



Laboratoire  
Rhéologie et  
Procédés



# Caractérisation physique innovante du comportement des boues d'épuration : premiers résultats et implications opérationnelles pour leur transport et leur déshydratation

Romain Mailler, Pascal Ginisty, Laurent Jossic, Albert Magnin, Marie Ponce de léon, Perrine Mèche, Sam Azimi, Vincent Rocher

Speaker : Romain Mailler  
Session : Session 15

#ASTEE2020



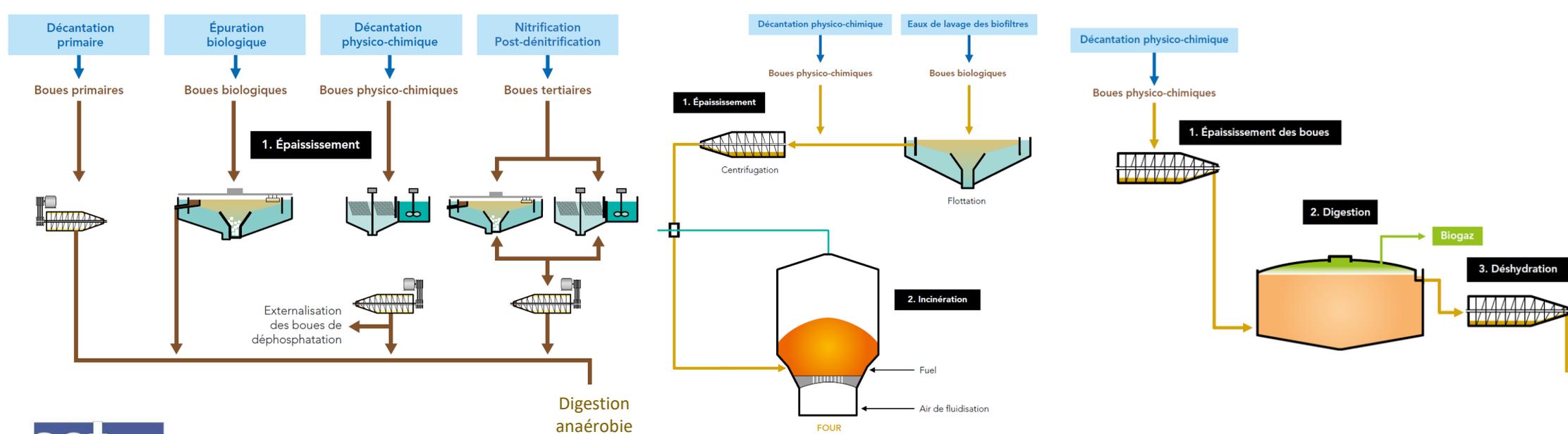
# Contexte

- Des filières de traitement qui génèrent de grandes quantités de boues primaires, biologiques, mixte, tertiaire, etc. (SIAAP = 145 000 t MS / an en 2018)
- Des opérations de transport et de traitement de différentes natures dans les filières boues du SIAAP
  - Stockage, agitation, pompage, écoulement en canalisation,
  - Epaisseurs, flottateurs, décanteuses centrifuges d'épauissement ou de déshydratation, digestion anaérobie, échangeurs de chaleur, filtres presse, incinération

