

de remonter comme on pourrait s'y attendre. Pour l'expliquer, des chercheurs de l'Université de Limerick, en Irlande, ont récemment proposé un scénario où la forme du verre joue un rôle crucial.

Commençons par analyser le mouvement d'une seule bulle. Sous l'effet de la poussée d'Archimède, la bulle commence à accélérer vers le haut, puis atteint rapidement une vitesse pour laquelle la force de traînée compense la poussée d'Archimède. Cette vitesse est de l'ordre de trois millimètres par seconde pour des bulles d'environ un dixième de millimètre de diamètre.

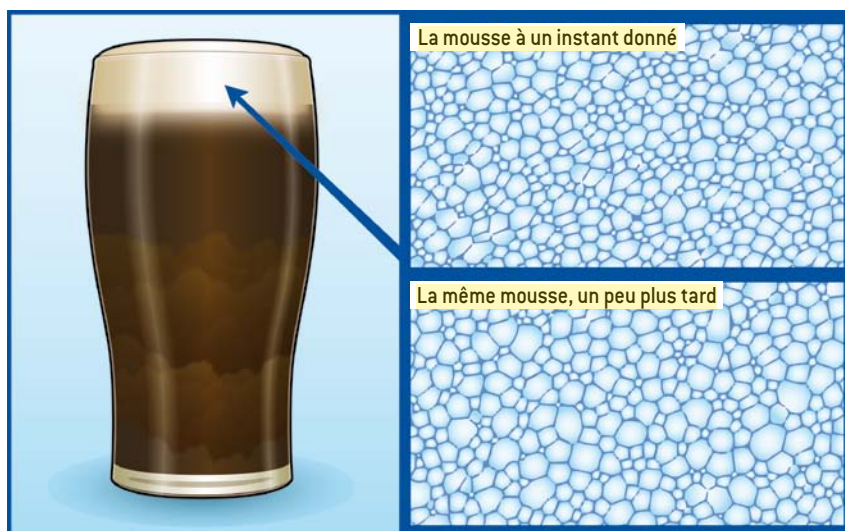
Une descente au lieu d'une montée

Pourquoi voit-on alors les bulles descendre le long de la paroi du verre ? Supposons que le verre soit évasé, comme il se doit. Lors du tirage, les bulles se forment dans tout le volume. Or comme leur ascension est verticale, il se crée une zone dépourvue de bulles au voisinage de la paroi évasée.

Vers le centre du verre, on a ainsi des bulles qui poussent le liquide vers le haut. Aux bords, en revanche, l'absence de bulles rend le fluide plus dense qu'au centre et, de plus, le prive d'un effet d'entraînement vers le haut. Cette dissymétrie crée une circulation : dans la région centrale, le liquide monte, tandis qu'au voisinage des parois, il descend.

La vitesse de descente est modérée, de l'ordre du centimètre par seconde, mais comme elle est supérieure à la vitesse d'ascension des quelques bulles proches des bords, donc visibles, on peut voir ces dernières couler. Les bulles des bières carbonées, plus grosses, montent bien plus vite et ne sont donc pas entraînées par le liquide qui descend : on ne les voit pas couler.

Avec un verre se fermant vers le haut, l'effet est inversé : les bulles montent plus rapidement que pour un verre cylindrique. Notons par ailleurs que les biologistes mettent à profit un effet analogue lorsque du sang est contenu dans une éprouvette. Connu sous le nom d'effet Boycott, il s'agit d'une accélération de la sédimentation des globules rouges, due à l'écoulement créé lorsque l'éprouvette est inclinée.



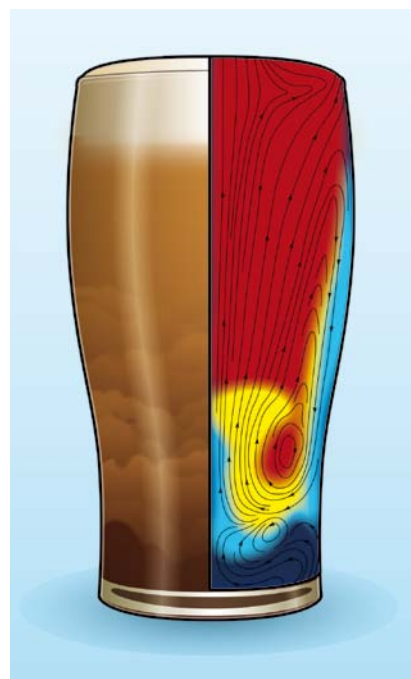
2. LA MOUSSE D'UNE BIÈRE AZOTÉE est composée de bulles de petite taille, ce qui est lié à la faible solubilité de l'azote dans l'eau. Cette faible solubilité explique aussi que la mousse est plus stable : elle « mûrit » plus lentement (les bulles grossissent et se raréfient moins vite).

