

Pas de Snorkel, pas de Scuba

DES BRANCHIES ARTIFICIELLES

Qui vous permettent de respirer dans l'eau comme un poisson, en tirant l'oxygène de l'eau

L'HOMME peut-il respirer comme un poisson ? Pourquoi pas ? Si on a l'occasion de s'entretenir avec des gens qui s'occupent de la question, ce qui semblait incroyable devient soudain évident. Un plongeur n'a pas besoin d'avoir des réservoirs d'air, il peut extraire l'oxygène de l'eau qui l'entoure.

Comme beaucoup de vulgarisateurs scientifiques, j'étais un peu sceptique, il y a quelques années, lorsque le commandant Cousteau, l'un des inventeurs du scaphandre autonome, a prédit qu'il y aura des hommes-poissons, **respirant l'eau**. Il a prédit également qu'il serait possible d'ici peu de greffer une « branchie artificielle » sur la circulation sanguine de l'homme. C'est ce qu'on est en train de faire.

- Deux inventeurs américains ont fait breveter des branchies artificielles qui permettent au plongeur d'inspirer dans ses poumons l'oxygène dissous dans l'eau et d'évacuer le gaz carbonique expiré par le même système.

- Ces branchies artificielles peuvent rendre les plongées beaucoup plus faciles ; les crampes, la narcose de l'azote, l'intoxication d'oxygène seront éliminées ou atténuées. Les plongeurs pourraient alors sans doute évoluer dans les eaux profondes aussi librement que les poissons, sans passer par des étapes de décompression.

- Les savants parlent sérieusement maintenant de faire circuler le sang du plongeur dans une branchie artificielle, sans passer par les poumons. Deux plongeurs au service d'une entreprise de travaux sous-marins sont volontaires pour subir l'opération nécessaire pour la greffe de la branchie.

- On peut utiliser un dispositif du même genre pour renouveler l'air dans les sous-marins et les stations sous-marines.

Lorsque Cousteau avait prédit, en 1962, que l'homme aura un jour des branchies, il devait ignorer qu'une sorte de branchie avait déjà été mise à l'essai. Le 6 août 1962, un ingénieur de recherches de Rutherford (New Jersey), nommé Waldemar Ayres, et sa femme, se rendirent en mission secrète à Jones Beach (New York).

Ayres déroula des bandes de 1,20 m de large, en réalité des tubes plats en plastique de 7,65 m de long chacun. Il les inspecta avec soin. (Une face de chaque tube était en matériau fragile.) Il brancha dessus des bouts de tuyau d'arrosage et monta une embouchure de scaphandre autonome. Les valves de l'embouchure étaient montées de telle façon que l'air qu'il exhalait était propulsé sur toute la longueur des tubes, avant l'inhalation.

Il posa des tubes sur l'eau, le côté fragile tourné vers le bas. Il s'assit ensuite dans l'eau, se pinça les narines avec une pince, plaça l'embouchure dans sa bouche et se mit à respirer avec l'appareil pendant une heure et demie tandis qu'il dansait sur les vagues. Il ne s'arrêta que lorsque l'eau qui s'était infiltrée à l'intérieur a rendu la respiration difficile.

Wally Ayres fut ainsi le premier homme à respirer l'oxygène extrait de l'eau comme un poisson.

Comment pouvait-il en être certain ? Le dessus de chaque tube était constitué de vinyle de capitonnage, robuste et étanche. L'oxygène ne peut donc pénétrer par là. Le dessous, par contre, était en polyéthylène spongieux contenant des millions de pores microscopiques, qui sert à faire des slippers de bébé. Cette membrane mettait sa respiration en contact avec l'eau. L'oxygène de l'eau se diffusait dans les manchons en plastique et le gaz carbonique de l'air exhalé se diffusait dans l'eau à travers la membrane.

