

Tutorat d'hydrodynamique

Une particule solide traversant une interface séparant 2 fluides

On considère la situation illustrée dans la figure 1 : une particule sphérique tombe dans un fluide 1 et traverse une interface pour entrer dans un fluide 2 plus dense. Lors de la traversée, la particule déforme l'interface et collecte une certaine quantité de fluide avec elle.

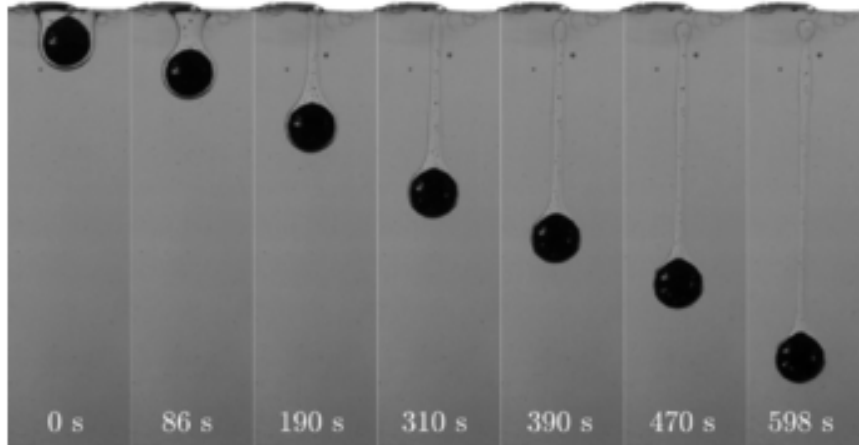


Figure 1 : Images successives d'une sphère solide traversant une interface entre deux fluides (extrait de P.A. Jarvis et al. Phys. Rev. Fluids 4, 024003 (2019)).

Tout d'abord, on cherche à connaître la vitesse limite d'une sphère en chute dans un liquide, en régime bas Reynolds ($Re \ll 1$). La symétrie de l'écoulement avant/arrière de la sphère permet de résoudre la force de frottement visqueux. Stokes a montré que cette force s'écrit : $F_v = 6\pi R\eta V$

On se propose de retrouver cette relation par des arguments dimensionnels, en supposant que cette force dépend à la fois du rayon de la sphère, de la vitesse et de la viscosité avec certains exposants $F \sim R^\alpha \eta^\beta V^\gamma$, et en montrant que la seule possibilité est que ces 3 exposants soient égaux à 1. En déduire l'expression de la vitesse limite en fonction de la différence de densité entre solide et fluide environnant $\Delta\rho = \rho_s - \rho_l$ et les paramètres ci-dessus.

Ensuite, on s'intéresse au critère de franchissement de l'interface par la particule. Supposons d'abord que la vitesse de chute est quasiment nulle. Quelles sont les deux forces antagonistes mises en jeu lors de ce franchissement ? Donner un critère de franchissement (en ordre de grandeur) de l'interface, si celle-ci a une tension de surface σ . On établira notamment un rayon critique de franchissement. Construire le nombre sans dimension correspondant aux deux forces antagonistes. Même question dans le cas d'une vitesse non nulle : établir un critère de franchissement dépendant de cette vitesse.

Un cas similaire dans la nature : certains planctons ont la capacité de franchir la surface de l'eau (pour échapper temporairement aux prédateurs) en se propulsant. (Ref : SJ Kim et al. J. R. Soc. Interface 12, 20150582 (2015)). Votre analyse est-elle compatible avec les caractéristiques de ces différentes espèces de plancton (capables ou non de sauter hors de l'eau)

Table 1. Physical properties of the plankton.

		lengths (mm)		velocity ($m\ s^{-1}$) ^a
		major	minor	
jumping plankton	<i>Labidocera aestiva</i>	1.7–4.6	0.62–2.0	0.6–1.1
non-jumping plankton	<i>Daphnia magna</i>	3.5	1.4	0.071
	<i>Pseudodiaptomus salina</i>	0.87–1.1	0.39–0.43	0.16–0.27
	<i>Acartia tonsa</i>	1.0	0.38	0.50

