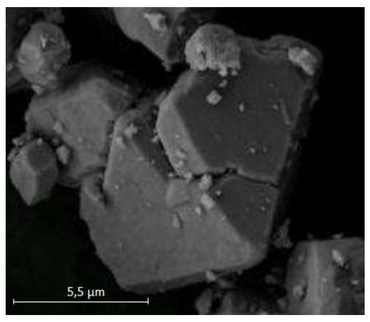
Transition de rhéo-épaississement discontinu dans des mélanges sphères-fibres

Serigne Touba LO
Master Ondes, Atomes, Matière, Université Côte d'Azur, Nice, France
Encadré par Pavel Kuzhir, Mounir Meloussi
Institut de Physique de Nice

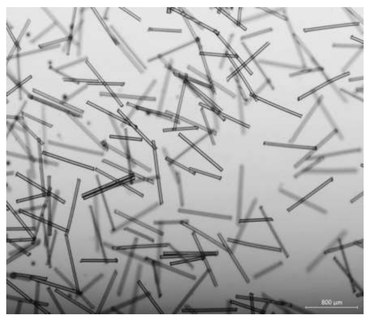
Résumé

La transition de rhéo-épaississement discontinu (discontinuous shear thickening - DST) est un phénomène observé dans certains fluides complexes et fait l'objet d'étude approfondie dans l'industrie du béton. Dans la présente étude, nous nous intéressons à la transition DST dans des mélanges de particules de carbonate de calcium avec des fibres de polyamide testés en cisaillement simple avec un rhéomètre rotationnel, puis dans un écoulement capillaire. Les résultats de mesures sont corrélés et confrontés aux prédictions théoriques.

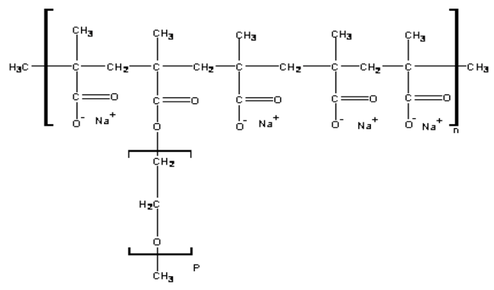
Matériaux utilisés



Particules de $CaCO_3$
<d> = 5,5 µm



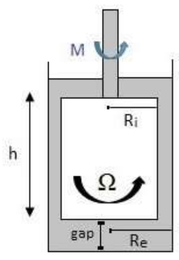
Fibres de polyamide (rigides)



Polymère PCP-45

→ Préparation de suspension de $CaCO_3$ et de mélanges $CaCO_3$-fibres

Mesures rhéométriques en cisaillement simple



Couette cylindrique et schéma descriptif

Caractéristiques:

M: moment de forces de frottement
Ω: vitesse angulaire de rotation
R_i = 12 mm h=37 mm
R_e = 14,5 mm gap = 10 mm

Protocole de mesure:

Imposer un couple M à la suspension et mesurer la vitesse angulaire Ω correspondante

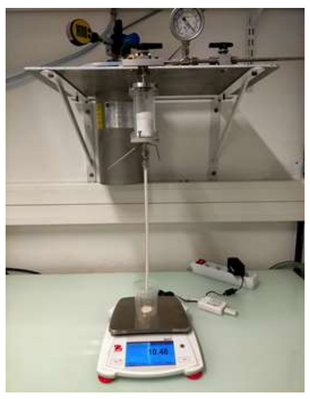
Conversions

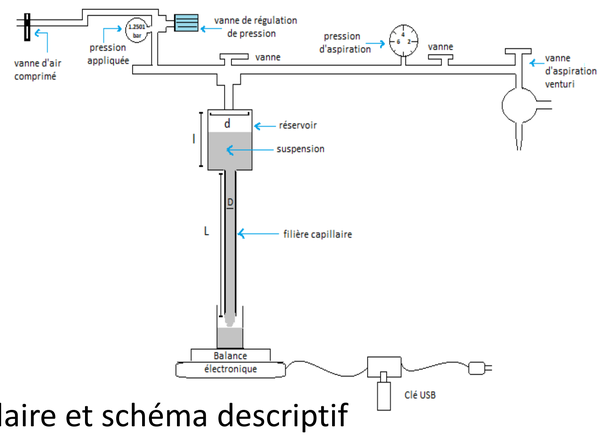
$M \longrightarrow \sigma$
$\Omega \longrightarrow \dot{\gamma}$

