

Avis de Soutenance

Monsieur Jesus Daniel FERNANDEZ ESCALANTE

Physique

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

Écoulements de suspensions denses de particules de silice dans des tambours microfluidiques : de la dynamique colloïdale à la dynamique granulaire

Travaux dirigés par Monsieur Antoine BERUT et Monsieur Loïc VANEL

Soutenance prévue le **mercredi 22 juillet 2026** à 14h00

Lieu : Amphithéâtre Paul Dirac Bâtiment Paul Dirac, RdC. 4 rue Enrico Fermi. 69100 Villeurbanne

Composition du jury proposé

M. Antoine BERUT	Maître de conférences	Lyon 1 Université	Directeur de thèse
Mme Laurence TALINI	Directrice de recherche	CNRS Aubervilliers	Rapporteure
M. Loïc VANEL	Professeur des universités	Lyon 1 Université	Co-directeur de thèse
M. Yoël FORTERRE	Directeur de recherche	CNRS Marseille	Rapporteur
Mme Catherine BARENTIN	Professeure des universités	Lyon 1 Université	Examinatrice
Mme Elisabeth LEMAIRE	Directrice de recherche	CNRS Nice	Examinatrice

Mots-clés : Matériaux granulaires, Colloïdes, Suspensions, Fluage, Vidéomicroscopie

Résumé :

Les suspensions denses de microparticules de silice dans l'eau constituent un système modèle pour étudier la dynamique d'écoulement à l'interface entre les colloïdes et les milieux granulaires. Ces particules sont suffisamment lourdes pour sédimenter sous gravité et former des empilements bien définis, mais suffisamment petites pour rester sensibles à l'agitation thermique. Ainsi, lorsqu'un tas de ces particules est incliné au-dessus de son angle de talus, il présente un écoulement gravitaire, similaire à celui d'un milieu granulaire. Mais contrairement à ce qui est attendu pour un milieu athermique, l'écoulement ne s'arrête pas en dessous de cet angle : un fluage lent persiste, en raison du mouvement Brownien des particules. Dans cette thèse, nous avons étudié les écoulements de telles suspensions dans un dispositif microfluidique de tambour tournant. En imposant une inclinaison initiale à un tas sédimenté, et en mesurant l'évolution de l'angle du tas au cours du temps, nous pouvons suivre la relaxation du milieu dans une configuration de « rhéologie à pression imposée ». En particulier, nous nous sommes intéressés à trois situations où le poids des grains est en compétition avec l'agitation thermique. En premier lieu, nous avons montré qu'un tas sédimenté présente un phénomène de vieillissement qui se traduit par un délai de démarrage plus long, et une dynamique d'écoulement plus lente lorsque le tas est resté plus longtemps au repos avant son

inclinaison. Cet effet est plus marqué dans le régime de fluage thermiquement activé que dans celui d'écoulement gravitaire. De plus, nous avons démontré que ce vieillissement n'était dû ni à une augmentation de la compacité du tas, ni à une dégradation de celui-ci, ni encore à un vieillissement de contact entre grains (les particules de silice ne se touchant jamais en raison de leur répulsion électrostatique). Cet effet ressemble au vieillissement qui est observé dans les verres colloïdaux, pour lesquels un ralentissement de la dynamique a lieu sans qu'un changement structurel notable ne soit observé. Ensuite, nous avons mesuré l'évolution de l'angle de talus final d'un tas en faisant varier la taille des particules. Pour les particules les plus petites (donc plus sensibles à l'agitation thermique) nous observons que le fluage continue jusqu'à ce que le tas revienne à l'horizontale. À l'inverse, pour des particules plus grandes (donc plus confinées par gravité), nous avons observé que le fluage cesse à un angle de tas non nul, dont la valeur augmente avec la taille des particules mais reste inférieure à celle de l'angle de talus macroscopique attendu pour des particules sphériques non-frottantes. Ces résultats sont cohérents avec les prédictions d'un modèle phénoménologique prenant en compte les contributions combinées de la transition vitreuse et de la transition de jamming à la rhéologie du système. Enfin, nous avons étudié le cas de suspensions bi-disperses, composées de particules dont les temps de relaxation typiques lors du fluage sont très différents. Nous avons observé un effet asymétrique. L'ajout d'un faible nombre de grosses particules (temps de relaxation long) dans une suspension de petites particules (temps de relaxation court) n'affecte que très peu la dynamique d'écoulement. À l'inverse, l'ajout d'un faible nombre de petites particules dans une suspension de grosses particules tend à accélérer significativement le fluage. Ceci indique que dans ce cas, la dynamique d'écoulement d'un mélange n'est pas simplement une moyenne des dynamiques des objets qui le composent. Dans l'ensemble, cette thèse décrit le comportement d'empilements sédimentés de microparticules de silice en tambours microfluidiques, dans trois situations où ni le confinement dû à leur poids ni l'agitation thermique ne sont négligeables. Nous proposons ainsi une description étendue de la dynamique d'écoulement et d'arrêt de suspensions denses à la frontière entre les régimes colloïdaux et granulaires.

