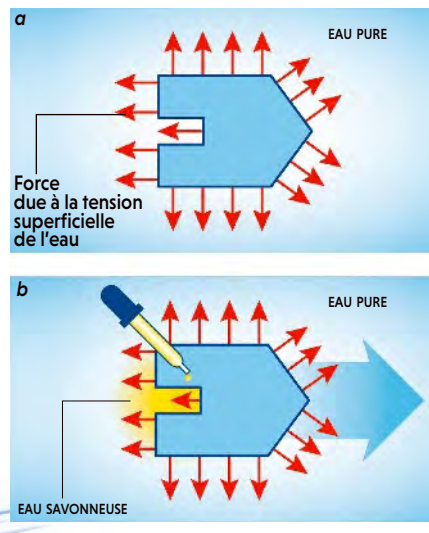
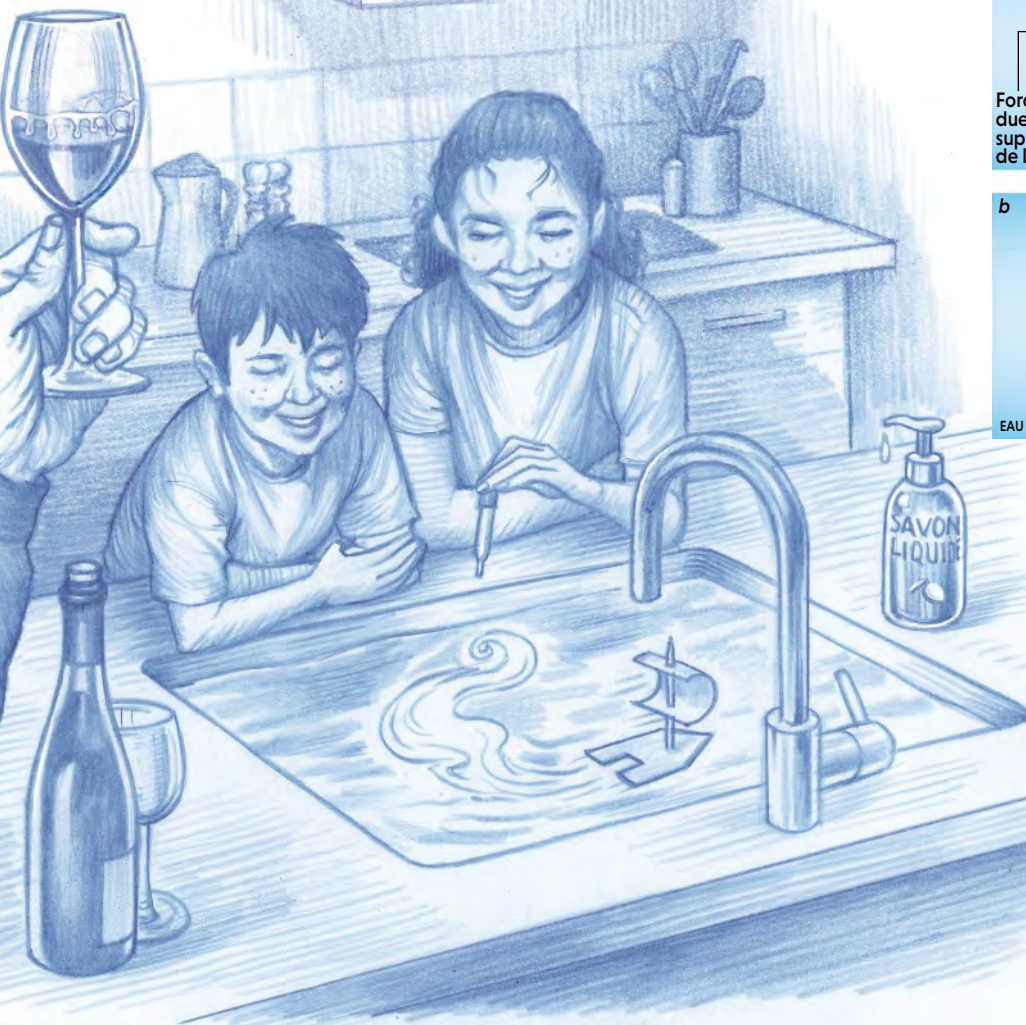