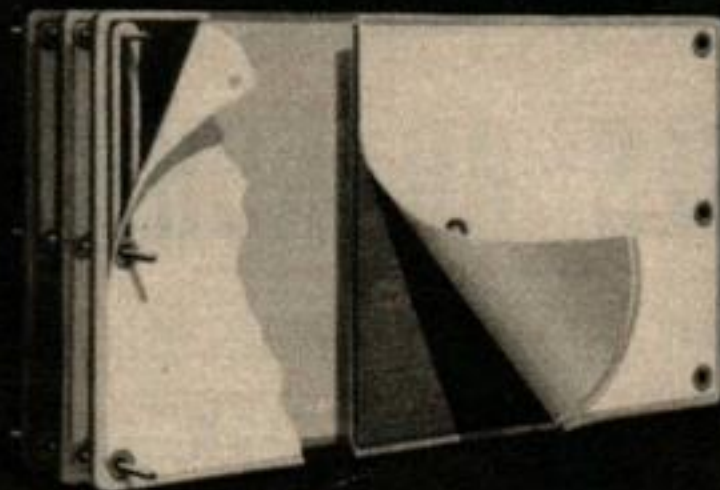
Si le système n'avait pas fonctionné, Ayres aurait eu les signes de l'asphyxie par le gaz carbonique : figure congestionnée, difficultés de respiration. Il aurait perdu connaissance au bout de quelques minutes.

Le jour suivant, Ayres réitéra l'expérience devant un ami. Ce dernier prenait des photos et mesurait le temps écoulé. Les observations firent l'objet d'un rapport. Il fallut plusieurs années à Ayres pour faire breveter son invention aux U.S.A. Il obtint le brevet n° 3.228.394 réservant ses droits pour tous les appareils respiratoires sous-marins utilisant le principe des branchies. Et il put enfin me raconter cette histoire qu'il avait

