

Des crustacés, de l'oxygène et du sel

Même avec un sang bien oxygéné, des crustacés peuvent mourir asphyxiés.

La mortalité des poissons ou autres espèces aquatiques, attribuée au manque d'oxygène, dans les eaux saumâtres des estuaires et des baies, a augmenté partout dans le monde. Naguère, seules les zones confinées, tels les fonds de lagunes, étaient en proie au printemps et en été à des «crises d'asphyxie» résultant d'une trop forte production de végétaux marins. Aujourd'hui, les rejets excessifs de fertilisants contenus dans les engrais et les détergents phosphatés entraînent une surproduction de matières organiques qui, après dégradation par les bactéries, aboutit à une surconsommation d'oxygène.

Cette augmentation de la mortalité est d'autant plus impressionnante que l'on a découvert que, chez de nombreux animaux aquatiques (crustacés, mollusques et poissons), la concentration en oxygène dissous dans le sang est bien inférieure à celle des animaux qui respirent de l'air, même lorsque l'eau est

bien oxygénée. En revanche, nous avons montré que certaines espèces sont menacées quand la concentration en oxygène de l'eau et sa salinité sont simultanément faibles, car le peu d'oxygène présent dans le sang n'est pas toujours disponible pour les tissus.

On savait que, lorsqu'il y a beaucoup d'oxygène dans l'eau et que les animaux sont au repos et à jeun, leur ventilation (le passage de l'eau dans les branchies) diminue pour que leur sang ne soit pas mieux oxygéné. La question se posait : la concentration en oxygène dissous dans le sang participe-t-elle à la modulation du comportement des animaux aquatiques ? Pour le savoir, nous avons étudié le homard *Homarus gammarus*, en travaillant sur une partie de son système nerveux central, le ganglion stomatogastrique, qui contient 30 neurones parfaitement connus. Ce ganglion commande les mouvements de mastication de l'estomac et ceux de filtrage du pylore avant l'entrée des aliments dans les intestins. Chacun des 30 neurones agit sur des muscles spécifiques de ces deux organes.

Avec des collègues de l'Unité CNRS-UMR 5816, nous avons enregistré l'activité des muscles qui commandent l'estomac et le pylore en y implantant des électrodes de façon permanente, sur des animaux libres. Lorsque l'animal est au repos et à

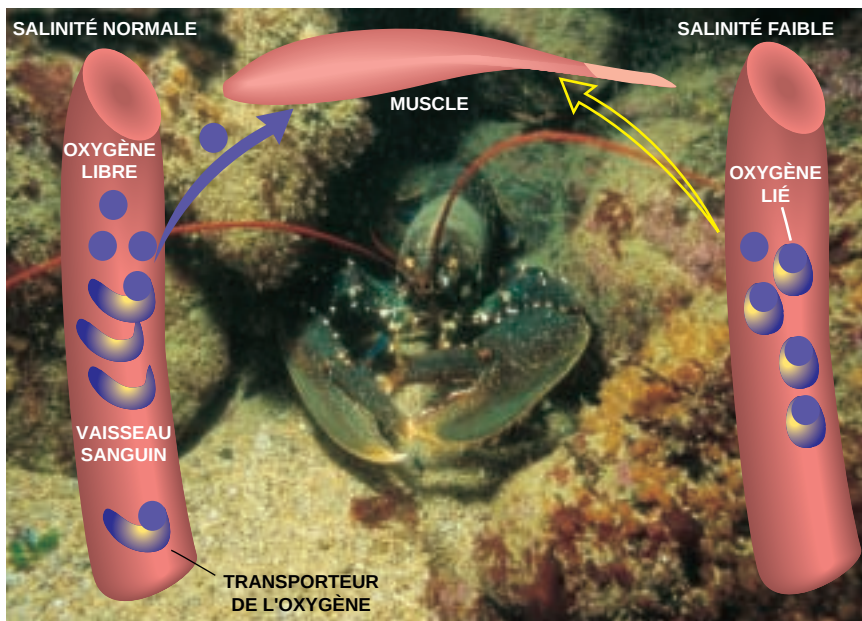
jeun, son métabolisme est lent, les concentrations en oxygène sont faibles et les activités de l'estomac et du pylore sont lentes et synchronisées. Lorsqu'il mange, différents paramètres augmentent : la ventilation, la concentration en oxygène dans le sang et dans le cerveau, l'activité des muscles masticateurs de l'estomac et filtreurs du pylore qui sont alors désynchronisées (comme en témoigne l'enregistrement des électrodes).

Quand on diminue modérément la concentration en oxygène du milieu où baigne le homard, après la prise de nourriture (en enrichissant, par exemple, l'eau en azote), on constate que l'activité des muscles du pylore ralentit et redevient synchronisée avec celle des muscles de l'estomac, comme avant le repas.

