

# Caractérisation mécanique des boues hydroxydes

A. Fantasse<sup>1</sup>, **S. L. PARRA**\*<sup>1</sup>, A. Léonard<sup>1</sup> et L. El Khadir<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Université de Liège, Department of Chemical Engineering – PEPs, Liège-Belgique.

<sup>2</sup>Université Cadi Ayyad, Laboratory of Fluid Mechanics and Energetics (LMFE), Faculty of Sciences Semlalia, Marrakesh- Morocco.



- ▶ Introduction et problématique
- ▶ Matériels et méthodes
- ▶ Résultats et discussion
- ▶ Conclusions

# 1. Introduction et problématique



**Fig. 1:** Station de traitement d'eau potable Rocade (Marrakech)

- + 1 million d'habitants.
- Traitement en continu de  $3.3 \text{ m}^3/\text{s}$  d'eau.
- 55 tonnes/j de boue.
- Evolution de la législation locale et internationale.

## 2. L'origine des boues hydroxydes

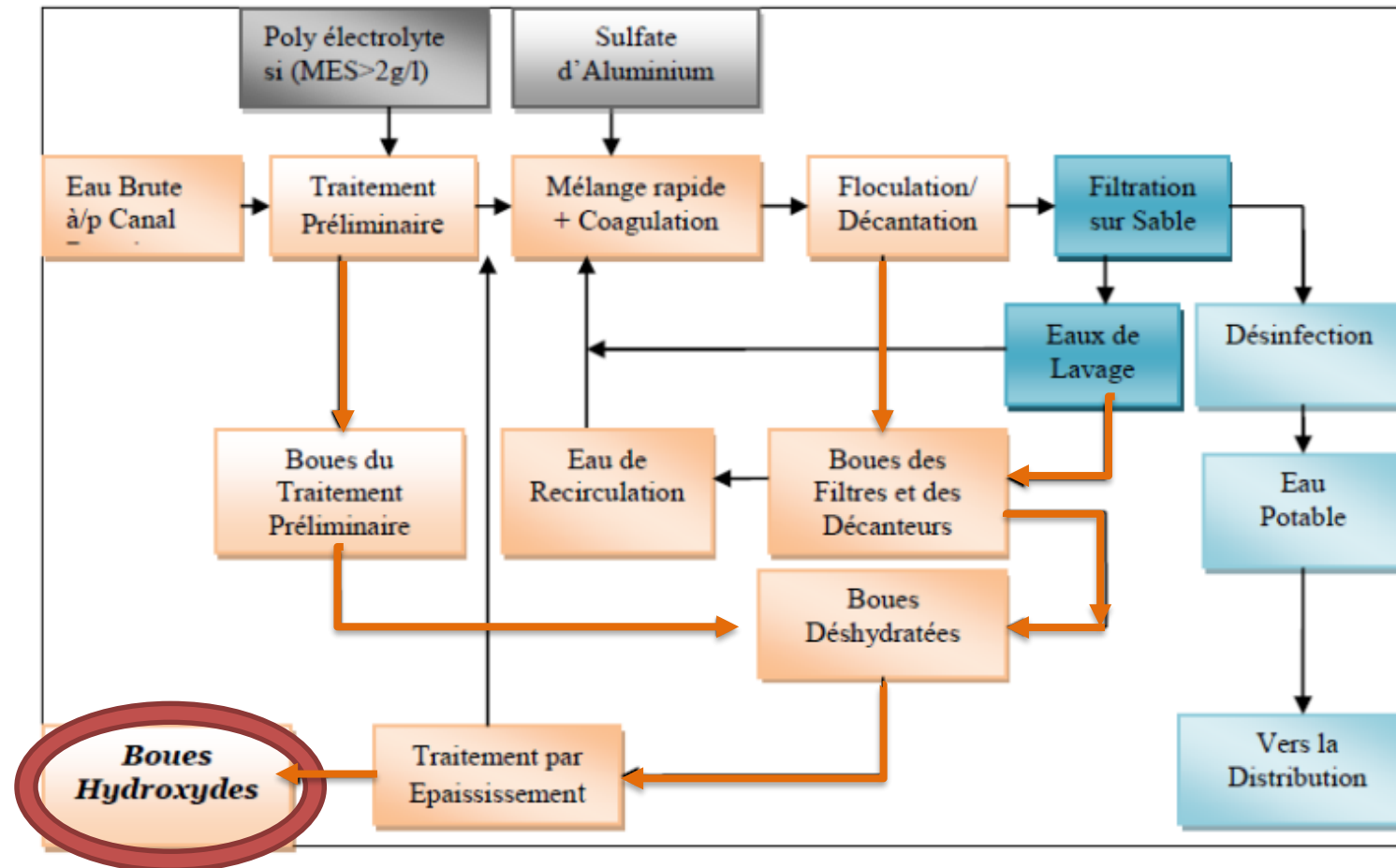
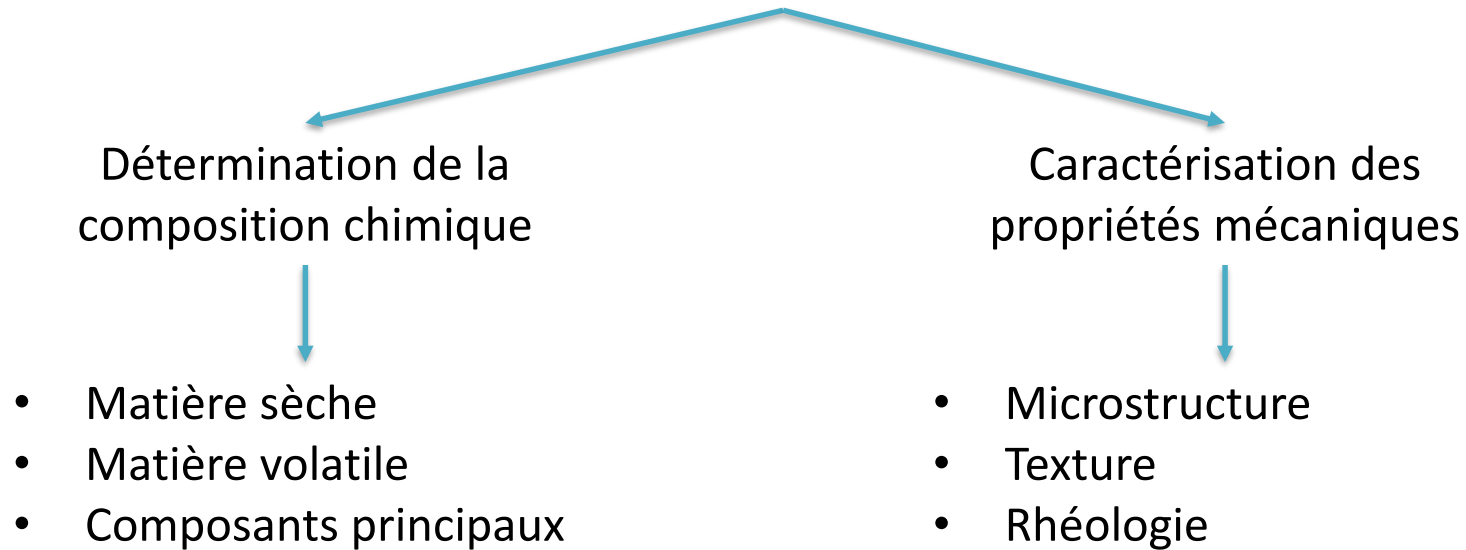