Usine de Seine Aval

Usine de Seine Centre

Usine de Seine Grésillons



Filtre-presse  
 Décanteuses centrifuges  
 Conditionnement thermique

# Contexte

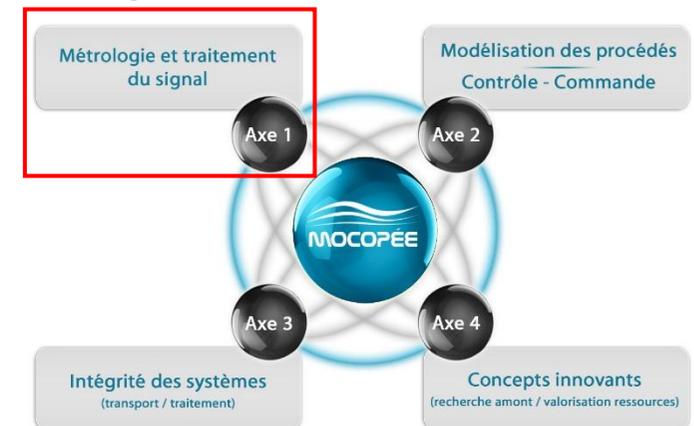
- Des filières de traitement qui génèrent de grandes quantités de boues primaires, biologiques, mixte, tertiaire, etc. (SIAAP = 145 000 t MS / an en 2018)
- Des opérations de transport et de traitement de différentes natures dans les filières boues du SIAAP
  - Stockage, agitation, pompage, écoulement en canalisation,
  - Epaisseurs, flottateurs, décanteuses centrifuges d'épaississement ou de déshydratation, digestion anaérobie, échangeurs de chaleur, filtres presse, incinération
- Des problématiques scientifiques et techniques multiples liées au transport et traitement des boues
  - Comment prendre en compte la variabilité des propriétés des boues dans le dimensionnement des ouvrages ?
  - Comment prendre en compte les caractéristiques d'une boue dans le choix des procédés les plus adaptés à sa gestion ?
  - Quels indicateurs / grandeurs pour bien caractériser une boue ? Une boue floculée ?
  - Quels liens entre les propriétés des boues / des floes et leur comportement sur les ouvrages ?
  - Comment optimiser le fonctionnement des ouvrages de transport et traitement en tenant compte des caractéristiques des boues et de leur variabilité au cours du temps ?
  - Etc.

# Présentation de l'action



## Caractérisation physique innovante des boues pour optimiser leur transport et traitement en station d'épuration

- Volet 1 : caractérisation rhéométrique des boues
  - Caractérisation des sollicitations mécaniques réellement subies par les boues sur les installations du SIAAP
  - Validation des protocoles rhéométriques de caractérisation des boues
  - Caractérisation des propriétés rhéologiques des boues et de leur variabilité
  - Compréhension des processus / paramètres expliquant la variabilité du comportement des boues au transport (liens entre structure matière – physico-chimie – rhéologie)
- Volet 2 : compréhension des processus de floculation et épaissement / déshydratation pour optimiser les installations industrielles
  - Etude des indicateurs / outils laboratoires permettant de caractériser le comportement des boues dans les procédés
  - Application de ces outils à l'optimisation des réglages des procédés et au choix de polymère
  - Compréhension des relations entre structure matière, rhéologie, propriétés physico-chimique de la boue et performances de séparation eau-matière, et application à la décantation centrifuge
- Volet 3 : caractérisation rhéométrique des biodéchets mélanges de boues et biodéchets
  - Conception d'un rhéomètre adapté à ces matrices hétérogènes
  - Caractérisation rhéologique des biodéchets et mélanges envisagés en co-digestion anaérobie

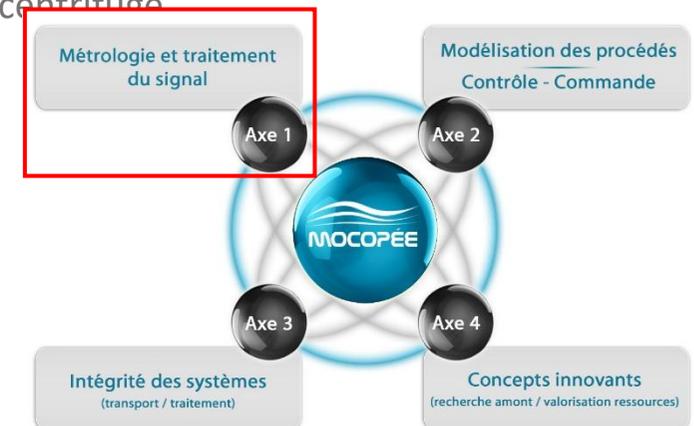


# Présentation de l'action



## Caractérisation physique innovante des boues pour optimiser leur transport et traitement en station d'épuration

- Volet 1 : caractérisation rhéométrique des boues
  - Caractérisation des sollicitations mécaniques réellement subies par les boues sur les installations du SIAAP
  - Validation des protocoles rhéométriques de caractérisation des boues
  - **Caractérisation des propriétés rhéologiques des boues et de leur variabilité**
  - Compréhension des processus / paramètres expliquant la variabilité du comportement des boues au transport (liens entre structure matière – physico-chimie – rhéologie)
- Volet 2 : compréhension des processus de floculation et épaissement / déshydratation pour optimiser les installations industrielles
  - **Etude des indicateurs / outils laboratoires permettant de caractériser le comportement des boues dans les procédés**
  - Application de ces outils à l'optimisation des réglages des procédés et au choix de polymère
  - Compréhension des relations entre structure matière, rhéologie, propriétés physico-chimique de la boue et performances de séparation eau-matière, et application à la décantation centrifuge
- Volet 3 : caractérisation rhéométrique des biodéchets mélanges de boues et biodéchets
  - Conception d'un rhéomètre adapté à ces matrices hétérogènes
  - Caractérisation rhéologique des biodéchets et mélanges envisagés en co-digestion anaérobie