CYCLE D'ÉCHANGE OXYGÈNE CO₂

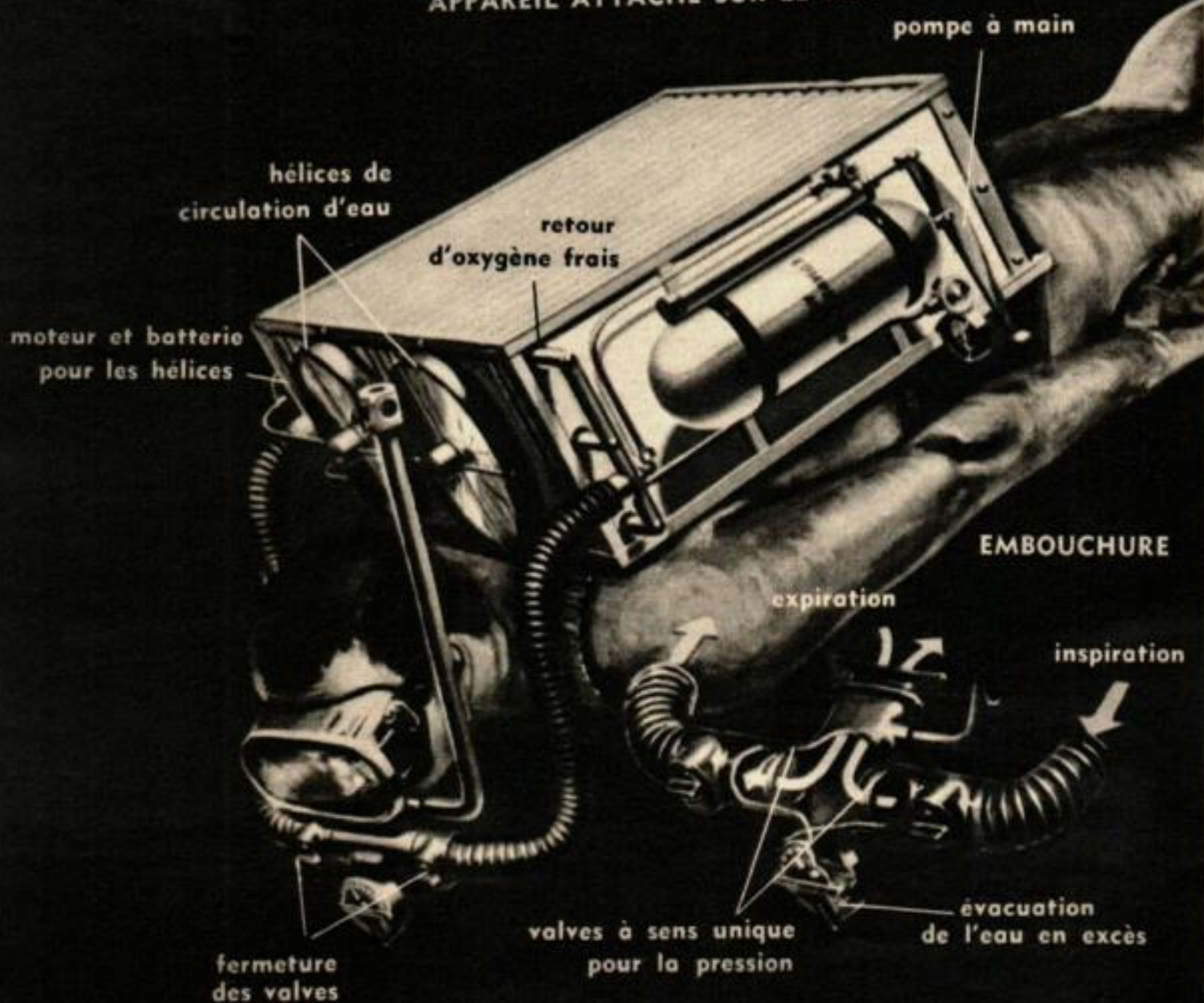


membrane de la branchie



COUPE

APPAREIL ATTACHE SUR LE DOS



DE LA BRANCHIE



OXYGENE

CIRCULATION dans les deux sens. Les molécules de gaz peuvent passer dans les deux sens entre les molécules plus grosses de la membrane. Le sens est déterminé par la pression partielle relative de chaque gaz, de la plus forte vers la plus faible. Les molécules d'oxygène, plus nombreuses dans l'eau que dans l'air exhalé par le plongeur se propagent de l'eau vers la branchie à travers la membrane. Les molécules de gaz carbonique sont plus nombreuses à l'intérieur de la branchie que dans l'eau et se propagent donc dans l'autre sens.

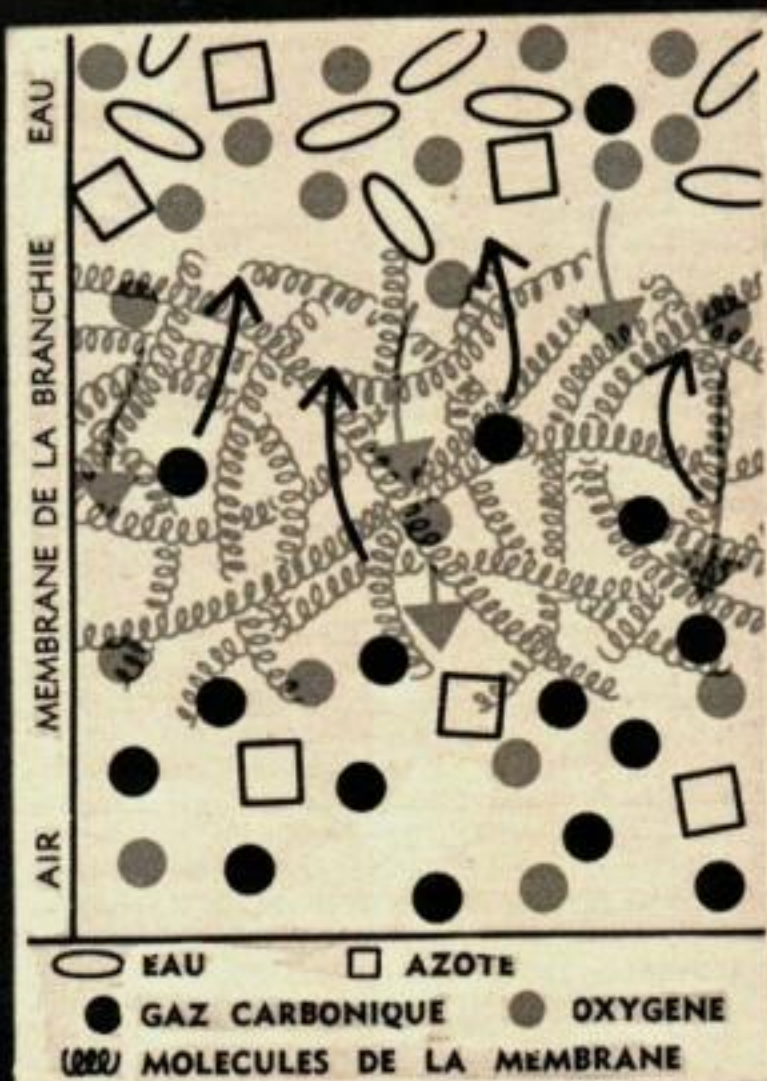
gardée secrète pendant sa lutte pour obtenir le brevet.

