

***Mesures de viscosité et mécanique
des fluides pour le dimensionnement du brassage
pneumatique dans le procédé ARKOMETHA***

Stéphane Hattou

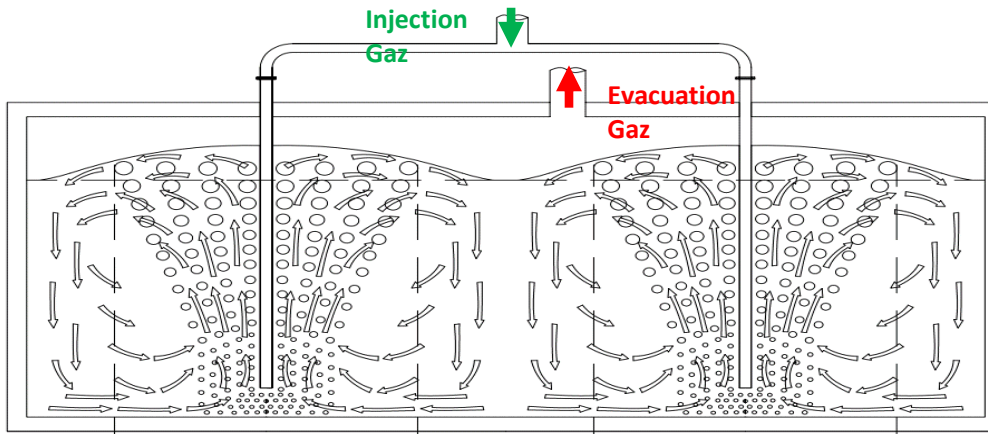
 **arkolia**
ENERGIES

- Idées initiales
- Problématiques et phénoménologie du brassage gaz
- Modélisation
- Rhéologie
- Application sur site industriel

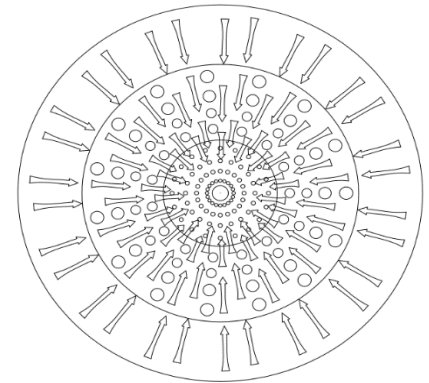
- 47 salariés
- 50 M€ de CA consolidé (PV, Eolien, Métha)
- 9 M€ de CA production électrique
- 250 MW installés fin 2016; 350 MW portefeuille projet
- Fin 2016 : programme « Accélérateur PME »
[BPI France]

- Activité démarrée en 2013
- 13 personnes
 - R&D, BE, Développement projets
- 3 installations en fonctionnement :
 - 2 voies liquides : 136 kWe (95% fumier bovin) et 250 kWe (75% fumier ovine)
 - 1 voie épaisse : 75 kWe (multi substrats)
- 2 installations en construction en 2017 :
 - 1 voie liquide : 250 Kwe (50% fumier bovin)
 - 1 voie épaisse : 250 Kwe (50% fumier bovin)

