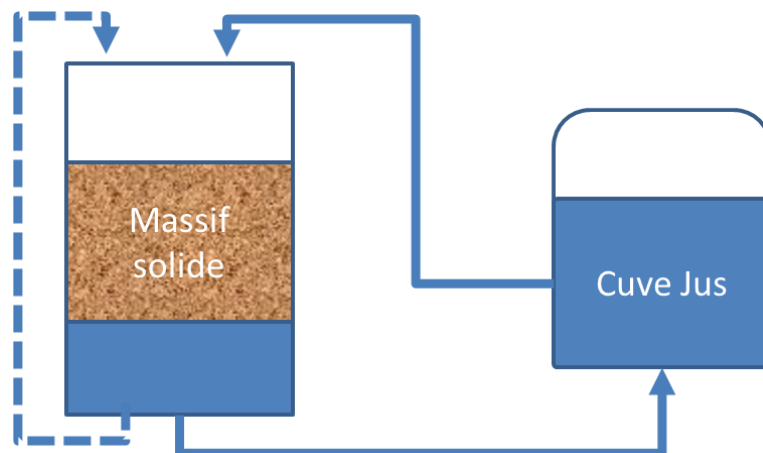
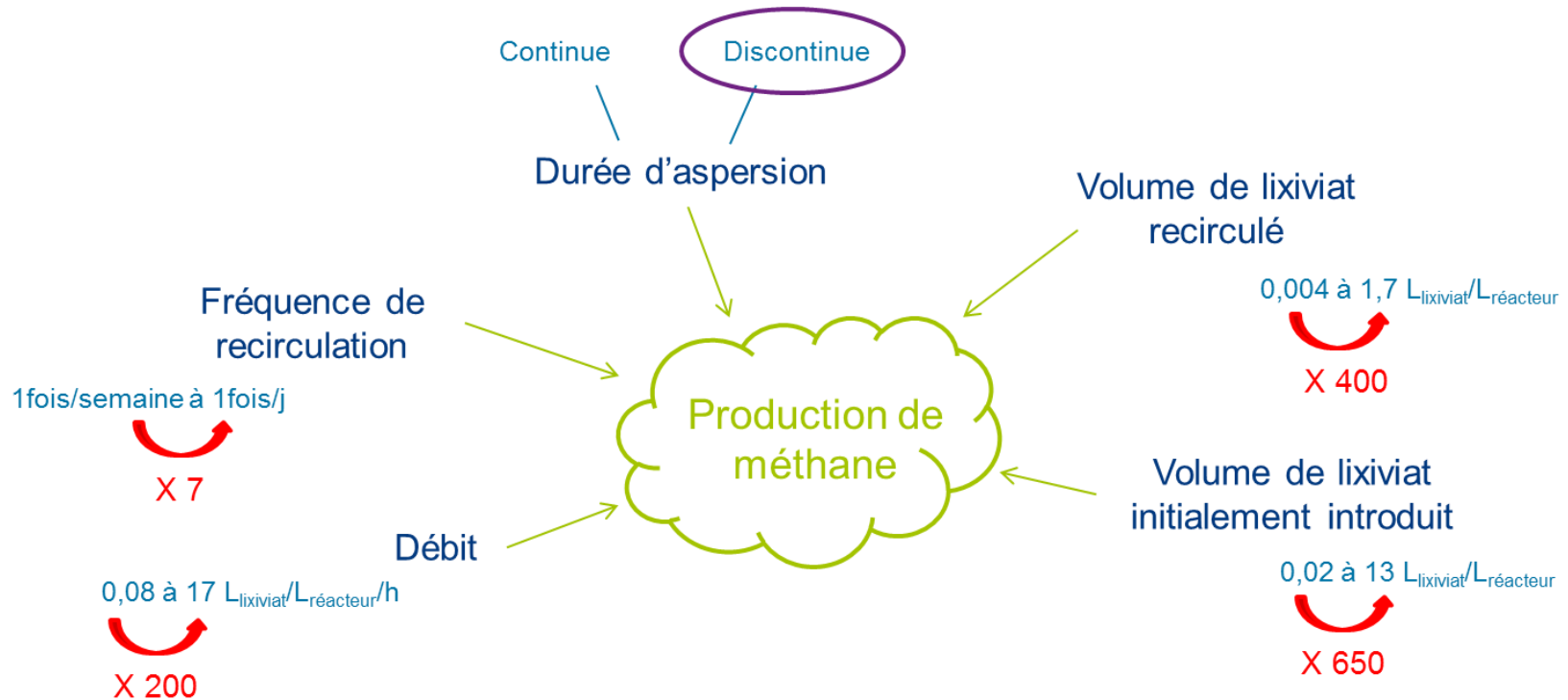


Caractérisation des transferts hydriques au cours du procédé de méthanisation voie solide discontinue

Sébastien Pommier



Quelle stratégie de recirculation adopter ?



Plan d'expériences

Critère d'optimisation :

Rendements

Cinétiques



Degueurce et al., 2016



Et si on change :

- De substrat
- De qualité de jus
- De configuration de procédé
- Etc.

?

Objectifs de l'écoulement

Accessibilité /
biodisponibilité

Inoculation

Chaleur

Levée
d'inhibitions
locales

Lixiviation des
MO vers
digesteur liquide



Enjeux
Effets attendus

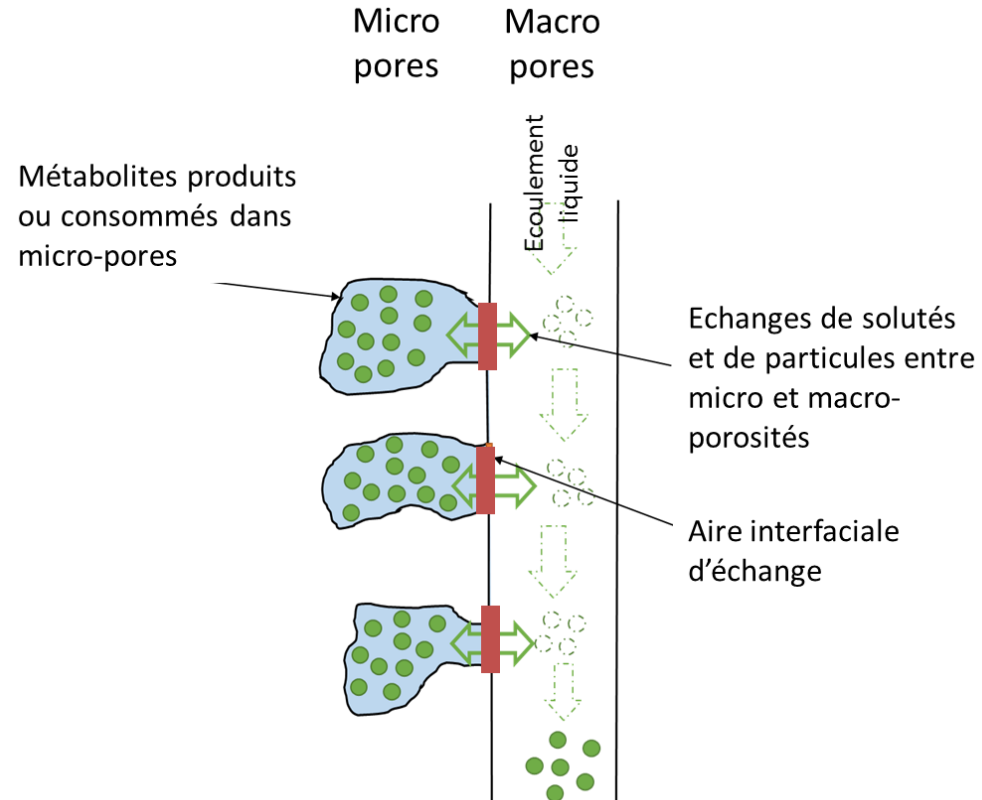
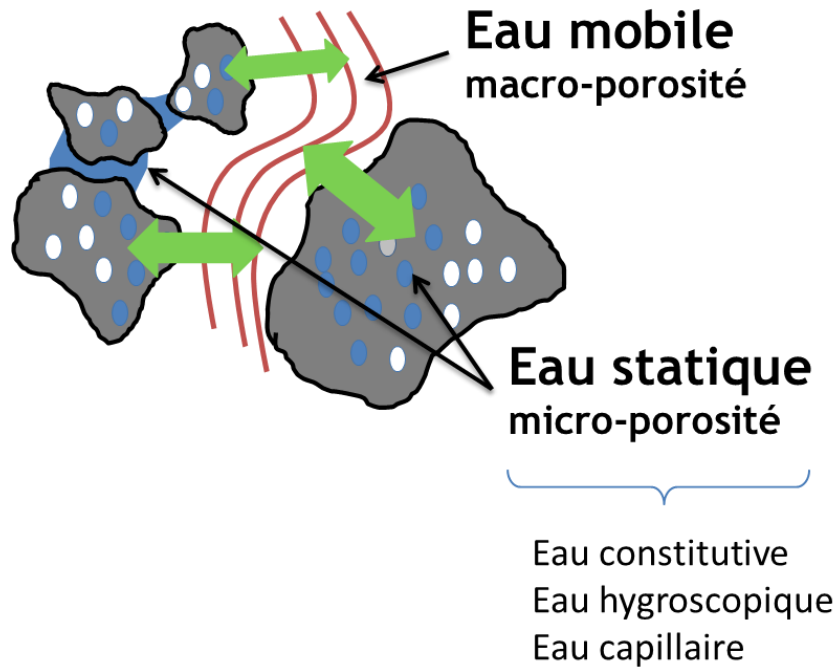


