

LES MESURES *IN SITU* EN OCÉANOGRAPHIE

par Marc LE MENN, ingénieur divisionnaire d'études et de fabrication
au département ingénierie des équipements scientifiques du SHOM

RÉSUMÉ

Par ses recherches, l'océanographie physique tente de répondre aux nombreux problèmes posés par les propriétés thermiques, optiques et dynamiques de l'océan. Cet article traite, d'une façon résumée, des moyens utilisés pour déterminer ces propriétés. Après une définition des grandeurs mesurées et des grandeurs qui en sont déduites par calcul, il passe en revue quelques capteurs et instruments utilisés pour évaluer les paramètres utiles aux océanographes : température, salinité, pression, vitesse et direction des courants marins, hauteur d'eau, état de la mer, turbidité et propriétés physico-chimiques. Il décrit succinctement quelques moyens employés pour les mesures en mer ainsi que les évolutions et autres procédés de mesure en développement.

ABSTRACT

Through its research, physical oceanography tries to answer to the numerous problems stated by thermal, optical and dynamical properties of the ocean. This paper deals with the means used to determine these properties. After the definition of measured quantities and the quantities deducted by processing, it reviews some sensors and instruments used to provide the oceanographers useful parameters: temperature, salinity, pressure, speed and direction of sea currents, water height, state of the sea, turbidity and chemical-physical properties. It describes briefly some means employed for measurements at sea and other process under development.

1. INTRODUCTION

Les mesures qui sont réalisées en océanographie physique, ont deux buts principaux : améliorer nos connaissances fondamentales de l'océan ainsi que le fonctionnement de notre planète, et optimiser l'emploi des instruments acoustiques, qui nous servent aussi parfois à connaître l'océan.

L'amélioration des connaissances fondamentales s'intègre dans une préoccupation plus générale qui est celle de l'évolution du climat. Pour essayer de modéliser cette évolution, un programme de recherche mondial a été lancé en 1979 : le WCRP ou World Climate Research Programme [1]. Le WCRP est financé par la World Meteorological Organization (WMO) et l'UNESCO. Dans cette optique, afin d'optimiser les efforts des différents pays en matière de mesures océanographiques, la National Science Foundation des USA a lancé, en 1982, un autre programme appelé WOCE (World Ocean Circulation Experiment) et créé en 1989 un bureau, le WOCE Hydrographic Programme Office, dont le but est de coordonner, superviser et assurer la qualité des mesures réalisées. Pour assurer la qualité des données collectées, il a été demandé que : « *les références à approcher en matière d'exactitude et de répétabilité concernant les mesures ponctuelles soient les plus élevées possibles en l'état actuel des techniques de mesure* ». Concernant les mesures « de routine », ces références doivent être approchées de façon suffisante pour satisfaire les objectifs recherchés localement.

Cette demande trouve plusieurs justifications. Les données collectées pourront servir à déterminer l'évolution à long terme de la circulation océanique. Pour pouvoir détecter de faibles changements dans le temps, il est nécessaire d'effectuer des mesures avec une faible résolution et une grande reproductibilité. Les données doivent pouvoir être comparées d'un pays à l'autre et utilisées dans des modèles communs. Les mesures doivent donc être réalisées avec une grande exactitude par rapport à des références communes que l'on met en pratique durant les phases d'étalonnage des instruments. Enfin, aux grandes profondeurs, la stabilité thermique des masses d'eau est très grande. Là encore, pour pouvoir détecter de faibles changements dans le temps et dans l'espace, et pour que d'autres centres ou organismes, que celui qui a réalisé les mesures, puissent vérifier la réalité de ces changements, les mesures doivent être faites avec une résolution importante, une grande reproductibilité et une grande exactitude.

2. LES GRANDEURS MESURÉES ET LES GRANDEURS CALCULÉES

La circulation océanique dépend en grande partie de la masse volumique des masses d'eau. Il est bien connu que la masse volumique d'un fluide dépend de sa température, de sa pression et de sa composition.

