

# La dilution de l'ouzo avec de l'eau produit d'innombrables gouttelettes d'anéthol

L'évaporation d'une goutte d'ouzo se fait aussi par un processus d'échange de solvant, qui est intéressant et très facile à observer chez soi. Il suffit de déposer une petite goutte d'ouzo sur une surface en verre et de la regarder s'évaporer, ce qui dure une quinzaine de minutes. L'expérience est très visuelle : l'alcool s'évapore en premier et la concentration en eau augmente, jusqu'à ce que des milliers de toutes petites gouttes se forment soudainement. Nous avons réalisé cette expérience au laboratoire en 2015, pour analyser le processus en détail. C'était la première fois que l'on étudiait l'évaporation d'un mélange de trois liquides de volatilités et solubilités différentes (voir l'encadré page 63).

## UN PROCESSUS CLÉ EN MICROCHIMIE

Les travaux évoqués ici peuvent laisser penser que les chercheurs ne font que jouer inutilement avec de l'eau, de l'alcool et des boissons alcoolisées. Cette impression est tout à fait fautive. Les bulles et gouttes de surface microscopiques ainsi que le processus d'échange de solvants ont une grande importance technologique. En témoignent les quelques exemples suivants.

Un premier exemple est l'extraction liquide-liquide, c'est-à-dire le transfert d'une substance dissoute dans un solvant à un autre solvant. C'est l'un des processus centraux en génie chimique et en analyse chimique. Depuis les travaux du chimiste autrichien Fritz Pregl (prix Nobel en 1923) sur la microanalyse de substances organiques, on s'efforce de miniaturiser les procédés. La nécessité d'y parvenir est devenue plus impérieuse ces dernières années. D'une part, on voudrait détecter des traces toujours plus ténues de substances chimiques, que ce soit dans un contexte médical ou pour des études environnementales. D'autre part, cette détection doit être rapide et porter sur de petits échantillons, notamment afin de rendre les techniques d'analyse chimique plus écologiques.

Une façon d'y parvenir est la microextraction sur une seule goutte, technique dans laquelle une substance A dissoute dans l'eau, par exemple, migre peu à peu dans une goutte d'un solvant organique (par exemple du tétrachlorure de carbone) ayant une solubilité beaucoup plus élevée pour A, cette goutte étant maintenue dans la solution aqueuse. La goutte de solvant organique est ensuite extraite et analysée. Cependant, ce procédé est généralement lent et son efficacité est faible.

Ces limitations ont été élégamment surmontées grâce à la microextraction liquide-liquide dispersée (DLLME, pour *dispersive liquid-liquid microextraction*) inventée il y a seulement une dizaine d'années. Dans cette technique, on fait intervenir un troisième liquide qui se mélange bien avec l'eau et le tétrachlorure de carbone, par exemple l'éthanol. Si l'on verse une goutte de mélange de tétrachlorure de carbone et d'éthanol dans l'eau contenant la substance A à extraire, des nanogouttes et microgouttes de tétrachlorure de carbone se forment instantanément au cours de ce processus d'échange de solvant, comme le ferait l'anéthol lorsqu'on dilue une goutte d'ouzo dans de l'eau. Ces minuscules gouttelettes de solvant organique permettent d'extraire la substance A très efficacement, grâce à la très grande surface de contact offerte par l'ensemble des gouttelettes.

Une bonne compréhension et un bon contrôle des processus diffusifs dans et autour des bulles et gouttelettes microscopiques peuvent même sauver des vies. En chirurgie à cœur ouvert, la circulation sanguine est souvent découplée du cœur et maintenue par une machine cœur-poumon, où le sang est considérablement refroidi. Or, comme dans l'eau, l'air se dissout davantage dans le sang froid que dans le sang chaud. Lorsqu'on réchauffe le patient après l'opération, un processus d'échange de solvant a lieu, d'où la formation possible de nanobulles et microbulles (de surface), ce qui peut altérer considérablement l'apport sanguin par endroits. Ici aussi, il est essentiel de bien comprendre la nucléation des bulles pour éviter ce phénomène.

L'électrolyse et la catalyse, enfin, sont d'autres exemples de processus où des bulles microscopiques peuvent se former, en l'occurrence à la surface des électrodes ou du catalyseur, et nuire ainsi considérablement à l'efficacité des réactions. Comment empêcher l'apparition de ces bulles ou s'en débarrasser ? Cela me semble être un autre domaine de recherche très prometteur pour la physique des fluides. La compréhension des nanobulles et nanogouttes de surface n'est donc qu'un premier pas vers la construction d'un pont reliant la dynamique moderne des fluides au génie des procédés physicochimiques et à la chimie des colloïdes. ■

## BIBLIOGRAPHIE

X. Zhu et al., **Diffusive interaction of multiple surface nanobubbles : shrinkage, growth, and coarsening**, *Soft Matter*, vol. 14, pp. 2006-2014, 2018.

H. Tan et al., **Evaporation-triggered microdroplet nucleation and the four life phases of an evaporating Ouzo droplet**, *PNAS*, vol. 113(31), pp. 8642-8647, 2016.

D. Lohse et X. Zhang, **Surface nanobubbles and surface nanodroplets**, *Reviews of Modern Physics*, vol. 87, pp. 981-1035, 2015.

X. Zhang et al., **Mixed mode of dissolving immersed nanodroplets at a solide-water interface**, *Soft Matter*, vol. 11, pp. 1889-1900, 2015.