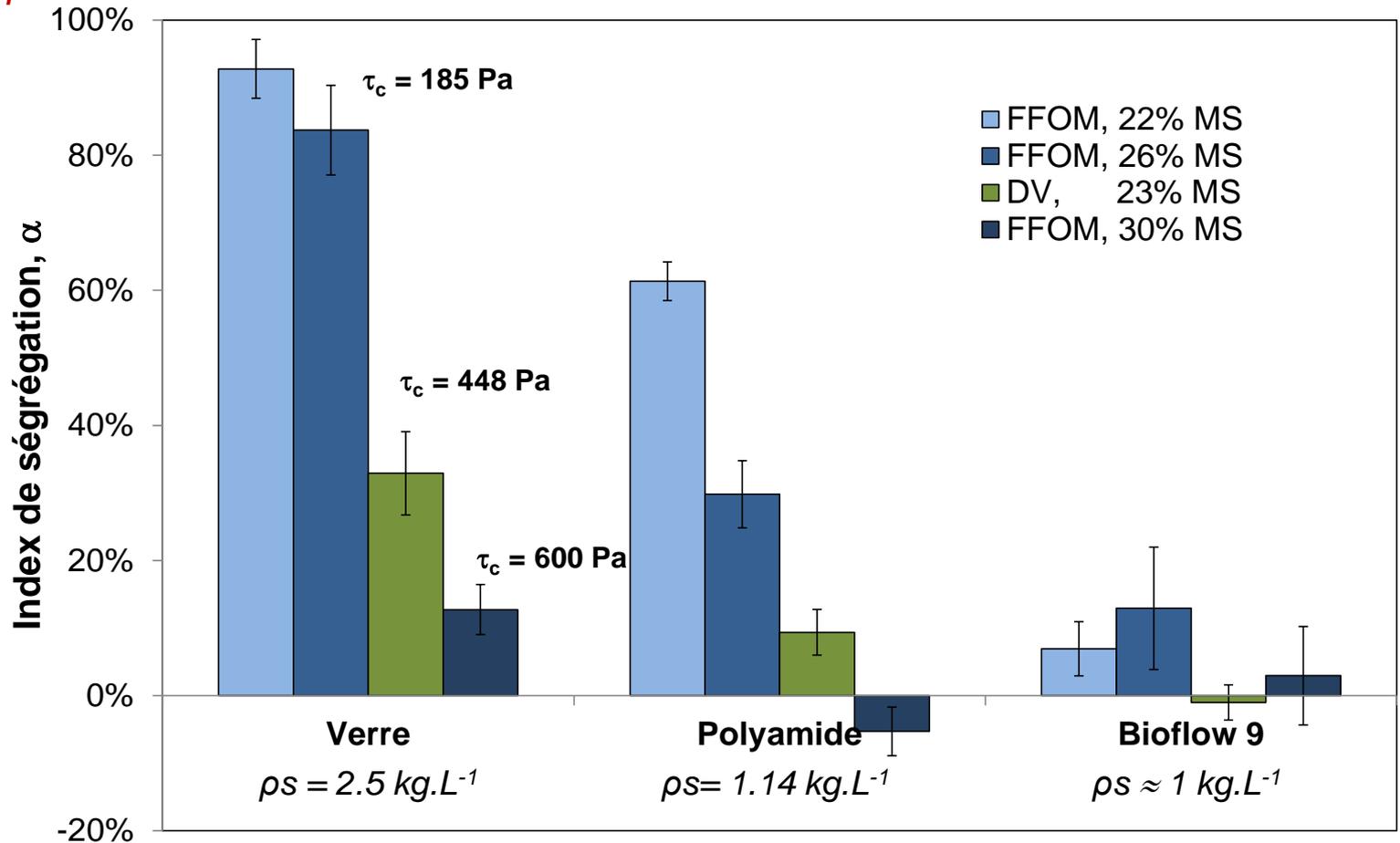
FFOM, 30% TS



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



© www.OligoProject.info



Mélange et sédimentation

Etats de l'eau



États de l'eau dans les sols

eau liée
grain.