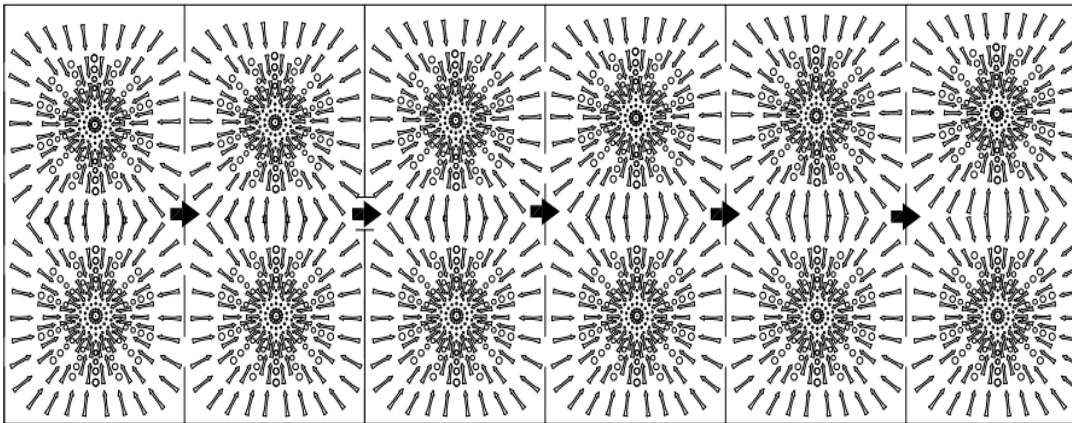
Le principe de base



Vue latérale du brassage



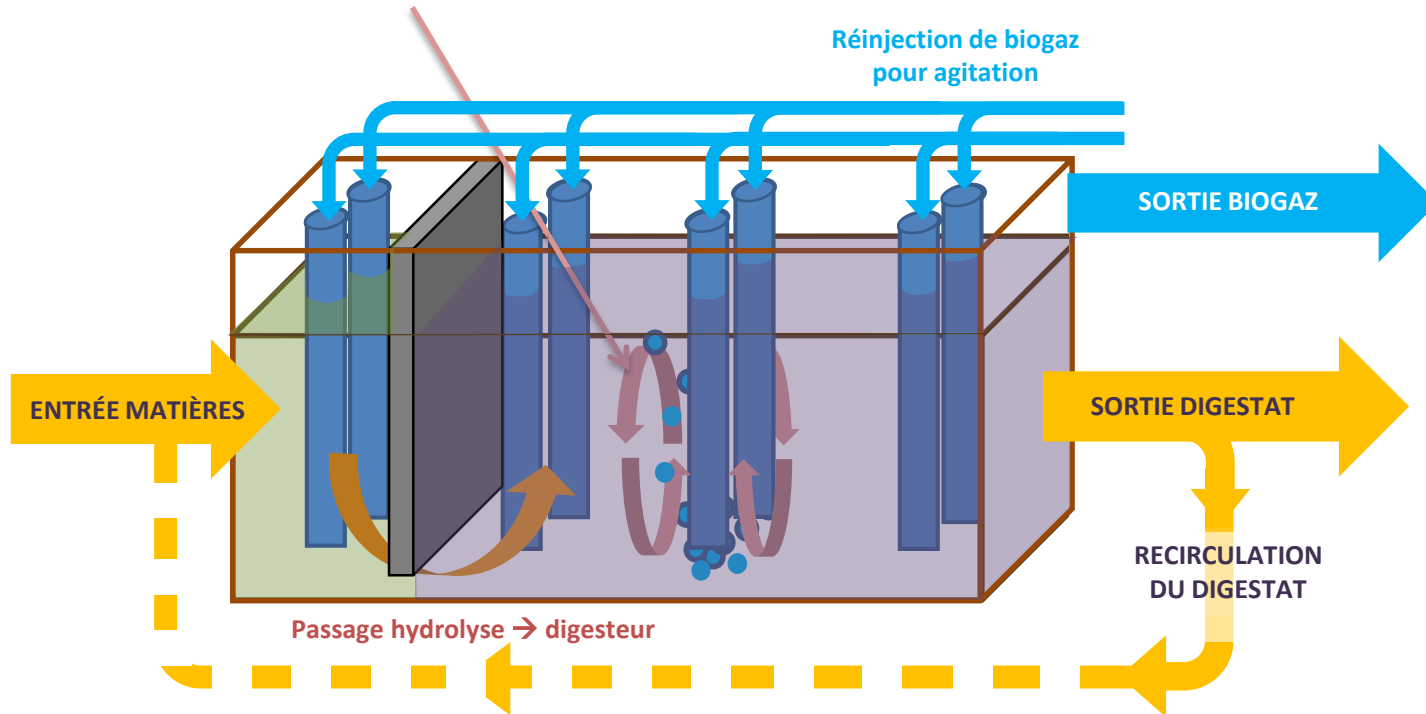
Vue en coupe



Ecoulement matière mode piston

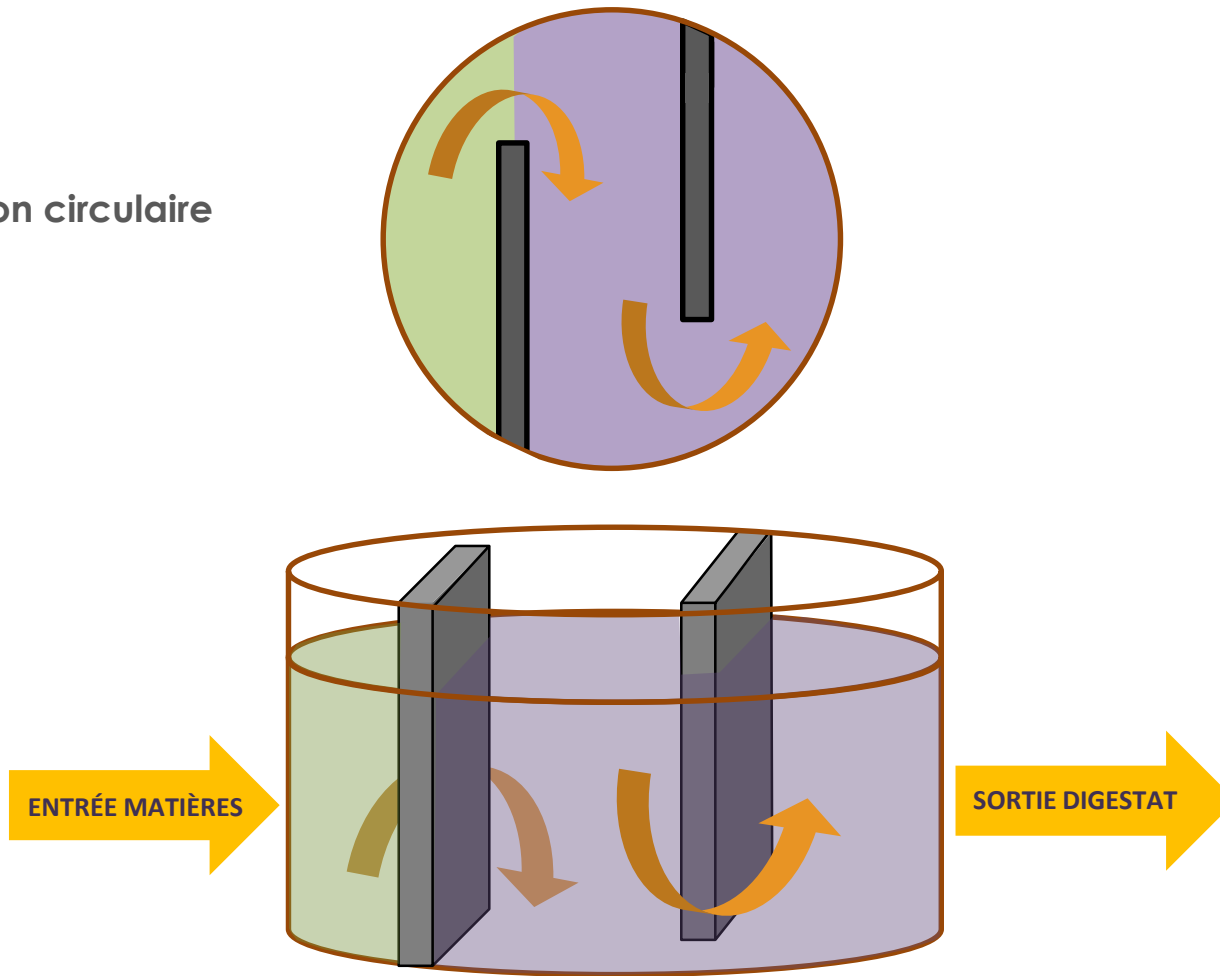
Fonctionnement de base du digesteur

**Mouvement de la matière
induit par le brassage gaz**



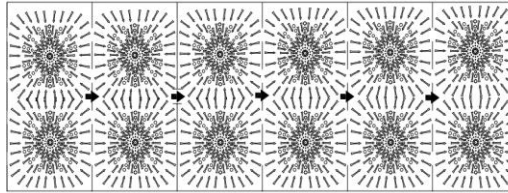
Projets pour des volumes de digesteur supérieurs à 400 m³

configuration circulaire



Paramètres technologiques

- Positionnement des cheminées d'injection
- Diamètre des cheminées
- Distance par rapport au sol
- Etc...

