

12. Les systèmes d'intervention par plongeurs

Historique

La première réalisation pour permettre des interventions opérationnelles de plongeurs au-delà de 70 à 80 mètres est due à Siebe Gorman. Il avait conçu une tourelle submersible de forme cylindrique qui jouait le rôle d'ascenseur entre la surface et le fond, et vice versa. Elle était mise en œuvre à partir d'un bâtiment à l'aide d'un mât de charge. Deux plongeurs étaient installés avec leurs appareils respiratoires et descendus vers le lieu de travail. Au cours de la descente panneau ouvert, le volume intérieur était comprimé à l'air, provenant de la surface par un tuyau appelé « ombilical » ; cette compression permettait de maintenir l'eau au niveau du panneau de sortie. Les plongeurs respiraient de l'air jusqu'à 60 mètres, puis le mélange adapté à la profondeur et distribué par les appareils. La tourelle était arrêtée à quelques mètres du fond. Les plongeurs sortaient et effectuaient leur travail à proximité (moins de 20 mètres) reliés à la tourelle par une ligne de nylon (ligne de vie) et par le fil du téléphone. Quand le travail était terminé, et sur l'ordre de la surface,

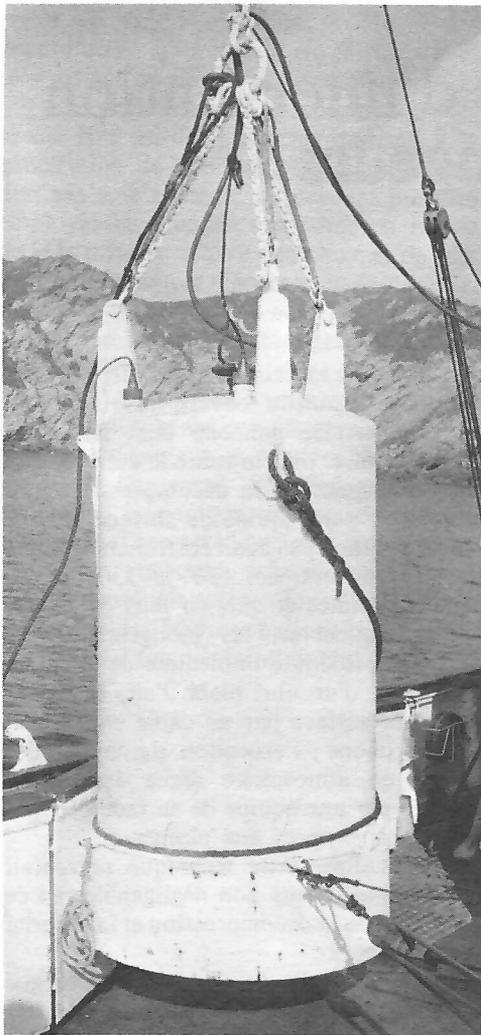
les plongeurs ralliaient la tourelle, qui était remontée, panneau ouvert, jusqu'au premier palier. Le panneau était fermé au palier suivant, puis la tourelle était remontée sur le pont où la décompression était poursuivie par l'équipe de surface.

Un grand pas avait été franchi puisque les profondeurs de 120 à 130 mètres étaient atteintes et que, en plus de l'autonomie augmentée, les plongeurs disposaient, à proximité immédiate de leur lieu de travail, d'un abri plein d'air, éclairé et relié à la surface par un câble en acier et un interphone ; l'exécution rigoureuse des paliers en atmosphère sèche était commandée par une équipe de surface dégagée des soucis propres aux plongeurs.

Toutefois, cette technique présentait deux inconvénients non négligeables en ce qui concerne la décompression et la sécurité des plongeurs :

– la tourelle de plongée était exiguë et imposait aux plongeurs fatigués de rester enfermés dans une position inconfortable pendant une longue durée avec un risque d'accident de décompression ;

– il était impossible de porter secours à un plongeur en difficulté pendant la décompression sur le pont. Il fallait alors choisir entre le risque d'une décompression rapide et celui de le laisser sans soins.



65. Tourelle Siebe-Gorman (ancien modèle).

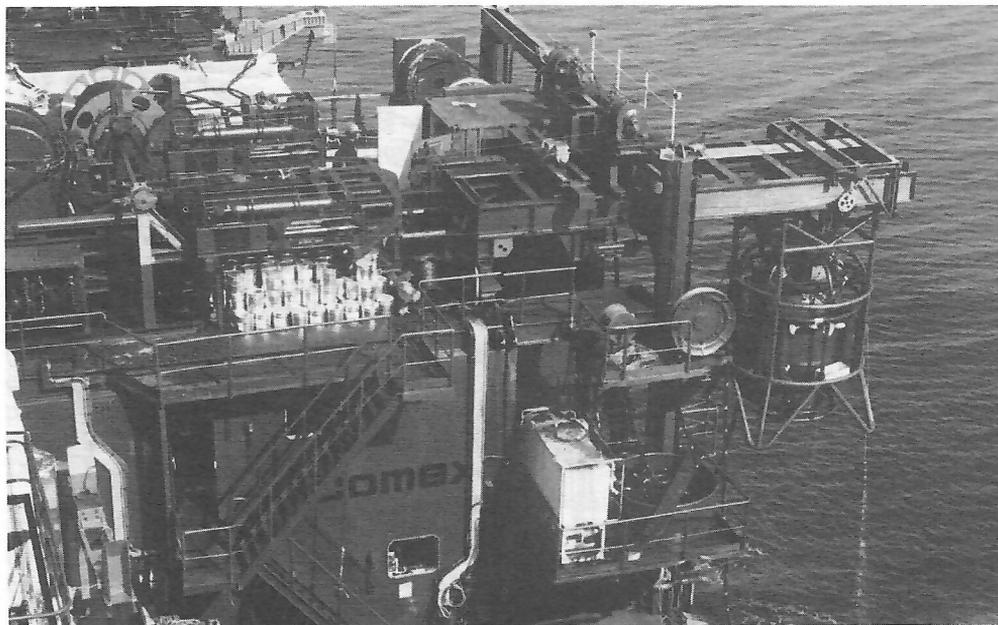
L'U.S. Navy, qui du reste n'employait pas de plongeurs mais des scaphandriers, respirant un mélange hélium-oxygène, avait travaillé dans une autre direction. Les scaphandriers étaient descendus et remontés du lieu d'intervention sur une plate-forme mobile. Ils remontaient sans exécuter de paliers, mais dès leur retour en surface ils étaient placés dans un caisson de recompression. Ils étaient recomprimés à la profondeur du premier palier en moins de trois minutes et exécutaient, ensuite, l'ensemble de la procédure de décompression.

Pour profiter au mieux des avantages qu'offrait la tourelle ascenseur, il est alors apparu qu'il fallait la marier avec un caisson de décompression fixe installé sur le support en surface. La procédure a donc été modifiée.

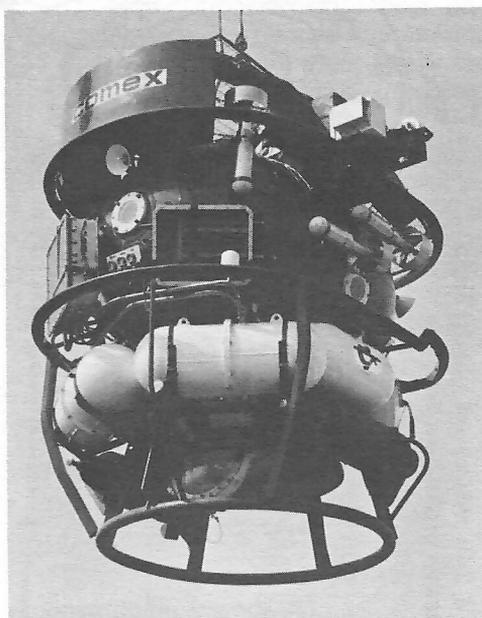
La décompression commencée dans la tourelle pendant la remontée put être poursuivie dans un caisson comportant un sas, permettant ainsi d'assurer le confort des plongeurs et offrant la possibilité au médecin d'accéder jusqu'à eux en cas d'incident. Pour réaliser cette opération, la partie inférieure de la tourelle fut aménagée pour permettre sa fixation sur un panneau d'accès du caisson avec un dispositif à mâchoires à commande mécanique ou hydraulique, assurant l'étanchéité. Les pressions intérieures de la tourelle et du caisson étaient mises en équipression et les plongeurs étaient transférés de la tourelle dans le caisson.

Vers 1965, la durée et la profondeur des interventions furent augmentées par la mise en service de tourelles de plus grandes dimensions et disposant d'équipements importants :

- stockage des différents gaz dans des bouteilles fixées autour de la tourelle aboutissant à un tableau de distribution intérieur ;

