

ART & SCIENCE

La jupe des derviches : et pourtant, elle tourne...

Jean-Léon Gérôme s'est attaché à rendre compte de la forme qu'adopte la jupe des derviches tourneurs lorsqu'ils dansent. Des physiciens ont récemment mis en évidence les forces qui façonnent la jupe en rotation. La scène représentée par le peintre est-elle compatible avec leur modélisation ?

Loïc MANGIN

En 1852, le peintre Jean-Léon Gérôme (1824-1904) est sollicité par Alfred Émilien, le Surintendant aux Beaux-Arts de l'empereur Napoléon III, pour une toile monumentale qui sera exposée lors de l'Exposition universelle de 1855. Le tableau, qui représente l'instauration de la *Pax Romana* par Auguste et la naissance du Christ, est aujourd'hui visible au Musée d'Amiens où il a été transféré en 1864.

Ce *Siècle d'Auguste et la naissance du Christ* reçut un accueil mitigé de la part de la critique, mais il rapporta au peintre une somme assez confortable (20 000 francs de l'époque) pour lui permettre de s'offrir une escapade en Orient, notamment à Constantinople, en Turquie, dès 1853. Il voyagea avec l'acteur français Edmond Got. Le peintre retourna en Turquie l'année suivante et, en 1856, gagna l'Égypte.

Ces séjours pendant lesquels il remplit de nombreux carnets de dessins, inspirèrent notamment Gérôme qui consacra de nombreuses toiles « orientalistes » à divers aspects de la religion musulmane, à des scènes de genre, ainsi qu'à des paysages nord-africains. Citons le *Bain turc*, le *Charmeur de serpents*, le *Marchand de tapis au Caire*...

Sur l'une de ces peintures, *Le Derviche tourneur* (1889), il représente un

des membres de l'ordre Melveli, un ordre musulman soufi fondé à Konya (Turquie) au XIII^e siècle par Jalal al-Din Rumi. Cette confrérie se développa essentiellement dans l'Empire ottoman jusqu'en 1920 et s'étendit notamment aux Balkans, en Syrie et en Égypte. L'ordre fut déclaré hors-la-loi en Turquie en 1925, puis fut de nouveau légalisé en 1950.

Le terme « derviche » (*pauvre* ou *mendiant* en persan) désigne un individu qui suit la voie ascétique soufie, tandis que

La forme de la jupe n'apparaît dans les simulations qu'en tenant compte de la force de Coriolis, celle qui explique la formation des cyclones.

l'épithète *tourneur* renvoie à la danse rituelle de l'ordre, le *samâ'* (ou *sema*). Lors de celle-ci, les disciples, les bras croisés, les mains sur les épaules, se mettent à tourner lentement, puis étendent les bras, la main droite tournée vers le ciel et la main gauche tournée vers la terre. Dans cette position, le derviche symbolise l'axe de l'Univers. Tout en tournant sur eux-mêmes, les danseurs tournent autour de la salle.

Deux premières danses sont effectuées en commun, puis sont suivies d'une troisième individuelle : c'est vraisemblablement celle que l'on distingue sur le tableau de

Gérôme. Précisons que l'islam orthodoxe ne reconnaît pas cette pratique qui a été inscrite au patrimoine culturel immatériel de l'humanité par l'UNESCO en 2008.

Pendant la rotation des danseurs, leurs jupes blanches tournent et dessinent un cône parcouru d'ondes du tissu. De ce point de vue, le tableau est-il réaliste ? Des éléments de réponse sont apportés par les travaux de Martin Michael Müller, de l'Université de Lorraine, à Metz, de Jemal Guven, de l'Université autonome de Mexico et de James Hanna, de l'Institut polytechnique de Virginie, aux États-Unis. Ils ont étudié la forme que prennent les jupes lors du mouvement giratoire des danseurs.

En mouvement (on trouve de nombreuses vidéos sur Internet), ce vêtement adopte une forme stable constituée de trois faces légèrement concaves (elles sont parfois quatre, voire plus) et séparées par des crêtes allant de la ceinture au bord de la jupe. Ces plis sont comme les arêtes d'une pyramide (le plus souvent un tétraèdre) dont le sommet coïncide avec le ventre du danseur. Les danseurs et donc les jupes font environ un tour par seconde, tandis que la forme pyramidale tourne à une fréquence inférieure.

