

ÉRIC DUTRIEUX
PATRICK MICHEL

LA PLONGÉE SOUS-MARINE

NATHAN

LA PLONGÉE SOUS-MARINE

LE PLONGEUR ET SON ENVIRONNEMENT

À Claire et Sylvain

À Léa

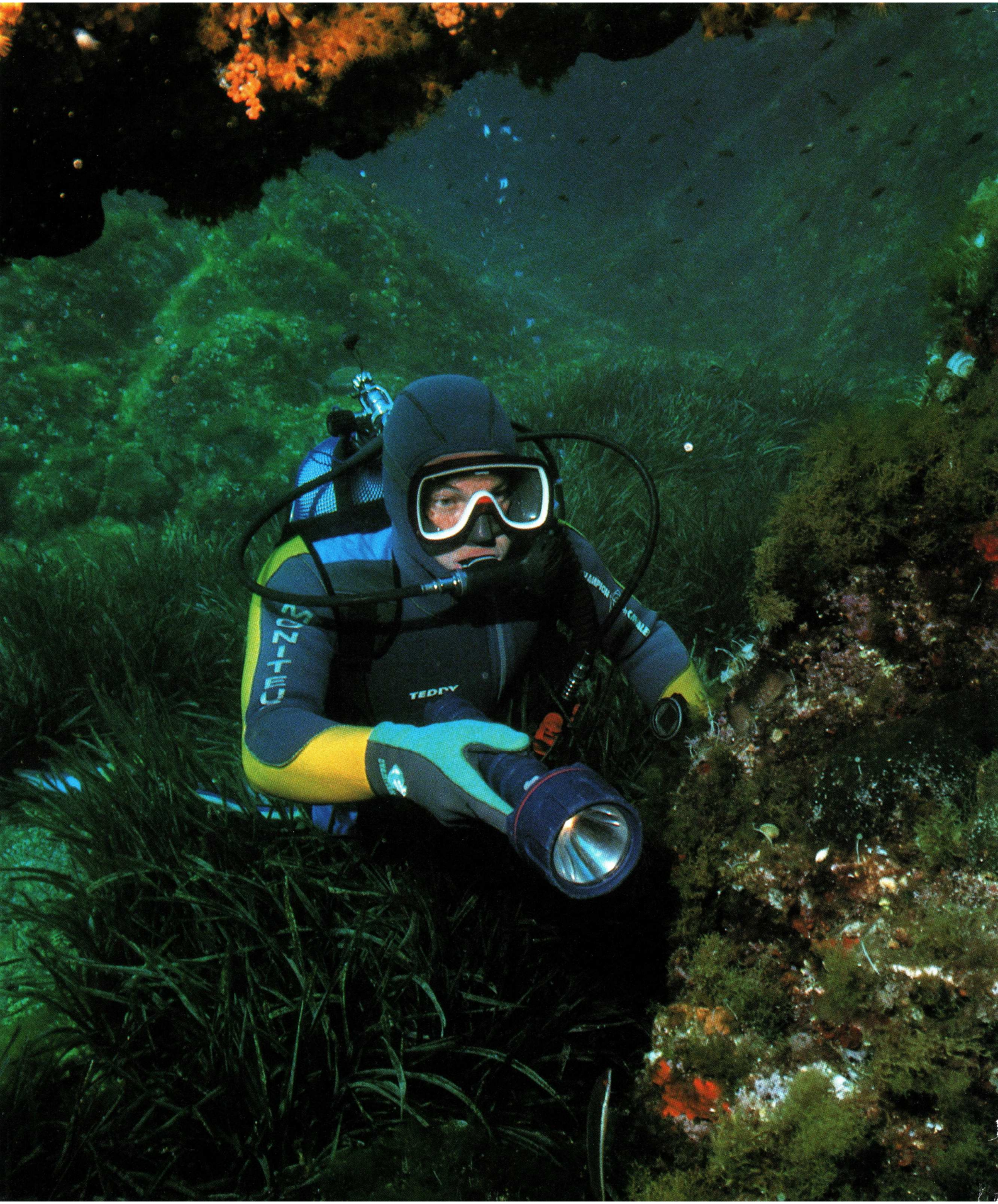
© Éditions Nathan (Paris, France) 1993

Éric Dutrieux
Patrick Michel

LA PLONGÉE SOUS-MARINE

LE PLONGEUR ET SON ENVIRONNEMENT

NATHAN


TEDDY

PRÉFACE

Un nombre important d'ouvrages traite de la plongée et chaque fois qu'un nouveau titre apparaît dans la bibliothèque subaquatique, une question me vient à l'esprit : « Qu'apporte-t-il de nouveau ? » Car il est un fait certain, dans l'état actuel de l'art de la plongée, il n'y a plus grand chose à inventer sur le plan technique.

Pourtant, ce livre apporte une nouveauté, celle de regrouper dans un même recueil la théorie théoricienne de la plongée et tout ce qui concerne l'environnement subaquatique que la plongée nous permet de découvrir.

Cet ouvrage constitue ainsi à la fois l'outil d'apprentissage et la mise en œuvre de cet apprentissage.

Par son originalité, ce nouveau venu mérite une carrière florissante dans la saga subaquatique.

Francis Imbert
Président de la FFESSM.

INTRODUCTION

« Mobilis in mobile »
(Jules Verne)

« Mobile dans l'élément mobile », ainsi peut-on simplement définir le plongeur sous-marin dans son environnement. Mobile, parce que son équipement moderne lui assure la liberté de respiration et de mouvement comme la maîtrise de sa flottabilité. Pourtant cette autonomie n'est pas une fin en soi, mais le moyen privilégié d'aller à la rencontre d'un monde unique fait de paysages et de formes vivantes infiniment variés qui n'ont d'autres lieux que les océans.

La plongée libre permet déjà, avec un équipement très simple, d'observer le foisonnement de la vie sous-marine dans les premiers mètres d'eau. Oublier momentanément la surface et prendre le temps de profiter de ces paysages entrevus devient une réalité grâce à la plongée autonome. Éboulis, surplombs, grottes et tombants rocheux offrent alors au plongeur les merveilles qu'ils abritent. Les plongeurs entraînés accèdent à de plus grandes profondeurs et découvrent coralligène ou épaves, saisissant ainsi l'extrême diversité des paysages sous-marins.

De même qu'il adapte sa respiration, ses déplacements et son équilibre au milieu sous-marin, le plongeur doit simultanément éduquer ses sens pour découvrir et comprendre les paysages nouveaux qu'il parcourt. Connaître le milieu sous-marin dans ses composantes physiques et biologiques permet de repérer les sites de qualité et d'être assuré de faire de belles plongées. C'est aussi savoir reconnaître les agressions de l'homme sur le milieu sous-marin, adapter son comportement sous l'eau pour respecter l'environnement et participer à la protection et à la mise en valeur des richesses littorales.

La découverte et la connaissance de l'environnement sous-marin ne sont possibles qu'à condition de maîtriser parfaitement les techniques de la plongée subaquatique, libre ou autonome. À la fois sport et technique, la plongée est une activité de loisirs accessible à toute personne en bonne santé. Comme toute activité de pleine mer, elle présente des risques qu'il est possible de prévenir grâce à une formation adéquate impliquant le respect des règles élé-

mentaires de sécurité et une compétence technique pour faire face à toute situation avec calme et maîtrise de soi. En franchissant la surface de l'eau, le plongeur doit « repenser » les fonctions essentielles de la vie. Voir, respirer, se déplacer, s'équilibrer nécessitent des connaissances théoriques, une préparation physique et psychologique, un équipement et un entraînement particuliers. Le premier chapitre donne les éléments de base nécessaires à une première incursion sous-marine accompagnée, en plongée libre et en scaphandre. Le plongeur soucieux de se perfectionner trouvera dans les chapitres suivants les informations techniques complémentaires lui permettant d'accéder progressivement à l'autonomie, avec un coéquipier de même niveau.

Mais, dès la première plongée et tout au long de son apprentissage, le plongeur est au contact de cet environnement fabuleux qui l'amène à se poser de nombreuses questions. Les fonds de sable sont-ils déserts ? Pourquoi les paysages changent-ils en fonction de la profondeur ? De quoi se nourrissent les animaux observés ? À quels signes reconnaît-on les agressions de la pollution marine ? Autant de questions qui trouveront des réponses dans la seconde moitié de l'ouvrage. Après une visite commentée des paysages sous-marins typiques de la Méditerranée, le plongeur apprendra à classer les grands groupes de la faune et de la flore et à nommer les espèces qui les composent, puis à comprendre comment les organismes marins s'alimentent, se reproduisent, se partagent l'espace sous l'effet de facteurs naturels, ou comment ils réagissent à l'action des pollutions. Enfin, il trouvera des conseils pour réussir les photographies sous-marines, seules traces concrètes d'un rêve merveilleux mais fugace.

L'attention du lecteur est attirée sur le fait que la partie technique du livre ne constitue qu'un guidage informatif. La pratique de la plongée requiert un enseignement « sur le terrain » dispensé dans une école de plongée. La Fédération française d'études et de sports sous-marins (FFESSM) groupe de nombreux clubs au sein desquels il est possible, dans les meilleures conditions de sécurité, de s'initier, de se perfectionner et de pratiquer l'exploration sous-marine sous la responsabilité de moniteurs compétents.



LE GRAND PASSAGE



Libre de plonger

Pour découvrir les paysages sous-marins et leurs habitants, il n'est pas besoin, dans un premier temps, de recourir aux techniques de la plongée en scaphandre autonome. La plongée libre, grâce à un équipement simple, permet déjà l'exploration des premiers mètres d'eau. La plongée libre est une activité de loisirs qui se pratique à la condition de savoir nager. C'est aussi un sport qui exige une préparation, un équipement et un entraînement particuliers. En passant du milieu aérien au milieu aquatique, de l'air à l'eau, le plongeur débutant doit « réapprendre » les fonctions essentielles : voir, respirer et se déplacer.

PREMIERS COUPS DE PALME

Préparatifs pour une première excursion sous-marine : Céline et Thibaud chaussent les palmes indispensables pour se déplacer dans un milieu huit cents fois plus dense que l'air.



Dans le plus simple appareil

Grâce à un équipement de base, le plongeur, avant tout « terrien », peut s'adapter aux conditions spécifiques du milieu sous-marin : le *masque* autorise une vision nette sous l'eau, et le *tuba* permet la respiration en surface sans relever la tête. Les *palmes* améliorent le rendement de la propulsion par rapport à la nage classique.

Les masques sont constitués d'une jupe en silicone, matériau très souple et anti-allergique, qui a tendance à remplacer le caoutchouc, d'une ou de deux vitres et d'une sangle réglable qui retient le masque sur le visage. Ils possèdent tous, au niveau du nez, un renflement moulé dans la jupe permettant la compensation, manœuvre d'équilibrage des tympans que nous verrons plus loin. Le masque doit être adapté à la taille et à la forme du visage. Le test classique consiste, lors de l'achat, à appliquer le masque sur le visage et à inspirer légèrement : la dépression constituée à l'intérieur doit suffire à maintenir le masque en place sans l'aide de la sangle, ce qui est le signe d'une étanchéité parfaite.

Le tuba idéal résulte d'un compromis entre la longueur et le diamètre. D'une longueur d'environ 45 cm, il doit avoir un diamètre compris entre 20 mm et 25 mm. En plastique ou en silicone souple, il doit s'adapter à la morphologie du visage, par une forme en arc de cercle, sans présenter d'étranglement ni d'angle vif. Il est recommandé de choisir un embout en silicone plus confortable et de dimension assez réduite pour une meilleure tenue en bouche.

Il existe de nombreux modèles de palmes, différents par les matériaux constitutifs de leur voilure (caoutchouc, fibre, plastique ou dérivé), par leur longueur (longue, mi-longue, courte), par leur consistance (dure ou souple) et par leur partie chaussante (talon fermé ou maintenu par une lanière réglable). Le choix du débutant portera plutôt sur un modèle comportant un chausson fermé en caoutchouc et une voilure en plastique de longueur moyenne, moins fatigante pour les jambes et mieux adaptée à la nage en surface. Les palmes seront choisies avec une ou deux pointures supérieures afin de porter des chaussons en néoprène, indispensables pour se protéger du froid, d'éventuelles blessures extérieures et pour éviter les ampoules dues au frottement.

De la piscine à la mer

Pour un premier contact avec la plongée libre, la piscine est le lieu idéal par les avantages qu'elle offre : clarté et température de l'eau, faible profondeur, absence de vagues et de courants. Ces conditions sécurisantes permettent au débutant, sous la conduite d'un moniteur ou d'un plongeur expérimenté, de se familiariser avec le matériel et d'éprouver les premières sensations dues au changement de milieu. Pour une première excursion sous-marine, le moniteur choisira un site de mise à l'eau conciliant deux impératifs à respecter dans l'organisation de n'importe quelle plongée : sécu-



Palmes, masque et tuba sont les trois pièces de base de l'équipement du plongeur libre. Céline et Thibaud apprendront d'abord à respirer par la bouche grâce au tuba, puis à en vider l'eau après chaque immersion.

rité et découverte de paysages sous-marins de qualité. Il retiendra donc un site abrité de la houle, du vent et des courants sur une côte garantissant des fonds rocheux où la vie sous-marine est plus riche. L'idéal est de se mettre à l'eau sur une plage en fond de baie où la pente des fonds est progressive, puis de définir un itinéraire le long d'une côte rocheuse constituée, par exemple, d'éboulis que l'on retrouve à faible profondeur, à partir de 1 m ou 2 m. Des eaux calmes, transparentes et chaudes (au minimum 20 °C), sont des conditions indispensables pour une première prise de contact.

La mise à l'eau peut se faire depuis la côte ou à partir d'un bateau. Deux impératifs de sécurité : pratiquer à deux, chaque plongeur assurant la sécurité de son coéquipier, et baliser ses parcours par une bouée ou une surveillance de surface.

Respirer par la bouche

L'utilisation du masque et du tuba requiert l'apprentissage de la respiration buccale, puisque le nez qui fonctionne, à l'air libre, alternativement comme une soupape d'inspiration et d'expiration, est sous l'eau « prisonnier » du masque.

Voir dans l'eau depuis la surface tout en respirant devient alors possible grâce au tuba. Même en restant d'abord en surface, il est indispensable de savoir vider le tuba de l'eau qui peut s'y introduire du fait du clapot ou lorsqu'on met simplement la tête sous l'eau. Au retour de chaque immersion, dès que l'on émerge, l'eau est expulsée du tuba par une expiration énergique qui débute chaque reprise de cycle respiratoire en surface.

Palmes aux pieds

La densité de l'eau de mer est un frein important à la pénétration, et les palmes constituent le seul moyen de déplacement efficace en augmentant la surface de propulsion, par rapport au simple nageur, et en améliorant le rendement mécanique. Le palmage est un mouvement alternatif en ciseaux des jambes dont le pivot est la hanche et qui se décompose théoriquement en deux phases propulsives : un temps passif pendant lequel la jambe s'enfonce jusqu'à faire un angle de 45° avec l'horizontale, puis un temps actif pendant lequel la jambe se tend, avec extension du pied en finale, puis remonte vers l'horizontale.

Pratiquement, le plongeur débutant recherche un palmage permettant de se déplacer sans effort excessif et sans risque d'essoufflement. Le corps est bien à plat à la surface de l'eau, le visage immergé mais orienté à l'oblique, la tête jouant le rôle de gouvernail. Le mouvement des jambes est lent et ample, mais sans sortir les palmes hors de l'eau. Les bras sont immobiles le long du corps.



Signes de reconnaissance

La mer est partagée par d'autres utilisateurs, comme les navires à moteur qui représentent un danger certain pour les plongeurs libres s'ils sont mal signalés. La bouée de surface est un élément de sécurité indispensable qui complète la panoplie du plongeur. Simple enveloppe flottante gonflable à la bouche, de forme oblongue et de couleur vive, elle est tractée par l'intermédiaire d'un bout terminé par un lest que l'un des plongeurs tient en main lors des déplacements et qui peut être largué à tout instant pour baliser la zone à explorer, le bout étant réglé en fonction de la profondeur du lieu. Le balisage n'est efficace que si les plongeurs restent à une distance proche de la bouée.

La plongée libre ne relève pas d'une pratique individuelle, mais bien d'une activité d'équipe. Le plongeur doit être accompagné, dans un premier temps, d'un plongeur expérimenté qui guidera son apprentissage et, dans un second temps, d'un équipier de même niveau. Pouvoir compter sur son coéquipier, c'est d'abord pouvoir communiquer avec lui pour signaler ses intentions et, exceptionnellement, ses difficultés.

Contraint à la respiration buccale, le plongeur, qu'il évolue en plongée libre ou en scaphandre, doit remplacer la communication orale par une communication gestuelle. Quelques signes suffisent à exprimer son état ou ses demandes. Voyons les deux signes de base indispensables à une première excursion sous-marine.

CHASSER L'EAU DU TUBA

Assis sur la plage, mettre chaussons et palmes. La marche en avant avec des palmes n'étant pas chose aisée, pénétrer dans l'eau à reculons jusqu'à la poitrine.

Pour empêcher la formation de buée sur la face interne de la vitre, mettre un peu de salive sur la vitre sèche, puis rincer. Maintenir le masque sur le visage avec la sangle qui ne doit pas être trop serrée et positionner sa partie centrale au-dessus de la nuque. Éviter tout cheveu entre le visage et la jupe du masque qui compromettrait son étanchéité.

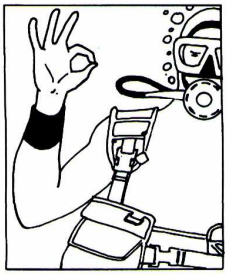
Placer le tuba sous la sangle du masque ou sur son support et commencer à respirer par la bouche, d'abord dans l'air, puis dans l'eau en inclinant le buste vers l'avant, sans immerger l'extrémité du tuba. Cette position permet de s'habituer progressivement à la respiration sous-marine en cherchant une inspiration lente et une expiration appuyée.

Hors de l'eau, enlever le tuba, le remplir d'eau et prendre une inspiration. Remettre le tuba en bouche et faire une expiration forcée pour en chasser l'eau, en soufflant sèchement. Répéter ensuite la même manœuvre en immergeant la tête dans l'eau. Ressortir le tuba de l'eau avant de souffler énergiquement : une seule expiration forcée doit le vider complètement.

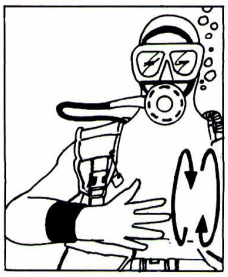
LE PALMAGE DE SUSTENTATION

Pour bien maintenir la tête hors de l'eau, soutenir le corps par un battement alternatif des jambes dont le principe est identique à celui décrit plus haut, mais réalisé dans un plan vertical. C'est le palmage de sustentation. En position d'attente, ce palmage permet de réajuster son masque, de vider l'eau qui a pu y entrer et d'éliminer la buée résiduelle, ou de récupérer après un effort. Pour être efficace, l'amplitude du mouvement doit être grande, et la fréquence des battements réduite.

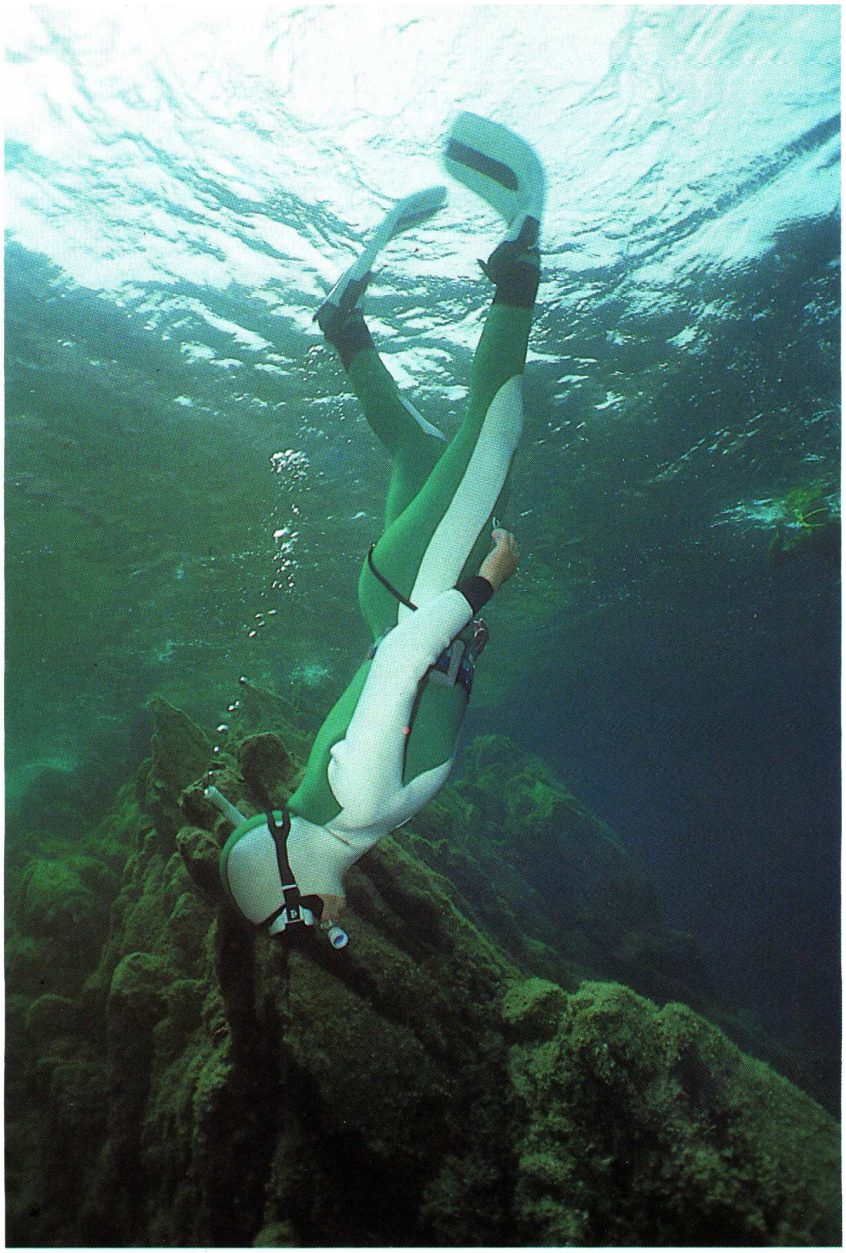
Pour passer du palmage de sustentation au palmage ventral, pencher naturellement le buste vers l'avant et palmer, les bras le long du corps.



Tout va bien



Je ne vais pas bien



Signe « Tout va bien »

C'est à la fois une question (est-ce que tu vas bien ?) et une réponse (oui, tout va bien). C'est aussi une réponse de validation à toute demande de son coéquipier (j'ai compris ton message).

Signe « Je ne vais pas bien »

C'est un signal d'alerte et de demande d'aide à son coéquipier. Il doit être suivi, dans la mesure du possible, d'un signe explicatif associé indiquant la source de la difficulté (pour un débutant : eau dans le masque, froid, fatigue).
Ces deux signes peuvent être faits en immersion ou depuis la surface.

PREMIÈRES DÉCOUVERTES DEPUIS LA SURFACE

Pour le plongeur débutant, le premier regard sous la surface est l'occasion de découvrir un monde nouveau. Au départ d'une crique, le fond est souvent sableux et homogène. Pourtant de petits poissons sont déjà au rendez-vous : ce sont des labres, de couleur brun clair. En quelques coups de palmes, le paysage change. Le sable disparaît, et de gros blocs de rochers prennent sa place. Parfois, ce sont de petites falaises ménageant des surplombs. De la surface, ce paysage semble dominé par les algues. Ici elles forment un tapis dense. Ailleurs, au contraire, le rocher est visible et paraît nu. Entre les blocs et dans les failles circulent des poissons. Les plus communs sont des cousins des labres observés sur le sable. Parmi eux, la girelle est familière. Elle est souvent attirée par le nuage de particules soulevé par les palmes du plongeur. Si l'on prend quelques précautions, il devient alors possible d'observer des poissons plus craintifs. Près de la surface, de jeunes mulets recherchent les petits organismes vivant en suspension dans l'eau, dont ils se

Pour Céline, la plongée sous-marine est déjà une histoire à sensations apportées par le contact avec l'eau, l'évolution en état de moindre pesanteur et la liberté de mouvement dans la troisième dimension (Calvi, 3 m).

CHRONIQUES D'UNE MER ANNONCÉE

Céline — Pendant la balade, j'ai eu du mal à te suivre.

Le moniteur — Une flexion trop exagérée de tes genoux transforme le palmage en « pédalage », ce qui augmente inutilement la durée du mouvement, diminue le rendement musculaire et donne finalement l'illusion d'avancer. Pour bien palmer, entraîne-toi en tenant une planche de natation. Raidis les jambes au départ, puis assouplis progressivement le mouvement.

Thibaud — Tous les poissons que j'ai vus s'enfuyaient devant moi.

Le moniteur — Pour observer les poissons de près, il faut être le plus discret possible et palmer silencieusement sans « crever » la surface avec les palmes. Pour corriger ce défaut, essaie de palmer mains jointes derrière le dos. En redressant le buste, cette position permet une meilleure immersion des palmes et l'augmentation de l'amplitude vers le bas.

Céline — Mon tuba s'est fréquemment rempli d'eau.

Le moniteur — Lorsque tu palmes, veille à redresser la tête en regardant en oblique vers l'avant, ce qui évite au tuba de se remplir d'eau par submersion de son extrémité. Relève de temps en temps la tête en conservant la ligne d'eau à environ la moitié du masque. Tu repères ainsi l'endroit où tu vas et tu évites les erreurs de trajectoire.

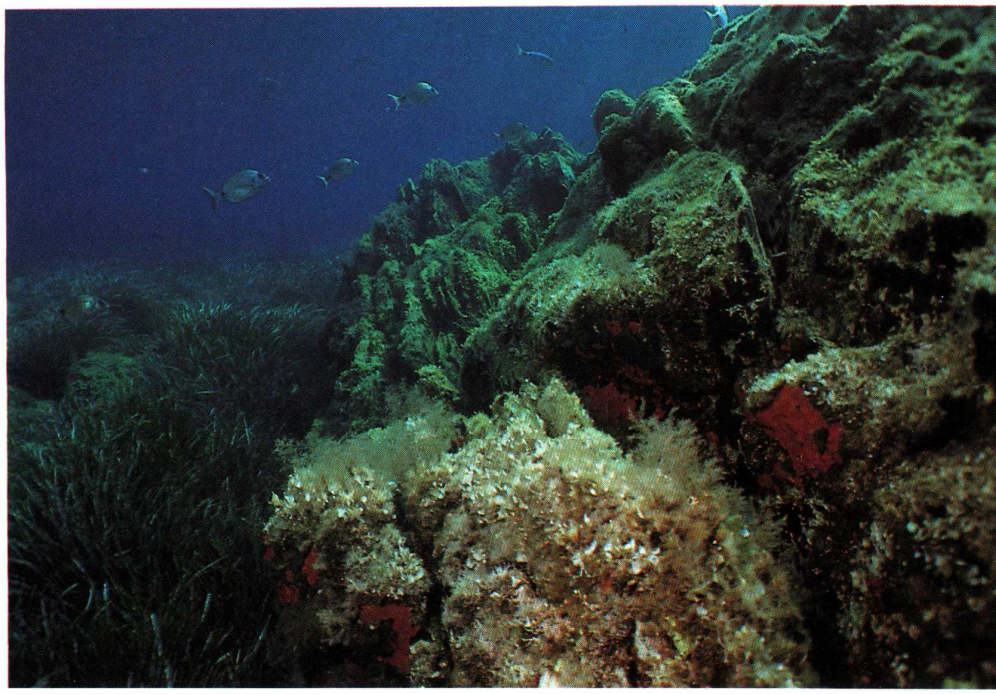
Thibaud et Céline — À la fin de la balade, nous avons commencé à avoir froid.

Le moniteur — L'immersion provoque des pertes de chaleur plus importantes dans l'eau que dans l'air à la même température, de l'ordre de 25 fois. Vous connaissez déjà la réponse à cette agression : c'est la combinaison isothermique qui limite les échanges entre le corps et l'eau. Elle est indispensable sous nos latitudes et vous l'utiliserez lors de votre prochaine plongée.

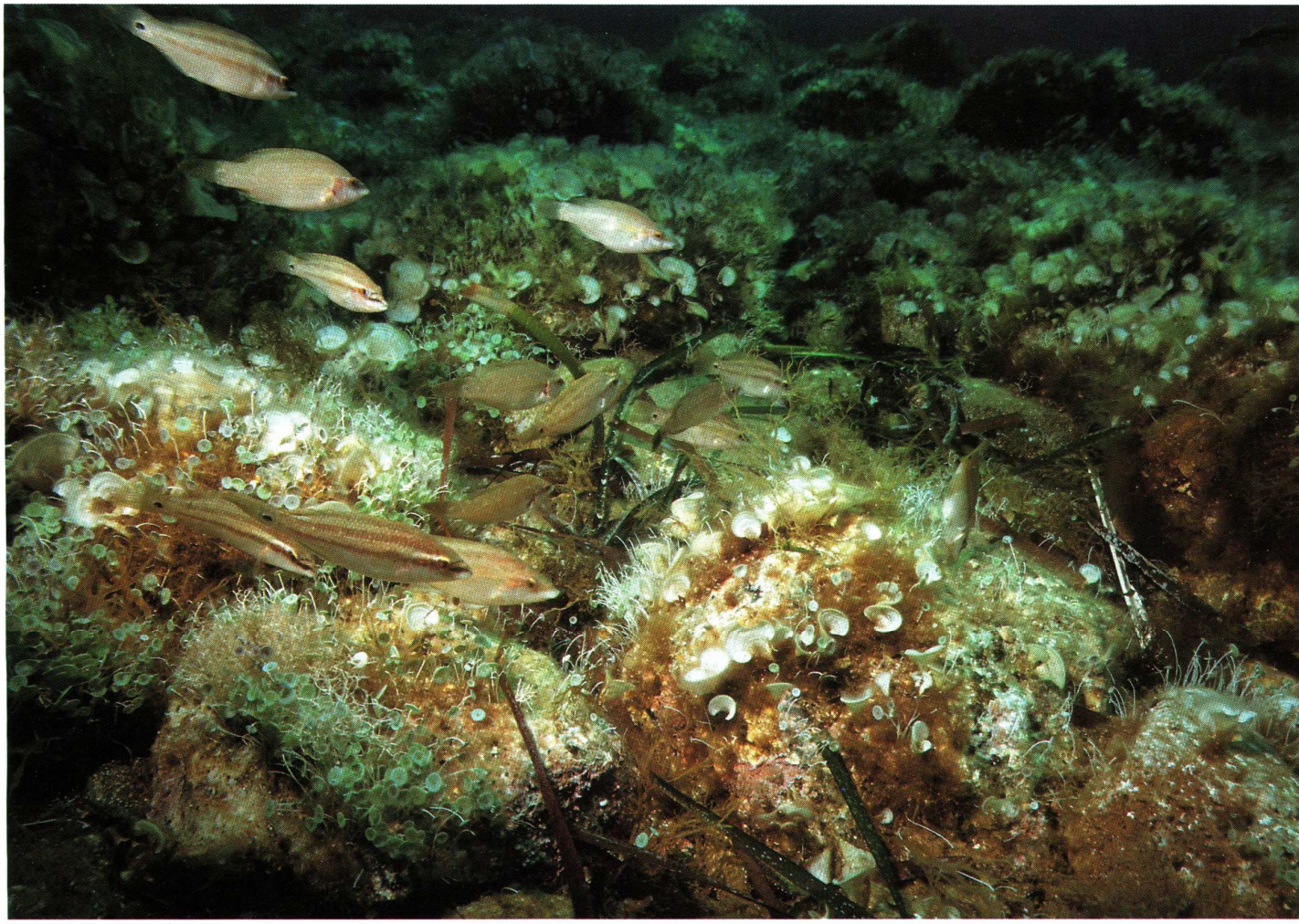
nourrissent. Les sars, poissons de forme arrondie et de couleur gris argenté, rayés de bandes plus foncées, restent à une distance respectable de l'observateur. Effrayés, ils se réfugient parfois sous une dalle ou dans une faille. Poursuivons l'un d'eux et observons avec attention l'intérieur de son refuge. Le surplomb ou la paroi verticale vers lesquels nous guide ce poisson ont un aspect bien différent de la partie supérieure des rochers. On y trouve très peu d'algues mais, en revanche, des sortes de croûtes rouges ou oranges. Ce sont des éponges, qui, en épousant avec soin le rocher, évitent d'être emportées par une vague.

Au fond des failles, bien protégés de ces mêmes vagues, vivent des oursins, recherchés par les amateurs de fruits de mer. Ils sont abondants sur certaines côtes comme dans les Pyrénées-Orientales, mais sont devenus plus rares sur la Côte d'Azur où une pêche abondante et une maladie limitent fortement leurs effectifs.

Palmes, masque et tuba permettent d'observer facilement beaucoup d'autres organismes dans les deux ou trois premiers mètres d'eau. Il existe le long des côtes françaises différents sentiers sous-marins, balisés, permettant de découvrir la vie des petits fonds. Le plus remarquable est le sentier sous-marin de l'île de Port-Cros, où, durant la saison estivale, des animateurs guident les visiteurs vers les merveilles de la faune et de la flore sous-marines de Méditerranée.



Le premier regard sous la surface permet de découvrir posidonies, algues et poissons. En observant plus attentivement le rocher, des taches de couleur témoignent de l'importance de la vie animale fixée (Port-Cros, 6 m).



DE L'AUTRE CÔTÉ DU MIROIR

Le plongeur sous pression

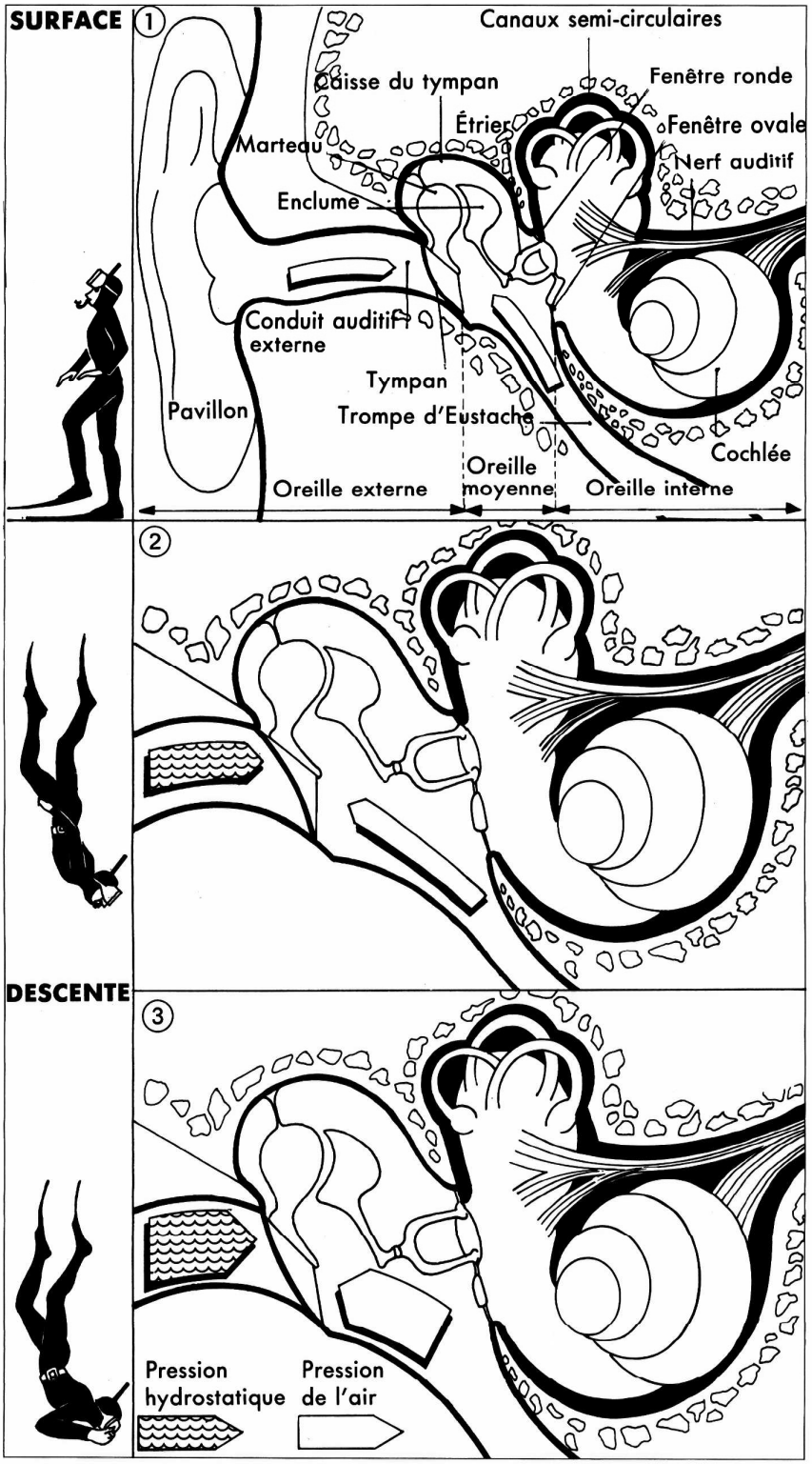
L'air et l'eau possèdent des propriétés communes, comme celle d'exercer une pression sur les corps. Une colonne d'air de 1 cm² de section traversant verticalement toute l'atmosphère, soit plusieurs dizaines de kilomètres, pèse environ 1 kg. C'est ce que l'on appelle la pression atmosphérique. Chacun de nous « porte » donc environ 1 t d'air, mais comme la pression règne aussi à l'intérieur du corps, nous ne sommes pas écrasés. Pour retrouver une pression identique de 1 kg/cm² ou 1 bar, il suffit d'une colonne d'eau de même diamètre, mais seulement de 10 m de hauteur. Cette pres-

Les labres (ici de jeunes crénilabres paons), sont avec les sars les poissons les plus courants dans les zones rocheuses peu profondes. Ils se déplacent, solitaires ou en groupe à la recherche de leur nourriture constituée de petites proies animales (Port-Cros, 6 m).



COMPENSATION
OU ÉQUILIBRAGE

En plongée, la pression hydrostatique s'exerce sur tous les organes remplis d'air comme l'oreille moyenne. Le tympan, membrane souple qui sépare l'oreille du milieu ambiant, se déforme sous l'action de la pression. Pour prévenir toute douleur, il est indispensable, dès les premiers mètres d'eau, de compenser, c'est-à-dire d'équilibrer la pression ambiante, en envoyant de l'air à la même pression par l'intermédiaire de la trompe d'Eustache : la manœuvre de Valsalva permet facilement cet équilibre des pressions et doit être renouvelée tout au long de la descente.



sion est appelée *pression hydrostatique ou relative*. L'eau étant incompressible, sa densité est constante. Il s'ensuit que notre colonne étalon exercera toujours la même pression quelle que soit la profondeur. Autrement dit, pour chaque tranche d'eau de 10 m, la pression hydrostatique augmente de 1 bar. Ainsi la pression hydrostatique est de 1 bar à 10 m, de 2 bars à 20 m, de 4 bars à 40 m, etc. À cette pression relative il faut ajouter la pression atmosphérique exercée par l'air à la surface de la mer. Cette pression étant de 1 bar au niveau de la mer, la pression absolue est donc de 2 bars à 10 m, de 3 bars à 20 m, de 5 bars à 40 m, etc.

Quelles sont les conséquences immédiates pour le plongeur ? Le corps humain comporte quelques organes anatomiques remplis d'air : l'oreille moyenne, les sinus de la face et les poumons. À la descente, ces cavités subissent l'augmentation de la pression hydrostatique.

En s'immergeant dans quelques décimètres d'eau, chacun a pu éprouver une sensation de gêne au niveau des tympans, voire une douleur si l'on descend plus profondément. L'oreille moyenne est reliée aux fosses nasales par la trompe d'Eustache, et la pression qui s'y exerce en surface est égale à la pression atmosphérique. En plongée, la pression de l'eau qui s'exerce sur la partie extérieure du tympan devient supérieure à la pression interne égale, au départ, à la pression atmosphérique. Le tympan, qui est une membrane étanche mais déformable, va donc s'incurver. Cette déformation entraîne une douleur qui peut conduire à une lésion si la différence de pression dépasse 0,5 bar. Les accidents dus aux variations de pression sont appelés *barotraumatismes*. Pour les prévenir, il est nécessaire d'*équilibrer*, c'est-à-dire de rétablir la même pression de part et d'autre du tympan. On parvient aisément à *compenser* en insufflant dans l'oreille moyenne de l'air provenant des fosses nasales par l'intermédiaire de la trompe d'Eustache. Chez un sujet en bonne santé, le passage de l'air par la trompe d'Eustache s'effectue sans difficulté par déglutition ou par la *manœuvre de Valsalva*, pratiquée par la majorité des plongeurs.

Les sinus sont des cavités indéformables dans les os faciaux. Ils communiquent avec l'air ambiant par les fosses nasales, mais il n'est pas possible d'intervenir volontairement sur leur équilibrage. L'équipression se fait naturellement lors de la manœuvre de compensation de l'oreille moyenne. Les barotraumatismes des sinus se produisent lorsqu'il y a obstruction accidentelle de leur orifice de communication. Cela arrive lorsque le plongeur a contracté un rhume ou une rhino-pharyngite. Les barotraumatismes des sinus frontaux se caractérisent par des douleurs aiguës à la descente, accompagnées d'inflammation de la muqueuse et de saignement nasal.



Fixée dans une anfractuosité du rocher, cette anémone (Anemonia sulcata) *offre le spectacle de ses tentacules au plongeur attentif (Cap Creus, 3 m).*

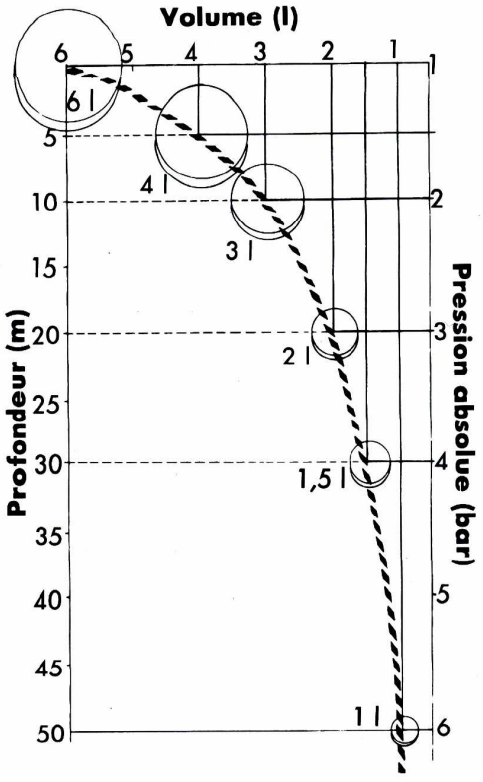
Enfin, il ne faut pas oublier la cavité artificielle que représente le masque rempli d'air et dont les parois sont déformables. Si l'on n'introduit pas un peu d'air dans le masque en soufflant par le nez pour rétablir l'équipression, le masque est plaqué contre le visage à la manière d'une grosse ventouse.

Pression et volume : une relation simple

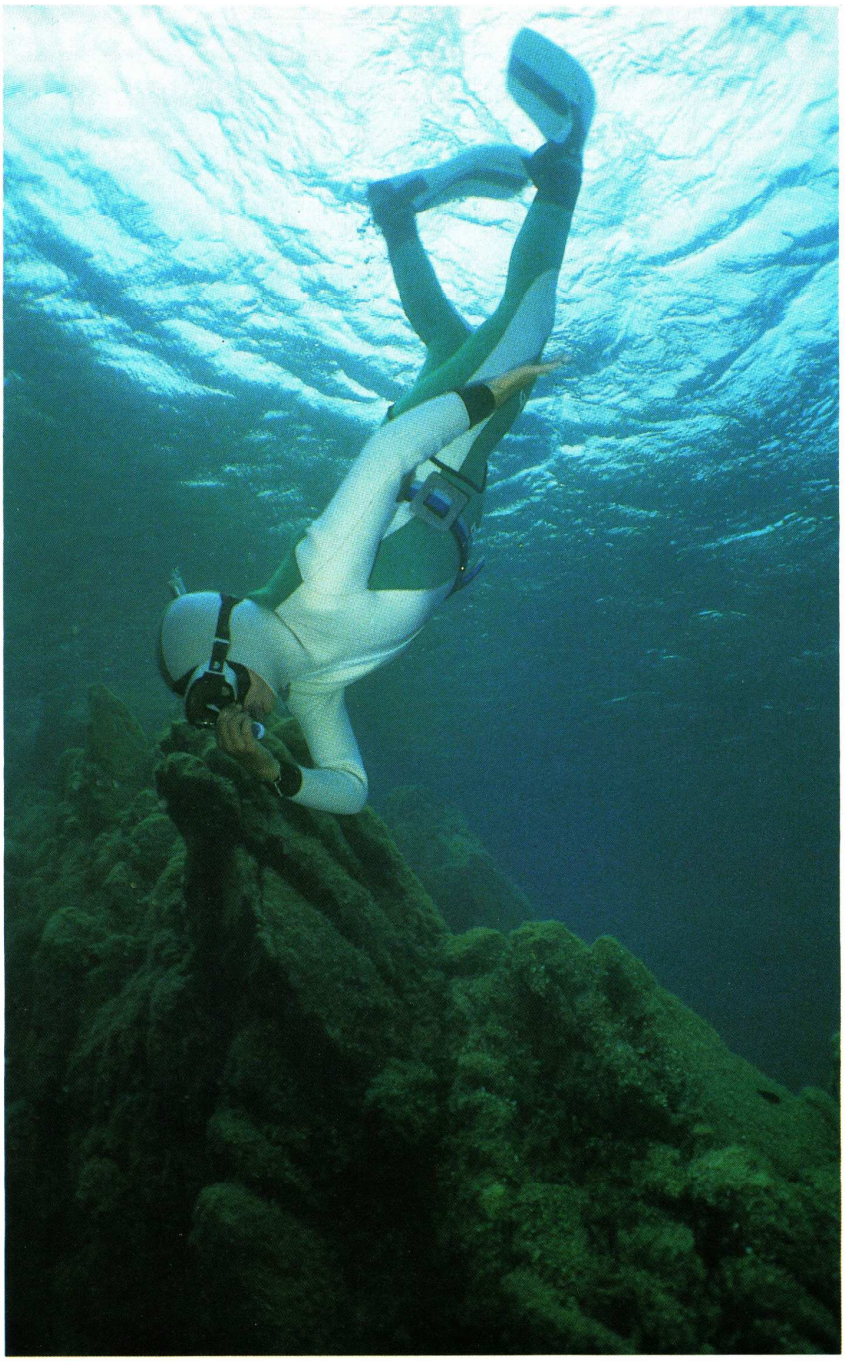
Les gaz étant compressibles, ce qu'ils « gagnent » en pression à la descente, ils le « perdent » en volume et inversement à la remontée. Cette loi physique a été formalisée à partir des expériences de deux physiciens du XVII[e] siècle : un Français, Edme Mariotte, et un Irlandais, Robert Boyle. *À température constante, le volume d'un gaz est inversement proportionnel à la pression qu'il subit.* Voyons, par exemple, comment varie le volume interne d'un masque qui serait de 140 ml en surface. Le produit de la pression par le volume étant constant, le volume occupé par l'air à 4 m sera égal à 100 ml [140 × 1/1,4]. À cette profondeur, le volume du masque serait réduit environ du tiers si le plongeur ne rétablissait pas l'équipression en soufflant un peu d'air par le nez dans la cuve du masque.

(Schéma ci-dessous.) Les gaz, comme l'air respiré en plongée, sont compressibles et leur volume est inversement proportionnel à la pression qu'il reçoivent, à température constante. Ainsi, un ballon déformable rempli de 6 l d'air en surface (pression 1 bar) occupe 1 l à 50 m (pression 6 bars). Pour une même quantité de gaz, le produit du volume par la pression est toujours égal à lui-même. Cette pression est égale au nombre de litres d'air détendus à la pression atmosphérique.

Le plongeur sous-marin est soumis à des lois physiques particulières. Une bonne technique permet de s'adapter à ces contraintes (Port-Cros, 6 m).







La compensation pour équilibrer les pressions de part et d'autre du tympan, ici à l'aide de la manœuvre de Valsalva (voir ci-contre), s'effectue tout au long de la descente (Calvi, 3 m).

CONNAÎTRE LA MANŒUVRE

Équilibrer les pressions de part et d'autre du tympan est possible grâce à la manœuvre de Valsalva :

Pincer le nez entre le pouce et l'index grâce au renflement moulé dans la jupe du masque, puis simultanément envoyer doucement de l'air des poumons vers le nez, comme pour se moucher. La légère surpression dans l'oreille moyenne rétablit la position initiale du tympan, avec un petit claquement ou sifflement caractéristique.

Dès l'immersion, répéter cette opération tous les mètres ou tous les 2 mètres, sans attendre de ressentir une gêne ou un début de douleur.

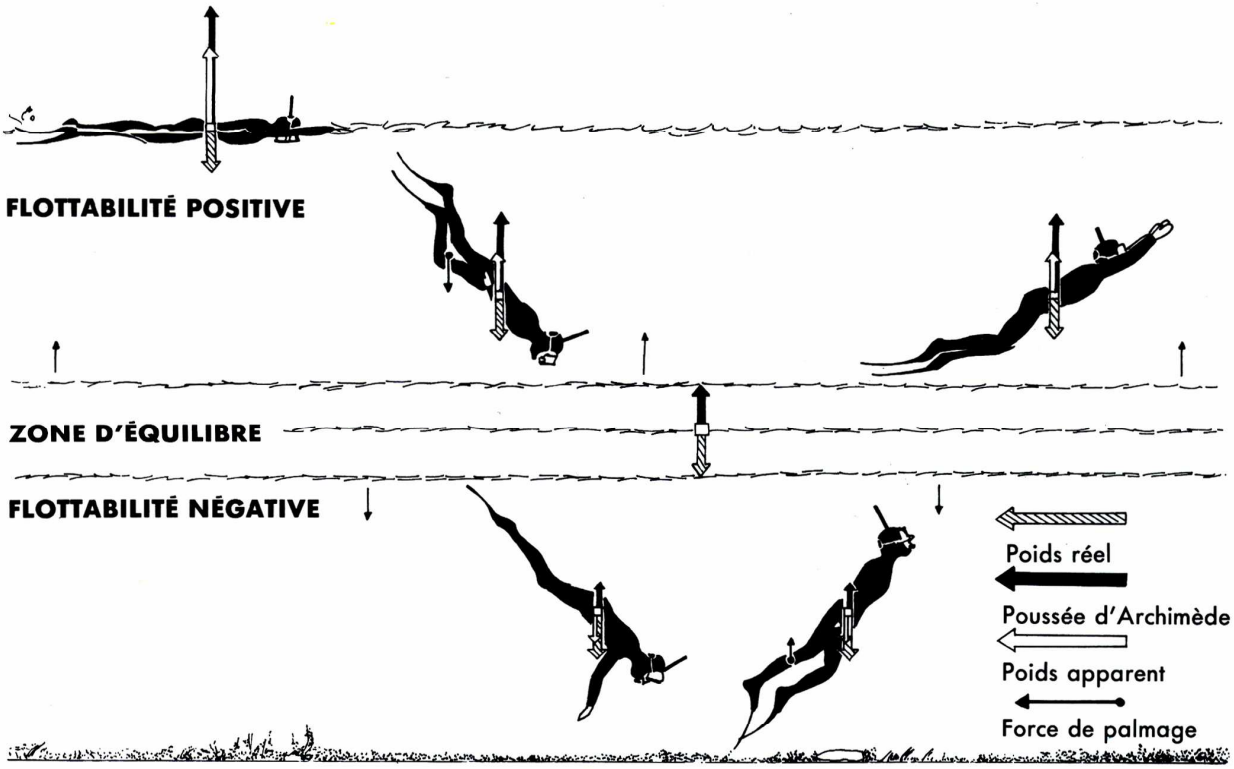
Si la compensation est impossible ou si une oreille ne « passe » pas, remonter de 1 m pour diminuer la pression et refaire une manœuvre de Valsalva en redescendant. Si elle échoue, renoncer temporairement à la plongée.

Dans certains cas, la manœuvre de Valsalva réussit mieux tête en haut que tête en bas. Essayer alternativement les deux positions.

Au début de la descente, décoller légèrement la cagoule de la combinaison pour faire entrer un peu d'eau. S'il reste une poche d'air prisonnière du conduit auditif, celle-ci peut empêcher la compensation.

Ne jamais exécuter la manœuvre de Valsalva à la remontée.

Si ces précautions ne sont pas respectées, des barotraumatismes sont prévisibles sous forme de vertiges ou, plus graves, de lésions. Ils peuvent atteindre l'oreille moyenne (de la simple otalgie à la perforation tympanique) et l'oreille interne (atteinte de la cochlée et du vestibule).



Pour compenser la flottabilité de la combinaison isothermique, le plongeur doit s'équiper d'une ceinture de lest. Mais l'équilibre reste précaire du fait des variations de volume qui modifient la poussée d'Archimède. Ainsi un plongeur en flottabilité positive en surface devra palmer pour vaincre la poussée d'Archimède jusqu'à une zone d'équilibre. Au-delà, son volume pulmonaire et celui de sa combinaison diminuant en application de la loi de Mariotte, son poids apparent devient supérieur à la poussée d'Archimède : le plongeur continue de descendre sans avoir besoin de palmer. C'est le contraire qui se passe lors du retour vers la surface.

Quelle est l'action de la pression sur les poumons du plongeur libre ? La cage thoracique tolérant une certaine déformation, l'augmentation de la pression hydrostatique comprime l'air contenu dans les poumons proportionnellement à la profondeur atteinte. À la remontée, cet air se dilate à nouveau jusqu'à atteindre le volume qu'il avait en surface. Supposons qu'un plongeur libre ait une capacité pulmonaire de 6 l à la pression atmosphérique de 1 bar. La cage thoracique subissant une certaine déformation, à 10 m (pression absolue : 2 bars), le volume pulmonaire ne sera plus que de 3 l, et à 20 m (pression : 3 bars), il sera réduit à 2 l. La rigidité de la cage thoracique permet de conserver dans les poumons, après une expiration forcée, un volume d'air résiduel d'environ 1,5 l. En plongée libre, ce volume serait atteint vers 30 m, et l'on pourrait penser qu'il existe une profondeur limite que l'on ne peut pas dépasser. Au-delà existent des adaptations physiologiques qui permettent de franchir cette limite.

Eurêka

La plupart des nageurs flottent à la surface de la mer, et chaque plongeur a pu remarquer que couler est plus difficile que flotter. *Tout corps immergé subit en effet une force dirigée de bas en haut et égale au poids du volume d'eau qu'il déplace, selon le principe d'Archimède.*

Ainsi, une pierre lourde à terre est plus facile à déplacer sous l'eau où elle apparaît avoir un poids plus faible. Son poids apparent est égal à son poids réel diminué de la poussée d'Archimède. Le corps humain est essentiellement constitué de parties solides, comme les os, et liquides comme le sang, mais aussi de différentes cavités élastiques et remplies d'un volume variable d'air, comme les poumons. En surface, poumons gonflés, le plongeur « nu » a une flottabilité positive, son poids réel étant inférieur à la poussée d'Archimède. Inversement, s'il expire, le plongeur va avoir tendance à couler et sera en flottabilité négative. Réaliser un parfait équilibre hydrostatique, c'est-à-dire avoir une flottabilité nulle, n'est pas chose facile. La combinaison isothermique du plongeur augmente considérablement sa flottabilité. Pour la compenser et tendre vers une flottabilité nulle, il est nécessaire de porter une ceinture lestée de plomb.

Si un plongeur descend ainsi équipé, même parfaitement lesté avec une flottabilité quasi nulle en surface, dès qu'il atteint la zone des 10 m, il repasse en flottabilité négative. Cela est dû à l'effet de la pression qui diminue proportionnellement le volume des gaz à l'intérieur du corps et écrase les cellules de son vêtement isothermique. La densité du plongeur augmente donc avec la profondeur.



Acquérir une flottabilité quasi-nulle est le rêve de tout plongeur (Port-Cros, 12 m).

La bonne combinaison

La neutralité thermique dans l'eau, c'est-à-dire la température à laquelle le corps ne perd pas de calories, est de 33 à 34 °C. Autant dire que la combinaison isothermique est indispensable dans les mers tempérées pour prolonger son séjour dans l'eau en se protégeant du froid. Les vêtements de plongée sont réalisés en néoprène, mousse de caoutchouc souple et isolante, pour une épaisseur relativement faible entre 3 mm et 7 mm. Le pouvoir isolant est créé par la structure cellulaire du matériau qui renferme des microbulles d'azote. Les faces interne et externe sont revêtues d'un tissu souple, en Nylon ou en Lycra, améliorant la protection contre les chocs et les frottements. Même bien ajustée, la combinaison classique de plongée n'est pas étanche : dès l'immersion, l'eau pénètre en petites quantités à l'intérieur du vêtement par les poignets, la cagoule et la veste. Cette mince couche d'eau qui ne se renouvelle pas si la combinaison est ajustée, se réchauffe au contact du corps. La veste de plongée comporte une cagoule attenante et souvent une fermeture à glissière facilitant l'habillage, mais favorisant les entrées d'eau. Le pantalon de type salopette, remontant jusqu'à la poitrine, est fixé sur les épaules par des bretelles. Les compléments indispensables sont les chaussons et, en saison froide, les gants, eux aussi

LE LEST : NI TROP, NI TROP PEU

S'équiper au dernier moment, surtout si l'ensoleillement est important.
En position assise, enfiler le pantalon de la combinaison. Veiller à ne pas faire de plis en plaquant bien le néoprène contre la peau en remontant des chevilles vers la taille.
Mettre la veste comme un simple vêtement si elle est équipée d'une fermeture à glissière. Si la veste ne possède pas de fermeture, enfiler les bras l'un après l'autre, puis passer la tête dans l'ouverture de la cagoule comme l'on met un T-shirt.
Fixer la sous-cutale qui assure la liaison avec le pantalon.
Chaussser les bottillons dont le haut doit passer sous le bas du pantalon, puis s'équiper avec palmes, masque et tuba.
Serrer la ceinture sans gêner la respiration abdominale en la fixant en appui sur les hanches.
Dans l'eau, attendre que la combinaison se « remplisse » et évacuer toute poche d'air qui aurait pu se former. En position verticale, faire une expiration forcée complète : on ne doit pas couler et être obligé de faire un palmage de sustentation.
S'immerger à la moitié de la profondeur que l'on compte atteindre : la flottabilité doit être nulle, le plongeur restant « entre deux eaux ».
Procéder par essai en rajoutant ou en enlevant 1 kg de plomb.



en néoprène. L'épaisseur de la combinaison est choisie en fonction de l'activité et de la saison d'utilisation. Un plongeur exerçant l'apnée en été choisira un néoprène de 4 mm. Un plongeur en scaphandre pratiquant en hiver utilisera une combinaison de 6,5 ou 7 mm. Une épaisseur de 5,5 mm est un bon compromis pendant la belle saison pour un usage mixte — plongée libre et scaphandre.

Par l'ajustement des plombs qu'elle porte, la ceinture de lest assure au plongeur la flottabilité qu'il souhaite. En Nylon ou en caoutchouc, les ceintures comportent une boucle à largage rapide du type des ceintures de sécurité des voitures. Le largage doit pouvoir être effectué d'une seule main. Le lestage n'est pas immuable. Il apparaît comme un savant dosage qui doit tenir compte de plusieurs facteurs : la corpulence ou plutôt la densité du plongeur, l'épaisseur de sa combinaison et la tranche de profondeur où il évolue. En application directe du principe d'Archimède et de la loi de Boyle-Mariotte, la ceinture sera d'autant moins lestée que l'on désire descendre plus profond. Quelques valeurs de lestage peuvent être données à titre indicatif. Avec une combinaison de 5 mm d'épaisseur, le lestage est de 6 à 7 kg pour évoluer par petits fonds (jusqu'à 5 m), de 4 à 6 kg pour les fonds moyens (jusqu'à 10 m) et 3 à 4 kg si l'on est entraîné pour atteindre des fonds de 20 m.

APNÉE PRATIQUE

La sécurité de la plongée en apnée requiert de pratiquer à deux : pendant que l'un des plongeurs s'immerge, son coéquipier l'observe depuis la surface, notamment lorsque celui-ci émerge, et ainsi à tour de rôle.

Retenir sa respiration

L'homme a la possibilité de franchir la surface de l'eau et de rester immergé un certain temps en retenant sa respiration et en contenant le réflexe d'inspiration : c'est *l'apnée volontaire et contrôlée.* Chaque plongée en apnée exige une bonne préparation en surface. Le plongeur, allongé à la surface de l'eau, se stabilise en se décontractant. La respiration doit être complète, à la fois abdominale et thoracique, ample et régulière avec une inspiration normale et une expiration légèrement forcée. Lorsqu'il ressent une parfaite décontraction musculaire et respiratoire, le plongeur peut s'immerger. La durée de l'apnée est directement liée à la consommation d'oxygène emmagasiné dans l'organisme avant l'immersion. Aussi, tout effort brutal ou inutile est à proscrire pendant les phases de descente, de séjour au fond et de remontée.

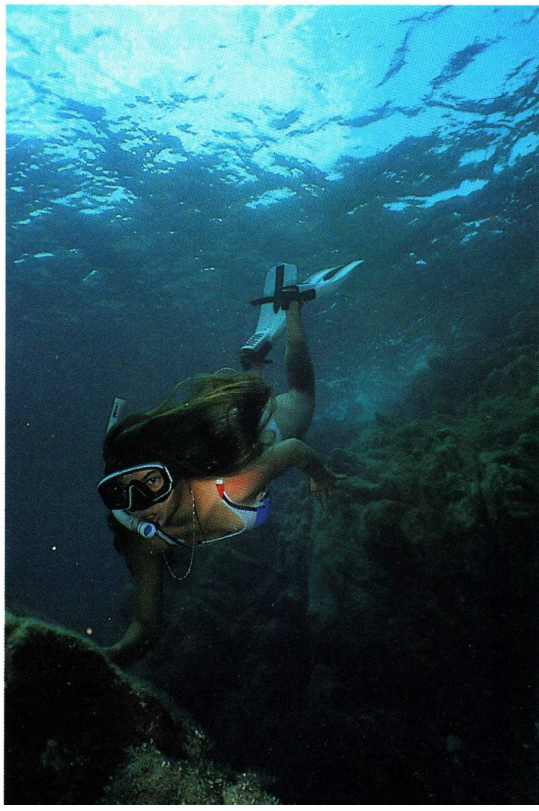
Le plongeur recherche la position la plus hydrodynamique. À la descente : trajectoire verticale, coudes serrés contre la poitrine et mains en place pour compenser. À la remontée : bras le long du corps, tête verticale sans regarder la surface sauf à son approche. Le palmage est ample et lent, et les déplacements se font en souplesse. Avant d'émerger, vers 2 ou 3 m, un tour d'horizon sur 360° est indispensable pour repérer tout obstacle éventuel.

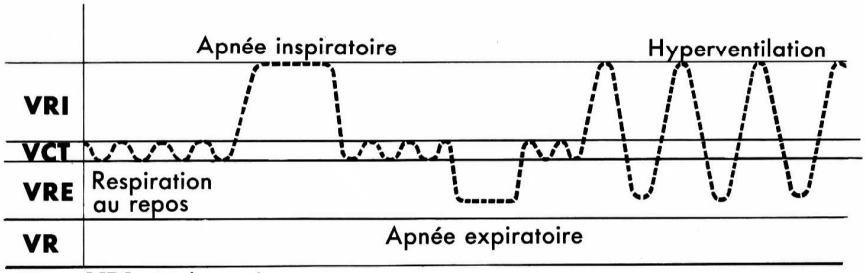
Imiter le canard ou le phoque

En plongée libre, comme en plongée avec scaphandre, il faut pouvoir s'immerger rapidement avec un minimum d'efforts. Le *canard* permet de s'immerger tête la première à la verticale du point que l'on veut atteindre et de conserver une position du corps assurant un cap constant. Allongé à la surface de l'eau, le plongeur prend une inspiration et casse le buste vers l'avant au niveau du bassin qui sert de pivot. Il peut s'aider des bras par un mouvement de brasse. Dès que le buste est perpendiculaire aux jambes, il relève les jambes à la verticale, talons joints et pieds en extension. Le corps s'enfonce sous son propre poids. Palmes immergées, le plongeur commence à palmer pour entamer la descente. Un canard parfait

(À gauche.) La combinaison isothermique est la « deuxième peau » du plongeur, indispensable sous nos latitudes tempérées pour prolonger son séjour dans l'eau avec confort et en le protégeant du froid.

(Ci-dessous.) De l'autre côté du miroir ou l'apnée-liberté : d'éphémères incursions pour découvrir le foisonnement inattendu de la vie sous-marine (Calvi, 4 m).





VRI - Volume de réserve inspiratoire
VCT - Volume courant
VRE - Volume de réserve expiratoire
VR - Volume résiduel

À PLEINS POUMONS

Les poumons sont comparables à un soufflet dont la ventilation crée des entrées et des sorties entre l'air extérieur et les alvéoles. Mécaniquement, l'inspiration est un phénomène actif produit par les muscles inspiratoires. Au contraire, l'expiration normale est passive par simple relâchement des mêmes muscles. On sait qu'il est possible de forcer son inspiration pour « prendre son souffle » et aussi de « vider » ses poumons par une expiration forcée. Ainsi l'homme peut mobiliser plus ou moins volontairement des volumes gazeux variables.

L'air respiré est un mélange de plusieurs gaz où dominent l'azote (79 %) et l'oxygène (20,9 %). L'air contient aussi des traces de gaz carbonique (0,03 %) et de gaz rares. Le physicien anglais John Dalton démontra qu'un mélange gazeux, comme l'air, possède une propriété particulière : la pression de chacun de ses constituants s'établit à la valeur qu'elle aurait s'il occupait seul le volume total. Autrement dit, chaque gaz entrant dans la composition d'un mélange a sa pression propre, indépendante de celle des autres gaz du mélange. Cette pression dont dépendent les effets biologiques des gaz sur l'organisme est appelée *pression partielle*. Si l'on admet qu'il y a 80 % d'azote et 20 % d'oxygène dans l'air, les pressions partielles de ces gaz à la pression ambiante sont respectivement 0,8 bar [1 × 80/100) et 0,2 bar [1 × 0,2]. À 30 m (pression absolue 4 bars), les pressions partielles seront : 3,2 bars et 0,8 bar. On constate que la pression totale du mélange est la somme des pressions partielles de ses constituants.

La ventilation pulmonaire permet l'irrigation de l'organisme par l'oxygène et l'élimination du gaz carbonique grâce à la respiration cellulaire. L'intensité des échanges gazeux est régie, pour chacun de ces gaz, par les différences de pression partielle entre les alvéoles pulmonaires et le sang des capillaires pulmonaires. C'est le sang qui transporte ces gaz dans un sens ou dans l'autre. À l'aller, l'oxygène de l'air « capté » par les poumons est fixé par les globules rouges du sang et véhiculé vers les organes consommateurs. Au retour, le gaz carbonique, principal déchet du métabolisme, prend la place de l'oxygène, puis est ramené vers le filtre pulmonaire d'où il est éliminé à l'extérieur. Si le plongeur bloque volontairement la ventilation par l'apnée, ce mécanisme s'« enraye » progressivement, car le gaz carbonique s'accumule dans l'organisme jusqu'à un seuil où le besoin de respirer à nouveau est irrésistible. Cet acte réflexe permet l'évacuation du stock excédentaire de gaz carbonique et la réalimentation de l'organisme en oxygène.

entraîne le plongeur à 3 m de profondeur sans utiliser les palmes. Il doit être absolument coulé et silencieux pour avoir une chance de voir et d'observer des poissons.

Le *phoque* est une autre technique d'immersion utilisée pour contrôler son lestage et plutôt pour s'immerger en scaphandre. Au contraire du canard, le phoque nécessite une apnée expiratoire, car il repose sur l'augmentation du poids apparent du plongeur par diminution de son volume pulmonaire. Le plongeur se stabilise verticalement en surface par un palmage de sustentation et ôte le tuba de la bouche. Simultanément, il sort le buste hors de l'eau par un palmage vigoureux, lève les bras en l'air et prend une inspiration forcée. Puis il arrête de palmer en expirant. L'enchaînement rapide de ces deux mouvements augmente son poids apparent, le buste échappant à la poussée d'Archimède et le volume pulmonaire diminuant, et facilite son immersion. Il suffit ensuite de basculer le buste vers l'avant pour se déplacer en palmage ventral.

Le plongeur emprunte à certains animaux leurs techniques d'immersion pour quitter la surface rapidement, en souplesse et en silence afin d'observer à loisir les fonds et leurs habitants. L'immersion en « canard » est une technique efficace pour atteindre cet objectif (Calvi, 2 m).



(Schéma ci-contre.) Dans certaines circonstances, le plongeur libre peut « sortir » du volume courant qui représente la quantité d'air normalement impliquée dans l'acte respiratoire. Ainsi peut-il mobiliser le volume de réserve inspiratoire, lorsqu'il effectue une inspiration forcée avant de plonger en apnée (immersion en canard) ou une partie du volume de réserve expiratoire (immersion en phoque). Dans l'hyperventilation préparatoire à l'apnée, c'est la capacité vitale qui est mise en jeu, c'est-à-dire le contenu « dynamique » des poumons égal à la somme des volumes de réserve inspiratoire et expiratoire et du volume courant.

Techniques et entraînement

L'amélioration des performances en apnée, aussi bien en durée qu'en profondeur, passe par un matériel et par une technique adaptés et un entraînement régulier. Contrairement au plongeur débutant, l'apnéiste confirmé porte son choix sur des palmes à voilure longue, entre 60 et 70 cm, en fibres ou en plastique. La souplesse de la voilure est un critère de choix si les parcours en surface sont longs. Il retient un masque de faible encombrement avec une vitre rapprochée du plan des yeux. Ce type de masque offre un champ visuel élargi, mais surtout un volume intérieur réduit pour limiter l'air perdu lors de la compensation. Les performances en apnée seront améliorées si l'on peut diminuer la consommation d'oxygène lors de l'effort et reculer le seuil de reprise de l'inspiration lorsque le taux de gaz carbonique augmente. Bien que contestée, *l'hyperventilation*, encore pratiquée par de nombreux plongeurs, permet de répondre, sous certaines réserves, à ces objectifs. Elle consiste à augmenter l'amplitude et le rythme respiratoires avant l'immersion, en faisant « travailler » les poumons au maximum, notamment dans la phase expiratoire. L'hyperventilation permet de faire chuter le taux de gaz carbonique par un véritable « lavage » de l'air alvéolaire. Si l'on force l'hyperventilation, les échanges gazeux sont « faussés », car l'on recule artificiellement le seuil de déclenchement de la reprise ventilatoire, ce qui peut entraîner un accident par syncope.



L'apnée autorise une bonne approche de poissons farouches comme ces sars (Diplodus sargus).
Plus petites mais plus colorées les girelles (Coris julis) sont beaucoup plus familières (Port-Cros, 10 m).



Les poulpes (Octopus vulgaris) *sont des mollusques faciles à observer en apnée. Contrairement à certaines idées reçues, ces animaux ne sont pas dangereux pour le plongeur qui peut les approcher et même jouer avec eux (Calvi, 15 m).*

LES LIMITES DE L'HYPERVENTILATION

L'hyperventilation poussée est dangereuse et à proscrire. À la descente, les pressions partielles d'oxygène et de gaz carbonique augmentent et, paradoxalement, sous l'effet de la pression, l'organisme dispose de plus d'oxygène qu'au départ en surface. Cette suroxygénation se traduit chez le plongeur par une sensation de bien-être qui l'amène à prolonger son apnée. L'effort va faire chuter la pression partielle d'oxygène. À la remontée, ce phénomène s'amplifie du fait de la diminution de la pression ambiante. L'hypoxie, c'est-à-dire un taux d'oxygène anormalement bas, peut alors provoquer une syncope pendant la remontée et une noyade si l'apnéiste est seul. Le rôle du gaz carbonique, dont la teneur diminue à la remontée, ne serait pas essentiel dans la reprise du réflexe respiratoire. C'est un réflexe pulmonaire, déclenché par des capteurs mécaniques situés au niveau des poumons, qui servirait de « signal » de fin d'apnée. On peut déterminer la limite de l'hyperventilation en appliquant la règle du « tiers temps » (Sciarli). En pratiquant l'hyperventilation en surface sous surveillance de son coéquipier, le plongeur note le temps au bout duquel il ressent des fourmillements des extrémités ou des vertiges. En prenant le tiers de ce temps, il obtient la durée maximale de l'hyperventilation à faire en surface, pour prolonger son apnée avec une marge acceptable de sécurité.



Plusieurs techniques complémentaires permettent une prolongation de l'apnée. Les techniques de relaxation en surface, proches du yoga, favorisent la préparation à l'apnée en contrôlant la respiration et les dépenses physiques « parasites ». L'apnéiste confirmé peut bloquer sa respiration d'un simple mouvement de la glotte sans mobiliser son diaphragme, organe consommateur d'oxygène. Il peut aussi réduire son rythme cardiaque avant l'immersion. Sous l'eau, l'apnée peut être augmentée de plusieurs manières, par exemple en utilisant la petite quantité d'air contenu dans le masque et qui se dilate à la remontée ou en contractant le diaphragme pour brasser l'air des poumons et améliorer les échanges alvéolaires.

Un entraînement progressif est nécessaire à l'apnéiste pour adapter son organisme. Les principales modifications physiologiques sont une augmentation de la capacité vitale et une diminution du volume résiduel qui peut atteindre 20 %. L'immersion provoque aussi une vasoconstriction des vaisseaux capillaires périphériques, surtout si l'eau est froide, et une mobilisation du sang vers les organes « nobles » : cœur, cerveau et poumons. L'apnée profonde est aussi



La pratique de la plongée libre développe la maîtrise de la respiration, l'ajustement des déplacements, l'adaptation aux contraintes de la pression, autant d'éléments permettant au plongeur débutant d'éduquer progressivement ses sens au milieu sous-marin et de faciliter son passage à la plongée autonome (Calvi, 10 m).

facilitée par un afflux de sang vers les poumons *(blood shift)*. Le volume des poumons soumis à la pression ne peut dépasser le volume résiduel sans risque de dépression. Théoriquement, un plongeur avec une capacité pulmonaire de 6 l et un volume résiduel de 1,5 l ne pourrait dépasser une pression de 4 bars [6 × 1/1,5], soit 30 m. L'apport de sang veineux arrive en réalité à compenser progressivement la dépression, dès que les poumons parviennent à leur volume résiduel.

En conclusion, si l'apnée profonde est un véritable sport réservé à des athlètes entraînés, la plongée libre pratiquée dans les premiers mètres d'eau est un préalable très utile à la plongée en scaphandre.

Elle ne requiert qu'un matériel simple, mais exige d'être pratiquée au moins à deux, chaque plongeur assurant la sécurité de son coéquipier. La plongée libre permet au débutant d'éduquer ses sens et d'adapter son comportement aux paramètres spécifiques du monde sous-marin, ainsi que les fonctions vitales à un milieu plus dense que l'air. C'est aussi le libre moyen de découvrir les paysages sous-marins et leurs habitants.

L'air de la mer

DU PLONGEUR LIBRE AU SCAPHANDRIER AUTONOME

La plongée libre en apnée ne nécessite aucun appareillage perfectionné, mais n'autorise que d'éphémères incursions sous l'eau, l'aptitude naturelle de l'homme à retenir son souffle étant limitée. L'homme a conçu des techniques de plus en plus élaborées pour pénétrer dans les océans. Les premiers plongeurs, reliés en permanence à la surface, s'enferment d'abord dans des cloches et des caissons. Puis ils explorent les fonds à l'aide de scaphandres dont l'alimentation en air dépend toujours de la surface. Il faut attendre le début du XX^{e} siècle et la mise au point des scaphandres et des détendeurs modernes pour que le plongeur puisse enfin emporter ses réserves d'air. En rompant son « cordon ombilical » avec la surface, le plongeur accède enfin à l'autonomie.

FONTS BAPTISMAUX

Réaliser sa première plongée en scaphandre autonome et découvrir que l'on peut respirer et « vivre » sous l'eau constitue pour les candidats plongeurs un véritable rite initiatique, à tel point que l'on parle du « baptême de plongée ». Première immersion totale, le baptême doit être réalisé dans les règles de l'art, la « cérémonie » étant confiée à un célébrant qui n'est autre que le moniteur de plongée. De la réussite du baptême dépend bien souvent l'envie de pratiquer ultérieurement. Le baptême peut se dérouler en piscine ou en mer, à partir d'une plage, d'un quai ou d'un bateau. La première plongée s'effectue dans des fonds ne dépassant pas 5 m. Trois mètres est une profondeur idéale et le moniteur veille à ce que le site d'évolution soit proche d'un point d'appui, rocher ou grosse bouée de signalisation. Si une embarcation est utilisée, avec mise à l'eau par une échelle, un pendeur sera immergé pour faciliter la descente.

Ultimes recommandations.



De l'air à volonté

Le scaphandre autonome est constitué du bloc-bouteille, réservoir d'air comprimé qui assure au plongeur son autonomie, et du



Le baptême de Céline et Thibaud débute d'abord... à terre pour se familiariser avec le matériel, écouter les explications du moniteur sur le déroulement de la plongée et apprendre les indispensables consignes de sécurité.

DIX DATES REPÈRES DANS L'HISTOIRE DE LA PLONGÉE

1691 : cloche à plongeur ravitaillée en air frais (Halley).
1776 : premier scaphandre à casque ravitaillé en air depuis la surface par pompe à soufflets (Fréminet).
1797 : scaphandre rigide à pression atmosphérique (Klingert).
1819 : scaphandre à air comprimé (Siebe).
1837 : scaphandre clos avec soupape de sortie.
1865 : scaphandre autonome Rouquayrol et Denayrouze, appareil de sauvetage à circuit fermé avec détendeur et réservoir.
1878 : scaphandre autonome à régénération d'air et enrichissement en oxygène (Fleuss, Siebe et Gorman).
1906 : appareil autonome de sauvetage Davis (*submarine escape apparatus*).
1926 : scaphandre léger à circuit ouvert Fernez-Le Prieur, avec masque facial souple.
1943 : premier scaphandre autonome léger à détendeur et à circuit ouvert (Commeinhes, Cousteau-Gagnan).

détendeur, pièce maîtresse de l'équipement qui détend l'air permettant au plongeur de respirer à la pression ambiante.

Le *bloc-bouteille* est un réservoir cylindrique en métal, en acier ou en aluminium, dont la fonction est de stocker une grande quantité d'air sous le plus faible volume possible, afin de disposer d'une bonne autonomie. La pression d'un gaz étant inversement proportionnelle à son volume, il faut donc comprimer l'air à haute pression. Ainsi un bloc standard gonflé à 200 bars contient plus de 2 m^3 d'air détendu à la pression atmosphérique, soit une quantité plus que nécessaire pour une première incursion sous-marine à faible profondeur.

Le bloc est muni d'une robinetterie en laiton chromé comprenant un robinet de conservation qui ouvre ou ferme l'arrivée d'air et un siège, partie sur laquelle se fixe le détendeur. Le siège comporte un orifice permettant le remplissage du bloc à l'aide d'un compresseur à haute pression. L'étanchéité entre siège et détendeur est assurée par un joint torique. Un fond moulé en forme permet au bloc de tenir debout. Le poids du bloc dépend de sa capacité, et de sa matière (acier ou aluminium) : un bloc standard en acier de 12 l pèse à vide environ 15 kg, poids justifié par l'épaisseur du métal nécessaire au stockage d'air à haute pression. Une poignée de portage est souvent intégrée à la robinetterie. Il existe plusieurs systèmes pour le port de la bouteille sur le dos. Le premier, encore utilisé en Europe, se compose de deux sangles d'épaule, type sac à dos, et d'une sangle d'entrejambe, la sous-cutale, dont l'extrémité s'accroche à la boucle de la ceinture (sanglage Dumas). Autre système très employé, le back-pack est une plaque dorsale de forme anatomique fixée sur la bouteille et autorisant un bon maintien du bloc grâce à deux sangles d'épaule réglables et une ceinture abdominale. Le back-pack est maintenant incorporé au gilet stabilisateur.

Le *détendeur* détend l'air comprimé de la bouteille à la pression ambiante et fournit au plongeur de l'air à la demande, c'est-à-dire uniquement lorsqu'il inspire. Dans le détendeur moderne à deux étages, la détente de l'air se fait en deux fois, d'abord dans le premier étage dit « haute pression » branché sur la bouteille et ensuite dans le second étage dit « basse pression » qui porte l'embout et alimente le plongeur. Les deux étages sont reliés par un tuyau de faible diamètre dit « moyenne pression », où la pression est intermédiaire entre la haute et la basse pression. Le corps du premier étage en laiton chromé est muni d'un étrier pour le fixer sur le bloc. Le second étage est constitué d'un boîtier en plastique résistant comportant un embout et des « moustaches » souples ou moulées dans le boîtier par lesquelles s'échappe l'air expiré. Le fonctionnement du détendeur est expliqué page 80.



Première plongée accompagnée pour Céline. Parcourir les paysages des petits fonds et découvrir les formes vivantes qui les peuplent lui font presque oublier son autonomie surveillée (Calvi, 5 m).

Le *gilet stabilisateur* est une enveloppe gonflable en forme de gilet qui se fixe sur la bouteille à l'aide d'un back-pack. Il comporte des sangles d'épaule et de poitrine réglables avec boucles à largage rapide et une ceinture abdominale facilitant le port et le maintien du bloc. Nous avons vu que l'augmentation de la pression écrase les bulles de la combinaison de plongée et diminue la flottabilité du plongeur. Pour contrôler celle-ci, on peut introduire de l'air à la demande dans l'enveloppe à partir du bloc-bouteille. L'utilisation du gilet stabilisateur demande un entraînement spécifique décrit page 74. Équipant le plongeur lors de son baptême, il va permettre au seul moniteur de contrôler la flottabilité de son élève aussi bien en surface qu'en immersion.

Par rapport à la plongée libre, la ceinture de lest est allégée, car il faut tenir compte du poids du bloc dans l'eau et donc recontrôler et modifier son lestage en conséquence.

SOUS PRESSION

Quelques valeurs de la pression dans la vie courante : 2 bars pour un pneu de voiture, 9 bars pour une bouteille de butane et 200 bars pour une bouteille de plongée. Une force de 1 newton s'exerçant sur une surface de 1 m^2 crée une pression de 1 pascal, unité internationale de pression. L'hectopascal est l'unité employée par les météorologistes en remplacement du millibar. En plongée, on emploie usuellement le bar : il ne serait pas très pratique d'exprimer la pression de sa bouteille de plongée en pascals, 200 bars équivalant à... 20 millions de pascals !

Premières bulles

L'exécution pratique du baptême est facilitée si le plongeur a déjà une bonne maîtrise des palmes, du masque et du tuba, et s'il sait pratiquer les manœuvres de compensation. Avant la mise à l'eau, le moniteur expose brièvement le déroulement de la première plongée : le trajet effectué à petite profondeur et les éléments remarquables du paysage sous-marin. Il passe en revue les principaux signes du code de communication sous-marine (voir figure page 44). Il rappelle les manœuvres d'équipression des oreilles et du masque à la descente. Il enseigne une nouvelle notion très importante : *respirer normalement sans jamais bloquer sa respiration pendant l'immersion et la remontée*. Dernière recommandation : ne rien toucher (attention aux oursins !) et ne ramasser aucun animal.

Moniteur et plongeur débutant partent si possible d'une plage en pente douce après s'être équipés : combinaison, palmes, ceinture et masque. Le détendeur remplace le tuba. Le moniteur gonfle légèrement le gilet stabilisateur de la bouteille pour qu'elle flotte en sur-



COMMENT GRÉER ET DÉGRÉER LE DÉTENDEUR ?

Ouvrir légèrement le robinet de la bouteille et faire fuser un peu d'air pour chasser l'eau infiltrée dans le siège.

Vérifier que le joint torique est bien engagé dans la gorge du siège de la robinetterie et qu'il ne comporte pas de traces d'écrasement ni de striures. Le changer si besoin.

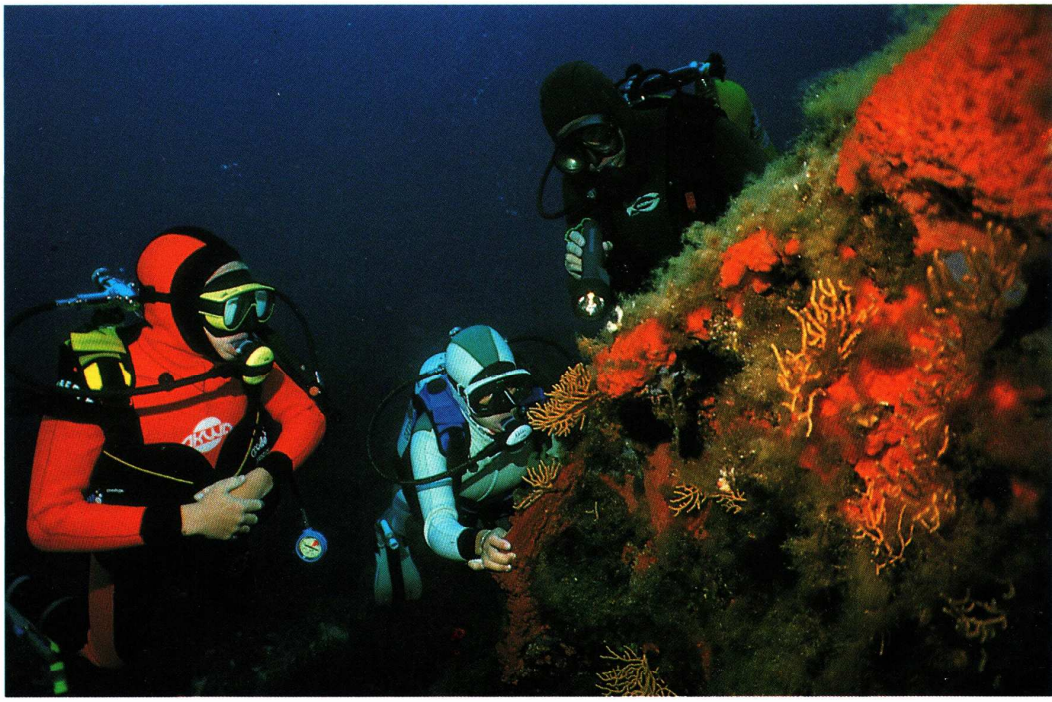
Poser la bouteille devant soi du côté opposé au gilet. Présenter la portée du premier étage sur le siège de la robinetterie et positionner le tuyau moyenne pression du bon côté (les moustaches du second étage doivent être situées sous l'embout buccal). Serrer modérément l'étrier de fixation ou la molette (système DIN) à l'aide de la vis de serrage.

Ouvrir le robinet. Vérifier la pression de service à l'aide du manomètre et essayer le détendeur en respirant dans l'embout, puis fixer le direct système du gilet. Coucher la bouteille équipée jusqu'à son utilisation pour éviter tout risque de renversement et d'endommagement.

Pour dégréer le détendeur, fermer le robinet, purger l'air haute pression qui se trouve entre le siège de la bouteille et la portée du détendeur en inspirant dans l'embout ou en appuyant en continu sur le bouton de surpression qui se trouve au centre du boîtier du second étage.

(À gauche.) Les acétabulaires (Acetabularia acetabulum) *sont de petites algues recouvrant à certaines époques de l'année la surface des rochers peu profonds (Cap Creus, 6 m).*

(À droite.) Plus profondément, la vie animale fixée domine, représentée par des organismes comme ces gorgones (Calvi, 20 m).



face. Il suffit au plongeur de la pousser devant lui jusqu'à ce qu'il ait de l'eau à mi-poitrine, de l'enfiler sans effort. Détendeur en bouche, il flotte en position verticale sans avoir recours au palmage de sustentation. Le visage immergé, il fait quelques cycles respiratoires pour s'habituer au détendeur. Dernier échange de signes OK, et le moniteur dégonfle le gilet.

Au cours de la descente le long du filin de la bouée de sécurité, le moniteur fait signe au plongeur de l'imiter pour équilibrer les oreilles. Au fond, avant d'effectuer la première balade sous-marine, le moniteur regonfle légèrement le gilet du plongeur, s'il s'aperçoit que sa flottabilité est trop négative. Le moniteur lui tient la main au début du parcours : c'est un moyen pour lui de connaître ses réactions à ce premier contact, et le cas échéant, de le rassurer. Il lui demande périodiquement si tout va bien, et le plongeur répond par les signes conventionnels. *On ne pratique jamais seul la plongée*, et il est toujours nécessaire de communiquer avec son coéquipier pour s'assurer de son « bien-être ».

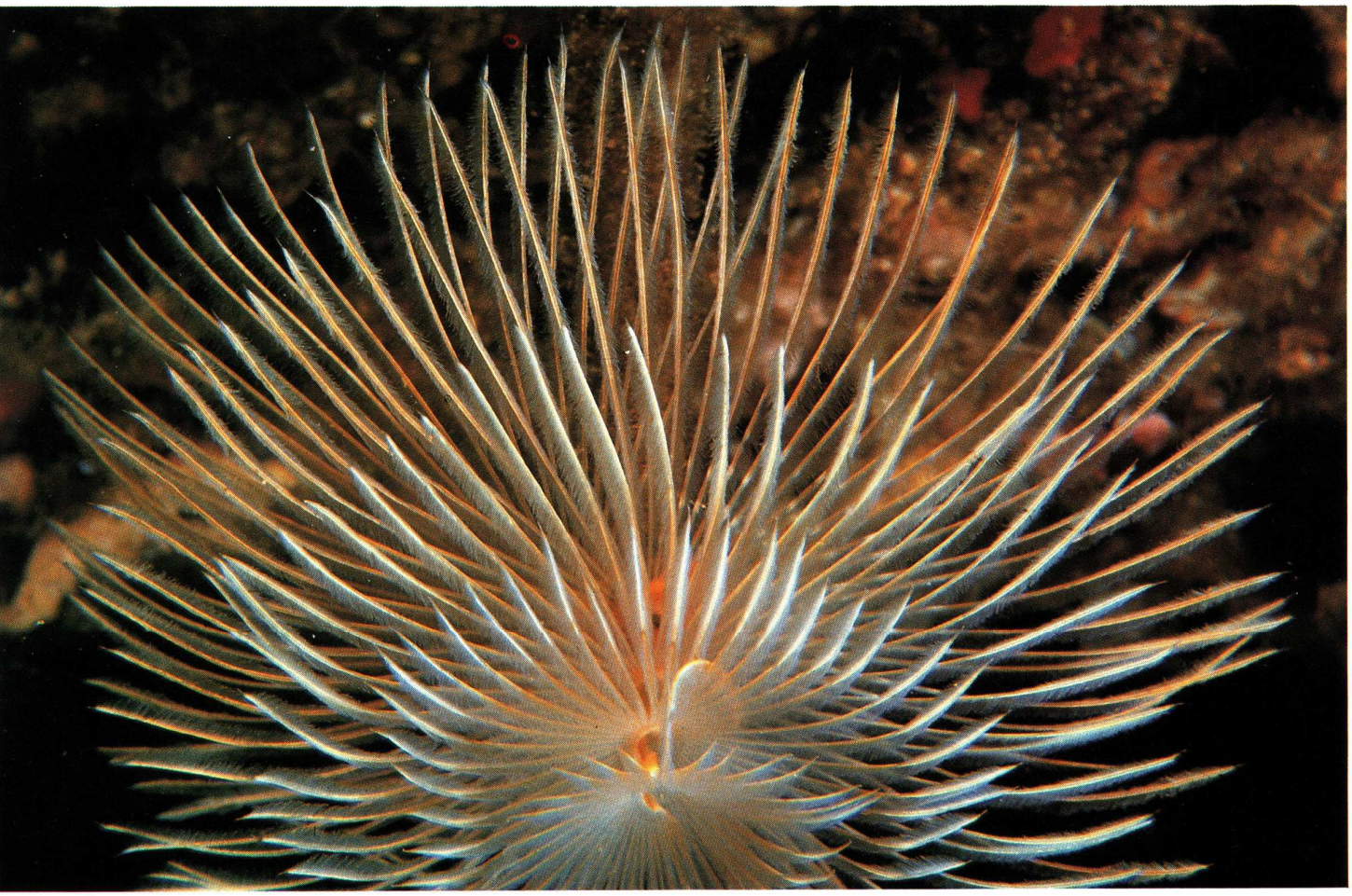
S'il juge, vers la fin du baptême, que sa maîtrise des éléments est bonne, le moniteur lâche la main de l'élève qui reste toujours en liberté surveillée ! Au bout d'une vingtaine de minutes, il sera temps de percer la surface : le moniteur dégonfle le gilet et remonte lentement avec le « baptisé » en veillant à ce qu'il respire normalement, le long du filin de la bouée ou progressivement vers la plage.

COMMENT FIXER LE GILET STABILISATEUR SUR LE BLOC ?

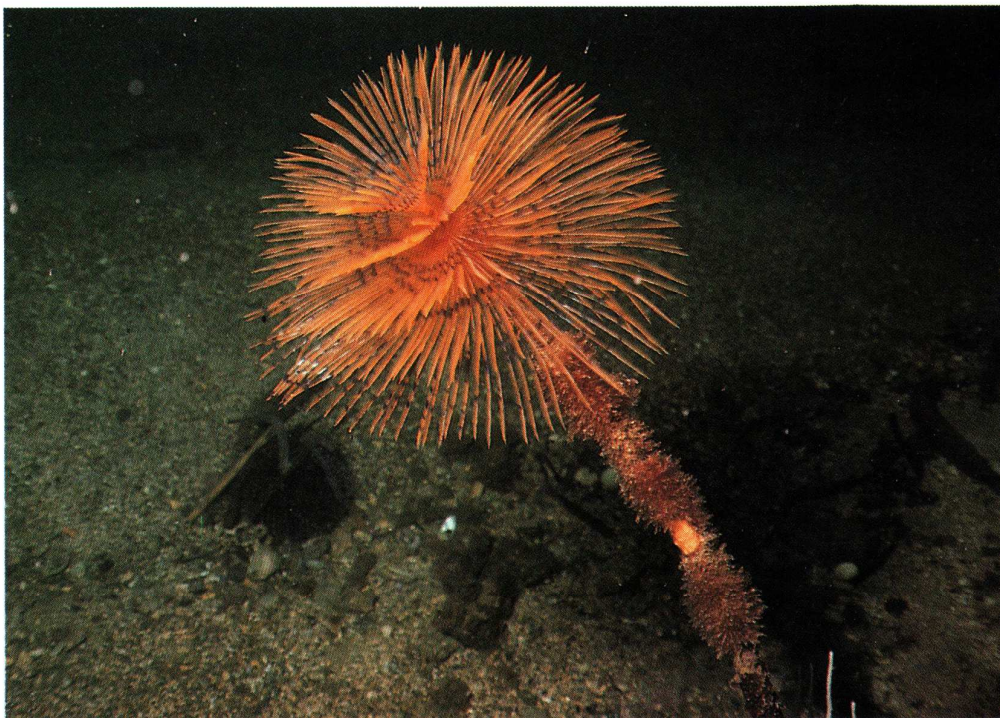
Endosser au préalable le gilet légèrement gonflé pour régler à sa taille les sangles. Le gilet ne doit pas comprimer la poitrine.

Du côté de l'orifice de sortie de l'air, fixer le gilet sur la bouteille à l'aide de la sangle en Nylon et l'ajuster à l'aide de la boucle rabattable.

Vérifier que le gilet est fixé assez haut sur le corps de la bouteille pour qu'en renversant la tête en arrière celle-ci ne heurte pas la robinetterie.



Contrairement aux apparences, le spirographe (Spirographis spallanzanii) *est un ver polychète qui se rétracte dans son tube à la moindre alerte. Son panache lui sert à la fois à respirer et à se nourrir en captant des petites particules en suspension dans l'eau (Cap Creus, 10 m).*



APPRENDRE À OBSERVER

Les premières plongées permettent l'exploration de l'espace proche, c'est-à-dire des premiers mètres, où le plongeur peut déjà apprendre à observer les organismes vivants qui peuplent les rochers, les zones de sable et des sortes de prairies, les herbiers de posidonies. Parfois, le rocher est recouvert d'algues rouges, vertes ou brunes. Ailleurs, ce sont des croûtes roses, des arbuscules orangés ou de grandes gorgones blanches.

Les algues, maîtresses des faibles profondeurs

Comment observer tout cela ? Peut-être en remarquant d'abord que ce paysage change en fonction de la profondeur. Près de la surface, les algues sont souvent petites et coriaces. Observons ces petits éventails fixés aux rochers exposés au soleil. Ils sont constitués d'éléments calcaires. Ce sont des algues rouges nommées corallines. D'autres algues, cousines de celles-ci, forment des croûtes roses à la surface du rocher. Elles n'ont aucun risque d'être emportées par une vague.

Dans les premiers mètres apparaît l'algue en balai, formant de petits plumeaux marron se balançant au gré des courants. Près d'elle, la padine étale ses cornets, dessinant des taches blanches au-dessus des rochers. De grosses touffes brunes forment de véritables coussins à leur surface. Ce sont les dictyotes, identifiables à leurs ramifications caractéristiques et à leurs reflets bleutés.

Des animaux qui se prennent pour des plantes

Au-delà de 10 m, de nombreux animaux cohabitent avec les algues. Le spirographe est muni d'un panache en spirale, fixé au bout d'une sorte de tige. Il s'agit, en fait, d'un tube au fond duquel il peut se rétracter à la moindre alerte. La « fleur » magnifique se balançant au gré du courant n'est donc pas une plante, mais un ver, lointain cousin de notre ver de terre. Il vit à l'intérieur du tube, et son panache n'en constitue qu'une partie vitale, puisqu'elle lui permet de se nourrir et de respirer. Beaucoup d'autres animaux marins prennent l'apparence de plantes, notamment parce qu'ils sont fixés. Les gorgones dressent leurs éventails, perpendiculairement au rocher. Chaque branche est recouverte de nombreux organismes de petite taille déployant des tentacules dans le courant. Ils captent ainsi des particules nutritives. Distinguer les animaux des végétaux n'est pas toujours évident sous l'eau.

Il y en a pour tous les goûts

D'autres animaux ne sont pas fixés. Ils vivent sur le fond et se déplacent à la recherche de leur nourriture. Les concombres de mer avalent le sable et la vase et consomment la matière organique en décomposition. Ce sont de véritables éboueurs de la mer. Les oursins broutent un tapis d'algues. De petites limaces très colorées, les nudibranches, s'attaquent, en revanche, à d'autres animaux. Éponges, bryozoaires et hydraires sont souvent leurs victimes. Lorsqu'on rencontre de tels organismes, il est parfois possible de deviner leur mode de vie grâce à une observation attentive. Le concombre de mer laisse toujours derrière lui les traces de ses repas sous forme de petits boudins de sable. Les nudibranches se rencontrent sur leurs victimes et les oursins vivent au milieu d'algues.