Questions scientifiques
Questions techniques



Caractérisations
Mesures
Observations

Représentation du système



Objectifs de l'écoulement

Accessibilité /
biodisponibilité

Inoculation

Chaleur

Levée
d'inhibitions
locales

Lixiviation des
MO vers
digesteur liquide



Saturation de la micro-porosité

Teneur en eau = Capacité de Rétention

Pas de zones sèches



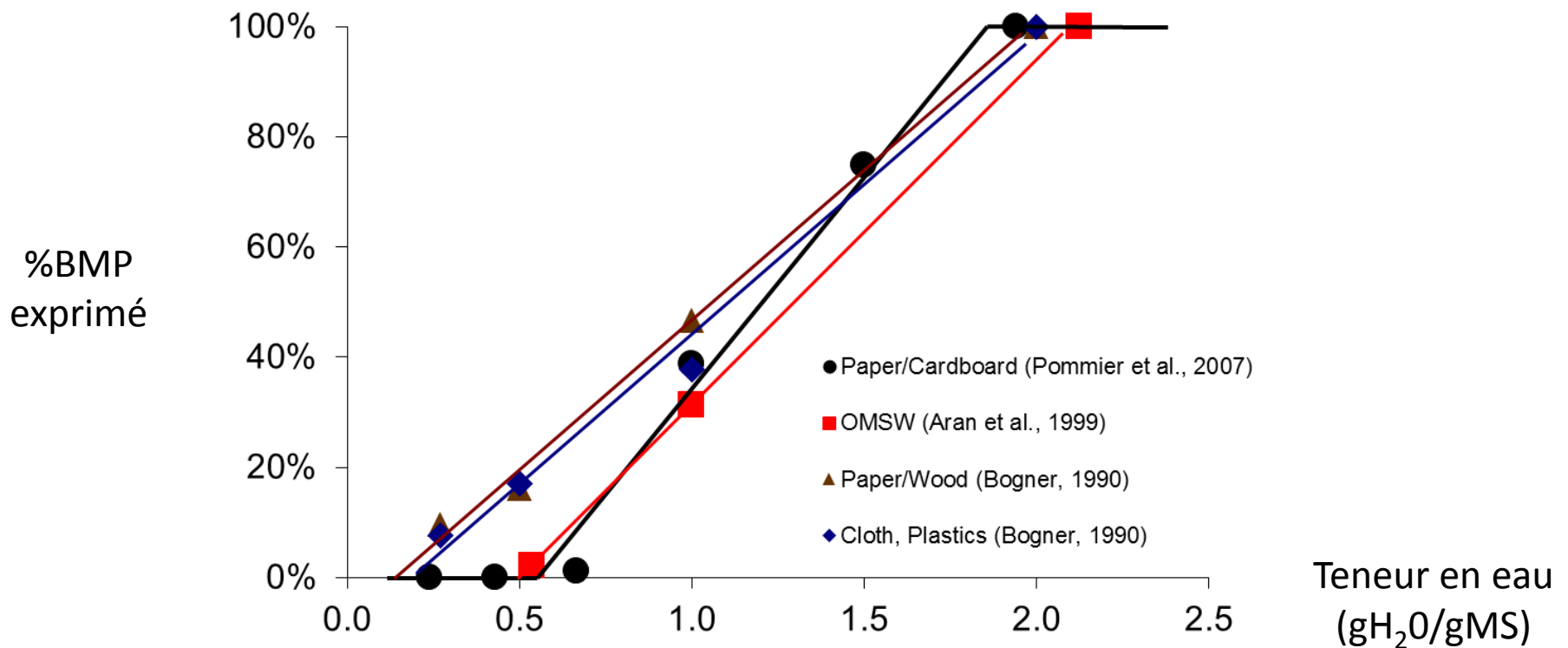
Quelle capacité de rétention pour mon déchet ? ➡

*bilan hydrique
de l'installation*

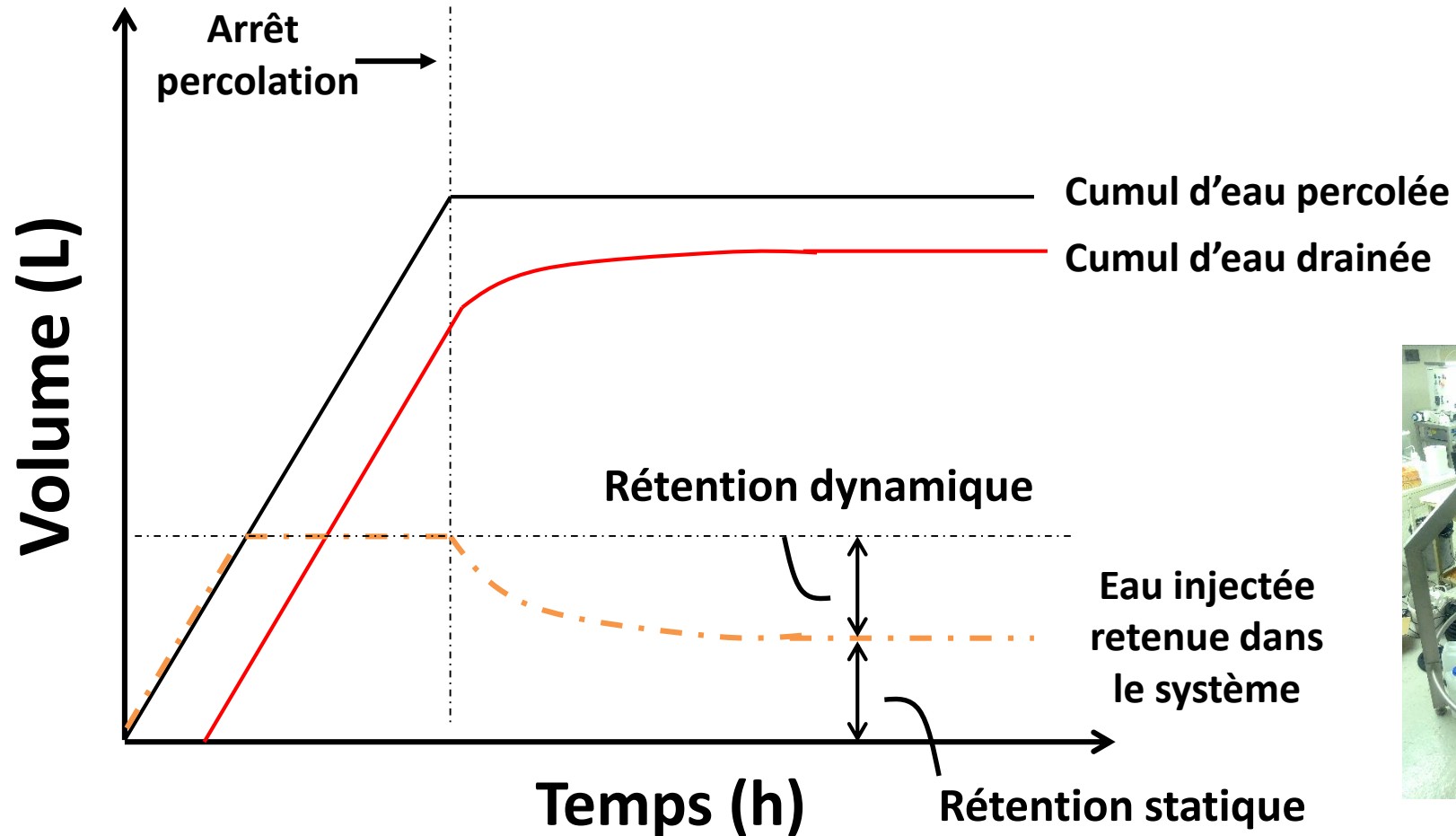
Comment arriver à la capacité de rétention ?

