

PROGRAMMES

MARVOR ou la liberté sous surveillance

par Michel Ollivault, physicien au laboratoire de physique des océans, unité mixte IFREMER/CNRS/UBO, Brest.

Depuis le début des années 70, des flotteurs dérivant librement en profondeur s'utilisent pour décrire les mouvements des "particules" d'eau. En effet ces flotteurs se stabilisent naturellement à une immersion donnée où ils sont alors entraînés par les mouvements des masses d'eaux environnantes.

On conçoit alors, puisque de tels flotteurs ont décrit les mouvements associés aux structures turbulentes, que l'on puisse obtenir une estimation de la circulation océanique moyennée spatialement avec un nombre raisonnable de flotteurs. Par exemple 100 flotteurs suffiraient pour obtenir une résolution spatiale de 500 km sur une zone de 5000 km par 5000 km. Encore faut-il que les flotteurs aient le temps d'échantillonner toute la région océanique. Aussi doivent-ils rester plusieurs années dans l'eau si l'on veut obtenir les courants avec une incertitude inférieure au cm par seconde. Il s'agit donc de courants moyens à la fois dans l'espace et dans le temps.

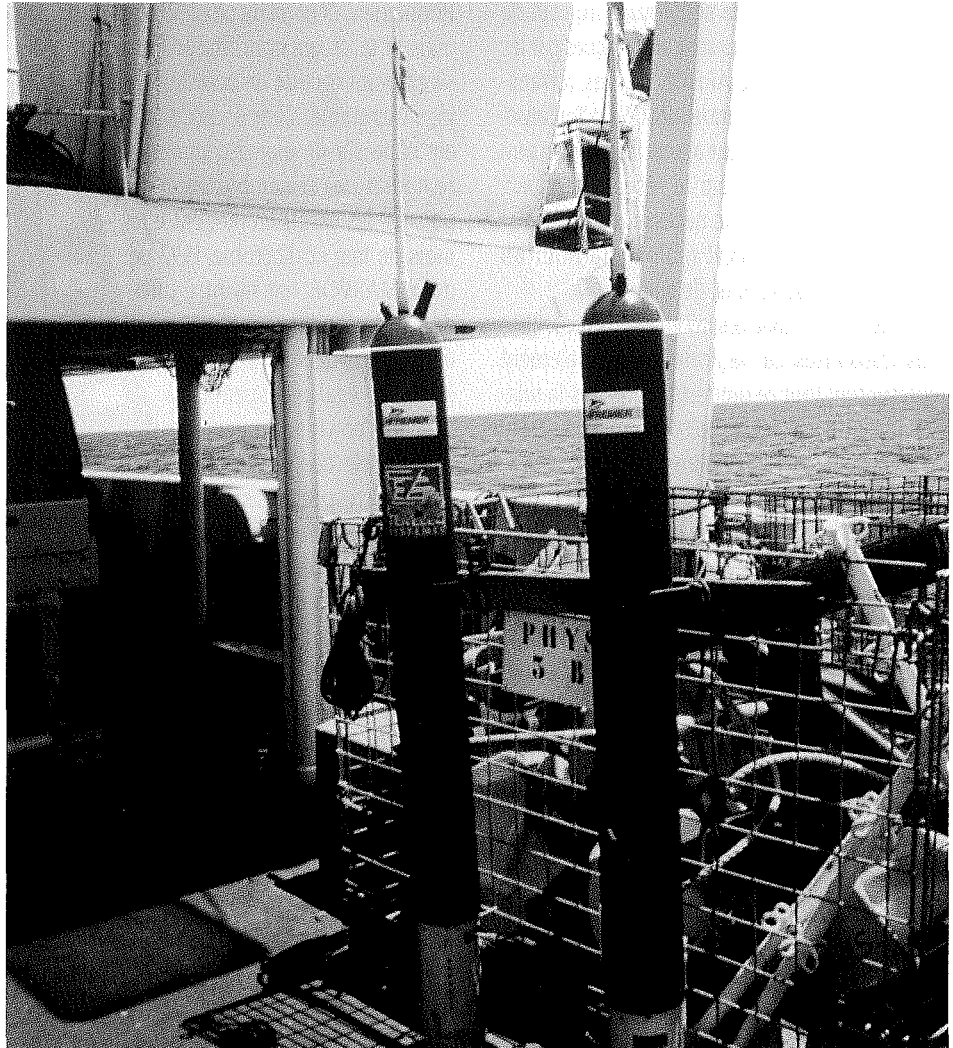
L'expérience internationale WOCE (World Ocean Circulation Experiment) qui vise d'abord à obtenir une estimation de la circulation générale océanique (c'est-à-dire les courants moyens) dont nous venons de parler, va utiliser un grand nombre de tels flotteurs (au moins plusieurs centaines) dans tous les océans. Cette expérience a commencé en 1991 et va probablement se poursuivre jusqu'à l'an 2000. De grandes sections hydrologiques ont déjà été effectuées, et les premiers lâchers massifs de flotteurs vont avoir lieu dès cette année.