L'idée lui était d'abord venue en 1955, alors qu'il faisait des plongées en scuba (scaphandre autonome) aux îles Bahamas. Après tout, s'est-il dit, la différence n'est pas si grande entre les branchies des poissons et les poumons humains. Dans un cas comme dans l'autre, l'échange se fait à travers une membrane entre la circulation sanguine d'une part, le milieu qui contient l'oxygène (air ou eau) d'autre part.

Les poumons et les branchies fonctionnent grâce à la « pression partielle ». Dans un mélange de gaz, la pression de chaque gaz est une partie de la pression totale du mélange. Cette « pression partielle » de chaque gaz est proportionnelle à la proportion de ce gaz contenu dans le mélange.

Par exemple, l'air se compose pour 78 % d'azote, 21 % d'oxygène et de petites quantités d'autres gaz dont le gaz carbonique. La pression atmosphérique au niveau de la mer est de 1 kg/cm² environ. La pression partielle de l'oxygène au niveau de la mer est donc de 0,21 kg/cm² environ.

Dans l'eau qui se trouve au contact de l'air, les gaz sont dissous dans les mêmes proportions. Dans un mètre cube d'eau, on ne trouve environ que 1/30 de la quantité de gaz que l'on trouve dans le même volume d'air, mais la pression partielle de chaque gaz est la même que dans l'air, avec de légères variations qui sont dues surtout à



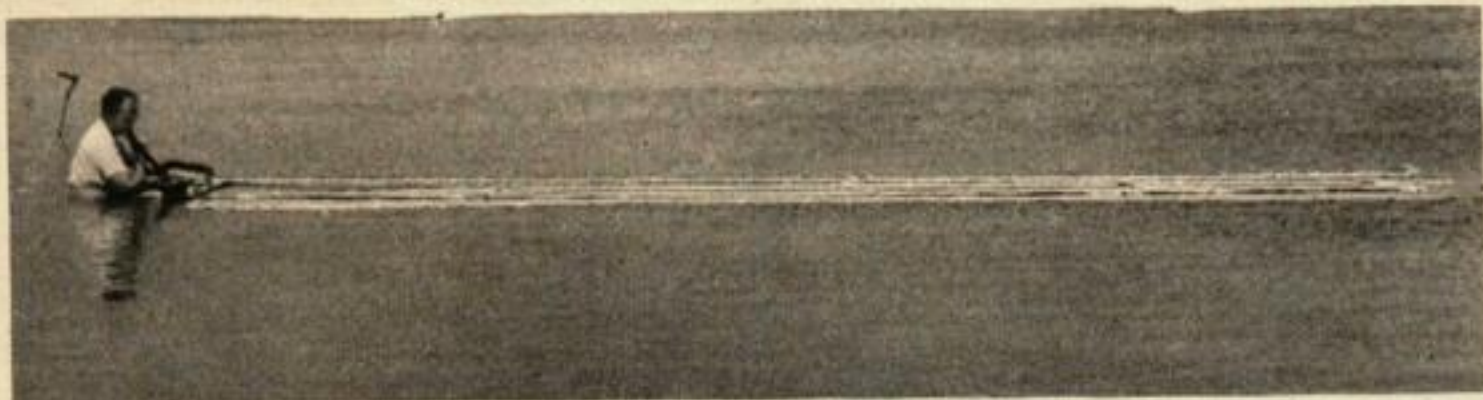
la température. Cela est vrai à toutes les profondeurs.

Si la pression partielle dans un des milieux en présence — air ou eau — d'un gaz est plus grande que dans l'autre, il tend à se diffuser vers le milieu où la pression est plus faible jusqu'au moment où l'équilibre s'établit. Mais cela n'influe nullement sur le comportement des autres gaz du mélange.

Le sang qui circule dans les vaisseaux capillaires des poumons est pauvre en oxygène et riche en gaz carbonique. Il n'est séparé de l'air inhalé que par la fine membrane qui tapisse les poumons et qui laisse passer les gaz mais pas le sang. Comme la pression partielle de l'oxygène de l'air est plus grande que celle de l'oxygène du sang, l'oxygène de l'air se diffuse à travers la membrane vers le sang. De même, la pression propre du gaz carbonique étant plus forte dans le sang pulmonaire que dans l'air, le gaz carbonique se diffuse à travers la membrane vers l'air.