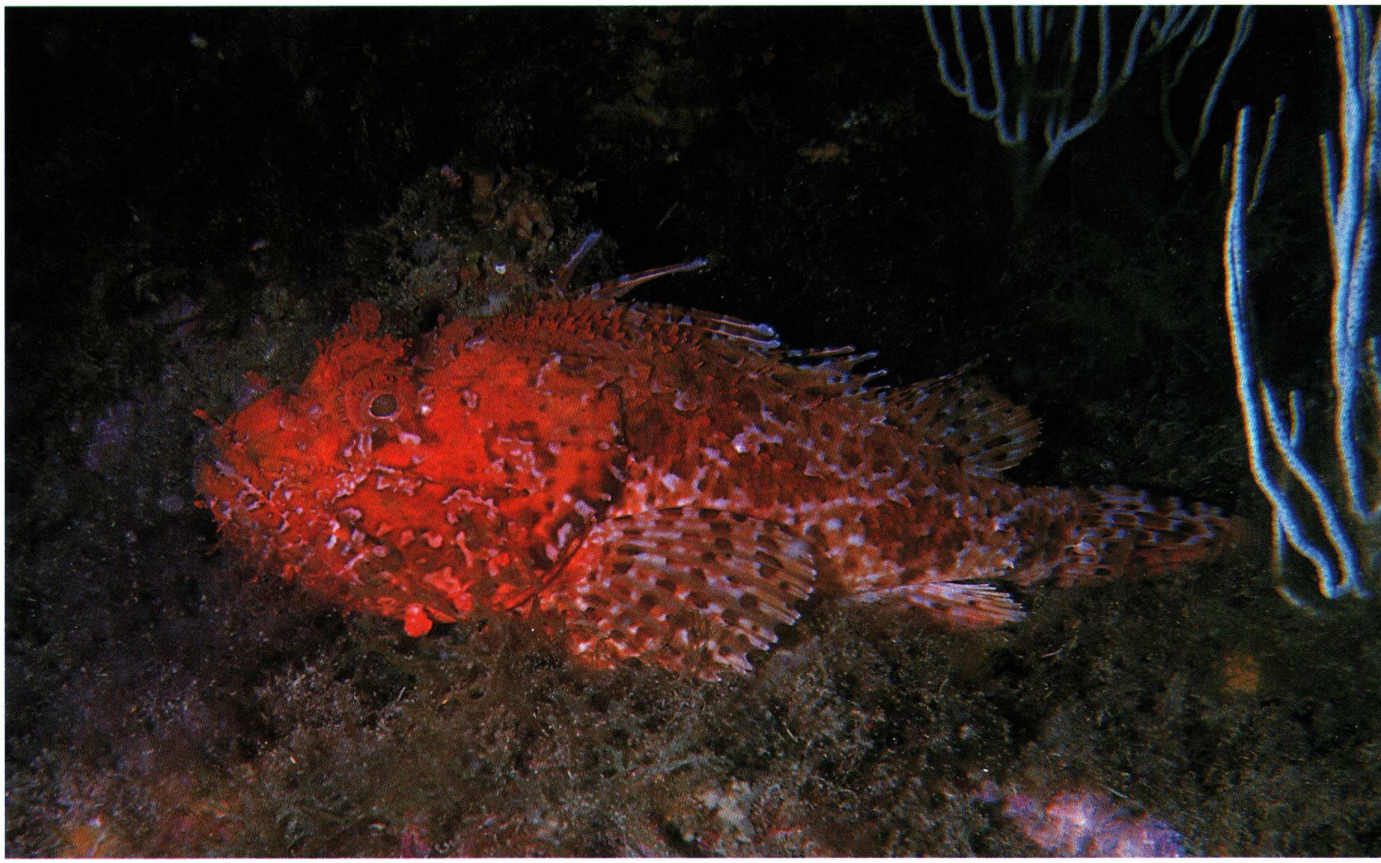
La rascasse rouge (Scorpaena scrofa) *est un hôte habituel des fonds rocheux côtiers. Son mimétisme la fait souvent passer inaperçue. Attention, il ne faut pas poser la main dessus ni tenter de s'en saisir, même avec des gants. Ce poisson possède des épines venimeuses sur son dos et autour de la tête (Cap Creus, 12 m).*

À l'abri de la lumière

Autres sources de découvertes, les surplombs ou petites cavités abritent une foule d'organismes. Beaucoup d'animaux fuient une trop forte luminosité et s'en protègent donc en vivant à grande profondeur, là où la lumière est atténuée. Cependant, dans des zones naturellement abritées de la lumière, ils remontent à de faibles profondeurs. Ces surplombs sont des lieux privilégiés d'observation qu'il ne faut pas négliger. Une lampe est parfois nécessaire, ne serait-ce que pour restaurer les couleurs, parfois vives, des organismes présents. Les surplombs abritent bryozoaires, éponges et ascidies. Les arbuscules orangés sont en réalité des bryozoaires formés d'une multitude d'organismes invisibles à l'œil nu. Ces colonies calcaires sont parfois confondues avec le corail rouge dont elles adoptent le mode de vie. Les fameuses dentelles de Neptune vivent dans des milieux semblables. Les éponges sont globuleuses ou allongées, voire arborescentes. Leurs couleurs sont très variables et vont du rouge au gris en passant par le jaune, le bleu ou le mauve. Les ascidies rouges, petites outres percées de deux siphons, filtrent activement l'eau dans laquelle elles prélèvent leur nourriture. On peut facilement observer le mouvement de fermeture de leurs siphons au moindre contact. Le violet ou biju est un proche parent de cette ascidie rouge.

Ces petites grottes sont enfin un refuge pour des poissons peu mobiles vivant près du fond comme les gobies ou blennies. D'autres, carnassiers, y chassent à l'affût. La rascasse brune qui se confond parfaitement avec le rocher veille souvent sous des surplombs en attente d'une proie.

Cette liste pourrait être allongée à l'infini, et les premières plon-



CHRONIQUES D'UNE MER ANNONCÉE

Thibaud — À certains moments, j'avais l'impression d'être un peu lourd.

Le moniteur — L'air introduit dans le gilet permet d'avoir une flottabilité proche de l'équilibre, mais il ne peut pas compenser les variations internes de volume lors du cycle respiratoire : aussi à chaque inspiration, on a tendance à remonter légèrement et inversement à chaque expiration, on est plus dense et on « coule ». C'est le principe du ballast utilisé par les sous-marins pour plonger (les ballasts sont remplis d'eau) ou pour faire surface (de l'air chasse l'eau des ballasts). Nous apprendrons à contrôler ce que l'on appelle le *poumon-ballast*.

Céline — J'ai vu un poulpe d'au moins 5 kg et une étoile de mer marron !

Le moniteur — Dans l'eau, les rayons lumineux sont « déformés », et l'on a l'impression que les animaux rencontrés sont plus gros et plus proches. En réalité, ils n'ont pas changé de taille. De plus, les couleurs sont absorbées sélectivement par l'eau, comme le rouge ou l'orangé qui disparaissent dans les premiers mètres. L'étoile, marron au fond, est en réalité d'un beau rouge vif.

Thibaud — J'ai été gêné par un peu d'eau qui est entrée dans mon masque.

Le moniteur — Malgré les précautions prises pour l'ajuster, un masque n'est pas parfaitement étanche, et ce petit incident est tout à fait courant en plongée. Mais on ne peut, comme en plongée libre, remonter à tout moment en surface pour vider son masque. Nous allons apprendre dès maintenant une technique simple pour s'acquitter de cette tâche sous l'eau.

gées sont l'occasion d'apprendre à découvrir. Un plongeur confirmé prend toujours autant de plaisir à observer paysages et organismes vivants et ne cesse d'en découvrir de nouveaux.
À l'occasion du baptême, ou des plongées qui vont suivre, il peut être tentant de rapporter un souvenir de son expédition sous-marine. Étoiles de mer, dentelles de Neptune ou branches de corail paient un lourd tribut à cette habitude. Le plongeur débutant doit savoir que *la loi interdit tout prélèvement en plongée*, mais, au-delà du respect de la réglementation, il doit être conscient que de tels prélèvements, lorsqu'ils sont répétés inlassablement comme sur certains sites recevant de nombreux plongeurs, sont à l'origine d'un dépeuplement des fonds. Une étoile de mer est bien plus belle sous l'eau dans son milieu, que desséchée sur une étagère ! Dans le même ordre d'idée, la pratique, perpétrée par nombre de plongeurs, et consistant à briser un oursin ou une huître pour attirer des poissons, doit être totalement proscrite dans les sites fréquentés.

Sous l'eau, la communication est possible grâce aux signes de plongée. Avant de partir en exploration, le moniteur vérifie l'équipement et le comportement des plongeurs et demande à chaque membre de la palanquée si tout va bien (Calvi, 6 m).



RÈGLES ET EXERCICES DE SÉCURITÉ

En plongée, 2 = 1

La plongée en scaphandre est une activité de loisirs accessible à toute personne en bonne santé. Comme toute activité de « pleine mer », elle présente des risques qui, en l'absence de formation adéquate, peuvent entraîner des accidents. Ceux-ci sont évitables à condition de respecter des règles élémentaires de sécurité, et d'acquérir une compétence technique pour faire face à toute situation avec calme et maîtrise de soi. *Comme en plongée libre, la première règle incontournable est de ne jamais plonger seul et d'être accompagné d'un coéquipier capable d'intervenir en cas de problème.* Plonger à deux ou à plusieurs, c'est former l'unité de base que l'on appelle la *palanquée*. Dans un premier temps, le plongeur est accompagné par un moniteur qui devient le guide de palanquée chargé d'organiser la plongée dans les meilleures conditions de sécurité.

Le signe « je ne vais pas bien » est un signal d'alerte et de demande d'aide à son coéquipier. Il peut être suivi d'un signe explicatif indiquant la source de la difficulté. Ici Thibaud signale au guide de palanquée l'impossibilité de compenser pendant la descente (Calvi, 5 m).



Le langage des plongeurs

Communiquer sous l'eau est indispensable pour exprimer sa propre situation, interroger son coéquipier ou demander de l'aide à d'autres membres de la palanquée. Le plongeur ne pouvant à l'évidence parler sous l'eau, la communication est gestuelle et codifiée selon un code international où les signes de plongée sont toujours interactifs : ils impliquent un dialogue entre deux ou plusieurs plongeurs et des réactions/actions bien spécifiques selon qu'elles concernent des situations normales dans le déroulement de la plongée ou, au contraire, anormales. Tous les signes doivent être faits clairement dans le champ visuel du plongeur à qui l'on s'adresse, au besoin en s'en rapprochant, pour éviter toute erreur d'interprétation. Il est efficace d'attirer au préalable l'attention de son coéquipier en émettant un bruit — son strident dans le détendeur ou bruit du couteau sur la bouteille —, le son étant mieux perçu dans l'eau que dans l'air.

LE CODE DE COMMUNICATION EN PLONGÉE

Signes d'états ou d'intentions en conditions normales de plongée

Signes d'alerte nécessitant une intervention immédiate



Lâcher et reprendre l'embout du détendeur

Le plongeur est amené à prendre ou à enlever son embout dans certaines circonstances normales de la plongée, par exemple lorsqu'il respire en surface sur tuba et qu'il veut prendre son détendeur sans avoir à sortir la tête hors de l'eau et inversement, ou dans des circonstances exceptionnelles lorsqu'il doit assister un plongeur en difficulté en lui donnant de l'air. Il peut aussi lâcher accidentellement son embout.

Le moniteur vous apprendra dans plusieurs situations (position statique, déplacement horizontal) à enlever — et à reprendre — l'embout du détendeur, d'abord après une inspiration, puis après une expiration. Dans le premier cas, le peu d'eau qui est entrée dans l'embout est chassée vers l'extérieur, lors de la première expiration dans l'embout après sa reprise. Dans le second cas, il est nécessaire de faire fuser l'embout en appuyant légèrement sur le bouton de surpression jusqu'au moment de le reprendre en bouche pour la première inspiration.

Vider l'eau du masque

Un masque n'est jamais parfaitement étanche, et le peu d'eau qui peut y entrer risque de gâcher le plaisir d'une plongée. Un masque peut être déplacé ou même arraché par un coup de palme d'un coéquipier maladroit. Dans certains cas, le plongeur l'enlève, par exemple pour ôter la buée de la vitre du masque ou mieux réussir une manœuvre de Valsalva.

En dehors de ces cas particuliers, l'acquisition de cette technique dans divers contextes (position statique, dynamique, différentes profondeurs, eau froide) développe l'aisance respiratoire du plongeur. Le principe du vidage du masque consiste à évacuer l'eau contenue dans la cuve en le remplaçant par de l'air expiré par le nez.



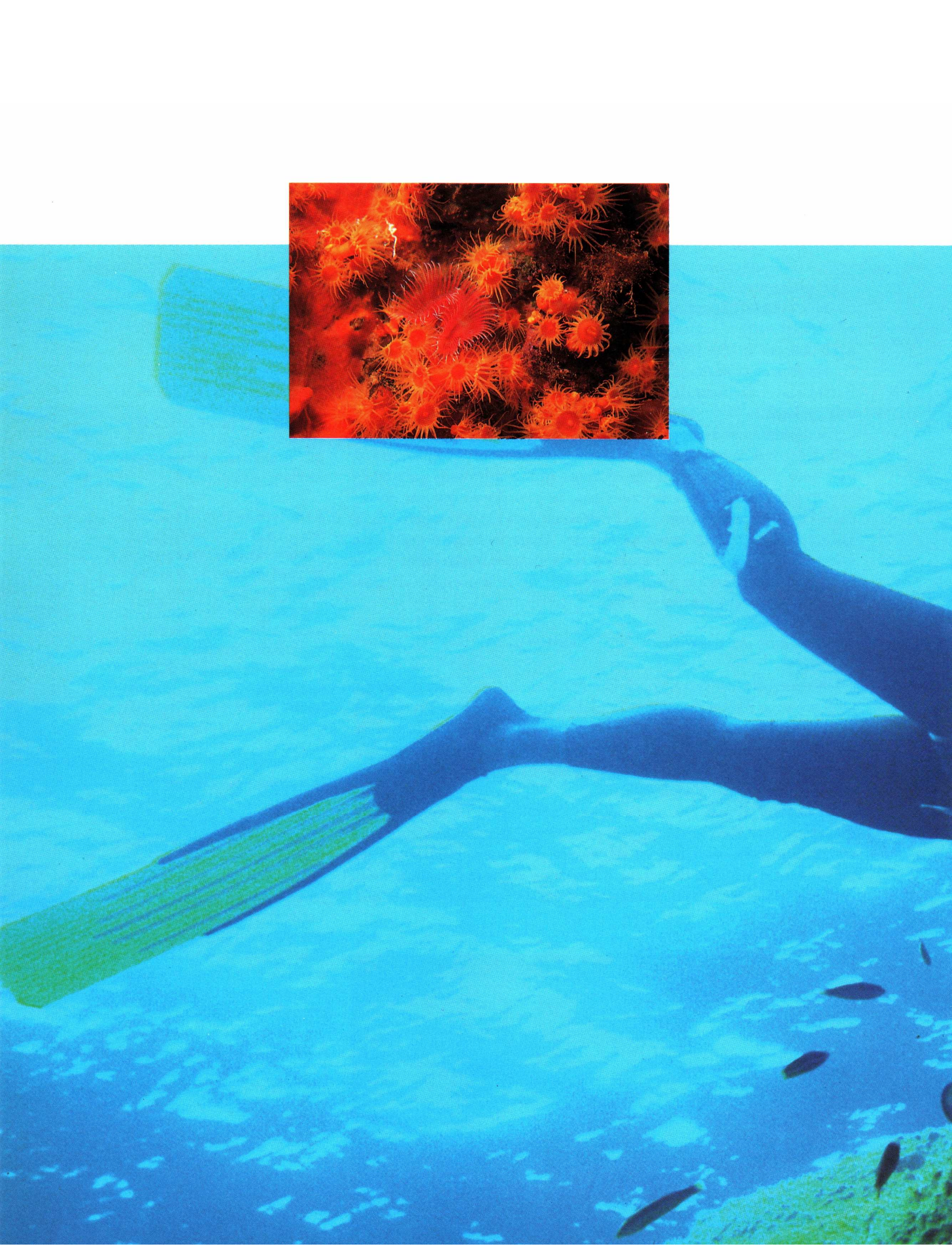
ÔTER SON MASQUE

Au préalable, le moniteur vérifiera que :

- vous savez bien dissocier la respiration buccale de la respiration nasale, par exemple en vous demandant d'inspirer dans le détendeur, puis d'expirer par le nez, l'air excédentaire étant chassé par la jupe du masque ;
- vous êtes capable d'effectuer plusieurs cycles respiratoires de la sorte, masque enlevé et yeux ouverts sous l'eau.

Le moniteur vous apprendra :

- d'abord à évacuer une petite quantité d'eau introduite dans le masque, en inclinant la tête vers le haut, vitre en oblique par rapport à la surface. En appuyant avec une main sur la partie supérieure du masque et en soufflant par le nez lentement mais énergiquement, l'eau est chassée du masque ;
- ensuite à vider un masque rempli totalement d'eau. Le volume du masque étant faible par rapport au volume d'air mobilisé par l'expiration, le masque peut être vidé à l'aide d'une seule expiration.



AUTONOMIE



Le plongeur en scaphandre n'est autonome qu'au regard de son indépendance vis-à-vis de la surface. En fait, un ensemble de contraintes physiques et physiologiques, dont certaines ont déjà été évoquées, constituent des limites réelles à son autonomie : le temps, la pression, l'effort, les pertes en calories sont autant de facteurs que le plongeur doit « optimiser » à chaque immersion. Être autonome, c'est aussi savoir exploiter la troisième dimension de l'espace d'évolution du plongeur : gérer constamment sa flottabilité permet de réduire les dépenses énergétiques du déplacement et donc d'augmenter son autonomie.

Les conditions de l'autonomie respiratoire

Le plongeur ne peut accéder à l'autonomie que si un certain nombre de conditions techniques, physiques et physiologiques sont satisfaites simultanément :

- Le plongeur doit pouvoir emporter une quantité d'air lui donnant une durée de plongée satisfaisante. Cette condition est assurée grâce aux compresseurs modernes à haute pression qui compriment l'air à 200 bars pour le contenir dans le volume réduit des bouteilles de plongée. Mais il ne faut jamais oublier que le volume d'un gaz est inversement proportionnel à sa pression. Ainsi, à consommation égale du plongeur, le volume d'air disponible va diminuer en fonction de la profondeur. Avec un monobloc de 12 l gonflé à 200 bars, le plongeur dispose en surface de 2 400 l. À 10 m, il ne dispose plus que de 1 200 l, à 20 m de 800 l et à 30 m de 600 l. Le plongeur doit donc être capable à tout instant de gérer son autonomie, en fonction des conditions de la plongée (durée et profondeur) et de sa consommation en air.
- Le plongeur doit respirer de l'air à la pression ambiante, la différence de pression devant être nulle ou, en tout cas très faible, entre le milieu extérieur et les poumons, afin que les muscles inspiratoires puissent remplir leur fonction.
- Le débit d'air doit être suffisant pour assurer la respiration, mais régulé pour éviter tout gaspillage intempestif entraînant une réduction de l'autonomie.
- Enfin, le gaz carbonique doit être éliminé sans risque de réinhalation.

Ces trois dernières conditions sont réunies grâce au détendeur, pièce de l'équipement suffisamment importante pour que l'on consacre un chapitre entier à cette « machine à respirer ».



Oublier momentanément la surface et prendre le temps de visiter les paysages sous-marins devient une réalité grâce à la plongée autonome (Calvi, 8 m).

Les contraintes de la respiration sous-marine

DES GAZ...

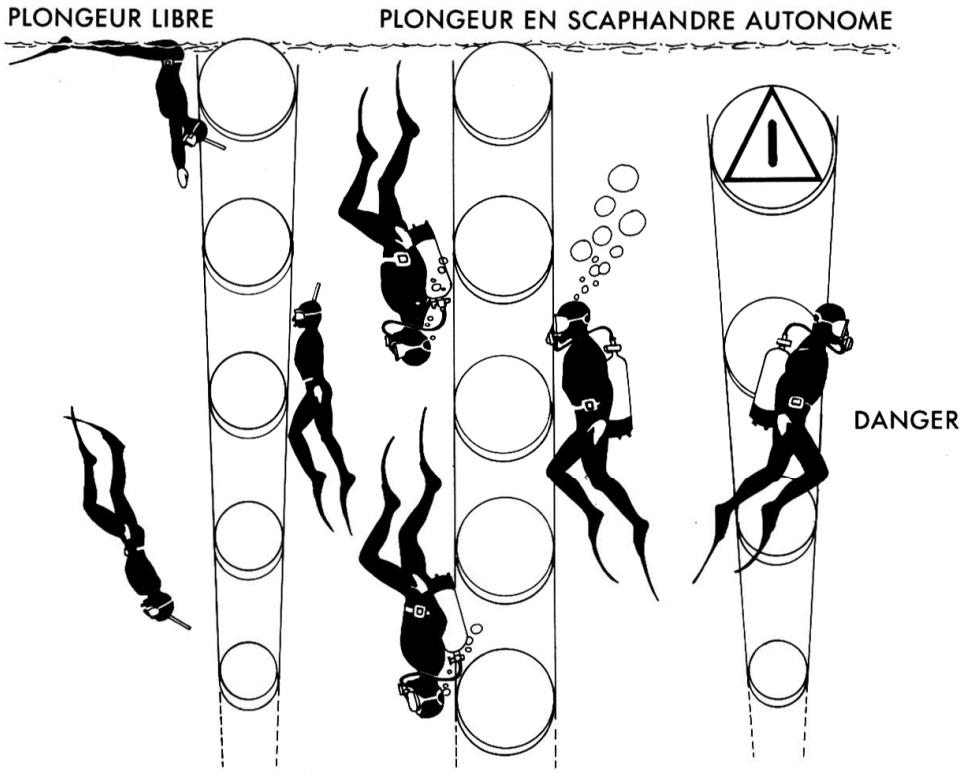
Nous avons vu ce que certains paramètres du milieu physique, comme la pression hydrostatique et la relation pression/volume, imposent à l'homme pour s'adapter à la plongée libre. L'équilibrage des tympans, la compensation pour éviter le placage du masque et le contrôle de la flottabilité s'appliquent sans réserve au plongeur autonome. *Mais la respiration d'air comprimé impose à ce dernier des contraintes complémentaires qu'il doit respecter avec discipline.*

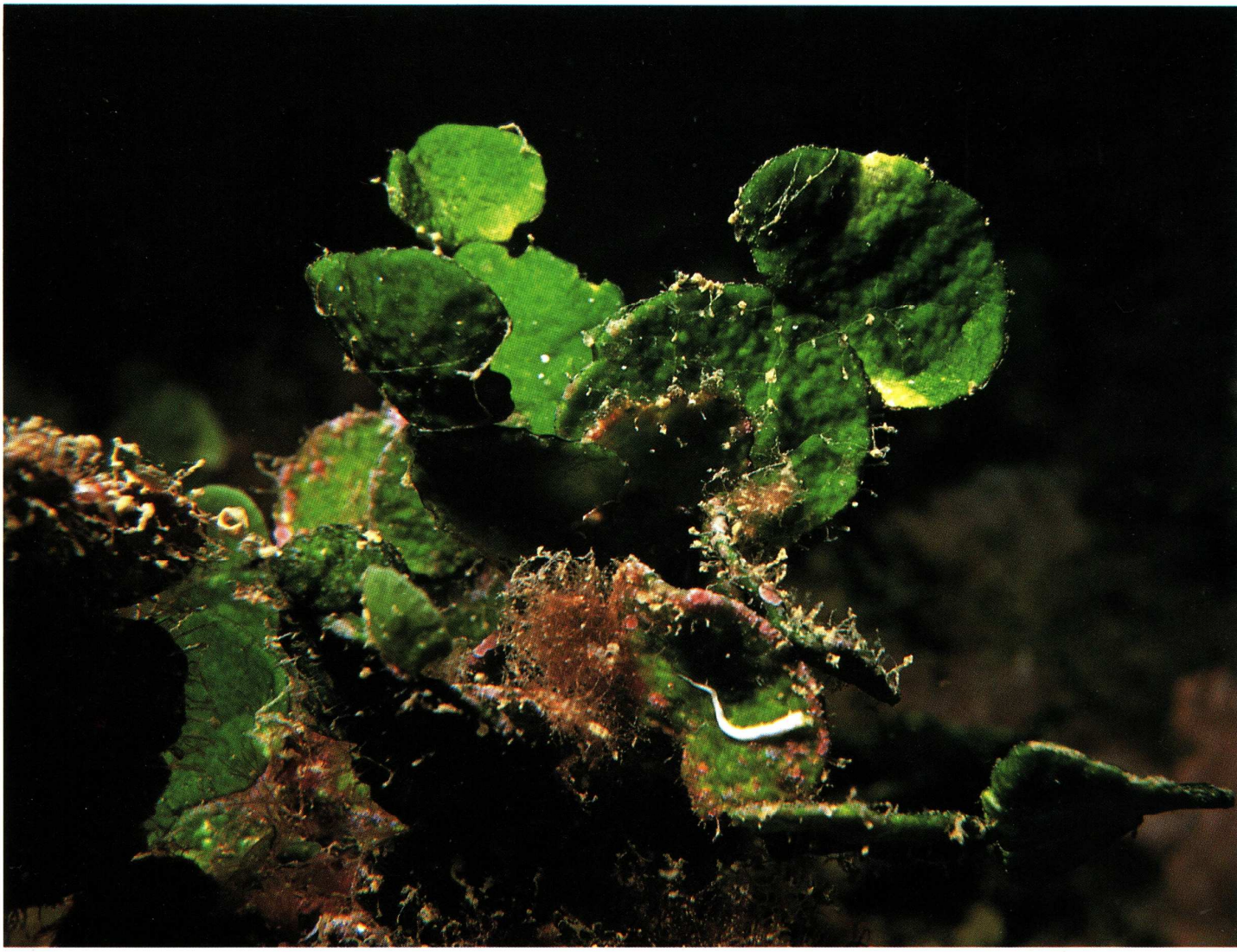
... QUI SE COMPRIMENT À LA DESCENTE ET SE DILATENT À LA REMONTÉE...

Rappelons que le volume des poumons du plongeur libre diminue avec l'augmentation de la pression. Ce phénomène est inconnu du plongeur autonome puisque le détendeur fournit de l'air à la pression ambiante : quelle que soit la profondeur, il y aura équipression, à condition que le plongeur respire normalement sans bloquer sa respiration à la remontée.

Les poumons d'un plongeur en scaphandre dont la capacité est de 6 l en surface contiennent toujours 6 l à 10 m, mais avec une pression de 2 bars. À 20 m, les 6 l d'air comprimé de ses poumons sont à la pression de 3 bars et représentent 18 l s'ils sont détendus à la pression atmosphérique. En conditions normales de plongée, en remontant lentement vers la surface, l'excédent d'air est progressivement évacué par le jeu de la respiration. Si le plongeur bloque sa respiration sans expirer l'air excédentaire ou expire insuffisamment, le gaz se dilate et déforme les poumons jusqu'à la limite d'élasticité des alvéoles. Au-delà, la dilatation de l'air provoque des lésions irréversibles de l'appareil respiratoire, entraînant un barotraumatisme de grande gravité : la *surpression pulmonaire.*

Plongeur libre et plongeur autonome subissent tous deux les contraintes de la pression qui implique l'équilibrage des tympans et de la cuve du masque à la descente. À la différence du plongeur libre, le plongeur autonome alimenté en air comprimé est toujours en situation d'équipression. Grâce au détendeur, l'air respiré est en effet toujours à la pression ambiante du niveau d'immersion du plongeur. Son volume pulmonaire reste donc constant quelle que soit la profondeur à laquelle il évolue. En contre-partie, le plongeur doit parfaitement contrôler son expiration à la remontée, sans jamais la bloquer, et veiller à expirer suffisamment pour que l'air détendu soit évacué par le jeu de la respiration.





Il faut atteindre au moins 15 m pour observer cette petite algue (Halimeda tuna) *typique des formations coralligènes (Cap Creus, 18 m).*

... DONT LA DENSITÉ AUGMENTE AVEC LA PROFONDEUR ...

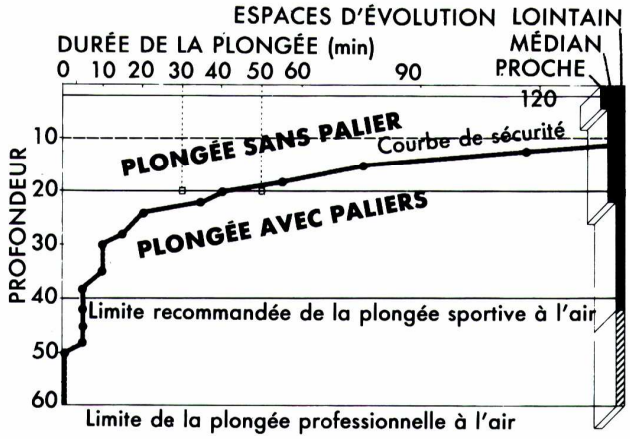
Avec la profondeur, l'air circule plus difficilement parce qu'il devient de plus en plus dense. Un litre d'air à la pression ambiante pèse environ 1,3 g, et sa masse volumique augmente avec la profondeur.

À 30 m, où la pression absolue est de 4 bars, le litre d'air pèse $1{,}3 \times 4 = 5{,}2$ g et à l'intérieur d'un premier étage de détendeur taré à 10 bars, le litre d'air atteint 13 g. Conséquence : à forte profondeur, où l'air est plus dense, l'effort inspiratoire devient plus important.

...ET QUI SE DISSOLVENT DANS L'ORGANISME

Les gaz ont une propriété qui revêt une importance particulière en plongée : ils diffusent toujours au sein des éléments avec lesquels ils entrent en contact, comme les liquides ou les divers tissus du corps. L'azote contenu dans l'air n'échappe pas à cette loi. C'est un gaz neutre qui n'a pas de rôle dans le processus de la respiration mais, quand le plongeur descend, l'augmentation de pression entraîne un accroissement de la quantité d'azote dissous dans son corps. À la remontée, lorsque la pression diminue, l'azote reprend sa forme gazeuse sous l'aspect de micro-bulles suffisamment petites pour ne pas bloquer la circulation sanguine. Elles sont éliminées normalement à la remontée au travers du « filtre » pulmonaire. Il est impératif d'éviter la création de grosses bulles qui entraîneraient des lésions souvent irréversibles. Ces grosses bulles se manifestent lorsque le plongeur dépasse la vitesse de remontée requise ou si, après un séjour long et profond, il ne marque pas de « pauses » avant de regagner la surface. Dans ces conditions, il doit s'astreindre à respecter la *vitesse de remontée* préconisée par la *table de plongée* et à effectuer des arrêts plus ou moins longs, bien connus sous le nom de *paliers de décompression*, pour éliminer lentement et sans danger l'azote en surplus dans l'organisme. Il faut retenir dès maintenant qu'une plongée sera limitée en temps et en profondeur si l'on veut éviter ces paliers. Les tables de plongée permettent de connaître les couples durée/profondeur pour lesquels il n'y a pas de paliers. En reliant tous ces couples sur un graphique, on définit la *courbe de sécurité* que les plongeurs débutants devront toujours respecter de manière à ne pas avoir à effectuer de paliers.

La durée de la plongée et la profondeur maximale atteinte sont les deux paramètres que le plongeur doit « rentrer » dans la table de plongée pour déterminer s'il doit ou non s'astreindre à des paliers de décompression. Le plongeur doit connaître la courbe de sécurité de la table qu'il utilise (ici la table « Marine Nationale 90 »). Programmons par exemple une plongée de 30 min à 20 m. Le point de croisement des deux droites est au-dessus de la courbe de sécurité : la plongée ne nécessite pas de palier. Si l'on reste maintenant 50 min à cette profondeur, le point de croisement se retrouve sous la courbe de sécurité, ce qui implique un palier. Le plongeur devra tenir compte des temps de palier dans la gestion de son autonomie.



Gérer son autonomie

DÉPLACEMENTS DANS L'ESPACE

En fonction de sa progression technique, la palanquée accède à différents espaces, sachant que, plus la profondeur est importante, plus son autonomie en temps est faible. L'étendue spatio-temporelle de la palanquée est encadrée par des bornes de profondeur — 40 m est la limite inférieure recommandée pour la plongée sportive à l'air — et de durée, celles imposées par la courbe de sécurité de la table de plongée. Le plongeur débutant évolue dans *l'espace proche* — zone des 5 m — avec comme seule limite de temps celle de son stock d'air. Le plongeur moyen peut accéder à l'*espace médian* — zone des 20 m —, avec une durée le plus souvent limitée par la courbe de sécurité. Enfin le plongeur confirmé peut étendre sa zone d'évolution dans l'*espace lointain* — zone des 40 m —, le plus souvent avec paliers.

Les plongées au-delà de 20 m permettent de découvrir des espèces rares à de plus faibles profondeurs comme ces gorgones rouges (Port-Cros, 30 m).



LE TABLEAU DE BORD DU PLONGEUR

Le plongeur est dans la même situation que l'automobiliste qui effectue un parcours donné en tenant compte de la quantité d'essence de son réservoir, de la distance à parcourir, de la consommation et de la vitesse du véhicule. Le plongeur « marche » à l'air et doit surveiller plusieurs paramètres dont la pression d'air dans son bloc, le débit de sa respiration, sa consommation en air, la profondeur d'immersion et la durée totale de la plongée dont la durée de la remontée et celle des éventuels paliers. Il doit se souvenir qu'à consommation constante le volume d'air dont il dispose s'amenuise avec la profondeur. À tout instant de l'immersion, le plongeur peut savoir où il en est, grâce à trois instruments indispensables : le chronomètre, le profondimètre et le contrôleur de pression.

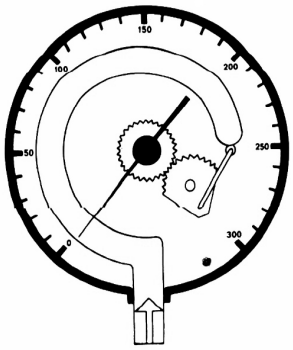
(Ci-dessous.) En consultant sa console où sont regroupés les différents instruments de contrôle, Céline connaît à chaque instant les paramètres de sa plongée : pression de la bouteille, durée et profondeur (Calvi, 10 m).

(À droite, en bas.) L'aiguille du contrôleur de pression rentre « dans le rouge ». Grâce au code de communication, Céline prévient le guide de palanquée qu'elle entame sa réserve. C'est le signe du début de la remontée (Calvi, 6 m).

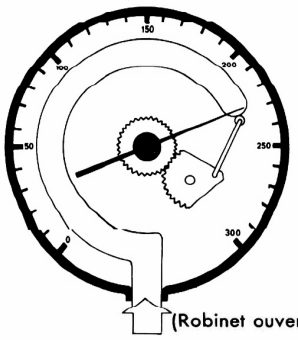
Le chronomètre

Il est indispensable de pouvoir mesurer la *durée de la plongée*, c'est-à-dire l'intervalle de temps qui sépare le moment où le plongeur s'immerge et celui où il quitte le fond pour regagner la surface à la vitesse préconisée par la table. Il sert aussi à mesurer la durée des paliers de décompression. Les montres étanches à affichage digital comportent une fonction chronomètre à déclenchement manuel. Les montres classiques possèdent une lunette crantée qui indique le temps écoulé depuis l'immersion à partir d'un repère placé face à l'aiguille des minutes. Il existe aussi des chronomètres électroniques à affichage digital qui se mettent en route automatiquement dès l'immersion et ne s'arrêtent qu'à la sortie de l'eau. Ce type d'instrument est généralement couplé avec un profondimètre.





(Robinet fermé)



(Robinet ouvert)

CONTRÔLEUR DE PRESSION MANOMÈTRE A TUBE DE BOURDON

Le principe de fonctionnement du contrôleur de pression est simple. Le boîtier étanche contient un tube en laiton courbé en forme de point d'interrogation et fermé à l'une de ses extrémités. L'air qui rentre par l'autre extrémité tend à déformer le tube dans le sens de l'ouverture. À l'extrémité du tube, un petit engrenage entraîne un secteur denté solidaire d'une aiguille qui se déplace devant le cadran gradué. Les manomètres sont gradués de 0 à 300 bars, certains blocs acceptant cette pression de service.

Le profondimètre

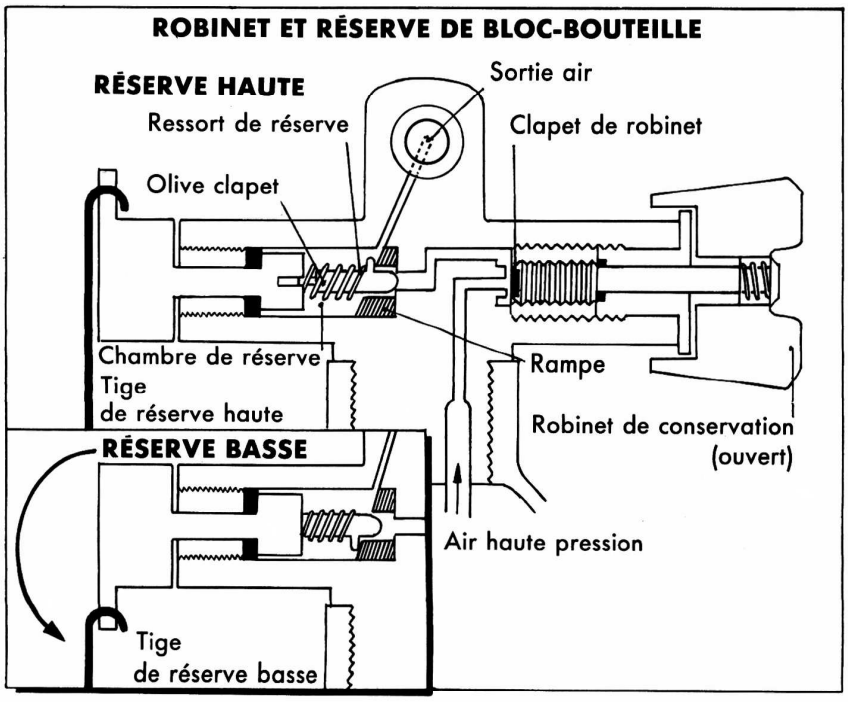
C'est l'équivalent de l'altimètre de l'aviateur. Les profondimètres classiques à aiguille sont de plus en plus remplacés par des capteurs électroniques de pression mesurant avec précision la profondeur instantanée et la profondeur maximale atteinte lors de la plongée. Un convertisseur analogique-digital transforme les signaux électriques du capteur de pression en signaux digitaux. Alimenté par une pile, le profondimètre électronique est généralement couplé au chronomètre à l'intérieur d'un boîtier fixé au poignet, qui ne prend pas plus de place que les anciens profondimètres à aiguille.

Le contrôleur de pression

Il est comparable à la jauge de carburant de l'automobiliste. Le contrôleur de pression est constitué d'un tuyau haute pression branché sur le premier étage du détendeur. La mesure se fait le plus souvent à l'aide d'un classique manomètre étanche à lecture par aiguille. L'affichage digital de la pression est maintenant possible sur certains ordinateurs de plongée.

Le manomètre sert d'abord à contrôler la pression du bloc avant de plonger. Pendant l'immersion, il est l'auxiliaire du plongeur à qui il indique la pression restante en cours de plongée. L'une des précautions les plus importantes est de pouvoir se ménager une réserve d'air mobilisable en cas d'urgence ou d'imprévu. Pour s'assurer un volant de sécurité et ne pas tomber en « panne », le plon-





OBLIGATION DE RÉSERVE?

En France, la plupart des robinetteries des blocs sont encore équipées d'un système de réserve mécanique qui prévient le plongeur lorsque la pression chute à une certaine valeur. La partie « réserve » de ces robinetteries est équipée d'un ensemble siège-clapet, le clapet mobile étant ramené au repos sur le siège par un ressort taré à 30 bars pour les monoblocs.

À chaque inspiration, l'arrivée d'air haute pression repousse le clapet, et le plongeur est alimenté. En fin de plongée, quand la pression de la bouteille est d'environ 30 bars, la force de l'air ne peut repousser le ressort, et le clapet ferme l'arrivée d'air.

Comme il s'agit d'une réserve non étanche, l'absence de joint entre le clapet et le siège permet à l'air de passer, mais avec un débit de plus en plus limité. Le plongeur est ainsi prévenu qu'il « entame » sa réserve et qu'il est temps de remonter. En tirant vers le bas une tringle disposée le long de la bouteille, le plongeur peut comprimer le ressort : la pression restante d'air est alors suffisante pour repousser le clapet et alimenter le plongeur avec le débit initial. La réserve mécanique est fondée sur le principe du signal, comme le voyant lumineux qui s'allume au tableau de bord des voitures pour prévenir qu'il ne reste que quelques litres de carburant.

La plupart des plongeurs utilisant ce type de réserve adoptent aussi un contrôleur de pression. Il est possible de conserver la réserve mécanique — dans ce cas, le manomètre marque 0 bar juste avant de « tirer » la réserve et 30 bars juste après — ou de l'abaisser en permanence, ce qui revient à utiliser le manomètre comme avec un bloc muni d'une robinetterie sans réserve.

geur quittera le fond pour regagner la surface avec au minimum l'équivalent de 50 bars. Sur le manomètre, le secteur du cadran compris entre 0 et 50 bars est rappelé à l'attention du plongeur par une couleur rouge.

Le plongeur signale toujours au guide de palanquée, par un signe spécifique, qu'il « passe sur réserve ». Cette réserve est modulable : en cas de plongée nécessitant de longs paliers, la remontée est déclenchée dès que le manomètre indique, par exemple, 80 bars ou plus selon les recommandations du guide de palanquée. Le contrôle de la pression de réserve nécessite que le plongeur consulte périodiquement son cadran, surtout en fin de plongée.

ÉCONOMIE DE L'AUTONOMIE

Quelques calculs simples vont mettre en application la notion d'autonomie. Supposons un plongeur mobilisant 2 l à chaque cycle respiratoire avec un rythme de 10 cycles par minute. Le débit ventilatoire moyen est donc de 20 l/min.

L'autonomie dépend étroitement de la profondeur, mais aussi de facteurs physiologiques propres à chaque plongeur (comme son débit ventilatoire) et de facteurs extérieurs (comme le froid ou les courants) qui augmentent l'effort de palmage et, par conséquent, la consommation (Calvi, 5 m).



Premier cas

Il dispose d'un monobloc de 12 l gonflé à 180 bars et désire plonger 20 min à 20 m, plongée qui ne nécessite pas de palier de décompression*. Il s'impose de conserver par sécurité une réserve de 50 bars.

Le volume d'air disponible s'il est détendu en surface représente (180 − 50) × 12 = 1 560 l. À 20 m, la quantité disponible est réduite à 1560/3 = 520 l, qui autorisera un séjour de 520/20 = 26 min. Le plongeur dispose de suffisamment d'air pour la durée de la plongée programmée, y compris la remontée, en gardant sa réserve d'air.

Second cas

Avec le même mono gonflé à 200 bars, il souhaite plonger 20 min à 30 m. Cette plongée impose un palier de 2 min à 3 m, et la durée totale de la plongée est de 24 min y compris la durée de la remontée. Selon le même calcul, l'autonomie du plongeur est d'un peu moins de 23 min sans « toucher » la réserve et de 30 min si celle-ci est utilisée. L'autonomie est donc, dans ce cas, estimée au plus juste. Que peut faire le plongeur pour accroître sa sécurité ? Il peut augmenter la pression de gonflage de sa bouteille : à 230 bars, sans utilisation de la réserve, il disposerait de 27 min.

Cette solution n'est possible que si la pression de service de la bouteille dépasse 200 bars. La solution la plus efficace consiste à s'équiper d'une bouteille de plus forte capacité : 15 l par exemple. Avec les mêmes paramètres, cette bouteille gonflée à 200 bars donne une autonomie de 28 min sans toucher la marge de sécurité que représente la réserve.

Ces calculs sont théoriques, et l'expérience montre qu'il existe de nombreuses différences entre la consommation de deux plongeurs. En particulier, le débit ventilatoire dépend de plusieurs facteurs intrinsèques comme la morphologie du plongeur, la capacité et le volume pulmonaire mobilisé ou la fréquence respiratoire, mais aussi des conditions de la plongée, comme le froid ou les courants qui augmentent l'effort de palmage et donc la consommation.

Pour estimer ses paramètres personnels de consommation, on peut noter à chaque plongée effectuée à profondeur constante et dans les mêmes conditions, l'indication du manomètre submersible au

L'autonomie dans l'espace lointain, domaine des plongeurs confirmés et très entraînés, doit prendre en compte le séjour au fond et les paliers de décompression : la réserve d'air emporté est augmentée en utilisant des blocs de plus grande capacité. La plongée profonde exige aussi une parfaite maîtrise de la respiration sous-marine : la densité de l'air augmentant avec la profondeur, l'effort respiratoire s'accroît ainsi que le risque d'essoufflement (Port-Cros, épave du Donator, 40 m).

* *Table de plongée à l'air, Marine nationale, 1990.*

début de l'immersion et au moment de quitter le fond pour retourner en surface. Par exemple, un plongeur équipé d'un mono de 12 l lit sur son manomètre 180 bars au départ et 70 bars au fond avant la remontée, pour un séjour de 33 min sur un fond de 15 m. La quantité d'air consommée sera de (180 − 70) × 12 / 2,5 = 528 l, pour une consommation moyenne de 16 l/min. On peut renouveler ces mesures pour différentes profondeurs et différentes situations (courant, froid) afin de construire sa « courbe de consommation » et en déduire son autonomie prévisionnelle. Les ordinateurs de plongée de dernière génération permettent un calcul de l'autonomie en tenant compte de la consommation moyenne du plongeur.





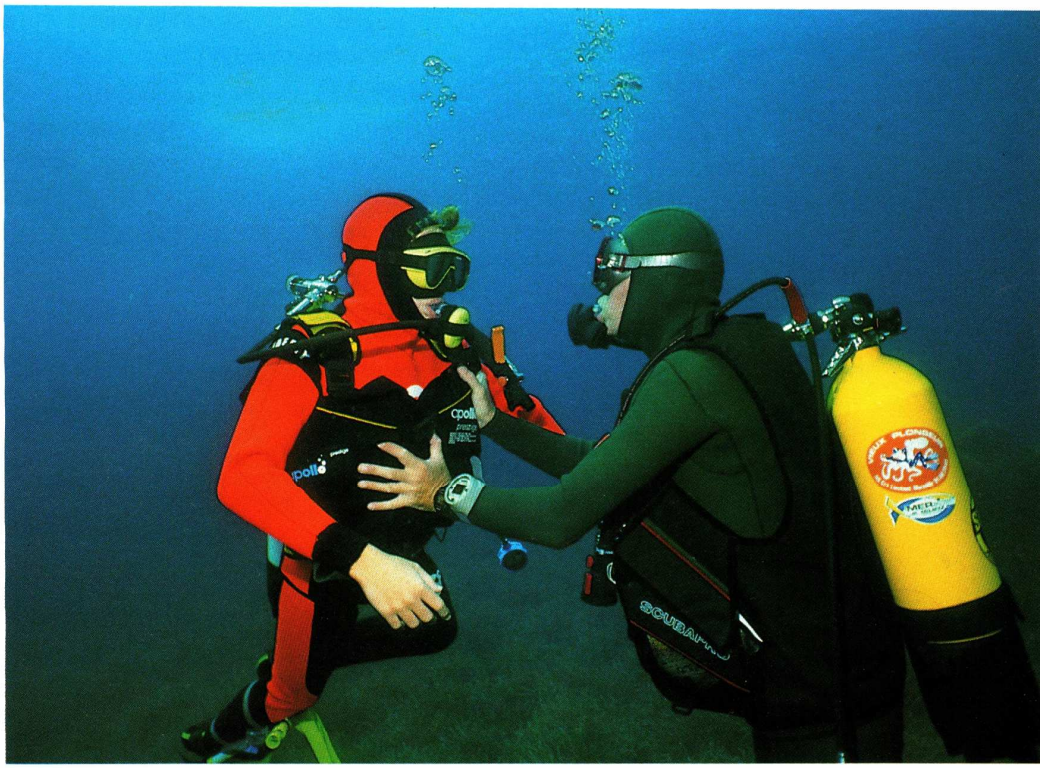
Inspirations, expirations

UN RYTHME RESPIRATOIRE ADAPTÉ...

La gestion de l'autonomie passe d'abord par la maîtrise de la respiration sous-marine. En plongée, l'air augmente de densité avec la profondeur et, malgré l'équipression, les muscles respiratoires vont devoir fournir un effort plus important qu'en surface. Les voies aériennes supérieures représentent un espace mort qui ne participe pas aux échanges respiratoires. En plongée libre ou en scaphandre, cet espace mort anatomique est augmenté par les espaces morts artificiels que sont le tuba ou le détendeur. Enfin, quand le plongeur est en position verticale, tête vers la surface, la membrane du détendeur est à un niveau d'immersion supérieur au centre des poumons. À l'inspiration, le plongeur doit vaincre le gradient de pression d'environ une vingtaine de millibars qui s'établit entre les deux points.

Toutes ces « résistances » accroissent l'effort respiratoire et favo-

(Ci-dessous.) Le guide de palanquée aide le plongeur essoufflé à forcer son expiration, après avoir cessé tout effort. Par petit fond, si le plongeur recouvre son rythme respiratoire, la plongée peut se poursuivre. Dans les autres cas — plongée profonde ou essoufflement en pleine eau — le guide de palanquée déclenchera immédiatement la remontée en assistant le plongeur en difficulté afin que ce dernier n'ait pas d'effort à fournir (Calvi, 8 m).

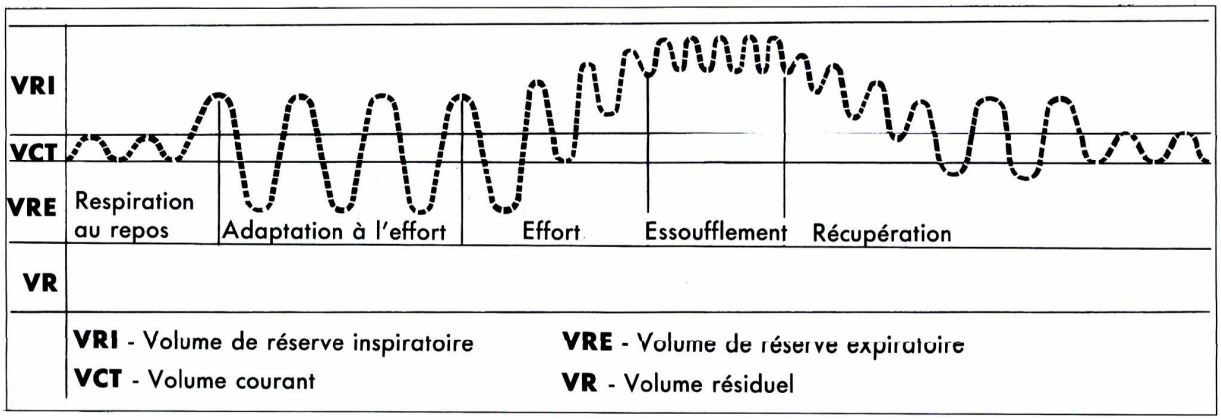


(À gauche.) Thibaud signale au guide de palanquée un début d'essoufflement à la suite d'un palmage trop rapide contre le courant. Les causes de l'essoufflement en plongée peuvent être multiples : une condition physique insuffisante, un lestage trop lourd, un détendeur mal réglé, le froid ou un stress émotif (Calvi, 8 m).

risent, par rapport à la respiration terrestre, l'accumulation de gaz carbonique. Elles impliquent la recherche d'un rythme respiratoire adapté. À terre, la fréquence respiratoire d'un homme adulte respirant dans le volume courant (0,5 l) est de 12 à 16 cycles/min. En plongée, pour lutter contre les résistances à l'inspiration et surtout pour favoriser l'expiration, le plongeur utilise une partie du volume de réserve inspiratoire et surtout de réserve expiratoire. Cela revient à augmenter le volume ventilé et à réduire corrélativement la fréquence respiratoire. En activité modérée, comme le déplacement en exploration sans courant, le plongeur peut mobiliser de 1,5 à 2 l par cycle et réduire sa fréquence respiratoire. À l'intérieur d'un cycle, il importe d'avantager l'expiration par rapport à l'inspiration. Par exemple, « inspiration : 2 s », « apnée : 0,5 s », « expiration : 3 s »,« apnée : 2 s », soit pratiquement une fréquence respiratoire comprise entre 8 et 10 cycles/min. Les apnées permettent un contrôle du rythme : s'il ne peut tenir ces apnées, surtout après l'expiration, le plongeur s'expose à un risque d'essoufflement.

En plongée le rythme respiratoire doit être parfaitement contrôlé, d'autant plus que la densité de l'air respiré augmente avec la profondeur. Le plongeur doit faire face à un effort respiratoire plus important qu'en surface, sans entamer une situation d'essoufflement. Un bon entraînement, une meilleure protection contre le froid, un détendeur « souple », un lestage optimisé sont autant de facteurs de prévention contre l'essoufflement.

Le rythme respiratoire est modulable en fonction des conditions de plongée. Il peut tomber à 6 cycles/min lors d'une plongée à faible profondeur dans des eaux chaudes et sans courant. En revanche, si la plongée requiert un effort de palmage important ou si la profondeur atteinte est grande, le rythme est adapté en augmentant la fréquence, en supprimant les apnées entre les phases respiratoires et en favorisant l'expiration. En particulier, *le rythme respiratoire ne doit jamais être négligé au profit d'un souci d'économie de l'air.* Tout l'art de la respiration sous-marine consiste à adapter son activité, ses gestes et son équipement au milieu avec le minimum de dépenses énergétiques et le plus grand confort respiratoire pour ne pas se trouver en situation d'essoufflement.



... POUR ÉVITER L'ESSOUFFLEMENT

Le volume ventilé par les poumons croît avec l'intensité de l'exercice musculaire ou de l'effort et, de 6 l/min au repos, il peut atteindre de 100 à 150 l/min. Cela est dû à l'accélération de la fréquence respiratoire et à l'augmentation du volume ventilé à chaque cycle, car le volume de réserve inspiratoire et une partie du volume de réserve expiratoire sont progressivement « incorporés » au volume courant.

L'élément « stimulant » est la teneur en gaz carbonique produit au cours de l'effort : il suffit que sa pression dans le sang augmente de peu pour que la ventilation soit doublée. L'action du gaz carbonique s'exerce directement sur les centres respiratoires et par voie réflexe. Si l'effort se prolonge, les centres respiratoires sont excités de plus en plus fréquemment, et l'on entre dans une phase d'essoufflement. La respiration devient de plus en plus rapide et haletante. Le renouvellement d'air est insuffisant et peut conduire, dans les cas extrêmes, à une détresse respiratoire entraînant le plus souvent une noyade. Les causes sont multiples : manque d'entraînement physique, lestage trop lourd, palmage excessif contre le courant, détendeur « dur », froid, stress émotif.

CONTRÔLER L'EXPIRATION

Nous avons expliqué la nécessité impérative de ne pas bloquer la respiration lors de la remontée, pour pallier le risque de surpression pulmonaire. Le plongeur doit parfaitement maîtriser le contrôle actif de l'expiration pour éviter tout blocage provoqué par une situation stressante : remontée à deux sur le même embout, contexte de panique où il aura tendance à bloquer naturellement ses poumons en phase inspiratoire et remonter le plus rapidement possible en surface, remontée rapide mal contrôlée à l'aide du gilet stabilisateur, panne d'air dans les cas extrêmes. Pour prévenir ces situations, le plongeur accompagné par le moniteur, apprendra à remonter en expiration continue sur quelques mètres, embout en bouche, puis à remonter par phases successives en lâchant et en reprenant l'embout, cela sur des distances croissantes. Pour cela, il ôte son détendeur en le tenant à la main, remonte en expiration continue sur quelques mètres, reprend son détendeur et effectue un cycle respiratoire à chaque étape de la remontée.

SOUFFLER EST JOUER

Pour prévenir l'essoufflement, adapter sa respiration et son équipement aux circonstances de la plongée : vêtement isothermique efficace contre le froid, détendeur bien réglé et lestage adéquat.

Attention au début d'essoufflement en surface (palmage contre le courant). Si cela se produit, récupérer en surface avant l'immersion.

Garder le détendeur en bouche sur les trajets en surface.

En plongée, contrôler les apnées à la fin de chaque expiration.

Ne pas hésiter à passer sur réserve ou signaler suffisamment à temps que l'aiguille du manomètre « entre dans le rouge ».

Surveiller ses coéquipiers : des panaches de bulles rapprochés ou une respiration bruyante sous l'eau incitent à suspecter un début d'essoufflement.

En cas d'essoufflement, signaler au guide de palanquée sa situation par le code de communication et passer sur réserve.

Cesser tout effort, arrêter de palmer en se stabilisant au fond et forcer son expiration.

Le guide de palanquée assistera le plongeur en remontant avec lui sans qu'il ait à palmer.

En surface, si des maux de tête apparaissent, continuer à bien se ventiler. S'ils persistent, respirer de l'oxygène.



PANNE SÈCHE

Toute plongée doit être programmée avant l'immersion : la durée — y compris celle des paliers —, la profondeur, le trajet sous l'eau et le matériel doivent être adaptés au niveau technique des plongeurs. Dans ces conditions, l'éventualité d'une panne d'air, du fait d'une mauvaise gestion de son stock, est limitée, mais elle doit être envisagée. La panne peut être aussi accidentelle, par exemple dans le cas d'une défaillance du matériel. Ce risque reste faible du fait de l'excellente fiabilité des détendeurs modernes correctement entretenus.

En cas de panne d'air, tout plongeur doit pouvoir porter secours à un membre de la palanquée pour lui « donner de l'air ». Cette procédure d'urgence est déclenchée par le signe « je n'ai plus d'air ». Elle consiste à regagner la surface tout en respirant à deux alternativement sur le même embout ou simultanément sur le même réservoir d'air à l'aide d'un détendeur de secours. Cette assistance est facilitée si l'on adopte certaines précautions en matière de sécurité passive, en dehors de la gestion rationnelle du stock d'air. D'abord, ne jamais s'éloigner de son coéquipier de plus de quelques mètres, ce qui permet de signaler sans ambiguïté la panne d'air, réduit le temps d'intervention et limite le risque d'essoufflement. Ensuite s'équiper d'un détendeur de secours. C'est un second étage branché sur le premier étage du détendeur principal ou, mieux, un second détendeur monté sur une autre sortie de la bouteille.

QUAND L'AIR VIENT À MANQUER

Saisir le plongeur en difficulté de la main opposée à la sortie de votre détendeur et ne plus le lâcher. Prendre une inspiration et lui présenter le second étage en le faisant fuser légèrement. Le plongeur assisté met lui-même l'embout en bouche.

Lorsque le plongeur assisté aura effectué deux ou trois cycles respiratoires, reprendre votre détendeur, et ainsi de suite. Pendant la respiration alternée sur le même embout, garder toujours votre détendeur en main.

Amorcer la remontée conjointe à la vitesse préconisée par la procédure de décompression. Ne pas oublier de purger les deux gilets de stabilisation et, pendant la remontée, d'expirer l'air excédentaire lorsque vous n'avez pas l'embout en bouche. Veiller à ce que le plongeur assisté ait la même attitude, et le conforter par le regard et par des interrogations à l'aide du code de communication (quand vous avez l'embout en bouche).

Cette manœuvre est facilitée si l'on dispose d'un détendeur de secours, auquel cas il n'y a plus de passage alternatif de l'embout. Si le donneur d'air est équipé d'un détendeur-inflateur, il peut l'utiliser lui-même en réservant son détendeur principal à l'assisté.

(À gauche.) Une évaluation erronée de son autonomie, une défaillance heureusement rare du détendeur, peut conduire le plongeur à manquer d'air et à réclamer l'aide immédiate de son coéquipier. Le signe « je n'ai plus d'air » déclenche cette procédure d'urgence. (Ci-contre). Le « ravitaillement » salvateur est grandement facilité si le « donneur d'air » est équipé d'un détendeur de secours (Calvi, 8 m).



LA SURPRESSION PULMONAIRE

En remontant respiration bloquée, le plongeur s'expose à une dilatation des poumons jusqu'à la limite d'élasticité des alvéoles pulmonaires qui correspond à une différence de pression comprise entre 100 et 300 millibars, soit une colonne d'eau de 1 m à 3 m. Une distension plus importante entraîne la rupture des parois alvéolaires et des vaisseaux sanguins, et les gaz en surpression envahissent les espaces voisins : plèvre, médiastin et petite circulation. Des embolies gazeuses se déclenchent, franchissant le cœur gauche jusqu'aux artères cérébrales. Les accidents les moins aigus se manifestent par des douleurs thoraciques accompagnées de toux et de dyspnée. Les plus graves associent toujours des signes d'état de choc (pâleur, cyanose) et des symptômes neurologiques (troubles sensoriels, hémiplégie). Dans certains cas apparaissent des signes respiratoires (difficulté à respirer, crachats sanglants). Cet accident concerne le plus souvent le débutant qui évolue par petits fonds. Le délai d'apparition est court, voire nul dès le retour à la surface. En cas d'arrêt ventilatoire, une relance sera assurée par le bouche-à-bouche. En cas d'insuffisance respiratoire, de l'oxygène pur est fourni à l'accidenté (voir page 131).

Économiser les calories

De même que le plongeur contrôle son autonomie en air, il doit aussi tenir compte de son autonomie en calories. L'ennemi principal du plongeur, c'est le froid qui l'amène souvent à écourter son immersion.

Le plongeur doit signaler sans attendre toute manifestation de réactions au froid grâce au signe spécifique du code de communication et regagner la surface dans les meilleurs délais, en exécutant bien sûr toutes les procédures de décompression nécessaires. Dans certains cas, il peut remonter au-dessus de la thermocline pour trouver des eaux plus chaudes. Une combinaison classique, dite « humide », bien ajustée et d'une épaisseur suffisante, permet des plongées de moyenne durée dans des eaux tempérées et de brèves incursions dans des eaux très froides. Au-delà, un vêtement « sec » est indispensable. De plus en plus utilisés en plongée sportive, les vêtements secs sont constitués d'une seule pièce avec cagoule et bottillons attenants, en néoprène, toile caoutchoutée ou Nylon enduit. Des vêtements chauds peuvent être portés sous les combinaisons en toile ou en Nylon. La particularité de ces vêtements secs est de pouvoir y introduire de l'air pour compenser la pression extérieure et jouer le rôle d'isolant thermique. Comme dans un gilet stabilisateur, l'air est débité par un direct système et il existe une purge manuelle combinée à une soupape de surpression. Ces vêtements nécessitent un lestage supérieur à celui d'une combinaison humide, maintenu par un baudrier qui autorise une meilleure répartition du lest. Un vêtement sec permet de contrôler sa stabilité mais n'exclut pas l'usage du gilet-stabilisateur.

Surpris en pleine nuit, un sar cherche refuge au milieu de gorgones (Port-Cros, 30 m).



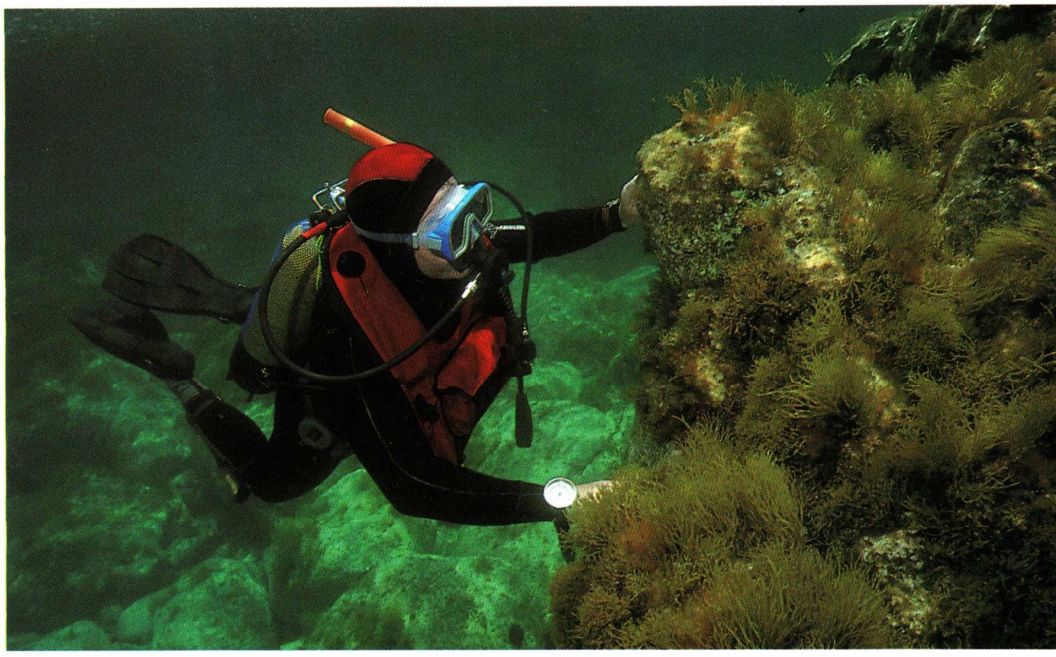
FROID, MOI ? SOUVENT !

Aucun plongeur ne peut affirmer qu'il n'a jamais eu froid en plongée. L'homme est homéotherme : sa température demeure constante à 37 °C. Un système sophistiqué maintient le cap : l'hypothalamus situé dans le cerveau. La partie antérieure de cette glande permet au corps de produire de la chaleur en milieu froid, et la partie postérieure lui en fait perdre lorsqu'il fait trop chaud. C'est en jouant sur ces deux commandes que l'organisme maintient sa température.

L'eau de surface de la Méditerranée varie entre 7 °C en hiver et 29 °C en été. En période estivale, les eaux sont peu brassées par les vents, et la température peut varier entre la surface et le fond. Il n'est pas rare de plonger dans une eau dont la température passe de 25 °C en surface à 15 °C à 30 m. La limite entre deux couches d'eau de température différente s'appelle la *thermocline*. Le plongeur ressent bien ce passage de la thermocline où le mélange des eaux chaude et froide est « visible » par le trouble qu'il produit comme lorsque l'on verse de l'eau dans de l'alcool. La conductivité thermique de l'eau est 25 fois plus élevée que celle de l'air, et sa chaleur spécifique 1 000 fois plus.

Malgré la combinaison, les pertes thermiques cutanées du plongeur sont nettement supérieures à ce qu'elles sont dans l'air à la même température.

Alerté par l'hypothalamus, le corps peut réagir par la chair de poule, le redressement des poils et la contracture des petits muscles, ce qui libère de l'énergie. Une réaction moins efficace que celle due aux frissons où les muscles s'activent sur place et provoquent de la chaleur. Ces réactions suffisent en général à faire supporter des baisses de température modérées. Dans des circonstances moins clémentes, le corps lutte plus vigoureusement : les vaisseaux sanguins superficiels se contractent, ce qui évite les pertes de chaleur. Au-delà, l'*hypothermie*, c'est-à-dire la baisse de température interne du corps, peut avoir des conséquences graves, selon son degré.



La fin de la plongée est l'occasion de regagner des eaux superficielles plus chaudes et de réaliser les paliers dans de meilleures conditions de confort (Pointe Canelle, Corse, 2 m).


BI 769068

La troisième dimension

Les premiers scaphandriers à casque encore dépendants de la surface pour leur alimentation en air comprimé étaient contraints de vivre dans un espace à deux dimensions. Marchant littéralement sous l'eau, leur position verticale offrait une résistance au déplacement et entravait leur liberté d'action. En accédant à l'autonomie, le plongeur découvre la troisième dimension, comme la possibilité de se déplacer horizontalement et d'acquérir une flottabilité nulle.

SAUTS LIBRES

Entrer dans la troisième dimension, c'est d'abord connaître les techniques de mise à l'eau. Le plongeur débutant peut partir du bord ou se mettre à l'eau depuis un bateau avec une échelle. Très rapidement, il souhaite accéder à des lieux de plongée plus éloignés qui rendent indispensable l'usage d'une embarcation.

Mise à l'eau depuis la côte

Cette mise à l'eau ne peut se faire qu'à partir d'une plage ou d'une crique en pente douce. Si la plage est à l'abri de la houle, on peut se mettre à l'eau en poussant sa bouteille devant soi après avoir gonflé légèrement le gilet stabilisateur. Il est alors facile de s'équi-



Deux techniques complémentaires pour rentrer dans la troisième dimension : le saut droit, utilisé à partir d'un bateau ponté, et le saut par bascule arrière, illustré sur ces photos. Avant d'exécuter ses sauts, bien s'assurer que le point d'impact est libre de tout obstacle ou d'autres plongeurs en surface ou en immersion.

LE SAUT : DROIT OU A BASCULE

Le *saut droit* présente l'avantage de voir l'endroit où l'on va pénétrer dans l'eau, mais il exige une meilleure maîtrise technique.

Vérifier la position avant le saut : les jambes sont tendues et réunies, le bras qui maintient le masque est serré contre le thorax, la tête est droite et le regard vers l'horizon.

Prendre appel sur une jambe. Avancer la jambe opposée et dans le même temps détendre la jambe d'appel.

Dès que le saut est entamé, raidir le corps et serrer les jambes l'une contre l'autre. La voilure des palmes parallèle à la surface de l'eau amortit la chute.

Le *saut par bascule arrière* est musculairement plus passif.

S'asseoir sur la partie supérieure du franc-bord, bouteille et équipement débordant vers l'extérieur, à la limite du déséquilibre.

Bien vérifier que le champ est libre en tournant la tête vers le bas, ramener les genoux vers la poitrine en basculant simultanément vers l'arrière.

per dans l'eau et de s'immerger. Si la côte est exposée au vent et à une houle frontale, il faut s'équiper à terre et s'immerger en marchant à reculons. En cas de fortes vagues, attendre un train de vagues moins hautes. Dès que l'eau atteint la taille, s'accroupir, faire un demi-tour en s'immergeant et palmer vers le large. Le palmage doit être énergique au départ pour ne pas se faire ramener sur la plage par une vague. Si les vagues sont fortes et déferlantes, renoncer à se mettre à l'eau et chercher un endroit plus abrité.

Sauts depuis un bateau ponté

Du fait de leur taille et de leur stabilité, ces bateaux permettent de s'équiper entièrement avant de se mettre à l'eau. Palmes obligatoires avant de capeler ceinture et bloc tant que les problèmes de lestage ne sont pas complètement résolus. Deux solutions pour mettre le bloc. Le poser à mi-hauteur, par exemple sur le capot-moteur ou le roof avant, et enfiler directement le gilet. Ou poser le bloc verticalement sur le pont, passer le bras dans l'une des sangles d'épaule et se relever le plus droit possible en s'aidant avec la même main qui « soulage » le poids du bloc en le hissant. Capeler son bloc le plus près possible de l'endroit de mise à l'eau pour réduire au minimum les déplacements palmes aux pieds, surtout si le bateau roule. Si le pont du bateau est haut sur l'eau, 2 m par exemple, le saut droit est recommandé, à condition que le franc-bord soit de taille réduite pour pouvoir l'enjamber sans risque de déséquilibre ni de chute. Dans le cas contraire, le franc-bord doit être muni d'un sabord amovible qui permet le saut directement depuis le pont. Dans tous les autres cas, le saut par bascule arrière est possible, même si le franc-bord est relativement haut. Pour exécuter tous les sauts, le plongeur s'assure que le point de chute est libre de tout plongeur en surface ou en immersion. Il maintient son masque avec une main, paume contre la vitre. L'autre main bloque la bouteille par le point inférieur de la sangle correspondante ou par le bas du gilet stabilisateur. Dès la mise à l'eau, le plongeur, dégage rapidement le point de chute et rejoint en surface ses coéquipiers avant l'immersion.

ou depuis une petite embarcation

Du fait de leur stabilité relative et du manque de place à bord, le saut droit est impossible sur les petites embarcations de type bateau pneumatique, et le saut à bascule arrière est systématique. Il convient le plus souvent de s'équiper dans l'eau. Mettre à l'eau le bloc, gilet gonflé pour assurer sa flottaison. Un bout terminé par un mous-

queton à largage rapide est conseillé pour attacher le bloc au bateau le temps de la mise à l'eau. Se mettre à l'eau en bascule arrière, tuba en bouche, capeler le bloc et mettre le détendeur en bouche. Si le bateau est peu stable à l'arrêt, procéder à la mise à l'eau simultanée de deux plongeurs se faisant face sur chaque bord.

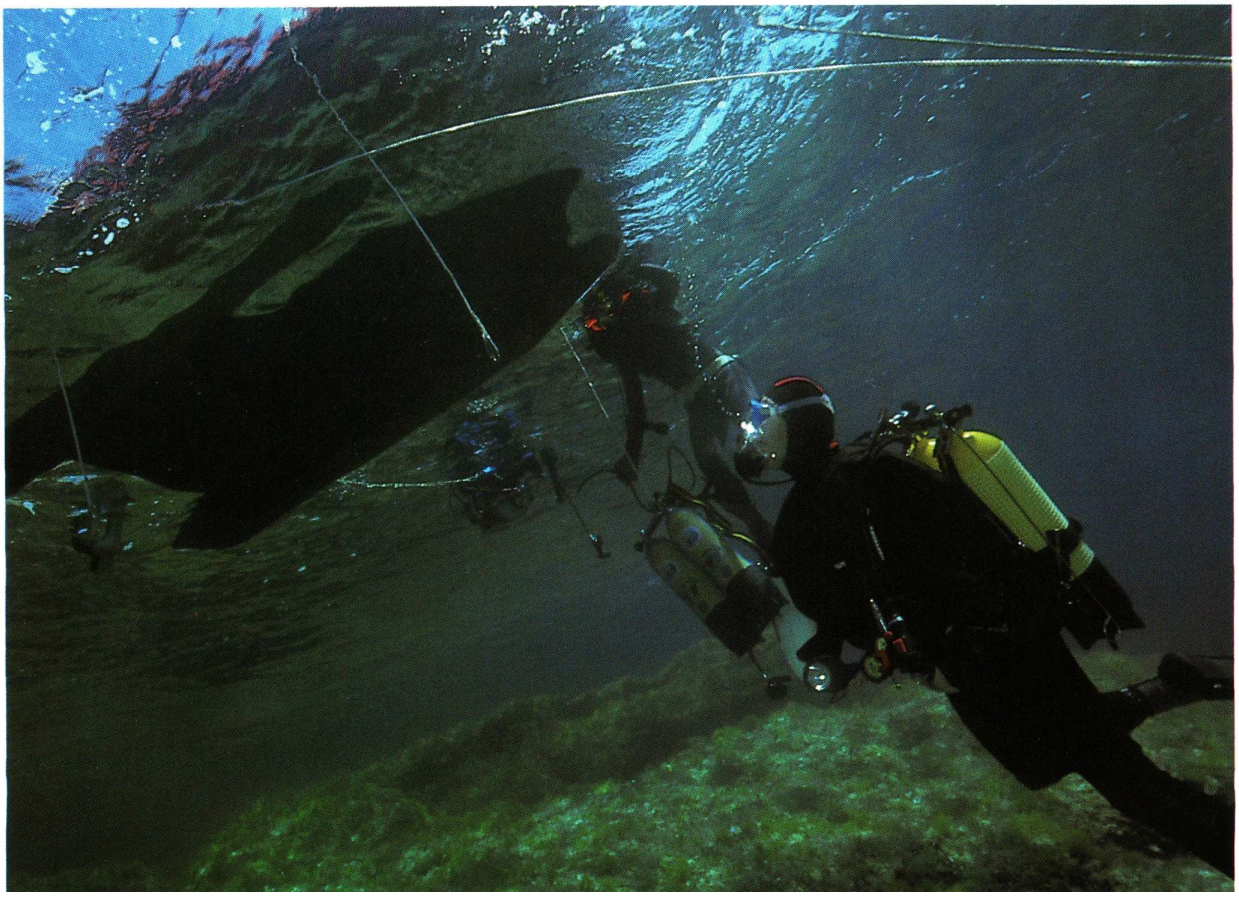
LE JUSTE ÉQUILIBRE

Acquérir une flottabilité quasi nulle est le rêve de tout plongeur, mais il s'agit d'un équilibre difficile à trouver et toujours réversible. Un dosage subtil est possible entre le lestage et le volume d'air modulable qu'offre le gilet de stabilisation.

Lestage : la théorie...

Le lestage, rappelons-le, est destiné à compenser la flottabilité positive du plongeur jusqu'à l'équilibre. Celle-ci est due essentiellement à l'air « emmagasiné » dans les cellules de la combinaison de plongée. Partant de l'équilibre en surface, la flottabilité du plongeur, donc son poids apparent, va se modifier en cours d'immersion, sous l'influence de plusieurs facteurs.

La remontée sur un bateau pneumatique peut se faire par un simple rétablissement sur les bras à condition bien sûr de décapeler son bloc et d'ôter sa ceinture de lest (Port-Cros, 2 m).



REMONTER SUR LE BATEAU

L'échelle est indispensable pour remonter à bord dès que le franc-bord est important. La seule difficulté peut être de passer les palmes à travers les barreaux si l'échelle n'est pas de type « perroquet » (échelle à montant central avec barreaux ouverts de chaque côté). Même avec des palmes à longues voilures, il est possible de monter sur une échelle classique, en pliant la voilure perpendiculairement aux barreaux ou en passant d'abord le talon et en redressant le pied lorsque la voilure est engagée. S'il y a de la houle et que le bateau roule, déborder l'échelle sans trop s'en rapprocher pour éviter tout heurt possible. Engager la première palme, lorsque les barreaux inférieurs sont immergés, et se rétablir en même temps sur l'échelle. Si la houle est vraiment trop importante, décapeler son bloc dans l'eau en le fixant à un bout. La remontée sur un bateau pneumatique se fait par rétablissement sur les bras. Décapeler le bloc, déboucler la ceinture et la mettre à bord. Saisir le boudin du pneumatique par son bord intérieur. S'immerger le plus possible puis, en faisant un vigoureux palmage de sustentation, tirer simultanément sur les bras. Si le mouvement est bien synchronisé, le rétablissement sur les bras permet de monter sans difficulté à bord de l'embarcation.

Premier facteur : le volume de la combinaison diminue sous l'effet de la pression, le poids apparent du plongeur va devenir rapidement positif dès les premiers mètres de la descente. Cette situation est réversible à la remontée.

Deuxième facteur : le poids réel du plongeur équipé décroît au cours de la plongée. Le plongeur emporte en effet un stock d'air dont le poids n'est pas négligeable. Le poids de l'air dans un bloc de 12 l gonflé à 200 bars représente un peu plus de 3 kg [12 × 200 × 1,3 = 3 120 g], soit 4 % du poids d'un homme de 75 kg. En conséquence, le poids apparent du plongeur diminue au cours de son séjour sur le fond.

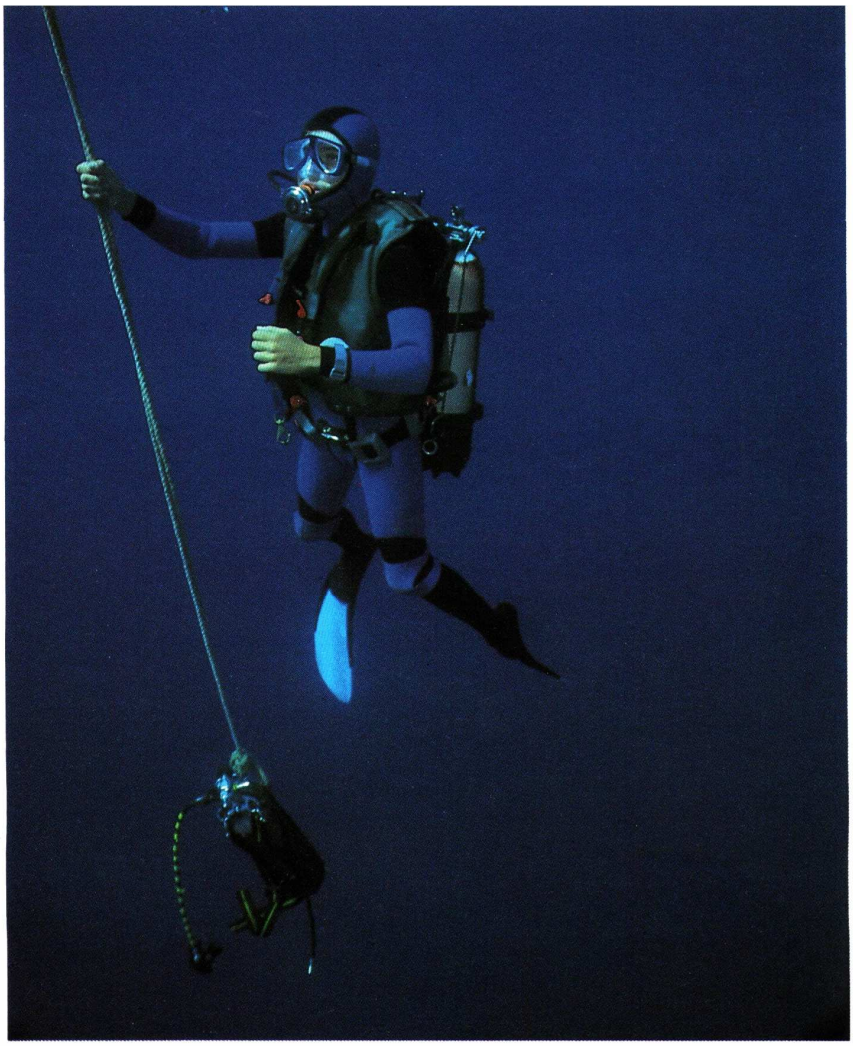
Enfin, troisième facteur : le poumon-ballast, dû au jeu de la respiration, introduit en plus des variations du poids apparent. Ajoutons à cela les différences propres à chaque plongeur — poids et densité du corps, rythme respiratoire, contenance de la bouteille, poids de l'équipement complémentaire — et éventuellement les différences de densité du milieu — eau douce ou eau salée —, et l'on peut penser que le lestage relève d'une subtile alchimie !

... et la pratique

Quelques principes de base peuvent aider à trouver les bons lestages. L'idéal est d'être équilibré à 3 m, gilet stabilisateur dégonflé et bloc sur réserve, ce qui correspond à la situation du palier en fin de plongée. En surface, au départ de la plongée avec la bouteille pleine, le plongeur cherchera une flottabilité nulle ou positive par un très léger gonflage du gilet. Il suffit de purger pour passer en flottabilité négative favorable à la descente.

Au cours d'une plongée à profondeur constante, du fait de la consommation d'air, il convient de purger périodiquement le gilet pour réduire la flottabilité qui a tendance à redevenir positive. Le peu d'air restant à la fin de la plongée aide à amorcer la remontée sans effort de palmage et à la vitesse recommandée par les tables de plongée. Cet air doit, bien sûr, être évacué progressivement puisque son volume a tendance à augmenter avec la baisse de la pression. À l'arrivée dans la zone des 3 m, le plongeur doit pouvoir se stabiliser, gilet dégonflé pour effectuer un éventuel palier : sa flottabilité est alors neutre et compensable par le jeu du poumon-ballast.

Il n'existe pas un lestage universel mais des lestages adaptés aux différents types de plongée ou d'activité. Une plongée dans l'espace médian sans palier de décompression, avec un monobloc et une combinaison légère, nécessite un lestage standard. Une plongée hiver-



Un bon lestage est celui qui permet de se maintenir équilibré au palier de 3 m, gilet-stabilisateur dégonflé et bouteille sur réserve (Calvi, 3 m).

LÂCHEZ DU LEST

Amorcez une descente et essayez de vous stabiliser, gilet dégonflé, en position verticale en pleine eau dans la zone des 20 m. Vous devez pouvoir vous maintenir à profondeur constante par un léger palmage de sustentation, sinon votre lest est trop lourd. Gagnez le site de votre plongée, un fond de 25 m, par exemple. Gonflez légèrement votre gilet : vous devez pouvoir vous déplacer à un demi-mètre du fond sans le « raser » de trop près. Vérifiez que votre position de déplacement est bien horizontale, l'axe du corps étant parallèle ou très légèrement oblique. Si vous êtes surlesté, vous aurez tendance à introduire trop d'air dans votre gilet. Résultat pratique : la ceinture entraîne le bassin vers le bas, et le gilet surgonflé « tire » les épaules vers le haut. L'axe de déplacement est oblique, la résistance augmente, et l'effort de palmage est plus important pour tenter de rétablir l'équilibre. Conséquences possibles : surconsommation d'air, risque d'essoufflement et plongée écourtée en ajoutant le mal aux reins à cause d'une ceinture trop lourde ! Autres signes du surlestage : une fâcheuse propension à heurter le fond et à « recueillir » les épines d'oursin sur les mains et sur les genoux, et les traînées de sédiment soulevées par les palmes.

nale dans l'espace proche avec une combinaison de 7 mm demande un lestage plus appuyé. Une plongée dans l'espace lointain avec un bi-bouteille implique un « poids léger » si les paliers sont normalement faits sur un pendeur. Un photographe devra tenir compte du poids de son équipement, appareils, caméras ou phares. S'il désire effectuer des prises de vue à l'agachon, il peut compléter son lestage par des plombs de chevilles. Enfin, une combinaison usagée, en s'écrasant sous l'effet de la pression, perd une partie de sa flottabilité et nécessite de revoir son lestage à la baisse.

CONFORTABLE COMME UN GILET

Le gilet stabilisateur est un élément de confort avec lequel le plongeur peut ajuster finement sa flottabilité. C'est aussi un outil indispensable pour assurer sa propre sécurité, porter assistance ou réaliser un sauvetage dans les meilleures conditions (voir page 126). D'ailleurs, les premières « bouées » utilisées n'avaient pas d'autres fonctions que de remplacer, en cas de panne, l'appareil respiratoire du plongeur.

Anatomie du gilet stabilisateur

Le gilet stabilisateur doit pouvoir être gonflé et dégonflé à volonté. Il existe donc un système relié à la source d'air autorisant le gonflement à la demande, le direct système et l'inflateur, et un ensemble de purges assurant la fonction inverse.

L'enveloppe

Fabriquée en tissu Nylon enduit de néoprène, sa contenance moyenne est de 16 à 18 l d'air. La répartition des masses d'air dans le gilet est importante : le gilet gonflé doit maintenir le plongeur avec les voies respiratoires hors de l'eau sans qu'il puisse se retourner, le visage dans l'eau.

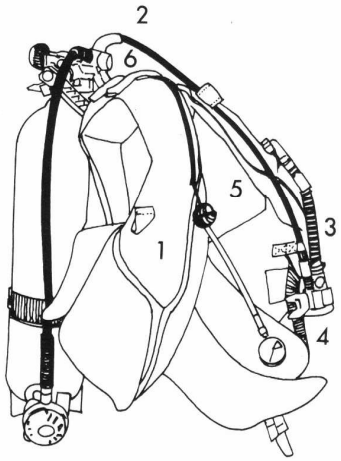
Le direct système

Le bloc-bouteille alimente en air l'enveloppe du gilet par un tuyau moyenne pression identique à celui du détendeur. La partie mâle est vissée sur l'une des sorties moyenne pression du premier étage du détendeur. La partie femelle du tuyau s'enclenche dans la partie mâle de l'inflateur par un raccord rapide, l'air ne pouvant sortir que si l'on appuie sur le bouton de l'inflateur.



Anatomie du gilet-stabilisateur :

1. *Enveloppe.*
2. *Tuyau moyenne pression du direct-système.*
3. *Tuyau annelé de liaison avec l'enveloppe.*
4. *Détendeur-inflateur.*
5. *Purge rapide.*
6. *Soupape de surpression.*



DE LA BOUÉE-COLLERETTE AUX GILETS STABILISATEURS

F. Dumas, compagnon de plongée de J.-Y. Cousteau, adapte en 1951 une bouée-collerette de son invention pour en faire un engin de sauvetage destiné aux sous-mariniers en cas d'évacuation de leur bâtiment. En 1961, la société Fenzy lance sur le marché la bouée P.A. 61, le « parachute du plongeur ». Le P.A. 61, puis la Fenzy 70 sont dotés d'un inflateur buccal et d'une petite bouteille d'air comprimé, rechargeable sur le bloc et permettant un gonflage instantané de la collerette. Ces bouées resteront longtemps la référence en la matière, à tel point que les plongeurs désignent toute bouée-collerette sous le nom de « fenzy ». Des modèles plus perfectionnés sont ensuite fabriqués par cette même société et par la Spirotechnique qui introduit la purge rapide sur son modèle Spiro 68. Diverses ébauches de bouées et de gilets munis des premiers inflateurs verront le jour aux États-Unis au début des années 1970. Puis les sociétés Scubapro et Sea-Quest mettent au point les gilets stabilisateurs qui se généralisent au Japon, puis en Europe où ils tendent à remplacer la bouée-collerette.

L'inflateur

L'inflateur est fixé au bout d'un tuyau annelé de plus fort diamètre qui assure la liaison avec l'enveloppe. Son rôle est de permettre le gonflage à la demande lorsque l'on appuie sur le bouton de commande. Un ressort de rappel ferme automatiquement l'air dès que le plongeur relâche la pression sur le bouton. S'il veut libérer l'air du gilet, le plongeur appuie sur un autre bouton qui actionne une purge. À noter que l'inflateur permet, le cas échéant, de gonfler le gilet à la bouche. Le détendeur-inflateur combine les fonctions d'inflateur et de détendeur de secours tout en conservant la possibilité d'un gonflage à la bouche. Second étage miniaturisé, il utilise le même tuyau moyenne pression que l'inflateur. Positionné à poste fixe, il est mobilisable immédiatement en cas de besoin. Ses performances respiratoires restent dépendantes du premier étage du détendeur par lequel il est alimenté.



Le gilet-stabilisateur est la « vessie natatoire » du plongeur. En y introduisant la quantité d'air nécessaire, le plongeur ajuste finement sa flottabilité. Une position équilibrée qui lui permet confortablement de découvrir la faune fixée des tombants et d'éviter les palmages intempestifs souvent destructeurs pour les gorgones (Port-Cros, 25 m).

La soupape de surpression

Elle est nécessitée par les variations du volume de l'air qui augmente à la remontée. Fixée sur la partie haute du gilet, elle est constituée d'un ensemble clapet-membrane et d'un ressort taré. L'air excédentaire peut s'évacuer sans risque d'éclatement de l'enveloppe dès que la surpression de l'air atteint de 80 à 120 millibars.

Le système de purges

Les gilets sont souvent équipés d'un double système de purges. La *purge lente* est constituée par le tuyau annelé qui permet d'évacuer l'air progressivement en appuyant sur le bouton de purge. Le tuyau annelé est fixé sur la partie haute de la bouée. Du côté opposé, la *purge rapide* est une commande manuelle de la soupape de surpression par l'intermédiaire d'une tirette, cordon de Nylon terminé par une boule en plastique. Dans certains modèles, les deux purges sont combinées : le tuyau annelé est monté sur la soupape de surpression et la tirette est disposée à l'intérieur du tuyau. Il est ainsi possible de contrôler gonflage et purges d'une seule main. Enfin certains modèles disposent d'une purge basse complémentaire actionnée par une tirette, qui permet de vider l'air résiduel lorsque le plongeur est tête en bas.

Du bon usage individuel du gilet stabilisateur

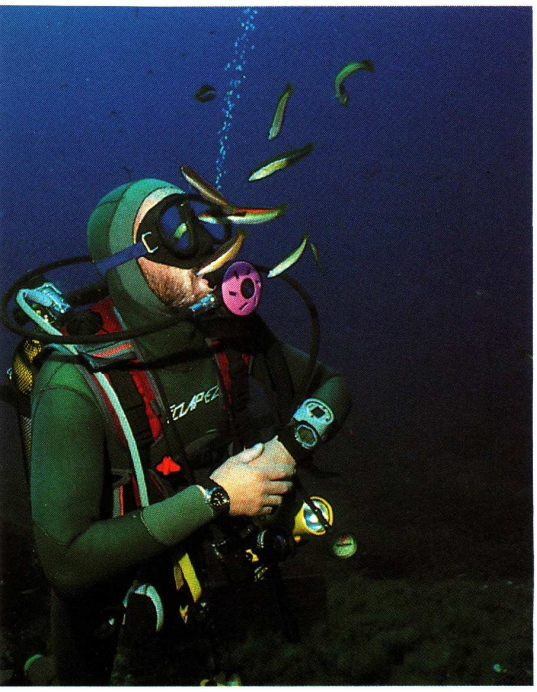
Avant la mise à l'eau

Le gilet est, bien sûr, capelé sur la ceinture de lest, en vérifiant que ses satellites sont « clairs ». Aucun tuyau ne traîne dans l'eau. Le contrôleur de pression peut être passé sous le bras et fixé sur le gilet à l'aide d'un Velcro. Le détendeur de secours est fixé à portée de main à l'aide d'un clip à largage rapide. Les poches accueillent uniquement les accessoires : tables de plongée, lampe et parachute de palier.

Si la bouteille est équipée d'une réserve, attention de ne pas bloquer la tige avec la sangle du back-pack ! Avant la mise à l'eau, vérifier que le raccord du direct système est bien enclenché en appuyant sur le bouton de gonflage.

Utilisation en surface

En utilisation normale, avant et après l'immersion, le gilet peut être légèrement gonflé pour assurer une flottabilité nulle ou positive. Au retour d'une plongée, si le plongeur émerge loin du bateau — ce qui devrait être exceptionnel —, il gonfle son gilet pour éviter tout effort et attendre que le bateau vienne le chercher. Attention à la prise au vent si le gilet est surgonflé ! Le plongeur qui doit regagner le bateau en surface ne gonfle son gilet que modérément pour ne pas modifier son hydrodynamisme et offrir trop de résistance au courant. En cas de crampe ou d'essoufflement, le gilet permet de se maintenir sans effort en surface.



(Ci-dessus.) Les girelles (Coris julis) *sont des petits labres que l'on rencontre très couramment en Méditerranée (Port-Cros, 15 m).*

(À droite.) Immersion en phoque : purge haute, Céline libère l'air excédentaire de son gilet-stabilisateur pour amorcer sa descente vers le fond. Pour se maintenir à un niveau donné, il lui suffira d'injecter un peu d'air avec le direct-système et d'utiliser le poumon-ballast (Calvi, 2 m).

Immersion et stabilisation

L'immersion peut se faire en canard en purgeant au préalable le gilet ou par phoque en libérant simultanément l'air hors du gilet. À la descente, dès qu'il se sent « couler », le plongeur commence à introduire de l'air dans le gilet en déclenchant l'inflateur par petites touches successives. S'il veut se stabiliser sans palmer à une profondeur donnée, le plongeur doit anticiper et doser le gonflage pour tenir compte de sa vitesse acquise lors de sa descente. Équilibré à un niveau donné, s'il commence à remonter sans palmer, il purge légèrement et ajuste sa flottabilité en s'aidant du poumon-ballast. La stabilité est acquise lorsque le niveau d'immersion est maintenu avec un cycle respiratoire complet.

Remontée contrôlée

En utilisation normale, lorsque le plongeur remonte, le gilet est progressivement purgé pour libérer l'air excédentaire qui se détendrait à la remontée si cette manœuvre n'était pas effectuée. Bien maîtrisé le gilet autorise ainsi une remontée assistée, à l'économie et sans effort de palmage, ce qui est appréciable, par exemple dans le cas d'un début d'essoufflement. Deux précautions sont indispensables : le respect de la vitesse de remontée autorisée par les tables et le libre jeu de la respiration. La principale difficulté est de gérer la remontée à vitesse constante sans qu'elle s'« emballe ». Le volume de l'air dans l'enveloppe croît proportionnellement à la diminution de la profondeur, et la poussée d'Archimède est de plus en plus forte. D'où une accélération de la vitesse de remontée qui, non contrôlée, peut être catastrophique.

Pour éviter cela, le plongeur pratique des purges successives en lâchant de l'air dès qu'il ressent une accélération. La purge sera d'autant plus sollicitée que l'on se rapproche de la surface avec pour objectif un arrêt stabilisé à 3 m. Pratiquement le gilet doit être complètement dégonflé quelques mètres avant pour tenir compte de la vitesse acquise. Si la vitesse d'arrivée est un peu trop rapide, une expiration forcée permet d'augmenter le poids apparent et de s'arrêter plus vite.

Le plongeur a la possibilité d'utiliser la purge lente ou la purge rapide. L'usage de la purge lente fixée sur le tuyau annelé implique de la maintenir au-dessus de soi à une pression inférieure à celle de l'air contenu dans l'enveloppe pour qu'il puisse s'en échapper. La purge rapide autorisant un débit de sortie plus important s'utilise par à-coups successifs en veillant à ne pas vider complètement l'enveloppe au cours de la remontée, sauf pour permettre un arrêt net.



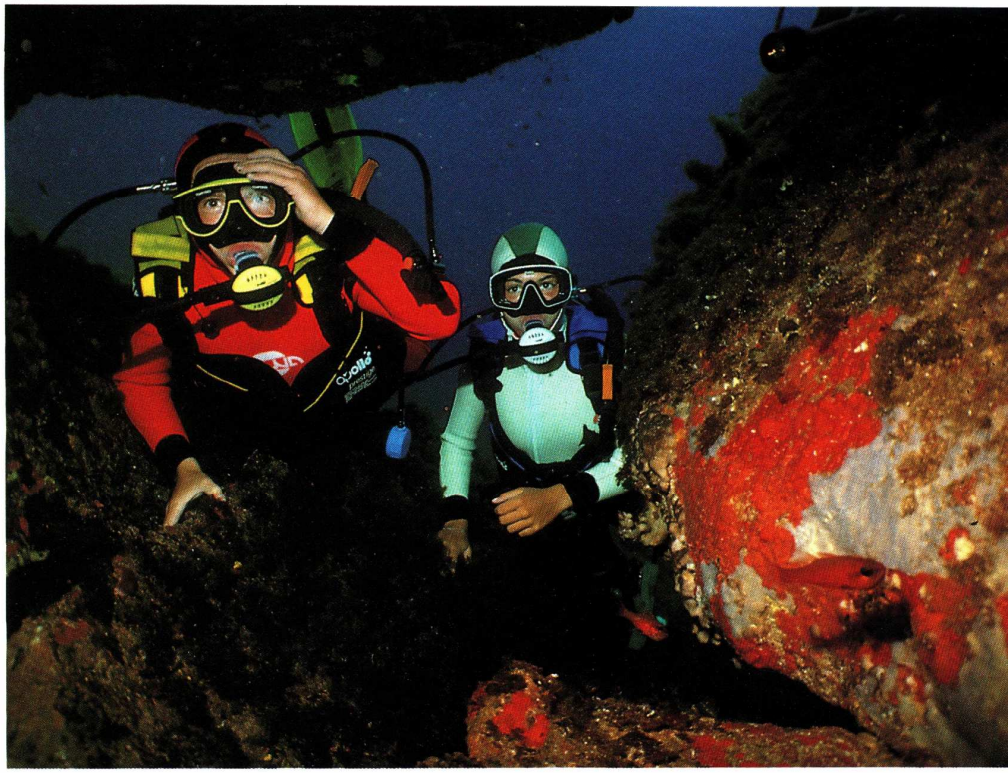
Les outils de l'autonomie : détendeurs et compresseurs

LE GAZ À TOUS LES ÉTAGES

Né à la fin des années 1960, le *détendeur à deux étages* que nous utilisons est construit sur le principe de deux détendeurs dépendants l'un de l'autre.