Pour aller plus loin, dans le cas d'un franchissement effectif, on s'intéresse à la quantité de fluide 1 accrochée à la sphère et plongeant dans le fluide 2. Les auteurs de l'article précédent cité ont identifié 2 régimes distincts : un régime de drainage du film où la sphère déforme l'interface mais s'en détache sans entraîner de fluide, et un régime de *Tailing* où une certaine quantité de fluide est entraînée (cf. ci-dessous). De manière simplifiée, on peut comprendre la transition entre ces deux régimes, en analysant les temps associés d'une part au franchissement de l'interface (t_{fi}) et d'autre part au « pinch-off » (amincissement et pincement) de la colonne de liquide entraînée dans le sillage de la bille (t_{po}). D'après vous, quels sont les régimes sélectionnés dans chacun des cas $t_{fi} > t_{po}$ et $t_{fi} < t_{po}$? D'après un raisonnement purement intuitif (mais basé sur ce que vous savez sur les écoulements visco-capillaires), est-ce que la quantité de fluide entraînée va augmenter ou diminuer si la vitesse de chute augmente ?

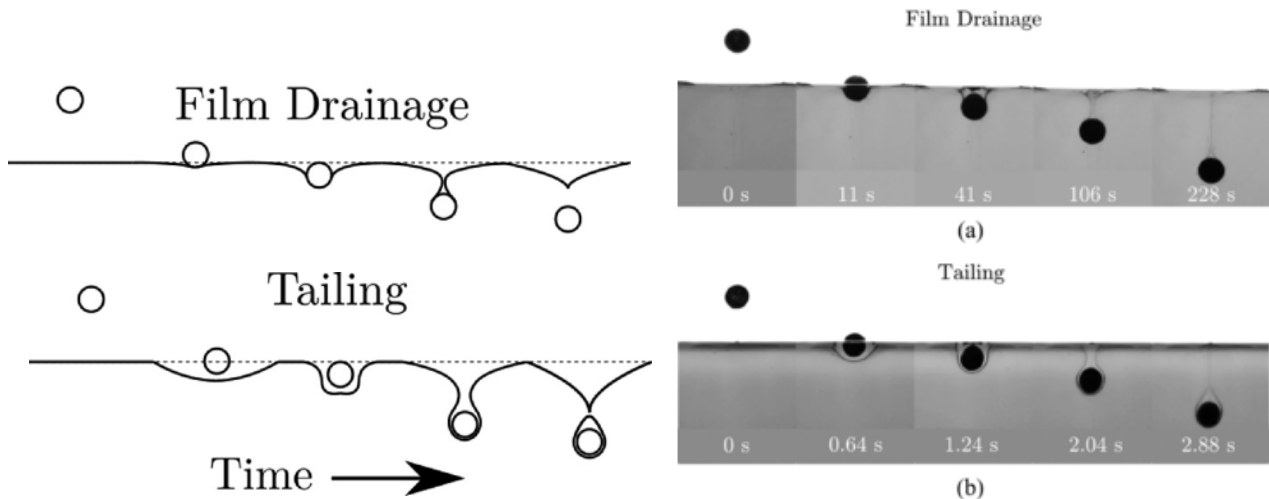


Figure 2 : Les deux régimes de franchissement de l'interface (extrait de *P.A. Jarvis et al. Phys. Rev. Fluids 4, 024003 (2019)*).

A réaliser :

Dans un container (bouteille transparente à goulot coupé), superposez deux fluides visqueux non-miscibles (suggestion : sirop de canne et huile alimentaire) et filmez la descente et l'éventuel franchissement de l'interface par une bille millimétrique peu dense (verre, plastique, ...). Essayez plusieurs tailles de billes du mm au cm. Enregistrez les différentes séquences et tracez la position du centre de masse de la bille au cours du temps (sur Image J : utilisez la fonction *Reslice* en acquérant les niveaux de gris le long de la ligne décrivant la trajectoire verticale de la bille). Que remarque-t-on avant et pendant le franchissement de l'interface (ou le piégeage de la bille à l'interface) ? En dernier lieu, utilisez les deux mêmes liquides en rajoutant du liquide vaisselle à l'un d'entre eux (mélangez bien) et répétez l'expérience.

Comparez la dynamique obtenue avec celle de l'étude de PA Jarvis et al., dont certaines vidéos en *Supplementary Information* sont disponibles en téléchargement :

<https://journals.aps.org/prfluids/abstract/10.1103/PhysRevFluids.4.024003#supplemental>

Utilisez Graphic Converter, Kigo Video Converter ou tout autre convertisseur video pour transformer les videos en fichier unique .tiff ou .avi afin de le lire sous ImageJ/Fiji.