

MÉT



m é t é o r o l o g i e m a r i t i m e



revue trimestrielle / numéro 167 / juin 1995

MAIR



▲ 1 - Le navire océanographique *Tethys II* de la flotille du CNRS-INSU.

3 - Filet à plancton et ensemble rosette (bouteilles de prélèvement) - sonde CTD (courant, température, densité).

▼ 2 - Les pièges à particules sur le pont du navire océanographique *Tethys II*.



Dyfamed

Une station d'observation de l'environnement marin en Méditerranée

J.C. Marty – Laboratoire de physique et chimie marines, CNRS/INSU, observatoire de Villefranche-sur-mer.

J. Chiavérini – Laboratoire d'écologie du plancton marin, CNRS/INSU, observatoire de Villefranche-sur-mer.

J. La Rosa et J.C. Miquel – Laboratoire de l'environnement marin, AIEA, Monaco.

E

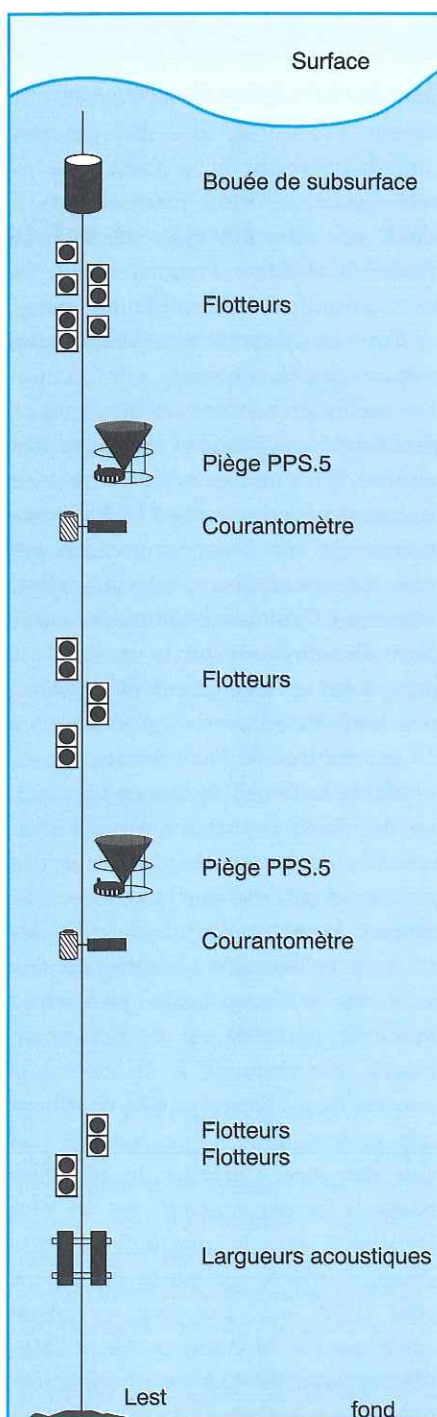
ntre continent et Corse, à 28 milles marins dans le 123° du cap Ferrat pour être précis, le *Tethys II* (photo 1) s'apprête à mettre à l'eau, par des fonds de 2 250-2 300 m, la ligne de mouillage Dyfamed. Ce mouillage permanent, que nous allons décrire en détail, constitue une station d'observation immergée, captant, grâce à des pièges à particules, tout ce qui tombe de la surface.

Une fois le site du mouillage repéré, analysé à l'aide du sondeur, le *Tethys* s'en éloigne d'environ 3 milles. Après une ultime vérification du long chapelet de flotteurs et d'instruments, la ligne de mouillage est mise à l'eau en commençant par la tête. Puis, suivent tous les autres éléments au fur et à mesure que le navire avance, à vitesse réduite, vers le site choisi. Sitôt le point d'immersion atteint, le lest est largué. Il faut environ une quinzaine de minutes pour qu'il atteigne le fond, entraînant à sa suite les 2 000 mètres de ligne.