La composition de l'eau de mer ne peut pas être mesurée en routine par des capteurs spécifiques. Elle varie localement en fonction des quantités de substances dissoutes ; ces quantités se traduisent en terme de salinité absolue. La salinité est un paramètre caractéristique des masses d'eau. Elle devrait désigner le rapport entre la masse totale des matières dissoutes et la masse totale de l'eau de mer, cependant, ce rapport est difficile à établir concrètement. Pour

contourner cette difficulté, une échelle de salinité pratique (Practical Salinity Scale) à été définie en 1978 (d'où son nom : PSS-78) [2]. Elle permet de calculer une salinité pratique à partir de la mesure simultanée de la température, de la pression et de la conductivité électrique d'un échantillon d'eau de mer.

Température, pression et conductivité sont donc les trois grandeurs dont la mesure est essentielle pour déterminer la masse volumique des océans. Celle-ci est calculée à partir d'équations empiriques appelées équations d'état de l'eau de mer (Equation of State of Sea Water) datant de 1980 ou EOS-80 [3].

L'amélioration des connaissances fondamentales de l'océan passe aussi par la mesure de la vitesse et de la direction des courants marins à différentes profondeurs. Outre l'utilisation de courantomètres, ces paramètres peuvent aussi être déterminés par le suivi de traceurs chimiques ou par « l'ancrage » d'instruments appelés flotteurs dérivants, dans des masses d'eaux.

Toutes ces mesures ne peuvent être effectuées sans l'aide de systèmes satellitaires de positionnement et de datation du type Argos ou GPS (Global Positioning System).

Pour compléter les modèles, il est nécessaire de connaître d'autres éléments comme l'état de mer à partir de la mesure de la hauteur et de la fréquence des vagues, les variations basses fréquences de la hauteur d'eau ou marée et, en milieu côtier ou pour les premières couches de l'océan, la turbidité qui fait intervenir des notions de biologie et de chimie marine.

3. L'INSTRUMENTATION MISE EN ŒUVRE

3.1. Pour connaître la température, la salinité et la pression

Pour tous les paramètres décrits précédemment, des capteurs et des instruments spécifiques ont été développés. Ainsi, pour mesurer la température, la conductivité et la pression il existe des bathysondes scientifiques. Ce sont de vraies centrales de mesure qui numérisent sous l'eau l'information issue des capteurs et la transmettent en temps réel au bateau par un câble dit « électroporteur ». Elles peuvent être descendues à plus de 6 000 m et mesurent la température à mieux que 0,002 °C près dans la gamme 0 - 40 °C. Cette exactitude est assurée par des technologies particulières de capteurs dont la stabilité dans le temps est maîtrisée et vérifiée périodiquement (cf. Figure 1) par rapport à des références raccordées à l'Echelle Internationale de Température de 1990 (ou EIT-90) [4]. Ce raccordement se fait directement à l'aide de cellules points fixes qui sont, pour le domaine des températures océanographiques, le point triple de l'eau (à 0,01 °C), le point de fusion du Gallium (à 29,764 6 °C) et en toute rigueur le point de fusion du Mercure (à -38,834 4 °C) lorsque des températures négatives doivent être mesurées.

Les bathysondes sont équipées de capteurs de pression du type Paroscientifique dont la résolution et l'exactitude rivalisent avec les meilleures références de pression qui existent. La stabilité de ces caractéristiques est vérifiée à l'aide d'instruments appelés « balances de pression » dont le principe consiste à générer des pressions à l'aide de masses calibrées posées sur un piston lui-même calibré [5]. Une relation de calcul permet de corriger ces pressions des effets de différentes grandeurs d'influence, pour en faire des valeurs de référence.