Le même phénomène se produit entre l'eau et le sang.

Ayres avait fait une étude approfondie de ce phénomène. Il se convainquit qu'il était possible de réaliser des branchies artificielles. Mais il avait compté sans les examinateurs du Service des brevets, bien qu'il ait déjà obtenu plus de cent brevets. Lorsqu'il leur exposa son idée en 1955, « une expression d'horreur se répandit sur leur visage ». Ils devaient se dire : « Encore un cinglé. »



RESPIRANT « comme un poisson » Ayres inhale l'oxygène qui s'est diffusé de l'eau dans les manchons en plastique de 7,60 m de long.

Ayres réussit à faire admettre sa demande, mais les examinateurs refusèrent d'admettre les droits généraux qu'il réclamait. Ils ont renoué par exemple devant la phrase décisive « extraire l'oxygène dissous de l'eau de mer ». En 1962, un examinateur a exigé une « preuve de fonctionnement ».

Pour cela, Ayres devait réaliser un dispositif pouvant fonctionner. Il expérimenta alors l'appareil de Jones Beach. Il soumit son rapport de contrôle de fonctionnement, mais le service des brevets refusa d'y croire.

En 1964, il obtint une aide inespérée. Au Centre de recherches de la General Electric à Schenectady (N.Y.), le docteur Walter Robb avait expérimenté avec des membranes en caoutchouc de silicone, sans rien savoir des branchies d'Ayres. Il mit au point une méthode pour fabriquer des membranes sans trous d'épingle de 0,025 mm d'épaisseur seulement.

Pour attirer l'attention du public sur ces membranes sans solution de continuité, la G.E. a publié des photos où l'on voit un cochon d'Inde vivant dans une cage couverte de cette membrane et plongée dans l'eau. Selon la G. E., le hamster respirait l'oxygène extrait de l'eau qui entoure la cage à travers la membrane et le gaz carbonique était évacué en sens inverse.

Ayres découpa les articles qui parlaient de l'expérience de la G. E. et les porta au service des brevets.

« Ils pouvaient se payer ma tête, dit-il, mais ils ne pouvaient pas se payer la tête de la G. E. »

Il a obtenu son brevet l'année dernière. Le plus fort, dit Ayres, c'est que la membrane n'est pas du tout indispensable pour certains genres de branchies artificielles. Son brevet comprend des systèmes d'alimentation d'air sans membrane pour sous-marins et installations sous-marines.

A n'importe quelle profondeur, on peut faire circuler l'eau de mer dans un appareil échangeur de gaz à l'intérieur de la coque. L'air dissous se dégage de l'eau sous l'effet de la décompression. L'eau usée est ensuite renvoyée à la mer par des pompes. Selon Ayres, un tel système peut fournir autant d'air qu'on veut.

La marine U.S. expérimente en ce moment ce système sur une petite échelle. Des chercheurs du laboratoire des travaux publics de

la marine à Port Hueneme (Calif.), ont démontré que des animaux peuvent vivre indéfiniment dans un air renouvelé par ébullition à travers l'eau de mer.

Les branchies d'Ayres, dans leur forme la plus simple, ont un défaut important. Un plongeur qui s'en sert peut se maintenir indéfiniment dans l'eau, mais il ne peut plonger à de grandes profondeurs. La raison en est que l'air reste à la pression de surface dans les branchies, puisque la pression des gaz dissous dans l'eau est la même qu'à la surface, quelle que soit la profondeur, tandis que la pression de l'eau augmente d'environ une atmosphère dans les 10 mètres.

Un plongeur ne peut plus respirer l'air à la pression atmosphérique de surface s'il se trouve à quelques mètres seulement de profondeur. Ses muscles thoraciques ne sont pas assez forts pour vaincre la pression de l'eau. Au-dessous de 30 mètres de profondeur, la pression est telle qu'elle peut briser la cage thoracique de l'homme. Le scaphandre autonome équilibre cette pression extérieure de l'eau par une pression d'air intérieure égale.

Le brevet d'Ayres prévoit donc un réservoir d'air comprimé pour pressuriser les branchies. Le plongeur pompe l'air à la surface dans son réservoir, à l'aide d'une pompe à main. Cet air comprimé sert ensuite à équilibrer la pression de l'eau dans les branchies.