Flotteurs, courantomètres et pièges à particules

Le mouillage Dyfamed a ceci de particulier que rien n'apparaît en surface (voir schéma 4). La tête de mouillage

1. Le *Tethys II*, navire de 25 mètres, appartient à la flottille côtière méditerranéenne du CNRS/INSU (Centre national de la recherche scientifique - Institut national des sciences de l'univers). Cette flottille comprend également le Professeur Georges Petit. Ces deux navires succèdent au Korotneff et au Catherine-Laurence, réformés en 1993.



se trouve à 75 mètres au-dessous du niveau de la mer. Elle comprend un flotteur de 200 litres environ muni d'un mât sur lequel sont fixés balise Argos, appareil de repérage goniométrique, flash et pavillon. Cet appareillage ne sera utilisé que lors de la récupération, qu'il s'agisse d'une opération de routine, semestrielle, ou d'une opération exceptionnelle suite à la rupture de la ligne. Sous ce flotteur est disposé un chapelet de sept bouées de 25 litres chacune, pouvant résister aux pressions existant à 6 000 m de profondeur.

Puis, à 200 m sous la surface, se trouve le premier piège à particules (photos 2 et 5). Un piège à particules, ou piège à sédiment, est un appareil de forme conique de 1 m de diamètre et 2 m de hauteur, fabriqué en fibre de verre et résine polyester. Sous ce cône, qui fonctionne comme un capteur, se trouve un plateau circulaire supportant vingt-quatre godets de 250 ml. Grâce à un moteur piloté par un programmeur électronique, chacun de ces godets se place à tour de rôle sous le cône. Ils sont remplis d'eau de mer filtrée à laquelle on ajoute un conservateur (du formol en général), afin d'obtenir un échantillonnage en parfait état de conservation. Chaque godet reste en place, sous le cône, pendant quinze jours, période au cours de laquelle il se charge en particules tombant de la surface. Tous les six mois, le mouillage est relevé et le contenu des godets récupéré pour analyse à terre.

4 - Plan du mouillage Dyfamed.

Sous le piège à particules est placé un courantomètre servant à mesurer et à enregistrer la vitesse et la direction des courants. Un second chapelet de six bouées est disposé 300 m sous ce courantomètre.

A moins 1 000 m, se trouve le second piège à particules, muni également d'un autre courantomètre. Un troisième chapelet de six bouées se trouve à 1 500 m de profondeur. Ces trois séries de bouées réparties sur toute la longueur de la ligne assurent, par leur flottabilité, le maintien vertical de l'ensemble et permettent, lors du largage, sa récupération en surface.

A moins 2 150 m, sont disposés sur un harnais, lui-même assuré par quatre-bouées, deux largueurs acoustiques munis de systèmes électroniques très sophistiqués. Une télécommande, placée à bord du navire, permet soit de connaître leur profondeur d'immersion, soit de déclencher le largage. La récupération du mouillage est certainement l'un des moments les plus délicats, plein d'incertitudes. Entre l'instant où l'ordre est donné aux largueurs de se détacher du lest et l'apparition en surface de la tête de mouillage, une période d'angoisse, heureusement de courte durée, envahit les responsables de la mission.

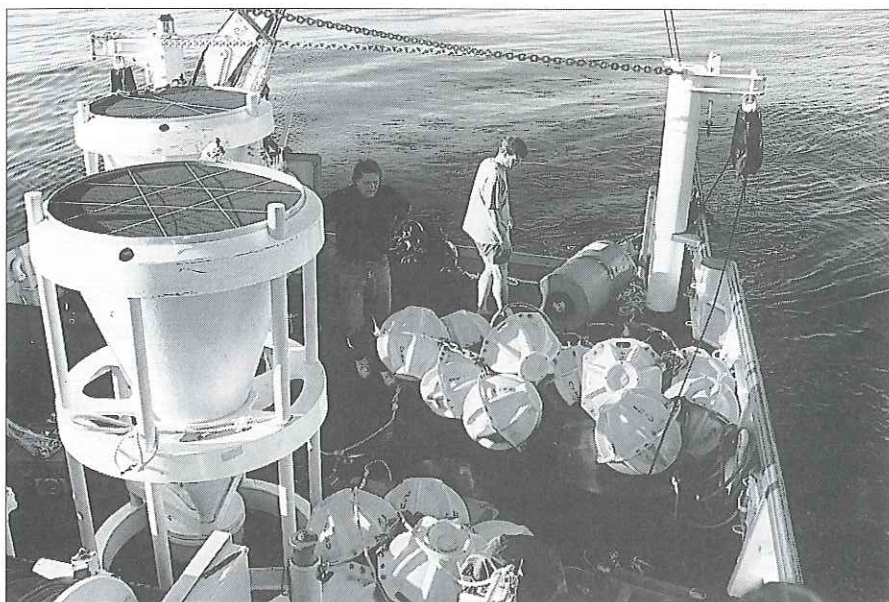
Enfin, à moins 2 200 m, se trouve le lest, d'une tonne environ, dont la fonction est de maintenir la ligne de mouillage au fond de la mer. Lors du déclenchement, le lest reste au fond.