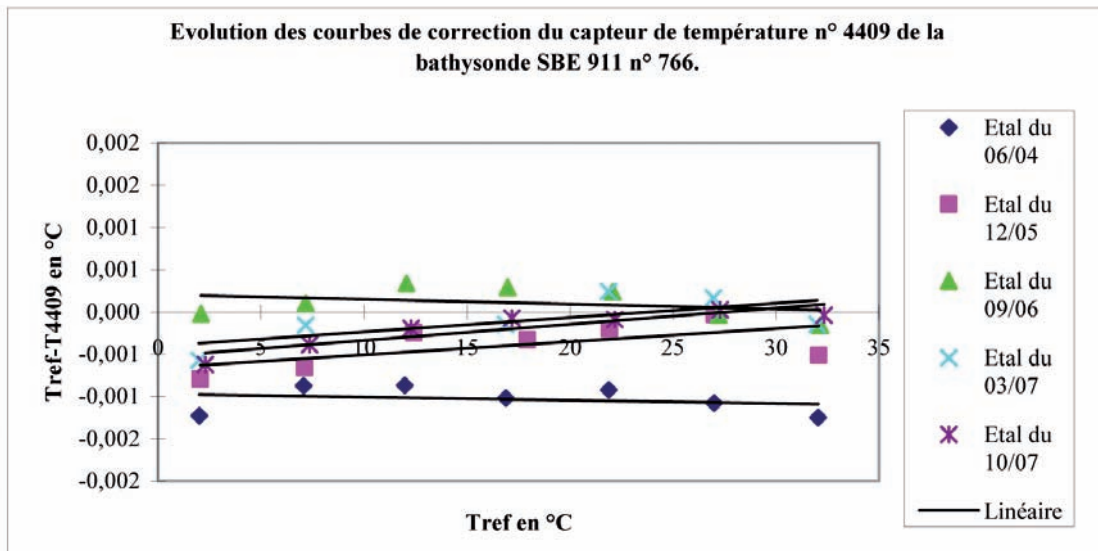


Figure 1 : Exemple de graphique permettant d'assurer le suivi de l'exactitude des mesures de température réalisées par une bathysonde.

Les capteurs de conductivité sont fabriqués également à partir de technologies qui permettent d'approcher des exactitudes de l'ordre 0,002 mS/cm [6]. Cependant, la maîtrise de la dérive de leurs caractéristiques initiales est plus difficile à assurer car les cellules de mesure restent sensibles au bio-fouling et aux pollutions marines [7]. L'autre problème posé par ces capteurs est celui de la maîtrise de leur temps de réponse et de l'alignement de ce temps sur celui des capteurs de température afin de limiter les artefacts liés à l'introduction de ces mesures dans les relations de la PSS-78, pour en déduire des valeurs de salinité. Ce problème a fait l'objet d'études très poussées portant sur la thermo et l'hydrodynamique des capteurs [8] et [9].

Pour ces mêmes grandeurs, des instruments moins coûteux et moins précis existent également. On trouve par exemple des sondes perdables appelées XBT ou XCDT. Lancées depuis un bateau, elles permettent de connaître la température, voire la conductivité des premières centaines de mètres sous la surface avec une exactitude meilleure que le dixième. Ces informations sont remontées à un PC d'acquisition par un simple fil de cuivre qui se déroule au fur et à mesure que la sonde descend. En fin de course, le fil casse et la sonde est perdue. Chaque année, des milliers de sondes de ce genre sont lancées tant par des bateaux civils que militaires. Ces profils de température-conductivité sont archivés dans des bases de données qui servent à la réalisation d'atlas climatologiques.

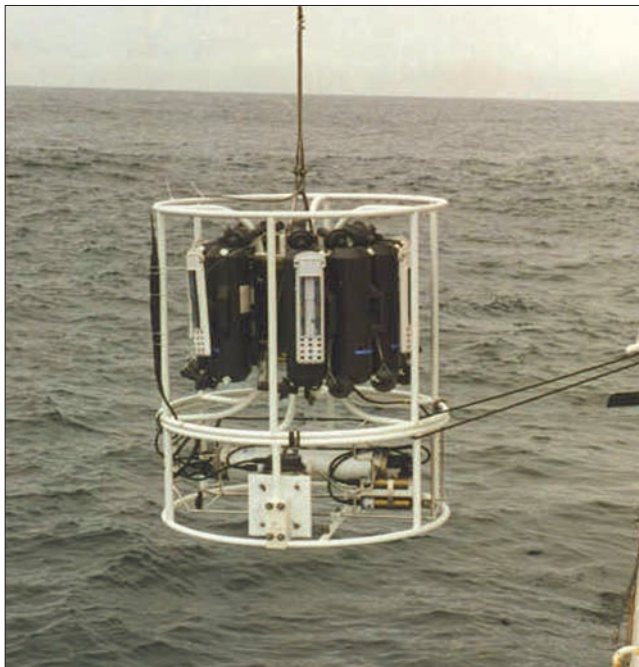


Figure 2 : Rosette de prélèvement avant sa mise à l'eau. Les bouteilles sont munies de supports (blancs) de thermomètres à renversement. Une bathysonde est gréée horizontalement sous les bouteilles.

