


JUSQU'OUÙ LES PLONGEURS pourront-ils aller ?



L'autre problème qui se pose est le suivant :
peuvent-ils rester sous l'eau suffisamment longtemps
pour effectuer leur travail ?
De nouveaux procédés permettent aux aquanautes
de « se rendre à leur travail »
sans subir de décompression entre deux plongées.



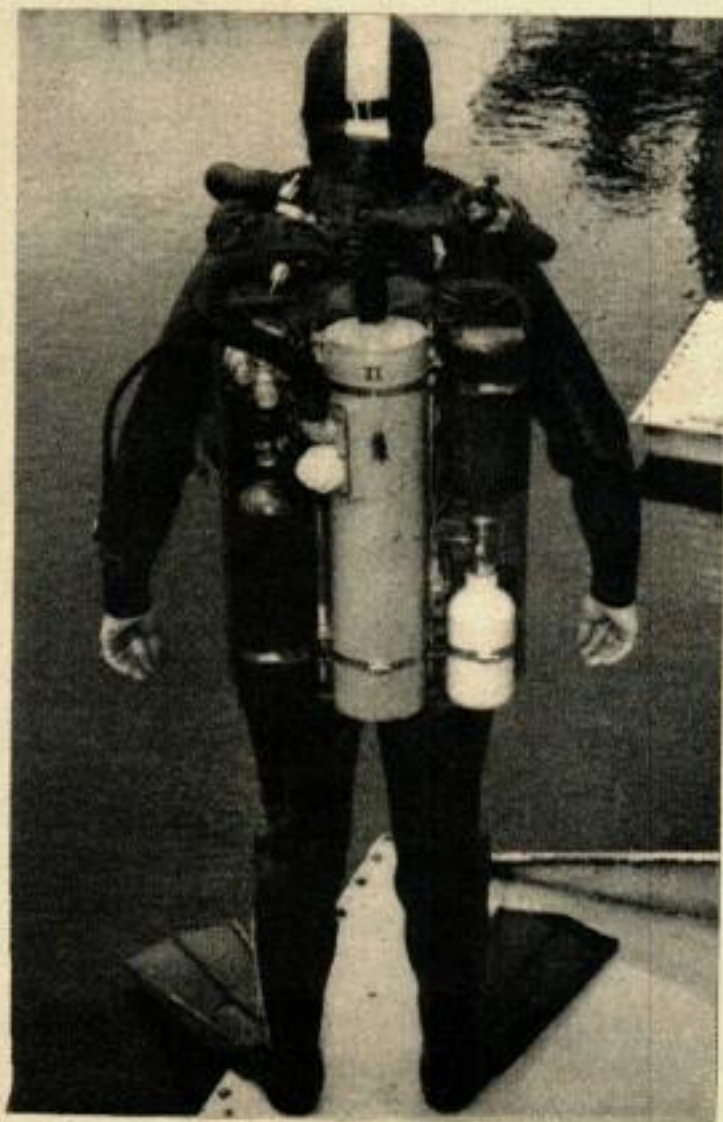
Ya-t-il une profondeur limite en deçà de laquelle la pression exercée par la mer empêche les plongeurs de faire leur travail ?

Les physiologues de la plongée sous-marine (chercheurs de formation médicale qui se spécialisent dans l'étude des réactions du corps humain soumis à la pression sous-marine) s'aperçoivent aujourd'hui qu'il existe effectivement une mystérieuse limite à la survie humaine, qui commence aux alentours de 330 mètres de profondeur.

Jusqu'à une date récente, un seul homme était revenu vivant d'une plongée de 330 mètres. Le plongeur suisse Hannes Keller réalisa cet exploit à partir de l'île Catalina, en décembre 1962. Un de ses compagnons y laissa la vie.

Le record atteint par Keller fut battu par l'ingénieur français André Veyrune, et par le Dr Brauer, savant américain, qui « descendirent », en juin dernier, sur terre, jusqu'à l'équivalent de 370 mètres, dans une chambre pressurisée, à Marseille.

Pris de tremblements à partir d'environ 300 mètres, les deux hommes passaient alternativement du sommeil à l'état de vielle.