Fig. 2: Processus de potabilisation à la station Rocade (Marrakech)

- Caractériser les boues hydroxydes de la station de potabilisation de Marrakech (Maroc), visant à aider les futurs chercheurs et ingénieurs à prédire le comportement hydrodynamique de ce matériau.

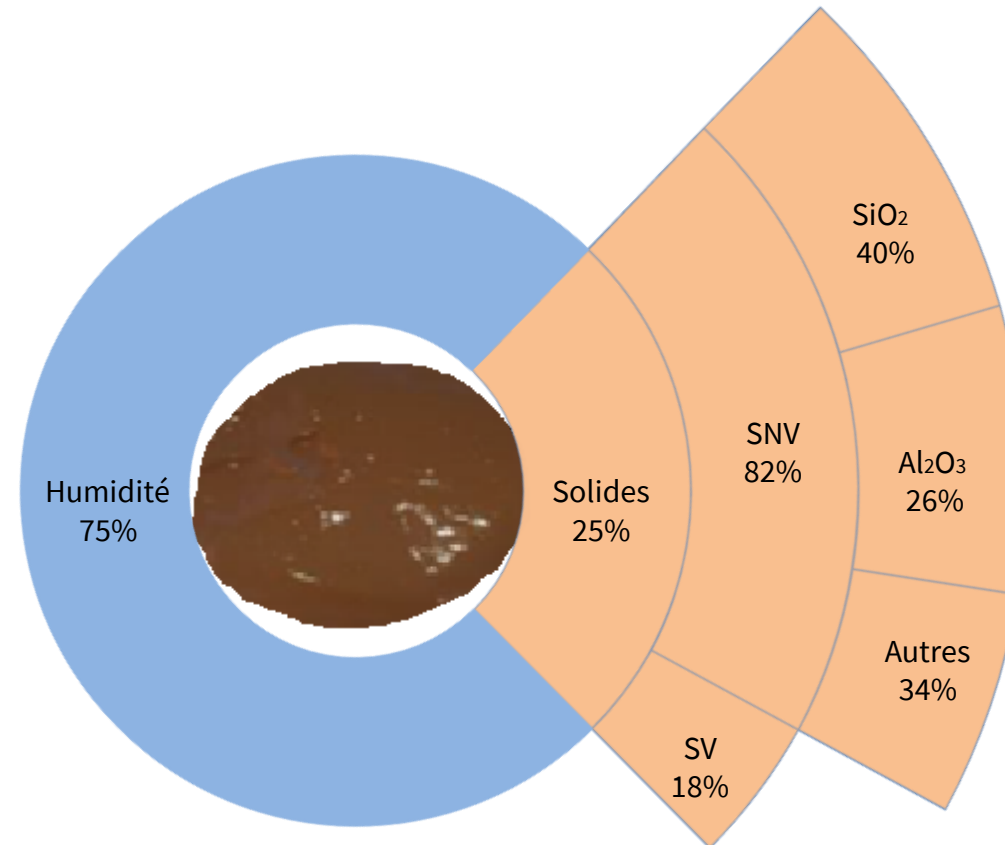


# 3. Méthodologie

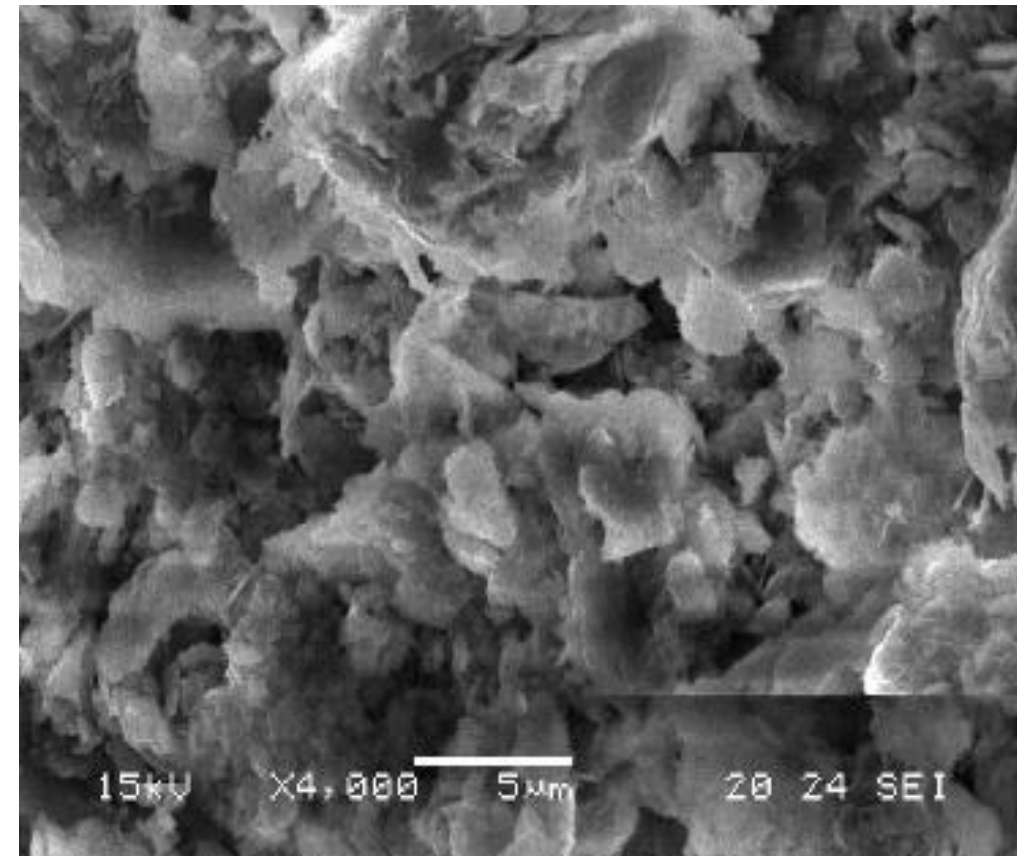
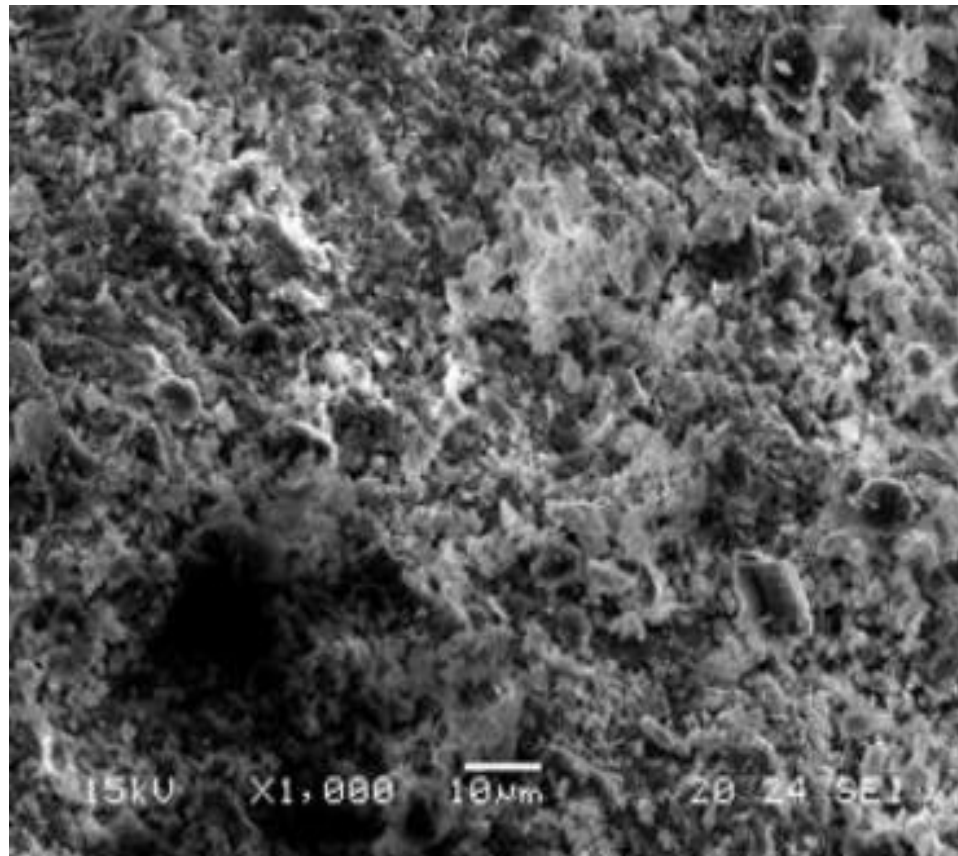
---

- I. Les échantillons proviennent de la station de potabilisation de Marrakech → Stockage à 4°C
- II. Caractérisation de la composition chimique → Spectroscopie d'émission atomique à plasma à couplage inductif (ICP-AES).
- III. Caractérisation de la microstructure → Microscopie Electronique à Balayage : MEB (EDX)
- IV. Analyse de la texture → Pénétrométrie
- V. Caractérisation rhéologique → Rhéologie rotationnelle → Détermination du comportement rhéologique

