

## **La plongée humaine profonde professionnelle a-t-elle encore un avenir ?**

Nous venons de voir de magnifiques images de grandes profondeurs marines, obtenues soit par des robots sous-marins, comme l'*Ulisse* de la Marine, jusqu'à 1 000 m et le *Victor 6000* d'IFREMER à 6 000 m, ou par des engins habités tels que le *Nautilus* d'IFREMER qui peut descendre aussi jusqu'à 6 000 m, ou encore comme pouvaient le faire des bathyscaphes comme l'*Archimède* dans la zone des 10 000 m. Dans ces engins habités, aux coques résistantes aux grandes pressions, les hommes ne sont exposés qu'à la pression atmosphérique, celle qui règne à la surface de la mer. Les problèmes physiopathologiques auxquels ils se heurtent sont ceux qui se posent dans tous les espaces confinés comme les sous-marins : le gaz carbonique rejeté par la respiration doit être fixé par divers procédés, l'oxygène consommé doit être remplacé par de l'oxygène stocké en bouteilles comprimées ou par d'autres méthodes plus modernes, les polluants doivent être éliminés, la température et l'hygrométrie doivent être contrôlées.

Tout autres sont les problèmes qui peuvent se surajouter chez les plongeurs profonds soumis à des variations de pression qui peuvent être considérables et provoquer des barotraumatismes des espaces aériens de l'organisme – poumons, oreilles, sinus, gaz intestinaux – mais aussi d'autres accidents : accidents biochimiques dus à la toxicité des gaz sous fortes pressions partielles et accidents de décompression.

D'après la loi de Boyle-Mariotte ( $P \times V = \text{Constante}$ ), le produit de la pression par le volume est une constante : si la pression augmente, le volume de gaz diminuera dans les mêmes proportions. Nous savons que la pression hydrostatique – pression de l'eau en profondeur – augmente d'environ une atmosphère, ou 1 kg, par tranche de 10 m ; or, la pression au niveau de la mer est elle-même d'environ 1 kg/cm<sup>2</sup>. Il faut distinguer la pression relative à cette dernière et la pression absolue qui est égale à : pression relative + pression au niveau de la mer. La valeur de la pression absolue est la seule à considérer dans nos calculs.

À 20 m sous l'eau, la pression absolue est de 3 kg ou 3 ATA (atmosphères absolues) mais, à 300 m, elle est de 31 ATA, à 600 m de 61 ATA ; à 600 m de profondeur, la pression exercée sur le corps du plongeur est donc de 61 kg/cm<sup>2</sup>. Si nous descendons à 20 m en apnée avec la glotte bloquée, la pression est de 3 ATA et le volume pulmonaire est réduit au tiers de sa valeur de départ. Si le plongeur descend plus profond, à partir d'une valeur dépendant de celle de son volume résiduel personnel, son volume pulmonaire ne pourra plus se réduire, car la cage thoracique humaine, peu élastique, ne peut s'affaisser complètement, contrairement à ce qui se passe chez les mammifères plongeurs : du sang sera apporté dans la circulation pulmonaire pour combler la diminution de volume d'air, avec le risque d'hémorragie pulmonaire.

D'autres lois sont également connues : celles qui concernent la diffusion des différents gaz respiratoires à travers les poumons vers l'organisme à la descente et le phénomène inverse à la remontée qui, si elle est trop rapide, entraîne des accidents de décompression ; les lois d'écoulement des gaz dans les bronches : densité et viscosité sont augmentées par la pression, la ventilation est diminuée, ce qui limite les possibilités de travail musculaire ; les lois d'échanges thermiques : il faut se protéger contre le refroidissement, surtout avec l'hélium à forte conductibilité thermique, encore augmentée par la pression.

## 1. Historique de la plongée

### *Dans l'Antiquité*

L'histoire de la plongée remonte à la nuit des temps. Des hommes ont plongé sans doute 1 500 ans av. J.-C : c'était de la plongée en apnée. Au 5<sup>e</sup> siècle av. J.-C, Hérodote raconta l'histoire de Scyllias et de sa fille Cyana qui, en plongée, ont pu sectionner les lignes d'ancre de la flotte de Xerxès. Le temps d'intervention sous l'eau était limité à 2 ou 3 min, la profondeur ne dépassait pas 20 ou 30 m.

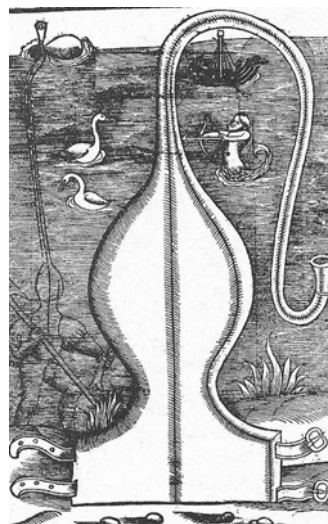


Comment augmenter ces performances ? Il fallait que les poumons puissent se mouvoir librement sans être affaiblis par la pression : c'est l'équipression entre l'intérieur et l'extérieur de la cage thoracique qui permet la ventilation pulmonaire pour renouveler l'air de ces poumons, assurant un apport d'oxygène en même temps que l'évacuation du gaz carbonique produit. C'est ce que permettront les cloches de plongée et les scaphandres.

Au 4<sup>e</sup> siècle de notre ère, Végèce faisait respirer sous l'eau le plongeur dans une bouteille munie de deux tuyaux : le premier s'élevait au-dessus de l'eau pour l'aspiration d'air frais, le second servait pour l'évacuation des gaz respiratoires viciés. Il imagina une autre solution : une cagoule coiffant le plongeur, qui préfigurait le casque du scaphandrier du 19<sup>e</sup> siècle ; une petite outre flottant à la surface de l'eau soutenait un tuyau permettant d'aspirer l'air frais.



*Appareil de Végèce*



*Cagoule de Végèce*

Ces solutions toutes théoriques, pour astucieuses qu'elles paraissent, ne sont pas applicables. La profondeur de la plongée n'est pas accrue mais, plus grave, sans poids de lestage le plongeur ne pouvait pas rester en position verticale dans l'eau. Avec la dernière solution de Végèce, le plongeur se serait vite noyé : il ne peut pas respirer dans un tube d'une longueur d'1 m à cause de la différence de pression de 100 g entre la surface et la pression hydrostatique contre laquelle le thorax ne peut lutter ; également, avec l'espace mort du tube qui lui ferait respirer toujours le même air, il serait asphyxié.

À part la noyade, on ne risquait au moins pas grand-chose. Il a fallu quelques siècles pour que de nouveaux progrès soient faits avec les cloches de plongée.

