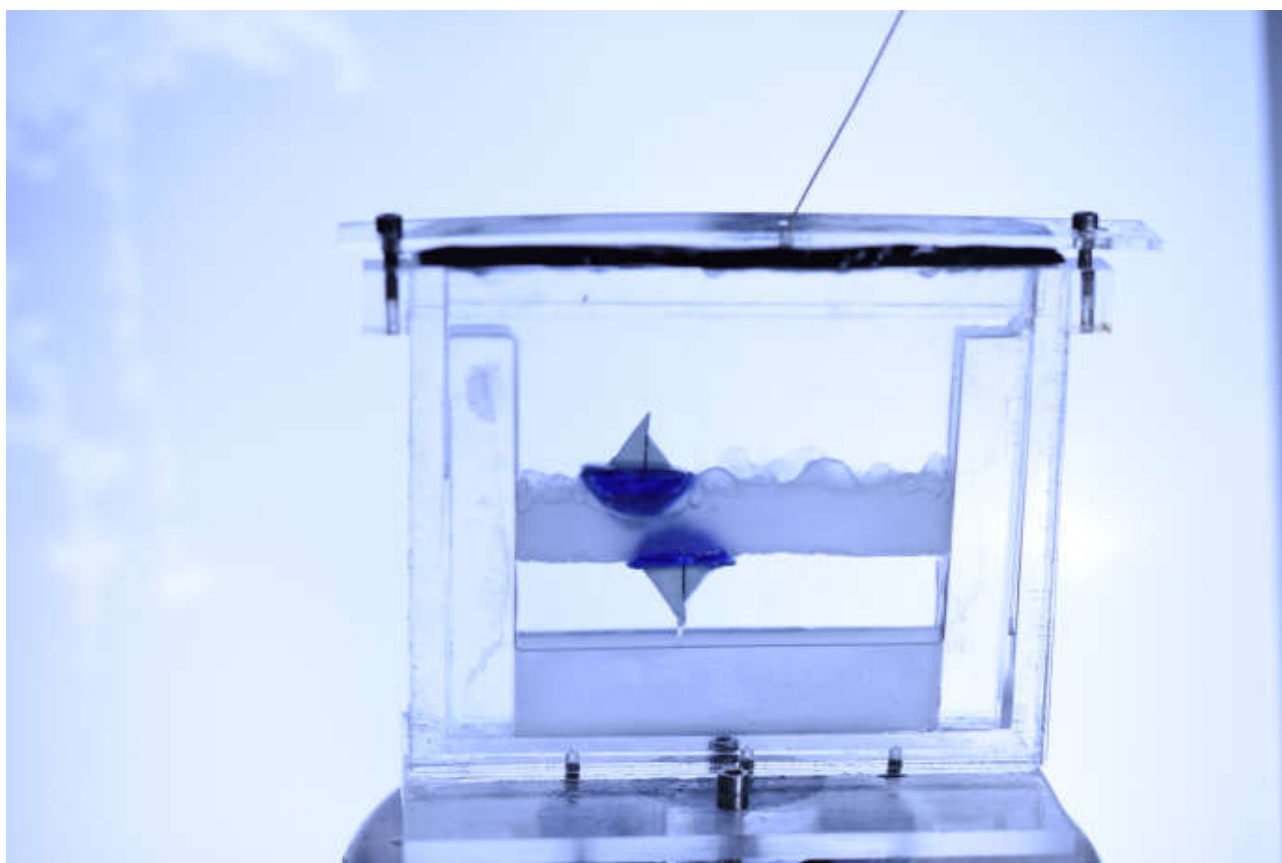


Un bateau miniature dans une mare d'« antigravité »

Prolongeant des expériences russes des années 1950, une équipe parisienne est parvenue à faire léviter un fluide, donnant l'illusion d'une inversion de la gravité.

Par David Larousserie, Le Monde, 08 septembre 2020



Un liquide visqueux, une masse d'air et surtout des vibrations permettent à ce bateau de flotter le mât à l'envers. B. Apffel, Institut Langevin/Espci.

Renversant ! Devant vos yeux un (petit) bateau flotte... sous un liquide la tête en bas. Il ne coule pas et avance au gré des vaguelettes, défiant la loi de la gravitation universelle. « *Dans une piscine, ce serait l'équivalent d'une couche d'eau flottant en l'air avec des nageurs dessous* », plaisante à peine Emmanuel Fort, professeur à l'École supérieure de physique et de chimie industrielle de Paris à l'Institut Langevin. Sa boutade a reçu la caution de la revue [Nature](#) du 3 septembre, qui détaille sa manière d'inverser la flottaison des bateaux.

En voici la recette. Remplir un récipient de liquide bleu, pour l'esthétique. Puis créer, avec une seringue, une grosse bulle d'air en dessous, sur laquelle « lévitera » le fluide. Tout en agitant simultanément verticalement l'ensemble (le truc « magique »). Observer avec étonnement la mise en suspension de la couche liquide sur son coussin d'air, pourtant moins dense qu'elle. Déposer un

objet sous la surface bleue et constater qu'il reste en équilibre et ne tombe pas. Enfin, arrêter les vibrations et regretter la disparition des charmes d'un monde à l'envers, qui s'éteint dans la dislocation de la couche liquide, retombant au fond du récipient.