3.2. Pour connaître la vitesse et la direction des courants

Les mesures ponctuelles de vitesse et direction des courants marins étaient réalisées ces dernières années à l'aide de courantomètres à rotors. Avec l'évolution des techniques, ils sont progressivement remplacés par des courantomètres émettant des ondes acoustiques et qui utilisent l'effet Doppler généré par le déplacement des particules présentes dans les masses d'eau. L'avantage substantiel de cette technologie réside dans l'absence de pièces en mouvement, ce qui permet de réaliser des mesures de courants faibles alors que les courantomètres à rotor sont limités par leur seuil de démarrage.

Sur la base des outils utilisés en traitement des signaux radar, cette technologie a été perfectionnée et elle permet à l'heure actuelle de mesurer avec un seul instrument appelé « profileur Doppler », des profils de courant sur une colonne d'eau. Au lieu de disposer d'une seule mesure à profondeur fixe, on peut obtenir alors, instantanément, plusieurs dizaines de mesures localisées dans des cellules réparties vers le fond, sur quelques mètres à plusieurs centaines de mètres, selon la fréquence des ondes employées. Il existe différentes technologies de profileurs Doppler (narrow-band, broad-band, pulse-coherent...) [10] dont le perfectionnement permet de repousser les limites des problèmes posés par les ambiguïtés portée-vitesse maximale détectable [11] et fréquence - résolution.

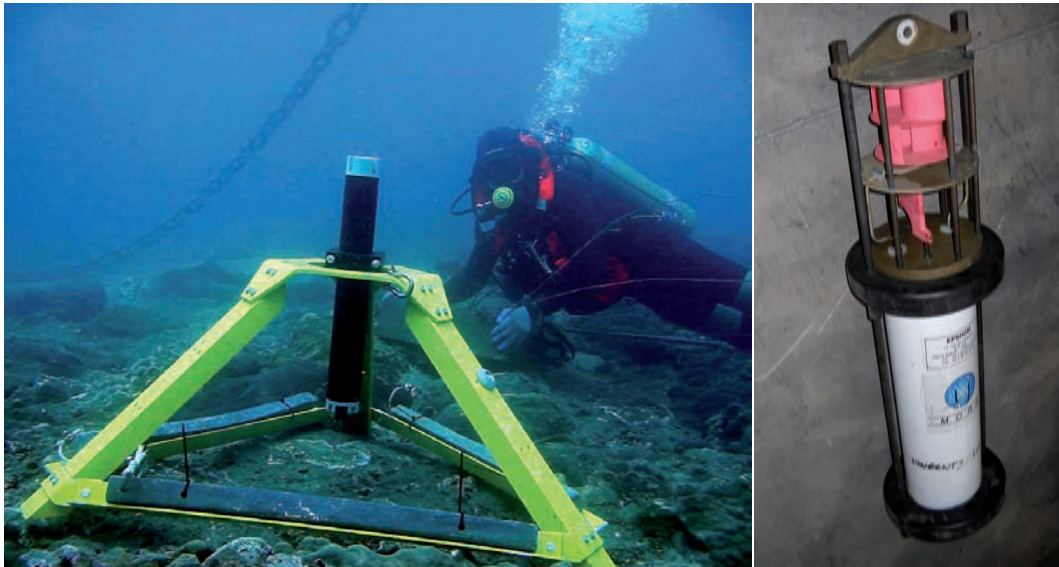


Figure n° 3 : Courantomètres acoustique NORTEK Aquadopp et à rotor MORS MC 3x0 (Doc. Oceano Technologie).

Pour recalibrer les mesures angulaires réalisées par ces courantomètres, ils sont équipés de compas (le plus souvent de technologie « flux-gate ») qui permettent de retrouver la direction de l'instrument durant les mesures, par rapport au Nord magnétique [12]. Ce recalage ne peut être réalisé sans la connaissance de leur inclinaison qui est obtenue à l'aide de capteurs appelés « tilt sensors ».

Ces mêmes technologies de courantomètres sont utilisées pour connaître l'état de la mer. Lorsque la houle se propage à la surface de l'océan, elle génère des ondes de pression en profondeur qui entraînent les particules dans des mouvements circulaires. Par la mesure de la vitesse orbitale de ces particules, et par un traitement du signal assez complexe, les profileurs Doppler permettent de déterminer l'amplitude, la fréquence et sous certaines conditions, la direction des vagues. Ces mesures étant ponctuelles, il existe également

des systèmes d'antennes disposés le long des côtes qui, à partir d'ondes radar, permettent de cartographier les courants de surface et dans une certaine mesure l'état de la mer, sur plusieurs kilomètres carrés [13]. Vis-à-vis des ondes émises, les vagues se comportent comme un réseau diffractant de Bragg. Le spectre du signal rétrodiffusé renseigne principalement sur leur fréquence et sur la vitesse des courants.