### *Du XVII<sup>e</sup> au XIX<sup>e</sup> siècles*

La première invention signalée, en 1679, est le scaphandre de Borelli : elle apparaît comme le premier essai de plongée autonome. Une vaste enceinte souple, peut-être en cuir gras, munie d'un hublot de verre entourait de façon étanche la tête du candidat-plongeur : l'air inspiré venait de l'outre ; l'air expiré sortait par un autre tuyau au-dessus de la tête. Cet appareil n'a sans doute jamais été essayé ; il faut du moins l'espérer : le plongeur se serait noyé, s'il n'avait pas été étouffé par la collerette autour du cou ; de plus, il n'aurait pas pu rester vertical dans l'eau sans lest. Mais ce scaphandre a quelques mérites :

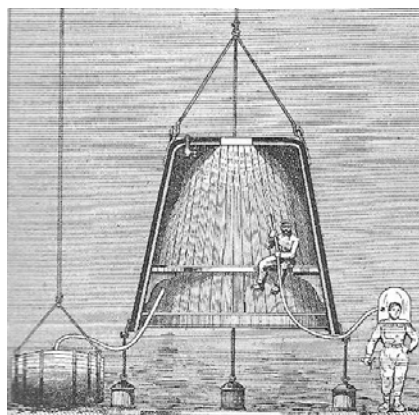
1° il respecte le principe d'équipression respiratoire : la pression exercée à l'extérieur du thorax doit être équivalente à celle régnant à l'intérieur de celui-ci pour que le plongeur puisse respirer ; en effet, ici, grâce aux parois souples de l'outre qui lui servait de casque, il pouvait respirer facilement ; de plus, un piston métallique rempli d'air permettait, grâce à une manivelle, de compenser la diminution de volume de l'outre ;

2° l'inventeur se souciait de l'épuration des gaz avec le double circuit inspiratoire et expiratoire ;

3° enfin, fait très important, c'était un premier essai de scaphandre autonome.



*Scaphandre de Borelli (1679)*



*Cloche de Halley (1690)*

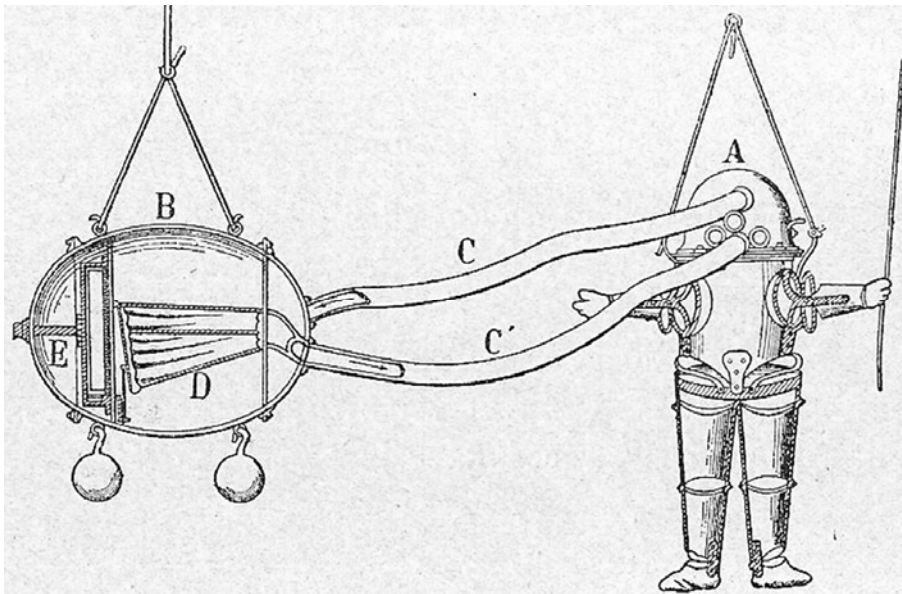
Plus intéressante était la solution de la cloche à plongeur. Déjà entrevue par Aristote, elle a été décrite par plusieurs inventeurs. La plus connue est la cloche de Halley (1690) : d'un gros volume, elle était descendue verticalement dans l'eau par un gros câble, sa grande ouverture étant à sa partie inférieure. À la descente dans l'eau, l'air se comprimait et, suivant la loi de Mariotte, le volume libre diminuait, l'eau montait, les plongeurs assis sur des bancs respiraient librement. Ils pouvaient sortir par l'ouverture inférieure, et inspirer l'air de la cloche par un tube, se mouvoir autour de la cloche et y travailler. Halley apporta un premier perfectionnement avec un tonneau rempli d'air permettant de compenser la diminution de volume de la cloche. Il apporta un second perfectionnement avec une petite cloche coiffant la tête du plongeur qui respirait par un tube inspiratoire

l'air de la cloche principale. C'est tout à fait l'idée qui sera reprise un siècle plus tard, pour les scaphandres à casque des XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles, et pour les plongées très profondes à partir des tourelles de plongée actuelles des XX<sup>e</sup> et XXI<sup>e</sup> siècles.

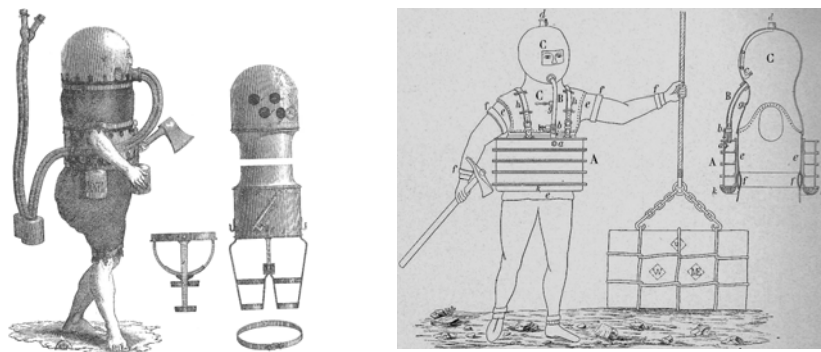
La pathologie, à ces profondeurs d'une vingtaine de mètres, pour des durées courtes, était toujours limitée à des problèmes de tympan et de sinus puisque, par ailleurs, le plongeur respirait librement.

*Aux XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles et même début du XX<sup>e</sup> siècle : les scaphandres*

Ils furent nombreux, en France, en Angleterre, en Allemagne et aux USA. Des dizaines de brevets furent pris, par exemple : la machine hydrostatergatique de Frémiet (1772) et le scaphandre de Klingert (1797). Ils furent construits, mais rien ne permet d'affirmer qu'ils ont servi à autre chose qu'à des démonstrations.



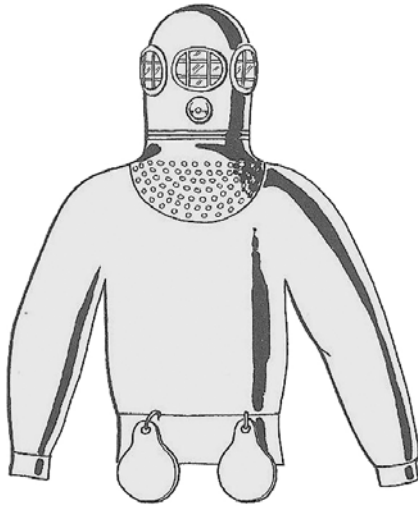
*Machine hydrostatergatique de Frémiet (1772)*



*Scaphandre de Klingert (1797) Scaphandre de James (1825)*

Les véritables scaphandres sont apparus plus tard, au début du XIX<sup>e</sup> siècle. En 1825, c'est le scaphandre de l'Anglais James : un réservoir cylindrique que le plongeur portait à la taille contenant de l'air comprimé à 30 atmosphères assurant une autonomie d'une heure ; il était relié par un tuyau au casque du scaphandrier.

En 1829, l'Anglais Siebe réalisa un scaphandre dont les qualités séduisirent tout de suite la Royal Navy et la Marine française. Il a été, jusqu'en 1857, le fournisseur exclusif de la Marine française. Il permettait à des scaphandriers de remonter des canons, des ancres, des matériels divers et, plus intéressants, des trésors de monnaies de navires naufragés.