L'idée de cette expérience contre-intuitive est venue d'un exposé d'Arnaud Lazarus, collègue d'un laboratoire voisin à Sorbonne Université. Il y montrait comment le Russe Peter Kapitza (Nobel de physique en 1978 pour tout autre chose) avait, dans les années 1950, maintenu le balancier d'une pendule la tête en haut, plutôt qu'en bas, sa position normale d'équilibre. L'astuce est de faire vibrer le point d'attache du pendule de haut en bas à la bonne fréquence. Ces oscillations régulières stabilisent le pendule en position haute. Une pichenette sur le balancier ne le fait pas basculer...

Bonnes vibrations

Inspirés par ce principe, les Français, spécialistes d'ondes et de fluides, déjà connus mondialement pour avoir fait marcher des gouttes sur l'eau, essaient de faire vibrer verticalement un liquide dans un pot, puis y injectent de l'air en dessous. Sans vibration, la couche fluide n'aurait pas tenu en l'air longtemps et se serait disloquée avant de retomber au fond. Avec les vibrations, c'est la surprise, jusqu'à un demi-litre de fluide tient en lévitation dans l'air. « *On était étonnés, mais cela était connu depuis cinquante ans !* », se souvient Emmanuel Fort.

Puis, tenaces, ils ajoutent des bulles d'air dans le liquide, qui tombent au lieu de monter. Nouvelle surprise, mais là encore déjà connue depuis un demi-siècle. « *La NASA s'y était même intéressée car ces bulles qui descendent au lieu de monter faussaient les relevés de capteur des réservoirs de fusée et avaient entraîné des explosions de moteur* », rappelle Emmanuel Fort.

A la troisième tentative, l'équipe, trouve enfin un effet jamais vu. Elle dépose des billes à l'interface entre l'air et le liquide, sous le liquide, et l'objet, y compris un petit bateau, se maintient comme s'il flottait la tête en bas. Comment est-ce possible ? « *C'est comme s'il y avait plusieurs pendules de Kapitza dans le fluide. Les vibrations stabilisent la position d'équilibre, habituellement instable* », souligne Emmanuel Fort.

Plus précisément, la couche liquide est comme en suspension sur de l'air qui joue le rôle de ressort. Si on appuie dessus, il s'oppose au mouvement. De même pour l'objet soumis à son poids, qui le tire vers le bas, et à la poussée d'Archimède, qui le pousse vers le haut, en fonction du volume de l'objet immergé dans le liquide : s'il « retombe », les vibrations exercent une force dynamique qui a tendance à le faire remonter. S'il monte, elles le font redescendre...

Mais deux conditions sont nécessaires. D'abord, la vibration doit être bien ajustée pour « corriger » les déplacements. Sa vitesse doit être assez rapide : quelques dixièmes de centimètres par seconde. A une fréquence de 100 battements par seconde, le réservoir monte et descend d'environ 1 millimètre. Ensuite, les chercheurs utilisent un fluide visqueux, de l'huile de silicone, pour résister aux dislocations du liquide induites par les vibrations. Si bien que l'expérience dans une piscine consisterait à nager dans de la mélasse.

Essayer d'autres fluides

« *C'est vraiment impressionnant d'avoir montré que le vieux principe de Kapitza peut s'appliquer à de grands objets complexes comme une couche liquide*, apprécie Arnaud Lazarus, non cosignataire de l'article. *En plus, leur modèle descriptif assez simple colle bien avec l'expérience.* » Ainsi, conformément aux prévisions de leurs équations, un objet trop lourd, qui nécessite plus d'agitation pour « tenir », tombe avant que la couche liquide ne se disloque.

« *On va continuer à jouer avec notre système* », prévoit Emmanuel Fort, qui évoque plusieurs pistes d'« applications ». Déjà, avec ses collègues, ils ont réussi à faire plusieurs couches liquides empilées les unes sur les autres avec de l'air entre elles, faisant flotter des bateaux à l'endroit ou à l'envers. Ils envisagent de considérer plusieurs fluides différents pour en étudier les mélanges ou les séparations. Ils s'interrogent aussi sur la manière dont les propriétés de mouillage ou de frottement sont modifiées dans ces systèmes en vibration. « *Certains publieront sûrement des choses auxquelles nous n'avons pas pensé* », estime Emmanuel Fort.

« *Au fond, cette stabilisation est une question de synchronisation. Il faut savoir appliquer une force au bon moment. Cela pourrait inspirer des recherches dans d'autres domaines* », estime Arnaud Lazarus. A condition de se remettre à la tête à l'endroit.

Pour aller plus loin : B. Apffel, F. Novkoski, A. Eddi and E. Fort, Nature 585, 48-52 (2020)