Nous avons également étudié le fonctionnement du ganglion stomatogastrique isolé *in vitro* et placé dans une artère en verre perfusée par une solution physiologique adaptée. Nous avons placé des microélectrodes sur les neurones correspondant aux muscles gastriques et pyloriques que nous avions étudiés sur l'animal libre, et nous avons enregistré leur activité électrique en reproduisant les modifications d'oxygénation qui existent avant et après un repas. Ces enregistrements sont identiques à ceux que nous avons obtenus sur l'animal vivant. Ainsi, l'oxygénation modifie l'activité de réseaux de neurones et, par conséquent, celle des muscles qu'ils commandent : l'oxygène est un neuromodulateur du comportement qui agit sur le cerveau au même titre que d'autres médiateurs connus, telles la sérotonine ou les catécholamines.

Bien que la quantité d'oxygène disponible dans certaines eaux saumâtres soit suffisante, divers crustacés, tels le crabe vert *Carcinus maenas*, qui peuple les côtes françaises, et la crevette *Peneaus japonicus* (notamment étudiée par Claude Soyez d'IFREMER Tahiti) risquent de mourir par manque d'oxygène. Pourquoi ? Par manque de sel ! Jean-Paul Truchot, dans notre laboratoire, a montré que leur pigment respiratoire a une affinité pour l'oxygène qui augmente quand la salinité diminue : sa configuration change et l'oxygène y est plus fortement fixé.

Lorsque la salinité décroît jusqu'à dix grammes de chlorure de sodium par litre, et que l'eau est peu oxygénée, cette affinité assure une concentration totale en oxygène (fixé et dissous) éle-



Chez de nombreux crustacés, l'oxygène est véhiculé dans le sang par un transporteur (à gauche), dont la configuration change quand la salinité de l'eau devient trop faible (à droite) : l'oxygène, piégé, n'est plus relargué dans les tissus et l'animal risque de mourir asphyxié.

vée, et l'animal au repos dispose d'une réserve sanguine d'oxygène suffisante. Pourtant, lorsque la salinité continue à diminuer et que l'affinité du transporteur pour l'oxygène continue à augmenter, il y a un sérieux revers à la médaille!

Il faut que l'animal puisse libérer l'oxygène dans ses tissus : cette tâche est d'autant plus difficile que la fixation sur le transporteur est forte. Quand l'affinité est excessive, l'oxygène est si fortement fixé à sa molécule transporteuse qu'il ne peut plus quitter les artérioles en quantité suffisante pour approvisionner les tissus. Avec un métabolisme activé, un crabe peut mourir asphyxié même si sa concentration sanguine totale en oxygène est normale.

Ainsi, pour le crabe vert, lorsque la salinité est égale au quart de la normale (environ neuf grammes de chlorure de sodium par litre) et qu'il est à jeun, la quantité d'oxygène libérée du sang vers les cellules est suffisante. Au contraire, après une prise alimentaire où la demande cellulaire double, l'oxygène n'est plus libéré à une vitesse suffisante. Sans augmentation de salinité, laquelle diminue l'affinité du transporteur pour l'oxygène, ou réoxygénation de l'eau, qui entraîne une augmentation de la concentration sanguine d'oxygène libre, la mort est alors inévitable.

J.-C. MASSABUAU et A. LEGEAY
CNRS - UMR 5805- Université Bordeaux I

BRÈVES

Empilement de sphères

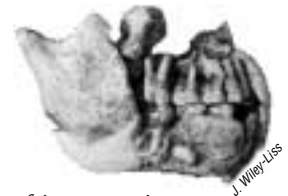
La plus vieille conjecture de la géométrie semble démontrée : après quatre siècles de recherche, T. Hales et M. Ferguson, de l'Université du Michigan, ont annoncé la résolution du problème de Kepler : l'empilement le plus dense de sphères identiques dans tout l'espace est l'empilement régulier cubique à faces centrées, celui des boulets de canons et des oranges. La démonstration – de 350 pages – qui utilise l'informatique pour partie, est aujourd'hui proposée pour vérification.

Un nouveau VIH

Un nouveau variant de virus responsable du SIDA a été identifié par F. Simon et ses collègues de l'Hôpital Bichat. Les virus VIH1 se répartissent en deux groupes, le M et le O. Les isolats du groupe M sont les principaux agents responsables de la pandémie mondiale, tandis que ceux du groupe O sont cantonnés quasi exclusivement au Cameroun. D'après les analyses phylogéniques, le nouveau virus, découvert au Cameroun, est un virus intermédiaire entre le VIH1 et le virus SIV qui infecte le chimpanzé ; il aurait franchi la barrière d'espèce.