*Scaphandre de Siebe (1829)*



*Scaphandre de Rouquayrol  
et Denayrouse (1864)*

Nous insisterons sur le scaphandre français Rouquayrol et Denayrouse (1864), qui, à partir de cette date, équipa la Marine française : le plongeur portait sur la tête un casque rigide en cuivre, avec des hublots, fixé sur un vêtement souple et étanche ; l'équipement était complété par des chaussures à semelles de bronze et une plaque de plomb fixée sur la poitrine, pour assurer la stabilité du plongeur marchant sur le fond. L'air était amené de la surface par un long tuyau alimenté par une pompe à bras. C'est le classique scaphandre « pieds lourds » qui illustre les livres de Jules Verne. L'air était admis par une soupape située à la partie latérale interne du casque et actionnée par la tête du scaphandrier. L'air en excès était éliminé par une soupape au sommet du casque actionnée par la simple hyperpression. Les deux inventeurs étaient Rouquayrol, ingénieur des Mines à Espalion dans l'Aveyron, et un lieutenant de vaisseau, Denayrouse, en congé de maladie dans cette ville. Pour éviter les à-coups de pression désagréables de la soupape de tête, qui se produisaient avec l'appareil de Siebe, les deux inventeurs adaptèrent un régulateur à la demande mis au point par Rouquayrol en 1860 pour équiper les sauveteurs dans les mines. Il débitait plus doucement de l'air à chaque inspiration. Ce fut un progrès considérable, qui ne sera repris qu'en 1943 par Jacques-Yves Cousteau et l'ingénieur Gagnan pour le détendeur de leur appareil autonome Cousteau-Gagnan à circuit ouvert à l'air. Ce dernier ouvrit la voie à toutes les applications militaires de la plongée, quand fut fondé à Toulon en 1945, avec les trois « Mousquemers » – Tailliez, Cousteau, Dumas – et le Groupe d'études et recherches sous-marines (GERS). On doit aussi à cet appareil tout le développement de la plongée sportive. Le scaphandre à casque de Rouquayrol et Denayrouse, fabriqué par la société Piel, resta très longtemps en service dans la Marine nationale, puisque le dernier « pieds lourds » de l'arsenal de Toulon ne prit sa retraite qu'en 1997.

Tous ces scaphandres français ou étrangers permettaient de descendre et travailler sous l'eau jusqu'à 60 m pour des durées allant jusqu'à une heure. Ces profondeurs et temps de séjour au fond étaient suffisants pour entraîner une pathologie nouvelle : essentiellement les accidents de décompression. Les gaz respiratoires, et dans ce cas l'azote, se dissolvent lentement dans tous les tissus de l'organisme : si la remontée en surface est trop rapide, les gaz dissous ne peuvent pas repasser suffisamment vite à travers la paroi des alvéoles pulmonaires pour être expirés ; ils se dégagent alors sous forme de bulles au niveau des

tissus et du sang, bloquant avec des agrégats plaquettaires les capillaires et les artères, et provoquant des paralysies de différentes formes. Toute cette pathologie nouvelle sera, évidemment, encore plus importante avec les profondeurs qui seront atteintes par la suite. Cette pathologie de la décompression est un souci constant des médecins de la plongée.

La prévention de ces accidents est assurée par l'observance de paliers lors de la remontée vers la surface et le traitement par la recompression en caisson thérapeutique, associée à l'oxygénothérapie.

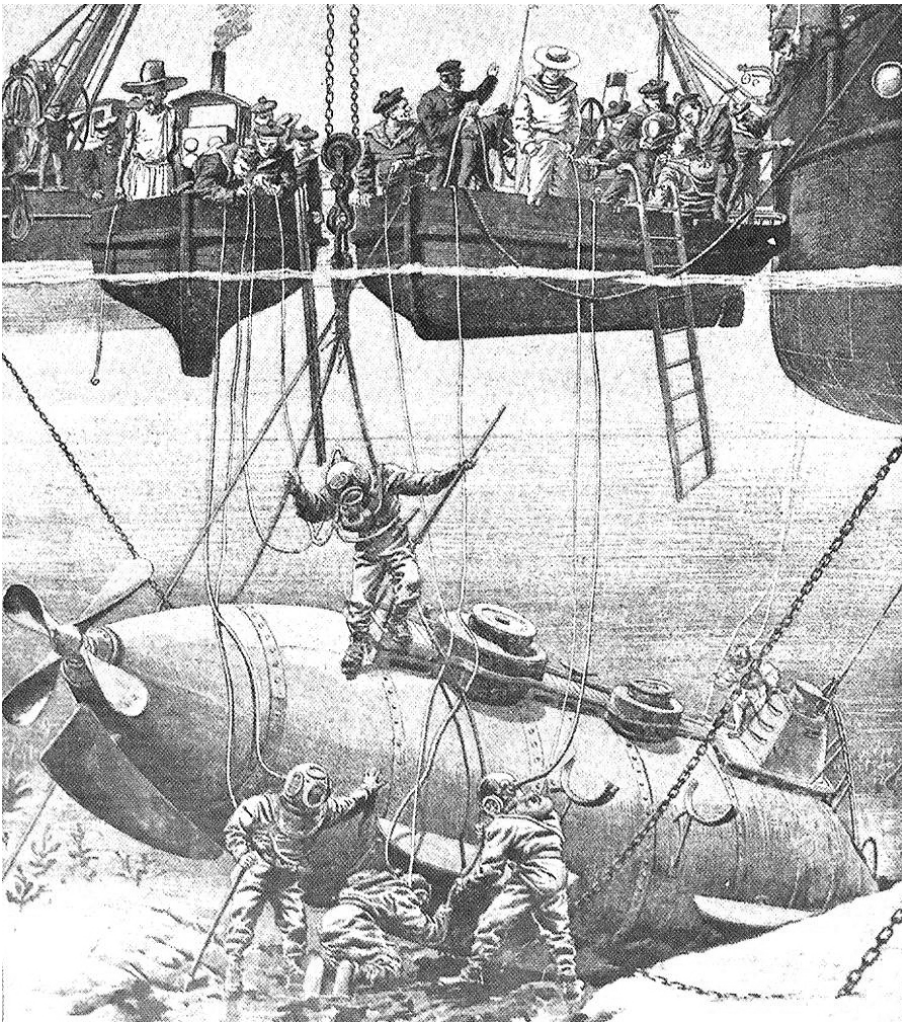
La médecine de la plongée était née. Elle a été initiée dès 1878 par le grand physiologiste français Paul Bert, qui s'intéressait aux variations de pression : l'hypopression pour les ballons et plus tard l'aéronautique, l'hyperpression pour la plongée. Pour la plongée, cette médecine fut développée par des médecins du travail civils tels Pol, Wattelle, et Foley, et par des médecins de Marine de l'époque comme Leroy de Méricourt, mais également par les physiologistes anglais dont le plus célèbre est Haldane. La mise au point de tables de plongée donnant, en fonction du temps de séjour et des profondeurs atteintes, les paliers à observer à la remontée, et des tables de recompression en cas d'accident, furent l'œuvre des physiologistes de la Royal Navy à Portsmouth, de l'US Navy à l'Experimental Diving Unit de Washington, de la Marine nationale au Centre d'études de Toulon, dans l'arsenal, avec, en particulier, le médecin général Hédérer. Leurs successeurs médecins de la plongée n'ont eu qu'à suivre cette voie ouverte par leurs anciens pour calculer des tables pour les différents types de plongée et des tables de recompression thérapeutique.

