

Caractérisation du potentiel structurant de vases naturelles via une approche rhéométrique de cisaillement simple

Application au cas de vases de l'estuaire de la Rance

S. Serhal^{1,3}, D. Rangeard¹, A. Castex¹, A. Pierre², Y. Mélinge², F. Chehade³

¹ LGCGM – EA 3913, Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique, INSA de Rennes, 20 Av. des buttes de Coësmes – 35043 Rennes cedex, France

(saly.serhal@insa-rennes.fr, damien.rangeard@insa-rennes.fr, alexandra.castex@insa-rennes.fr)

² L2MGC, Laboratoire de Mécanique et Matériaux du Génie Civil – EA 4114, Université de Cergy-Pontoise – 5 Mail Gay Lussac, Neuville sur Oise – 95031 Cergy-Pontoise Cedex (yannick.melinge@u-cergy.fr, alexandre.pierre@u-cergy.fr)

³ Université Libanaise, Centre de Modélisation, Ecole Doctorale des Sciences et Technologie, LIBAN (fchehade@ul.edu.lb)

RÉSUMÉ. Dans cet article, une partie d'une étude dédiée au comportement rhéologique de mélanges liquide/solides est proposée. La phase solide est composée de sédiments prélevés dans l'estuaire de la Rance (35). La phase liquide est de l'eau du robinet. Un protocole de caractérisation est mis en œuvre pour éviter le vieillissement au cours de la caractérisation. Les effets de l'âge des suspensions, la composition granulométrique et le taux de cisaillement sont recherchés à fraction volumique solide fixée via une caractérisation du comportement visco-plastique. Enfin, l'influence de la matière organique et de sels est démontrée.

ABSTRACT. Rheological study of natural suspensions is presented in this article. Solid phases are extracted from the Rance river estuary. Specific protocol is carried out to dry and to separate the main sizes of the natural compound. Liquid phase is represented by tap water. Average visco-plastic behavior of the suspensions is highlighted through four decades of the shear velocity. The presented results show the effect of the age of the suspensions, the effect of the particle size at fixed solid volumes fraction. Finally, the effect of salts and organic matter is presented.

MOTS-CLÉS : rhéologie, rhéométrie, suspensions liquide/solides, sédiments, matière organique, sels, visco-plasticité.

KEY WORDS : Rheology, rheometry, liquid/solid suspensions, sediments, organic matter, salts, visco-plasticity.

caractérisation rhéologique. Cellule de cisaillement à deux moyeux 2017 et 11180/1 K50x (80 (Malvern) équipée d'une cellule plan-plan de 40 mm de diamètre et 2 mm d'entrefer. La surface des plans est rendue rugueuse au moyen de papiers de verre adhésifs calibrés. Les essais sont conduits à 20°C. Chaque suspension est testée en cisaillement simple en imposant une vitesse de cisaillement ($\dot{\gamma}$) constante pendant 10 min. La durée est suffisamment longue pour faire converger la valeur moyenne de la contrainte de cisaillement (τ) et de la contrainte normale (σ) et suffisamment courte pour limiter les effets du vieillissement au cours de la caractérisation. Les courbes d'écoulements sont reconstituées à partir des tests effectués pour $\dot{\gamma}$ compris entre 0,01 et 100 s⁻¹. Le temps de préparation et d'homogénéisation des suspensions est de 4 min. Le temps de vieillissement des suspensions est compris entre 1 et 80 min. Dans la suite de l'article, nous retiendrons les dénominations suivantes : sédiments naturels (calibration granulométrique bornée à 40 μm , 63 μm , 80 μm et 125 μm), sédiments sans matières organiques (SMO) (calibration granulométrique bornée à 125 μm) et sédiments sans sel (SS) (calibration granulométrique bornée à 125 μm).

3. Résultats

3.1 Effet de l'âge

L'effet de l'âge est illustré par la caractérisation en cisaillement simple d'une suspension composée de la phase solide naturelle bornée à 40 μm et additionnée d'eau du robinet à $w = 150\%$. Les courbes d'écoulement moyennes obtenues pour différents temps de vieillissement sont présentées sur la (Figure 1). Les barres d'erreurs mentionnées pour chaque valeur moyenne représentent deux fois l'écart type pour chaque mesure. Au travers des quatre décades d'analyse, on montre que le comportement rhéologique global est bien représenté par un modèle de type Herschel-Bulkley. Toutefois, une forte structuration est notée à bas gradient de vitesse de cisaillement qui s'accroît avec l'âge de la suspension que l'on peut comparer à un mécanisme de floculation. L'effet de la vitesse de cisaillement agit comme un destructurant et un taux critique est mis en évidence au voisinage de 10 s⁻¹. Au-delà, l'effet du vieillissement est peu marqué et la suspension exhibe un comportement de type Bingham.

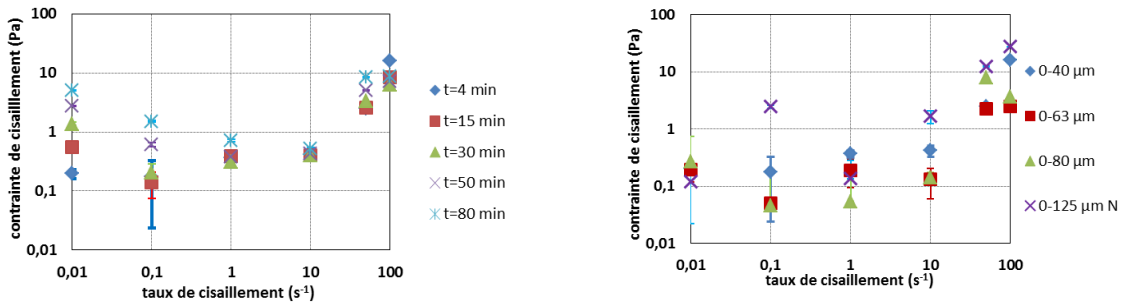


Figure 1. Courbes d'écoulements moyennes pour la frange granulométrique 0-40 μm à différents âges.

