

IDÉES DE PHYSIQUE

La punaise d'eau remonte la pente

Des petits objets qui flottent à la surface d'un liquide s'attirent ou se repoussent selon la façon dont ils déforment cette surface.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Certains insectes tels que les gerris, un genre de punaises, marchent sur l'eau grâce à leurs pattes aux extrémités hydrophobes. Cet effet s'explique bien sachant que l'eau, comme les autres liquides, a une tension superficielle : sa surface est comparable à une sorte de trampoline tendu.

Mais comment ces mêmes insectes réussissent-ils à remonter la pente formée par la surface de l'eau à proximité immédiate du bord ou des végétaux qui flottent ? La tension de surface est ici aussi une clé de l'explication, mais il faut oublier l'image du trampoline et se plonger dans les effets de flottabilité. Nous comprendrons au passage pourquoi les céréales qui surnagent à la surface d'un bol de lait s'agglomèrent (voir l'illustration ci-contre).

Des ménisques concaves ou convexes

Si les navires flottent, c'est grâce à la poussée d'Archimède qui est égale, en intensité, au poids du volume d'eau déplacé. Mais qu'en est-il des petits objets ou animaux ? À ces échelles, les effets de la tension superficielle ne sont plus négligeables. Chacun peut constater qu'à proximité d'un objet flottant, la surface de l'eau forme un ménisque, orienté vers le haut (concave) ou vers le bas (convexe). Les forces de tension superficielle s'exercent tout le long de la ligne de contact entre l'objet et la surface de l'eau, tandis que la poussée d'Archimède, due à la pression hydrostatique, est liée à la partie immergée de l'objet.

Comment déterminer la résultante des forces de tension superficielle ? Un raisonnement astucieux conduit à un résultat particulièrement simple. Prenons deux récipients identiques A et B, l'un (A) rempli d'eau, l'autre (B) où l'on a placé un objet flottant tout en conservant la même hauteur d'eau (ce qui nécessite d'enlever ou d'ajouter au récipient B une quantité égale au volume d'eau déplacé par l'objet flottant).

En vertu des lois de l'hydrostatique, la force exercée sur le fond du récipient est la même dans les deux cas, et est égale au poids de l'eau du récipient A. Cette force étant la même dans B, on en déduit que le poids de l'objet est égal au poids du volume d'eau enlevé ou ajouté au récipient, volume lui-même égal à celui que l'objet a déplacé.



LES CÉRÉALES QUI FLOTTENT à la surface d'un bol de lait tendent à se grouper. Cet « effet Cheerios » est le résultat des déformations de la surface du liquide créées par les objets flottants.

Ce volume déplacé a deux composantes. L'une correspond au volume d'eau dont le poids est égal à la poussée hydrostatique s'exerçant sur la partie immergée de l'objet : il s'agit de la colonne d'eau qui s'appuie sur la ligne de contact et s'étend jusqu'au niveau moyen de l'eau (voir la figure page suivante, en haut). L'autre composante est liée à l'effet de la tension superficielle. Si ce ménisque est convexe, c'est que l'objet enfonce la surface de l'eau. Dans ce cas, l'objet déplace plus d'eau que le volume défini ci-dessus. Le déplacement de ce volume supplémentaire engendre une force orientée vers le haut, qui s'ajoute à la poussée d'Archimède : c'est la résultante des forces de tension superficielle.

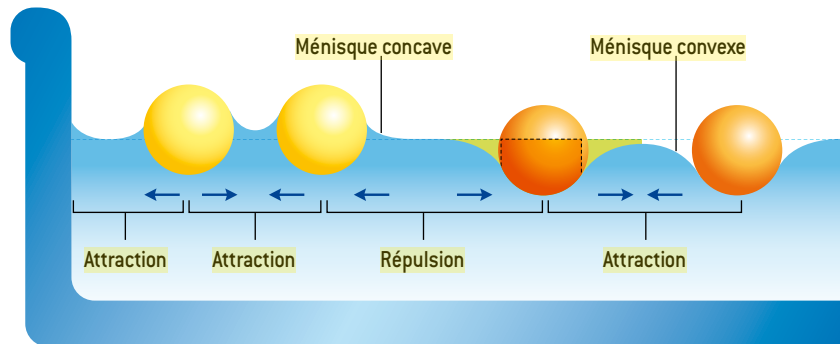
C'est elle qui explique que des objets plus denses que l'eau flottent parfois. Ainsi, en appuyant sur la surface, les frêles pattes du gerris, recouvertes de poils hydrophobes, déplacent une quantité d'eau dont le poids est égal à celui de l'insecte tout entier.

En revanche, quand le ménisque formé par l'objet flottant est concave, le volume d'eau déplacé par ce dernier est inférieur au volume de la partie immergée. La résultante des forces de tension de surface est alors orientée vers le bas.

Qu'en est-il dans le cas de deux objets flottants proches ? La déformation de la surface de l'eau due à ces objets crée entre eux une force latérale (voir la figure page suivante, en haut). Grossièrement, on peut distinguer deux effets. Le premier est, pour l'essentiel, gravitationnel : comme sur un trampoline, si l'on met en présence deux objets qui enfoncent la surface de l'eau (ménisques convexes),

LES TYPES DE MÉNISQUES (concave ou convexe) formés par deux objets qui flottent déterminent s'il y a attraction ou répulsion entre eux. Si les deux ménisques sont de même type, il y a attraction. S'ils sont de types différents, il y a répulsion.

Par ailleurs, on a ici représenté, pour la boule orange de gauche, le volume d'eau déplacé dont le poids correspond à la poussée d'Archimède (volume délimité par le pointillé) et le volume d'eau déplacé dont le poids correspond à la résultante des forces de tension superficielle (volume coloré en vert).



chacun se rapproche de l'autre en glissant vers le bas le long de la pente créée par l'autre.