Immersion complète ? Percolation ?

Rappel : Effet de la teneur en eau sur la biodisponibilité



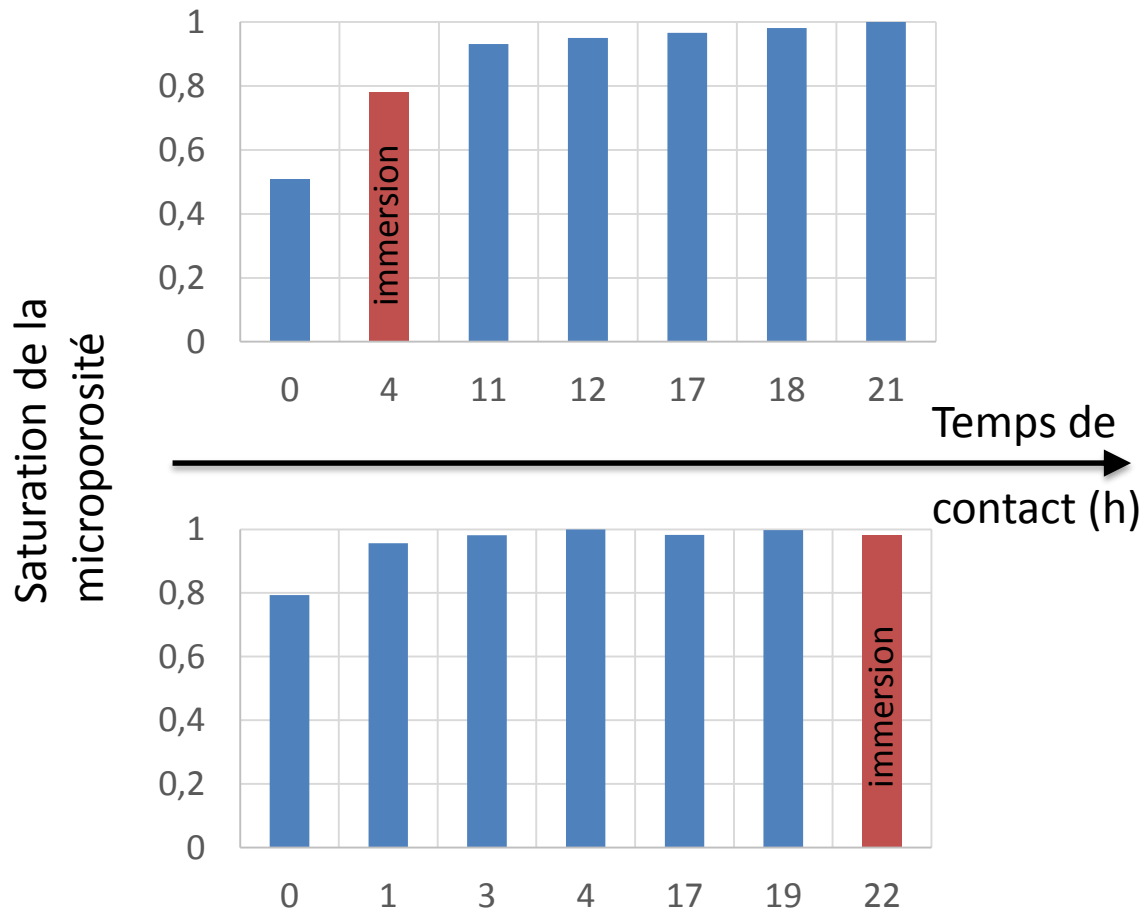
Rétention statique Rétention dynamique



Saturation progressive du massif



Ex. fumiers bovins (Shewani et al., 2015)



INSA
TOULOUSE

irstea

Fumiers :

CRE = 3 à 5 kgH₂O/kgMS

Pailles :

CRE = 3 à 4 kgH₂O/kgMS

Intérêt de l'immersion

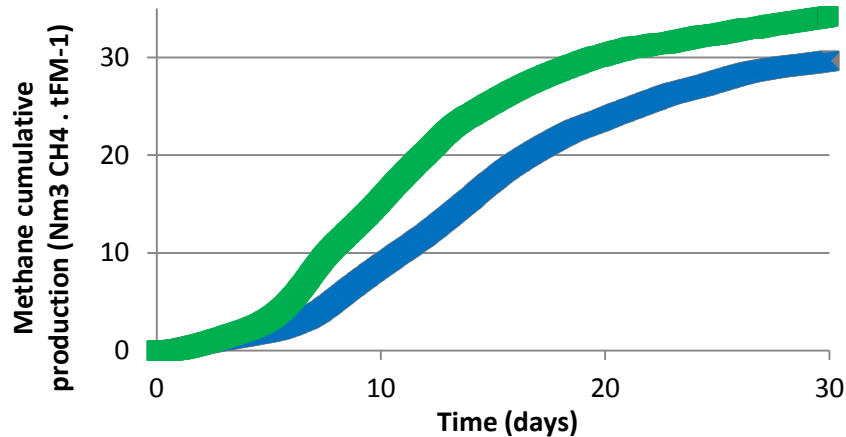


Ex. Effet sur la production de biogaz et sur les populations microbiennes

UniLaSalle
Terre & Sciences

utc
SORBONNE UNIVERSITÉS

(André et al., 2016)



Immersion de 50 %
du massif solide

Immersion de 30 %
du massif solide



**Gain de 13 %
De biogaz cumulé**



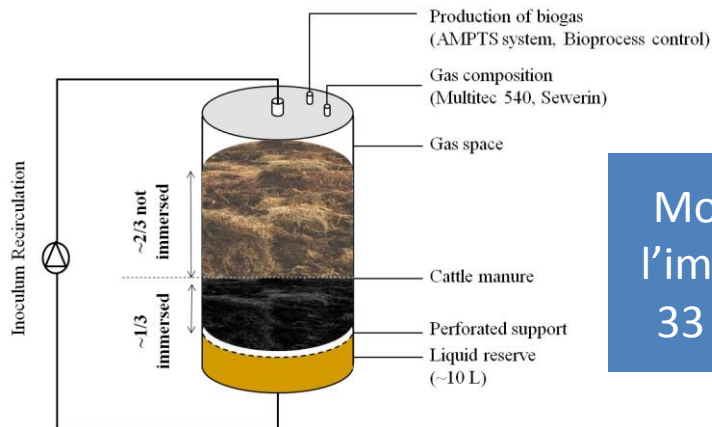
Développement de méthodologies adaptées aux substrats agricoles pour quantifier les populations

Développement de 2 log de différences des *Methanosarcinaceae*

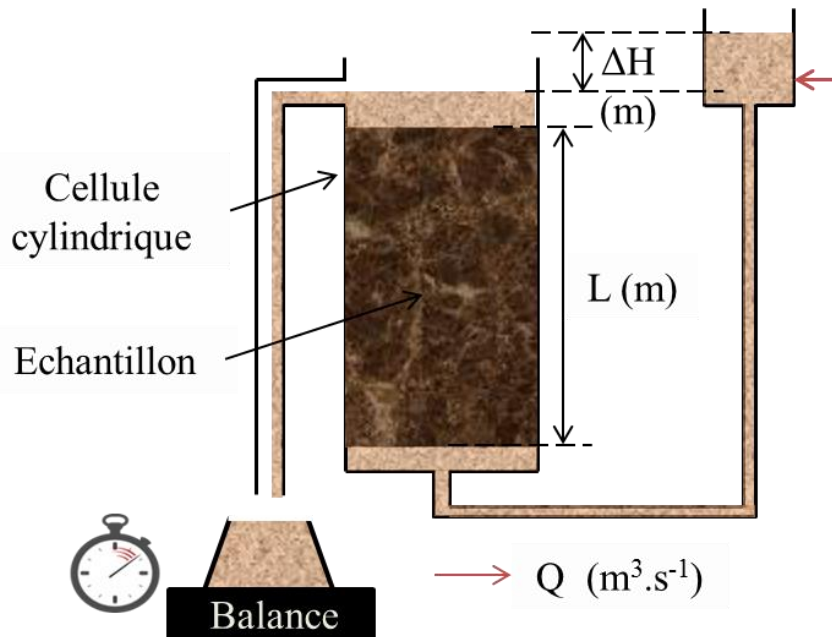
Pas de changement des populations dans la phase liquide