eau capillaire

eau libre

Biologie

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

Inhibitions

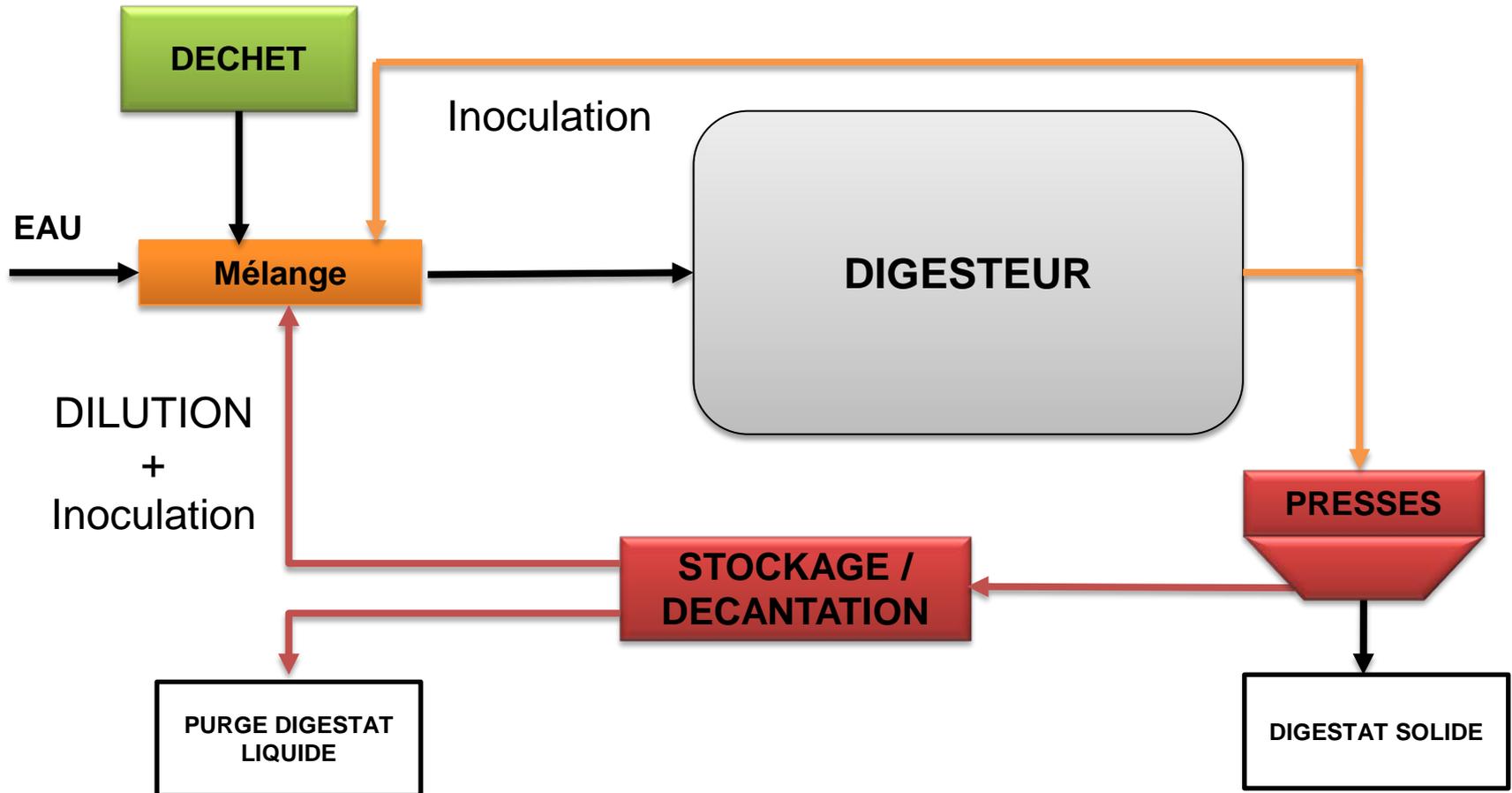
(accumulations locales
AGV, H₂, NH₃, ...)

