

La chimie des arômes du champagne

Le champagne est élaboré à partir de trois cépages (Chardonnay, Pinot noir et Pinot Meunier) dits non aromatiques, c'est-à-dire ne contenant pas de molécules responsables d'arômes variétaux, contrairement au Muscat ou au Gewürztraminer (un cépage qui rentre dans la composition de vins alsaciens). Les arômes variétaux sont les arômes primaires, présents dans le raisin et que l'on retrouve dans le vin.

Les raisins des cépages utilisés en Champagne ne contiennent que des précurseurs d'arômes non volatils. Ils sont formés par l'association d'une molécule odorante et d'un glucoside (un dérivé du glucose), ce qui les rend inodores. Au cours de la fermentation alcoolique, des systèmes enzymatiques coupent la liaison glucosidique. Les molécules odorantes sont alors libérées.

Les arômes caractéristiques des vins de la région de Champagne résultent d'un mélange complexe de plusieurs composés d'origine fermentaire ou non (c'est-à-dire provenant du raisin pur). Parmi les molécules qui participent à l'arôme de ces vins, on détecte des acides organiques (acide méthylbutanoïque, acide

octanoïque...), avec des odeurs douces, épicées, rances; des alcools supérieurs (pentanol, hexanol...), avec des odeurs herbacées, vertes, des norisoprénoides (β -damascenone, β -ionone...) aux notes florales; et des esters (hexanoate d'éthyle, octanoate d'éthyle...) aux odeurs fruitées, de banane et de fraise.

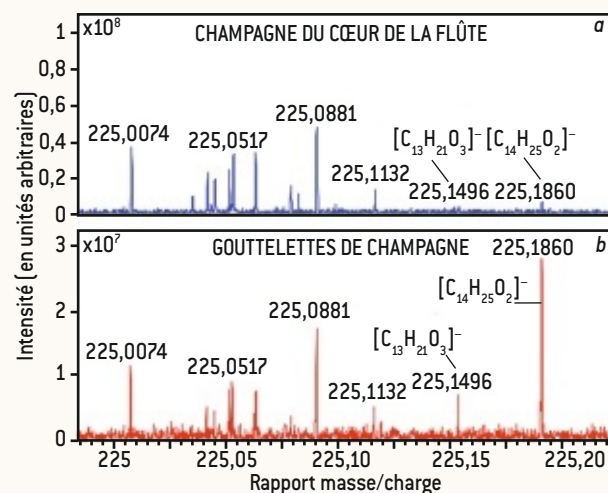
Les molécules qui participent à la saveur caractéristique du champagne sont libérées lors de la seconde fermentation correspondant à la prise de mousse. La période pendant laquelle le vin est au contact des levures peut durer plusieurs années. Les levures vont alors libérer les métabolites responsables des arômes secondaires du champagne. On y trouve des esters, des acides gras et des alcools. Au cours de cette étape, la concentration en ces composés peut varier parce qu'ils s'adsorbent sur les lies des levures. Il en va de même pour les tanins, les associations tanins-protéines ou les complexes tanins-anthocyanes (dans le cas des champagnes rosés), lesquels participent à l'astringence et à la couleur des vins.

Enfin, ce qui caractérise les vieux champagnes, c'est la note empyreumatique de leurs arômes qui évoque des odeurs de torréfac-

tion, de brioche ou de pain croustillant. Ces odeurs sont dues à la formation de composés soufrés volatils (mercaptopropionate d'éthyle, furaneméthanthiol...) dont la concentration augmente avec l'âge du champagne.

Pour les vins tranquilles, comme pour les champagnes, les parfums ne résultent pas seule-

ment de la présence de molécules odorantes spécifiques, mais des interactions de tous les composés du vin. Ainsi, de nombreux paramètres physico-chimiques – acidité, teneur en alcool, en tanins, en sucres, et, bien sûr, présence de dioxyde de carbone dissous – contribuent à la complexité du bouquet perçu par le dégustateur.



La spectrométrie de masse permet de comparer la composition du champagne au cœur de la flûte (a) à celle des gouttelettes projetées lors de l'éclatement des bulles (b). Chaque pic caractérise la présence d'une molécule de masse donnée. Plus le pic est haut, plus la concentration est élevée. Ainsi, les ions moléculaires $[C_{13}H_{21}O_3]^-$ et $[C_{14}H_{25}O_2]^-$ sont très concentrées dans les gouttelettes.

concentrer à la surface de la flûte à champagne. L'aérosol, formé lors de l'éclatement des bulles à la surface, serait donc plus concentré en molécules aromatiques que le cœur du liquide. C'est ce que notre équipe a vérifié par des analyses physico-chimiques.

Nous avons analysé la composition chimique du brouillard de gouttelettes avec un spectromètre de masse à ultrahaute résolution, au Laboratoire de biogéochimie analytique du centre Helmholtz de Munich, en Allemagne. Nous avons comparé la composition chimique de ce brouillard de gouttelettes avec celle du champagne du cœur de la flûte (voir l'encadré ci-dessus). Après analyse, nous avons montré que cet aérosol est beaucoup plus concentré – parfois jusqu'à 30 fois – en plusieurs dizaines de molécules organoleptiques que le cœur de la flûte.