Les petites bulles donnent une mousse qui apparaît très blanche, comme la neige, car la lumière est diffusée de multiples fois sur les interfaces gaz-liquide. Avec la Guinness, cette mousse persiste plus longtemps. Pourquoi ?

La pression du gaz régnant à l'intérieur d'une bulle dépend de la taille de cette dernière. En raison de la tension superficielle de l'interface gaz-liquide, cette pression est d'autant plus élevée que le rayon de la bulle est petit. Même en l'absence de perturbation qui ferait éclater les parois, les différences de pression entre bulles de tailles différentes conduisent au « mûrissement » de la mousse.

Là où la pression est forte, le gaz va davantage se dissoudre dans la paroi que là où la pression est faible. Par ce mécanisme, le gaz traverse les parois pour aller des petites bulles vers les grosses bulles. Les petites bulles régressent plus que les plus grandes qui deviennent dominantes, la mousse s'éclaircit et se fragilise, car il y a de moins en moins de bulles.

Dans une bière à l'azote, la faible solubilité de ce gaz rend le mûrissement beaucoup plus lent qu'avec du dioxyde de carbone. Ainsi, au bout de cinq minutes, une bulle de dioxyde de carbone d'un demi-millimètre disparaît presque entièrement, alors qu'une bulle d'azote de même taille se dégonfle à peine.



3. PRÈS DES PAROIS ÉVASÉES, le liquide est appauvri en bulles, car celles-ci montent verticalement. Le liquide de cette zone est alors plus dense qu'au centre et plonge donc vers le bas, entraînant avec lui quelques bulles, d'où la cascade de bulles qui apparaît à proximité des parois du verre. Dans le schéma de circulation du fluide dans le verre, les couleurs traduisent la concentration en bulles (croissante du bleu foncé au rouge foncé).

BIBLIOGRAPHIE

E. S. Benilov *et al.*, Why do bubbles in Guinness sink ?, *American Journal of Physics*, vol. 81, pp. 88-91, 2013.

W. T. Lee *et al.*, Bubble nucleation in stout beers, *Physical Review E*, vol. 83, article 051609, 2011.

M. Robinson *et al.*, Waves in Guinness, *Physics of Fluids*, vol. 20, article 067101, 2008.

Il y a cependant un prix à payer pour profiter des avantages de l'azote : la mousse se forme plus difficilement. Pour une bière carbonée, le tirage sous pression ou le versement depuis une canette créent assez de turbulences pour que le dioxyde de carbone dissous se libère et crée une mousse compacte de plusieurs centimètres dans le verre. Avec l'azote, cela ne suffit pas.

Pour tirer la bière azotée en fût, on la propulse avec un mélange de trois quarts d'azote et d'un quart de dioxyde de carbone à une pression d'environ deux bars. On la verse alors à travers un robinet fermé par un disque percé. Le flux de bière devient turbulent, ce qui brasse le gaz et le liquide pour former une fine mousse.

Que se passe-t-il pour une canette ? Comme l'azote est peu soluble, sa plus

grande part resterait gazeuse et surnagerait au-dessus du liquide. Une fois la canette ouverte, le gaz s'échapperait directement dans l'air.

La marque Guinness a donc breveté en 1969 un dispositif original. Juste avant de sceller la canette, on y introduit une capsule sphérique en plastique percée d'un minuscule orifice, et un peu d'azote liquide. Ce dernier s'évapore et met tout l'intérieur de la canette sous pression. Au cours de ce processus, le gaz s'introduit dans la capsule avec un peu de bière et y reste piégé.

Lorsqu'on ouvre la canette, la dépressurisation est brutale : le gaz contenu dans la capsule se dilate, s'échappe à travers l'orifice et propulse la bière qu'elle renferme. La forte agitation qui en résulte dans le liquide ambiant produit alors les bulles tant désirées.

Retrouvez les articles de J.-M. Courty et E. Kierlik sur www.pourlascience.fr





les conférences

à la Cité des sciences et de l'industrie

entrée libre dans la limite des places disponibles

CYCLE

Le temps existe-t-il ?

> Les mardis à 19h

1^{er} avril
Gravité quantique : des physiciens tuent le temps
avec Carlo Rovelli, astrophysicien au Centre de physique théorique de Luminy.

8 avril
Relativité : le temps illusoire
avec Thibault Damour, professeur permanent à l'Institut des hautes études scientifiques (IHES).

15 avril
Des atomes froids pour mesurer le temps
avec Christophe Salomon, directeur de recherche au CNRS.

En partenariat

SCIENCE  **plus**

programme complet sur cite-sciences.fr