Le premier étage

Un détendeur à un étage comporte une chambre sèche séparée d'une chambre humide par une membrane souple (voir p. 81 et schéma A). Ajoutons maintenant un gros ressort dans cette chambre humide (schéma B). Cette nouvelle pièce va déterminer la valeur de la moyenne pression. Au repos, le clapet est décollé du siège (schéma D), le ressort de rappel du clapet ayant une force inférieure.



(Ci-contre.) La pièce-maîtresse de l'équipement, c'est le détendeur qui délivre l'air à la pression ambiante et à la demande du plongeur (Calvi, 8 m).

(À droite.) L'air haute pression de la bouteille est détendu en moyenne pression grâce au premier étage du détendeur.

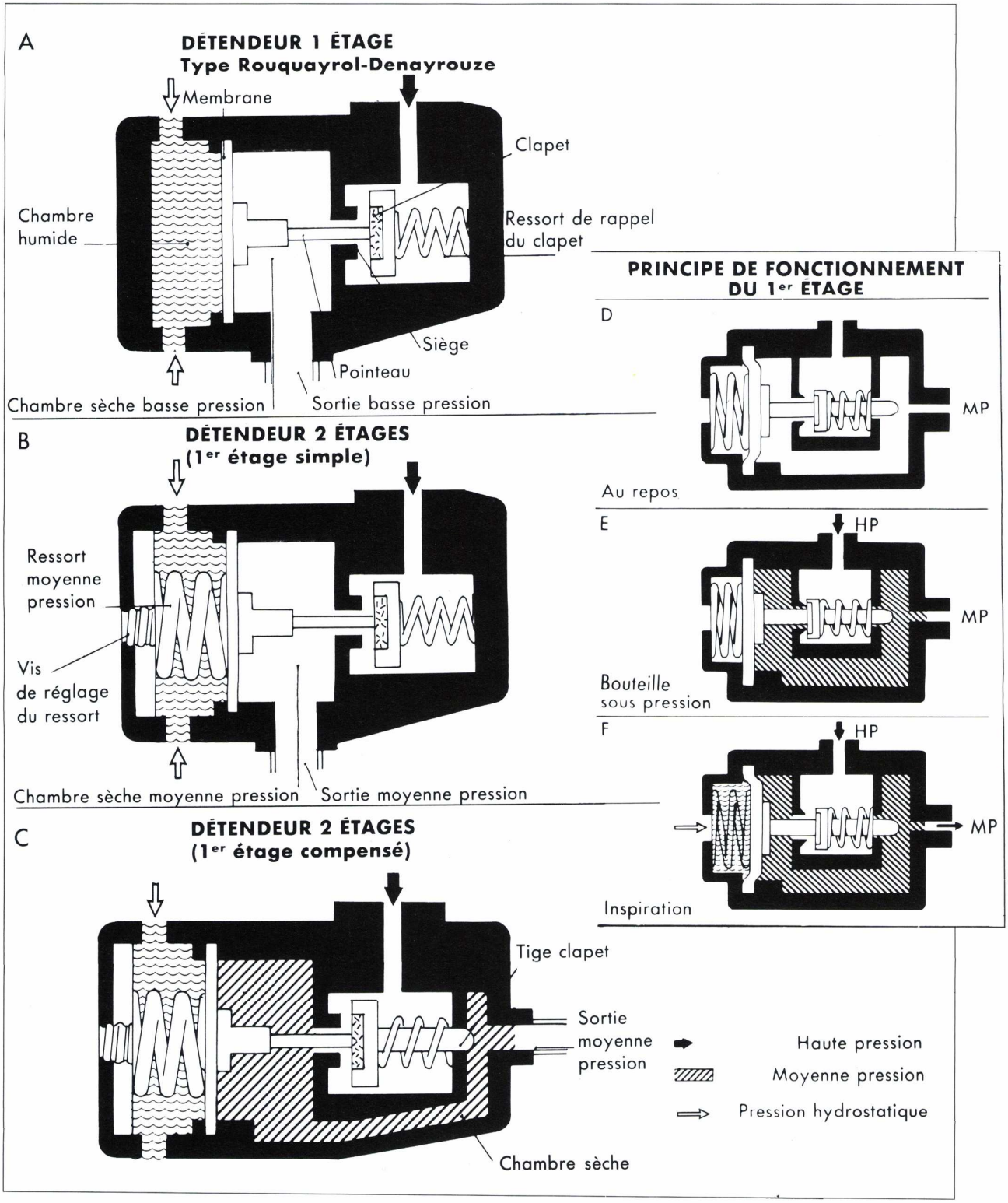
LES PREMIÈRES MACHINES À RESPIRER : DES INVENTIONS FRANÇAISES

En 1865, deux Français, Benoît Rouquayrol et Auguste Denayrouze, inventent un « régulateur » automatique qui délivre de l'air à la pression ambiante et à la demande du plongeur, c'est-à-dire uniquement quand il inspire. Ce premier détendeur était constitué de deux chambres séparées par une membrane souple (schéma A). La chambre humide était en communication avec l'extérieur et donc remplie d'eau. La chambre sèche dite « de basse pression » alimentait l'embout respiratoire du plongeur et était reliée au réservoir d'air par une soupape — c'est-à-dire par un système siège-clapet, le clapet étant une pièce mobile. Le clapet était actionné par une tige, ou pointeau, dont l'extrémité appuyait sur le centre de la membrane. Le principe de fonctionnement qui prévaut encore sur les détendeurs modernes est simple : en inspirant, le plongeur crée une dépression à l'intérieur de la chambre sèche, et la membrane s'incurve, repoussant le clapet. L'air rentre dans la chambre et se détend à la pression ambiante, la membrane souple transmettant directement la pression hydrostatique. L'air expiré est évacué dans le milieu ambiant par l'intermédiaire d'un « bec-de-canard » fixé sur le tuyau buccal. Le détendeur était assujetti à un réservoir porté sur le dos, mais encore alimenté depuis la surface par de l'air comprimé à 30 bars, pression que pouvaient supporter les réservoirs de l'époque.

Presque soixante-dix années passèrent avant que ne vît le jour le premier scaphandre véritablement autonome, réalisé en 1933 par un autre Français, Yves Le Prieur. Il était constitué d'une bouteille d'air comprimé à 150 bars et d'un détendeur relié à un masque respiratoire par un tuyau souple. Ce détendeur ne reprenait pas les avantages de celui mis au point par Rouquayrol et Denayrouze, à savoir le débit d'air à la demande et l'évacuation de l'air expiré par un bec-de-canard. Il fournissait de l'air en débit continu, d'où une surconsommation, et nécessitait l'assistance du plongeur pour appuyer sur le pointeau afin de vaincre la pression de l'air dans la bouteille.

En 1937, un autre Français, Georges Commeinhes, « réinvente » le détendeur de Rouquayrol et Denayrouze et le perfectionne en le miniaturisant. Sur le même principe, Jacques-Yves Cousteau et Émile Gagnan élaborèrent dès 1942 le CG 45, détendeur à deux étages dans lequel l'air haute pression est détendu d'abord dans une chambre moyenne pression, puis dans une chambre basse pression. L'appareil est fixé sur la robinetterie de la bouteille à hauteur du centre de gravité des poumons. Deux tuyaux annelés, l'un servant à l'inspiration et l'autre à l'expiration, relient le boîtier à l'embout buccal. En 1963, la Spirotechnique commercialise le fameux « Mistral », détendeur à un seul étage. L'ouverture et la fermeture du clapet sont toujours commandées par les mouvements de la membrane, et un système de leviers démultiplicateurs aide au décollement du clapet avec une différence de pression minime de l'ordre de 5 millibars.




A
DÉTENDEUR 1 ÉTAGE
Type Rouquayrol-Denayrouze
Membrane
Clapet
Chambre humide
Ressort de rappel du clapet
Siège
Pointeau
Chambre sèche basse pression
Sortie basse pression
B
DÉTENDEUR 2 ÉTAGES
(1er étage simple)
Ressort moyenne pression
Vis de réglage du ressort
Chambre sèche moyenne pression
Sortie moyenne pression
C
DÉTENDEUR 2 ÉTAGES
(1er étage compensé)
Tige clapet
Sortie moyenne pression
Chambre sèche
PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU 1er ÉTAGE
D
MP
Au repos
E
HP
MP
Bouteille sous pression
F
HP
MP
Inspiration
Haute pression
Moyenne pression
Pression hydrostatique

Montons ce détendeur sur une bouteille et ouvrons-la : la haute pression est détendue en moyenne pression qui repousse la membrane, et le clapet aidé par son propre ressort, vient obturer le siège (schéma E). Le débit d'air est alors arrêté. Lorsque le plongeur inspire, il provoque une dépression dans la chambre sèche (schéma F). La force du ressort à laquelle s'ajoute la pression ambiante, a pour effet d'incurver la membrane et donc de repousser le clapet : l'air haute pression est alors détendu en moyenne pression qui amorce le débit.

Le mécanisme à membrane peut être remplacé par un mécanisme à piston qui assure, selon le même principe, la détente de l'air en moyenne pression. Avec un premier étage à membrane ou à clapet-piston, ces détendeurs sont caractérisés par le fait que la moyenne pression varie au cours de la plongée. La haute pression influe ici directement sur le déplacement du clapet : lorsqu'elle chute du fait de la consommation du plongeur, la moyenne pression baisse, et la « souplesse » du premier étage diminue. Pour remédier à cet inconvénient, les constructeurs ont perfectionné le premier étage en rendant le déplacement du clapet indépendant de la haute pression.

Reprenons notre premier étage « classique » à membrane et remplaçons le simple clapet maintenu par le ressort de rappel par un clapet prolongé d'une tige au diamètre égal à celui du siège (schéma C). Le ressort de rappel peut être enfilé autour de la tige pour assurer la même fonction. Construisons maintenant une seconde chambre moyenne pression en « isolant » la tige-clapet à l'intérieur d'un

(Schémas ci-contre.) Le principe du détendeur est basé sur l'utilisation d'une membrane déformable qui permet de détendre l'air respiré à la pression ambiante et d'un système siège-clapet assujetti au rythme respiratoire du plongeur et délivrant l'air « à la demande ». Le premier étage du détendeur transforme la haute pression de la bouteille en moyenne pression et le second étage fournit au plongeur l'air à basse pression égale à la pression ambiante.

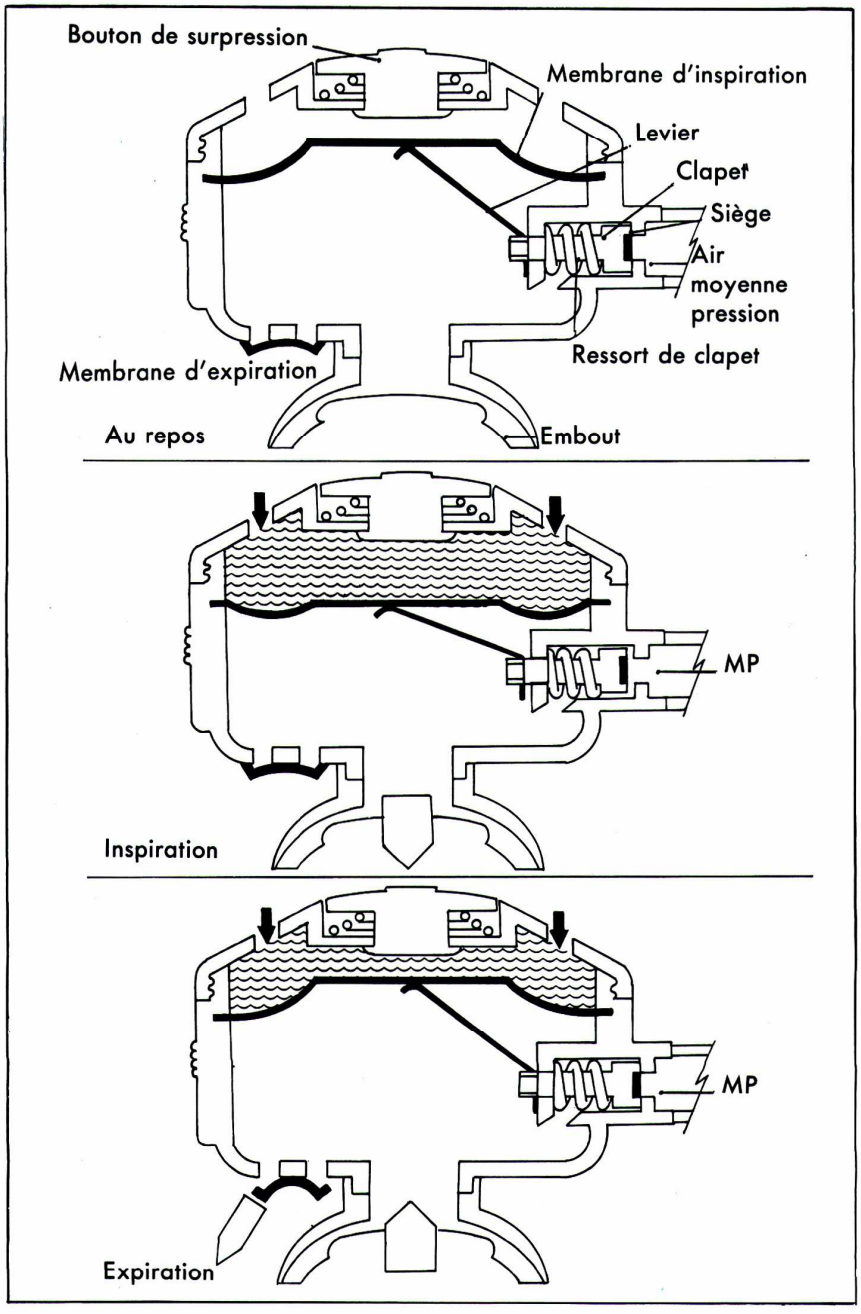
(Ci-dessous.) Selon le même principe que le premier étage, le second étage détend l'air moyenne pression à la pression ambiante permettant au plongeur de respirer en équipression.



MOYENNE PRESSION

Selon les modèles de détendeur, la première détente fournit une moyenne pression supérieure à la pression ambiante de 8 à 13 bars. La moyenne pression est toujours exprimée relativement à la pression ambiante : par exemple, si la moyenne pression d'un détendeur est de 10 bars, la moyenne pression en surface sera de 11 bars. À 30 m, la moyenne pression sera de 10 + 4 = 14 bars.

compartiment qui reçoit la haute pression. L'extrémité de la tige débouche dans cette seconde chambre qui reste en relation avec la première. On constate que les surfaces encore soumises à la haute pression sont toutes symétriques : les forces créées par la haute pression s'annulent systématiquement. Les variations de la haute pression liées à la consommation du plongeur sont alors sans effet sur



Le second étage de détente fonctionne à l'identique du premier. On retrouve une grande membrane « pilotée » par la pression ambiante et le système siège-clapet délivrant l'air à chaque inspiration du plongeur. La petite membrane permet l'évacuation de l'air expiré lorsque le clapet est refermé.

le déplacement du clapet. Le premier étage est dit *compensé*. La compensation peut s'appliquer, selon le même principe, aux premiers étages équipés d'un mécanisme à piston, moyennant quelques adaptations techniques.

Le second étage

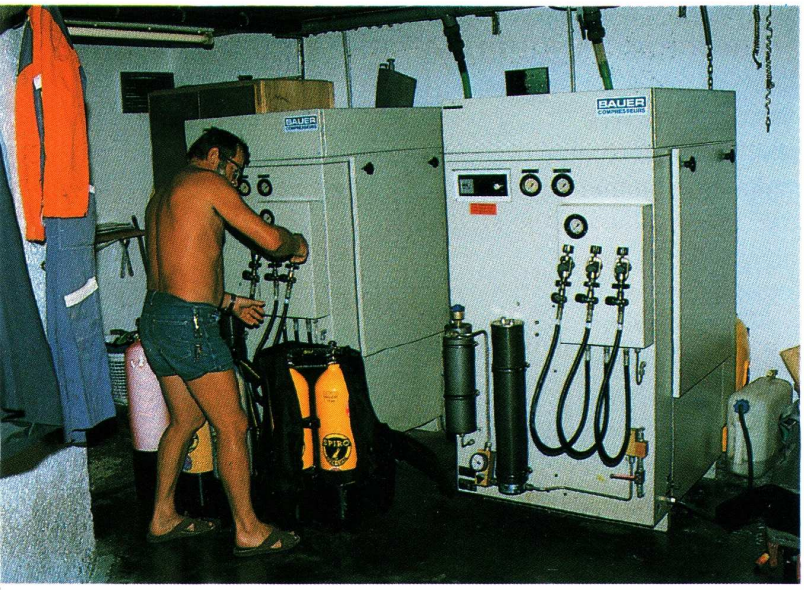
Le rôle du second étage est de détendre, à la demande de l'utilisateur, l'air moyenne pression débité par le premier étage, en air à la pression ambiante. Le principe de fonctionnement du second étage est tout à fait semblable à celui des anciens détendeurs à un étage. Nous retrouvons une chambre humide en contact avec l'eau séparée d'une chambre sèche par une membrane souple. L'air arrivant par le tuyau moyenne pression est arrêté par une tige-clapet repoussée contre le siège par un ressort. L'extrémité de la tige est reliée à un levier assujetti à la membrane. À l'inspiration, la dépression provoquée dans le boîtier, aidée par la pression ambiante, déprime la membrane vers le bas. En agissant sur le levier, le ressort est comprimé, le clapet s'ouvre, et le plongeur est alimenté en air. À l'expiration, le clapet se ferme, et l'air expiré sort en décollant la petite membrane d'expiration fixée sur la chambre sèche.

Ce système simple nécessite un ressort de rappel pour ramener le clapet sur le siège en s'opposant à la force de la moyenne pression. D'où un effort inspiratoire fonction de la dureté de ce ressort qui peut être réglé manuellement sur certains modèles. Comme pour le premier étage, un certain nombre d'améliorations visant à augmenter le confort respiratoire ont été apportées. Une première amélioration consiste à rendre la translation du clapet indépendante de la moyenne pression. Le ressort n'a plus à résister contre la moyenne pression. Il ne sert plus, au repos, qu'à plaquer le clapet sur le siège, et son tarage peut donc être faible. C'est le principe du clapet autocompensé ou du clapet à buse mobile. Une deuxième amélioration vise à utiliser au mieux deux propriétés intéressantes de la mécanique des fluides : l'effet Venturi et l'effet de trompe. On réduit la section d'arrivée d'air, ce qui augmente sa vitesse (effet Venturi). À l'aval de ce jet dirigé vers l'embout, les molécules d'air sont entraînées (effet de trompe), et une dépression se crée faisant s'abaisser la membrane du détendeur : l'air fuse et « gave » le plongeur. Cette dépression peut être réglée à l'aide d'un volet commandé par le plongeur. Une troisième amélioration concerne l'augmentation du confort expiratoire par surdimensionnement de la membrane d'expiration ou par adjonction d'une membrane supplémentaire.

LES COMPRESSEURS

L'autonomie du plongeur est en partie fonction de la provision d'air qu'il emporte. Nous savons, en application de la loi de Boyle et Mariotte, que le volume de cette réserve — détendu à la pression ambiante — sera d'autant plus grand que la pression de chargement des bouteilles sera élevée. Les premiers scaphandres n'avaient qu'une autonomie limitée, car les enceintes existantes ne supportaient pas de pressions élevées (30 bars pour le scaphandre de Denayrouze et Rouquayrol) et il n'existait pas à cette époque de « pompe » capable de comprimer l'air à forte pression. Le premier compresseur haute pression, mis au point pour propulser des torpilles à air comprimé, ne fut construit que dans les années 1880. Les progrès techniques ont permis par la suite de fabriquer des compresseurs adaptés à la plongée délivrant une haute pression de l'ordre de 200 bars et un air pur exempt de tout gaz toxique.

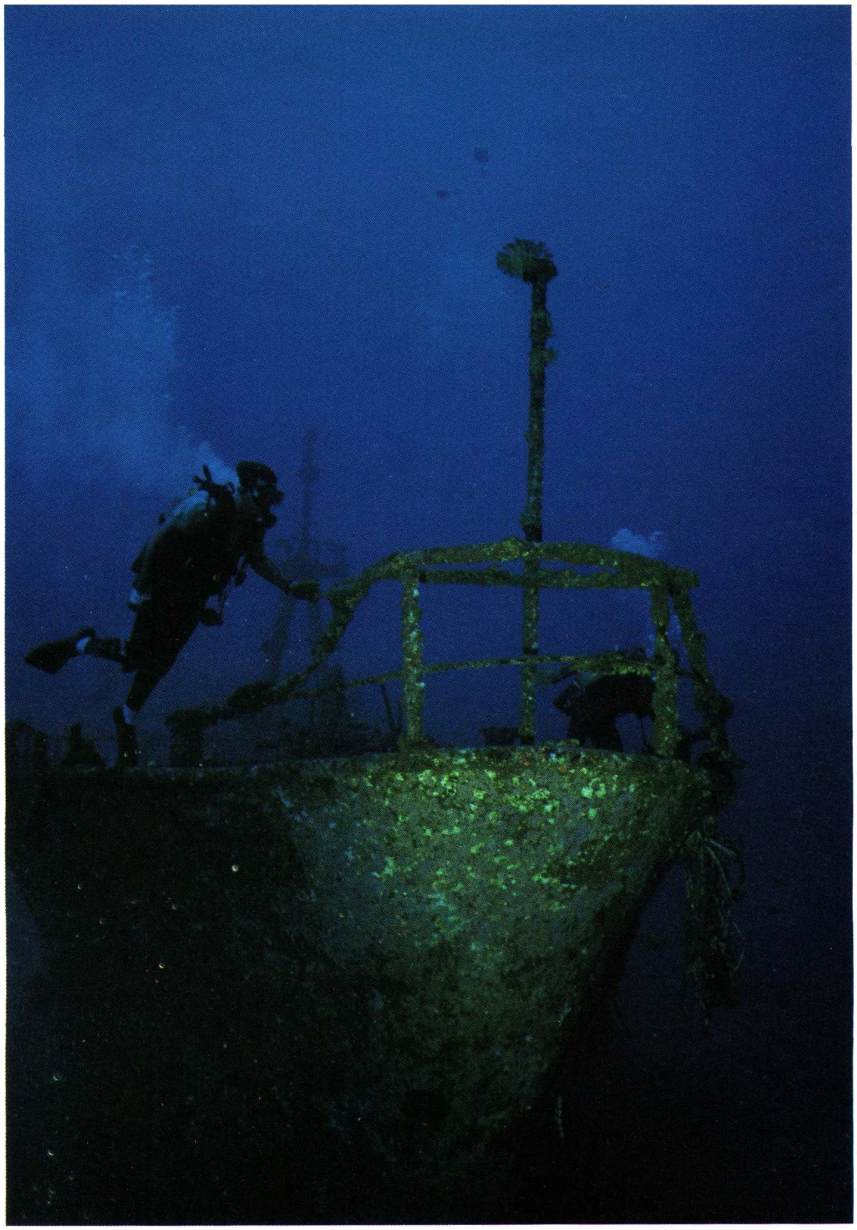
(Ci-dessous.) Les compresseurs aspirent l'air atmosphérique et le compriment progressivement jusqu'à 200 bars pour le contenir dans le volume réduit des bouteilles de plongée et fournir une autonomie suffisante.
(À droite.) Les compresseurs comportent divers systèmes de filtration pour délivrer un air exempt d'impuretés et de gaz toxiques. Cette précaution est indispensable en plongée profonde pour prévenir les risques dus à l'absorption de gaz toxiques (La Réunion, 50 m).



De l'air à haute pression

Le principe est de comprimer l'air dans des cylindres grâce à des pistons entraînés par un moteur électrique ou à essence. La compression se fait par étages, d'abord dans un premier cylindre jusqu'à une pression d'environ 5 bars, puis dans un deuxième cylindre où la pression atteint de 15 à 25 bars, enfin dans un troisième étage (80 bars), et un quatrième d'où l'air sort à la pression de service (200 bars et plus). Chaque étage de compression est équipé d'une soupape de surpression pour éviter le dépassement accidentel de la pression nominale de l'étage considéré. Comprimer de l'air à haute pression provoque son échauffement, ce que l'on constate en touchant une bouteille après son gonflage.

Entre chaque étage, le refroidissement de l'air s'effectue par l'intermédiaire d'un ventilateur à air ou d'un radiateur par circulation d'eau. Les pressions des différents étages sont contrôlées par des manomètres. Le débit du compresseur, exprimé en mètre cubes d'air comprimé par heure d'utilisation, est choisi en fonction du parc de bouteilles à gonfler et du temps de gonflage souhaité. Selon les modèles, les débits varient entre 5 m^3/h et 100 m^3/h.



De l'air pur

L'air inspiré puis comprimé doit être soigneusement épuré pour être débarrassé des impuretés et des gaz toxiques et donner un air inodore et sans saveur. La première opération consiste à disposer la prise d'air dans un site exempt de toute source polluante (gaz d'échappement de véhicules, par exemple). Elle est généralement placée en hauteur dans un endroit bien ventilé. Dès l'aspiration, l'air subit un préfiltrage pour retenir les poussières. Des filtres intermédiaires placés entre chaque étage éliminent l'eau formée par condensation lors de la compression de l'air. À la sortie du dernier étage est monté un séparateur d'eau et d'huile qui s'y condensent. Dernière étape : l'air est épuré par un filtre à charbon activé qui élimine les particules d'huile résiduelles à l'état de vapeur.

GONFLER UNE BOUTEILLE

Contrôler les niveaux d'huile et d'eau, la prise d'air et les sorties (en position ouverte) du compresseur.
Après le démarrage, vérifier la montée régulière en pression.
Vérifier le bon état général de la bouteille, la date d'épreuve et celle de l'examen de contrôle visuel et sa pression de service.
Faire fuser l'air de la bouteille et raccorder la bouteille, réserve basse, sur le flexible de sortie haute pression du compresseur, vanne et purges fermées.
Ouvrir le robinet de conservation de la bouteille. Attendre la montée en pression du compresseur et gonfler à la pression de service en ouvrant la vanne.
Fermer le robinet de la bouteille et la vanne d'admission de l'air, purger, dégréer la bouteille et mettre la réserve en position haute.
Pendant le chargement, purger fréquemment les décanteurs et filtres et ne jamais dépasser la pression de service.



BULLES



Pré-en-bulles

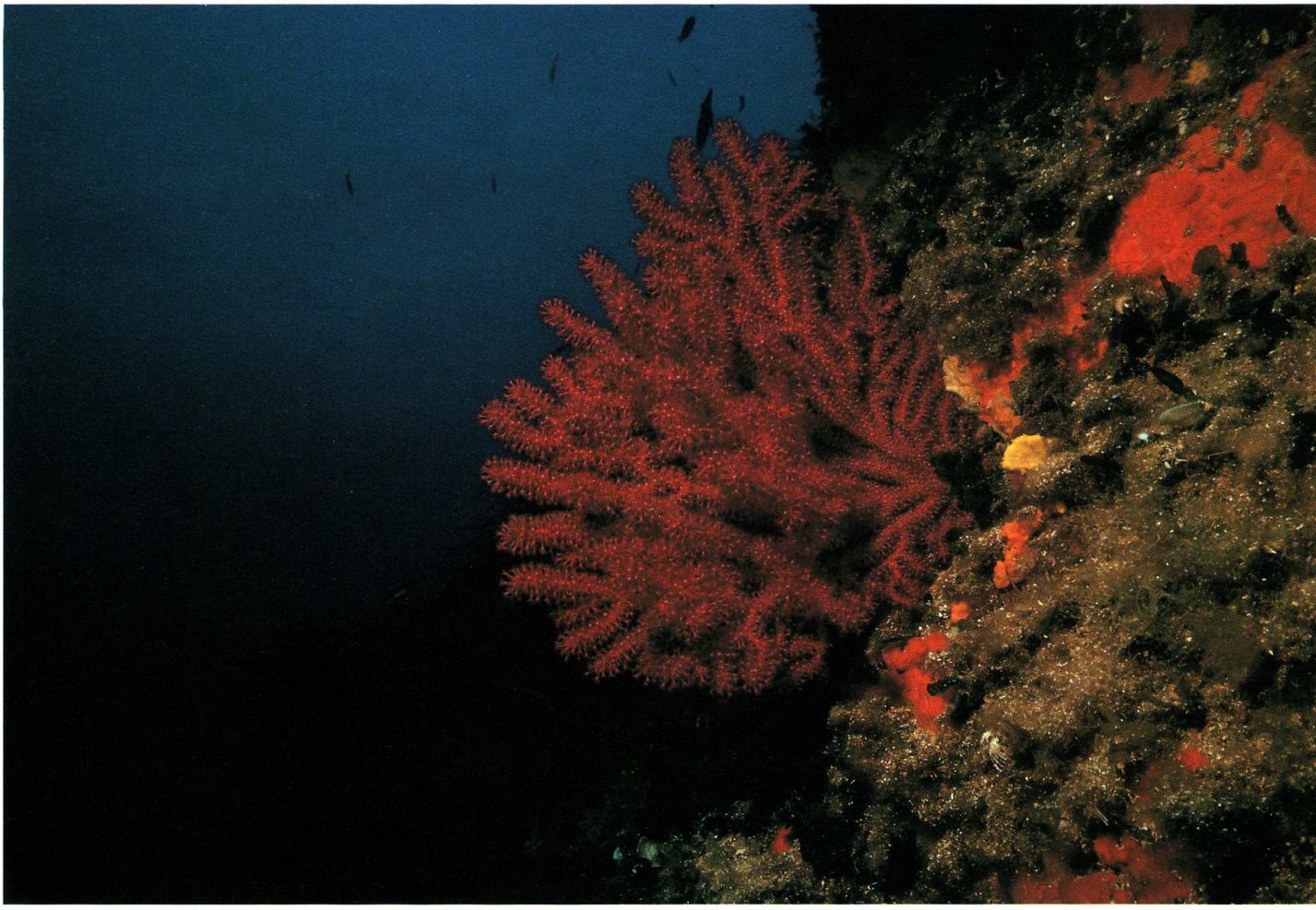
WILLIAM, PAUL ET JOHN

Nous avons signalé que les gaz sous pression se dissolvent au contact des liquides ou des tissus du corps humain. William Henry, physicien anglais, montra que la *quantité de gaz dissous dans un liquide est proportionnelle à la pression exercée par ce gaz.* L'air n'échappe pas à cette loi. En plongée, la *pression partielle* de ses composants, oxygène et azote, augmente proportionnellement à la profondeur atteinte. L'oxygène fourni par la respiration est consommé par l'organisme.

Ce n'est pas le cas de l'azote, gaz inerte sans rôle actif dans le processus de respiration. Sous pression, le plongeur accumule progressivement l'azote. À la remontée, pour retrouver son état initial, il doit perdre de l'azote sous forme de gaz dissous et non de bulles. Sous certaines conditions, l'organisme n'est plus capable d'éliminer l'azote excédentaire par le seul jeu de la respiration. Paul Bert, physiologiste français du milieu du XIX^{e} siècle, découvrit que la formation de bulles d'azote bloquant la circulation sanguine était à l'origine des « bends » dont souffraient les scaphandriers lourds. Il préconisa une remontée lente permettant une décompression, ce qui permit de réduire la fréquence des accidents. En 1907, un physiologiste britannique, John Haldane, élabora les premières tables de plongée fixant la durée des paliers que devaient observer les plongeurs de la Royal Navy au cours de la remontée.

LE PLONGEUR DANS TOUS SES ÉTATS

La loi de Henry se vérifie lorsque la température est constante et que le gaz est à saturation. Pour être comparable avec la pression exercée par le gaz libre, la quantité de gaz dissous dans un liquide est convertie en termes de pression, appelée *tension.* En surface et avant la plongée, le corps du plongeur ne peut pas dissoudre plus d'azote qu'il n'en contient à la pression du niveau de la mer [1 bar]. La tension d'azote dissous dans l'organisme est alors égale à la pression partielle d'azote de l'air ambiant [0,8 bar] : le plongeur est en *saturation.* Partant de cet équilibre, lorsque le plon-



Les plongeurs entraînés accèdent à de plus grandes profondeurs leur permettant d'explorer les tombants colonisés par la grande gorgone rouge (Paramuricea clavata) *(Port-Cros, 32 m).*

geur s'immerge, la pression partielle de l'azote augmente, et son corps recommence à dissoudre de l'azote pour tendre vers un nouvel équilibre. La tension d'azote dissous dans l'organisme est alors inférieure à la pression partielle d'azote : le plongeur est en *sous-saturation*. Lorsqu'il remonte, après une plongée à faible profondeur et de courte durée, la pression partielle diminue et devient inférieure à la tension d'azote dans l'organisme : il est en *sursaturation*. Il peut remonter directement en surface tant que le rapport entre sa tension en azote et la pression ambiante ne dépasse pas un certain seuil appelé *sursaturation critique*. Que se passe-t-il s'il décide d'effectuer une plongée profonde et/ou de longue durée ? Le corps va emmagasiner plus d'azote, car la dissolution du gaz est proportionnelle au temps d'exposition (la durée de la plongée), et à la pression ambiante (la profondeur d'immersion). Si la charge d'azote est trop importante, lors de la remontée, ce seuil peut être

COMPARTIMENT SOUS TENSION

Considérons un compartiment de période 20 min soumis à une pression correspondant à une plongée à 30 m. La quantité maximale d'azote qu'il peut « emmagasiner » ne peut dépasser la pression partielle d'azote à 30 m. Cette valeur, ou *tension finale*, sera égale à 3,2 bars [4 × 0,8]. La tension initiale du tissu étant de 0,8 bar, la quantité théorique d'azote que ce compartiment peut dissoudre, ou *gradient*, équivaut à une tension de 2,4 bars [3,2 − 0,8]. Au bout de 20 min, temps correspondant à la période du compartiment, celui-ci aura dissous la moitié du gradient initial (1,2 bar). La tension sera de 2 bars (0,8 +1,2).
Au bout de 40 min, soit deux périodes, la tension sera 2 + (3,2 − 2)/2 = 2,6 bars.
Au bout de 60 min, soit trois périodes, sa tension sera 2,6 +(3,2 − 2,6) /2 = 2,9 bars.

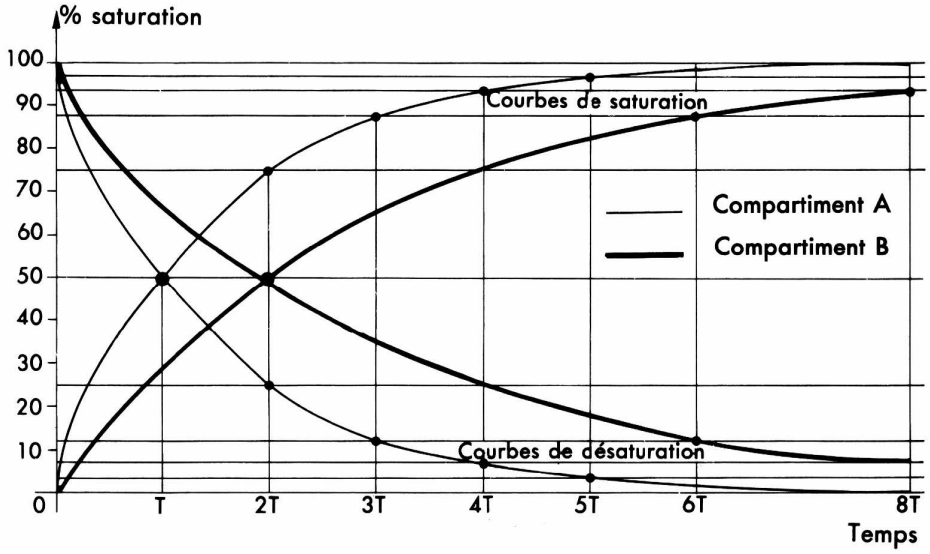
Pour un gaz identique, des « compartiments » différents vont saturer et désaturer à des vitesses différentes. Il faut deux fois moins de temps au compartiment A (période T) pour dissoudre 50 % du gaz en présence que le compartiment B (période 2T). En testant expérimentalement la dissolution de l'azote dans des compartiments de différentes périodes, on simule les réactions de l'organisme sous pression.

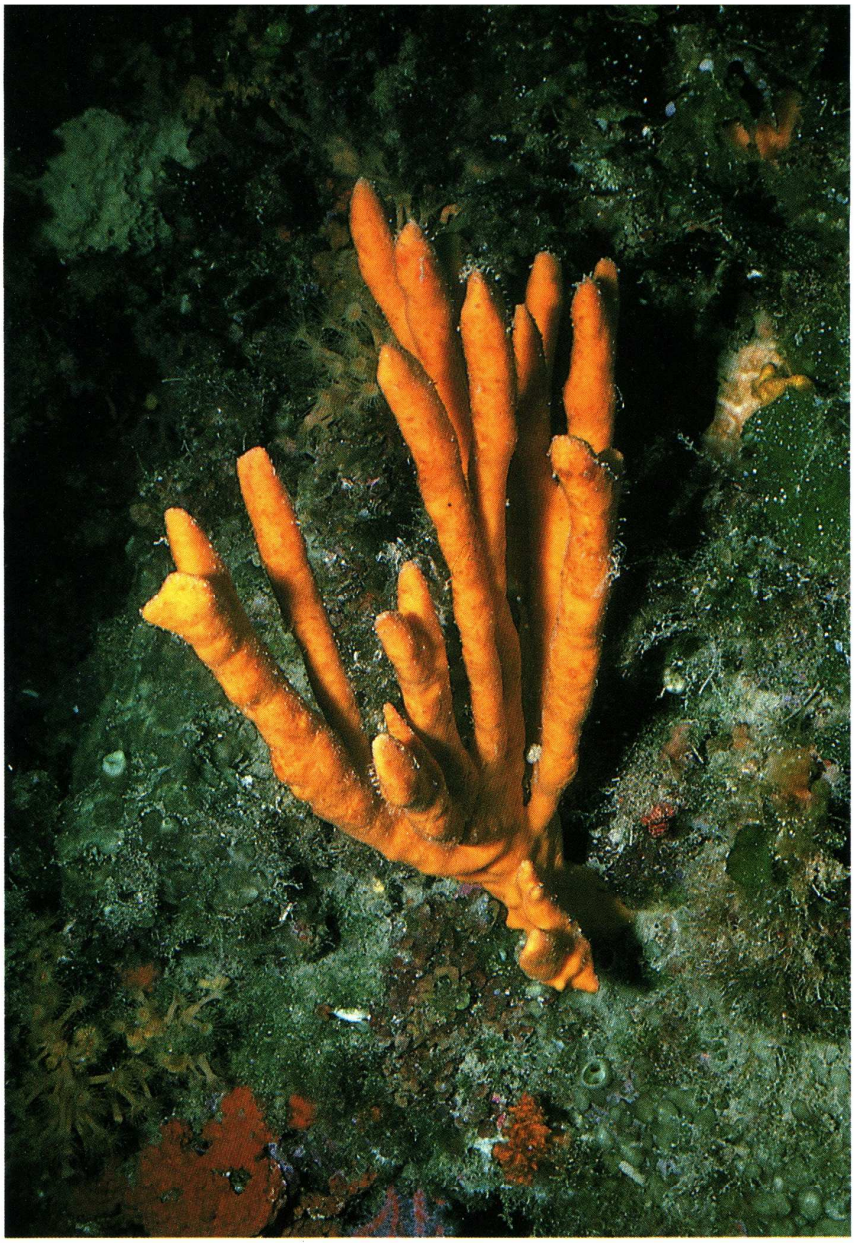
dépassé : il y a alors dégazage d'azote dans l'organisme et donc risque d'accident de décompression. Pour l'éviter, le plongeur va marquer un arrêt à profondeur constante appelé *palier* et s'y maintenir jusqu'à ce qu'il ait éliminé assez d'azote pour retourner en deçà du seuil de sursaturation critique.

MONTÉE PAR PALIERS

Les tables de plongée fournissent à la palanquée les paramètres de la *décompression* indispensables pour ne pas dépasser la sursaturation critique. Avant d'utiliser ces tables, il importe de comprendre les grands mécanismes de la dissolution de l'azote dans l'organisme.

La saturation et la désaturation de tous les gaz, comme l'azote, suivent une fonction exponentielle du temps. Pour pouvoir étudier les phénomènes de dissolution et d'élimination de l'azote dans le corps humain, Haldane considéra l'organisme sous un angle fonctionnel et le divisa en différents *compartiments* distincts des organes ou des tissus anatomiques. Soumis à l'azote sous pression, ces compartiments se saturent, mais avec des vitesses différentes. Les courbes exponentielles propres à chaque compartiment permettent de définir des situations particulières de « diffusion » de l'azote. Première caractéristique d'un compartiment : sa *période*, c'est-à-dire le temps que met un liquide pour dissoudre une quantité d'azote égale à la moitié de la quantité qu'il pourrait dissoudre à saturation, pour une pression donnée. En plongée sportive, on distingue





Cette axinelle commune (Axinella polypoides) *est une éponge apparaissant dès 15 m dans toutes les zones rocheuses de la Méditerranée (Cap Creus, 20 m).*

des compartiments à période courte (de 5 à 15 min) et des compartiments à période moyenne ou longue (de 20 à 120 min et plus). Seconde caractéristique : son coefficient de sursaturation critique qui est égal au rapport entre sa tension d'azote et la pression ambiante. Il est déterminé expérimentalement et varie entre 1,5 pour les compartiments longs et 2,7 pour les compartiments courts. Les réactions à la pression de l'organisme du plongeur sont simulées par un ensemble de compartiments de périodes différentes qui sont pris en compte pour l'élaboration des tables de plongée. Lorsque l'un des compartiments atteint son coefficient de sursaturation critique, un palier est nécessaire jusqu'à la chute de tension autorisant la remontée au palier suivant ou à la surface. Le ou les compartiments qui imposent un palier sont appelés *compartiments directeurs*.

SURSATURATION CRITIQUE

Peut-on ramener directement ce compartiment en surface sans risque de lésion ? Cela suppose deux conditions : le respect d'une certaine vitesse de remontée et, le cas échéant, d'un palier pour qu'il n'y ait pas dépassement de la sursaturation critique. La tension en azote de ce compartiment est de 2,6 bars au bout de 40 min de plongée. Son coefficient de sursaturation critique est 2,04, ce qui veut dire qu'il peut accepter sans dégazage une tension d'azote égale à 2,04 fois la pression ambiante. La pression ambiante à laquelle on peut le ramener sans risque d'accident est égale à 1,3 bar [2,6/2,04]. Cette pression absolue correspond à une profondeur de 3 m à laquelle le plongeur devra marquer un palier avant de refaire surface.

IL Y A TABLE ET TABLES

Toutes les tables modernes calculées et validées expérimentalement permettent de déterminer, en toute sécurité, les procédures de décompression des plongées sportives. Si l'on compare les courbes de sécurité de tables et d'ordinateurs couramment utilisés, on constate que certaines, pour une même profondeur, sont moins « sévères » en autorisant des durées sans palier plus longues. À titre d'exemple, pour une immersion à 30 mètres, les durées sans palier varient, selon les tables, entre 9 min et 25 min. Quelle que soit la table utilisée, le plongeur veillera à respecter scrupuleusement les indications fournies : vitesse de remontée, profondeur et durée des paliers, corrections pour les plongées successives et procédures à adopter en cas d'incidents.

Cartes sur tables

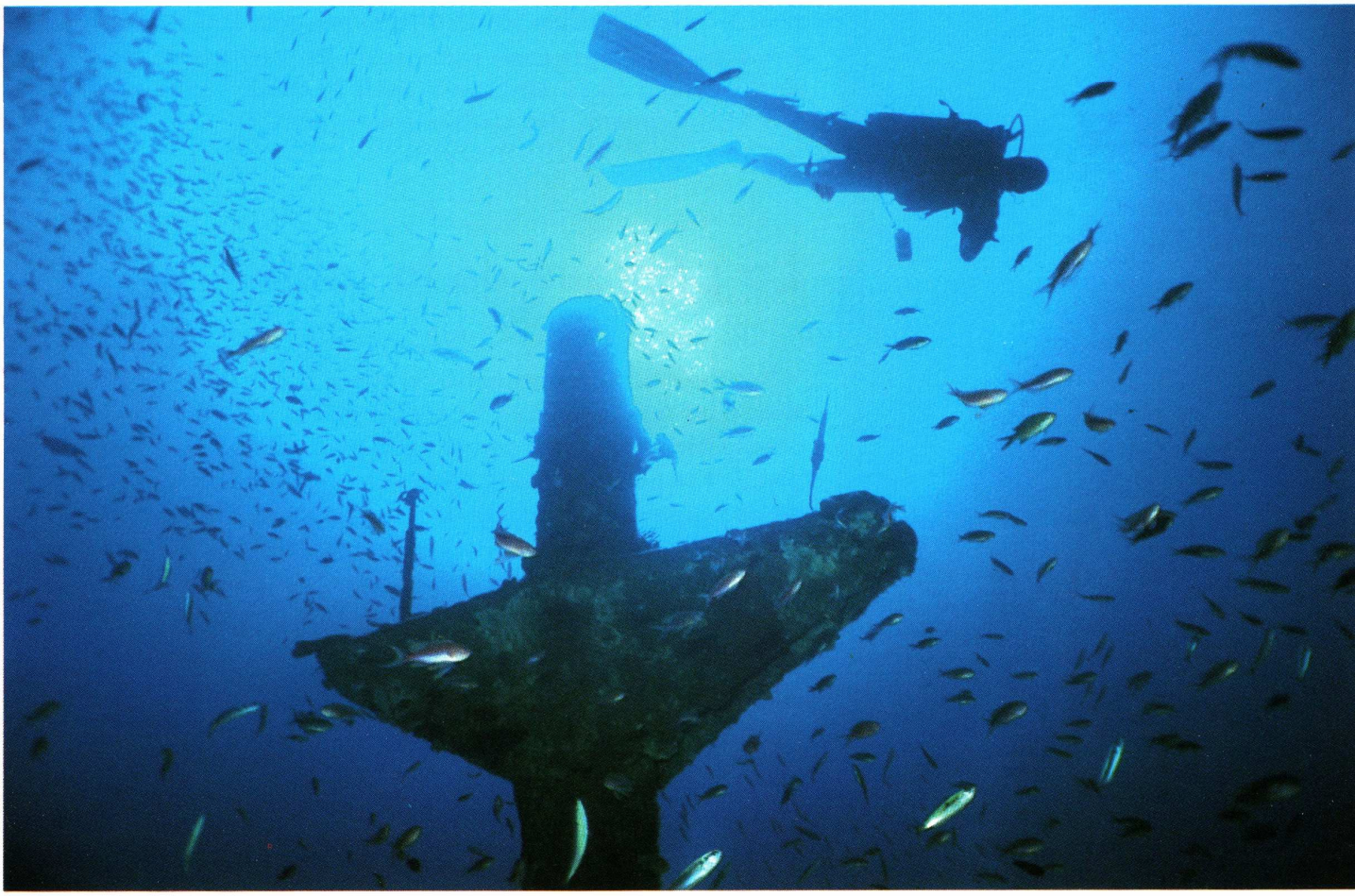
LES PRINCIPES D'ÉLABORATION

L'élaboration d'une table de plongée est fondée sur les lois mathématiques régissant les échanges gazeux et le choix de paramètres tels que les périodes des compartiments et les gradients admissibles de saturation. La table est calculée à partir de ces paramètres permettant d'approcher au mieux la réalité. Mais l'organisme n'est « modélisable » que jusqu'à une certaine limite. Il est difficile de reproduire les réactions des compartiments de l'organisme et de connaître leurs périodes réelles qui dépendent du débit sanguin, de la vitesse circulatoire, de l'état des circulations locales, eux-mêmes sous l'influence de l'effort effectué. En pratique, la table est mise à l'épreuve sur une population homogène de plongeurs. La qualité de la table est estimée à partir des impressions subjectives, des signes cliniques, des modifications biologiques et, aujourd'hui, en utilisant la détection des bulles circulantes. Ainsi ont été calculées et validées la plupart des tables utilisées d'abord en plongée militaire, puis adoptées en plongée sportive, comme les tables de l'US Navy ou celles de la Marine nationale élaborées en 1965 (GERS 65), puis modifiées en 1990 (MN 90).

LES DONNÉES FOURNIES AU PLONGEUR

Les tables classiques sont conçues pour des plongées « à niveau constant », le plongeur évoluant théoriquement à la même profondeur. Premier paramètre pour le calcul de la décompression : la *profondeur maximale de la plongée*, même si le plongeur n'y a effectué qu'une partie de son incursion. Second paramètre : la *durée de la plongée*, qui est le temps écoulé entre l'immersion du plongeur et le moment où il quitte le fond à la vitesse préconisée par la table. Toutes les tables de plongée donnent les valeurs des couples profondeur/durée pour lesquelles il y a nécessité d'effectuer une procédure de décompression, les paliers, qui sont caractérisés par leur profondeur et par leur durée.

Elles fournissent au plongeur la *tension de l'azote résiduel* (TAR) après une première plongée. Lorsque l'on plonge une seconde fois



Le plongeur doit s'astreindre à respecter la vitesse de remontée préconisée par les tables de plongée et effectuer les paliers de décompression pour éliminer lentement l'azote en excédent dans l'organisme (Port-Cros, épave du Donator, 35 m).

dans la journée, il est en effet indispensable de tenir compte de l'azote emmagasiné dans l'organisme et non encore éliminé. Les tables permettent de calculer la procédure de décompression pour une plongée successive. Toutes les tables actuelles ne permettent que deux plongées par tranche de 24 heures.

CARTE D'IDENTITÉ DES TABLES

Chaque table possède ses caractéristiques particulières en fonction des paramètres choisis pour son élaboration : nombre des compartiments (jusqu'à 16) et périodes (de 5 min à 480 min), validation expérimentale ou statistique, table conçue pour la plongée loisir ou le travail au fond. Chaque table de plongée possède une carte d'identité propre : la *courbe de sécurité* et la *vitesse de remontée*. Les tables préconisent des vitesses de remontée plus ou moins lentes : 10 m/min



Le guide de palanquée planifie la plongée avant l'immersion et peut éventuellement vérifier les procédures de décompression grâce à des tables immergeables (Port-Cros, 6 m).

pour la table Bülhmann, de 15 à 18 m/min pour la plupart des tables. Les vitesses peuvent aussi varier selon les tranches de profondeur, de 9 m/min à 15 m/min pour la table COMEX 91 qui est destinée aux professionnels des travaux sous-marins.

La pratique de la table

Nous allons voir comment déterminer la *procédure de décompression*, pour une première plongée en mer et pour une plongée successive ainsi que dans certains cas particuliers. Le plongeur doit planifier sa plongée avant l'immersion et peut vérifier sa procédure de décompression en cours de plongée grâce à des tables immergeables. Nous utiliserons la table « Marine nationale 90* » qui nécessite une vitesse de remontée comprise entre 15 et 17 m/min. Dans les grandes lignes, toutes les autres tables s'emploient de la même façon.

PREMIÈRE PLONGÉE

Exemple 1 : Décidant de remonter, le plongeur lit sur son chronomètre 14 min 20 s et sur son profondimètre l'indication « profondeur maximale : 30 m ». Toute fraction de temps commencée étant considérée comme une minute entière écoulée, la durée de la plongée est de 15 min. Pour une profondeur de 30 m et une durée de 15 min, la table indique un palier de 1 min à 3 m. La table donne la durée totale de la remontée (3 min) y compris les paliers et, dans la colonne « groupe de plongée successive », la tension de l'azote résiduel (TAR) dans le compartiment de période 120 min, à l'arrivée en surface. Cette tension est exprimée sous forme d'une lettre (ici « E »).

Exemple 2 : Les paramètres de la plongée sont 31 m et 22 min. Ces valeurs n'étant pas dans la table, le plongeur choisit les paramètres immédiatement supérieurs lus sur la table, ce qui lui donne une marge de sécurité : 32 m et 25 min. Il doit donc respecter un palier de 6 min à 3 m, soit une durée totale de remontée de 8 min (TAR : « H »).

* Ces tables figurent en annexe page 272.

PLONGÉE SUCCESSIVE

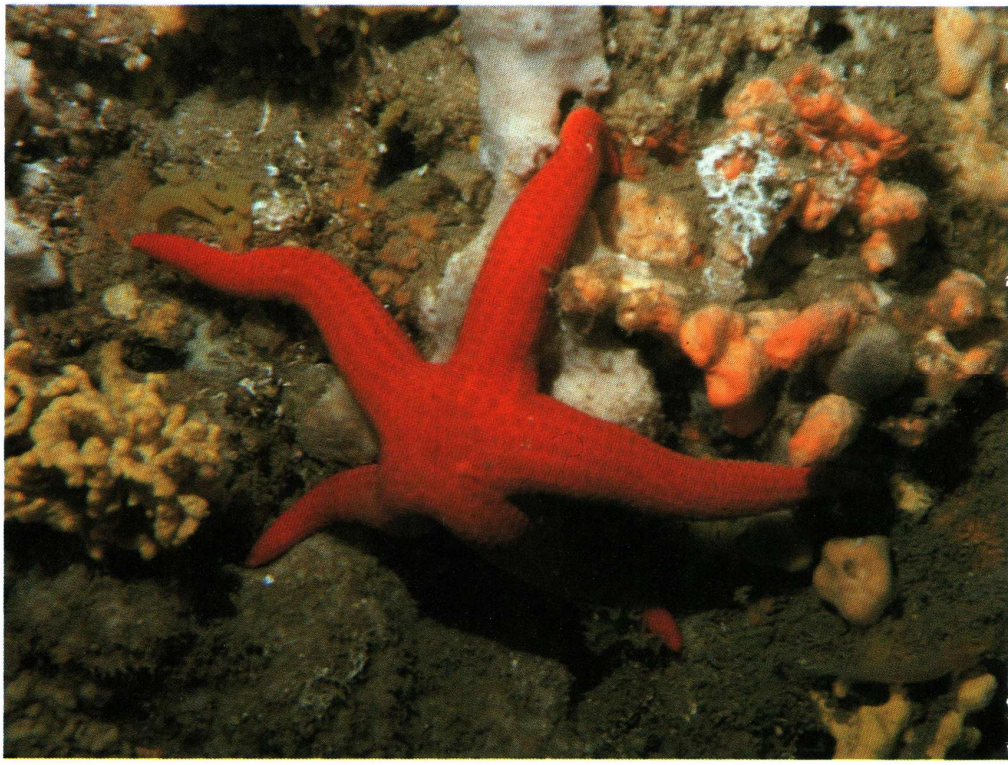
En cas de *plongée successive*, il y a lieu d'utiliser la même table de plongée que pour la première immersion mais en y apportant certaines corrections. La table « MN 90 » considère comme successive toute plongée entreprise après un intervalle de temps en surface compris entre 15 min et 8 h 30 min après la première plongée. Il faut connaître la TAR après la première plongée et sa variation au cours du temps écoulé en surface, appelé *intervalle*, puisque l'azote s'évacue progressivement selon les lois de la désaturation. Le plongeur doit tenir compte de cet « handicap ». Cela revient à savoir le temps qu'il aurait passé à la profondeur de la seconde plongée pour avoir la même quantité d'azote que celle emmagasinée au cours de la première plongée. Ce temps est appelé *majoration*.

Le tableau 1 (page 279) permet de lire la TAR après un intervalle de temps donné. Le tableau 2 donne la majoration en fonction de la TAR au moment de la seconde plongée et de la profondeur atteinte au cours de celle-ci. Le plongeur se sert de la table en simulant une plongée fictive dont la durée serait égale à la somme de la majoration et de la durée réelle de la seconde plongée.



Il n'est pas rare de rencontrer des œufs de roussette (Scyliorhinus canicula) *fixés aux rameaux des gorgones rouges (Port-Cros, 25 m).*

Cette étoile de mer rouge (Hacelia attenuata) *n'apparaît généralement qu'au-delà de 20 m de profondeur. Il ne faut pas la confondre avec* Echinaster sepositus *dont elle se différencie par la forme et les motifs rectangulaires (Cap Creus, 35 m).*



Exemple 1 : Après la plongée de 22 min à 31 m (TAR : « H »), le plongeur souhaite se réimmerger 2 h 30 min plus tard à 25 m pendant 15 min. Pour un intervalle de 2 h 30 min et une TAR « H » de 1,16 bar à l'arrivée en surface de la première plongée, le tableau 1 donne une TAR de 0,95 bar. Dans le tableau 2, si l'on croise cette valeur avec la colonne « 25 m » (profondeur de la seconde plongée), on trouve une majoration de 13 min. La procédure de décompression prendra en compte une plongée fictive de 15 + 13 = 28 min (30 min sur la table), ce qui impose un palier de 2 min à 3 m.
Exemple 2 : Après une première plongée identique (TAR : « H »), les paramètres de la seconde sont : intervalle 1 h 45 min, durée 12 min et profondeur 26 m. L'intervalle 1 h 45 min ne figurant pas dans le tableau 1, on « interpole » toujours dans le sens de la sécurité et on choisit 1 h 30, soit une TAR plus élevée de 1,01 bar, donc un « handicap » plus fort. Pour les mêmes raisons, on choisit dans le tableau 2 la valeur 1,03 bar. La profondeur de 26 m n'existant pas sur le tableau, on lit la majoration avec 28 m, c'est-à-dire la profondeur avec laquelle le plongeur calculera sa décompression. La majoration est de 19 min et la durée fictive de 31 min. Pour une profondeur de 28 m et une durée de 35 min, la table indique un palier de 12 min à 3 m.

PLONGÉE CONSÉCUTIVE

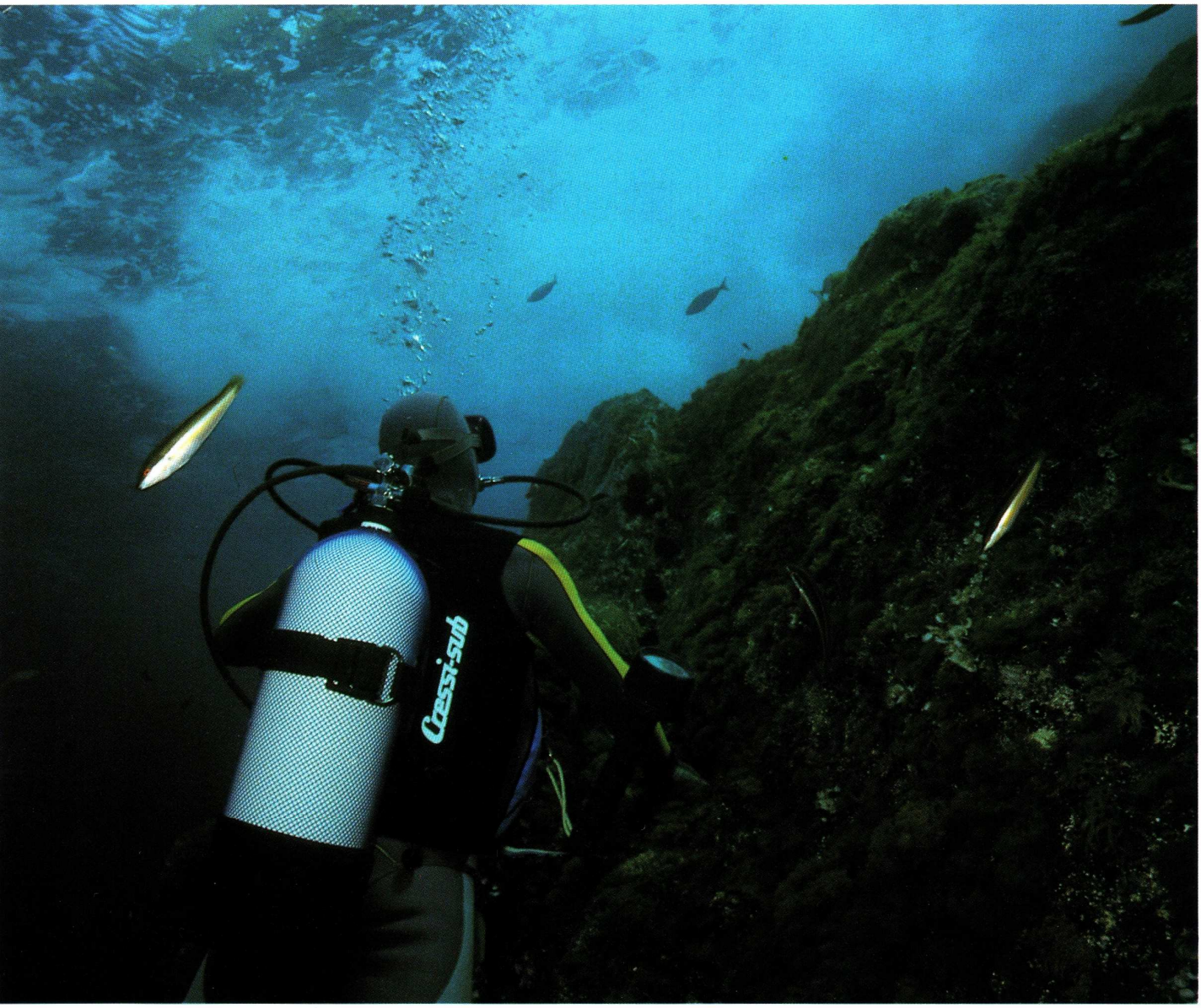
On considère que l'organisme n'a pas le temps de désaturer et que tout se passe comme si on effectuait une seule et même plongée. On entre dans la table la durée totale des deux plongées et la profondeur maximale atteinte. Exemple : si deux plongées se suivant à moins de 15 min ont pour paramètres respectifs : 27 m/23 min et 21 m/15 min, on calcule la décompression de la seconde plongée avec 27 m/38 min, soit un palier de 19 min à 3 m.

PROCÉDURES ANORMALES

Elles concernent les plongées où la vitesse requise par la table n'est pas respectée. C'est le cas de remontées non contrôlées avec le gilet stabilisateur et des remontées en catastrophe. Dans ce cas, il convient de redescendre immédiatement au moins à la moitié de la profondeur atteinte, d'y marquer un palier de 5 min, puis d'effectuer les paliers en considérant la durée totale de la plongée depuis le début de l'immersion jusqu'à la fin du palier de 5 min. Par exemple, après 12 min passées à 31 m, un plongeur en panne d'air regagne la surface en dépassant la vitesse prescrite. Il change de bouteille, redescend à 16 m et, à la fin de son palier de 5 min, son chronomètre indique 21 min. Il calcule sa décompression comme s'il avait passé 21 min à 31 m (palier de 6 min à 3 m). La durée totale de la plongée est lue directement sur le chronomètre, mais attention aux appareils qui se déconnectent automatiquement hors de l'eau ou en surface !

UTILISATION INTERACTIVE DE LA TABLE

Le plongeur peut programmer ses plongées, par exemple la durée maximale des paliers à envisager en fonction de son autonomie, ou l'intervalle de temps nécessaire entre deux plongées pour désaturer son organisme et ne pas avoir besoin d'effectuer de paliers. La table permet cette programmation en modifiant l'ordre d'entrée des paramètres. Application : à l'issue d'une première immersion, un plongeur à l'arrivée en surface a une TAR de 1,16 bar (« H »). Il veut calculer les paramètres d'une seconde plongée à 23 m sans qu'il ait à effectuer de palier. La courbe de sécurité donne 20 min pour 25 m. S'il veut rester 12 min, sa majoration ne doit pas excé-



Souvent, le parcours de la plongée n'est pas effectué à profondeur constante, le profil bathymétrique variant selon le trajet d'exploration. L'ordinateur de plongée intègre à chaque instant le bilan d'azote de l'organisme et permet de calculer la procédure de décompression de ces plongées multimétriques (Port-Cros, 3 m).

der 8 min. Une majoration de 8 min à 25 m correspond à une TAR de 0,89 bar (tableau 2, page 279). Il suffit de lire sur le tableau 1 combien il faut de temps pour réduire la TAR de 1,16 bar à 0,89 bar : il faut 4 h. Le plongeur peut donc programmer sa seconde plongée 4 h après la sortie de la première.

LONG-COURRIER

Les cabines des avions de grande ligne sont en règle générale pressurisées à 0,8 bar. Prendre l'avion dans un délai relativement court après une plongée en mer modifie le rapport entre la TAR et la pression ambiante, puisque celle-ci chute de 1 bar à 0,8 bar. Dans ces conditions, pour éviter tout risque d'accident, la TAR dans le compartiment de période 120 min ne doit en aucun cas dépasser son seuil de sursaturation critique, soit 1,54 bar. Cela revient à dire que la TAR, lorsque l'on monte dans l'avion, ne doit pas être supérieure à 1,23 bar [1,54 × 0,8]. L'utilisation interactive des tables permet de trouver l'intervalle entre la sortie de la dernière plongée et l'heure d'embarquement. Par exemple, si un plongeur émerge avec une TAR de 1,47 bar (groupe de plongée successive « 0 »), le tableau 1 indique qu'il doit attendre au moins 1 h 30 min avant d'embarquer, la TAR n'étant plus que de 1,20 bar. On retiendra qu'il vaut mieux respecter un intervalle de 24 h. Si l'on possède un ordinateur de plongée, on attend que le pictogramme « avion » s'éteigne avant de monter à bord.

PRENDRE DE L'ALTITUDE

Lorsque l'altitude augmente, la pression atmosphérique baisse : elle n'est plus que de 0,8 bar à 2 000 m. Ce changement est à prendre en compte par les plongeurs s'immergeant dans des lacs d'altitude où les tables de plongée établies pour la mer ne « fonctionnent » plus. Rappelons que la tension d'azote d'un compartiment à la sortie de la plongée dépend de la pression atmosphérique du lieu d'émersion puisque son coefficient de sursaturation critique est déterminé. Ainsi le même compartiment qui « sort » sans dommage au niveau de la mer peut être lésé s'il sort à une pression ambiante inférieure. Les tables sont donc corrigées en fonction de ces différences. Sans entrer dans le détail, disons qu'il existe des tables calculées et expérimentées pour ce type de plongée, pour différentes tranches d'altitude (jusqu'à 3 500 m). Les ordinateurs de plongée sont équipés d'un programme « lac » permettant le calcul de la décompression en altitude.

La décompression assistée

LA PLONGÉE MULTIMÉTRIQUE

La manipulation des tables de plongée n'est pas toujours aisée, mais surtout le principe même des tables fondé sur des plongées à niveau constant ne répond pas assez aux besoins du plongeur sportif. Il est en effet rare de passer toute la durée de la plongée à une profondeur uniforme. Très souvent, le plongeur effectue des *plongées multimétriques (multi-level dives)* en modifiant son « profil » bathymétrique lorsqu'il explore un éboulis en pente, remonte en chevrons le long d'un tombant ou même visite une épave dont les parties sont situées à différentes profondeurs. Sachant que les tables « classiques » calculent la décompression pour un séjour à une profondeur constante, on perçoit que le plongeur « multimétrique » est pénalisé puisqu'il ne passe qu'une faible partie de la durée de son immersion à la profondeur maximale. S'il est possible d'intégrer à chaque instant le bilan saturation/désaturation de l'organisme, on conçoit que la plongée puisse durer plus longtemps pour une profondeur maximale identique. Une première réponse a été apportée par la table immergeable PADI 1989 *(the wheel)* qui permet de calculer la procédure de décompression pour une plongée multimétrique « en escalier » avec trois niveaux de profondeur. Mais c'est l'électronique qui apporte une véritable assistance au plongeur par le biais des ordinateurs de plongée, qui calculent la décompression en temps réel.



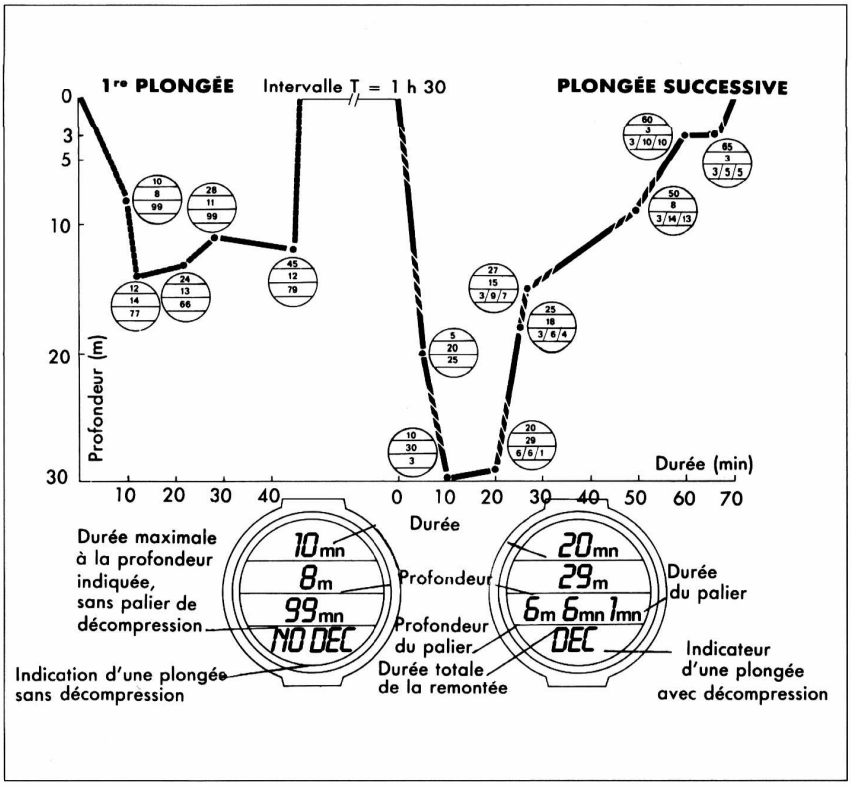
Montre et profondimètre à aiguille ont longtemps été les instruments de base pour mesurer les paramètres de la décompression à partir des tables. Les progrès de l'électronique autorisent une meilleure précision des mesures et une gestion optimisée des procédures de décompression grâce aux ordinateurs de plongée.

LES ORDINATEURS DE PLONGÉE

Dans les années 1960, apparurent aux États-Unis puis en Europe les premiers *décompressimètres* mécaniques. Ils étaient constitués par une porcelaine poreuse laissant diffuser un gaz neutre contenu dans une poche étanche soumise à la pression ambiante. L'appareil était censé simuler le compartiment le plus long de l'organisme humain, la « saturation » étant visualisée par l'intermédiaire d'une aiguille se déplaçant sur un cadran. Ces appareils furent ensuite perfectionnés en ajoutant plusieurs céramiques ayant des porosités différentes pour simuler des compartiments différents. Ce n'est qu'au début des années 1970 qu'apparurent les premiers appareils électroniques dont la diffusion resta limitée en raison de leur prix, de leur encombrement, et aussi du conservatisme des plongeurs européens. À partir de 1986 furent mis sur le marché des appareils de plus en plus sophistiqués désignés sous le vocable d'*ordinateurs de plongée.*

Les premiers calculateurs permettaient uniquement une lecture automatisée des tables avec lesquelles ils étaient programmés. À partir d'une profondeur maximale et de la durée de la plongée, ils déterminaient automatiquement la profondeur et les paliers à effectuer. L'innovation des ordinateurs modernes est de pouvoir calculer en temps réel la tension d'azote accumulée dans chaque compartiment de l'organisme, en fonction du profil exact des profondeurs et de la durée de la plongée. À la remontée, l'unité centrale détermine les profondeurs critiques pour chacun des compartiments (en fonction de leur tension par rapport à leur coefficient de sursaturation critique). Ils avertissent le plongeur lorsque l'une d'entre elles, appelée *profondeur plafond*, est atteinte. Ils donnent alors la profondeur et la durée des paliers. Les ordinateurs les plus modernes autorisent une décompression continue par bonds successifs entre la profondeur plafond déterminée par l'approche de la sursaturation critique et une profondeur plancher limitée par une saturation supplémentaire. En se maintenant en permanence à la limite de la profondeur plafond, on obtient la désaturation la plus courte à condition que la vitesse de remontée soit variable, diminuant à l'approche de la surface. Les modèles mathématiques avec lesquels sont programmés ces ordinateurs permettent de calculer la saturation des compartiments selon la vitesse de remontée variable en fonction de la profondeur, par exemple : 45 m/min à une profondeur supérieure à 60 m, 30 m/min entre 60 m et 31 m et de 10 à 15 m/min de 30 m à la surface.

Contrairement à la classique table qui règle la procédure de décompression sur la base d'immersions à niveau constant, l'ordinateur de plongée calcule en temps réel le bilan saturation/désaturation du plongeur lorsqu'il effectue des plongées multimétriques, c'est-à-dire sans que toute la plongée se fasse à la profondeur maximale. Dans le premier profil de plongée, le bilan de saturation indiqué par l'ordinateur ne fait pas apparaître la nécessité d'effectuer un palier de décompression. Dans la plongée successive (intervalle 1 h 30), l'ordinateur se met en mode « décompression » dès que la tension d'azote résiduel dans l'un des « compartiments » s'approche de la sursaturation critique. Il indique alors les paliers à effectuer.



UN PEU D'ÉLECTRONIQUE

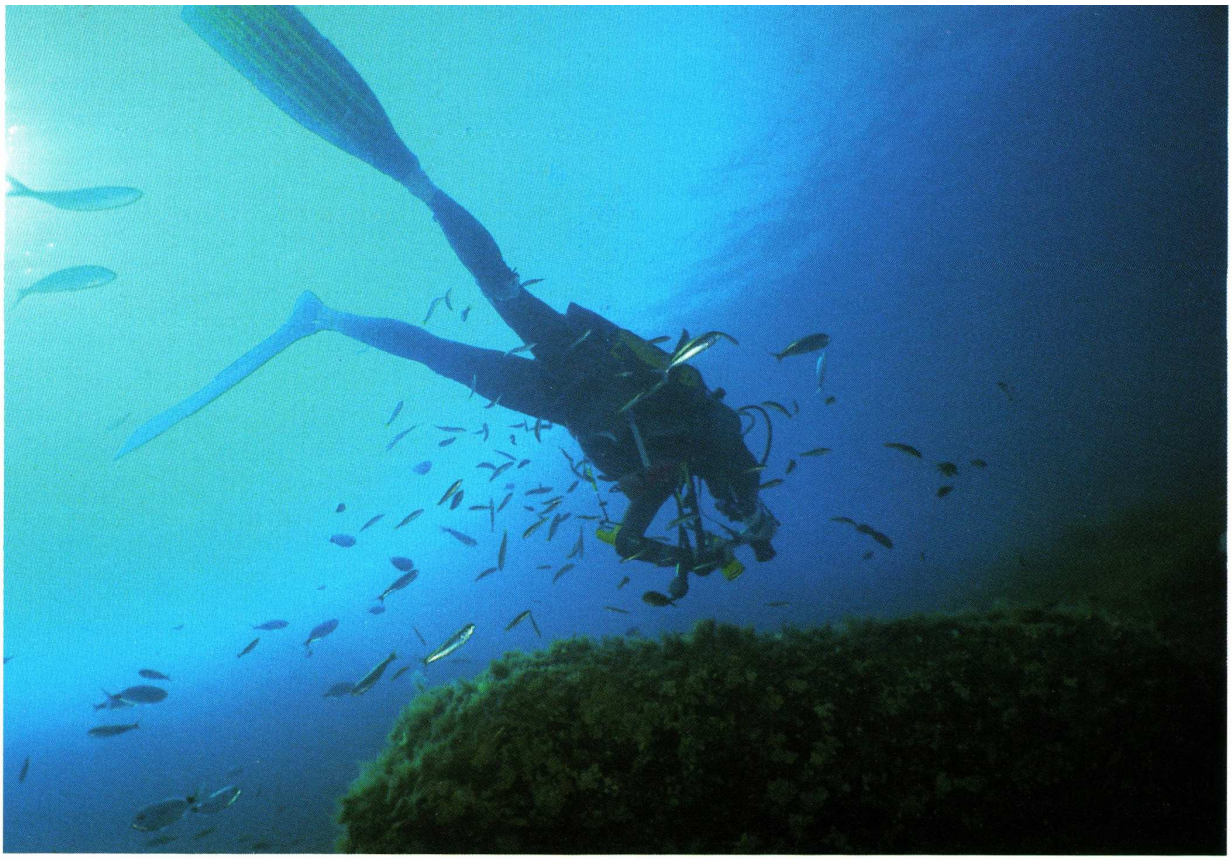
Les composants d'un ordinateur reprennent ceux d'un profondimètre électronique, auxquels s'ajoutent une mémoire morte contenant des informations fixes (programme des opérations, données de la table de plongée utilisée, périodes et coefficients de sursaturation des compartiments utilisés) et une mémoire vive qui reçoit temporairement les variables de la plongée (profondeur, temps écoulé). Une unité centrale calcule la durée et la profondeur des paliers ou la majoration en fonction de l'intervalle.

Le logiciel des ordinateurs est programmé avec une table classique. Il importe de gagner toujours la profondeur maximale au début de l'immersion et d'adopter un profil de plongée avec des profondeurs décroissantes. Comme les tables, les ordinateurs ne permettent pas plus de deux plongées par tranche de 24 h (Calvi, 3 m).

UTILISATION PRATIQUE

Quels que soient la marque et le modèle d'ordinateurs, leur utilisation reste identique, même s'il existe des différences identifiées d'un modèle à l'autre (vitesse de remontée, fonctions complémentaires, affichages ou alarmes diverses). L'exemple présenté peut donc être généralisé, à ces différences près.





Le palier est une bonne occasion de prendre le temps d'observer de nombreux poissons. Un nuage de girelles accompagne ce plongeur durant ses dernières minutes de plongée (Port-Cros, 5 m).

À la surface, avant de plonger

Le plongeur est en surface et aucune plongée n'a encore été effectuée :

— le temps de plongée affiche « 0 » ;

— sur l'affichage numérique défilent les couples durée/profondeur permettant une plongée sans palier. L'ordinateur donne une lecture automatisée de la courbe de sécurité de la table de plongée.

En plongée, sans décompression

Le plongeur s'immerge à une certaine profondeur et l'appareil indique : le temps écoulé depuis l'immersion, la profondeur instantanée et la profondeur maximale atteintes, et la durée maximale possible de la plongée sans décompression.

En plongée avec décompression

Le plongeur poursuit sa plongée jusqu'à ce qu'une procédure de décompression soit indispensable. Outre les données de profondeur et de durée, l'appareil affiche un « triplet » qui indique : la profondeur plafond à respecter, la durée totale de la remontée et le temps du palier à cette profondeur.

Au palier

Le plongeur est remonté à la profondeur plafond préconisée par l'appareil qui indique la durée du palier. Si le plongeur dépasse la profondeur plafond avant la fin de la décompression, l'apparcil donne l'ordre de redescendre. Le calcul de la saturation s'arrête, mais les fonctions montre et profondimètre sont conservées.

Retour à la surface

En surface, l'appareil indique :

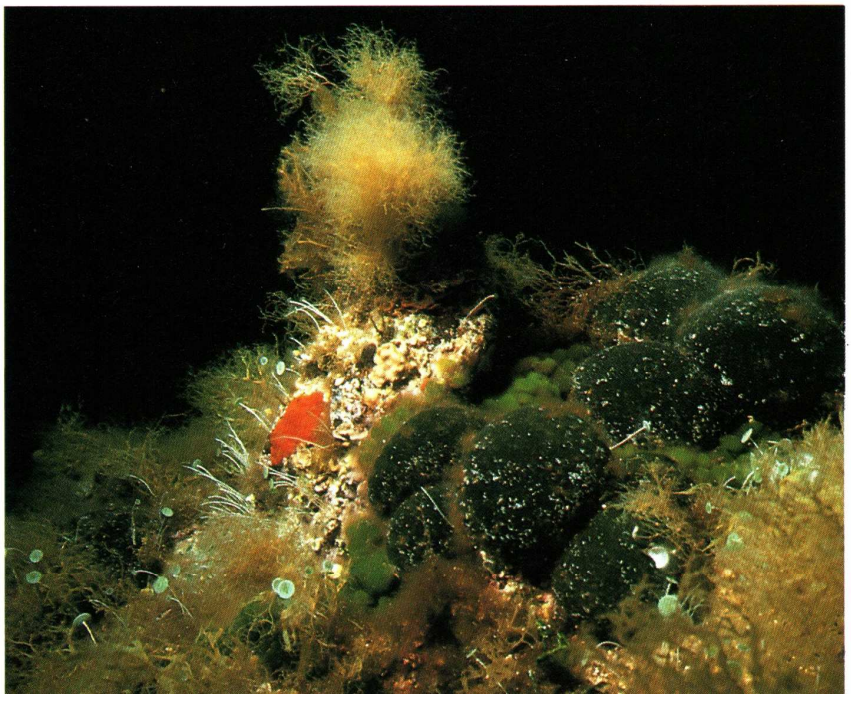
— le temps total, la profondeur maximale de la première plongée et le temps écoulé en surface depuis l'émersion après la première plongée (l'indicateur de profondeur maximale et l'affichage du temps de plongée se remettent à zéro 10 min après l'émersion. Si le plongeur se réimmerge dans les 10 min, l'appareil considère qu'il s'agit d'une seule et même plongée) ;

— la durée de désaturation ;

— l'interdiction momentanée d'un voyage aérien ;

— la courbe de sécurité pour une plongée successive, tenant compte de la TAR.

Enfin le plongeur peut simuler, grâce au menu déroulant de l'ordinateur, n'importe quel profil de plongée dans des conditions réelles (descente, plongée multimétrique, remontée et paliers), en tenant compte de l'état de saturation à l'issue d'une première plongée. Dans ces conditions, une minute de plongée réelle est simulée en 5 s sur l'ordinateur.



L'utilisation d'un ordinateur permet souvent de prolonger la fin d'une plongée à faible profondeur. C'est alors l'occasion de découvrir la grande variété des algues qui y prospèrent. Ces grosses boules vertes (Codium bursa) *sont des algues communes sur nos côtes rocheuses (Port-Cros, 6 m).*

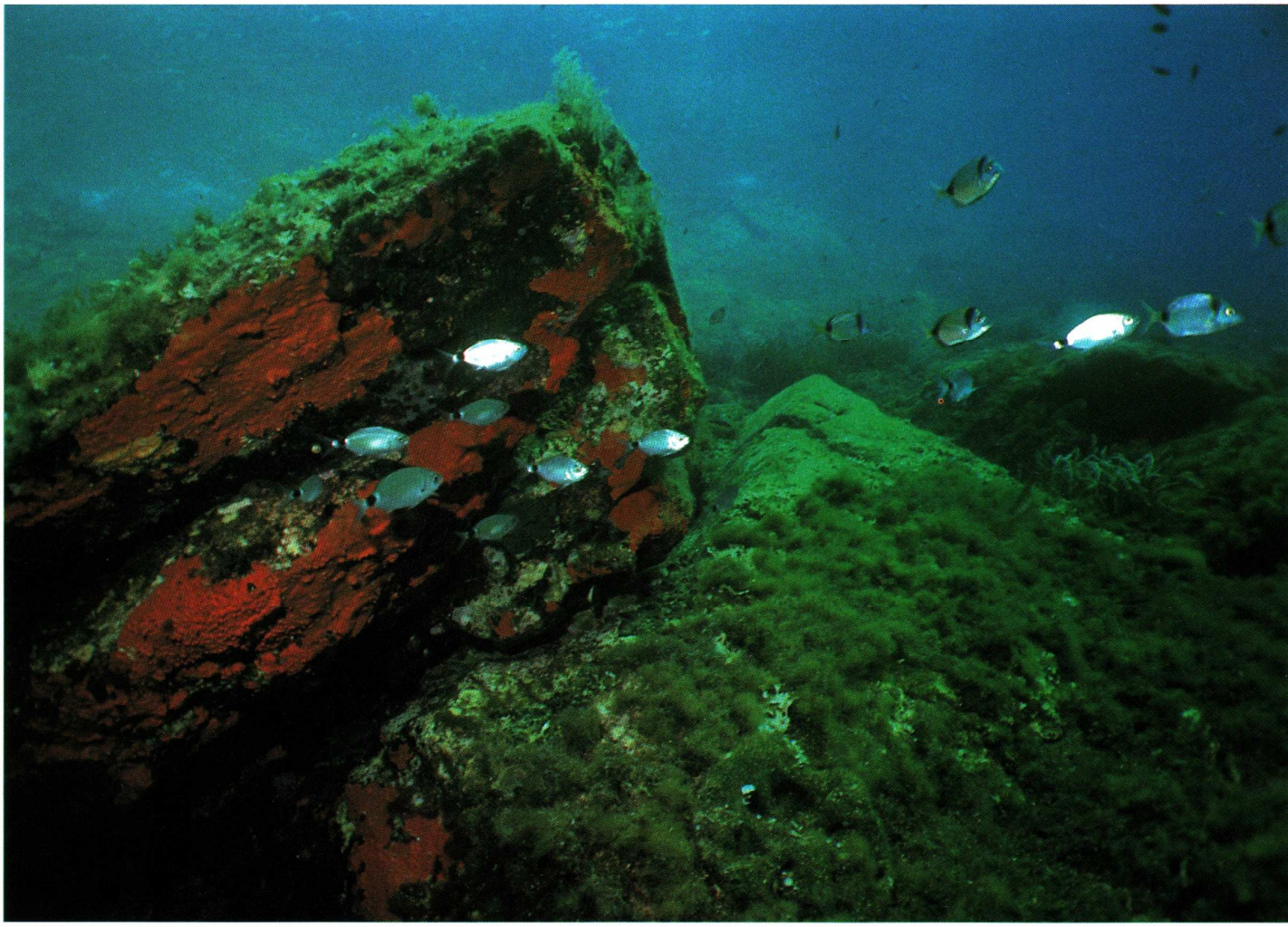
RESTER MAÎTRE DE SA DÉCOMPRESSION

L'ordinateur de plongée est comparable à l'ordinateur de bord des voitures qui fournit des indications précises au conducteur comme la consommation et la vitesse moyenne et instantanée, la distance qu'il reste à parcourir avant de faire le plein. Mais c'est le conducteur lui-même qui décide de respecter les limitations de vitesse ou d'adapter sa conduite en fonction des difficultés du parcours.

En utilisant une table lors d'une plongée multimétrique, les compartiments de l'organisme restent bien en deçà de la saturation critique par rapport à une plongée à niveau constant. Avec l'ordinateur, le concept de profondeur plafond implique que le plongeur est sans cesse à la limite du seuil de saturation. Il s'ensuit que les procédures de décompression sont plus courtes que celles calculées avec une table. Cependant, le logiciel de l'ordinateur est programmé avec les données d'une table de plongée classique, et le profil exact de la plongée est traité avec un modèle mathématique initialement conçu et validé pour une plongée à niveau constant. L'ordinateur est donc dépendant de la table qui a servi à le programmer. Pour pallier ces inconvénients, certains ordinateurs sont programmés avec une table dont la courbe de sécurité est « sévère » et entraîne des paliers plus longs.

Les ordinateurs, à l'instar des tables, ne permettent pas plus de deux plongées par tranche de 24 h. Pour plus de deux plongées successives, l'ordinateur va calculer automatiquement des procédures de remontée qui n'auront plus aucun sens physiologique. Les modèles utilisés ne permettent pas encore de simuler la désaturation de l'azote après plusieurs plongées successives. Après chaque plongée, la libération d'azote est ralentie pendant un certain temps, et l'on sait que les appareils à ultrasons Doppler détectent des bulles alors que le plongeur est sorti de l'eau depuis 8 ou 10 h et quelquefois plus.

Dans quelques mètres d'eau, observons les effets de l'éclairement sur l'aspect du paysage sous-marin : la surface de ce rocher, exposée à la lumière est recouverte de l'algue en balais (Halopteris scoparia). *Son aspect est relativement terne. La paroi verticale du rocher, protégée d'un trop fort éclairement, est occupée par l'éponge encroûtante orange (probablement* Crambe crambe*).*
À faible profondeur il ne faut donc pas hésiter à rechercher les surplombs, failles et autres grottes pour observer la faune fixée.
Indifférentes à ces microreliefs, des oblades (Oblada melanura) *nagent à la recherche des petites proies dont elles se nourrissent (Port-Cros, 10 m).*



PRÉCAUTIONS D'UTILISATION

Les ordinateurs doivent être utilisés avec un certain nombre de précautions :

Gagner toujours la profondeur maximale en début de plongée et adopter un profil de plongée avec des profondeurs décroissantes.

Respecter les vitesses de remontée indiquées par l'appareil pour chaque tranche de profondeur.

Effectuer un palier de principe de 3 min à 3 m, même s'il n'est pas indiqué par l'appareil.

Dans l'organisation de palanquées, conserver le même principe de décompression et le même appareil au cours de plongées successives.

Dans le cas d'une palanquée réglant sa décompression sur un seul ordinateur, le guide de palanquée doit s'assurer que chaque membre a suivi exactement le même profil de plongée.

Ne pas emprunter ni prêter un ordinateur tant que l'effet des plongées précédentes n'est pas complètement annulé.

Dans les cas de remontées anormales, en particulier trop rapides, se conformer aux procédures édictées par les tables en utilisant les fonctions montre et profondimètre de l'ordinateur.

Le choix d'une procédure de décompression

Aucune procédure de décompression ne peut totalement prévenir la formation de microbulles gazeuses dans l'organisme. Elles doivent, en revanche, empêcher la formation de bulles pouvant provoquer un accident de décompression. La plongée reste une activité à risques, et la prévention consiste à agir pour rendre ceux-ci acceptables. Chaque plongeur doit adopter les procédures de décompression en fonction de la nature de ses plongées et du niveau de sécurité qu'il consent à prendre. La procédure de décompression la plus sécurisante consiste à faire des plongées sans paliers, en restant à l'intérieur de la courbe de sécurité. Toutes les tables modernes permettent de gérer en toute sécurité la décompression des plongées sportives avec ou sans palier. Des tables spécialement conçues pour le travail sous-marin (tables du ministère du Travail) seront préférées chaque fois que l'on effectuera un effort sous l'eau. L'utilisation de l'ordinateur permet aussi une bonne gestion de la décompression pour les plongées multimétriques, le plongeur averti devant contrôler la procédure de décompression, moyennant les précautions évoquées. L'ordinateur, véritable « boîte noire » du plongeur, représente la solution d'avenir pour le calcul, pour le contrôle de la décompression et pour d'autres fonctions. On peut penser que les modèles mathématiques de simulation de la décompression seront plus performants et prendront en compte les paramètres physiologiques de chaque plongeur, par exemple à l'aide de sondes externes permettant de quantifier le flux de microbulles pendant la décompression. À l'avenir, l'ordinateur pourrait devenir une véritable unité centrale, contrôlant la décompression, l'autonomie et le débit d'air du détendeur en fonction de l'effort et de la profondeur.

Maladie de la décompression

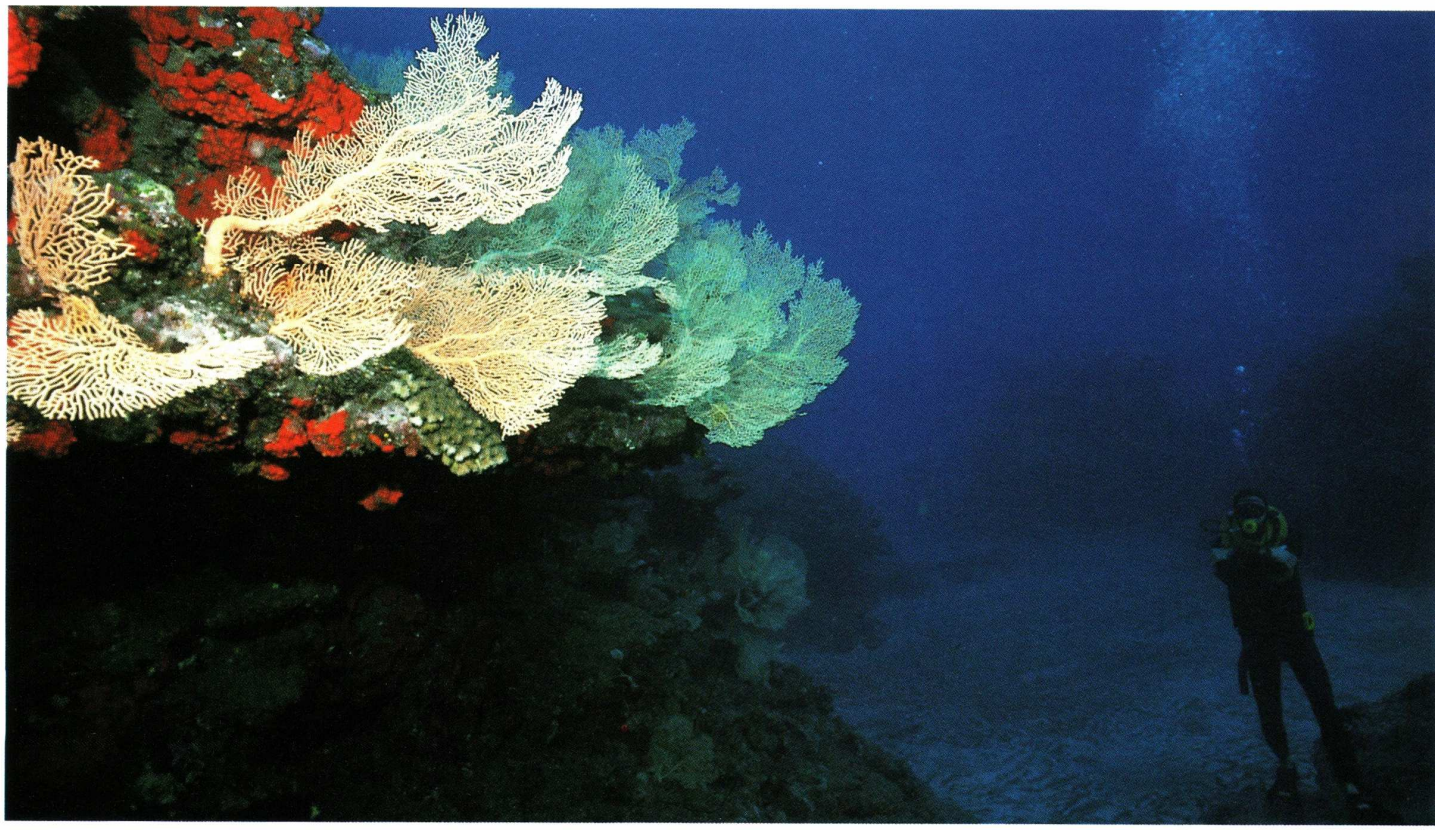
Tout séjour sous pression, quelles que soient la profondeur et la durée de la plongée, entraîne à la remontée un dégazage de l'azote sous forme de microbulles circulantes mises en évidence par effet Doppler. Celles-ci persistent plusieurs heures après le retour à la

pression normale, souvent au-delà de l'intervalle préconisé par les tables pour les plongées successives. Nous savons qu'en cas de dépassement du coefficient de sursaturation critique, à la suite d'une remontée trop rapide, l'azote accumulé ne peut plus être évacué normalement sous forme de microbulles. Le filtre pulmonaire qui assure l'évacuation des gaz est « dépassé ». Le dégazage brutal engendre alors des lésions dans les tissus de l'organisme et des bulles dans les vaisseaux qui entravent la circulation artérielle dans les territoires correspondants ou vers lesquels elles vont migrer.

DES ACCIDENTS DE GRAVITÉ DIVERSE...

Les accidents bénins se caractérisent par une sensation de fatigue intense qui peut évoluer vers un accident plus grave. Des accidents cutanés, ostéo-articulaires et musculaires (ou *bends*) sont d'autres signes mineurs de la maladie de la décompression. Les accidents cutanés se traduisent par des démangeaisons ou par des

La clarté et la température élevée des eaux tropicales modifient les sensations du plongeur plus enclin à descendre profondément. Limiter la plongée sportive à la zone des 40 m réduit les risques, notamment les accidents de décompression (La Réunion, 30 m).

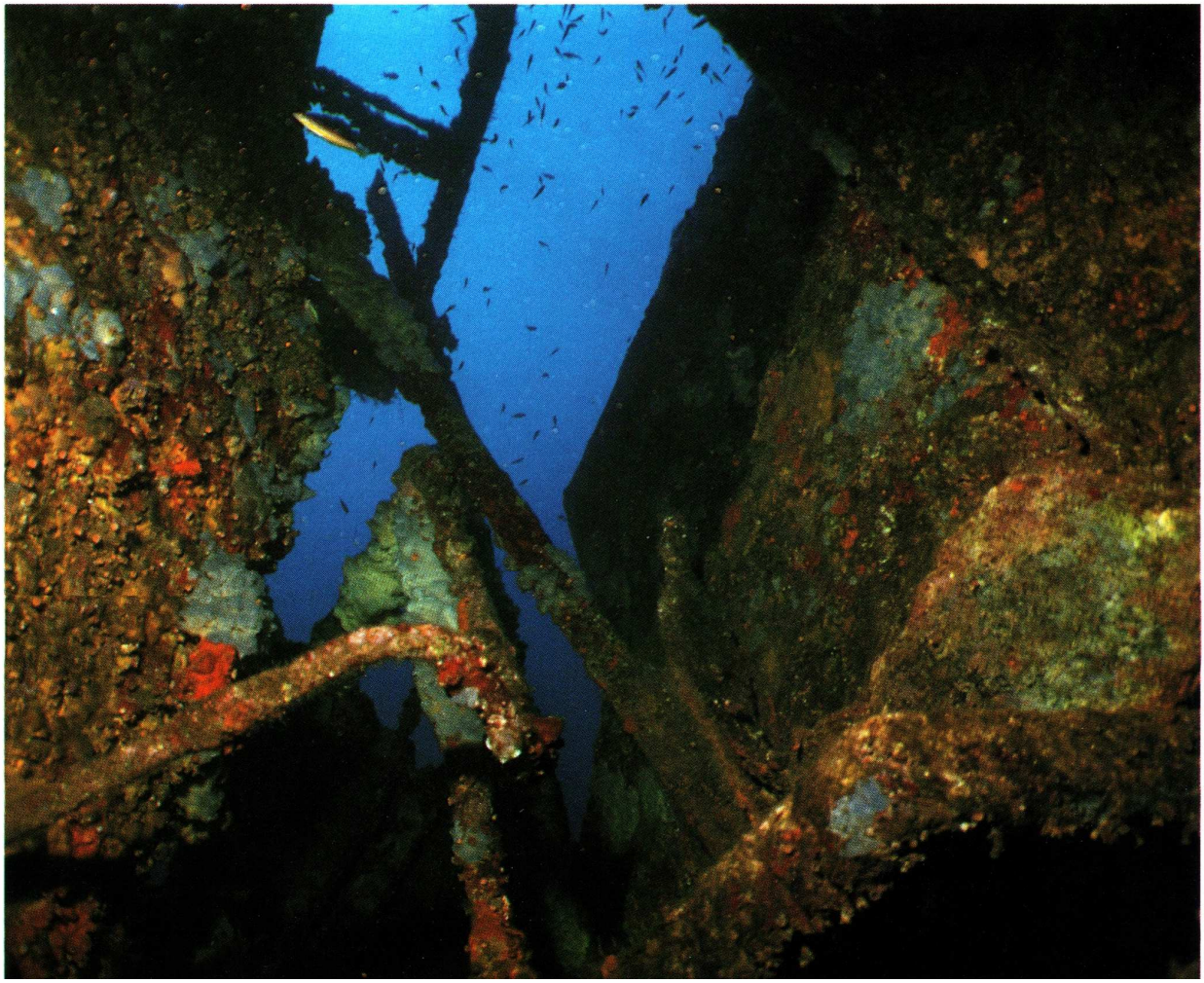


éruptions favorisées par le dégazage de l'azote dans les capillaires sous-cutanés. Les bends provoquent des douleurs vives et irradiantes touchant une articulation de l'épaule, du genou ou de la hanche sollicités au cours d'un effort dans l'eau.

