

d'eau, s'ajoute la valeur de la pression atmosphérique, soit un bar : à dix mètres, le plongeur subit une pression absolue de deux bars ; à 60 mètres, la profondeur maximale atteinte lors des plongées en bouteille, la pression est de sept bars. Par conséquent, en profondeur, on respire l'air ou les mélanges gazeux utilisés dans les bouteilles à une pression élevée. À la pression atmosphérique, la composition de l'air étant de 79 pour cent d'azote et de 21 pour cent d'oxygène, la pression partielle d'azote respiré est de 0,79 bar et celle de l'oxygène de 0,21 bar. À dix mètres, la pression partielle d'azote est égale 1,58 bar et celle de l'oxygène de 0,42 bar. Or, selon la loi de Henry, la quantité de gaz dissous dans le sang augmente avec sa pression partielle. En profondeur, la quantité d'oxygène, et surtout d'azote, dans le sang et dans les tissus (et dans le cerveau) augmente jusqu'à atteindre la saturation, c'est-à-dire jusqu'à ce que la pression en gaz dans les organes soit égale à celle du milieu environnant. Cette élévation de la pression d'azote est responsable des symptômes du plongeur...

En 1935, un médecin de la marine américaine, Albert Behnke, a relié les symptômes observés en profondeur au pouvoir narcotique de l'azote sous pression, c'est-à-dire à sa capacité de déclencher les symptômes associés à la narcose. À partir de 30 mètres de profondeur (soit quatre bars), le plongeur se sent détendu, un peu perdu au milieu des poissons et il a quelques difficultés à nager. Plus il descend, plus les troubles s'accroissent : il a des vertiges, des nausées, des hallucinations et est de plus en plus désorienté. C'est la narcose à l'azote. Les plongeurs sont plus ou moins sensibles au pouvoir narcotique de l'azote, et les symptômes disparaissent dès que l'on remonte. Comment expliquer de tels troubles ? Depuis plusieurs années, on étudie, en laboratoire, les effets de l'azote sous pression grâce à des caissons hyperbares, où l'on peut élever progressivement la pression, reproduisant les conditions d'une descente sous l'eau. On a ainsi constaté que plus la pression augmente plus la personne présente des modifications de son humeur, un ralentissement de ses mouvements et même une diminution de ses performances intellectuelles. Ces symptômes sont ceux de la narcose aux

gaz inertes, regroupant l'azote, le xénon, le krypton, l'hydrogène, le néon ou encore l'hélium.

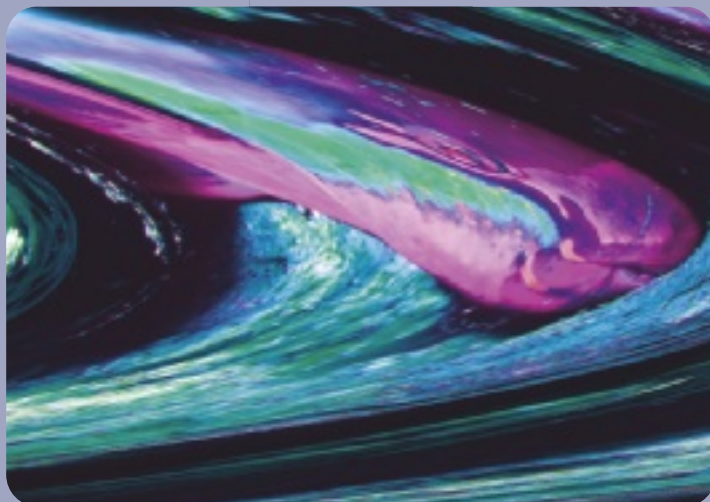
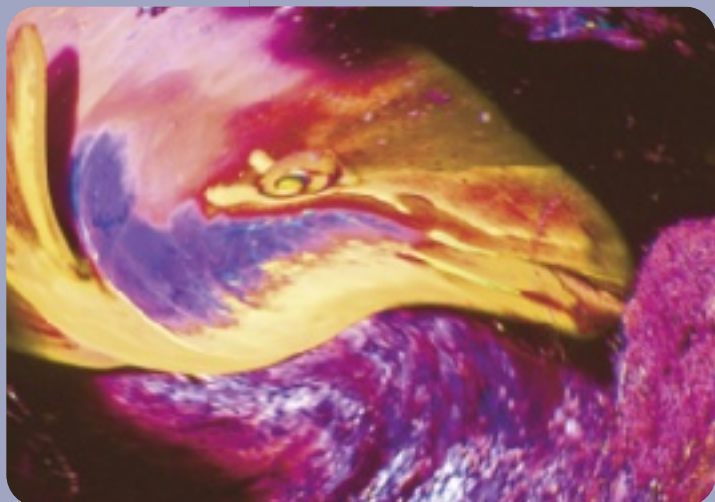
Contrairement à l'oxygène, un gaz inerte n'est pas métabolisé par l'organisme, c'est-à-dire qu'il n'entre dans aucune réaction biochimique. L'azote se dissout dans les tissus de l'organisme en fonction de sa pression partielle. A. Behnke a étudié la solubilité des gaz inertes dans les graisses – les lipides – qui constituent les membranes des cellules, afin de relier leur pouvoir narcotique à leurs propriétés physiques. Trois gaz inertes, plus solubles dans les lipides que l'azote, sont aussi plus narcotiques : le xénon, très narcotique à la pression atmosphérique, le krypton, qui entraîne des vertiges, et l'argon. Trois autres gaz inertes sont moins solubles dans les lipides que l'azote : l'hydrogène, deux à trois fois moins narcotique, le néon, trois fois moins narcotique, et enfin l'hélium qui n'a presque pas de pouvoir narcotique.