PROPULSION PAR DIFFÉRENCE DE TENSION SUPERFICIELLE

Un petit bateau en carton posé sur l'eau subit, tout au long de son périmètre, des forces de traction (*a*, flèches rouges) dues à la tension superficielle de l'eau. Ces forces se compensent, de sorte que leur résultante est nulle : le bateau reste immobile. Du savon liquide déposé à l'arrière du bateau a pour effet d'abaisser notablement la tension superficielle à cet endroit (*b*). Les forces exercées sur le bateau ne se compensent plus, et leur résultante est dirigée vers l'avant : le bateau avance.



fortement réduite – divisée par trois environ – et la force exercée ne compense donc plus la force vers l'avant. La masse d'un morceau de carton de 16 centimètres carrés étant de l'ordre de 1 gramme, l'accélération initiale du bateau est de l'ordre de 2 mètres par seconde carrée.

Cette valeur est déjà appréciable, mais elle serait 10 fois plus élevée, soit le double de l'accélération de la pesanteur, pour un carré de 0,4 centimètre de côté. On comprend donc que certains insectes marchant sur l'eau puissent fuir

rapidement en exploitant ce type de propulsion. Il leur suffit de relâcher depuis leur abdomen une substance, par exemple la sténusine, qui abaisse la tension superficielle de l'eau pour que leur départ soit foudroyant.

DES MOUVEMENTS DU LIQUIDE

Bien que nous ayons considéré un bateau à la surface de l'eau, l'effet sous-jacent est indépendant de la présence d'un objet matériel. Supposons que la surface de notre liquide ne soit plus

homogène, par exemple parce que la température ou la concentration en tensioactifs varie d'un point à l'autre. Quand l'une de ces deux grandeurs augmente, la tension superficielle diminue. Si l'on découpe par la pensée une bande à la surface de ce liquide et que l'on effectue un bilan des forces sur son périmètre, on obtient le >

Les auteurs ont notamment publié : **En avant la physique !**, une sélection de leurs chroniques (Belin, 2017).



> même résultat qu'avec le bateau: un déséquilibre apparaît et tire la «bande» vers la zone où la tension superficielle est la plus élevée, et ce d'autant plus fort que la différence de tension superficielle est importante.

Cela se traduit donc par un écoulement du liquide des zones de faible tension superficielle – zones les plus chaudes ou les plus concentrées en tensioactifs – vers les zones de tension superficielle élevée, plus froides ou peu concentrées en tensioactifs. C'est cela, à proprement parler, l'effet Marangoni.

Un grand classique des expériences de physique amusantes permet de le voir à l'œuvre. Remplissez un bol d'eau et saupoudrez la surface de poivre; versez au centre une goutte de savon liquide. Les grains de poivre, répartis uniformément à la surface de l'eau, sont alors instantanément chassés à la périphérie.

Dans cette expérience, les grains de poivre visualisent la mise en mouvement du liquide par l'effet Marangoni. Si les grains sont repoussés jusqu'à la périphérie du récipient, ce n'est pas parce qu'ils sont entraînés par le film tensioactif qui s'étale (une couche moléculaire ne peut déplacer un grain mesurant une fraction de millimètre), mais bien par le mouvement rapide de l'eau chassée radialement, par rapport à la goutte de savon, sous l'effet Marangoni.

