



1. LE PÉTILLEMENT DES BULLES à la surface de la coupe de champagne provoque l'expulsion de minuscules jets de liquide qui se scindent en plusieurs gouttelettes. L'aérosol formé est chargé en molécules aromatiques.

Le champagne, vin pétillant qui a été notablement amélioré à la fin du XVII^e siècle sous l'impulsion du moine dom Pierre Pérignon (1639-1715), à l'abbaye de Hautvillers, près d'Épernay, est devenu synonyme de fête et de réussite. L'effervescence des bulles n'est pas étrangère à la notoriété de ce breuvage. Mais c'est seulement depuis quelques années que l'on commence à déterminer les mécanismes de la formation des bulles et leur rôle gustatif.

Quels sont les principaux acteurs responsables de l'effervescence du champagne? Le dioxyde de carbone dissous est-

ouvert, est commune à tous les vins) qui a lieu en bouteille close, dans la fraîcheur des caves. Lors de cette seconde phase, dite prise de mousse, des levures sont ajoutées et transforment les sucres en alcool et en dioxyde de carbone.

Une bouteille de 75 centilitres contient environ neuf grammes de dioxyde de carbone dissous, ou cinq litres à pression atmosphérique, ce qui représente six fois le volume de la bouteille! Sous le bouchon, du dioxyde de carbone s'accumule: la pression partielle de ce gaz atteint 6×10^5 pascals ou six bars, soit six fois la pression atmosphérique.

Champagne : l'arôme au cœur des bulles

G. Liger-Belair, R. Gougeon et Ph. Schmitt-Kopplin

Lorsqu'elles éclatent, les bulles dispersent au-dessus de la coupe de champagne un brouillard de minuscules gouttelettes, où se concentrent les molécules aromatiques.

il perçu par le consommateur? Quel est le rôle joué par les bulles dans la perception des arômes du champagne? Des analyses chimiques ont permis de répondre à ces questions. Nous préciserons les mécanismes physico-chimiques liés à l'éclatement des bulles à la surface d'une flûte et nous analyserons leur rôle dans la libération des arômes.

Rappelons comment les bulles se forment dans une flûte. Sous le bouchon de liège, le liquide est calme, aucune bulle ne se forme. Le champagne n'a pourtant rien d'un vin tranquille (appellation donnée aux vins non effervescents). Il contient en réalité du dioxyde de carbone dissous, mais ce n'est qu'au moment où l'on débouche la bouteille que les bulles apparaissent. C'est l'effervescence.

Le dioxyde de carbone se forme lors de la seconde fermentation alcoolique (la première fermentation alcoolique, en cuve

Selon la loi de Henry, à température constante et à saturation, la quantité de gaz dissous dans un liquide est proportionnelle à la pression partielle de ce gaz. En appliquant cette loi, on trouve que sous six bars de dioxyde de carbone, le champagne peut dissoudre 12 grammes par litre de ce gaz. Dès l'ouverture, la surface du liquide est au contact de l'air extérieur, c'est-à-dire à la pression atmosphérique. La solubilité du gaz diminue brusquement et les premières bulles apparaissent.

Si l'effervescence est la seule visible à l'œil nu, elle ne représente que 20 pour cent de la totalité du dégazage. Dans une flûte classique, environ 80 pour cent du dioxyde de carbone dissous s'échappent par diffusion à travers la surface, à l'interface liquide-air. Cette forme de dégazage est plus importante dans une coupe que dans une flûte.

L'ESSENTIEL

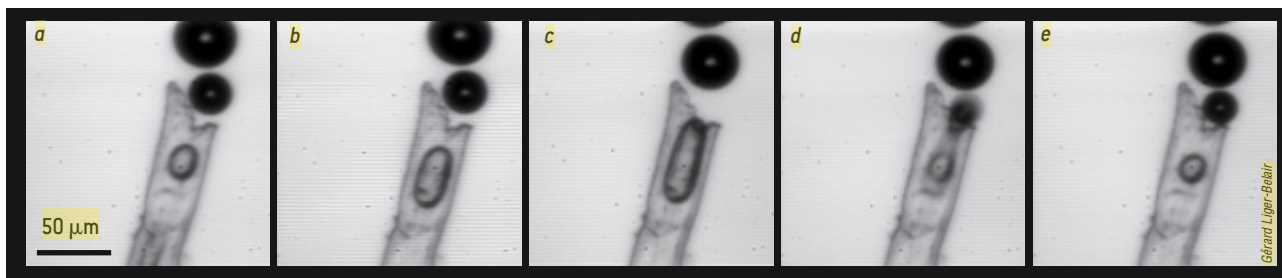
✓ Au-delà de leur aspect plaisant, les bulles favorisent la concentration des arômes du champagne.

✓ L'éclatement des bulles à la surface de la coupe forme un brouillard de gouttelettes chargées en molécules volatiles odorantes.

✓ Les bulles exercent un picotement mécanique et chimique lorsqu'elles éclatent sur la langue.

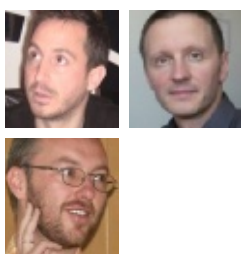
✓ L'aérosol créé lors de l'explosion des bulles rappelle les embruns qui se forment à la surface des océans.

