

Le plus grand nombre entier

Les mathématiciens de l'Université de Nancago ont enfin trouvé le plus grand nombre entier : à la surprise générale, c'est le nombre 1. En effet, remarquons, tous les carrés d'un nombre sont supérieurs à ce nombre, sauf le carré de 1 qui est égal à 1. Ainsi puisqu'il existe un plus grand nombre entier, c'est 1, remarquablement petit. CQFD.

Repos néandertalien

Les Néandertaliens, qui ont peuplé l'Europe il y a entre 200 000 et 30 000 ans, avaient semble-t-il découvert conjointement l'art du nouage et de la sieste. L'archéologue Michel Cartoni a découvert en Corse des empreintes de filets, fossilisées dans de l'argile. Des trous de poteaux, dont la hauteur a été évaluée à 1,50 mètre, espacés d'environ deux mètres ayant été repérés sur le site, on pense à des sortes de hamacs.

Où a eu lieu le Big Bang?

Tous les objets célestes s'éloignent les uns des autres à une vitesse proportionnelle à leurs distances respectives. Ainsi va l'expansion de l'Univers. Connaissant les vitesses actuelles des étoiles et galaxies les astrophysiciens de l'Université de l'énergie cosmique ont eu la bonne idée de repasser le film à l'envers et de déterminer où était l'Univers au moment du Big Bang. Et bien, l'Univers a été créé exactement à l'endroit où se trouvaient les astronomes calculateurs. Quelle chance. N'importe quel scientifique, quel que soit le laboratoire qu'il occupe, est au centre du monde. Mais n'en était-il pas déjà persuadé?

La bande à Möbius

L'édition des œuvres de Möbius a permis de découvrir une tranche de vie topologique. Le chien de Pavlov, raconte Möbius, courait sur le côté de la bande de papier translucide qui constituait son Univers, sans pouvoir passer de l'autre côté, où vivait le chat de Schrodinger, à la fois mort de peur et fou d'intérêt (état intermédiaire dont il était familier). Le mathématicien Möbius se saisit de la bande, la coupa, la tordit d'un demi tour, et réunit les deux bords. La bande n'avait alors plus qu'un côté et les deux animaux partageaient le même univers. Hélas, le chien et le chat ne s'entendirent pas. Möbius, agacé par leurs querelles, réédita l'opération de coupe et de torsion, et fit disparaître l'unique côté subsistant, de même que les animaux querelleurs

Mayonnaise sans effort

L'éclatement de vésicules produit des émulsions.

La mayonnaise ne s'obtient qu'au prix d'un mélange vigoureux : l'énergie mécanique apportée sert à diviser le filet d'huile en gouttelettes qui sont alors dispersées dans l'eau du jaune d'œuf et du vinaigre. D'autres émulsions sont spontanées et se forment sans apport d'énergie. Nous avons analysé un mécanisme qui conduit à de telles émulsions.

Dans la mayonnaise, une stabilité relative est apportée par les molécules tensioactives du jaune d'œuf, qui viennent tapisser la surface des gouttelettes d'huile : ces molécules ont une extrémité (tête hydrophile) qui se dissout dans l'eau, tandis que l'autre (chaîne hydrophobe) ne s'y dissout pas. De ce fait, elles facilitent le contact entre l'eau et l'huile. Certains tensioactifs diminuent la tension de surface entre l'eau et l'huile (qui détermine l'énergie nécessaire à leur mise en contact) d'un facteur 10 000.

Nous avons étudié l'émulsification spontanée dans un système où la tension de surface peut être réduite de façon continue jusqu'à des valeurs extrêmement faibles. Ce système est constitué d'un mélange d'eau salée et d'une molécule tensioactive nommée AOT, qui contient une tête hydrophile et deux chaînes hydrophobes. Lorsque l'AOT est ajouté à la solution d'eau salée, il s'y dissout et les molécules d'AOT restent dispersées tant que la concentration est inférieure à une concentration critique. Au-delà de cette concentration, si l'on ajoute encore des molécules d'AOT, celles-ci se regroupent en vésicules de diamètre de l'ordre de 20 micromètres ; les parois de ces vésicules sont alors des doubles couches de molécules d'AOT.

