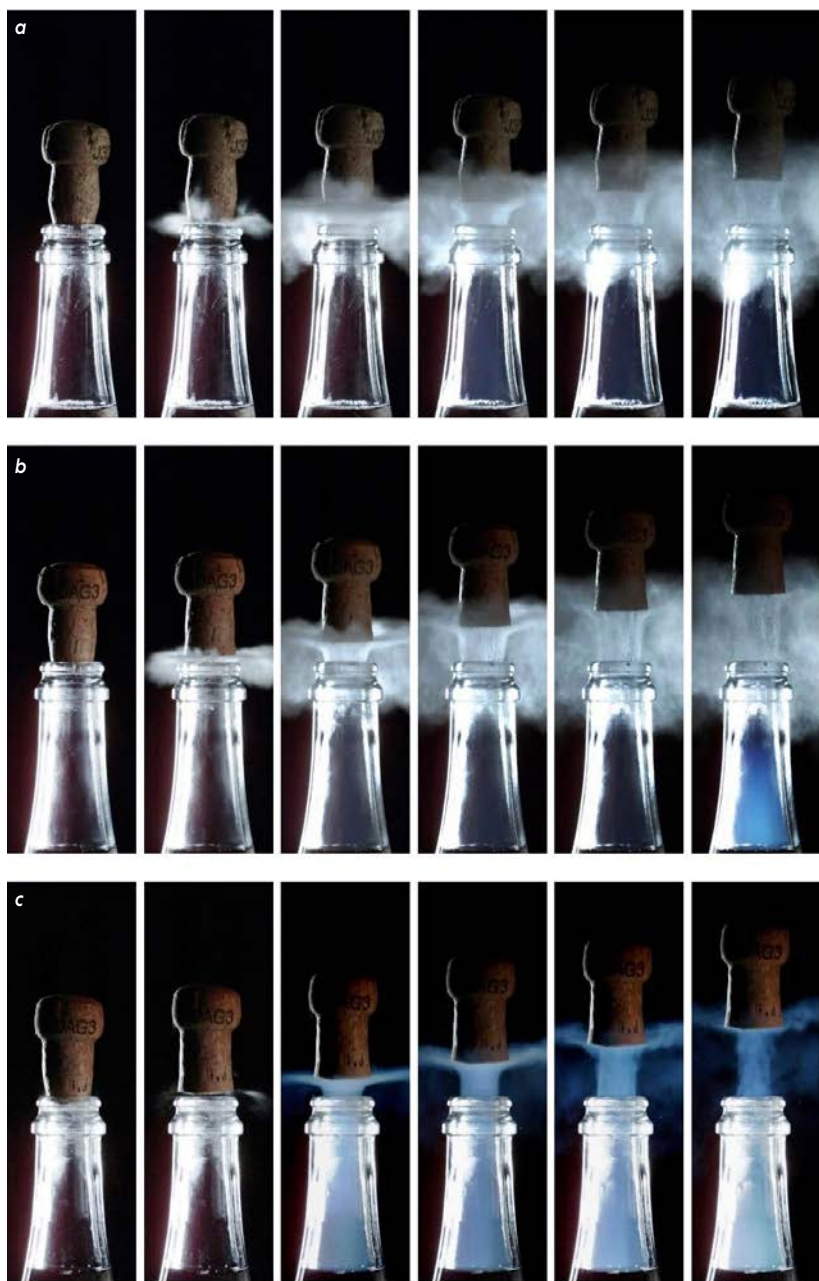




de 20°C, pourquoi le nuage de condensation apparaît-il directement dans le goulot de la bouteille et pourquoi est-il bleu azur et non pas blanc? La clé de l'énigme se trouve dans la relation qui existe entre la température des gaz qui s'échappent du col de la bouteille et la température initiale de celle-ci.

