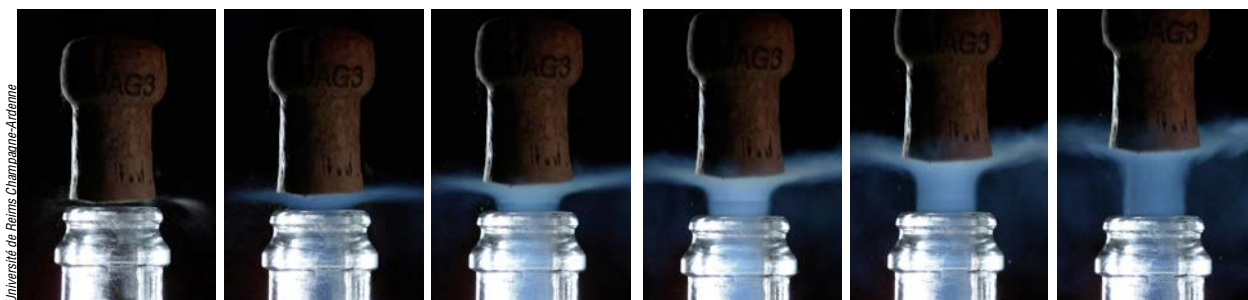


DÉBOUCHAGE D'UNE BOUTEILLE À TEMPÉRATURE AMBIANTE

À température ambiante, la pression qui éjecte le bouchon est plus importante (environ 8 bars à 20 °C). Le nuage de condensation est dans ce cas bien plus délimité et, au lieu d'être blanchâtre, il est bleuté. Cette teinte indique un régime de diffusion lumineuse où la taille des gouttelettes

de condensation est inférieure aux longueurs d'onde de la lumière visible : dans ce cas de figure, les gouttelettes diffusent davantage la partie bleue du spectre lumineux que sa partie rouge, d'où un nuage bleuté. Le phénomène est analogue à celui responsable du bleu du ciel.



Université de Reims Champagne-Ardenne

nous avons utilisé un appareil de ce type. Nous nous sommes rapprochés de notre collègue Jacques Honvault, spécialiste de l'imagerie ultrarapide.

Décortiquer les premiers millièmes de seconde

Filmer à haute vitesse nécessite énormément de lumière. Un projecteur de cinéma de 5000 watts éclaire la scène par l'arrière. On peut ainsi filmer les tout premiers millièmes de seconde du débouchage d'une bouteille de champagne stockée au réfrigérateur, à 6 °C (voir la figure page ci-contre).

La décompression brutale du volume de gaz qui jaillit hors du col s'accompagne d'une chute de sa température de plusieurs dizaines de degrés (c'est une « détente adiabatique »). Cette chute brutale de la température provoque instantanément la condensation de la vapeur d'eau environnante en un brouillard de minuscules gouttelettes dont la taille varie de quelques micromètres à quelques dizaines de micromètres. C'est la diffusion de la lumière du projecteur par ces gouttelettes (de façon presque isotrope dans l'espace, pour toutes les longueurs d'onde du spectre visible) qui rend ce brouillard visible et lui confère sa couleur blanchâtre.

À une tout autre échelle, celle de l'atmosphère, les nuages voient le jour selon le même principe. Des masses d'air chargées de vapeur d'eau montent en altitude et se refroidissent progressivement. Ce refroidissement provoque la condensation de l'eau

■ LES AUTEURS

Gérard LIGER-BELAIR est professeur de physique à l'université de Reims. Il y a créé l'équipe Effervescence (étude des bulles et des mousses dans les liquides chargés en gaz dissous) au sein du Groupe de spectrométrie moléculaire et atmosphérique (UMR CNRS 7331).

Clara CILINDRE est maître de conférences et membre de l'équipe Effervescence à l'université de Reims.

Fabien BEAUMONT est ingénieur d'études au sein du Groupe de recherche en sciences pour l'ingénieur de l'université de Reims.

Guillaume POLIDORI est professeur de mécanique des fluides au sein du Groupe de recherche en sciences pour l'ingénieur de l'université de Reims.

qu'ils contiennent en masses nuageuses, que la diffusion de la lumière solaire rend visibles.

Toutes les bouteilles stockées à 6 et à 12 °C ont présenté des nuages de condensation similaires dans leur structuration et leur couleur blanc-gris. Cependant, le lot de bouteilles stocké à température ambiante nous réservait une surprise. Pour ces bouteilles où la pression est plus importante, de l'ordre de 8 bars, le nuage de fumée blanchâtre disparaît (voir la figure ci-dessus). Dans le sillage du bouchon qui saute, on retrouve une structure bien plus éphémère, moins étendue et surtout... étrangement bleutée.

