

Sédimentation de particules en présence de convection thermique. Application à la cristallisation des chambres magmatiques et à la séparation métal-silicate dans l’océan de magma terrestre.

Guillaume Lavorel & Michael Le Bars

IRPHE - UMR 6594 Technopôle de Château-Gombert 49, rue Joliot Curie - B.P. 146 13384 Marseille Cedex 13, France
lavorel@irphe.univ-mrs.fr

L’étude de la sédimentation de particules dans un fluide en convection est de grand intérêt pour la compréhension de certains processus intervenant dans les systèmes géophysiques. Une meilleure connaissance des mécanismes mis en jeu peut permettre, par exemple, de mieux appréhender la dynamique de la séparation métal-silicate dans l’océan de magma apparu durant la formation de la Terre. Elle peut également aider à la compréhension des mécanismes de suspension et de différenciation dans les systèmes partiellement fondus comme les chambres magmatiques.

Dans cette perspective, nous avons mis au point une expérience permettant de quantifier au cours du temps la vitesse de sédimentation et la fraction solide en suspension en fonction de la vigueur de la convection (caractérisé par le nombre de Rayleigh Ra) et l’intensité de la stratification (caractérisée par le rapport $\frac{\Delta\rho}{\rho}$). Le dispositif est constitué d’une cuve ($20 \times 20 \times 4$ cm) chauffée par le dessous et refroidie par le dessus. Cette cuve est remplie d’eau salée (dont la densité peut être choisi entre 0.999 et 1.200 g.cm^{-3} en diluant plus ou moins de $NaCl$) et de billes de PMMA (densité 1.188 g.cm^{-3}). La cuve est éclairée par le côté par une tranche lumineuse, de façon à ce que les billes soient visibles dans le fluide. En enregistrant un film pendant chaque expérience et à l’aide d’un traitement d’images *a posteriori*, nous déterminons le nombre de billes restées en suspension en fonction du temps.

Ainsi, nous observons systématiquement deux phases : (i) une sédimentation initiale, rapide, où les mouvements de convection ne sont pas encore en place et où l’inertie du mélange initial est prépondérante ; (ii) un régime final où l’évolution de la fraction solide en suspension au cours du temps est correctement décrit par une équation de convection-diffusion, obtenu en introduisant un flux diffusif dû à la turbulence. Nous pouvons alors obtenir des lois d’échelle des grandeurs physiques en fonction de Ra et $\frac{\Delta\rho}{\rho}$, en accord avec les résultats expérimentaux. Nous introduisons également un nombre de Peclet Pe défini comme le rapport du produit de la vitesse de sédimentation par la hauteur par le coefficient de diffusion turbulente, qui permet de distinguer deux régimes. Si $Pe < Pe_c$, où Pe_c est un nombre de Peclet critique, la diffusion turbulente est dominante et les particules tendent à rester en suspension. Au contraire, si $Pe > Pe_c$, les particules ont tendance à sédimenter, les mouvements convectifs ne sont pas suffisamment efficaces pour maintenir les particules en suspension. En évaluant Pe_c , nous pouvons déduire dans quel régime se trouvent les deux systèmes géophysiques considérés. En outre, notre modèle permet de calculer le temps de sédimentation des gouttelettes de fer dans l’océan initial.

Références

1. T. Hoink, J. Schmalzl & U. Hansen. Dynamics of metal-silicate separation in a terrestrial magma ocean. *G3*, 7(9), 2006.
2. D. Martin & R. Nokes. Crystal settling in a vigorously convecting magma chamber. *Nature*, 332, 1988.
3. D. Rubie, H. Melosh, J. Reid, C. Liebske & K. Righter. Mechanisms of metal-silicate equilibration in the terrestrial magma ocean. *EPSL*, 205 : 239-255, 2003.
4. V. Solomatov, P. Olson & D. Stevenson. Entrainment from a bed of particles by thermal convection. *EPSL*, 120 : 387-393, 1993.