Alain Cornu/Collection CIRC



2. LES FIBRES CREUSES DE CELLULOSE adsorbées sur la paroi de la flûte [provenant du torchon d'essuyage ou de l'atmosphère] piègent des bulles d'air qui grossissent à mesure de la diffusion du dioxyde de carbone dissous (a-c). Quand la bulle, enrichie en dioxyde de carbone, atteint une taille critique, elle s'échappe (d, e). Une milliseconde sépare deux clichés successifs.

LES AUTEURS



Gérard LIGER-BELAIR est professeur de physique au Laboratoire d'œnologie de l'Université de Reims. Régis GOUGEON est maître de conférences, dans l'Équipe Eau, Molécules actives, Macromolécules, Activités (EMMA), de l'Institut universitaire de la vigne et du vin, à l'Université de Bourgogne, à Dijon. Philippe SCHMITT-KOPPLIN est directeur de recherche au Centre Helmholtz, à Munich.

✓ BIBLIOGRAPHIE

G. Liger-Belair et G. Polidori, *Tempête dans un verre de champagne ! Pour la Science*, n° 362, pp. 66-70, 2007.

G. Liger-Belair et al., *Unraveling different chemical fingerprints between a champagne wine and its aerosols*, PNAS, vol. 106, pp. 16545-16549, 2009.

Chandrashekar et al., *The taste of carbonation*, Science, vol. 326, pp. 443-445, 2009.

G. Liger-Belair, *Effervescence : La science du champagne*, Odile Jacob, 2009.

Contrairement à une idée reçue, les bulles de champagne ne se forment pas sur les défauts du verre. Ce sont des particules, des fibres de cellulose provenant des torchons d'essuyage ou des microcristaux de tartre présents dans le vin, qui donnent naissance aux bulles. De minuscules bulles d'air ont été piégées dans les anfractuosités de ces particules au moment de verser le champagne. La pression à l'intérieur de ces microbulles d'air étant inférieure à la pression en dioxyde de carbone dissous, ce dernier y diffuse. La bulle gonfle à mesure de la diffusion du dioxyde de carbone, puis s'échappe de sa cavité quand elle a atteint une taille critique.

Ces microbulles d'air sont autant de mini-ascenseurs par lesquels le dioxyde de carbone dissous rejoint la surface en formant un train de bulles (voir la figure 2). Une fibre de cellulose émet plusieurs dizaines de milliers de bulles. On nomme « nucléation hétérogène » la formation de bulles de gaz carbonique à partir d'un germe de gaz préexistant dans le champagne (ou de toute autre boisson gazeuse).

Des centaines de bulles éclatent juste après le remplissage d'une flûte. Lorsqu'une bulle éclate à la surface de la coupe, elle projette un minuscule jet de champagne qui se brise en gouttelettes. La surface du liquide est alors piquetée de centaines de jets minuscules (voir la figure 3) se brisant à leur tour en plusieurs gouttelettes. Ce sont des centaines de gouttelettes, parfois des milliers, qui sont projetées chaque seconde, plusieurs centimètres au-dessus de la surface, sous la forme d'un « aérosol de champagne » qui picote le visage (voir la figure 1). Observons comment se forme cet aérosol.

Le jet de champagne se brise en plusieurs gouttelettes, car la somme des surfaces de multiples gouttelettes est inférieure à la surface du petit cylindre de liquide qui

jaillit de la surface. L'énergie de surface du système est ainsi minimisée. C'est l'instabilité de Rayleigh, également responsable d'un phénomène facile à observer : un mince filet d'eau qui s'écoule d'un robinet se scinde en gouttelettes.

Le jet de champagne parcourt une courte distance au-dessus de la coupe avant de se briser en gouttelettes. D'après les équations de la mécanique des fluides, on montre qu'il se fragmente au bout de quelques dixièmes de milliseconde. Pour des bulles millimétriques, comme celles du champagne, on compte environ cinq gouttelettes par bulle.

Piqûres mécaniques et chimiques

Le dioxyde de carbone dissous influe de deux façons sur la dégustation du champagne. Il exerce deux types de stimulations : une « piqûre » mécanique et une « piqûre » chimique, faisant intervenir des récepteurs sensoriels de la douleur et des récepteurs sensibles à l'acidité. Les gouttelettes de liquide projetées à la surface lors de l'éclatement des bulles stimulent d'abord les nocicepteurs (les récepteurs sensoriels de la douleur) situés dans le nez. Quant aux bulles de dioxyde de carbone qui éclatent dans la bouche lors de la dégustation, elles stimulent les nocicepteurs situés à la surface de la langue et du palais.

Ces picotements mécaniques sont véhiculés par le nerf trijumeau. Ce nerf se subdivise en trois branches innervant les muqueuses de la face, l'une dans la cavité buccale, une autre dans la région nasale et la troisième au niveau des yeux. C'est pourquoi lorsque nous consommons certains aliments (par exemple de la moutarde, du piment), la sensation de picotement remonte de la bouche vers le nez ou les yeux, et fait pleurer.