À la température ambiante, un panache bleu comme le ciel

Ce panache bleu azur qui accompagne le débouchage d'une bouteille sous haute pression a très certainement pour origine la petite taille des noyaux de condensation qui diffusent la lumière ambiante. En effet, conformément à la théorie de la diffusion de Rayleigh, si la taille de ces noyaux devient bien inférieure aux longueurs d'onde du spectre de la lumière ambiante (qui vont de 0,4 micromètre pour le bleu à 0,8 micromètre pour le rouge), la diffusion de la lumière se fait bien plus efficacement pour les petites longueurs d'onde du spectre, donc pour la lumière bleue. Le nuage apparaît alors bleuté et non plus blanc.



Université de Reims Champagne-Ardenne

LA VISUALISATION DE L'ÉCOULEMENT
par tomographie laser révèle les tourbillons qui se forment dans une flûte de champagne. Ces mouvements du liquide sont engendrés par la remontée des bulles.

Le même phénomène explique pourquoi le ciel nous apparaît bleu. Les molécules de l'atmosphère terrestre sont bien plus petites que les longueurs d'onde de la lumière solaire. Le bleu est donc plus efficacement diffusé que les autres couleurs du spectre, ce qui confère à l'atmosphère sa teinte bleue.

Un modèle thermodynamique est en cours d'élaboration pour rendre compte de la différence de taille caractéristique des noyaux de condensation qui se forment au débouchage en fonction de la température initiale des bouteilles.

En filmant le processus à 12 000 images par seconde, on distingue même une onde de choc, parallèle au goulot de la bouteille, qui progresse dans le sillage bleuté du bouchon qui jaillit (voir les photographies ci-dessous). On remarque aussi que, une fois libéré du col de la bouteille dans lequel il était comprimé, le bouchon reprend très vite sa forme en « jupe » si caractéristique : les parois cellulaires du liège confèrent au bouchon une extraordinaire résilience.

Débouchage en douceur : une instabilité de Kelvin-Helmholtz

Il est d'usage d'ouvrir une bouteille de champagne sans laisser le bouchon sauter librement, mais en le retenant délicatement. Le gaz carbonique sous pression s'échappe alors avec un chuintement très caractéristique. La décompression est moins brutale, ce qui permet toujours à la vapeur d'eau de se condenser, mais sous la forme d'une fumerolle dont les

caractéristiques aérodynamiques diffèrent nettement de celles du panache qui accompagne un débouchage brutal. Le brouillard de minuscules gouttelettes s'échappe parallèlement au goulot de la bouteille sous la forme d'une couche fluide plus dense que l'air ambiant.

Lorsque le processus est filmé à haute vitesse, il dévoile un phénomène bien connu des océanographes et des physiciens de l'atmosphère (voir la figure page 38, en bas). On reconnaît une instabilité, dite de Kelvin-Helmholtz, qui apparaît à la frontière entre deux fluides glissant l'un sur l'autre. Des ondulations se créent puis déferlent, un peu comme des vagues à la surface de l'océan.

En météorologie, ces instabilités apparaissent parfois à la frontière entre les couches nuageuses et le ciel clair. En océanographie, on les retrouve lors de variations brutales de la densité de l'eau, par exemple à l'embouchure d'un fleuve, lorsque les eaux douces et peu denses se mélangent à l'eau de mer salée, plus dense. On les retrouve même en astrophysique. Par exemple, la structure en bandes de l'atmosphère de Jupiter, où soufflent des vents contraires atteignant plusieurs centaines de kilomètres par heure, est le siège de spectaculaires instabilités de Kelvin-Helmholtz.

Laissons à présent le débouchage et la condensation qui s'ensuit pour contempler au sein du vin le ballet des bulles. En plus de leur rôle esthétique évident en dégustation, les bulles qui remontent dans le verre créent des tourbillons au cœur du liquide (voir les figures page 37 et ci-dessus). Ce processus, hélas invisible à l'œil nu, peut être mis en évidence par un procédé

UNE ONDE DE CHOC DANS LE NUAGE DE CONDENSATION

Lorsqu'on filme à une cadence plus rapide (12 000 images par seconde) le débouchage d'une bouteille de champagne conservée à température ambiante, des détails supplémentaires apparaissent. En particulier, on distingue

une onde de choc, parallèle au goulot (*flèche*), qui progresse de bas en haut dans le sillage du bouchon. Par ailleurs, les images mettent en évidence le retour très rapide du bouchon à sa forme d'équilibre.



Univ. de Reims Champagne-Ardenne