Certains ne sont pas convaincus qu'un tel système pourrait fonctionner. Selon eux, si l'air est comprimé dans les branchies, les pressions propres de l'oxygène et de l'azote dans l'appareil seront plus fortes que dans l'eau qui l'entoure, et les gaz se diffuseront vers l'extérieur à travers la branchie.

Ayres n'est pas de cet avis. Selon lui, on commencera par perdre un peu d'oxygène, mais très rapidement, un équilibre s'établit et l'oxygène de l'eau se diffuse alors vers la branchie suivant les besoins du plongeur. Un excès d'azote restera dans la branchie pour maintenir la pression pendant un temps. Il long pour avoir des résultats pratiques. Il finit quand même par se diffuser progressivement dans l'eau. Ayres a fait des expériences pour mesurer le taux de diffusion de l'azote pour divers genres de membrane. Il dit qu'un plongeur doit pouvoir se maintenir à 15 mètres de profondeur pendant une

(Suite page 124)

y passer d'abord de l'eau dans l'air avant de passer dans le sang. A la G.E., les techniciens envisagent une autre possibilité : un échange direct de gaz entre le sang et l'eau de mer. D'après cette conception, le sang du plongeur circule à l'intérieur d'une membrane tandis que l'eau de mer circule à l'extérieur de la membrane. Les poumons ne jouent plus aucun rôle dans ce système. On peut leur faire respirer un gaz inerte ou encore bloquer le réflexe respiratoire par un moyen quelconque.

Il y a des problèmes dont on ne voit pas encore la solution. Il faudrait un gros débit de sang dans la branchie. Pour cela, il faudrait peut-être faire une opération chirurgicale à cœur ouvert pour brancher les canalisations sur l'artère pulmonaire. On risque la formation de caillots de sang. Ce risque existe toujours dans les cœurs artificiels actuellement réalisés.

Il y a également l'osmose. Les membranes servant à l'échange des gaz sont perméables dans une certaine mesure à d'autres corps. Des molécules d'eau pourraient passer du sang dans l'eau de mer, et le plongeur serait alors déshydraté. Certains corps dissous dans l'eau pourraient passer dans le sang, dénaturant ce dernier.

Angelo Dounoucos, technicien de la G. E. chargé des recherches sur la membrane, m'a dit qu'à son avis on pourrait surmonter ces difficultés. La G. E. est en train de mettre au point en collaboration avec des médecins un appareil à membrane pour oxygéner le sang dans les machines cœur-poumons. Le but de cet appareil est d'éviter les lésions de globules sanguins qui se produisent quand on fait monter des bulles d'oxygène à travers le sang dans les appareils actuels. Les résultats très encourageants qu'on a déjà obtenus avec cet appareil devraient pouvoir être appliqués à la branchie, selon Dounoucos. Il écarte d'emblée le danger d'osmose. Les pertes d'eau du plongeur peuvent être facilement compensées, et les membranes peuvent être fabriquées de façon à ne laisser passer que les substances désirées.

Parmi les plongeurs professionnels, les branchies artificielles éveillent beaucoup d'intérêt. Robert Stenuit et Frank Palejczyk, qui sont au service d'une grande entreprise de travaux sous-marins, l'Ocean Systems Inc., se sont déclarés volontaires pour la greffe de branchies à échange direct entre sang et eau.

Les physiologistes de l'Ocean Systems ont déclaré que pour le moment, la perspective d'une telle opération est encore très lointaine. Pourtant, l'un d'eux, le Dr Heinz Schreiner, a dit que la firme s'intéresse sérieusement aux branchies artificielles.

Pour le moment, Ayres est le seul chercheur qui ait réalisé un appareil permettant à un être humain de respirer dans l'eau comme un poisson.

« Il a certainement du mérite, en tant que pionnier de la branchie » a dit de lui Dounoucos.

Devenez L'ELECTRONICIEN n° 1 PRÉPAREZ VOTRE AVENIR

dans le domaine le plus vivant
DES SCIENCES ACTUELLES

Votre valeur technique dépendra des cours que vous aurez suivis. Depuis près de 30 ans nous avons formé des milliers de spécialistes dans le monde entier. Faites comme eux, choisissez

LA MÉTHODE PROGRESSIVE

- + Cours d'Electricité
 - + Cours d'Electronique Générale
 - + Cours de Transistors
 - + Cours de Télévision
- avec des centaines d'expériences pratiques à réaliser chez vous.