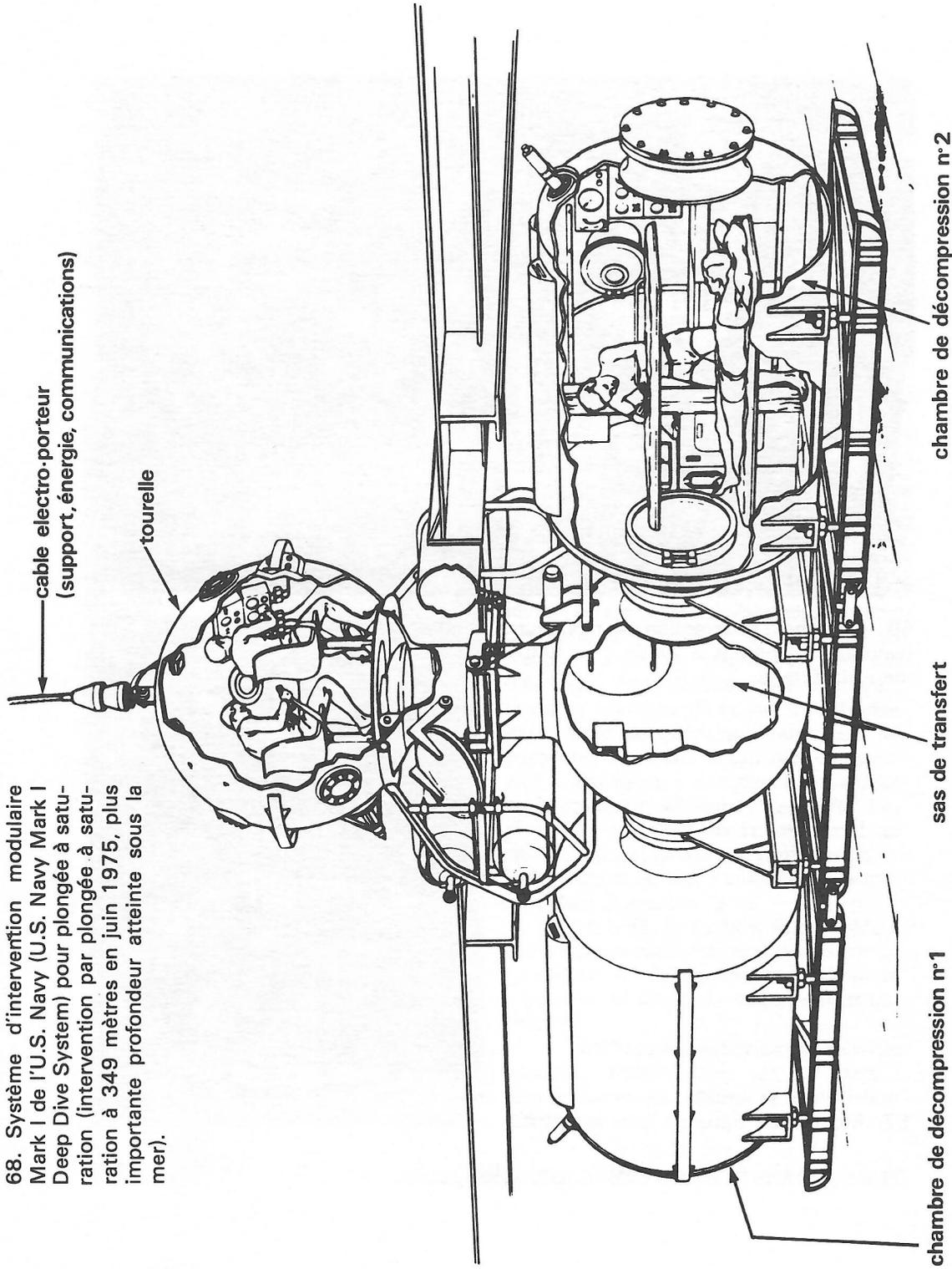


66. Système d'intervention par plongeur (saturation) opérant à partir d'un bâtiment de forage.



67. Module de transfert auto-propulsé.

68. Système d'intervention modulaire Mark I de l'U.S. Navy (U.S. Navy Mark I Deep Dive System) pour plongée à saturation (intervention par plongée à saturation à 349 mètres en juin 1975, plus importante profondeur atteinte sous la mer).



- dispositif d'épuration du CO₂ (ventilateur et filtres à chaux sodée) ;
- recombposition de l'atmosphère par apport d'oxygène avec débitmètre ;
- utilisation de « narguilés » d'alimentation en mélange du plongeur ;
- fourniture d'énergie à partir de la surface et transmise par câble électroporteur.

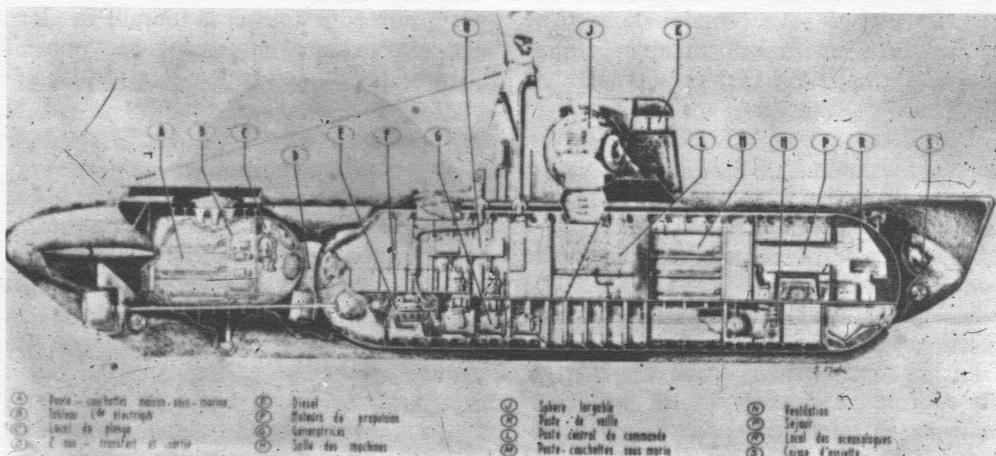
Mais en essayant toujours de descendre davantage, on s'est trouvé devant une quasi-impossibilité due au très faible rapport de la durée du travail au fond à celle de la décompression. Il faut en effet, pour 30 minutes de travail à 150 mètres, une décompression de 7 heures environ. De plus, la fatigue imposée aux plongeurs par ces longues décompressions interdisent des plongées trop répétées ; il devenait impossible d'utiliser l'homme pour des travaux rentables.

Avec les travaux de E. Link et du docteur Bond, de la Marine américaine, et ceux du commandant Cousteau et du professeur Chouteau en France, on avait exploré, par les expérimentations en mer

« Sealab » et « Pré-Continent », les possibilités de faire vivre des hommes, en pression, dans des « maisons sous la mer ». Ces maisons étaient des bases sous-marines dont les installations étaient importantes et fixes. Le commandant Cousteau pensait rendre mobile cette maison sous la mer par la formule *Argyronète* (sous-marin de 200 tonnes, autonomie 3 semaines) qui offrait la possibilité de rallier en plongée les lieux de travail et de mettre en œuvre des équipes de plongeurs vivant en saturation. Cependant, il apparut aux opérateurs de travaux sous-marins que la solution résidait plutôt dans la « maison sur la mer ».

C'est la société américaine Oceans Systems qui réalisa le premier ensemble pour le compte de l'U.S. Navy.

En France, la première expérience à la mer de ce genre fut menée en octobre 1968 par la société C.O.M.E.X. à partir de l'*Astragale*, bâtiment équipé pour des expérimentations de forage sous-marin. Une équipe de plongeurs a vécu dans un caisson en surface à la pression équivalant



69. Le sous-marin *Argyronète* (construction inachevée).

à la profondeur de 140 mètres, avec des interventions à 150 mètres en tourelle. L'appareil respiratoire utilisé avait été le Mixgers. Cette opération avait été la première des expérimentations « Janus ».

Depuis 1969, les systèmes d'intervention ont connu un développement en raison des besoins pétroliers. Différents types de systèmes ont été construits, l'ensemble de base comportant toujours un caisson avec sas et tourelle. La variété des modèles a porté sur les tourelles : forme cylindrique ou sphérique, inertes ou propulsées, avec ou sans ombilical, supportées par câble antigiratoire ou par câble électroporteur entre câbles-guides, dispositif de « clamping » au caisson sur plan horizontal ou vertical.

Les caissons ont été agrandis et ont pu être fixés les uns aux autres, en étoile sur chambre centrale, ou sur axe horizontal, pour permettre la mise en

œuvre simultanée de plusieurs équipes de plongeurs.

Certaines tourelles, telle la Purissima, comportaient deux compartiments. Un compartiment à la pression atmosphérique pour un observateur, ou directeur de plongée, et un compartiment pressurisable. Cette formule, qui semblait séduisante, a été cependant complètement abandonnée en raison, sans doute, de l'apparition des sous-marins crache-plongeurs (sous-marin « lock-out »).

On peut dire qu'à l'heure actuelle les tourelles de plongée tendent à se standardiser. Embarquées à bord de bâtiments ou de plates-formes spécialisés sous forme d'installations, fixes ou mobiles, ces systèmes simples et légers, utilisés pour la plongée d'incursion (caisson de décompression et tourelle), ont fait place à des ensembles plus complexes avec la régénération de gaz que nécessite la saturation.

La plongée par système

La plongée avec emploi de système nécessite un environnement et une infrastructure matérielle importants. Il est nécessaire de disposer :

- d'un support en surface (bâtiment ou plate-forme) ;
- d'installations hyperbares (caissons, compresseurs, réserve de gaz) ;
- d'un moyen de pénétration (tourelle ou sous-marin) ;
- d'un dispositif de mise à l'eau (portique, potence).

Les opérations menées à partir de plate-forme ne posent pas de problèmes majeurs, en raison de la fixité de la plate-forme qui est à l'aplomb de l'objectif à traiter. Avec un bâtiment, par contre, il est

nécessaire pour amener la tourelle de plongée à proximité immédiate de l'objectif (la pratique d'intervention étant de 10 mètres) d'avoir un positionnement relatif du bâtiment par rapport à l'objectif extrêmement précis.

L'intervention est réalisée par une équipe de deux ou trois plongeurs amenés sur le fond par tourelle ou sous-marin « crache-plongeurs » suivant des procédures bien définies. La direction appartient à la surface qui prescrit aux plongeurs les manœuvres à exécuter. Pendant la sortie en eau, le plongeur est relié à la tourelle ou au sous-marin par une ligne comportant le « narguilé » d'alimentation en gaz, les câbles de liaison de téléphone et de réchauf-

feur de gaz. La décompression est effectuée en atmosphère sèche, dans l'ensemble hyperbare où sont transférés les plongeurs quand est réalisée la fixation de la tourelle ou du sous-marin sur la chambre de décompression.

Ce type d'intervention est très différent des plongées effectuées en scaphandre autonome et se caractérise par les points suivants :

- le problème du matériel prend le pas sur la plongée pure ;
- l'environnement est lourd en personnel et en matériel ;
- la liberté d'action du plongeur, lié à la tourelle ou au sous-marin, est réduite à quelques mètres ;
- une haute qualification est demandée au plongeur profond en raison de l'agression importante due au milieu, qui nécessite l'emploi d'équipements complexes ;
- les procédures sont strictement définies.