Les accidents les plus graves, souvent mortels, sont ceux résultant d'une remontée rapide sans palier avec dégazage « explosif » dans les tissus. Les accidents neurologiques atteignent le système cérébral et la moelle épinière. Les atteintes centrales dues à une lésion du cerveau par les bulles de gaz se manifestent par des troubles moteurs ou paralysies (monoplégie, quadriplégie et hémiplégie), sensitifs ou sensoriels (perturbation de la parole et de la vue). Les accidents de la moelle épinière laissent le plongeur apathique. Des fourmillements dans les membres inférieurs apparaissent progressivement et entraînent habituellement une paraplégie flasque.

Enfin les accidents atteignent l'oreille interne par formation de bulles dans les liquides ou dans la circulation terminale. Les symptômes vont du simple vertige à des troubles plus importants (nausées, troubles de l'équilibre, surdité brutale).

Les épaves sont des milieux artificiels souvent colonisés par une faune particulière. La visite d'une épave ne s'improvise pas, car elle cumule les risques de la plongée profonde et de ses dangers propres (Bastia, 30 m).



...QUI NÉCESSITENT UNE OXYGÉNATION ET UNE RECOMPRESSION

Le traitement des formes les plus graves nécessite l'évacuation de l'accidenté vers le caisson de recompression le plus proche. La recompression permet la diminution de la taille des bulles d'azote et leur disparition par effet mécanique (loi de Boyle-Mariotte) et par redissolution dans l'organisme. L'oxygénothérapie est indissociable de la recompression : l'oxygène accélère le mouvement de l'azote du compartiment sanguin vers les alvéoles et réduit l'hypoxie au niveau du « foyer » accidenté par l'azote. L'accidenté doit aussi subir un traitement médicamenteux pour enrayer certains effets de la maladie de décompression.

LES PREMIERS SECOURS

L'accidenté doit absorber de l'aspirine s'il n'y est pas allergique (au maximum 500 mg dilué dans un peu d'eau). L'aspirine prévient la formation des agrégats plaquettaires — les plaquettes sanguines, qui ont un rôle dans la coagulation du sang, s'agrègent sur les bulles d'azote et l'aspirine permet de les « déloger ». Il doit boire 1 l d'eau et être mis sous oxygène normobare avec un débit entre 12 et 15 l/min. Une fiche d'observation médicale doit être établie : circonstances de l'accident, durée et profondeur de la plongée, évolution de l'accidenté en attendant les secours.

AGIR PRÉVENTIVEMENT

Les mesures de prévention concernent le plongeur lui-même, son matériel, les facteurs de la plongée et le respect des procédures de décompression pendant et après la plongée.

Le plongeur doit entretenir sa condition physique par un entraînement régulier. L'adiposité, la fatigue, l'alcool, le froid, l'essoufflement et le décalage horaire en cas de voyage favorisent l'apparition de la maladie de décompression.

Le matériel doit être en parfait état : le détendeur doit être « souple » et la précision du profondimètre vérifiée périodiquement.

Certains facteurs de la plongée sont retrouvés dans l'épidémiologie des accidents de décompression : la profondeur et les plongées

CONTRÔLE DE VITESSE

Les débutants apprennent que la vitesse de remontée doit être « calquée » sur celle des petites bulles qui s'échappent du détendeur à chaque expiration et uniquement sur les petites bulles, car leur taille augmente à la remontée du fait de la loi de Mariotte et, soumises à la poussée d'Archimède, leur vitesse est accélérée à l'approche de la surface. Avec l'habitude, montre et profondimètre autorisent un meilleur contrôle. Les ordinateurs possèdent une alarme de non-respect de la vitesse autorisée, mais elle ne prévient le plongeur qu'après dépassement de cette vitesse. L'idéal serait de disposer d'un variomètre identique dans son principe à celui qui indique les variations de vitesse ascensionnelle des avions. À l'approche du premier palier, la vitesse doit être ralentie pour favoriser l'évacuation des bulles d'azote par le filtre pulmonaire. Certains recommandent une vitesse de 3 m/min, à comparer avec les 15-17 m/min de la remontée jusqu'au palier. Cette vitesse lente peut être contrôlée en remontant le long d'un pendeur, en se déhalant main sur main. Entre deux paliers et du dernier palier à la surface, la même procédure s'applique.

successives. Considérer 40 m comme une limite raisonnable pour la plongée sportive et éviter de faire deux plongées successives impliquant des paliers. À la remontée, ne jamais faire de manœuvre de Valsalva ni gonfler de gilet stabilisateur à la bouche. Respecter impérativement la vitesse de remontée et les paliers. Faire un palier de sécurité de 3 min à 3 m, même s'il n'est pas nécessaire. Connaître les procédures d'urgence en cas de remontée anormale. Ne pas faire plus de deux plongées par tranche de 24 h, ni d'effort pendant et après la plongée (se servir du guindeau sur le bateau pour relever l'ancre). Pas d'apnée ni de séjour en altitude après une plongée. Après une plongée, attendre 24 h avant de prendre l'avion.

Savoir utiliser les tables ou un ordinateur est un préalable à la maîtrise de la procédure de décompression. Sur le « terrain », le plongeur doit parfaitement contrôler sa vitesse de remontée et effectuer les paliers avec sécurité.



(Ci-contre.) En cas de plongée dans l'espace lointain, un bloc de secours fixé sur le pendeur, est utile pour alimenter le plongeur au palier ou lui permettre de le terminer (Calvi, 3 m).

(À droite.) Le palier est souvent l'occasion obligée de découvrir les fonds sableux pour lesquels le plongeur n'a pas une attirance particulière. Ce dragonnet (Callionymus risso) *est abondant dans ce type de milieux, à faible profondeur. Il est pourtant facile de ne pas le voir ! (Palavas, 6 m).*

VOISINS DE PALIER

Exécuter correctement un palier, c'est respecter sa durée, sa profondeur et se ventiler normalement. Effectuer un palier sur le cordage de l'ancre du bateau est un pis-aller, car celui-ci est soumis aux aléas de la houle et le plongeur aux variations de pression qui en résultent. Le pendeur idéal est indépendant du bateau et constitué d'un bout lesté d'une douzaine de mètres gradué de 3 m en 3 m et relié en surface à un gros flotteur. Celui-ci est amarré au bateau par un autre bout assez long pour amortir les à-coups dus à la houle. Le bloc de secours est accroché au pendeur à 3 m. Un pendeur permet de supporter quatre plongeurs allongés à la même profondeur sous des angles de 90°. Dans une palanquée nombreuse, les plongeurs évitent de se tenir au bout en s'agglutinant autour du pendeur.

Le palier peut être exécuté en pleine eau face à la graduation indiquant la profondeur du palier. Cela implique un lestage adapté et la maîtrise du poumon-ballast. Le palier peut être réalisé horizontalement en léger déplacement autour du pendeur. La respiration doit être ample et l'expiration forcée pour éliminer les gaz indésirables.

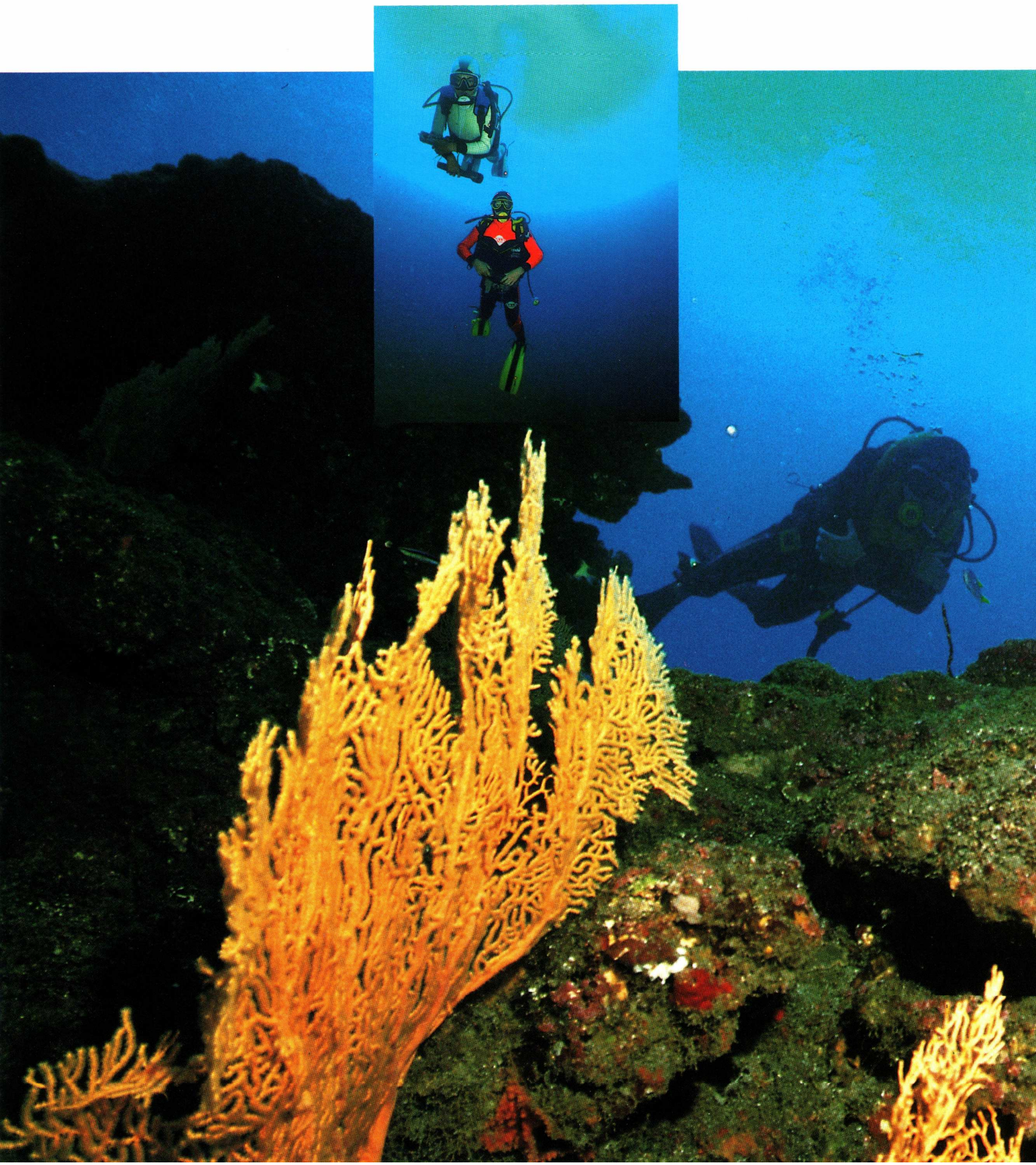
En cas d'interruption du palier, par exemple en cas de panne d'air, le plongeur réalimenté en air doit recommencer le palier interrompu.

Lorsque le bateau ne peut mouiller, la palanquée doit remonter en pleine eau. Le point d'émersion doit être repérable depuis le bateau accompagnateur par l'emploi d'un parachute, indispensable quand le trafic des bateaux est important. Le parachute est un sac ouvert d'un côté et muni d'un bout gradué d'une dizaine de mètres. Pendant la plongée, il est plié dans la poche du gilet stabilisateur. Il est gonflé en introduisant de l'air débité par le second détendeur.

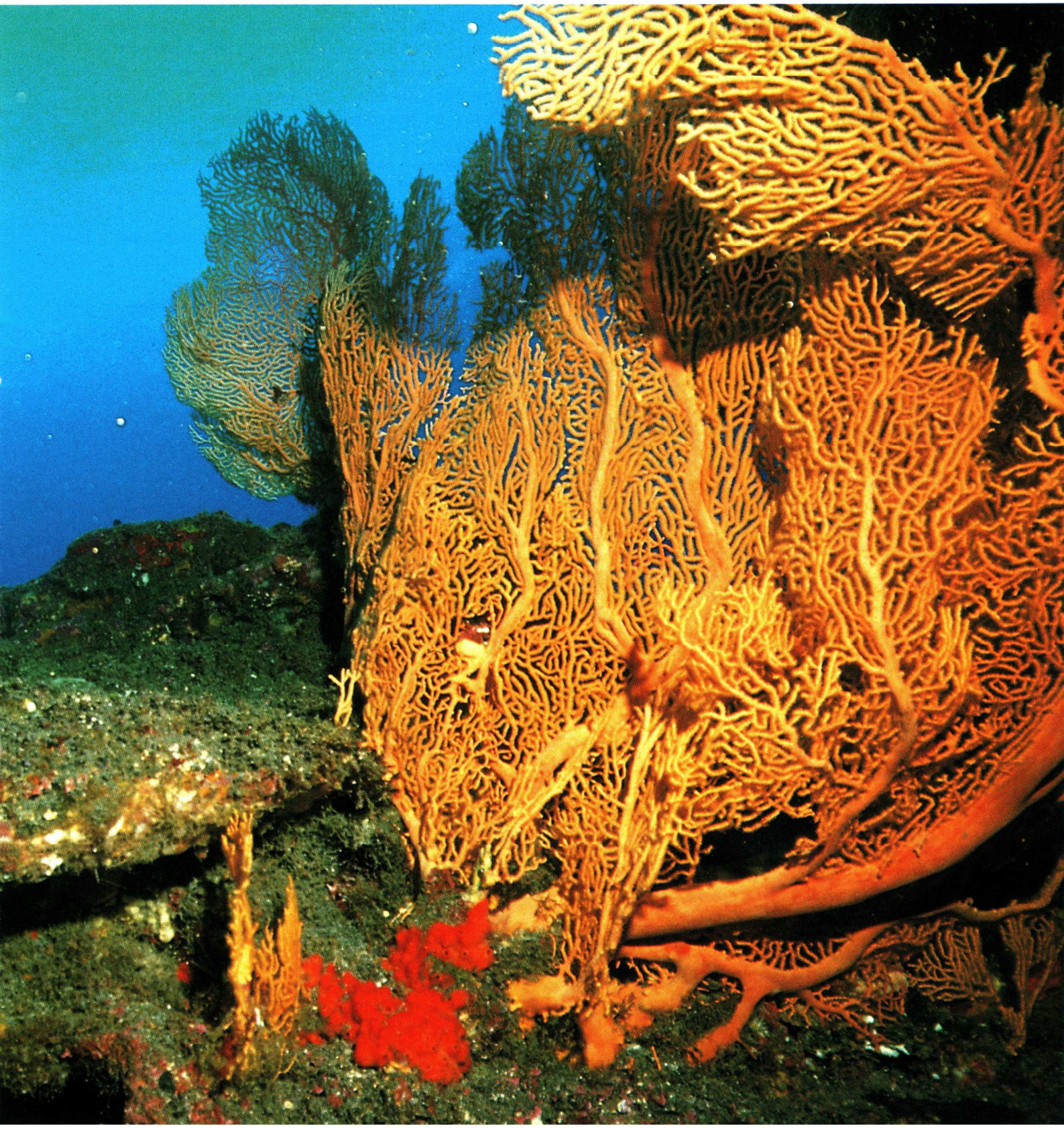
Les paliers peuvent être exécutés dans de bonnes conditions de sécurité si la palanquée est surveillée par une annexe qui vient se positionner à proximité du signal, moteur débrayé.

Le rôle de l'embarcation de surveillance est primordial dans tous les cas où le mouillage est impossible. Le pilote doit être entraîné à suivre les bulles depuis la surface, en tenant compte du vent, de la houle et de la réverbération.

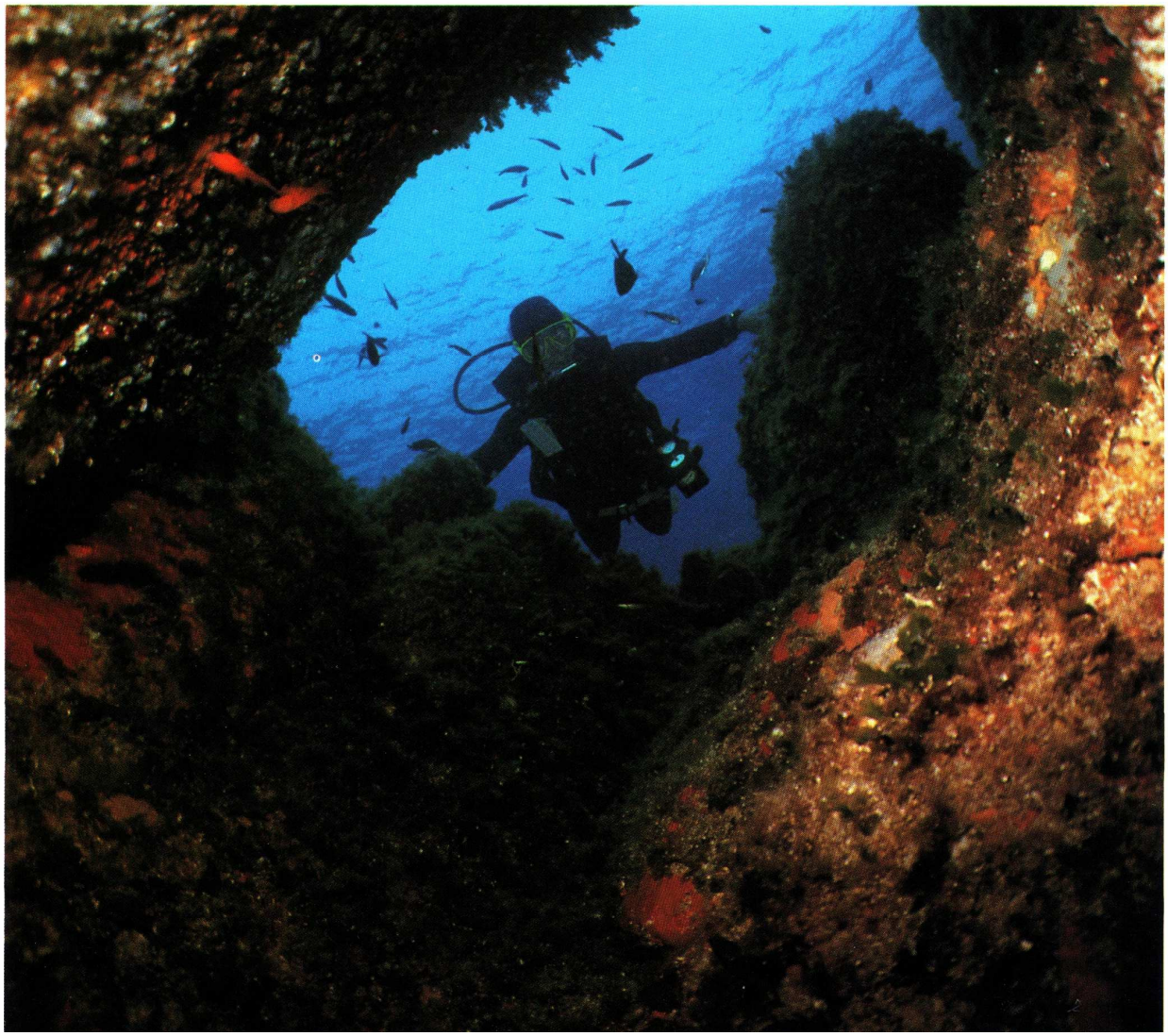




HAUTE SÉCURITÉ



Activité à haute technicité, la plongée sportive est multirisque, car elle peut causer des accidents mineurs ou majeurs intéressant les pratiquants et les biens (matériel, bateau). Les risques sont créés par l'activité elle-même : erreurs techniques, non-respect de normes, défaillance du matériel. Ils sont aussi liés à l'environnement qui conditionne la plongée : les lois physiques, les limites de la physiologie humaine et les dangers du milieu ambiant. Le risque « zéro » n'existe pas en plongée. Rendre acceptables ces risques, c'est agir pour les réduire par la prévention, notamment par l'organisation des activités permettant d'adapter chaque plongée au niveau technique des participants et aux conditions de l'environnement extérieur. Le plongeur averti des risques d'accident doit aussi savoir porter secours efficacement et éviter l'aggravation de l'état d'un accidenté en étant capable d'ordonner et d'organiser trois actions indissociables : assister et sauver sous l'eau, alerter les secours et porter les premiers soins.



L'exploration des grottes et cavités relève des techniques de la plongée spéléologique. On peut toutefois observer les parois et les surplombs de l'entrée des grottes peu profondes, en évitant de remettre en suspension la sédimentation fine pour des raisons de sécurité (Calvi, 20 m).

Prévenir et organiser

CONTRAINTES PAR CORPS

L'examen médical préalable est une précaution indispensable pour contrôler l'intégrité physiologique au regard de la pratique de la plongée. Cet examen annuel doit être mené par un praticien spécialisé (médecin fédéral agréé par la FFESSM ou médecin titulaire du certificat d'études spécialisées de médecine du sport) et conclu par un certificat de non-contre-indication. Ce certificat est obligatoire dès lors que le plongeur, licencié à la FFESSM, pratique la plongée organisée en collectivité.

LE MATÉRIEL DE SÉCURITÉ OBLIGATOIRE

Les pratiquants doivent avoir à leur disposition sur les lieux de plongée (bateau ou mise à l'eau depuis la côte) : le matériel de premier secours adapté aux risques de l'activité, un inhalateur et un insufflateur d'oxygène avec une réserve de ce gaz, une source d'air de secours (bouteille et détendeur), un jeu de tables de plongée pour les plongées se déroulant au-delà de l'espace proche et un moyen de rappel des plongeurs en immersion.

Le bateau doit arborer le pavillon « A » du Code international de signalisation (bicolore blanc contre la hampe, bleu à l'extérieur) signifiant « scaphandriers à l'eau ». Il implique aux autres embarcations de naviguer à l'extérieur d'un cercle d'un rayon de 100 m centré sur le bateau de plongée. Ce pavillon doit être envoyé uniquement en situation de plongée, le bateau au mouillage ou en dérive (cas d'une annexe de surveillance en surface).

QUESTION D'ORGANISATION

L'organisation de la plongée relève, dans un club, du directeur de plongée. Il a compétence pour contrôler les équipements de sécurité obligatoires et la qualification des plongeurs, composer les palanquées et choisir le site d'évolution en fonction du niveau des pratiquants et des paramètres naturels. Le guide de palanquée est responsable de l'organisation de sa propre palanquée, et le simple

PLONGER AVEC ASSURANCE

Le plongeur licencié à la FFESSM est couvert en assurance « responsabilité civile aux tiers », en cas d'accident occasionné par la pratique des activités subaquatiques. La licence ouvre la possibilité de souscrire une assistance individuelle complémentaire qui est vivement recommandée, et permet de bénéficier d'un certain nombre d'avantages, entre autres : pratiquer la chasse sous-marine (la licence valant permis de chasse sauf pour les mineurs de moins de seize ans), se présenter aux brevets de plongée délivrés par la FFESSM, et s'abonner à un tarif préférentiel à *Subaqua*, revue officielle de la FFESSM.

DES NORMES À RESPECTER

Les garanties de technique et de sécurité dans les établissements organisant la pratique et l'enseignement des activités subaquatiques sportives et de loisir en plongée autonome à l'air sont fixées par l'*arrêté du 17 juillet 1992*. Cet arrêté détermine les conditions obligatoires d'encadrement, compte tenu du niveau technique des pratiquants et la liste du matériel et des moyens de sécurité obligatoires pour cette pratique, au sein d'une association. Les plongeurs individuels pratiquant hors structure associative feront bien de s'inspirer de ces normes.

plongeur doit être capable, à l'intérieur de sa palanquée, de mettre en pratique les principes élémentaires de sécurité.

La prévention commence *avant* et se termine *après* l'immersion elle-même. L'organisation d'une plongée varie en fonction du niveau des plongeurs, du site, du bateau utilisé, du type de plongée (en collectivité ou palanquées « isolées ») ou de son thème (exploration, plongée technique, plongée profonde ou épaves). Mais les conditions d'organisation ont beaucoup de points communs.

À quai

— Le directeur de plongée s'assure des conditions météorologiques (bulletin affiché à la capitainerie du port ou météo « marine » enregistrée) et de navigation locale en utilisant les cartes marines.

— Il choisit le site de plongée en fonction du niveau technique des participants : profondeur et durée, majoration prévisible s'il s'agit d'une successive, choix de la procédure de décompression.

— Il examine le bateau (avitaillement, moteur, ancre, sondeur, annexe) et le matériel de sécurité propre à la plongée.

— Chaque plongeur contrôle le bon gonflage de sa bouteille à l'aide du manomètre et le fonctionnement de son détendeur et fait une rapide *check-list* de son matériel personnel.

À bord

— Chaque chose à sa place, le pont doit rester « clair » : bouteilles de plongée fixées verticalement par des supports ad hoc ou couchés dans le sens de la marche (bateau pneumatique), sacs rangés sans encombrer les aires de manœuvre.

— Les plongeurs se préparent suffisamment à l'avance en fonction de la durée du trajet et de l'ordre de mise à l'eau des palanquées.

Au mouillage, avant la mise à l'eau

— Un plongeur sachant manœuvrer le bateau reste en permanence à bord.

— Vérifier par un alignement que l'ancre ne chasse pas et envoyer le pavillon « A ».

— Mettre à l'eau le pendeur pour les paliers, le bloc de secours à 3 m et, en cas de courant, un « traînard » bout flottant de 50 à 100 m de long terminé par une bouée et servant à récupérer les plongeurs qui ne seraient pas remontés le long de l'ancre. Il est fixé à l'avant du bateau sur le cordage de l'ancre pour permettre aux plongeurs de se déhaler dès la mise à l'eau.



Derniers préparatifs avant le départ.

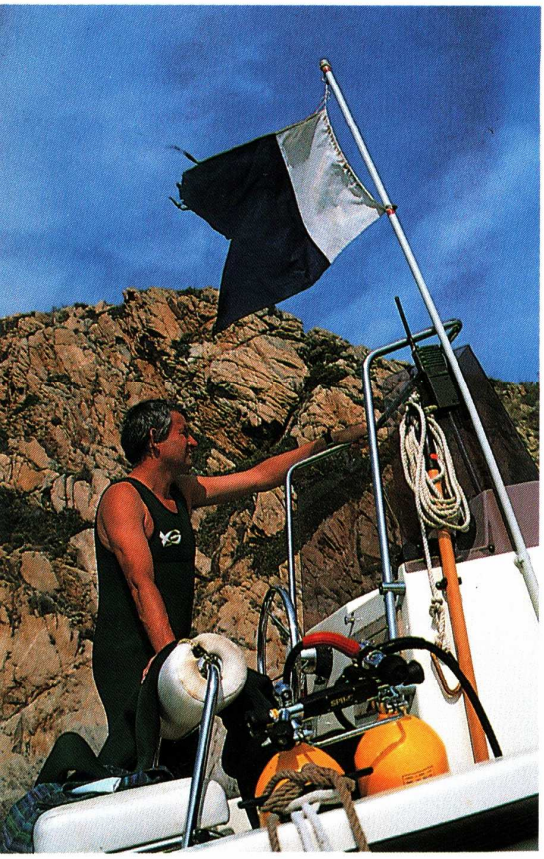
— Une fois équipé, vérifier son matériel avant la mise à l'eau (détendeurs et direct système, montre, profondimètre et table de plongée).

— Les plongeurs se mettent à l'eau sur l'ordre du guide de palanquée. En cas de courant, ils sautent à l'aval de l'échelle si elle est installée latéralement et gagnent la verticale de l'ancre avec leur palanquée.

À la descente

— Le guide de palanquée note l'heure d'immersion. Les plongeurs se déhalent sur le cordage de l'ancre et ne dépassent pas le guide de palanquée qui se retourne fréquemment pour voir si ses coéquipiers suivent.

— Ne pas forcer si les oreilles ne « passent » pas.



(Ci-dessus.) Pavillon signalant aux autres navires que des plongeurs sont en immersion, radio-téléphone portable, surveillance visuelle des « bulles » de la palanquée depuis le bateau, autant d'éléments de sécurité qui concourent au bon déroulement de la plongée.

(Ci-contre.) Descendre dans le bleu sans voir le fond est souvent impressionnant, car le plongeur perd le sens de l'orientation en l'absence de repères fixes. Il faut bien sentir sa position dans l'eau pour descendre en suivant la trajectoire la plus verticale possible (Calvi, 4 m).



DESCENTE DANS LE GRAND BLEU

Les plongées profondes s'effectuent généralement au large sur des points localisés comme les secs, tombants et épaves. Il est souvent impossible de jeter l'ancre et donc de descendre le long du mouillage. Cela implique de descendre sans repères sur le fond, le plus verticalement possible et à vitesse constante pour atteindre le point recherché. Le plongeur s'immerge en canard. La sangle d'entre-jambe est recommandée, et le sanglage est ajusté « près du corps » pour éviter toute rotation et modification de la trajectoire. Le plongeur adopte la position la plus hydrodynamique possible, tête dans l'axe du tronc, coudes serrés et mains positionnées sous le masque pour compenser. L'amplitude du palmage est progressivement réduite en fonction de l'augmentation du poids apparent du plongeur. Dès qu'il aperçoit le fond ou qu'il estime y parvenir en lisant son profondimètre, il se redresse et amorce le gonflage de son gilet pour freiner sa descente. Juger que sa trajectoire est rectiligne est difficile sans repère fixe. Le plongeur peut s'aider des particules et du plancton animal en suspension. À partir d'un canard parfait, le plongeur aligne deux particules dans la direction verticale estimée et ainsi de suite selon la méthode des « jalons » utilisée pour l'orientation au fond.

Au fond

— Le guide de palanquée note la profondeur de l'ancre, vérifie qu'elle est accrochée.

— Il prend des repères et suit le trajet et les paramètres prévus pour la plongée, adaptant le trajet en fonction des conditions locales — courant et visibilité — et gagne la profondeur maximale en début de plongée.

— Les plongeurs restent groupés et vérifient fréquemment leur manomètre. Signaler immédiatement tous problèmes jugés mineurs. Surveiller montre et profondimètre de manière à être autonome à la remontée en cas de perte de la palanquée.

— Prendre toutes précautions pour respecter le milieu.

— Noter l'heure de la remontée.

À la remontée et au palier

— La dernière palanquée vérifie que l'ancre n'est pas « enraguée » et la soulage éventuellement avec un parachute partiellement gonflé, s'il n'y a pas de palier à effectuer.

— Gérer la remontée : dégonflage progressif du gilet, vitesse respectée. Ne pas dépasser le guide de palanquée.

— Effectuer les paliers en respectant profondeur et durée. Ne pas oublier le tour d'horizon et rester « à l'écoute » (bateaux à moteur).

En surface

— Noter l'heure de sortie et rester à proximité du bateau, gilet dégonflé.

— Éviter de stationner sous l'échelle lorsqu'un coéquipier la gravit et n'enlever masque et détendeur qu'une fois rétabli sur le pont.

À bord

— Ranger rapidement le matériel. Abaisser les réserves.

— Remonter l'ancre à l'aide du guindeau pour éviter tout effort.

De retour au port

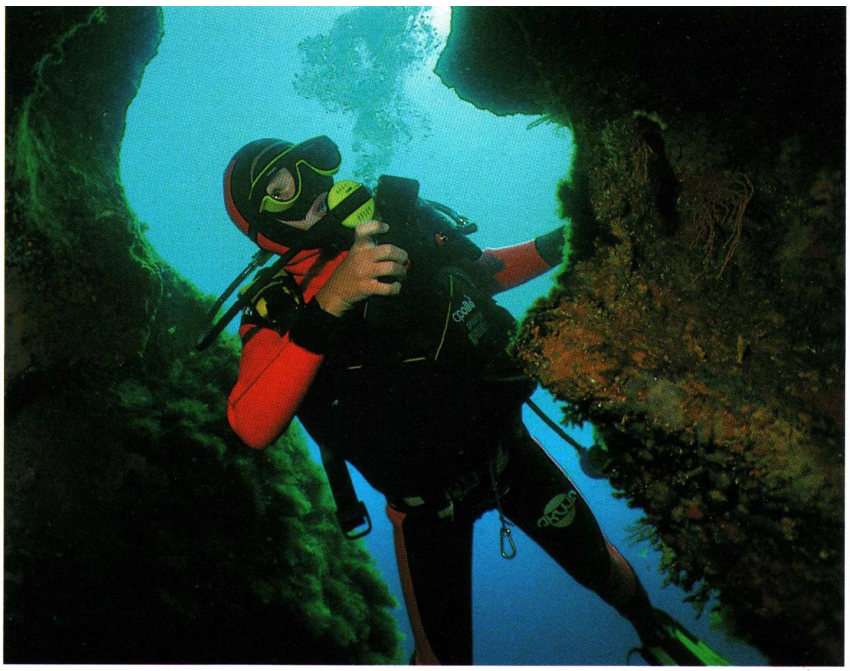
— Refaire la check-list de son matériel et des équipements de sécurité. Mettre de côté les pièces d'équipement défectueuses pour les réparer. Consigner les paramètres de la plongée dans son carnet.

ÉTAT D'IVRESSE

Outre les contraintes de la décompression, la plongée profonde entraîne la fameuse *ivresse des profondeurs*. C'est une intoxication à l'azote liée à l'augmentation de sa pression partielle. Elle se manifeste à partir de 40 m mais, selon les individus et leur état physiologique, peut apparaître à des profondeurs plus faibles où les facteurs extérieurs jouent (visibilité réduite, froid, stress). Les effets « narcotiques » sont progressifs en fonction de la profondeur, mais ils ne sont pas rémanents et disparaissent lorsque le plongeur remonte de quelques mètres. Les symptômes se traduisent par un état de confiance exagéré proche de l'euphorie, puis par un stade de relâchement de la vigilance auquel sont associés des troubles de raisonnement ou de mémoire. Les coéquipiers peuvent reconnaître la narcose aux gestes désordonnés ou à l'incoordination motrice du plongeur qui peuvent mener à la noyade. Une certaine accoutumance à la narcose peut se faire par l'entraînement à la plongée profonde.

(Ci-dessus.) Une lampe est indispensable pour visiter et observer l'entrée d'une grotte (Calvi, 17 m).

(Ci-contre.) Retour de plongée (Cap Creus, 2 m).



PLONGÉE PROFONDE

La plongée profonde dans l'espace lointain exige une mise en condition et un équipement adaptés. Elle n'est réservée qu'à des plongeurs confirmés, très entraînés et parfaitement conscients des risques encourus. L'autonomie doit prendre en compte le séjour au fond et les paliers obligatoires : la capacité d'air emporté est augmentée en adoptant une bouteille de capacité 15 l ou une bi-bouteille (2 × 9 l) gonflées à 200 bars (plus de 3 m³ détendus à la pression atmosphérique).

Le bloc est équipé de deux détendeurs indépendants, montés sur chaque sortie du bloc. Les détendeurs sont compensés et bénéficient de l'assistance moyenne pression pour lutter contre l'augmentation de densité de l'air, limiter l'effort inspiratoire et le risque d'essoufflement. Le gilet stabilisateur a une capacité d'au moins 18 l, et le lestage est adapté à la profondeur atteinte, tout en conservant la possibilité de faire un palier avec le bloc sur réserve. Le manomètre est obligatoire pour chaque coéquipier. Enfin la qualité de l'air est contrôlée. Les impuretés ou certains gaz, comme le monoxyde de carbone et le gaz carbonique, délivrés par un compresseur mal entretenu, peuvent conduire à une intoxication grave.

Le seuil de toxicité du gaz carbonique est de 0,02 bar, soit 20 l pour 1 m³ d'air (taux normal : 0,3 l/m³). Si un compresseur fournit de l'air pollué contenant 5 l par mètre cube, il n'y a pas de conséquence à la pression ambiante. À partir de 30 m, les symptômes (maux de tête, essoufflement) peuvent apparaître puisque 5 l respirés à 4 bars équivalent à 20 l en surface. Vérifier la position de la prise d'air du compresseur à un endroit exempt de toute source de contamination. Ne pas plonger si l'air a un goût suspect.





Tout plongeur doit pouvoir assister son coéquipier, par exemple pour lui fournir de l'air en cas de panne du détendeur ou d'une mauvaise gestion de son autonomie (Calvi, 5 m).

Porter secours

ASSISTANCE ET SAUVETAGE

Tout plongeur peut être amené à assister un coéquipier conscient lors d'un incident (essoufflement, narcose à l'azote, début de panique) ou à assurer le sauvetage d'un plongeur inconscient victime d'un malaise. L'objectif est de soustraire l'accidenté le plus rapidement possible au milieu ambiant pour éviter toute complication sans créer de risques pour le sauveteur, et engager au plus tôt les premiers secours. Ces techniques demandent une parfaite maîtrise indi-

viduelle du gilet stabilisateur et du contrôle de la remontée. Même dans un cas grave, il faut privilégier une remontée contrôlée afin de ne pas surajouter un risque de surpression pulmonaire ou d'accident de décompression. Toute assistance doit revêtir un triple aspect : technique — prise en charge et contrôle de la remontée —, physique — remontée avec l'aide des palmes, le cas échéant — et psychologique — conforter par le regard et la « présence » le plongeur en situation de stress ou de choc. Dans les cas où l'intervention se fait en pleine eau, le palmage est indispensable au départ pour éviter de gagner une profondeur supérieure et de risquer un suraccident. Les techniques d'assistance et de sauvetage peuvent varier selon les circonstances : utilisation de sa propre bouée ou de celle du plongeur en difficulté, variantes de prises au fond et lors de la remontée. Le moniteur expliquera les avantages et les inconvénients de chaque méthode.

Assistance

La prise en charge du plongeur est rapide sans être précipitée : vérifier sa propre autonomie, se placer face au plongeur et passer les réserves. Le saisir par une main, la main opposée assurant le fonctionnement du système gonflage-purge. La prise doit être assurée, par exemple en passant l'avant-bras sous la sangle de poitrine du gilet-stabilisateur et en tenant une sangle d'épaule. Cette prise permet de remettre facilement le détendeur dans la bouche du plongeur s'il le lâche. Le plongeur assistant gonfle le gilet et s'aide des palmes pour amorcer la remontée dont la procédure est la même que pour une remontée individuelle. Il fait corps avec le plongeur assisté, masques au même niveau, et purge suffisamment tôt le gilet de celui-ci. Si le plongeur signale qu'il n'a plus d'air au cours de la remontée, il est possible de l'alimenter en air avec le détendeur de secours. Tour d'horizon, surface et gonflage du gilet du plongeur assisté, puis signe de détresse au bateau qui ne doit pas être loin.

Sauvetage

Le sauvetage implique la prise en charge d'une personne inanimée, éventuellement compliquée par la perte de son embout. Le coéquipier réagit immédiatement pour réalimenter en air le plongeur inconscient. Il le redresse en position verticale en le saisissant par le bras ou la sangle de poitrine du gilet. Avec l'autre main, il remet le détendeur fusant en bouche et l'y maintient pendant toute la durée de l'opération. Il gagne la surface selon la même procédure que pour l'assistance.

Équipement de confort, le gilet-stabilisateur est aussi un outil indispensable pour assurer sa propre sécurité, porter assistance ou réaliser un sauvetage dans de bonnes conditions (Calvi, 6 m).



En surface

Le sauveteur doit être capable d'assurer la prise en charge de l'accidenté entre le lieu de l'émersion et le bateau : il lui assure une flottabilité largement positive en gonflant son gilet et alerte le bateau par le signe de détresse. Si la personne est en situation d'essoufflement, par exemple, il peut la remorquer sur le dos en direction du bateau. Le remorquage peut être exécuté par la robinetterie en se plaçant en palmage dorsal derrière l'assisté. Il peut être fait latéralement en tenant le plongeur par le sanglage du gilet. Le palmage est alors costal, ce qui autorise un contact visuel avec le bateau et une meilleure trajectoire du parcours. Dans le cas d'un sauvetage, le sauveteur continue à assurer l'alimentation en air par le détendeur surtout s'il y a des vagues qui peuvent submerger les voies respiratoires de l'accidenté. La position latérale avec palmage costal s'impose.

ALERTE

Les compétences et les moyens des plongeurs secouristes sont limités. Pendant que l'un d'eux s'occupe de la victime, un autre doit, au plus tôt, prévenir les secours spécialisés. À bord d'un bateau, le moyen le plus sûr est le radio-téléphone. Émetteur et récepteur permettent l'utilisation de plusieurs fréquences, parmi lesquelles la fréquence de sécurité : 2 182 kHz sur la bande hectométrique et 156 MHz *(canal 16)* sur la bande métrique. L'emploi du radiotéléphone nécessite de posséder un certificat restreint de radiotéléphoniste délivré par France-Télécom. Sur le bateau, doivent être affichés à la vue de tous les numéros de téléphone permettant l'alerte des services spécialisés : CROSSMED, Pompiers (18), SAMU, Urgences médicales (15) et hôpital le plus proche possédant un caisson de recompression.

PREMIERS SECOURS

Pour être efficace, le plongeur complétera ses connaissances techniques par une formation aux activités de premiers secours en milieu aquatique (sécurité civile) ou en passant le certificat ou le brevet fédéral de premier secours délivré par la FFESSM.

La mission du plongeur secouriste est primordiale, mais limitée et temporaire, car il ne dispose souvent que d'un matériel improvisé, et son action s'arrête dès que le médecin intervient.



Rester à proximité de son coéquipier et être attentif à ses réactions en cours de plongée relève de la sécurité passive. En cas d'assistance immédiate, le temps d'intervention est réduit. Chaque seconde compte lorsqu'il faut, par exemple, réalimenter en air un plongeur victime d'un malaise (Calvi, 8 m).

Éléments de diagnostic

Avant d'engager toute action de secourisme et de réanimation, si possible dans les trois minutes suivant l'accident, le secouriste entreprend le plus rapidement possible un bilan (voir tableau page 268). Il regarde l'accidenté, l'interroge et l'écoute s'il est conscient. Un premier coup d'œil permet de faire immédiatement le geste qui sauve : ventilation artificielle en cas d'arrêt respiratoire, compression d'une plaie, massage cardiaque externe. Ce bilan est indispensable à l'efficacité de l'action du secouriste comme aux médecins qui connaîtront l'état de l'accidenté et son évolution.

L'accidenté est-il conscient ?

Le secouriste l'interroge. Comment se sent-il ? Est-il gêné pour respirer ? Souffre-t-il ? Dans quelles circonstances est-ce arrivé ? Il doit apprécier son état de conscience : répond-il aux questions ? Peut-il encore serrer la main ou relever le bras ?

L'accidenté respire-t-il ?

Le secouriste regarde les mouvements du thorax et de l'abdomen et écoute la respiration. Est-elle régulière, superficielle ou haletante ? Le blessé tousse-t-il ? L'arrêt respiratoire entraîne immédiatement la ventilation artificielle par bouche-à-bouche. S'il n'y a pas ventilation, il contrôle la circulation.

AU SECOURS !

Une veille permanente doit être assurée sur le canal 16 pour écouter et transmettre toute demande de secours. Un message d'urgence comprend dans l'ordre : l'appel « Pan Pan », le nom du navire, les renseignements relatifs à sa position, la nature de la détresse et les secours demandés. « Pan Pan, Pan Pan, Pan Pan, ici Archimède, Archimède, Archimède. À un mille dans le sud du cap Couronne. Un plongeur victime d'un accident de décompression. Victime consciente sous oxygène. Faisons route vers le port de Carro. Demandons prise en charge de l'accidenté pour acheminement vers caisson de recompression. Arrivée prévue dans 20 min. »



Dans la réalité, l'utilisation du gilet-stabilisateur permet une remontée assistée d'un plongeur victime d'un accident, mais un plongeur confirmé doit être entraîné à réaliser un sauvetage à la seule force de ses palmes (Calvi, 5 m).

La circulation sanguine est-elle touchée ?

Le secouriste cherche le pouls à la carotide ou au poignet. Il note sa fréquence (pouls régulier ou irrégulier) et sa force (pouls bien frappé ou « filant »). Il contrôle le retour sanguin à l'ongle en appuyant sur un ongle de la victime : si l'ongle reste blanc lorsque l'on relâche la pression, il y a arrêt de la circulation, *idem* si la pupille de l'œil est dilatée. Dans ces cas, il entreprend immédiatement un massage cardiaque externe en alternance avec le bouche-à-bouche. Le blessé saigne-t-il ? Il fait une compression de la plaie ou une compression « à distance ». Si aucun écoulement sanguin n'est visible, il suspecte une hémorragie interne qui se reconnaît à l'aspect du blessé en *état de choc* : il est pâle, a froid, soif et perd progressivement connaissance. Son pouls est difficile à prendre, faible, rapide.

L'accidenté a-t-il des fractures ou des lésions ?

Le secouriste recherche d'éventuelles déformations des membres, signes de fractures, les brûlures et contusions.

URGENCES

La réanimation de l'accidenté doit être poursuivie jusqu'à l'arrivée des secours spécialisés.

Insufflation par bouche-à-bouche ou bouche-à-nez

Dès qu'elle est sortie de l'eau, la victime est placée sur le dos, si possible la tête en bas sur un plan dur faisant un angle de 30° avec l'horizontale. Cette position apporte un flux de sang maximal au cerveau. La première opération consiste à libérer les voies aériennes supérieures. Ôter ou couper la veste de combinaison et basculer la tête en arrière pour libérer l'arrière-gorge obstruée par la chute de la langue. Nettoyer la cavité buccale de ce qui l'encombre avec un doigt en crochet. Le sauveteur, à genoux à côté de la victime, bascule la tête en arrière : une main soutient le cou, l'autre appuie sur le front, pouce et index fermant les narines. Après une inspiration, le sauveteur plaque sa bouche contre celle de la victime et insuffle l'air. L'expiration se fait de manière passive. Le sauveteur prend une nouvelle inspiration en tournant la tête vers la poitrine de la victime, ce qui lui permet de vérifier que les poumons se vident bien de l'air insufflé. Les mouvements doivent être réguliers, bien à fond, en ménageant ses forces : une fréquence de 15 à 20 mouvements par minute convient pour un adulte.

Le massage cardiaque externe

Il doit être entrepris par un secouriste préalablement formé et entraîné à cette méthode, en alternance avec le bouche-à-bouche lorsque l'arrêt circulatoire est constaté. La technique consiste à exercer une série de pressions verticales sur le thorax de la victime allongée sur un plan dur, très exactement sur le tiers inférieur du sternum. Le sauveteur est installé dans la position du bouche-à-bouche, ce qui lui permet d'effectuer alternativement les deux manœuvres. La compression se fait bras tendus avec le talon des mains placées l'une sur l'autre. La pression est forte, le poids du tronc étant transmis par les bras tendus. Le relâchement est passif. La fréquence doit être élevée, au moins 60 compressions par minute, pour permettre un bon entraînement du flux sanguin. Il est nécessaire de contrôler périodiquement la

En cas d'accident, le plongeur averti doit savoir porter les premiers secours, après avoir entrepris un premier bilan de l'accidenté. Dans les cas graves où les fonctions respiratoire et circulatoire sont atteintes, un secouriste préalablement formé et entraîné doit entreprendre un massage cardiaque externe en alternance avec des insufflations par bouche-à-bouche. Ces « gestes qui sauvent » doivent être poursuivis sans interruption jusqu'à ce que le blessé reprenne conscience ou que les secours arrivent.



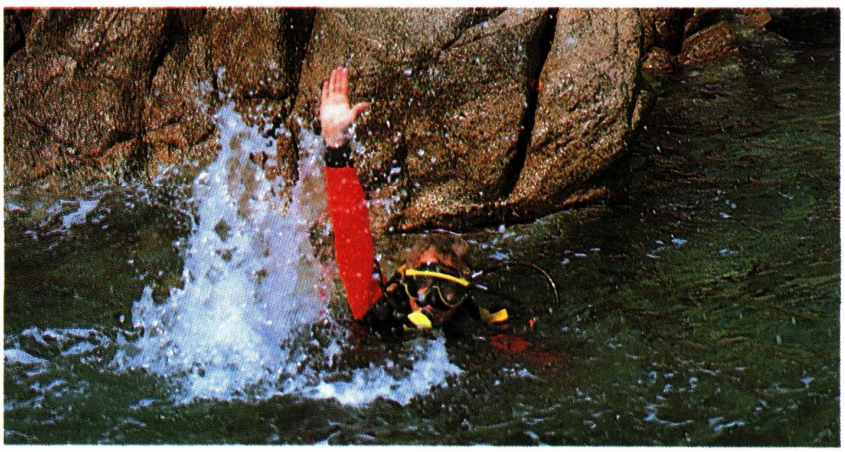
reprise de l'activité cardiaque. Si le secouriste est seul, il alterne deux insufflations et quinze compressions dans le temps le plus court possible. Ce rythme étant vite épuisant, il est préférable d'intervenir à deux personnes, l'une assurant la ventilation et l'autre le massage. Les sauveteurs se placent face à face de chaque côté de la victime. Dans ce cas, le rythme peut être : une insufflation suivie de cinq compressions et ainsi de suite.

Accidents de plongée : premiers soins

Les conduites a tenir par le plongeur secouriste ont été passées en revue dans les chapitres précédents. Elles sont récapitulées dans le tableau page 269.

Thérapie par l'oxygène

En période critique, la thérapie par l'oxygène normobare, c'est-à-dire administré à la pression atmosphérique, permet d'apporter une suroxygénation aux cellules de l'organisme. Un sujet traité à l'oxygène pur « dissout » dans le sang huit fois plus d'oxygène qu'en respirant de l'air à 20 % d'oxygène. L'oxygénothérapie est pratiquée par inhalation chez le sujet conscient et par insufflation chez le sujet inconscient. Le débit à administrer pour un adulte est de 10 à 12 l/min. Le matériel d'oxygénothérapie est constitué d'une bouteille d'oxygène pur, d'un manomètre indiquant la pression de la bouteille combiné avec un débitmètre réglant le débit d'oxygène, et le plus simplement d'un masque oro-nasal et des flexibles de liaison. La réserve d'oxygène doit être adaptée au trajet du bateau. Elle ne saurait être inférieure à une heure d'utilisation en continu, soit une réserve comprise entre 720 l et 900 l normobares (par exemple une bouteille de 6 l gonflée à 150 bars ou, mieux, à 200 bars).



En cas d'incident, le plongeur alerte le surveillant de surface par le signe adéquat du code de communication.

Les filets abandonnés sont un risque permanent pour le plongeur. La plongée en palanquée assure une bonne sécurité.



SECOURISME

Fracture (chute sur le pont ou le quai).
Interdire tout mouvement au blessé, immobiliser le membre, sans chercher à réduire la fracture, arrêter une hémorragie éventuelle.
Si la colonne vertébrale est atteinte, immobiliser le blessé à plat dos, sans fléchir ni tourner sa tête.

Hémorragie externe (coupure avec un couteau de plongée, blessure par flèche de chasse).
Exercer une pression sur la plaie en appliquant la main avec un linge propre plié. Si l'hémorragie cesse ou diminue, effectuer un pansement compressif. Si l'hémorragie persiste, comprimer l'artère à distance entre le cœur et la plaie. Savoir repérer les six points de compression : cou, clavicule, aisselle, bras, aine et cuisse.

Brûlure (échappement du moteur, incendie à bord).
Ne pas déshabiller le blessé, sauf les vêtements superficiels, rincer la plaie à l'eau douce et couvrir la brûlure avec un linge propre ou une compresse stérile.

Piqûre et morsure par des animaux sous-marins (méduses, vives, rascasses et raies, congres et murènes).
Éliminer le venin par la chaleur (bain d'eau chaude ou source de chaleur à proximité de la plaie). En cas de piqûre d'oursins, extraire les piquants et les fragments, en pressant autour du point de pénétration. Désinfecter à l'eau javellisée.



(Ci-dessus.) L'entretien courant du matériel de plongée, comme le détendeur, est à la portée du plongeur averti, mais les interventions plus complexes sont du ressort du spécialiste.

(Ci-dessous.) En surface, le sauveteur poursuit son intervention entre le lieu d'émersion et le bateau ou la côte.

RÉÉPREUVE ET INSPECTION VISUELLE

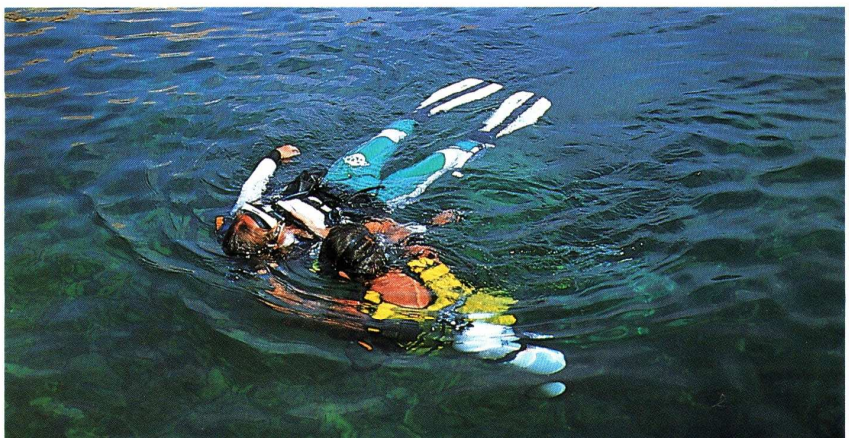
La réglementation nationale impose que les bouteilles de plongée subissent une réépreuve hydraulique tous les deux ans. Si la bouteille est portée sur le registre d'un club affilié à la FFESSM, ce délai est étendu à cinq ans, sous réserve qu'une inspection visuelle annuelle soit positive.

Entretenir le matériel

Le matériel de plongée est relativement complexe. Son entretien complet demande des connaissances, un savoir-faire et un outillage adapté. C'est l'affaire du spécialiste. Cependant le plongeur averti peut réaliser l'entretien courant, détecter et réparer les défauts de fonctionnement simples et procéder aux réglages de base.

LE BLOC-BOUTEILLE

Le joint torique du siège est changé fréquemment pour éviter toute fuite d'air et toute rupture. Seul un bloc en bon état et à jour de réépreuve ou de visite annuelle peut être gonflé dans une station spécialisée. L'entretien courant concerne la surveillance de la corrosion interne qui peut provenir de l'eau infiltrée par l'orifice de la robinetterie ou de l'humidité introduite par le compresseur si les purges ou filtres sont défectueux. Avant chaque gonflage, la robinetterie est purgée en laissant échapper l'air quelques secondes. Un bloc se vide très lentement pour éviter le givrage de la robinetterie et surtout la formation d'eau par condensation sur les parois. On peut déceler les traces d'humidité ou de rouille en examinant le filtre « haute pression » en bronze du détendeur qui doit conserver son aspect d'origine. Un filtre blanc dénonce une entrée d'eau de mer, un filtre rouille ou jaune, une oxydation de l'intérieur du bloc, un filtre vert-de-gris, une oxydation du détendeur ou du robinet et un filtre noir, la présence d'huile carbonisée provenant du compresseur. Les bouteilles sont vérifiées périodiquement par un technicien spécialisé seul habilité à contrôler l'état de l'oxydation et à procéder à l'entretien qui peut aller du simple grenaillage intérieur à la réépreuve. Lorsqu'il n'est pas utilisé, le bloc est stocké verticalement en conservant une pression résiduelle (50 bars).





LE DÉTENDEUR

Les détendeurs modernes sont très fiables s'ils sont correctement entretenus. L'entretien courant peut être réalisé par un plongeur averti, mais les révisions complètes doivent être confiées à un atelier spécialisé une fois par an. Les défauts de fonctionnement les plus courants sont identifiés sur le tableau pages 270-271. Le détendeur est rincé à l'eau douce après chaque plongée, et les chambres humides des deux étages sont séchées à l'air comprimé. Pour l'hivernage, le second étage peut être démonté, les membranes vérifiées et les pièces métalliques siliconées. Une cale bloquant le bouton de surpression est utile pour décoller le clapet du siège et éviter de le marquer.

Le rôle du bateau de surveillance est primordial pour suivre depuis la surface les bulles des plongeurs et intervenir rapidement en cas de nécessité.

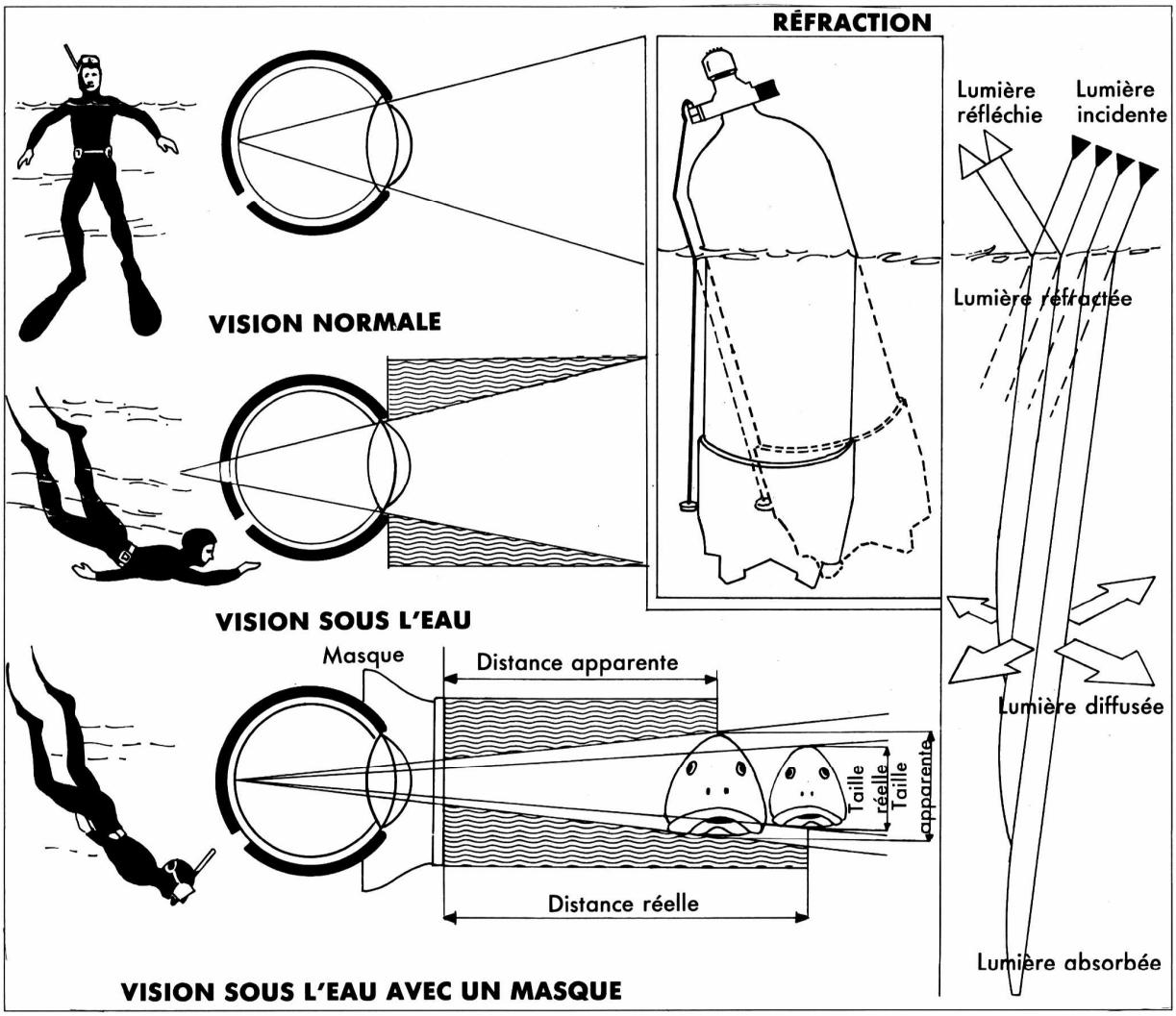


LES YEUX DANS LE BLEU



De même qu'il adapte sa respiration, ses déplacements et son équilibre au milieu sous-marin, le plongeur doit aussi éduquer son œil. Sous l'eau, la visibilité est souvent limitée, les couleurs s'estompent et la lumière subit de nombreuses transformations. Voir sous l'eau, c'est aussi regarder et comprendre les paysages sous-marins. L'exploration de ces sites nécessite d'éduquer ses sens pour se situer, s'orienter et les retrouver lors de plongées ultérieures.

Sous l'eau, les lois de l'optique transforment la lumière. La réfraction oblige le plongeur à porter un masque pour avoir une vision nette, et déforme les images perçues. Ces images virtuelles sont plus grandes et plus proches que les images réelles. L'intensité de la lumière décroît avec la profondeur, comme les couleurs qui s'atténuent et disparaissent depuis les couleurs chaudes jusqu'aux couleurs froides.



Visions déformées

L'eau laisse traverser la lumière, mais seulement une partie de celle-ci, et les trajets des rayons lumineux subissent de nombreuses modifications par rapport au milieu terrestre.

SOUS L'EAU, DES RAYONS RÉFLÉCHIS...

La lumière voyage en ligne droite. Lorsqu'elle est réfléchie par une surface plane, elle obéit à une loi fondamentale de l'optique qui veut que l'angle d'incidence soit égal à l'angle de réflexion. Une partie seulement des rayons parviendra à traverser la surface de l'eau, l'autre partie étant réfléchie dans l'atmosphère. Plus le soleil est vertical au-dessus de l'horizon, plus les rayons pénètrent sous l'eau. Si le soleil est bas, 50 % des rayons sont réfléchis dans l'atmosphère. Conséquence pour le plongeur photographe : il doit ouvrir d'autant plus le diaphragme de son objectif ou organiser ses plongées en fonction de l'heure solaire, par exemple à 14 h en été où le soleil est en position zénithale.

...RÉFRACTÉS...

En se propageant d'un milieu optique à l'autre, tout rayon lumineux est freiné et dévié dans sa course : c'est la *réfraction*. Lorsqu'elle traverse des milieux comme l'eau, 800 fois plus dense que l'air, la lumière perd 25 % de sa vitesse, et l'angle de réfraction est assez prononcé. Tout plongeur a constaté que le cordage de l'ancre du bateau au mouillage semble être coupé au niveau de la surface. Première conséquence pour le nageur qui ouvre les yeux sous l'eau : la vision dans l'eau est floue, car l'image se forme alors derrière la rétine du fait des différences des indices de réfraction entre l'air, l'eau et la cornée. En enfermant l'œil dans un volume d'air séparé de l'eau par une vitre plane, on supprime cet handicap, et la vision devient claire grâce au masque. Mais le masque a lui-même ses limites, toujours du fait de la réfraction qui « déforme » les images perçues. Deuxième conséquence : le plongeur voit le monde sous-marin comme à travers une loupe dont le grossissement serait de 33 %. Tout objet vu sous l'eau paraît plus proche et plus grand, d'un tiers environ de sa distance et de sa dimension réelles. Ainsi le « gros »

mérou de 80 cm que l'on a approché à moins de 3 m mesurait en réalité 60 cm [80/1,33] et se tenait prudemment à distance du plongeur à 4 m [3 × 1,33]. Autre inconvénient du masque : il réduit le champ de vision du plongeur du fait des bords de la jupe qui rétrécissent le champ visuel et aussi de la réfraction des rayons lumineux dans le verre du masque. On peut augmenter le champ de vision en choisissant un masque à faible volume et rapproché des yeux, mais on ne peut corriger totalement la réduction du champ visuel. Aussi certaines précautions s'imposent, comme le *tour d'horizon complet sur 360°* avant de percer la surface.

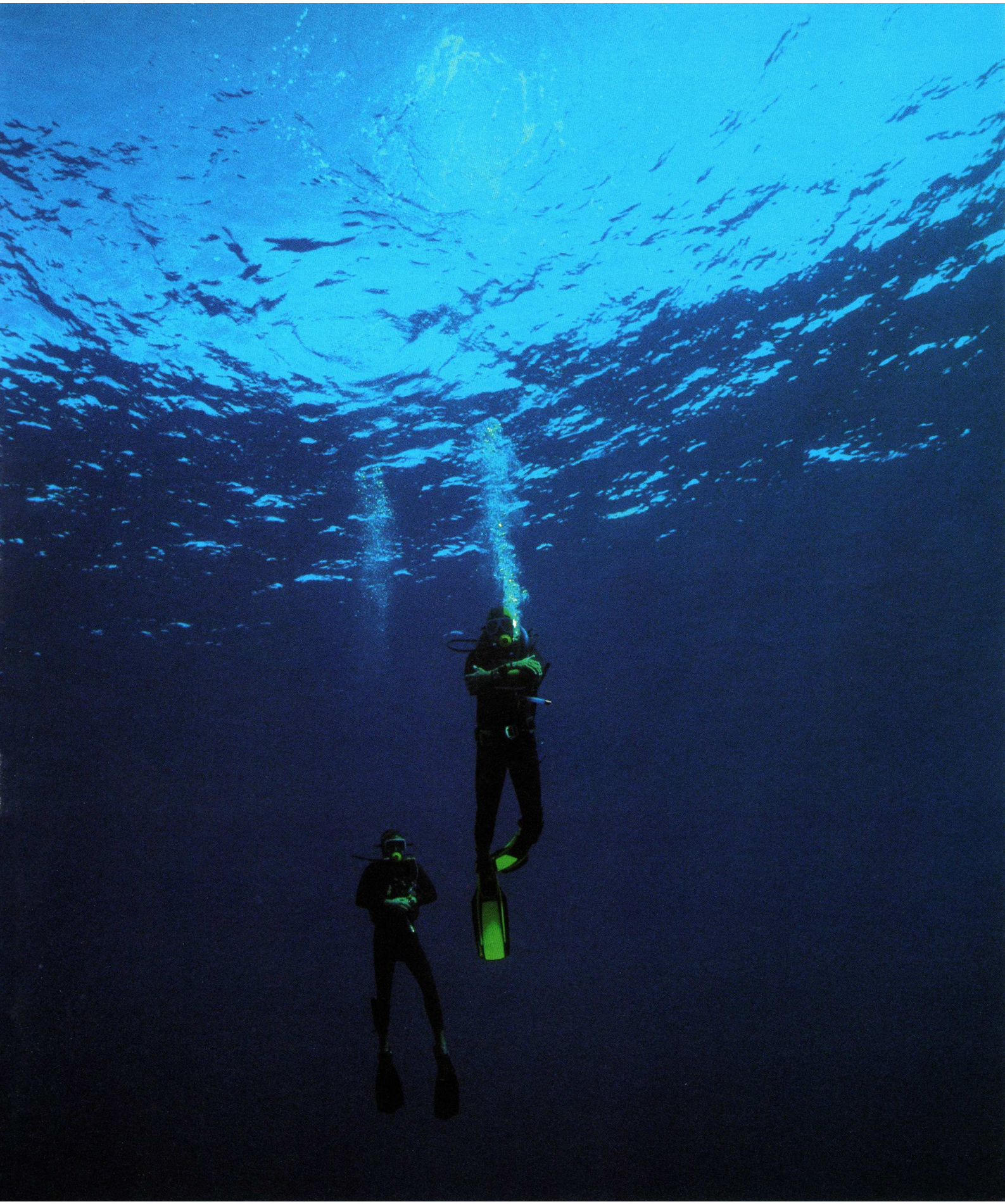
...ET ABSORBÉS

La lumière est absorbée par l'eau de mer et subit une double altération à la fois quantitative et qualitative. D'abord, elle diminue d'intensité avec la profondeur : 40 % de la lumière est absorbée dès le premier mètre et il ne subsiste plus que 1,5 % de l'intensité initiale à 40 m. Plus rapidement que l'intensité, les couleurs sont atténuées sous l'eau qui agit comme un filtre. Elles disparaissent les unes après les autres selon leurs longueurs d'onde, d'abord le rouge vers 5 m, l'orange vers 20 m, le violet vers 30 m, le jaune vers 40 m, enfin le vert à 50 m. Au-delà, seul domine le bleu. Les plongeurs savent qu'une source de lumière artificielle permet de « rétablir » les vraies couleurs. La lampe de plongée est indispensable à partir d'une certaine profondeur pour redonner vie aux gorgones qui virent du violet au pourpre sous le faisceau de la torche ou à la rascasse qui retrouve sa vraie couleur rouge orangé.

DES PARTICULES QUI DIFFUSENT LA LUMIÈRE

La lumière artificielle amenée par le plongeur rétablit les vraies couleurs, mais n'améliore pas forcément la distance de visibilité. L'intensité de la lumière est en partie absorbée par l'eau, et les particules en suspension, organiques et minérales, reflètent et éparpillent la lumière dans toutes les directions. La lumière diffuse comme dans une nappe de brouillard. En photographie sous-marine, quand les rayons de l'éclairage artificiel frappent ces particules, on obtient un effet de « neige » sur les photographies. Tous ces phénomènes

Dans les mers tropicales, la visibilité peut dépasser 50 m (La Réunion, 20 m).



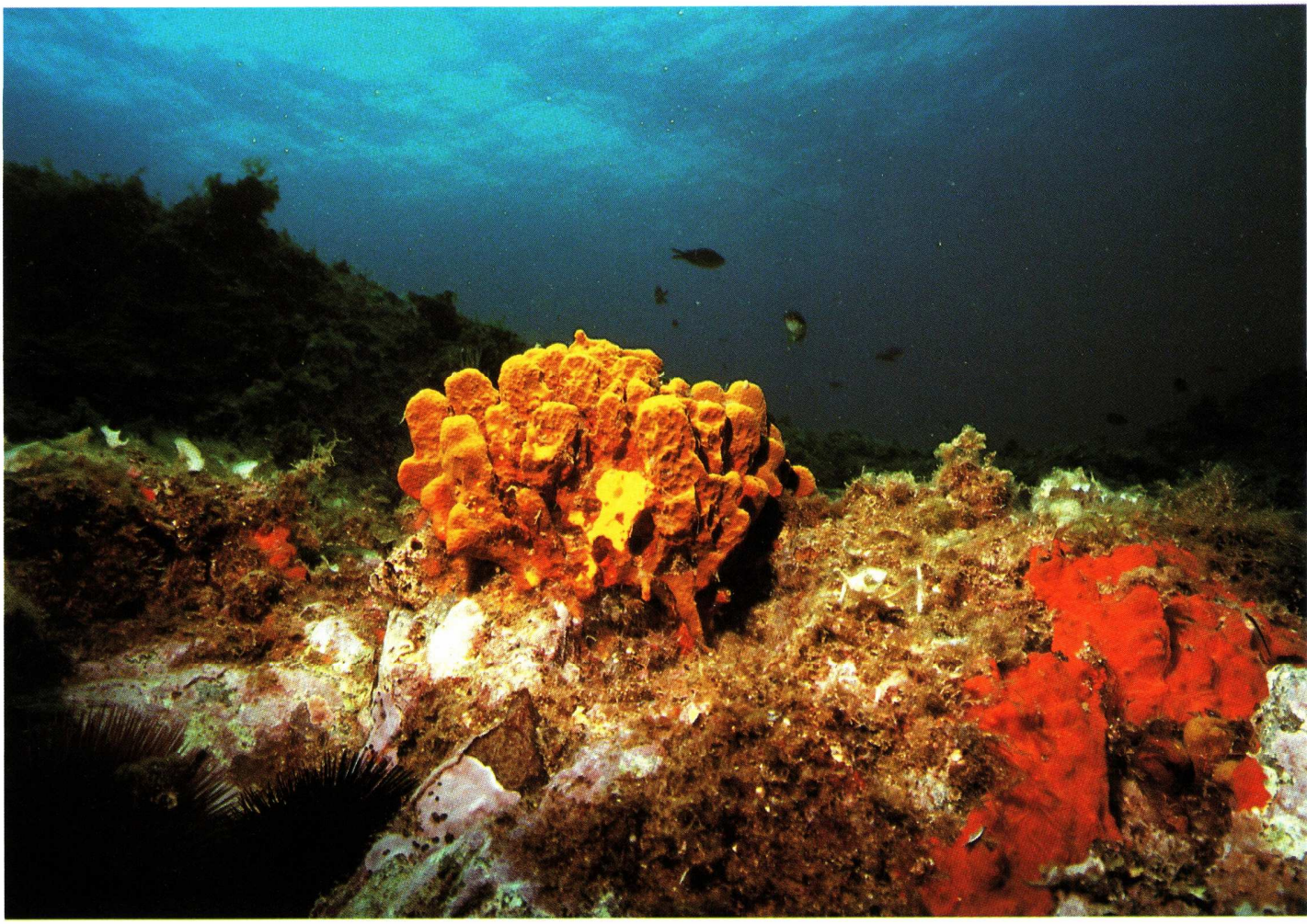
jouent sur la visibilité, contrainte majeure pour le plongeur. En Méditerranée, elle varie avec la saison et avec les sites. À Port-Cros, en été, la visibilité peut atteindre plus de 30 m. Dans le Languedoc-Roussillon, elle peut être de l'ordre du mètre ou moins encore sous l'effet des nuages de turbidité apportés par le Rhône. On comprend que la découverte des paysages sous-marins s'accommode mal d'une turbidité excessive et que beaucoup de plongeurs s'envolent vers des destinations tropicales où les eaux sont cristallines et où la visibilité peut atteindre 90 m.

Paysages d'eau

Observer la vie sous-marine ne peut se faire sans replacer cette vie dans un contexte général, dans un décor. Ce décor est responsable des premières impressions qu'éprouve le plongeur au cours de ses promenades sous-marines. De même que le randonneur admire d'abord le paysage avant de s'intéresser à un arbre ou à une fleur, le plongeur est d'abord sensible à une perception globale du paysage sous-marin. Un fond accidenté constitué de tombants et de parois rocheuses dans une eau très claire où le regard porte loin donne immanquablement l'impression d'avoir réalisé une très belle plongée, même si l'on rencontre peu de poissons. Inversement, une eau turbide ou un fond monotone laissent rarement un souvenir inoubliable, même si la zone est riche en organismes vivants. Le cadre physique est une composante importante de la réussite d'une plongée, sachant qu'un type de faune est généralement associé à un type de milieu.

Mis à part certains poissons qui ne sont pas caractéristiques d'un milieu donné, le paysage sous-marin est constitué d'un décor comme le sable, les tombants ou parois rocheuses, les éboulis, et de leur peuplement associé représenté par la flore et par la faune fixées ou liées au fond. Sous l'eau, le lien entre ces deux composantes est tellement fort qu'il est parfois difficile de les différencier. Le coralligène, par exemple, est un rocher... fabriqué par des algues. Certaines gorgones se fixent sur ce coralligène, puis servent, à leur tour, de support à de nombreux autres organismes. Tout ce petit monde vit en étroite relation, grâce à l'eau elle-même.

D'une région à l'autre, le paysage sous-marin change. Une plongée en Atlantique n'offre pas les mêmes aspects qu'une plongée en Méditerranée ou dans une mer tropicale. Les plongeurs connaissent bien ces différences et recherchent activement les plongées les plus belles. Les paysages changent également au sein d'une même



Cette éponge jaune (Aplysina aerophoba) *contribue à la beauté des paysages de profondeur moyenne. La présence, dans ses tissus, d'algues symbiotiques lui vaut son attirance pour la lumière (Cap Creus, 18 m).*

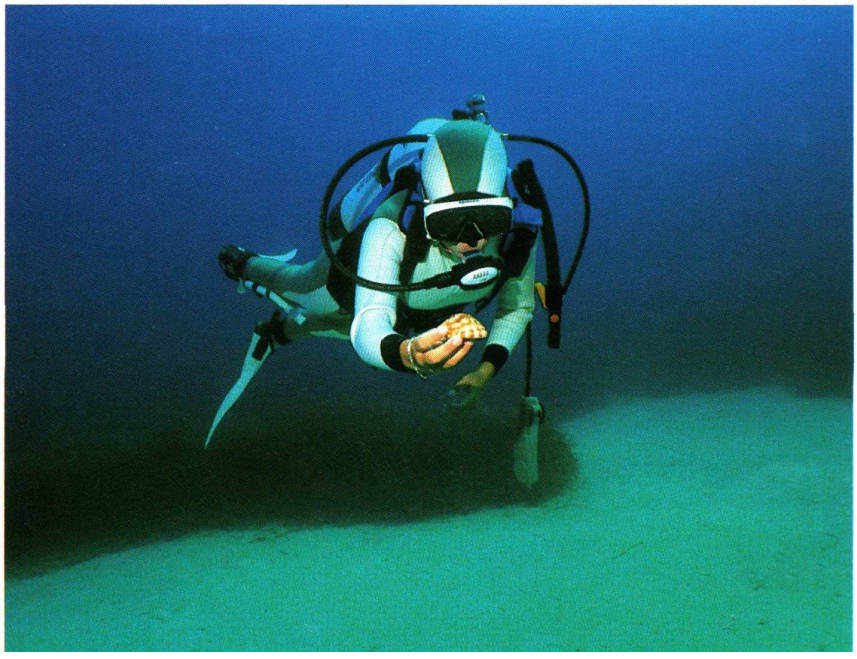
mer. Plonger dans le Var n'offre pas du tout le même paysage qu'en Corse ou que dans le Languedoc. Enfin le paysage varie au cours d'une même plongée. Ces modifications sont notables au cours de la progression en profondeur. Les paysages près de la surface sont toujours différents de ceux observés plus profondément à tel point que leur comparaison alimente parfois la polémique qui consiste à savoir s'il est nécessaire de descendre profondément pour observer de belles choses ou non. Cette diversité des paysages permet aussi de planifier une plongée en fonction du milieu recherché. Pour visiter un paysage dominé par les algues où les labres sont abondants, il n'est pas nécessaire de prévoir une plongée trop profonde. En revanche, le coralligène ne se rencontre qu'à partir d'une certaine profondeur (de 15 m du côté des Pyrénées-Orientales à plus de 45 m en Corse où il n'est pratiquement plus à la portée de la

plongée sportive). Les grottes demandent des précautions particulières même si elles ne sont pas profondes et sont réservées à des plongeurs confirmés. Ainsi, technique et découverte sont étroitement liées.

LE DÉCOR ET LES HABITANTS

On retrouve sous l'eau les mêmes milieux que sur terre (montagnes, falaises, grottes, plaines), à tel point que le relief sous-marin est souvent la continuité du relief terrestre. Une vallée terrestre débouche généralement dans une crique ou une anse, qui n'est que le prolongement de cette vallée. De même, une falaise ou un éboulis se poursuivent sous la surface. Cette particularité permet, notamment, de choisir un site de plongée d'après une carte et d'après l'aspect du paysage extérieur. Notons cependant que les dénivelés sous-marins sont sans aucune commune mesure avec les dénivelés terrestres. En Méditerranée, entre 60 et 90 m, le rocher disparaît et laisse la place à un fond vaseux qui descend en pente douce, alors qu'au-dessus de la surface la mer peut être dominée par des montagnes de plusieurs centaines de mètres !

Le milieu physique, le relief, est colonisé à des degrés divers par toute une faune et une flore fixées sur le rocher. Cet habillage est souvent ignoré par le plongeur qui n'identifie comme représentants de la faune que les poissons. Tous les autres invertébrés, notamment ceux fixés au rocher, sont assimilés à des algues ! Cette vie peut être absente, ou dominée par des algues ou bien par des animaux. Elle est toujours dépendante du substrat, de la profondeur et de bien d'autres facteurs souvent inconnus.



Contrairement à beaucoup d'idées reçues, les fonds sableux abritent une faune importante. La qualité de l'observation est cependant déterminante (Calvi, 12 m).

Les fonds sableux

Bien que peu recherchés par le plongeur, les milieux sableux sont souvent visités au cours d'une plongée. (Mise à l'eau dans une crique protégée tapissée de sable, sable au pied d'un tombant, etc.)

Le sable provient d'origines diverses. Le climat terrestre soumet le rocher à une érosion continuelle aboutissant à sa transformation en blocs, en cailloux, puis en petits grains. Tous ces éléments sont lessivés par les pluies, déversés dans les fleuves, et finissent par se retrouver dans la mer où ils sont transportés et triés par les courants. Ce type de sable est souvent constitué par des grains fins et durs (quartz). Le sable peut aussi être coquillier et donc d'origine marine. Les zones peu profondes de nos mers produisent en effet une grande quantité de coquillages. À la mort de l'animal, la partie charnue disparaît très rapidement alors que la coquille, résistante, se retrouve roulée par les vagues et finalement brisée en petits morceaux qui forment alors un sable dit *coquillier*. Ce type de sable est constitué de fragments de toutes tailles, triés seulement par l'action des vagues. Enfin, il est possible d'observer des dépôts beaucoup plus fins constitués de particules d'origines diverses. Les scientifiques parlent de vases ou de limons pour ce type de particules. Ces différentes catégories de sable se mélangent en proportions variables, au gré des courants, des zones d'apports (fleuves) ou du relief sous-marin. Toutes ces raisons expliquent la grande variété des sables rencontrés, tels ceux formant un nuage de particules au moindre coup de palme, ou ceux, bien blancs, donnant une belle couleur bleu turquoise à la mer, ou encore les sables noirs, d'origine volcanique.

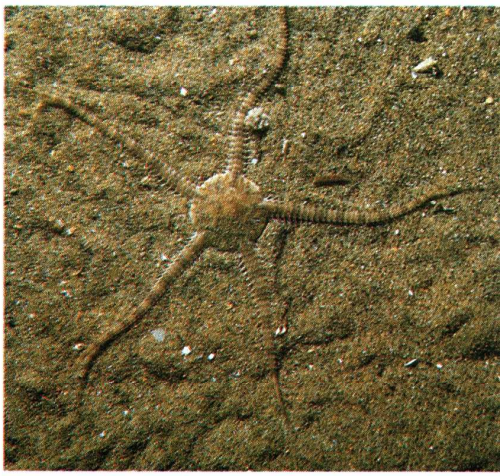
Les biologistes marins ont pour habitude de différencier les organismes vivant sur un *substrat* dur comme les rochers, de ceux vivant sur ou dans un *substrat meuble* (sable ou vase). Pourtant, les fonds sableux permettent le développement de formations comme les herbiers de posidonies ou la roche coralligène, assimilés à des substrats durs. Il n'est d'ailleurs pas rare d'observer un herbier jouxtant, vers sa limite la plus profonde, une formation coralligène, le tout coupé de zones où le sable apparaît.

Sur le sable même, le plongeur rencontre assez peu d'organismes fixés puisque, le milieu étant très instable, ceux-ci ne pourront pas se « coller », mais devront s'enfoncer profondément pour se maintenir. Un exemple caractéristique de ce type d'organismes est le cérianthe, sorte d'anémone aux couleurs parfois fluorescentes, qui se rétracte, en cas de danger, dans un tube muqueux souple profondément enfoncé dans le sable. Excepté les organismes vivant dans le sable même, généralement invisibles pour le plongeur, beaucoup



Le pleurobranche tortue (Susania testudinaria) *est une sorte de gros nudibranche vivant sur le sable ou dans l'herbier de posidonies. Il est peu abondant (Calvi, 22 m).*

d'habitants vivant à la surface sont des poissons adaptés à cette vie. Les poissons plats, comme les soles, ont évolué de sorte que leurs deux yeux se retrouvent du même côté, tournés vers le haut. Ils nagent donc sur le côté ! Chez les vives, les yeux ont migré symétriquement vers le haut. Elles continuent à nager droit. Tous ces poissons ont généralement une couleur blanche ou brun clair, rappelant celle du sable, vivent près du fond et peuvent s'enfoncer légèrement en cas de danger ou bien pour chasser à l'affût.



Cette ophiure (Ophiura texturata) *imite la couleur du sable avec lequel elle se confond. Ce mimétisme lui permet de passer inaperçue (Palavas, 6 m).*

Les herbiers de posidonies

Dans certaines baies méditerranéennes, entre 0 et 40 m, se développe un herbier de posidonies. Les posidonies ne sont pas des algues. Leurs ancêtres sont terrestres et, à l'instar des mammifères marins comme les baleines ou les dauphins, elles ont reconquis le milieu sous-marin. Conséquence : les posidonies sont des plantes supérieures se distinguant des algues par la possibilité de se reproduire par l'intermédiaire de fleurs et par le fait qu'elles possèdent des racines, des tiges et des feuilles. La floraison est cependant rare sous nos contrées, et les posidonies se multiplient plutôt par l'intermédiaire de stolons ou d'un bouturage naturel. Elles finissent par former de véritables prairies denses s'étendant latéralement, mais aussi vers la surface. Cette croissance lente est à l'origine de la formation d'un entrelacs de rhizomes appelé *matte*. À la mort de l'herbier, la matte reste parfois en place pendant de nombreuses années. L'herbier de posidonies joue un rôle écologique important : il produit de grandes quantités d'oxygène, il contribue à fixer les fonds meubles et permet donc d'éviter des phénomènes d'érosion côtière. Enfin, ses rhizomes solides permettent à toute une faune comme les bryozoaires, les ascidies ou les éponges de venir se fixer. Ces animaux sont, par ailleurs, bien protégés sous les feuilles de cette plante. Les formes de vie sont généralement de petite taille puisqu'elles sont adaptées à la taille de l'herbier — sauf pour la grande nacre qui peut atteindre 80 cm. Ce coquillage n'est pas véritablement fixé sur l'herbier, mais plutôt ancré dans le sable ou au sein des tiges grâce aux filaments qu'il fabrique.

Le coralligène

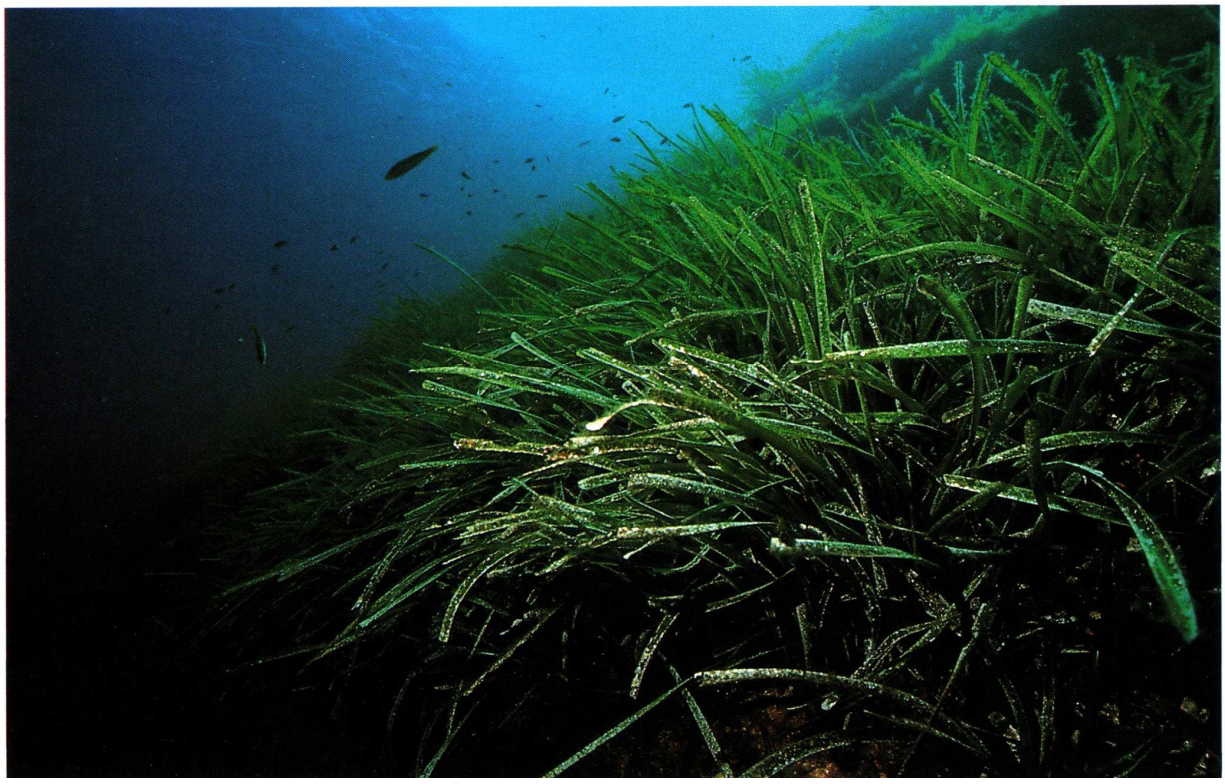
L'irrégularité de la répartition du coralligène ainsi que son apparition à partir de profondeurs relativement importantes expliquent que, malgré son grand intérêt pour le plongeur, il soit souvent méconnu.

Le coralligène a l'apparence d'un rocher friable, percé d'innombrables cavités, surplombs et parfois même de véritables grottes. En réalité, ce n'est pas une roche authentique, mais un milieu vivant, fabriqué par des organismes végétaux et animaux ayant la propriété de produire du calcaire. Comme tout organisme vivant, il se construit, mais se détruit également, à une vitesse que le plongeur ne peut évidemment percevoir, mais dont il peut observer les effets dans les formes tourmentées et variées observées.

Le coralligène forme de véritables « patates », de tailles variables, pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres horizontalement et quelques mètres verticalement, séparées par des chenaux sableux. Le long de ces chenaux, les parois de cette roche biologique sont souvent surplombantes, ce qui ménage un habitat favorable à de nombreux organismes fuyant la lumière comme le corail rouge. Lorsque deux patates se rejoignent, il se forme une grotte, ouverte parfois vers le haut, véritable paradis pour le poisson... et le plongeur !

L'origine même du coralligène et sa localisation font qu'il est difficile de le repérer dès la surface. Dans les zones où il est abondant, comme sur la côte rocheuse des Pyrénées-Orientales, on le trouve invariablement à partir d'une certaine profondeur. Ailleurs, il est préférable de bénéficier des conseils de plongeurs connaissant la région.

Lorsque le coralligène apparaît à de faibles profondeurs (15 m), il est généralement recouvert à sa surface d'une algue lui donnant un aspect caractéristique. Cette algue verte, calcaire, nommée *Hali-*



L'herbier de posidonie joue un rôle écologique important sur certaines côtes méditerranéennes. Ces plantes supérieures servent d'abris à une grande quantité d'organismes de petite taille (Port-Cros, 10 m).



Le coralligène doit sa richesse à sa nature biologique et aux innombrables cavités qu'il offre à la faune fixée ou aux poissons. Ici des barbiers (Anthias anthias) *évoluent dans un paysage dominé par le corail rouge* (Corallium rubrum) *et l'algue rouge* Peyssonnelia squamaria *(Cap Creus, 28 m).*

meda tuna, est formée de cinq à dix petites pastilles de 1 ou 2 cm de diamètre collées les unes à côté des autres. L'ensemble forme un tapis homogène. Pour observer la faune, il faut alors rechercher les surplombs ou les parois où la faible luminosité favorise l'installation des organismes fixés (ascidies, éponges, bryozoaires, etc.). Dans les zones les plus obscures, il est parfois possible de découvrir le corail rouge *(Corallium rubrum)*.

Plus profondément, la densité des algues diminue à la surface du coralligène, et de nombreux organismes animaux, qui ne sont rencontrés à moins grande profondeur que protégés de la lumière, prennent leur place.

Le corail, visible sous le moindre surplomb, ainsi que beaucoup d'autres formes de vie s'y développent. La dentelle de Neptune prend de belles proportions, de nombreuses ascidies rouges sont fixées, ainsi que, sur les parties verticales, la gorgone rouge.

Les éboulis

Les éboulis ont pour origine des éboulements de falaises littorales, causés par la force considérable des vagues venant se briser sur le rocher depuis l'aube des temps. Ce sont des milieux particuliers, riches en trous, cavités et recoins, dans lesquels de nombreux poissons trouvent refuge.

Leur aspect est variable. Certains sont caractéristiques, formés de blocs arrondis, atteignant parfois des tailles impressionnantes. Ces blocs empilés ménagent des espaces faisant le bonheur du plongeur équipé d'un bon éclairage. D'autres sont constitués de roches plus ou moins plates, formant de belles ragues, endroits de prédilection pour des poissons comme les sars et les corbs. Enfin certains éboulis sont constitués de petits blocs, roulés par les vagues au cours des fortes tempêtes, où la vie a parfois du mal à s'installer.

Compte tenu de leur mode de formation, les éboulis se trouvent rarement à forte profondeur, sauf lorsque la falaise érodée plonge très profondément. Ces caractéristiques en font des milieux recherchés par les plongeurs « débutants », qui y rencontrent entre 0 et 15 m de nombreux poissons, y compris le fameux mérou dont c'est l'un des habitats favoris.

Par leur nature, les éboulis représentent un milieu où la vie fixée a du mal à s'installer. Ils se trouvent à faible profondeur, dans des zones où les vagues sont fortes et donc instables. La houle brise les organismes dressés, cassants ou fragiles et privilégie ceux possédant des formes encroûtantes. Sur le sommet des blocs se développe un tapis d'algues assez ras comme l'algue en balais *(Halopteris scoparia)* ou la padine *(Padina pavonica)*. Parfois, le rocher apparaît totalement nu. Sur le côté des blocs ou en dessous se fixent des algues, des éponges ou des bryozoaires encroûtants. À partir d'une dizaine de mètres, l'action des vagues se fait moins sentir, et la vie qui se dessinait prend alors son essor comme lorsque les rochers se recouvrent d'un épais tapis d'algues brunes *(Dictyota)*.

Les falaises sous-marines ou tombants

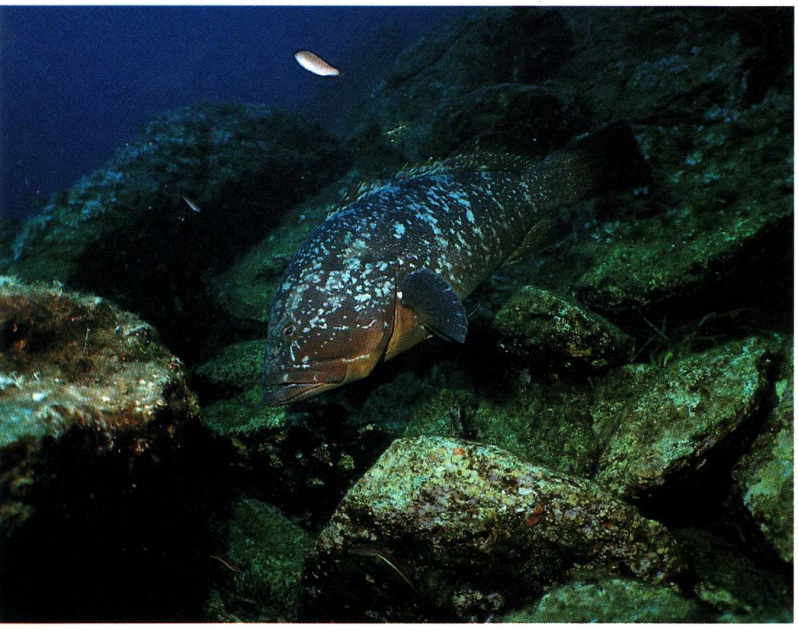
La recherche de parois verticales est une obsession permanente du plongeur. Peut-être est-ce parce qu'il prend conscience de bénéficier d'une dimension qui lui est interdite sur terre.

Les sensations éprouvées lors de la visite de ce type de reliefs justifient à elles seules l'engouement du plongeur, mais il existe bien d'autres attraits. L'aspect accidenté comme les perspectives parfois vertigineuses donnent à ce type de paysage une grande beauté.

Les tombants prolongent souvent une falaise terrestre qui plonge à pic dans la mer. Ils constituent également les parois d'éperons rocheux ou le prolongement d'un cap. Certains débutent sous la surface du fait d'une rupture de pente brusque du relief, ou ont pour origine un haut-fond ou *sec*, toujours très recherché par les palanquées.

Les éperons rocheux présentent un intérêt particulier en offrant deux « faces » au plongeur, qui peuvent être visitées sans faire deux fois le même chemin. L'intérêt est accru par le fait que ces deux faces ne sont pas orientées de la même façon et présentent généralement un faciès différent. De même qu'en montagne le versant nord diffère du versant sud, sous la mer, l'exposition joue un rôle identique sur la faune et sur la flore. Cela se vérifie au cours de l'exploration d'un sec qui permet, lorsqu'on en fait le tour, d'observer les effets de n'importe quelle exposition, et ce à diverses profondeurs.

Les éboulis constituent l'habitat privilégié de nombreux poissons dont le plus célèbre est très certainement le mérou (Epinephelus marginatus). *Ce poisson élit domicile dans une cavité à sa taille qu'il garde longtemps (Port-Cros, 15 m).*



Les tombants verticaux, au contraire, n'offrent qu'une seule exposition. Si cette exposition est nord ou est et que le tombant est bien vertical, la lumière l'atteint assez peu, ce qui a des conséquences importantes pour la faune et pour la flore.

Près de la surface, le rocher semble parfois nu. Un examen plus attentif montre souvent une couleur rose, formant parfois comme des croûtes. Il s'agit d'une algue rouge calcaire, tapissant le rocher au point qu'il est parfois difficile de la différencier de son support. Dans les fissures ou sur les parties surplombantes, protégées de la lumière et des trop fortes turbulences, certaines algues beaucoup moins résistantes peuvent prospérer, et des invertébrés se fixer. C'est alors l'occasion d'observer à faible profondeur des espèces que l'on rencontre habituellement plus bas (éponges et bryozoaires).

Ce n'est que plus profondément — entre 5 et 15 m — que la vie végétale prend son essor, non pas sur les parois, recevant trop peu de lumière, mais plutôt sur les parties horizontales, surtout si elles sont exposées au sud. C'est le règne d'algues comme les padines, les dictyotes ou les sphérocoques. Les parties verticales, abritées d'une trop forte luminosité, accueillent des éponges encroûtantes et des anémones coloniales comme les *Parazoanthus*. C'est également un endroit de prédilection pour le faux corail *Myriapora truncata*.

(À droite.) Les corbs (Sciaena umbra) *sont des poissons qui affectionnent les paysages accidentés. On les trouve souvent au sein des superstructures des épaves (Bastia, 30 m).*

À partir de 30 à 35 m, beaucoup d'algues disparaissent, notamment dans les eaux les moins claires. Les conditions de vie stables

FORTUNES DE MER

Les épaves sont des milieux artificiels souvent colonisés par une faune particulière. Lorsqu'elles reposent sur des fonds sableux, elles constituent la seule possibilité pour des larves de trouver un support de fixation et pour les poissons de trouver un refuge. Congres, murènes, corbs et mérous se rassemblent souvent à l'intérieur de ces structures peuplées de gorgones et d'éponges.

La visite d'une épave en plongée ne s'improvise pas. Elle cumule souvent les risques de la plongée profonde et de l'exploration d'un milieu artificiel recelant ses dangers propres : tôles déchiquetées, cales obscures où sédimente la vase, filets perdus accrochés. La palanquée doit être accompagnée d'un guide connaissant bien les caractéristiques de l'épave et de ses vestiges : profondeur, dimensions, position sur le fond, plan, état de conservation et dangers particuliers. Quelques conseils :

Renoncer à plonger si la visibilité est faible.

Veiller à plaquer contre soi tous les flexibles d'alimentation en air. Ne rien accrocher à la ceinture. Couteau, lampe et gants sont indispensables.

N'explorer qu'une partie de l'épave si celle-ci est de grande dimension. Commencer par la partie la plus profonde et terminer la plongée par l'exploration des superstructures.



Ne jamais entrer dans les parties closes et obscures comme les cales, surtout s'il n'y a qu'une seule entrée. Être très prudent même si l'on aperçoit la lumière du jour par une autre sortie : quelques coups de palme peuvent remettre en suspension les particules de vase et rendre la visibilité nulle, malgré l'appoint de la lampe. Éviter d'entrer à plusieurs dans une partie close ou semi-close. Un coéquipier attend toujours à l'extérieur.