La plongée en eau profonde a elle aussi sa limite. En l'état actuel des recherches, les hommes peuvent, avec des respirateurs à dos, descendre à environ 330 mètres. Ci-contre, des vues de face et de dos du système mis au point par Alan Krasberg. Un plongeur utilise deux sacs semblables à des poumons : l'un sert à l'expiration, l'autre à l'inspiration. Les gaz expirés sont réutilisés. Ci-dessous, Krasberg se repose dans la chambre pressurisée à bord du bateau ; la pression y est la même qu'à la profondeur qu'il avait atteinte auparavant.



« J'avais du mal à distinguer ma droite de ma gauche », a déclaré le Dr Brauer. « J'avais de la peine à lire l'heure sur ma montre. Je reconnaissais le danger, mais il ne me semblait pas avoir d'importance. »

Pendant la durée du test, on fit respirer à Brauer et à Veyrune le mélange d'hélium et d'oxygène qui est maintenant standard pour les plongées en profondeur. Brauer estime que l'hydrogène est le secret qui permettra de dépasser les 330 mètres. A de telles profondeurs, l'organisme n'a pas besoin de plus de 2 % d'oxygène, affirme-t-il ; et l'hélium serait substitué à l'hydrogène en deçà de 200 mètres.

Course à la profondeur

La question de la profondeur limite a pris de l'importance du fait que les plongeurs professionnels disposent aujourd'hui d'un équipement qui leur permet de séjourner pendant de longues périodes à des profondeurs voisines de 330 mètres. La démonstration en fut donnée, avant même la publication du projet Sealab III de la Navy, par les équipes de plongeurs de deux sociétés d'engineering marin, qui effectuèrent, sans grande publicité, des plongées autour de 200 à 230 mètres, et vécurent plusieurs jours d'affilée soumis aux pressions sous-marines.

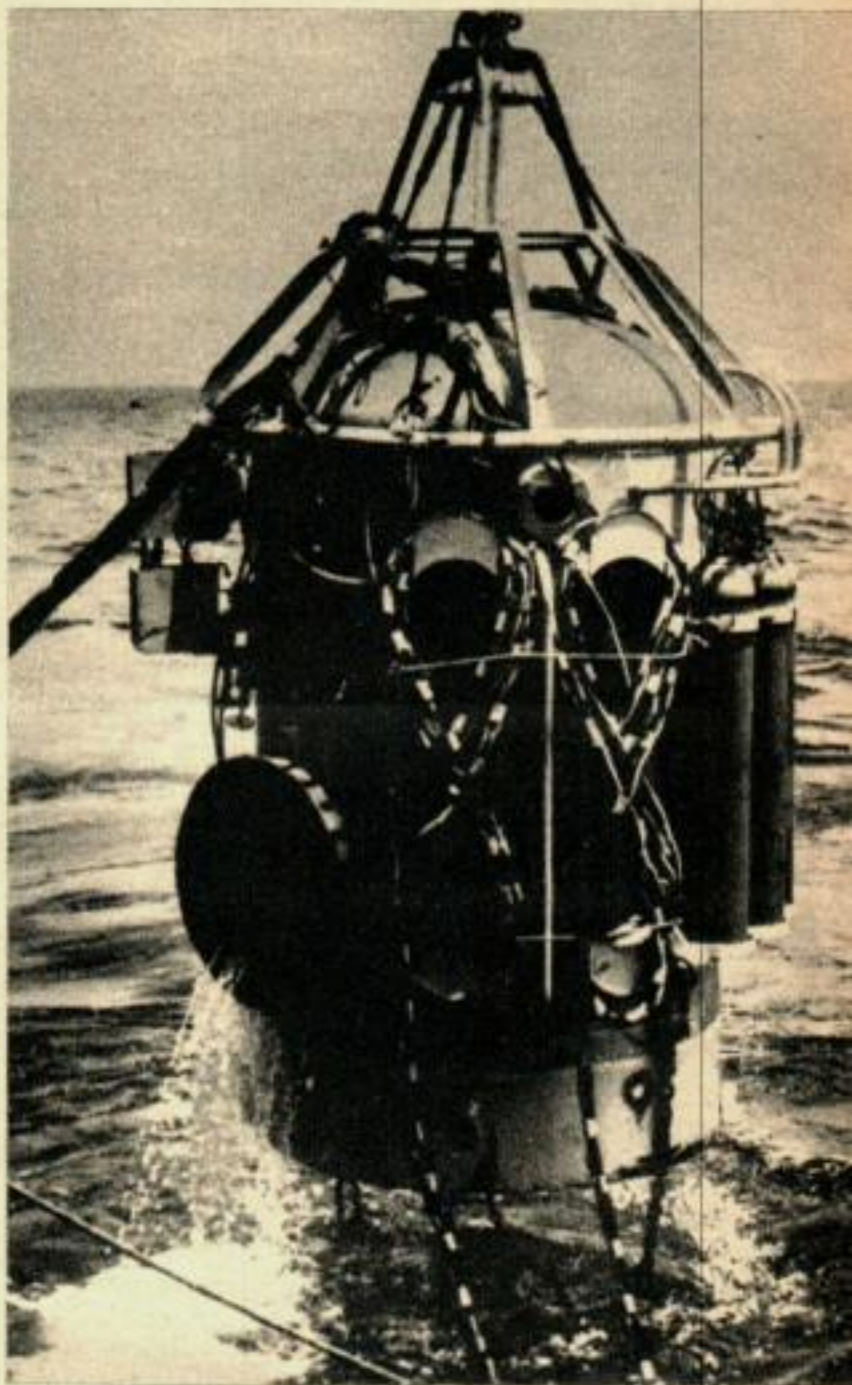
Ces succès donnèrent aux spécialistes de l'industrie sous-marine l'assurance que les plongeurs pouvaient désormais travailler sans contrainte au moins à 330 mètres de profondeur, sinon plus bas. Ce qui signifiait que les plateaux continentaux off-shore, dont la superficie totale atteint celle de l'Afrique, et qui sont situés à 330 mètres de profondeur maximale, s'ouvraient tout à coup à l'exploration et à l'exploitation commerciale.