De nombreuses sociétés civiles se sont créées dans le monde et disposent actuellement d'un potentiel important en moyens de pénétration sous la mer. Quelques-unes, dotées d'un centre de recherches, élaborent et mettent au point leurs procédures de plongée adaptées aux systèmes qu'elles utilisent.

Parallèlement, des marines militaires ont également développé leurs moyens d'intervention nécessaires pour leurs tâches relatives à la manifestation de la souveraineté nationale (surveillance, expertise, contrôle) et aux activités normales des armées et des organismes de la défense (sauvetage de sous-marins, récupération d'objets...). En France, c'est en avril 1974 que l'état-major de la Marine a créé le Groupe d'Intervention sous la mer (G.I.S.M.E.R.) qui a englobé l'organisme spécialisé dans la plongée profonde (G.E.R.S.) et celui spécialisé dans l'intervention par sous-marin d'exploration (Groupe des Bathyscaphes).

DESCRIPTION DES SYSTÈMES

Les systèmes d'intervention par plongeurs demandent une infrastructure et un environnement plus ou moins importants suivant l'emploi pour lequel ils sont conçus, c'est-à-dire opérations par plongée d'incursion ou par plongée à saturation. Ils sont installés, soit définitivement, soit pour une durée limitée, sur des supports fixes (plateforme d'exploitation pétrolière) ou mobiles (bâtiment d'intervention). Ils comportent :

- une tourelle de plongée ou un sous-marin crache-plongeurs ;
- un caisson multichambre sur lequel vient se fixer la tourelle ou le sous-marin et auquel sont associées des installations relatives :

- à la fabrication et au stockage des gaz respiratoires,
- aux réserves d'hélium et d'oxygène,
- à la distribution des gaz vers les différents éléments du système,
- à la régénération de l'atmosphère des caissons et de la tourelle¹,
- à la fourniture de l'eau pour la salle d'hygiène²,
- à la mesure et au contrôle des divers paramètres (pression, température, hygrométrie...),

1. et 2. Généralement employées en plongée à saturation.

– éventuellement, aux équipements des plongeurs (chaudière d'eau chaude) ;

– un réseau de transmissions ;

– un réseau télévision¹ ;

– des installations de manutention ;

– un poste de direction et de contrôle de la plongée.

LA TOURELLE DE PLONGÉE

Elle joue le rôle d'ascenseur et assure la protection des plongeurs contre les agressions du milieu. Elle dispose des équipements suivants :

– éclairage interne par lampes alimentées en 24 volts ;

– éclairage externe par des projecteurs avec lampes à iode d'une puissance variant entre 500 et 750 W et une alimentation en 115 volts ;

– alimentation en gaz respiratoires pour la pressurisation de la tourelle et pour les plongeurs.

Elle peut avoir son autonomie en gaz sous forme de capacités (bouteilles de 50 et 150 l) installées en couronne, ou recevoir le gaz de la surface par un tuyau en caoutchouc appelé « ombilical ». Dans ce cas, un groupe de bouteilles de secours en mélanges et oxygène est monté pour permettre la poursuite du déroulement de la procédure lorsque l'alimentation par ombilical n'est plus assurée ;

– dispositif de recyclage de gaz employé pour récupérer et réutiliser les gaz expirés par le plongeur, afin de réaliser une économie dans les consommations d'hélium (voir schéma). Il comporte en particulier :

– un ensemble de deux surprises

1. Généralement employé en plongée à saturation.

seurs situés dans une enceinte étanche et entraînés chacun par un moteur électrique, qui aspirent dans la tourelle puis refoulent vers une rampe d'alimentation des plongeurs en passant par un filtre et un réservoir tampon ;

– un filtre à chaux sodée (CO₂) et à odeurs (charbon actif) ;

– une capacité tampon ;

– un analyseur-doseur automatique d'oxygène qui maintient la pression partielle d'oxygène à la valeur désirée ;

– chauffage de l'atmosphère par réchauffeur à résistances électriques avec ventilateur (*Triton*). Deux allures de chauffe, 1 500 W et 3 000 W ;

– épuration de l'atmosphère par élimination du gaz carbonique. Le ventilateur aspire à travers une cartouche contenant de la chaux sodée ;

– contrôle de l'atmosphère par analyseurs d'oxygène et de CO₂ portatifs ou fixes ;

– manomètres donnant les différentes pressions (pression interne, pression externe) ;

– interphone (normal et secours) pour les communications chef tourelle-surface ;

– caméra de télévision intérieure et extérieure pour le contrôle des plongeurs, le positionnement de la tourelle et la surveillance du chantier sous-marin ;

– un ensemble de circuits de sécurité avec boulons explosifs et cisailles pyrotechniques (cisaillement du câble électroporteur et des câbles-guides) ;

– lest largable à commande mécanique ou pyrotechnique ;

– un pupitre ou un tableau de distribution des gaz avec vannes, régulateurs de pression (réglage de la pression d'alimentation des plongeurs) ;

– des passages de coque pour les circuits électriques et gazeux.

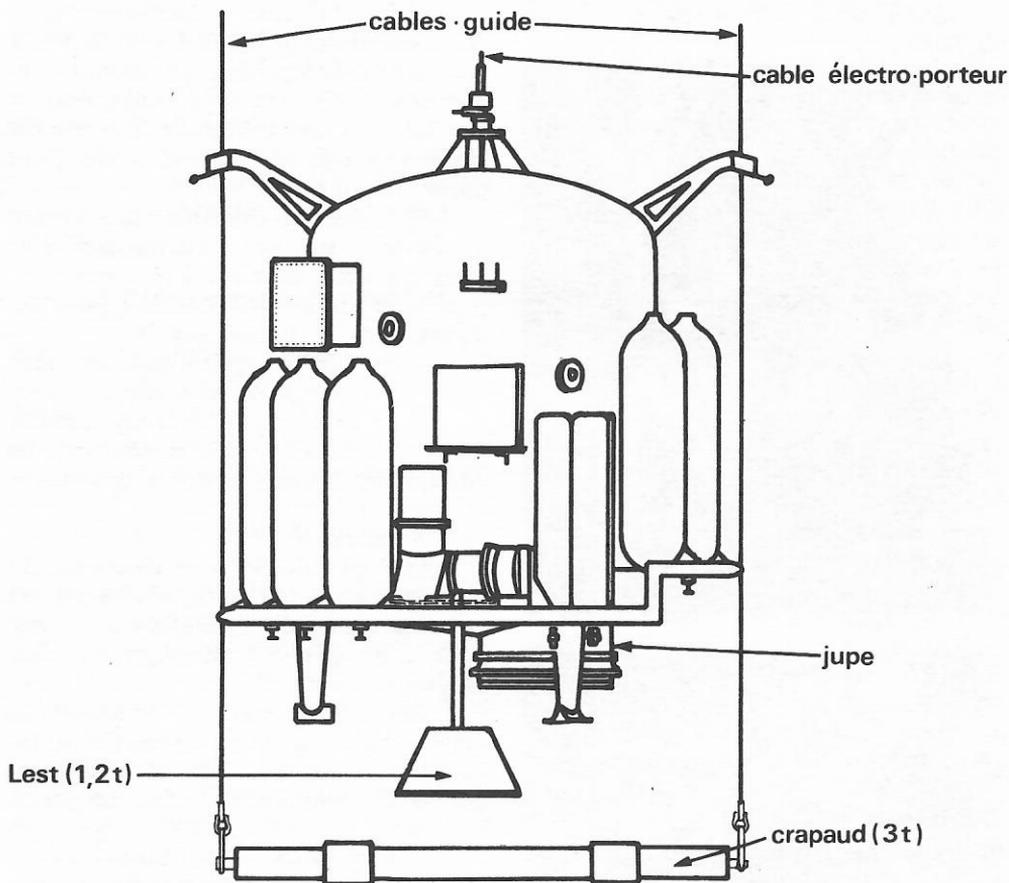
PANNEAUX D'ACCÈS

Les tourelles de plongée disposent d'orifices :

– sur le fond inférieur, un tambour d'accès appelé « jupe », fermé côté tourelle et côté extérieur par deux panneaux équi-

librés (\varnothing entre 600 et 800 mm). Le panneau supérieur est autoclave pour une pression dans la tourelle supérieure à la pression extérieure. Le panneau inférieur est autoclave dans le sens inverse. Les plongeurs effectuent leur sortie en eau et le retour à la tourelle par la jupe. Ce type de tourelle se fixe au caisson par jonction de la jupe au manchon (clampage vertical) ;

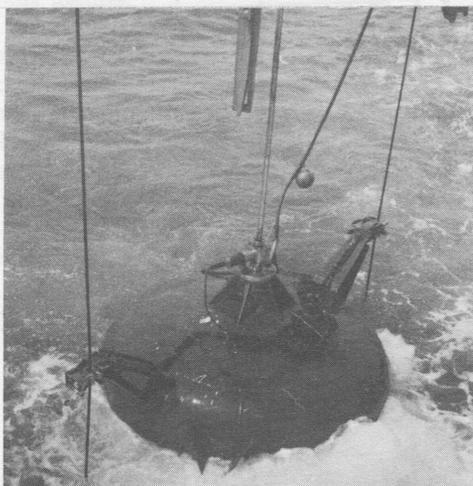
– éventuellement, sur le côté, un deuxième tunnel est équipé de deux pan-



70. Tourelle de plongée du *Triton*.



71-72-73. Mise à l'eau de la tourelle du Triton.



neaux autoclaves. Ce tunnel permet un « clampage horizontal », la tourelle étant amenée sur rails, au contact d'un orifice latéral du caisson.

Observation

La coque est munie de hublots en plexiglas, autoclave dans les deux sens. Les panneaux peuvent également recevoir un hublot central.