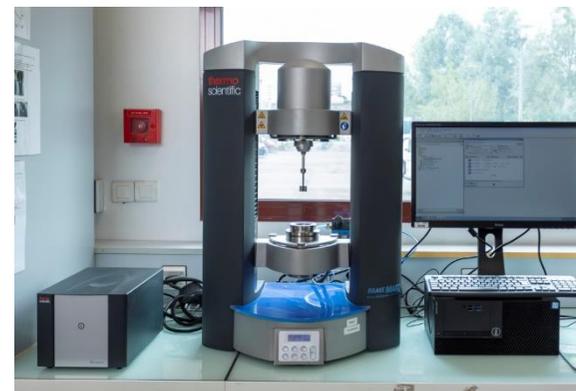
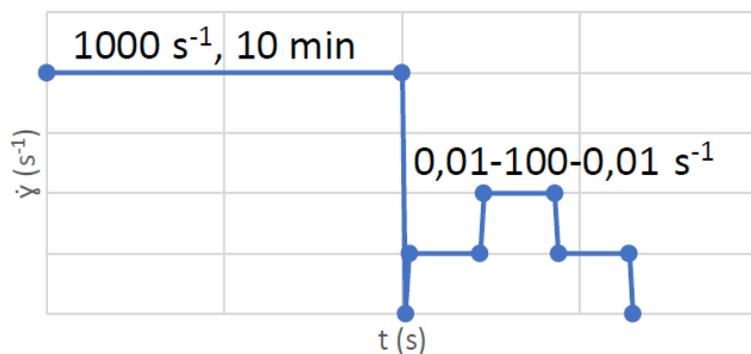


# Focus sur les propriétés rhéométriques des boues

## Méthode d'étude

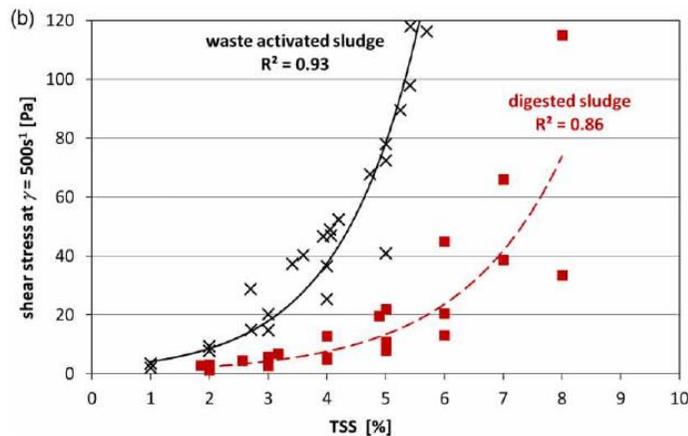
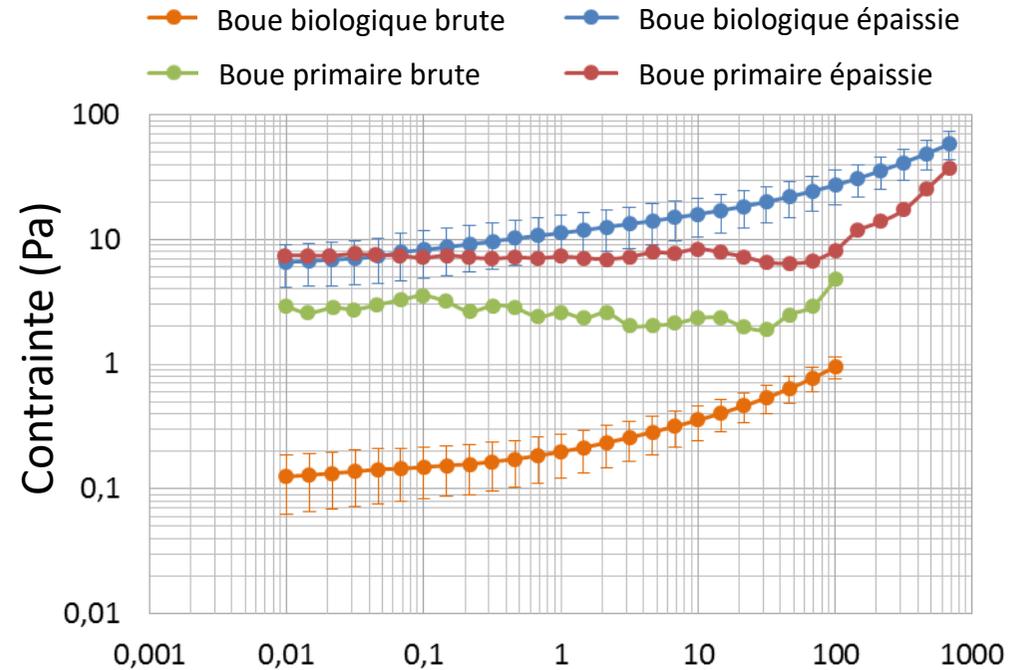
- Prélèvements ponctuels de plusieurs types boues (x 30 sur 1 an)
- Homogénéisation douce
- Rhéomètre rotatif type Couette (Thermo Haake Mars 3)
- Géométrie cylindrique coaxiaux rugueux (entrefer de 2,7 mm)
- Mesure de la contrainte en fonction du cisaillement par paliers après pré-cisaillement à  $1000 \text{ s}^{-1}$
- Mesure des matières sèches de l'échantillon en parallèle