Augmentation des populations dans la phase solide

Modulation de
l'immersion soit
33 % soit 50 %



Conductivité hydraulique (perméabilité)



Loi de Darcy :
$$Q = K_s \cdot A \cdot \frac{\Delta H}{L}$$



André et al., 2015 / Shewani et al., 2015 /
Degueurce et al., 2016

Fumiers / Pailles

$K_s \approx 10^{-4} - 10^{-3}$ m/s



Bonne perméabilité



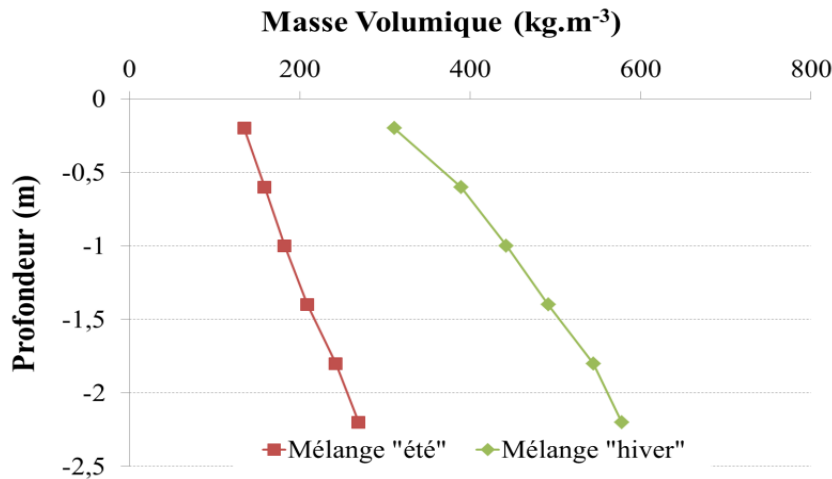
Evolution des propriétés : tassement



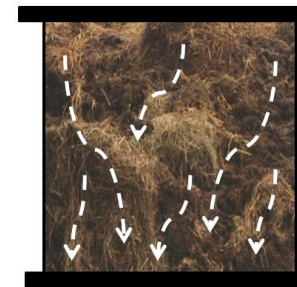
Contraintes mécaniques + Dégradation biologique Accentués par la recirculation



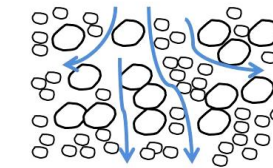
Degueurce et al., 2016



André et al., 2015



Before anaerobic digestion



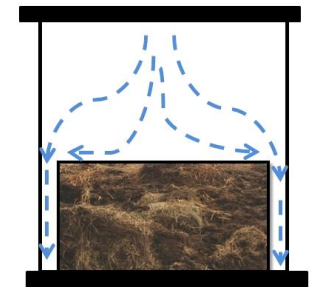
Solid phase (Manure)

- Prevalence of macro-porosity

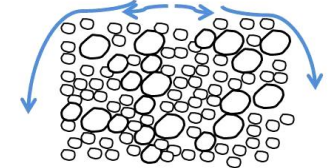
Liquid phase (Inoculum)

- Leachate through manure

Biodegradation
→
Inoculum
recirculation



After anaerobic digestion



Solid phase (Manure)

- Disappearance of macro-porosity
- Increasing of micro-porosity
- Low permeability

Liquid phase (Inoculum)

- Leachate on sides

Conséquences sur la recirculation

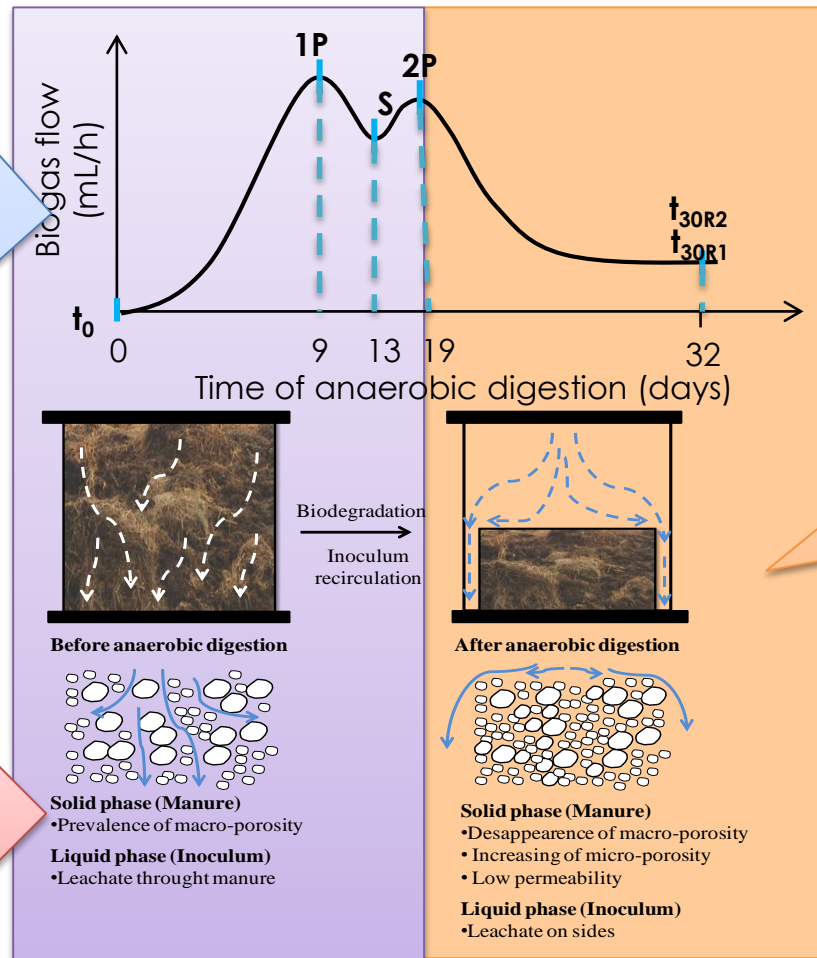


Etat dynamique

La recirculation de la phase liquide permet d'augmenter la production de méthane

(environ 20% avec une recirculation doublée)

Optimisation de la production de méthane par la recirculation



Etat statique

Pas d'effet bénéfique de la recirculation

Objectifs de l'écoulement

Accessibilité /
biodisponibilité

Inoculation

Chaleur

Levée
d'inhibitions
locales

Lixiviation des
MO vers
digesteur liquide



Apports de micro-organismes

Apports de nutriments

Augmentation du pouvoir tampon



Quelle efficacité d'inoculation ?