Etats d'équilibres atypiques
Stabilité biologique ?

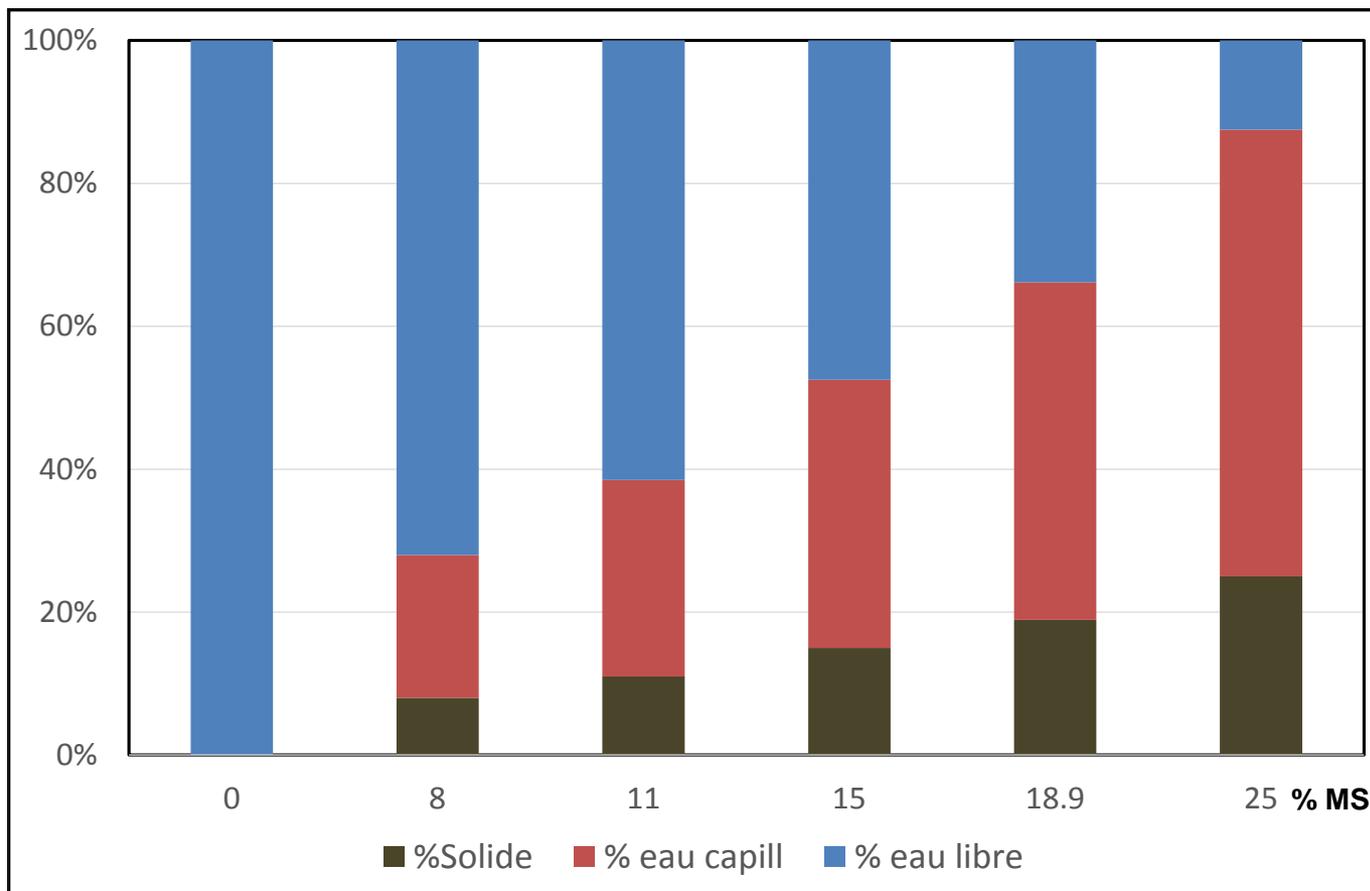
STABILITE BIOLOGIQUE des digesteurs voie sèche continus