Je ne parlerai pas du développement, au milieu du xx<sup>e</sup> siècle, des appareils à mélanges gazeux en circuit semi-fermé des plongeurs-démineurs et des appareils à circuit fermé à l'oxygène des nageurs de combat, toujours actuels, avec toute leur pathologie : ils ne concernent pas la plongée profonde. Je ne parlerai pas non plus de la plongée en apnée, qui a connu un grand développement ces derniers temps, même si des profondeurs de 160 m ont été atteintes par quelques plongeurs téméraires : ce n'est pas de la plongée professionnelle.

## **2. La plongée professionnelle moderne et ses applications**

Jusqu'aux années 1950, les applications de la plongée professionnelle profonde étaient limitées mais, après 1965, l'exploitation de gisements pétroliers *Offshore* devenait rentable à la suite du premier choc pétrolier. Il fallait que les plongeurs atteignent les profondeurs du plateau continental à 300-450 m. D'autre part les marines développèrent le rôle des plongeurs profonds pour le sauvetage des sous-marins naufragés.

Avant la guerre, avaient déjà eu lieu de rares sauvetages, avec des scaphandriers lourds, tel celui du *Farfadet* français en rade de Bizerte, en 1905, qui ne permit pas de sauver des hommes ; ou celui, heureusement réussi par l'US Navy en 1939, le long des côtes de Nouvelle-Angleterre, de l'USS *Squalus* qui reposait à 40 m de profondeur : 33 rescapés furent remontés ; pour la première fois, on avait utilisé une cloche à plongée avec des plongeurs respirant un mélange hélium-oxygène.



*Sauvetage du Farfadet, dans la rade de Bizerte, en 1905*

Les besoins convergents des civils et des militaires entraînèrent le développement des centres de recherche militaires, tels que le GERS – futur Groupe d'intervention sous la mer (GISMER) – dans l'arsenal de Toulon, associé au Centre d'études et recherches de biophysologie appliquées à la Marine (CERB), à l'hôpital Sainte-Anne à Toulon ; de l'Experimental Diving Unit à Washington, futur Naval Medical Research Institute (NMRI) à Bethesda ; du Royal Naval Physiological Laboratory (RNPL), en Angleterre ; du centre de recherches des armées canadiennes, l'Institut civil et militaire pour la médecine de l'environnement, à Toronto ; et de sociétés civiles comme, en France, le Centre d'études marines avancées (CEMA) du C<sup>dt</sup> Cousteau et la COMEX, à Marseille, à laquelle sera associé le CNRS. Tous ces centres civils et militaires français et étrangers coopéreront souvent avec nous, et même très étroitement pour certains, avec des échanges de personnels de longue durée et des visites comme observateurs lors de nos principales expériences de plongée profonde.

Pour les plongées professionnelles très profondes, il n'était pas possible d'utiliser l'air ou un mélange synthétique azote-oxygène, pour deux raisons : la première était la trop grande densité de ces mélanges en profondeur, qui limitait la ventilation pulmonaire et les possibilités de travail musculaire ; la seconde était l'apparition de la narcose à l'azote, ou ivresse des profondeurs, au-delà de 60 m. Il fallait donc trouver un gaz moins dense et moins narcotique à incorporer dans un mélange synthétique comportant de moins en moins d'oxygène en fonction de la profondeur, en raison du risque de toxicité de l'oxygène à pressions partielles élevées. La liste des gaz dits « inertes » n'est pas longue ; deux seulement sont moins denses que l'azote : l'hélium et l'hydrogène.

	Hydrogène	Hélium	Néon	Azote	Argon	Krypton
Masses moléculaires (en g)	2	4	20	28	40	84
masses volumiques (en g/l)	0,09	0,18	0,90	1,25	1,78	3,74

	Masses volumiques	Profondeurs
Héliox (hélium + oxygène)	7,93	450 m
TRIMIX (hélium-azote-oxygène)	10,19	équivalent à 580 m en Héliox
Hydrox (hydrogène-oxygène)	4,28	équivalent à 235 m en Héliox

L'hélium fut le premier choisi. Les Américains l'utilisèrent déjà avant 1940 : en effet, un physicien, Thomson, le proposa en 1924, comme pouvant, en raison de sa faible densité, augmenter de 50 % la profondeur des plongées. Le laboratoire de l'US Navy de Washington fit, dès 1927, une série d'expériences animales puis humaines, qui prouvèrent que l'hélium n'avait d'autres inconvénients qu'une sensation de froid et une déformation de la voix, nommée « voix de *Donald Duck* ». Ils l'utilisèrent en vraie grandeur en 1939 pour le sauvetage du *Squalus*. L'hélium ne provoque pas de troubles neurologiques pour les pressions utilisées.

L'hydrogène intéressa, en 1950, la marine suédoise privée d'hélium, car il est deux fois moins dense que celui-ci. Le plongeur Zetterstrom fit en mer une plongée à 160 m avec un mélange hydrogène-oxygène, mais le treuil descendant le câble de son scaphandre s'étant emballé, il fut remonté mort. L'hydrogène fut abandonné pour quelques années.

On continua alors d'utiliser l'hélium. La marine anglaise commença, dans les années 1950, des recherches animales et humaines avec ce gaz.

La Marine française, isolée, avait pris du retard pendant la guerre et, à partir de 1945, elle ne s'intéressa qu'aux plongées à l'air, à l'azote-oxygène et à l'oxygène pur, pour les plongeurs-démineurs et les nageurs de combat. Le retard fut vite comblé. En 1960, les Suisses Bühlman et Keller, grâce à des tables qu'ils avaient calculées, firent une plongée fictive en hélium-oxygène à une pression équivalente à 200 m dans le caisson du GERS à Toulon, puis à 300 m dans un caisson de l'US Navy, à Washington.

La course aux grandes profondeurs était lancée dans les laboratoires de toutes les marines déjà citées.

Nous n'avions pas encore, au GERS, de caisson hyperbare permettant des plongées à saturation à grande profondeur, mais nous avons fait une première plongée expérimentale à une pression équivalente à 65 m avec deux plongeurs dans le caisson appelé « Ensemble expérimental de plongée profonde » (EPPF).

Nous devons expliquer l'intérêt de ces plongées à saturation, par opposition aux plongées d'intervention, plus courtes : lorsqu'on reste suffisamment longtemps à une pression, tous les tissus de l'organisme finissent par être saturés en gaz, l'hélium en l'occurrence ; lorsque cet état de saturation est obtenu, il persiste quel que soit la durée du séjour au fond. On peut rester très longtemps à cette pression, car la durée de la décompression est toujours la même et ne dépend que de la pression atteinte. Les Américains rappellent le sauvetage du *Squalus* : il fallut faire 600 plongées qui, à 65 m, ne devaient durer chacune que 10 mn. Et les travaux durèrent quatre mois : avec des plongées à saturation, le sauvetage n'aurait pris que quelques semaines. En pratique, le

plongeur n'est pas décomprimé entre deux plongées successives, après avoir atteint la saturation : il est maintenu sous pression dans un caisson immergé – « maison sous la mer » – ou dans un ensemble hyperbare tourelle-caisson embarqué sur un navire de surface – « maison sur la mer ».

