

## Le rôle de la prospection sous-marine autonome dans les recherches de biologie marine et d'océanographie biologique

par J. M. PERES<sup>1</sup>

Faculté des Sciences de Marseille, Station Marine d'Endoume et Centre d'Océanographie, Marseille (France)

Certes, il y a plusieurs décennies que l'homme a tenté de pénétrer sous la surface des mers, dans un but de recherche scientifique, mais il faut bien dire que, jusqu'à une époque récente, ces essais avaient été aussi timides que limités, et surtout que l'homme sous la mer était encore prisonnier de liens matériels divers le rattachant à la surface. Qu'il s'agisse du tuyau de caoutchouc qui relie le scaphandrier lourd à la pompe qui l'alimente en air, ou qu'il s'agisse du filin d'acier auquel étaient pendus la bathysphère de BEEBE (750 m en 1934) et le benthoscope de BARTON (1370 m en 1948), l'homme restait tributaire de l'équipe d'assistance en surface. Ces essais, et bien d'autres, parmi lesquels celui du Zoologiste français MILNE-EDWARDS qui, dès 1844, explorait certains fonds de la baie de Naples avec un scaphandre classique à combinaison étanche et semelles de plomb, n'ont pratiquement apporté aucune contribution importante à la connaissance de la vie dans les mers, et les océanographes biologistes continuaient à exécuter toutes leurs recherches par les méthodes indirectes, au moyen d'engins (dragues, chaluts, filets à plancton, etc.), manœuvrés à partir de navires de surface et, en quelque sorte, en aveugles.

Pour passer de cette phase de l'étude indirecte à celle de l'étude *in situ*, il fallait que l'homme se libérât de tout lien matériel avec la surface, bref qu'il devînt capable de mener sous les eaux une vie autonome pendant un laps de temps suffisant pour pouvoir procéder à des observations et à des récoltes.

Ce «virage» prodigieux a demandé à peine plus d'une vingtaine d'années, et c'est un peu l'histoire des débuts de la prospection autonome des océans que je m'efforcerai d'exposer ici (Figure 1). J'y adopterai l'ordre chronologique des acquisitions techniques (scaphandre autonome, bathyscaphe, soucoupe plongeante) et je m'efforcerai, en conclusion de dégager les lacunes de l'équipement tel qu'il existe en cette année 1965, et les directions dans lesquelles paraît devoir se porter l'effort, effort qui est avant tout technique.

Comme il est logique, c'est le nageur, ce qu'on peut appeler le «plongeur nu» qui a, le premier, cherché à se libérer de la servitude de la surface.

Le premier appareil, utilisé à des fins scientifiques, de plongée autonome, c'est-à-dire permettant au plongeur de respirer grâce à une bouteille d'air comprimé qu'il emporte fixée sur son dos, fût celui du Commandant LE PRIEUR qui commençait à se répandre peu avant la seconde guerre mondiale.

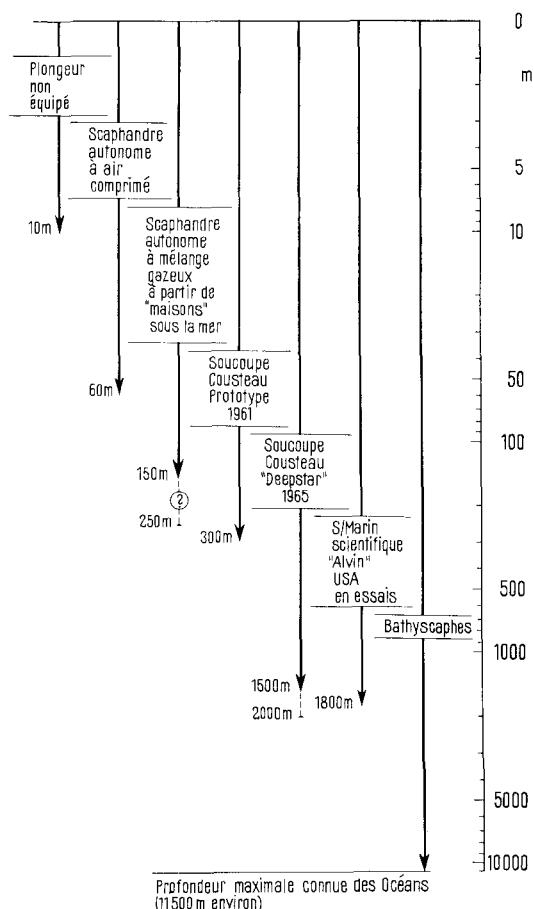


Fig. 1.

<sup>1</sup> Président du Comité de Direction du Bathyscaphe.

Mais, en fait, l'essor de la plongée autonome date de la mise au point, en 1943, par le Commandant J.-Y. COUSTEAU et l'Ingénieur E. GAGNAN, du scaphandre autonome qui porte leurs noms. Sa particularité fondamentale réside dans l'existence d'une soupape dite «bec-de-canard» qui équilibre les pressions de l'air expiré et de l'air inspiré, ce dernier, comprimé à 150 kg dans des bouteilles en acier fixées par des sangles sur le dos du plongeur, étant bien entendu, distribué par un détendeur; le plongeur dont les yeux et le nez sont couverts par un masque vitré, reçoit l'air détendu par un embout buccal. En trente années, l'équipement du plongeur s'est complété de divers accessoires indispensables, tels lampes étanches, appareils photographiques et flashes également étanches, manomètres pour contrôler la profondeur, montres étanches, et surtout combinaisons étanches. Ces dernières sont indispensables même dans les mers tempérées, car la déperdition de chaleur est le grand ennemi du plongeur; elles ont permis, grâce à l'emploi de sous-vêtements spéciaux, de faire des recherches jusque dans les eaux polaires à température négative; les combinaisons ont aussi l'avantage de protéger le corps des heurts éventuels contre les rochers lorsque le plongeur se trouve dans une zone agitée. Bien entendu le plongeur biologiste doit, en plus de l'équipement normal de tout scaphandrier autonome, posséder son outillage propre: couteau et râcloir pour détacher les animaux fixés, bloc-notes de feuilles de celluloïd sur lesquelles on écrit avec un crayon spécial, récipient pour la récolte des échantillons (le verre est à éviter et on utilise de préférence des bocaux et des sacs en matières plastiques, légers et incassables).