LA PRESSION DANS UNE BOUTEILLE DÉPEND DE SA TEMPÉRATURE

À la suite d'une seconde fermentation alcoolique en bouteille close (la «prise de mousse»), les vins de Champagne et les vins effervescents élaborés selon la méthode traditionnelle se chargent en gaz carbonique

Ces clichés permettent de comparer les phénomènes de condensation qui accompagnent le débouchage de trois bouteilles stockées respectivement à 6°C (a), 12°C (b) et 20°C (c). L'intervalle de temps entre deux images successives est de 0,4 milliseconde. On constate que le nuage bleu n'apparaît que pour une température initiale assez élevée : sinon, le refroidissement dû à la détente du gaz n'est pas suffisant pour que se forment les minuscules cristaux de dioxyde de carbone qui diffusent le bleu plus efficacement que les autres longueurs d'onde de la lumière.

dissous. Or la solubilité du dioxyde de carbone (CO_2) est très sensible à la température : plus le vin est froid, plus le gaz carbonique y est soluble. Cela implique que, pour une quantité fixe de CO_2 dans une bouteille close, la pression due au CO_2 (sa «pression partielle») régnant dans le col de la bouteille sera d'autant plus faible que la température est basse, puisque la quantité de CO_2 dissous dans le liquide sera plus grande.

On peut calculer avec une grande précision la pression de gaz carbonique qui règne dans une bouteille en fonction de sa température. Pour ce faire, on fait appel à la loi des gaz parfaits, à celle de la conservation de la matière et à la loi de Henry, énoncée en 1803 et selon laquelle la concentration en gaz dissous est proportionnelle à la pression partielle de ce gaz dans le col de la bouteille, le facteur de proportionnalité étant la solubilité. On trouve ainsi que dans une bouteille de 75 centilitres, la pression de gaz carbonique est de 4,5 bars à la température de 6°C, et qu'elle passe à 7,5 bars pour une bouteille à 20°C.

La température initiale d'une bouteille de champagne doit donc de toute évidence jouer un rôle sur les phénomènes de condensation qui accompagnent son débouchage.

GROS PLAN SUR LA DÉTENTE ADIABATIQUE

De fait, la chute de la température des gaz s'échappant du col dépend directement de la chute de pression qu'ils subissent lorsque le bouchon saute.

En effet, lorsque le bouchon saute, le volume de gaz présent sous pression dans le col de la bouteille se détend brutalement. Il s'agit d'une détente adiabatique, ce qui signifie que le processus se déroule sans échange de chaleur avec l'extérieur. La température du gaz chute alors de façon concomitante pour atteindre une nouvelle température T' donnée par une relation bien connue et qui s'écrit :

$$T'/T = (P_0/P_B)^{(\gamma-1)/\gamma}$$

Dans cette formule, T est la température initiale régnant dans la bouteille encore bouchée, P_0 est la pression ambiante (de l'ordre de 10^5 pascals, soit 1 bar), P_B est la pression du gaz régnant dans la bouteille bouchée (et qui dépend beaucoup de la température initiale T de la bouteille), et γ (gamma) désigne l'indice adiabatique du gaz, défini comme le rapport de ses capacités calorifiques à pression et à volume constants, et qui est égal à environ 1,3 pour le CO_2 .

On peut tracer la température T' atteinte par le gaz en fonction de la température initiale T de la bouteille (voir le graphique page 51). On voit que, de façon assez contre-intuitive, cette température du gaz détendu est d'autant plus basse que la température

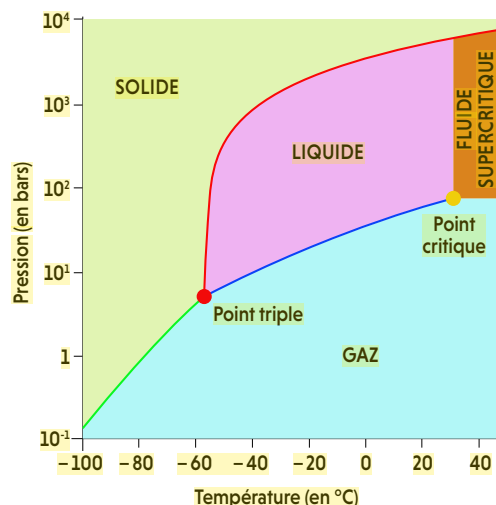
> initiale de la bouteille est élevée. En théorie, la température du gaz qui se détend hors d'une bouteille stockée à 20 °C chute à presque -90 °C ! Dans un environnement aussi glacial, que deviennent les différentes espèces gazeuses présentes ?