3.3. Pour connaître la marée

La technologie radar est également employée pour connaître la marée, dans des stations de mesure appelées « marégraphes côtiers numériques » qui sont installées dans de nombreux ports [14]. Ces observatoires de marée servent à déterminer le niveau des plus basses eaux qui est une information capitale pour la navigation mais aussi à étalonner les

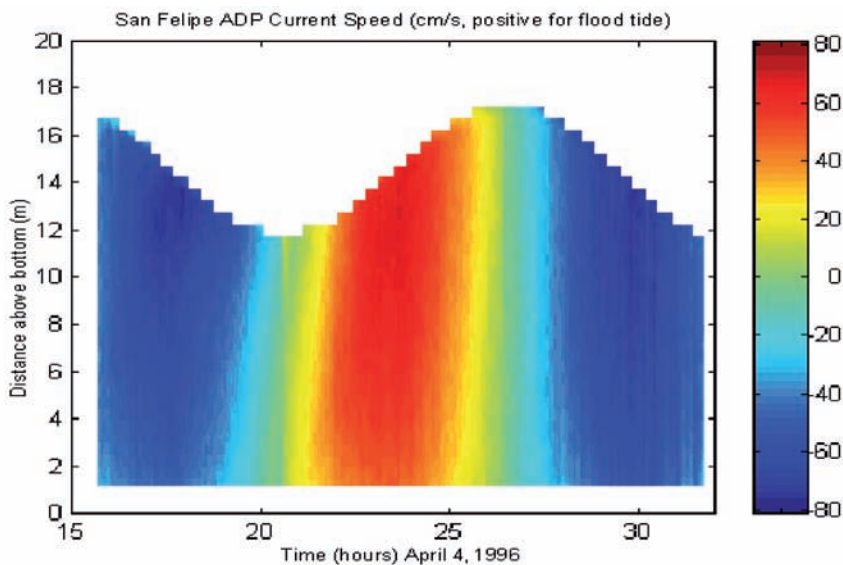


Figure n° 4 : Exemple de carte de vitesse de courants que l'on peut obtenir avec un ADP (Acoustic Doppler Profiler) disposé en mouillage sur le fond. La variation de hauteur observée correspond à la marée. (Doc. SonTek/YSI, Inc).

données d'altimétrie spatiale et à étudier les variations des niveaux moyens des mers. Lorsqu'il est nécessaire de connaître ces informations à distance des côtes, ce sont des marégraphes immergés qui sont utilisés. Ces instruments sont installés dans des cages pourvues de lests et déposés sur des fonds dont on connaît la bathymétrie. Ils sont dotés de capteurs de pression du même type que ceux des bathysondes et ils permettent de déterminer les variations de hauteur d'eau par l'emploi de la relation de l'hydrostatique.

3.4. Pour connaître la turbidité et quelques propriétés physico-chimiques

L'océan est aussi un milieu chimiquement complexe, où règne le vivant. La turbidité de l'eau vient de la présence de diverses matières en suspension telles que limon, argiles, matières organiques et inorganiques, plancton et autres micro-organismes. De ce fait elle est couramment définie comme la propriété optique qui fait que la lumière incidente est diffusée et absorbée plutôt que transmise en ligne droite. Ces phénomènes sont mesurés à l'aide de transmissiomètres [15], néphélomètres [16], fluorimètres [17]. Les transmissiomètres permettent de retrouver le coefficient d'atténuation du milieu. Les néphélomètres réalisent des mesures de l'intensité de la diffusion dans un angle déterminé, sachant que celle-ci n'est pas homogène dans toutes les directions. Les fluorimètres fournissent une évaluation du coefficient d'absorption par l'intermédiaire de la mesure de l'intensité lumineuse ré-émise par certaines molécules lorsqu'elles sont excitées à des longueurs d'ondes particulières. On trouve ces molécules dans le plancton ou les matières organiques dissoutes.