La plongée avec scaphandre autonome à air comprimé, en matière de biologie, s'applique surtout aux recherches benthiques; elle présente deux avantages, par rapport aux méthodes indirectes, c'est-à-dire à celles qui utilisent des engins (dragues, bennes, chaluts, fauberts) maniés à partir de la surface: – d'une part, de permettre une étude continue du fond de la mer, et non d'un certain nombre de points isolés; – d'autre part, d'ouvrir l'étude de biotopes auxquels aucun engin ne saurait accéder (surplombs rocheux, grottes sous-marines) et où le plongeur autonome, aussi libre que n'importe quel nageur, pénètre aisément.

Par exemple, grâce au scaphandre autonome, on a pu étudier, en Méditerranée, l'influence de la diminution graduelle d'éclairement sur la distribution des peuplements sessiles et sédentaires jusqu'à parvenir à la découverte d'une biocoenose propre aux grottes (Figure 2) totalement obscures. Celle-ci, étudiée par J. LABOREL et J. VACELET<sup>2</sup>, est remarquable à la fois: par l'abaissement du taux de couverture du substrat par les animaux (environ 20%, contre les 100% qui sont de règle pratiquement partout ailleurs); par la présence sur la roche d'un enduit noirâtre riche en Fer et en Manganèse; par la «remontée» de certaines

espèces, notamment des Crevettes, vivant normalement au-delà de 300 m de profondeur sur le talus continental; par la présence, enfin, de diverses espèces caractéristiques, dont certaines, telle l'Éponge Pharétronide *Petrobiona massiliana* sont de véritables fossiles vivants; cette biocoenose renferme une faune de Serpulides riche en espèces, dont l'étude est en cours. C'est encore grâce au scaphandre autonome qu'on a eu la révélation de l'existence d'une série de biocoénoses sciaphiles<sup>3</sup> dans les tunnels et les boyaux que renferment les récifs de Coraux, ou encore des biocoénoses du front de ces mêmes récifs (dont l'approche en bateau est toujours dangereuse, à cause du déferlage des vagues) et des massifs coralliens isolés et submergés.

C'est aussi grâce au scaphandre autonome que l'on a pu appliquer aux biocoénoses du domaine benthique marin des principes inspirés de ceux de l'école zürichomontpelliéenne de phytosociologie (BRAUN-BLANQUET) qui ont fait progresser de façon considérable l'interprétation de ces biocoénoses, notamment en ce qui concerne leur distribution en fonction des facteurs climatiques et édaphiques, et leur étude dynamique.

Toutes ces recherches exigent que ce soit le scientifique, lui-même, qui plonge, et une expérience de près

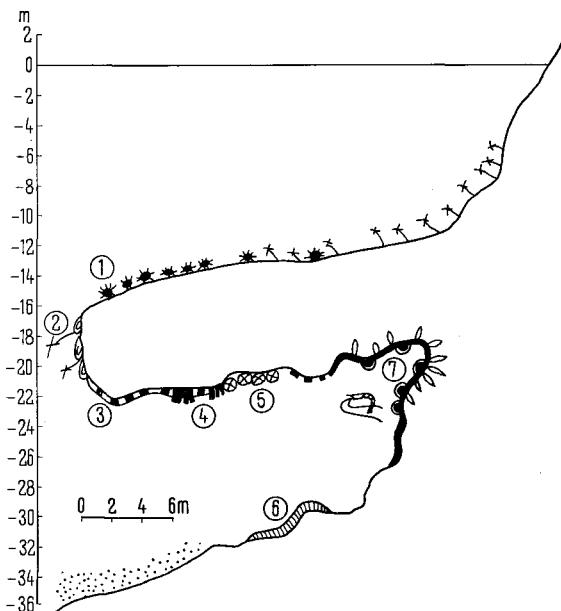


Fig. 2. La Grotte du Monastère de Paleokastritzza. (1) Dalle à *Arbacia aquituberculata*; (2) Peuplements végétaux à *Sargassum* et *Peyssonnelia*; (3) *Leptopsammia pruvoti* et *Rhodophycées*; (4) Abondance locale d'*Hoplophania durothrix*; (5) Cavité à *Madracis pharensis*; (6) Rocher envasé à *Hymeniacidon caruncula*; (7) Fond de grotte: enduit minéral noirâtre, perforations de *Lithodomus*, Concrétiions de bryozoaires et Crevettes: *Stenopus scaber*, *Parapandalus narval* (d'après LABOREL<sup>3</sup>).

<sup>2</sup> J. LABOREL et J. VACELET, Bull. Inst. océanogr. Monaco 1114 (1958).

<sup>3</sup> J. LABOREL, Rec. Trav. St. Mar. Endoume 23, 20 (1960).

de vingt années, me permet de dire que, à de rares exceptions près, le plongeur non biologiste, s'il peut rapporter au chercheur du matériel, est en général incapable de fournir même les bases d'une interprétation bionomique.