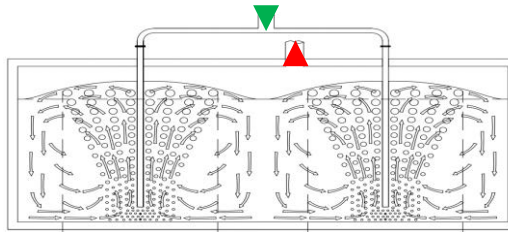


Fonctions

- Mélange
- Sectorisation
- Dégazage

Paramètres opératoires

- Pression d'injection
- Durée d'injection
- Fréquence d'injection



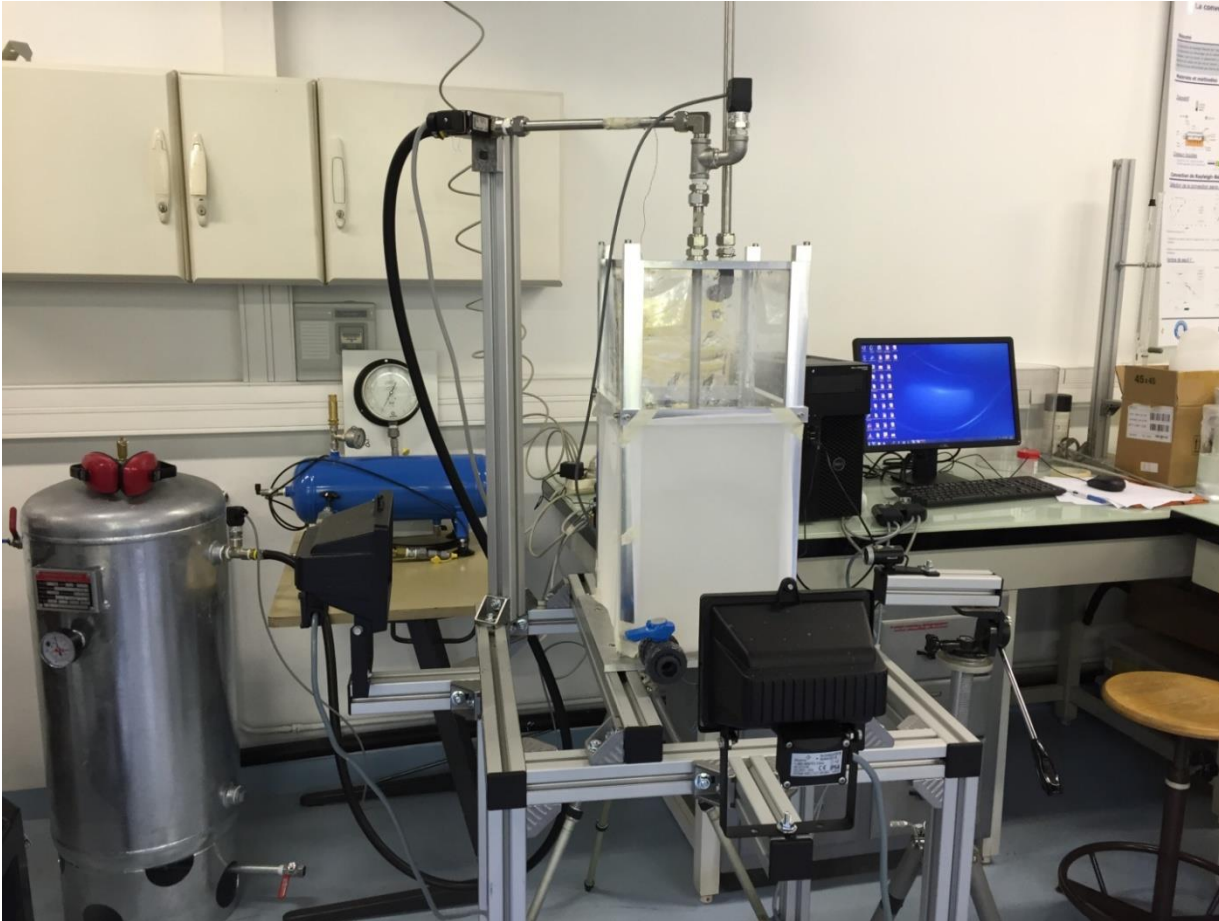
Contraintes

- Autoconsommation électrique la plus faible possible (compresseur biogaz)
- Rhéologies complexes et variables selon les substrats et l'endroit du piston

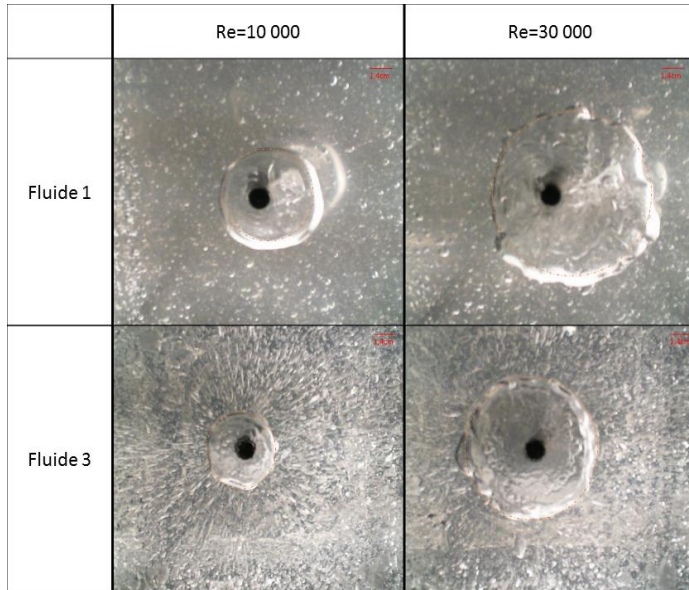


Niveaux des différents paramètres ?

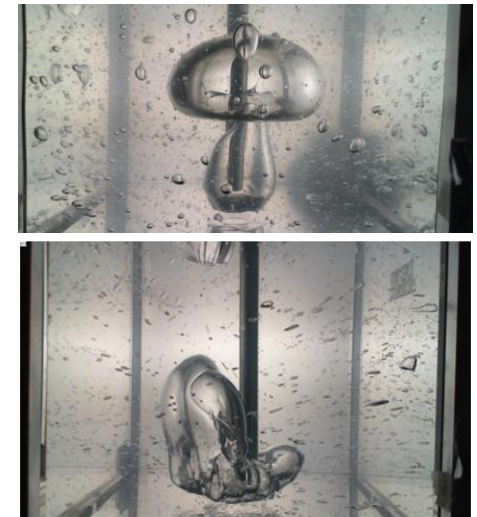
Pilote maquette « froide »



Diamètre cône de gaz



Forme de la bulle



→ Etape de modélisation et de description

- Conservation de la quantité de mouvement :

$$\rho_i \left(\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + (\mathbf{U} \cdot \nabla) \mathbf{U} \right) = -\nabla p + \nabla \cdot (2\mu_i \overline{\mathbf{D}}) + \rho_i \mathbf{g}.$$

- Nombres adimensionnels :