La Société Westinghouse fut la première à organiser avec succès une plongée à 200 mètres de profondeur dans le golfe du Mexique, au cours de l'été 1967. Une plongée analogue, mais un peu plus profonde (212 m), fut ensuite réalisée par des plongeurs de la Société Ocean Systems.

En mars dernier, des plongeurs descendirent à 230 mètres, aux Bahamas, emmenant avec eux un petit sous-marin pour « gagner » et « quitter » le niveau de plongée.

A la différence des plongeurs du Sealab III, ce laboratoire sous-marin, dont un reportage avait paru dans le n° 269 de M.P., les hommes qui utilisent ces nouvelles tech-

niques ne vivent pas au fond de la mer. Dans les intervalles qui séparent les périodes de travail, ils demeurent soumis à la pression sous-marine à l'intérieur d'une chambre de compression située à bord d'un bateau. Une deuxième chambre (cloche de plongée



Les plongeurs effectuent la descente à l'intérieur d'une petite cabine, déjà pressurisée conformément à la profondeur programmée. A cette profondeur, ils sortiront pour accomplir, à l'extérieur de la cabine, les tâches prévues.

perfectionnée) sert d'ascenseur pour faire le va-et-vient entre le bateau et le niveau de travail.

Les deux sociétés utilisent la même technique pour la descente et combinent une chambre de compression sur le pont et une autre, plus petite, servant d'ascenseur. On a baptisé ces équipements « Système Cachalot » à cause de la chambre pressu-

risée sur pont qui, aux dires de certaines personnes, ressemble à cet animal. Ces systèmes perfectionnés sont conçus pour la « plongée de saturation ».

Ce terme signifie que les plongeurs sont soumis en permanence à une atmosphère dont la pression est celle d'une profondeur sous-marine donnée ; ainsi leur sang et leurs tissus se saturent de gaz dissous à cette pression. Ils ne sont soumis à la décompression qu'après les jours ou les semaines qu'a duré leur travail.

Plongée du golfe du Mexique

L'opération débuta par l'entrée de six plongeurs dans la chambre de compression située à bord d'un bateau ancré à 65 km de Grand Isle (Louisiane). A l'intérieur de la chambre, les plongeurs respiraient non pas de l'air, mais un mélange d'oxygène et d'hélium. Cette atmosphère était pressurisée pour correspondre à une profondeur de 120 mètres.

Des équipes de deux ou trois hommes pénétrèrent ensuite successivement, par un sas, dans l'ascenseur soumis à la même pression (120 m). Cette chambre communique par une écoutille latérale avec la chambre sur pont, et par une seconde écoutille (s'ouvrant en sa partie inférieure) avec les profondeurs sous-marines. Ses deux écoutilles hermétiquement fermées, la chambre de plongée fut descendue pardessus bord, entraînant à sa suite un cordon ombilical de câbles et de tuyaux.