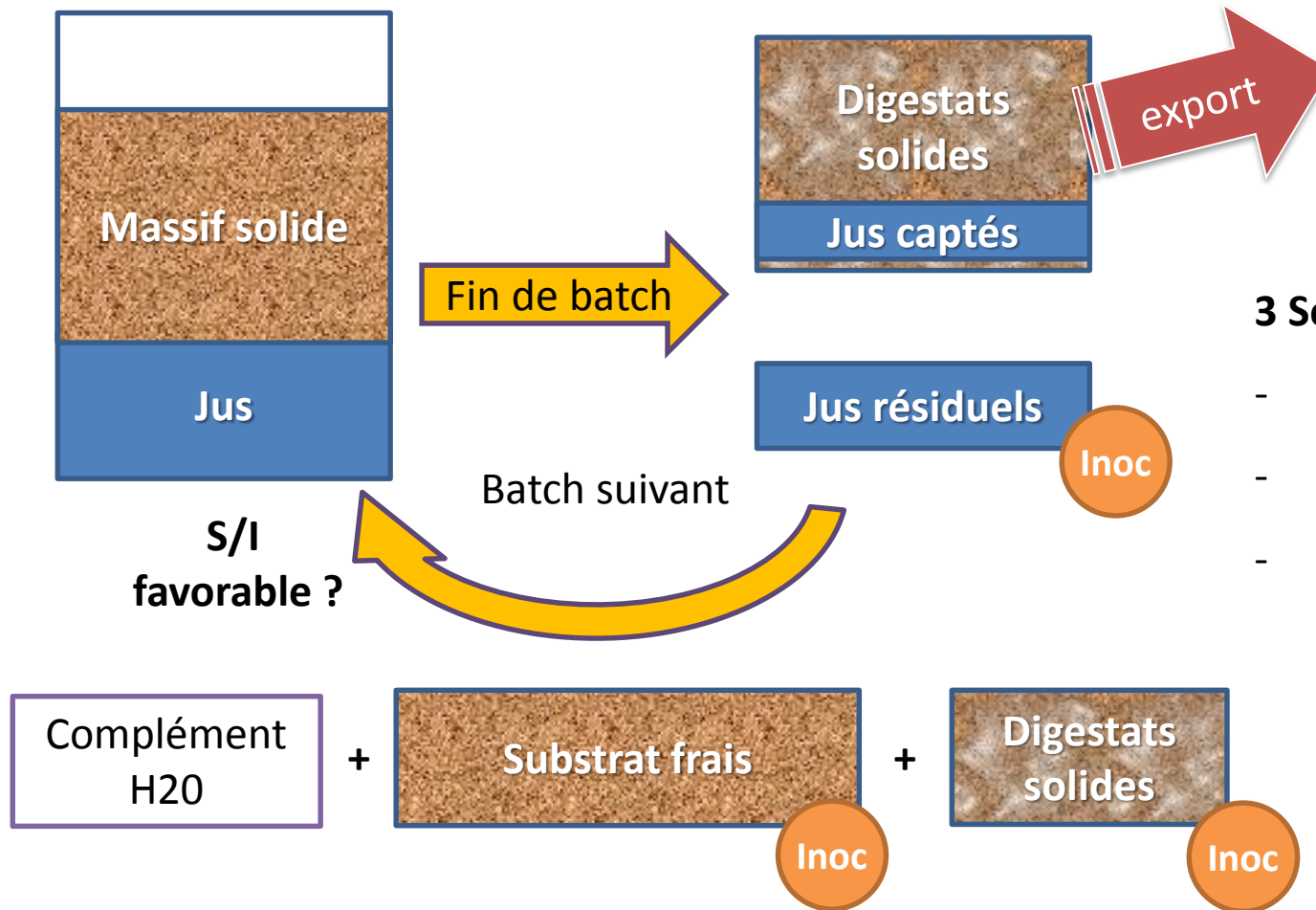
Implantation des populations ?

Qualité des jus d'inoculation ?

Inoculation en procédé discontinu



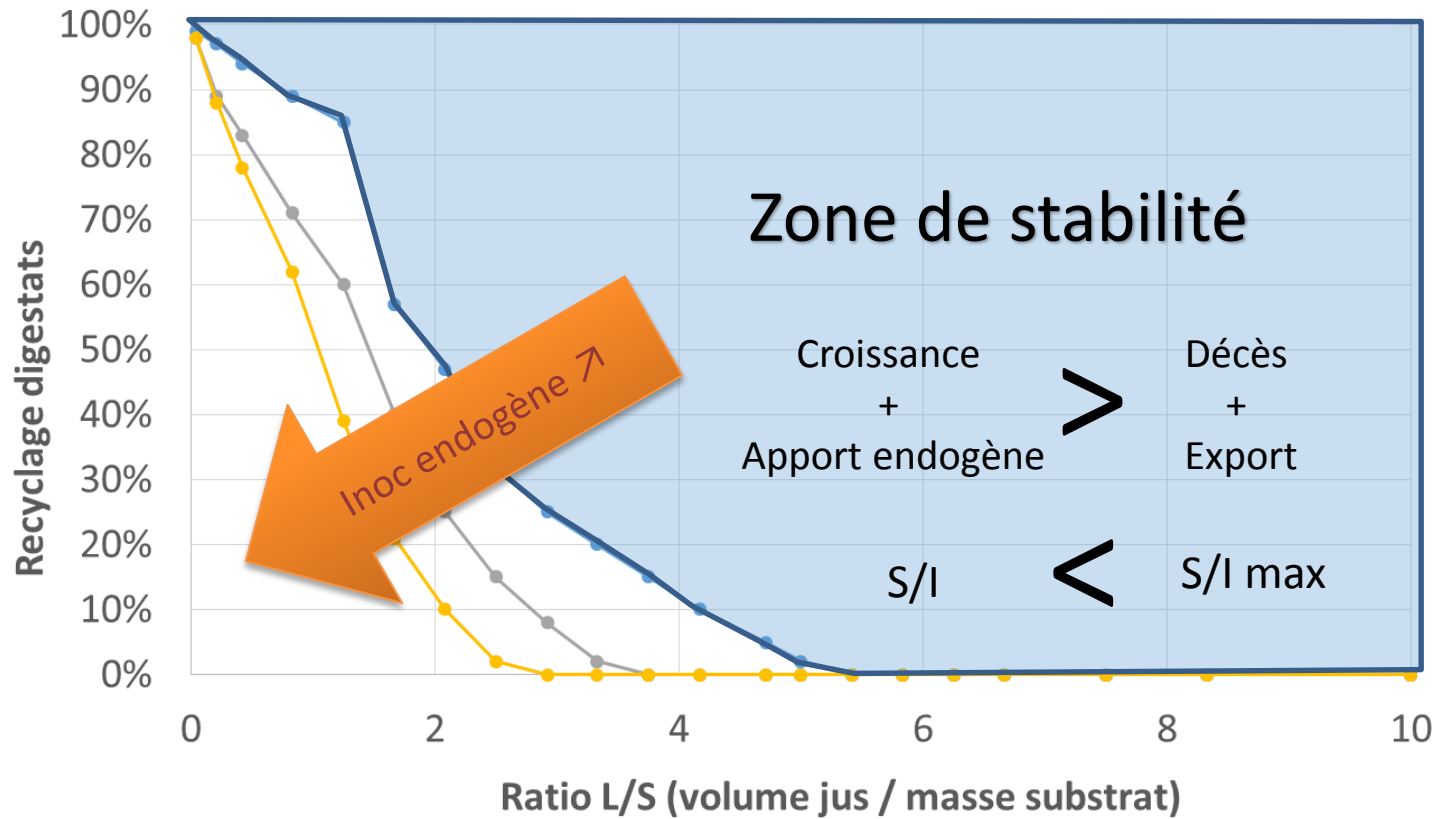
Enjeu = maintenir un ratio S/I favorable à la méthanisation



3 Sources d'inoculation :

- Liquide recirculé
- Digestat réincorporé
- Substrat (endogène)

Inoculation en procédé discontinu



Est-ce nécessaire d'inoculer ?

Ex 1. fumiers bovins plateforme SOLIDIA



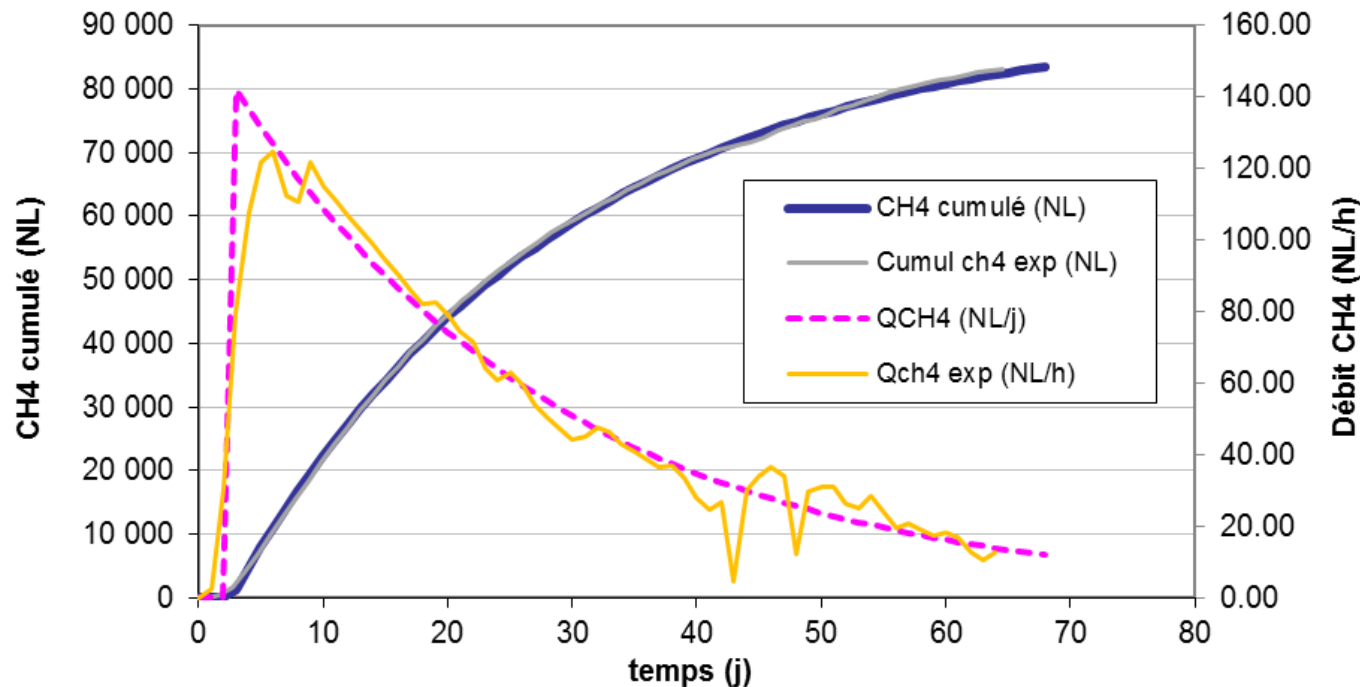
4 tonnes / 8 m³ à 23%MS
Pas de recirculation de jus