# 4. Composition chimique



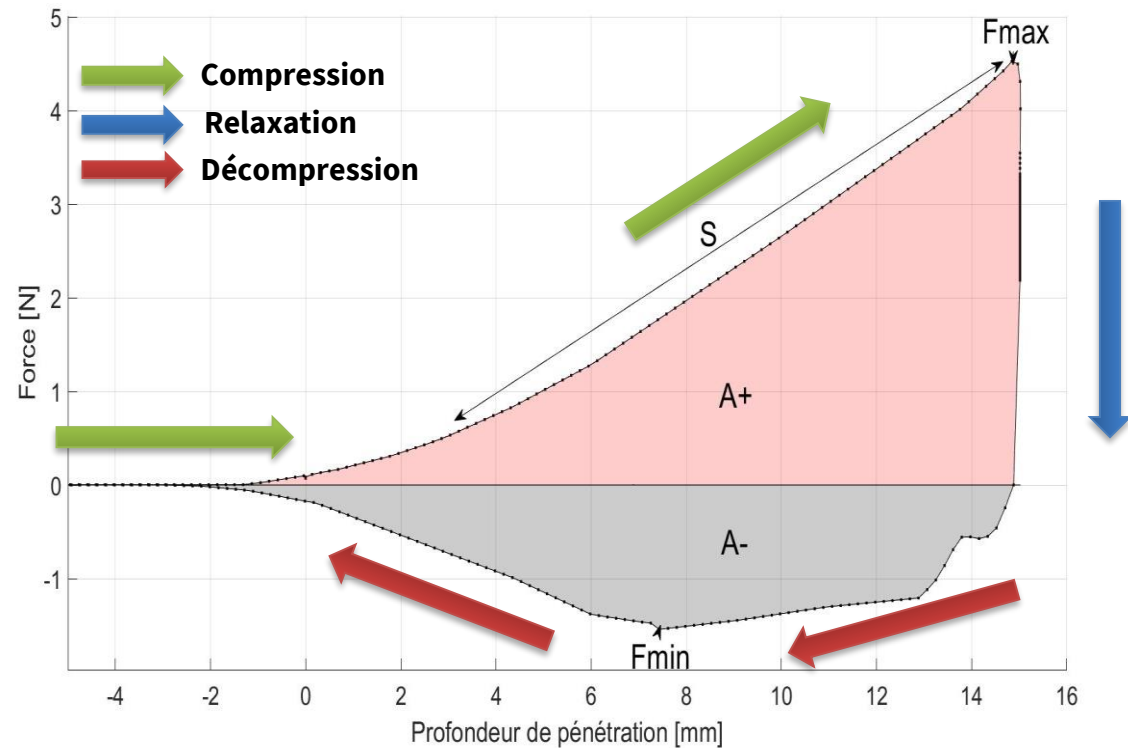
**Fig. 3:** Composition de la boue hydroxyde