A 120 mètres sous l'eau, la pression était égale à la pression intérieure de la chambre, et l'écoutille inférieure s'ouvrit. Les hommes revêtirent leurs combinaisons de caoutchouc. Un jet d'eau chaude fut envoyé à l'intérieur des combinaisons au moyen d'un tuyau relié au bateau, le liquide pénétrant près de la ceinture pour s'évacuer ensuite par les poignets et les chevilles. La chambre continuait sa descente. La pression intérieure était augmentée au fur et à mesure, pour empêcher l'eau de s'engouffrer par l'écoutille.

Quand la profondeur de travail fut atteinte, les plongeurs sortirent de la chambre pour accomplir les tâches d'une heure qui leur avaient été assignées. Toujours relié à la chambre par un cordon ombilical individuel de câbles et de tuyaux (dont un tuyau à eau chaude), chaque homme respirait au moyen d'un masque spécial, l'oxygène contenu dans des bouteilles fixées sur son dos ;

le gaz expiré retournait aux mêmes bouteilles, où le carbone dioxyde était éliminé, et l'oxygène renouvelé.

Pendant leurs trois jours de plongée, les six hommes vécurent, à bord du bateau, dans la chambre sur pont, sous une pression identique à celle qui règne à 120 mètres de profondeur. Avant de pouvoir sortir, ils durent passer encore deux jours et demi à l'intérieur de la chambre, soumis à une lente décompression, sous la surveillance d'un ordinateur analogique chargé de contrôler l'alimentation en gaz.

En août 1967, presque au même endroit dans le golfe du Mexique, une autre expérience fit la démonstration de l'exécution d'un travail de maintenance sur un forage off-shore. Deux plongeurs exécutèrent une série de trois plongées à 212 mètres, passant au total quarante-huit heures à la pression de 200 mètres de profondeur, dont six heures dans l'eau.

En mars 1968, on réalisa une plongée encore plus profonde (230 mètres) au large de Great Stirrup Cay, aux Bahamas. On utilisa le sous-marin « Deep-Diver », premier sous-marin compartimenté : il s'agit d'un véritable sous-marin de plongée libre, comportant une chambre munie d'un sas, d'où les plongeurs peuvent opérer à la pression des profondeurs, tandis que l'équipage demeure à la pression de surface dans un compartiment séparé. Les plongeurs déclarèrent que les effets de la pression profonde se firent sentir le plus cruellement à 70 ou 100 mètres de profondeur.

L'Homme-de-la-Mer est devenu presque aussi complexe que l'Homme-de-l'Espace. L'attirail de hardware protège efficacement les plongeurs contre les quatre principaux aléas des profondeurs : le mal des caissons, dû à la pression de la mer ; la narcose (« ravissement des profondeurs ») provoquée par l'azote ; l'empoisonnement par l'oxygène lui-même ; et la température proche de 0 qui règne presque toujours en eau profonde.

Soulagement rapide du mal des caissons

La plongée de saturation permet de surmonter le mal des caissons.

L'existence d'un tel risque provient du fait que l'air ou le mélange gazeux respiré par le plongeur, doit être soumis à la même pression que l'eau environnante, de façon à lui éviter d'être écrasé par la pression sous-