La narcose aux gaz inertes

Donc plus un gaz est soluble dans les lipides, plus il est narcotique. Pour éviter la narcose, l'azote des mélanges respiratoires des plongeurs a été remplacé par de l'hélium, le gaz inerte le moins narcotique. Grâce à ces mélanges hélium-oxygène où la pression partielle d'oxygène est maintenue à des valeurs acceptables (0,4 bar en général), des pressions correspondant à des profondeurs supérieures à 100 mètres sont atteintes en caisson hyperbare, sans signe de narcose.

Qui plus est, les plongeurs professionnels, travaillant sur des plates-formes pétrolières par exemple, reçoivent de la surface les mélanges hélium-oxygène dans leur tourelle de plongée, car ils travaillent à 100, voire 200 mètres de profondeur. Mais, sous ces fortes pressions et malgré l'absence de gaz narcotique dans les mélanges respiratoires, des troubles comportementaux apparaissent : le plongeur tremble, ne contrôle plus ses gestes, a des contractions musculaires involontaires et peut même somnoler. Ces troubles sont

1. Quand un plongeur subit une narcose à l'azote, il perd le sens de la réalité et du danger. Il a parfois des hallucinations visuelles, voyant les poissons changer de couleurs et de formes, tel ce poisson-perroquet.



différents de ceux de la narcose et sont regroupés sous le terme de syndrome nerveux des hautes pressions, SNHP. Ces symptômes sont d'autant plus intenses que la vitesse de compression est rapide et que la profondeur augmente.

Ainsi, il existe deux types de troubles : la narcose aux gaz inertes (dès quatre ou cinq bars de pression absolue) que subit le plongeur de loisir qui respire de l'azote sous pression, et le syndrome nerveux des hautes pressions (dès dix bars), observé chez les professionnels soumis à des pressions très élevées. Les symptômes de la narcose se caractérisent plutôt par une diminution de l'activité motrice et des capacités de réflexion, alors que ceux du syndrome nerveux des hautes pressions correspondent à une hyperexcitabilité motrice et nerveuse. Ces troubles neurologiques supposent que les gaz sous pression perturbent la communication entre les neurones, c'est-à-dire la libération de certains neurotransmetteurs, des molécules qui assurent ces communications. Nous examinerons deux théories qui tentent d'expliquer ces

symptômes : la théorie lipidique et la théorie protéique. Au début des années 1970, on observe que la pression s'oppose au pouvoir narcotique de l'azote : c'est la théorie lipidique, où le gaz aurait un mécanisme dit d'action diffuse. A. Behnke a montré que le pouvoir narcotique d'un gaz est lié à son affinité pour les lipides : en saturant la bicouche lipidique des membranes cellulaires, les gaz narcotiques augmenteraient localement son volume et la déformeraient (voir la figure 2).

La théorie lipidique

Dans le cerveau, cette dilatation de la partie lipidique de la membrane des neurones perturberait la propagation de l'influx nerveux. Elle entraverait alors la libération des neurotransmetteurs et l'activité des récepteurs sur lesquels se fixent ces molécules. Les symptômes de la narcose surviendraient quand la propagation de l'information est notablement réduite. En revanche, de fortes pressions, dont les

Qu'est-ce qu'un accident de décompression ?