Nombre de Reynolds = $\frac{\text{Inertie}}{\text{Viscosité}}$

- Ecoulement du gaz dans le tube:
- Re maximale dans le fluide:

$$Re_g = \frac{\rho_g * u_g * D_t}{\mu_g}$$

$$Re_{f_max} = \frac{\rho_f * u_g^{2-n} * D_t^n}{k}$$

Nombre d'Oldroyd = $\frac{\text{Seuil}}{\text{Viscosité}}$

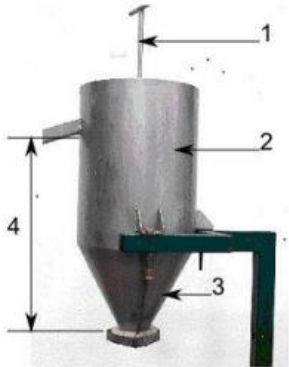
- La formation du coussin:
- La remontée de la bulle:

$$Od_c = \frac{\sigma_0}{k * \left(\frac{u_g}{D_t} \right)^n}$$

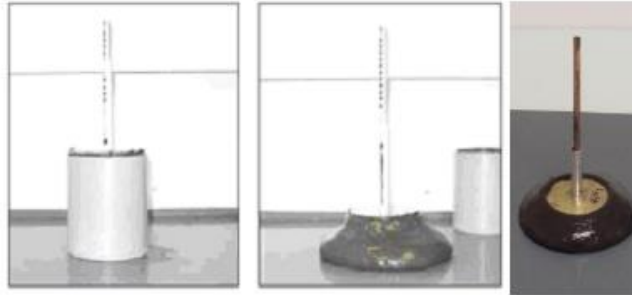
$$Od_b = \frac{\sigma_0}{k * \left(\frac{u_b}{D_{bm}} \right)^n}$$

Outils existants

fluidimètre



Seuil par Slump test



Système de carottage



Mesure de la cohésion du fumier, son aptitude à se fragmenter, la force d'extraction...