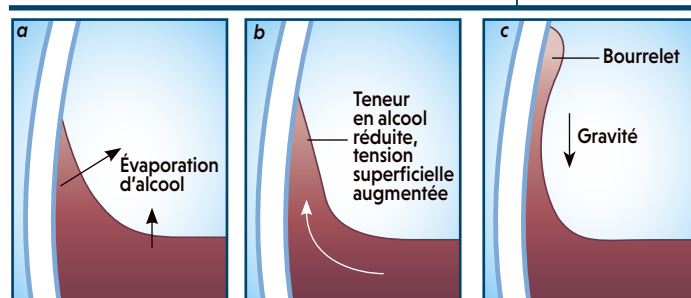
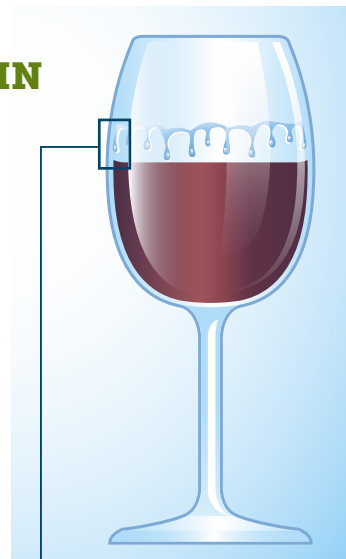
QUAND LE LIQUIDE REMONTE LA PAROI

Revenons aux larmes qui se forment spontanément sur les parois humides d'un verre de vin bien alcoolisé. Comment les expliquer? Une première chose à noter est que le liquide forme sur la paroi du verre un ménisque d'une taille de l'ordre du millimètre, qui résulte d'un équilibre entre forces de capillarité et gravité (*voir l'encadré ci-dessus*). Par ailleurs, le vin est, pour l'essentiel, un mélange d'eau et d'éthanol, ce qui a deux conséquences. D'une part, la présence de l'éthanol diminue la tension superficielle du mélange, par rapport à l'eau pure. D'autre part, l'éthanol étant plus volatil que l'eau, lorsque le vin s'évapore, les vapeurs sont plus riches en alcool que le liquide.

L'évaporation appauvrit donc le mélange en alcool. L'effet est relativement important dans le ménisque ou dans le film déposé sur la paroi en tournant le vin dans le verre, car le rapport surface/volume y est plus élevé que pour le reste du vin. De plus, l'évaporation abaisse la température du liquide restant,

UN BOURRELET QUI FAIT PLEURER LE VIN

Les larmes de vin sont des coulées que l'on observe sur la paroi du verre, au-dessus du niveau du vin. Elles naissent à intervalles plus ou moins réguliers le long d'un bourrelet liquide. La formation de celui-ci est due à l'effet Marangoni. Au départ, la surface du vin forme, au niveau de la paroi du verre, un ménisque (a). L'alcool du vin s'évaporant, la concentration en éthanol et la température du vin diminuent notablement dans le ménisque (où le rapport surface/volume du liquide est important). Il en résulte une tension superficielle plus élevée qu'à la surface horizontale du vin. Du liquide est ainsi soulevé et la hauteur du ménisque augmente (b), jusqu'à ce que cette ascension soit contrebalancée par le poids du liquide soulevé, d'où le bourrelet (c). La formation des coulées reste, elle, imparfaitement comprise.



cette diminution étant, encore une fois, plus ou moins importante selon le rapport surface/volume. Par conséquent, le ménisque et le film ont une teneur en alcool plus faible et une température plus basse que le reste du vin. La tension superficielle y est donc plus élevée.

La variation de tension superficielle, depuis la surface libre du vin jusqu'en haut du ménisque, crée un écoulement de liquide dirigé vers les parois et vers le haut. Le liquide grimpe le long du verre, jusqu'à ce que le poids du liquide soulevé compense la force qui le tire vers le haut. Un bourrelet liquide se forme alors à un ou deux centimètres au-dessus de la surface du vin.

À partir de ce bourrelet, du liquide redescend sous la forme de «larmes». Les raisons précises de ce ruissellement? Depuis 1992, date des travaux pionniers sur les larmes du vin de Jean-Baptiste Fournier et Anne-Marie Cazabat, au Collège de France, elles sont toujours débattues... Une interprétation très récente, proposée fin 2019, fait ainsi intervenir des ondes de choc au sein du film mouillant. ■

BIBLIOGRAPHIE

D. Ivanov et S. Nikolov, **Molecular engine boat**, *Physics Education*, vol. 54(4), article 045006, 2019.

Y. Dukler et al., **A theory for undercompressive shocks in tears of wine**, prépublication arXiv :1909.09898, 2019.

J. B. Fournier et A. M. Cazabat, **Tears of wine**, *Europhysics Letters*, vol. 20(6), pp. 517-522, 1992.

L'UNIVERS AVANT LE BIG BANG

- 7 dossiers rédigés par des chercheurs et des experts sur le sujet
- Une lecture adaptée sur écrans

3,99 €



Les *Thema* sont une collection de hors-séries numériques. Chaque numéro contient une sélection des meilleurs articles publiés dans *Pour la Science* sur une thématique.