**Fig. 4:** Microstructure de la boue hydroxyde



# 6. Pénétrométrie

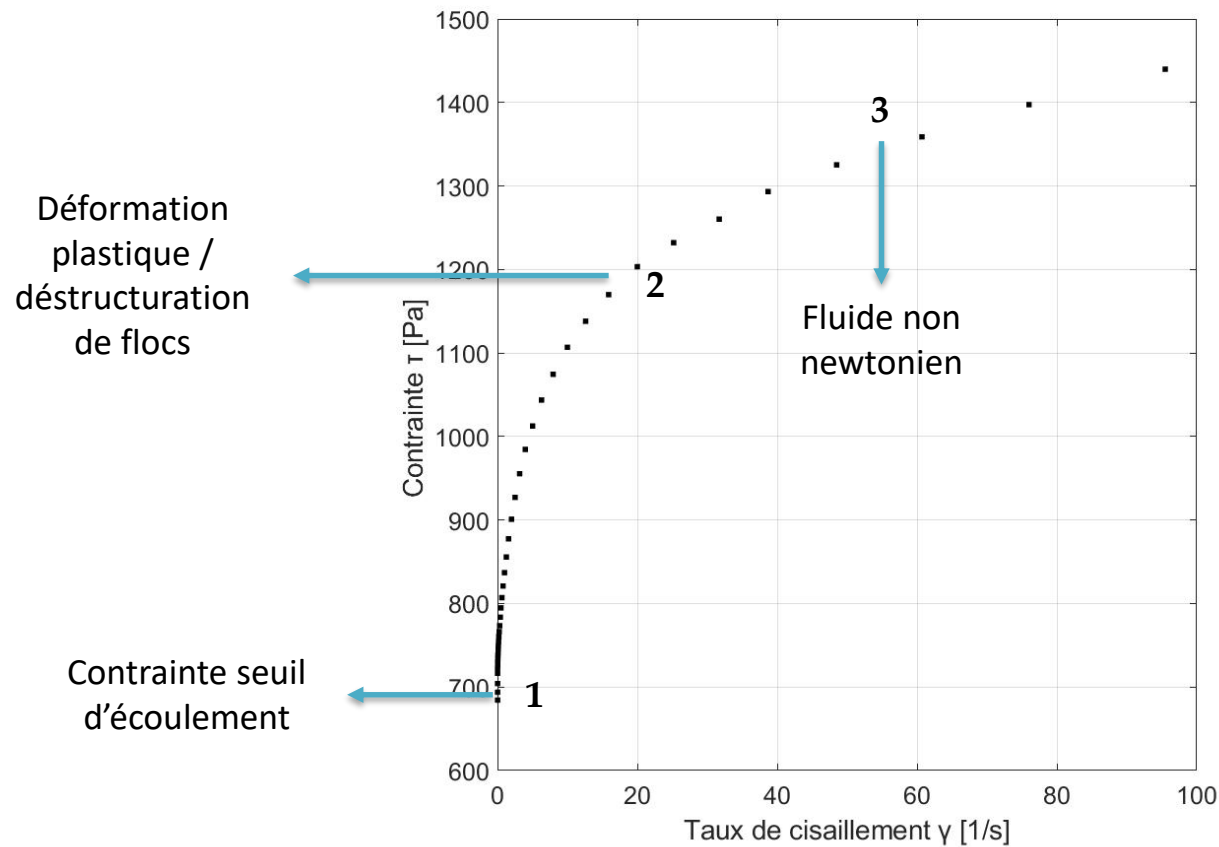


**Fig 5.** Courbe de pénétration expérimentale

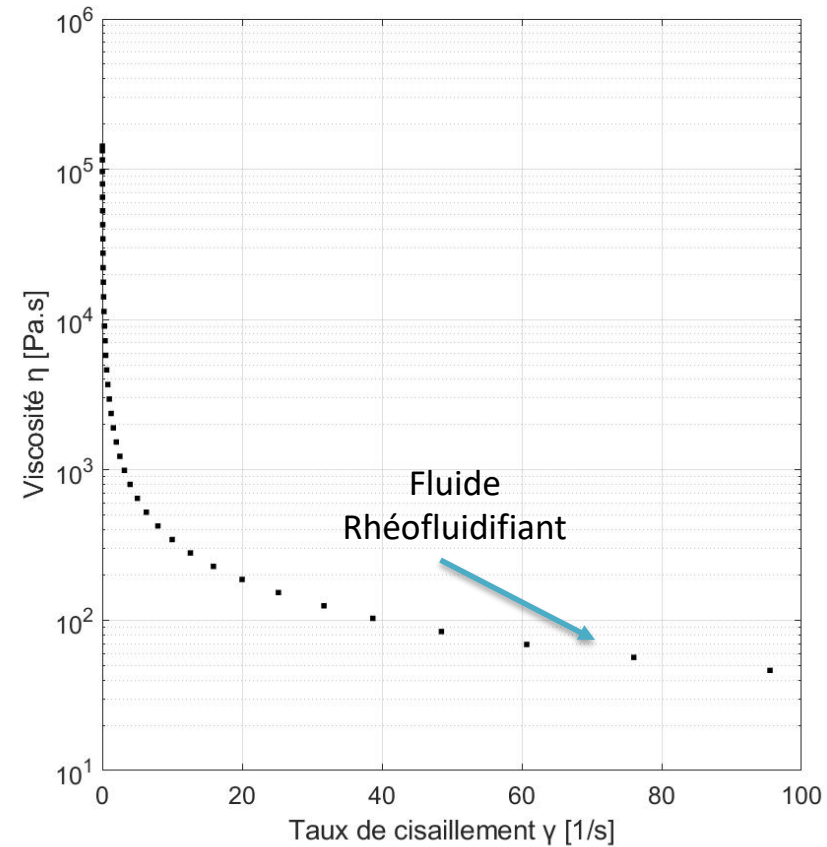
Paramètre	Unité	Valeur
Dureté [ $F_{max}$ ]	N	$4.8 \pm 0.173$
Travail effectué	mJ	$29.6 \pm 1.646$
Dureté [ $A+$ ]		
Force adhésive [ $F_{min}$ ]	N	$-1.6 \pm 0.062$