De façon surprenante, le même phénomène se produit lorsque les objets forment des ménisques concaves. Dans ce cas, puisque la tension de surface tire les objets vers le bas, ce sont forcément des objets moins denses que l'eau et ils sont plus enfoncés qu'en l'absence de tension superficielle. Leur tendance naturelle à flotter étant frustrée par ces forces superficielles, ils profitent, en se rapprochant, de la pente créée par l'autre pour s'élever davantage.

Et si l'on met côte à côte un objet qui enfonce l'eau et un autre qui la soulève ? Le premier va descendre la pente créée par le second, lequel va remonter la pente créée par le premier. Autrement dit, chacun s'éloigne de l'autre : on a alors une répulsion.

Le second effet est davantage lié à la capillarité. Le rapprochement des deux objets modifie le niveau de l'eau. Par exemple, avec deux ménisques concaves, le niveau entre les deux objets va s'élever. Dans le pont capillaire ainsi créé, la pression hydrostatique est plus faible que dans le liquide situé plus bas, où a lieu l'essentiel du contact entre l'eau et les deux objets. Le pont capillaire attire donc ces objets l'un vers l'autre.

Par ailleurs, comme la ligne de contact entre l'objet et la surface change, les forces de tension superficielle sont aussi modifiées. Le bilan précis est difficile à faire, mais on montre que lorsque deux ménisques de même type (soit concaves, soit convexes) s'approchent, la superficie de l'interface air-eau diminue, ce qui est énergétiquement favorable.

Qui se ressemble s'assemble

Ainsi, que l'effet soit gravitationnel ou capillaire, des objets formant des ménisques de même type s'attirent, tandis que si les ménisques sont de types contraires, ils se repoussent.

Un traitement plus détaillé de ce problème montre que l'effet gravitationnel domine uniquement lorsque la taille caractéristique des objets est bien inférieure à la longueur dite capillaire, longueur caractéristique de l'étendue des ménisques (2,7 millimètres pour l'eau). C'est le cas pour les petites bulles qui naissent et se regroupent quand on verse une boisson. Mais pour des objets faisant quelques millimètres, comme les céréales, l'attraction observée est une combinaison des deux effets.

LES AUTEURS



Jean-Michel COURT et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'université Pierre-et-Marie-Curie, à Paris. Ils remercient Arnaud Antkowiak de son aide pour cet article. Leur blog : www.scilogs.fr/idees-de-physique.



POUR SE RAPPROCHER D'UN BORD, ce qui nécessite de remonter une pente, la punaise d'eau *Mesovelia* crée avec ses pattes, en tirant ou en poussant la surface, des ménisques. Par le jeu des forces d'attraction (entre deux ménisques de même type) et de répulsion (entre deux ménisques de types opposés), l'insecte est attiré sans effort supplémentaire vers le bord.

Ce que nous avons discuté a des conséquences inattendues pour la vie aquatique. Les ménisques qui se forment autour de tiges végétales ou de feuilles qui flottent sont en général concaves. Ils constituent un obstacle de taille pour un insecte qui marche sur l'eau. Non seulement ils apparaissent à l'échelle de l'insecte comme des pentes glissantes aussi grandes que lui, mais, en plus, ils ont un effet de répulsion puisque les ménisques créés par ses pattes sont convexes. Comment faire pour s'approcher ?

Le gerris peut sauter la distance nécessaire, mais pas la punaise d'eau *Mesovelia*. En revanche, les pattes de celle-ci ont des griffes rétractables et hydrophiles. L'insecte s'en sert sur chaque patte avant pour tirer vers le haut l'interface air-eau et créer ainsi un ménisque concave. Pour conserver son horizontalité et ne pas tourner, il applique

une force à peu près équivalente sur ses pattes arrière, tandis qu'il prend appui en repoussant plus fortement la surface avec ses pattes du milieu [voir l'illustration page précédente, en bas].

Ainsi, alors que l'insecte exerce des forces de l'ordre de quelques dizaines de micronewtons, soit une bonne dizaine de fois son poids, il reste à l'équilibre sur la surface. La punaise a entre-temps créé six ménisques : deux concaves à l'avant ainsi qu'à l'arrière, deux convexes au milieu. Il y a donc attraction entre le ménisque de la tige et celui des pattes avant, puis répulsion avec les pattes du milieu... Cependant, ces forces capillaires décroissent vite avec la distance à la tige, de sorte que c'est l'attraction qui domine. Ainsi, sans effort supplémentaire, notre insecte est entraîné vers le support recherché. ■

BIBLIOGRAPHIE

D. Vella et L. Mahadevan, **The Cheerios effect**, *American Journal of Physics*, vol. 73, pp. 817-825, 2005.

D. L. Hu et J. W. M. Bush, **Meniscus-climbing insects**, *Nature*, vol. 437, pp. 733-736, 2005.

J. B. Keller, **Surface tension force on a partly submerged body**, *Phys. Fluids*, vol. 10, pp. 3009-3010, 1998.



Retrouvez la rubrique
Idées de physique sur
www.pourlascience.fr

Direction de l'innovation et des relations avec les entreprises

Organisme de formation continue

cnrs
formation
entreprises

→ 200 formations technologiques courtes proposées par le CNRS sur ses plateformes de recherche

pour les ingénieurs et les techniciens

→ Domaines de formation

Big data, robotique, énergie, matériaux, biologie, microscopie, spectrométrie, RMN... et plus encore

+ de 1100 stagiaires formés chaque année



www.cnrs.fr

Découvrez nos stages sur
cnrsformation.cnrs.fr



contact : cfe.contact@cnrs.fr ou +33 (0)1 69 82 44 55

@CNRS_CFE