Chimie et biologie interagissent donc avec la physique du milieu en modifiant entre autre ses propriétés optiques mais aussi sa stoechiométrie ou sa composition gazeuse, que l'on peut évaluer avec des capteurs d'oxygène [18]. Tous ces capteurs peuvent être grésés sur les bathysondes qui permettent alors une étude complète du milieu.

4. LES MOYENS DE MESURE EN MER

L'instrumentation décrite précédemment ne peut être mise en œuvre sans le déploiement de moyens spécifiques tels que les navires océanographiques. Ces bateaux se distinguent par les moyens dont ils disposent pour descendre et remonter les instruments, se positionner dans l'espace, sonder les fonds pour en connaître la bathymétrie, stocker et transmettre les informations recueillies, mais aussi par les laboratoires et zones de travail dont ils sont pourvus et par les porteurs ou moyens de mesure océanographiques dont ils sont dotés.

Ces bateaux permettent de mettre à l'eau des lignes instrumentées conçues pour se maintenir en position fixe en milieu marin. Ce sont des mouillages [19], [20]. Ils permettent de connaître l'évolution d'un ou plusieurs paramètres sur de longues périodes temporelles. On distingue les mouillages dits « eulériens » par référence aux repères d'Euler qui sont fixes par rapport à la terre, des mouillages dits « lagrangiens » par référence aux repères mobiles de Lagrange. Dans un cas, les instruments réalisent des mesures en position fixe par rapport au milieu en mouvement et dans l'autre, ils sont « ancrés » dans la masse d'eau en mouvement et ils

suivent son déplacement. Selon la profondeur des fonds et les moyens de flottabilité utilisés, ces mouillages peuvent être : « de surface », « de subsurface » ou « de fond ». Dans le cas des mouillages eulériens, des systèmes électro-mécaniques appelés largueurs acoustiques permettent de récupérer, à l'issue de la campagne, les instruments grésés sur la ligne et dont la mémoire contient l'essentiel des mesures.

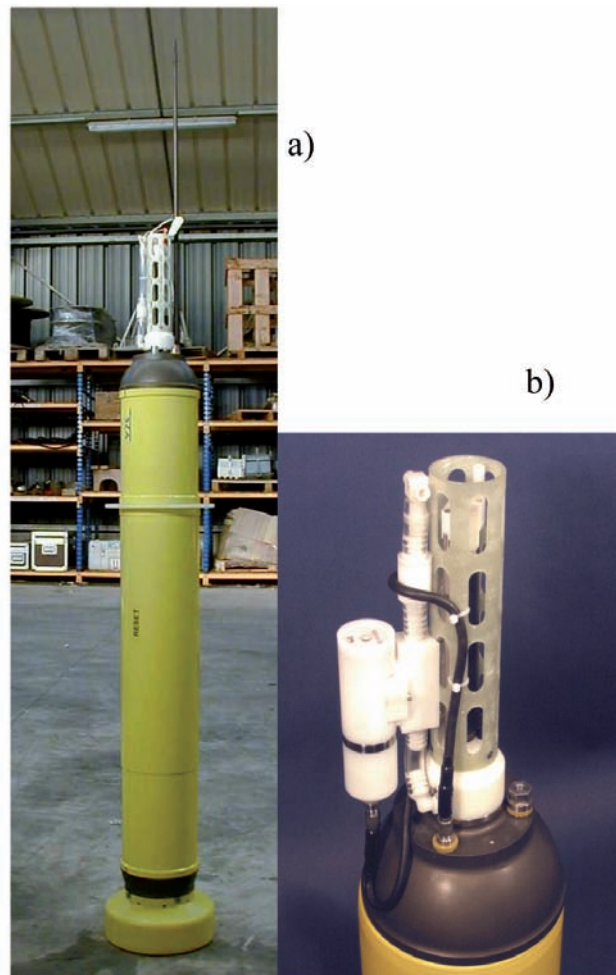


Figure n° 5 a) Flotteur APEX équipé d'un capteur de conductivité sur sa partie supérieure. A la base on distingue le système mécanique permettant de régler sa flottabilité.

b) Tête d'un flotteur APEX équipée de capteurs de température - conductivité Sea Bird et d'un capteur d'oxygène dissous du type Clarc polarimétrique (Doc. S.C. Riser, Université de Washington).