La ligne proprement dite est généralement en parafil, fibre de kevlar gainée de caoutchouc. Elle peut être également composée en drisse de bonne qualité, ou encore en fil d'acier inoxydable, dans les endroits fréquentés par des populations de squales.

Pourquoi Dyfamed

Dyfamed (acronyme de "dynamique des flux en Méditerranée") est un programme scientifique du CNRS-INSU soutenu par le ministère de l'Environnement. Les travaux du groupe ont été récemment récompensés par le prix scientifique Philip Morris.

Il a pour objectif général d'étudier les réponses de l'océan aux modifications de l'environnement induites par l'acti-



5 - A bord du *Tethys II*, pièges à particules et flotteurs encombrant la plage arrière

tivité humaine. Plus précisément, il s'agit de déterminer la capacité de l'océan à absorber l'augmentation du gaz carbonique atmosphérique (CO_2) et d'autres éléments sensibles comme certains "métaux traces".

Les variations attendues peuvent se produire à l'échelle de quelques années. Elles nécessitent donc la prise en compte des processus à l'échelle saisonnière. Pour bien comprendre ces variations annuelles et interannuelles, le groupe Dyfamed a défini une stratégie d'étude basée sur la durée. C'est dans cette optique qu'ont été initiées, dès 1988, des mesures systématiques de paramètres de l'environnement en un site sélectionné de la mer Ligure.

Le site retenu se trouve dans la zone centrale de la mer Ligure, isolé des influences côtières par la présence du courant liguro-provençal. Celui-ci, circulant parallèlement à la côte, entraîne avec lui les sédiments ou autres matières, apportés par les fleuves ou rejetés directement à la mer. Les apports de matière d'origine continentale se font donc uniquement par la voie des airs. Certains de ces composés, le fer par exemple, ont un effet fertilisant sur la production biologique, d'autres, comme le plomb, un effet inhibiteur. Les apports atmosphériques en Méditerranée sont identifiés et quantifiés par des mesures réalisées à terre. Grâce à la collaboration

du personnel du sémaphore, un mât de prélèvement et un collecteur de précipitation permettant de recueillir les particules ont été installés au cap Ferrat.

Parmi les dépôts atmosphériques, les plus fréquents et les plus connus du public sont certainement les pluies rouges. Ces événements brefs mais intenses introduisent des quantités énormes de poussières en provenance du Sahara. Évaluées grâce à l'imagerie satellitale à environ 500 000 tonnes par épisode, elles constituent la principale source de matière pour le sédiment du large.