Adhésivité [ $A-$ ]	mJ	$21.4 \pm 1.266$
Rigidité [S]	N/mm	$0.3 \pm 0.030$
Cohésivité	kPa	$6.8 \pm 0.244$

**Tableau 1.** Propriétés texturales des boues hydroxyde

# 7. Modélisation rhéologique de la boue hydroxyde



**Fig 6. (a)** Rhéogramme de la boue hydroxyde



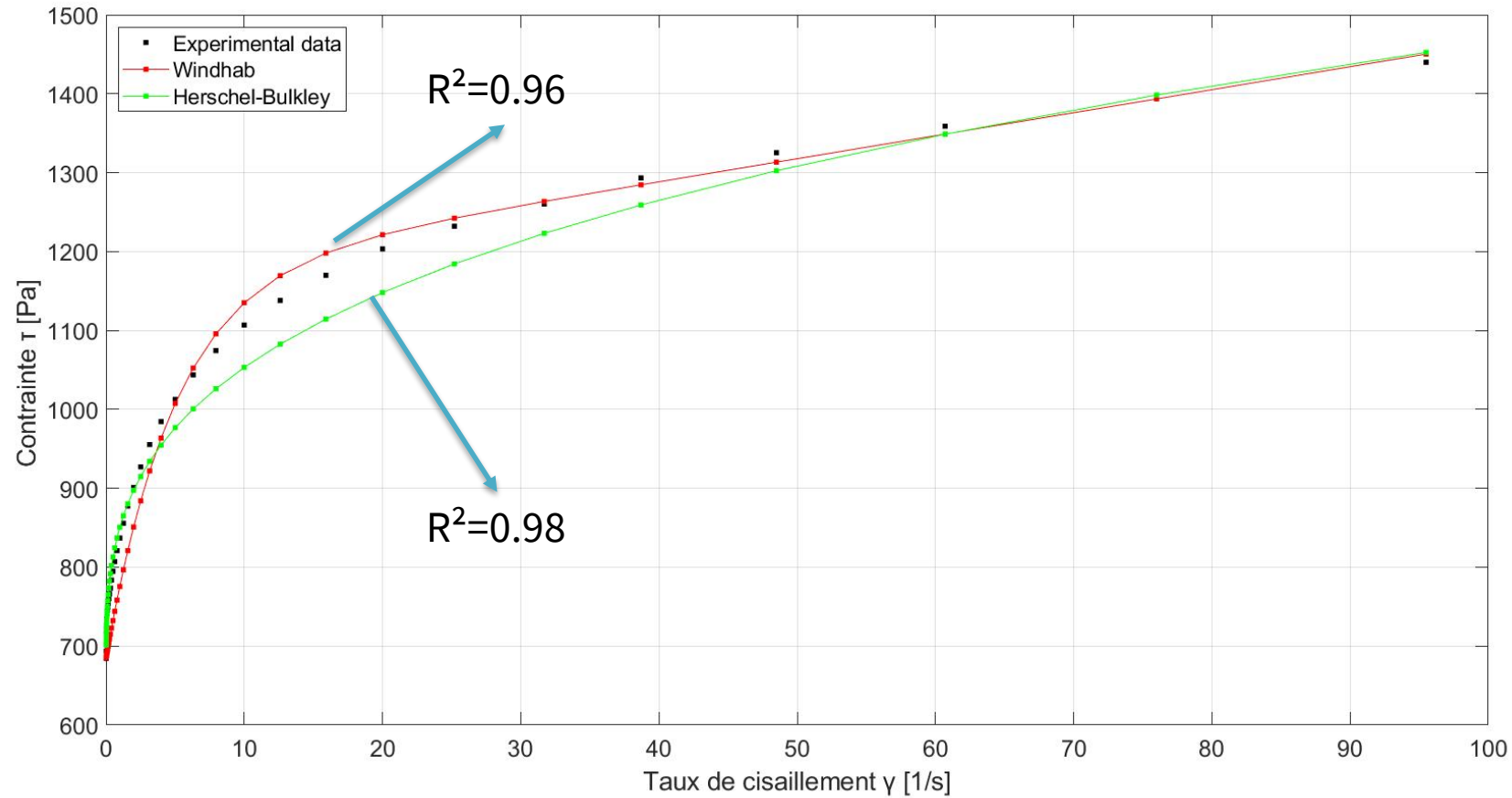
**Fig 6. (b)** Viscosité apparente en fonction du taux de cisaillement

