

> vitesse du liquide diminuant, la surface présente une pente légèrement positive. La gravité ajoute une contrainte supplémentaire sur cette surface et s'oppose à l'écoulement. La vitesse continue alors de décroître, la pente augmente encore, le rôle de la gravité s'accroît encore, et ainsi de suite. Résultat : à cause de ce mécanisme d'instabilité, on obtient une pente quasi verticale, c'est-à-dire un ressaut.

En 2014, avec Luc Lebon et Laurent Limat, du laboratoire Matière et systèmes complexes, à Paris, j'ai réalisé des expériences qui fournissent des indices cruciaux en vue d'une explication théorique au ressaut circulaire. En mesurant avec précision la hauteur du liquide juste après le ressaut, nous avons montré que le nombre de Froude (un nombre qui compare les effets inertiels et la gravité) est identique juste après le mur pour tous les ressauts.

Il n'existe pas encore d'explication complète à cette propriété universelle, mais elle serait compatible avec le mécanisme

d'instabilité gravitationnelle évoqué précédemment. Ce n'est pas étonnant car, si le ressaut est bien déclenché à la position où la gravité cesse d'être négligeable, le nombre de Froude, qui compare localement gravité et inertie, prendrait en ce point une valeur particulière identique pour tous les systèmes, indépendamment de leurs caractéristiques. Et, en raison de la condition de choc, on aurait également un nombre de Froude « universel » juste après le ressaut.

LE RAYON DU RESSAUT CALCULÉ

En outre, combiné à une modélisation fine de l'écoulement à l'extérieur du ressaut, notre résultat permet de calculer avec précision la position du ressaut. En définitive, nous sommes parvenus à ce résultat sans rien postuler sur l'écoulement qui a lieu dans la zone interne. À rebours de ce qui avait été fait précédemment, nous nous sommes attaqués au problème du ressaut comme à un puzzle, c'est-à-dire en commençant par l'extérieur et, comme pour un puzzle, cela s'est révélé particulièrement fructueux puisque nous avons été les premiers à proposer une loi analytique simple reliant, avec une excellente précision, le rayon du ressaut aux paramètres du système.

Plusieurs équipes de théoriciens se sont emparées de la question de la constance du nombre de Froude et cherchent à retrouver dans leurs équations cette observation expérimentale. On peut ainsi espérer voir apparaître de nouveaux résultats majeurs sur le sujet dans les années à venir.

Si la viscosité joue un rôle crucial, qu'en est-il d'un autre ingrédient souvent influent en mécanique des fluides à ces échelles, la tension superficielle ? À la surface d'un liquide, à l'interface de l'eau avec l'air par exemple, la force de cohésion entre les molécules en surface, différente de ce qui se passe en volume, tend à réduire au minimum l'aire de l'interface. Cela explique la forme quasi sphérique des gouttes de pluie, par exemple.

Dans la plupart des modélisations évoquées, la tension superficielle était totalement absente. En 2003, John Bush et Jeffrey Aristoff, du MIT (l'institut de technologie du Massachusetts), aux États-Unis, ont montré grâce à une analyse poussée que cet ingrédient physique a peu d'influence sur le rayon du ressaut, excepté dans le cas des petits ressauts de moins d'un centimètre de diamètre. Il semblait donc justifié de négliger cet effet.

Or, en 2018, cette conclusion a été remise en cause. Avec leurs collègues, Rajesh Bhagat et Paul Linden, de l'université de Cambridge, ont proposé une nouvelle modélisation impliquant que la tension superficielle jouerait un rôle clé dans le mécanisme de formation du ressaut hydraulique. Ce résultat fournit en apparence un bon accord entre la théorie et les

DES GOUTTES DANS UN RESSAUT

Il est aussi possible d'utiliser le ressaut dans le cadre d'expériences de lévitation de gouttes. Ainsi, lorsqu'on dépose une goutte du même liquide dans le ressaut, la goutte se retrouve piégée contre la paroi liquide du ressaut et séparée du bain par un film d'air entraîné en permanence par l'écoulement liquide du ressaut hydraulique. La goutte peut ainsi léviter plusieurs dizaines de minutes avant de finalement fusionner avec le liquide (on parle de « coalescence »).

L'un des phénomènes les plus remarquables dans cette expérience est qu'une fois entraînée contre le ressaut, la goutte se met à évoluer selon un mouvement périodique le long du ressaut à vitesse constante en faisant typiquement un tour par seconde. Mais en augmentant le diamètre du ressaut, on observe une transition vers un régime chaotique complexe : la goutte tourne dans un sens, ralentit, repart en sens inverse, fait demi-tour, etc., et cela sans motif régulier. Pourquoi le comportement de la goutte change-t-il ainsi ? Cette énigme est toujours à l'étude.