Énergie (« Biesm Triton »)

□ L'installation électrique comporte une alimentation en 380 V ou 440 V par câble électroporteur qui aboutit dans une boîte extérieure à la coque épaisse. Les tableaux en coffrets électriques extérieurs sont emplis d'huile et munis d'une poche d'équilibrage.

□ Le circuit principal alimente soit directement, soit par l'intermédiaire d'un transformateur, extérieur à la coque :

- en 380 ou 440 V tri le moteur des surpresseurs du circuit recyclage,
- en 115 V mono l'éclairage extérieur, le chauffage, la ventilation,
- en 24 V mono l'éclairage interne, les réchauffeurs de gaz respiratoires, les circuits de contrôle et de télécommande.

Flottabilité

Elle est calculée pour que, lests largués, la tourelle soit en flottabilité positive et puisse remonter vers la surface. Équipée pour la plongée, elle est toujours en flottabilité négative.

Le devis de poids d'une tourelle en cours d'opération repose sur deux données :

- le poids dans l'air, qui est limité par la capacité de l'appareil de manutention ;
- le poids dans l'eau, qui doit être tel que la réserve de flottabilité soit conservée.

Le poids et le volume varient suivant

les performances et l'emploi recherchés. Actuellement, des sociétés civiles ont des tourelles pouvant intervenir jusqu'à 400 mètres. La C.O.M.E.X. a en attente une tourelle équipée pour - 600 mètres. Leur poids se situe entre 3 et 7 tonnes, avec équipage de deux et trois plongeurs.

La tourelle du *Triton* est la plus grande tourelle en service dans le monde. Ses caractéristiques sont les suivantes :

- cylindrique de \varnothing intérieur 2,20 m et de 3,30 m de hauteur ;
- panneau inférieur de \varnothing 750 mm ;
- poids avec lests 13 tonnes ;
- deux lests de 1,2 tonne chacun ;
- équipage normal 3 plongeurs avec possibilité de 4 plongeurs ;
- intervention jusqu'à 250 mètres pouvant être assurée jusqu'à 310 mètres environ par procédure type « Ludion ».

LES CAISSONS MULTICHAMBRES

Au cours de ces dernières années, les caissons ont été conçus pour être employés :

- d'une part, dans les opérations d'exploitation pétrolière, où la tendance est nettement marquée pour des activités continues par plongée à saturation, qui exigent la mise en œuvre simultanée de plusieurs équipes dans des conditions assez dures (intempéries, froid...);

- d'autre part, pour les expérimentations dans les centres de recherches où les équipements sont plus sophistiqués et moins exposés.

Nous présentons la « maison sur la mer » du *Biesm Triton* qui correspond à la définition actuelle d'un ensemble hyperbare et de ses installations annexes.

Le caisson multichambre du *Triton* est installé dans un local situé au centre du

navire, position la plus favorable pour le séjour en mer. Il comprend :

- une chambre d'axe vertical, jouant le rôle de salle de séjour et terminée à la partie supérieure par un manchon sur lequel vient se fixer la tourelle ;

- une chambre d'axe horizontal jouant le rôle de salle de repos. Cette chambre communique avec la précédente par un tunnel placé latéralement près d'une extrémité et est équipée, à l'autre extrémité, d'un sas aménagé en salle d'hygiène (WC, lavabo, douche).

Le caisson est timbré à la pression de service de 25 bars. La salle de séjour, d'un diamètre extérieur de 2,20 mètres et d'une longueur totale de 2,70 mètres, comprend des passages fermés par des panneaux autoclaves étanches, deux hublots de surveillance, un sas à médicaments, des passages de coque pour tuyautages et câblages électriques. L'ouverture de \varnothing 800 mm sur l'enveloppe cylindrique sert au raccordement avec la salle de repos ; l'ouverture de \varnothing 600 mm implantée en face de la première sert au raccordement du caisson monoplace et l'ouverture de \varnothing 750 mm placée à la partie supérieure permet le passage vers la tourelle.

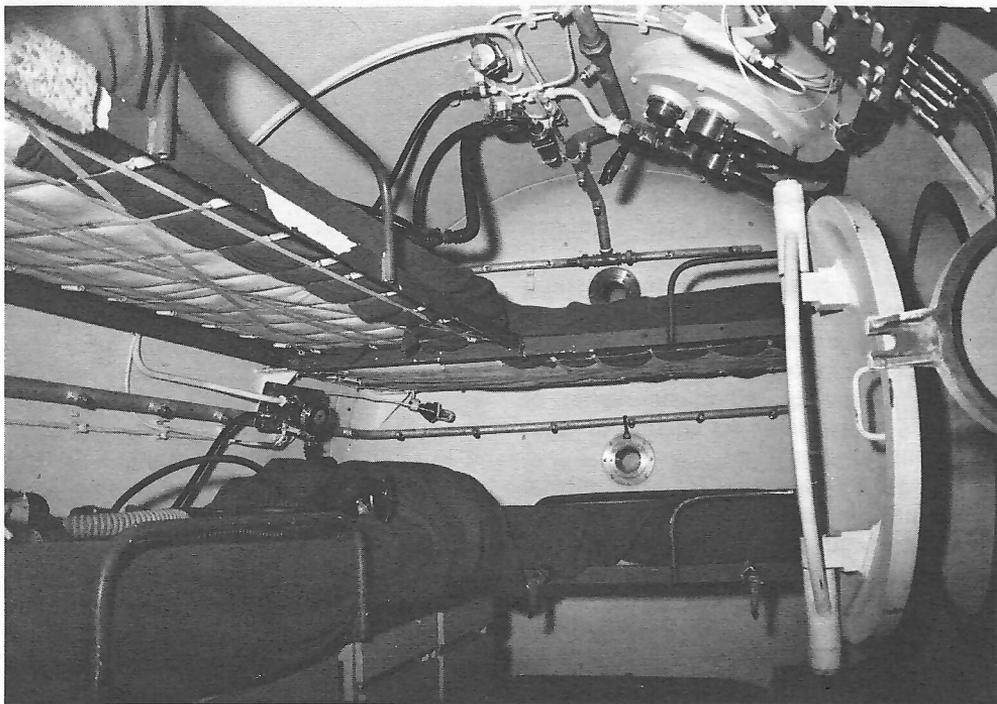
La chambre horizontale, d'un diamètre extérieur de 2,20 mètres et d'une longueur totale de 5,70 mètres, comprend le compartiment de repos proprement dit et le sas d'accès. Elle est équipée de trois passages fermés par panneaux autoclaves étanches, de cinq hublots, d'un sas à médicaments et de diverses traversées étanches. Toutes les ouvertures sont de \varnothing 800 mm ; elles donnent accès de la salle de repos à la salle de séjour et au sas à l'extérieur.

Les installations sanitaires du caisson sont alimentées par une caisse à eau de lavage de 150 litres environ, pouvant être pressurisée à 25 bars. Les eaux usées sont

envoyées dans une caisse de même capacité et de pression de service, placée dans le double fond permettant l'évacuation à la mer par chasse d'air. A l'extérieur du caisson et dans une enveloppe résistante, une cartouche de charbon actif est placée sur la tuyauterie d'équilibrage de la caisse à eaux usées. La purge de cette caisse est également équipée d'une cartouche de charbon actif. La robinetterie de mise en œuvre de la caisse à eaux usées est regroupée sur un tableau de manœuvre et les sécurités sont prévues entre la vanne de coque et les autres vannes en amont de la caisse pour éviter toute fausse manœuvre entre le caisson et la mer pendant les opérations de chasse à l'extérieur.

Les salles de séjour et de repos sont éclairées en 24 volts par des lampes commandées par interrupteurs et protégées par fusibles placés les uns et les autres à l'extérieur des chambres. La traversée de la coque s'effectue en câble pyrotanax. Les lampes sont placées en boîtiers résistant à la pression et dont l'intérieur est mis à la purge par un orifice calibré de très petite dimension. Aucun matériau combustible n'est utilisé.

Un dispositif d'extinction est prévu à l'intérieur du caisson. Il est constitué par trois rampes (une par chambre) de projection d'eau pulvérisée, alimentées par une caisse de 220 litres, timbrée à 35 bars et pressurisée à 10 bars au-dessus de la



74. Compartiment repos de l'ensemble hyperbare du *Triton*.

pression intérieure du caisson. Le déclenchement du dispositif d'extinction est manuel, avec possibilité d'adjonction d'un déclenchement automatique commandé par des détecteurs de flamme et de fumée.

Circuits gazeux

Rôle des circuits

La disposition des circuits permet d'effectuer les opérations suivantes :

– mise en pression des quatre compartiments du caisson (salle de séjour, salle de repos, sas, tourelle), soit simultanément, soit indépendamment. La mise en pression peut s'effectuer soit à l'air, soit à l'aide d'un mélange suivant le protocole de plongée. L'air ou les mélanges sont stockés dans des réservoirs sous pression et sont distribués par un jeu de sectionnements dans tous les compartiments du caisson ;

– maintien de la pression pendant toute la durée du séjour sur le fond en plongée à saturation. On compense simplement les variations de pression dues aux fuites et à la consommation d'oxygène par les plongeurs ;

– régénération de l'atmosphère respirable du caisson pendant toute la durée de la plongée à saturation en maintenant la composition du mélange, son hygrométrie et sa température, conformément au protocole ;

– décompression. Les compartiments du caisson mis en pression sont décomprimés à la fin d'une opération pour ramener les plongeurs à la pression atmosphérique.

Stockage des gaz

Circuit hélium

La réserve d'hélium est constituée par 99 bouteilles de 50 litres, soit 990 Nm³ d'hélium pur comprimé à 200 bars. Ces

bouteilles sont disposées en batteries et utilisées pour la confection des mélanges.

Circuit oxygène

La réserve d'oxygène pur est constituée par 3 bouteilles de 300 litres gonflées à 200 bars. Cette réserve est utilisée soit pour la confection des mélanges, soit pour l'appoint d'oxygène pendant la phase de régénération de l'atmosphère du caisson. Une vanne de commande pneumatique permet d'isoler rapidement, à partir du tableau de commande, le groupe des bouteilles d'oxygène.