Grand puzzle

En 1983, l'équipe d'A. Hughes avait découvert une quarantaine de fragments d'os et de dents à Sterkfontein, en Afrique du Sud, dans un terrain daté entre 2 et 2,6 millions d'années. J. Moggi-Cecchi, à l'Université de Florence, a reconstitué le puzzle : tous ces fragments appartiennent à un australopithèque de l'espèce *Australopithecus africanus*, qui était âgé de cinq ans environ.



J. Wiley-Liss

Le temps de demain

Aujourd'hui, ce sont les horloges atomiques qui égrènent les secondes avec le plus de précision. Toutefois, les atomes de césium de ces horloges, qui oscillent entre deux configurations, interagissent, ce qui finit par modifier le rythme. Une équipe de l'Université de Boulder vient de concevoir la première horloge fondée sur les battements d'un condensat de Bose-Einstein : les atomes sont tous dans le même état quantique, de sorte qu'aucune perturbation ne rompt le rythme imperturbable de l'horloge.

Suite page 24

Vitraux visqueux ?

Contrairement à une idée répandue, le verre ne coule pas à température ambiante.

Si les vitraux sont plus épais dans leur partie inférieure, c'est que le verre dont ils sont constitués se comporte comme un liquide très visqueux : il coule. Cette affirmation répandue, au point qu'on la retrouve dans certains ouvrages scolaires et dans des cours d'histoire de l'art, est erronée. À température ambiante, la viscosité du verre est telle que ce matériau peut être considéré comme un solide et ne s'écoule pas, même après des milliers d'années.

La viscosité mesure la vitesse d'écoulement d'un fluide. Par un trou de diamètre donné, un fluide coulera d'autant

plus lentement qu'il est visqueux. Le miel, par exemple, est plus visqueux que l'eau.

Quelle est la différence entre la viscosité du verre liquide, et celle du fer liquide ? Dans du fer en fusion, la viscosité est quasi constante. Si l'on refroidit un tel liquide à une température inférieure à la température de fusion, la cristallisation se produit brusquement : les molécules s'organisent en un réseau rigide. Aux températures inférieures au point de fusion, les molécules oscillent autour de leur point d'équilibre, mais les liaisons sont rigides, même à proximité du point de fusion.

En revanche, à mesure que le verre liquide refroidit, sa viscosité augmente. Lorsque la température diminue, un sirop épais se forme et l'on obtient finalement un solide amorphe. Dans ces solides, les molécules ne sont pas rangées de manière ordonnée, comme dans un cristal, mais la cohésion est suffisante pour maintenir la rigidité. Le solide amorphe est donc caractérisé par une viscosité qui croît rapidement lorsque la température diminue.

Comment mesure-t-on une viscosité à température ambiante ? Pour les «objets» liquides à température ambiante, la tâche est plutôt aisée : il suffit de mesurer la vitesse d'écoulement. Pour un matériau comme le verre, la tâche est plus délicate : on ne peut pas attendre des millions d'années qu'un litre de verre daigne s'écouler. Aussi, estime-t-on la viscosité du verre en extrapolant la viscosité mesurée à haute température, lorsqu'il est liquide, ou par l'utilisation de modèles empiriques.

En pratique, les mesures de la viscosité du verre liquide utilisent un visco-élastomètre : cet appareil enregistre la réaction du fluide à une vibration mécanique. En répétant la mesure avec du verre liquide à plusieurs températures



CNRS-Dereimble

L'épaisseur des vitraux est variable, mais la partie inférieure de chaque morceau n'est pas toujours la plus épaisse.

La Terre gelée

Il y a 700 millions d'années, les océans terrestres auraient été, à plusieurs reprises, entièrement pris par les glaces : c'est l'hypothèse qu'avancent Paul Hoffman et ses collègues de l'Université Harvard pour expliquer le quasi arrêt de l'activité biologique qu'ils observent dans des sédiments de cette période prélevés en Namibie. La Terre ne serait sortie de son hibernation que grâce à une intense activité volcanique qui aurait augmenté la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone, gaz à effet de serre.

Les anneaux de Jupiter

Les sondes *Voyager*, lancées dans les années 1970, avaient révélé l'existence d'anneaux autour de Jupiter. La sonde



Galileo, en orbite depuis deux ans et demi autour de la planète géante, les a observés de plus près : les poussières qui composent les quatre anneaux proviennent des

plus petits satellites de Jupiter, Adrasteé, Métis, Amalthée et Thébé. Elles en ont été arrachées par les nombreuses collisions météoritiques qu'ils subissent.