Le scaphandre autonome a beaucoup moins marqué l'évolution récente des recherches dans le domaine pélagique, ce qui est normal, puisque les êtres du plancton sont généralement de petite taille. On commence cependant à procéder, en plongée, à des récoltes de macro- et de mégaplanctonites en enfermant ceux-ci, avec un grand volume d'eau, dans de vastes sacs en matière plastique; cette méthode a déjà permis la récolte des formes qui, jusqu'ici, avaient échappé aux captures par les filets tirés par un bateau ou maniés à la main, et surtout elle a l'avantage de mettre à la disposition du biologiste des colonies ou des individus auxquels a été épargné le «choc» de la capture et du passage dans l'air au moment du transfert du filet dans le bocal. Ce dernier point est du plus haut intérêt pour des animaux aussi fragiles et aussi difficiles à conserver en captivité que les mégaplanctonites, notamment les grands Siphonophores.

La plongée autonome à l'air comprimé connaît des limites d'ordre physiologique liées à la dissolution d'azote dans le sang; celle-ci, au-delà de 60-70 m, provoque une sorte d'ivresse (narcose de l'azote). Certes, des plongeurs exceptionnellement doués et entraînés ont réussi à approcher les cent mètres ou même à les dépasser; beaucoup n'en sont pas revenus. Pratiquement, on peut admettre que l'emploi scientifique normal du scaphandre autonome à air comprimé est limité par une profondeur de l'ordre de 60 m. Encore le travail scientifique effectué à ces profondeurs est-il réduit, du fait de la nécessité d'éliminer l'azote dissous en excès dans le sang, à une plongée profonde par jour au maximum, et oblige aussi à de longs paliers de décompression pendant la remontée, ce qui diminue d'autant le temps passé au fond. Suivant l'ordre chronologique des acquisitions de la technique humaine dans le domaine de la pénétration des océans et des mers, je dirai plus loin quelles voies nouvelles s'ouvrent aux scaphandres autonomes.

Par un curieux paradoxe cette pénétration première de l'homme dans les milieux océaniques, grâce au scaphandre autonome, pénétration bien discrète puisqu'il s'agit de quelques dizaines de mètres en face des 11 km d'eau qui séparent la surface du fond des plus grandes fosses océaniques, allait être suivie d'un bond vers l'obscurité et l'inconnu des grands fonds avec l'invention du bathyscaphe. De nombreux articles et livres ont suffisamment popularisé le principe de cet engin, dû au génie d'AUGUSTE PICCARD, pour que je puisse éviter une description technique qui n'apprendrait rien à la plupart des lecteurs. Je me bornerai à dire qu'un bathyscaphe est constitué d'une nacelle étanche, résistante à la pression, supportée par un

flotteur rempli d'un liquide plus léger que l'eau (approximativement de l'essence de teinturier); ce flotteur est ouvert par en bas, de façon à ce que, lorsque croît la profondeur, l'eau de mer puisse y pénétrer équilibrant ainsi les pressions extérieure et intérieure malgré la compression de l'essence. Le bathyscaphe est donc un véritable ballon sous-marin; on l'alourdit avec un lest de grenade de fonte contenu dans des silos fermés par des électro-aimants. Pour remonter on lâche, par coupure du courant, une quantité de ce lest telle que la flottabilité redevienne positive. Des moteurs électriques fonctionnant sur batteries actionnent des hélices qui permettent des déplacements horizontaux, mais le bathyscaphe n'est véritablement autonome qu'à partir du moment où il a quitté la surface; jusqu'au point de plongée, il doit être remorqué.

Après que les essais du prototype belge FNRS 2 en 1948 aient montré la validité du principe avancé par A. PICCARD, le FNRS 3<sup>4,5</sup> atteignait 4050 m au large de Dakar le 15 février 1954. Moins de 6 ans après, le bathyscaphe «Trieste», racheté au Prof. A. PICCARD par la Marine des Etats-Unis, et doté pour la circonstance d'une sphère spéciale, dépassait 11000 m dans la fosse de Guam (Océan Pacifique); depuis cette date, le «Trieste», étudié en fait (la nacelle étanche mise à part) pour des profondeurs inférieures, ne paraît pas avoir dépassé 3000 m. En 1962, la France mettait en service, grâce à une subvention du Centre National de la Recherche Scientifique, et avec le concours technique de la Marine Nationale, le bathyscaphe «Archimède», qui paraît être seul capable actuellement d'atteindre normalement les plus grandes profondeurs de l'Océan; l'«Archimède» est ainsi le premier bathyscaphe qui ait été conçu essentiellement dans un but de recherche scientifique, grâce, notamment, à l'existence d'un «puits-laboratoire» situé à l'arrière de l'engin et où les organes sensibles de divers enregistreurs se trouvent, dans une certaine mesure, protégés des perturbations que produit au sein des couches d'eau, le déplacement de cette énorme masse (le flotteur seul a un volume de 180000 l) (Figure 3).

Je ne m'étendrai pas sur l'équipement scientifique de l'«Archimède» qui est, en grande partie inspiré des besoins de l'Océanographie Physique et de l'Océanographie Géologique. Pour les recherches biologiques, qui sont le propos de cet article, l'outillage est encore en cours d'étude et d'essais.

Que peut donc attendre le biologiste de l'emploi des bathyscaphes et qu'en a-t-il tiré jusqu'ici?

Sur le plan général, il faut d'abord citer les études de comportement d'animaux profonds. C'est grâce au bathyscaphe que l'on sait, par exemple, que les prolongements filamentueux des nageoires dorsales de

<sup>4</sup> J.-M. PERES, Annls Inst. océanogr. 25 (1958).