Mémoriser le parcours en prenant des jalons qui ne manquent pas sur une épave : coursives, bastingages, mas de charge, bossoirs, etc.

Dans les passages délicats, tenir compte de son « épaisseur » due au bloc. Si l'on sent la moindre résistance, ne jamais forcer et reculer sans se retourner.

et calmes favorisent alors le développement d'animaux de grande taille, souvent spectaculaires, comme des éponges branchues (*Axinella polypoides)* ou les grandes gorgones rouges *(Paramuricea clavata)* tapissant les plus beaux tombants. Dans les endroits les plus riches, ces gorgones supportent toute une faune diversifiée de bryozoaires, de vers polychètes, d'hydraires et d'éponges. Le corail est peu abondant sur de tels tombants, tout au moins à des profondeurs moyennes.

À grande profondeur, la vie se fait plus rare, et le rocher apparaît parfois nu, recouvert d'une pellicule de vase.

Les grottes

Les grottes les plus impressionnantes ont pour origine le réseau hydrographique souterrain débouchant sous la surface de la mer. Elles peuvent se prolonger par des boyaux, et leur exploration tient plus de la spéléologie que de la plongée sous-marine. D'autres, aux dimensions plus modestes, sont accessibles à beaucoup de plongeurs moyennant des précautions particulières.

Le type de faune associé aux grottes est très variable suivant leur taille, leur profondeur et l'éloignement de leur ouverture. Le plafond des grottes est plus riche en organismes fixés que le sol, assez vaseux. Hormis certaines résurgences, les grottes sont en effet des endroits calmes où les particules fines en suspension dans l'eau se déposent. Si la grotte est peu profonde, les organismes rencontrés habituellement à plus forte profondeur — car ils fuient une lumière excessive — vont y prospérer. C'est ainsi que certaines grottes sont connues pour abriter des formations denses de corail rouge à 10 m à peine ! Si la grotte est profonde, cette faune s'appauvrit rapidement. La lumière devient totalement insuffisante, et les faibles courants empêchent les particules nutritives d'arriver en quantité suffisante. Dans ces grottes, les peuplements sont pauvres.

Du fait de la faible luminosité, les grottes sont appauvries en végétaux.

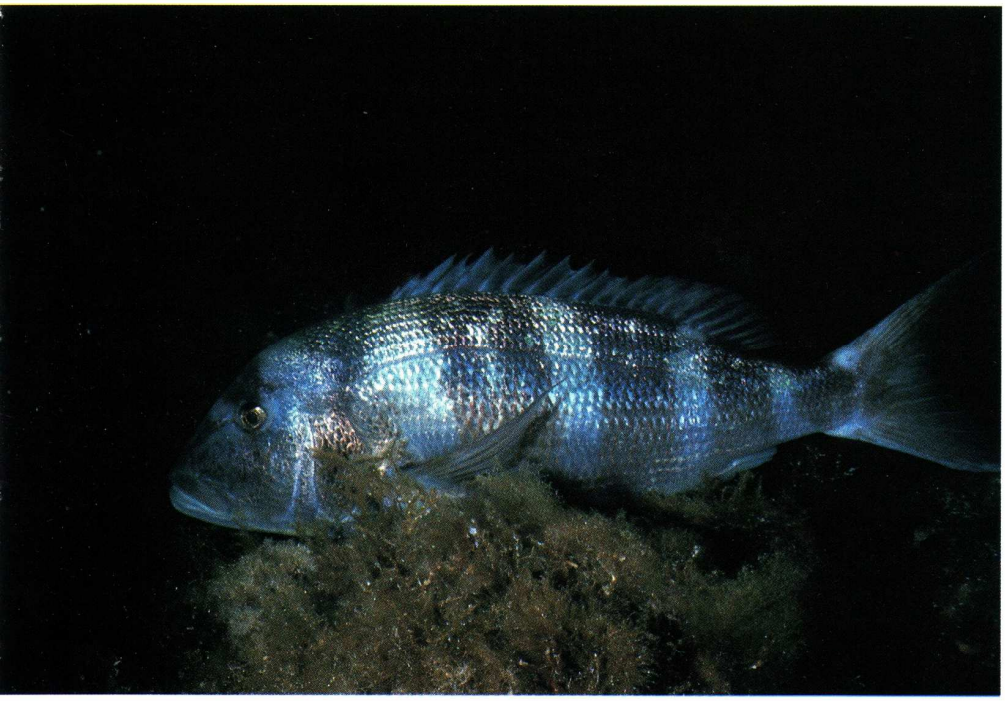
Une unité écologique

Lorsque l'eau est claire et que le regard porte loin, il est possible de se rendre compte que les différents paysages ne sont pas simplement juxtaposés mais qu'ils forment un tout, une unité morphologique.

Au pied d'un tombant, un plongeur observe une zone d'éboulis se terminant par du sable. Ce sable permet l'installation d'un her-

PLONGÉE DE NUIT

L'immersion de nuit facilite l'observation des poissons immobilisés dans le faisceau de la lampe. Certaines règles de sécurité doivent cependant être respectées : le site est connu de la palanquée, la profondeur est restreinte à la zone des 10 m. Chaque équipier est muni d'une lampe avec des piles neuves ou des batteries rechargées récemment, et le guide de palanquée emporte une lampe supplémentaire et un compas. Le nombre de plongeurs par palanquée est réduit par rapport à une plongée de jour. Même de nuit, les plongeurs peuvent communiquer par signes : il suffit qu'ils éclairent leur geste quand ils interprètent le signe. Attention de ne pas éblouir son coéquipier qui ne pourrait saisir la nature du signe. Deux signes peuvent être effectués directement avec une lampe : les signes « tout va bien » et « ça ne va pas ». En plongée nocturne, le bateau accompagnateur est indispensable pour récupérer les plongeurs ou intervenir en cas de besoin. Le pilote suit facilement la palanquée grâce au faisceau des lampes. Sa tâche est facilitée si le guide de palanquée dirige de temps à autre sa lampe vers la surface.



Le denti (Dentex dentex), *poisson rapide et puissant est difficile à approcher en plein jour. La plongée de nuit est un moyen efficace pour l'observer de près (Calvi, 15 m).*

bier de posidonies à profondeur moyenne, tandis qu'apparaît plus profondément un fond coralligène percé de nombreuses grottes. Tous les paysages sont liés.

LE CLIMAT SOUS-MARIN

Bien que cela puisse paraître étonnant, le milieu sous-marin jouit d'un véritable « climat » qui influence de manière déterminante les organismes s'y développant. De même qu'en hiver certains arbres perdent leurs feuilles, sous l'eau certaines algues disparaissent... pour réapparaître au printemps. La pluie n'existe pas sous l'eau, mais les habitants sont soumis à des variations de température, de luminosité, à des tempêtes et à des « chutes de particules », constituées par les très nombreux grains de sable plus ou moins fins apportés par les fleuves de manière fluctuante. Certains organismes ont besoin de tranquillité et de conditions de vie stables et constantes. Le plongeur les retrouve donc profondément, là où l'influence du milieu extérieur se fait peu sentir. D'autres, au contraire, sont inféodés à l'apport de particules nutritives abondantes près de la surface et transportées en grande quantité par les courants ou les vagues. Ceux-là vivent à faible profondeur. Les organismes marins se « partagent » donc l'espace en fonction de leurs exigences différentes vis-

à-vis de ces éléments naturels que l'écologiste appelle *facteurs écologiques* et qui sont responsables de la localisation à tel ou tel endroit d'une espèce donnée.

Courbes de température

Malgré la combinaison, le plongeur reste sensible aux variations de température, au cours d'une plongée ou d'une saison à l'autre. Celles-ci sont principalement dues à l'influence de la température de l'air et sont donc sensibles près de la surface.

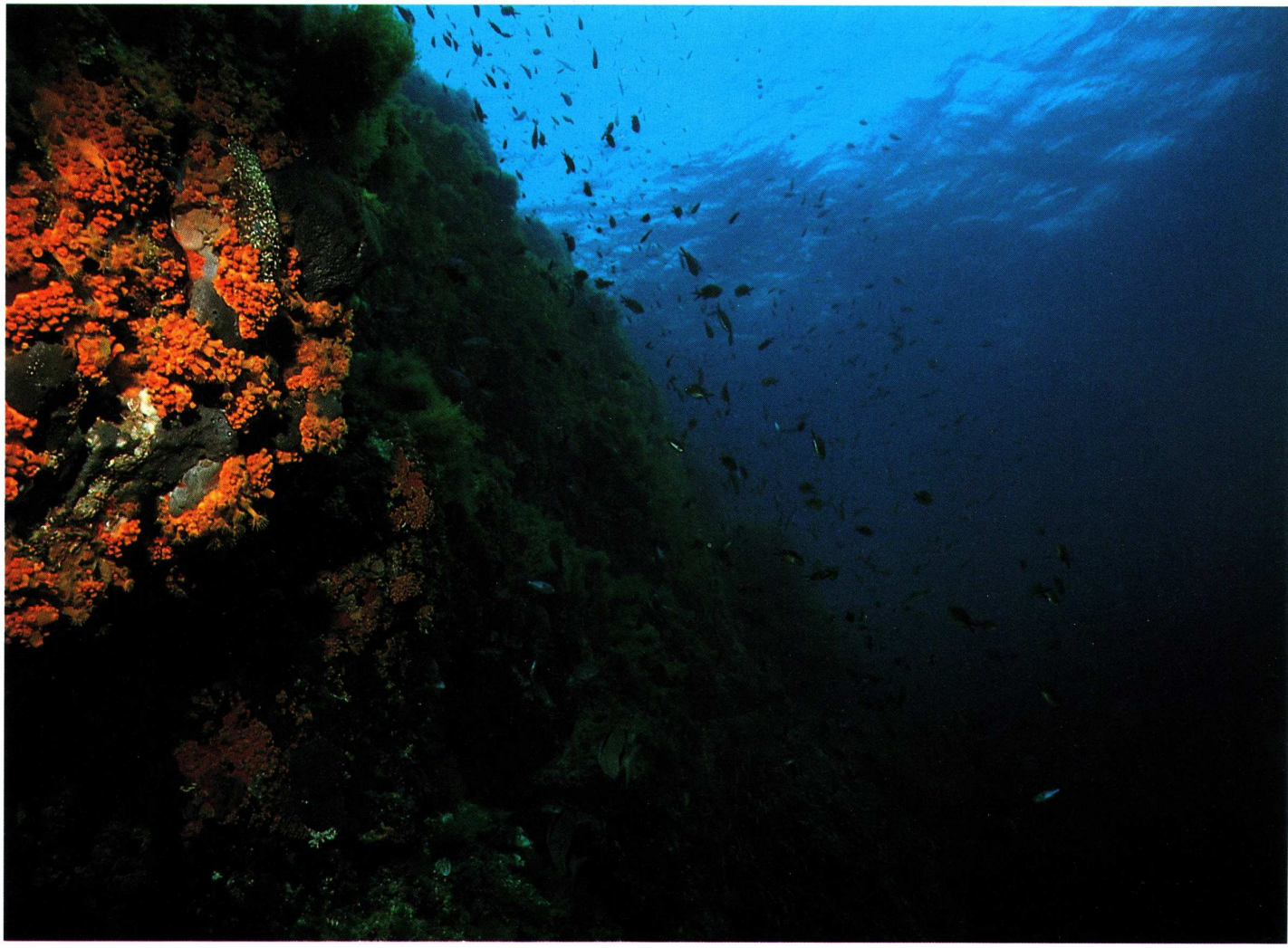
En Méditerranée occidentale, la température oscille entre 7 °C en hiver et plus de 25 °C en été en surface. Ces variations diminuent fortement avec la profondeur. Vers 40 m, la fourchette est de 10-16 °C. Les différences de température entre la surface et le fond sont parfois localisées et brusques, repérables par le léger trouble de l'eau dû aux différences de densité. Cette ligne de partage entre eaux froides et eaux chaudes, appelée *thermocline* par les scientifiques, est surtout sensible en été, saison à laquelle la surface de la mer est chauffée par le soleil.

L'influence de la température sur les organismes vivants se fait sentir près de la surface, où elle est responsable de changements importants dans le paysage comme lorsque les cystoseires (algues brunes abondantes dans les endroits calmes) disparaissent en hiver. Il semble qu'un réchauffement tardif des eaux en été soit responsable d'une absence de poissons près de la côte. Actuellement, les scientifiques cherchent également à déterminer si le réchauffement théorique ou observé de la mer dû à l'effet de serre a une influence sur l'arrivée de nouvelles espèces tropicales. Il existe encore beaucoup plus de questions sur ce sujet que de réponses !

Lumière !

Tous les plongeurs savent que la luminosité diminue avec la profondeur, mais il est moins évident de comprendre que la quantité de lumière reçue par le fond diminue en fonction de son orientation et de son inclinaison. Une roche plate située à 30 m reçoit autant de lumière qu'un surplomb proche de la surface. Un tombant vertical ou une faille dans une paroi sont des milieux peu éclairés.

Certains organismes, comme les algues, recherchent la lumière et prospèrent dans les zones bien éclairées. Les animaux se nourrissant de ces algues font également l'objet d'une telle répartition. D'autres organismes, au contraire, fuient la lumière en s'abritant



La diminution de la luminosité avec la profondeur est un facteur déterminant de l'aspect des paysages sous-marins. Ces anémones jaunes (Parazoanthus axinellae) *se développent sous les parties surplombantes, toujours à l'abri d'une lumière directe (Port-Cros, 15 m).*

sous un surplomb, à l'intérieur des grottes, ou en se développant sur des parois ou tout simplement à forte profondeur. Le corail n'est rencontré en abondance et bien développé que profondément. La quantité de lumière reçue varie brusquement entre le dessus ou le dessous d'un même rocher, ou entre la partie exposée au sud d'un éperon rocheux ou sa partie nord. Le paysage traduit ces différences. La partie inférieure d'un surplomb est parfois tapissée de petites anémones coloniales *Parazoanthus*, du faux corail et de diverses éponges lui donnant un aspect multicolore et attractif, alors que juste au-dessus le tapis d'algues brunes telles que *Halopteris scoparia* ou *Padina pavonica* n'attire pas le regard.

Ainsi, la lumière est responsable de variations considérables et brutales dans les paysages offerts au plongeur.



L'action des vagues lors de fortes tempêtes façonne les paysages côtiers mais également les paysages sous-marins. Les côtes exposées sont souvent découpées tandis que le sable s'accumule dans des portions du littoral plus calmes (Cap Creus).

Tempêtes sous la mer

Contrairement à la lumière dont la quantité reçue est liée aux caractéristiques du site, les tempêtes sont des événements irréguliers, de force inégale et aux effets parfois imprévisibles. Il est donc difficile de les considérer comme un facteur de répartition d'un peuplement établi de manière stable. Néanmoins, certains sites sont soumis par leur morphologie et par leur exposition à des conditions de courants et d'agitation déterminées. Les scientifiques distinguent ainsi les zones à faible agitation dites de *mode calme*, et les zones à forte énergie dites de *mode battu*. Tous les intermédiaires existent entre les deux extrêmes. Cette distinction concerne exclusivement les zones très peu profondes, seules soumises à une véritable agitation de l'eau.

Lorsqu'elle est importante, la force de l'eau façonne les fonds, le cas typique étant représenté par les éboulis, mais elle influence surtout le type d'organismes présents. En mode calme prospèrent les organismes fragiles, de grande taille, essentiellement des algues. En mode battu, au contraire, les algues calcaires, coriaces et de petite taille dominent. Les seuls animaux présents se protègent dans les failles des rochers (oursins) ou par un mode de fixation très puissant comme les patelles, accrochées au rocher par une puissante ventouse. Les formes encroûtantes, c'est-à-dire épousant le rocher,

sont légion, et, inversement, les formes dressées ou cassantes sont totalement exclues. Lorsque, comme la moule, ils sont bien adaptés à ces dures conditions de vie, les organismes bénéficient de l'apport important de particules nutritives, remises régulièrement en suspension par l'agitation de l'eau.

Plus profondément, les mouvements de l'eau sont plus réguliers et moins forts. Ces courants sont responsables de la formation de chenaux dans les herbiers de posidonies ou même dans le coralligène.

Particules en suspension

Le sol marin est soumis à une pluie permanente de particules de nature et de taille variables en fonction de leur origine. Véritable composante du climat sous-marin, ce phénomène n'a pas d'équivalent sur terre.

Ces particules sont constituées de petits grains minéraux, mais aussi de matières organiques. Elles constituent la base de la nourriture en mer. La vie sous-marine est luxuriante dans des eaux riches en particules alors que des eaux très claires comme celles de la Corse abritent une faune fixée pauvre. Il suffit pour s'en convaincre de comparer la densité de gorgones sur les tombants de la région de Calvi à celle de la région de Marseille !

Si l'abondance de particules est, jusqu'à un certain point, un facteur favorable au développement de la vie, elle constitue un frein lorsqu'elle est excessive. Beaucoup d'animaux respirent dans l'eau par l'intermédiaire de branchies. Une trop forte charge en particules dans l'eau les colmate, provoquant leur mort.



Des particules de vase se sont déposées sur cette algue verte (Udotea petiolata) *caractéristique du coralligène. Lorsque de tels dépôts sont importants, ils privent les plantes de la lumière dont elles ont besoin pour prospérer (Cap Creus, 16 m).*

UN ÉCOSYSTÈME

Les paysages explorés au cours d'une plongée sont ainsi composés d'un milieu physique et d'animaux et végétaux associés. La partie vivante est influencée par des facteurs écologiques qui, en favorisant ou en empêchant l'installation de certaines espèces, contribuent à façonner le paysage.

Les scientifiques parlent d'*écosystème* pour définir avec précision ces unités paysagères. Ce système écologique est constitué par des pièces, des éléments, reliés entre eux et organisés pour fonctionner. Pour ce faire, il a besoin d'énergie qui provient de la nourriture, circulant d'élément en élément par le biais du « qui mange quoi ? ». La nourriture est essentiellement fournie par les apports terrestres et par l'énergie lumineuse. D'où l'importance de ces deux facteurs sur l'aspect d'un paysage !

Le fonctionnement de ce système, en réalité beaucoup plus complexe que tout autre système fabriqué par l'homme, est activé ou ralenti, voire tout simplement modifié par l'action des facteurs écologiques. De même que, dans un moteur, le fait d'appuyer sur l'accélérateur augmente le régime, sous l'eau, une augmentation de la température est à l'origine de l'accélération du développement de certains organismes ou de certains processus.



Le développement anarchique d'algues vertes (Ulva sp.) *dans les lagunes peu profondes du midi de la France est dû aux excès d'éléments nutritifs déversés dans ces milieux. Ce phénomène traduit un certain déséquilibre écologique.*

Quelquefois, le système se dérègle. Ces dérèglements peuvent avoir une cause naturelle, mais le plus souvent l'homme en est le responsable. Lorsque l'on introduit trop d'essence dans un cylindre en appuyant à fond sur la pédale de l'accélérateur, le moteur s'emballe... Il en est de même pour l'écosystème : la matière organique est favorable au développement de la vie, mais si les apports sont excessifs, comme dans le cas du rejet d'un égout en mer, le système écologique attrape une véritable « indigestion » et rien ne va plus ! Beaucoup d'organismes disparaissent, quelques-uns prolifèrent, et, dans les cas extrêmes, la vie, tout au moins celle visible par le plongeur, est totalement éliminée. Le plongeur est rarement en contact avec de tels paysages qu'il fuit d'instinct, mais il lui arrive d'être le témoin de proliférations parfois spectaculaires comme celles de *Caulerpa taxifolia* sur la Côte d'Azur ou d'algues filamenteuses, qui, en Corse, défigurent les tombants de gorgones rouges.

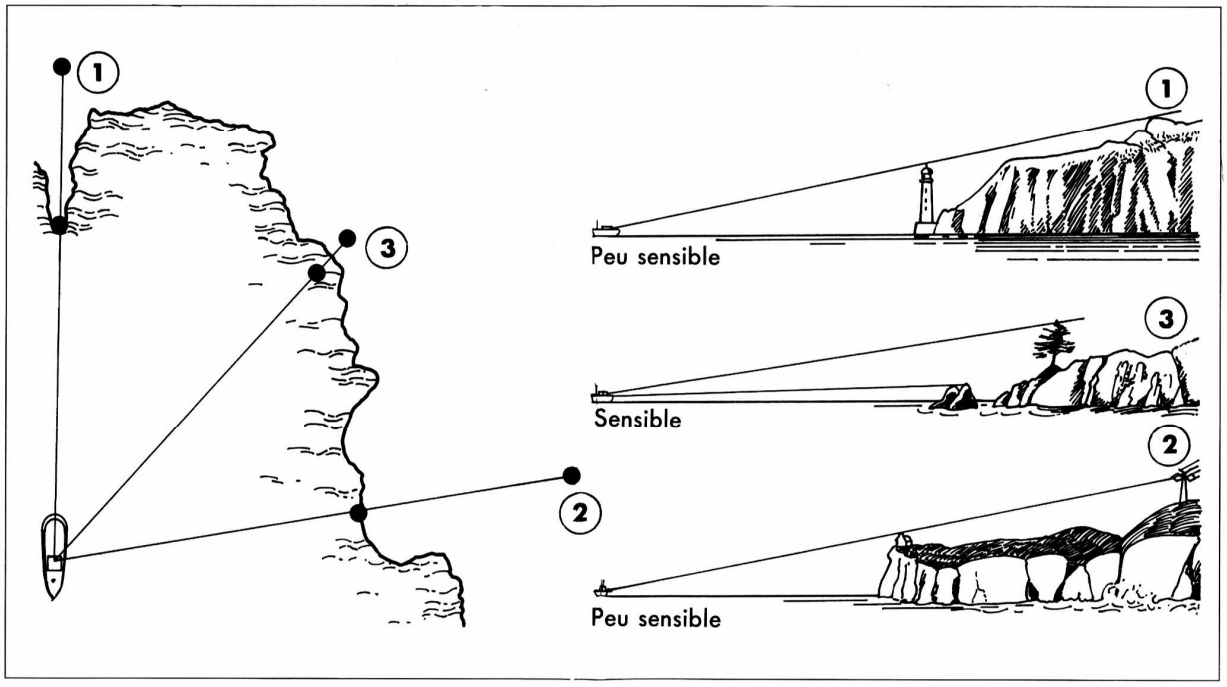
Parcours

Comme le randonneur en montagne, le plongeur doit être capable à tout instant de repérer l'endroit où il se trouve et d'organiser son parcours en fonction des paramètres de la plongée.

SE REPÉRER EN SURFACE

Être assuré de faire une belle plongée, c'est d'abord découvrir et repérer les sites de qualité. Le plongeur doit savoir « lire » les caractéristiques de la côte pour bien se positionner et pour éviter une plongée hasardeuse qui a toutes les chances d'être décevante. La carte marine est son premier auxiliaire. L'échelle de ces cartes conçues pour l'aide à la navigation est souvent trop grande pour une localisation précise d'un site, mais ces cartes sont utiles pour un repérage rapide des zones les plus intéressantes pour la plongée. Il est facile d'y distinguer les côtes sableuses des côtes rocheuses, les plages des falaises, les secteurs mieux abrités des vents dominants et les accès à la mer. Sur la carte figurent les lignes d'égale profondeur appelées *isobathes* et des *sondes* isolées indiquant les profondeurs intermédiaires. Si ces isobathes sont rapprochées, la

Lorsque l'on découvre un site de plongée de qualité, il est nécessaire de bien le situer pour espérer pouvoir y retourner : le plongeur est aussi un marin et la pratique des amers ne doit pas avoir de secret pour lui.



pente du fond est forte, et inversement. La carte mentionne aussi la nature et les particularités des fonds (îlots et écueils, hauts-fonds et épaves) et les points remarquables de la côte, les *amers* (phares, sémaphores, immeubles, sommets du relief). « Prendre des amers » consiste à trouver sur la carte ou sur le terrain deux alignements dont l'intersection est à la verticale du site de plongée choisi. Chaque alignement est défini par la « ligne » reliant deux amers remarquables. Un alignement est sensible si les deux amers paraissent se déplacer nettement l'un par rapport à l'autre quand on coupe l'alignement. Un alignement est peu sensible quand la distance qui sépare les amers est petite par rapport à la distance du bateau à l'amer le plus rapproché, surtout si leurs altitudes sont différentes. Les alignements doivent se recouper selon un angle proche de 90°.

La méthode de l'alignement permet aussi de vérifier la tenue de l'ancre du bateau : si, après avoir mouillé, l'alignement de deux amers n'est pas conservé, cela signifie que l'ancre chasse et que le bateau dérive. La prise d'amers est souvent difficile à cause de l'absence de repères remarquables, de la configuration du littoral, comme les côtes basses, ou d'une mauvaise visibilité. Le recours à des instruments de navigation et de repérage est alors indispensable : compas, échosondeur et loch électronique. Le sondeur calcule la distance parcourue par un train d'ultrasons émis depuis le bateau et réfléchi par le fond ou par un obstacle. La profondeur calculée est affichée sur un écran sous forme digitale (profondeur instantanée) ou par l'intermédiaire d'un graphe sur papier ou d'une restitution sur écran vidéo. Ces deux affichages ont l'avantage de donner le profil en continu de la bathymétrie des fonds. Le sondeur permet l'exploration d'un fond inconnu et la recherche de sites intéressants (secs du large, tombants) ou d'une épave sur un fond uniforme et sans dénivellation marquée. Il est indispensable pour affiner la recherche d'un site localisé avec des alignements, comme un tombant vertical. Dans ce cas, le sondeur graphique ou vidéo montre la cassure de la pente entre le plateau rocheux et le tombant, ce qui permet de mouiller le bateau sur le plateau en amont du tombant.

REPÉRER UN LIEU DE PLONGÉE

En recherche exploratoire, le bateau navigue en chevrons en couvrant progressivement à petite vitesse un secteur délimité par deux alignements perpendiculaires à la côte ou par deux lignes bathymétriques. Les chances de repérer un site intéressant sont d'autant meilleures que la distance entre deux chevrons consécutifs est petite. Lorsque le profil enregistré révèle une trace « suspecte » (rupture de pente du tombant ou dénivellation d'une épave sur fond uniforme), le bateau fait demi-tour au ralenti et refait route selon la même direction. Lorsque le profil réapparaît sur l'écran, le bateau peut mouiller. Du fait de l'erre du bateau et des conditions de mouillage, il est alors utile de mouiller une bouée reliée par un fil à un petit corps-mort pour baliser la verticale du site.

Pour s'orienter sous l'eau, les instruments de mesure — compas profondimètre et montre — sont utiles en complément de certains repères naturels — relief des fonds, éléments remarquables du paysage, faune fixée, direction des rayons du soleil etc. (Port-Cros, 6 m).


FENZY

NAVIGATION À L'ESTIME

Se situer dans l'espace est un facteur de sécurité. La palanquée doit rejoindre le bateau sans émerger loin de celui-ci, même après un trajet complexe. Le sens de l'orientation sous-marine n'est pas inné et se forge avec l'expérience des plongées. Dans l'eau, presque tous les sens classiques sont inopérants, à l'exception de la vue. Le plongeur s'aide des instruments à sa disposition — montre et profondimètre — et des éléments naturels — soleil, nature et relief des fonds, houles et courants, faune et flore fixées.

Le parcours le plus simple consiste à suivre une direction rectiligne puis à revenir « sur ses palmes » en refaisant le même trajet dans le sens opposé. Premier point de référence, la profondeur de l'ancre du bateau et l'heure de départ. Deuxième point de repère, la direction des rayons du soleil qui ont une incidence oblique : soleil à gauche au départ, soleil à droite au retour, ou inversement. Troisième repère éventuel : le courant qu'il faut « remonter » à l'aller pour se faire porter au retour. Pour suivre un trajet rectiligne, il faut prendre des repères sur le fond : rochers ou éboulis, touffes de posidonies, « clairières » de sable, faune fixée comme les gorgones isolées ou les vers spirographes. Pour cela, on aligne deux jalons naturels dans la direction du déplacement. Dès que le premier jalon est dépassé, on aligne le deuxième jalon puis un troisième et ainsi de suite. Les jalons sont d'autant plus rapprochés que la visibilité est faible.

Le point de rebroussement est d'abord commandé par la durée de la plongée programmée en fonction de l'autonomie et de la procédure de décompression. La durée du retour doit être au plus égale à celle de l'aller et de préférence inférieure. Pendant l'aller, il est utile de se retourner de temps à autre pour mémoriser l'envers du décor. Certains « plans » et « séquences » du paysage revêtent un aspect différent lorsqu'ils sont vus dans un sens ou dans l'autre.

En plongée, les parcours sont rarement rectilignes et s'organisent plutôt en boucle ou en « raquette ». Il faut donc apprendre à se situer à chaque changement de direction. Par beau temps et sans courant, on peut s'entraîner à réaliser un parcours en forme de carré, par exemple sur un fond rocheux sans dénivellation importante. À partir de l'ancre, on suit une direction perpendiculaire aux rayons du soleil pendant 3 min, puis on change de cap en prenant à gauche par exemple, une direction perpendiculaire à la première partie du trajet. Pour estimer cet angle, le plongeur tend le bras gauche perpendiculairement au corps et part dans la direction indiquée. Il palme pendant 3 min, puis change de direction deux fois de suite

avec les mêmes paramètres. Il doit alors se retrouver dans la zone de l'ancre. Montre et profondimètre permettent de corriger les erreurs de trajectoires. Lorsque cette technique est acquise, on peut organiser des parcours en boucle ou en raquette avec un tronçon commun pour l'aller et pour le retour. Chaque type de plongée nécessite des adaptations particulières ou le recours à des éléments complémentaires du milieu naturel, servant de jalons et de repères.

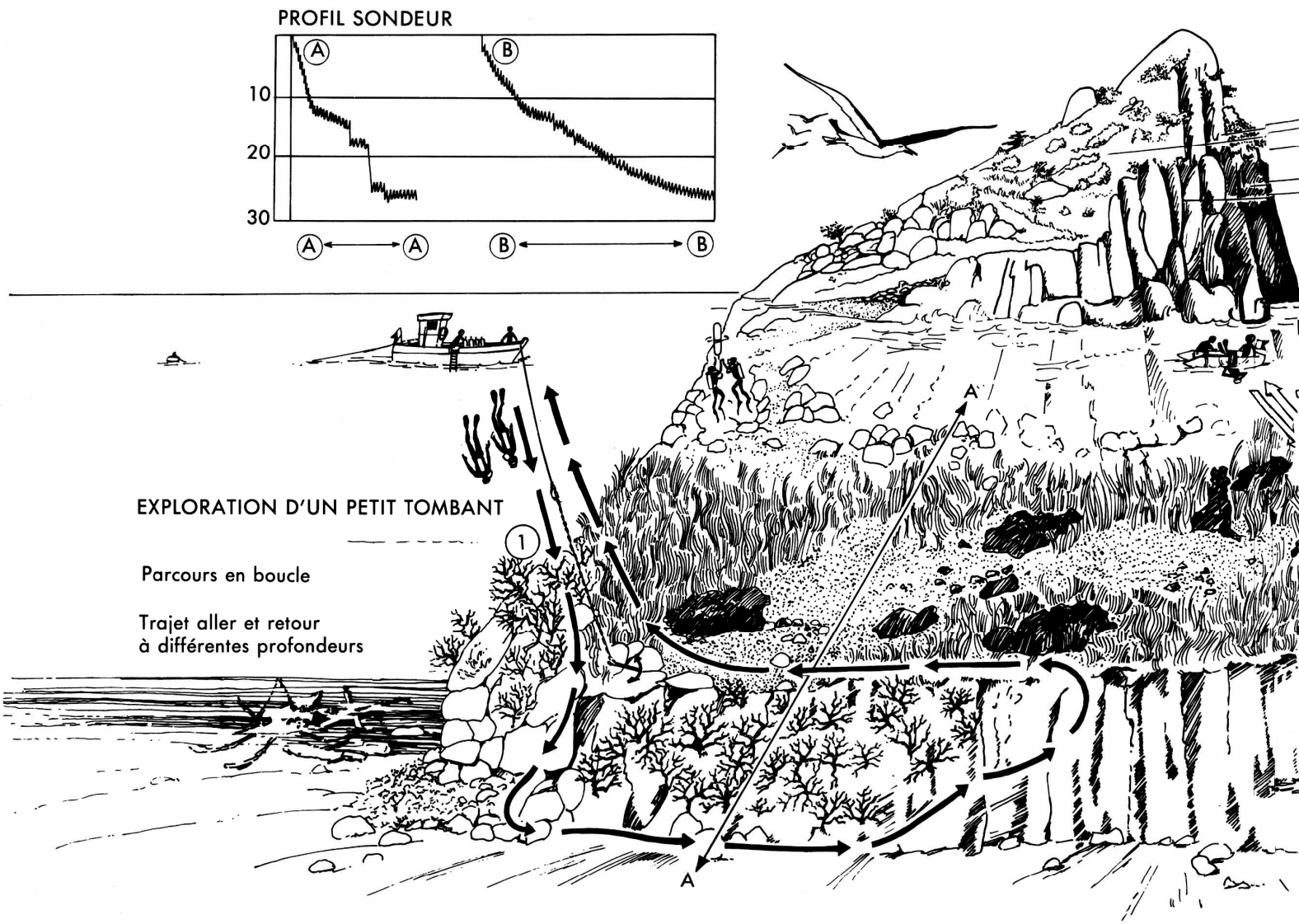


Les herbiers constituent des surfaces uniformes sans relief et points de repères particuliers où il est quelquefois difficile de s'orienter sans compas (Port-Cros, 6 m).

TRAJET RECTILIGNE À PROFONDEUR CONSTANTE

Vous décidez de plonger à 24 m sans faire de palier. La durée de la plongée est donc de 20 min. Vous parvenez à l'ancre une minute après votre immersion. Le temps total de votre séjour au fond sera donc de 19 min.

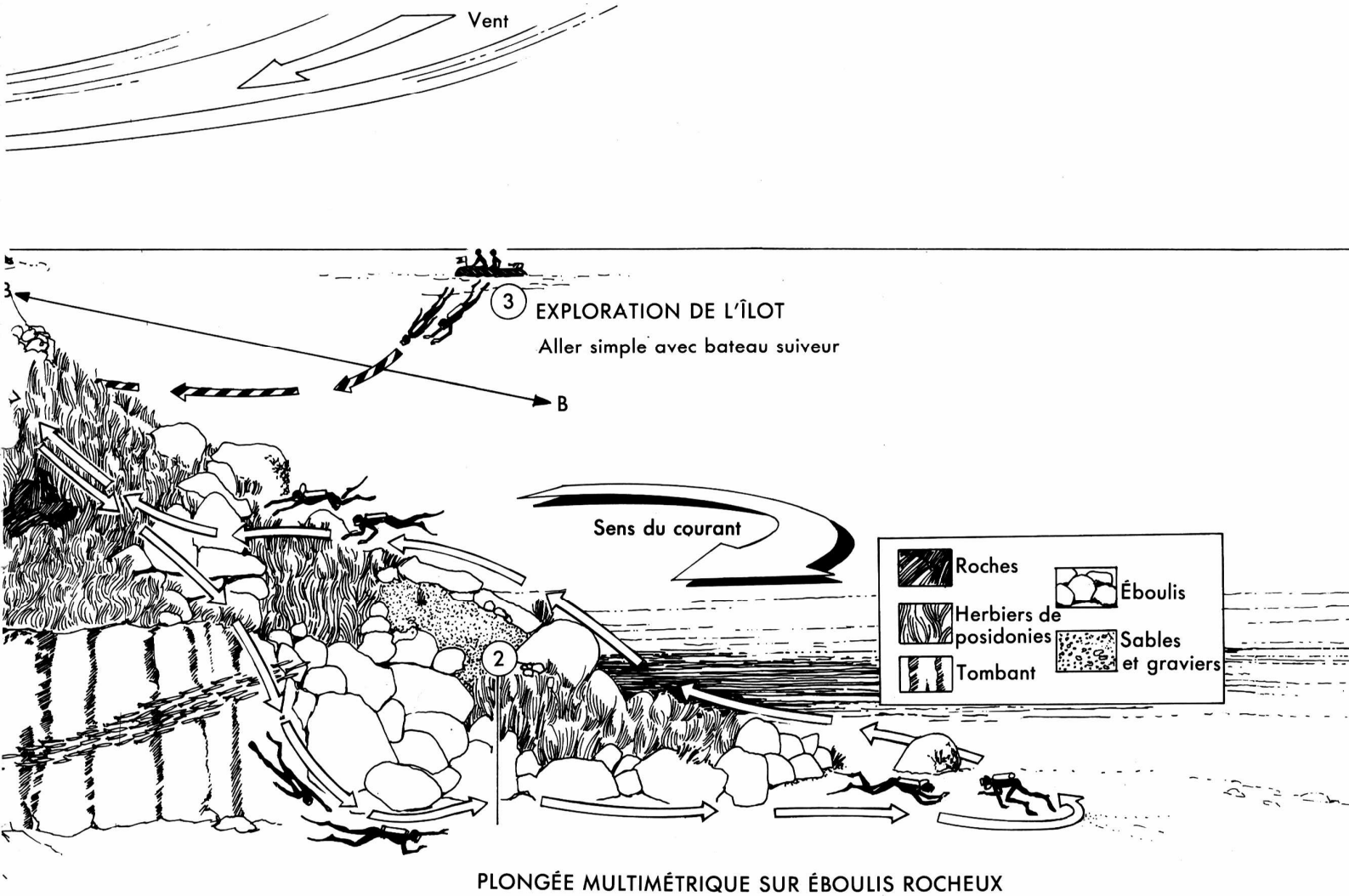
Vous pouvez programmer un trajet aller de 8 min et autant pour le retour. Les minutes complémentaires sont utiles pour retrouver l'ancre avant de remonter.



Les sites à explorer en plongée sont nombreux et variés : éboulis, rochers, herbiers de posidonies, petites falaises, tombants, secs et îlots, épaves. Le guide de palanquée doit savoir repérer l'endroit où il se trouve et organiser son parcours en fonction de la qualité des paysages, mais aussi du niveau technique des plongeurs qu'il encadre et des paramètres environnementaux.

TRAJET ALLER ET RETOUR À DIFFÉRENTES PROFONDEURS

Vous explorez un petit tombant coralligène de 5 m de dénivelé. L'ancre est mouillée sur le plateau à 17 m. Il n'y a pas de courant. Vous gagnez le bas du tombant à 25 m que vous suivez en parallèle. Dix minutes plus tard, vous remontez sur le haut du tombant à 20 m et vous effectuez le trajet inverse. Au bout d'une dizaine de minutes, vous devez vous situer dans la zone de départ. Il suffit de remonter perpendiculairement au tombant jusqu'à 17 m pour retrouver l'ancre.



PLONGÉE MULTIMÉTRIQUE SUR ÉBOULIS ROCHEUX

Parcours en raquette

TRAJETS SUR PETITS FONDS UNIFORMES

La plongée sur petits fonds autorise une grande autonomie. En règle générale, plus les fonds sont uniformes et situés à petite profondeur, plus les chances de se perdre sont importantes : c'est le cas des grandes étendues de sable ou des herbiers de posidonies. Outre le soleil, on peut utiliser d'autres « indices » : la direction des vagues visibles depuis le fond, le sens du courant de houle indiqué par les herbiers de posidonies qui se « couchent » sous son action ou la nature et la forme des dépôts sédimentaires, comme les *ripple-marks*. Ce sont des accumulations de sable orientées en lignes parallèles ou en croissant sous l'effet des houles côtières. Si vous partez perpendiculairement à ces lignes et revenez en oblique, vous n'atteindrez certainement pas votre point de départ. Le profondimètre électronique est utile pour déceler les variations décimétriques du fond qui indiquent la pente générale.



Les gorgones rouges (Paramuricea clavata) *habillant les tombants profonds sont très recherchées par les plongeurs (Cap Creus, 22 m).*

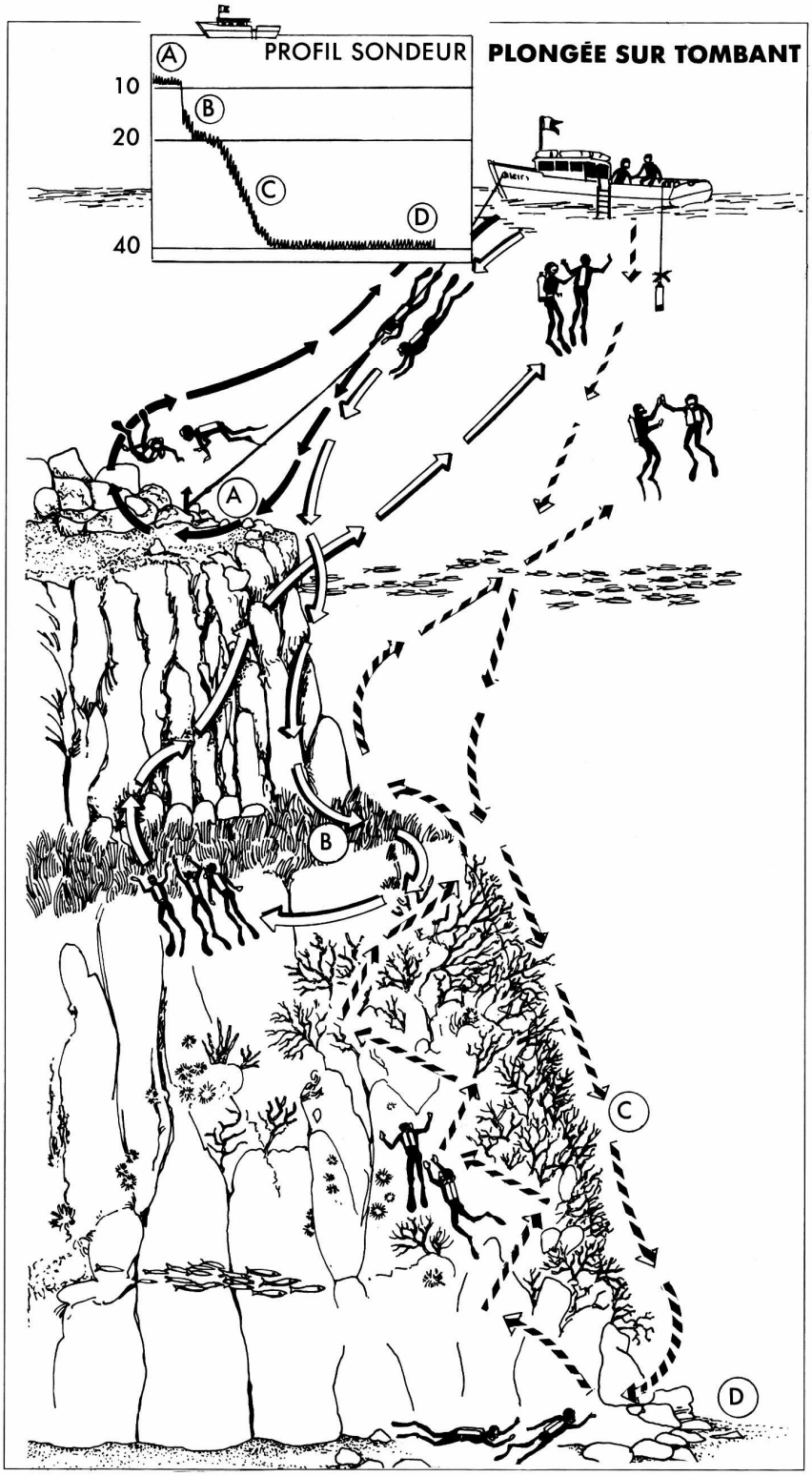
TRAJET D'EXPLORATION D'UN TOMBANT PROFOND

La plongée se fait en gagnant la profondeur maximale, puis en explorant le tombant à la remontée.

Cette visite peut se faire en chevrons ou en diagonale.

Dans le premier cas, si les chevrons sont d'égale distance, on retourne au point de départ. Dans le second cas, on se retrouve à l'aval ou à l'amont du point de départ, selon la direction de la diagonale. Il suffit de suivre le sommet du tombant vers la zone du mouillage.

Un même lieu de plongée peut convenir à des plongeurs de niveaux techniques différents, à condition de respecter certaines limites de profondeur. Sur ce site idéal, les plongeurs débutants peuvent évoluer dans l'espace proche et découvrir le sommet du sec. Autonomes, des plongeurs moyens peuvent explorer la partie du tombant située dans l'espace médian. Enfin, les plongeurs confirmés peuvent descendre le long du tombant dans l'espace lointain, ce qui nécessitera presque toujours des paliers de décompression.





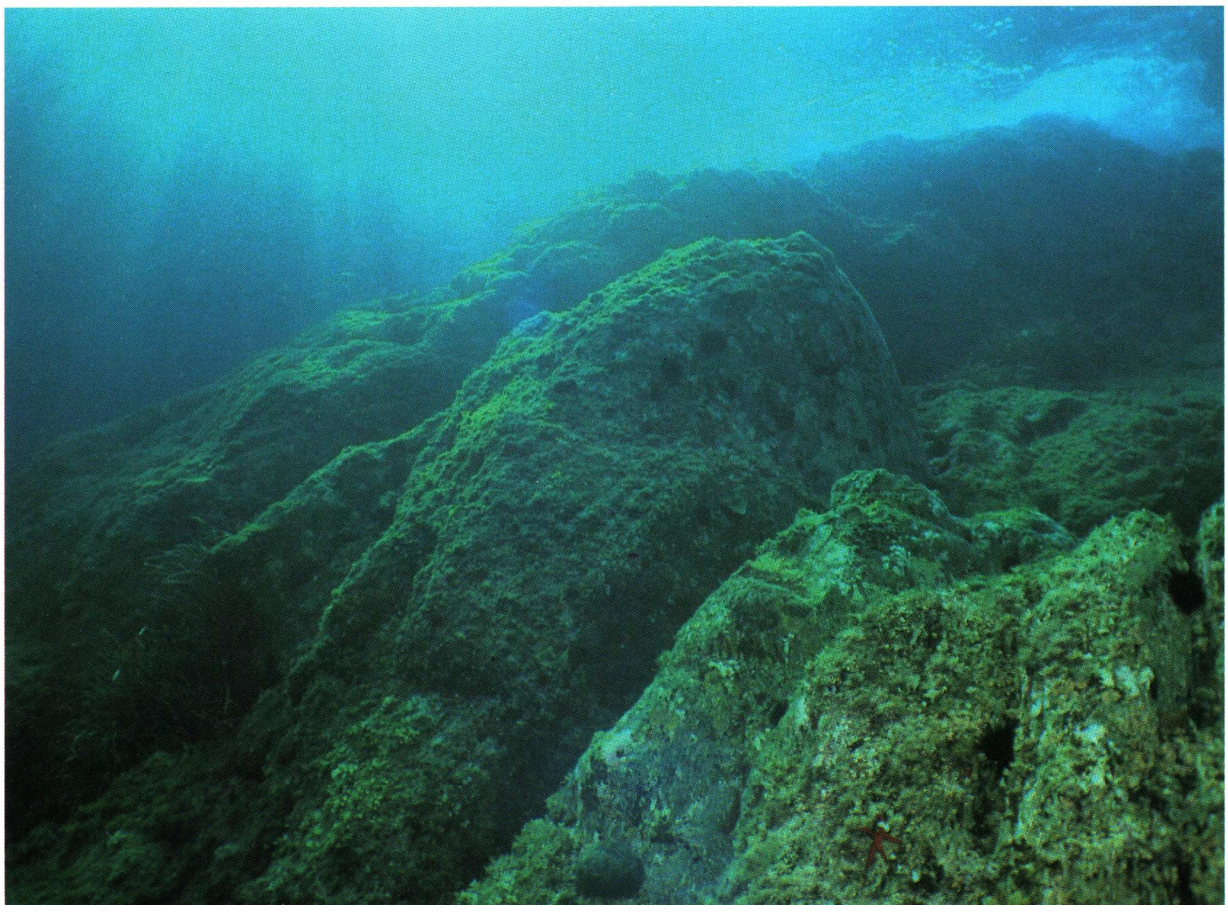
LE COMPAS DANS L'ŒIL

Le compas est une boussole dont la partie aimantée est un cercle mobile placé sur un pivot central et libre de se déplacer horizontalement. Ce cercle ou « rose » est gradué de 0° à 360° dans le sens des aiguilles d'une montre. Il est enfermé dans une petite cuvette en plastique transparent permettant de lire les graduations. La cuvette, remplie d'alcool pour amortir les oscillations, porte un repère : la « ligne de foi » qui doit être positionnée dans le sens du déplacement du plongeur. La ligne nord-sud du disque aimanté indique toujours le nord magnétique. Lorsque la ligne de foi coïncide avec la graduation 0°, le plongeur se dirige vers le nord. Si la ligne de foi est en face de 270°, le plongeur se déplace vers l'ouest. Attention ! la ligne nord-sud du disque aimanté reste toujours pointée vers le nord : la ligne de foi défile le long des graduations, et c'est le plongeur qui « tourne » autour du disque aimanté.

NAVIGATION AUX INSTRUMENTS

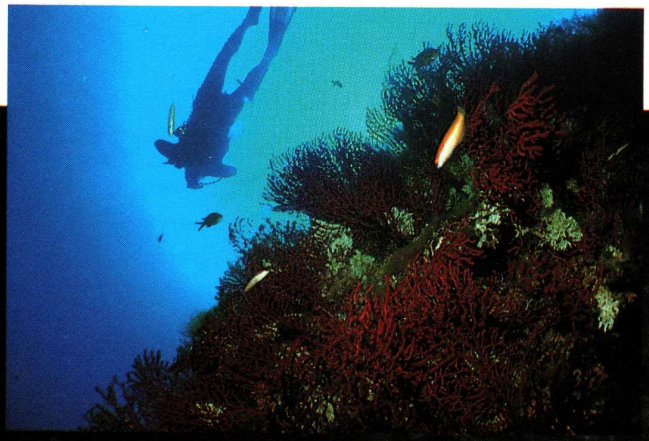
Quand les repères naturels sont insuffisants et la visibilité réduite, le plongeur peut s'orienter à l'aide d'un compas. Fixé au poignet, le compas est positionné devant les yeux, le bras le portant s'appuyant sur l'autre avant-bras. Le plongeur doit garder une position identique à chaque prise de cap.

Pour s'entraîner à réaliser un parcours en carré, on part d'un point de repère en plaçant la ligne de foi sur le nord et on effectue le trajet en changeant de cap vers la gauche. Les caps compas seront dans l'ordre : 0°, 270°, 180° et 90°. On recommence en prenant un premier cap au hasard, par exemple 30°. Les caps compas seront alors : 30°, 300°, 210° et 120°. La précision gagnée en cap ne doit pas être perdue en distance. Pour effectuer une figure parfaite, il est nécessaire de connaître la distance qui sépare deux changements de cap, en comptant le nombre de coups de palme pour parcourir un côté du carré. Il faut étalonner son palmage et convertir le nombre de coups de palmes en distance parcourue. Pour l'étalonnage, on compte le nombre de coups de palmes pour parcourir la longueur d'un bout de 50 m. On répète le parcours plusieurs fois et on prend la moyenne du nombre de coups de palmes.



L'incidence oblique des rayons solaires est un excellent repère pour s'orienter sans instrument : soleil à droite au départ, soleil à gauche au retour ou inversement (Port-Cros, 5 m).

SOUS LA



SURFACE, UN MONDE VIVANT





Le poulpe à long bras (Octopus macropus) *est un animal peu connu que l'on observe généralement la nuit. Il se différencie du poulpe commun* (Octopus vulgaris) *par sa forme plus élancée, sa couleur rouille et les points blancs dont il est tacheté (Calvi, 15 m ; Cap Creus, 12 m).*



Classer les êtres vivants

L'observation du paysage sous-marin est l'étape préliminaire permettant au plongeur de se rendre compte qu'il est entouré de tout un milieu vivant. Pourtant, au retour d'une plongée, réflexions et commentaires montrent que les poissons mobilisent l'attention. Interrogés plus précisément, les plongeurs assimilent alors aux algues tout ce qui se trouve fixé sur le fond. Parfois, certains d'entre eux prennent conscience que la vie fixée n'est pas uniquement végétale, mais rares sont les plongeurs qui différencient à coup sûr les animaux des végétaux. Pourtant qui, à terre, confondrait les insectes, les vers de terre, les escargots, avec des plantes ?

Si les discussions se poursuivent, le plongeur cherche à nommer les organismes rencontrés. Se pose alors le problème de l'identification qui peut être résolu par la consultation, parfois sur le bateau même, d'un guide de la faune sous-marine. Généralement bien conçus, ces guides font prendre conscience qu'il n'y a pas que des poissons et des algues sous l'eau, mais des éponges, des anémones, des gorgones, des vers, des bryozoaires, en bref, toute une faune dont les couleurs multiples ornent les parois rocheuses ou les surplombs. C'est la découverte d'un nouveau monde, celui des invertébrés marins.

Les premiers scientifiques, en découvrant le foisonnement du monde vivant, ont cherché à le rationaliser, à le ramener à leur dimension, en nommant les différents organismes qui le composent, puis en les rangeant dans des « tiroirs », eux-mêmes groupés dans des « placards » et ainsi de suite. Ils ont appelé cette science la *systématique*. Ainsi, non seulement les organismes vivants, marins ou terrestres, ont tous un nom, mais en plus, ils appartiennent à une famille, à une classe, à un embranchement, autant de « tiroirs » qui permettent d'identifier un organisme avec précision.

Avec un peu d'habitude, n'importe quel plongeur peut déterminer l'appartenance de tel organisme à l'embranchement des mollusques ou à celui des crustacés, alors que la dénomination exacte de l'espèce exige parfois de longues heures de recherche dans des ouvrages scientifiques.

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents groupes systématiques et de donner leurs principales caractéristiques.

UNE SCIENCE : LA SYSTÉMATIQUE

Intuitivement, la plupart d'entre nous admet que certains organismes ont plus de points communs entre eux qu'ils n'en ont avec d'autres. **P**renons quelques exemples : une moule, une huître, un crabe, une langouste et un poisson. Moule et huître sont des organismes à coquille et présentent, de ce fait, une ressemblance, il s'agit de mollusques. Crabe et langouste ont tous deux une carapace, ce qui signe leur appartenance aux crustacés. Ces quatre animaux sont, en revanche, plus semblables entre eux qu'ils ne sont proches du poisson. Pourquoi ? Parce qu'ils n'ont pas de squelette. Ce sont des *invertébrés* alors que le poisson, muni d'un squelette, est un *vertébré*.

En suivant une logique similaire, il est possible de classer l'ensemble des organismes vivants. Cette science, appelée systématique ou *taxonomie*, a été « inventée » par un naturaliste suédois, Carl von Linné, qui avait entrepris au XVIII[e] siècle de nommer puis de classer un grand nombre d'espèces. **L**e principe de cette classification est de ranger les espèces dans des tiroirs emboîtés les uns dans les autres. L'unité la plus importante est le *règne,* les deux principaux étant le règne végétal et le règne animal. Ces règnes sont subdivisés en *embranchements* tels que ceux des mollusques, des arthropodes ou des vertébrés. Les embranchements comprennent de nombreuses *classes*. Les gastéropodes (escargots de mer), les bivalves (munis de deux coquilles) et les céphalopodes (poulpes, seiches ou calmars) constituent trois classes de mollusques. Les classes sont subdivisées en *ordres,* puis en *familles*. Enfin le nom de l'organisme lui-même comporte principalement un nom de *genre* et un nom d'*espèce,* plusieurs espèces pouvant appartenir au même genre. La moule commune rencontrée à l'état sauvage sur le littoral méditerranéen s'appelle *Mytilus galloprovincialis*. Elle appartient à la famille des mytilidés. L'huître se nomme *Ostrea edulis* et appartient à une autre famille, les ostréoidés. Ces deux organismes partagent le même ordre, celui des filibranches appartenant à la classe des mollusques bivalves. Souvent, l'apprentissage du nom latin rebute le biologiste débutant. Il s'agit pourtant de la seule manière de savoir de quoi l'on parle réellement. Le loup méditerranéen est le bar de l'Atlantique. Le rouget de roche ou rouget barbet appartenant à la famille des mullidés n'a rien à voir avec le rouget grondin qui lui fait partie des triglidés.

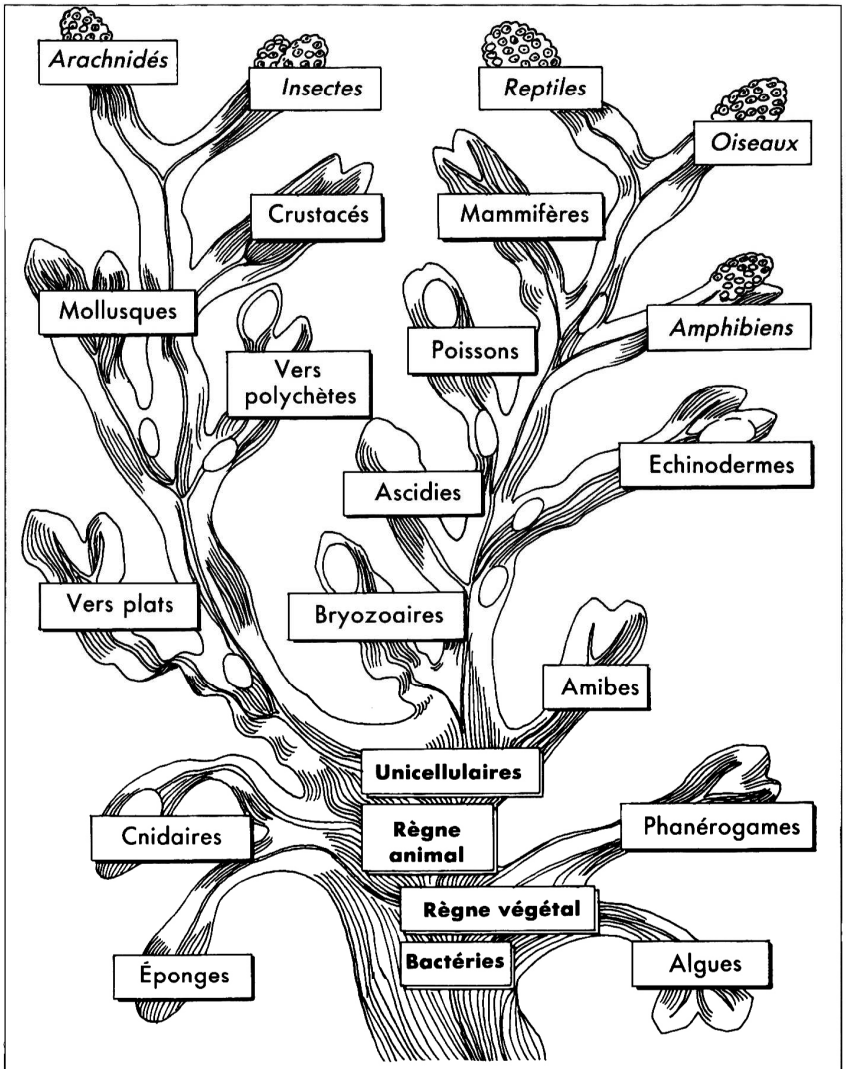
La situation chez les invertébrés est beaucoup plus complexe puisque la plupart d'entre eux n'ont pas de nom commun (nom vernaculaire). Qu'est-ce que la coralline ? Un bryozoaire ressemblant au corail ou une algue rouge calcaire vivant près de la surface ? Violet, biju et microcosme sont-ils des noms différents pour le même animal ? Si l'on s'intéresse aux éponges, suffit-il de dire éponge jaune, orange ou rouge ? Le nom latin est donc bien pratique et, lorsqu'il ne peut être connu facilement, la possibilité de se référer à un tiroir donné est toujours là.

UN ARBRE GÉNÉALOGIQUE

La classification systématique est fondée sur des ressemblances morphologiques entre organismes. Ces ressemblances laissent supposer que ces organismes pourraient avoir des ancêtres communs. Cette notion a amené divers scientifiques à proposer de véritables arbres généalogiques du monde vivant.

Les êtres les plus primitifs sont des organismes microscopiques représentés notamment par les bactéries. Plus tard sont apparus d'autres organismes de petite taille mais plus évolués (amibes, par exemple), puis d'un niveau d'organisation beaucoup plus élevé. Ce niveau est constitué par les organismes formés de plusieurs cellules, unités fonctionnelles des organismes vivants. Différents groupes de ce type sont apparus indépendamment. Nous pouvons citer les algues, les champignons, les éponges et tous les autres animaux.

Plus on « grimpe » le long de l'arbre, plus les organismes sont complexes. Une éponge a une structure relativement simple alors qu'un crustacé est plus complexe. Les poissons appartiennent aux vertébrés, embranchement le plus évolué des animaux marins. Enfin, les mammifères représentés en milieu marin par les cétacés ou les pinnipèdes sont les animaux les plus évolués.



CLASSIFICATION GÉNÉALOGIQUE SIMPLIFIÉE DES ÊTRES VIVANTS MARINS

Les végétaux marins

LES ALGUES

Les algues sont des plantes se situant vers le bas de l'arbre généalogique. Certaines espèces, microscopiques, sont formées par une seule cellule. Compte tenu de leur petite taille, le plongeur ne peut les voir directement, mais leur présence est révélée par la couleur verte de l'eau lorsqu'elles sont abondantes. D'autres algues sont filamenteuses. Les filaments très fins forment une sorte de couverture gélatineuse à la surface des rochers, ce qui n'est pas toujours un signe de bonne santé du milieu !

La plupart des algues observées par les plongeurs atteignent une grande taille, sont souvent fixées aux rochers et montrent des couleurs variables où dominent le vert, le rouge et le brun. Ces différences de couleur s'accompagnent de différences biologiques beaucoup plus fondamentales qui ont amené les scientifiques à créer des classes différentes : les chlorophycées (ou algues vertes), les rhodophycées (ou algues rouges) et les phéophycées (ou algues brunes).



Le codium en boule (Codium bursa) *est une algue verte commune à partir de quelques mètres de profondeur. Elle peut atteindre la taille d'un ballon de foot-ball (Port-Cros, 12 m).*



Les ulves se développent dans les zones peu profondes riches en éléments nutritifs.

Halimeda tuna *est caractéristique du coralligène à la surface duquel elle forme parfois des tapis denses (Cap Creus, 18 m).*



Les algues se distinguent des plantes dites « supérieures » par l'absence de feuilles, de tiges et de racines. Leur partie visible n'est représentée que par un seul organe, le thalle. Autre différence avec les plantes supérieures, les algues ne portent jamais de fleurs. Les cellules reproductrices, libérées dans l'eau, doivent être entraînées passivement vers un autre individu. Sous l'eau, pas d'abeilles ni autres insectes pollinisateurs. Les algues, comme beaucoup d'autres organismes marins, ne peuvent compter que sur le hasard pour se reproduire !

Beaucoup d'algues vertes se rencontrent dans les eaux douces, mais les plus grandes espèces vivent en mer. Leurs formes sont très variables et peuvent être illustrées par la fameuse laitue de mer *(Ulva lactuca)* rencontrée parfois près des plages ou dans les eaux calmes et dont le nom traduit bien l'aspect, ou le codium en boule *(Codium bursa)*, qui forme de grosses boules parfois enfoncées dans leur partie centrale rappelant ainsi un béret basque ou enfin ces algues calcaires observées plus profondément *(Halimeda tuna)* qui ressemblent à de petites pastilles vertes collées les unes aux autres. Près de la surface vit une petite algue verte caractéristique. Elle est formée d'un pied fixé sur des galets et coiffée d'un chapeau, un peu à la manière d'un champignon. Elle mesure quelques centimètres de hauteur. Cette algue, nommée *Acetabularia acetabulum,* est une curiosité de la nature puisque, malgré sa grande taille, elle n'est formée que d'une seule cellule !

Les algues brunes se distinguent des précédentes par la taille importante de certaines d'entre elles comme les laminaires ou le fucus en Atlantique, ou les cystoseires et les sargasses en Méditerranée. Certaines espèces, abondantes dans la partie explorée par les plongeurs, sont caractéristiques d'une profondeur. La padine *(Padina pavonica)* étale ses cornets près de la surface, souvent accompagnée de l'algue-balai *(Halopteris scoparia)*. Vers 10 m, d'autres algues brunes dominent à leur tour. *Dictyota dichotoma* est caractéristique par son thalle fourchu et par ses reflets bleutés et *Dictyopteris membranacea* par sa nervure centrale sur les feuilles.

Les algues rouges n'atteignent jamais de très grandes tailles en Méditerranée. Certaines d'entre elles sont douées de la capacité à sécréter du calcaire. Elles jouent de la sorte un rôle écologique important en contribuant à la formation de véritables roches biologiques. À la surface de l'eau, dans les zones rocheuses battues par les vagues, une algue rouge calcaire *(Lithophyllum tortuosum)* forme des bourrelets appelés *trottoirs* atteignant plusieurs dizaines de centimètres d'épaisseur. Beaucoup d'organismes animaux viennent se protéger de l'action des vagues en bénéficiant de la nourriture abondante apportée par celles-ci. Juste sous la surface, sur les rochers expo-





Padina pavonica, *la padine (Cap Creus, 12 m).*

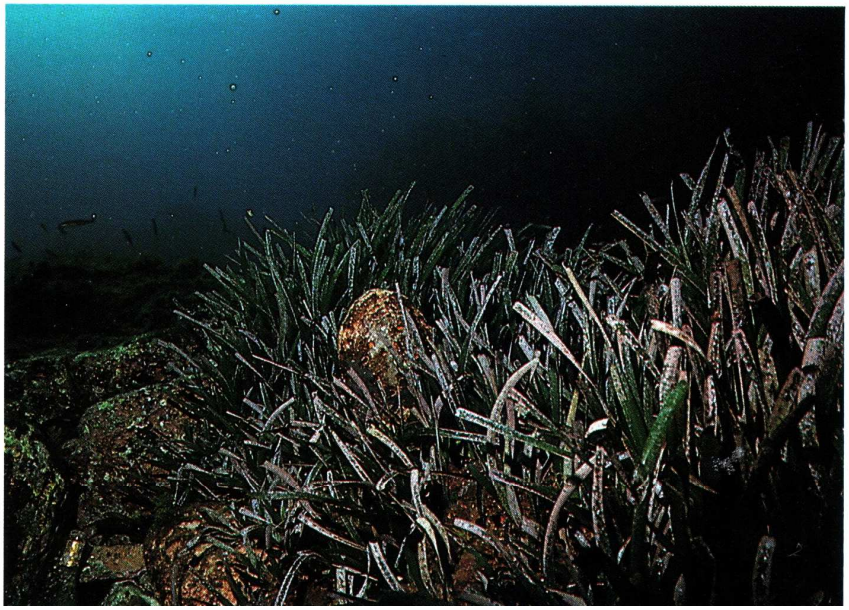
Halopteris scoparia, *l'algue en balais (Cap Creus, 15 m).*

La posidonie est le plus célèbre représentant des phanérogames marines (Port-Cros, 15 m).

sés au soleil, une algue rouge de quelques centimètres, la coralline *(Corallina elongata)*, déploie ses petits éventails calcifiés au gré des courants. Dès que l'action des vagues se fait un peu moins sentir, vers 10 m, de grandes algues prospèrent. Deux d'entre elles sont communes en Méditerranée : la sphérocoque *(Sphaerococcus coronopifolius)*, formant de grandes touffes rouges ou jaunes et l'algue à crochets *(Asparagopsis armata)* de couleur rose. À plus grande profondeur, d'autres algues rouges calcaires, comme *Pseudolithophyllum expansum*, sont à l'origine d'un autre « rocher biologique », le coralligène. Certaines algues rouges aimant l'ombre (sciaphiles) sont parfois associées à celles-ci. La plus commune est certainement *Peyssonnelia squamaria* facilement reconnaissable par sa couleur lie-de-vin et par sa forme en petits éventails.

LES PHANÉROGAMES

Ces plantes à fleurs, représentées en Méditerranée par les posidonies *(Posidonia oceanica)* et les cymodocées *(Cymodocea nodosa)*, ne sont pas des algues. Elles s'en distinguent par la présence de véritables racines, tiges et feuilles. Les racines leur permettent de se nourrir directement dans le sol, à l'instar des plantes terrestres. Elles se reproduisent à l'aide de fleurs, discrètes, il est vrai, ce qui les place parmi les plantes supérieures. Contrairement aux algues qui peuplent le fond des mers depuis l'apparition du règne végétal, les ancêtres des phanérogames marines sont des plantes terrestres qui se sont adaptées récemment à la vie sous-marine. Elles forment de véritables prairies sous-marines près des côtes, dont le rôle écologique important a déjà été souligné.



Les éponges

Les éponges sont observées pratiquement partout sous l'eau, dès qu'elles trouvent un endroit pour se fixer. Elles sont responsables d'une grande partie de la palette de couleurs mises en valeur par le faisceau de la lampe dirigée vers un tombant. Leurs formes sont variables, encroûtantes, dressées, ou encore globuleuses, en forme de coupe ou de sac.

Dès les premiers mètres, les couleurs rouge ou orange recouvrant les parois verticales ou surplombantes des rochers sont dues à des éponges encroûtantes comme *Hamigera hamigera* ou *Crambe crambe*. Vers 10 m, une autre éponge jaune, *Aplysina aerophoba*, dresse ses cheminées caractéristiques vers la surface. À plus forte profondeur, l'axinelle commune *(Axinella polypoides)* forme de véritables ramifications jaunes pouvant atteindre 1 m. Une cousine de cette éponge, l'axinelle plate *(Axinella damicornis)*, est beaucoup plus discrète, puisqu'elle adopte une forme encroûtante, mais présente l'originalité de servir de support privilégié à l'installation de l'anémone encroûtante jaune *(Parazoanthus axinellae)*. Mentionnons enfin l'existence d'éponges perforantes comme la clione verte *(Cliona viridis)*, abondante dans le coralligène et qui, en attaquant le calcaire, détruit ce que les algues ont construit. Il se forme ainsi un véritable équilibre dynamique.

Les cnidaires

Les cnidaires constituent un grand embranchement dans lequel on rencontre des organismes aussi variés que les méduses ou les anémones à consistance gélatineuse ou les gorgones et les coraux, armés d'un squelette corné ou calcaire. Ils représentent une part importante des invertébrés fixés observables par le plongeur, et certaines espèces, comme les gorgones ou le corail, sont même recherchées pour leur valeur paysagère.

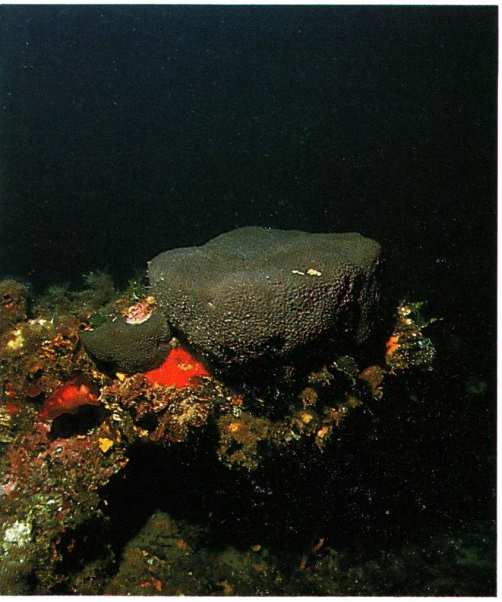
Certaines de leurs cellules, les *cnidocystes*, sont spécialisées dans la défense de l'organisme et la capture des proies. Ce sont de véritables seringues microscopiques remplies de poison et qui sont projetées sur la cible. Elles sont responsables des brûlures qu'occasionnent les méduses à l'homme.

Deux formes principales peuvent être observées, une forme fixée (comme les gorgones) et une forme libre portant des cellules reproductrices (comme les méduses).



UN FILTRE EFFICACE

Les éponges se nourrissent de particules microscopiques (environ 0,01 mm) en suspension dans l'eau de mer. Cette eau est aspirée par de petites ouvertures réparties sur l'ensemble de l'animal (pores inhalants). Un réseau de canalisations amène l'eau de mer jusqu'à des sortes de petites chambres où des cellules munies d'un cil assurent à la fois la circulation et le captage des particules nutritives. Après utilisation, l'eau est collectée dans un réseau plus important et rejetée par de grands orifices (les oscules), visibles à l'œil nu. Le travail des éponges est considérable puisqu'une éponge de 1 l peut filtrer entre 100 et 2 000 l par jour !





Éponge épineuse blanche (Pleraplysilla spinifera) *(Cap Creus, 12 m).*

Ircinia sp. *(Pointe Canelle, Corse, 30 m).*

Hydraire (Cap Creus, 15 m).

Les trois classes principales de cnidaires se distinguent par la prédominance de l'une ou de l'autre de ces formes au cours du cycle de la reproduction.

LES HYDRAIRES

Généralement de petite taille — quelques centimètres pour les plus grands —, les hydraires font partie d'une famille où les deux types d'individus — polypes et méduses — sont présents. Le plongeur ne pourra cependant les découvrir que sous leur forme fixée, reconnaissable aux petits plumeaux se balançant au gré des courants. Leur petite taille les rend discrets, mais un examen attentif d'une paroi rocheuse ou même d'une feuille de posidonie en révèle une grande quantité. Le plumulaire *(Aglaophenia* sp.) forme de petites plumes ou « fougères » fixées sur le rocher à faible profondeur. Un autre hydraire *(Eudendrium* sp.) forme une sorte de massif duveteux accroché aux gorgones.

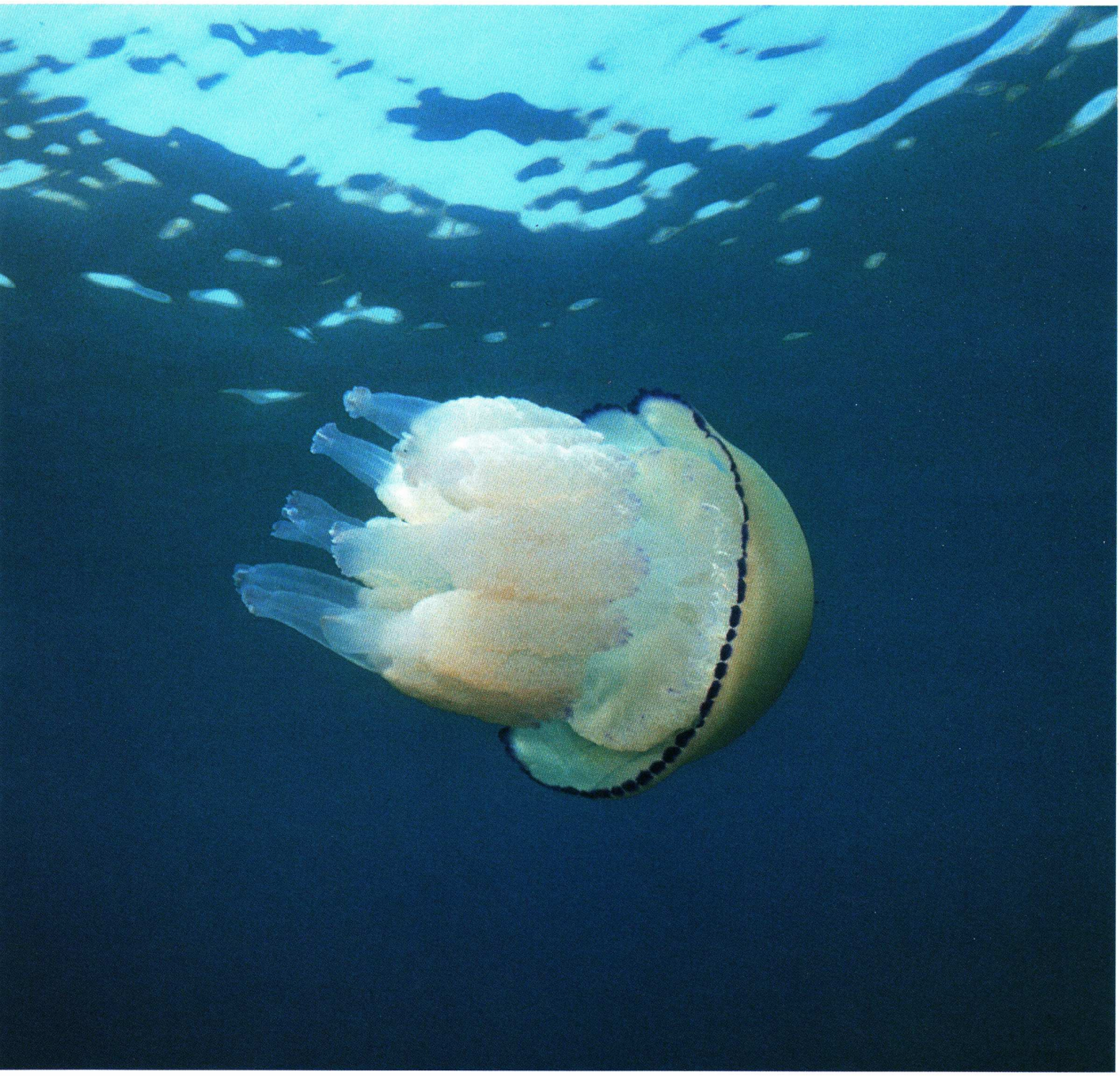
Les hydraires sont des suspensivores se nourrissant donc de petits organismes en suspension dans l'eau (plancton), mais également posés sur le fond.

Le cycle de reproduction est caractérisé par l'alternance entre la forme méduse et la forme polype. Le polype, fixé, libère par bourgeonnement des méduses qui constituent la forme sexuée. Les cellules sexuelles ou gamètes libérées par ces méduses forment une larve après fécondation, qui va se fixer et donner de nouvelles colonies de polypes.

LES SCYPHOZOAIRES (OU MÉDUSES)

Ils n'apparaissent au plongeur que sous la forme de grandes méduses. Elles sont responsables de brûlures douloureuses. Dans des conditions mal définies, certaines espèces pullulent parfois et viennent se concentrer près des côtes où elles finissent par périr massivement.

La plupart des méduses consomment de petites proies en suspension dans l'eau, mais certaines d'entre elles ingèrent des larves de poissons et des petits poissons immobilisés par leur venin. Les tortues marines sont leur seul prédateur connu.



Les rhizostomes (Rhizostoma pulmo) *sont de grandes méduses communes en Méditerranée (Menton, 2 m).*

Les méduses libèrent leurs cellules reproductrices dans la mer. Après la fécondation, l'œuf donne une larve qui se fixera pour former rapidement un petit polype. Celui-ci va libérer de petites méduses en grande quantité et qui dériveront au gré des courants.

LES ANTHOZOAIRES (ANIMAUX-FLEURS)

Ce sont les cnidaires les plus souvent remarqués par le plongeur. Ils groupent les gorgones, les anémones ainsi que tous les coraux tropicaux contribuant à l'élaboration des récifs coralliens.

Les anémones sont des animaux fixés, généralement solitaires. Ils appartiennent à la sous-classe des hexacoralliaires. La plus commune est l'anémone verte (*Anemonia sulcata*) prospérant à faible profondeur. Plus discrète, l'aiptasie verte (*Aiptasia mutabilis*) est souvent présente auprès de la précédente. Ces animaux se nourrissent grâce à une couronne de tentacules conduisant les proies, parfois de grande taille, vers la bouche. Une fois digérés, les restes sont rejetés par le même orifice.

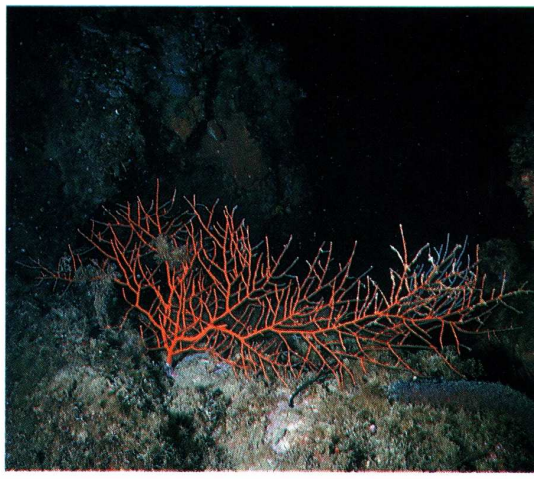
Certaines petites anémones comme l'anémone encroûtante jaune (*Parazoanthus axinellae*) vivent en colonies tapissant en grande densité le rocher. Il est possible de l'observer dès 3 m lorsqu'elle est abritée de la lumière sous un surplomb, mais elle prospère en général au-delà de 10 m.

Les coraux tropicaux ou madréporaires formant des récifs coralliens sont également des hexacoralliaires. Bien que ne constituant pas de véritables récifs, certaines espèces de mers tempérées ont un squelette calcaire. Les gros polypes du corail solitaire jaune (*Leptosamnia pruvoti*) atteignent plus de 1 cm de diamètre tandis que la cladocore (*Cladocora caespitosa*) forme des colonies dépassant 50 cm.

Les gorgones appartiennent à la sous-classe des octocoralliaires. Elles possèdent la même organisation élémentaire qu'une anémone, mais, au lieu d'être isolés, les individus sont rassemblés en grand nombre autour d'un squelette souple et corné. Les gorgones apparaissent vers quelques mètres, et les différentes espèces se succèdent en fonction de la profondeur.

Le plongeur rencontre d'abord la gorgone blanche (*Eunicella stricta*), vivant fixée sur les rochers exposés à la lumière à partir de 10 m. Plus profondément se développe la gorgone rouge *Paramuricea clavata*, caractéristique des tombants coralligènes. Le corail rouge (*Corallium rubrum*) est une gorgone possédant un squelette calcaire, utilisé en bijouterie. Les colonies n'atteignent généralement pas la taille de la plupart des autres gorgones. Les alcyonaires comme l'alcyon méditerranéen (*Alcyonum palmatum*) sont d'autres organismes coloniaux appartenant aux octocoralliaires. Ils ne possèdent pas de véritable squelette, leur rigidité étant due à la pression de l'eau contenue dans l'organisme.

Cette gorgone orange (Lophogorgia ceratophyta) *n'est pas très abondante mais se développe de plus en plus en Méditerranée. Sa prospérité pourrait être le signe d'un accroissement de la turbidité (Cap Creus, 20 m).*



Les vers

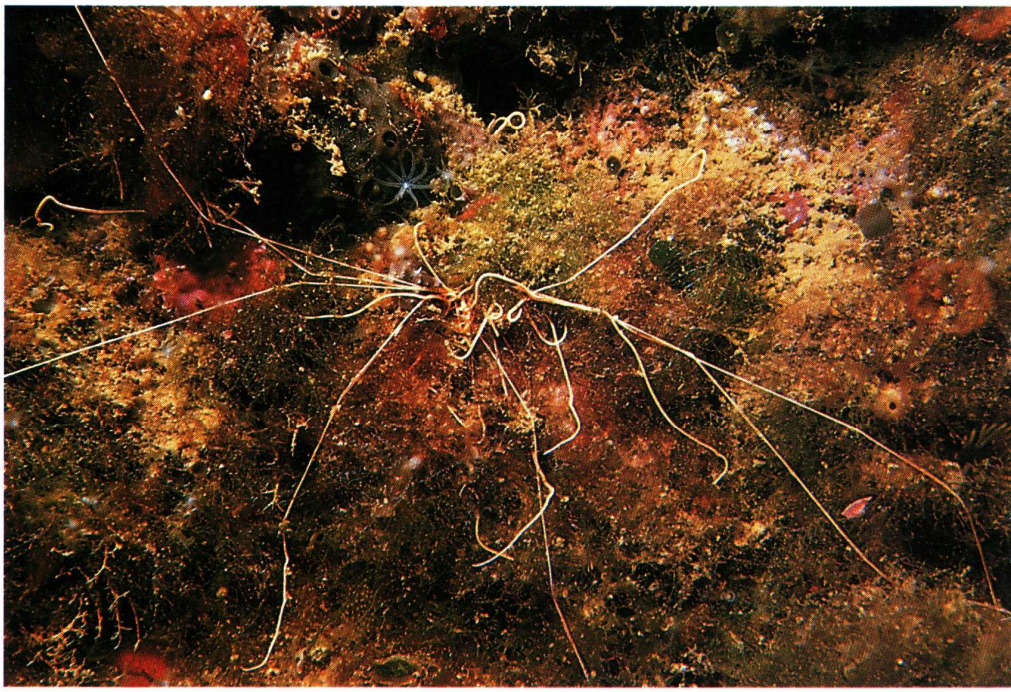


Le cérianthe (Cerianthus membranaceus) *est abondant dans les zones riches en particules nutritives entre 1 et 35 m. La couleur de ses tentacules peut varier (Cap Creus, 12 m).*

Il existe plusieurs sortes de vers. Les vers plats, appartenant à la classe des turbellariés, sont généralement de petite taille et très colorés. Lorsqu'ils nagent, ils sont reconnaissables à leurs mouvements ondulatoires spectaculaires. Par leurs couleurs parfois éclatantes, ils sont parfois confondus avec les nudibranches, qui sont des mollusques. Ils consomment des détritus, mais certains sont également prédateurs.

Les échiuriens ne sont représentés en Méditerranée que par la bonellie (*Bonellia viridis*), organisme facilement reconnaissable par sa trompe verte, très longue, se divisant en deux lobes dans sa partie terminale.

Quantitativement, les vers polychètes sont les plus représentés sous la mer. Très discrets, leur présence est révélée par des monticules de sable sur le sol. Les sabellidés sont moins discrets, notamment le spirographe (*Spirographis spallanzanii*) dont le panache tentaculaire atteint plus de 20 cm de diamètre. Organe fragile et vital que le spirographe rétracte en cas de danger, ce panache permet à l'animal de se nourrir et de respirer. Les serpules sont plus petites, mais il suffit de s'approcher d'une paroi pour observer leur panache rouge vif sortant d'un petit tube calcaire blanc. Elles représentent un sujet de choix pour le photographe amateur de macrophotographie.



Ces petits filaments observés à la surface des rochers appartiennent à un ver polychète, la polymnie (Eupolymnia nebulosa). *Il est souvent possible de les observer au milieu des éponges encroûtantes (Cap Creus, 10 m).*



La trompe de la femelle de la bonellie (Bonellia viridis) *(Cap Creus, 15 m).*

LA BONELLIE : UN ANIMAL AUX MŒURS CURIEUSES

L'animal observé en plongée est toujours une femelle. Cette femelle produit des œufs qui donnent des larves nageant librement dans l'eau. Au moment de se transformer en individus adultes (métamorphose), ces larves descendent vers le fond. Si elles tombent dans un endroit quelconque, elles donneront une femelle. Si, par contre, elles tombent sur la trompe d'une femelle, elles se transformeront en mâle, qui ne dépassera jamais 2 mm et vivra en parasite à l'intérieur des voies génitales de la femelle !

Les crustacés

La classe des crustacés appartient à l'embranchement des arthropodes comprenant des groupes terrestres comme les insectes ou les araignées et dont les représentants possèdent un squelette externe corné ou calcaire.

Quatre sous-classes jouent un rôle particulièrement important en milieu marin : les copépodes, les cirripèdes, les péracarides et les eucarides.

Les copépodes sont des crustacés de petite taille vivant en suspension dans l'eau. Observables uniquement sous une loupe binoculaire, ils représentent une part importante du zooplancton et sont consommés par beaucoup d'organismes suspensivores (anémones).

Les cirripèdes sont des crustacés particuliers vivant fixés au rocher. Ils sont munis d'une carapace calcaire en forme de cône, et leurs pattes sont transformées en appareil filtreur. Ils vivent près de la surface, ou au-dessus, certaines espèces peuplant la zone des embruns. Leur morphologie particulière est à l'origine d'une fréquente confusion de ces crustacés avec des mollusques comme les patelles.

Les péracarides groupent d'innombrables espèces de petite taille dont les formes varient de la puce de mer que l'on rencontre communément sur les plages à celle du cloporte marin. Difficiles à observer en plongée, car ils vivent dans le sédiment ou les anfractuosités, ils sont aussi abondants en mer que les insectes sur terre.

Les eucarides sont les crustacés « classiques » groupant les crabes, crevettes, langoustes, homards ou cigales. On les trouve en abondance dans les zones rocheuses riches en algues mais, en réalité, ils occupent des milieux variés. Ce sont généralement des espèces omnivores qui ne répugnent pas à consommer des charognes, rôle écologique s'il en est. La langouste (*Palinurus vulgaris*) et le homard (*Homarus gammarus*) vivent dans des trous au fond desquels ils se protègent. Ils en sortent la nuit pour se nourrir de déchets. Beau-

Un copépode planctonique.







CHANGER DE PEAU POUR GRANDIR

Compte tenu de la rigidité de leur carapace, la croissance des crustacés se fait par l'intermédiaire d'un système original : la mue. À intervalles réguliers, l'animal sort littéralement de sa carapace, qu'il abandonne, et en forme une nouvelle, plus grande. Au moment de cette opération, la nouvelle carapace est molle de manière à pouvoir s'agrandir.

Au bout de quelques jours durant lesquels l'animal subit une véritable crise de croissance et où il est très vulnérable, la nouvelle carapace durcit, et l'animal ne grandit plus avant la mue suivante.

coup de crabes ont un mode de vie similaire. La petite cigale (*Scyllarus arctus*) et la galathée (*Galathea strigosa*) font également partie de ces espèces qu'il faut soigneusement chercher au fond des trous en plein jour, mais qui se promènent à la surface des rochers la nuit. Pour observer ces crustacés, la plongée de nuit est vivement conseillée. Certains crustacés ont perdu une bonne partie de leur carapace. Ce sont les pagures. Résultat : ils sont obligés de rechercher une coquille d'escargot pour se protéger. Certains pagures vont même jusqu'à placer une anémone sur la coquille qu'ils récupèrent, bénéficiant ainsi d'une protection supplémentaire.

Contrairement à beaucoup d'autres groupes marins, les décapodes ne rejettent pas leurs cellules sexuelles dans le milieu ambiant. Les œufs sont fécondés par le mâle directement sur la femelle, à l'occasion de la mue, et celle-ci porte ses œufs sous son abdomen. Après l'éclosion, les larves passent par de nombreuses phases planctoniques, vivant donc en pleine eau. Au bout d'un à trois mois, elles subissent la métamorphose et se transforment en adultes miniatures. Leur croissance peut alors commencer.

(À gauche.) La langouste (Palinurus vulgaris) *est l'un des crustacés les plus célèbres ! (Calvi, 31 m).*

(À droite.) Comme beaucoup de crustacés, les galathées peuvent être facilement observées au cours des plongées de nuit (Palavas, 8 m).

Les mollusques

Avec les crustacés, les mollusques sont certainement les invertébrés les plus connus du monde marin. Outre la valeur culinaire de bon nombre d'entre eux, certains coquillages atteignent des sommes astronomiques sur le marché des collectionneurs !

Les mollusques rassemblent des individus dont la forme est très variée. Schématiquement, on distingue les gastéropodes (escargots), les bivalves, les céphalopodes (seiches, poulpes et calmars) et une autre forme, moins connue, les chitons. Ainsi, les mollusques montrent une forte hétérogénéité puisqu'ils comportent des espèces apparemment simples comme les moules, fixées, chez lesquelles il est difficile de retrouver des organes bien différenciés, et d'autres très évoluées comme les calmars qui sont des espèces nageuses, poursuivant activement leurs proies, grâce à des systèmes de camouflage et de vision sophistiqués.

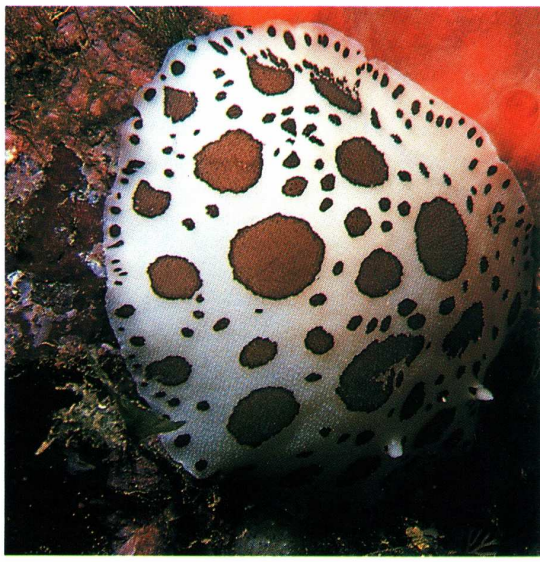


Les chitons se nourrissent en râclant le rocher avec leur radula (Cap Creus, 3 m).

LES CHITONS

Les chitons sont des mollusques discrets, mais qui peuvent être facilement découverts par le plongeur curieux qui soulève les rochers en zone peu profonde. Le dessous des blocs, qu'il ne faut en aucun cas oublier de remettre en place, abrite tout un microcosme où les chitons tiennent une place privilégiée. Ils se reconnaissent facilement à leur forme ovale, à leur petite taille (entre 1 et 3 cm), et à leur corps protégé par une coquille formée de huit plaques articulées. Leurs mouvements sont lents et ils restent solidement fixés au rocher.

Le doris maculé (Peltodoris atromaculata) *est un nudibranche qui se nourrit d'éponges. Il est très commun à partir de 15 m (Cap Creus, 20 m).*



LES GASTÉROPODES (OU ESCARGOTS DE MER)

Leur coquille est généralement spiralée, mais parfois en forme de chapeau (patelle). La coquille peut être complètement atrophiée ou cachée à l'intérieur de l'organisme. Les nudibranches ou limaces de mer, par exemple, n'en présentent pas.

Les gastéropodes sont presque exclusivement benthiques, c'est-à-dire qu'ils vivent sur le fond et ne nagent pas. Le pied, organe puissant de reptation, joue un rôle important dans leur morphologie. Ils sont abondants dans les zones côtières peu profondes, riches en algues où le fond est rocheux.

LES BIVALVES

Leur coquille est constituée de deux valves symétriques reliées par une zone d'articulation (charnière). Moules et huîtres sont les représentants les plus fréquents de ce groupe. Les espèces vivant sur des fonds durs s'attachent au rocher par des filaments (moules) ou collent une valve au rocher (huître). Certaines espèces comme les dattes de mer (*Lithophaga lithophaga*) forent le coralligène leur servant de protection.

Les bivalves se nourrissent en filtrant l'eau de mer et en récupérant les particules nutritives qui y sont contenues. Un courant d'eau est créé par des cellules munies de cils vibratiles. L'alimentation est constituée en grande partie d'algues microscopiques.

Le bivalve de plus grande taille pouvant être rencontré en Méditerranée est le jambonneau ou nacre (*Pinna nobilis*). Il peut atteindre 1 m de longueur et vit fixé dans le sable, au sein de l'herbier de posidonies. Particulièrement abondant autrefois, ce coquillage ne persiste plus que dans certains sanctuaires tant il a été surexploité dans l'Antiquité et actuellement par les plongeurs !

LES CÉPHALOPODES

Les céphalopodes font partie des invertébrés les plus remarquables, notamment par leur degré d'évolution. Qui d'entre nous n'a pas déjà rencontré un abri de poulpe (*Octopus vulgaris*) ? La disposition ordonnée des galets autour de l'ouverture montre un véritable sens de l'organisation. Le poulpe est même parfois considéré comme un être intelligent, à tel point qu'il fait l'objet d'études sur le comportement.

L'originalité de son comportement est remarquable pendant la reproduction. Au lieu de pondre des œufs, puis de les abandonner comme la plupart des invertébrés marins, la femelle du poulpe en prend soin durant toute la durée de leur développement. Ces œufs sont fréquemment rencontrés en plongée, sortes de grappes blanches suspendues au plafond des grottes. La femelle doit les aérer en créant un courant d'eau générateur d'oxygène. Elle ne se nourrit pratiquement pas pendant cette opération et meurt parfois d'épuisement après l'éclosion des petits.

Beaucoup d'autres espèces font preuve de comportements complexes liés à la reproduction. Les calmars (*Loligo vulgaris*) se rassemblent en groupes de grande densité, concentration pendant laquelle se produit la fécondation. Les seiches (*Sepia officinalis*) chan-

CHANGEMENTS DE RÉGIME

Certains gastéropodes comme les natices (*Natica*) sont carnivores et consomment préférentiellement leurs congénères bivalves. D'autres sont herbivores et broutent, soit des algues de grande taille (lièvre de mer, *Aplysia depilans*), soit celles qui recouvrent discrètement la plupart des rochers à faible profondeur (patelles). D'autres encore sont spécialisés dans la consommation des éponges ou des hydraires. Certains nudibranches, par exemple, sont même capables de récupérer les cellules urticantes des hydraires qu'ils consomment, de les intégrer dans leur corps et de les utiliser à titre défensif pour leur propre compte ! Enfin, les nasses (*Nassarius incrassatus*) se nourrissent de cadavres.

De haut en bas et de gauche à droite :

Astraea rugosa, *le turbo rugueux (Frontignan, 7 m).*

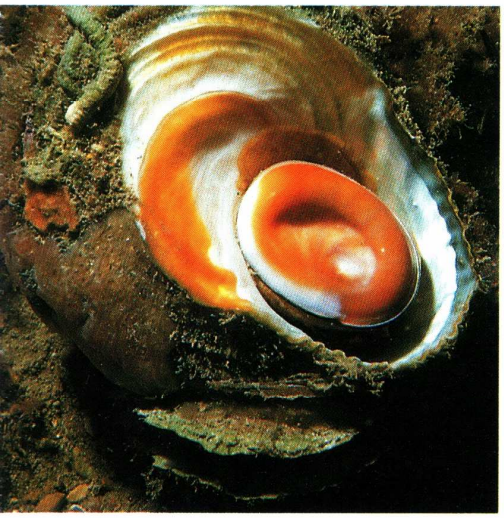
Pinna nobilis, *la grande nacre (Port-Cros, 12 m).*

*Une seiche (*Sepia officinalis*) à l'affût (Port-Cros, 12 m).*

Le même individu en position défensive (Port-Cros, 12 m).

Myriapora truncata *est un bryozoaire à ne pas confondre avec le corail rouge (Cap Creus, 15 m).*

Porella cervicornis, *le bryozoaire corne-de-cerf (Cap Creus, 15 m).*








LA LOI DE LA JUNGLE

La plupart des céphalopodes sont carnivores et peuvent s'attaquer à des proies telles que poissons, crabes ou escargots qu'ils dépècent grâce à un puissant bec corné. Ils ont beaucoup d'ennemis comme le congre s'attaquant aux poulpes et offrant parfois au plongeur un spectacle impressionnant du poisson tournant sur lui-même pour tenter de détacher un bras du poulpe.

Les combats livrés par les cachalots et les calmars géants n'ont jamais été observés, si ce n'est par les traces impressionnantes laissées sur le corps des cétacés. Mais le plus redoutable de leurs ennemis est l'homme, qui les pêche partout en grande abondance.

gent de couleur au moment de la reproduction, un peu à l'image de certains poissons ou même de certains oiseaux. C'est le mâle qui dépose lui-même, à l'aide de l'un de ses tentacules, les cellules sexuelles à l'intérieur de la femelle. Cette opération se produit au cours d'une véritable parade nuptiale.

Mais l'originalité de ce groupe ne s'arrête pas au comportement. Les céphalopodes ont réussi à imiter certaines caractéristiques morphologiques des vertébrés. Beaucoup possèdent un squelette interne leur donnant une certaine rigidité. C'est la plume de calmar ou l'os de seiche. Plus curieux encore, l'œil des céphalopodes est une réplique quasi parfaite de l'œil des vertébrés. Bien que l'origine embryologique en soit différente, on retrouve dans l'œil du poulpe une cornée, un cristallin et une rétine. Seule différence, ces organes baignent dans l'eau de mer alors que, chez les vertébrés, l'œil est totalement fermé.