Circuit d'air comprimé

Production. – La production d'air HP pour le service du caisson est assurée par deux surpresseurs à membrane Corblin alimentés en air propre (exempt d'huile) par deux compresseurs secs (non lubrifiés) Burton d'un débit de 65 Nm³/h unitaire à la pression de 8 bars relatifs.

Réserve. – La réserve d'air comprimé pour le service du caisson est constituée par 6 bouteilles de 300 litres. Afin d'éviter que les bouteilles (qui n'ont pas reçu, lors de l'épreuve, le film d'huile protecteur) ne soient l'objet d'une corrosion importante, activée par la suroxygénation pour les bouteilles de mélanges, un sécheur d'air est prévu en aval des surpresseurs. Ce sécheur est également utilisé pour les transferts de mélanges.

Circuit mélanges

Les mélanges sont stockés dans 20 bouteilles de 300 litres gonflées à 250 bars et utilisées à la demande en fonction des plongées à effectuer. Sur chaque groupe, une vanne à commande pneumatique permet d'isoler le groupe rapidement, à partir du tableau de commande.

Transfert

L'installation de transfert est utilisée pour :

- charger le groupe hélium à partir de l'approvisionnement ;
- charger le groupe oxygène pur à partir de l'approvisionnement ;
- charger les groupes de mélanges :
 - à partir des groupes air comprimé, oxygène ou hélium,
 - à partir du circuit de décompression des caissons par l'intermédiaire de deux surpresseurs de débit de 120 Nm³/h.

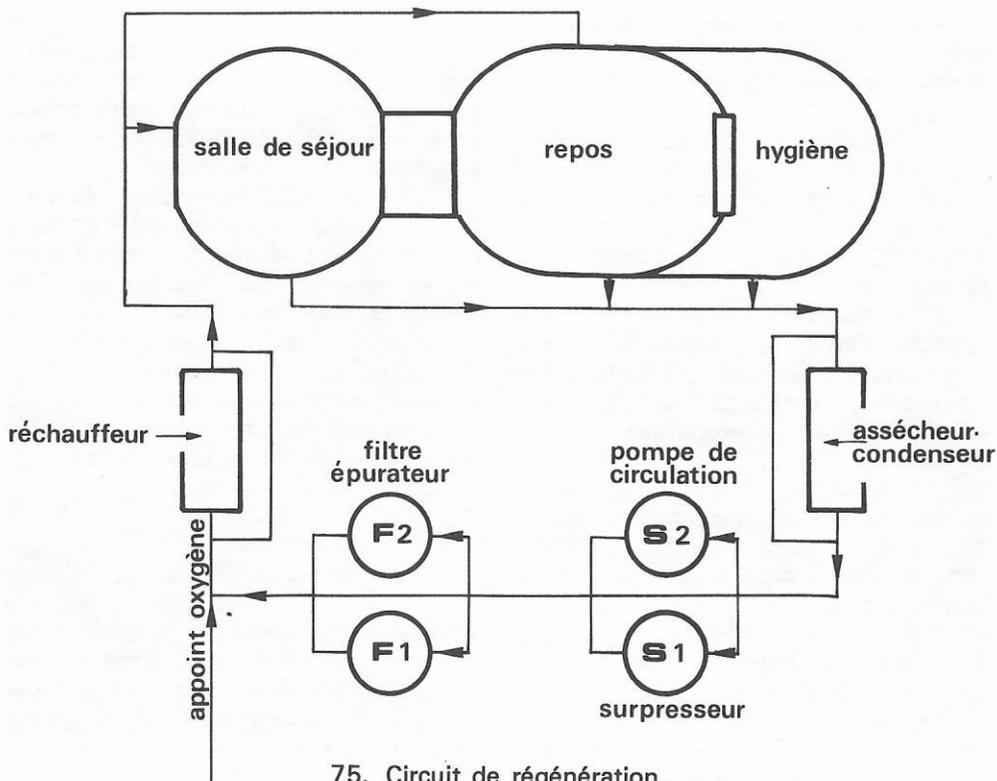
Régénération

L'installation de régénération a pour but de :

- maintenir la composition du gaz,
- maintenir son taux d'humidité,
- maintenir sa température.

Le gaz composant l'atmosphère du caisson circule en circuit fermé entre la chambre et l'unité de régénération. La pompe de circulation aspire le gaz et le refoule dans la même chambre en le faisant passer successivement dans :

- un pré-échangeur qui ramène la température du gaz à + 7 °C,
- un condenseur pour éliminer l'humidité,
- un séparateur d'eau,
- la pompe de circulation,
- un épurateur à chaux sodée pour



75. Circuit de régénération.

éliminer le CO₂ et à charbon actif pour absorber les gaz organiques,

- un dépoussiéreur pour retenir les poussières provenant de l'épurateur,
- un réchauffeur pour ramener l'atmosphère synthétique à la température préréglée.

L'oxygène est introduit à partir de la réserve, en amont du réchauffeur. L'unité de régénération fonctionne en atmosphère comprimée, pression maximale d'utilisation 25 bars.

Pour des raisons de sécurité, les pompes de circulation, du type Roots, fournissant un débit de l'ordre de 100 m³/h sous 0,5 bar, sont doublées de même que les filtres groupant dans une même enceinte résistante à 25 bars l'épurateur à chaux sodée, l'épurateur à charbon actif et le dépoussiéreur.

La source froide est constituée par de l'eau glycolée réfrigérée. Une tour silicagel, placée en parallèle avec l'ensemble pré-échangeur-condenseur-séparateur d'eau, peut être utilisée en secours en cas d'avarie du groupe frigorifique.

La source chaude est constituée par un groupe de chauffe de 9 kW et une pompe à eau de circulation.

Les sources chaude et froide sont shuntées par des vannes by-pass commandées par tout ou rien à partir des thermostats des chambres. Le réglage de l'humidité relative s'effectue dans la gamme 50 à 100 p. 100 avec une précision de 5 p. 100. Le réglage de la température

s'effectue dans la plage 20 à 35 °C avec une précision du quart de degré C.

L'installation comporte des dispositifs adéquats de sécurité. L'ensemble de régénération constitue un groupe compact implanté dans le local des caissons.

Les contrôles de la teneur en oxygène et de la teneur en gaz carbonique sont assurés par des sondes placées dans les chambres, reliées à des appareils intégrés dans les tableaux de commande. Deux analyseurs dont l'un, fonctionnant de façon continue, est équipé d'une alarme et dont l'autre est portatif, permettant de contrôler le taux d'oxygène dans le local des caissons et de rechercher d'éventuelles poches de gaz riches en oxygène.

Circuit « vide »

Un circuit « vide » permet d'éliminer l'air de certaines enceintes, avant leur mise en pression en atmosphère synthétique, de façon à ne pas modifier la composition de l'atmosphère des chambres. Les enceintes concernées sont :

- le manchon situé entre tourelle et salle de séjour,
- les deux sas à médicaments de la salle de séjour et de la salle de repos,
- les filtres à gaz carbonique.

Le vide peut être réalisé à 80 p. 100 par l'intermédiaire d'une pompe à vide.

Réservoirs tampons

Deux réservoirs tampons d'une capacité de 2 500 litres chacun et timbrés à 25 bars permettent d'assurer la décompression rapide du caisson ou de la tourelle.

RÉSEAU TRANSMISSIONS

Les transmissions sont organisées de façon suivante :

- Une liaison intérieure « hyperbare » entre le poste de quart plongée, les caissons

(salle de séjour et de repos) et la tourelle permet d'échanger des communications entre le chef de plongée et le personnel vivant en pression dans les compartiments.

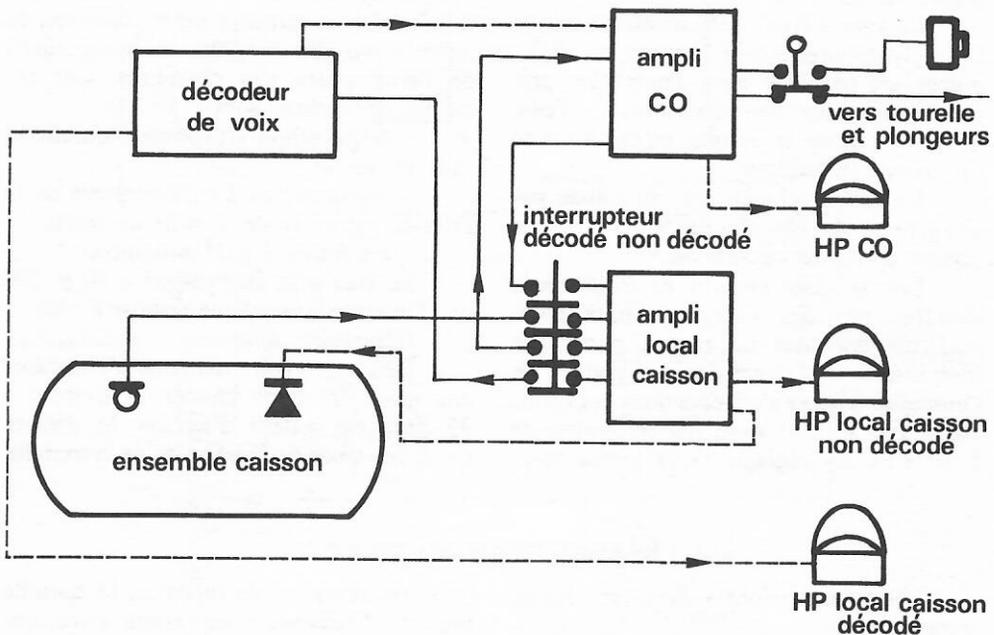
- Une liaison commune « surface-fond » entre le central opérations, la tourelle et les plongeurs en eau est assurée pendant le déroulement de la plongée. Elle est contrôlée par le directeur de plongée. Une autre liaison à fil différente de celle-ci est employée en secours.