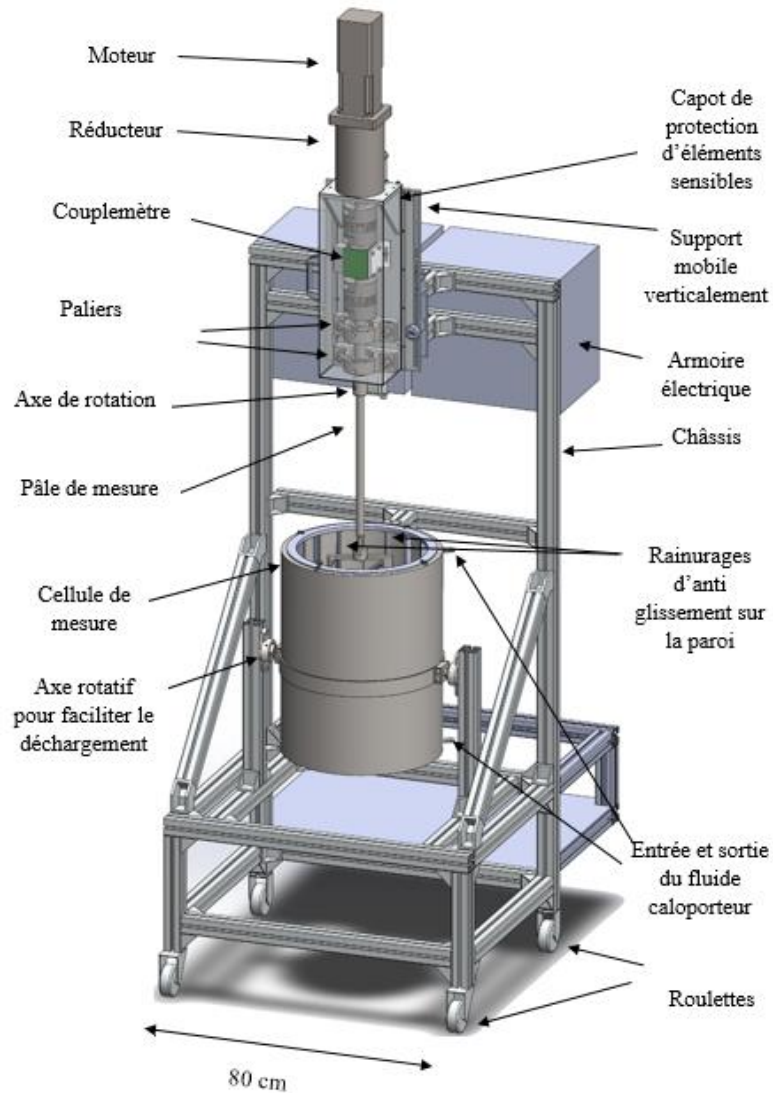
Pénétrromètre



Foëne & Tire bouchon



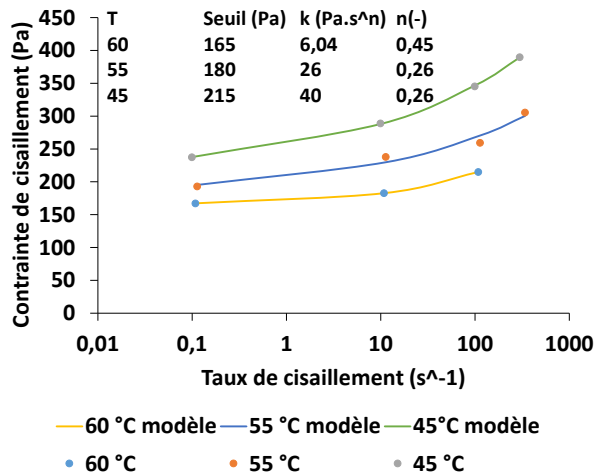
Le RGDS



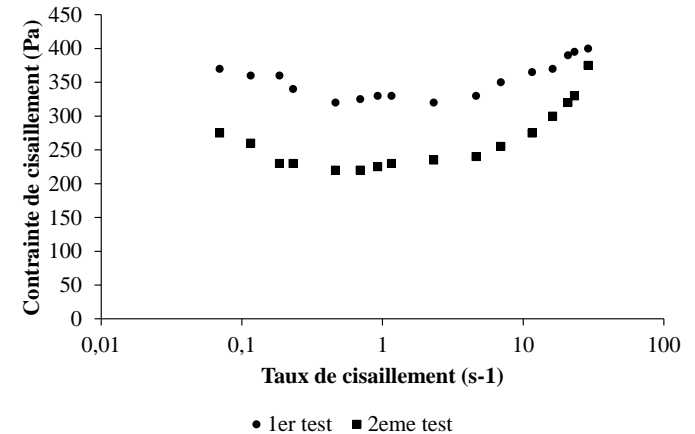
Le RGDS



Laboratoire



Site industriel



$$\tau = \tau_0 + k \cdot \dot{\gamma}^n$$

τ : contrainte de cisaillement (Pa).

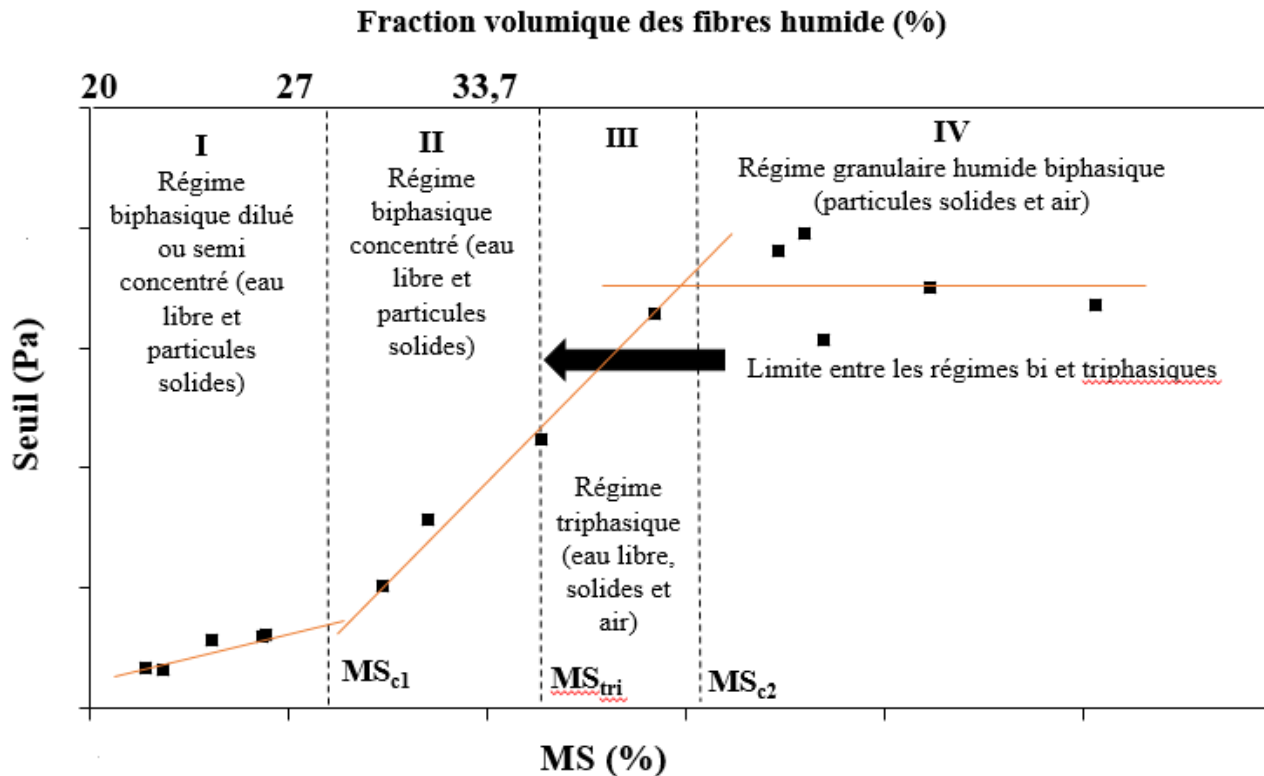
τ_0 : le seuil d'écoulement (Pa).