D'autres apports atmosphériques ont, eux, une origine humaine : polluants organiques (hydrocarbures aromatiques polycycliques issus des combustions), "métaux traces" (le plomb des essences), composés radioactifs comme ceux injectés dans l'atmosphère à la suite de la catastrophe de Tchernobyl. Une partie des composés transportés par la voie atmosphérique se retrouve dans le premier maillon de la vie marine, le phytoplancton. Ce plancton végétal se développe par photosynthèse dans la couche de surface éclairée de la mer. Utilisant au cours de son développement le gaz carbonique de l'atmosphère et les sels nutritifs de l'océan, il incorpore certains des composés arrivés par la voie des airs. Le zooplancton, deuxième maillon de la vie

marine, absorbe lui-aussi des composés d'origine atmosphérique, soit directement parce qu'ils sont présents dans le milieu, soit indirectement par "broutage" du phytoplancton. Puis, la matière organique, chargée des composés d'origine atmosphérique qui nous intéressent, est rejetée dans le milieu sous forme de pelotes fécales, de cellules planctoniques mortes et d'agrégats. Elle peut être également régénérée par dégradation par les bactéries. Les pelotes fécales et les agrégats que constituent la "neige marine" descendent vers le fond des océans à des vitesses pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres par jour. C'est cette "neige marine" que les pièges à particules, ces grands entonnoirs laissés en permanence sur le mouillage du site, vont recueillir et conserver dans leurs godets. Son analyse permet d'étudier le transfert du carbone organique de la surface vers le fond.

D'autre part, le dosage de certains composés est porteur d'informations passionnantes. Par exemple, le nuage des retombées de Tchernobyl (identifié par des composés radioactifs spécifiques) a été retrouvé dans le piège à particules situé à 200 mètres de profondeur, seulement dix jours après son arrivée à la surface, confirmant que le transfert des particules déposées en surface est assuré très rapidement par les processus biologiques tels que le broutage par le zooplancton. Autre exemple de la rapidité de réaction du milieu marin face aux modifications de l'environnement : les travaux du groupe Dyfamed ont mis en évidence que la concentration en plomb des eaux méditerranéennes, qui était en constante augmentation, a sensiblement diminué dans les eaux de surface depuis la généralisation de l'essence sans plomb en Europe.

Ainsi, les molécules organiques caractéristiques des diverses particules (celles qui proviennent des continents et celles du phytoplancton), les composés radioactifs, permettent de comprendre les processus du transport vertical et l'évolution de cette matière au cours de leur transit vers les profondeurs marines et le sédiment.

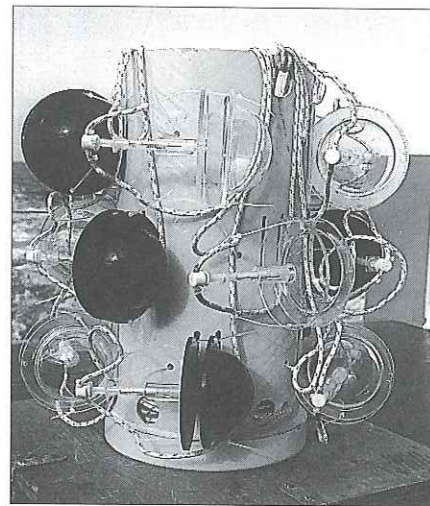
Le carbone organique sous forme dissoute

Le piège à grande profondeur (1 000 m) a montré qu'une part infime des composés issus du phytoplancton parvient à cette profondeur et au-delà dans les sédiments marins. Néanmoins, une quantité non négligeable de carbone organique atteint les grandes profondeurs, mais sous forme dissoute. Au cours du broutage du phytoplancton par le zooplancton et par l'action des bactéries dans la couche euphotique², une partie de la matière organique particulière se trouve transférée dans la phase dissoute. Contrairement aux particules qui chutent verticalement en raison de leur taille, le carbone organique dissous, au fur et à mesure de sa production, se trouve en quelque sorte prisonnier dans la couche de surface de la mer. Cette couche d'eau superficielle se constitue au printemps, au réchauffement des eaux, et s'épaissit jusqu'à l'automne. Elle contient des quantités de plus en plus importantes de carbone organique dissous qui vont être transportées brutalement vers les eaux profondes au moment du mélange hivernal, quand les eaux de surface se refroidissent à nouveau, augmentant ainsi leur densité et devenant instables. La quantité de carbone organique transmise vers les eaux profondes par ce mécanisme dépasse celle qui est transférée par la neige marine.