On utilisa d'abord les maisons sous la mer, qui étaient des caissons immergés en pleine mer, telles les maisons sous la mer de Cousteau en mer Rouge, ou de l'Américain Link. Mais elles ont été vite abandonnées, en raison du manque de rayon d'action des plongeurs. Elles n'ont été conservées par la suite que pour des expériences de biologie marine.

L'autre solution retenue a été la maison sur la mer : un caisson hyperbare est embarqué sur un navire avec tout son système de saturation (contrôle et régénération de l'atmosphère). Une tourelle hyperbare est fixée sur ce caisson. Les plongeurs, qui vivent dans celui-ci le temps de l'expérience ou du travail, passent dans la tourelle qui est alors fermée, détachée du caisson et descendue toujours à la même pression à la profondeur voulue pour y travailler. Arrivée à l'équipression, la porte inférieure est ouverte et les plongeurs, équipés d'un casque avec un tuyau d'alimentation de mélange gazeux, en sortent pour travailler. Après le travail, la cloche refermée est remontée et refixée sur le caisson dit « caisson-vie ». C'est toujours la solution qui est en service pour les plongées profondes professionnelles. Il n'y a pas de rupture de valeur de la pression pendant toute la plongée à saturation au fond.

### **3. La mise au point les plongées profondes**

Les expériences pour mettre au point les plongées profondes consistèrent successivement en expériences avec des animaux, dans des petits caissons hyperbares, puis à des expériences de plongée fictive humaine en caissons hyperbares de grande taille ; enfin, quand les résultats furent suffisamment convaincants, des expériences de plongée profonde humaine furent entreprises en mer sur des navires équipés d'ensembles de plongée hyperbares, avec caisson-vie et son système de régénération, tourelle hyperbare et son système de manutention. Nous ne parlerons que des expériences auxquelles notre Centre de recherches a participé avec les équipes de la Marine nationale et des équipes associées. Mais des expériences étaient aussi entreprises de la même manière par les marines étrangères avec lesquelles nous avons des coopérations étroites.

#### *Expériences animales*

Les installations hyperbares du CERB – organisme de recherches couplé avec l'école d'application du Service de santé pour la Marine, jusqu'en 1993, à l'hôpital Sainte-Anne de Toulon – ont été nombreuses et ont varié en complexité lorsqu'on est passé d'expériences animales de courte durée, simulant des plongées dites « d'intervention », à des expériences de longue durée simulant des plongées dites « à saturation » avec des mélanges synthétiques, hélium-oxygène ou hélium-azote-oxygène et, enfin, hydrogène-oxygène ou hydrogène-hélium-oxygène.

En ce qui concerne les expériences animales à saturation les plus importantes, voici deux exemples de caissons parmi beaucoup d'autres :

– un caisson hyperbare pour petits animaux : muni d'un système de saturation – régulation des pressions partielles de gaz avec fixation du CO<sub>2</sub> et apport d'oxygène, ventilation, régulation thermique – il permettait des enregistrements électrocardiographiques et électroencéphaliques, des prélèvements de sang, et la nourriture des animaux. Il supportait une pression maxima de 50 ATA, simulant une profondeur de 500 m ;

– un caisson hyperbare pour animaux à saturation, pouvant être mis en pression avec du mélange hydrogène-oxygène, avec les mêmes possibilités que le précédent ; il supportait une pression maximale de 100 ATA, simulant une profondeur de 1 000 m.

Ces caissons, comme plusieurs autres à notre disposition, ont été conçus par les

chercheurs et ingénieurs du CERB et construits par des industriels locaux.

Des expériences faites à Brest dans les années quatre-vingts, sur le poisson, par le Pr Barthélémy, ancien médecin du GERS, ont permis de mettre en évidence le rôle de la pression par elle-même – effet pression *per se* – qui se surajoute aux effets des différents gaz en pression au-delà de 800 m. Il faudra tenir compte de cet effet pour les éventuelles plongées humaines au-delà de 800 m.

### *Expériences humaines*

Le CERB a pu disposer, comme nous l'avons indiqué, de l'Ensemble expérimental de plongée profonde (EPPF) du GERS, dans l'arsenal de Toulon, pour la première plongée à saturation à une pression équivalente à 65 m. Puis nous avons utilisé le caisson d'oxygénothérapie de l'hôpital d'instruction des armées Sainte-Anne de Toulon pour simuler, à 7 ATA (équivalent à 60 m) à l'air, des plongées fictives avec la même densité gazeuse qu'aurait le mélange hélium-oxygène à 450 m. Cette dernière solution permettait la mesure des résistances respiratoires et l'estimation des limitations possibles d'exercice musculaire, avec l'enregistrement par spectromètre de masse des pressions partielles de CO<sub>2</sub> et d'O<sub>2</sub>. Ce spectromètre de masse pour analyse des gaz respiratoires a été obtenu par un contrat de la DGRST ; construit par Thomson-CSF, il a été mis au point en commun par nos chercheurs et le fabricant.

La mesure des résistances intrathoraciques se faisait en enregistrant en continu la pression œsophagienne au moyen d'un ballonnet en caoutchouc fixé sur un cathéter plastique, introduit au tiers inférieur de l'œsophage par voie nasale, le cathéter étant lui-même relié à un capteur de pression. Simultanément, le débit gazeux instantané était enregistré. La résistance au passage du courant gazeux dans les voies aériennes respiratoires pouvait être connue à tous les niveaux de volumes pulmonaires.

L'exercice musculaire était réalisé sur une bicyclette ergométrique spéciale avec des *sandows*, dont on pouvait mesurer la force. Une bicyclette ergométrique normale ne pouvait pas être utilisée en hyperbarie à cause des risques d'incendie et d'explosion avec l'électricité.

De façon générale, toutes les techniques et tous les appareils de mesure ont dû être modifiés, adaptés ou entièrement repensés pour l'emploi en hyperbarie, non seulement parce qu'il n'est pas possible de mettre de l'électricité en milieu hyperbare à cause des pressions partielles élevées d'oxygène, mais également parce que des appareils ne supportent pas les moindres variations de pression : par exemple, les électrodes polarographiques pour les mesures d'oxygène sur le sang devaient être refaites à chaque pression.

Toutes ces techniques d'examen mises au point lors de ces premières expériences ont été poursuivies lors des expériences à très grande profondeur.

Ne disposant pas encore dans la Marine de centre hyperbare pour les plongées fictives très profondes, notre équipe a pu être incorporée, grâce à la DGRST, dans des expériences du Pr Chouteau à partir de 1968, dans l'ensemble hyperbare du CEMA à Marseille, appartenant au C<sup>dt</sup> Cousteau. Celui-ci avait déjà fait des expériences de plongée à saturation humaine à petites profondeurs dans des « maisons sous la mer » en mer Rouge, et il était intéressé par des plongées très profondes. Il avait obtenu par le CNEXO (futur IFREMER) des crédits pour la construction d'un vaste ensemble hyperbare dans le port de Marseille : cet ensemble, équipé pour la saturation, permettait de simuler des plongées jusqu'à 500 m.