<sup>5</sup> J.-M. PERES, Bull. Inst. océanogr. Monaco 1134 (1959).

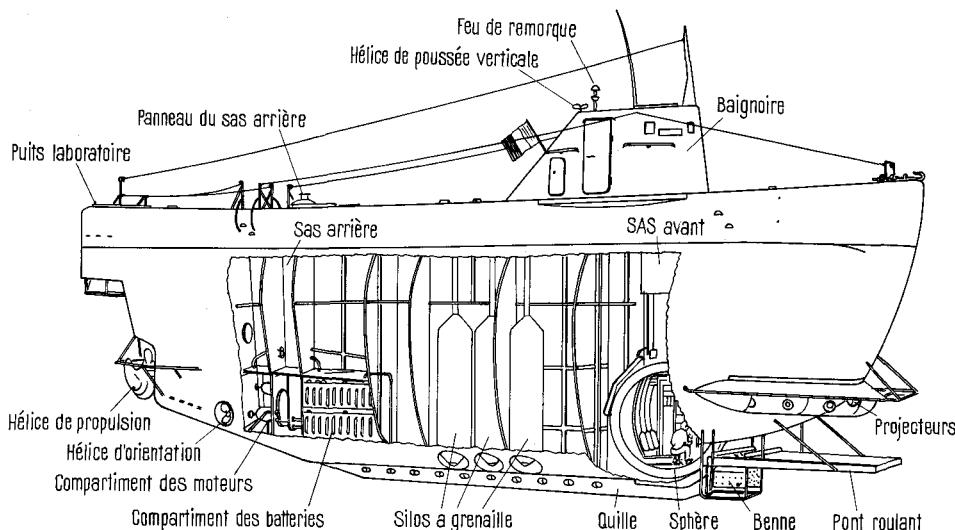


Fig. 3. Eclaté du bathyscaphe français «Archimède».

divers poissons (*Chauliodus*, *Hymenocephalus longifilis*) sont normalement recourbés vers l'avant, de façon à pendre en avant du museau, ce qui accroît le champ des perceptions sensorielles (J. M. PERES)<sup>6</sup>. C'est aussi grâce au bathyscaphe que l'on sait que les *Benthosaurus* se tiennent sur le fond grâce à un tripode formé par les prolongements des pectorales et par l'allongement du lobe inférieur de la caudale. Sans le bathyscaphe on ne saurait pas que, parmi les poissons *Paralepididae*, les *Paralepis* atlanto-méditerranéens nagent verticalement la tête en haut, alors que les *Lestidium* du Pacifique nagent horizontalement. De même, lors d'une plongée à 3100 m dans le ravin de Puerto-Rico, j'ai pu observer des Holothuries (sans doute *Pseudostichopus*) nageant au-dessus du fond par ondulation du corps. De même encore, c'est pour la première fois, grâce au bathyscaphe que l'on a pu décrire la collecte des particules alimentaires par les Crinoïdes du g. *Lepetomeira*, qui forment des peuplements assez denses au voisinage de la rupture de pente du plateau continental sur les côtes françaises de la Méditerranée.

Dans le domaine de l'étude des peuplements benthiques, le bathyscaphe permet l'observation directe jusqu'aux plus grandes profondeurs, mais celle-ci est évidemment limitée à l'épifaune, et son intérêt a certainement diminué depuis que s'est perfectionnée et vulgarisée la pratique de la photographie sous-marine en grandes profondeurs. De ce point de vue, et les études de comportement mises à part, le bathyscaphe au cours d'un trajet sur le fond ne donne guère plus de renseignements qu'une série de vues prises à intervalles réguliers sur le même trajet, à ceci près que l'incertitude dans la détermination des espèces rencontrées est moins grande que sur des photographies, car on peut toujours s'arrêter ou même modifier la route de l'engin pour observer de plus près ou plus longuement une espèce. Il faut tout de même rappeler aussi que c'est le bathyscaphe qui, le premier, a permis

de conclure que, dans le Système Aphyal, le taux de couverture des substrats rocheux par l'épifaune sessile devenait très faible ; il semblerait qu'il y ait là, non une simple conséquence de la rareté des substrats solides dans les grands fonds, mais une incidence, encore inexpliquée, de l'absence totale de lumière, comme le prouve l'étude des grottes totalement obscures dont j'ai parlé précédemment.

Pour l'étude du plancton, le bathyscaphe est extrêmement précieux ; toutefois, il faut que les conditions de la plongée (et notamment la profondeur maximale à atteindre) permettent de descendre à une vitesse relativement faible (de l'ordre de 0,2–0,3 m/sec).

L'intérêt des observations sur le pélagos est double. Tout d'abord le bathyscaphe permet de faire une coupe continue des peuplements de la couche d'eau presque simultanément, et d'étudier visuellement la distribution des essaims de zooplanctontes. Normalement, le planctonologue procède, soit à des pêches horizontales à une profondeur qui est plus ou moins bien déterminée à l'avance, soit à des pêches verticales par tranches successives : 500–250 m, 250–100 m, 100–50 m, etc. La première de ces méthodes donne une image discontinue, et la seconde une image sans nuances puisqu'il y a, en somme, intégration de l'ensemble du plancton de la couche. La descente en bathyscaphe donne au contraire une vision continue et permet de saisir toutes les irrégularités de la distribution des macroplanctontes ; ceux-ci peuvent même, dans une certaine mesure, être comptés (au moins les mégaloplanctontes) et on peut avoir ainsi une idée de l'abondance de telle ou telle espèce dans les diverses couches. Les comptages de mesoplancton ou de microplancton qui ont été tentés ne paraissent pas, en revanche, devoir être retenus, les conditions d'observa-

<sup>6</sup> J.-M. PERES, Deep-Sea Res. 7 (1960).

tion n'étant pas, en général, telles qu'on puisse raisonnablement espérer compter des formes de taille inférieure à 5 mm, et a fortiori inférieure à 1 mm.