$\dot{\gamma}$: le taux de cisaillement (gradient de vitesse) (s⁻¹)

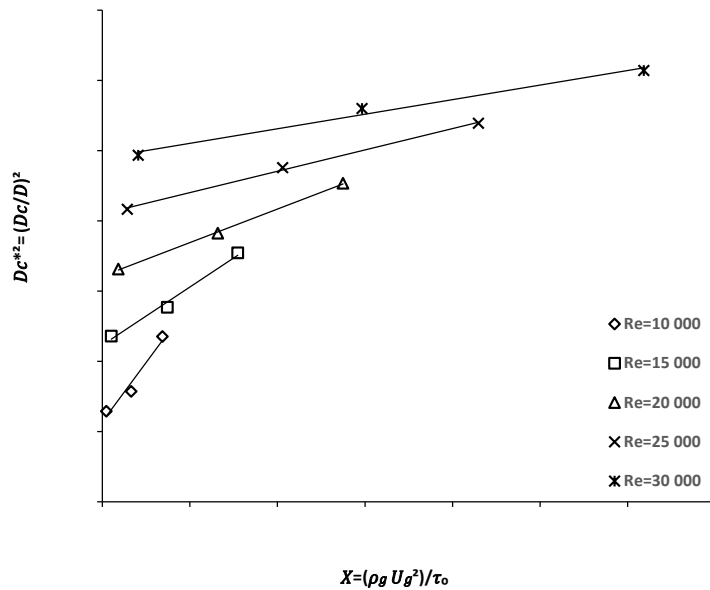
k : la consistance du fluide (Pa.sⁿ)

n : l'indice de rhéofluidification.

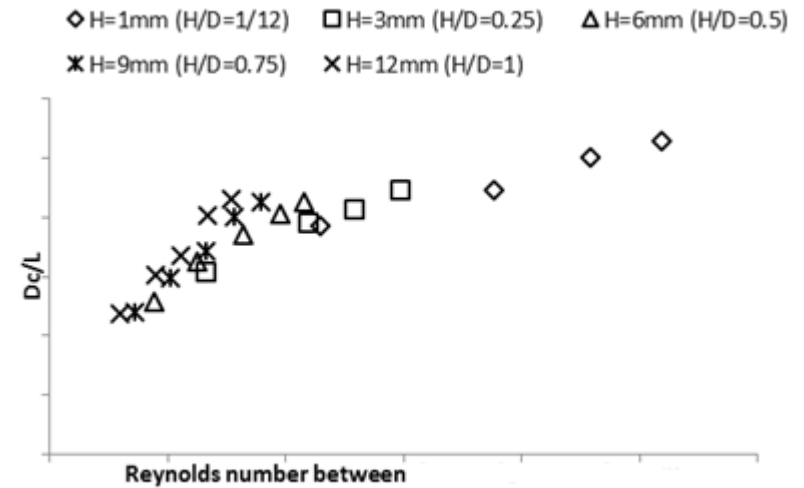
Variation du seuil d'écoulement en fonction des caractéristiques « produits »



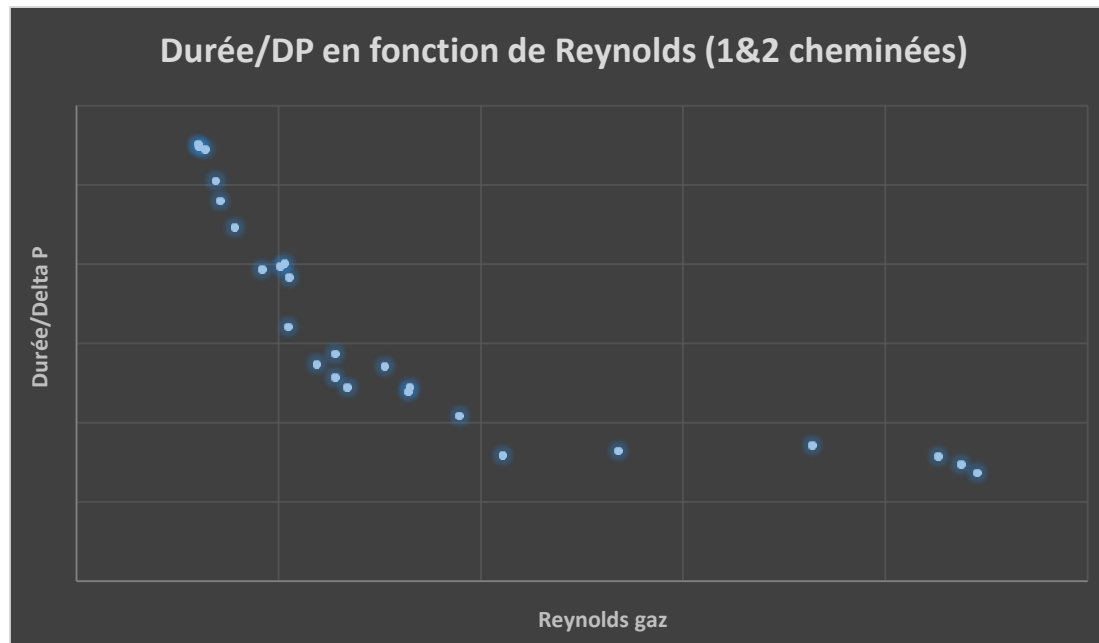
Diamètre du coussin en
fonction du seuil



