

Rhéologie croisée des suspensions non Browniennes

Frédéric Blanc^{1,*}, Elisabeth Lemaire¹, François Peters¹ et Romain Mari²

¹Université Côte d'Azur, CNRS, Institut de Physique de Nice

²Université Grenoble Alpes, CNRS, LIPhy

*Correspondance : frederic.blanc@univ-cotedazur.fr

Malgré des décennies de travaux et l'importance des propriétés de transport des suspensions dans les processus industriels et les phénomènes naturels, la dynamique des suspensions concentrées de particules non-browniennes continue de surprendre. Pour illustrer un des comportements inattendus de telles suspensions, on peut prendre l'exemple frappant de la sédimentation d'une sphère d'acier dans une suspension de particules beaucoup plus petites. Si une grosse bille dense est lâchée dans une suspension, la vitesse de la grosse bille est inversement proportionnelle à la viscosité de la suspension, comme c'est le cas pour la sédimentation dans un fluide Newtonien. Mais dès qu'un cisaillement oscillant est appliqué, la vitesse de sédimentation de la bille augmente! Cet effet est d'autant plus marqué que la concentration des particules de la suspension est grande. Cette propriété étonnante est la conséquence (non triviale) de l'organisation des particules de la suspension dans une microstructure spatiale non isotrope. La vitesse de sédimentation s'interprète alors comme la compétition entre une microstructure générée par l'écoulement associé à la sédimentation et celle générée par le cisaillement [1].

L'existence d'une telle microstructure anisotrope est une propriété générale des suspensions qui a été mise en évidence par des expériences d'inversion de cisaillement [3]. En inversant le sens de cisaillement d'une suspension on observe que la viscosité présente un régime transitoire. Au moment de l'inversion, la viscosité décroît rapidement pour atteindre un minimum puis croît à nouveau jusqu'à atteindre la valeur stationnaire qu'elle avait avant l'inversion. Ce transitoire

est associé à la destruction/reconstruction de la microstructure anisotrope des particules de la suspension.

Ainsi, la compréhension fine de la réponse mécanique des suspensions nécessite non seulement de connaître leur viscosité mais aussi la manière dont celle-ci évolue lors d'un changement de direction du cisaillement. Des études récentes ont permis de mieux comprendre ce régime transitoire lorsque le sens du cisaillement est inversé [5, 8] ou lorsqu'il est appliqué perpendiculairement au cisaillement initial [6, 7].

Nous avons très récemment réalisé un dispositif expérimental (figure 1) qui permet d'appliquer de manière contrôlée des changements de directions au cisaillement imposé à la suspension et de mesurer la viscosité transitoire η_{12} en fonction de l'angle θ associé à ces changements de direction et de la post-déformation γ (figure 2). Une première étude réalisée récemment sur des suspensions de sphères dures très concentrées a révélé un comportement mécanique surprenant [2]. Pour imposer un changement de direction au cisaillement il est non seulement nécessaire d'appliquer sur le plan supérieur une force dans la nouvelle direction du cisaillement mais également une force perpendiculaire à cette direction. La viscosité de cisaillement η_{32} associée à cette composante orthogonale (qui est nulle à l'état stationnaire) est transitoirement finie, atteignant jusqu'à 50% de la viscosité de cisaillement η_{12} parallèle à la direction de l'écoulement lorsque la concentration ϕ de la suspension est grande. Nous avons montré que η_{32} présente une subtile dépendance en θ et ϕ associée à la contribution relative des contraintes hydrodynamiques et des contraintes de contact (figure 3).

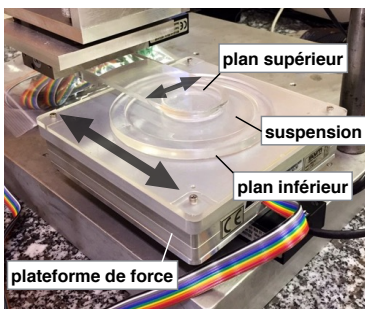


Figure 1 – Photo du dispositif expérimental permettant le contrôle de la direction du cisaillement et la mesure du transitoire de viscosité.

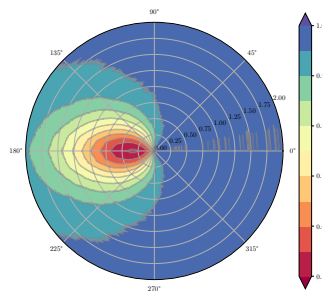


Figure 2 – Régime transitoire de viscosité η_{12} après une inversion de cisaillement en fonction de l'angle θ et de la post-déformation γ . $\phi = 0.45$. D'après [2].

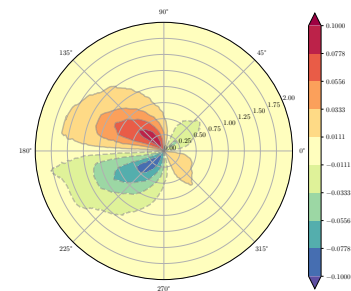


Figure 3 – Régime transitoire de viscosité orthogonale η_{32} après une inversion de cisaillement en fonction de l'angle θ et de la post-déformation γ . $\phi = 0.45$. D'après [2].

L'objectif de ce stage est de généraliser l'étude de la rhéologie croisée des suspensions granulaires en faisant varier la fraction volumique en particules solides. Cette étude permettra pour la première fois de mesurer la viscosité tensorielle des suspensions pour une large gamme de fraction volumique. Le vaste jeu de données expérimentales que nous allons obtenir sera comparé à des simulations numériques. Nous pourrons également tester et/ou améliorer des modèles de comportement mécanique comme ceux proposés par Gillissen & Wilson [4].

Références

- [1] F. Blanc, E. Lemaire, and F. Peters. Tunable fall velocity of a dense ball in oscillatory cross-sheared concentrated suspensions. *Journal of Fluid Mechanics*, 746, 2014.
- [2] F. Blanc, F. Peters, J. J. Gillissen, M. E. Cates, S. Bosio, C. Benarroche, and R. Mari. Rheology of dense suspensions under shear rotation. *Physical Review Letters*, 130(11) :118202, 2023.
- [3] F. Gadala-Maria and A. Acrivos. Shear-induced structure in a concentrated suspension of solid spheres. *Journal of Rheology*, 24(6) :799–814, 1980.
- [4] J. J. Gillissen and C. Ness. Modeling the microstructure and stress in dense suspensions under inhomogeneous flow. *Physical Review Letters*, 125(18) :184503, 2020.
- [5] N. Y. Lin, B. M. Guy, M. Hermes, C. Ness, J. Sun, W. C. Poon, and I. Cohen. Hydrodynamic and contact contributions to continuous shear thickening in colloidal suspensions. *Physical review letters*, 115(22) :228304, 2015.
- [6] N. Y. Lin, C. Ness, M. E. Cates, J. Sun, and I. Cohen. Tunable shear thickening in suspensions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(39) :10774–10778, 2016.
- [7] C. Ness, R. Mari, and M. E. Cates. Shaken and stirred : Random organization reduces viscosity and dissipation in granular suspensions. *Science advances*, 4(3) :eaar3296, 2018.
- [8] F. Peters, G. Ghigliotti, S. Gallier, F. Blanc, E. Lemaire, and L. Lobry. Rheology of non-brownian suspensions of rough frictional particles under shear reversal : A numerical study. *Journal of rheology*, 60(4) :715–732, 2016.