DES CRISTAUX DE NEIGE CARBONIQUE

En fonction de sa température et de sa pression, un corps pur est susceptible d'exister sous trois phases – gazeuse, liquide ou solide. Prenons par exemple le cas familier de l'eau. Sous une pression de 1 bar et à 20 °C, l'eau est liquide. Elle peut se transformer en glace au-dessous de 0 °C et, à 100 °C, elle commence à bouillir pour se transformer intégralement en vapeur.

Qu'en est-il du CO₂ ? Le diagramme de phase de ce corps pur montre qu'aux températures et aux pressions de quelques bars régnant dans une bouteille bouchée, le CO₂ est un gaz (voir le diagramme ci-dessus). Lorsque le bouchon saute, il se détend brutalement et sa pression rejoint celle de l'atmosphère extérieure, c'est-à-dire 1 bar. Et dans ce processus adiabatique, sa température chute de plusieurs dizaines de degrés (voir le graphique page suivante). Or le diagramme de phase montre qu'à une pression de 1 bar, le CO₂ est gazeux au-dessus de -78,5 °C, mais qu'au-dessous de cette température, il est sous sa forme solide (la glace carbonique).

Si l'on se réfère au graphique montrant la température atteinte après le débouchage en fonction de la température initiale de la bouteille, on remarque qu'une bouteille initialement à 6 °C voit la température des gaz qui s'en échappent chuter à près de -77 °C. Autrement dit, il ne fait pas encore assez froid pour que les vapeurs de CO₂ se condensent en glace carbonique.



Le diagramme de phase pression-température du dioxyde de carbone. On voit en particulier qu'à la pression atmosphérique (soit 1 bar), des cristaux de CO₂ ne peuvent apparaître que si la température est inférieure à environ -80 °C.

Pour les bouteilles stockées à 12 et à 20 °C, la température des gaz qui se détendent chute respectivement à -83 °C et -89 °C. Ces valeurs sont inférieures au seuil de -78,5 °C. En théorie, les vapeurs de CO₂ qui jaillissent hors du col de la bouteille sont donc susceptibles de se transformer en glace carbonique.

Cependant, même si la température du gaz carbonique chute sous le seuil de condensation, le changement de phase ne s'effectue pas aussi aisément. Les vapeurs de CO₂ ne peuvent pas se transformer en cristaux de neige carbonique *ex nihilo* : il ne fait pas encore assez froid pour cela. Pour se transformer en cristaux, le gaz carbonique a besoin de noyaux de condensation qui serviront de catalyseurs pour enclencher le processus. Et c'est à cette étape qu'un autre acteur du système entre en jeu : la vapeur d'eau – pas celle contenue dans l'air ambiant, mais celle présente dans le col de la bouteille.

En effet, le gaz présent dans le col de la bouteille encore bouchée contient de la vapeur d'eau en équilibre avec le champagne qui,

Les phénomènes de condensation à l'œuvre dans le nuage bleu du champagne sont similaires à ceux que présentent les gaz s'échappant des tuyères d'un réacteur de fusée. Les particules diffusantes y sont bien plus petites que les longueurs d'onde de la lumière visible, d'où une diffusion dite de Rayleigh de la lumière ambiante, qui fait apparaître du bleu (davantage diffusé que les autres longueurs d'onde). C'est ce même régime de diffusion qui fait apparaître bleu le ciel.