En Méditerranée, et plus encore en Atlantique, les plongées de jour font ressortir une différence accusée entre une couche pauvre, de 130–150 à 300–400 m, et d'une couche plus riche de 300–400 à 800 m environ; cette seconde couche paraît être celle du refuge diurne de nombreuses espèces qui, la nuit, occupent des couches plus élevées (PERES<sup>4</sup>). Lorsqu'il s'agit d'animaux de taille suffisamment grande pour être comptés aisément, et qui sont assez communs pour être déterminés avec certitude à vue, une plongée permet d'établir des graphiques d'abondance en fonction de la profondeur, tels ceux de la Figure 4. Lorsque la plongée traverse des couches aux caractéristiques hydrologiques violemment contrastées, comme par exemple dans le Pacifique, au large de l'île japonaise de Honshū où les eaux froides de l'Oyoshio succèdent, en profondeur, à des eaux côtières plus ou moins influencées par le Kuroshio, l'étagement vertical est beaucoup moins influencé par les conséquences des migrations nyctémérales, et la thermocline (qui est ici de l'ordre de 10°C en 2–3 m seulement) représente une barrière que peu de formes franchissent.

Une autre observation à porter au crédit des plongées en bathyscaphe réside dans les particularités des eaux au voisinage immédiat du fond, eaux qui sont évidemment très difficiles à prospecter avec un filet à plancton, sauf par quelques dizaines de mètres de fond. Par exemple en Méditerranée et sauf lorsque la profondeur est inférieure à 1000–1200 m, les animaux pélagiques évitent toujours la couche de 1–2 m précédant le fond; le fait est particulièrement net pour les grandes formes visibles à bonne distance (la Méduse *Periphylla hyacinthina*, les Poissons *Myctophum* (Figure 4), *Cyclothone*, *Paralepis*), mais s'applique aussi aux Copépodes, *Sagitta*, etc. Ce phénomène, observé

aussi en Atlantique et dans le Pacifique, paraît avoir une valeur assez générale, tant que la profondeur de plongée ne dépasse pas celle qui correspond à la limite inférieure de l'étage bathypélagique (les peuplements abyssopélagiques et hadopélagiques étant trop pauvres et trop clairsemés pour qu'on puisse faire des comparaisons utiles); il paraît correspondre à l'abaissement marqué de la teneur en oxygène dissous des eaux de fond.

L'autre intérêt majeur des bathyscaphe pour les études de plancton, réside dans le fait qu'ils permettent d'apercevoir des organismes que les filets ne rapportent jamais, soit parce qu'ils sont trop agiles, soit parce qu'ils sont trop fragiles. Il m'a été donné, par exemple, d'apercevoir, dans le Pacifique, une Polychète du g. *Tomopteris* de 30–40 cm de long et de couleur rouge-orangé qui n'a jamais été récoltée, ou encore de nombreux «corps» en forme de montgolfière, pouvant atteindre 20 cm de haut et qui sont sans doute des pontes d'animaux pélagiques.

Malgré les résultats, dont j'ai choisi quelques-uns au hasard et trop brièvement, que l'on peut porter au crédit des bathyscaphe dans le domaine des recherches biologiques, il est bien certain que ces engins présentent l'inconvénient d'être d'une mise en œuvre difficile et coûteuse (navire de remorquage et d'escorte, infrastructure importante à terre, etc.) et aussi d'être d'une faible mobilité, encore que, sur ce point, l'«Archimède», qui atteint près de 4 noeuds en plongée et qui gouverne de façon très précise, soit très supérieur à son frère ainé le FRNS 3. La présence de l'énorme flotteur d'allègement rempli d'essence est évidemment pour beaucoup dans la manœuvrabilité médiocre des bathyscaphe.

C'est cette constatation qui a conduit le Commandant J.-Y. COUSTEAU à concevoir et à réaliser la «soucoupe plongeante». Là encore les livres de vulgarisation et les magazines ont suffisamment popularisé

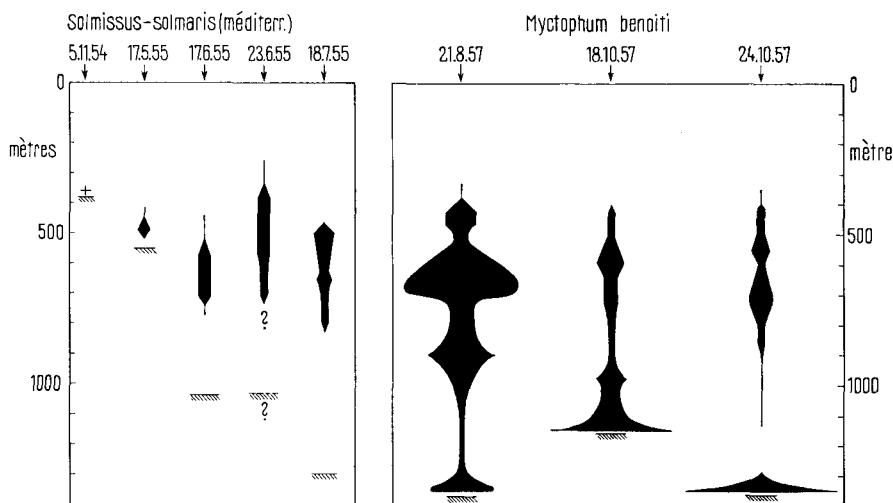


Fig. 4. Distribution quantitative du Téléostéen *Myctophum benoiti* et des Narcoméduses *Solmissus* et *Solmaris* (d'après J. M. PERES<sup>4</sup>).