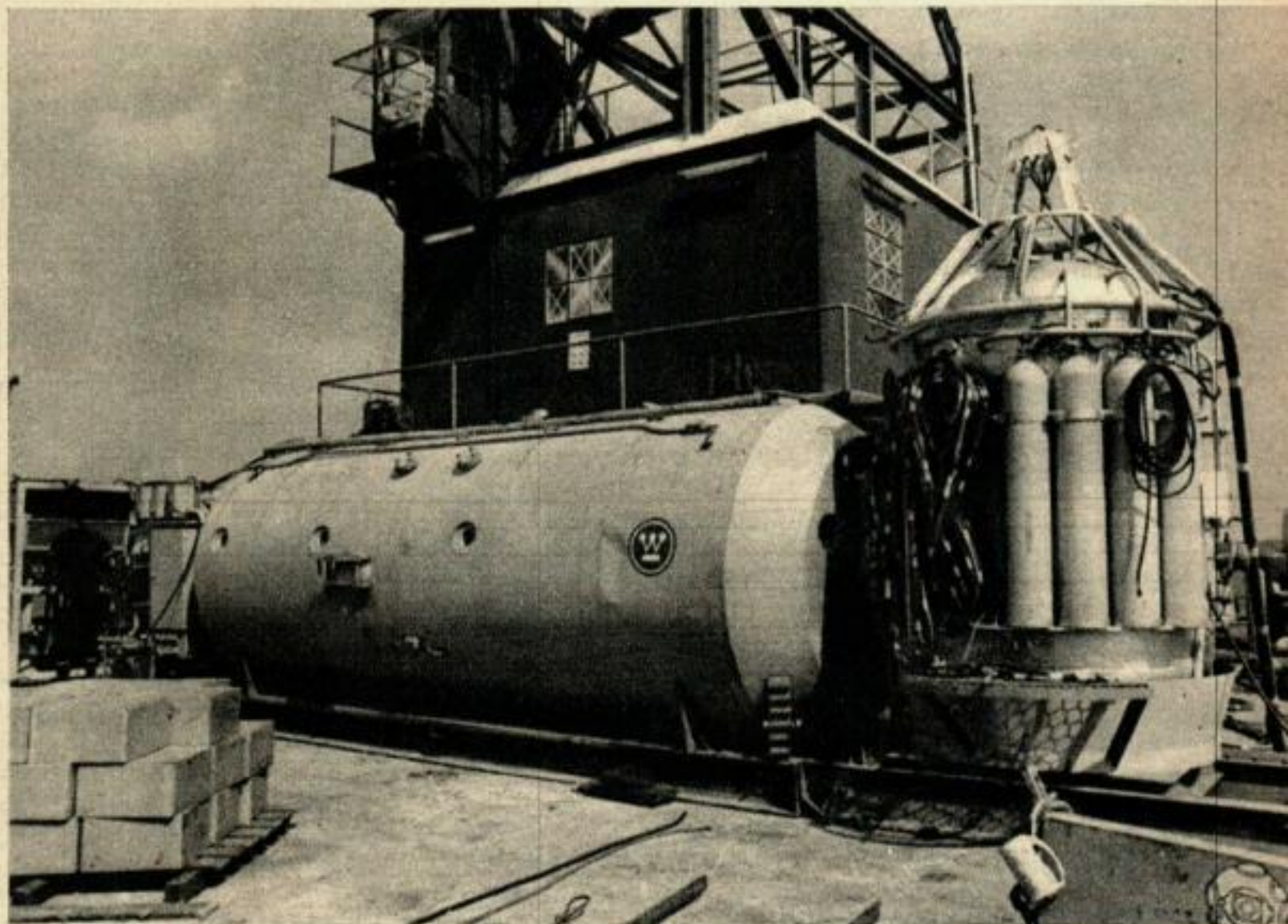
marine. Une partie du gaz respiratoire se dissout dans le sang et les tissus. Lorsque le plongeur est soumis à la décompression, le gaz s'échappe de la solution. Si la décompression est trop rapide, des bulles peuvent rester prisonnières dans les articulations ou dans le système nerveux et causer ainsi une douleur terrassante, la paralysie, ou la mort.

La solution de ce problème était fort simple : ne pas opérer de décompression

une chambre. Ceci permet un soulagement rapide de la douleur ; après quoi, on reprend prudemment la décompression.

L'ivresse des profondeurs

Comme le mal des caissons, la narcose par l'azote et l'empoisonnement par l'oxygène peuvent résulter de concentrations accrues de gaz dissous dans le corps du plongeur. L'azote devient toxique lorsqu'un



Entre chaque plongée, les nageurs peuvent remonter dans une petite chambre située sur le pont sans avoir à subir la décompression. Cet état de surpression leur permet de repartir immédiatement après leur temps de repos.

entre les plongées. Une fois qu'un plongeur a atteint la « saturation » à une profondeur donnée, aucun gaz ne peut plus s'ajouter à la solution, tant que la pression demeure constante.

Ainsi, le temps nécessaire à la décompression n'est pas accru.

Avec un système comme le « Cachalot », si un plongeur est victime du mal des caissons, il est facile de le soumettre à une recompression, puisqu'il se trouve déjà dans

plongeur respire de l'air en deçà de 55 mètres. Si sa concentration dans le sang est trop élevée, l'oxygène devient toxique et provoque des convulsions, et une perte de conscience.

Ces problèmes sont résolus par la substitution de l'hélium à l'azote, et par un contrôle méticuleux du taux d'oxygène. L'hélium est un gaz cher : aussi est-il souhaitable de faire passer le gaz expiré par le plongeur, par un circuit de purifi-

cation, et de réutiliser l'hélium plutôt que de le gaspiller dans l'eau. Un tel système doit être absolument fiable, car la vie du plongeur en dépend.