3 points essentiels :

Siccité du milieu
Inertie du système
Régimes d'inhibition



SICCITE du milieu : 1/ Etats de l'eau

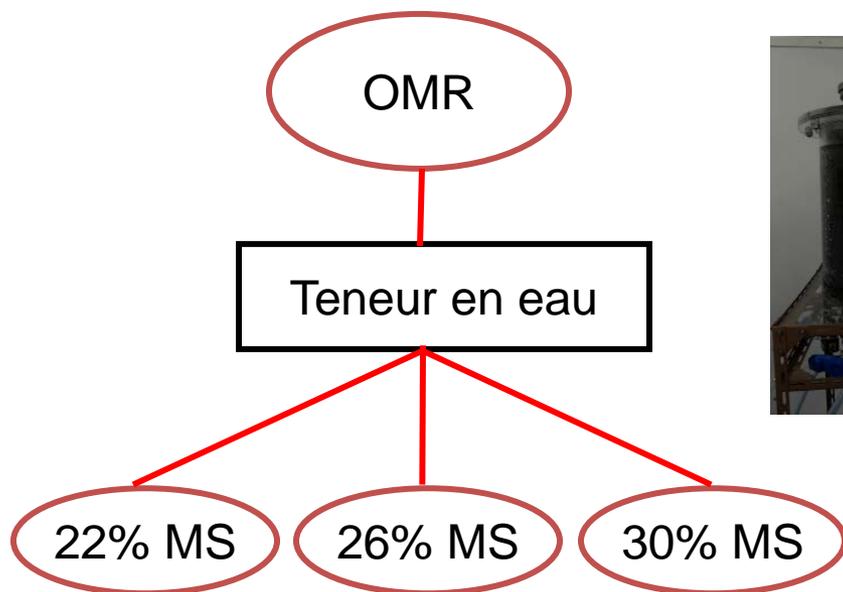


Ratio eau libre / eau « capillaire » déterminé par thermogravimétrie (courbe de séchage), d'après Garcia-Bernet et coll., 2011., *Chem. Eng. J.*, **72**, 924-928.

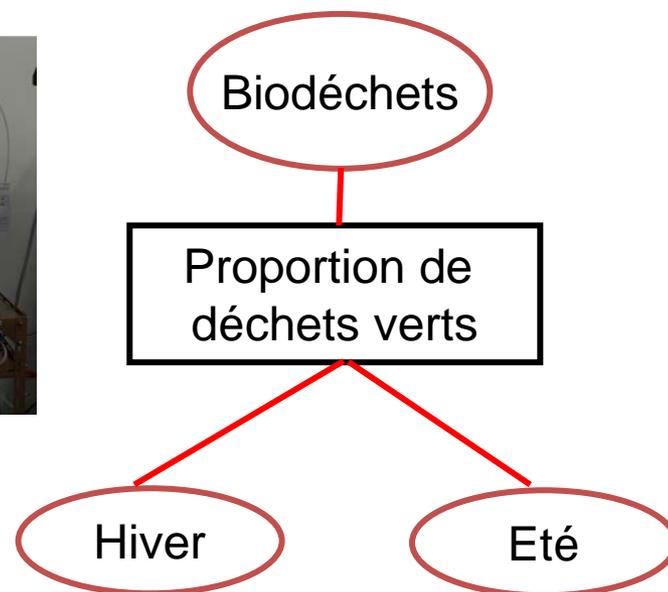
SICCITE du milieu : 2/ Impact sur les performances