pré-cisaillement puis rampes



# Focus sur les propriétés rhéométriques des boues

- Les boues suivent une loi de comportement de fluide à seuil de type rhéofluidifiant
  - C'est-à-dire qu'un cisaillement minimal est requis pour le mettre en mouvement et sa viscosité diminue lorsque le cisaillement appliqué augmente
  
- On observe des différences notables entre boues
  - Niveaux de contraintes (et de viscosité) plus fort pour les boues épaissies, directement lié à la teneur en MS
  - Niveaux de contraintes plus élevés pour les boues primaires brutes par rapport à biologiques
  - La digestion réduit fortement la viscosité des boues

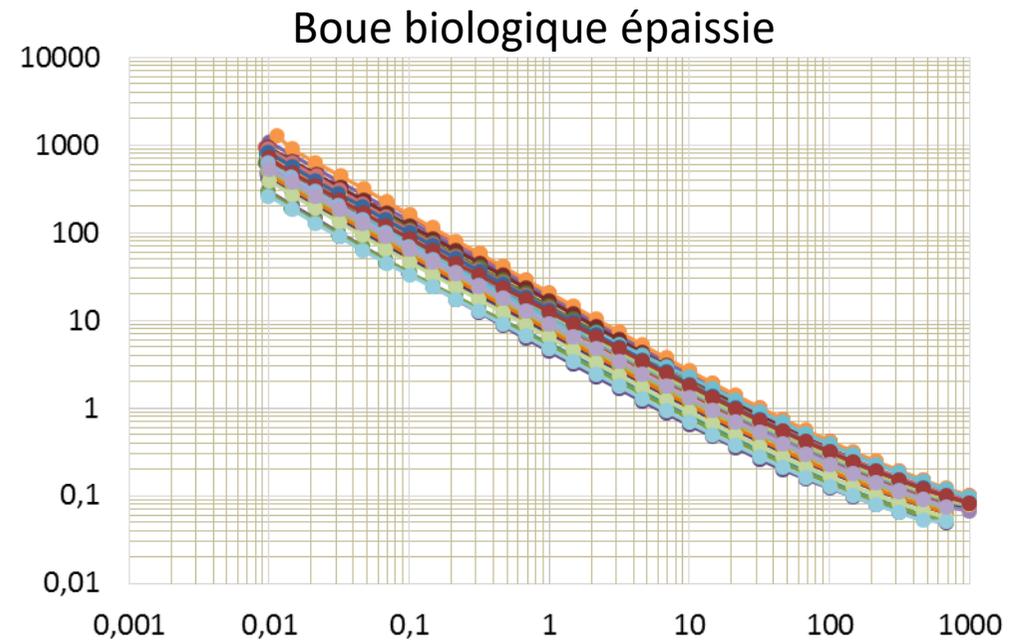
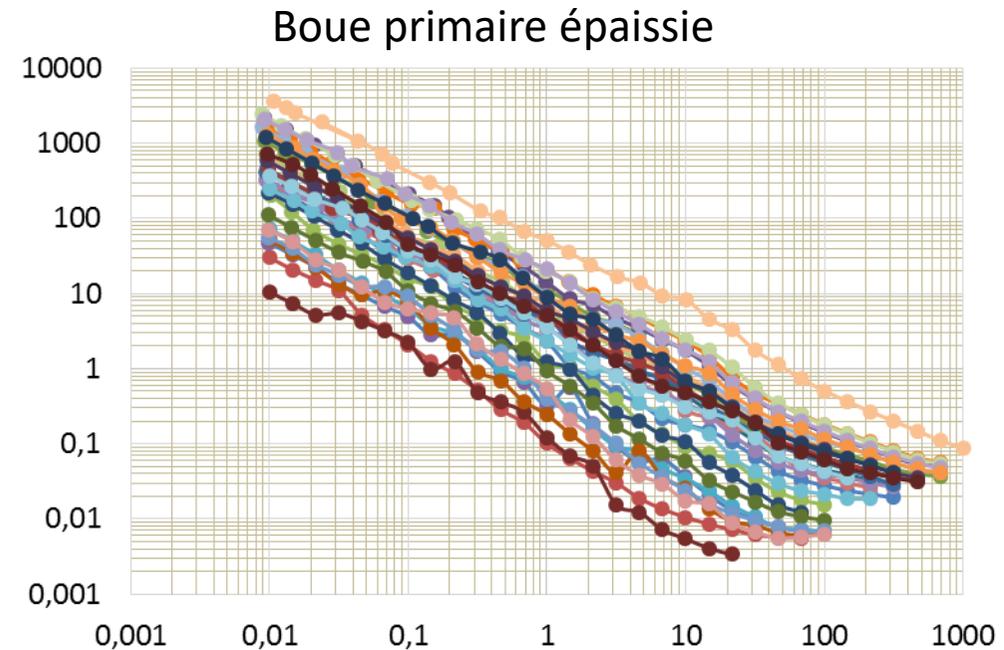
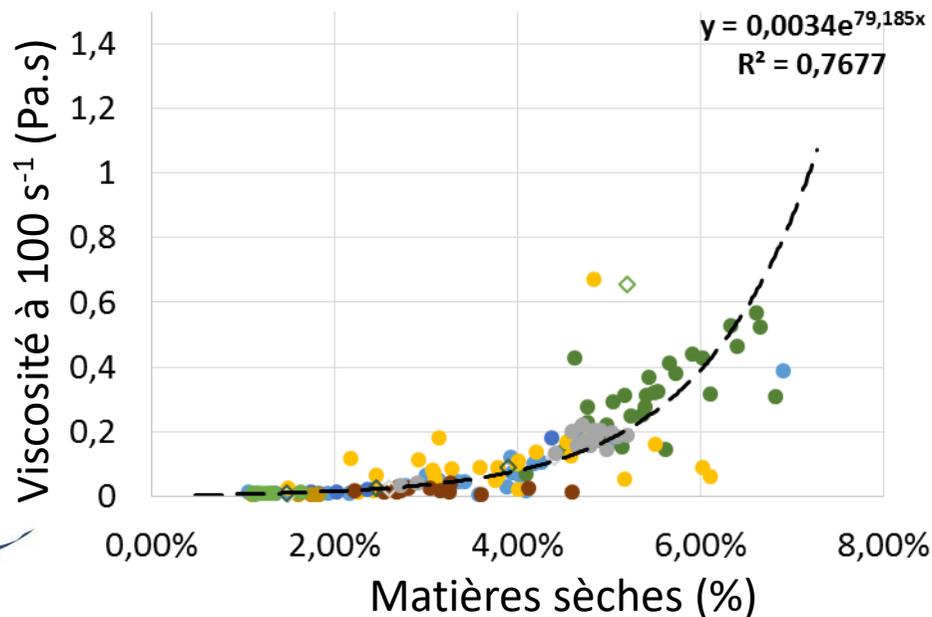


Füreder et al. (2017)