Summary:

Dense suspensions of silica microparticles in water offer a model system to investigate flow dynamics at the colloidal-to-granular crossover. In this regime, particles are large enough to sediment under gravity and form dense piles, yet small enough for thermal fluctuations to remain relevant. When a pile is tilted above the athermal angle of repose, it displays gravity-driven avalanche-like flows. As the angle decreases below this threshold, however, the motion does not stop; instead, thermal fluctuations sustain a slow creep flow. These dynamics therefore cannot be captured by either a purely athermal granular description or a purely thermal colloidal description. In this thesis, we study free-surface flows of such suspensions in water-filled microfluidic rotating drums. By imposing an initial inclination and measuring the time evolution of the pile angle, we probe the relaxation of sedimented piles in a pressure-imposed configuration. This system allows us to investigate how Brownian motion and gravitational confinement shape flow onset, creep dynamics, and the final arrested state of the suspension. First, we show that sedimented silica microparticle piles exhibit aging during rest: increasing the time interval between sedimentation and the imposed inclination delays flow onset and reduces flow velocity, with both quantities depending logarithmically on this interval. This effect is strongest in thermally activated creep, whereas faster gravity-driven avalanches tend to erase it. We further demonstrate that aging occurs without measurable compaction or sample degradation, and that it cannot be attributed to frictional contact aging, since the particles remain electrostatically stabilized and effectively contactless. This behavior is reminiscent of colloidal-glass aging, in which dynamics slows down as particles explore more stable configurations without necessarily producing detectable structural evolution. Second, we investigate the angle of repose across the thermal-to-athermal crossover using particles of different sizes. For the smallest particles, thermal creep drives complete relaxation of the pile, leading to a

vanishing angle of repose. For larger particles, the pile arrests at a finite angle that increases with gravitational Péclet number, while remaining below the minimal angle expected for athermal frictionless grains. These results are consistent with a phenomenological model combining glass and jamming transitions, and show that dense colloidal suspensions can sustain non-zero angles of repose under conditions where thermal and gravitational effects are both relevant. Finally, we study the creep dynamics of bidisperse systems composed of particles with distinct relaxation times. We find an asymmetric behavior: adding a small fraction of large particles to small-particle piles only weakly affects relaxation, whereas adding small particles to large-particle piles accelerates the initial flow. At later times, the relaxation crosses over to a slower regime. These observations indicate that bidisperse sediments are not governed by an average particle size alone, but by the coexistence of populations with distinct thermal activities. Overall, this thesis reports on the flow dynamics of sedimented silica microparticles in microfluidic drums, focusing on three cases where Brownian motion and gravitational confinement compete: aging during rest, repose-angle selection, and creep in bidisperse sediments. It thereby provides a unified picture of how dense suspensions flow and arrest at the colloidal-to-granular crossover.