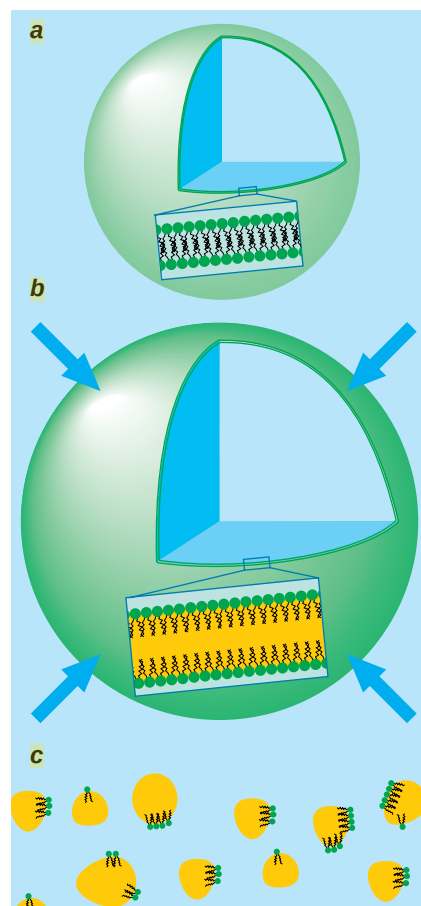
Après avoir obtenu une solution qui contenait beaucoup de vésicules, nous introduisons une gouttelette d'huile à l'aide d'une micropipette. Lorsqu'une vésicule entre au contact de l'huile, la bicouche se désorganise et un pore s'ouvre laissant entrer l'huile : cette dernière pénètre dans la paroi de la vésicule, entre deux couches de chaînes hydrophobes.

En raison de la préférence des chaînes hydrophobes pour l'huile, la concentration de molécules d'AOT isolées en solution décroît en présence d'huile. Ainsi, dans le voisinage de la goutte d'huile injectée, la concentration d'agrégation critique en AOT est inférieure à ce qu'elle est dans la vésicule, où l'huile ne pénètre pas.

Comme les systèmes physiques évoluent de sorte que les concentrations en diverses molécules soient égales partout, l'eau diffuse spontanément ; et comme les molécules d'AOT sont immobilisées dans les parois, les molécules d'eau pénètrent dans les vésicules. Les vésicules gonflent et finissent par éclater comme des bulles de savon, dispersant l'huile de leurs membranes dans la solution aqueuse sous la forme de petites gouttelettes : l'émulsion est formée.

Ainsi, l'émulsification spontanée disperse des microgouttelettes d'huile dans la solution, ce qui fait décroître la concentration d'agrégation critique loin de la gouttelette initiale : d'autres vésicules éclatent et l'émulsification se propage dans toute la solution.

Nous avons utilisé différents types d'huiles. Avec des huiles dont les chaînes sont courtes (comme l'octane, C_8H_{18}), l'émulsification se produit très rapide-



Dans une solution d'eau salée, l'addition de molécules tensioactives d'AOT engendre, au-dessus d'une certaine concentration, la formation de vésicules dont les parois sont des bicouches d'AOT (a). Lorsque l'on ajoute de l'huile à la solution, elle s'incorpore à la bicouche des vésicules (b). Les vésicules se remplissent alors d'eau, car la concentration en AOT à l'intérieur est supérieure à la concentration à l'extérieur. Finalement, la vésicule éclate et pulvérise l'huile dans la solution (c).

ment, alors qu'avec des huiles aux chaînes longues (comme le dodécane $C_{12}H_{26}$), elle est très lente. Pourquoi ces différences ? Parce que les chaînes courtes, contrairement aux chaînes longues, sont très semblables aux chaînes hydrophobes des molécules tensioactives. Elles sont en conséquence de très bon solvants pour les chaînes hydrophobes du tensioactif.

Ce mécanisme d'émulsification spontanée fait intervenir l'architecture moléculaire des tensioactifs : les vésicules sont

composées de molécules ayant deux chaînes hydrophobes, mais nous étudions aujourd'hui des solutions avec des molécules tensioactives à une seule chaîne hydrophobe.