- Une liaison « surface » établie entre le central opérations, la passerelle, la potence, le local clamping et le local hyperbare est utilisée pendant l'exécution de l'intervention. Elle est dirigée successivement par la passerelle et le central opérations au cours des différentes phases de l'opération.

Au cours de plongées d'incursion ou à saturation avec emploi de mélanges respiratoires à forte proportion d'hélium, la voix

est modifiée en raison du déplacement vers les hautes fréquences du spectre de la voix (effet « Donald Duck »).

Cet inconvénient est majeur car il empêche toute communication compréhensible entre les plongeurs et le personnel à l'extérieur ainsi qu'entre les plongeurs eux-mêmes. On s'affranchit de ces difficultés en utilisant un système appelé « décodeur de voix » qui réalise une analyse fréquentielle et un recalage de la voix aux fréquences normales (voir schéma). Le décodeur, installé dans le local hyperbare, filtre les liaisons « surface-fond » et « hyperbare » dans le sens « plongeurs vers l'extérieur ». Un système qui permettrait le décodage entre plongeurs est en cours d'étude au G.I.S.M.E.R.



76. Schéma des liaisons « plongée » avec décodeur.

RÉSEAU TÉLÉVISION

Deux circuits de télévision sont utilisés :

□ un premier circuit, extérieur, entre le central opérations, la tourelle de plongée et le poste de quart du local hyperbare comporte :

– un pupitre de commande avec écran et permutateur de caméra au central opérations ;

– deux caméras interne et externe sur la tourelle, respectivement en boîtier étanche à l'ambiance d'hélium et à l'eau ;

– un écran au poste de quart dans le local hyperbare.

Cet ensemble permet :

– au directeur de plongée d'effectuer, à partir du central opérations, le contrôle des manipulations du chef tourelle, le positionnement de la tourelle sur le fond, la surveillance des plongeurs et la direction éventuelle de leurs gestes (télé-mobile) pendant l'activité en eau ;

– au chef de plongée d'être informé du déroulement de l'intervention et du contrôle intérieur de la tourelle pendant l'opération de clampage.

□ un deuxième circuit intérieur au local hyperbare, comprenant uniquement des écrans sur les tableaux affectés à chacun des compartiments (repos, séjour et hygiène), est mis à la disposition du chef de plongée pour assurer la surveillance du personnel.

LES MOYENS DE MANUTENTION

Pour la mise à l'eau des tourelles de plongée ou des sous-marins d'intervention, on utilise des moyens de manutention adaptés au support, suivant que ces derniers sont fixes (installations *off shore*)

ou mobiles (bâtiments). Ils comportent :

– un engin de levage du type grue, portique ou potence ;

– un câble porteur ;

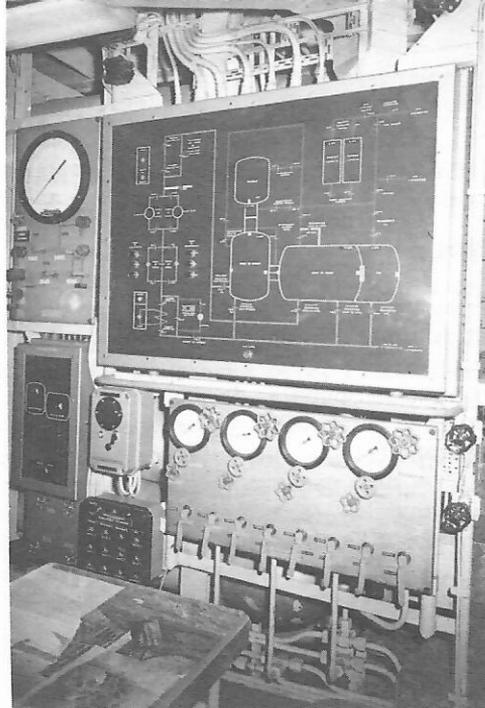
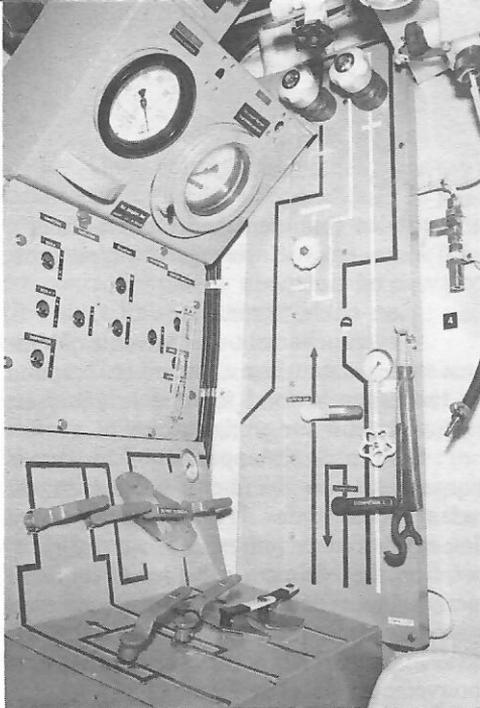
– éventuellement un ensemble câbles-guides à tension constante avec crapaud de tenue sur le fond lorsque le câble est électroporteur non antigiratoire.

Les problèmes apparaissent lorsque le support est un bâtiment en raison du passage délicat dans l'interface, au cours des opérations de mise à l'eau et de récupération. Le bâtiment subit les effets de la mer et il est nécessaire de disposer d'un système de préhension permettant de contrebalancer les accélérations dues aux mouvements de plate-forme.

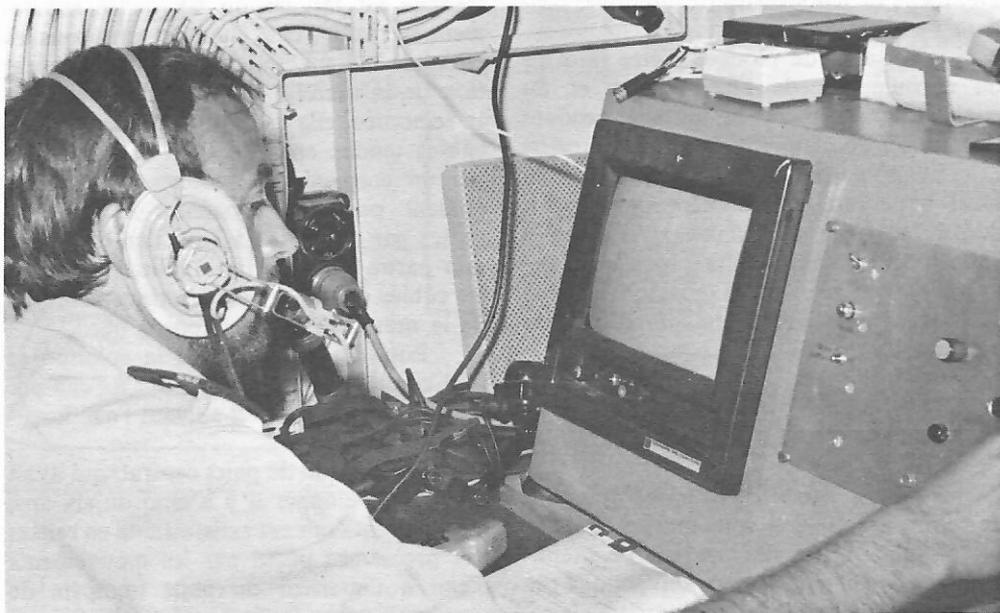
A bord du *Triton*, une potence, avec griffes de saisies et verrouillage à vérins, rend la tourelle solidaire du bâtiment. La tourelle est larguée ou accrochée rapidement au ras de l'eau, annulant ainsi tous les effets de ballant. Puis, pour éviter la rotation de la tourelle pendant la descente ou la remontée, elle est maintenue entre deux câbles tendus entre le fond et la surface par un crapaud de 3 tonnes. Ces câbles passent par deux systèmes de guidage portés par deux bras à 180° l'un de l'autre à la partie haute de la tourelle, et tels que les câbles échappent automatiquement lors de la manutention de retour à bord.

Pour les sous-marins, la solution la plus employée est celle de mise à l'eau par l'arrière du bâtiment et suivant l'axe longitudinal.

La solution de puits central, qui avait paru se développer il y a cinq ou six ans, n'est pas entièrement satisfaisante en raison des problèmes posés par les mouvements d'eau à l'intérieur du puits (tempête de puits). La tourelle du système d'interven-



77. Pupitre de commande du chef tourelle (tourelle du *Triton*).
78. Tableau synoptique de contrôle (conduite saturation du *Triton*).
79. Directeur de plongée au central opérations du *Triton*.



tion *Mark II* de l'U.S. Navy est mise à l'eau par puits central à bord de son bâtiment-support *ASR-21*.

Il en résulte, quel que soit le moyen de manutention adopté, des limitations d'emploi qui sont fonction des conditions de la mer et des caractéristiques du bâtiment-support (tonnage-longueur). C'est une des raisons qui militent en faveur du sous-marin porteur de fort tonnage et disposant d'une grande autonomie.

PUPITRES DE COMMANDE ET TABLEAUX

L'ensemble des dispositifs de commande et de contrôle est rassemblé sur des pupitres et tableaux disposés de façon à faciliter le contrôle et les manœuvres du personnel chargé des opérations. Les tableaux principaux permettent, pour les quatre chambres (salle de séjour, salle de repos, sas, tourelle) :

- de sélectionner le groupe de mé-

langes à utiliser et d'établir les liaisons entre les différents circuits ;

- de contrôler la composition ainsi que la pression de l'atmosphère ;
- de commander la mise en pression et la décompression des chambres ;
- d'assurer la surveillance par circuit de télévision interne et les communications par interphone.

Les commandes de la mise en pression et de la décompression sont manuelles et non asservies aux indications des capteurs.

Le tableau de station de mélanges établit les liaisons entre les groupes de gaz purs ou mélanges, les surpresseurs, les circuits de décompression. Il comporte les accessoires de commande et de signalisation pour la mise en route des surpresseurs et le contrôle des mouvements de gaz et la composition de mélange.