Démarrage immédiat
80% du BMP exprimé en 2 mois

SOLIDIA

INSA
TOULOUSE



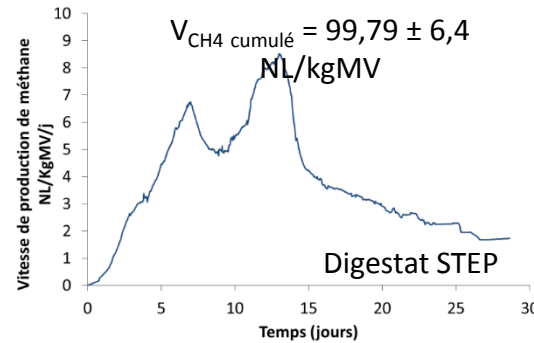
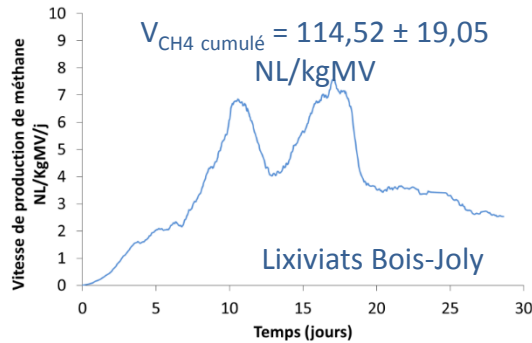
Est-ce nécessaire d'inoculer ?

Ex 2. fumiers bovins + différents jus de recirculation

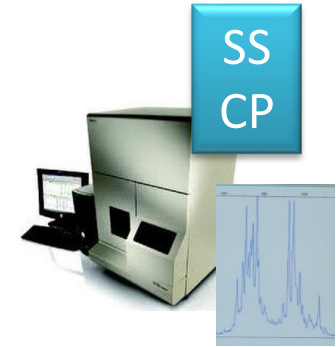
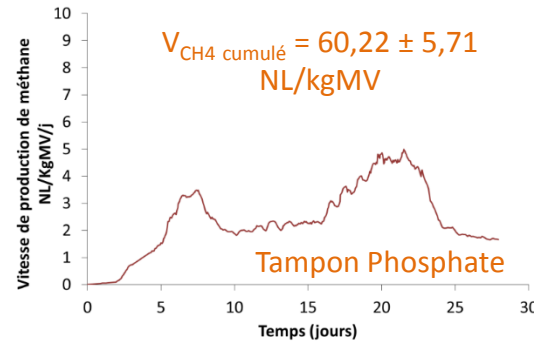
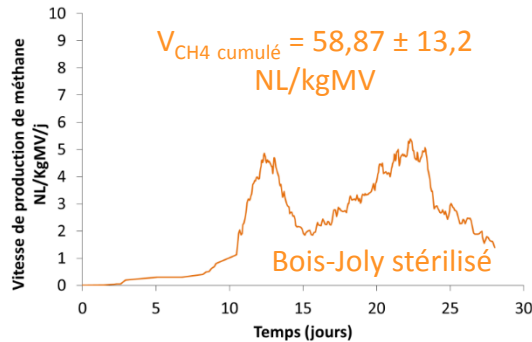


Degueurce et al., 2016

Biotiques



Abiotiques

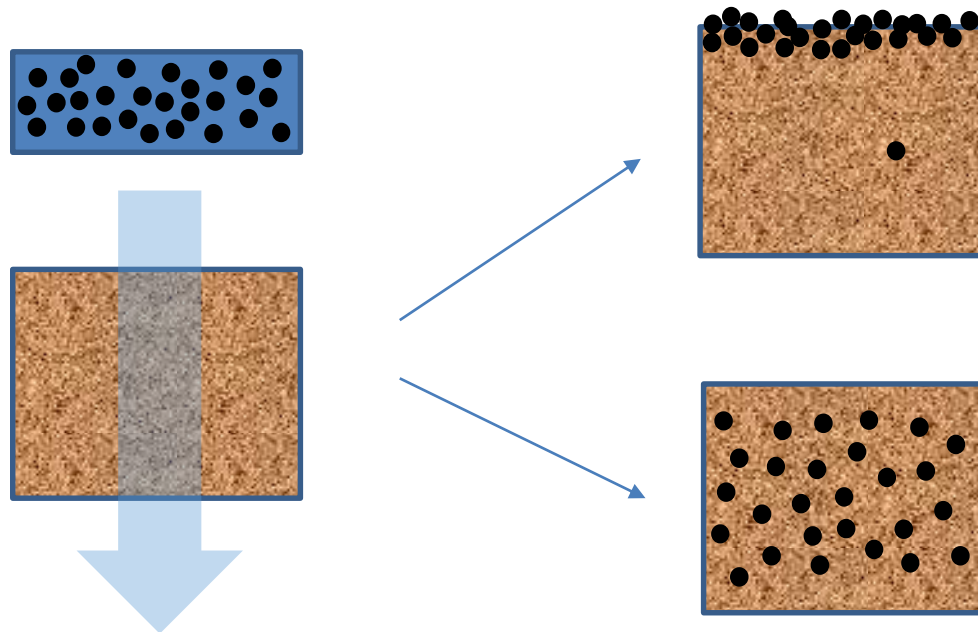


Suivi différencié des populations dans le solide et dans les jus

Pas de transfert de populations entre les jus de percolation et le solide
Effet abiotique principalement (nutriments et oligoéléments)



*Quid du transport des matières en suspension ?
Rétention de particules et de micro-organismes dans massifs ?*



Objectifs de l'écoulement

Accessibilité /
biodisponibilité

Inoculation

Chaleur

Levée
d'inhibitions
locales

Lixiviation des
MO vers
digesteur liquide



Maintien de température optimale



Quels besoins ? Quelles pertes thermiques selon systèmes ?

Quelle efficacité de la recirculation ?

Quantité de jus et fréquence d'apports nécessaires ?