La contrainte et le taux de cisaillement sont respectivement donnés par [1]:

$$\sigma \approx \frac{M}{2\pi h R_i^2} \quad et \quad \dot{\gamma} \approx \frac{\Omega R_i}{R_e - R_i}$$

Mesures en écoulement capillaire





Rhéomètre capillaire et schéma descriptif

Caractéristiques:

l = 100 mm
d = 25 mm
L = 35- 36 cm
D = 3,3-7,7 mm

$$\sigma_w = \frac{(\Delta P + \rho g L)R}{2L}$$

$$\dot{\gamma}_{a,w} = \frac{4Q_m}{\rho \pi R^3}$$

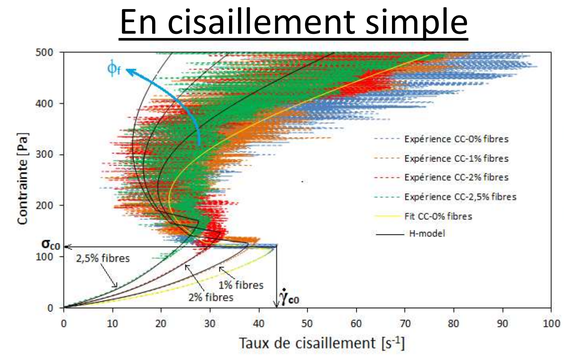
Protocole: imposer une pression ΔP sur la suspension et mesurer débit Q_m du fluide qui sort du capillaire
Conversion: $\Delta P \rightarrow \sigma_w$, $Q_m \rightarrow \dot{\gamma}_{a,w}$

Pour la courbe d'écoulement $\dot{\gamma}(\sigma)$ mesurée en cisaillement simple, le taux de cisaillement apparent à la paroi est [1] :

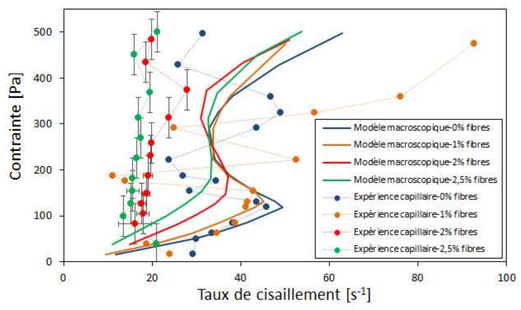
$$\dot{\gamma}_{a,w}(\sigma) = \frac{4}{\sigma_w^3}\int_0^{\sigma_w} \sigma^2 \dot{\gamma}(\sigma) d\sigma$$

Effet des fibres en écoulement Couette (cisaillement simple) et en écoulement capillaire

En cisaillement simple



En écoulement capillaire



Observations:

- Forme sigmoïdale (S) des courbes d'écoulement.
- Décalage des courbes vers la gauche avec la fraction volumique de fibres ϕ_f
- Rhéologie relativement similaire des courbes obtenues en cisaillement simple et en écoulement capillaire pour ϕ_f = 0 et 1%