Pour ces expériences humaines, de 1970 à 1972, mon équipe du CERB était chargée des études de physiologie respiratoire. Des expériences avec, à chaque fois, deux plongeurs ont été réalisées à des pressions correspondant à 250, 400 et 500 m en hélium-oxygène.

Les sujets effectuaient sur notre bicyclette ergométrique spéciale des exercices musculaires d'importance croissante. Nous mesurions d'une part la mécanique ventilatoire (débit, pression, résistances respiratoires) et, d'autre part, les pressions

partielles d'oxygène et de CO<sub>2</sub> en continu dans le courant respiratoire pris à la bouche du sujet par notre spectromètres de masse qui nous donnait une réponse presque instantanée, d'où la connaissance des valeurs au niveau du plateau alvéolaire. Nous pouvions également connaître les pressions partielles d'oxygène et de CO<sub>2</sub> au niveau sanguin artériel, par micro-méthode, ainsi que les volumes d'oxygène consommé et de CO<sub>2</sub> rejeté, en mesurant les valeurs de ces deux gaz dans les volumes gazeux recueillis pour une période donnée.

Nous avons pu, par extrapolation de nos résultats de 250 jusqu'à 500 m, dire qu'il ne serait pas possible de faire, sans risque d'hypercapnie et d'hypoxie, un exercice physique important, de plus de 150 W, au-delà de 600 m. Ceci a pu être confirmé par les expériences des années suivantes.

Des équipes d'autres spécialités ont pu, au cours de ces expériences au CEMA, montrer qu'il fallait ralentir la vitesse de compression si l'on voulait éviter les troubles nerveux et les problèmes articulaires qui apparaissaient avec les compressions rapides. Ces troubles, consistant en phénomènes d'excitation avec traduction EEG, tremblements et douleurs articulaires, seront décrits dans ce qui a été appelé le « syndrome nerveux des hautes pressions » (SNHP) par trois chercheurs, Fructus (COMEX), Brauer (USA) et Naquet (CNRS) dans des expériences à des pressions identiques, menées concurremment à Marseille à la COMEX, financées aussi par le CNEXO, et par des compagnies pétrolières.

Pour permettre une compression plus rapide et pour diminuer le syndrome nerveux des hautes pressions observé avec le mélange hélium-oxygène, les chercheurs américains (Dr Bennett à Durham) ajoutèrent un peu d'azote (à un taux de 18 %) : cet azote, narcotique, devait s'opposer à l'effet excitant de l'hélium. Ce taux était trop élevé. Des troubles neurologiques importants ont conduit la marine américaine à arrêter définitivement ces expériences. À partir de cette date, l'US Navy a limité les plongées profondes à 300 m. Et, dans les expériences suivantes à la COMEX, l'équipe du CNRS de Marseille (Naquet et Rostain) proposa de limiter l'azote à 4,5 %. C'est ce qui sera retenu pour les plongées fictives ultérieures.

Dans les expériences suivantes à Marseille à la COMEX, selon les recommandations des neurophysiologistes du CNRS, ce mélange avec 4,5 % d'azote, appelé « TRIMIX » (Azote-Hélium-Oxygène), a été apparemment mieux toléré que le mélange binaire hélium-oxygène.

Pendant la même année 1975, trois équipes réalisèrent des plongées profondes en mer : le GISMER (Marine nationale), en baie de Villefranche, effectua une plongée à 307 m à partir du *Triton*, navire entré en service en 1972 et équipé d'un ensemble hyperbare et d'une tourelle de plongée ; la COMEX effectua également une plongée au Labrador, à 327 m ; enfin, l'US Navy, en Atlantique, atteignit 340 m. Ces trois plongées furent toutes faites avec le mélange TRIMIX étudié en plongée fictive. Voici un plongeur équipé pour les plongées profondes.

En 1977, une étape de plus est réalisée : une plongée en mer près de Cavalaire, au bord du plateau continental, à 450 m avec une pointe à 501 m est tentée par la COMEX, avec le concours de la Marine nationale, avec six plongeurs, trois de la Marine et trois de la COMEX. Cette plongée permit de faire un travail au fond sur une plateforme aménagée. Ce fut un succès qu'il fallait confirmer.

Retour à des expériences de plongée fictive. En France, dans le nouveau centre hyperbare du GISMER, qui venait d'être mis en service à Toulon, on entreprit entre 1979 et 1983 toute une série d'expériences baptisées ENTEX (n° V à XI), financées par la DRET (Direction des recherches, études et techniques de la Délégation générale à l'Armement), sous la direction scientifique de Broussolle (CERB et adjoint scientifique du commandant du GISMER), Naquet (CNRS), Fructus (COMEX) et Cavenel (GISMER). Elles avaient pour but de déterminer exactement l'avantage du mélange TRIMIX sur le mélange classique hélium-oxygène. On en profita pour parfaire les connaissances sur les effets de ces plongées à grande profondeur :

— examens biologiques par les biologistes du CERB : mesures hormonales diverses

avant le début de la plongée, au cours du séjour au fond, et de la décompression, ainsi que les variations nyctémérales de ces hormones ;

— études cardiovasculaires ;

— surveillance des plongeurs par scintigraphie osseuse par la division de médecine nucléaire du CERB, avant et après la plongée, car on avait décelé chez les anciens plongeurs profonds des ostéonécroses ;

— surveillance neurologique et EEG, par les neurophysiologistes du CERB, et du CNRS ;

— mesures oto-rhinolaryngologiques et surveillance cardiovasculaires par les professeurs de l'école d'application.

Ce fut une très grande période que cette collaboration étroite du CERB et de l'école d'application, tous deux sous mon commandement. Collaboration qu'on ne retrouvera plus malheureusement, puisqu'après mon départ en retraite l'école d'application a été déplacée à Paris et fondue dans une école commune au Val-de-Grâce ; le CERB a été remplacé par l'Institut de médecine navale du Service de santé des armées, dont la suppression est maintenant envisagée.

Toutes ces expériences avaient le même profil : compression en 38 h jusqu'à 450 m, séjour de 6 à 12 jours à cette profondeur, décompression en trois semaines. L'une de ces expériences, qui se déroula dans le caisson 1000 m, comporta un séjour à 610 m avec travail dans l'eau du caisson-piscine.

Retenons l'essentiel des résultats de nos expériences : l'avantage de l'ajout d'azote dans le mélange gazeux n'étant pas confirmé, il faut donc conserver le mélange classique hélium-oxygène si on veut refaire des plongées profondes ; la profondeur de 450 m est bien tolérée pour une longue saturation ; le séjour à 610 m a aussi été bien toléré pour le court séjour réalisé par un seul plongeur.

Il est intéressant d'avoir une marge de sécurité. Les expériences à 450 m très bien supportées nous permettent d'affirmer que la plongée à 300 m est tout à fait sûre. Cette profondeur était le souhait de l'état-major de la Marine, qui a limité aussi les plongées à cette profondeur couvrant 95 % du plateau continental. La marine anglaise prit la même décision. Les progrès des engins, habités ou non, et des scaphandres articulés changèrent complètement le problème du sauvetage des sous-marins, le premier souci de ces marines.