Objectifs de l'écoulement

Accessibilité /
biodisponibilité

Inoculation

Chaleur

Levée
d'inhibitions
locales

Lixiviation des
MO vers
digesteur liquide

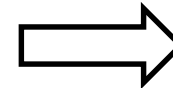


Nécessaires pour écrire bilans thermiques :

Propriétés intrinsèques au massif :

Capacité calorifique **C_p**

Conductivité thermique λ



Peu de données
disponibles

Coefficient d'échange thermique aux parois **U**

Objectifs de l'écoulement

Accessibilité /
biodisponibilité

Inoculation

Chaleur

Levée
d'inhibitions
locales

Lixiviation des
MO vers
digesteur liquide



Evacuation de composés inhibiteurs

Maintien de conditions locales favorables à méthanisation

Externalisation de la méthanisation des composés solubles



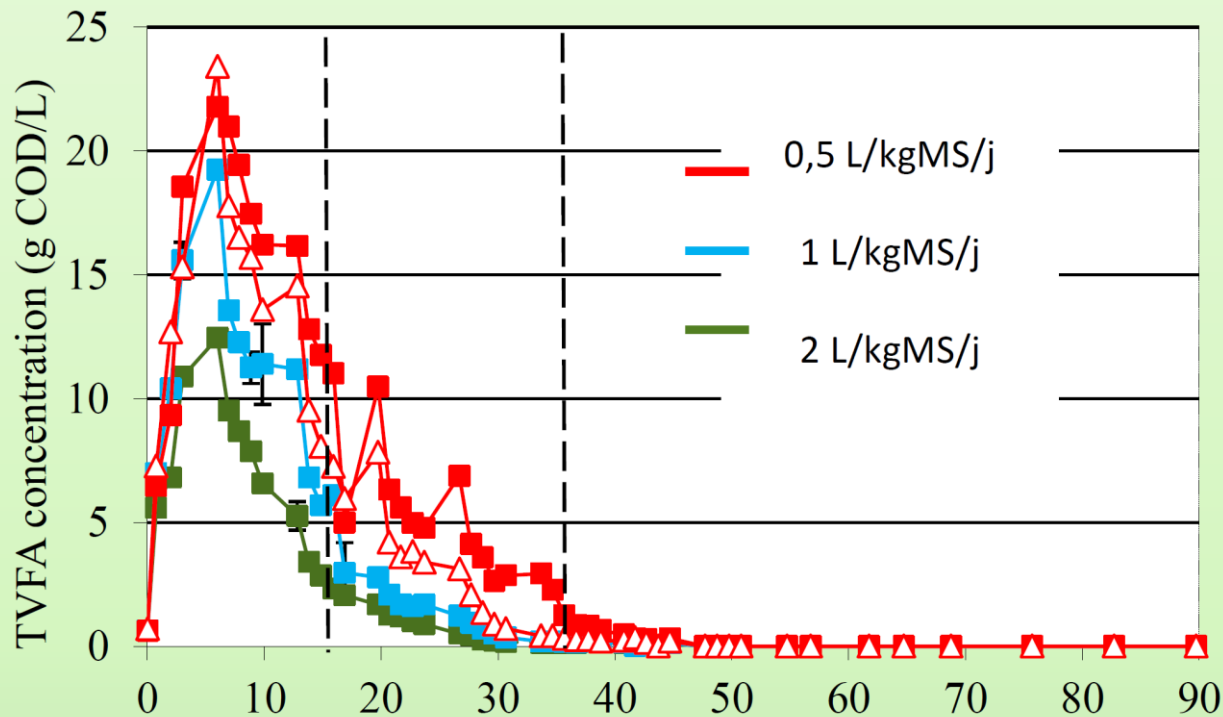
A quelle vitesse se passent les échanges de composés entre eau mobile et eau statique ?

Quelles quantités de jus mettre en jeu ? A quels débits ?

Ex. Mélange fumiers avec carottes (rapidement biodégradable)



Concentration AGV



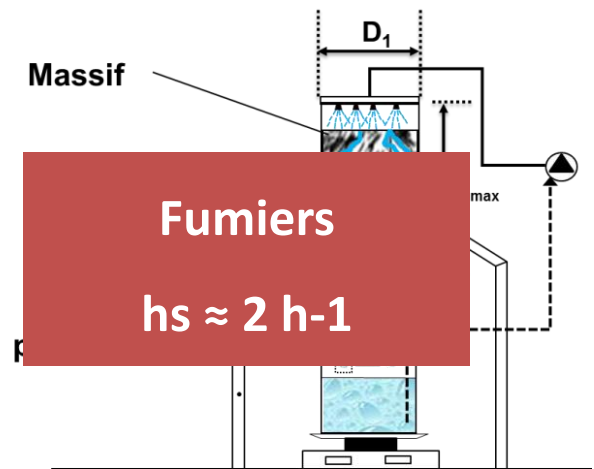
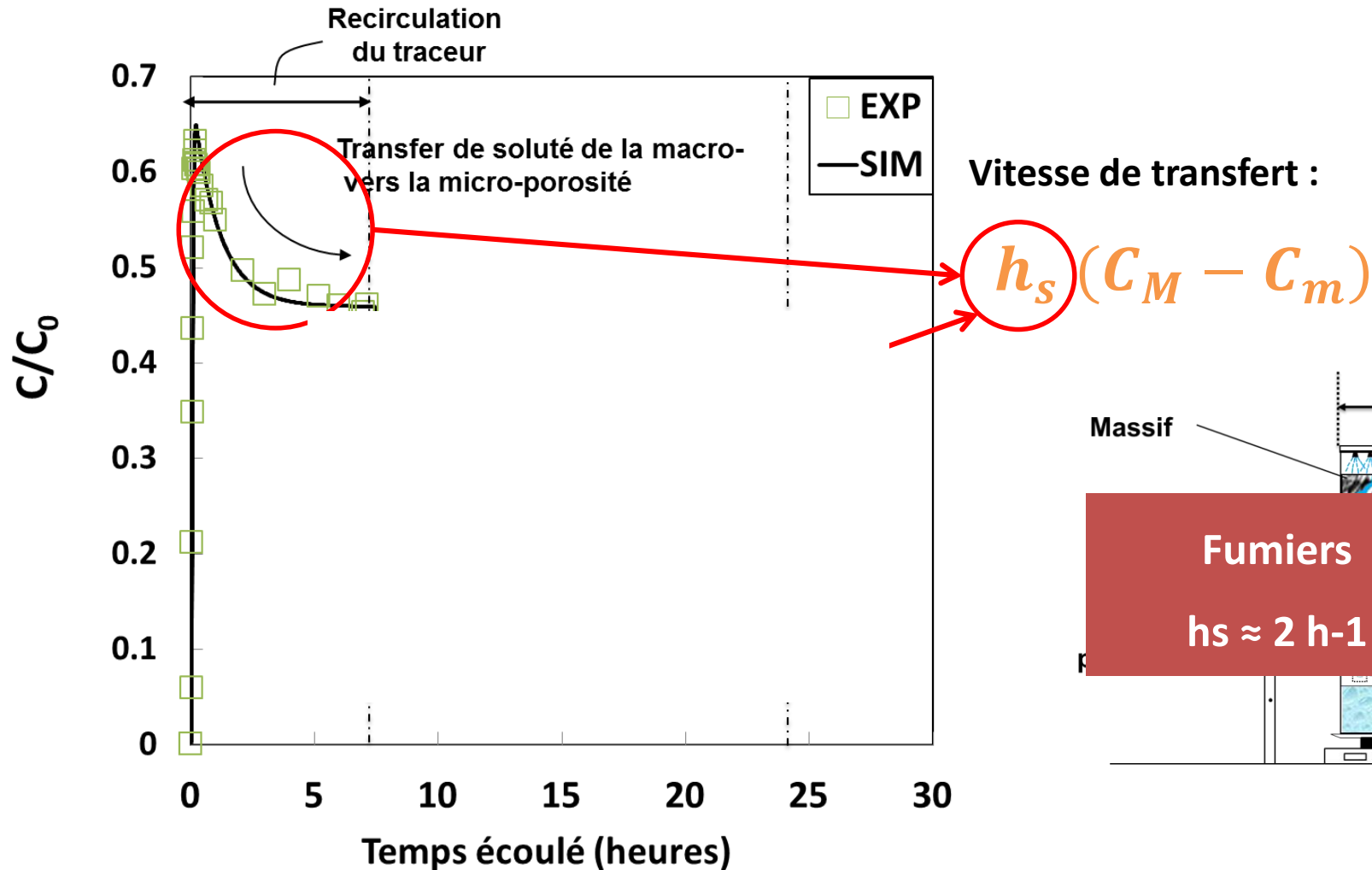
**Accumulation d'AGVs et
chute de pH
(réversible)**



**Une forte recirculation
permet de limiter ces
accumulations**

**→ Gain sur les cinétiques
de production**

Comment quantifier les échanges de soluté entre massif et jus de recirculation ?



