



Institut de physique  
Résultat scientifique

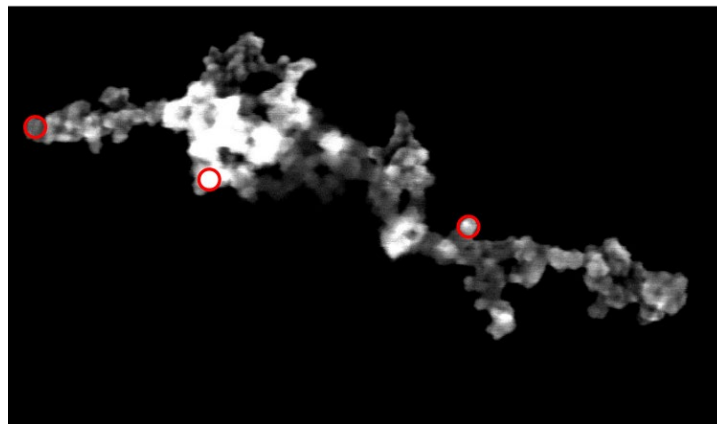
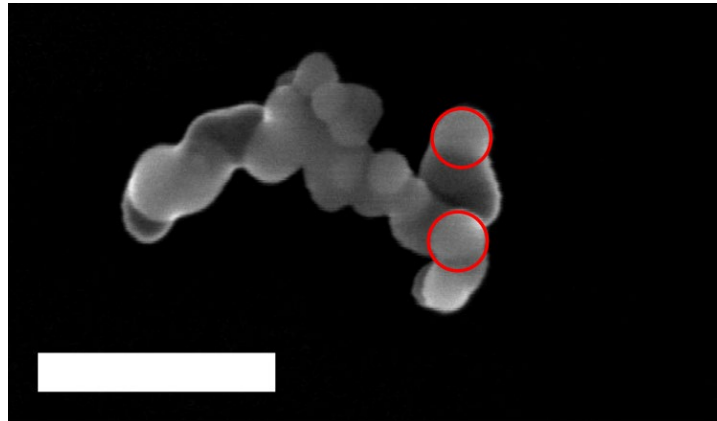
# Tuer la fluidité : vers une compréhension fine du rhéoépaississement

**Les fluides rhéoépaississants sont des suspensions colloïdales caractérisées par une viscosité qui augmente - parfois de façon très abrupte - avec l'intensité du cisaillement auquel on les soumet. Des chercheurs ont montré expérimentalement que si ce phénomène émerge principalement de la rugosité intrinsèque des colloïdes, il peut être notablement amplifié par la présence de liaisons hydrogène.**

Quel cuisinier n'a jamais expérimenté ce comportement paradoxal et gênant de la Maïzena qui se « refuse » au mélange ? Quand la fécule de maïs est en effet fortement concentrée dans de l'eau, la mixture devient quasiment solide quand le mouvement de la spatule se fait un peu trop rapide. Ce comportement rhéologique, appelé rhéoépaississement, n'est pourtant pas très courant dans les fluides complexes, où l'on observe plus souvent l'inverse, des matériaux qui se fluidifient sous cisaillement (les peintures quand on les étale par exemple). Cette augmentation de la viscosité de la Maïzena est due aux interactions entre les particules de fécule de maïs qui composent la suspension. Cependant le scénario microscopique précis associé à cette augmentation brusque de la viscosité reste mal compris, notamment car les particules de fécule présentent le double inconvénient d'être insuffisamment caractérisées individuellement et de vieillir chimiquement au cours du temps. Comme ce phénomène se rencontre également dans d'autres types de suspensions colloïdales, très différentes chimiquement de la Maïzena, différentes origines microscopiques au rhéoépaississement ont été proposées dans la littérature, que des expériences aux résultats parfois contradictoires n'ont pas réussi à départager entièrement.

Par une nouvelle série d'expériences sur des suspensions de silice pyrogénée ( $\text{SiO}_2$ ), de taille et de rugosité contrôlée, une équipe de chercheurs du Laboratoire de physique l'École Normale Supérieure de Lyon ([LPENSL](#), CNRS / ENS de Lyon), du laboratoire mixte international CNRS-MIT Multiscale materials science for energy and environment ([<MSE>2](#), CNRS / MIT) et du MIT a quantifié précisément les contributions relatives au rhéoépaississement de la friction mécanique entre les particules d'une part et de leur interactions physico-chimiques d'autre part. En comparant le comportement de suspensions de particules plus ou moins rugueuses et de traitement chimique de surface variable, ils démontrent d'une part le rôle nécessaire de la rugosité des particules pour induire le rhéoépaississement et d'autre part l'exacerbation de ce phénomène par la présence d'interactions physico-chimiques (typiquement des liaisons hydrogène) jusqu'à une réponse mécanique proche du solide. En variant la proportion de particules en suspension susceptibles de former des liaisons hydrogène, les physiciens ont par ailleurs réussi à contrôler de façon continue l'intensité du rhéoépaississement observé. Ceci ouvre la voie à de nombreuses applications, par exemple la formulation de ciments aux propriétés rhéologiques mieux contrôlées ou la conception de matériaux malléables et absorbant les chocs comme les gilets pare-balles. Ces résultats sont publiés dans la revue *Physical Review Research*.

Pour obtenir ces résultats, les chercheurs ont effectué des mesures rhéologiques sur quatre types de solutions colloïdales de silice pyrogénée (nanoparticules de  $\text{SiO}_2$  agglomérées) dans du polypropylène glycol, les particules différant par leur rugosité et leur hydrophobicité, mais ayant toutes une taille moyenne de 300 nanomètres (nm). Le contrôle de la rugosité provient du procédé de fabrication des particules de silice, résultant d'une agglomération à haute température de nanoparticules de  $\text{SiO}_2$  dont la taille (10 et 25 nm dans les expériences décrites) est sélectionnée précisément par le procédé de fabrication. On obtient des agrégats aux formes d'autant plus tortueuses que les nanoparticules les composant sont petites (voir figure). Cette tortuosité leur permet de développer une friction significative en cas de contact entre elles, contact dont la durée et donc l'efficacité pour augmenter la viscosité peut en plus être contrôlée en modifiant par traitement chimique l'hydrophobicité de leur surface. Il est intéressant de noter que les résultats obtenus avec ces colloïdes aux formes compliquées ne sont pas bien décrits par les théories actuelles et donc soulèvent un certain nombre de questions fondamentales dont la réponse reste encore à trouver.



Clichés de microscopie électronique à balayage (l'échelle correspond à 200 nm) montrant les deux types de colloïdes utilisés, de rugosité différente résultant de l'agrégation de nanoparticules de SiO<sub>2</sub> de rayon 25 nm (haut) et 10 nm (bas). Les cercles rouges soulignent certaines de ces nanoparticules primaires.  
Crédit : LPENSL (CNRS / ENS de Lyon)

## Référence

---

**Tuning the shear-thickening of suspensions through surface roughness and physico-chemical interactions.** Ph. Bourrienne, V. Niggel, G. Polly, Th. Divoux, G. H. McKinley, *Phys. Rev. Research*. Publié le 19 Juillet 2022

DOI : [10.1103/PhysRevResearch.4.033062](https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.4.033062)

Archives ouverte [arXiv](https://arxiv.org/abs/2207.08881)

## Contacts

---

**Thibaux Divoux** | CR- CNRS | LPENSL | [thibaut.divoux@ens-lyon.fr](mailto:thibaut.divoux@ens-lyon.fr)

**Communication INP-CNRS** | [inp.com@cnrs.fr](mailto:inp.com@cnrs.fr)