Figure 2. Courbes d'écoulements moyennes pour les différentes franges granulométriques au jeune âge.

3.2 Combinaisons granulaires

Le principe de décomposition de la phase solide a pour but de distinguer un éventuel effet de liant (caractère fortement cohésif de certains constituants tels que les argiles et les limons) combiné à un effet granulaire enrobé. Les résultats sont présentés sur la (

Figure 3. Courbes d'écoulement moyennes pour la frange 0-125 μm naturel, sans sel et sans matières organiques.

Figure 3. Courbes d'écoulement moyennes pour la frange 0-125 μm naturel, sans sel et sans matières organiques.

) pour des suspensions dosées à $w = 150\%$. Les courbes d'écoulements obtenues juste après la fin de la préparation sont similaires à celle décrites précédemment. Compte tenu de la décomposition retenue, la frange 0-40 μm apparait comme la partie liante et dans cette logique l'extension granulométrique à 63 puis à 80 μm tend à diminuer la contrainte de cisaillement à taux de cisaillement fixé ; ce qui est caractéristique d'un apport granulaire au sein d'une matrice liante [TOU 02]. En revanche, l'extension granulométrique jusqu'à 125 μm révèle une courbe d'écoulement dont la contrainte de cisaillement est supérieure à celle de la frange 0-40 μm . Cette augmentation de la contrainte de cisaillement à taux de cisaillement fixé ne peut pas être imputée à un ajout granulaire passif et nous suspectons la présence d'un composé réactif fixé de façon privilégiée sur cette dernière frange.

3.3 Effet de composés réactifs

Avec l'objectif de compléter l'analyse précédente, nous présentons sur la (**Figure 3**) les courbes d'écoulements obtenues pour des suspensions composées :

- de la phase solide naturelle (0-125 μm N) et d'eau du robinet ($w = 150\%$),
- de la phase solide sans sels (0-125 μm SS) et d'eau du robinet ($w = 150\%$),
- de la phase solide sans matière organique (0-125 μm SMO) et d'eau du robinet ($w = 150\%$).

Les tests sont réalisés juste après la période de préparation des suspensions. Sans expliquer complètement la reprise de contrainte de cisaillement évoquée au paragraphe précédent, on note que l'élimination soit des sels ou de la matière organique de la phase solide décale d'une valeur constante la courbe d'écoulement selon l'axe de la contrainte de cisaillement. Ces deux composés ne modifient pas l'effet de la vitesse de cisaillement sur les mélanges.

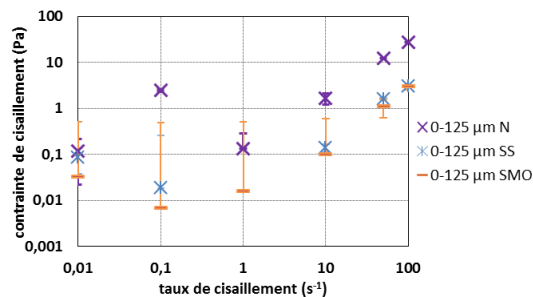


Figure 3. Courbes d'écoulement moyennes pour la frange 0-125 μm naturel, sans sel et sans matières organiques.

4. Conclusion

L'étude rhéologique menée avec des sédiments prélevés au voisinage du Lyvet a permis de caractériser des suspensions en séparant un effet d'une matrice liante (franges 0-40 μm) et d'inclusions granulaires (dont l'effet est destructurant). L'étude a permis de détecter l'influence de la présence de la matière organique et de sels, qui pour un âge donné favorise la structuration rhéologique. Des travaux complémentaires sont en cours de réalisation pour améliorer les interprétations et proposer un modèle du comportement viscoplastique avec l'objectif d'une comparaison avec les résultats déjà obtenus pour des sédiments prélevés dans la Baie de Quiberon (56), [MEL 15].

4. Bibliographie

[FALL 12] FALL N. M., Traitements des sédiments en vue d'une utilisation dans le génie civil ». Thèse de doctorat, INSA de Rennes, 2012.

[TOU 02] TOUTOU J. et al., « Rôle de la formulation des suspensions concentrées en évaluation des conditions d'extrudabilité ». Thèse de l'INSA Rennes, 2002.

[AVO 81] AVOINE J. L'estuaire de la Seine: sédiments et dynamique sédimentaire, Thèse de doctorat, Université Caen, 1981.

[BON 02] BONNOT-COURTOIS C., CALINE B., L'HOMER A, LE VOT M., La baie de Mont Saint Michel et l'estuaire de la Rance, Pau, Edition TotalFinaElf, 2002.

[MEL 15] MELINGE Y. et al, «Etude du comportement visqueux-visco-plastique de suspensions sédimentaires multi-échelle», *33èmes rencontres universitaires de génie civil*, Bayonne, 27-29 mai 2015.