Pour comprendre cette forme, les physiciens ont étudié un modèle simplifié où l'on néglige la gravité, la rigidité de la

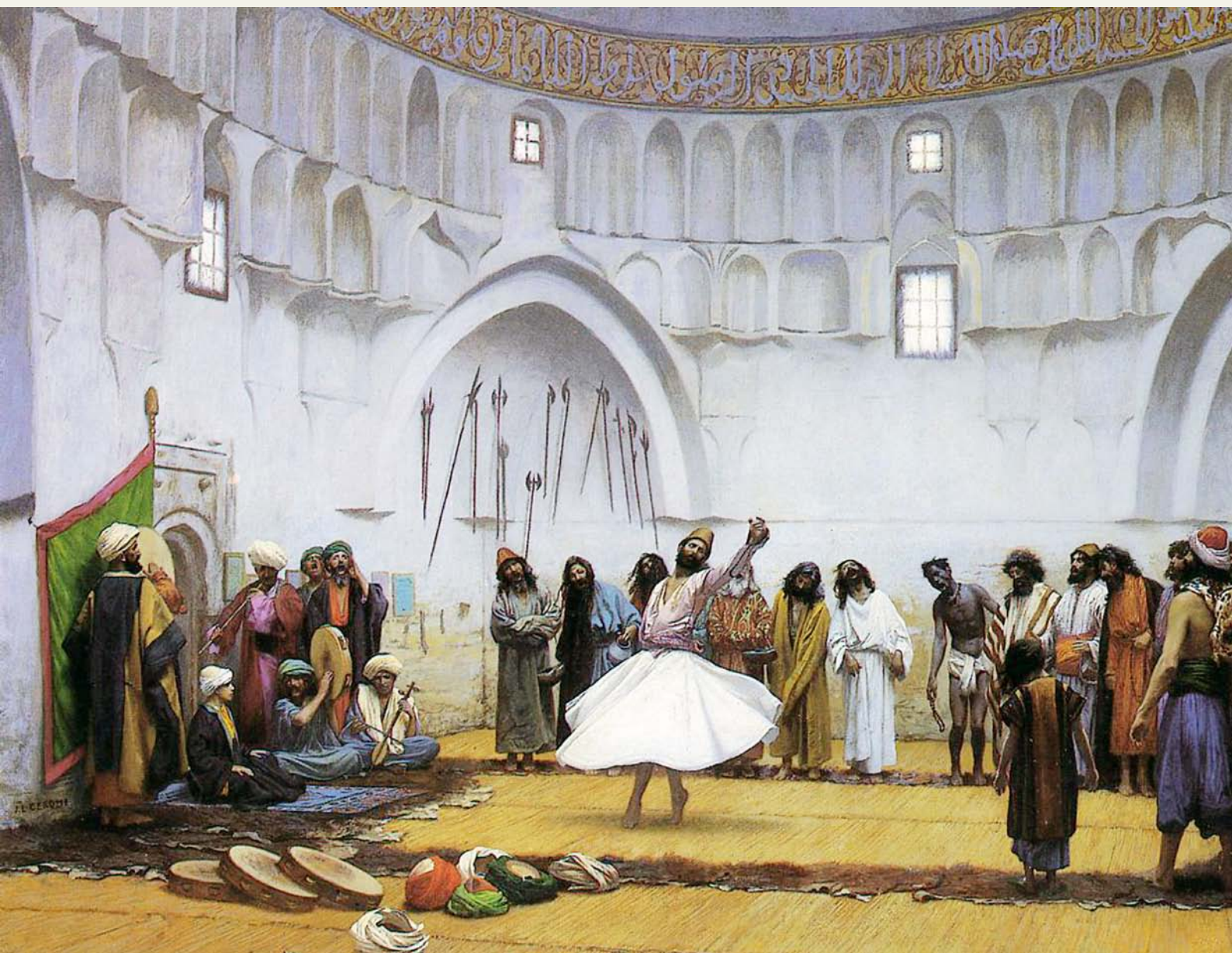
matière de la jupe, son interaction avec l'air environnant... Ils ont alors découvert que cette forme n'apparaît dans leurs calculs que si l'on tient compte de la force de Coriolis, une force d'inertie subie par tout corps en mouvement dans un système en rotation. La force de Coriolis associée à la rotation de la Terre explique par exemple le sens de rotation de courants atmosphériques et océaniques de grande ampleur, tels les cyclones.