Les plongeurs, de loisir ou professionnels, et les travailleurs en caisson hyperbare – les hyperbaristes – sont exposés à de fortes pressions partielles de gaz inertes, ce qui peut entraîner une narcose. Mais ces gaz sont aussi responsables des pathologies liées à la décompression.

Lors d'un séjour sous forte pression, le sang traversant les poumons – des échangeurs de gaz performants – se sature en gaz inertes en fonction de leurs pressions partielles alvéolaires (selon la loi de Henry, la quantité de gaz dissous augmente avec la pression). Le sang artériel répartit de façon hétérogène les gaz inertes dans tous les tissus, et ce jusqu'à saturation si l'exposition est suffisamment longue (24 à 48 heures pour l'azote ou l'hélium). Les aviateurs et les astronautes sont aussi concernés lorsqu'ils sont décompressés rapidement à partir de la pression normale (montée rapide ou activité en dehors du véhicule spatial). Lors du retour à la pression atmosphérique, ces gaz dissous doivent repasser par les poumons pour être éliminés. Or une baisse rapide ou importante de la pression ambiante provoque le retour du gaz dissous à sa forme gazeuse là où il se trouve, créant de petites bulles disséminées qui peuvent grossir (selon la loi de Mariotte, une diminution de pression s'accompagne d'une augmentation de volume).

Caisson de recompression d'urgence.

Aussi, la procédure de décompression doit-elle être contrôlée : il convient de respecter des paliers de décompression successifs. Une table de décompression indique la durée pendant laquelle l'hyperbariste doit rester à pression constante pour chaque palier. Il existe de nombreuses tables de décompression adaptées aux conditions d'exposition (personne sous l'eau ou dans un caisson, type de gaz respiré, durée du séjour sous pression, altitude du lieu, etc.). Ces tables sont calculées empiriquement et validées par l'utilisation. Ainsi, même si elles sont respectées lors d'une décompression, la probabilité qu'un

accident survienne existe, bien qu'elle soit faible. Si les bulles apparaissent dans l'organisme, elles représentent des corps étrangers et provoquent divers symptômes. Dans les articulations, elles sont responsables de douleurs ostéo-articulaires. En circulant dans les vaisseaux, elles risquent de bloquer le flux sanguin ; elles déclenchent alors des hypoxies au hasard des zones embolisées, et les signes sont divers, le plus souvent neurologiques, parfois respiratoires. Ces corps étrangers circulants entraînent aussi une cascade de réactions inflammatoires dans la paroi (l'endothélium) des capillaires. À long terme, des nécroses osseuses dites dysbariques peuvent apparaître dans les grosses articulations (épaules, hanches principalement). Les accidents de décompression peuvent régresser spontanément, mais, le plus souvent, ils laissent des séquelles importantes. Aujourd'hui, ils sont rarement mortels, à moins d'une erreur grave.

Il existe plusieurs cas de décompression trop rapide : en plongée, si la remontée est incontrôlée ou, pour les hyperbaristes, si la table de décompression suivie n'est pas adaptée aux conditions d'exposition, par exemple. Souvent, il y a peu de conséquences. Cependant, si un plongeur est remonté trop rapidement par rapport à la table prévue, une procédure de ré-immersion permet de corriger l'erreur avant que les symptômes n'apparaissent.

En revanche, si des symptômes, même mineurs, sont perçus par le plongeur, l'accident de décompression est une urgence médicale. Les signes les plus courants sont des douleurs articulaires (des épaules, des genoux, de la hanche), des fourmillements dans les bras et, pour les accidents graves, une paralysie (paraplégie) brutale ou progressive débutant par les membres inférieurs. Les traitements reposent alors sur la respiration d'oxygène pur au masque dès l'apparition des signes (pour lutter contre l'hypoxie et favoriser l'élimination du gaz inerte), puis sur la recompression (afin de réduire le volume des bulles) aussi immédiate que possible, en caisson hyperbare et selon les tables spécifiques. L'inflammation est traitée par une perfusion (remplissage avec du sérum, traitement avec des anti-inflammatoires, des vasodilatateurs...). Si le traitement est rapide et approprié, la guérison est souvent complète.

Jean-Claude Le Péchon, ingénieur conseil en hyperbarie