► Essais de digestion en continu

INSA LYON



INRA NARBONNE



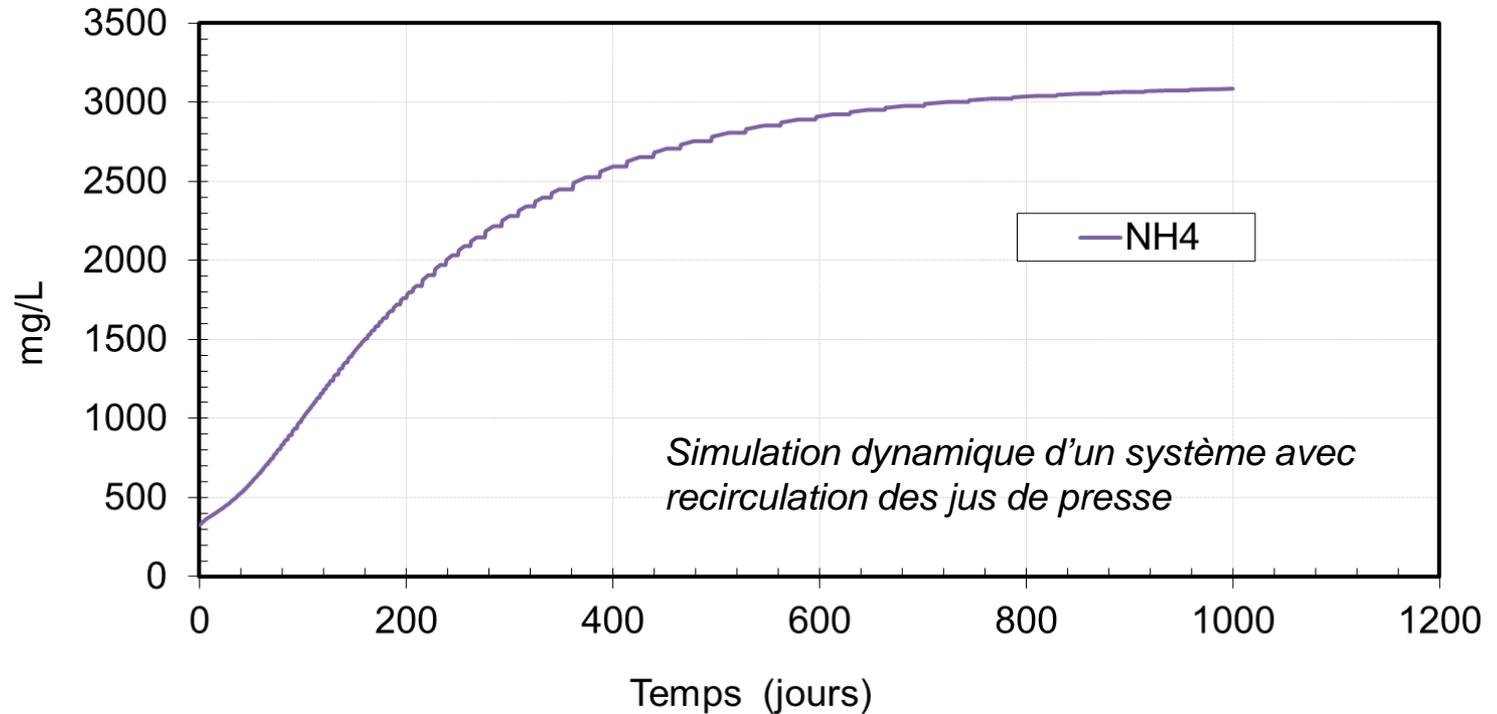
SICCITE du milieu : 2/ Impact sur les performances

► Chute du rendement CH₄ à 30% MS

	R1 MS 22%	R2 MS 26%	R3 MS 30%	hiver MS 23%	été MS 23%
$m^3_{\text{biogaz}}/m^3_{\text{réacteur}\cdot j}$	2,1	2,2 2,9	2,4	2,9	2,7
$m^3_{\text{méthane}}/t_{MV \text{ introduite}}$	200	185 180	120	171	177
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

