

IDÉES DE PHYSIQUE

La recette d'une belle mousse de bière

L'utilisation d'azote sous pression permet d'obtenir une mousse plus fine et plus durable qu'avec du dioxyde de carbone.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Versée dans un verre à partir d'une tireuse ou d'une canette, la bière stout irlandaise Guinness produit une cascade de bulles descendantes et un col blanc bien crémeux, à la différence de la plupart des autres bières. Pourquoi ces particularités ?

Il faut d'abord savoir que la tireuse de la Guinness fonctionne à l'azote (N_2) plutôt qu'au dioxyde de carbone (CO_2). Comme on le verra, c'est crucial pour comprendre comment les bulles sont produites, pourquoi on les voit descendre le long du verre plutôt que remonter et comment il est possible d'obtenir avec une canette le même type de mousse qu'avec une tireuse à pression. Certains des

LES AUTEURS



Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris. Leur blog : <http://blog.idphys.fr>

mécanismes physiques en jeu n'ont d'ailleurs été compris que tout récemment.

L'utilisation d'un mélange de gaz à forte teneur en azote plutôt que du dioxyde de carbone a plusieurs conséquences. Tout d'abord, contrairement au dioxyde de carbone, l'azote dissous dans l'eau n'est pas acide ; il en résulte une bière plus douce. Une autre propriété de la bière azotée est que sa mousse est formée de bulles très fines, d'où l'aspect crémeux.

Des bulles d'azote qui grossissent moins

Cette finesse des bulles est due à la faible solubilité de l'azote dans l'eau. Imaginons qu'une bulle se soit formée au sein de la bière. Qu'elle soit carbonée ou azotée, la bière a été préparée sous une pression de l'ordre de 1,5 ou 2 atmosphères de dioxyde de carbone ou d'azote. Au moment où la bulle se forme, la bière qui vient d'être tirée est à pression atmosphérique. Il en est donc de même de la bulle. Cette dernière monte dans un liquide sursaturé de gaz dissous. Une partie de ce gaz en excès pénètre dans la bulle et la fait grossir. Or la solubilité de l'azote étant 65 fois inférieure à celle du dioxyde de carbone, il y a moins de gaz dissous à relâcher. Dans la Guinness, une bulle grossit donc beaucoup moins que dans une autre bière.

Cette petite taille des bulles a une conséquence que les amateurs connaissent bien : lorsqu'on verse la Guinness, on remarque une cascade de bulles qui descendent le long des parois du verre, au lieu



1. LORSQU'ON OUVRE UNE CANETTE de bière de la marque Guinness (à droite), le liquide est finement mousseux dès le début, contrairement à une bière classique. La canette de Guinness contient une capsule d'azote percé d'un minuscule trou, grâce à laquelle un grand nombre de fines bulles d'azote sont produites dès l'ouverture de la canette.

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.

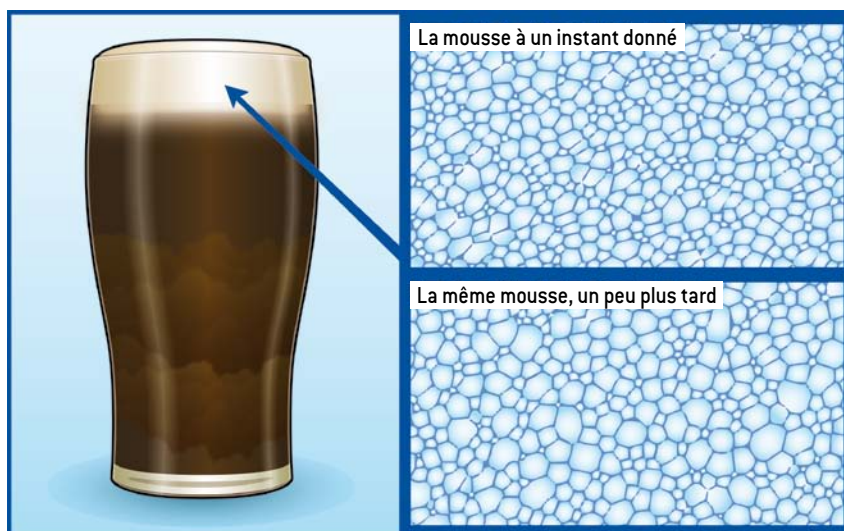
Une descente au lieu d'une montée

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.



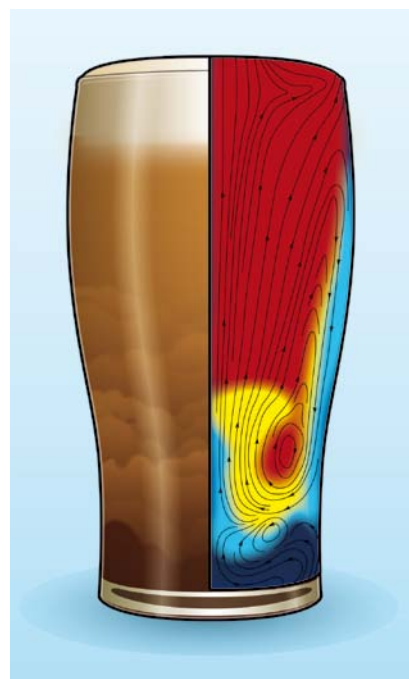
2. LA MOUSSE D'UNE BIÈRE AZOTÉE est composée de bulles de petite taille, ce qui est lié à la faible solubilité de l'azote dans l'eau. Cette faible solubilité explique aussi que la mousse est plus stable : elle « mûrit » plus lentement (les bulles grossissent et se raréfient moins vite).

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].