l'engin pour que je me borne à rappeler qu'il s'agit d'un petit sous-marin en forme d'ellipsoïde de révolution, propulsé par des tuyères rejetant l'eau mise en mouvement par une pompe. Ce sous-marin a une flottabilité naturelle positive, du seul fait de l'air qu'il contient, et on l'alourdit simplement avec des gueuses de fonte largables pour le faire plonger. Le prototype calculé pour 300 m, pèse 3,5 t; un engin plus évolué, achevé en juillet 1965, atteint 1200 m (Figure 5). Mais dans l'état actuel des techniques, il semble que les engins du type soucoupe, c'est-à-dire sans flotteur, ne puissent pas dépasser 2000 m; au-delà de cette profondeur le recours au flotteur d'allégement est indispensable et l'on retombe sur les bathyscaphes. Les engins du type soucoupe présentent deux avantages essentiels. D'une part leur faible taille permet de les transporter dans la cale d'un navire, qui les met à l'eau exactement au point où la plongée doit être effectuée. D'autre part, toujours en raison de leur faible taille, les soucoupes jouissent d'une remarquable manœuvrabilité qui permet des observations beaucoup plus précises. Du fait de son principe même, une soucoupe descend jusqu'au fond, assez rapidement et remonte de même, en fin de plongée; les possibilités d'observation du plancton sont donc pratiquement

nulles, et, du point de vue biologique, ces engins servent essentiellement à l'observation des peuplements benthiques.

En ce qui concerne ce dernier point, leur utilité est double. D'une part elles permettent, aux profondeurs accessibles normalement avec le scaphandre autonome à air comprimé, une prospection plus complète parce que plus rapide, de plus longue durée, plus confortable. L'enregistrement sur magnétophone des observations dispense de prendre des notes; l'automatisation poussée des appareils photographiques et cinématographiques dispense de prendre des croquis et la souplesse de l'engin permet de choisir avec précision l'angle de prise de vues ce qui est difficile, pour ne pas dire impossible, avec les bathyscaphes. D'autre part, les soucoupes prolongent vers les profondeurs croissantes la zone d'action du plongeur autonome, et permettent d'accéder à des biotopes inaccessibles aux engins manœuvrés de la surface (dragues, bennes, chaluts).

Ceci posé, et bien que le prototype de soucoupe actuellement en service, et atteignant 300 m, ait effectué à l'heure où j'écris ces lignes plus de 300 plongées, le bilan biologique de celles-ci est moins frappant que celui qu'on peut porter au crédit des bathyscaphes, car les fonds qui sont du rayon d'action actuel de la

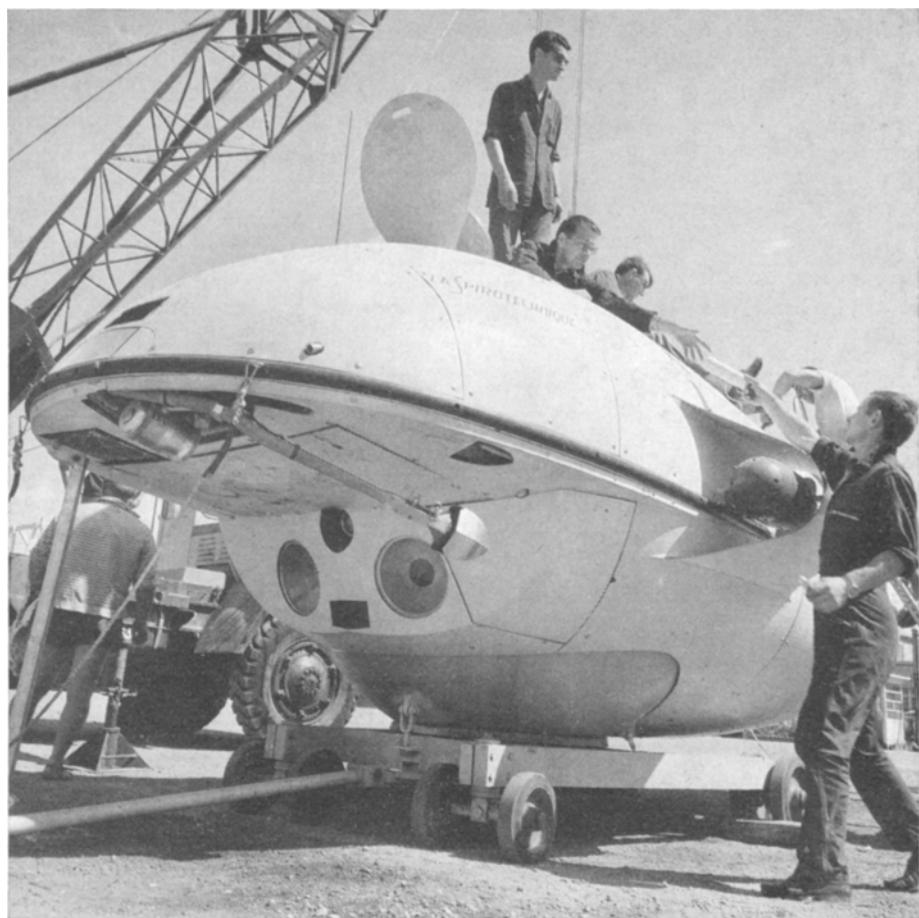


Fig. 5. La « Soucoupe Deepstar Cousteau », 1200 m. (Photo: Les Campagnes Océanographiques Françaises.)

soucoupe plongeante étaient mieux connus, par les méthodes indirectes, que ceux de l'étage abyssal et de l'étage hadal.