Les plongeurs, pour ces expériences, utilisent un régénérateur de gaz dorsal, communément appelé le système Krasberg. Cet appareil comporte deux sacs respiratoires flexibles, que le plongeur endosse comme un gilet de sauvetage, une bouteille dorsale contenant une substance qui absorbe le gaz carbonique, des cylindres d'oxygène et d'hélium, et surtout, un régulateur d'oxygène contrôlé électroniquement.

Les gaz expirés par le plongeur passent par l'un des sacs respiratoires, puis par la bouteille à gaz carbonique ; il s'y ajoute de l'oxygène, après quoi le mélange gazeux s'écoule dans le second sac respiratoire destiné à l'inspiration. Le taux d'oxygène est contrôlé au moyen d'une cellule à fuel qui, à partir d'un petit peu d'oxygène, produit de l'électricité, dont la puissance est proportionnelle à la quantité d'oxygène utilisée. Ce signal est amplifié afin de contrôler la soupape à oxygène.

L'appareil respiratoire dorsal, de la taille d'une petite valise, peut alimenter le plongeur en oxygène pendant six heures, et utilise mille fois moins d'hélium qu'un plongeur qui expirerait directement dans l'eau. Le plongeur respire environ 2 % d'oxygène à 200 mètres de profondeur, et la régulation de ce gaz se fait avec une extrême précision.

Le froid : un obstacle imprévu

Le froid pose un sérieux problème aux plongeurs en eau profonde. La température est en général de l'ordre de 15 degrés centigrades à partir de 200 mètres, et l'hélium, gaz plus conducteur que l'air, fait perdre rapidement la chaleur du corps. Les plongeurs utilisent le même genre de combinaison chauffée à l'eau tiède.

Mais à 330 mètres de profondeur, les problèmes surgissent. L'un d'eux concerne les difficultés respiratoires. La densité d'un gaz comprimé augmente. Les plongeurs en eau profonde disent qu'à 70 mètres, l'air devient visqueux, presque comme si l'on respirait un liquide. L'hélium est moins dense que l'azote dans l'air normal, aussi le mélange hélium-oxygène

est-il plus facile à respirer ; mais au-dessous de 200 mètres, l'hélium devient presque liquide.

La limite de la plongée est-elle située à 330 mètres ?

En outre, les recherches qui ont été faites nous indiquent que le danger de narcose par l'hélium survient autour de 330 mètres. Ce phénomène n'a rien à voir avec les propriétés chimiques du gaz, mais produit sur le système nerveux un effet physique résultant d'une concentration accrue d'hélium dissous dans le sang.

C'est la raison pour laquelle le Dr Brauer et André Veyrune se sentirent somnolents et désorientés lors de leur simulation de plongée à 370 mètres. « Du point de vue scientifique, ce fut notre plus importante réalisation », déclare le Dr Brauer. « Nous avons démontré qu'il existe une barrière physiologique réelle, que l'homme ne peut franchir, avec le mélange respiratoire standard d'hélium et d'oxygène. »

Il ne semble pas qu'un quelconque mélange gazeux puisse permettre à l'homme d'opérer beaucoup plus bas que 330 mètres.

En effet, on a découvert que les cellules humaines arrêtent leur croissance, se déforment et se désintègrent à une profondeur simulée de 660 mètres, dans une atmosphère mélangée d'hélium et d'oxygène.

Il faut cependant être optimiste et espérer que la profondeur limite du travail sous-marin atteindra 660 mètres dans les vingt années à venir. Les 500 mètres seront peut-être couramment atteints vers 1975.

Quel que soit le chiffre exact, il semble qu'il existe une limite de survie que les hommes ne pourront jamais dépasser en respirant des mélanges gazeux et en étant soumis à la pression marine. A cette profondeur, des sous-marins munis de bras articulés en forme de pinces devront prendre la relève. Mais le travail sous-marin accompli par eux est beaucoup plus maladroit que celui qui est confié à un plongeur, opérant dans l'eau, manuellement.

Quelqu'un trouvera-t-il des moyens permettant de franchir la profondeur limite ? Peut-être, car l'ingéniosité des spécialistes de la recherche sous-marine recule constamment les limites que leur impose la nature.