Type de boue	Gamme MS (%)
Boue primaire	0,7-4,4
Boue primaire épaissie	2,1-6,9
Boue biologique	1,1-1,6
Boue biologique épaissie	4,1-6,8

# Focus sur les propriétés rhéométriques des boues

- A prendre en compte dans le dimensionnement :
  - Très forte variabilité des niveaux de viscosité mesurés d'un échantillon à l'autre, entre 1 et 2 décades. Observée sur les boues brutes et épaissies.
  - Directement corrélée aux teneurs en MS, avec une relation unique quelle que soit le type de boues pour de forts cisaillements
- Mais aussi :
  - Pour maîtriser les problèmes d'écoulement des boues en aval des procédés, il faut maîtriser la variabilité des teneurs en MS (**optimiser l'épaississement**)



# Focus sur les propriétés rhéométriques des boues

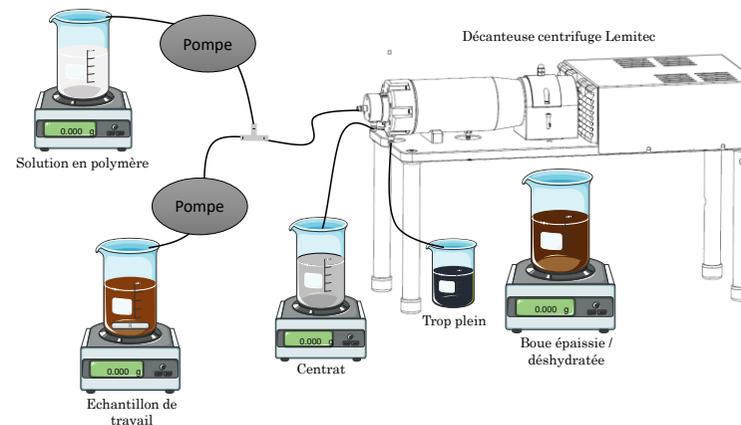
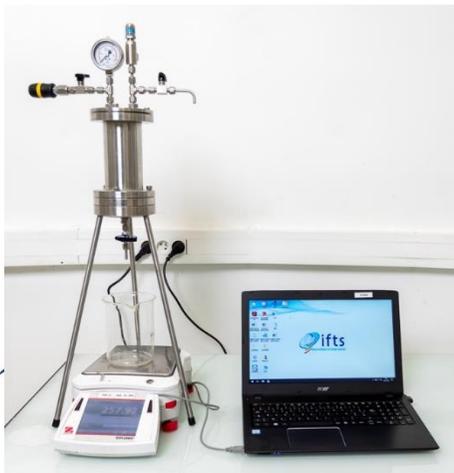
## – perspectives R&D

- Validation des protocoles appliqués pour la mesure rhéométrique des boues de station d'épuration (en cours)
- Projet de thèse LRP-Inrae-SIAAP-IFTS sur « la caractérisation des propriétés rhéométriques des boues et biodéchets de STEP et conséquences sur leur transport sur site »
  - Caractérisation des contraintes réellement appliquées sur site pour le pompage, transport en canalisation, brassage des boues
  - Caractérisation du comportement des boues et de la variabilité in-situ
  - Caractérisation des lois de comportement rhéologique des boues et compréhension des facteurs à l'origine de la variabilité
  - Influence des contraintes amont, de l'histoire mécanique, sur les problèmes notamment en centrifugation
  - Effet des procédés sur les propriétés rhéologiques des boues
  - Effet de l'ajout de biodéchets à la boue de station d'épuration sur ses propriétés rhéologiques

# Focus sur l'optimisation de la centrifugation des boues

## Méthode d'étude

- Prélèvements ponctuels de boues en entrée/sortie de décanteuse centrifuge et de centrât sur site (x 3)
- Utilisation de la boue d'entrée pour alimenter la décanteuse centrifuge de laboratoire Lemitec MD60
- Injection en ligne du polymère du site au dosage du site
- Variation des paramètres de réglage (accélération, vitesse relative)
- Mesure des matières sèches des échantillons et de la qualité des centrâts générés
- Mesure de siccité limite dans le cas de la déshydratation