Cependant la soucoupe plongeante 300 m a déjà apporté des résultats intéressants concernant la biologie benthique<sup>7</sup>. Par exemple, elle a permis d'établir, définitivement semble-t-il, l'existence d'une biocénose autonome caractéristique de ce qu'on appelle la roche du large, c'est-à-dire des substrats rocheux situés entre 120 et 200 m de profondeur, au voisinage de la rupture de pente du plateau continental; cette biocénose est caractérisée essentiellement, en Méditerranée par l'abondance d'un certain nombre d'Eponges, souvent de forme dressée (*Poecillastra compressa*, *Phakellia ventilabrum*, *Tylodesma inornata*, *Rhizaxinella pyrifera*), par la présence du Madréporaire jaune *Dendrophyllia cornigera* et de l'Antipathaire *Antipathes fragilis*; il semble d'ailleurs que cette biocénose ait (avec des espèces différentes bien entendu) une valeur mondiale. On a pu, également, améliorer considérablement les connaissances sur la biocénose des Fonds Détritiques du large et ses différents faciès, notamment le faciès à *Laminaria Rodriguezii*, Laminariale scaphophile qui constitue des peuplements importants par exemple à l'Est des îles d'Hyères.

Il n'en reste pas moins que, bien qu'elle possède une pince et un sécateur qui permettent de récolter des échantillons d'espèces non crustacées, les récoltes de spécimens faites avec la soucoupe plongeante sont très partielles. Malheureusement la profondeur limite de la soucoupe prototype ne permet pas d'étudier les peuplements de Coraux profonds ahermatypiques qui sont une des grandes caractéristiques des substrats durs du talus continental entre 300 et 800 m au moins; l'enchevêtrement des troncs et des rameaux de ces Hexacoralliaires rend l'étude de ces fonds presque impossible par le moyen des dragues et des cameras sous-marines, et, si l'on a une assez bonne idée faunistique de la composition du peuplement, sa physionomie exacte est pratiquement inconnue. Ce sera là une des premières tâches à assigner aux engins plus puissants de type soucoupe actuellement en projet ou en construction, et notamment à la soucoupe «Deepstar» construite par J.-Y. COUSTEAU et qui peut atteindre 1200 m.

On conçoit aussi tout l'intérêt que peuvent avoir, dans ce domaine, les expériences en cours du Commandant J.-Y. COUSTEAU sur le séjour prolongé de l'homme sous la mer, et sur l'extension vers les profondeurs du rayon d'action du scaphandre autonome. On sait que l'inconvénient essentiel de l'utilisation de l'air comprimé est la dissolution de l'azote dans le sang; celle-ci oblige le plongeur, pour les plongées supérieures à 30 m environ, à respecter à la remontée un certain nombre de paliers de décompression destinés à permettre l'élimination graduelle de l'excès de ce gaz, pour éviter l'embolie gazeuse.

L'aspect des expériences en cours est double. D'une part il s'agit, par la réalisation de «maisons sous la mer» qui sont, en fait, des cloches à plongeurs, alimentées en air comprimé et pourvues d'un confort assez poussé, de permettre à des plongeurs de vivre plusieurs semaines à 10-20 m ce qui leur permet de travailler jusque vers 50 m de profondeur et d'effectuer, à la fin de leur séjour, une seule décompression. D'autre part, il s'agit de supprimer les inconvénients de l'azote en remplaçant l'air comprimé, aussi bien dans les bouteilles alimentant les scaphandres, que dans l'atmosphère des «maisons», par des mélanges gazeux: Hélium + Oxygène ou Hydrogène + Oxygène; dans ce dernier cas les propriétés explosives bien connues de ce mélange limitent à 3% le taux d'oxygène. Des hommes ont déjà vécu une semaine à 26 m, en allant travailler quotidiennement à 100-110 m; une autre expérience a permis d'atteindre 150-180 m à partir d'une maison située vers 110 m de profondeur.

L'infrastructure complexe et coûteuse des «maisons sous la mer» ne semble pas permettre, dans un proche avenir du moins, leur utilisation au seul profit d'organismes de recherche scientifique, mais on peut espérer que des biologistes expérimentés pourront se glisser dans des opérations de ce type organisées pour la réalisation de travaux sous-marins divers (forages pétroliers, par exemple).

On doit d'ailleurs se demander quel peut être l'intérêt des «maisons sous la mer» pour les études de biologie marine. Cet intérêt est évident pour les études de comportement. Il est considérable, aussi, pour les problèmes que pose la prospection quantitative des peuplements benthiques, poussée activement en ce moment pour arriver à une approche raisonnable de la production primaire et de la production secondaire benthiques. Pour la production secondaire et sur les substrats meubles, on est à peu près parvenu à effectuer des prélèvements significatifs par des méthodes quantitatives indirectes, au moyen de divers types de collecteurs; sur les substrats durs en revanche le prélèvement quantitatif ne peut être effectué qu'à la main, par grattage d'une surface connue du substrat. Le scaphandre autonome à air comprimé a déjà permis (recherches de M. A. TRUE, en cours) d'étudier quantitativement la Biocénose Coralligène de la Méditerranée; la plongée profonde avec les mélanges gazeux permettra d'étudier de la même façon cette Biocénose de la roche du large évoquée précédemment.