Le tableau synoptique représente de façon claire les liaisons et les positions des organes des circuits de régénération et de décompression.

Les systèmes de la Marine Nationale

Le G.I.S.M.E.R. dispose, pour ses opérations, de trois systèmes d'intervention

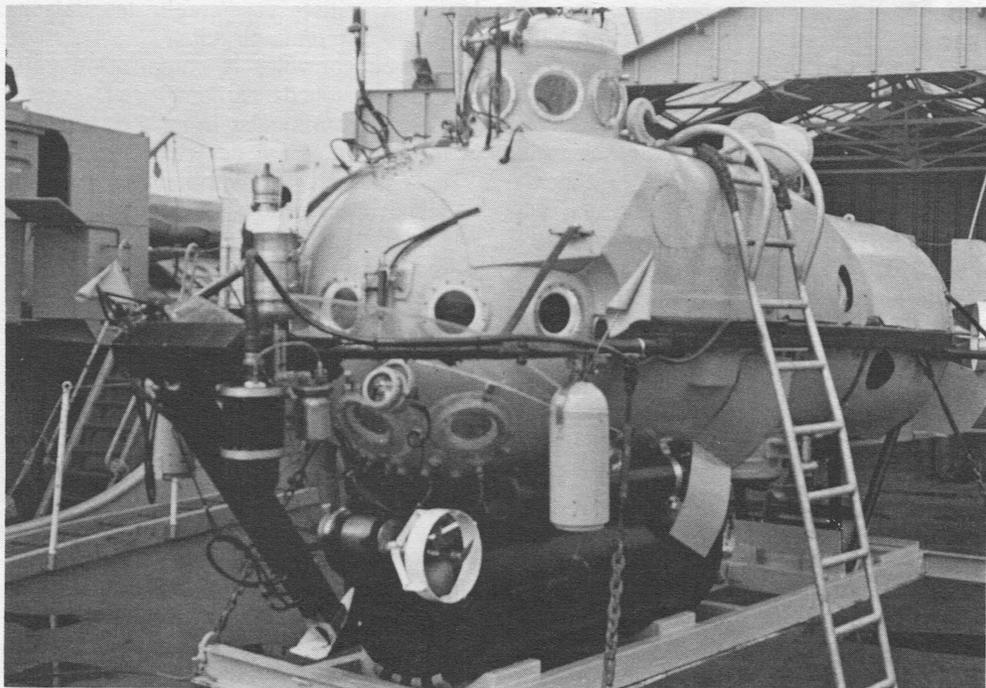
par plongeurs répartis en Méditerranée et en Atlantique.

SOUS-MARIN « CRACHE-PLONGEURS » *Shelf Diver*

Le sous-marin *Shelf Diver* (constructeur Perry) est mis en œuvre à partir d'un bâtiment disposant d'un système de manutention et d'équipements spécifiques pour les opérations avec emploi de plongeurs (caisson multiplace avec système de clamping, usine de fabrication de mélanges, stockage des gaz, compresseurs...). Il

permet l'exécution de plongées d'incursion jusqu'à 130 mètres¹ avec une activité utile en eau de faible durée, de l'ordre de (15 minutes pour 30 minutes) du top de mise en pression au début de la décompression.

1. Les capacités ne permettent pas d'assurer une décompression totale dans le sous-marin pour les profondeurs supérieures (incident).



80. Le sous-marin « crache-plongeurs » *Shelf Diver*.

UNITÉ LÉGÈRE D'INTERVENTION SOUS-MARINE U.L.I.S.M.

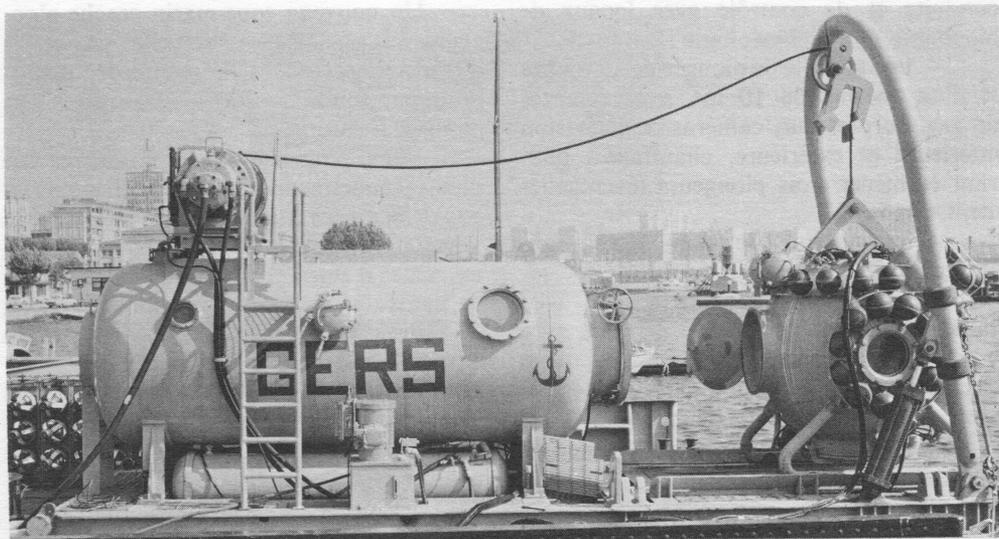
L'Unité Légère d'Intervention Sous-Marine est un ensemble autonome permettant de réaliser des plongées d'incursion jusqu'à la profondeur de 150 mètres avec des sorties en eau de 30 à 45 minutes. Elle comprend un ensemble tourelle-caisson,

avec système de clampage, ombilical et portique de mise à l'eau, monté sur un bâti, ainsi que divers équipements annexes (usine à mélanges, compresseur, groupe électrogène, réserve de gaz). Elle est transportable par terre, mer et air.

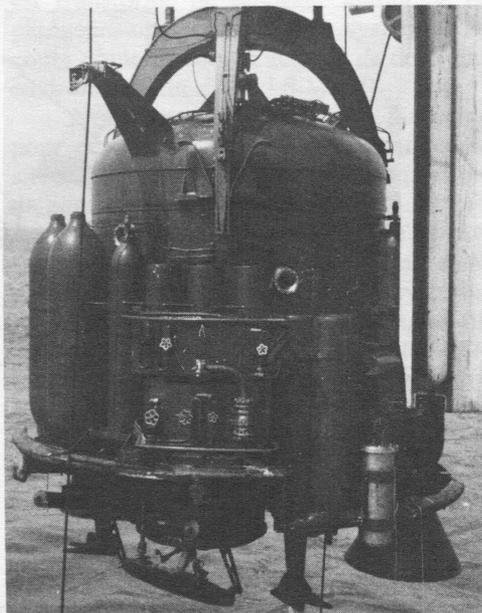
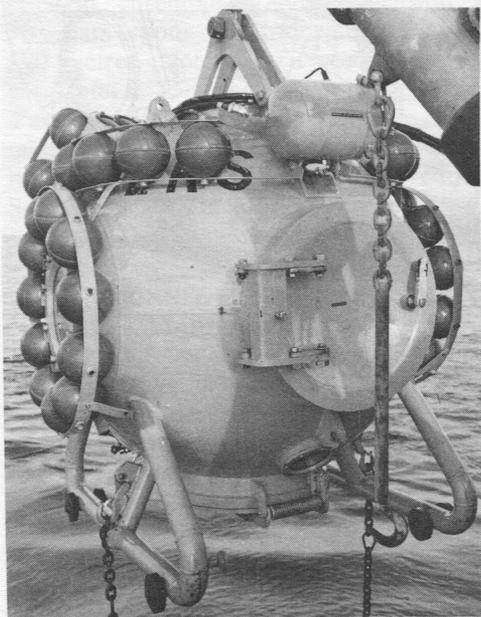
LE SYSTÈME D'INTERVENTION PAR PLONGEURS DU TRITON

Il est spécialement conçu pour l'exécution d'opérations par plongées à saturation jusqu'à la profondeur de 300 mètres avec quatre plongeurs. Il se compose de :

— un ensemble hyperbare timbré à 25 bars à trois compartiments (repos, séjour, sas), volume de 30 m³, avec manchon d'accès à la tourelle, équipements de



81. Vue d'ensemble d'une U.L.I.S.M. (unité légère d'intervention sous-marine).
82. Tourelle de plongée d'une U.L.I.S.M.
83. Tourelle du *Triton*.



conduite et de contrôle avec locaux de biochimie et de physiologie ;

- une tourelle de plongée de 13 tonnes et d'un volume de 10 m³, avec réserves de gaz, surpresseur, caméras de télévision intérieure et extérieure, chauffage... pouvant emmener trois plongeurs (éventuellement quatre) ;

- un système de clampage à mâchoires ;

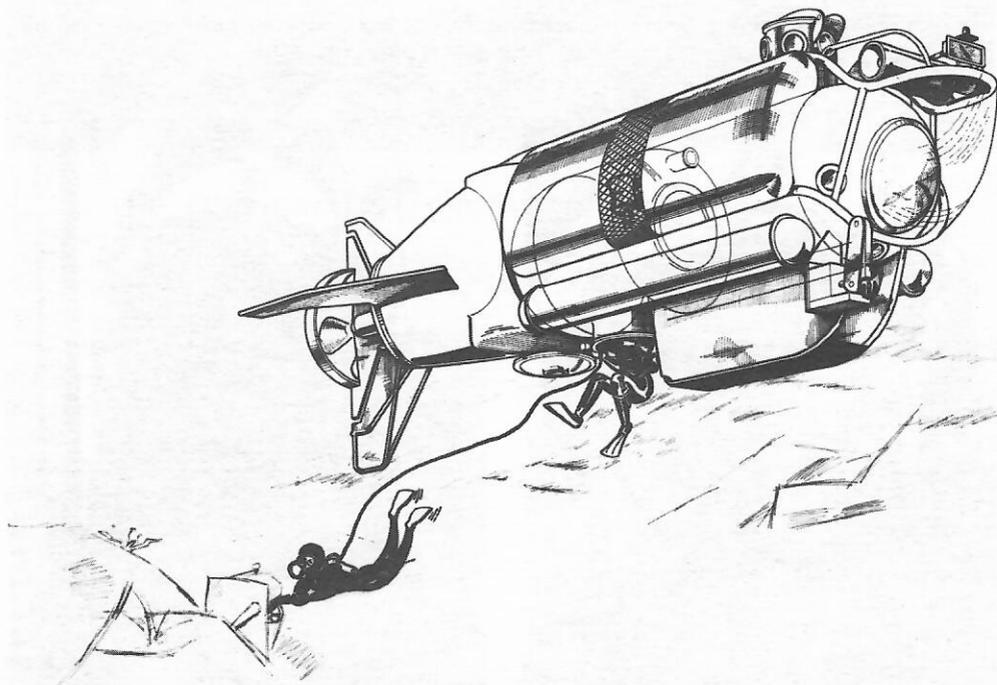
- une potence de mise à l'eau avec câble électroporteur.