Demandez ces 2 manuels gratuits en couleur sur
LA MÉTHODE PROGRESSIVE

INSTITUT ELECTRO-RADIO
26, rue Boileau, Paris (XVI^e)

primé pour les distributeurs automatiques de crème fouettée et autres produits périssables. Sa molécule se compose de carbone et de fluor (les autres variétés de fréon se composent de carbone et de chlore). Ce gaz est inodore et, paraît-il, inoffensif. Des animaux ont vécu pendant des mois dans une atmosphère de 80 % de fréon C. 318 et de 20 % d'oxygène.

Le Fréon C. 318 est pratiquement insoluble dans le sang et dans l'eau. De même, il ne peut traverser une membrane. Les physiiciens considèrent que les molécules qui traversent une membrane sont « en solution » dans la matière qui compose la membrane. Le fréon ne peut donc s'échapper d'une branchie artificielle pressurisée. Le plongeur emporte simplement une bouteille de fréon liquide avec son appareil respiratoire et s'en sert pour équilibrer la pression intérieure de la branchie avec la pression extérieure. Lorsqu'il remonte à la surface, le fréon en excès est évacué dans l'eau.

Le Fréon C. 318 reste gazeux tant que la pression ne dépasse pas 3 kg/cm²; c'est la pression qu'on trouve vers 20 mètres de profondeur. Au-dessus de cette pression, le fréon devient liquide. La branchie de Strauss ne peut donc servir à plus de 20 mètres de profondeur. Il est peut-être possible de découvrir d'autres gaz lourds inertes pouvant rester liquides à des pressions plus fortes. Il y a des mises au point à faire avant de fabriquer des branchies artificielles en série. Ayres a récemment essayé un modèle de branchie attaché sur le dos dans une piscine de Long Island. Cet appareil avait une surface totale de membrane plus grande que le dispositif encombrant essayé à Jones Beach — 10 m² au lieu de 6 m² — mais son rendement était moins bon et Ayres ne put respirer dans l'eau que pendant 10 minutes. Il semble que l'écoulement de l'eau entre les plis de la membrane est freiné de telle manière que les échanges de gaz deviennent insuffisants. Pour activer l'écoulement, il faudrait sans doute utiliser des hélices. Ou alors, augmenter la surface de membrane.

Mais ces problèmes ne semblent pas insurmontables. L'essentiel, c'est qu'on a démontré que l'homme peut respirer dans l'eau comme un poisson. Lorsque la branchie sera au point, certains risques seront minimisés : intoxication d'oxygène, narcose de l'azote, crampes. Ces risques sont créés par la diffusion des gaz sous pression dans l'organisme du plongeur. Avec une branchie, les gaz diffusés dans l'organisme tendent à se mettre en équilibre avec les pressions propres des mêmes gaz dans l'eau.

Comme ces pressions sont à peu près les mêmes que celles qu'on trouve dans l'atmosphère, on peut supposer qu'il est moins dangereux de plonger avec une branchie artificielle qu'avec un scaphandre autonome.

Mais l'appareil d'Ayres, si primitif, qu'il soit, semble encore trop compliqué à certains penseurs audacieux, car l'oxygène doit

Des branchies artificielles

(Suite de la page 20)

demi-heure, puis revenir à la surface, avant de recommencer.

Ayres m'a dit qu'il a trouvé une méthode — qu'il garde secrète — pour plonger à plus de 100 mètres de profondeur et y rester aussi longtemps qu'on veut.

Le second inventeur à faire breveter un système de branchie a trouvé un autre moyen pour plonger à de grandes profondeurs. C'est Lewis Strauss, de Washington (D. C.), un médecin dont le père a fait partie de la commission U.S. de l'énergie atomique.

La branchie de Strauss semble être un perfectionnement de celle d'Ayres. Ce qui la distingue particulièrement, c'est qu'elle doit être pressurisée par une variété du gaz Fréon appelée Fréon C. 318. C'est une variété découverte par Du Pont mais différente de celle qu'on utilise dans les appareils de réfrigération.

On l'avait mis au point comme gaz com-