Mais, lorsqu'il est nécessaire d'étudier l'évolution des propriétés du milieu sur de grandes échelles de temps et d'espace, on utilise des flotteurs dérivants [21]. Ces technologies ont ouvert la voie à ce que l'on appelle l'océanographie opérationnelle. Un programme international appelé ARGO, vise à déployer depuis 2001, un réseau de l'ordre de 3 000 flotteurs sur toutes les mers du globe. De nombreux pays dont la France apportent leur contribution à ce réseau en larguant des flotteurs à partir de leurs navires océanographiques et en récupérant et traitant leurs données

afin de les rendre disponibles sous 24 heures pour tout utilisateur qui en aurait besoin. Conçus initialement pour étudier les courants de subsurface, ces flotteurs sont devenus au fil du temps de vraies centrales de mesure qui transmettent par les systèmes ARGOS ou Iridium des informations de : température, conductivité, pression, avec des exactitudes qui tentent d'approcher celles des bathysondes. Ils sont programmés pour descendre à une profondeur de consigne située entre 400 et 2 000 m où ils se laissent alors dériver durant plusieurs jours avant de remonter en réalisant un profil de mesures et transmettre leurs données. Ce cycle peut être répété 100 à 250 fois selon leur programmation et l'énergie qu'ils transportent. A l'issue de 3 à 4 ans de dérive, ils sont perdus.

5. ÉVOLUTIONS ET AUTRES CONCEPTS DE MESURE

L'instrumentation océanographique évolue avec le perfectionnement des techniques de mesure. Ainsi, de nouveaux procédés, basés [22] sur la mesure de l'indice de réfraction de l'eau, sont en développement pour approcher le concept de salinité absolue et pallier les défauts des mesures de conductivité. D'autre part, afin de pouvoir connaître rapidement les caractéristiques physiques et dynamiques des océans et leur évolution dans l'espace, une technique baptisée tomographie acoustique a été mise au point [23]. Elle est basée sur l'étude de la propagation d'ondes acoustiques et l'inversion d'équations pour retrouver des champs de : pression, température, salinité et courants.

Ces dernières années, d'autres moyens d'exploration de l'océan ont vu le jour. Il s'agit des UUV ou Unmanned Underwater Vehicles. Ce sont des porteurs autonomes, pilotables à distance et pourvus d'instruments de mesure [24]. Les AUV ou Autonomous Underwater Vehicles sont une des catégories d'UUV. Ce sont des engins totalement autonomes conçus pour naviguer sur de grandes distances avec un système de propulsion et sans lien physique avec la surface. Ils peuvent être de taille et de poids variables (de 50 kg à plus de 1 tonne) et prendre différents aspects. Leur autonomie énergétique et leur positionnement sur de longues distances restent parfois des problèmes dans leur mise en œuvre. Un autre type de véhicule autonome appelé Glider ou planeur sous-marin tend également à se développer [25]. Il se distingue de l'AUV par le fait qu'il ne dispose pas de système de propulsion. Il se laisse porter par les courants mais il peut toutefois être piloté à distance, ce qui le distingue du concept des flotteurs dérivants.

Ainsi, l'océanographie est une science en pleine évolution. L'instrumentation qu'elle met en œuvre s'appuie en permanence sur les dernières évolutions technologiques afin de conquérir ce milieu complexe et hostile qu'est l'océan.