Dans l'industrie apparaissent des «concentrés auto-émulsionnables» où le mélange est inutile. La compréhension des mécanismes d'émulsification spontanée aidera-t-elle à les améliorer

Noushine SHAHIDZADEH,
Laboratoire de physique statistique,
École normale supérieure, Paris.

Les voies de l'hydrogène

Elles ne sont plus impénétrables : dans les molécules qui assurent ses transformations chimiques, l'hydrogène emprunte un réseau de canaux.

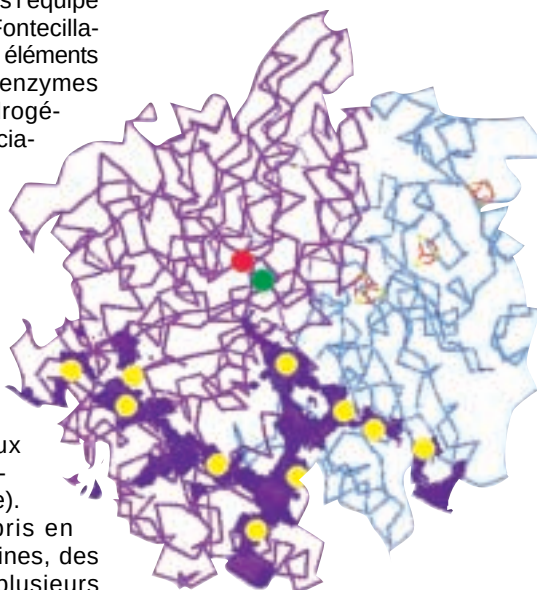
Dans les organismes vivants, les mécanismes de transport restent encore partiellement mystérieux : comment les molécules passent-elles d'une cellule à l'autre ou, au sein d'une même cellule, d'un compartiment à l'autre, du milieu cellulaire à l'intérieur du noyau ? Comment un gaz parvient-il à diffuser de la surface d'une protéine jusqu'à son cœur, où siègent des réactions chimiques ? Dans l'équipe CEA-CNRS UPR 9015 de Juan Fontecilla-Camps, nous avons obtenu des éléments de réponse en étudiant des enzymes bactériennes, nommées hydrogénases, qui catalysent la dissociation de la molécule gazeuse d'hydrogène en deux protons et deux électrons, ou bien, au contraire, la production d'hydrogène à partir de protons et d'électrons : le gaz ne diffuse pas au hasard dans la molécule, mais suit des chemins bien précis (chez certaines bactéries qui vivent dans des milieux dépourvus d'oxygène, l'hydrogène est une source d'énergie).

Les gaz sont souvent pris en charge par des métalloprotéines, des protéines contenant un ou plusieurs atomes métalliques. Certaines catalysent des réactions où interviennent ces gaz, par exemple, la réduction de l'oxygène en eau ou de l'azote de l'air en ammoniac. Dans tous les cas, les réactions ont lieu dans une région particulière de l'enzyme, son site actif : c'est là que le gaz se fixe pendant le transport ou qu'il est transformé. Pour

étudier la façon dont les gaz diffusent dans les protéines, nous avons analysé des cristaux d'une hydrogénase, au moyen du faisceau de rayons X du synchrotron de Grenoble.

Jusqu'à présent, on admettait que, dans les protéines, les atomes bougent suffisamment autour de leur position d'équilibre pour que les gaz puissent se faufiler jusqu'au site actif ou s'en échapper, surtout dans le cas de l'hydrogène, de très petite taille. Or, l'analyse détaillée de la structure tridimensionnelle d'une hydrogénase obtenue par diffraction des rayons X a révélé l'existence d'un réseau de canaux reliant la surface de la protéine au site actif enfoui au cœur de la molécule.

Ces canaux forment un réseau interconnecté et ont un caractère hydrophobe



Le xénon pénètre dans la molécule d'hydrogénase par des canaux (en violet) où sont répartis plusieurs sites de fixation du gaz (les sphères jaunes). La protéine a été représentée par sa chaîne d'acides aminés (une des deux sous-unités est en bleu, l'autre en violet). Les deux sphères centrales indiquent la position du site actif, où sont présents un atome de nickel (en vert), et un atome de fer (en rouge).