La neige marine relibère dans la colonne d'eau, au cours de sa descente, une partie de son contenu chimique. Des éléments sont transférés par le mélange hivernal des eaux. Ces processus contribuent donc à la mise en place des grands équilibres géochimiques dans les océans.

Perspectives

Grâce à l'observation systématique de l'environnement marin, notre connaissance des mécanismes biogéochimiques, qui régulent le cycle des éléments, s'améliore. Nous avons compris les mécanismes qui se produisent à



6 - La "dandonnette" servant à mesurer la production primaire (phytoplancton). Au milieu, le cylindre servant de lest. Autour, les demi-sphères accrochées à une ligne de 100 mètres et servant à emprisonner un petit volume d'eau. La ligne se termine par un flotteur (non visible sur la photo). Grâce à un astucieux travail de matelotage, la tension de la ligne entre lest et flotteur provoque la fermeture des demi-sphères et l'injection simultanée du carbone 14.

l'échelle saisonnière, et nous commençons à observer des variations interannuelles. A l'avenir, les satellites (en particulier Seawifs) viendront compléter les stations d'observation telles que Dyfamed. Ces dernières serviront de "vérité mer" aux données satellitales. Les actions de développement en cours tendent vers l'acquisition automatique de données par l'installation des divers capteurs sur un véhicule parcourant la colonne d'eau sur une ligne de mouillage. Quand le véhicule est en surface, la transmission des données se fait automatiquement. Ces systèmes permettent des mesures beaucoup plus fréquentes et non tributaires d'une mission océanographique en mer.

D'autre part, dans le cadre du GOOS (Global ocean observing system), l'INSU met en place des services scientifiques d'observation. La station Dyfamed est devenue récemment l'un de ces observatoires nous permettant, à terme, de comprendre l'évolution du système océanique sous l'effet des perturbations de l'environnement, et de prédire cette évolution ■

2. Couche euphotique : couche éclairée de l'océan où a lieu la photosynthèse.

Travail mensuel à la mer

Tous les mois, une campagne de mesures est effectuée sur le site du mouillage Dyfamed. La mission dure deux jours. L'emploi du temps est très précis mais parfois sujet à modifications pour quantité de bonnes... ou mauvaises raisons : dysfonctionnement d'appareil, indisponibilité du navire, état de la mer... ou des manipulateurs ! Cependant, avec un minimum d'improvisation, nous réalisons tout à fait convenablement une suite d'opérations qui correspond à la description suivante.

Mesure de la production primaire *in situ*

La synthèse initiale de la matière organique dans l'océan provient de l'activité photosynthétique du phytoplancton. La photosynthèse nécessite pour sa réalisation de l'énergie lumineuse et du gaz carbonique. Le dispositif de mesure employé permet d'isoler, à des profondeurs choisies de la couche euphotique, des volumes d'eau constants dans des demi-sphères de 250 ml, et d'y injecter simultanément une faible quantité de carbone radioactif. Précisons qu'à aucun moment le carbone marqué n'est rejeté dans le milieu.

Le dispositif est relativement simple (voir photo 6). Les océanographes le désignent sous le joli nom de "dandonnette", du nom de son concepteur Yves Dandonneau. Le constructeur, pour des raisons commerciales (le marché américain), préfère l'appeler "Letgo".

L'appareil comprend un châssis-lest, une ligne de 100 mètres à laquelle sont accrochées les demi-sphères et un flotteur (un mât de planche à voile dont la flottabilité a été rendue suffisante pour rester émergé d'un mètre, afin de permettre son repérage). Pendant le transport à bord du navire, les demi-sphères sont également fixées sur le châssis-lest. Lors de la mise à l'eau, les demi-sphères se décrochent de celui-ci au fur et à mesure de sa descente. Elles englobent de l'eau et, lorsque la ligne se tend, elles se ferment et le carbone marqué est injecté.