Plongée à l'hydrogène : je ne m'étendrai pas longtemps sur ce problème, qui nous a encore occupés quelques années. On se rappelle les premières recherches des Suédois abandonnées en 1950. Des recherches avaient été reprises sur des animaux surtout et quelques hommes par les Suédois et les Américains. En France, la DGA a voulu tester cette possibilité. Elle a financé un ensemble hyperbare très important à la COMEX : les ingénieurs de la COMEX se sont beaucoup impliqués dans la réussite de cet ensemble hyperbare. La Marine nationale et ses plongeurs, le CERB avec ses chercheurs, se sont associés avec ceux de la COMEX et du CNRS pour les plongées expérimentales ; je faisais moi-même partie du comité scientifique de ces expériences et j'ai milité en faveur de l'hydrogène. Le fait que l'hydrogène est un gaz deux fois moins dense que l'hélium pouvait faire espérer la réalisation de plongées humaines plus profondes et plus confortables au point de vue respiratoire. En plus, l'hydrogène est considérablement moins cher que l'hélium, longtemps chassé gardé des Américains.

Mais nous nous sommes retirés de ces expériences quand il a été mis en évidence que l'hydrogène n'était pas non plus un gaz inerte aux fortes pressions partielles utilisées : il provoquait alors un syndrome nerveux plus inquiétant que le SNHP, avec du délire : ce délire a été sans séquelles, heureusement, quand on a arrêté l'expérience et que les plongeurs ont été décomprimés. L'hydrogène pose aussi un problème important : le mélange d'hydrogène et d'oxygène est spontanément explosif lorsque le pourcentage d'oxygène dépasse 4 %. Or, il faut partir du niveau de la mer à 21 % si on ne veut pas être en hypoxie. Il faut commencer à partir du sol avec un mélange hélium-oxygène à 21 %, diminuer l'oxygène parallèlement à l'augmentation de pression en faisant une ventilation

avec de l'hélium, puis passer à l'ajout partiel ou complet d'hydrogène lorsque le pourcentage d'oxygène est inférieur à 4 %. Il faut reconnaître que les ingénieurs de la COMEX ont mis au point un système très ingénieux d'élimination d'hydrogène par catalyse, pour la décompression finale, parce qu'il ne fallait pas qu'il en reste quand on retrouvait un taux supérieur à 4 % d'oxygène.

Un problème supplémentaire vient de ce que l'hydrogène et l'hélium n'ont pas le même coefficient de diffusion et qu'il se produit des contre-diffusions avec possibilité d'apparition de bulles gazeuses quand on change le mélange gazeux respiratoire.

Tous ces sujets d'inquiétude font que j'estime que les faibles avantages (facilité relative de respiration, en particulier) ne compensent pas les risques pris et nous restons sur les conclusions que nous avons émises auparavant en faveur du mélange hélium-oxygène.

#### **4. L'avenir de la plongée profonde**

##### *Applications militaires*

Pour le repêchage de torpilles, missiles, aéronefs, la plongée serait possible jusqu'à 300 m au moins et la préhension manuelle est évidemment plus fine que la préhension par des pinces d'un engin sous-marin habité ou non. Mais nous n'avons plus de plongeurs profonds depuis 1990 dans la Marine et le bâtiment d'intervention sous-marine *Triton* a depuis longtemps été retiré du service et jamais remplacé. La Royal Navy a fait de même en 1990 et a vendu son navire de plongée, le HMS *Challenger*. L'US Navy a arrêté aussi en 1995 les plongées profondes et a fermé son centre de recherches, le NMRI à Bethesda.

Actuellement, la Marine nationale a un scaphandre rigide articulé à pression atmosphérique, le *Newtsuit*, qui permet de travailler jusqu'à 250 m et d'y descendre immédiatement dès qu'il est amené sur les lieux, puisqu'il n'y a pas de pathologie liée à la pression. D'autre part, avec les engins habités tels le *Nautilus* (IFREMER), on sait qu'on pourrait intervenir jusqu'à 6 000 m au moins (cf. le travail du *Nautilus* sur l'épave du *Titanic* et le travail plus récent pour colmater une fuite sur un pétrolier coulé le long des côtes espagnoles). Récemment, un nouveau ROV (*remotely operated vehicle*, engin sous-marin inhabité et téléguidé), l'*Ulisse* (Unité lourde d'intervention sous-marine), a été livré à la Marine nationale : il peut descendre jusqu'à 1 000 m. *Newtsuit* et *Ulisse* peuvent contribuer au sauvetage de sous-marins en perdition.

Rappelons les méthodes de sauvetage envisageables.

Après le premier sauvetage en 1939, dont nous avons déjà parlé, du *Squalus* échoué à 65 m, par les plongeurs profonds américains utilisant le mélange hélium-oxygène, un nouveau système a été essayé dans les années soixante avec succès par la Royal Navy jusqu'à 180 m. Il a été adopté aussi par les autres marines. Par le sas de sortie, les sous-marinières, équipés d'un vêtement-cagoule, pouvaient sortir individuellement du sous-marin naufragé et, aidés par l'effet de la poussée d'Archimède, gagner rapidement la surface en apnée, en ayant soin d'expirer continuellement pour éviter la surpression pulmonaire. Ils étaient guidés dans leur remontée par des plongeurs profonds qui les faisaient monter à bord du navire de sauvetage, où ils étaient éventuellement traités pour des accidents de décompression si la remontée avait été suffisamment longue pour dissoudre de l'azote dans leur organisme. Cette technique a été abandonnée.

La Marine nationale a pris des accords avec l'US Navy, qui a mis au point en 1970 deux petits sous-marins de sauvetage, les DSRV (*deep submergence rescue vehicle*). Transportés par avion et conduits dans un port, ils sont fixés sur un sous-marin « mère » (nos sous-marins sont équipés en conséquence) qui l'amène sur le lieu du naufrage. Le DSRV va se clamber sur le sas du sous-marin naufragé et en évacue l'équipage en plusieurs voyages. Les DSRV américains, en fin de vie, seront remplacés cette année par un système non tributaire d'un navire spécialisé et comprenant un caisson de recompression.

Au niveau européen, le NSRS (*Nato submarine rescue system*), petit sous-marin de secours conçu en partenariat par les Français, les Anglais et les Norvégiens, propriété

commune des trois nations, mis en œuvre par la société civile Rolls Royce, entre en service cette année et fait actuellement ses premiers essais. Transportable en 72 h, guidé par un petit ROV, il sera capable de faire un sauvetage à 610 m. Il est équipé aussi d'un caisson de recompression. Il pourra être transporté par avion.

Avant l'arrivée de ces navires spécialisés, la Marine nationale peut faire intervenir jusqu'à 250 m le scaphandre articulé *Newtsuit*, guidé par l'*Ulisse* ; il peut faire de la ventilation du sous-marin par des manches à air.

En résumé, on peut dire que la plongée profonde, en dehors du scaphandre rigide, n'est plus utilisée pour le sauvetage des sous-marins.

### *Applications civiles, exploitations pétrolières*

Les plongeurs profonds sont encore très employés dans ces applications et il existe encore de nombreuses sociétés de travaux sous-marins, en France et dans le monde.