Dernière originalité, la taille extraordinaire qu'atteignent certaines espèces. Inaccessibles aux plongeurs, elles vivent dans les grandes fosses océaniques et peuvent dépasser 10 m de longueur. Ce sont les plus grands invertébrés connus, comparables en poids aux grands mammifères terrestres.

UNE HLM ORGANISÉE

Les bryozoaires sont en réalité des animaux rassemblés en grande densité. Chaque animal élémentaire (le polypide) se trouve dans une petite boîte calcaire (la cystide) et ce qui est observé est l'ensemble de ces boîtes collées les unes aux autres et formant ainsi une véritable HLM.

L'originalité de cet édifice réside dans le fait que certains individus ont des fonctions spécifiques et travaillent pour le reste de la communauté. Il existe ainsi des individus munis d'un flagelle, facilitant l'apport de nourriture vers d'autres individus chargés de collecter cette nourriture. Certains d'entre eux ont pour fonction de défendre la colonie et sont munis d'un véritable bec menaçant.

Ainsi, une colonie de bryozoaires n'est-elle pas simplement un groupement d'individus mettant certaines parties en commun (comme chez les gorgones, par exemple), mais plutôt une sorte d'organisme supérieur ayant résolu de manière autonome des problèmes de subsistance.

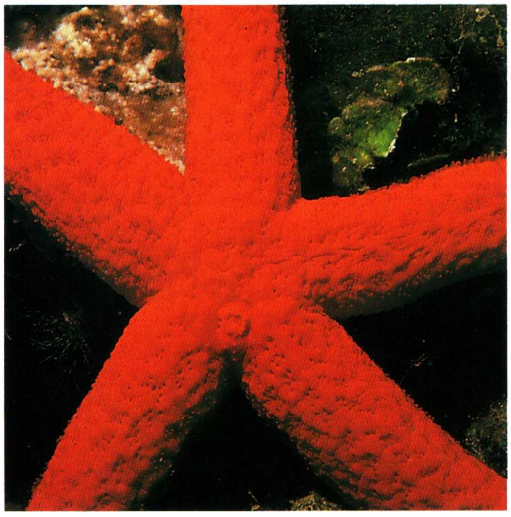
Les bryozoaires

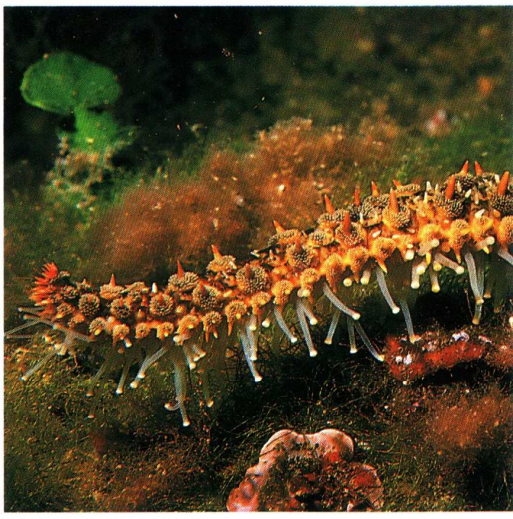
La plupart des bryozoaires sont des animaux discrets, généralement encroûtants et peu colorés. Pourtant, certaines espèces, comme le faux corail (*Myriapora truncata*), ne répondent pas à cette description. Parfois appelé coralline, il possède des branches cylindriques dures et de couleur orangée rappelant le « vrai » corail rouge. Une autre espèce orange, *Hippodiplosia foliacea*, atteint une taille importante formant une grosse boule à l'aspect feuillu. On la trouve parfois fixée sur des gorgones. La dentelle de Neptune ou rose des mers (*Sertella septentrionalis*) est souvent la victime d'une collecte de la part des plongeurs qui ne rapportent le plus souvent que des débris, tant ces animaux sont fragiles !

Les échinodermes

Les échinodermes sont des organismes de grande taille, présents en abondance à faible profondeur. Traditionnellement, l'étoile de mer est le premier trophée rapporté par le plongeur débutant à la suite de son baptême... habitude déconseillée ! Tout aussi connus,







De gauche à droite :

*Oursin violet (*Sphaerechinus granularis*) caractérisé par l'extrémité blanche de ses épines (Cap Creus, 20 m).*

*L'étoile de mer rouge (*Echinaster sepositus*) est un hôte commun à profondeur moyenne (Cap Creus, 20 m).*

*Vue rapprochée des podias de l'étoile de mer glaciaire (*Marthasterias glacialis*). Cette espèce est une redoutable carnassière. Elle consomme des bivalves et même des oursins en sortant son estomac et en l'enfonçant dans le corps de ses victimes (Cap Creus, 18 m).*

les oursins prolifèrent également dans les eaux superficielles et vont même parfois jusqu'à gêner le baigneur maladroit. Holothuries et ophiures sont d'autres représentants un peu moins réputés de cet embranchement, commun dans les zones rocheuses ou sableuses.

Les échinodermes sont caractérisés par une symétrie radiaire pentagonale. En d'autres termes, ils sont toujours divisés en cinq parties égales (ou multiple de 5) à de rares exceptions près. Chez les étoiles de mer, cette symétrie est bien visible (cinq branches). Quelquefois il est plus difficile de l'observer (holothuries, oursins).

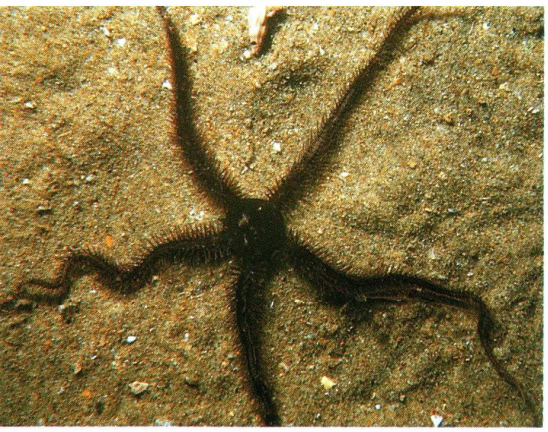
Ils possèdent un organe qui leur est propre, le système ambulatoire, formé par de nombreuses excroissances de la peau (pieds) qui communiquent avec une cavité interne et permettent la locomotion et la préhension.

LES OURSINS

C'est l'une des formes les plus connues d'échinodermes, ne serait-ce que parce que certaines espèces sont comestibles et parce qu'ils laissent des souvenirs... piquants au plongeur. Leur squelette (test) est formé de plaques calcaires soudées entre elles. Il existe deux types d'oursins. Les oursins irréguliers ont une bouche située vers l'avant et un anus à l'opposé tandis que les oursins réguliers ont la bouche située sur la face ventrale et l'anus sur la face dorsale. Les premiers sont les oursins des sables, blancs et recouverts d'épines souples. Parmi les seconds, trois espèces sont rencontrées couramment. À faible profondeur, l'oursin comestible (*Paracentrotus lividus*), parfois dénommé « oursin femelle », se nourrit de préférence

MANGER À TOUS LES RÂTELIERS

Certaines espèces d'ophiures ont l'originalité de se nourrir de multiples façons. Le même individu peut être prédateur, capter des particules en suspension, puis dévorer une charogne ou enfin se nourrir des bactéries du sédiment à l'image des holothuries. Leur régime omnivore les avantage beaucoup d'un point de vue écologique et explique peut-être leur abondance dans les zones où les conditions de vie sont difficiles.



Ophiure noire (Ophiocomina nigra) *sur fond sableux (Palavas, 5 m).*

d'algues molles. Dans la même zone, l'oursin noir ou « oursin mâle » (*Arbacia lixula*) prospère surtout sur les croûtes d'algues rouges calcaires. Attention ! il s'agit bien de deux espèces différentes et non de deux sexes comme pourraient le laisser supposer les noms communs. Au-delà de 10 m, l'oursin violet (*Sphaerechinus granularis*) est reconnaissable à sa grande taille et à l'extrémité blanche de ses piquants émoussés.

LES ÉTOILES DE MER

Possédant cinq bras ou plus, de couleurs variables et parfois vives, les étoiles de mer vivent à toutes les profondeurs explorées par le plongeur.

Sous leur apparence inoffensive, il leur arrive d'être de redoutables prédateurs. Certaines espèces attaquent leurs proies, des bivalves le plus souvent, en écartant légèrement les deux valves à l'aide de leurs bras puissants, puis en introduisant littéralement leur estomac à l'intérieur du mollusque, qui est alors digéré dans sa coquille ! Le contenu est ensuite rapporté dans l'étoile de mer par l'estomac qui se rétracte.

Les espèces les plus communes sont les deux étoiles de mer rouges (*Echinaster sepositus* et *Hacelia attenuata*), l'étoile de mer glaciaire (*Marthasterias glacialis*) et l'astérie pentagonale (*Asterina gibbosa*), petite espèce que l'on peut facilement rencontrer sous les galets à faible profondeur.

LES OPHIURES

Les ophiures ressemblent à de petites étoiles de mer aux bras très fins souvent munis de piquants. Elles vivent généralement sous les rochers ou à l'intérieur du coralligène. Ces animaux se rassemblent parfois en grand nombre, offrant ainsi au plongeur un spectacle impressionnant. Ces rassemblements sont parfois interprétés comme un signe de déséquilibre écologique du milieu.

LES HOLOTHURIES

Elles sont également connues sous le nom de *concombres de mer*. De forme allongée et de couleur brune, elles sont souvent déconsidérées par le plongeur qui ignore le rôle écologique important que leur attribue la nature. La plupart des concombres de mer avalent



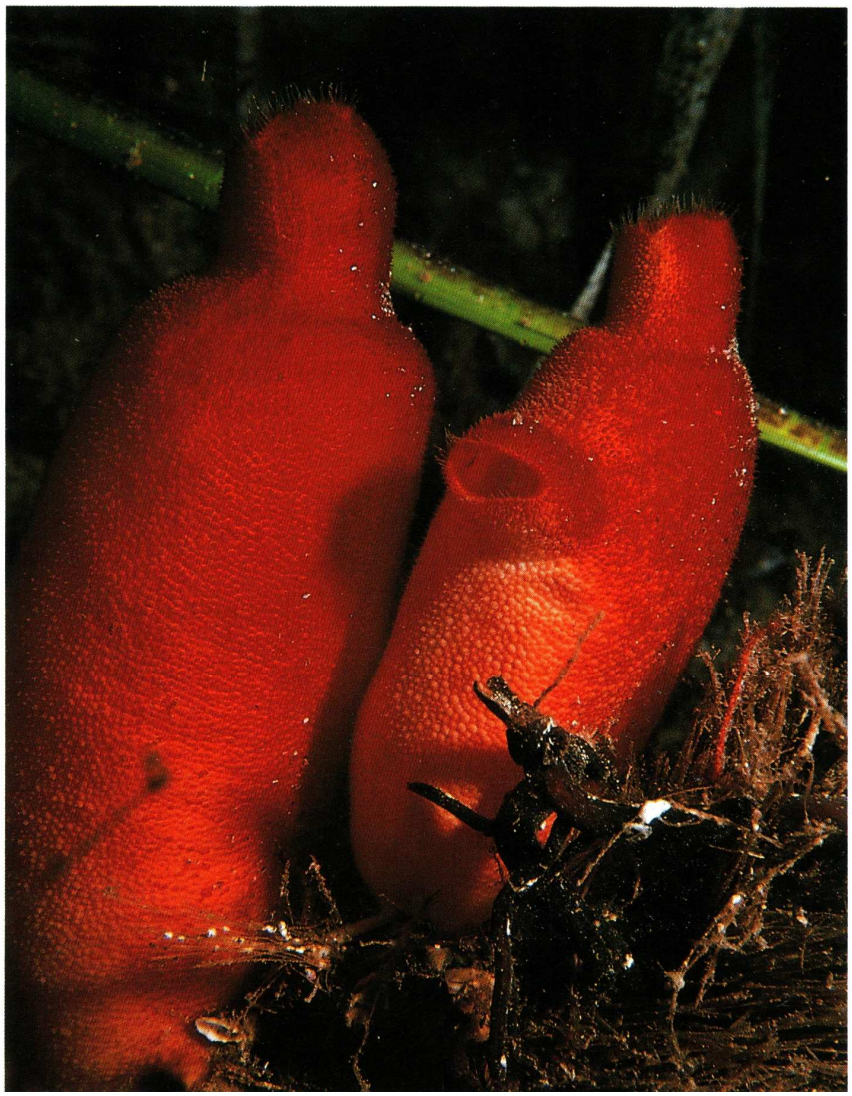
L'holothurie noire (Holothuria forskali) *prend parfois une coloration beaucoup plus claire, tirant sur le jaune (Cap Creus, 10 m).*

Ascidies rouges (Halocynthia papillosa) *fixées sur de la matte de posidonie (Cap Creus, 20 m).*

en permanence le sable ou la vase et consomment ainsi toute la nourriture qui s'y trouve sous la forme de bactéries, d'algues microscopiques ou bien de matière organique inerte. Ce sont donc de véritables éboueurs de la mer.

LES CRINOÏDES

Ce sont des sortes d'étoiles de mer dont les bras sont très ramifiés. Abondantes dans les mers tropicales et les grands fonds, les crinoïdes ne sont représentées en Méditerranée que par la comatule (*Antedon mediterranea*). Cet échinoderme se maintient fixé au rocher par de puissantes griffes. Très curieusement, c'est également le seul échinoderme capable de nager en remuant activement l'ensemble de ses bras. C'est donc à la fois le plus « fixé » et le plus « nageur » des échinodermes.





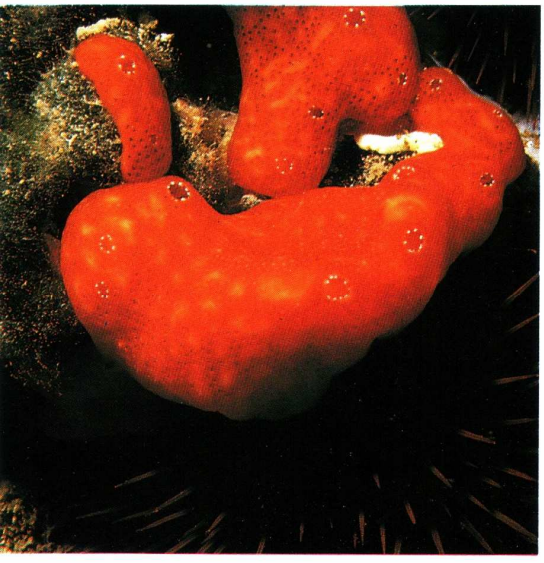
La roussette fixe ses œufs aux gorgones. On distingue bien les yeux de l'embryon sur ce cliché réalisé en aquarium.

Les ascidies

Lorsque l'on ouvre une ascidie, comme c'est le cas chaque fois que l'on consomme le fameux violet ou biju, l'intérieur apparaît comme une masse assez informe. Pourtant, les ascidies sont des invertébrés relativement évolués. Ce sont des animaux en forme d'outres percées de deux siphons, l'un permettant à l'eau de pénétrer et l'autre de sortir. En circulant, l'eau assure les fonctions de nutrition, d'oxygénation et d'excrétion. Le degré de parenté avec les vertébrés apparaît au travers de la larve, véritable petit têtard avec une tête, une queue et surtout une corde dorsale qui préfigure la colonne vertébrale des vertébrés. C'est lors de la métamorphose que la larve perd tous ces caractères et redevient un invertébré fixé.

Outre le violet (*Microcosmus sabatieri*), d'autres ascidies sont souvent observées en plongée comme l'ascidie rouge (*Halocynthia papillosa*), qui abonde dans le coralligène ou les clavelines (*Clavelina lepadiformis*), petites ascidies sociales, remarquables par leur transparence et par le fait qu'elles sont reliées à leur base. Le cas extrême d'une telle grégarisation est représenté par les ascidies coloniales (*Botryllus schlosseri* ou *Polysyncraton lacazei*) de forme encroûtante et de couleurs vives et qui peuvent être confondues avec des éponges.

Ascidie coloniale (Cap Creus, 10 m).



Les poissons

Les poissons appartiennent à l'embranchement le plus évolué du règne animal, les vertébrés. Ils se divisent en deux grandes catégories, les poissons cartilagineux tels que les raies ou les requins, et les poissons osseux, représentant pratiquement tout le reste.

LES POISSONS CARTILAGINEUX

Ce groupe comprend des espèces adaptées à la haute mer, grandes nageuses et carnassières, mais celles rencontrées le plus couramment en plongée sont des espèces vivant au voisinage du fond. C'est le cas de la petite roussette (*Scyliorhinus canicula*), petit requin fréquemment observé dans les grottes, posé sur le fond, ou des raies comme la torpille (*Torpedo marmorata*) ou l'aigle de mer (*Myliobatis aquila*). Seules les plongées en mers tropicales permettent une rencontre, pas toujours recherchée, avec les grands requins.

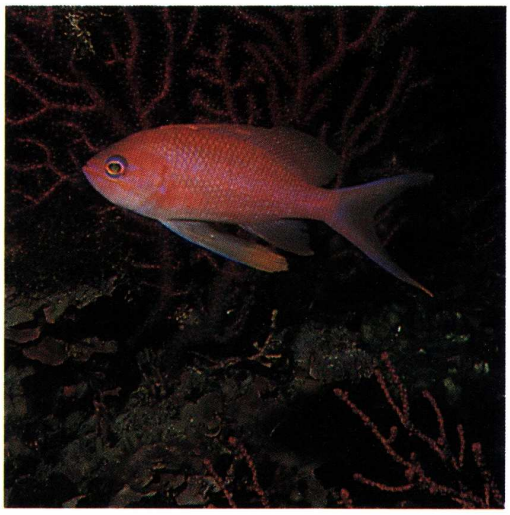
Comme leur nom l'indique, ces poissons n'ont pas de squelette osseux, mais uniquement cartilagineux. C'est un groupe primitif pos-

sédant des particularités remarquables comme la possibilité, pour certains requins, de bénéficier d'une reproduction de type vivipare : au lieu de pondre des œufs, ils mettent au monde les jeunes, directement, à l'image des mammifères ! La roussette, quant à elle, pond des œufs mesurant quelques centimètres et munis à leurs quatre extrémités de filaments. Au moment de la ponte, la femelle les accroche à une gorgone ou à un autre support du même type. Il n'est pas rare de découvrir de telles pontes qu'il convient d'observer en plaçant une lampe à contre-jour pour distinguer l'embryon par transparence.









De haut en bas et de gauche à droite :

La nuit certains labridés, comme ce crénilabre paon, dorment littéralement couchés sur le flanc (Cap Creus, 15 m).

Sars communs (Diplodus sargus) *dans une rague (Cap Creus, 15 m).*

Labrus bimaculatus *femelle, la coquette (Cap Creus, 12 m).*

Un barbier (Anthias anthias), *poisson de la famille des serranidés, sur un fond coralligène (Cap Creus, 35 m).*



Jeune mérou (Port-Cros, 5 m).

LE RETOUR DU MÉROU

Les mérous sont certainement les poissons les plus attachants qui puissent être rencontrés en plongée. Compte tenu de la chasse intensive dont ils font l'objet, beaucoup d'individus sont actuellement farouches et méfiants. Pourtant, ces poissons, vivant habituellement dans des eaux peu profondes, sont d'un naturel débonnaire et presque affectueux envers le plongeur à tel point que certains d'entre eux sont véritablement apprivoisés et se laissent nourrir et caresser. Les populations de l'espèce méditerranéenne *Epinephelus marginatus* n'ont pas partout les mêmes chances de survie. C'est dans les eaux chaudes du sud méditerranéen qu'elles prospèrent. Dans ces conditions favorables, le poisson atteint sa maturité sexuelle vers l'âge de cinq ans. Il mesure alors environ 50 cm. Le mérou présente la particularité, partagée avec d'autres poissons, d'être d'abord de sexe femelle puis, quelques années plus tard, de se transformer en mâle. Les femelles, âgées entre cinq et douze ans, sont plus petites que les mâles, ceux-ci vivant jusqu'à plus de trente-cinq ans et dépassant 120 cm. Les spécialistes ont montré que la reproduction implique le rassemblement de quelques mâles et de plusieurs dizaines de femelles pour être efficace. Sur les côtes françaises, où les eaux sont plus froides et où le mérou se trouve à la limite de son aire de répartition, les effectifs ne sont pas suffisants pour assurer la reproduction et, jusqu'à un passé proche, les seuls individus observés poissons, parfois restés des femelles, supposés avoir migré à partir des zones plus favorables. Ayant atteint un seuil de déséquilibre, les populations de mérous se trouvent alors à la merci des moindres perturbations comme celles que pourraient constituer une pollution trop forte, la disparition des habitats ou une pression de chasse excessive. Pourtant, ces dernières années, de jeunes mérous de 15 à 30 cm font leur apparition dans les eaux où ils sont protégés, comme en Corse, dans le parc national de Port-Cros ou dans la réserve de Cerbère-Banyuls. Ils peuvent être observés sous des dalles ou dans les éboulis, de la surface à 5 m de profondeur et laissent penser que la reproduction pourrait avoir lieu. Ce phénomène, aux dires des plus vieux pêcheurs, n'avait pas été observé depuis plusieurs dizaines d'années. Est-ce la preuve que la protection d'une zone est suffisante pour assurer son repeuplement, ou doit-il être attribué à une cause naturelle comme le réchauffement de la mer ou encore à un cycle naturel de plusieurs années ? Quoi qu'il en soit, l'espoir de voir un jour nos eaux retrouver une fréquentation en mérous semblable à celle observée par les pionniers de la plongée sous-marine dans les années 1940 devrait suffire à lutter pour le classement de cet affectueux poisson parmi les espèces protégées.

LES POISSONS OSSEUX

La rascasse brune (Scorpaena porcus) est commune par petits fonds rocheux (Cap Creus, 10 m).

Les rougets (Mullus surmuletus) vivent le plus souvent en petits bancs sur le sable (Calvi, 18 m).





Ils forment la majorité des poissons vivant près de la côte ou au large. Ce sont les poissons dont le squelette et les mandibules sont osseux. Ils sont classés en familles qu'il est difficile de passer en revue ici en raison de leur nombre important. Nous établirons donc un choix fondé sur les espèces fréquemment rencontrées en plongée en Méditerranée.

Les deux familles les plus communes sur les côtes de la Méditerranée sont certainement les labridés et les sparidés.

Les labridés constituent en quelque sorte le « bruit de fond » de la faune piscicole de l'espace exploré par le plongeur. Ce sont les labres, représentés par de nombreuses espèces communes telles que le crénilabre paon (*Symphodus tinca*), le labre merle (*Labrus merula*), la coquette (*Labrus bimaculatus*) ou la girelle (*Coris julis*). La plupart des petits poissons, parfois colorés, parfois plus ternes, vivant au voisinage du fond mais jamais véritablement liés à celui-ci, au milieu des algues ou sous des petits surplombs, sont des labridés. Certaines espèces construisent de véritables nids d'algues et de sable, facilement observables en plongée sur les petits fonds sableux. Ces poissons surveillent leurs œufs puis leur progéniture. D'autres espèces (*Labrus melanocercus*) ont un comportement de poissons nettoyeurs, notamment à l'égard de labres plus gros.

Beaucoup d'espèces prestigieuses appartiennent à la famille des sparidés. Sars, daurades, dentis sont recherchés par la plupart des plongeurs. D'autres, abondants mais plus discrets, appartiennent également à cette famille. C'est le cas des bogues (*Boops boops*), petits poissons formant parfois des bancs gigantesques à faible profondeur, des mendoles, dont la couleur bleutée et la tache noire centrale sont caractéristiques, ou des petits sparillons (*Diplodus annularis*) ou oblades (*Oblada melanura*). Tous ces poissons ont en commun leur goût pour les milieux rocheux côtiers et sont abondants entre 0 et 25 m. Les sars, qui sont les plus communs des grandes espèces, affectionnent les zones d'éboulis et les failles rocheuses (ragues) où ils se mettent à l'abri. Ils se nourrissent d'algues calcaires et de petits animaux quand ils sont jeunes, et de moules ou d'oursins quand ils sont plus âgés. Ils détachent les organismes du rocher grâce à leur puissante mâchoire et broient ensuite leur nourriture à l'aide de dents arrondies recouvrant leur palais.

Les serranidés rassemblent des poissons très différents. Le loup (*Dicentrarchus labrax*) en fait partie, de même que le mérou (*Epinephelus marginatus*), espèce fétiche du plongeur, ou les serrans (*Serranus sp.*), communs au milieu des labres. Plus profondément, le

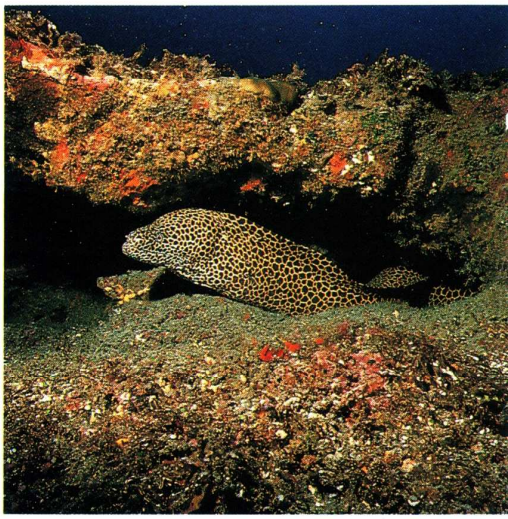
barbier (*Anthias anthias*), de couleur rose, souvent présent au milieu des grandes gorgones rouges et des épaves, appartient également à cette famille. La variété de leurs formes s'accompagne d'une variété de leurs modes de vie. Le loup vit en pleine eau où il chasse activement ses proies, essentiellement des petits poissons. Le mérou est également carnivore, mais se nourrit près du fond recherchant les poissons moins mobiles et les crustacés. C'est également un redoutable chasseur de poulpes. Les serrans, en revanche, s'attaquent à des proies beaucoup plus modestes, petits crustacés et mollusques constituant ses repas quotidiens. Quant aux barbiers, ils se contentent du plancton animal amené par les courants.

Les rascasses sont d'autres poissons communément rencontrés au cours d'une plongée en zone rocheuse, bien que leur immobilité les désigne comme les victimes privilégiées du chasseur sous-marin. Elles appartiennent à la famille des scorpaenidés offrant plusieurs représentants comme le chapon ou rascasse rouge (*Scorpaena scrofa*), la rascasse brune (*Scorpaena porcus*) ou la rascasse pustuleuse (*Scorpaena notata*). Ces poissons vivent posés sur les fonds rocheux, à l'entrée des petites grottes ou sous des surplombs, où ils attendent leurs proies, immobiles, servis par leur mimétisme parfait. À l'approche d'une victime potentielle (crabe, poisson), ils ouvrent brusquement leur bouche en se projetant en avant grâce à leur queue puissante.

Les secteurs où roche et sable coexistent sont des lieux de prédilection pour les rougets de roche (*Mullus surmuletus*). Appréciés pour leurs qualités gastronomiques, ces poissons de la famille des mullidés (à ne pas confondre avec les mugilidés, c'est-à-dire les mulets !) vivent au voisinage du fond et se nourrissent de petits organismes qu'ils trouvent dans le sable en fouillant avec leurs barbillons. Le nuage de particules soulevé par leur activité attire souvent d'autres petits poissons (labres, girelles), et il n'est pas rare d'observer un groupe de deux ou trois rougets se déplaçant près du fond en bonne compagnie.

Les castagnoles (*Chromis chromis*) appartiennent à la famille des pomacentridés uniquement représentée par cette espèce en Méditerranée alors qu'en zone tropicale elles sont nombreuses. Elles vivent en bancs, à faible profondeur et en zone rocheuse ou sur les herbiers de posidonies. Les jeunes sont bleu métallisé, ce qui contraste avec la couleur sombre des adultes et rappelle leur origine tropicale.

Les congres (*Conger conger*) et les murènes (*Muraena helena*) sont les représentants de familles appartenant à l'ordre des anguilliformes. De forme allongée et sans écailles, ce sont des carnassiers s'attaquant à d'autres poissons ou à des invertébrés. Cachés dans des trous de rocher pendant la journée ils sortent la nuit pour se nourrir.



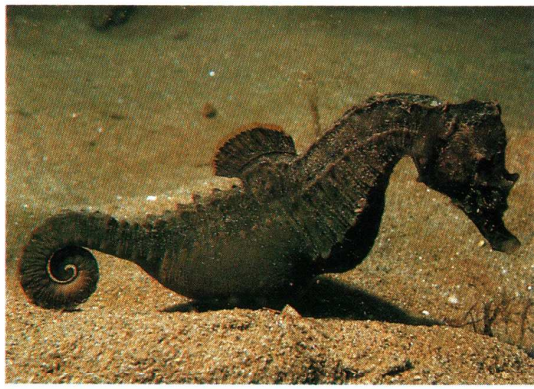
Bien qu'une seule espèce existe en Méditerranée, les murènes sont abondantes dans les mers tropicales. Ici une murène léopard dans les eaux réunionnaises (La Réunion, 38 m).

Il faut regarder avec attention une paroi rocheuse ou soulever quelques cailloux pour découvrir des gobies, blennies, ou tryptérigions. Ces poissons au mode de vie semblable affectionnent les petites cavités où ils se reposent, se cachent ou déposent leurs œufs. Ils ont un comportement territorial très développé. Le tryptérigion (*Tripterygion tripteronotus*) défend un territoire mesurant 2 m de diamètre. Il peut le retrouver après une séparation d'un jour et une distance de 100 m !

Parmi les poissons discrets, citons également les syngnathes et hippocampes, principaux représentants de la famille des syngnathidés. Le premier vit souvent dans l'herbier de posidonies, où il se confond parfaitement avec les feuilles. Le second vit en mer, mais se rencontre parfois en densités importantes dans certaines lagunes côtières. Ces poissons possèdent une sorte de bec tubulaire par lequel ils avalent de petits crustacés et un corps recouvert d'anneaux osseux. Leur forme particulière ne leur permet ni une nage rapide ni de rester dans des eaux turbulentes. Ils vivent en glissant et en serpentant au sein des peuplements végétaux, se confondant avec le milieu et se servant de la queue pour se maintenir. Ces poissons prennent soin de leur progéniture. Chez les hippocampes, les femelles déposent leurs œufs dans la poche incubatrice du mâle. Les jeunes, semblables à l'adulte, sont expulsés au bout de quatre semaines. C'est donc le mâle qui porte les œufs, à la manière du kangourou avec son petit !

Enfin nous terminerons ce survol en évoquant les poissons plats dont les trois familles principales sont rassemblées dans l'ordre des pleuronectiformes. Soles et turbots sont des prestigieux représentants de cet ordre dont les membres ont un corps asymétrique, les deux yeux étant situés du même côté. Adaptés à la vie sur le sable, ils nagent en réalité sur le côté !

La recherche de ces poissons peut animer une plongée sur du sable, mais l'observation doit être attentive, les poissons plats se confondant avec le fond par un mimétisme parfait.



Les hippocampes (ici Hippocampus hippocampus*) sont de mauvais nageurs que l'on rencontre souvent accrochés par la queue à une algue ou un invertébré fixé (Frontignan, 8 m).*



Bien qu'elle passe souvent inaperçue par sa faible taille, la blennie de Roux (Blennius rouxi) *est un hôte commun de nos fonds rocheux (Cap Creus, 15 m).*

CAMOUFLAGE

Le plongeur est désavantagé par rapport à l'apnéiste, car il ne peut prétendre à une approche silencieuse : le bruit du détendeur, les panaches de bulles et le déplacement en palanquées sont autant d'handicaps. Il peut cependant adapter certaines « ruses de Sioux » employées par les chasseurs sous-marins telles que l'agachon.

- Ne pas s'approcher en ligne droite d'un banc de poissons ou d'un individu isolé, mais choisir un itinéraire détourné en exploitant au mieux l'environnement : progression en sauts de puce sous couvert des roches ou au ras de l'herbier.
- Choisir un affût permettant un bon camouflage : faille à l'abri d'un tombant, dépression entre deux patates de coralligène, « immersion » dans l'herbier de posidonies, abri derrière un paravent de gorgones.
- Rester le plus immobile possible. Attention aux chocs des palmes ou de l'équipement sur le fond !
- Le gros handicap restant le bruit et les bulles du détendeur, il est possible de réduire son rythme respiratoire et donc d'être momentanément plus discret.

Les mammifères marins

Le spectacle d'un dauphin évoluant dans le bleu ne peut être qu'un émerveillement pour le plongeur. Malheureusement, cette rencontre reste très occasionnelle. En effet, les mammifères marins, dans leur grande majorité, vivent au large, et les espèces côtières fuient les zones littorales trop fréquentées. Ces animaux, qui, depuis l'Antiquité, suscitent la curiosité, appartiennent à deux groupes distincts : les cétacés (baleines, cachalots, dauphins) et les pinnipèdes (phoques, otaries).

LES CÉTACÉS

Parfaitement adaptés à la vie aquatique, ces mammifères ont un ancêtre terrestre. Progressivement, leur morphologie, leur physiologie et leurs mœurs se sont modifiées jusqu'à l'apparition de deux sous-ordres représentés actuellement par soixante-seize espèces dans tous les océans et toutes les mers du monde : les mysticètes ou cétacés à fanons (baleines) et les odontocètes ou cétacés à dents (cachalots, orques, dauphins).

Comme chez tous les mammifères, la respiration du cétacé est pulmonaire. Il est donc soumis à des remontées périodiques à la surface pour respirer. À l'émersion, il expulse l'air de ses poumons. Ce souffle constitué d'air humide et chaud, mais aussi de gouttelettes d'huile, lui permet d'évacuer efficacement l'azote dissout dans le sang au cours de sa plongée. Cette caractéristique lui permet de ne pas être obligé de faire des paliers de décompression après des plongées à plusieurs centaines de mètres ! D'autres adaptations lui autorisent des plongées de plus de 10 min : la quantité de sang, sa composition et sa distribution dans les différentes parties du corps sont adaptées à l'immersion. Le rythme cardiaque diminue pendant l'apnée pour augmenter brutalement à son arrivée à la surface.

Le mode de reproduction et le développement du fœtus sont similaires à celui des autres mammifères, à ceci près que l'accouplement a lieu dans l'eau. Après une gestation d'une année environ, le petit, entièrement formé, naît et rejoint immédiatement la surface pour respirer. La taille considérable de certaines espèces suppose une croissance rapide, facilitée par une grande richesse du lait maternel en graisses et en protéines.

Le mode de nutrition est variable d'un groupe à l'autre. Les cétacés à fanons se nourrissent de plancton, essentiellement de krill (petites crevettes). Ils avalent d'énormes gorgées d'eau (plusieurs tonnes)

qu'ils rejettent ensuite. Les fanons servent de filtre et retiennent les proies minuscules. Les cétacés à dents consomment des poissons, mais aussi des calmars, qui constituent l'alimentation principale des cachalots.

Ces animaux chassés pendant des siècles, actuellement protégés, sont des êtres organisés socialement, doués d'une forme d'intelligence et communiquant avec leur propre « langage », mais ce sont surtout de merveilleux plongeurs. Lorsqu'un cachalot sonde, sa descente l'amène jusqu'à des profondeurs de 2 000 m.

LES PINNIPÈDES

Ils se répartissent en trois familles : les otaridés (otaries, lions de mer), les odobénidés (morses), et les phocidés (phoques) ne possédant pas d'oreille externe visible.

Ils se différencient peu des cétacés d'un point de vue physiologique, mais ils se reproduisent généralement sur terre. Leur régime alimentaire se compose essentiellement de poissons, crustacés et mollusques.

Contrairement aux cétacés, les pinnipèdes ont conservé leur pelage, doublé sous la peau d'une épaisse couche de lard. Ces caractéristiques, associées à des adaptations physiologiques comme la possibilité d'ouvrir et de fermer leurs vaisseaux sanguins de manière réflexe, octroient à ces animaux une résistance quasi parfaite contre le froid des régions vers lesquelles ils ont été repoussés par l'homme.

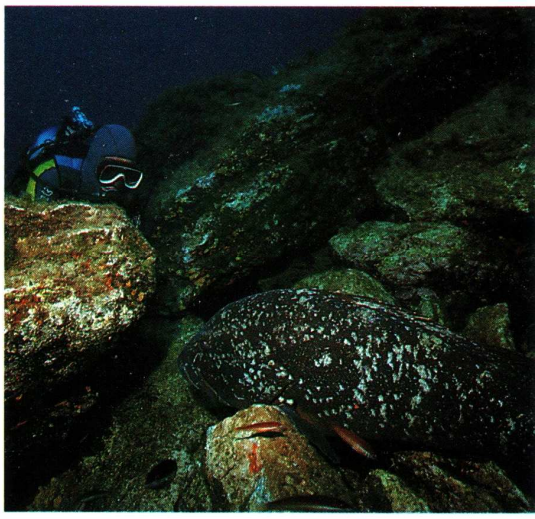
Si l'isolation de ces animaux contre le froid atteint la perfection, la facilité avec laquelle ils évoluent dans l'eau est surprenante. Les otaries et les lions de mer volent littéralement dans l'eau, leurs membres postérieurs leur servant de gouvernail. Les phoques moines et les éléphants de mer se propulsent uniquement par ondulation. Le morse progresse par train d'ondes.

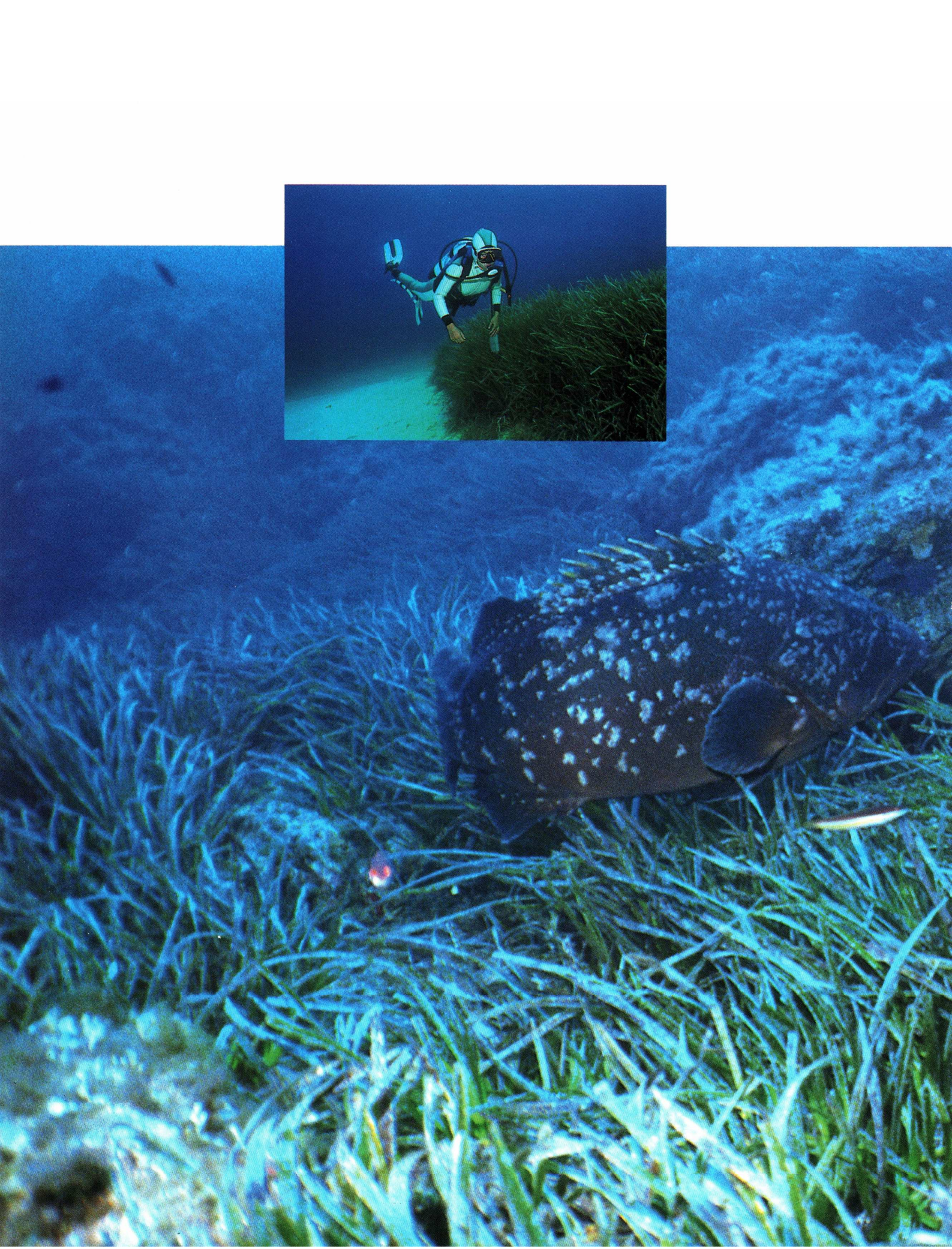
Ces mammifères étonnants peuplent essentiellement les régions où les eaux sont froides. Le phoque moine est l'un des seuls représentants des zones tempérées, mais abondant en Méditerranée au début du siècle, ce sera une des premières espèces à disparaître de cette mer.



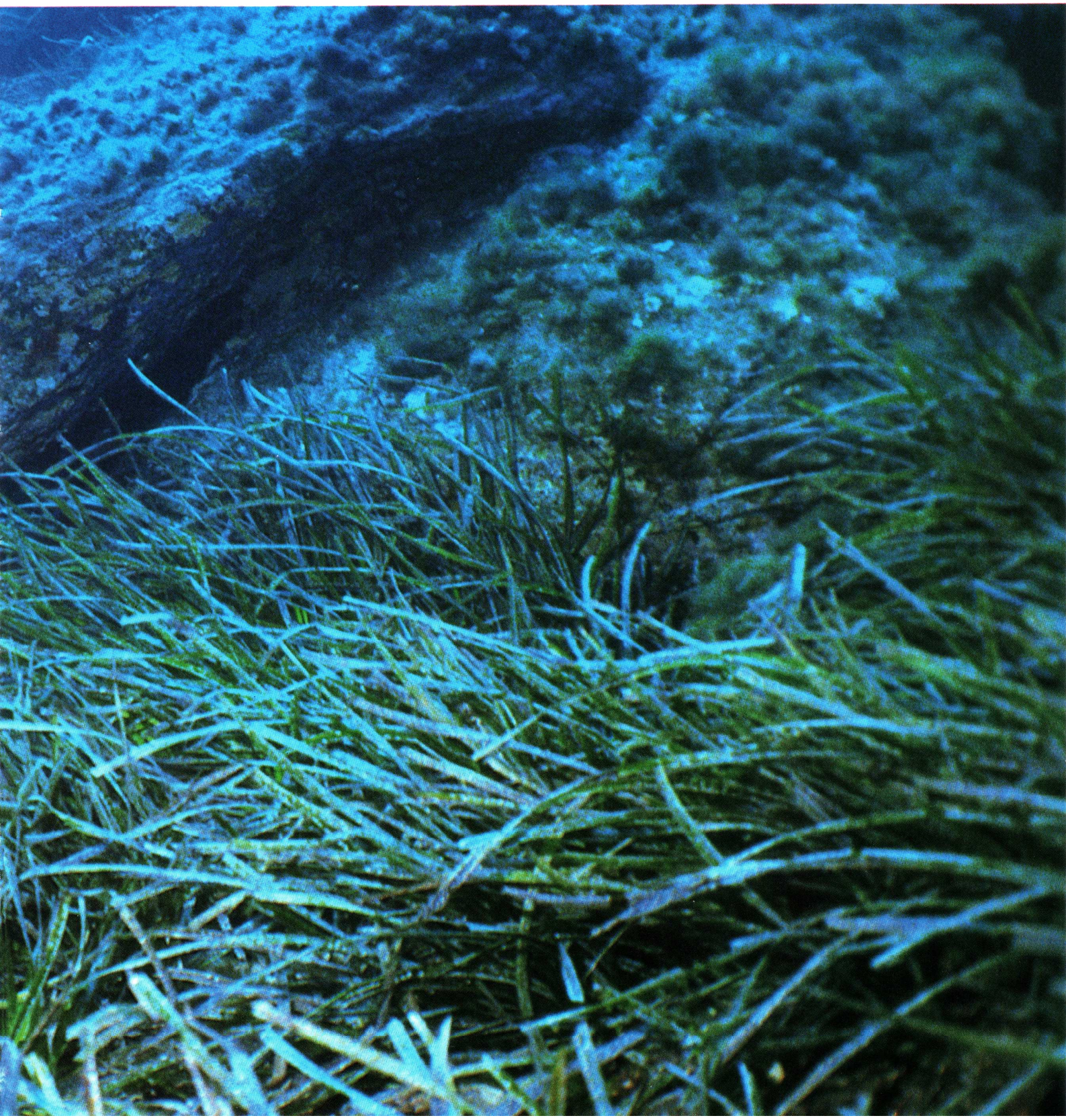
Les dauphins peuplent pratiquement tous les océans. Celui-ci a été photographié au large de l'Île de La Réunion.

Observer un poisson demande parfois une technique d'approche minutieuse (Port-Cros, 17 m).





SURVIVRE ET PROSPÉRER



Les organismes vivants, animaux ou végétaux, font preuve d'une multitude de formes, de modes de vie, de types de reproduction ou de nutrition. Cette variété est issue d'une longue évolution. Au cours des âges, des êtres vivants sont apparus, d'autres se sont éteints. Pour qu'une espèce nouvelle puisse prospérer, il faut qu'elle se nourrisse et se reproduise, sans entrer en concurrence trop forte avec les espèces déjà présentes. Sa stratégie va donc consister à exploiter des ressources qui ne le sont pas encore, mettant au point des outils adaptés. Un animal qui apprend à capter les particules en suspension dans l'eau est avantagé dans un monde peuplé d'organismes se nourrissant à l'intérieur du sédiment. Avec le temps, la panoplie d'outils et de fonctions existant dans le monde vivant et leur complexité vont augmenter de plus en plus.

Lorsque nous plongeons aujourd'hui, nous observons le résultat d'un tel processus d'évolution. Certains organismes vivent sur le fond, d'autres en pleine eau, certains sont carnivores, d'autres herbivores, et aucune ressource n'est négligée. La nature ne connaît pas le gaspillage.

L'ensemble des espèces vivant en un lieu donné est appelé par les scientifiques *biocénose*. Ces espèces vivent dans un milieu aux caractéristiques physiques définies, le *biotope*. L'ensemble, appelé *écosystème*, forme une unité fonctionnelle dont les organes pourraient être constitués schématiquement par les espèces qui tiennent chacune un rôle bien particulier, utile à la communauté.

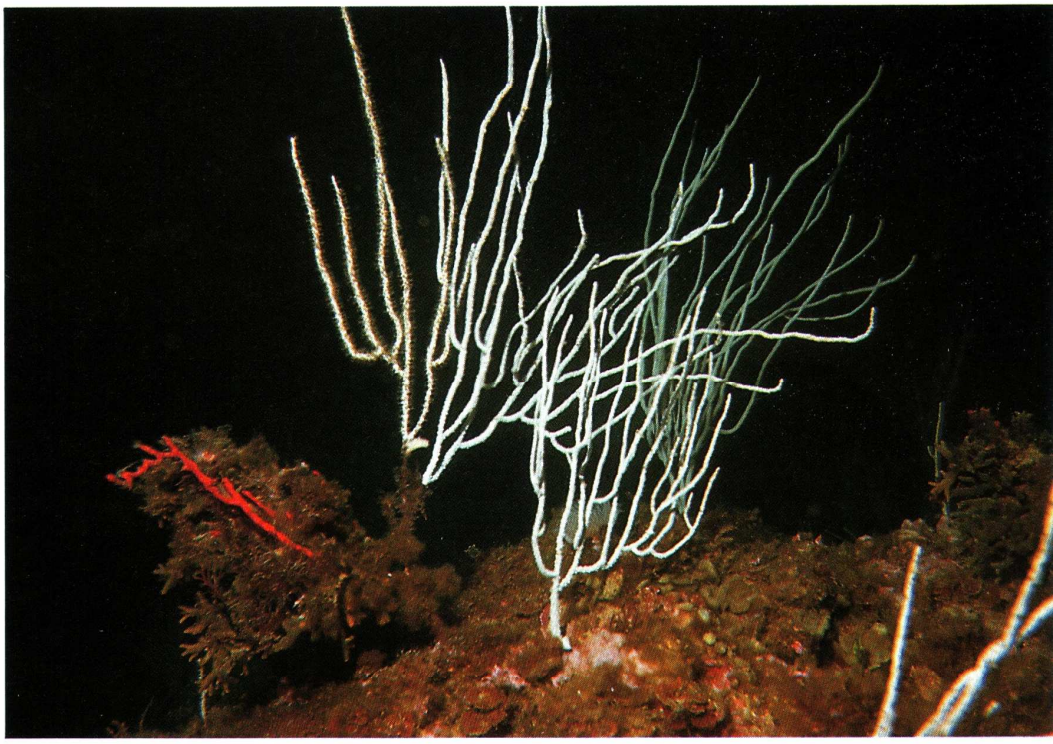
Décrire le fonctionnement d'un écosystème n'est pas chose aisée, mais l'examen de quelques fonctions importantes doit permettre à chaque plongeur de s'y retrouver et de comprendre toute la complexité et la richesse du milieu qui l'entoure au cours de chaque plongée.

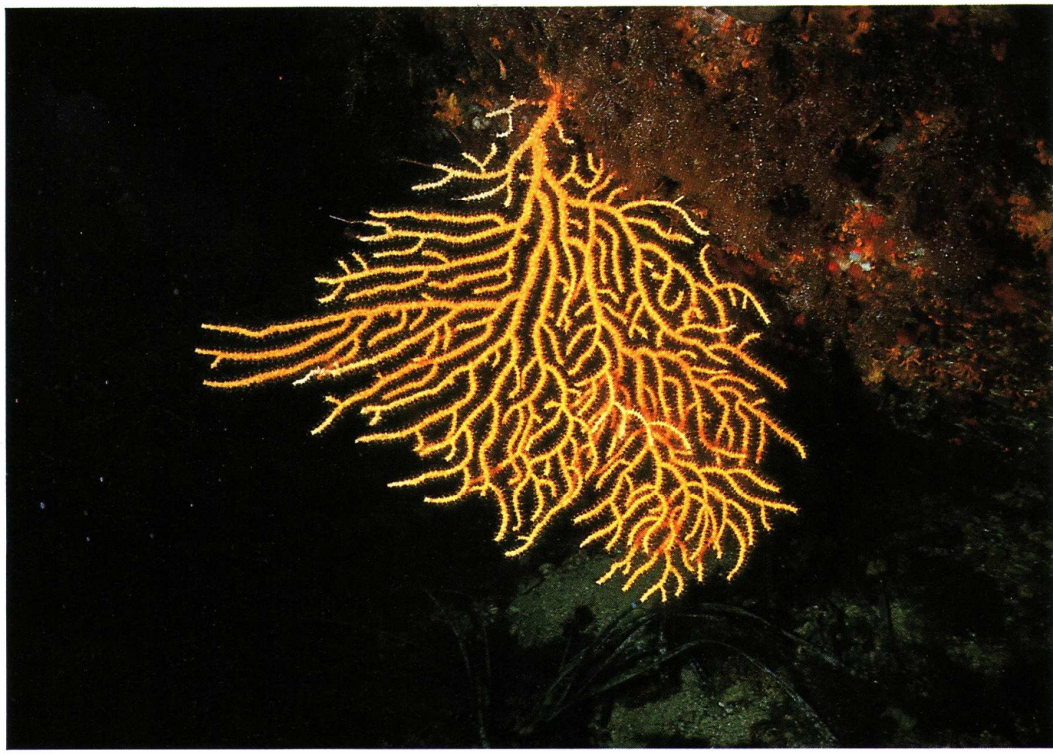
Un style de vie

UN ESPACE À TROIS DIMENSIONS

Les plongeurs ne sont pas les seuls, sous l'eau, à bénéficier de la poussée d'Archimède. Cette force annule ou diminue fortement le poids apparent de la plupart des espèces marines qui peuvent alors profiter de la troisième dimension verticale, beaucoup plus facilement que ne le font des animaux terrestres tels que les oiseaux. L'eau facilite chez les organismes marins le déroulement de la plu-

Ces deux gorgones vivent à la même profondeur, pourtant elles se partagent l'espace.
La gorgone blanche, Eunicella stricta, *est fixée sur les surfaces exposées directement à la lumière et pousse de bas en haut. L'association de cette espèce avec des algues photosynthétiques est probablement à l'origine de ce besoin de lumière (Cap Creus, 20 m).*
En revanche la gorgone jaune, Eunicella cavolinii, *se développe sur les surfaces verticales ou sous les surplombs. Il est possible qu'un substrat concrétionné soit favorable à la fixation de ses larves (Port-Cros, 18 m).*







*Les organismes fixés sont vulnérables à l'attaque de prédateurs. Ce gastéropode proche des nudibranches (*Tylodina perversa*) broute tranquillement une éponge jaune (*Aplysina aerophoba*). Son mimétisme parfait le met à son tour à l'abri d'un assaillant (Cap Creus, 12 m).*

part des fonctions vitales comme le déplacement, la nutrition et la reproduction. Ce n'est pas un hasard si le développement de la vie à l'air libre a mis si longtemps à se réaliser. S'affranchir de l'eau posait d'importants problèmes d'adaptation, problèmes qui ne sont pas totalement résolus, puisque, même chez les espèces les plus évoluées comme les mammifères, le développement de l'embryon se déroule toujours dans une poche d'eau !

Immobilité forcée

Il existe sous l'eau des animaux vivant fixés sur un support. Ces invertébrés, qui n'ont pas d'équivalents à terre où la fixation est l'apanage des végétaux, sont souvent confondus par les plongeurs avec des plantes dont ils prennent volontiers l'aspect. Les gorgones ressemblent à de petits buissons, tandis qu'anémones et spirographes imitent la forme des fleurs.

Un tel mode de vie permet à ces animaux de profiter de la présence des très nombreuses particules en suspension dans l'eau, constituant une réserve nutritive considérable. Les espèces libres de leurs mouvements seraient obligées de dépenser beaucoup d'énergie pour localiser ces particules, les rattraper et enfin s'en saisir. En revanche, les espèces fixées, comme les gorgones, se contentent d'attendre leur arrivée. Le déploiement d'une sorte de filet, perpendiculairement au sens du courant, augmente au maximum leurs chances de capter de la nourriture. Ces animaux sont toujours plus abondants dans les zones soumises à de fortes turbulences. Lorsque le courant fait défaut, il faut alors en créer un. Éponges et ascidies s'y emploient à merveille, à tel point que des suspensivores comme les bryozoaires ou les hydraires viennent parfois s'installer à leur côté pour en bénéficier.

Il ne suffit pas de se nourrir, il faut encore se reproduire et éventuellement coloniser des milieux nouveaux. Le mode de vie sédentaire ne facilite pas ces activités. Les organismes marins ont résolu ces problèmes de façon originale. Si les adultes sont fixés, les jeunes, eux, sont libres ! La plupart du temps, les cellules sexuelles sont libérées dans l'eau où se produit la fécondation. Les larves, transportées par les courants, vont coloniser de nouveaux territoires. Ainsi, les organismes les plus sédentaires ne négligent pas pour autant les bienfaits de la troisième dimension.

Dernier problème et de taille, auquel doivent faire face ces organismes : se protéger. En effet, leur immobilité forcée les expose aux attaques de n'importe quel prédateur et, comme les plantes, ils risquent d'être broutés et de disparaître rapidement. Pour lutter contre cela, la plupart des animaux fixés sont munis de protections ou

sont devenus littéralement indigestes, voire toxiques. Ainsi, la tunique des ascidies est tellement coriace que peu de prédateurs peuvent s'y attaquer, et le spirographe se rétracte dans un tube souple à la moindre alerte. Seuls, quelques prédateurs très spécialisés arrivent à profiter de cette nourriture particulière (certains nudibranches consomment des éponges ou des hydraires), mais leur degré de spécialisation les réduit à un petit nombre !

Vivre sur le fond

D'autres organismes se déplacent aisément, mais ne savent pas nager. Ils marchent sur le fond. Certains se déplacent rapidement et n'apparaissent que fugitivement au plongeur qui n'observerait pas une bonne technique d'approche. Beaucoup de crustacés comme les étrilles, les petites cigales ou les galathées sont ainsi furtifs. D'autres, comme les holothuries, paraissent totalement immobiles. Pourtant, les tortillons de sable laissés en arrière témoignent d'un réel déplacement. *A priori*, rien n'empêche ces animaux de se nourrir et de se reproduire comme les animaux fixés, d'ailleurs leur mode de reproduction sera souvent identique (larves nageuses). Mais ils sont près du sol et profiteront de cet avantage. Les organismes doués de grandes facilités de déplacement recherchent des proies moins mobiles, voire complètement immobiles. Ce sont des prédateurs ou bien des mangeurs de cadavres comme la langouste et quelquefois les deux en même temps. Les organismes peu mobiles comme les holothuries ou les patelles consomment en permanence les bactéries et les algues microscopiques abondantes sur la plupart des fonds marins côtiers.

Entière liberté de mouvement

De nombreux organismes marins jouissent de la plus grande des libertés : se mouvoir dans les trois dimensions. Certains restent tout de même près du fond. Les poulpes, les rascasses, les rougets barbets savent nager, mais préfèrent le voisinage du sol. Ils y trouvent nourriture et protection. Le poulpe consomme de petits crustacés ou poissons qui vivent au milieu des rochers et se ménage un abri dans une cavité où il dépose ses œufs. La rascasse imite l'aspect du fond avec lequel elle se confond étonnamment. Elle est tellement confiante en son mimétisme qu'elle se laisse approcher sans bouger. Il suffit pourtant de la frôler pour observer ses capacités de réaction et de fuite. Poulpes et rascasses s'attaquent à des animaux mobiles mais moins adroits comme des crabes ou des crevettes. Dédaignant les fonds purement rocheux, le rouget barbet, quant

À CHACUN SA FAÇON DE VIVRE

Les scientifiques ont donné des noms très précis aux différents modes de vie. Tous les organismes vivant sur le fond sont dits *benthiques*. Ceux qui sont fixés au rocher sont *sessiles*. S'ils sont doués de faculté de déplacement limitée, ils sont *vagiles*. Les poissons et invertébrés vivant au voisinage du fond ne sont plus totalement benthiques. Ils sont qualifiés de *necto-benthiques*, terme intermédiaire entre benthique et *nectonique*, caractérisant les organismes vivant et se déplaçant dans la masse d'eau, le *necton*. D'autres organismes ne peuvent remonter le courant. Ils sont transportés passivement par la masse d'eau et ne réalisent que des mouvements propres très limités. Ils constituent le *plancton*. Plancton et necton forment le *pelagos* qui représente donc tous les êtres vivant dans la colonne d'eau par opposition au benthos.

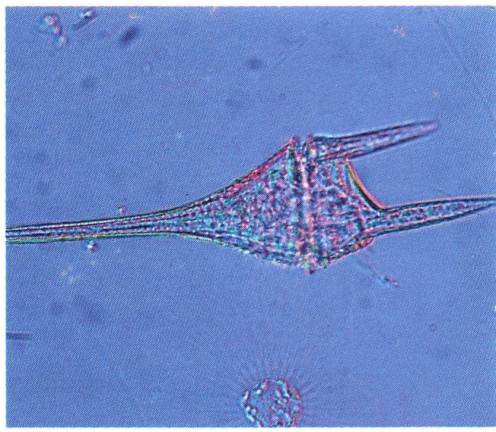
à lui, s'attaquera à des petits vers et à des crustacés présents dans le sable. Ses barbillons lui sont d'une grande utilité pour réaliser ses fouilles.

Dans le bleu, on découvre des formes d'organismes « taillées pour la nage ». Corps fuselés et nageoires puissantes caractérisent ces formes de pleine eau qui sont très souvent des poissons tels que les loups, liches ou maquereaux, mais aussi des céphalopodes (calmars). Ces chasseurs se nourrissent au voisinage du fond ou dans la colonne d'eau elle-même, et s'attaquent soit à de petites proies (plancton, petits poissons), soit à des proies plus grosses.

Il existe donc toutes les catégories de mode de vie depuis les animaux totalement fixés jusqu'à ceux vivant en haute mer. Chacune de ces formes permet l'exploitation d'une ressource marine particulière, et l'ensemble évolue avec perfection dans les trois dimensions de l'espace sous-marin.

NOURRITURES MARINES

Qu'est-ce que la nourriture en mer ? Il est difficile de répondre à cette question puisque, *a priori*, chaque organisme a ses propres habitudes alimentaires. Une algue représente un aliment pour un oursin, mais cet oursin est lui-même consommé par des poissons comme les sars. Lorsque, par hasard, un plongeur découvre un poisson mort sur le fond, il arrive qu'il soit recouvert d'escargots ou de bernard-l'hermite qui semblent se régaler.



Ce dinoflagellé du genre Ceratium, *photographié ici sous un microscope, est un des constituants du phytoplancton, base de la chaîne alimentaire marine et proie de mollusques filtreurs comme les moules.*

Alimentation à la chaîne

Pour y voir clair, observons ce qui se passe plus près de nous. L'homme, entre autres aliments, consomme de la viande de bœuf. Le bœuf mange de l'herbe. Celle-ci pousse à partir d'éléments minéraux présents dans le sol, mais aussi grâce au carbone puisé dans l'atmosphère. La réaction permettant à la plante de fabriquer des molécules organiques à partir du gaz carbonique atmosphérique est appelée *photosynthèse* et utilise l'énergie solaire. Elle est capitale pour le monde vivant puisqu'elle est à l'origine de la quasi-totalité des molécules organiques constituantes du monde vivant.

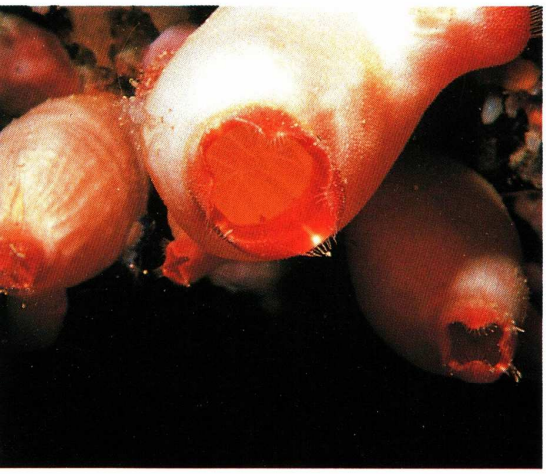
Le gaz carbonique n'est pas considéré comme limitant dans l'atmosphère. Les plantes peuvent en consommer à volonté pourvu qu'elles disposent de lumière solaire suffisante. En revanche, les éléments minéraux ne se trouvent pas toujours en grande abondance dans le sol. C'est ainsi que les agriculteurs fertilisent leur terre avec des engrais, ce qui permet une bonne croissance de l'herbe desti-

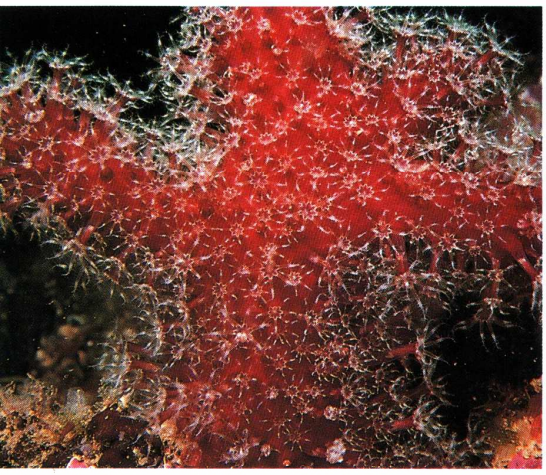


Les grandes algues, proliférant à faible profondeur (ici des Cystoseira *et des* Corallina*), sont broutées par quelques poissons et des invertébrés (Cap Creus, 2 m). Qu'elles soient microscopiques ou non, les algues sont des producteurs primaires, utilisant l'énergie solaire pour fabriquer des molécules organiques à partir du gaz carbonique.*

née à nourrir les bovins qui pourront être consommés par l'homme. Schématiquement, plus la production végétale est forte, plus la quantité de nourriture dont l'homme dispose est importante.

Sous la mer, une telle succession appelée *chaîne alimentaire* existe également. La photosynthèse est assurée par les plantes, posidonies et algues, pas seulement les grandes algues observables à l'œil nu, mais aussi toutes les algues microscopiques du plancton végétal, ou phytoplancton, invisibles pour le plongeur. Ces végétaux sont broutés par des animaux herbivores, peu de poissons, mais des oursins ou des mollusques gastéropodes, eux-mêmes consommés par d'autres, y compris, pour certains d'entre eux, par l'homme, dernier maillon de la chaîne alimentaire.





Ascidies rouges (Halocynthia papillosa)*, décolorées car abritées de la lumière. L'eau est aspirée par un siphon puis rejetée par un autre. Entre-temps les particules sont retenues sur une grille branchiale (Cap Creus, 15 m).*

Alcyonaire (Alcyonium palmatum)*. Les petits éventails de tentacules servent à capter les particules en suspension. Le travail est passif comparé à celui de l'ascidie (Cap Creus, 20 m).*

Des éléments minéraux

Sous l'eau, il n'y a personne pour épandre de l'engrais et, de toute façon, les algues n'ont pas de racines pour aller puiser ce qui se trouve dans le sol marin. Les éléments minéraux sont dissous dans l'eau de mer, et les algues savent parfaitement les récupérer et les utiliser à leur avantage pour former leur propre matière (ou *biomasse*). Plus la mer est riche en éléments minéraux, plus les végétaux se développent.

L'origine de ces éléments est variée. Si l'on reste sur le plan de la chaîne alimentaire, le destin de tout organisme vivant est de mourir un jour. Après sa mort, il est d'abord consommé par des animaux mangeurs de détritus, qui vont fractionner le cadavre en petits morceaux. Des bactéries microscopiques accomplissent en réalité une grande partie de ce travail et transforment cette matière organique morte en éléments minéraux. Par cette minéralisation, la boucle est bouclée.

Ce phénomène ne représente cependant pas la seule source d'éléments minéraux. Les fleuves en rejettent beaucoup dans la mer. À chaque pluie, le sol est lessivé, et des particules riches en éléments nutritifs sont entraînées vers les fleuves qui finissent par se jeter dans la mer. Ce phénomène naturel explique que les zones côtières soient toujours plus riches que les grandes zones océaniques du large. Il est actuellement amplifié par les apports polluants des grandes villes rejetant beaucoup de matière organique ou bien par les excédents d'engrais répandus sur les cultures se retrouvant immanquablement dans les fleuves. Loin de bénéficier au milieu marin, ces excédents créent des déséquilibres écologiques responsables de crises comme la prolifération d'algues, elles-mêmes à l'origine de la toxicité des coquillages à certaines époques.

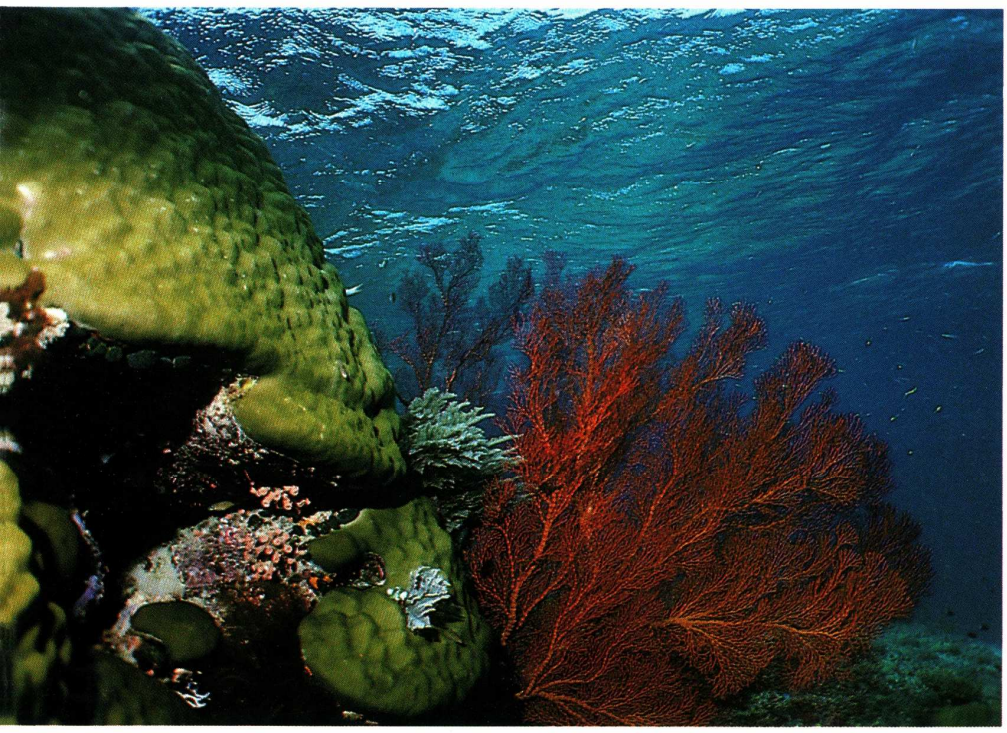
Autre phénomène important à l'origine de l'abondance des éléments minéraux, certains courants particuliers, les *upwellings*, remontent des grandes profondeurs et transportent des éléments nutritifs sédimentés depuis longtemps au fond des mers. Ce phénomène, souvent dû à des vents de terre, se produit près des côtes, là où la pente est assez forte.

Un chaînon manquant

Tout semble donc en place. Les éléments minéraux de diverses origines contribuent à la production d'algues alors broutées par des herbivores qui, eux-mêmes, sont consommés par divers carnivores. Pourtant, dès 30 m, la lumière commence à manquer, et peu de plantes se développent. Il manque donc un maillon de la chaîne alimentaire, celui des végétaux. Ils sont, en fait, remplacés par une

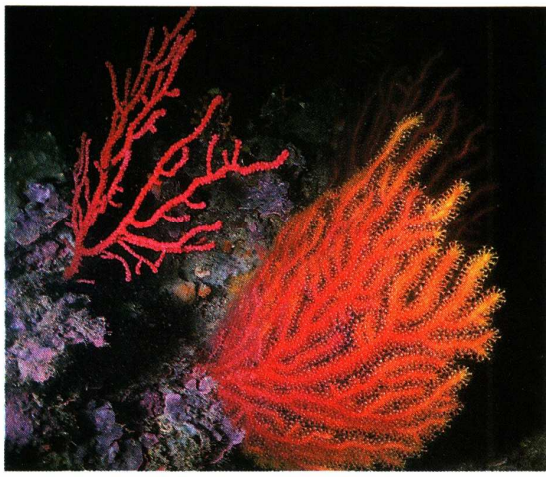
autre ressource, propre au monde sous-marin : un animal ou un végétal, après sa mort, ne se décompose pas forcément sur le sol, comme le cadavre d'un organisme à terre. Souvent, il meurt en pleine eau, puis il est entraîné par des courants et se décompose petit à petit. L'eau s'enrichit continuellement de la sorte en morceaux de matière organique, plus ou moins décomposés, toujours tapissés d'algues microscopiques et de bactéries accomplissant leur travail de minéralisation. Ces morceaux finissent par former des particules, parfois autour d'un grain de vase ou de sable et peuvent être transportés loin de leur lieu d'origine. Nommés *agrégats particulaires*, ils représentent un mets de choix pour tous les organismes filtreurs qui se contentent de les capter passivement ou qui créent un courant pour faciliter ce travail.

À partir d'une certaine profondeur, les suspensivores dominent, profitant de ces particules en suspension qui ne cessent de tomber de la surface, formant ainsi une véritable manne céleste. D'autres, les mangeurs de détritus, exploitent la part de particules déposées sur le fond. Il suffit d'observer la surface de certains rochers vers 40 m pour se rendre compte qu'ils sont recouverts d'une pellicule de vase se soulevant au moindre mouvement de palme. Les carnivores se nourrissent alors directement de mangeurs de détritus ou de suspensivores. La chaîne alimentaire est donc modifiée.



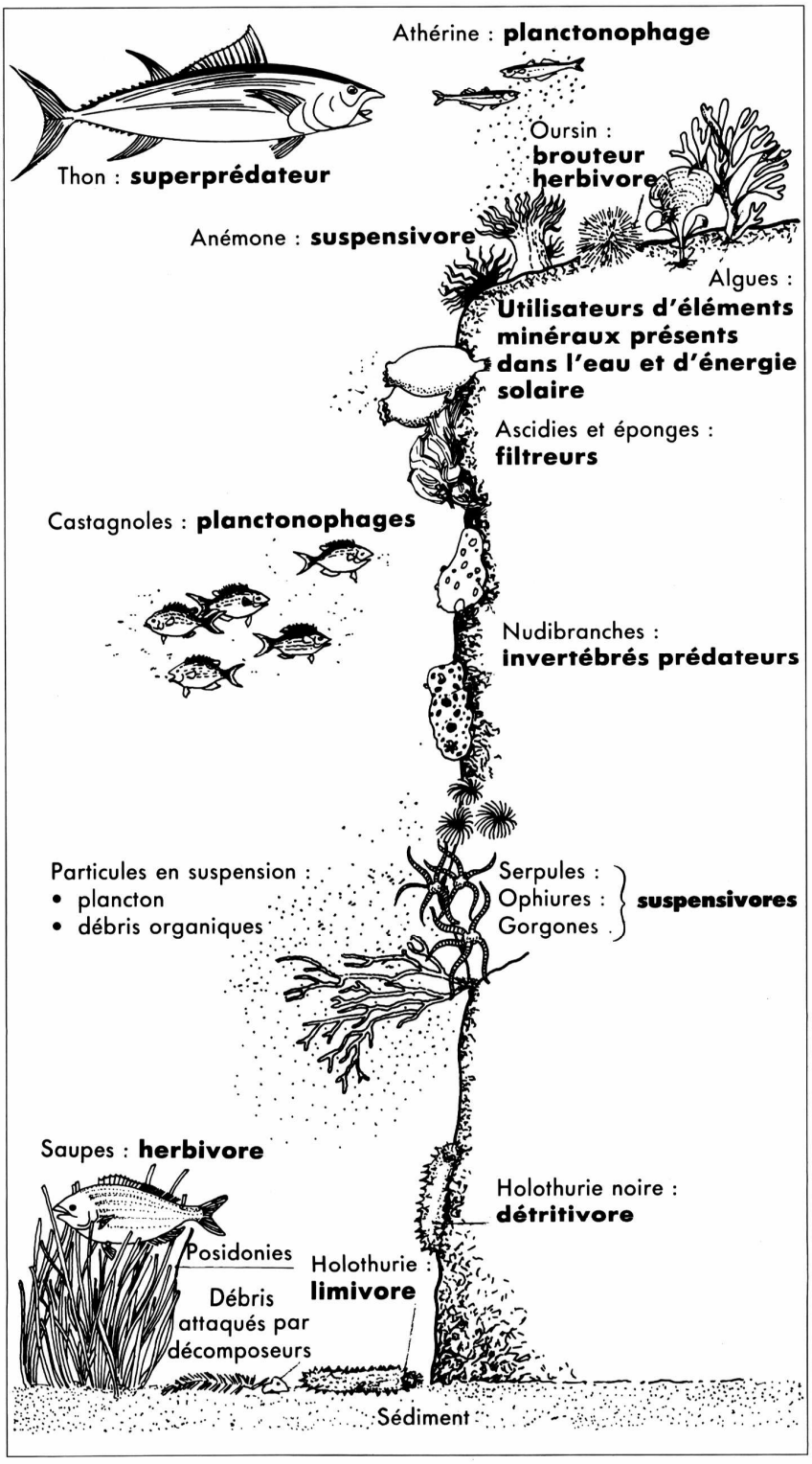
Chaque océan abrite des espèces différentes. Pourtant les mêmes modes de vie peuvent y être observés. Que ce soit en Méditerranée, à La Réunion ou en Indonésie, des gorgones d'espèces différentes étalent leurs polypes dans le courant à la recherche de la même nourriture.





RÉGIMES ALIMENTAIRES

On rencontre chez les animaux marins deux grandes catégories de régimes alimentaires : les *microphages* et les *macrophages*. Les premiers consomment des proies ou des particules de petite taille. Si ces particules sont en suspension dans l'eau, les microphages sont appelés *suspensivores* ou filtreurs selon qu'ils attendent passivement l'arrivée des particules ou qu'ils créent un courant pour les aspirer. Si celles-ci se trouvent sur le fond, ce sont des *détritivores*. Si l'ensemble du sédiment est avalé, on parle alors de *limnivores*. Les macrophages représentent un groupe très varié. S'ils consomment des végétaux, on parle plutôt de *brouteurs*, sinon ce sont des *prédateurs* qui consomment des animaux. À côté de ces régimes alimentaires dominants, on peut observer d'autres modes particuliers comme l'utilisation par des animaux de substances organiques dissoutes dans la mer ou la digestion externe par extroversion de l'estomac (certaines étoiles de mer).



PROCÉDÉS DE REPRODUCTION

La multiplication des organismes vivants résulte de deux types de reproduction : la reproduction sexuée, faisant intervenir la fécondation d'une cellule sexuelle femelle par une autre, mâle, et la reproduction végétative, simple « duplication » de l'organisme mère.

Plusieurs étapes jalonnent le chemin de la reproduction sexuée. La première est la production de cellules sexuelles. Ensuite il y a fécondation avec formation d'un œuf. Cet œuf doit trouver des conditions favorables à son développement de même que les larves, après l'éclosion.

L'accouplement est une technique qui permet d'assurer dans les meilleures conditions le rapprochement des cellules sexuelles et la fécondation. Cependant, beaucoup d'organismes marins vivent fixés ou sont peu mobiles et ne peuvent bénéficier d'un tel avantage.

La technique adoptée par un grand nombre d'entre eux est de produire des cellules sexuelles, des œufs ou des larves totalement libres de leurs mouvements. Ainsi, beaucoup d'invertébrés marins ont des larves planctoniques, caractérisées par une taille et une forme adaptées à la vie en pleine eau.

La probabilité pour une larve, transportée au hasard par les courants, d'atteindre le stade adulte est infime. Elle sera la proie d'invertébrés filtreurs comme les ascidies ou de poissons microphages tels que bogues ou castagnolles. Elle devra trouver sa nourriture tout au long de son développement. Enfin, il lui faudra trouver un substrat de fixation adéquat, là où le hasard des courants l'aura transportée. Cette dernière étape est une cause importante de mortalité, les larves ne pouvant différer indéfiniment leur métamorphose en adulte fixé pour trouver un substrat adéquat.

Le nombre d'œufs pondus par les invertébrés varie de quelques centaines à plus d'un milliard. Cette forte production est le moyen d'équilibrer les pertes considérables encourues au sein des stades juvéniles et d'assurer la survie de l'espèce.

D'autres invertébrés adoptent une stratégie différente pour limiter la mortalité de leurs larves. Les gastéropodes enferment leurs œufs dans une sorte de gelée, plus ou moins compacte, que l'on peut parfois observer, formant des tortillons colorés (nudibranches) ou des masses blanchâtres de taille importante (murex). Ces œufs, ainsi protégés, sont souvent munis de réserves nutritives assurant leur développement sans dépendre du milieu extérieur.

Au travers du processus de la reproduction sexuée, un individu fils est différent de ses parents puisqu'il résulte du mélange des gènes de son père et de sa mère. Cette variabilité n'est pas avantageuse





La fécondation externe est l'apanage des organismes marins fixés ou peu mobiles. Cette holothurie rejette des millions de cellules sexuelles dans la mer (Cap Creus, 10 m).

Cette ponte de nudibranche, constituée d'une faible quantité d'œufs, est déposée sur le rocher, enveloppée d'une gelée protectrice (Cap Creus, 10 m).

lorsque les conditions de milieu sont stables et qu'une espèce y est bien adaptée. La reproduction végétative, sorte de « bouturage » naturel, permet aux individus fils d'être la copie conforme de leurs parents. Ce type de reproduction, véritable clonage, est particulièrement bien développé chez les organismes coloniaux comme les *Parazoanthus*, les éponges ou les ascidies, mais il existe également chez des espèces solitaires telles que certaines anémones. Reproduction sexuée et végétative (ou asexuée) sont parfois utilisées successivement par les mêmes organismes en fonction des conditions du milieu extérieur.

Le partage de l'espace

LE RÔLE DE LA PROFONDEUR

L'évolution du paysage avec la profondeur est certainement l'un des aspects qui exercent le plus de fascination sur le plongeur. Ces modifications sont dues en grande partie à la faune et à la flore qui diffèrent à faible ou à forte profondeur.

La zonation des organismes

En Méditerranée, les premiers mètres sont généralement riches en végétaux. La dominance des végétaux persiste jusque vers 20 m où de grandes algues (*Dictyota, Dictyopteris*) et des posidonies attirent de nombreux poissons comme les labres, vivant au voisinage du fond. Plus profondément, les végétaux ont tendance à s'estomper tandis qu'apparaissent en quantité les invertébrés fixés, suspensivores (gorgones, ascidies, bryozoaires) et les mangeurs de sédiment (holothuries). À partir de 40 m environ, peu de végétaux subsistent.

La zonation des espèces s'accompagne d'une zonation des formes. Près de la surface, les formes sont souvent encroûtantes (collées au rocher), coriaces, et les rares espèces animales libres telles que les oursins sont cachées dans des interstices ou des cavités rocheuses. Pour observer des animaux, il est souvent nécessaire de retourner les rochers, ce qui permet de découvrir ormeaux, chitons, serpules, ophiures et un petit poisson, le lépadogaster, bien adapté aux conditions de turbulence puisqu'il possède une ventouse lui permettant de se maintenir sous les rochers. À profondeur moyenne, les végétaux atteignent des tailles importantes, constituant un véritable tapis. Les animaux sont moins protégés et certains, comme le spirographe ou la gorgone blanche, n'hésitent pas à s'expo-



Entre 0 et 15 m, le paysage est généralement dominé par les algues. Parmi celles-ci Codium fragile *prospère vers 10 m tandis que* Padina pavonia *et* Halopteris scoparia *se limitent à de plus faibles profondeurs. Sur ce cliché pris vers 12 m de fond, le paysage est dominé par la gorgone blanche et le codium. Les padines et les algues en balais, visibles sur la partie droite, sont beaucoup moins prospères (Cap Creus, 12 m).*

ser aux courants. Enfin, à forte profondeur, les animaux présentent souvent des formes dressées (gorgone rouge, axinelle branchue) et parfois cassantes comme les bryozoaires orange, ou roses des mers (*Hippodiplosia foliacea*) et le corail rouge (*Corallium rubrum*).

Pourquoi une zonation ?

L'une des causes principales de cette zonation est l'influence de la lumière qui ne s'exerce pas de la même façon près de la surface ou en profondeur. Chez les végétaux, cette influence est prépondérante, car l'énergie lumineuse, sans laquelle ils ne peuvent réaliser la photosynthèse, est capitale pour leur survie. À partir d'une certaine profondeur, la lumière n'est plus suffisante. Cette profondeur, appelée *profondeur de compensation* par les scientifiques, varie en fonction de l'espèce végétale. Ainsi, quelques espèces ne nécessitent pour prospérer que peu de lumière et vivent en profondeur. Bien qu'il soit possible d'observer des algues au-delà de 80 m (algues rouges et brunes), elles sont rares, et la plupart d'entre elles prospèrent entre 0 et 20 m.

La répartition des animaux est également influencée par la lumière, mais son rôle n'est pas aussi évident à comprendre que pour les végétaux. La lumière peut exercer une action indirecte par l'intermédiaire des chaînes alimentaires. Il est évident, par exemple, qu'un oursin se nourrissant d'algues se rencontrera à la même profondeur que ces algues ! Animaux et végétaux sont parfois étroitement associés, à tel point que l'un ne peut vivre sans l'autre. Les coraux tropicaux possèdent dans leurs tissus de petites algues microscopiques, les zooxanthelles. Comme toutes les algues, elles nécessitent de la lumière pour vivre, ce qui oblige le corail à se développer près de la surface. Sous nos climats, d'autres espèces sont associées à ces

DES ÉTAGES À PROFONDEUR VARIABLE

Les scientifiques donnent des noms aux différentes zones marines. La tranche d'eau où la vie végétale est possible en raison des conditions de luminosité est appelée *système phytal*. Ce système phytal est divisé en quatre étages : l'*étage supralittoral* est la zone touchée par les embruns, rarement immergée. L'*étage médiolittoral* est la zone parcourue par la marée au cours d'un cycle. Elle est très réduite en Méditerranée. L'*étage infralittoral* est défini par la limite inférieure de l'herbier de posidonies (profondeur de compensation de cette espèce). C'est cette zone qui est le plus souvent visitée en plongée. Enfin, au-delà, s'étend l'*étage circalittoral*, depuis la limite de la zone précédente jusqu'à celle de la plupart des végétaux. Il est important de noter que ces étages ne sont pas définis par des profondeurs, mais par des limites biologiques. Ainsi, l'herbier de posidonies atteint 45 m en Corse. L'étage circalittoral est rarement accessible au plongeur dans ces conditions. En revanche, sa limite se situe autour de 25 m dans les Pyrénées-Orientales. Le même milieu biologique pourra être visité dans de meilleures conditions de sécurité !

mêmes algues. La gorgone blanche en est pourvue, ce qui limite son extension en profondeur.

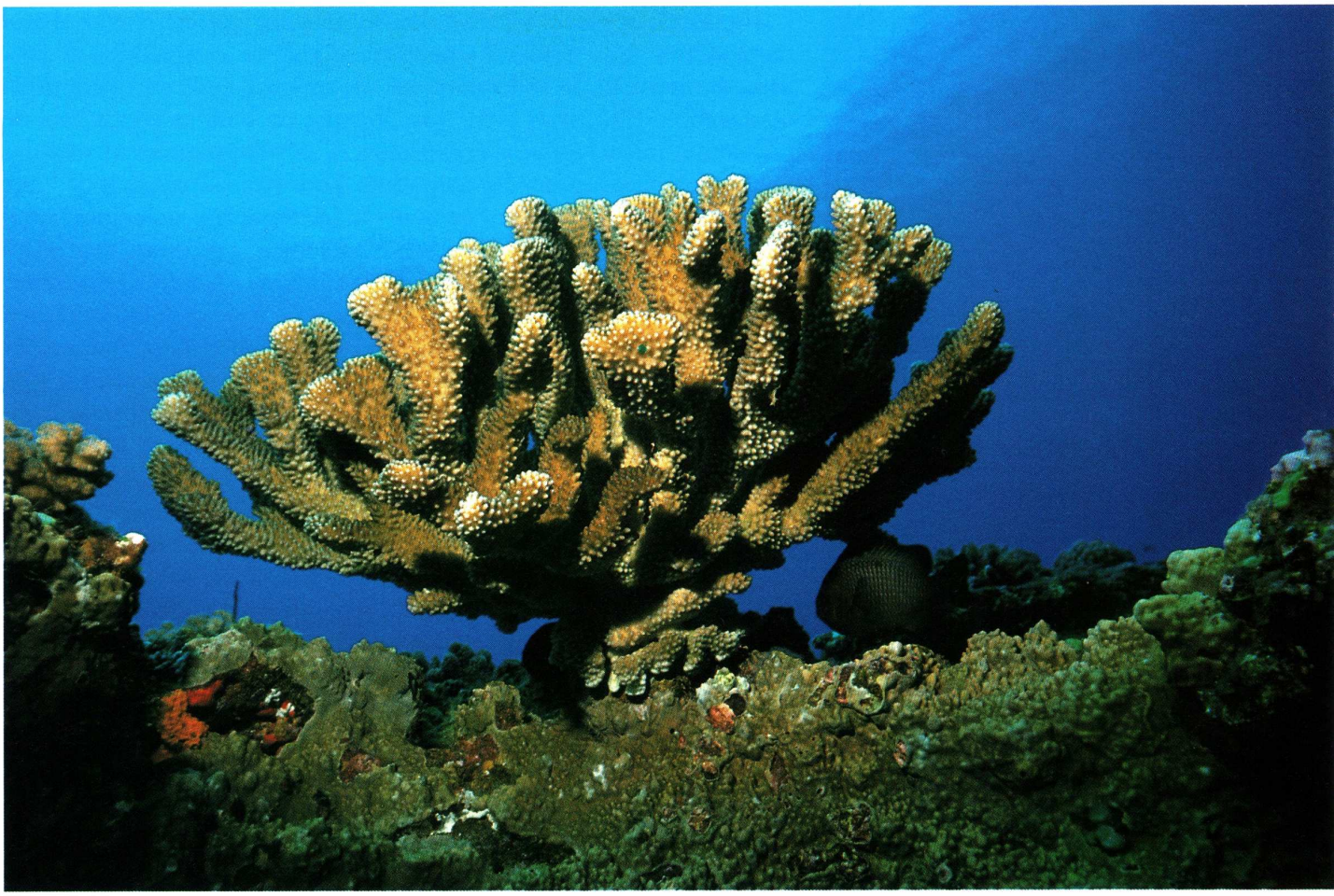
La quantité de lumière à une profondeur donnée varie avec la turbidité de l'eau. Plus une eau est trouble, moins la lumière pénètre profondément. Si cette turbidité est passagère, cela n'a aucune conséquence sur les organismes. En revanche, dans les milieux habituellement turbides, la zonation est décalée vers la surface. Dans le même ordre d'idées, un milieu à l'ombre d'une falaise permet l'observation d'espèces profondes à des profondeurs relativement faibles. À titre d'exemple, le coralligène commence à s'installer entre 40 et 90 m en Corse, à 30 m dans le Var, à 20 m dans les Pyrénées-Orientales et dès 7 m dans les zones totalement abritées du soleil par une haute falaise.

Une autre cause responsable de la zonation des organismes est l'agitation de l'eau. Son influence est prépondérante à faible profondeur. Lorsque l'agitation est forte, les algues n'arrivent pas à se développer près de la surface. Il arrive d'observer alors le rocher totalement nu sur quelques mètres. Si le milieu est riche en particules nutritives, des peuplements résistants comme des moulières s'installent. Au contraire, en zones calmes comme les baies abritées, les algues prospèrent près de la surface formant des peuplements denses comme ceux des cystoseires, grandes algues brunes, affleurant à la surface. En profondeur, l'effet de l'agitation se fait moins sentir, excepté en cas de fortes tempêtes. Les animaux peuvent alors adopter des formes plus fragiles comme la dentelle de Neptune qui ne craint pas, à 40 m, d'être détruite par une vague.

Grimper les étages

Les falaises, les surplombs et les grottes attirent très souvent le plongeur. L'une des raisons de cet attrait est le fait que ces milieux abritent des espèces inhabituelles à la profondeur où le plongeur se trouve. Ainsi du corail rouge peut être observé dans des grottes dès 12 m (et dès 7 m exceptionnellement), des *Parazoanthus* et de grands bryozoaires tapissent certains surplombs à quelques mètres.

Ces « remontées » d'espèces ou *enclaves* se produisent à la faveur de conditions favorables. La lumière est un facteur capital de zonation avec l'agitation de l'eau. L'une et l'autre sont peu importantes dans les grottes ou sous certains surplombs. Toutes les conditions sont donc réunies pour favoriser l'implantation d'espèces qui, habituellement, prospèrent plus profondément. Il ne reste plus qu'à attendre un courant favorable amenant les larves colonisatrices ! Ainsi la notion de zonation ou d'étagement de la vie marine est-elle plus liée à des conditions écologiques qu'à des profondeurs précises.

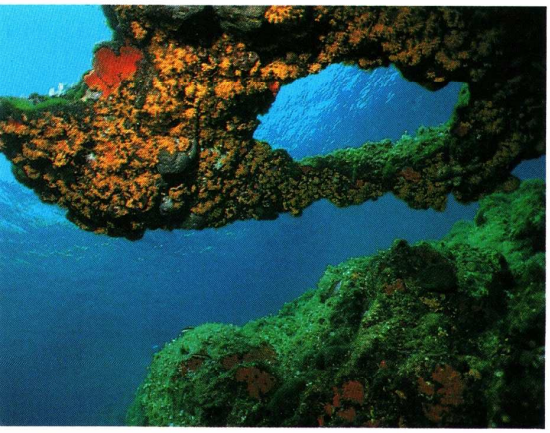


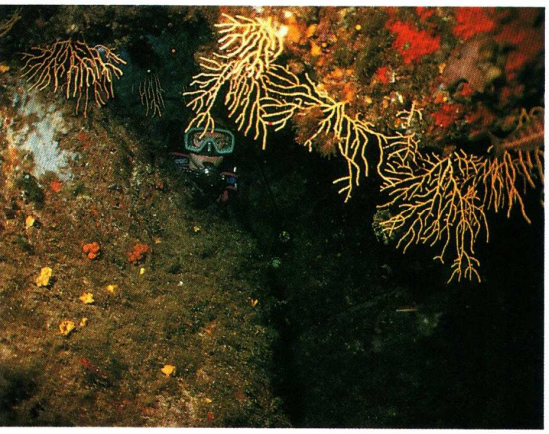
FAIRE SA PLACE AU SOLEIL

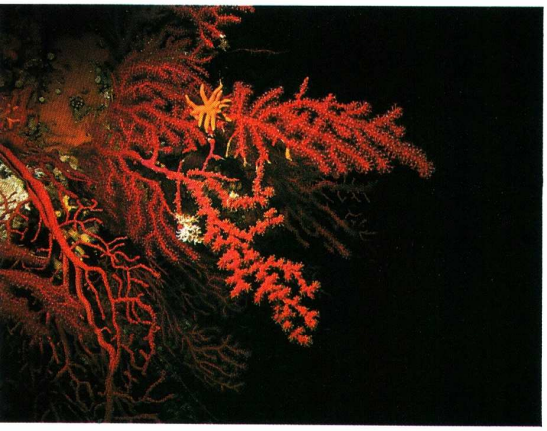
Trouver sa nourriture est une fonction vitale pour tous les organismes vivants, y compris pour ceux qui vivent sous la mer. Cependant, la nourriture ne présente pas la même abondance partout et, localement, il y a de « bonnes places » et de moins bonnes. Les organismes fixés réclament impérativement un support dur, sur lequel ils puissent s'accrocher. Ce support doit se trouver dans une zone riche en nourriture. Dans le cas contraire, ils ont alors besoin d'un courant suffisant qui leur apporte cette nourriture. De même, les organismes réclamant de la lumière comme les végétaux seront limités à la surface de l'eau.

Tout plongeur a remarqué que la vie sous-marine est bien développée dans les zones rocheuses, sur les parois soumises à des courants et rarement au fond des cuvettes ou à forte profondeur.

*Les coraux tropicaux se développent obligatoirement à faible profondeur du fait de la présence dans leur tissus d'algues associées (les zooxanthelles) qui demandent une grande quantité de lumière pour vivre. Cette association procure un bénéfice réciproque aux deux organismes. Les zooxanthelles sont également présentes chez des espèces méditerranéennes comme l'éponge jaune (*Aplysina aerophoba*) ou la gorgone blanche (La Réunion, 10 m).*







Ce développement localisé des organismes marins résulte d'une compétition âpre pour les « bons coins ». Cette compétition se produit au moment de la fixation sur un support, puis au cours de la croissance. Elle est si forte que, lorsque de bonnes conditions de vie sont réunies, certains organismes se développent les uns sur les autres (bryozoaires sur des gorgones). Vers 40 m, l'agitation de l'eau ne se fait plus sentir. Pour se nourrir, les organismes doivent bénéficier de courants. Ces courants, horizontaux ou verticaux, sont généralement importants le long des tombants. Contre le rocher, cependant, des phénomènes de turbulence les annulent. Les organismes ont donc besoin de s'éloigner du rocher comme le font très bien les grandes gorgones rouges dont l'éventail peut atteindre plus de 1 m ! Une espèce de petite taille, comme la dentelle de Neptune, profitera du support que représente la gorgone. L'observation attentive des gorgones tapissant un tombant révèle une foule d'organismes fixés sur leurs branches tels que bryozoaires, vers polychètes (*Salmacyna*), ou même huîtres, se retrouvant ainsi aux « premières loges ». Certains animaux ont fait de la colonisation des gorgones un mode de vie exclusif. Ainsi, un alcyonaire (*Parerythropodium coralloides*) ne possède pas de squelette et utilise généralement celui d'une gorgone. La croissance de cet animal se fait aux dépens de la gorgone, qu'il recouvre petit à petit. De couleur rouge vif, il se distingue de la grande gorgone rouge par la transparence de ses polypes alors que ceux de la gorgone sont rouges. Il peut lui arriver de se développer sur des gorgones blanches, ce qui donne un aspect panaché curieux à cet animal.

Moins profondément, les plantes se développent bien et gênent l'implantation d'organismes animaux. C'est ainsi que la vie fixée animale est plus faible là où les végétaux sont abondants. Ces derniers bénéficient d'une croissance rapide et sont même parfois doués de reproduction végétative, type de reproduction rapide et bien adapté à des conditions de vie stables. Très peu d'animaux peuvent donc concurrencer ces végétaux sur leur propre terrain, c'est-à-dire là où l'agitation de l'eau n'est pas trop forte et où la lumière reste suffisante.

De haut en bas :
Ces Parazoanthus *prospèrent sous les surplombs même à faible profondeur (Port-Cros, 3 m).*

Les grottes abritent des organismes, qui, ainsi protégés de la lumière et des turbulences, remontent des plus grandes profondeurs (Calvi, 18 m).

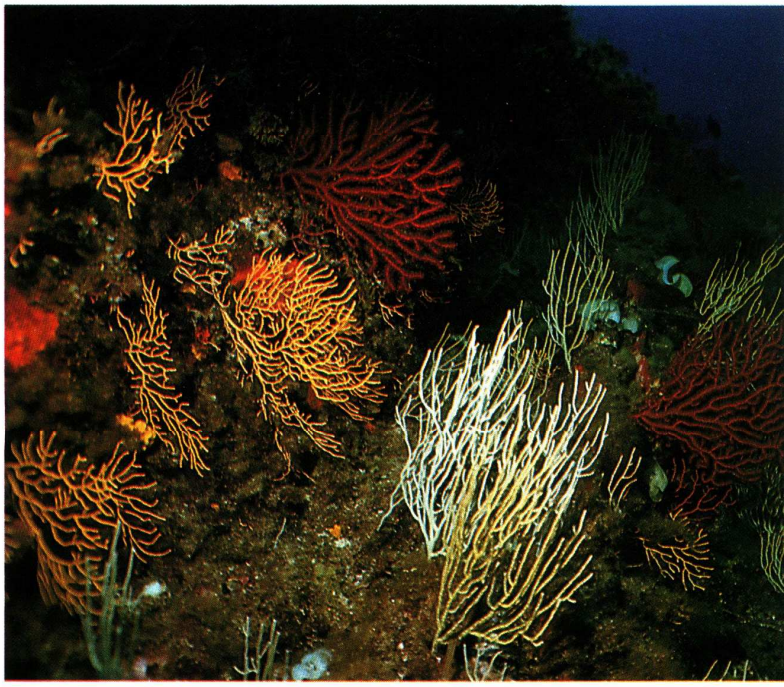
Un alcyonaire parasite (Parerythropodium coralloides) *colonise le squelette d'une gorgone rouge (Port-Cros, 40 m).*

ZONATION ET COMPÉTITION

Lorsque les conditions de vie sont contraignantes, près de la surface par exemple, peu d'espèces y résistent, mais lorsqu'elles y parviennent, elles auront peu de concurrence. Il suffit pour s'en convaincre d'observer l'abondance des corallines (*Corallina elongata*), petites algues rouges coriaces, sur les rochers exposés au soleil et aux houles dominantes. En zone calme, ces algues résistantes mais de petite taille sont remplacées par des cystoseires, grandes algues brunes, plus fragiles mais à forte croissance. Lorsque les conditions deviennent favorables, un grand nombre d'espèces entrent en concurrence. Elles commencent par se partager la ressource, notamment la nourriture, puis des conflits se font jour, certaines espèces étant éliminées et d'autres favorisées. Le résultat de cette compétition n'est pas toujours évident et peut devoir quelque chose au hasard, notamment celui de la dissémination des larves.