(Article résumé du livre : « *Instrumentation et métrologie en océanographie physique* » paru aux éditions Hermes-Lavoisier en juin 2007. A consulter pour en savoir plus sur les principes physiques, l'étalonnage, le fonctionnement et l'utilisation des instruments océanographiques).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] - T. M. JOYCE: «The WOCE Hydrographic Program: a status report». *Woce Newsletter* (n° 6, octobre 1988).
- [2] - UNESCO: «Background papers and supporting data on the Practical Salinity Scale, 1978». *Unesco Technical Papers in Marine Science* (n° 37, 144 pages, 1981).
- [3] - N. P. FOFONOFF: «Physical Properties of Seawater: A New Salinity Scale and Equation of State for Seawater». *Journal of Geophysical Research* (Vol. 90, n° C2, 3332-3342, 1985).
- [4] - H. PRESTON - THOMAS: «The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)». *Metrologia* (Vol. 27, 3-10, 1990).
- [5] - R. S. DADSON, S. L. LEWIS, G. N. PEGGS: «The pressure balance, theory and practice». *National Physical Laboratory, HMSO* (London, 290 pages, 1982).
- [6] - LE MENN M.: «Capteurs de conductivité en océanographie : état de l'art et perspectives». *Revue des Sciences et Techniques de la Défense* (RSTD n° 64, 107-111, juin 2004).
- [7] - M. J. COWLING, T. HODGKIESS, A. KERR, A. PARR, M. SMITH, C. BEVERIDGE: «Biofouling of oceanographic sensors - is there a solution?». *Oceanology International 98 - The global ocean* (Vol.1, 203-214, Brighton U.K., Ocean House, Surrey TK3 3LZ, 10-13 march 1998).
- [8] - R. G. LUECK: «Thermal inertia of conductivity cells: theory». *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* (Vol.7, 741-755, 1990).
- [9] - V. MENSAH, M. LE MENN, Y. MOREL: «Thermal mass correction for the evaluation of salinity». *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* (Vol. 26, 665-672, 2008).
- [10] - W. T. YOST, J. H. CANTRELL, P. W. KUSHNICK: «Fundamental aspects of pulse phase-locked loop technology-based methods for measurement of ultrasonic velocity». *The journal of the Acoustical Society of America* (Vol. 91, 3, 1456-1468, 1992).
- [11] - LHERMITTE R., SERAFIN R.: «Pulse-to-pulse coherent Doppler sonar signal processing techniques». *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* (Vol.1, n° 4, 293-308, 1984).
- [12] - PRIMDHAL F.: «The fuxgate magnetometer». *Journal of Physics E: Scientific Instrument* (12, 241-253, 1979).
- [13] - C. C. TEAGUE, J. F. VESECKY, D. M. FERNANDEZ: «HF radar instruments, past to present». *Oceanography* (Vol. 10, 2, 40-44, 1997).
- [14] - R. LEROY: «Apport des télémètres radar en hydrographie et évaluation de leurs performances». *Annales Hydrographiques* (Vol.5, n° 774, 2009).
- [15] - R. BARTZ, J. R. V. ZANNEVELD, H. PAK: «A transmission meter for profiling and moored observation in water». *Ocean Optics* (60, 102-108, 1978).
- [16] - T. F. SUTHERLAND, P. M. LANE, C. L. AMOS, J. DOWNING: «The calibration of optical backscatter sensors for suspended sediment of varying darkness level». *Marine Geology* (162, 58 -597, 2000).
- [17] - A. BRICAUD et al.: «Variation of light absorption by suspended particles with chlorophyll a concentration in oceanic (case1) waters: analysis and implications for bio-optical models». *Journal of Geophysical Research* (Vol. 103, n°C13, pages 31,033-31,044, 1998).
- [18] - ATKINSON M.J., THOMAS F.I.M., LARSON N., TERRILL E., MORITA K., LIU C.C.: «A micro-hole potentiostatic oxygen sensor for oceanic CTDs». *Deep Sea Research* (Vol. 42, n° 5, 761-771, 1995).
- [19] - GOULD W. J., SAMBUKO E.: «The effect of mooring type on measured values of ocean currents». *Deep-Sea Research* (Vol. 22, 55-62, 1974).
- [20] - M. H. BERTEAUX: «Coastal and oceanic buoy engineering». *Woods Hole Oceanographic Institution, Wiley Interscience* (New York).
- [21] - W. J. GOULD: «From Swallow floats to Argo-the development of neutrally buoyant floats». *Deep-Sea Research II* (52, 529-543, 2005).
- [22] - D. MALARDÉ, ZY WU, P. GROSSO, J.-L. DE BOUGRENET DE LA TOCNAYE, M. LE MENN: «High-resolution and compact refractometer for salinity measurements». *Measurement Science and Technology* (20, 1, 2009).
- [23] - W.H. MUNK, C. WUNSCH: «Ocean acoustic tomography: a scheme for large monitoring». *Deep-Sea Research* (Vol. 26A, 123-160, 1978).
- [24] - S. WOOD, A. NULPH, B. HOWELL: «Application of Autonomous Underwater Vehicles». *Sea technology* (10-14, December 2004).
- [25] - D. C. WEBB, P. J. SIMONETTI, C. P. JONES: «SLOCUM: an underwater glider propelled by environmental energy». *IEEE Journal of Oceanic Engineering* (26(4):447-452, 2001).