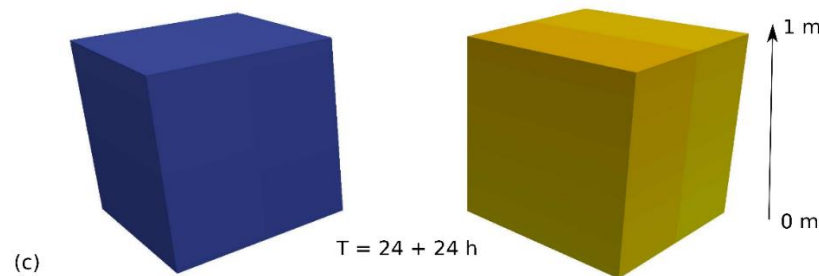
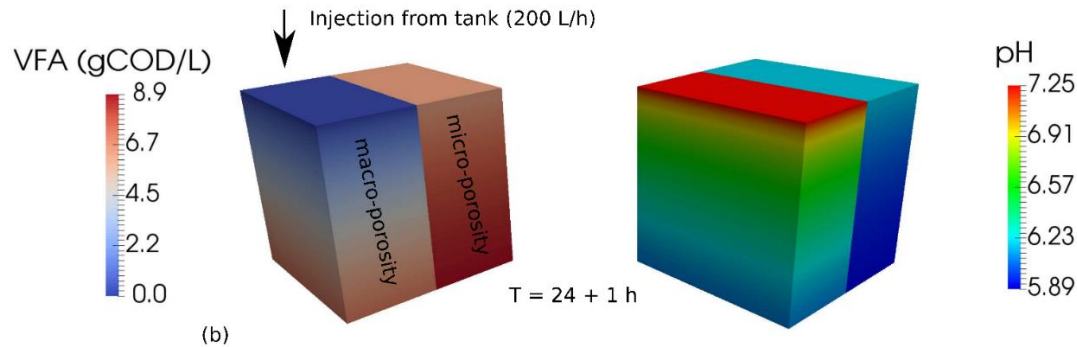
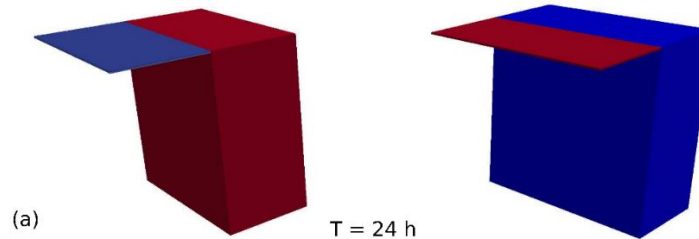
Comment quantifier les échanges de soluté entre massif et jus de recirculation ?



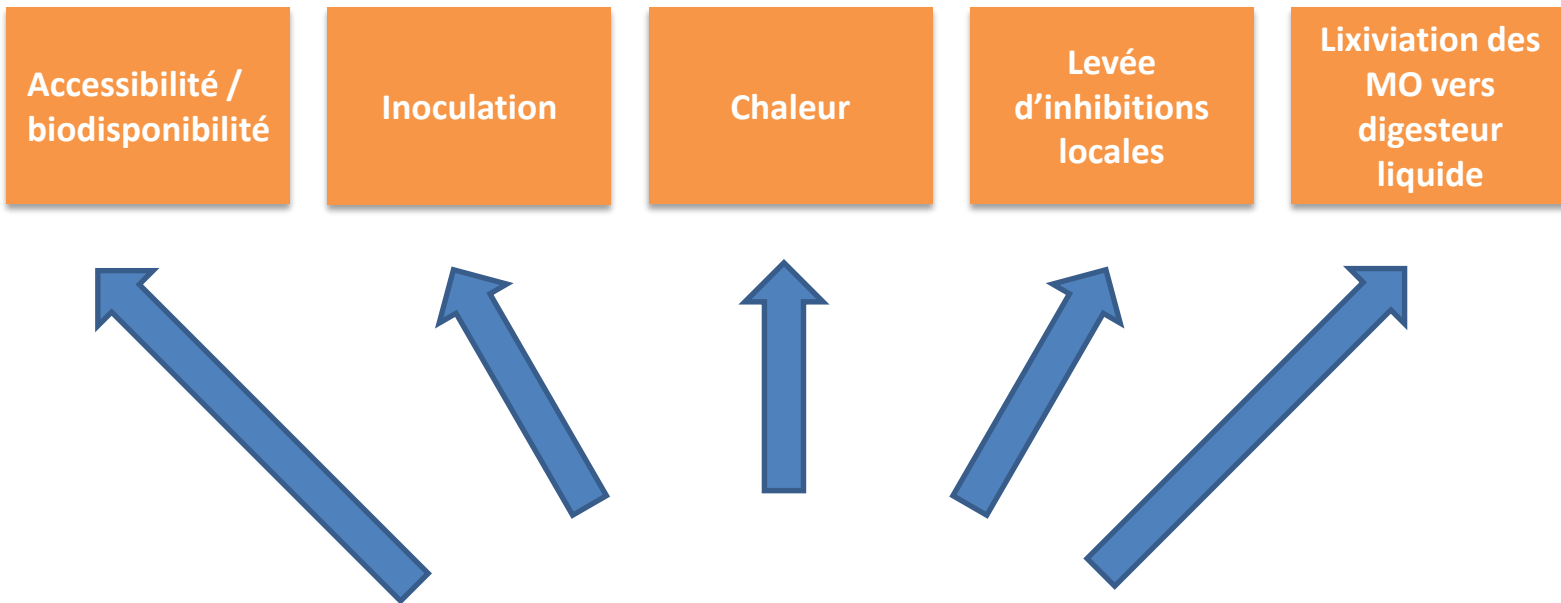
Intégration dans
modèles
d'écoulements
réactifs



Evolution du pH et
des concentrations
locales induites
par écoulements



CONCLUSIONS



Choix des paramètres de recirculation

Dimensionnement des réservoirs et pompes

CONCLUSIONS

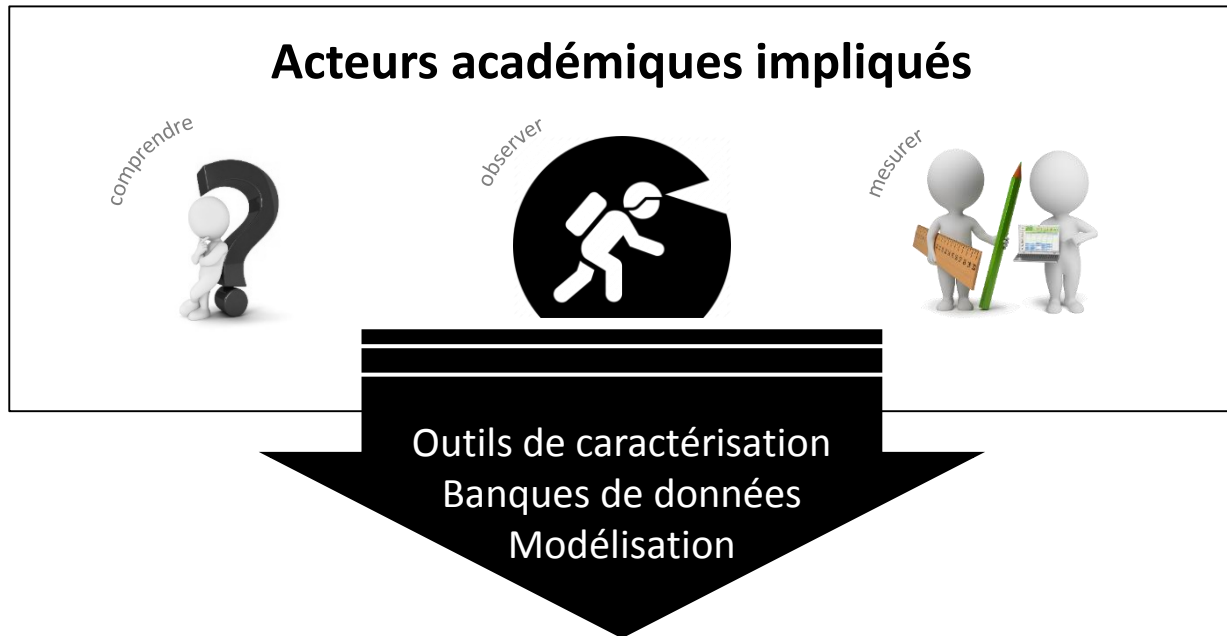
	Accessibilité / biodisponibilité	Inoculation	Chaleur	Levée d'inhibitions locales	Lixiviation des MO vers digesteur liquide
	CRE Ks	Rétention biomasse S/I	Cp λ	hs S/I limite	
Fumier F1					
Fumier F2					
Pailles P1					
Mélange 1					
...					

**Vers une base données physiques
à compléter et à partager**

CONCLUSIONS



Transferts hydriques en voie solide discontinue → Multi-objectifs
Fort couplage entre phénomènes



PILOTAGE et OPTIMISATION DES SYSTEMES