Ces plongeurs sont formés en France par l'Institut national de la plongée professionnelle (INPP), à Marseille, dirigé par le capitaine de vaisseau Gavarry, un ancien responsable du GISMER, plongeur profond lui-même, avec lequel nous avons beaucoup travaillé. Cet institut, le plus important du monde, forme 200 plongeurs par an, et les cours sont pleins pour l'année 2008. Ses diplômés sont reconnus par toutes les compagnies pétrolières. Les candidats viennent de tous les pays : Français, mais aussi Norvégiens, Coréens, Indiens, Australiens, Néozélandais, Brésiliens.

Les scaphandriers *offshore* sont employés pour l'entretien et la réparation des plateformes de forage. Précisons qu'en mer du Nord, les fonds marins sont à une moyenne de 55 m, avec un maximum de 660 m, et en mer Baltique de 55 m. Les plateformes reposent sur le fond ou sont ancrées sur ce fond. Les scaphandriers doivent être toujours prêts à répondre à tout appel. Ils sont pris en charge par les compagnies et amenés sur la plateforme. Ils plongent en général en narguilé, c'est-à-dire qu'ils reçoivent le mélange gazeux par un tuyau qui amène en même temps la vidéo. Ils descendent aux environs de 60 m (classe 2) et au-delà (classe 3). Trois à quatre personnes aident le scaphandrier : ce sont aussi des plongeurs professionnels. L'un d'eux se tient en permanence prêt à lui porter secours : les eaux sont souvent glaciales avec des creux importants. Au-dessous de la plateforme partent des tuyaux qui s'enfoncent dans la nappe pétrolifère à quelquefois plusieurs centaines de mètres. Ce métier de scaphandrier *offshore* est très dur. Les Français sont de moins en moins nombreux car il y a une grande concurrence avec ceux des pays du Tiers Monde, moins onéreux, formés aussi à l'INPP.

Actuellement, de nouveaux navires embarquant des caissons hyperbares à saturation et des tourelles de plongée viennent de rentrer en service ou sont en construction. Ils embarquent des plongeurs à saturation capables de travailler à 300 m. C'est le cas de la société française Veolia qui vient de recevoir un de ces navires, le *Swordfish*. Il a été construit en Norvège et son port d'attache est Galveston au Texas ; son système de plongée à saturation à 300 m a été construit par Veolia Propreté à Appleton dans le Wisconsin. Sa première mission est de réparer les plateformes et les équipements de forage de la société américaine *Chevron* dans le golfe du Mexique, qui ont été endommagés par la tempête. Il pourra se rendre ensuite dans toutes les régions du monde. Le *Swordfish* sera le cinquième navire de ce type chez Veolia. Il est désolant de voir, dans un domaine où nous étions en avance – construction de navires de plongée comme notre ancien *Triton*, construction de caissons hyperbares à la COMEX et ailleurs – l'étranger prendre le pas sur nous, même si Veolia est une société française et si les plongeurs sont formés en France. On disait autrefois : « En France on n'a pas de pétrole, mais on a des idées ». Malheureusement, maintenant nous ne sommes plus assez téméraires pour les exploiter nous-mêmes.

Autre information récente : la société Shell doit commencer à installer des plateformes de forage pétrolier au large du Mozambique, dans des profondeurs comprises entre 200 et 300 m, en utilisant des plongeurs profonds avec des mélanges hélium-oxygène pour le guidage des forages, la surveillance et les réparations : c'est tout à fait le résultat de nos

travaux. La COMEX reprend l'espoir de faire des recherches... espoir tout à fait inutile et illusoire à mon point de vue car, jusqu'à 300 m, nous sommes sûrs de nos résultats.

Des travaux avec des plongeurs seraient envisagés aussi de la même façon par les Indiens et les Chinois, dans leurs zones maritimes économiques. Ils auraient aussi des navires en construction. Les Chinois se disputent avec les Vietnamiens pour les parages des îles Spratley, en mer de Chine, qui seraient riches en gaz et en pétrole. Même les Russes prennent position, à tout hasard, près du pôle dans l'Arctique, riche aussi en minerais, gaz et pétrole. La profondeur est d'environ 4 000 m.

Un autre groupe français, Bourbon (*Subsea Services* de sa division *offshore*), a commandé 29 navires de 5 400 tonnes, qui sont construits en Chine. Bourbon mise sur l'utilisation de ROV et non de plongeurs : 7 sont en service et 14 commandés ; à l'horizon 2012, ces ROV pourraient descendre justement à 4 000 mètres !

Nous pouvons peut-être espérer qu'en Antarctique, près des Kerguelen où travaille l'IFREMER, nous pourrions à notre tour chercher du pétrole !...

## **Conclusions**

Nous voyons que si la plongée profonde humaine a peu d'espoir de servir encore pour les applications militaires, à part le relevage d'épaves, elle a encore de beaux jours devant elle pour les applications civiles, étant donné l'augmentation des prix du pétrole et son épuisement progressif.

Vous pourriez, à juste raison, me poser la question suivante : pourquoi votre laboratoire militaire, travaillant grâce à des crédits militaires de la DGA (militaire), a-t-il œuvré dans un domaine qui, apparemment, n'a plus d'applications militaires ? À l'époque de nos recherches, et même bien après, nous ne pouvions pas savoir quel serait le développement des techniques avec le remplacement progressif de l'homme par des engins dans le domaine de l'exploitation des océans. D'autre part, il n'est peut-être pas inintéressant d'avoir du combustible, pour les armées en général et pour chacun de nous en particulier...

Les travaux de recherche sur la plongée ont servi à améliorer la sécurité et la santé des 2 000 plongeurs autres que les plongeurs profonds que compte la Marine (plongeurs de bord, plongeurs-démineurs, nageurs de combat). Et je me réjouis de voir que des jeunes chercheurs en médecine de la plongée, brillants jeunes docteurs ès sciences, travaillent avec ardeur dans ce domaine et continueront à le faire si on leur donne les moyens.

Dans nos recherches nous avons mis au point et amélioré des techniques d'examen qui ont rendu service à la clinique, examens qui ont par la suite été confiés aux laboratoires hospitaliers. Je citerai les différentes techniques d'exploration fonctionnelle pulmonaire, la mesure des gaz du sang par micro méthodes, les examens hormonaux par radio-immuno-chimie, les scintigraphies thoraciques, cardiaques et osseuses (tout le laboratoire de médecine nucléaire a d'ailleurs été transféré au service de radiologie de l'hôpital) ; enfin, certains examens psychotechniques. Des services hospitaliers comme l'ORL, l'ophtalmologie, la cardiologie ont eu avec nous des champs d'application très utiles pour la clinique.

Je voudrais ajouter que la médecine de la plongée, si elle a donné beaucoup de travail à notre centre de recherches, n'a pas été notre seul axe de recherches. Je voudrais, avant de terminer, en citer quelques autres : aptitude physique et sportive dans les Armées, protection contre le rayonnement radar sur les navires, protection contre les ambiances thermiques élevées dans les machines des navires, protection des pilotes d'hélicoptères, protection contre le mal des transports, ergonomie des différents appareils respiratoires, pharmacologie d'anesthésiques comme le Gamma OH.

Vous avez peut-être trouvé que j'étais un vieux nostalgique du passé. Sans doute... J'ai voulu surtout montrer que les chercheurs ont bien mérité du Service de santé pour la Marine. Plus que nostalgique, je suis surtout inquiet pour l'avenir des chercheurs et irrité par toutes les mesures qui se préparent.

**Bernard BROUSSOLLE**