Dans la collection *Thema* découvrez aussi



**Commandez et téléchargez
les numéros en pdf**



Pour lire votre numéro, rendez-vous dans votre compte client



boutique.pourlascience.fr/tous-les-numeros/thema.html

L'AUTEUR



HERVÉ LE GUYADER
professeur émérite de biologie
évolutive à Sorbonne Université,
à Paris

LES FÉLINS, ROIS DE L'HYBRIDATION

Ligres, tigrons, jaglions, léoguars... Et si ces étranges fauves nés de croisements entre différentes espèces de félins détenaient les clés de la curieuse histoire évolutive de cette famille?

Imposants comme le tigre ou le lion, rapides comme le guépard, discrets comme la panthère des neiges ou familiers comme le chat domestique: la famille des félinés (ou félins) rassemble les carnivores les plus renommés. À l'état naturel, on les trouve sur tous les continents, sauf l'Antarctique et l'Australie. On pourrait penser que l'histoire évolutive d'animaux aussi médiatiques est parfaitement connue des biologistes. Pourtant, il n'en est rien, et plusieurs études récentes ont révélé pourquoi cette histoire est un réel casse-tête.

Si au XIX^e siècle les zoologistes avaient eu bien du mal à classer les félins à partir de leurs caractéristiques anatomiques, on pensait que les phylogénies moléculaires – les constructions d'arbres de parenté fondés sur l'étude des génomes – amèneraient rapidement la solution. C'est ainsi qu'il y a quinze ans, l'équipe de Stephen O'Brien, à l'Institut américain du cancer, à Frederick, dans le Maryland, a publié une phylogénie consensuelle. Huit clades distincts se seraient diversifiés à la fin du Miocène (il y a moins de 11 millions d'années) et auraient étendu leurs territoires à partir d'un centre situé en Eurasie. Toutefois, les auteurs ont exposé leurs résultats avec grandes précautions, expliquant que l'ADN issu des mitochondries (les compartiments qui fournissent de

l'énergie aux cellules), celui des chromosomes sexuels et celui des autres chromosomes donnaient parfois des résultats contradictoires. Des incohérences apparaissaient à certains endroits de l'arbre phylogénétique, dues sans doute à des processus génétiques complexes.

Il est vrai que, depuis longtemps, zoologistes et généticiens s'interrogent sur certaines originalités des félins. Ainsi, le tigre et le lion, bien que reconnus comme des espèces distinctes, sont interfertiles et ont donné naissance, dans des zoos, à des tigrons (hybrides entre une lionne et un tigre) ou des ligres (hybrides entre une tigresse et un lion), eux-mêmes fertiles quand ils sont femelles. La seule barrière de reproduction est la séparation des territoires et la différence de comportement.

D'ÉTRANGES GÉNOMES

Il y a deux ans, une équipe internationale autour de William Murphy, de l'université du Texas, et d'Eduardo Elzirik, de la faculté des sciences de Porto Alegre, au Brésil, a utilisé les génomes nouvellement séquencés de la panthère (ou léopard, *Panthera pardus*) et du jaguar (*P. onca*) pour tenter de comprendre les problèmes évolutifs du clade correspondant au genre *Panthera* et comprenant cinq grands félins: la panthère, le jaguar,



Si les ligres mâles sont stériles, les ligresses sont souvent fertiles.



Hervé Le Guyader
a notamment publié:
**Biodiversité:
le pari de l'espoir,**
(Le Pommier, 2020).