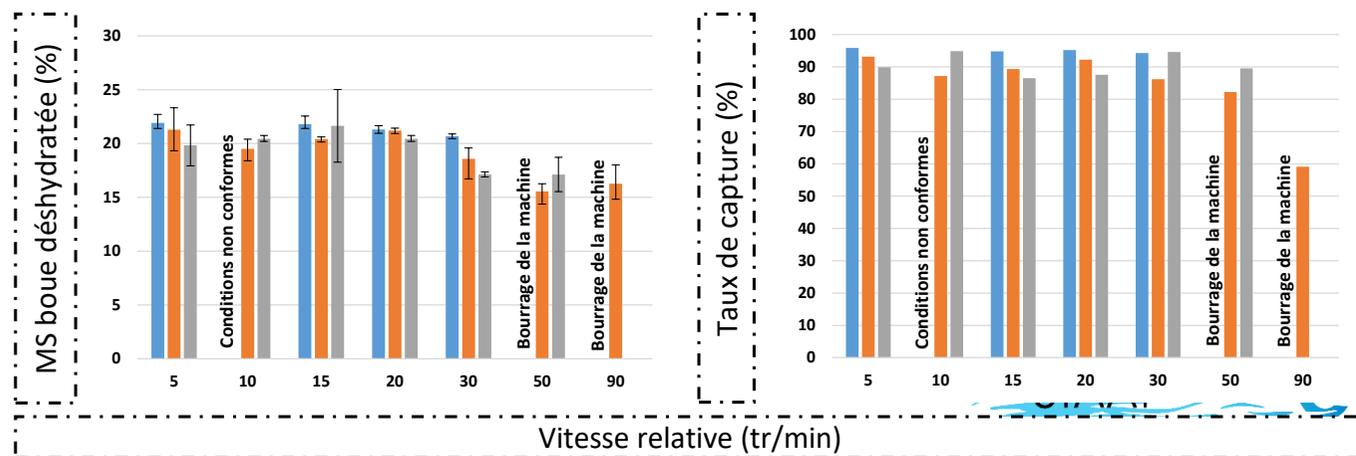
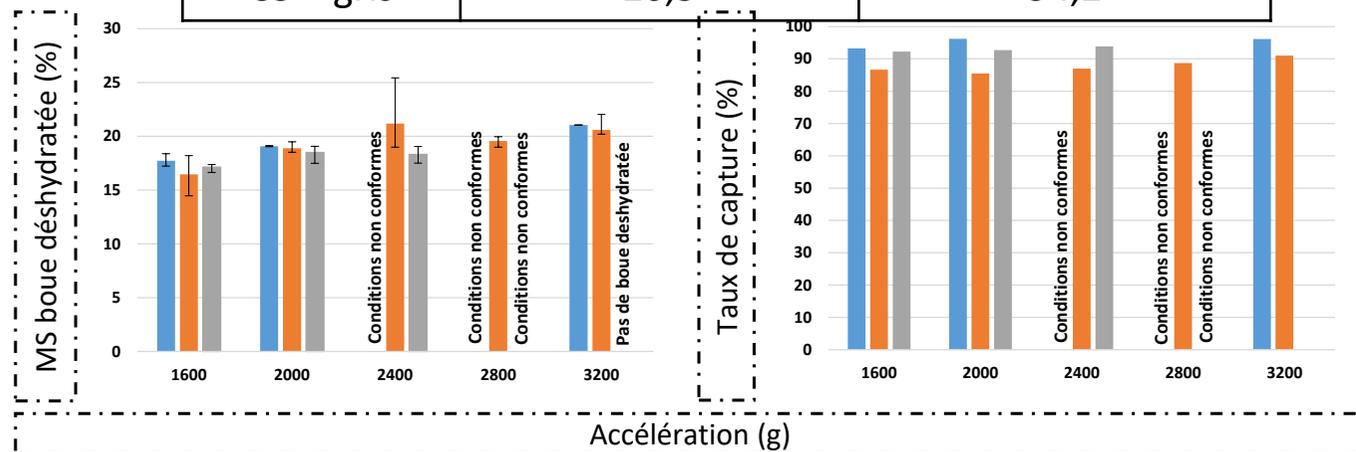


# Focus sur l'optimisation de la centrifugation des boues

## ■ Exemple de résultats avec la boue digérée de Seine Grésillons (déshydratation) en appliquant le polymère et le dosage du site