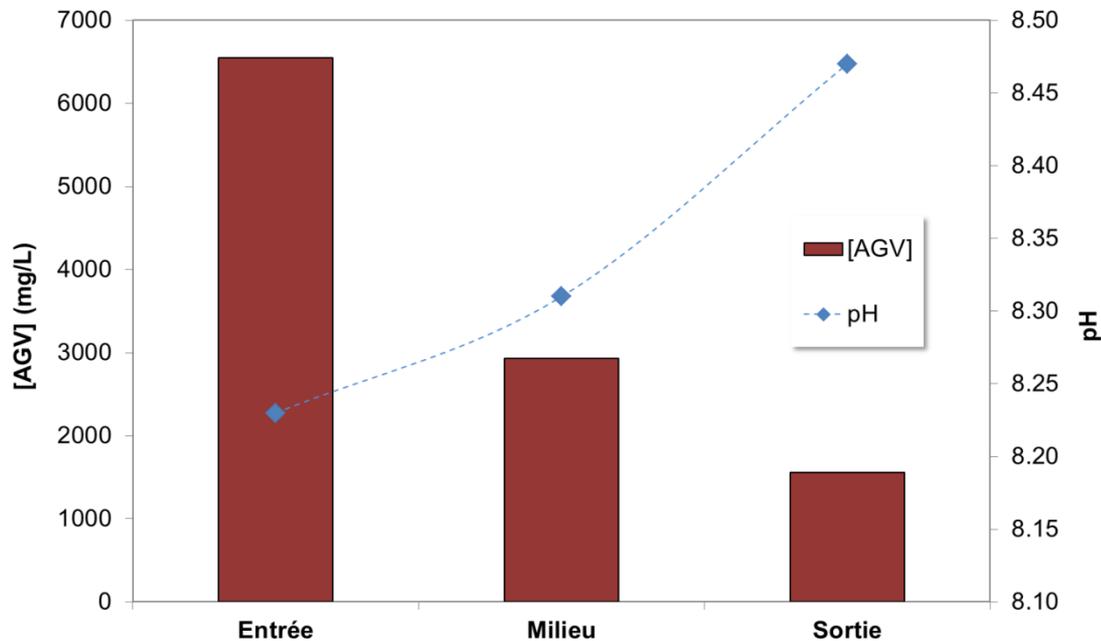
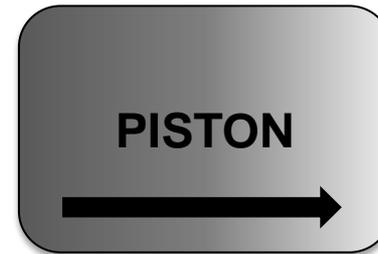


INERTIE du système : 2/ Réacteur piston

► 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

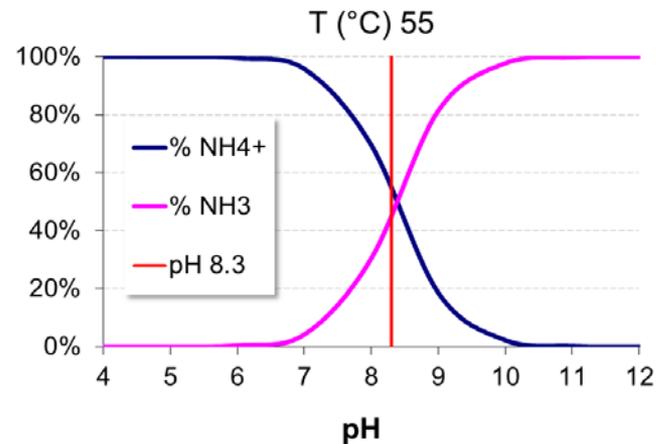
pH : très alcalin (>8)

N ammoniacal

NH₃

Sels (K⁺, ...)