Plus profondément, certaines ressources deviennent limitantes. La lumière ne permet plus aux végétaux et à certains animaux de se développer, le rocher est souvent recouvert d'une pellicule de vase empêchant la fixation des larves et, du fait de courants faibles, la nourriture ne peut arriver facilement jusqu'aux organismes fixés. Le paysage apparaît dépeuplé, hormis quelques espèces qui savent bénéficier des conditions locales et qui ont affaire à moins de concurrence. Ainsi, au-delà de 50 m, les tombants deviennent-ils beaucoup moins riches, même si la présence d'espèces prestigieuses comme le corail ou la gorgone rouge exerce toujours, en Méditerranée, un attrait sur le plongeur.

Il est rare de rencontrer en Méditerranée trois espèces de gorgones simultanément. Ce cliché permet de bien comparer leur implantation. Les gorgones rouge et jaune se trouvent sur les parois verticales alors que la gorgone blanche pousse sur la partie subhorizontale. Ces espèces se partagent ainsi l'espace. La gorgone blanche se fixe toujours sur de la roche en place et jamais sur de la roche concrétionnée. La gorgone rouge au contraire affectionne ce type de substrat. La compétition entre gorgone jaune et gorgone rouge est limitée, cette dernière affectionnant de plus grandes profondeurs.



Plongée en Corse, baie de Calvi, Punta Bianca : Descente rapide jusqu'à 40 m, puis remontée en exploration jusqu'à 3 m. L'eau est claire et le milieu très exposé à l'agitation. La plongée débute par l'exploration d'un beau tombant entre 30 et 40 m. Présence de petites gorgones rouges, en faible densité, et de quelques taches de *Parazoanthus*. Le rocher reste toujours visible. Les gorgones portent peu d'organismes. Pas de concrétions coralligènes. Dans les failles de la paroi, les gorgones sont horizontales et en plus forte densité. En remontant vers 30 m, apparition de la gorgone blanche, mélangée à la rouge. Au-dessus de 30 m, la gorgone rouge disparaît, et les algues sont de plus en plus abondantes. À 20 m, elles dominent tout le paysage, sauf sous les surplombs. À 10 m, le milieu n'offre que très peu de vie fixée, excepté un tapis assez ras d'algues. Un magnifique surplomb abrite encore quelques gorgones blanches et de nombreux poissons. Le palier à 3 m permet d'observer la roche pratiquement nue.



Plongée à Port-Cros, pointe de Montrémian : Un éperon rocheux s'étend depuis la surface jusqu'à une trentaine de mètres. Eau claire, présence de courants permanents. Mise à l'eau dans la crique proche et nage en surface jusqu'au sommet du sec. Descente le long du sec. Le sommet du rocher, vers 2-3 m, est couvert d'algues calcaires (corallines). Sur les parois, apparition en forte densité de *Parazoanthus*, de nombreuses éponges et de bryozoaires. Impossible de voir le rocher nu tant la densité des organismes est forte. Vers 10 m, la surface des rochers est recouverte de l'algue en balai. Sous les surplombs, *Parazoanthus* et de nombreux autres organismes dominent. Dès 17 m, de belles gorgones rouges apparaissent, atteignant de grandes tailles. Elles sont parfois mêlées à des touffes de posidonies. Leur densité ne cesse de croître jusqu'à 30 m, marquant la fin du rocher et de la plongée. Pas de coralligène observé.

Banyuls, sec de Rédéris : Sec rocheux débutant à 4 m, eau habituellement turbide, forte exposition aux tempêtes, courants violents. La plongée (réglementée) se réalise dans des conditions exceptionnelles de clarté. Les rochers de surface sont recouverts par d'importantes concrétions de balanes et d'algues rouges formant une couverture coriace. À 15 m, les algues dominent en association avec la gorgone blanche. Au-delà de 20 m, présence d'une faune fixée abondante et de rares gorgones rouges de petite taille sous les surplombs. À 25 m, apparition du coralligène. Entre 10 et 25 m, véritable prolifération de poissons de toutes sortes notamment sars, corbs et mérous.

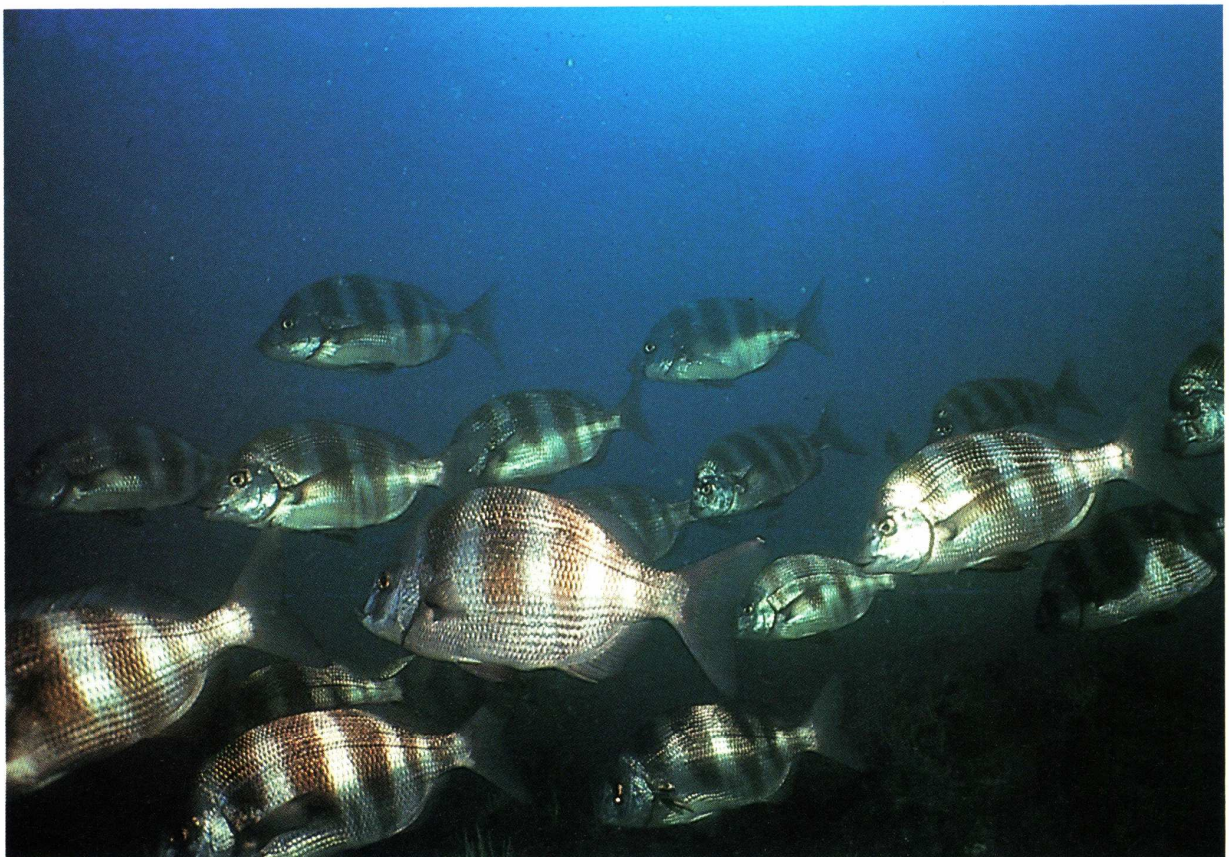
Baie de Calvi, 6 m : la roche est dénudée.

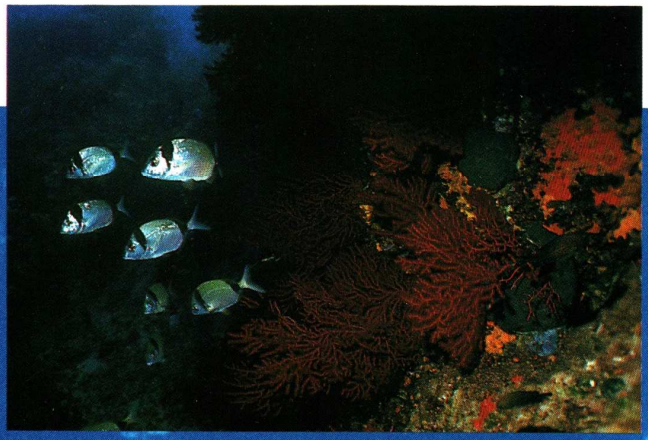
Ces trois plongées permettent d'observer les mêmes espèces dans des conditions totalement différentes. En Corse, l'eau est pauvre en particules nutritives. Elle est donc habituellement claire, et la zonation est fortement décalée vers le bas (algues à 20 m, gorgones rouges à 30 m, pas de coralligène). Eaux claires riment souvent avec pauvreté en substances nutritives. Près de la surface, le fort hydrodynamisme « décape » le rocher et empêche la fixation de beaucoup d'organismes animaux ou végétaux. L'aspect général est donc une pauvreté en faune fixée. À Port-Cros, les eaux plus continentales sont plus riches en éléments nutritifs. Conséquences : la faune est abondante dès les premiers mètres lorsqu'elle trouve un abri, même sommaire (petits surplombs), et les algues prolifèrent vers 10 m, où l'agitation de l'eau est atténuée. Des courants plus profonds apportent des particules nutritives aux gorgones rouges apparaissant dès 17 m. Sur le sec de Rédéris, la forte exposition à l'agitation et la turbidité de l'eau laissent supposer une productivité importante, qui n'est pourtant pas confirmée par l'abondance des invertébrés. Ces invertébrés sont probablement consommés en permanence par les nombreux poissons qui offrent ici la véritable image de la richesse biologique du site. La double protection, naturelle (nombreux abris) et due à l'homme (réserve sous-marine), permet à ces poissons de prospérer.



Pointe de Montrémian, à Port-Cros : la vie habillant le rocher est particulièrement riche (15 m).

Sec de Rédéris dans la réserve de Cerbère-Banyuls : les poissons, ici des sars tambours **(Diplodus cervinus)** ***présentent une abondance considérable (25 m).***





L'HOMME ET LA MER



Il suffit parfois d'écouter les réflexions de vieux plongeurs vous conduisant sur leur site préféré pour se convaincre que la dégradation de notre environnement ne concerne pas seulement le milieu terrestre. À les entendre, les sites de plongée se dégradent, le corail disparaît, les langoustes désertent les trous qu'elles peuplaient autrefois, une pellicule de vase recouvre tout, des algues prolifèrent sur les gorgones et surtout on ne voit plus de poissons. Heureusement, la situation est loin d'être aussi alarmante, mais ces réflexions traduisent une réalité qu'il convient d'analyser un peu plus en détail, notamment parce que c'est l'une des préoccupations du plongeur sensibilisé à la biologie que de pouvoir reconnaître un site dégradé, d'évaluer la cause de cette dégradation et de comprendre et appliquer les mesures de protection qui sont parfois mises en place.



La présence de moules à faible profondeur est souvent constatée dans les ports riches en polluants organiques. En eau propre et dans des milieux agités, les vagues compensent la pauvreté naturelle de l'eau en apportant de nombreuses particules nutritives. Les moules, solidement fixées au rocher, profitent alors de ces apports (Cap Creus, 1 m).

Déséquilibres écologiques

UN SYSTÈME COMPLEXE

Nous avons déjà évoqué les relations complexes existant entre les différents éléments physiques et biologiques d'un écosystème. Le maintien d'un équilibre entre ces éléments résulte d'une autorégulation du système permettant, par exemple, à certaines espèces de ne pas proliférer et à d'autres de ne pas être éliminées. Les effectifs d'un prédateur sont limités par ceux de sa proie, et inversement. Si les effectifs d'une proie diminuent, le prédateur va dépenser trop d'énergie à sa recherche et se tournera vers une autre. Les effectifs de cette proie pourront donc se reconstituer. La nature est sujette en permanence à ce genre de fluctuations autour d'une situation d'équilibre. Aucune espèce ne peut véritablement en dominer une autre puisque, dès qu'elle aura tendance à s'épanouir, sa croissance sera limitée soit par un prédateur, soit par une insuffisance de nourriture. Un milieu équilibré sera donc caractérisé par un grand nombre d'espèces représentées chacune par des effectifs moyens.

Les limites de l'autorégulation

Pourtant, il arrive que le plongeur soit confronté à de curieux phénomènes. Dans certaines zones rocheuses du Languedoc, les fonds sont couverts d'ophiures noires. En Corse, ce sont les gorgones rouges qui sont par endroits étouffées par des algues filamenteuses. La laitue

de mer ou ulve prolifère sur certaines plages de l'Atlantique ou dans les lagunes du Midi. Il semble donc que les phénomènes d'autorégulation décrits ci-dessus souffrent d'exceptions puisque, dans les exemples cités, une espèce unique prend le pas sur beaucoup d'autres : il y a donc rupture de l'équilibre naturel.

Comment un tel équilibre peut-il être rompu ? En théorie, la disparition ou les baisses d'effectifs d'une seule espèce suffisent à créer un problème étant donné le rôle de chacune d'entre elles. Mais, comme tout système complexe, l'écosystème est muni de mécanismes de compensation. Il aura tôt fait de remplacer l'espèce déficiente par une autre, opération qui va cependant s'accompagner d'une perte d'énergie, un peu à la façon du corps humain luttant contre un microbe et mobilisant dans cette lutte l'énergie qu'il pourrait employer à d'autres tâches. Si l'agression se poursuit, l'énergie consacrée à la lutte et au maintien de l'équilibre va être telle que beaucoup de fonctions importantes ne pourront plus avoir lieu. L'écosystème basculera alors vers un nouvel état dans lequel domineront les espèces les plus résistantes. Beaucoup d'entre elles auront disparu alors que quelques-unes vont proliférer.

Des contraintes naturelles

Ces déséquilibres n'ont pas toujours pour origine des pollutions ou des dégradations de la part de l'homme. À l'instar d'un organisme vivant, l'écosystème se développe à partir d'une structure simple. Immergeons un rocher nu à 10 m de fond. Deux ou trois ans après, il est recouvert de toute une faune et de toute une flore semblables à celles des autres rochers présents auparavant. Entre-temps, il s'est passé beaucoup de choses. Au début, les conditions de vie sont difficiles. Seuls quelques organismes comme les bryozoaires encroûtants peuvent s'installer. Ils dominent le peuplement, créant ainsi un déséquilibre provisoire. Mais ces bryozoaires préparent le terrain pour d'autres espèces plus exigeantes. Les larves d'ascidies se fixent sur le bryozoaire, rugueux, alors qu'elles ne pouvaient le faire sur le rocher nu. Petit à petit, les espèces se diversifient, et le rocher finit par atteindre une situation que l'on pourrait qualifier de « normale ». Ce processus, appelé *succession* par les écologues, aboutit en théorie à un stade final, le *climax*. Il résulte de tout un processus de colonisation, de compétition dans lequel le hasard de la dissémination n'est pas totalement étranger.

D'autres écosystèmes sont soumis en permanence à l'action de facteurs physiques très contraignants, bien que totalement naturels. Observons la surface d'un rocher en zone peu profonde, soumise par son exposition à l'action des vagues. Il apparaît souvent nu ou

peuplé d'organismes encroûtants formant des peuplements denses (moules, balanes, algues calcaires). Dans les grottes où lumière et nourriture font défaut, même à faible profondeur, la vie s'appauvrit et n'est plus dominée que par de rares espèces (corail). L'influence de facteurs physiques oblige donc l'écosystème à conserver en permanence une structure que l'on pourrait décrire comme déséquilibrée. Les moules se développant dans des zones battues par les vagues illustrent bien ce phénomène. Grâce à leur byssus les fixant solidement au rocher, ces animaux peuvent résister aux vagues tout en bénéficiant des particules nutritives apportées par celles-ci.

Ainsi, il n'est jamais facile de différencier une situation due à un processus naturel de celle due à une pollution. Il est nécessaire d'être prudent quant à l'interprétation d'observations de ce type qui demandent, pour être confirmées, une grande expérience et des études scientifiques. Un tapis de gorgones rouges sur un tombant ne peut, en aucun cas, être considéré comme un signe de déséquilibre. En revanche, si ces gorgones commencent progressivement à se recouvrir d'algues filamenteuses alors que, depuis des années, elles en étaient exemptes, il est vraisemblable qu'il se passe quelque chose. Il est nécessaire de posséder des informations anciennes et fiables de manière à disposer d'éléments de comparaison.

Même à forte profondeur, le plongeur retrouve des traces de l'activité humaine. Paradoxalement, ce morceau de plastique fixé à une gorgone n'est pas ce qui menace le plus les fonds marins (Cap Creus, 35 m).

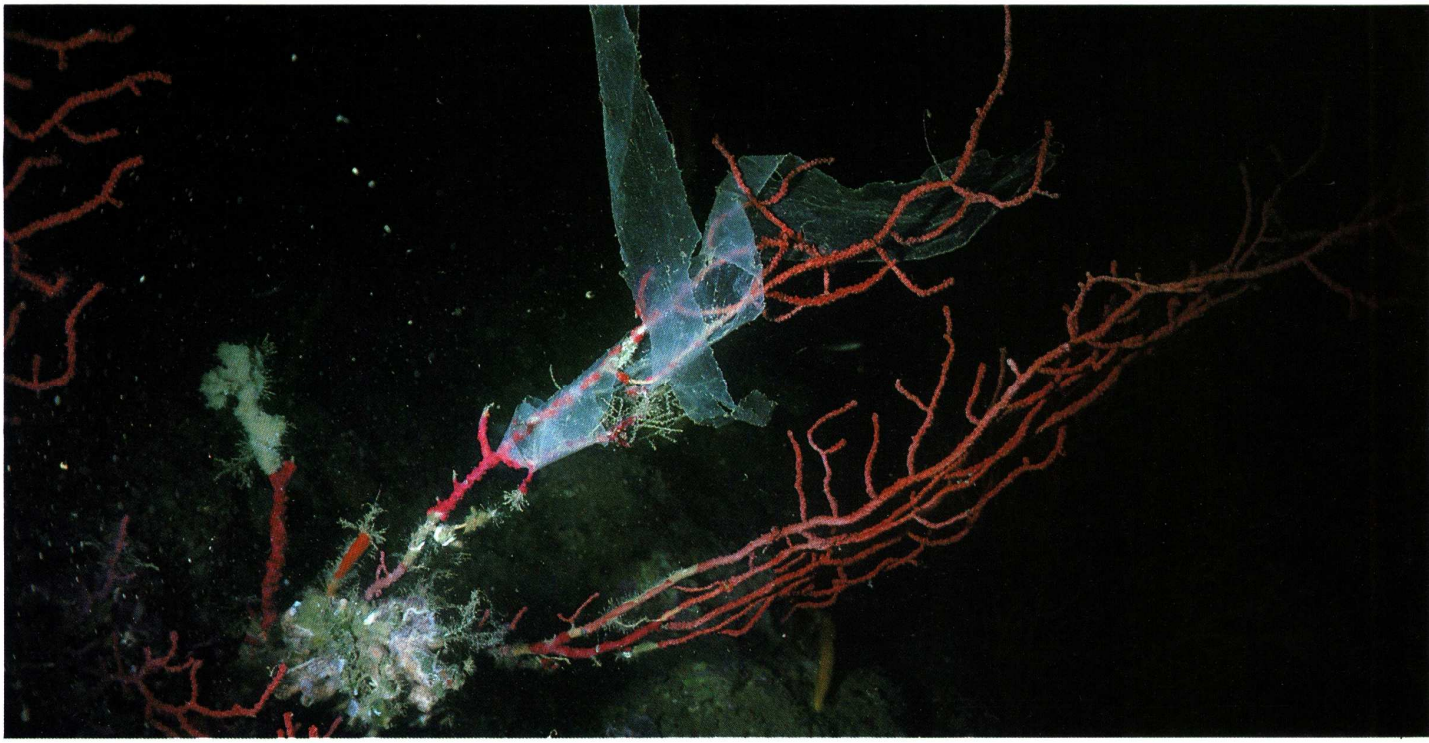
LES FACTEURS DE DÉGRADATION

Les causes de dégradation du monde sous-marin sont nombreuses et souvent complexes. Le mot qui revient souvent est *pollution*. C'est vrai, la pollution est responsable d'un certain nombre de problèmes, mais de quoi s'agit-il ? Papiers gras sur les plages, marées noires ? S'il est vrai que ces agressions contre le milieu naturel frappent l'imagination, elles ne sont pourtant pas ce qu'il y a de plus grave.

Beaucoup d'observations relatent la présence d'algues filamenteuses recouvrant les gorgones des tombants profonds de la région de Marseille ou des côtes de la Corse. Ce phénomène, récent, pourrait bien traduire un déséquilibre écologique de l'écosystème marin mais peut également avoir pour origine une cause naturelle comme le réchauffement de la mer (Calvi, 30 m).

Éléments minéraux : source de richesse ou pollution ?

Les éléments minéraux (nitrates, phosphates et silicates) sont à la base de la chaîne alimentaire. À ce titre, leur abondance bénéficie à l'ensemble de la vie marine. Mais de même qu'un excès de nourriture nuit au corps humain, trop d'éléments minéraux déversés dans la mer provoquent des déséquilibres. D'où viennent les nutriments en excès ? Ils sont principalement apportés par les rejets





des villes et par les fleuves. En Méditerranée, peu de grandes villes sont munies de stations d'épuration efficaces et, lorsque c'est le cas, il ne s'agit jamais d'une épuration totale. Une grande quantité de matière organique est rejetée à l'eau, celle-ci étant rapidement transformée par des micro-organismes en nitrates et en phosphates assimilables par les plantes. Les rivières et les fleuves drainent non seulement les égouts des villes riveraines, mais aussi une partie de l'eau de pluie tombée sur les cultures et qui s'est chargée, en ruisselant sur le sol, de tous les excédents d'engrais répandus par les agriculteurs. Tout cela finit par aboutir dans la mer.

Ces éléments minéraux sont présents sous forme dissoute, ce qui signifie qu'ils ne se voient pas et que l'eau peut être transparente, même si elle est très chargée. Néanmoins, une forte richesse en éléments nutritifs s'accompagne souvent d'une coloration verte de l'eau de mer traduisant la prolifération d'une ou de plusieurs espèces d'algues microscopiques, parfois toxiques.

Depuis quelques années, des interdictions de consommation de coquillages sont lancées par l'IFREMER pendant l'été. Que se passe-t-il ? Une petite algue nommée *Dinophysis* se développe. Cette algue sert d'aliment aux coquillages qui, en la filtrant, la concentrent dans leur coquille. *A priori*, rien de grave, sauf que cette algue microscopique est responsable d'intoxications importantes chez l'homme ! Elle est décrite aussi bien en Méditerranée qu'en Atlantique, souvent là où les grands fleuves déversent leurs eaux.

Aujourd'hui, l'opinion publique s'émeut de la prolifération en Méditerranée d'une algue tropicale, *Caulerpa taxifolia*. Or les aquariophiles, qui l'utilisent depuis des années pour décorer leurs bassins, savent bien qu'il s'agit d'une algue à croissance rapide, particulièrement efficace pour débarrasser leurs aquariums des nitrates en excès. L'aquarium de Nancy a même été jusqu'à expérimenter un filtre dont le principe est le stockage des nitrates dissous dans la biomasse de caulerpes, ces algues étant alors considérées comme de véritables « dépollueurs ». En Méditerranée, les zones de prolifération de cette algue se situent généralement au voisinage de rejets d'égouts ou dans les ports ! Sans connaître le résultat des études en cours, il est difficile d'en tirer des conclusions définitives, mais cette espèce pourrait bien n'être que le témoin d'une eau polluée, auquel cas le problème de son extension ne serait pas une fatalité et trouverait peut-être une solution dans l'épuration des rejets en mer !

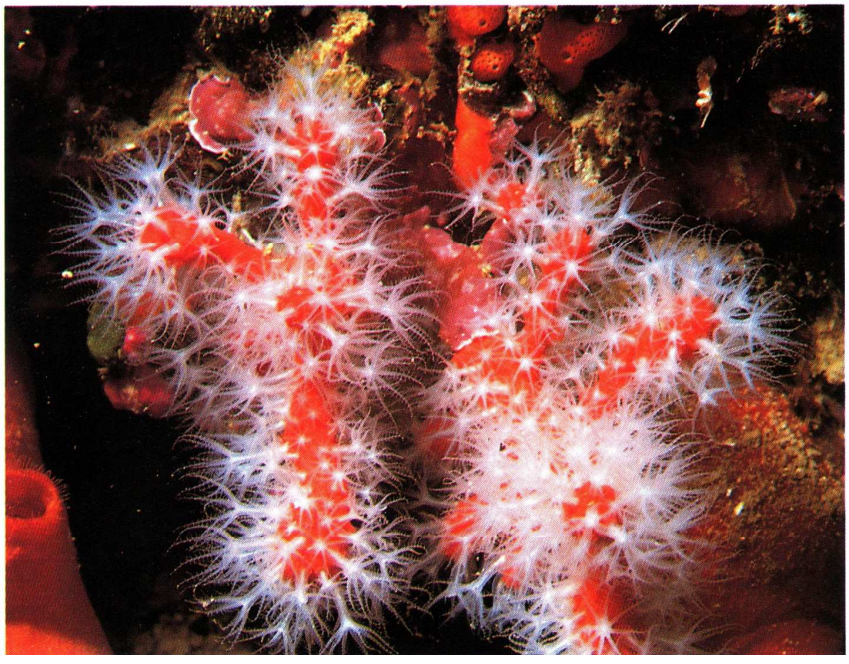
Produits toxiques

En 1986 et 1987, un sous-marin de poche affrété par une société marseillaise observe l'aspect des tombants situés à plus de 80 m

de profondeur entre Marseille et Nice. Son objectif : évaluer les stocks de corail rouge et vérifier si ceux-ci pourraient être exploités par un submersible. Ces campagnes mettent rapidement en évidence un fait inattendu : le corail et les gorgones sont en train de mourir comme l'atteste la présence de nombreux squelettes de ces animaux. Des chiffres sont avancés, traduisant l'ampleur de la mortalité, qui avoisine les 40 % dans les zones les plus touchées. De plus, les observations montrent que les façades est des tombants sont les plus atteintes par le phénomène, façades soumises à l'influence directe d'un courant appelé « Ligure », qui parcourt la côte méditerranéenne d'est en ouest.

Ces faits sont suffisamment inquiétants pour qu'en 1990 l'IFREMER envoie un autre sous-marin avec pour objectif de vérifier ces observations notamment en réalisant des analyses. Les premières observations confirment la mortalité, mais montrent qu'une certaine « repousse » a tendance à s'opérer. La phase de mortalité intense peut donc n'avoir duré qu'un certain temps. Ensuite, les résultats des analyses effectuées sur des éponges mettent en évidence la présence, chez ces filtreurs, de produits toxiques comme le chrome, le nickel ou le manganèse. Fixés sur des particules en suspension et entraînés par le fameux courant ligure, ces produits ont pu être « consommés » par ces organismes.

De nombreux autres cas montrent que les produits toxiques provoquent une mortalité directe sur les organismes semblable à celle observée sur les peuplements de gorgones et de corail de la Côte d'Azur. Cependant, les concentrations en contaminants doivent être fortes pour provoquer de tels effets. Le plus souvent, elles sont plus faibles, et les effets pernicieux. Un contaminant déversé dans la mer va se diluer, à tel point que, excepté dans certaines zones confi-

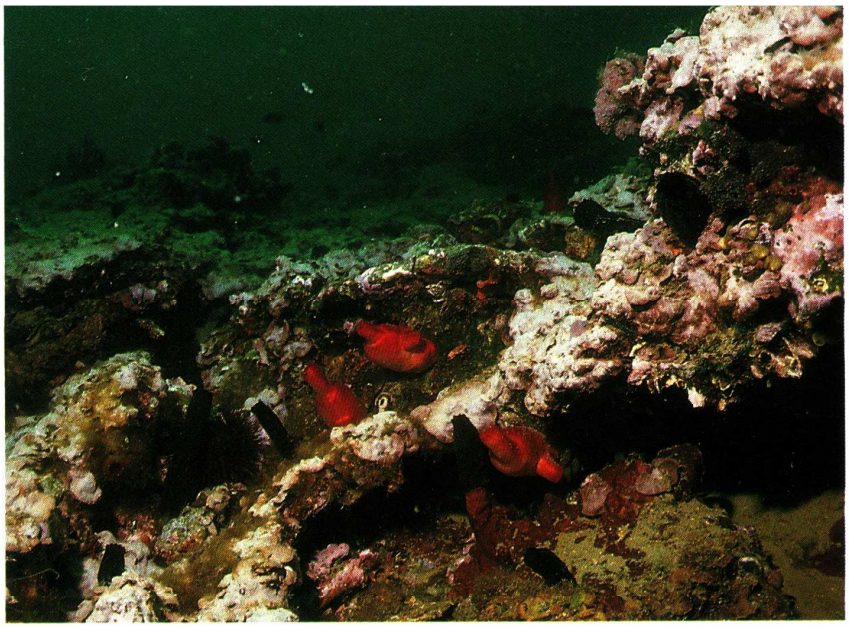


*Le corail rouge (*Corallium rubrum*) est sensible aux polluants chimiques. Heureusement, il est maintenant possible de le réimplanter là où il a disparu ce qui lui assure une bonne pérennité (Cap Creus, 20 m).*

nées, il ne pourra pas provoquer d'effets néfastes. Il va néanmoins être absorbé par des organismes situés à la base de la chaîne alimentaire comme le plancton végétal ou *phytoplancton*. Or, un organisme zooplanctonique va consommer beaucoup d'organismes phytoplanctoniques, et le polluant présent en faible quantité au départ va se concentrer au cours de son trajet le long de la chaîne alimentaire. Le zooplancton étant lui-même consommé par des larves d'organismes marins ou de petits poissons devenant la proie de plus gros, la concentration du polluant finit par atteindre une dose toxique, et des mortalités apparaissent sans qu'il soit toujours facile d'en déterminer la cause avec exactitude. Cela prend des proportions particulièrement catastrophiques lorsque le dernier consommateur est l'homme comme à Minamata, au Japon, où des populations entières de pêcheurs ont été contaminées par du mercure !

Aujourd'hui, la plupart des industriels traitent leurs effluents avant de les rejeter en mer. Les apports en polluants chimiques sont donc limités. Malheureusement, contrairement à la pollution dite « organique », beaucoup de polluants chimiques ne se détruisent pas. Tout au plus peuvent-ils finir par se déposer sur le fond et rester stockés dans le sédiment formant alors une véritable « bombe à retardement » comme le montre encore cet exemple : les plaisanciers savent bien que la carène de leurs bateaux se recouvre rapidement d'une quantité importante d'organismes animaux et végétaux, freinant le bateau. Le remède à ce mal naturel est d'enduire la coque d'une peinture dont la toxicité limite toute fixation de larves. Entre 1970 et 1982, le produit utilisé était le tributylétain ou TBT, produit qui provoque des mortalités sur les larves d'huîtres dès que sa concentration dépasse 20 milliardièmes de gramme par litre d'eau, soit l'équivalent en volume d'un demi-sucre dissous dans un cube d'eau de 100 m de côté ! Or dans les ports de plaisance, des milliers de bateaux stationnent et relarguent en permanence des doses importantes de ce produit. Devant l'ampleur des effets, notamment sur les élevages de coquillages (Arcachon, Thau), le ministère de l'Environnement décide en 1982 d'interdire l'utilisation de ce produit sur la plupart des bateaux de plaisance. Aujourd'hui, bien qu'en théorie le TBT soit interdit sur les bateaux de moins de 25 m, on observe de plus en plus de mortalités attribuées à ce produit, notamment sur les moules en élevage.

Que se passe-t-il ? À l'occasion du dragage d'un port, de son extension ou de travaux quelconques, des particules polluées par le TBT sont remises en suspension et peuvent être emmenées par les courants, causant des dégâts bien au-delà du port. Ainsi, douze années d'utilisation d'un produit dangereux pourront avoir des conséquences néfastes plusieurs dizaines d'années après.



La turbidité des eaux sur les côtes du Languedoc a considérablement augmenté depuis quelques dizaines d'années, probablement en relation avec certains aménagements de la vallée du Rhône. Ce phénomène est à l'origine de la disparition des herbiers de posidonies et de l'abondance de filtreurs comme ces ascidies. Contrairement à l'image qu'en donne le littoral, il existe dans cette région une importante zone rocheuse particulièrement riche en organismes vivants profitant des richesses nutritives apportées par le Rhône (Palavas, 8 m).

Aménagement du littoral

C'est un fait : une grande partie de notre littoral est « aménagé », c'est-à-dire occupé par des constructions, ouvrages maritimes ou autres installations portuaires. Les raisons d'un tel développement, parfois anarchique, ont longtemps été l'activité de grands ports industriels. Depuis quelques dizaines d'années, les activités touristiques balnéaires ont également participé au bétonnage d'une grande partie de nos côtes. Mis à part le côté esthétique qui, finalement, ne concerne que l'homme, quel est l'impact de tels développements sur le milieu sous-marin ? Revenons sur quelques notions d'écologie. Toutes les espèces marines passent à un moment de leur cycle de reproduction par une phase vulnérable qui se situe soit au moment du frai (ou de la ponte), soit pendant les stades juvéniles. Au cours de ces phases, les organismes cherchent à se protéger dans des zones riches en cavités et en abris naturels où la nourriture est abondante. Les zones littorales, peu profondes, répondent à ces critères. Les rochers ménagent de nombreuses failles tandis que les milieux sableux sont souvent occupés par des herbiers de posidonies dont les frondaisons sont à l'origine de nombreuses cachettes pour de petites larves. Par ailleurs, les algues profitent pour leur croissance de la forte luminosité due à une faible profondeur et d'éléments minéraux issus du continent. Abris et nourriture sont donc abondants près des côtes..., là où se trouvent les aménagements !

La construction d'une digue, d'une plage alvéolaire ou d'un port de plaisance condamne donc irrémédiablement et définitivement la partie marine qu'ils recouvrent. Les conséquences négatives de tels aménagements ne se limitent cependant pas à la zone d'emprise. Une construction sur le littoral s'accompagne souvent d'une augmentation de la turbidité due aux nuages de vase ou de sable soulevés pendant les travaux. Non seulement les particules peuvent

colmater les appareils de filtration d'un grand nombre d'organismes, mais en plus, la lumière pénètre moins profondément dans la mer. Résultat : la limite inférieure de la vie végétale et notamment de celle des herbiers de posidonies remonte. Ainsi, telle une peau de chagrin, l'herbier se « rétrécit » par sa partie supérieure et par sa partie inférieure. L'espace vital de beaucoup d'organismes marins en est réduit d'autant.

Moins connus que ceux de la Côte d'Azur, les herbiers denses de posidonies ont disparu des fonds du Languedoc sans que personne n'ait semblé s'en apercevoir. Quelques touffes vivantes isolées et une épaisseur de racines mortes (matte) de plus de 3 m témoignent encore de l'existence de cet ancien herbier qu'ont bien connu les plus vieux pêcheurs et qui était à l'origine de banquettes importantes de feuilles mortes sur les plages de Maguelonne ou du cap d'Agde. Dans le même temps, les plongeurs fréquentant ces sites observaient une augmentation de la turbidité moyenne de l'eau et la présence d'un dépôt de vase de plus en plus important sur le fond. Une explication a été avancée. Le Rhône charrie une quantité importante de particules en suspension. Autrefois, une grande partie des particules transportées se déposait sur les berges, ou même au-delà lors de grandes inondations. L'eau se déversant en mer restait relativement claire, ce qui permettait aux organismes végétaux comme les posidonies de bien se développer dès qu'elles ne se trouvaient plus sous l'influence directe du panache du fleuve. Au fil des ans, les berges ont été endiguées pour lutter justement contre ces inondations. Les eaux turbides sont rejetées directement en mer où elles sont emmenées vers l'ouest par le courant ligure dont nous avons déjà évoqué l'existence. La disparition des herbiers du Languedoc aurait donc pour origine des aménagements réalisés bien loin de la zone où sont observées les dégradations.

La disparition de ces herbiers ne semble pas avoir entaché la productivité de la zone. Il est vrai que lagunes et zones rocheuses jouent un rôle équivalent à celui des prairies sous-marines pour le frai et l'élevage de juvéniles et que le plateau continental peu profond du Languedoc est beaucoup plus large que sur la Côte d'Azur.

Protection rapprochée

LES ESPACES PROTÉGÉS

Préserver le monde sous-marin est maintenant une nécessité, mais comment faire ? En interdisant tout rejet dans la mer, en supprimant la pêche, la plaisance, bref en enfermant la mer entre des barbelés ? Il est évident qu'elle serait bien protégée, mais ce serait nier totalement le fait que l'homme fait partie de la nature, qu'il y a sa place et un rôle à tenir. Un équilibre doit donc être trouvé entre préservation d'un patrimoine et activités humaines.

Dans ce contexte, la mise en place de zones protégées est souvent mal interprétée par les utilisateurs de la mer. Pour certains chasseurs sous-marins, l'interdiction de chasser dans les eaux riches de Port-Cros est une brimade ; pour le plongeur, celle de visiter un site prestigieux comme le sec de Rédéris, une frustration. En revanche, les visiteurs pédestres du parc national de Port-Cros s'attendent parfois à trouver des animaux en cages. Qu'en est-il réellement de ces espaces protégés ?

Protéger un milieu ne signifie pas obligatoirement interdire toute activité. Ici, dans le Parc national de Port-Cros, un sentier sous-marin a été aménagé pour permettre à chacun de découvrir en apnée le monde aquatique.



Même au sein de la Méditerranée, il n'existe pas deux zones protégées qui bénéficient de la même réglementation. Certaines, comme Port-Cros, autorisent la plongée et la pêche, mais interdisent la chasse sous-marine. D'autres, comme la réserve de Banyuls, adoptent le principe de zones centrales où la protection est maximale (plongée, chasse et mouillage interdits, la pêche restant toutefois autorisée) et d'une zone périphérique où seule la chasse est interdite*. Certaines, enfin, interdisent toute activité jusqu'à la simple baignade.

La vocation de ces espaces est différente. Certains sont ouverts au public, comme Port-Cros, mais pas à la manière d'un parc zoologique. Tout au plus, pendant la saison estivale, des animateurs aident-ils les visiteurs à découvrir en apnée la faune et la flore des petits fonds en parcourant un véritable sentier sous-marin. D'autres sites sont aménagés dans un but précis. La *réserve* des îles Medes, en Espagne, est pourvue en corps-morts permettant aux bateaux des clubs de plongée de venir s'amarrer sans jeter une ancre dévastatrice. Les *cantonnements* sont des réserves de pêche ayant pour objectif de servir de noyau de repeuplement et sont donc en cela totalement fermés au public.

La méthode de choix du site de ces réserves est également variable. Ces sites peuvent être choisis pour leur richesse, qui se traduit par une forte diversité des habitats, des espèces végétales et animales. Cette richesse naturelle doit être préservée. C'est le cas de Port-Cros. D'autres sites sont choisis parce qu'ils abritent une espèce rare ou parce que, naturellement riches, ils sont soumis à une dégradation du fait des activités dont ils font l'objet. La réserve de Banyuls, par exemple, a été créée à la demande des riverains qui constataient la raréfaction du poisson du fait d'une pêche professionnelle intensive. Enfin, d'autres sites sont naturellement pauvres, tout au moins en poissons, notamment, parce que leurs fonds sableux ou vaseux n'autorisent pas la fixation d'organismes situés à la base de la chaîne alimentaire. Ces sites peuvent faire l'objet d'un accroissement de leur productivité par l'installation de structures immergées reproduisant un milieu rocheux naturel : ce sont les récifs artificiels. Il ne nous reste plus qu'à évoquer les repeuplements par introduction d'individus pêchés ailleurs, mais cette pratique est de plus en plus contestée par les scientifiques, qui lui reprochent d'être à l'origine de « pollutions génétiques » et d'introduction de nouveaux parasites contre lesquels les espèces autochtones ne sont pas obligatoirement prémunies.

* *Ces diverses réglementations s'accompagnent de différences plus fondamentales en ce qui concerne les organismes de tutelle : le parc national de Port-Cros dépend du ministère de l'Environnement tandis que la réserve de Cerbère dépend du ministère de la Mer.*

L'EFFET RÉSERVE



Les récifs artificiels concentrent la vie dans des zones naturellement défavorisées. En permettant la fixation d'invertébrés et en donnant un abri aux poissons, ils facilitent le développement d'une chaîne alimentaire (Port-Cros, 15 m).

Une fois mis en place, les espaces protégés font parfois l'objet d'une polémique. Leur efficacité est contestée, et les mesures conservatoires qui peuvent avoir été prises critiquées. Cet état de fait rend obligatoire un suivi scientifique destiné à mettre en évidence l'« effet réserve ».

Deux questions principales doivent trouver une réponse :

— Y a-t-il une modification de la qualité de l'environnement au sein même de la réserve ?

— La réserve exerce-t-elle un effet bénéfique sur le milieu extérieur ?

Au sein de l'espace protégé

La plupart des observations sur les modifications des peuplements dans une zone protégée concernent les poissons, d'une part à cause de leur importance économique, d'autre part parce qu'ils sont les victimes désignées de la prédation humaine et donc les plus sensibles à une protection.

Les poissons ne naissent pas égaux, notamment face au risque d'être pêchés. Les petits poissons de roche, comme le serran (*Serranus cabrilla*) sont les victimes désignées du pêcheur à la ligne opérant depuis une embarcation. D'autres espèces sont particulièrement recherchées par les chasseurs sous-marins, comme le sar commun (*Diplodus sargus*), le denti (*Dentex dentex*), ou la dorade (*Sparus aurata*), les labres, les rascasses et le prestigieux mérou. Les plongeurs en bouteille ne pêchent pas de poissons mais, en revanche, en modifient le comportement en éloignant certaines espèces craintives comme le sar tambour (*Diplodus cervinus*) ou, au contraire, en apprivoisant d'autres comme le mérou qui en oublie toute méfiance à force d'être nourri par des œufs durs et des côtelettes d'agneau !

Le pêcheur à la ligne doit penser que le demi-kilo de poisson qu'il rapporte chaque fois qu'il sort en mer ne représente pas grand-chose. Pourtant, les pêcheurs sont nombreux et souvent concentrés sur des surfaces, somme toute assez réduites. De simples calculs réalisés à la suite d'enquêtes ont montré à Port-Cros, sur la côte Bleue ou à Banyuls des chiffres impressionnants de récolte de poissons. À Banyuls, la récolte de poissons pendant la saison estivale a été évaluée à 7 000 kg, soit autant que les pêcheurs professionnels. Quelles sont les conséquences sur les espèces concernées ? Leur nombre et leur taille diminuent. Au cours d'une étude réalisée par le parc



Le caractère débonnaire du mérou en a fait une proie facile pour les premiers chasseurs sous-marins. Aujourd'hui il vit profondément et ne montre sa vraie nature que lorsqu'il est protégé comme à Port-Cros où certains individus sont même apprivoisés (Port-Cros, 15 m).

marin de la côte Bleue, des chercheurs ont montré que le nombre de serrans dans la réserve était six fois plus grand qu'en dehors. Corrélativement, leur taille moyenne passait de 16 cm dans la réserve à guère plus de 12 cm au-dehors.

Les chasseurs sont responsables de la disparition d'autres catégories de poissons. Avant l'avènement de la chasse sous-marine, de nombreux témoignages relatent la présence de mérous en grand nombre, à faible profondeur, dans les eaux de Banyuls, Marseille ou de la Côte d'Azur. Ce poisson débonnaire attendait littéralement le chasseur qui n'avait pas beaucoup d'effort à faire pour ramener un trophée remarquable. Comble de malheur, la chair du mérou est succulente. Aujourd'hui, dans les zones non protégées, il est rare, vit profondément, et seuls des chasseurs de haut niveau peuvent encore en capturer. Au contraire, dans toutes les zones méditerranéennes protégées, il abonde de plus en plus, à tel point qu'il retrouve ses habitats d'origine, qu'il se laisse facilement approcher et qu'il arrive peut-être même à se reproduire, fait que l'on pensait totalement impossible il y a encore trois ou quatre ans ! Ces observations ont été réalisées sur d'autres poissons semblables dans les récifs coralliens comme ceux de la Grande Barrière de corail. Là-bas aussi, le mérou est la proie de chasseurs ! À Banyuls, la création de la réserve a permis le retour de nombreux sars tambours, dentis, corbs et mostelles. Ceux-ci sont non seulement nombreux, mais de taille impressionnante. Les sars dépassent 50 cm, les corbs 90 cm et une mostelle de 12 kg a été observée. Ces poissons ont perdu leur méfiance vis-à-vis du plongeur et se laissent approcher par les scientifiques venus les étudier.

Mis à part les modifications de comportement évoquées précédemment, les plongeurs en scaphandre exercent assez peu de perturbations sur les poissons. En revanche, les invertébrés marins pâtissent d'une surfréquentation des sites de plongée. Gorgones coupées par les palmes, branches de corail ramassées, oursins systématiquement cassés, toutes ces dégradations sont anodines à l'échelle individuelle, mais lorsqu'elles sont perpétrées par 250 à 300 plongeurs par jour comme c'était le cas sur le sec de Rédéris à Cerbère avant la création de la réserve intégrale, les rochers se dépeuplent rapidement.

Autour de la zone protégée

Les zones protégées présentent cependant un inconvénient, celui d'offrir un espace vital limité. Très vite, le poisson se reproduit, les densités augmentent, et le risque de surpopulation apparaît. Les cachettes sont toutes occupées, la nourriture commence à faire



*Les filets maillants, placés à faible profondeur, sont particulièrement efficaces pour attraper des poissons vivants près du fond comme cette rascasse (*Scorpaena scrofa*) (Aresquiers, 10 m).*

défaut : il n'y a plus de place pour les jeunes, moins combatifs que leurs aînés aguerris à défendre leur espace vital. Paradoxalement, ces gros individus sont aussi ceux dont la production d'œufs est la plus importante. Les poissons sont caractérisés par une croissance dite indéfinie, ce qui ne signifie pas qu'ils grandissent éternellement, mais plutôt qu'ils peuvent se reproduire avant d'avoir atteint leur taille maximale. Lorsqu'ils sont encore petits, leurs gonades le sont également, ils produisent donc peu d'œufs. En revanche, les gros individus sont de forts producteurs d'œufs. Ainsi, les réserves abritent de nombreux individus producteurs d'une grande quantité d'œufs. En conséquence, il y a exportation en permanence vers l'extérieur de ces jeunes alevins devenus indésirables au sein de la réserve. La zone située autour du noyau protégé s'enrichit donc, quelle que soit la pression de chasse ou de pêche à laquelle elle est soumise.

*Le serran (*Serranus cabrilla*) est la principale victime du pêcheur à la ligne (Cap Creus, 22 m).*

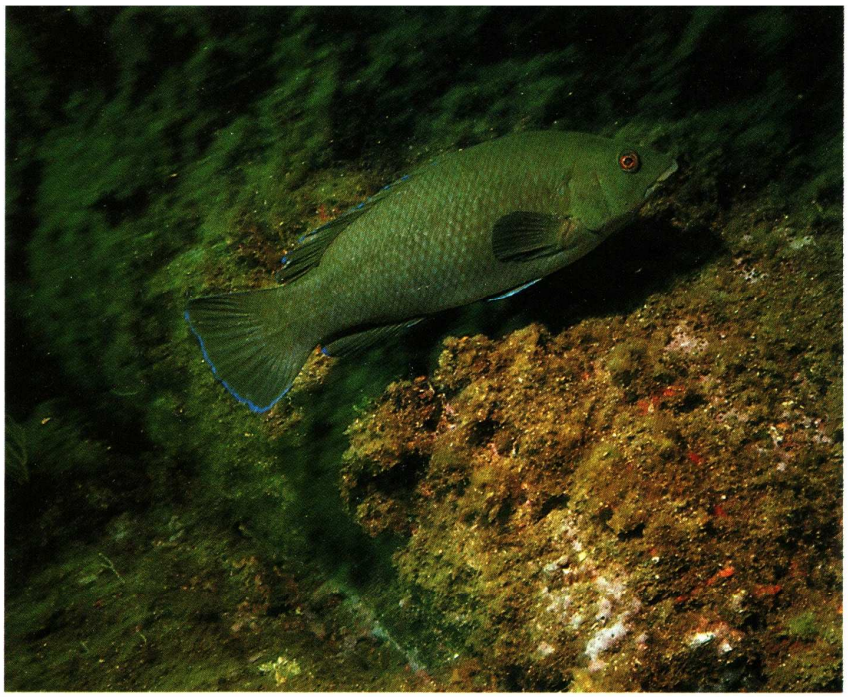


LE RÔLE IMPORTANT DES ZONES PROTÉGÉES

La création d'une réserve ne doit donc pas être considérée par l'utilisateur de la mer comme un sanctuaire uniquement réservé à quelques scientifiques, mais plutôt comme le garant de la préservation d'un patrimoine qui n'est pas limité à la zone protégée. Aujourd'hui, de jeunes mérous sont observés un peu partout. S'agit-il du réchauffement de la mer ? Peut-être, mais il y a cinquante ans, de petits mérous étaient ramenés par les pêcheurs de Banyuls. La mer était-elle plus chaude ?

LA PROTECTION DES ESPÈCES

Que signifie protéger une espèce ? Principalement interdire sa pêche, amateur, artisanale ou industrielle par une réglementation parfois difficile à faire appliquer.
Les espèces protégées actuellement en Méditerranée française sont principalement des cétacés (dauphins), le phoque moine, les phanérogames comme la posidonie, le corail, dont la pêche est réglementée pour des raisons commerciales, et le mérou, qu'il est interdit de chasser. Les scientifiques, alarmés par les baisses d'effectifs de certains invertébrés, ont proposé de rallonger la liste. C'est ainsi que la patelle géante (*Patella ferruginea*), la grande cigale (*Scyllarus latus*), la datte de mer (*Lithophaga lithophaga*) ou la grande nacre (*Pinna nobilis*) bénéficient également du statut d'espèces protégées au travers d'un Arrêté publié en janvier 1993. La disparition de poissons comme le mérou, le corb ou le denti, avait également inquiété les scientifiques, mais la récente augmentation de leurs effectifs et la présence d'un « réservoir » dans les zones plus chaudes de la Méditerranée les mettent à l'abri d'une extinction définitive. En les protégeant d'une chasse intensive, il s'agirait surtout de préserver notre patrimoine en assurant leur présence sur toutes les côtes où ils peuvent vivre.



Respecter et protéger l'environnement

Le plongeur descendant sous la surface de la mer avec juste une bouteille sur le dos et l'intention de se contenter d'observer le milieu vivant peut avoir l'impression de ne provoquer aucune dégradation sur le milieu sous-marin. Si cela est parfois vrai, l'expérience montre cependant que, même respectueux des réglementations, il lui arrive de causer involontairement certains dégâts.

Cette observation nous amène à formuler quelques conseils dont la liste est loin d'être exhaustive.

RIEN DANS LES MAINS, RIEN DANS LES POCHES

La chasse sous-marine en apnée est autorisée dans le cadre de la réglementation en vigueur, mais la chasse avec fusil et bouteille est bien évidemment interdite, ce qui est généralement bien respecté. En revanche, il n'est pas rare de voir un plongeur remonter avec une ou deux langoustes, quelques escargots, des oursins et surtout les violets si agréables à consommer en sortant de l'eau ! Les plongeurs doivent savoir que de tels prélèvements sont interdits par la loi et peuvent aboutir à un dépeuplement des fonds, notamment lorsque le nombre de plongeurs est très important sur le site. Ce type d'attitude doit être totalement proscrit dans les clubs de plongée.

UNE DISCIPLINE PERSONNELLE

Chaque plongeur doit respecter à l'égard du milieu un véritable code de conduite écologique.

— Ne pas casser systématiquement des oursins ou des huîtres pour « nourrir » les poissons. Certains sites surfréquentés se reconnaissent de la surface par les taches blanches constituées par les tests d'oursins ou les coquilles d'huîtres vides.

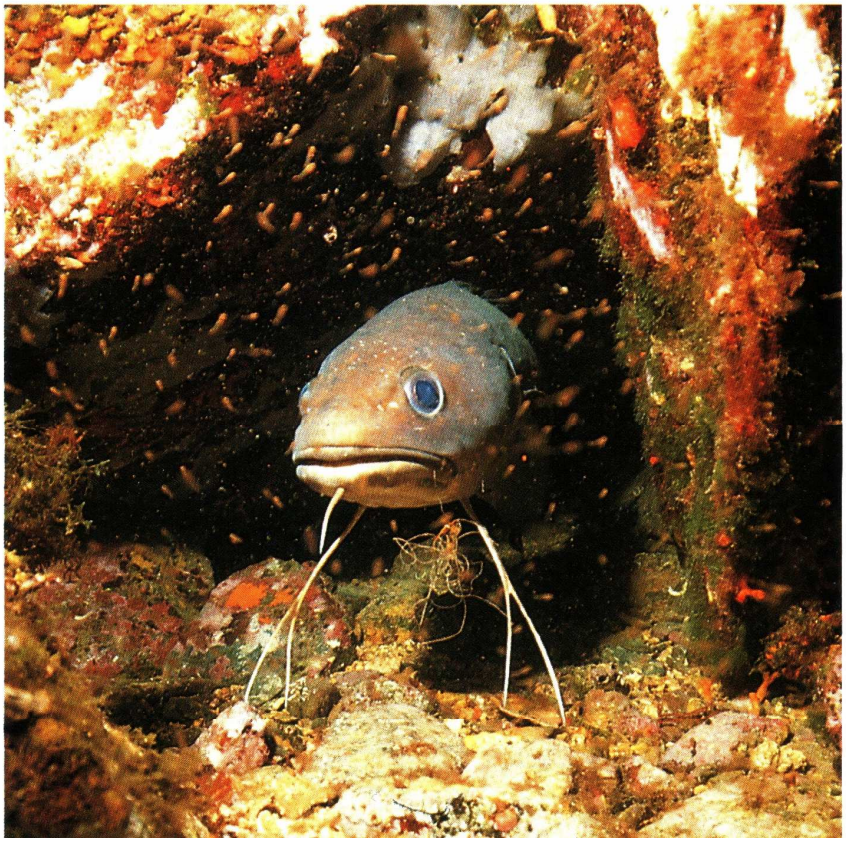
— Remettre soigneusement en place les pierres et rochers retournés, sinon la faune fixée en dessous se trouverait tout à coup exposée aux prédateurs. D'une manière générale, il faut éviter de perturber le milieu physique qui abrite le milieu biologique.

— Éviter de nourrir systématiquement les poissons, notamment dans les sites très fréquentés. La présence de nombreux os de côtelettes sur les fonds des îles Medes en Espagne n'est pas du meilleur goût.

— En exploration, ne pas « coller » au fond et ne pas prendre appui sur les tombants pour éviter les chocs directs des palmes sur la vie fixée et les perturbations hydrodynamiques créées par le palmage. Aux îles Medes, la disparition des gorgones due à ces chocs est estimée à 10 % par an.

— Être parfaitement équilibré et se servir du poumon-ballast plus que de ses palmes. Ces conseils valent aussi dans l'exploration des

*(À gauche.) Les labres merle (*Labrus merula*) sont abondants au sein du périmètre protégé de la réserve de Cerbère-Banyuls (Sec de Rédéris, 15 m).*



*Les mostelles (*Phycis blennoides*) sont généralement observées au trou. Certaines peuvent atteindre des tailles impressionnantes (réserve de Cerbère-Banyuls, 16 m).*



Nourri régulièrement par des plongeurs, ce mérou en a perdu toute méfiance (Port-Cros, 14 m).

CHASSER : UN DROIT, MAIS DES OBLIGATIONS

La pratique de la chasse sous-marine implique d'avoir plus de seize ans et une assurance en responsabilité civile, de posséder un permis de chasse délivré par les Affaires maritimes, ou d'être licencié à la FFESSM, et de connaître la législation locale en vigueur (zones interdites en permanence ou temporairement à la chasse, espèces protégées) et s'engager à la respecter.

Il est interdit au chasseur sous-marin de tenir chargé un fusil hors de l'eau, d'utiliser un appareil permettant de respirer sous l'eau et des cartouches de gaz comprimé pour les fusils sous-marins, de détenir simultanément sur le même navire, sauf dérogation, un équipement de plongée et de chasse sous-marine, de chasser entre le coucher et le lever du soleil, d'utiliser un foyer lumineux pour chasser, de s'approcher à moins de 150 m des navires de pêche et des filets signalés par un balisage, de capturer des animaux déjà pris dans un filet et les crustacés autrement qu'à la main, enfin de vendre les animaux capturés.

grottes et des épaves : il faut éviter de remettre en suspension la sédimentation fine pour des raisons de sécurité (turbidité) et pour éviter le dépôt des particules sur la vie fixée. Les palmes travaillent au ralenti et le plongeur se déhale sur les mains (gants conseillés).

— En visitant un surplomb, une cavité ou une grotte, veiller à ne pas racler le plafond avec la bouteille. Une solution consiste à se mettre de profil, bouteilles dans le plan vertical, ce qui permet de limiter les chocs.

— Attention aux bulles coincées au plafond des grottes ! La faune très riche s'y trouvant, souvent du corail, est vouée à une mort certaine si l'air expiré reste emprisonné sous la voûte. Dans les zones fortement fréquentées, le simple passage répété des bulles d'air sur un surplomb est à l'origine de fortes mortalités d'invertébrés fixés.

— Éviter de mouiller l'ancre du bateau dans les herbiers de posidonies. Utiliser des peintures antisalissures de nouvelle génération qui sont moins toxiques. Stocker les déchets solides et liquides (huiles de vidange) dans les bacs récepteurs qui équipent les ports de plaisance. Respecter la tranquillité du voisinage en isolant phoniquement le local de votre compresseur.

Enfin les plongeurs peuvent contribuer à une meilleure connaissance du milieu par des actions collectives, à l'échelle des clubs, par exemple en participant à des inventaires floristiques ou faunistiques dans le cadre d'études fondamentales dirigées par des scientifiques (en 1992 une soixantaine de clubs fédéraux se sont mobilisés pour aider les scientifiques à localiser la présence de *Caulerpa taxifolia* le long du littoral de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur) ou appliquées (études d'impact sur l'environnement d'aménagements littoraux).



Le nourrissage des poissons (feeding *des anglo-saxons*) *est une activité de plus en plus répandue chez les plongeurs, notamment dans les sites fortement fréquentés. Outre qu'elle est à l'origine de la destruction d'une grande quantité d'oursins, d'huîtres et autres invertébrés, elle modifie le comportement des poissons à un point tel que ceux-ci ne se méfient plus de leurs ennemis (Calvi, 3 m).*



Vue rapprochée d'une fronde (feuille) de caulerpe (Anse Méjean).

CAULERPA TAXIFOLIA: une algue envahissante

L'histoire de la caulerpe, la « taxifolia », tout le monde la connaît maintenant : en 1984 les premiers exemplaires de cette algue tropicale sont observés en Méditerranée, probablement échappés d'un aquarium. Au début elle reste discrète mais rapidement elle se met à occuper une surface de plus en plus importante recouvrant sable, rochers, parois et flirtant avec l'herbier de posidonies. Pire, elle est soupçonnée d'être fortement toxique. En 1990, la communauté scientifique est informée de sa présence et alerte à son tour la presse. *Caulerpa taxifolia* devient très vite aussi envahissante dans nos journaux que sous la mer. Dès 1991, les scientifiques s'organisent et préparent un plan de bataille pour lutter contre cet envahisseur et, en 1992, on passe à l'action : cartographie, richesse de l'écosystème, mesures de toxicité, méthodes d'éradication, mais rien sur la recherche des causes de cette prolifération !

Aujourd'hui, début 1993, on connaît beaucoup mieux cette algue. Les premiers résultats sont divulgués par des équipes de scientifiques d'horizons très divers et les hypothèses de départ se voient confirmées ou infirmées.

Les faits

La prolifération de cette algue ne fait aucun doute. Au cours de l'année 1992, la surface qu'elle occupe a plus que doublé, passant de 40 à 90 hectares environ.

Elle progresse selon deux processus tous deux liés à la reproduction végétative. Il s'agit soit d'une simple mais efficace extension en surface à partir des taches déjà existantes soit d'un bouturage naturel suivi d'un transport plus ou moins long. Les ancres des plaisanciers sont rendues responsables de l'implantation de la caulerpe dans divers ports méditerranéens.

Cette algue ne semble pas avoir de prédateurs. Il ne faut pas compter sur un organisme marin pour l'éliminer.

***C**aulerpa taxifolia* se repose l'hiver et n'est active qu'entre mai et novembre environ.

Le risque de destruction de l'herbier de posidonies sur une grande échelle semble provisoirement écarté. La caulerpe colonise essentiellement l'herbier mort ou dégradé. Excepté à sa périphérie, l'herbier sain résiste bien à l'envahisseur.

Tout risque de contamination par des substances toxiques est éliminé. Celles-ci existent effectivement dans les tissus de l'algue mais ne sont pas véhiculées vers d'autres organismes. **En aucun cas il ne**

s'agit d'une algue tueuse. Les poissons ne semblent pas affectés par la présence de cette algue et vivent normalement au sein de la prairie de caulerpes. Ils y trouvent leur nourriture et s'y reproduisent. Il semblerait même que le recrutement de certains labridés y soit particulièrement élevé !
Toutes les techniques d'éradication se sont révélées inefficaces, l'algue recolonisant rapidement les surfaces sur lesquelles elle a été détruite.

Les questions

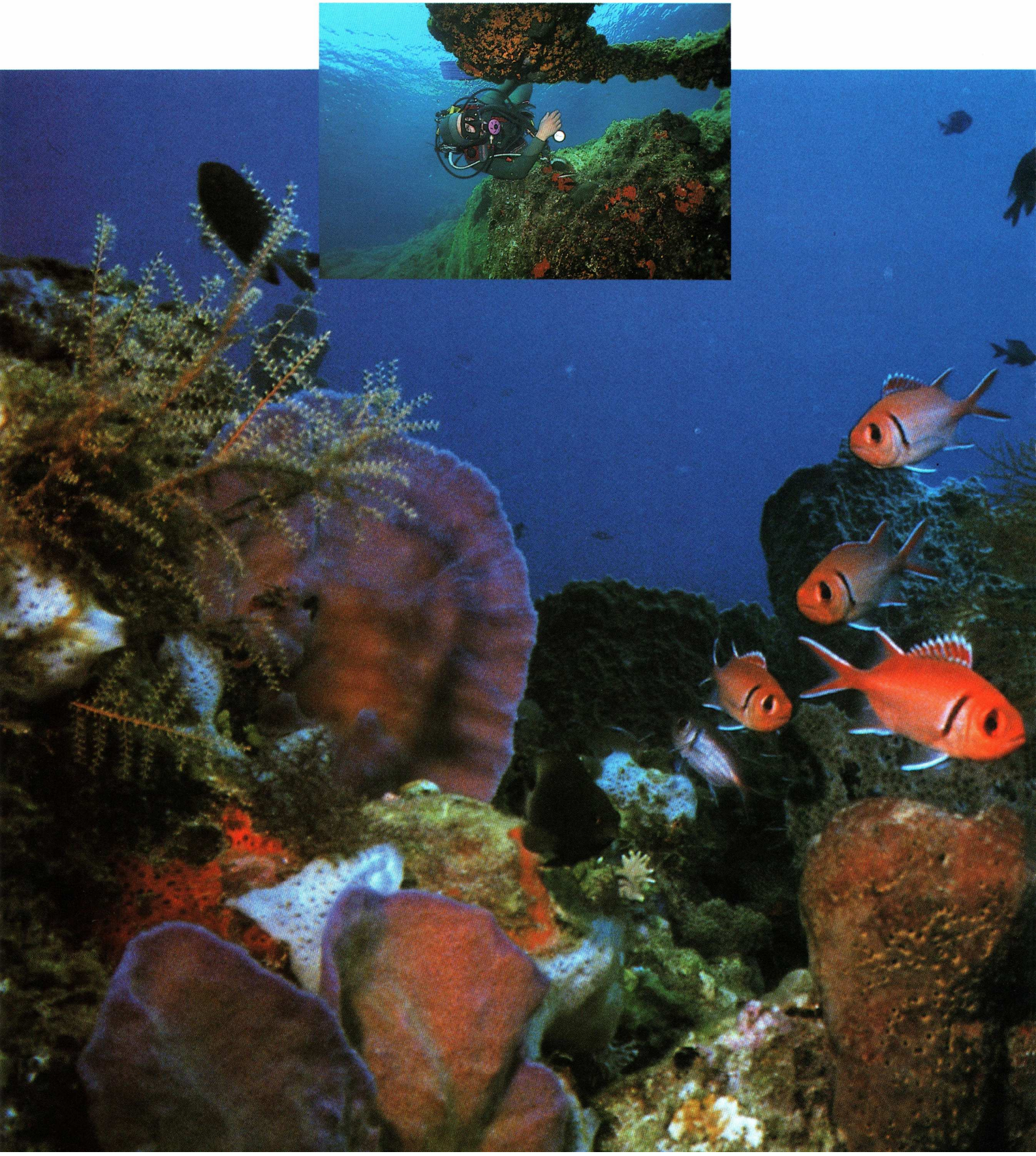
Les prairies de caulerpes ont-elles une richesse équivalente à celle de l'herbier de posidonie ? Pour comparer de manière objective ces deux milieux, il faudra attendre que la faune et la flore aient eu le temps de s'adapter à ce nouveau milieu. La communauté des herbiers de posidonies est installée sur une formation vieille de plusieurs dizaines d'années !
L'herbier de posidonie est-il attaqué et détruit par la caulerpe ou au contraire est-ce parce qu'il disparaît que la caulerpe peut s'installer ? Les causes de proliférations de l'algue pourraient bien être les mêmes que celles responsables du recul de l'herbier.
Comment la caulerpe exploite-t-elle les réserves nutritives contenues dans les sédiments ? Les caulerpes font en effet partie des rares algues à pouvoir puiser les éléments minéraux nécessaires à leur croissance dans le sol, comme les plantes supérieures... comme les posidonies !
Pourquoi la caulerpe connaît-elle un fort développement près de certains égouts ou dans les ports ? Même si les eaux ne sont pas riches en éléments nutritifs, ceux-ci peuvent s'être accumulés dans le sédiment depuis plusieurs années. Toutes les zones où l'algue prolifère sont fortement urbanisées depuis des décennies !



Un oubli étonnant

Il est curieux que la communauté scientifique ait oublié d'étudier la richesse nutritive des sols marins là où la caulerpe pousse et repousse si bien. La principale cause de la prolifération de cette algue pourrait bien être en effet ce que l'homme rejette dans la mer !

Au mois de mai, la caulerpe recommence tout juste sa croissance annuelle (Cap Martin, 18 m).



CLICHÉS SOUS LA MER

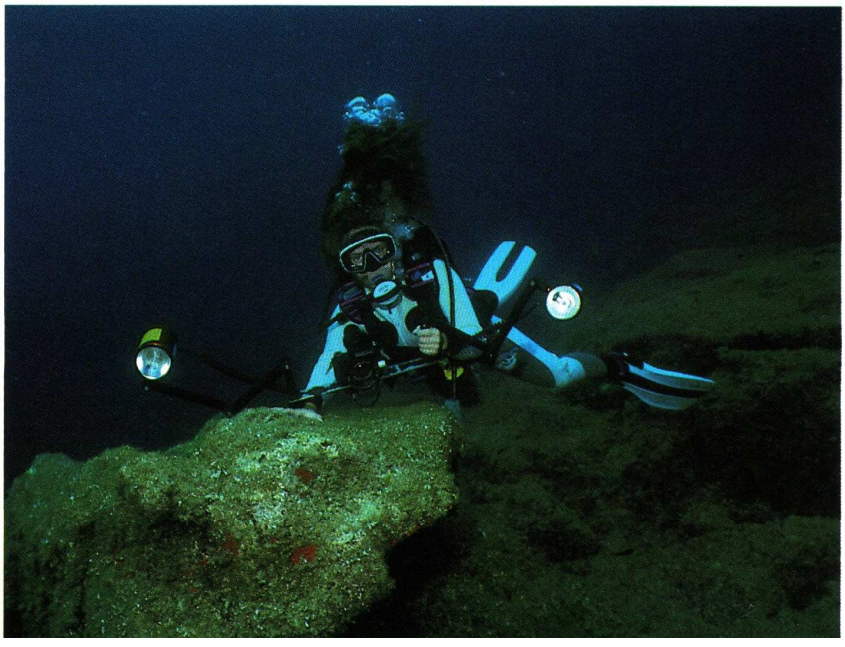


Mémoire de plongeur

La photographie sous-marine est la méthode la plus efficace et la plus passionnante pour fixer les observations réalisées au cours de ses plongées. L'immersion dans un milieu étranger et d'autres causes comme l'ivresse des profondeurs qui distraient l'esprit font qu'au retour d'une plongée il est souvent difficile de décrire avec précision les paysages et leurs habitants.

La photo est donc la mémoire idéale du plongeur cherchant à s'intéresser à la vie marine. Pourtant, beaucoup d'entre eux ayant envisagé de s'équiper se découragent rapidement. Ce découragement a généralement deux origines. La première est le coût élevé du matériel de photographie sous-marine. Il rebute beaucoup de plongeurs, qui, en revanche, n'hésitent pas à se doter d'ordinateurs sophistiqués et de gilets stabilisateurs coûteux. La seconde est l'apparente difficulté de ce type de prises de vues, qui se traduit souvent par de gros échecs au cours des premiers essais.

L'objet de ce chapitre est de donner quelques règles et informations permettant, avec le matériel standard, de réaliser des prises de vues correctement exposées, nettes et bien cadrées. Il ne s'agit pas de faire un traité sur la photo sous-marine, ni de rechercher la performance artistique, mais de montrer qu'il est possible à tout plongeur de rapporter des images, qu'il pourra comparer en toute objectivité à celles des guides existants. Il est en effet infiniment plus facile de chercher dans un guide un animal projeté sur un écran de grande dimension que d'essayer de rassembler ses souvenirs au retour de la plongée.



Les appareils sous-marins sont généralement beaucoup plus encombrants que leurs homologues terrestres. Leur maniement suppose une bonne pratique de la plongée (Calvi, 8 m).

Photo terrestre et photo sous-marine

Les fabricants de matériel photographique terrestre mettent à la disposition du public un matériel perfectionné permettant de réussir une photo de bonne qualité en se contentant d'appuyer sur un seul bouton. De nombreux réglages nécessaires à la réussite de la photo sont totalement automatisés, ce qui permet de réaliser une prise de vue sans se soucier de ce que fait réellement l'appareil. Au moment du déclenchement, les appareils de dernière génération mesurent la lumière, en fonction de quoi ils calculent ouverture et vitesse d'obturation, puis ils font la mise au point et enfin déterminent si le flash est nécessaire. Les appareils les plus performants permettent de vérifier à tout moment les options choisies, et éventuellement de se passer de certains automatismes, mais la plupart des appareils accomplissent ces opérations sans aucun contrôle du photographe.

Le matériel sous-marin est très en retard par comparaison avec le matériel terrestre. La plupart des appareils sous-marins demandent, pour faire la mise au point, d'évaluer visuellement la distance du sujet et de la reporter manuellement par une molette sur l'appareil. La cellule qui mesure la lumière n'a fait son apparition que récemment, de même que le fonctionnement automatique du flash (TTL = *Through The Lens* ou à travers l'objectif).

En conséquence, la réussite d'une photo sous-marine suppose une bonne connaissance des principes de base de la photographie.



La prise de vue vidéo se répand de plus en plus auprès des plongeurs. Elle présente l'avantage d'être beaucoup moins exigeante en lumière que la photographie (Cap Creus, 25 m).

Chambre noire

Un appareil photo est une boîte noire équipée d'un objectif (groupe de lentilles), d'un obturateur (rideau à vitesse variable) et d'une pellicule photosensible.

Lorsque l'on appuie sur le déclencheur d'un appareil photo, il se produit toute une série de réactions en chaîne qui ne durent qu'une fraction de seconde. Le déclencheur provoque l'ouverture de l'obturateur. À ce moment, l'image du sujet visé par l'appareil traverse l'objectif, l'obturateur, puis impressionne la pellicule. Selon la position relative des lentilles de l'objectif et la distance du sujet, la photo sera floue ou nette. Quelques fractions de seconde plus tard, l'obturateur se referme et l'appareil est prêt à être réarmé pour un nouveau cliché.

UN CHOIX LIMITÉ

Contrairement à l'incroyable profusion de modèles d'appareils photo terrestres, les appareils sous-marins sont peu nombreux.

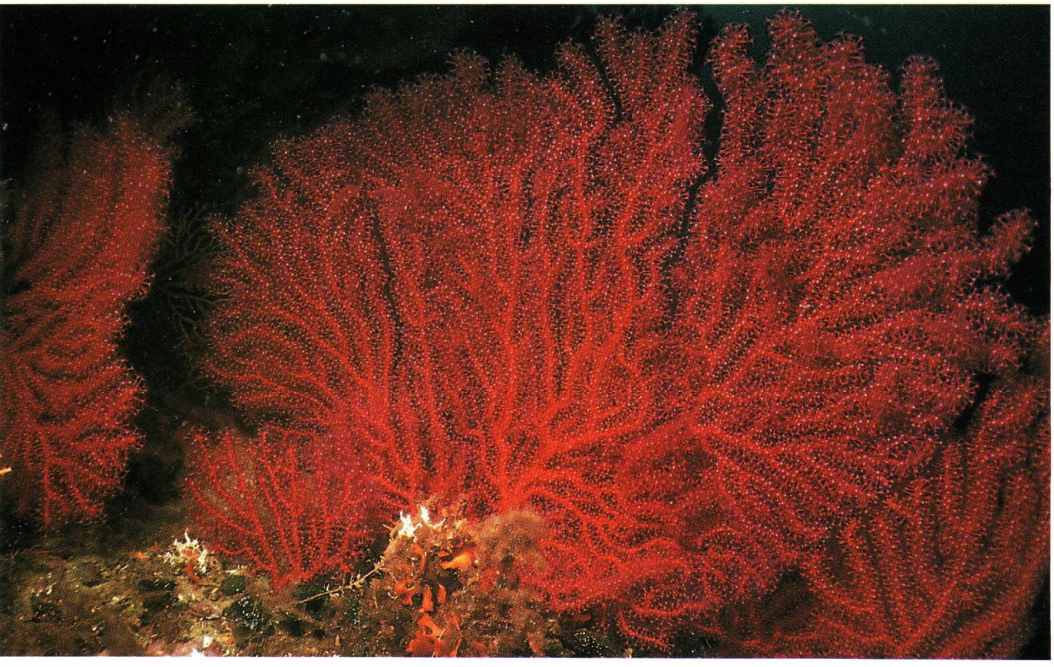
Le premier appareil sous-marin spécifique apparu sur le marché en 1965 était le Calypso, ancêtre des Nikonos actuels. Conçu par un Belge, Jean de Wouters, il fut d'abord fabriqué et commercialisé par la Spirotechnique, puis par Nikon. La technologie très rudimentaire de ces boîtiers évolua peu jusqu'au Nikonos III (notamment en ce qui concerne l'absence de cellule). Aux côtés de ces appareils étanches de conception, le seul autre moyen de réaliser des prises de vues sous-marines était d'enfermer un boîtier Reflex terrestre dans un caisson étanche. Les flashes étaient magnésiques, c'est-à-dire qu'ils fonctionnaient avec des ampoules devant être changées après chaque éclair.

Vers les années 1980, le matériel commence à évoluer avec l'apparition d'une cellule et de l'automatisme de l'exposition (Nikonos IV et V), la généralisation des flashes électroniques, et enfin le couplage de ces flashes au boîtier avec l'apparition du TTL.

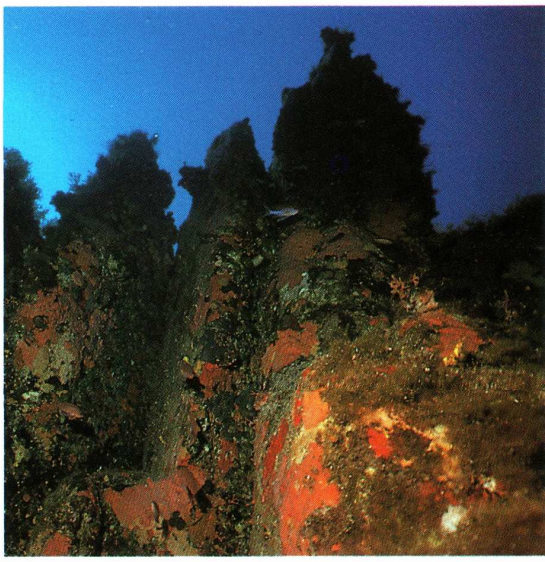
Corrélativement, le développement des boîtiers terrestres « compacts » a permis l'apparition d'abord de boîtiers pouvant être immergés à quelques mètres, puis de véritables compacts sous-marins pouvant descendre jusqu'à 45 m (*Sea and Sea*). Ces boîtiers adoptent les derniers raffinements de la technologie moderne (exposition automatique, flash TTL incorporé, rebobinage automatique), mais n'offrent pas encore les possibilités de réglages et la variété des objectifs des Nikonos. Le véritable Reflex sous-marin, équivalent des boîtiers terrestres, semble être enfin né avec la sortie récente du Nikonos RS, qui plus est, autofocus. Son prix élevé ne le désigne cependant pas comme un concurrent sérieux du Nikonos V.

Signalons enfin le développement des caissons sous-marins pour caméra vidéo (Sea and Sea ou Sony).

Les gorgones rouges sont un sujet de choix bien que leur apparition à de fortes profondeurs complique souvent la tâche du photographe souhaitant exploiter la lumière naturelle (Cap Méjean, 25 m).



SOURCE DE LUMIÈRE



Les prises de vues sous-marines gagnent à être prises de bas en haut. La surface représente un fond lumineux sur lequel se découpe le sujet (Calvi, 30 m).

Trait de lumière

Au cours de son passage au travers de l'objectif puis du diaphragme, la quantité de lumière provenant du sujet diminue. C'est ainsi que l'appareil peut indiquer que la lumière n'est pas suffisante pour prendre une photo alors que l'œil y voit encore très bien. À chaque prise de vue, la quantité de lumière nécessaire à l'impression de la pellicule est fonction de trois facteurs :

— **le *diaphragme***, qui est un ensemble de lamelles concentriques montées à l'intérieur de l'objectif permettant de régler la quantité de lumière admise à pénétrer dans l'appareil. Différents chiffres dont la signification est complexe permettent de mesurer cette ouverture (2.8, 5.6, 8, 11, 16, 22). Plus le chiffre est grand, plus le diaphragme est fermé ;

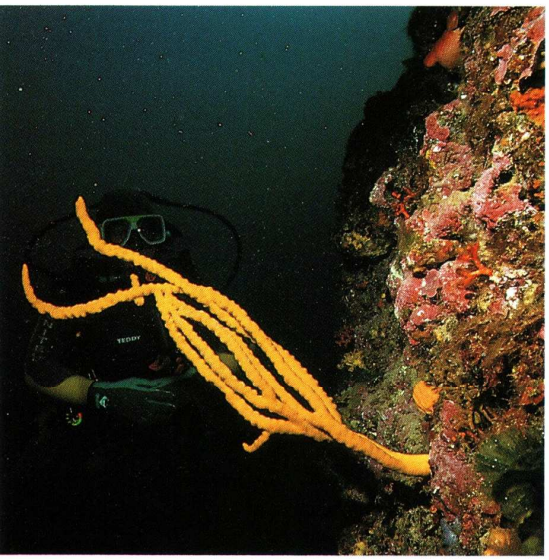
— **le *temps de pose***, qui correspond au laps de temps nécessaire à la lumière pour impressionner la pellicule. Il se mesure généralement en fractions de seconde (1/60, 1/125, 1/250). Un chiffre élevé correspond donc à une faible quantité de lumière arrivant jusqu'à l'objectif ;

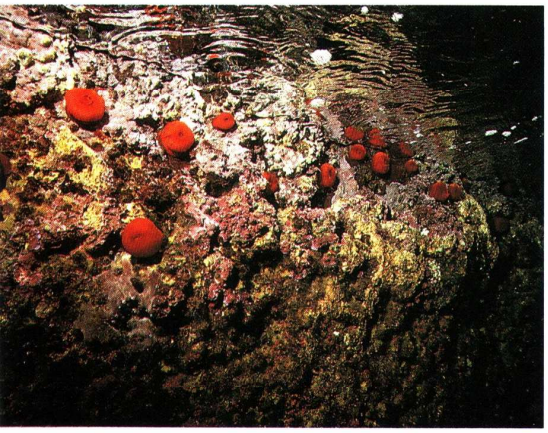
— **la *sensibilité*** de la pellicule. Une pellicule sensible est une pellicule qui n'est pas exigeante en quantité de lumière. La sensibilité se mesure le plus couramment en ASA. Une pellicule de 25 ASA est peu sensible, une autre de 1 000 ASA est très sensible. Des valeurs de 100 ASA représentent une moyenne souvent utilisée.

À la lecture de ce qui précède, on peut penser, afin de bénéficier des meilleures conditions, qu'il suffit d'ouvrir le diaphragme au maximum, de choisir une vitesse d'obturation la plus lente possible et de munir son appareil d'une pellicule hypersensible. Il s'agit de la meilleure solution pour rater une photo !

La première raison tient au fait que l'on peut se trouver dans une situation où la lumière est excédentaire. Il convient donc de limiter la quantité arrivant jusqu'à la pellicule sous peine de voir sa photo surexposée (trop « blanche »). Pourtant, sous l'eau, cette situation se produit rarement, car la quantité de lumière diminue rapidement avec la profondeur, et ce facteur devient vite limitant pour le photographe. La seconde raison de ne pas forcer sur ces réglages tient à leurs effets.

Le diaphragme ne contrôle pas seulement la quantité de lumière arrivant jusqu'à la pellicule, mais également un phénomène appelé





*Éponge dressée jaune (*Axinella polypoides*) fixée sur un tombant (Cap Creus, 20 m).*

*Ces actinies rouges (*Actinia equina*) ont été photographiées juste sous la surface où elles vivent habituellement (Cap Creus, 1 m).*

« profondeur de champ ». Il s'agit de la diminution progressive de la netteté des objets situés en avant et en arrière de l'objet sur lequel est centrée la mise au point. Plus le diaphragme est fermé, plus cette profondeur de champ est grande, ce qui peut être d'une grande utilité en photo sous-marine où beaucoup d'appareils ne permettent pas de contrôler précisément la distance de prise de vue et donc la mise au point. Le photographe fermera donc le plus possible le diaphragme pour obtenir une profondeur de champ maximale tout en laissant une quantité suffisante de lumière passer à travers l'objectif.

Si la vitesse d'obturation est faible, le sujet aura le temps de se déplacer, ou le photographe de bouger ! Dans une telle situation, les photos seront floues. Il est donc nécessaire de rechercher le meilleur compromis entre avantages et inconvénients d'une vitesse donnée. Il est possible de prendre une photo sans gros risques de bougé à partir du 1/60 de seconde, vitesse à laquelle toutes les photos de cet ouvrage ont été prises.

Enfin la qualité d'une pellicule est inversement proportionnelle à sa sensibilité. Cette baisse de qualité se traduit par l'apparition de ce que les spécialistes appellent le « grain », c'est-à-dire une moins bonne définition ou netteté de la photo. Dans le cas de fortes sensibilités, les couleurs risquent également d'être décevantes. Les sensibilités comprises entre 50 et 400 ASA sont les plus courantes, mais il est recommandé de ne pas dépasser 100 ASA pour des conditions optimales.

Une lumière mesurée

Comment savoir si l'exposition va être correcte, c'est-à-dire comment déterminer si la quantité de lumière reçue par la pellicule est suffisante et non excessive ? Il ne sert à rien de pouvoir modifier cette quantité si rien n'indique les effets des réglages !

Il existe un appareil destiné à mesurer la lumière : la *cellule photoélectrique*. Cet appareil capte les rayons lumineux et renvoie une information sous forme de signal électrique qui se traduit par le mouvement d'une aiguille sur un cadran ou une indication chiffrée par diodes ou cristaux liquides. Sur les appareils modernes, la cellule (ou les cellules pour les plus sophistiqués) est intégrée au boîtier. La mesure se fait directement derrière l'objectif, et la lecture des indications apparaît directement dans le viseur. En mode « manuel », ce type d'appareil indique, pour une ouverture donnée et choisie par le photographe, la vitesse choisie et la vitesse souhaitable pour réussir correctement l'exposition. Le travail du photographe consiste donc à faire correspondre ces deux valeurs en changeant éventuel-

QUESTION DE SENSIBILITÉ

Le diaphragme : lorsque l'on passe d'un chiffre à son supérieur, on ferme le diaphragme de manière à laisser passer la moitié de la lumière. Ainsi un diaphragme ouvert à 5,6 laisse passer deux fois plus de lumière que lorsqu'il est ouvert à 8.

L'obturateur : le chiffre est directement proportionnel à la quantité de lumière traversée. Une vitesse de 1/125 de seconde laissera passer deux fois plus de lumière qu'une vitesse de 1/250.

La sensibilité : chaque fois que la sensibilité double, la pellicule reçoit deux fois moins de lumière pour une même exposition. Ainsi une pellicule de 50 ASA demandera deux fois plus de lumière qu'une pellicule de 100 ASA, et la plupart des pellicules standard sont caractérisées par des sensibilités doublant à chaque fois.

La quantité de lumière arrivant sur la pellicule dépend donc de chacun de ces trois éléments, et le photographe recherchera, pour une exposition donnée, le meilleur compromis entre ces trois variables. À titre d'exemple, une photo prise avec une pellicule de 100 ASA, au 1/125 de seconde et à ouverture 5,6 donnera le même résultat (en ce qui concerne l'exposition !) qu'une autre prise de vue avec une pellicule de 50 ASA, au 1/250 de seconde et à 2,8.

lement le réglage de la vitesse. Les appareils munis d'un mode « automatique » font cette démarche par eux-mêmes, ce qui est très pratique, mais peut réserver de mauvaises surprises si la vitesse choisie par l'appareil est trop lente ! D'où l'intérêt de coupler une manœuvre automatique à une information complète dans le viseur, ce qui caractérise généralement les bons appareils photo.

Les appareils terrestres les plus modernes permettent de se passer de tout choix en déterminant par eux-mêmes le couple vitesse d'obturation/ouverture. En comparaison, les appareils sous-marins, beaucoup plus rudimentaires, peuvent décontenancer nombre de photographes !

Mentionnons pour mémoire que les caractéristiques des cellules sont variables et parfois décrites sous les termes de mode de calcul de l'exposition, exposition TTL ou non. Ces termes traduisent le fait qu'un appareil comporte une ou plusieurs cellules, que ces cellules mesurent la lumière en un point précis de la photo ou, au contraire, font une moyenne de l'ensemble du sujet, calculent l'exposition correcte au moment du déclenchement en temps réel ou avant. Quoi qu'il en soit, le résultat pour le photographe est le même et se traduit par une simple indication dans le viseur.

L'éclair du flash

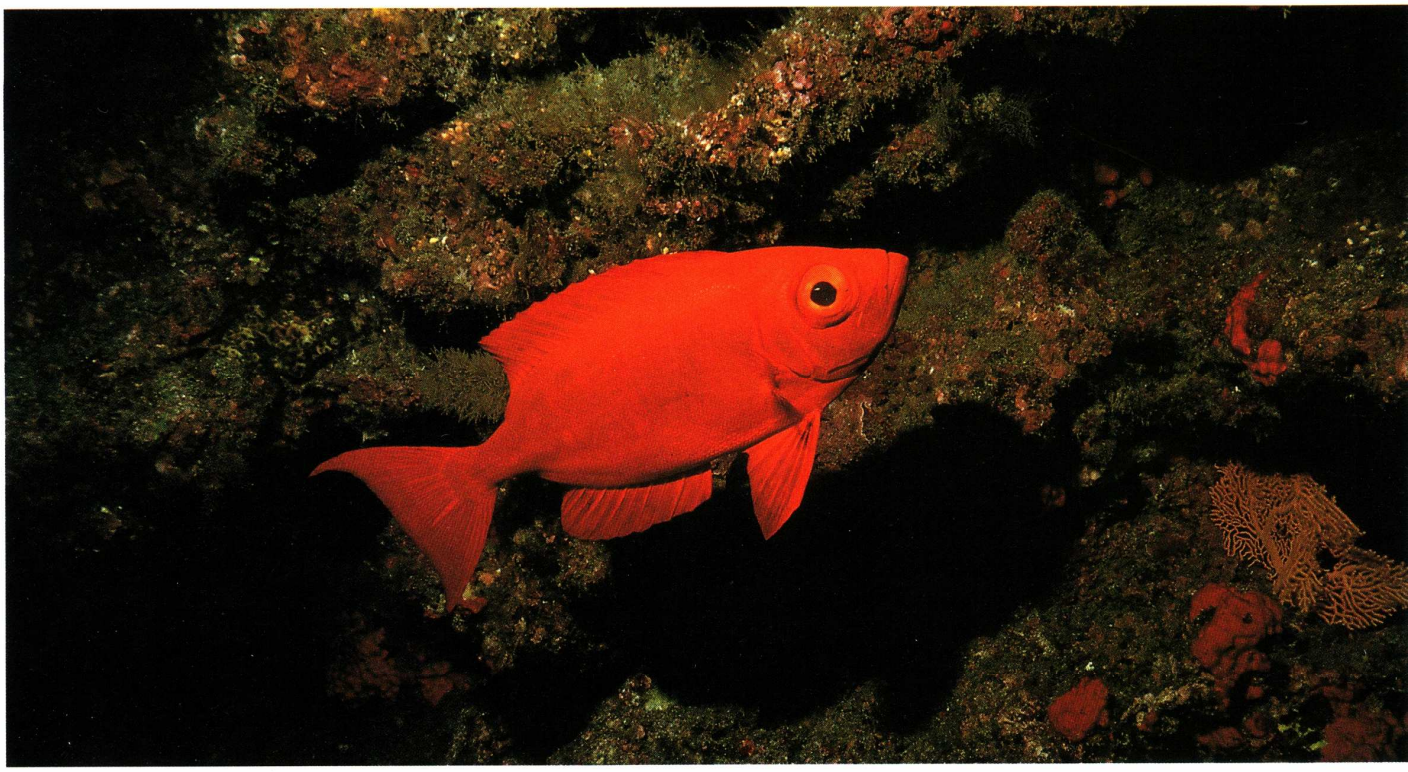
Lorsque la lumière est insuffisante, comme c'est souvent le cas en milieu marin, l'utilisation d'un flash devient indispensable. Le flash est fixé sur l'appareil et déclenché par lui. Les flashes sont caractérisés par leur puissance, qui se mesure par une valeur appelée *nombre guide*. Plus ce nombre est grand, plus le flash est puissant. Cependant, même les flashes terrestres les plus puissants dépassent rarement une portée de 15 ou 20 m. Sous l'eau, cette portée est considérablement réduite (2 ou 3 m, le plus souvent moins de 1 m !). Une autre caractéristique des flashes est la durée de l'éclair. Cette durée se mesure en dix-millièmes de seconde et contrôle la quantité de lumière délivrée par le flash. Plus la durée de l'éclair est grande, plus la pellicule reçoit de lumière après réflexion sur le sujet. À noter que cette durée est toujours inférieure à la vitesse d'obturation, ce qui permet d'obtenir des photos nettes au flash même si la vitesse choisie est assez faible. Par ailleurs, l'éclair du flash doit avoir lieu pendant que l'obturateur est ouvert ! Si la vitesse d'obturation choisie est trop rapide, l'éclair du flash a toutes les chances de se produire en dehors de la période d'ouverture. On détermine donc une vitesse d'obturation maximale compatible avec l'utilisation du flash. C'est ce que l'on appelle la *vitesse de synchronisation*, qui est une caractéristique de l'appareil utilisé. Sur le Niko-



Lorsque la luminosité est bonne, l'éclair du flash se confond avec la lumière naturelle. Cette araignée (Maia squinado)*, est un crabe vivant au milieu des algues, abondantes à faible profondeur (Pointe-Cannelle, Corse, 3 m).*

nos V, cette vitesse est fixée au 1/90 de seconde, ce qui signifie que l'appareil doit être réglé sur le 1/60 de seconde, vitesse immédiatement inférieure. Le choix d'une vitesse supérieure (1/125 par exemple) risque d'entraîner une photo à moitié exposée ou même totalement noire.

Avec l'utilisation d'un flash se pose de nouveau le problème de la mesure de l'exposition. La quantité de lumière atteignant la pellicule va dépendre de la puissance du flash (nombre guide), de la durée de l'éclair, de la distance du sujet, mais également de la luminosité ambiante, qui peut être nulle si la photo est prise de nuit. Là encore, des cellules peuvent faire le travail. Ces cellules peuvent être localisées sur le flash lui-même ou dans le boîtier. Avec les appareils les plus simples, il est même possible de se passer de cellule en faisant les réglages directement sur le flash en fonction de la distance au sujet et de la sensibilité de la pellicule. Le Nikonos V bénéficie d'un mode TTL, grâce auquel la quantité de lumière atteignant réellement la pellicule est mesurée. Sitôt la pellicule exposée, l'appareil sur indication de la cellule coupe le flash. Sachant que la durée d'un éclair n'est que de quelques dix-millièmes de seconde, on peut être impressionné par la précision de ce type de mesure !



À forte profondeur la lumière naturelle n'est plus suffisante. Le flash représente alors la seule source d'éclairage. Ce Priacanthus *est un poisson commun dans les mers tropicales (La Réunion, 30 m).*

DERNIÈRE MISE AU POINT

La mise au point consiste à déplacer les lentilles de l'objectif de manière qu'une image nette du sujet se forme au niveau de la pellicule. C'est une manœuvre qu'il faut réaliser à chaque prise de vues puisqu'elle dépend de la distance au sujet. Sur beaucoup d'appareils terrestres dits « Reflex », la mise au point se fait manuellement par une bague située sur l'objectif et avec un contrôle du résultat dans le viseur. L'image du sujet dans le viseur a déjà traversé l'objectif et représente directement ce qui impressionnera la pellicule. Sur les appareils de dernière génération, cette mise au point est réalisée automatiquement sans intervention du photographe, mais sous son contrôle par l'intermédiaire du viseur. En photographie sous-marine, et mis à part les heureux possesseurs d'un boîtier étanche dans lequel il est possible de placer un appareil terrestre, les choses sont loin d'être aussi simples. Sur le Nikonos V, par exemple, la mise au point se fait manuellement par une molette située sur l'objectif. Aucun contrôle dans le viseur n'est possible, et seules les indications de distance sur l'objectif permettent de guider le réglage. Cela signifie, entre autres choses, que le photographe doit être capable d'estimer à l'œil la bonne distance de prise de vue !

LE CADRAGE

Le cadrage est la manœuvre qui consiste à positionner le sujet dans le champ de la photo. Il ne nous appartient pas ici de discuter de la valeur artistique de tel ou tel type de cadrage, mais seulement de donner rapidement quelques indications techniques sur la façon de le réaliser. Le cadrage s'opérant par l'intermédiaire du viseur, ce que nous avons dit pour la mise au point est valable également. En particulier, les appareils Reflex permettent de réaliser le cadrage en regardant directement les effets de celui-ci dans le viseur. En revanche, sur le Nikonos V (ou tout autre Nikonos d'un modèle plus ancien), un petit viseur est intégré à l'appareil, mais ne donne qu'une indication approximative. Ce type de viseur a un inconvénient majeur, celui de provoquer ce que l'on appelle une *erreur de parallaxe* : le viseur est dirigé dans un axe parallèle à l'appareil et surtout fixe. Lorsque le sujet est placé à quelques mètres de l'appareil, cela ne pose pas de problèmes, et il est facile de bien le centrer. Si, en revanche, le sujet est placé à moins de 1 m, la distance entre l'objectif et le viseur est responsable d'un décentrage du sujet. Ce problème est parfois résolu par l'ajout sur l'appareil d'un viseur d'appoint dont l'inclinaison, variable, doit être réglée à chaque prise de vue. Encore une manœuvre supplémentaire !



Beaucoup d'épaves sont situées à de fortes profondeurs. Les vues générales sont difficiles à réussir et il est parfois préférable de choisir un sujet précis comme l'hélice de cette canonnière coulée au large du Cap Corse (Bastia, 43 m).



Le faisceau de la lampe restaure les véritables couleurs des organismes marins. Lorsqu'elles ne sont pas éclairées, ces gorgones rouges paraissent bleues (Calvi, 40 m).

Prises de vues sous la surface

LA LUMIÈRE ABSORBÉE

L'un des plus gros écueils pour le photographe sous-marin est le problème de la lumière. Une partie de la lumière arrivant sur la surface de la mer est d'abord réfléchie, c'est-à-dire renvoyée vers le ciel. Le reste traverse la surface et est absorbé par l'eau. Plus le soleil est haut sur l'horizon, plus la quantité de lumière pénétrant dans la colonne d'eau est importante. Plus on descend, plus le pourcentage de lumière restant est faible, et ce pourcentage diminue rapidement !

VOL DE COULEURS

Au cours du trajet de la lumière et indépendamment de son intensité, les différentes couleurs qui forment la lumière blanche sont absorbées chacune à leur tour. C'est ainsi que le rouge disparaît dès les premiers mètres, puis l'orange, le jaune, le vert. Le bleu est la dernière couleur à être absorbée, ce qui explique la domi-

PHOTOGRAPHIER DE NUIT

La plongée de nuit est idéale pour approcher certains organismes comme poissons ou crustacés. Les premiers restent toujours à une bonne distance du plongeur pendant la journée tandis que les seconds sont souvent cachés dans des trous. À la faveur de la nuit, les crustacés sortent de leur cachette pour se nourrir, et beaucoup de poissons se rapprochent de la côte. Le faisceau de la lampe les immobilise généralement. La plongée de nuit constitue un moyen idéal pour ce type de prise de vue, même si les animaux n'ont pas toujours un comportement naturel dans le faisceau de la lampe. Les photos de type paysage ou ambiance étant pratiquement exclues sans l'apport de lumière du jour, la technique photographique consiste donc à réaliser des prises de vues à la distance minimale. L'encombrement de l'appareil, l'éclairage et la nécessité de cadrer simultanément présentent un problème pratique qui peut être résolu en fixant une lampe sur la platine du flash. Un réglage judicieux de l'inclinaison de cette lampe peut permettre de cadrer un sujet uniquement en l'éclairant sous réserve qu'une distance de prise de vue soit respectée. Il devient alors possible de prendre une photo au jugé. Les flashes les plus sophistiqués sont munis d'une lampe pilote qui résout d'emblée ces inconvénients.

nance de cette couleur à de grandes profondeurs. Pour faire réapparaître ces couleurs, il suffit d'éclairer le sujet. L'exemple caractéristique est la gorgone rouge, vivant à forte profondeur. Beaucoup de plongeurs appellent cet animal gorgone bleue, car c'est la couleur qu'ils voient. Pourtant le moindre éclairage ou le flash d'un appareil photo font ressortir son extraordinaire couleur rouge !