Parmi ces molécules, on retrouve des acides gras, des composés terpéniques et

d'autres molécules impliquées dans l'arôme des vins. Notons que le mécanisme que nous avons mis en évidence concentre les arômes jugés agréables par un dégustateur, mais aussi les arômes herbacés ou déplaisants (pour peu que les molécules responsables de ces anomalies organoleptiques soient suffisamment amphiphiles pour se lier aux bulles de dioxyde de carbone).

Des arômes dispersés un peu comme les embruns de la mer

Une analogie peut être établie entre le « pétilllement » de l'océan et celui du champagne. Le bouillonnement à la surface de l'océan résulte de l'action des vagues combinée à celle de la pluie, les deux phénomènes piégeant de l'air dans l'eau de

mer sous forme de bulles. Lorsque les bulles éclatent à la surface de la mer, elles diffusent un brouillard de gouttelettes analogue à celui du champagne.

Dès le début des années 1970, des océanographes ont établi que ces gouttelettes concentraient certaines molécules présentes dans l'eau de mer. Plus récemment, lors d'une campagne dans les océans Atlantique et Antarctique menée sur le brise-glace allemand *Polarstern*, le transport vers l'atmosphère, sous forme d'embruns, de centaines de composés organiques dissous dans l'océan a été décrit.

Tout comme les bulles de champagne dispersent des molécules aromatiques à la surface du vin, les gouttelettes produites par le pétilllement des océans, riches en composés organiques dissous, parfument l'air marin. De quoi voir d'un autre œil votre prochaine séance de dégustation d'un vin effervescent!

Le télescope spatial *James Webb*, un observatoire origami

Robert Irion

Orbite lointaine, températures glaciales, optique active et déploiement dans l'espace... D'immenses défis techniques attendent le télescope spatial *James Webb*, qui succédera à *Hubble* en 2014.

L'ESSENTIEL

✓ Le successeur du télescope spatial *Hubble*, le télescope *James Webb*, est d'un type entièrement nouveau.

✓ Avec un miroir de 6,5 mètres composé d'une mosaïque d'éléments ajustables, il collectera six fois plus de lumière que *Hubble*.

✓ Dans l'infrarouge, il observera les premières étoiles et galaxies de l'Univers, ainsi que les étoiles naissantes au sein de leur cocon de poussière.

✓ Repliés pour le lancement, son miroir et son bouclier thermique se déploieront dans l'espace, un défi technique sans précédent.

Le miroir, un hexagone parfait de couleur gris acier, est placé verticalement sur une plate-forme basse. Cette dalle de béryllium d'un peu plus de 1,20 mètre de diamètre, sculptée avec précision, luit dans la pénombre du laboratoire d'optique. Malgré ses cinq centimètres d'épaisseur, elle est étonnamment légère : elle est creuse. Les ingénieurs ont évidé son envers, ne laissant qu'un entrelacs de fines nervures. La face de béryllium poli restante ne mesure que 2,5 millimètres d'épaisseur. Il ne reste ainsi que 21 kilogrammes des 250 de départ. C'est suffisamment léger pour qu'une fusée *Ariane 5* puisse envoyer 18 éléments de miroir dans l'espace, où ils seront assemblés pour n'en former qu'un, au cœur du plus audacieux observatoire spatial jamais mis en orbite.

Le *James Webb Space Telescope* (ou JWST), développé par la NASA en partenariat avec les agences spatiales européenne et canadienne, est prévu pour succéder en 2014 au télescope spatial *Hubble*. Ce dernier, en orbite à 570 kilomètres au-dessus de la Terre depuis 1990, livre aux astronomes les vues les plus nettes de l'Univers lointain et de la naissance ou de la mort d'étoiles plus proches. Comme *Hubble*, le télescope spatial *James Webb* promet des ima-

ges saisissantes, mais avec une vue beaucoup plus lointaine. Les astronomes l'ont conçu pour scruter les débuts de l'Univers. Il pourrait repérer l'explosion des premières étoiles formées après le Big Bang, et révéler l'origine des galaxies semblables à la Voie lactée. Il regardera aussi au plus profond des nuages de poussière et de gaz, cocons où se déroule la gestation des étoiles et de leurs planètes.

Pour atteindre ces objectifs, le télescope *James Webb*, ainsi nommé en l'honneur de l'administrateur de la NASA durant l'ère *Apollo*, diffèrera radicalement de son prédécesseur. Son miroir léger aura une envergure de plus de 6,5 mètres, ce qui lui conférera une surface collectrice de lumière six fois supérieure au miroir de *Hubble*. Recouverts d'or, les 18 panneaux hexagonaux indépendants du miroir s'aligneront avec une précision d'un dix-millième de l'épaisseur d'un cheveu pour se comporter comme une surface uniforme.

La NASA mettra cet observatoire sur une orbite située bien au-delà de la Lune. En chemin, un bouclier thermique géant s'ouvrira, dont l'ombre maintiendra les instruments à une température inférieure à 55 kelvins (-218°C), afin de détecter le rayonnement infrarouge émis par les objets lointains il y a plus de 13 milliards d'années.

1. DES ÉLÉMENTS DU MIROIR du télescope spatial *James Webb* sont montés pour être testés dans une chambre ultrafroide (en haut à gauche). Chaque segment, large de 1,20 mètre, est constitué de béryllium, un matériau difficile à polir (en bas).