# 7. Modèles rhéologiques

Modèle rhéologique	Équation	Description
Ostwald-de Waele	<del><math>\tau = k\dot{\gamma}^n</math></del>	(Eq. 1) $k$ Indice de consistance [Pa·s <sup>n</sup> $n$ Indice d'écoulement
Herschel-Bulkley	$\tau = \tau_o + k\dot{\gamma}^n$	(Eq. 2) $\tau_o$ Seuil de contrainte [Pa] $k$ Consistency coefficient [Pa·s <sup>n</sup> $n$ Indice de rhéofluidification
Casson	<del><math>\sqrt{\tau} = \sqrt{\tau_c} + \sqrt{\eta_c \dot{\gamma}}</math></del>	(Eq. 3) $\tau_c$ Seuil de contrainte [Pa] $\eta_c$ Viscosité à taux de cisaillement infini [Pa·s]
Bingham-Papanastasiou	<del><math>\tau = \eta \dot{\gamma} + \tau_o (1 - e^{-m\dot{\gamma}})</math></del>	(Eq. 4) $\tau_o$ Seuil de contrainte [Pa] $\eta$ Viscosité à taux de cisaillement infini [Pa·s] $m$ Constante de Papanastasiou
Windhab	$\tau = \tau_o + \eta_\infty \dot{\gamma} + (\tau_1 - \tau_o) \left(1 - e^{-\frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}^*}}\right)$	(Eq. 5) $\tau_o$ Seuil de contrainte [Pa] $\tau_1$ Contrainte de Cisaillement [Pa] $\eta_\infty$ Viscosité à taux de cisaillement infini [Pa·s] $\dot{\gamma}^*$ Taux de cisaillement de Windhab [s <sup>-1</sup> ]