AGVs



Hétérogénéité

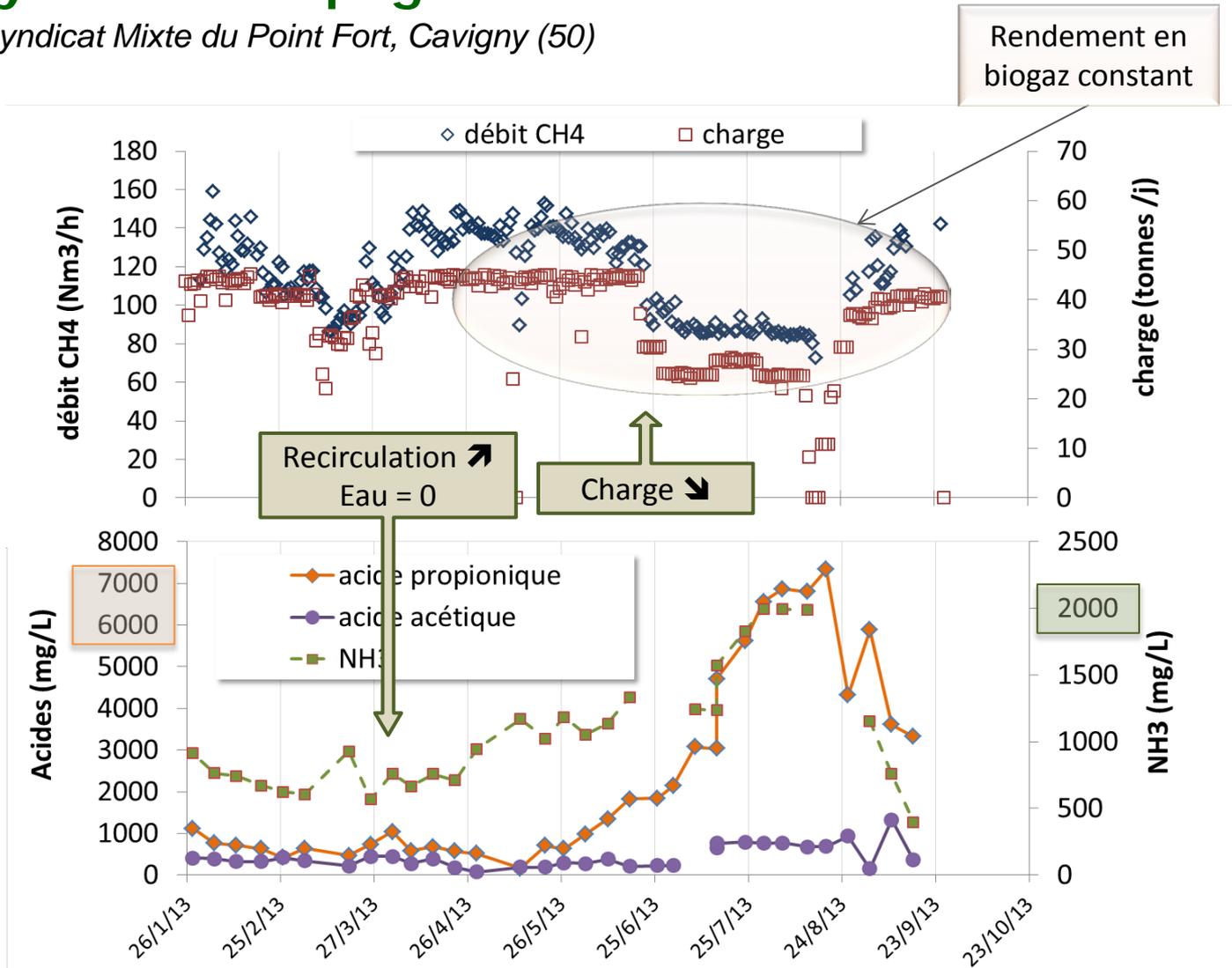
Temps de séjours longs

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)