- Il est possible de reproduire la déshydratation avec la machine avec des siccités entre 15 et 23% et des taux de capture entre 60 et 96%
- L'augmentation de l'accélération améliore la siccité en sortie seulement
- L'augmentation de la vitesse relative dégrade la séparation au-delà de 30 tr/min seulement
- Pour reproduire les taux de capture industriels, il est possible de fonctionner au dosage du site mais l'accélération doit être à 3200 g et la vitesse relative à 5-20 tr/min
- Les siccités en sortie sont sensiblement plus basse que sur site (max à 21-23%) dans ces conditions = effet d'échelle

	Siccité sortie (%)	Taux de capture (%)
C1 – bleue	26,6	90,5
C2 – orange	30,3	89,4
C3 – gris	26,5	94,2



# Focus sur l'optimisation de la centrifugation des boues

## – perspectives R&D

- Poursuite de l'étude de la Lemitec MD60
  - Finalisation de l'étude paramétrique pour valider les réglages épaissement et les réglages déshydratation
  - Application pour établir des abaques performances industrielles – performances Lemitec sur un grand nombre d'échantillon
  - Application à la comparaison de différents types de polymères sur les boues du SIAAP
- Projet de thèse IFTS-LRP-Inrae-SIAAP sur « la Compréhension des relations entre structure matière, rhéologie, propriétés physico-chimique de la boue et performances de séparation eau-matière et application à la décantation centrifuge »
  - Compréhension fine du processus de floculation des boues, influence des propriétés des polymères, influence des propriétés de la boue
  - Caractérisation de l'objet floc et du lien entre conditions de floculation et propriétés du floc
  - Compréhension des sollicitations imposées au matériau en centrifugation et filtre presse
  - Lien entre agencement de la matière floculée et ses propriétés et performances de séparation
  - Compréhension influence géométrie machine

# Conclusions

- De nombreux problèmes liés au traitement et transport des boues d'épuration
  - Variations de viscosité entraînant des difficultés de pompage ou brassage
  - Difficultés à optimiser la séparation eau-matière sèche entraînant des variations de performances
  - Difficultés à disposer de moyens de tests en laboratoire
- Pour les propriétés rhéométriques, forte variabilité pour une même boue et entre boues, en partie du fait de variations de teneurs en MS non maîtrisées.
- Pour la déshydratation, décanteuse centrifuge de labo permet bien de reproduire le comportement industriel. Utilisation outil à des fins d'expertise et/ou de recherche.



- Action R&D Mocopée vise à lever les verrous scientifiques et techniques liés à cela
  - Thèse sur la caractérisation rhéométrique des boues et mélanges aux biodéchets
    - ✓ Compréhension des facteurs de variabilité des propriétés rhéologiques des boues
    - ✓ Etude de l'effet d'un mélange de biodéchets aux boues sur leur comportement rhéométrique
  - Thèse sur la compréhension du lien entre propriétés de la matière, floculation et comportement des flocs dans les procédés
    - ✓ Etude des outils innovants permettant d'anticiper en laboratoire le comportement des boues sur les ouvrages industriels, notamment centrifugation
    - ✓ Application pour comprendre le lien entre performances et propriétés microscopiques du matériau



Laboratoire  
Rhéologie et  
Procédés

INRAE



# Merci pour votre attention

[romain.mailler@siaap.fr](mailto:romain.mailler@siaap.fr)

<https://www.siaap.fr/>

<http://mocopee.com/>

Page LinkedIn InnEAUvation



Speaker : Romain Mailler

Session : Session 15

#ASTEE2020

# Focus sur l'optimisation de la centrifugation des boues

## ■ Exemple de résultats avec la boue biologique de Seine Aval (épaississement) en appliquant le polymère et le dosage du site

- Il est possible de reproduire l'épaississement avec la machine avec des siccités entre 4 et 8% et des taux de capture entre 70 et 99%
- L'augmentation de l'accélération améliore la séparation avec des siccités en sortie et des taux de capture plus élevés
- L'augmentation de la vitesse relative dégrade la séparation avec des siccités en sortie et des taux de capture qui baissent
- Pour reproduire les taux de capture industriels, il est possible de fonctionner au dosage du site mais l'accélération doit être à 1250 g et la vitesse relative à 50-75 tr/min
- Les siccités en sortie sont sensiblement plus élevées que sur site dans ces conditions = effet d'échelle

	Siccité sortie (%)	Taux de capture (%)
C1 – bleue	5,7	99,9
C2 – orange	5,0	99,6
C3 – gris	4,9	99,4