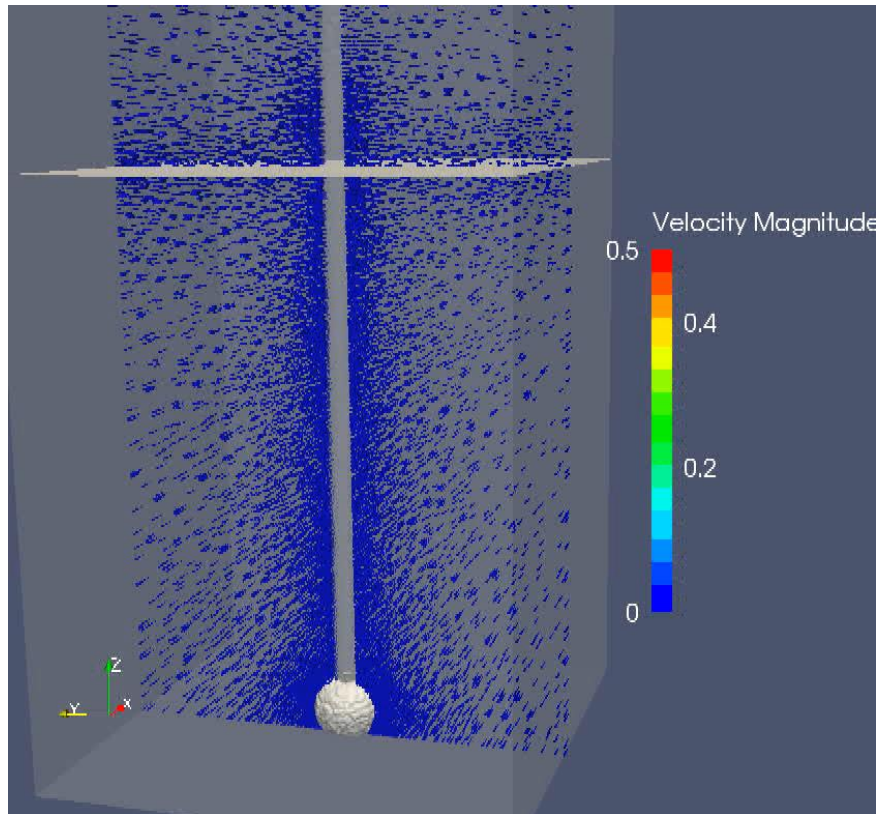
Diamètre du coussin en
fonction Re « ajusté »



Paramètres d'agitation [site industriel]

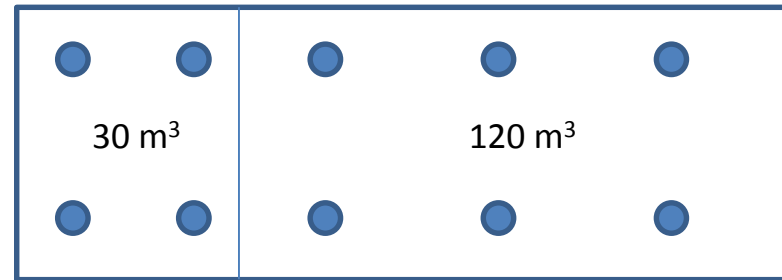


Calcul du mélange induit par l'injection de biogaz



2015 : 1^{ère} année [suivi ADEME]

- Production moyenne = 45 kWe (objectif initial de 75 kWe)
- Taux MS entrée = 19%
- Consommation électrique = 18 kWe

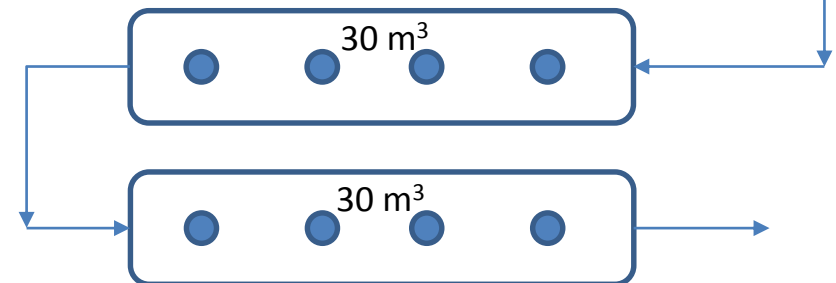


2016 : phase industrialisation

- Extension de l'unité (+ 30 % sur le volume, +45 % sur le nombre de cheminées)
- Modification du régime biochimique & **optimisation des paramètres opératoires**
- Fiabilisation du fonctionnement compresseur

Situation au 30 Mars 2017

- Production moyenne = 90 kWe
- Taux MS entrée = 25%
- Consommation électrique = 14 kWe (diminution en cours... 10 kWe visés)



Remerciements

- ADEME
- INSA LYON
- LRP GRENOBLE
- P.NOUVELLON & L.DEVIENNE
- EQUIPES « METHA » ARKOLIA ENERGIES

MERCI