Elle intervient également dans la forme des jupes. De fait, quand cette force de Coriolis est supprimée du modèle des physiciens, la forme pyramidale s'évanouit !

Revenons au tableau de Gérôme. La jupe représentée est-elle conforme aux résultats des physiciens ? C'est difficile à dire, mais la forme pyramidale ne semble pas respectée. Toutefois, selon M. M. Müller, pour répondre avec précision, on aurait besoin d'informations sur les

mouvements du danseur qui ont précédé l'« instantané » peint. Il est possible que le derviche n'ait pas tourné à une vitesse constante auparavant, ce qui expliquerait la perturbation observée du motif en tétraèdre. À la décharge du peintre, on imagine mal faire poser un derviche en pleine action ! ■

J. Guven *et al.*, *Whirling skirts and rotating cones*, *New Journal of Physics*, vol. 15, 113055, 2013.



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.

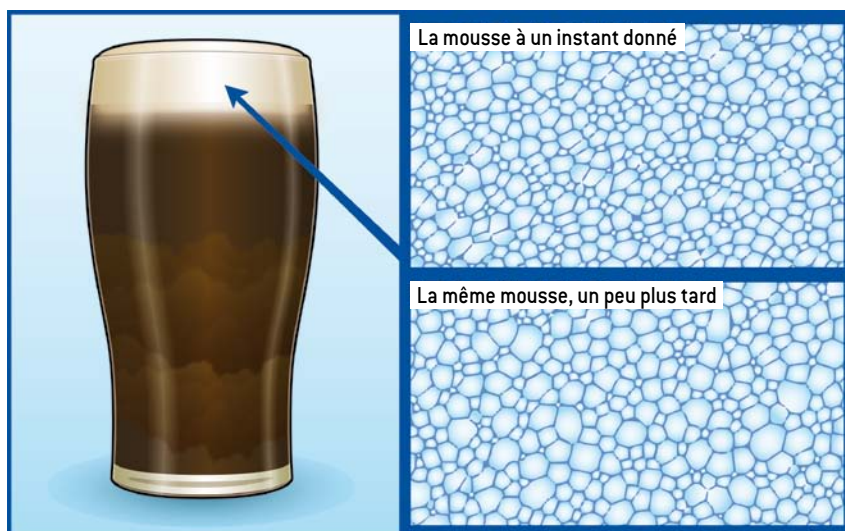
Une descente au lieu d'une montée

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.



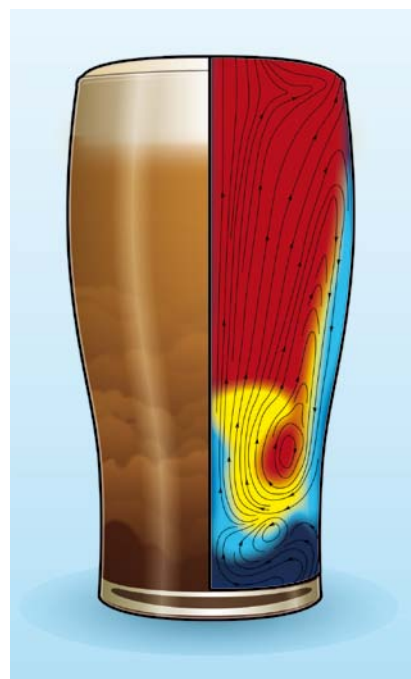
2. LA MOUSSE D'UNE BIÈRE AZOTÉE est composée de bulles de petite taille, ce qui est lié à la faible solubilité de l'azote dans l'eau. Cette faible solubilité explique aussi que la mousse est plus stable : elle « mûrit » plus lentement (les bulles grossissent et se raréfient moins vite).

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).

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