On laisse l'ensemble dériver à son gré, ou plutôt à celui du courant, pendant quatre heures. Durant cette période, le phytoplancton éventuellement présent dans ce volume va se développer en fonction de la qualité et de la quantité de lumière reçue et de la quantité de sels nutritifs. Il absorbe le gaz carbonique, marqué ou non, et l'incorpore dans les molécules qu'il synthétise. Les demi-sphères sont alors remontées à la surface et leur contenu est filtré. Nous mesurons la quantité de ^{14}C retenu par le filtre. Par des (savants) calculs, cette quantité est transformée en production de biomasse par unité de volume et par unité de temps.

Mesures des paramètres hydrologiques

L'acquisition de profils verticaux de paramètres hydrologiques et le prélèvement d'échantillons sont réalisés à l'aide d'un ensemble rosette (Sea-Bird SBE32) et sonde (Sea-Bird SBE911 plus), commandé par un micro-ordinateur (voir photo 3). La rosette est constituée d'un support contenant douze bouteilles de prélèvement de douze litres chacune et d'un dispositif permettant la fermeture lorsque la commande est envoyée par l'ordinateur. La sonde est équipée de plusieurs capteurs, pression, température, conductivité qui fournissent en fonction de la profondeur les paramètres physiques de base (température, salinité, densité). Nous possédons deux autres capteurs. L'un mesure la fluorescence, représentative de zones de densité du phytoplancton, et l'autre, l'oxygène dissous, représentatif de différents types d'activité biologique. L'ensemble est descendu jusqu'à 2 000 m à l'aide d'un câble électroporteur. Nous observons en temps réel les paramètres mesurés par la sonde ou calculés par l'ordinateur. A la remontée, nous déclenchons la fermeture des bouteilles aux profondeurs souhaitées. Dès que le dispositif est remonté à bord et "arimé", nous prélevons les différents échantillons : oxygène dissous, sels nutritifs, iodures et iodates, composés organosoufrés (DiMethyl Sulfure, DiMethyl Sulfonio Propionate), carbone organique dissous, pigments caractéristiques des divers groupes phytoplanctoniques.

Pêche du plancton

La mission se poursuit par des pêches de mésozooplancton pour apprécier les différents organismes planctoniques présents sur le site. Le filet (WP II), constitué d'une toile de maille 200 microns, est plongé jusqu'à 800 m de profondeur, à l'extrémité du câble hydrologique (voir photo 5). Il est ensuite ramené à bord à petite vitesse (0,5 m/s) pour permettre la pêche, dans la couche 0-800 m, en abîmant le moins possible ces organismes souvent très fragiles. Il est possible de le fermer à une profondeur déterminée, par l'envoi d'un message le long du câble qui déclenche son étranglement. Le même principe du déclenchement par message est utilisé pour collecter l'eau nécessaire au dosage des "métaux traces", à l'aide de bouteilles étudiées spécialement pour ces analyses. Celles-ci nécessitent des soins très particuliers car il est difficile de s'affranchir de toute contamination de l'eau par des traces métalliques à bord d'un navire.

Pour étudier les particules qui constituent la neige marine, nous utilisons également un profileur vidéo marin. Cet appareil, muni d'une caméra vidéo et disposant de deux éclairages différents, permet, soit l'étude quantitative des particules en suspension, soit l'observation et l'identification du macrozooplancton.

Etude des divers échantillons

L'analyse des divers échantillons collectés à bord du navire est faite sans retard, dès le retour à quai. En effet, une attente prolongée laisserait le temps aux organismes microbiologiques de modifier la composition chimique de l'eau.

Enfin, dernière phase du travail, les données recueillies sont mises en forme et viennent enrichir les banques de données nationales et internationales.

Ce programme de recherche, basé sur la mesure régulière et à long terme de paramètres biogéochimiques et hydrologiques, nécessite l'effort commun de plusieurs laboratoires. Le Laboratoire d'écologie du plancton marin et le Laboratoire de physique et chimie marines basés sur le campus de Villefranche, le Centre des faibles radioactivités de Gif-sur-Yvette, le Laboratoire de l'environnement marin de l'AIEA à Monaco, fournissent l'essentiel des moyens humains et matériels. Le dernier laboratoire cité opère dans le cadre d'un accord entre l'Agence internationale de l'énergie atomique et le gouvernement de la principauté de Monaco.