Tourbe conservatrice

Une tourbière du Jura suisse a enregistré la concentration en plomb dans l'atmosphère depuis plus de 12 000 ans. W. Shotyk et ses collègues de l'Université de Berne y ont retrouvé les dates d'événements climatiques, telle la glaciation du Dryas récent, il y a 10 000 ans ; géologiques, telles les dernières éruptions volcaniques du Massif central, il y a 8 200 ans ; et historiques, telle l'apparition de la métallurgie du plomb, il y a 3 000 ans. On trouve aussi des traces de l'importation massive de minerai australien en Europe, depuis le début du XX^e siècle : le rapport des différentes formes du plomb varie.

Fausse gueule de bois

Comment réduire les accidents de la route dus à l'alcool ? En trompant le consommateur sur la quantité d'alcool absorbée. Deux chimistes suisses ont découvert que le galangal, une racine qui pousse en Asie occidentale, renforce le degré d'alcool apparent des boissons peu alcoolisées. Ils ont synthétisé des molécules identiques au composé actif de la racine. Lors de tests, les volontaires ont déclaré que les boissons qui contenaient ces molécules semblaient plus fortes que des boissons qui en étaient exemptes.

Suite page 26

et à plusieurs fréquences de vibration, on obtient une courbe de la viscosité en fonction de la température que l'on peut prolonger vers la température ambiante.

L'autre méthode consiste à modéliser, à l'aide de lois empiriques, le comportement fluide du verre à basse température. Ainsi, Edgar Zanetto, de l'Université de Sao Carlos, au Brésil, utilise l'expression empirique de la viscosité de Vogel-Fulcher-Tamman, établie dans les années 1930. Dans cette expression, le logarithme de la viscosité augmente de manière inversement proportionnelle à la température, avec des coefficients qui dépendent de la composition du verre. E. Zanetto a alors calculé ces coefficients numériques pour un verre médiéval qui provient de la cathédrale Saint-Gatien, à Tours.

Quelle que soit la méthode utilisée, les résultats sont semblables : on n'observe pas d'écoulement notable, à moins de chauffer le vitrail à plus de 400 °C. À température ambiante, le temps de relaxation visqueuse, c'est-à-dire le temps après lequel on observe un écoulement, est égal à 10^{32} ans, bien supérieur à l'âge de l'Univers !

Même si l'on considère que l'adjonction d'impuretés diminue la viscosité de quelques ordres de grandeur, le temps de relaxation reste trop grand. Le fait que dans les musées, les vases de verre, parfois vieux de 2 000 ans, ne coulent pas, corrobore ce résultat.

La caractéristique principale des vitraux médiévaux est leur irrégularité et le fait que leur épaisseur n'est pas constante, car, à l'époque de leur fabrication, ils étaient aplatis à la main. L'observation d'une épaisseur supérieure dans la partie inférieure des vitraux est-elle fondée ? Selon Jean-Jacques Burck, du Laboratoire des monuments historiques, à Champs-sur-Marne, on observe que les morceaux de vitraux sont placés dans tous les sens, avec la partie épaisse tantôt vers le haut, tantôt vers le bas ou sur le côté. Le mythe des vitraux coulant est mort.

Des expériences montrent cependant que le verre peut se déformer à température ambiante, de la même façon qu'un cristal, mais par un mécanisme élastique réversible, différent de la relaxation visqueuse. Au laboratoire de recherche de Saint-Gobain, René Gy a posé une charge de 400 kilogrammes sur une plaque de verre de quatre mètres de long et de 19 millimètres d'épaisseur. La plaque s'est initialement déformée, puis, au fil des jours, la déformation a augmenté de un pour cent de la flèche initiale. Après 200 jours, la charge a été retirée et la plaque est revenue lentement à son état de départ, quand aucune charge ne pesait sur elle.

Du soleil... sous les vignes

Les vignes reçoivent de la lumière solaire réfléchie par un revêtement posé sur le sol.

Les vendanges seront-elles bonnes ? L'ensoleillement a-t-il été suffisant ? Chaque année à la même époque, les viticulteurs se posent ces questions et y répondent en général positivement. Une innovation récente, la «solarisation artificielle», amplifie la quantité de lumière solaire reçue par les grappes. La lumière qui atteint le sol est renvoyée vers la plante par un revêtement réfléchissant.

Depuis 1991, le Laboratoire de biochimie métabolique de l'Institut des produits de la vigne, à Montpellier, étudie la maturation des grappes de raisin. Une partie de la lumière solaire est absorbée par le sol sans servir à leur maturation. Comment recycler cette lumière perdue, la renvoyer vers la plante ? Des viticulteurs, dans certaines régions, posaient traditionnellement sur le sol



Le revêtement réfléchissant est posé au pied des vignes.