Le schéma de la figure 1 résume les conditions actuelles ou imminentes de pénétration autonome sous la mer du chercheur biologiste. Il peut donner l'impression que les problèmes de technique sont résolus et que l'homme dispose d'une gamme complète de moyens d'intervention dans l'ensemble des profondeurs

<sup>7</sup> J. LABOREL, J.-M. PERES, J. PICARD et J. VACELET, Bull. Inst. océanogr. Monaco 1206 (1961).

océaniques. En fait, ceci n'est pas exact car les engins les plus utilisés jusqu'ici, c'est-à-dire la soucoupe et les bathyscaphes ont l'inconvénient majeur de par leur conception même de ne pouvoir être stabilisés facilement à une profondeur déterminée. Il manque donc, dans la gamme des engins de pénétration de l'homme sous la mer un sous-marin pélagique, capable de naviguer, et surtout de stationner, à immersion constante; sans doute n'est-ce que grâce à un appareil de ce type que l'on pourra arriver à élucider, par exemple, le problème des couches diffusantes profondes (D.S.L.), génératrices de «fonds fantômes» sur les échogrammes des sondeurs à ultra-sons, et dont certaines au moins sont dues à des planctontes. Le mésoscaphe «Auguste Piccard» construit pour l'Exposition Nationale Suisse de Lausanne, tenue en 1964, et qui est un sous-marin classique, à ballasts d'eau de mer, pourrait être employé à de telles recherches, au moins jusqu'à 500–600 m, mais il est bien certain qu'il faut, dès maintenant prévoir un engin permettant d'atteindre 1500 ou 2000 m, et davantage si possible. Il ne paraît pas indispensable que ce sous-marin pélagique puisse prospecter les eaux des très grandes profondeurs étant donné que celles-ci sont d'une extrême pauvreté en plancton.

En conclusion, il paraît nécessaire au biologiste que je suis, d'insister sur les rapports qui doivent être ceux de la technique, d'une part, et de la science, d'autre part, dans le domaine de l'exploration autonome des milieux océaniques.

Jusqu'ici, il faut bien reconnaître que les engins mis au point, l'ont toujours été pour des motifs qui n'avaient rien à voir avec la recherche biologique. On peut dire que la somme des acquisitions de la biologie marine et de l'océanographie biologique issues des méthodes de pénétration autonome de l'homme sous la mer est modeste en regard de tout ce qu'ont apporté les méthodes classiques, au cours des 20 dernières années par exemple.

Cette disproportion est évidemment imputable, en partie, au nombre relativement faible des pratiquants des méthodes autonomes; il n'y a dans l'ensemble du monde qu'un petit nombre de centaines de biologistes utilisateurs du scaphandre autonome et il n'y a que 2 soucoupes plongeantes et 2 bathyscaphes. Il convient de signaler toutefois, les essais en cours de 2 prototypes américains: l'*«Alvin»*, prévu pour 1800 m, et l'*«Aluminaut»* qui peut atteindre 5000 m. Mais il faut dire aussi à la décharge des biologistes marins qu'ils n'ont pu, jusqu'ici, qu'utiliser des engins qui n'avaient pas été conçus pour eux et que les besoins de la recherche biologique n'ont jamais été au premier plan des préoccupations de ceux qui ont conçu et réalisé les engins de plongée autonome. En 7 années de plongées, les biologistes qui ont utilisé le bathyscaphe FNRS 3 n'ont pratiquement jamais pu procéder à un prélèvement significatif.

L'*«Archimète»* français et le *«Trieste»* américain, ne possèdent, ni l'un ni l'autre, d'appareil de prélèvement de plancton; encore un tel appareil a-t-il été étudié pour l'*«Archimète»*, mais il n'a pas fonctionné de façon satisfaisante, et sa mise au point, certainement possible cependant, passe sans cesse après celle des appareils de mesure des paramètres physico-chimiques. Certes, ces paramètres sont indispensables et au biologiste lui-même, mais ils ne sauraient lui suffire. Les techniciens et les ingénieurs, généralement peu portés à admettre l'intérêt des études biologiques, doivent cependant se persuader que les engins de pénétration profonde sont trop coûteux, à construire et à mettre en œuvre, pour qu'on se prive délibérément d'une large partie des résultats qu'ils peuvent fournir, uniquement parce qu'on ne fait pas pour les équiper d'appareils de collecte d'échantillons biologiques, un effort comparable à celui qui est fait pour les équiper d'appareils destinés à mesurer la température à  $1/_{20}^{\circ}\text{C}$  près, ou la vitesse des ultra-sons.

*Summary.* At the present time the autonomous exploration of the sea may be divided into three main fields: air SCUBA down to 60 m; diving saucers down to 1200 m; bathyscaphe down to the greatest depths of the ocean. In the near future, the SCUBA with special gas mixtures, excluding nitrogen, and the underwater permanent laboratories, will open a new field for biological investigations; progress in metallurgy may also allow diving with engines, without a floating tank, down to 2000 m.

The ability of the deep-sea vehicles to stop and remain at a definite depth below the surface needs further research.

The SCUBA is interesting for investigating the biotopes where the usual devices cannot be used from a surface vessel, for instance in submarine caves. Very special biocoenoses have been found in the totally dark parts of these caves with impoverished stocks and sometimes relict species; the sampling may be perfect both on soft and hard bottoms. With the deep-sea vehicles, investigations may be carried out on the behaviour and distribution of the bottom epifauna. The bathyscaphe also allows a general view of the vertical distribution of plankton much better than using plankton samplers, because the plankton nets or pumps are always working on a discontinuous scale. Unfortunately the sampling is much more difficult, especially as far as the plankton is concerned. It is necessary that the engineers pay more attention to the biological devices; very good data have been obtained for temperature, pressure, sound-velocity, etc., but in many instances the biologist diving with a deep-sea vehicle cannot do more than look at the animals and take photographs.