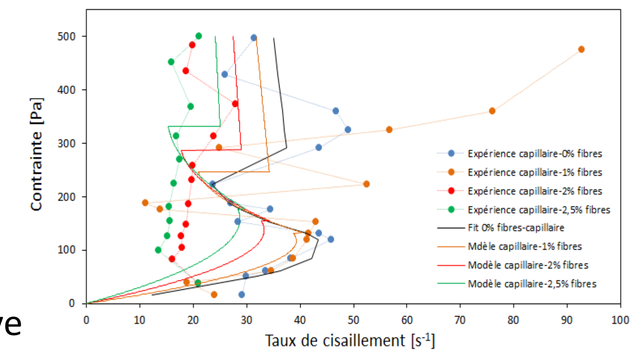
Prédictions théoriques des courbes d'écoulement par le H-model à partir des équations suivantes [2]:

$$\sigma_{loc} = \frac{\sigma}{\sqrt{(1-\phi_f)\eta_r(\phi_f, A_{1212})}}$$

$$\dot{\gamma}(\sigma) = \dot{\gamma}_m(\sigma_{loc})\sqrt{\frac{1-\phi_f}{\eta_r(\phi_f, A_{1212})}}$$

σ_{loc}: contrainte locale
A_{1212}: paramètre d'orientation des fibres
$\dot{\gamma}_m$: taux de cisaillement de la matrice de suspension $CaCO_3$
$\eta_r(\phi_f, A_{1212})$: viscosité relative

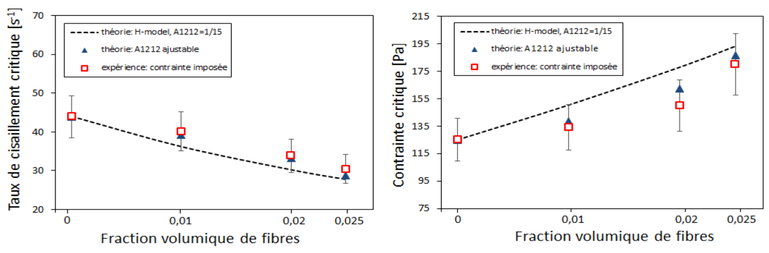
Modélisation des courbes d'écoulement dans le capillaire



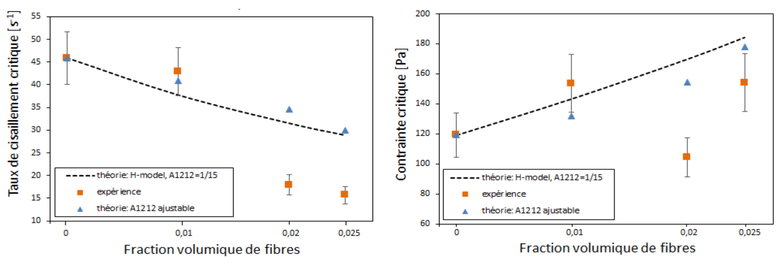
Taux de cisaillement et contrainte critique de la transition DST

$$\dot{\gamma}_c(\phi_f) = \dot{\gamma}_{co}\sqrt{\frac{1-\phi_f}{\eta_r(\phi_f, A_{1212})}} \quad ; \quad \sigma_c(\phi_f) = \sigma_{co}\sqrt{(1-\phi_f)\eta_r(\phi_f, A_{1212})}$$

En cisaillement simple



En écoulement capillaire



- L'ajout des fibres décale le DST à des taux de cisaillement plus bas car ça augmente la viscosité de la suspension et donc diminue le taux de cisaillement nécessaire pour atteindre la contrainte critique de DST.

Conclusions et perspectives

- L'ajout de fibres dans les mélanges $CaCO_3$-fibres influe fortement sur la transition DST observée.
- La géométrie utilisée peut avoir des effets sur la microstructure des mélanges en influant l'orientation des fibres et leur distribution spatiale.
- ➢ Donc il serait nécessaire d'étudier la microstructure de ces mélanges induite par écoulement par microtomographie à rayons X et faire une modélisation.

[1] Macosko, C. W. (1994). Rheology: principles, measurements, and applications. Wiley-VCH, New York.
[2] Chateau, X., G. Ovarlez, and K. L. Trung, 2008, Journal of Rheology 52(2), 489.