Nous avons exécuté, avec ce système, des interventions jusqu'à 307 mètres. Il nous apparaît possible de pouvoir intervenir en toute sécurité sur des objectifs dont l'immersion est de l'ordre de 300 mètres.

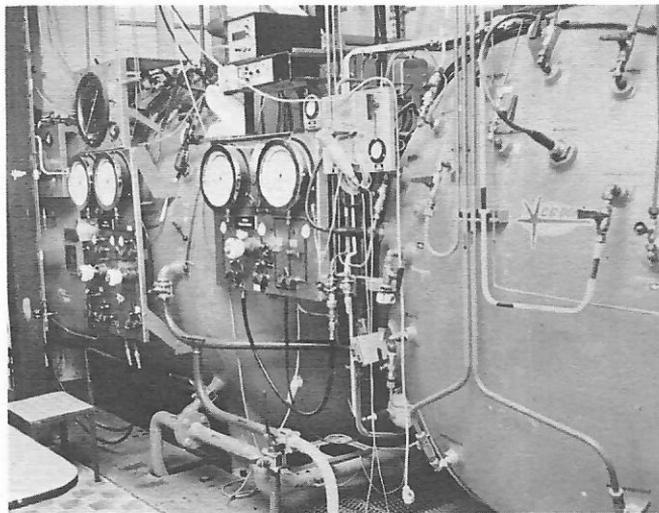
Un nouveau sous-marin crache-plongeurs est à l'heure actuelle en cours d'étude. Il permettra de mener des opérations par fonds de 200 à 250 mètres par plongée à saturation.

Mais, pour acquérir et conserver une pleine capacité opérationnelle, il ne suffit pas de disposer d'un système d'intervention adéquat, il faut encore posséder, à terre, un centre d'entraînement et d'études chargé de satisfaire les besoins technologiques et de fournir les moyens d'entraînement. Un ensemble simulation 300 mètres a été installé dans notre base à Toulon et nous permet de poursuivre la formation et le maintien en condition des équipes de conduite et d'exécution par système.

Un prochain centre hyperbare d'en-



84. Maquette de sous-marin d'intervention S.M.I. (en construction).



85. Système de simulation du G.I.S.M.E.R., capacité opérationnelle 300 mètres.

entraînement et d'expérimentation sera doté d'un ensemble à 100 bars (programme d'expérimentation humaine à 1 000 mètres) et d'un ensemble grande dimension à 50 bars pour l'entraînement jusqu'à 500 mètres. Notons qu'il comportera un ensemble à 150 bars pour les plongées d'expérimentation animale jusqu'à 1 500 mètres, actuellement en service à la Commission d'Études Pratiques d'Intervention Sous la Mer de la Marine Nationale.

PERSONNEL DE LA MARINE NATIONALE

Le plongeur par système

La conduite et l'exécution d'une intervention à partir d'un système sont assurées par du personnel qualifié « plongeur par système ».

Comment devient-on plongeur par système dans la Marine Nationale ?

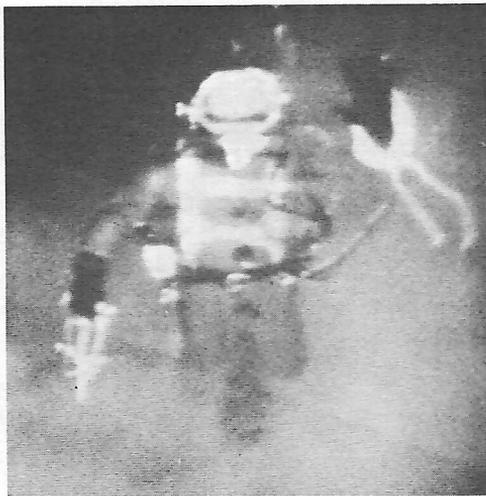
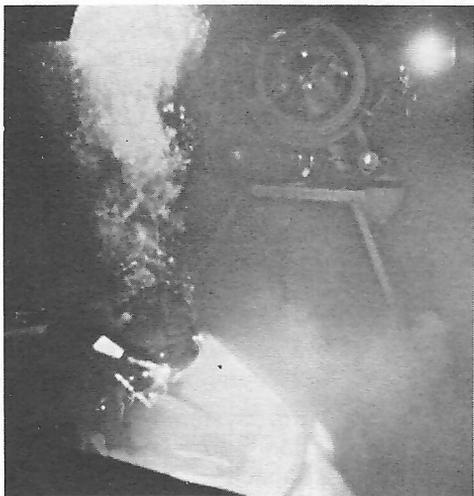
Recruté parmi les plongeurs-démineurs en général, ou nageurs de combat,

ce personnel, choisi en fonction de son expérience de la plongée, de ses qualités de maturité, d'équilibre et d'intelligence, est transformé en plongeur autonome en plongeur opérationnel des systèmes au cours d'une période d'activité de deux ans environ au sein du G.I.S.M.E.R.

Nous pensons que l'âge favorable pour devenir un plongeur par système se situe entre 25 et 30 ans et qu'il est possible de poursuivre cette activité jusqu'à 40 ans.

Il faut, en règle générale, que ce personnel ait participé à quatre ou cinq campagnes de plongée avec des systèmes différents pour atteindre le niveau standard, en raison tant de la discipline intellectuelle particulière que de la somme de connaissances poussées qu'il doit acquérir sur les différents matériels.

Intégré dans les groupes de plongée par système, élément opérationnel de base, sa polyvalence dans les fonctions exigées par la conduite du système dans l'intervention lui permet d'opérer comme plongeur ou dans les équipes de quart.



86. Plongeur profond opérant à partir d'un sous-marin « crache-plongeurs » posé sur le fond.

87. Plongeur par système du G.I.S.M.E.R. évoluant par 307 mètres de fond.

MISE EN ŒUVRE DES SYSTÈMES

Du personnel spécialisé, techniciens et plongeurs, assure les différents postes de conduite et d'exécution de la plongée.

Dans la Marine Nationale, au G.I.S.M.E.R., le personnel est composé exclusivement d'officiers et officiers-mariniers certifiés plongeurs par système. La direction appartient à la surface : le directeur de plongée se tient au central opérations où il prescrit au système des manœuvres à exécuter, notamment en cas d'incident.

Le principe de conduite nous a donné toute satisfaction, mais il implique la contrainte de liaisons sûres entre surface et système immergé.

Les postes définis ci-après correspondent à des opérations menées dans le cadre d'activités militaires dont la durée varie entre 10 et 20 jours et où les postes

sont tenus par des plongeurs par système qui assurent également les interventions. L'élément opérationnel est le groupe de plongée par système composé d'un officier chef de groupe, d'un médecin et de douze plongeurs par système dont un infirmier.

Le directeur de plongée

Le chef de groupe assure les fonctions de directeur de plongée (*supervisor of diving*). C'est lui qui fixe le choix de la procédure et assure le contrôle du déroulement général de l'opération.

L'équipe de maintenance

L'équipe de maintenance du système, composée de quatre plongeurs dont le « Maître Système », fait toujours partie du groupe constitué pour la mission. Le maître système a la charge et la responsabilité de la mise en condition opérationnelle du système. Il est un personnage

important qui « suit » le système pendant deux ou trois ans. Un membre de son équipe est chargé de la fabrication des mélanges respiratoires.

Les équipes de conduite

Chaque équipe est composée d'un chef de plongée (*caisson master*) et d'un ou deux adjoints, suivant le type de plongée. Un service de quart est assuré pour « conduire » le système (contrôle et régulation de la pression et des paramètres d'ambiance, surveillance du personnel, manipulations sur les éléments de l'ensemble...) pendant les différentes phases de la plongée. Le chef de plongée est directement responsable de son quart auprès du directeur de plongée.

L'équipe de plongée

Elle est composée en fonction du système et du type de plongée employés.

Plongée d'incursion :

- 2 avec U.L.I.S.M. et sous-marin crache-plongeurs,

- 3 avec *Triton*.

Plongée à saturation :

- 4 avec *Triton*.

Un plongeur assure les fonctions de chef tourelle (*bell man*) en liaison directe avec le directeur de plongée en surface. Il ne sort de la tourelle que dans le cas d'un plongeur en difficulté. Avec le système *Triton*, trois plongeurs embarquent dans la tourelle, dont deux effectuent la tâche demandée.

L'équipe de clampage

Une équipe désignée effectue les opérations de fixation de la tourelle ou du sous-marin sur le caisson.

L'équipe de secours

Deux plongeurs équipés avec bouteilles au mélange ternaire et téléphone à fil sont prêts à intervenir sans délai. La limite de leur intervention est fixée à 80 mètres.

Dans le sous-marin crache-plongeurs, le chef de plongée est dans le compartiment avant avec le pilote. Il assure les différentes manipulations relatives aux phases de la plongée et se tient en liaison directe, d'une part, avec le directeur de plongée en surface, d'autre part, avec le chef tourelle dans le compartiment arrière.