EAU CLAIRE ET EAU TROUBLE

Le manque de clarté de l'eau, ou *turbidité*, est peut-être le plus gros problème auquel doit faire face un photographe sous-marin. Cette notion n'existe pas vraiment en photographie terrestre. Le brouillard est relativement rare, en tout cas suffisamment pour que l'on puisse s'abstenir de faire de la photo à ce moment (sauf recherche d'effets spéciaux !). Qui plus est, il est constitué de gouttelettes d'eau très fines, alors que, sous l'eau, on peut avoir affaire à des particules de taille importante.

La turbidité se mesure souvent en distance de visibilité. Une visibilité de l'ordre de 10 m est considérée comme correcte, mais elle peut atteindre 30 ou 40 m dans les eaux claires de la Corse ou dans les eaux tropicales. Parfois la turbidité est tellement forte qu'il est difficile d'apercevoir sa main lorsque l'on tend le bras ! L'important pour le photographe est de retenir que la turbidité est provoquée par des particules en suspension de tailles variées. Plus la distance entre le sujet et le photographe diminue, moins il se trouvera de particules entre eux. D'où une chance accrue de réaliser une photo nette. Ainsi, toutes les solutions permettant de rapprocher au maximum le photographe de son sujet sont à exploiter.

TENIR LA DISTANCE

Des phénomènes d'optique liés à la différence de caractéristiques entre l'eau et l'objectif (effets d'interfaces) font que la distance vue par l'appareil et permettant de réaliser une photo au point est différente de celle que l'on pourrait mesurer avec un mètre. L'objectif de l'appareil photo étant l'équivalent de notre œil muni d'un masque, c'est le même phénomène qui nous pousse à trouver les objets plus gros sous l'eau que hors de l'eau.

Dans la mesure où notre œil réagit de la même façon que l'objectif, cette caractéristique n'est pas très gênante pour le photographe puisqu'il lui suffit d'indiquer sur l'objectif la distance qui lui paraît être la bonne (distance apparente).



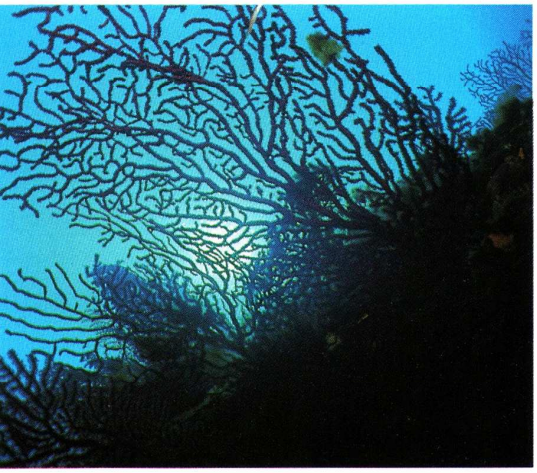
Se rapprocher du sujet permet de limiter le nombre de particules indésirables ne manquant pas de venir se placer entre celui-ci et le photographe. Ce mérou a été pris à une distance de 50 centimètres, avec un grand angle (Port-Cros, 17 m).

Des vues pour fixer la vie

Prendre une photo sous l'eau consiste à réaliser, le plus souvent manuellement, des réglages de manière à prendre en compte les caractéristiques propres au milieu sous-marin.

Différents types d'appareils permettant de réaliser ce type de prises de vues existent, mais, pour des raisons de commodité, nous ferons souvent référence à l'un des appareils les plus utilisés, le Nikonos V.

Comme nous l'avons vu, réussir une photo consiste avant tout à bien l'exposer, à réaliser une mise au point correcte et à la cadrer de la manière souhaitée. Une fois cela acquis, il ne reste plus qu'à faire confiance à son sens artistique.



Sans appoint de lumière artificielle, une technique intéressante consiste à réaliser des contre-jours. La prise de vue de bas vers le haut s'impose et les gorgones, découpées, constituent un sujet de choix (Port-Cros, 25 m).

UNE BONNE EXPOSITION

Sans appoint de lumière artificielle

Avec le Nikonos V, cette démarche ne pose théoriquement aucun problème puisque, en mode automatique, il suffit de laisser l'appareil faire son travail. En fait, ce n'est pas si simple !

Du fait de la baisse de luminosité avec la profondeur, l'appareil va indiquer très rapidement l'utilisation d'une vitesse au 1/30 de seconde, puis l'indication d'une luminosité insuffisante. En ouvrant au maximum (2,8), il est possible de prendre des photos en eaux claires et par temps ensoleillé jusqu'à une trentaine de mètres, mais le résultat risque d'être très décevant. La photo sera d'un bleu homogène, et les premiers plans ne ressortiront pas. En se rapprochant d'un sujet, la lumière risque alors de faire totalement défaut, et le résultat est une photo sombre sur laquelle on ne peut rien distinguer. Dans ce genre de configuration, la meilleure solution est peut-être de tenter des effets de contre-jour où des organismes (poissons, gorgones) ou des plongeurs pourront se découper sur la surface, elle, lumineuse. En se limitant à l'espace proche, jusqu'à 10 m, il est possible de réussir des clichés intéressants. Il faudra privilégier des vues d'ensemble (plongeurs, paysages) plutôt que des vues rapprochées. Si les eaux sont troubles ou la lumière en surface mauvaise, il est recommandé d'éviter de prendre ce genre de photos.

Lumière d'appoint

Dans la plupart des cas, le flash est indispensable, et son utilisation doit être presque systématique, même dans des circonstances où la lumière ambiante est suffisante. Cette pratique est assez peu répandue en photographie terrestre, excepté chez les professionnels que l'on voit souvent prendre des photos au flash en plein jour. Les appareils de type « compact » de dernière génération, destinés au grand public, permettent également cette possibilité.

Le flash en photo sous-marine autorise un apport de lumière destiné à compenser l'absorption par l'eau de la lumière naturelle. Il permet également de restaurer les radiations disparues comme le rouge. La lumière peut donc être suffisante pour exposer correctement une photo, mais l'utilisation d'un flash permet de faire ressortir les couleurs d'un premier plan. Il sert aussi à figer un sujet qui risquerait d'apparaître flou sur la photo s'il était pris à une vitesse trop lente. Il permet enfin d'utiliser un diaphragme plus fermé et d'augmenter la profondeur de champ dans le cas de prises de vues à faible distance. En revanche, il présente un certain nombre d'incon-

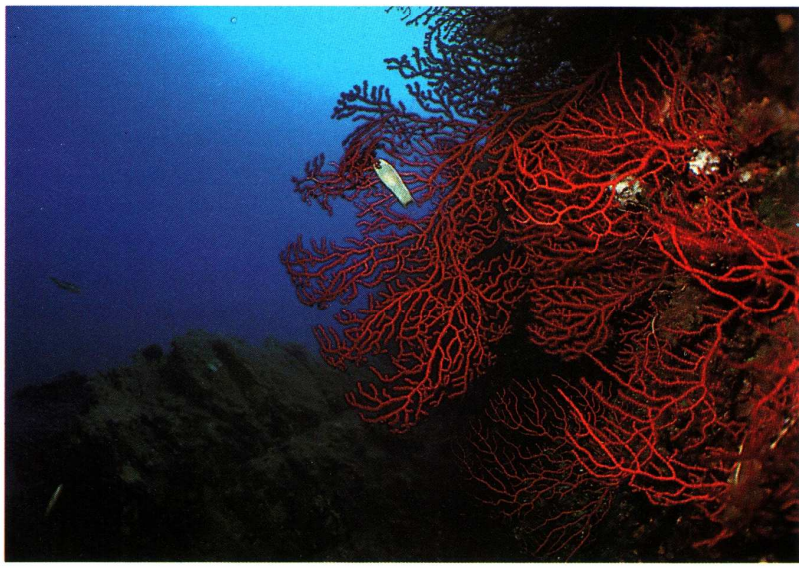
vénients qu'il faut savoir contrôler. L'éclair du flash est puissant, localisé, ce qui peut amener à surexposer certaines parties de la photo alors que d'autres restent dans le noir.

Cela arrive souvent lorsque le flash éclaire des plans situés à des distances différentes de l'objectif. Un premier plan sera surexposé alors que le dernier plan sera sombre. Le photographe peut jouer sur cette propriété en mettant en valeur certaines zones de la photo par rapport à d'autres, mais attention ! il n'est pas forcément gênant d'avoir une partie de la photo sous-exposée, surtout s'il ne s'agit pas du sujet principal, mais il faut toujours éviter de surexposer ne serait-ce qu'une petite zone de la photo. Au moment du cadrage, il faut donc se méfier tout particulièrement des premiers plans parasites (rameau de gorgones, partie de rocher ou même poissons !).

Un cas particulier est constitué par les particules en suspension. Ces particules, souvent invisibles pour l'œil du plongeur, ressortent très bien sur les photos lorsqu'elles sont éclairées de face par le flash. Ainsi, bon nombre de photographies apparaissent constellées de petits points lumineux. Ce phénomène peut être réduit en choisissant des eaux claires et en éloignant le flash de l'appareil de manière à éclairer ces particules de travers et non du côté de l'objectif. C'est la raison pour laquelle beaucoup de flashes sous-marins sont munis d'un bras articulé et ne sont pas fixés directement sur le boîtier comme pour les appareils terrestres. Les spécialistes recommandent même de détacher le flash de la platine et de le tenir à bout de bras, voire de se faire aider par un assistant. Pour une première approche, le bras articulé est amplement suffisant.

En cas de forte turbidité, il risque de se passer la même chose qu'en voiture, lorsque, par temps de brouillard, on éclaire en pleins phares. Le halo lumineux occultant le sujet provient de la diffusion de la lumière par les particules en suspension. Il y a des circonstances, en mer, où la prise de vue devient impossible !

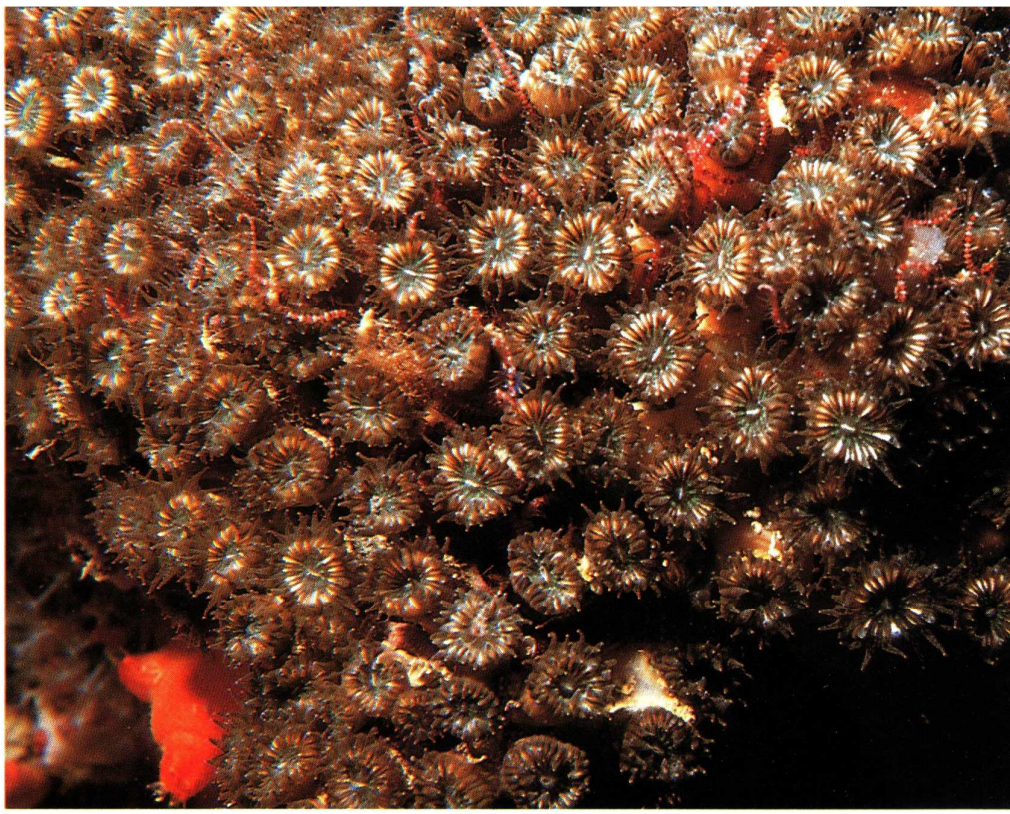
Une autre caractéristique de l'utilisation d'un flash sous l'eau est sa faible portée. Il n'est guère concevable de chercher à bénéficier de l'éclairage d'un flash au-delà de 1 ou 2 m, tout au moins pour le matériel classique accessible à la majorité des plongeurs. Cela signifie qu'il faut toujours se trouver près du sujet ou dans des conditions de luminosité suffisante si l'on ne veut pas être obligé d'utiliser une ouverture trop importante.



Grâce au flash, les couleurs éclatantes de la gorgone apparaissent tandis que l'arrière-plan lumineux est conservé (Port-Cros, 25 m).

PLONGEUR PHOTOGRAPHE OU PHOTOGRAPHE PLONGEUR ?

En dehors de l'exploration, toute activité sous-marine amène quelquefois à négliger certaines règles de sécurité. Le photographe n'oublie pas de planifier sa plongée en évitant d'aller photographier le mérou à 30 m, après avoir passé 30 min à 20 m... Il contrôle fréquemment son autonomie à l'aide du manomètre. Il tient compte du poids complémentaire qu'il emporte (appareils, caisson, accessoires) et ajuste son lestage en conséquence. La pratique du gilet stabilisateur n'a plus de secret pour lui. À faible profondeur, il augmente son lestage et ne fait pas une trop longue apnée lorsqu'il prend une photo, pour éviter tout risque de surpression pulmonaire.



La macro-photographie est une technique relativement facile du fait que la distance est maîtrisée par une pige, le champ par un cadre et que tous les autres réglages peuvent être fixés. En choisissant des rapports de grossissement moyens il est possible de conserver une bonne profondeur de champ.
Cladocora caespitosa *est un des rares madréporaires coloniaux de Méditerranée. La prise de vue rapprochée permet l'observation des polypes (Cap Creus, 25 m).*

IMAGE PAR IMAGE

De très près

Contrairement à son homologue terrestre, la macrophotographie sous-marine est le genre de photo le plus facile à réaliser et donne des résultats spectaculaires. Il est recommandé aux débutants de s'y consacrer en priorité. La technique est simple : une bague est placée entre l'objectif et l'appareil. Sur cette bague est fixée une tige munie le plus souvent d'un cadre. La distance de mise au point est réglée sur le minimum, et il ne reste au photographe qu'à placer le sujet à l'intérieur du cadre. La longueur de la tige (ou *pige*) étant de l'ordre de quelques centimètres, le flash, indispensable, peut être de faible puissance et le diaphragme fermé au maximum (11 ou 16), ce qui donne une bonne profondeur de champ. Le flash peut être utilisé avantageusement en mode TTL lorsque l'arrière-plan est proche et assez homogène. Le choix d'une position (par-dessus, sur le côté, en contre-jour) permet de réaliser des effets spéciaux. En outre, la faible distance d'utilisation supprime en grande partie les problèmes de turbidité. C'est le type de photo idéale lorsque l'eau est trouble.

De moins près

Beaucoup d'organismes marins de taille moyenne (gorgones, bryozoaires, éponges) peuvent être pris à l'aide de l'objectif standard



*La dentelle de Neptune (*Sertella septentrionalis*) complique le travail du photographe du fait de son volume. Attention de ne pas casser cet animal avec les cadres ou les piges : il est très fragile (Cap Creus, 18 m).*

35 mm, réglé sur la distance minimale de 70 cm. Le flash gagne alors à être utilisé en mode manuel. En mode TTL, la cellule mesurant la lumière se fonde sur une valeur moyenne de lumière réfléchie par le sujet. Si le sujet est une gorgone se découpant sur un fond éloigné et donc sombre, la mesure va intégrer le fond, ce qui a pour effet de demander au flash le maximum d'intensité. Le résultat sera une gorgone surexposée sur un fond noir. C'est le principal effet pervers du mode TTL. En revanche, une fois l'ouverture nécessaire pour une bonne exposition à 70 cm déterminée, il suffit de maîtriser la distance de prise de vue pour exposer correctement la plupart des photos. Il ne reste qu'à faire éventuellement de légères corrections en fonction de la couleur (*réflectance*) du sujet. À titre d'exemple, avec une pellicule de 100 ASA, le Nikonos V équipé d'un flash SB 103 peut être réglé à 8 pour obtenir des photos correctement exposées à la distance minimale de prise de vue, soit 70 cm. Une fois le bon réglage déterminé, la plupart des photos peuvent être prises au jugé, ce qui permet parfois de prendre des poissons qui ne posent pas très longtemps devant l'objectif !

Ambiances et paysages

En s'éloignant un peu plus du sujet, on cherchera à prendre des photos d'ambiance ou de paysages. La technique consiste à exposer correctement un premier plan tout en gardant la perspective d'un fond suffisamment éclairé par la lumière naturelle. Ce type de photo

doit être réalisé lorsque la luminosité ambiante est bonne, c'est-à-dire à faible profondeur, dans une eau claire et lorsque le soleil brille en surface. Le flash ne doit pas servir à véritablement éclairer, mais juste à faire ressortir les couleurs des premiers plans. Dans des conditions favorables, l'ouverture peut être réglée à 8 en prenant soin de ne pas placer le premier plan à trop forte distance. Attention aux pans de rochers ou poissons pouvant se trouver à proximité de l'objectif de manière fortuite. Ils feront des taches blanches sur les photos !

Les photos d'ambiance gagnent à être prises à faible profondeur et en eaux claires. Le grand angle permet alors de se rapprocher suffisamment d'un premier plan (éclairé par le flash), tout en conservant une large perspective (Port-Cros, 5 m).

Grand angle

Lorsque l'eau est turbide, il est intéressant de se rapprocher au maximum du sujet afin de diminuer le nombre de particules situées entre l'objectif et le sujet. Pour cela, et afin de conserver le même



champ, il est possible d'utiliser un objectif « grand angle » (le 15 mm est un objectif recommandé en photo sous-marine alors qu'il n'est pratiquement jamais utilisé en photo terrestre). Le grand angle a la propriété d'augmenter considérablement la profondeur de champ, ce qui résout en grande partie le problème de la mise au point.

Les objectifs « grand angle » sont généralement vendus avec un viseur se fixant sur le boîtier et couvrant le champ de l'objectif. Dans certains cas, ces viseurs sont équipés d'une correction de parallaxe (réglage de l'inclinaison) qui assure un cadrage correct de la photo. Le principe de prise de vues reste le même qu'avec un objectif standard.

Pour éviter des effets d'ombre portée trop importants, les spécialistes recommandent d'utiliser deux flashes de puissance inégale. Ce type de raffinement plutôt onéreux peut être laissé aux perfectionnistes.

Des sujets qui réfléchissent

Deux types de sujets réfléchissent fortement la lumière : les poissons argentés, surtout s'ils sont de petite taille, et les fonds de sable clair. Pour ce type de photo, il est recommandé de fermer de un ou deux diaphragmes par rapport aux réglages habituels. Le mode TTL est d'un grand secours lorsque le fond est uniforme (sable), mais inefficace dans le cas de poissons qui ne représentent souvent que des points sur un fond beaucoup plus sombre.

LE FLASH À CONTRE-EMPLOI

Afin de profiter des conditions de luminosité ambiante sans pour autant perdre les couleurs d'un premier plan, le Nikonos V offre une possibilité intéressante. Lorsque le flash est allumé, il suffit de fermer le diaphragme jusqu'à ce que la vitesse affichée dans le viseur soit 1/60, l'appareil étant réglé sur cette vitesse. La photo sera correctement exposée, et le premier plan illuminé par le flash qui peut être utilisé en TTL.

Afin de réaliser de bons contre-jours, faire ce réglage en dirigeant l'appareil vers la surface. Attention toutefois à ne pas surexposer le premier plan lorsque l'ouverture est trop forte (5,6 ou en dessous par exemple) ou lorsque le flash est trop puissant (ce type de flash est la plupart du temps muni de la possibilité de réduire son intensité).

DES GRANDS ANGLES POUR TOUTES LES BOURSES

Il existe plusieurs possibilités d'équiper son appareil d'un grand angle. Les objectifs spécifiques (Nikor, Sea and Sea) sont considérés comme les meilleurs, mais ils atteignent des prix importants. Ils ont l'avantage d'offrir la même souplesse d'utilisation qu'un objectif de base et de permettre des photos d'une qualité exceptionnelle. Aux cotés de ce matériel, il existe différents modèles de bonnettes venant se visser ou se fixer sur l'objectif standard (Nikonos ou Sea and Sea). Pour un coût plus modeste, ce matériel (Sea and Sea ou Subawider, par exemple) permet de réaliser des prises de vues d'excellentes qualité. Ils perdent un peu en facilité d'utilisation puisqu'il faut impérativement les retirer en début de plongée pour dégager les bulles d'air qui pourraient rester coincées entre les deux objectifs, et que la correspondance des réglages, distance et ouverture, n'est pas lue directement.



Quelques conseils

LES PREMIERS CLICHÉS

La rusticité des appareils sous-marins déconcerte souvent le débutant. Pourtant quelques précautions permettent, dès les premiers essais, de réussir de bons clichés. Pour savoir quelle ouverture indiquer en fonction de la distance et de la puissance d'un flash, la méthode empirique est la meilleure, mais il faut procéder par étapes :
1. Nikonos III avec un flash de puissance moyenne : Le film a pour sensibilité 100 ASA. Régler l'appareil sur la distance minimale (70 cm avec l'objectif standard du Nikonos). Régler l'ouverture sur 8. Choisir un sujet homogène, ni trop brillant ni trop sombre. Déclencher. Changer l'ouverture, une fois 5.6, une autre 11. Recommencer l'opération sur plusieurs sujets. Prendre la précaution de noter sur une ardoise la démarche adoptée. Le développement du film permettra de retenir la meilleure exposition. Par la suite, toutes les photos prises dans les mêmes conditions seront réussies.
2. Nikonos V avec le flash SB 103 : Tout se fait automatiquement, mais attention ! les sujets n'occupant pas une grande partie du champ, comme les gorgones ou des poissons de petite taille, vont apparaître surexposés. Dans la mesure où la distance reste constante, il est conseillé de procéder comme avec le Nikonos III. Quelle que soit la forme du sujet, celui-ci sera toujours bien exposé tant qu'il restera à la même distance.

Une fois ce travail réalisé (il peut être suffisant de n'y consacrer qu'une seule pellicule), il est souhaitable de conserver ces réglages et ce type de prise de vue pendant un certain temps afin de bien sentir les conséquences de petites erreurs comme une mauvaise évaluation de la distance ou l'influence de la forme et de la couleur du sujet (réflexion et réfraction).

CHANGER DE DISTANCE

Il faut, avant cela, bien maîtriser la technique précédente, qui peut être appliquée à une distance différente. Cependant, les flashes classiques sont peu puissants et ne dépassent guère 1,5 m de portée, tout au moins si l'on veut conserver une ouverture suffisante. Il peut donc être intéressant de déterminer la distance maximale compatible avec l'utilisation d'un flash pour un diaphragme donné. Par exemple, pour une ouverture de 5.6, la distance sera de 1 m. Attention ! la distance devant être affichée sur l'appareil est la distance apparente et non la distance qui pourrait être mesurée avec un mètre. Dans tous les cas, il est préférable de se fixer quelques réglages standards et peu nombreux et de ne pas les changer. Dans le même ordre d'idées, éviter de changer la sensibilité de la pellicule, c'est une source supplémentaire d'erreurs.

(Ci-dessus.) Prisonnier du faisceau de la lampe, ce denti pose involontairement pour le photographe en pleine nuit (Calvi, 12 m).

(Ci-contre.) Corbs au pied du sec de Rédéris (Réserve de Cerbère-Banyuls, 15 m).

QUAND L'EAU EST TROUBLE

C'est le plus gros problème du photographe. Il faut retenir toutes les solutions permettant de se rapprocher au maximum du sujet : photo rapprochée, utilisation d'un grand angle et éviter, au contraire, les photos de type paysage. La macrophotographie est le type de prises de vues idéal en eau trouble. Les bagues allonges permettent des rapports de grossissement plus importants que les bonnettes. Lorsque la visibilité est de 2 ou 3 m, il devient possible de prendre des clichés de faune ou de flore à la distance minimale de prise de vue (70 cm pour le 35 mm, 25 cm pour beaucoup de grands angles). Évidemment, le grand angle est préférable.

LES BONNES CONDITIONS DE PRISES DE VUES

Elles peuvent se résumer à deux choses : eau claire et lumière. Si elles sont respectées, il devient possible de faire de bons clichés de type paysages. Pour bénéficier d'un maximum de luminosité, le milieu de la journée est idéal. Il s'agit là d'une différence importante avec la photo terrestre pour laquelle l'éclairage vertical est généralement déconseillé.

ENTRETIEN DU MATÉRIEL

Bien qu'il ne soit généralement pas fragile en comparaison du matériel terrestre, le matériel sous-marin est soumis à de continuelles agressions par l'eau, le sel, le soleil, le sable, les chocs lors de son transport.
Afin d'éviter une détérioration rapide, quelques précautions élémentaires doivent être respectées :
— Le rincer avant de changer la pellicule après chaque plongée en le laissant tremper quelques minutes dans l'eau douce. Un simple jet d'eau ne suffit pas.
— Après chaque séjour de plongée et avant stockage, le rincer soigneusement en le laissant tremper plusieurs heures dans de l'eau déminéralisée, puis en le frottant avec une petite brosse.
— Surveiller l'état des joints, les graisser régulièrement et les changer si nécessaire. Une révision complète par un spécialiste est conseillée tous les deux ou trois ans.
— Toujours sortir les piles avant un stockage prolongé. Si celles-ci coulent, elles peuvent endommager gravement l'appareil.
— Transporter le matériel de préférence dans une valise rigide tapissée de mousse. S'assurer, lors des transports en bateau pneumatique, que l'appareil est bien calé.



DU PLONGEUR-AUTONOME AU PLONGEUR-ÉCOLOGUE

Depuis l'essor de la plongée sous-marine dans les années 50, l'objectif unique du plongeur confirmé était de devenir moniteur et d'enseigner la technique. La connaissance du milieu sous-marin restait souvent secondaire.

Au cours des années 80, les progrès technologiques libèrent le plongeur qui y gagne en confort respiratoire, en contrôle de la flottabilité, en précision et en autonomie par une gestion optimisée des procédures de décompression grâce à l'ordinateur de plongée. Quel que soit le degré de l'assistance que procure un matériel moderne, cette autonomie n'est acquise qu'au prix du respect des règles de sécurité par le plongeur et ses équipiers.

Plus autonome parce que plus sûr, le plongeur est aussi plus libre de mieux « disposer » du temps passé sous l'eau pour découvrir et comprendre le monde sous-marin qui l'entoure. La découverte de ces richesses souvent insoupçonnées par le débutant, commence dès le baptême. Cependant, s'il est possible de devenir un bon plongeur en quelques années, l'observation du monde vivant sous-marin reste une activité permanente.

Chaque plongée est source inépuisable d'émotions liées à la découverte d'un site, d'un paysage nouveau ou d'un poisson inattendu. Ainsi le plongeur bénéficie-t-il, avec l'infinité des lieux de plongée à sa disposition, d'un patrimoine naturel considérable dont la valeur est maintenant reconnue, même sur le plan économique. Tous les paysages vivants qui animent nos plongées, constituent une véritable « ressource renouvelable » que chacun de nous doit contribuer à protéger.

Pollutions chroniques ou accidentelles, aménagement exagéré du littoral et surpêche généralisée menacent ce patrimoine, mais le bilan n'est pas aussi négatif qu'il paraît. La nature est beaucoup plus résistante que l'on pourrait le penser : corbs, dentis et mérous qui désertaient nos côtes reviennent en force. Dans une grotte du Var, le corail repousse après avoir été détruit par une pollution chimique.

En cas d'agression, la nature reprend donc souvent ses droits, mais l'homme doit rester vigilant et l'aider en évitant de causer des dégâts irréversibles. Une bonne connaissance du milieu sous-marin sera utile au plongeur dans cette démarche : le plongeur autonome d'aujourd'hui doit devenir le plongeur-écologue de demain.

« ... car la force créatrice de la nature l'emporte
sur l'instinct destructif de l'homme. »

Jules Verne



ANNEXES

L'enseignement de la plongée sportive en France

La Fédération française d'études et de sports sous-marins

La FFESSM est la plus importante fédération européenne de sports sous-marins (près de 50 % des licenciés européens). Créée en 1955, la FFESSM compte aujourd'hui 140 000 licenciés et 1 700 clubs animés par 9 000 moniteurs qui forment chaque année plusieurs milliers de plongeurs. Écoles de plongée, les clubs proposent aussi de s'initier ou de se perfectionner dans d'autres disciplines sportives (chasse sous-marine, nage avec palmes et en eau vive, orientation, plongée souterraine, jeux subaquatiques), scientifiques et culturelles (biologie et archéologie) et audiovisuelles (photographie, vidéo).

Pour connaître les clubs de votre région, adressez-vous à l'un des 16 comités régionaux dont l'adresse vous sera communiquée directement par le siège national de la FFESSM : 24, quai de Rive-Neuve, 13007 Marseille. Tél. : 91 33 99 31.

Les brevets fédéraux de plongée

La FFESSM délivre des brevets qui traduisent l'aisance et l'expérience du plongeur. Chaque brevet sanctionne un niveau technique et confère au plongeur des prérogatives lui permettant d'accéder progressivement à l'autonomie, naturellement avec un ou plusieurs coéquipiers de même niveau.

Le **brevet élémentaire** ou **BE** (niveau 1) correspond aux connaissances de base nécessaires à la pratique de la plongée. Son détenteur peut plonger, encadré au sein d'une palanquée, dans l'espace médian (zone des 20 m).

Le brevet de **plongeur autonome niveau 2** est le premier pas vers l'autonomie, deux plongeurs titulaires de ce brevet pouvant évoluer ensemble dans l'espace médian. Encadré, le plongeur autonome niveau 2 peut aussi accéder à l'espace lointain (zone des 40 m).

Le brevet de **plongeur autonome niveau 3** autorise une autonomie totale dans l'espace lointain et au-delà, avec un coéquipier de même niveau.

Le brevet de **plongeur capacitaire niveau 4** qui peut être acquis par un breveté niveau 2 sans passer par le niveau 3, permet une autonomie totale sans limitation de profondeur, avec un équipier de même niveau. De plus, ce brevet confère à son titulaire la prérogative d'être guide de palanquée, c'est-à-dire d'encadrer en plongée d'exploration, et à certaines conditions, des plongeurs de niveau inférieur. Ce brevet ouvre la porte à l'enseignement de la plongée.

Le **niveau 5** est une qualification délivrée à un plongeur de niveau 4 lui permettant d'être directeur de plongée, c'est-à-dire de pouvoir organiser l'activité (pour la plongée d'exploration).

La FFESSM est membre de la Confédération mondiale des activités subaquatiques (CMAS). À ce titre et si vous plongez à l'étranger, sachez que les diplômes fédéraux ont une équivalence CMAS permettant de faire connaître son niveau de plongeur dans plus de 60 pays qui y sont affiliés (brevets doubles Fédération/CMAS disponibles à la FFESSM).

Les diplômes fédéraux d'enseignant

Le diplôme d'**initiateur** (niveau 1 d'encadrement) peut être passé par tout plongeur de niveau 2. Il permet de prendre la responsabilité technique et l'organisation des séances en piscine. En milieu naturel, ses responsabilités d'enseignement sont limitées à l'espace proche (plongeurs débutants, baptêmes de plongée). S'il possède le niveau 4 de plongeur, l'initiateur peut enseigner en milieu naturel dans l'espace médian, jusqu'au niveau 2 de plongeur. C'est alors un encadrant de niveau 2.

Le diplôme de **moniteur fédéral premier degré** ou **MF1** (niveau 3 d'encadrement) est accessible aux plongeurs de niveau 4. Ses prérogatives lui permettent d'enseigner jusqu'au niveau 4 de plongeur et d'être directeur de plongée.

Enfin le **moniteur fédéral deuxième degré** ou **MF2** (niveau 4 d'encadrement), technicien de haut niveau, est un formateur de cadres.

Les diplômes fédéraux d'enseignement de niveaux 3 et 4 ont des prérogatives identiques aux brevets d'État correspondants, mais ne permettent pas à leurs titulaires d'être rémunérés, ceux-ci exerçant à titre bénévole.

Autres structures d'enseignement de la plongée

- Association nationale des moniteurs de plongée « guides de la mer », 62, avenue Pins-du-Cap 06600 Antibes. Tél. : 93 61 45 45.
- Centre international de plongée (C.I.P.), B.P. 38, 66190 Collioure.
- Fédération sportive et gymnique du travail, 14, rue Scandicci, 93508 Paris Cedex 13. Tél. : 49 42 20 00.
- *Professional Association of Diving Instructors (PADI)*, 95, avenue du Docteur-Picaud, 06150 Cannes-la-Bocca. Tél. : 93 47 04 82.
- Compagnie des constructeurs de plongée professionnels, 289, rue des Pyrénées, 75020 Paris. Tél. : 43 58 09 94.
- Union des centres de plein air (UCPA), rue de la Glacière 75640 Paris Cedex 13. Tél. : 43 36 05 20.

Le plongeur et la biologie sous-marine

La FFESSM a développé les activités de biologie marine à la fin des années 70 en créant la Commission nationale de Biologie (CNB), s'appuyant sur les comités régionaux fortement sensibilisés à cette discipline. En 1985, la CNB crée des brevets fédéraux pour structurer les différents niveaux de connaissance des plongeurs désireux d'agir pour sensibiliser leur club ou pour enseigner dans les stages fédéraux de biologie. L'animateur fédéral de biologie (AFB) est capable d'animer des plongées biologiques au sein de son club. L'initiateur fédéral de biologie (IFB) peut former les animateurs et mettre en place une véritable activité biologique au sein du club. Enfin, les moniteurs fédéraux de biologie (MF1B et MF2B) sont des formateurs de cadres.

Des stages sont organisés chaque année au sein des Commissions biologie nationale ou départementales. L'un d'eux, organisé au Cap d'Agde par la Commission départementale de l'Hérault, a déjà formé de nombreux stagiaires qui participent maintenant à la connaissance des fonds marins du département, encore méconnus par les scientifiques.

D'autres stages de biologie sont organisés par des structures plus ou moins privées qui proposent, parfois à des prix élevés, des prestations de grande qualité. C'est le cas de la station océanographique STARESO, dans la baie de Calvi qui, sous l'impulsion de son directeur Daniel Bay accueille toute l'année dans les meilleures conditions possibles, des stagiaires intéressés par la découverte de très beaux fonds marins dans cette région.

Renseignements : STARESO, Pointe de la Revellata, B.P. 33, 20260 Calvi, Corse. Tél. : 95 65 06 18.

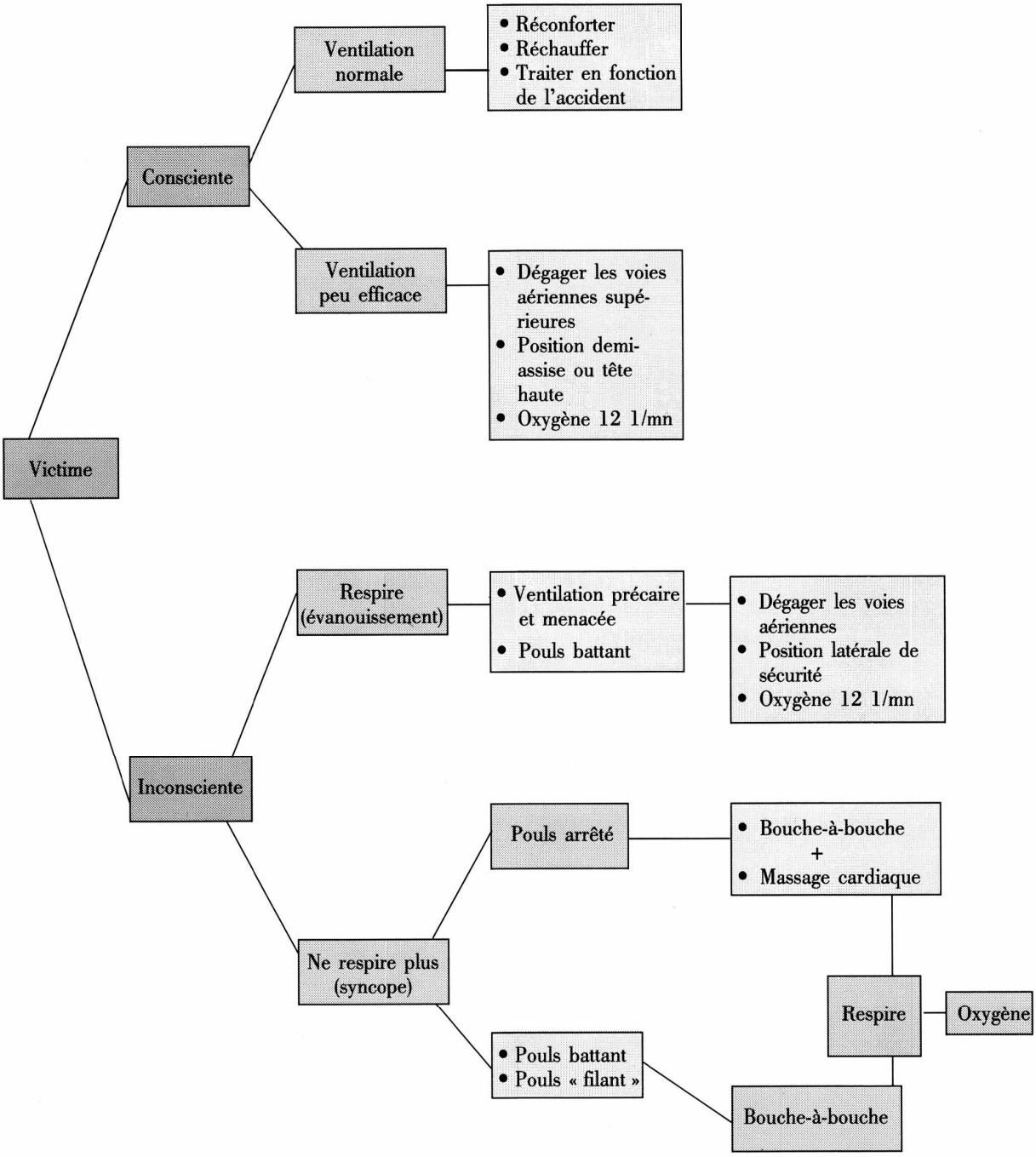
L'Association française des plongeurs scientifiques (COLIMPHA)

Créée en 1979, la COLIMPHA regroupe aujourd'hui 200 scientifiques (techniciens, chercheurs, étudiants) utilisant la plongée sous-marine dans le cadre de leur activité professionnelle.

La raison majeure de l'existence de la COLIMPHA réside dans le fait que les scientifiques avaient besoin d'être reconnus comme une catégorie particulière de plongeurs n'étant ni des plongeurs professionnels (au sens de travaux publics ou *offshore*), ni des plongeurs amateurs devant dépendre d'une fédération sportive. Une autre raison de l'existence de la COLIMPHA est l'aspect préoccupant de la sécurité et de la couverture des risques encourus. L'Association a obtenu un contrat d'assurance d'un coût raisonnable, proposant les garanties les plus complètes possibles. Il couvre les accidents survenus en plongée, en scaphandre uniquement dans le monde entier et dans le cadre d'activités privées ou professionnelles.

Renseignements : Laboratoire de cryptogamie du Museum national d'histoire naturel, 12, rue Buffon, 75005 Paris. Tél. : 40 79 31 96 ou 40 79 37 63.

ÉLÉMENTS DE DIAGNOSTIC EN CAS DE DÉTRESSE CARDIO-RESPIRATOIRE



CONDUITE À TENIR PAR UN PLONGEUR-SECOURISTE EN CAS D'ACCIDENTS DE PLONGÉE

	BILAN		CONDUITE À TENIR						
	C	I	PLS	BAB	MCE	O_2	R	B	M
ACCIDENTS DUS AU FROID Déperdition calorifique	●						●	CHAUDE	
NOYADE Eau avalée sans inhalation	●			●			●		
Eau avalée et inhalation	●		●			●	●		
Grande quantité d'eau avalée et inhalation		●	●	±	±	●	●		
CHOC THERMO-DIFFÉRENTIEL		●		●	●	●	●		
ACCIDENTS BAROTRAUMATIQUES Sinusite, otite									1
Surpression pulmonaire	●					●	●		2
		●	●	±	±	●	●		2
ACCIDENTS DE DÉCOMPRESSION	●					●	●	EAU	2
		●	●	±	±	●	●		
ACCIDENTS BIOCHIMIQUES ET TOXIQUES Essoufflement dû à l'effort	●					●	●		
Intoxication par le gaz carbonique ou le monoxyde de carbone	●					●	●		

BILAN :

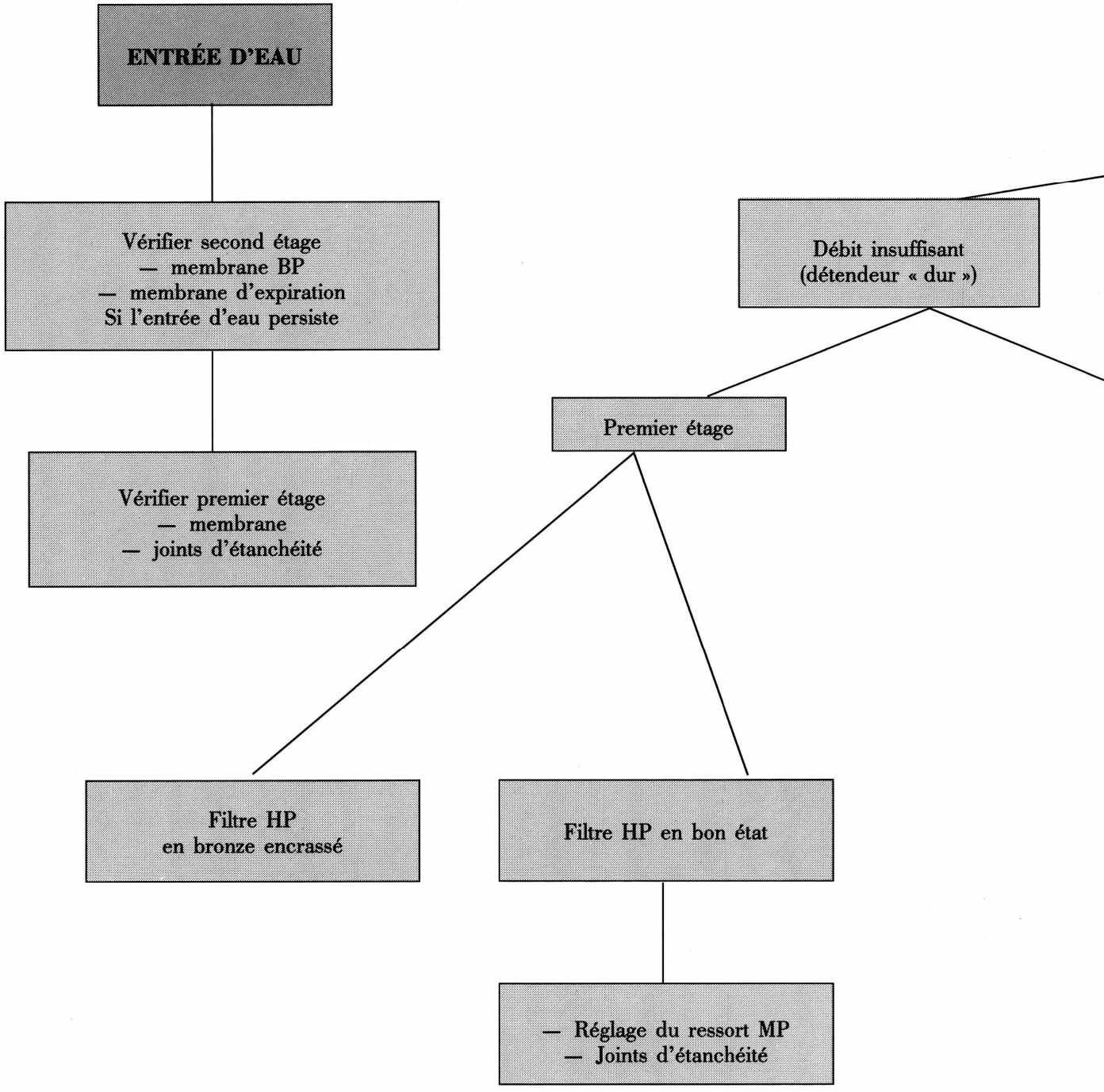
C = conscience
I = inconscience
± selon le bilan (cf. tableau 1)

CONDUITE À TENIR :

PLS = position latérale de sécurité
BAB = ventilation par bouche-à-bouche
MCE = massage cardiaque externe
O_2 = oxygène
R = réchauffement
B = boisson
M = médicament

1. Antalgique
2. Aspirine

TABLEAU-DIAGNOSTIC DES DÉFAUTS DE FONCTIONNEMENT DES DÉTENDEURS



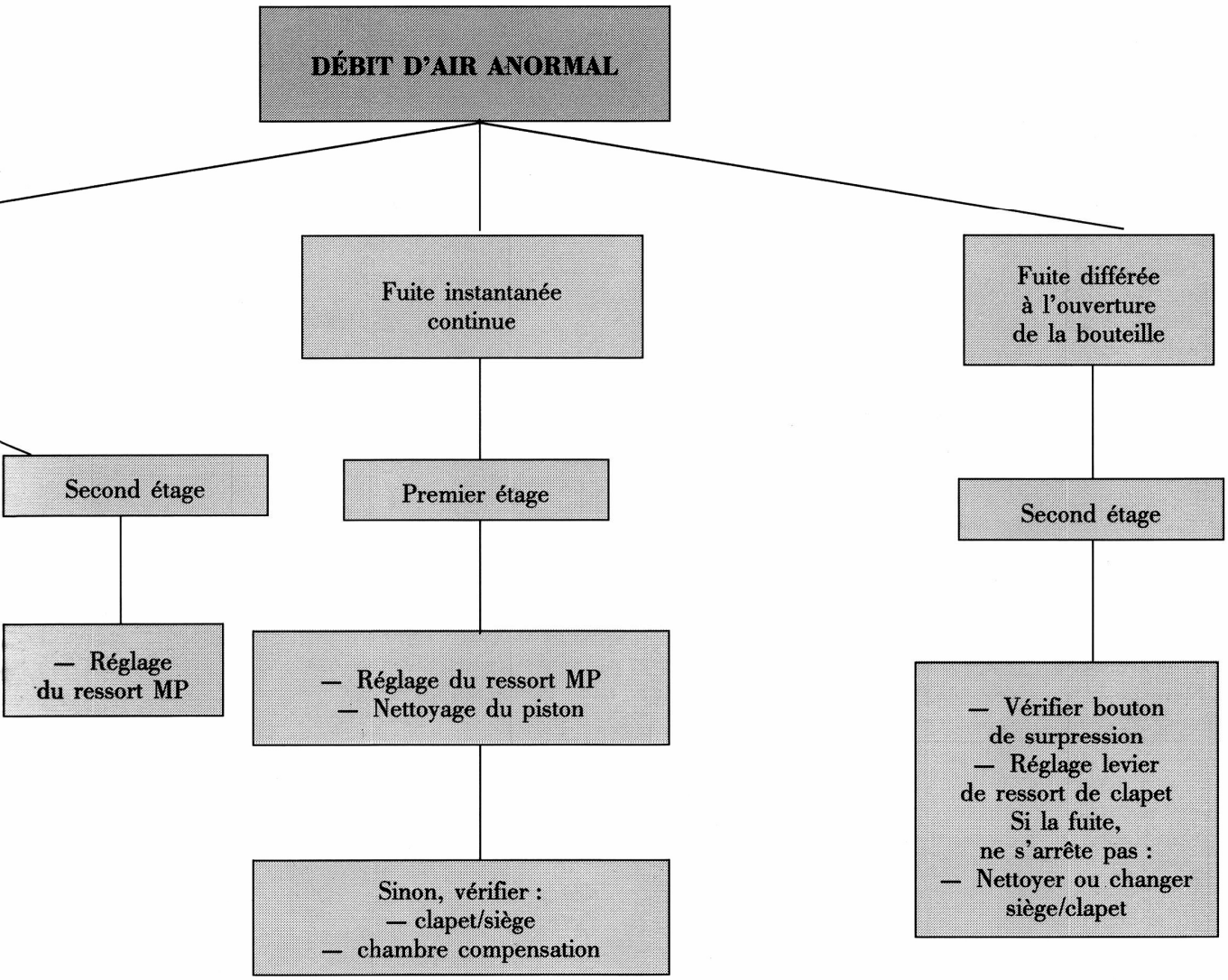

DÉBIT D'AIR ANORMAL
Fuite instantanée continue
Fuite différée à l'ouverture de la bouteille
Second étage
Premier étage
Second étage
— Réglage du ressort MP
— Réglage du ressort MP
— Nettoyage du piston
— Vérifier bouton de surpression
— Réglage levier de ressort de clapet
Si la fuite, ne s'arrête pas :
— Nettoyer ou changer siège/clapet
Sinon, vérifier :
— clapet/siège
— chambre compensation

TABLE DE PLONGÉE À L'AIR MARINE NATIONALE 1990 (TABLE M.N. AIR 90)

Les tables permettent le calcul des procédures de décompression d'une plongée simple et d'une plongée successive (tableaux 1 et 2). La vitesse de remontée est de 15 à 17 mètres par minute.

Dans la colonne « groupe de plongée successive », l'astérisque (*) signifie qu'une plongée successive ne peut être faite dans un délai de 8 heures suivant la première.

La MN 90 est établie pour des plongées allant jusqu'à 60 m, limite de la plongée professionnelle à l'air. La limite recommandée pour la plongée sportive étant la zone des 40 m, les tables sont données ici jusqu'à la profondeur de 45 m.

Profondeur	Durée de la plongée	Durée des paliers à					Durée totale de la remontée	Groupe de plongée successive
		15 m	12 m	9 m	6 m	3 m		
8 m	15						0,5	B
	30						0,5	C
	45						0,5	D
	1 h						0,5	E
	1 h 30						0,5	F
	1 h 45						0,5	G
	2 h 15						0,5	H
	2 h 45						0,5	I
	3 h 15						0,5	J
	4 h 15						0,5	K
	5 h						0,5	L
	6 h						0,5	M
6 m	15						0,4	A
	30						0,4	B
	45						0,4	C
	1 h 15						0,4	D
	1 h 45						0,4	E
	2 h 15						0,4	F
	3 h						0,4	G
	4 h						0,4	H
	5 h 15						0,4	I
	6 h						0,4	J
10 m	15						0,6	B
	30						0,6	C
	45						0,6	D
	1 h						0,6	F
	1 h 15						0,6	G
	1 h 45						0,6	H
	2 h						0,6	I
	2 h 15						0,6	J
	2 h 45						0,6	K
	3 h						0,6	L
	4 h						0,6	M
	4 h 15						0,6	N
	5 h 15						0,6	0
	5 h 30						0,6	P
	6 h					1	2	P
12 m	5						1	A
	15						1	B
	25						1	C
	35						1	D
	45						1	E
	55						1	F
	1 h 05						1	G

Profondeur	Durée de la plongée	Durée des paliers à					Durée totale de la remontée	Groupe de plongée successive
		15 m	12 m	9 m	6 m	3 m		
12 m	1 h 20						1	H
	1 h 30						1	I
	1 h 45						1	J
	2 h						1	K
	2 h 15						1	L
	2 h 20					2	3	L
	2 h 30					4	5	M
	2 h 40					6	7	M
	2 h 50					7	8	N
	3 h					9	10	N
	3 h 10					11	12	N
	3 h 20					13	14	O
	3 h 30					14	15	O
	3 h 40					15	16	O
	3 h 50					16	17	O
	4 h					17	18	O
	4 h 10					18	19	P
15 m	5						1	A
	10						1	B
	15						1	C
	20						1	C
	25						1	D
	30						1	E
	35						1	E
	40						1	F
	45						1	G
	50						1	G
	55						1	H
	1 h						1	H
	1 h 05						1	I
	1 h 10						1	I
	1 h 15						1	J
	1 h 20					2	3	J
	1 h 25					4	5	K
	1 h 30					6	7	K
	1 h 35					8	9	L
	1 h 40					11	12	L
	1 h 45					13	14	L
	1 h 50					15	16	M
	1 h 55					17	18	M
	2 h					18	19	M
	2 h 10					22	23	*
	2 h 20					25	26	*
	2 h 30					28	29	*
18 m	5						1	B
	10						1	B
	15						1	C

Profondeur	Durée de la plongée	Durée des paliers à					Durée totale de la remontée	Groupe de plongée successive
		15 m	12 m	9 m	6 m	3 m		
18 m	20						1	D
	25						1	E
	30						1	F
	35						1	F
	40						1	G
	45						1	H
	50						1	H
	55					1	2	I
	1 h					5	6	J
	1 h 05					8	9	J
	1 h 10					11	12	K
	1 h 15					14	15	K
	1 h 20					17	18	L
	1 h 25					21	22	L
	1 h 30					23	24	M
	1 h 35					26	27	M
	1 h 40					28	29	M
	1 h 45					31	32	N
	1 h 50					34	35	N
	1 h 55					36	37	N
	2 h					38	39	O
	2 h 10					42	43	*
	2 h 20					46	47	*
	2 h 30					51	52	*
20 m	5						1	B
	10						1	B
	15						1	D
	20						1	D
	25						1	E
	30						1	F
	35						1	G
	40						1	H
	45					1	2	J
	50					4	5	K
	55					9	10	K
	1 h					13	14	L
	1 h 05					16	17	M
	1 h 10					20	21	M
	1 h 15					24	25	N
	1 h 20					27	28	N
	1 h 25					30	31	N
	1 h 30					34	35	O
	1 h 35					37	38	*
	1 h 40					40	41	*
	1 h 45					43	44	*
	1 h 50					45	46	*
	1 h 55					48	49	*
	2 h				1	49	51	*

Profondeur	Durée de la plongée	Durée des paliers à					Durée totale de la remontée	Groupe de plongée successive
		15 m	12 m	9 m	6 m	3 m		
22 m	5						2	B
	10						2	C
	15						2	D
	20						2	E
	25						2	F
	30						2	G
	35						2	H
	40					2	4	I
	45					7	9	I
	50					12	13	J
	55					16	17	K
	1 h					20	21	K
	1 h 05					25	26	L
	1 h 10					29	30	L
	1 h 15					33	34	M
	1 h 20					37	38	M
	1 h 25					41	42	N
	1 h 30					44	45	N
	1 h 35				2	46	49	*
	1 h 40				4	47	52	*
	1 h 45				5	49	55	*
	1 h 50				7	51	59	*
	1 h 55				11	53	63	*
	2 h				11	55	67	*
25 m	5						2	B
	10						2	C
	15						2	D
	20						2	E
	25					1	3	F
	30					2	4	H
	35					5	7	I
	40					10	12	J
	45					16	18	J
	50					21	23	K
	55					27	29	L
	1 h					32	34	L
	1 h 05					37	39	M
	1 h 10				1	41	44	M
	1 h 15				4	43	49	N
	1 h 20				7	45	54	N
	1 h 25				9	48	59	O
	1 h 30				11	50	63	O
	1 h 35				14	51	67	*
	1 h 40				16	54	72	*
	1 h 45				19	56	77	*
	1 h 50				21	59	82	*
	1 h 55				23	61	86	*
	2 h				24	63	89	

Profondeur	Durée de la plongée	Durée des paliers à					Durée totale de la remontée	Groupe de plongée successive
		15 m	12 m	9 m	6 m	3 m		
28 m	5						2	B
	10						2	D
	15						2	E
	20					1	3	F
	25					2	4	G
	30					6	8	H
	35					12	14	I
	40					19	21	J
	45					25	27	K
	50					32	34	L
	55				2	36	40	M
	1 h				4	40	46	M
	1 h 05				8	43	53	N
	1 h 10				11	46	59	N
	1 h 15				14	48	64	O
	1 h 20				17	50	69	O
	1 h 25				20	53	75	O
	1 h 30				23	56	81	P
	1 h 35				26	58	86	*
	1 h 40				28	61	91	*
	1 h 45				30	64	96	*
	1 h 50			1	32	67	102	*
	1 h 55			2	34	70	108	*
	2 h			3	36	73	114	*
30 m	5						2	B
	10						2	D
	15					1	3	E
	20					2	4	F
	25					4	6	H
	30					9	11	I
	35					17	19	J
	40					24	26	K
	45				1	31	34	L
	50				3	36	41	M
	55				6	39	47	M
	1 h				10	43	55	N
	1 h 05				14	46	62	N
	1 h 10				17	48	67	O
	1 h 15				20	50	72	*
	1 h 20				24	54	80	*
	1 h 25				27	57	86	*
	1 h 30				30	60	92	*
32 m	5						2	B
	10						2	D
	15					1	3	E
	20					3	5	G
	25					6	8	H
	30					14	16	I

Profondeur	Durée de la plongée	Durée des paliers à					Durée totale de la remontée	Groupe de plongée successive
		15 m	12 m	9 m	6 m	3 m		
32 m	35					22	24	K
	40				1	29	32	K
	45				4	34	40	L
	50				7	39	48	M
	55				11	43	56	N
	1 h				15	46	63	N
	1 h 05				19	48	69	O
	1 h 10				23	50	75	O
	1 h 15				27	54	83	*
	1 h 20			2	29	58	91	*
	1 h 25			4	30	61	97	*
	1 h 30			6	32	64	104	*
35 m	5						2	C
	10						2	D
	15					2	4	F
	20					5	7	H
	25					11	13	I
	30				1	20	23	J
	35				2	27	31	K
	40				5	34	41	L
	45				9	39	50	M
	50				14	43	59	N
	55				18	47	67	N
	1 h				22	50	74	O
	1 h 05			2	26	52	82	*
	1 h 10			4	28	57	91	*
	1 h 15			7	30	60	99	*
	1 h 20			10	31	64	107	*
	1 h 25			12	33	69	116	*
	1 h 30			14	36	72	124	*
38 m	5						2	C
	10					1	3	E
	15					4	6	F
	20					8	10	H
	25				1	16	19	J
	30				3	24	29	K
	35				5	33	40	L
	40				10	38	50	M
	45				15	43	60	N
	50				20	47	69	N
	55			2	23	50	77	O
	1 h			5	27	53	87	P
	1 h 05			8	29	58	97	*
	1 h 10			11	31	62	106	*
	1 h 15			14	33	66	115	*
	1 h 20			17	35	71	125	*
	1 h 25			20	36	76	134	*
	1 h 30			23	38	81	144	*

Profondeur	Durée de la plongée	Durée des paliers à					Durée totale de la remontée	Groupe de plongée successive
		15 m	12 m	9 m	6 m	3 m		
40 m	5						3	C
	10					2	5	E
	15					4	7	G
	20				1	9	12	H
	25				2	19	23	J
	30				4	28	34	K
	35				8	35	45	L
	40				13	40	55	M
	45			1	18	45	66	N
	50			2	23	48	75	O
	55			5	26	52	85	O
	1 h			8	29	57	96	P
	1 h 05			12	31	61	106	*
	1 h 10			15	33	66	116	*
	1 h 15			18	35	71	126	*
	1 h 20		1	21	37	75	136	*
	1 h 25		3	23	38	82	148	*
	1 h 30		5	24	39	88	158	*
42 m	5						3	C
	10					2	5	E
	15					5	8	G
	20				1	12	16	I
	25				3	22	28	J
	30				6	31	40	L
	35				11	37	51	M
	40			1	16	43	63	N
	45			3	21	47	74	*
	50			6	24	50	83	*
	55			8	29	55	95	*
	1 h			13	30	60	106	*
45 m	5						3	C
	10					3	6	F
	15				1	6	10	H
	20				3	15	21	I
	25				5	25	33	K
	30				9	35	47	L
	35			1	15	40	59	M
	40			3	20	46	72	N
	45			6	24	50	83	*
	50			10	28	54	95	*
	55			14	30	60	107	*
	1 h		1	18	32	65	119	*

Détermination de la tension d'azote résiduel (TAR) en bars (tableau 1)

Groupe de plongée successive	Arrivée en surface	INTERVALLES					
		15 min	30 min	45 min	1 h	1 h 30	2 h
A	0,84	0,84	0,83	0,83	0,83	0,82	0,82
B	0,89	0,88	0,88	0,87	0,86	0,85	0,85
C	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87
D	0,98	0,97	0,95	0,94	0,93	0,91	0,89
E	1,02	1,00	0,98	0,97	0,96	0,93	0,91
F	1,07	1,05	1,03	1,01	0,99	0,96	0,94
G	1,11	1,08	1,06	1,04	1,02	0,98	0,96
H	1,16	1,13	1,10	1,08	1,05	1,01	0,98
I	1,20	1,17	1,14	1,11	1,08	1,04	1,00
J	1,24	1,20	1,17	1,14	1,11	1,06	1,02
K	1,29	1,25	1,21	1,18	1,15	1,09	1,04
L	1,33	1,29	1,25	1,21	1,17	1,12	1,07
M	1,38	1,33	1,29	1,25	1,21	1,14	1,09
N	1,42	1,37	1,32	1,28	1,24	1,17	1,11
O	1,47	1,41	1,36	1,32	1,27	1,20	1,13
P	1,51	1,45	1,40	1,35	1,30	1,22	1,15

Groupe de plongée successive	Arrivée en surface	INTERVALLES				
		2 h 30	3 h	4 h	6 h	8 h
A	0,84	0,82	0,81	0,81	0,81	0,80
B	0,89	0,84	0,83	0,82	0,81	0,81
C	0,93	0,85	0,85	0,83	0,82	0,81
D	0,98	0,88	0,86	0,85	0,82	0,81
E	1,02	0,89	0,88	0,86	0,83	0,81
F	1,07	0,91	0,90	0,87	0,83	0,82
G	1,11	0,93	0,91	0,88	0,84	0,82
H	1,16	0,95	0,93	0,89	0,85	0,82
I	1,20	0,97	0,94	0,90	0,85	0,83
J	1,24	0,98	0,96	0,91	0,86	0,83
K	1,29	1,01	0,97	0,92	0,86	0,83
L	1,33	1,02	0,99	0,93	0,87	0,83
M	1,38	1,04	1,01	0,94	0,87	0,84
N	1,42	1,06	1,02	0,95	0,88	0,84
O	1,47	1,08	1,04	0,97	0,88	0,84
P	1,51	1,10	1,05	0,98	0,89	0,84

Détermination de la majoration (en minutes) pour une plongée successive (tableau 2)

Tension d'azote résiduel	PROFONDEUR DE LA 2e PLONGÉE						
	12 m	15 m	18 m	20 m	22 m	25 m	28 m
0,82	4	3	2	2	2	2	2
0,84	7	6	5	4	4	3	3
0,86	11	9	7	7	6	5	5
0,89	17	13	11	10	9	8	7
0,92	23	18	15	13	12	11	10
0,95	29	23	19	17	15	13	12
0,99	38	30	24	22	20	17	15
1,03	47	37	30	27	24	21	19
1,07	57	44	36	32	29	25	22
1,11	68	52	42	37	34	29	26
1,16	81	62	50	44	40	34	30
1,20	93	70	56	50	45	39	34
1,24	106	79	63	56	50	43	38
1,29	124	91	72	63	56	49	43
1,33	139	101	79	70	62	53	47
1,38	160	114	89	78	69	59	52
1,42	180	126	97	85	75	64	56
1,45	196	135	104	90	80	68	59

Tension d'azote résiduel	PROFONDEUR DE LA 2e PLONGÉE						
	30 m	32 m	35 m	38 m	40 m	42 m	45 m
0,82	1	1	1	1	1	1	1
0,84	3	3	2	2	2	2	2
0,86	4	4	4	3	3	3	3
0,89	7	6	6	5	5	5	4
0,92	9	8	8	7	7	6	6
0,95	11	10	10	9	8	8	7
0,99	14	13	12	11	11	10	9
1,03	17	16	15	14	13	12	11
1,07	21	19	18	16	15	15	13
1,11	24	22	20	19	18	17	16
1,16	28	26	24	22	21	20	18
1,20	32	29	27	24	23	22	20
1,24	35	33	30	27	26	24	23
1,29	40	37	33	30	29	27	25
1,33	43	40	36	33	31	30	28
1,38	48	44	40	37	35	33	30
1,42	52	48	43	39	37	35	33
1,45	55	51	46	42	39	37	34

Bibliographie thématique

APPRENDRE LA PLONGÉE

Arzillier C., *Plonger pour le plaisir* (préparation au niveau 1 et 2), 1989.

Bergero J., *Premiers Contacts avec la plongée sous-marine*, FFESSM, comité régional Côte d'Azur, 1989.

Delmas A., *Plongée, tendre inconnue*, 1989.

FFESSM, *Le Brevet élémentaire*, Commission technique nationale, 1982.

Jeant D., *Code Vagnon de la plongée : brevets de plongée niveau 1*, les Éditions du plaisancier, 1991.

La Plongée : un métier, un plaisir, Éditions Nathan et Spirotechnique, 1986.

La Plongée en apnée, Apnéa, hors série, 1991.

La Plongée, loisir, passion, technique, Apnéa, hors série, 1993.

Louisy P. et Montseny J.-P., *Passions sous la mer*, Éditions Solar, 1993.

Malamas J.-P., *Apprendre à plonger : un jeu d'enfants*, Éditions Vigot, 1989.

Mioulane P. et Oyhenart J.-M., *Plongée passion*, Éditions Hachette, 1993.

Molle P. et Rey P., *Plongée subaquatique*, Éditions Amphora, 1992.

Oliviero C., *Plongée sous-marine : découverte, technique, entraînement*, Éditions R. Laffont, 1989.

Poulet G. et Barincou R., *La Plongée : connaissance et technique*, Éditions Denoël, 1993.

La Plongée, de l'initiation au niveau 1 (brevet élémentaire), 1991, vidéo FFESSM.

APPROFONDIR LA TECHNIQUE

Arzillier C., *Le SuBACquatique, Introduction aux métiers de plongeur*, CIP Bendor, 1994.

Averous J.-L., *Le Matériel de plongée sportive*, Librairie du plongeur, 1988.

Bonnin J.-P., Grimaud C., Happey J.-C. et J.-M. Strub, *La Plongée sous-marine sportive*, coll. Masson, 1991.

Bourdelet P., *20 000 Bouées sous les mers*, Librairie du plongeur, 1990.

Broner J.-M., *Droit et plongée*, 1992.

Corriol J. et Bouffil-Corriol N., *Une histoire de la plongée sous-marine : réflexions sur l'évolution des techniques*, coll. « Impressions hyperbares », 1984.

FFESSM, *Les Brevets de plongée*, Commission technique nationale, 1992.

Fructus X. et Sciarli R., *La Plongée : santé et sécurité*, Éditions maritimes et d'outre-mer, 1992.

Guillemin C., *Plonger dans l'étude du matériel*, 1987.

Imbert F., *Utilisation des nouvelles tables de plongée « Marine nationale 90 »*, Librairie du plongeur, 1992.

La Plongée en apnée, Librairie du plongeur, 1989.

La Spirotechnique, matériel, mémoire de stage, 3 vol., 1992.

Meliet J.-L., *Les Accidents de plongée : diagnostic et traitement*, Librairie du plongeur, 1991.

Molle P., *Enseigner et organiser la plongée*, Éditions Amphora, 1987.

Villevieille P., *Guide de la préparation au niveau 4*, Éditions GAP, 1993.

GUIDES SOUS-MARINS

Bauchot M.-L. et Pras A., *Guide des poissons marins d'Europe,* Delachaux et Niestlé, 1980.

Boudouresque C. F. et Meinesz A., *Découverte de l'herbier de posidonies*, Parc national de Port-Cros, cahier n°4, 1982.

Bougis P. et Dejean-Arrecgros J., *Guide nature mer Méditerranée,* Édimo, 1991.

Cabioc'h J., Floc'h J. Y., Le toquin A., Boudouresque C. F., Meinesz A. et Verlaque M., *Guide des algues des mers d'Europe,* Delachaux et Niestlé, 1992.

Campbell A. C. et Nicholls J., *Guide de la faune et de la flore littorales des mers d'Europe,* Delachaux et Niestlé, 1979.

Centeilles J., *Les Dedans de la mer Méditerranée d'hier et d'aujourd'hui,* Sofreix, 1979.

Fiala-Médioni A., Pétron C. et Rives C., *Guide sous-marin de la Méditerranée*, Flammarion, 1987.

Gayral P. et Cosson J., *Connaître et reconnaître les algues marines,* Ouest France, 1986.

Harmelin-Vivien M. et Harmelin J. G., *Poissons de la Méditerranée,* Delachaux et Niestlé, 1990.

Harmelin J.-G., Vacelet J. et C. Pétron, *Méditerranée vivante. Promenades à la rencontre de la faune et de la flore,* Glénat, 1987.

Luther W. et Fiedler K., *Guide de la faune sous-marine des côtes méditerranéennes,* Delachaux et Niestlé, 1982.

Parc naturel régional de la Corse, *Poissons de Corse et de Méditerranée*, 1980.

Riedl R., *Fauna y flora del mar Mediterraneo*, Omega, 1986.

Turquier Y. et Loir M., *Connaître et reconnaître la faune du littoral,* Ouest-France, 1981.

Weinberg S., *Découvrir la Méditerranée. Du rivage à 40 m de fond,* Nathan, 1992.

Weinberg S., *Découvrir l'Atlantique, la Manche et la mer du Nord*, Nathan, 1994.

OUVRAGES DE RÉFÉRENCE EN ÉCOLOGIE

Dajoz R., *Précis d'écologie,* Dunod Université, 1985.

Pérès J.-M., *Précis d'océanographie biologique,* Presses Universitaires de France, 1976.

Ramade F., *Éléments d'écologie. Écologie appliquée,* Mc Graw-Hill, 1984.

Idem, *Éléments d'écologie. Écologie fondamentale,* Mc Graw-Hill, 1984.

OUVRAGES DE RÉFÉRENCE EN ZOOLOGIE

Beaumont A. et Cassier P., *Biologie animale, des protozoaires aux métazoaires épithélioneuriens,* t. I et II, Dunod Université, 1978.

Idem, *Biologie animale : les cordés, anatomie comparée des vertébrés,* Dunod Université, 1980.

Grzimek B. et Stauffacher, *Le Monde animal,* 13 vol. *Encyclopédie de la vie des bêtes*, Stauffacher S A (1975). T. I. *Animaux inférieurs.* T. III. *Mollusques et échinodermes.* T. IV et V *Poissons.*

PHOTOGRAPHIE SOUS-MARINE

Martin-Razi P., *Comment photographier la mer*, Océan Sub.

Pétron C., Chenz et Rives C., *La Prise de vue sous-marine*, Filipacchi-Denoël, 1979.

Weinberg S., Dogué P.-J., Neuschwander J. et Schrotter A., *100 ans de photographie sous-marine*, Alain Schrotter éditions, 1994.

REVUES DE PLONGÉE

Apnéa. Le monde de la mer/Océans.

Subaqua (revue officielle de la FFESSM).

ITINÉRAIRES DE PLONGÉE

Joncheray J.-P., *Portraits d'épaves*, Éditions Océans, numéro hors série.

Mouton P., *300 Belles Plongées en Méditerranée. Côtes françaises. II Océans Sub.*, numéro hors série n° 10, 1992.

Plongées en Atlantique (*Océans*).

Plongées en Corse (*Le Monde de la mer*).

Piarrot D. et Depont J.-F., *Plongées aux îles de Marseille. Les 60 plus belles*, Corail Noir, 1991.



INDEX DES ESPÈCES

Acetabularia acetabulum, 176
Actinia equina, **248**
Actinie rouge, **248**
Aglaophenia sp., 179
Aigle de mer, 192
Aiptasia mutabilis, 181
Aiptasie verte, 181
Alcyonaire, 181, **208**, 216
Alcyonium palmatum, 181, **208**
Alcyon méditerranéen, 181
Algue, 175
Algue à crochets, 177
Algue brune, 155, 175, 176
Algue en balais, **108**, 149, **177**, **213**
Algue rouge, 39, 175, **148**
Algue verte, 147, **157**, **158**, **175**
Anémone, 181, 202
Anémone encroûtante jaune, **155**, 178, 181
Anémone verte, 181
Anemonia sulcata, **19**, 181
Antedon mediterranea, 191
Anthias anthias, **148**, **193**, 196
Anthozoaires, 181
Aplysia depilans, 186
Aplysina aerophoba, **143**, 178, **204**, **215**
Araignée, **250**
Arbacia lixula, 190
Arthropodes, 173, 183
Ascidie, 40, 146, 192, 202, 212, **229**
Ascidie coloniale, **192**
Ascidie rouge, 40, 148, **191**, 192, **208**
Ascidie sociale, 192
Asparagopsis armata, 177
Astérie pentagonale, 190
Asterina gibbosa, 190
Astraea rugosa, **186**
Axinella damicornis, 178
Axinella polypoides, **93**, 152, 178, **248**
Axinelle branchue, 213
Axinelle commune, 178
Axinelle plate, 178
Balane, 224
Baleine, 198
Barbier, **148**, **193**, 196
Biju, 40, 192
Bivalve, 173, 185, 186
Blennie de Roux, **197**
Blennius rouxi, **197**
Bogue, 195
Bonellia viridis, 182, **183**
Bonellie, 182, 183, **183**
Boops boops, 195
Botryllus schlosseri, 192
Bryozoaire, 40, 146, 152, 173, **186**, 188, 202, 212
Cachalot, 198, 199
Callionymus risso, **114**
Calmar, 185, 186, 195
Castagnolle, 196
Caulerpa taxifolia, 158, 226, **240**, **241**
Caulerpe, **240**, **241**
Céphalopode, 173, 185,186
Cerianthus membranaceus, **182**
Cérianthe, 145, **182**
Cétacé, 198, 236
Chapon, 196
Chiton, **185**, 212
Chromis chromis, 196
Cirripède, 183
Cladocora caespitosa, 181, 258
Cladocore, 181
Clavelina lepadiformis, 192
Claveline, 192
Cliona viridis, 178
Clione verte, 178
Cnidaires, 178, 181
Codium bursa, 107, 175, 176
Codium en boule, 175, 176
Codium fragile, **213**
Comatule, 191
Concombre de mer, 40, 190
Conger conger, 196
Congre, 196
Copépode, **183**
Coquette, **193**, 195
Corail, 148, 152
Corail rouge, 40, **148**, 181, 186. 213, **227**
Corail solitaire jaune, 181
Corallina elongata, 177, 207. 217
Coralline, 39, 173, 177, 217
Corallium rubrum, **148**, 181. 213, **227**
Coraux tropicaux, 181, 213, **215**
Corb, **150**, 234, 236, **262**
Coris Julis, **28**, **78**, 195
Crabe, 183, 184
Crambe crambe, **108**, 178
Crénilabre paon, **17**, **193**, 195
Crinoïdes, 191
Crustacé, 183
Cymodocea nodosa, 177
Cymodocée, 177
Cystoseira, **207**
Cystoseire, 176, 214
Datte de mer, 186
Dauphin, 198, **199**, 236
Dentelle de Neptune, 40, 42. 148, 188, **259**
Dentex dentex, **153**, 233
Denti, **153**, 195, 233, 236, **262**
Dicentrarchus labrax, 195
Dictyopteris membranacea, 176. 212
Dictyota, 212
Dictyote, 212
Dictyota dichotoma, 176
Dinoflagellé, **206**
Dinophysis, 226
Diplodus annularis, 195
Diplodus cervinus, **219**, 233
Diplodus sargus, **28**, **193**, 233
Dorade, 195, 233
Doris maculé, **185**
Dragonnet, **114**
Echinaster sepositus, **98**, **189**, 190
Échinoderme, 188, 191
Échiurien, 182
Epinephelus marginatus, **150**, 194, 195
Éponge, 152, 178
Éponge épineuse blanche, **179**
Éponge jaune, **143**, **204**, **215**, **248**
Escargot de mer, 173, 85
Étoile de mer, 42, 190
Étoile de mer glaciaire, **189**, 190
Étoile de mer rouge, **98**, **189**, 190
Étrille, 205
Eucaride, 183
Eudendrium sp., 179
Eunicella stricta, 181, **203**
Eunicella cavolinii, **203**
Eupolymnia nebulosa, **182**
Faux corail, 155, 188
Fucus, 176
Galathea strigosa, 184
Galathée, **184**, 205
Gastéropode, 173, 185
Girelle, **28**, **78**, **106**, 195
Gobie, 197
Gorgone, **37**, 39, 181, **209**, **256**, **257**
Gorgone blanche, 181, **203**, **213**, **217**
Gorgone jaune, **203**, **217**
Gorgone rouge, **53**, **97**, 152, 181, **216**, **217**, **246**, **253**
Gorgone orange, **181**
Grande cigale, 236
Grande nacre, 146, 236
Hacelia attenuata, **98**, 190
Halimeda tuna, 148, **176**
Halocynthia papillosa, **191**, 192, **208**
Halopteris scoparia, 149, 155, 176, **177**, **213**
Hamigera hamigera, 178
Hexacoralliaire, 181

Hippocampus hippocampus, **197**
Hippocampe, **197**
Hippodiplosia foliacea, 188, 213
Holothurie, 189, **191**, 205, **211**, 212
Holothuria forskali, **191**
Homarus gammarus, 183
Homard, 183
Huître, 42, 173, 186
Hydraire, 40, 152, **179**, 179, 202
Ircinia sp., **179**
Jambonneau, 186
Krill, 198
Labre, 15, **17**, **78**, 195, 233
Labre merle, 195, **237**
Labridés, **193**, 195
Labrus bimaculatus, **193**, 195
Labrus melanocercus, 195
Labrus merula, 195, **237**
Laminaire, 176
Langouste, 183, **184**
Lepadogaster, 212
Leptosamnia pruvoti, 181
Liche, 206
Lièvre de mer, 186
Limace de mer, 40
Lion de mer, 199
Lithophaga lithophaga, 186
Lithophyllum tortuosum, 176
Loligo vulgaris, 186
Lophogorgia ceratophyta, **181**
Loup, 195, 196, 206
Madréporaire, 181, **258**
Maia squinado, **250**
Mammifère marin, 198
Maquereau, 206
Marthasterias glacialis, **189**, 190
Méduse, 179, **180**
Mendole, 195
Mérou, 149, **150**, 194-196, **234**, 236, **238**, **255**
Microcosmus sabatieri, 192
Mollusque, 173, 185
Morse, 199
Mostelle, 234, **237**
Moule, 186, **222**
Mulet, 15
Mullidés, 196
Mullus surmuletus, **195**, 196
Muraena helena, 196
Murène, 196
Murex, 211
Myliobatis aquila, 192
Myriapora truncata, **186**, 188
Mysticète, 198
Mytilidés, 173
Mytilus galloprovincialis, 173
Nacre, 186, **186**
Nassarius incrassatus, 186
Natica, 186
Natice, 186
Nudibranche, **185**, **211**
Oblada melanura, **108**, 195
Oblade, **108**, 195
Octoralliaire, 181
Octopus macropus, **172**
Octopus vulgaris, **29**, **172**
Odobénidés, 199
Odontocete, 198
Ophiocomina nigra, **190**
Ophiura texturata, **146**
Ophiure, **146**, 190
Ophiure noire, **190**
Ormeau, 212, 222
Orque, 198
Ostrea edulis, 173
Otaridé, 199
Otarie, 198, 199
Oursin, 16
Oursin comestible, 189
Oursin irrégulier, 189
Oursin noir, 190
Oursin régulier, 189
Oursin violet, **189**, 190
Padina pavonica, 149, 176, **177**, **213**
Padine, 149, 176, **177**, **213**
Palinurus vulgaris, 183, **184**
Paracentrotus lividus, 189
Paramuricea clavata, **91**, 152, 181
Parazoanthus axinellae, **155**, 178, 181, **216**
Parerythropodium coralloides, **216**
Patella ferruginea, 236
Patelle, 185
Patelle géante, 236
Peltodoris atromaculata, **185**
Peracaride, 183
Petite cigale, 184, 205
Petite roussette, 192
Peyssonnelia squamaria, **148**, 177
Phanérogame, **177**, 236
Phocidé, 199
Phoque, 198, 199
Phoque moine, 199, 236
Phycis blennoides, **237**
Pinna nobilis, 186, **186**, 236
Pinnipède, 198, 199
Pleurobranche tortue, **145**
Pleraplysilla spinifera, **179**
Plumulaire, 179
Poisson, 192
Poisson cartilagineux, 192
Poisson osseux, 195
Poisson plat, 146
Polymnie, **182**
Polysyncraton lacazei, 192
Pomacentridés, 196
Porella cervicornis, **186**
Posidonia oceanica, 177
Posidonie, **16**, **147**, **177**
Poulpe, **29**, **172**, 185, 186
Priacanthus, **251**
Pseudolithophyllum expansum, 177
Raie, 192
Rascasse, 196, **235**
Rascasse brune, **195**, 196
Rascasse pustuleuse, 196
Rascasse rouge, **40**, 196
Requin, 192
Rhizostomes, **180**
Rhizostoma pulmo, **180**
Rose des mers, 188, 213
Rouget de roche, 195, 196
Roussette, 193
Roussette (œuf), **97**, **192**
Salmacyna, 216
Sar, 16, **28**, **193**, 195
Sar commun, **28**, 233, **193**
Sar tambour, **219**, 233, 234
Sargasse, 176
Sciaena umbra, **150**
Scorpaena notata, 196
Scorpaena porcus, **195**, 196
Scorpaena scrofa, **40**, 196, **235**
Scorpaenidés, 196
Scyliorhinus canicula, **97**, 192
Scyllarus arctus, 184
Scyllarus latus, 236
Scyphozoaires, 179
Sepia officinalis, 186, **186**
Seiche, **186**, 187
Serpule, 182, 212
Serpulidé, 182
Serranidé, 195
Serran, 195, 196, 233, **235**
Serranus cabrilla, 233, **235**
Serranus sp., 196
Sertella septentrionalis, 188, **259**
Sole, 197
Sparidé, 195
Sparillon, 195
Sparus aurata, 233
Sphaerechinus granularis, **189**, 190
Sphaerococcus coronopifolius, 177
Sphérocoques, 150, 177
Spirographe, **38**, 39, 182
Spirographis spallanzanii, **38**, 182
Susania testudinaria, **145**
Symphodus tinca, 195
Syngnathe, 197
Torpedo marmorata, 192
Torpille, 192
Tripterygion tripteronotus, 197
Tryptérigions, 197
Turbo rugueux, **186**
Turbellariés 182

Tylodina perversa, **204**
Ulva *lactuca*, 176
Ulva sp., 158
Ulve, **176**
Udotea petiolata, **157**
Ver, 182
Ver plats, 182
Ver polychète, **38**, 152, **182**, 216
Violet, 40, 192
Vive, 146
Zooxanthelle, 213, 215

INDEX SCIENTIFIQUE

Agrégat particulaire, 209
Autorégulation, 222
Benthique, 205
Benthos, 205
Biocénose, 202
Biomasse, 208
Biotope, 202
Bourgeonnement, 179
Branchie, 157
Brouteur, 210
Carnivore, 209
Cellules reproductrices, 176
Cellules sexuelles, 211
Chaîne alimentaire, 207-209
Cil vibratile, 186
Classe, 173
Climax, 223
Clonage, 212
Cnidocyste, 178
Colonie, 181
Compétition, 217
Comportement territorial, 197
Corde dorsale, 192
Cystide, 188
Déséquilibre écologique, 158, 190, 208, 223, 224
Détritivore, 210
Digestion externe, 210
Écosystème, 158, 202
Éléments minéraux, 208, 224, 226
Éléments nutritifs, 208
Embranchement, 173
Embryon, 193, 204
Enclave, 214
Encroûtant, 149, 156, 178
Énergie, 158
Équilibre naturel, 222
Érosion côtière, 146
Espèce, 173
Étage circalittoral, 214
Étage infralittoral, 214
Étage médiolittoral, 214
Étage supralittoral, 214
Évolution, 186, 202
Facteurs écologiques, 154, 158
Famille, 173
Fanon, 198, 199
Fécondation, 179, 211
Fœtus, 198
Forme dressée, 157, 178, 213
Frai, 229
Gamète, 179
Gaz carbonique, 206
Genre, 173
Gonade, 235
Herbivore, 186
Larve, 192
Limnivore, 210
Lumière, 40, 154, 213-217
Luminosité, 154
Macrophage, 210
Matte, 146, 230
Métamorphose, 192
Microphage, 210
Mimétisme, 196, 197
Minéralisation, 208
Mode battu, 156
Mode calme, 156
Molécules organiques, 206
Mue, 184
Necto-benthique, 205
Necton, 205
Nectonique, 205
Nom latin, 173
Nom vernaculaire, 173
Nutriments, 224
Ordre, 173
Organismes coloniaux, 181, 212
Oscule, 178
Panache tentaculaire, 182
Particules en suspension, 157, 209, 230
Particules nutritives, 153, 219
Pelagos, 205
Photosynthèse, 206, 207, 213
Phytoplancton, 228
Plancton, 205, 207
Plateau continental, 230
Poisson nettoyeur, 195
Pollution, 224
Polype, 179
Polypide, 179
Pores inhalants, 178
Prédateur, 210, 219
Profondeur de compensation, 213
Proie, 222
Récifs artificiels, 232
Récifs coralliens, 181
Régime alimentaire, 210
Règne, 173
Reproduction sexuée, 211-212
Reproduction végétative, 211-212
Squelette externe, 183
Stolon, 146
Substrat de fixation, 211
Substrat dur, 145
Substrat meuble, 145
Succession, 223
Suspensivore, 209, 210
Symétrie radiaire pentagonale, 189
Systématique, 172, 173
Système ambulatoire, 189
Système phytal, 214
Taxonomie, 173
Température, 154
Thalle, 176
Thermocline, 66, 154
Toxicité, 208, 219
Tributylétain, 228
Trottoir, 176
Turbidité, 214, 229, 230
Upwelling, 208
Vagile, 205
Zonation, 212-214, 219
Zooplancton, 183, 228

INDEX TECHNIQUE

Absorption, 140
Accidents de décompression, 92, 111
Accidents de plongée, 132, 133, 269
Alerte, 128
Alignement, 160
Amers, 160
Apnée, 25-31, 114
Apnée de contrôle, 62
Assistance, 64, 126-127
Assurance, 119
Autonomie, 47-89, 124
Avion (après une plongée), 101, 107, 114
Azote, 26, 52, 90
Azote résiduel, 94
B*ack-pack*, 34-35
Baptême de plongée, 32
Bar, 17, 35
Barotraumatisme, 19, 21, 50
Basse pression, 34, 81
Bec-de-canard, 81
Bends, 90, 111
Bloc-bouteille, 34, 134
Blood shift, 31
Bouche-à-bouche, 131
Boyle-Mariotte (loi de), 20, 86, 113
Caisson de recompression, 113, 128
Canard, 25, 78, 123
Capacité pulmonaire, 31, 58
Capacité vitale, 30
Ceinture de lest, 23, 24, 35, 77

Chaussons, 11, 24
Chronomètre, 54
Clapet, 56, 80, 81
Combinaison isothermique, 23, 24, 66, 72
Compartiment, 94
Compartiment directeur, 93
Compas, 168, 169
Compensation, 19, 36
Compresseur, 48, 86-87
Contre-indication, 119
Contrôleur de pression, 55
Courbe de sécurité, 52, 95
Dalton (loi de), 26
Décompression, 90, 110
Désaturation, 92
Détendeur, 32, 34, 36, 80-85, 135
Détendeur à un étage, 81
Détendeur à deux étages, 34, 80
Détendeur compensé, 85
Détendeur-inflateur, 76
Diffusion, 140
Direct système, 74
Durée de la plongée, 94
Échanges alvéolaires, 30
Échosondeur, 160
Effet de trompe, 85
Effet Venturi, 85
Épave, 151
Équilibrage (tympans), 10, 19
Équilibre hydrostatique, 23
Espace lointain, 53
Espace médian, 53
Espace proche, 53
Essoufflement, 63
Expiration, 26, 61, 63
Flottabilité, 23, 24, 71
Fréquence respiratoire, 58, 62
Froid, 66, 67
Gant, 23
Gaz carbonique, 26, 63
Gilet stabilisateur, 35, 37, 74-78, 127
Gradient, 92
Guide de palanquée, 43, 119
Haute pression, 34, 80, 83
Henry (loi de), 90
Hyperventilation, 28-29
Hypothermie, 67
Hypoxie, 29
Inflateur, 76
Inspiration, 26, 61
Ivresse des profondeurs, 124
Joint torique, 36, 134
Lampe de plongée, 140
Lestage, 24, 71-73
Licence, 119
Majoration, 97
Maladie de décompression, 110-114
Manœuvre de Valsava, 19, 21, 114
Manomètre, 55
Masque, 10, 12, 13, 45
Massage cardiaque, 131
Membrane, 80, 81
Membrane d'expiration, 85
Message d'urgence, 129
Mises à l'eau, 69, 70
Montre étanche, 54
Moyenne pression, 34, 80, 85
Narcose, 124
Néoprène, 23
Noyade, 29, 63
Ordinateur de plongée, 101, 109
Orientation, 159-169
Oxygène, 26, 29
Oxygénothérapie, 132
Palanquée, 43, 53
Palier de décompression, 52, 92, 115
Palmage, 12
Palmage de sustentation, 14, 27
Palme, 11, 12, 28
Parachute de palier, 115
Pavillon « A », 119
Pendeur, 32, 115
Période d'un compartiment, 92
Phoque, 25, 27, 78
Plongée consécutive, 99
Plongée de nuit, 152
Plongée en apnée, 25-31
Plongée en altitude, 101
Plongée en scaphandre, 32, 43
Plongée libre, 10, 31
Plongée profonde, 124
Plongée successive, 97-98, 114
Plongée multimétrique, 102
Poids apparent, 23
Poumons, 26
Poumon-ballast, 41, 72, 78
Poussée d'Archimède, 23, 27, 78
Premier étage (détendeur), 34, 36, 80-85
Premiers secours, 113, 128-132
Pression, 17, 20
Pression absolue, 19
Pression atmosphérique, 17
Pression hydrostatique ou relative, 19
Pression partielle, 26, 90
Principe d'Archimède, 23
Procédure de décompression, 96, 110
Profondimètre, 55
Purge (lente rapide), 77
Recompression, 113
Réépreuve, 132
Réflexe d'inspiration, 25
Réflexe respiratoire, 29
Réfraction, 139
Réflexion, 139
Réserve, 56, 57
Robinetterie, 34, 36, 56, 134
Rythme cardiaque, 30
Rythme respiratoire, 61-63
Sanglage Dumas, 34
Saturation, 90, 92
Saut droit, 70
Saut par bascule arrière, 70
Sauvetage, 127
Scaphandre autonome, 32
Second étage (détendeur), 34, 36, 85, 135
Siège, 36, 81, 134
Signes de plongée, 13-14, 43
Sinus, 19
Soupape de surpression, 66, 76
Sous-cutale, 34
Sous-saturation, 91
Surpression pulmonaire, 50, 63-65, 127
Sursaturation, 91
Sursaturation critique, 91, 93
Syncope, 28, 29
Table de plongée, 52, 94-101
Techniques d'immersion, 25, 27
Tension, 90
Tension en azote résiduel (TAR), 94
Tour d'horizon, 140
Trompe d'Eustache, 19
Tuba, 10, 12, 13
Tympan, 19
Vêtement sec, 66
Vidage du masque, 45
Vitesse de remontée, 52, 78, 113
Volume résiduel pulmonaire, 22, 31

Les références des index renvoient au texte, celles en gras aux légendes des illustrations.

TABLE

PRÉFACE 5

INTRODUCTION 6

LE GRAND PASSAGE 9
Libre de plonger 10
L'air de la mer 32

AUTONOMIE 47
Les conditions de l'autonomie respiratoire .. 48
Les contraintes de la respiration sous-marine 49
Gérer son autonomie 53
Inspirations, expirations 61
Économiser les calories 66
La troisième dimension 69
Les outils de l'autonomie : détendeurs et compresseurs 80

BULLES 89
Pré-en-bulles 90
Cartes sur tables 94
La pratique de la table 96
La décompression assistée 102
Le choix d'une procédure de décompression 110
Maladie de la décompression 110

HAUTE SÉCURITÉ 117
Prévenir et organiser 119
Porter secours 126
Entretenir le matériel 134

LES YEUX DANS LE BLEU 137
Visions déformées 139
Paysages d'eau 142
Parcours 159

SOUS LA SURFACE, UN MONDE VIVANT 171
Classer les êtres vivants 172
Les végétaux marins 175
Les éponges 178
Les cnidaires 178
Les vers 182
Les crustacés 183
Les mollusques 185
Les bryozoaires 188
Les échinodermes 188
Les ascidies 192
Les poissons 192
Les mammifères marins 198

SURVIVRE ET PROSPÉRER 201
Un style de vie 202
Le partage de l'espace 212

L'HOMME ET LA MER 221
Déséquilibres écologiques 222
Protection rapprochée 231
Respecter et protéger l'environnement 236

CLICHÉS SOUS LA MER 243
Mémoire de plongeur 244
Photo terrestre et photo sous-marine 245
Chambre noire 245
Prises de vues sous la surface 253
Des vues pour fixer la vie 255

CONCLUSION

ANNEXES
L'enseignement de la plongée sportive en France 266
Éléments de diagnostic en cas de détresse cardio-respiratoire 268
Conduite à tenir par un plongeur-secouriste en cas d'accident de plongée 269
Tableau-diagnostic des défauts de fonctionnement des détendeurs 270
Tables de plongée à l'air 272
Bibliographie 280
Index des espèces 283
Index scientifique 285
Index technique 285

REMERCIEMENTS

Bernard Azema, Hugo Bachofner, Nicolas Bailly, Daniel Bay, Jean-Louis Binche, Boris Boguinski, Philippe Borsa, André Boyer, Michel Bru, Jacques Camboulives, Sylvain Clanzig, Gérard Daniel, Marie Delamarre, Bruno Delesalle, Alain Delmas, Jacques Denis, Bruno Derose, Francis Descaves, Pierre et Anne Dieudonné, Brigitte Dutrieux, Sophia Fares, Patrice Francour, Frédéric Fradin, Guy-François et Thibaud Frisoni, Olivier et Michel Gayte, Éric Gazelle, Mireille Harmelin-Vivien, Yves Hénocque, Céline Humbert, Francis Imbert, Fréderic Jacomet, Patrick Jacquemot, Jean-Claude Iché, Michel Lauret, Pierre Lejeune, Jean-Pierre Montseny, Philippe Péchard, Frank Picot, Philippe Quévy, Axel Romaña, Bernard Renaudie, André Thiry dit « Ptilu », Jean Vacelet, Christine Veeschkens, Pierre Vogel.

Et aussi :

Stareso (Calvi), Club de plongée Octopus (Palavas), Association sportive et de prévention nautique de Carro, Commission départementale de biologie de l'Hérault, CIP de Saint-Gilles (Ile de la Réunion), Centre régional d'études et de sports sous-marins des Antilles.

La partie sur les mammifères marins a été rédigée par Hélène Petit du GECEM (Groupe d'étude des cétacés de Méditerranée).

Thibaud et Céline sont équipés par Le Vieux Plongeur et Imersion.

Ce livre a pu être réalisé grâce au soutien logistique ou matériel des organismes suivants : Institut des Aménagements Régionaux et de l'Environnement (Montpellier) ; Parc National de Port-Cros (Hyères) ; Réserve de Cerbère-Banyuls (Banyuls).

Les photographies ont été réalisées par Éric Dutrieux,
sauf pour les pages 158 et 176 haut :
Guy-François Frisoni ; 183 bas ; 206 : Bruno Delesalle
et 240 : Patrice Francour.

Le dessin de la page 84 a été réalisé d'après le schéma d'un détendeur de La Spirotechnique. Page 82, dessin d'après *La Plongée* de Guy Poulet et Robert Barincou, © by Éditions Denoël.

Illustrations :
YANN DE RENTY
Conception graphique :
CARMÈLE DELIVRÉ

ISBN : 2.09.260545-3
N° d'éditeur : 10045726 (I) - 5 - CSBTS 150°
Imprimé en France - Mai 1998
par Mame Imprimeurs à Tours (n° 98022260)



Mobile dans l'élément mobile, ainsi peut-on simplement définir le plongeur sous-marin dans son environnement. Pourtant, cette autonomie n'est pas une fin en soi, mais le moyen privilégié pour aller à la rencontre d'un monde unique fait de paysages infiniment variés et d'espèces animales et végétales qui n'ont d'autre domaine que les mers.

La plongée libre permet déjà, avec un équipement très simple, d'observer le foisonnement de la vie sous-marine dans les premiers mètres d'eau. Oublier la surface et prendre le temps de profiter de ces paysages devient bientôt une réalité grâce à la plongée autonome. Éboulis, surplombs, grottes, tombants rocheux et autres paysages méditerranéens typiques offrent alors les merveilles qu'ils abritent, de même que le coralligène et les épaves pour les plongeurs plus expérimentés.

La découverte et la connaissance de l'environnement sous-marin ne sont cependant possibles qu'à condition de maîtriser parfaitement les techniques de la plongée subaquatique. Aussi cet ouvrage donne-t-il les éléments de base nécessaires à une première incursion sous-marine accompagnée, en plongée libre et en scaphandre, jusqu'aux informations techniques complémentaires permettant d'accéder à l'autonomie.

Dès la première plongée, le plongeur est au contact d'un environnement fabuleux. Progressivement, il apprendra à le voir, à le connaître, à le comprendre, à le protéger et à le photographier pour prolonger son rêve. Ce livre complet, abondamment illustré, lui apportera l'aide théorique et pratique indispensable à chaque nouvelle étape.

Ingénieur agronome et docteur en écologie marine, **Éric Dutrieux** est responsable du secteur « nuisances et pollutions marines » dans un institut montpelliérain. Il est l'auteur de diverses publications scientifiques concernant la protection de la mer et la lutte contre les agressions dont elle est l'objet. Plongeur professionnel et photographe amateur, il a réalisé la plupart des clichés de cet ouvrage. Membre de la commission départementale de biologie de l'Hérault de la FFESSM, il encadre des stages au travers desquels il fait passer son expérience de la plongée, de la biologie et du respect de l'environnement.

Patrick Michel est docteur en océanographie biologique. Ingénieur-écologue, il est responsable des activités « environnement » d'une société d'ingénierie. Expert dans l'aménagement des littoraux, il réalise les études d'impact sur l'environnement des grands équipements et participe à l'élaboration des schémas de mise en valeur de la mer. Consultant international, il intervient pour former les cadres des pays riverains de la Méditerranée à la protection de l'environnement marin. Il est moniteur fédéral 2e degré de plongée subaquatique (FFESSM).

9 782092 605455

NATHAN