**Tableau 2.** Modèles rhéologiques utilisés pour décrire la rhéologie des boues hydroxydes

# 8. Modélisation de la rhéologie



**Fig 7.** Rhéogramme de la boue hydroxyde

# 8. Modélisation de la rhéologie

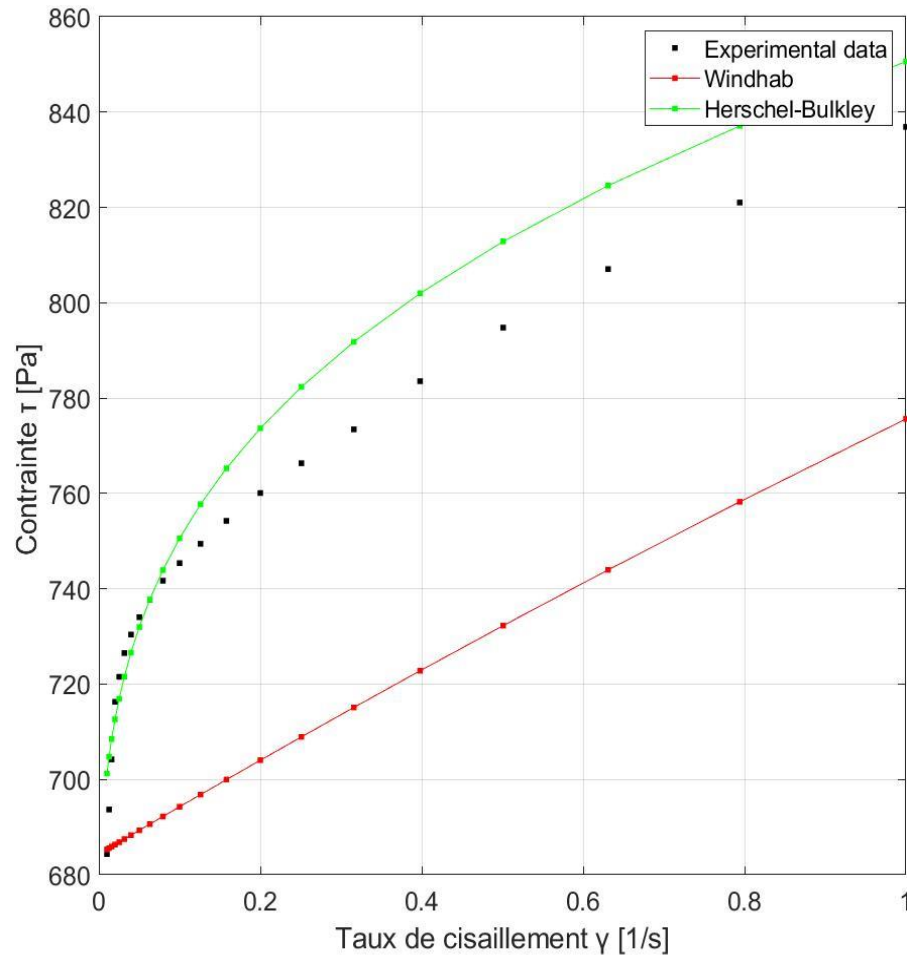


Fig 8. (a) Rhéogramme bas taux de cisaillement

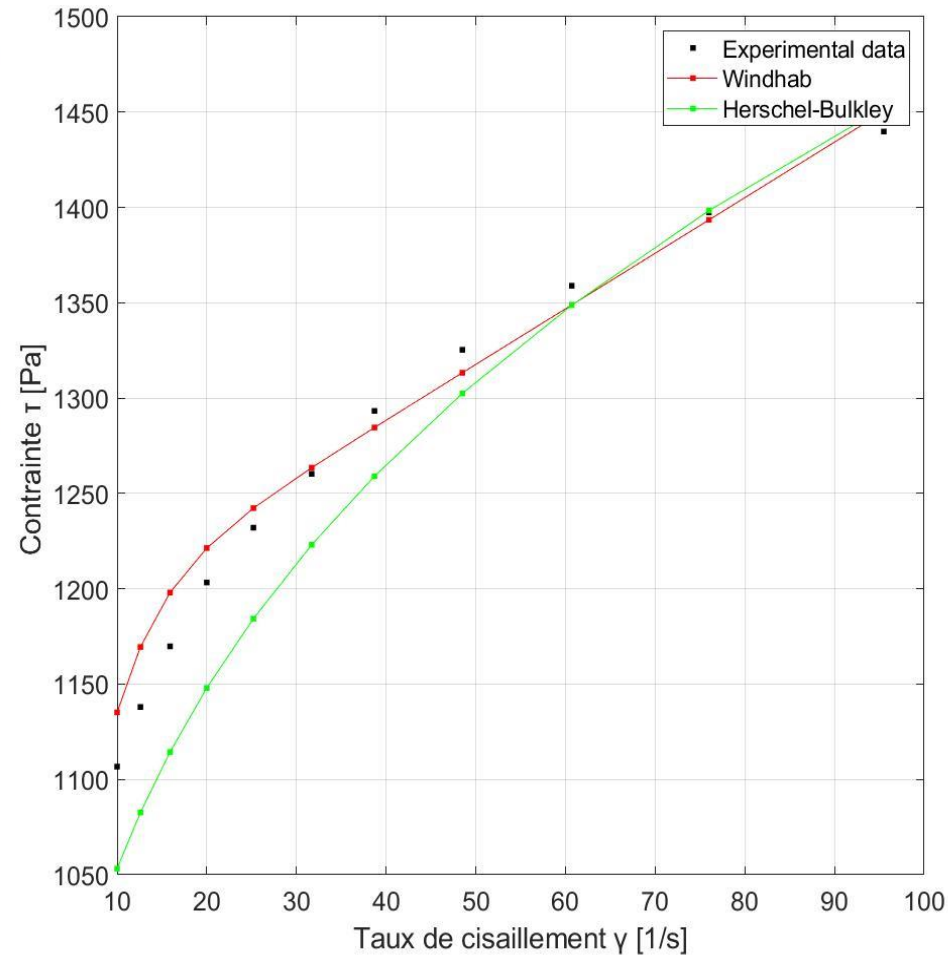
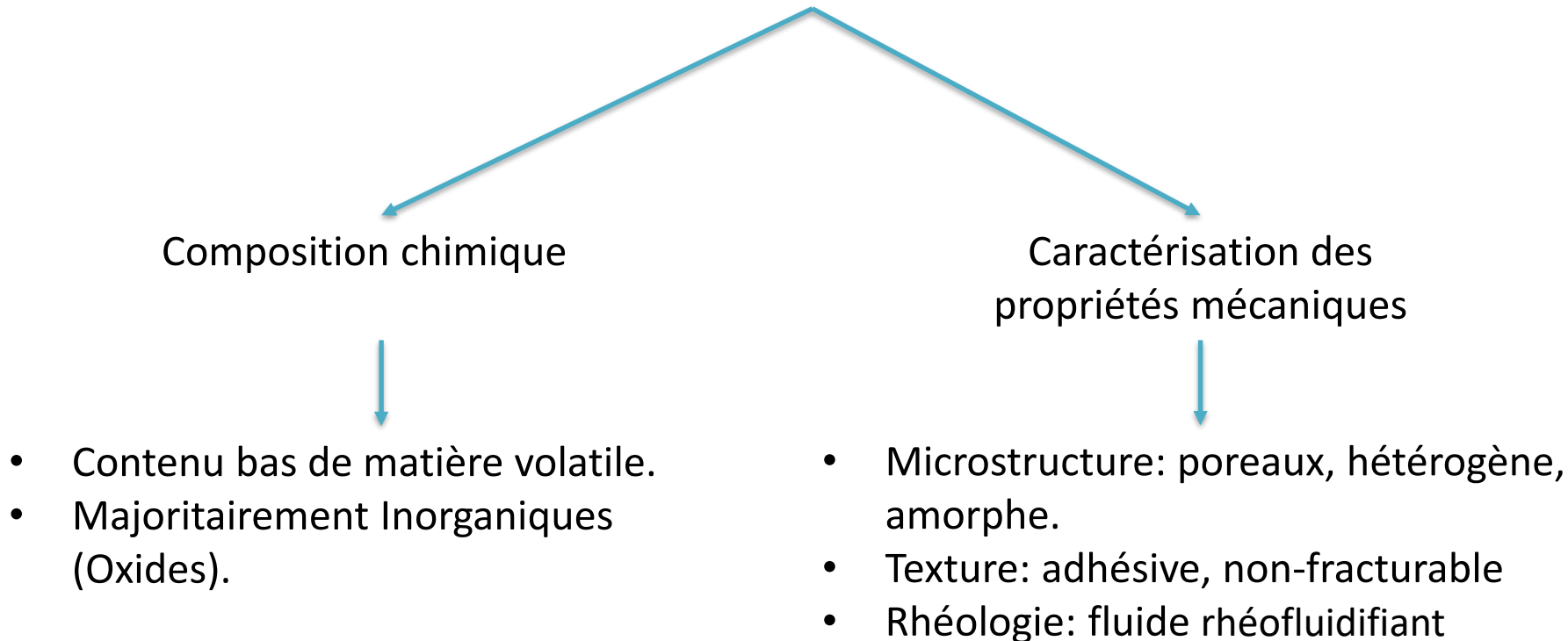


Fig 8. (b) Rhéogramme hauts taux de cisaillement

**Qualité de l'ajustement variable**

Caractéristiques des boues hydroxydes de la station de potabilisation de Marrakech



**Plus de détails seront publiés sur Materials: « Rheological properties and chemical characterization of drinking water treatment sludge »**

# Caractérisation mécanique des boues hydroxydes

A. Fantasse<sup>1</sup>, **S. L. PARRA**\*<sup>1</sup>, A. Léonard<sup>1</sup> et L. El Khadir<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Université de Liège, Department of Chemical Engineering – PEPs, Liège-Belgique.

<sup>2</sup>Université Cadi Ayyad, Laboratory of Fluid Mechanics and Energetics (LMFE), Faculty of Sciences Semlalia, Marrakesh- Morocco.



# 10. Annexe: T xturom trie



Fig 9. Pénétromètre LS1

- Un cycle compression – décompression
- Capteur de force de 10N
- Sonde sphérique -  $\varnothing=30\text{mm}$  – Polystyrène
- Vitesse de pénétration = 1 mm/s.
- Profondeur de la pénétration = 15mm

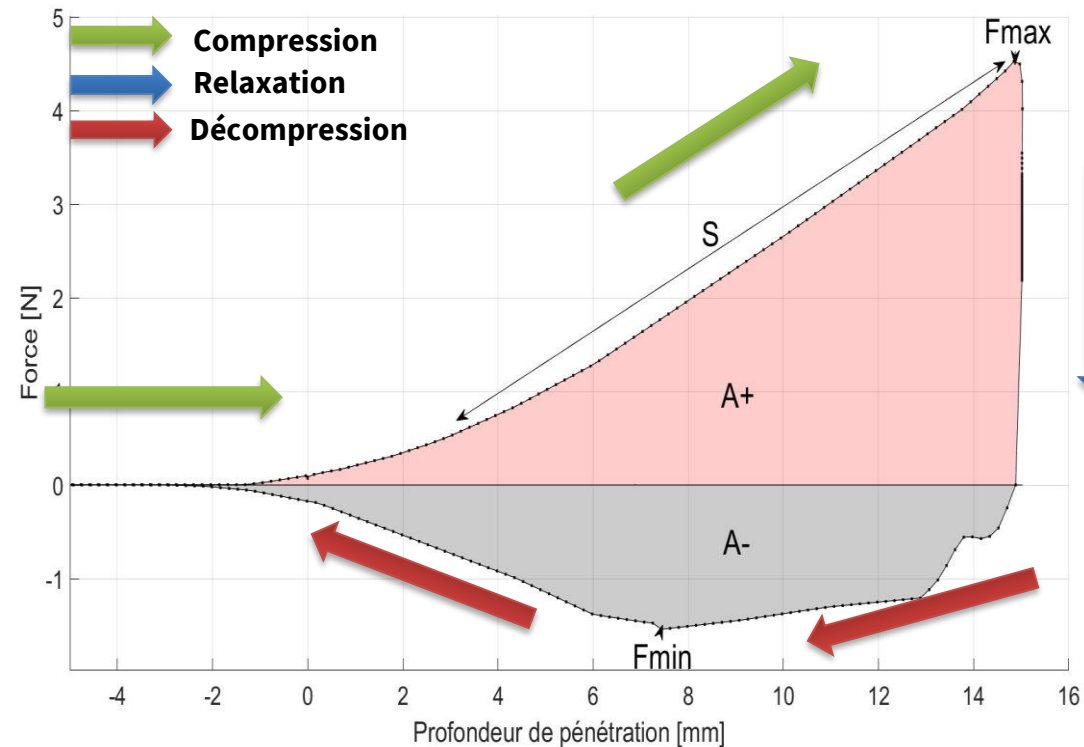


Fig 9. Courbe de pénétration expérimentale



# 10. Annexe: Rhéologie



**Fig 11.** Rhéomètre MCR302e

- Géométrie : plaques parallèles dentelées  $\varnothing = 50$
- Entrefer = 2mm
- $\gamma = 0.01$  to 100 [1/s] – 10 points par décade
- Température = 20°C
- Logiciel : RHEOCOMPAS 1.30

Rheological Model	Parameters values	R <sup>2</sup>
Ostwald-de Waele	$k = 910 \pm 15 \text{ Pa} \cdot \text{s}^n$ $n = 0.08 \pm 0.01$	0.94
Herschel-Bulkley	$\tau_o = 653 \pm 28 \text{ Pa}$ $k = 197 \pm 30 \text{ Pa} \cdot \text{s}^n$ $n = 0.3 \pm 0.07$	0.98
Casson	$\tau_c = 752 \pm 23 \text{ Pa}$ $n_c = 1.8 \pm 0.01 \text{ Pa} \cdot \text{s}$	0.91
Bingham-Papanastasiou	$\tau_o = 1184 \pm 400 \text{ Pa}$ $n = 3 \pm 9 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ $m = 1 \pm 0.3$	<0.00
Windhab	$\tau_o = \pm 23 \text{ Pa}$ $\tau_1 = 1172 \pm 42 \text{ Pa}$ $n_\infty = 3 \pm 0.8 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ $\dot{\gamma}^* = 5 \pm 1 \text{ s}^{-1}$	0.96

**Tableau 3.** Modèles rhéologiques utilisés pour décrire la rhéologie des boues hydroxydes

# 10. Annexe: Valorisation des boues hydroxydes

---

- Industrie de la construction:      -fabrication de bricks  
  -liant cimentaire
  - Traitement de l'eau:                 -production d'absorbants  
  -coagulant pour le traitement d'eau
-

# 10. Annexe: À quoi servent ces résultats

## Caractéristiques des boues hydroxydes

### Composition chimique

- Stabilité chimique et biochimique
- Réactivité
- Sélection des matériaux
- Récupération des composants d'intérêt commercial

### Caractérisation des propriétés mécaniques

- Capacité à être utilisé comme matière première
- Facilité d'étalage agricole
- Stockage en tas

# Caractérisation mécanique des boues hydroxydes

A. Fantasse<sup>1</sup>, **S. L. PARRA**\*<sup>1</sup>, A. Léonard<sup>1</sup> et L. El Khadir<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Université de Liège, Department of Chemical Engineering – PEPs, Liège-Belgique.

<sup>2</sup>Université Cadi Ayyad, Laboratory of Fluid Mechanics and Energetics (LMFE), Faculty of Sciences Semlalia, Marrakesh- Morocco.