Dans cette perspective l'IFREMER a entrepris en 1989, avec la société TEKELEC comme partenaire industriel, de développer un flotteur dérivant de subsurface. C'est le flotteur MARVOR.

Extérieurement il se présente comme un cylindre d'aluminium de 17 cm de diamètre et de 80 m de hauteur, muni au sommet d'une

antenne radioélectrique et d'un hydrophone, à sa base d'une vessie en caoutchouc. Tel quel, MARVOR révèle encore bien peu de ses possibilités. Intéressons-nous donc à la vessie. Celle-ci peut être remplie d'huile grâce à une pompe motorisée contenue à l'intérieur du flotteur qui transfère l'huile à partir d'une autre vessie mais intérieure celle-là. Inversement, l'huile peut être transférée de la vessie extérieure vers la vessie intérieure

extérieur total du flotteur souhaité. En effet, si la masse volumique du flotteur est égale à la masse volumique *in situ* de l'eau de mer à la profondeur souhaitée, MARVOR va rester à cette profondeur (en d'autres termes son poids équilibre la force d'Archimède). De plus, l'équilibre est stable car la masse volumique de l'eau de mer croît plus vite avec la pression que celle du flotteur. Cette dernière croît à cause de la compres-



grâce à une vanne qui ouvre le conduit hydraulique de connexion, la pression hydrostatique écrasant la vessie extérieure.

■ Profondeur de consigne sous contrôle

On entrevoit maintenant comment MARVOR va pouvoir descendre de la surface à une immersion donnée : il suffit qu'il ouvre sa vanne pendant le laps de temps nécessaire au transfert vers l'intérieur du volume d'huile requis pour obtenir le rapport masse du flotteur sur volume

sibilité propre du tube d'aluminium (la valve étant fermée et la pompe à l'arrêt, les variations du volume d'huile dans la vessie extérieure peuvent en première approximation être négligées). Bien entendu si MARVOR s'écarte de son immersion prévue, ce qu'il sait puisqu'il mesure régulièrement la pression hydrostatique extérieure, il va soit actionner la pompe soit ouvrir la vanne le temps qu'il faudra pour revenir à sa pression nominale. MARVOR peut ainsi se stabiliser entre 500 et 2500 dbar avec une incertitude de quelques dizaines de dbar. Actuellement seul MARVOR, parmi les flotteurs disponibles sur le marché,



PROGRAMMES

est capable de contrôler ainsi sa profondeur de consigne.

En réalité MARVOR peut faire beaucoup plus : après avoir dérivé à son immersion de consigne pendant le temps voulu, il gonfle complètement sa vessie extérieure et remonte à la surface. Une fois en surface, il transmet aussitôt via son antenne radio et sur la fréquence propre au système ARGOS (401,7 MHz), les diverses informations recueillies lors de son voyage au sein de l'océan. Ces informations sont alors reçues par les satellites du système ARGOS qui les retransmettent à leur tour au centre ARGOS de Toulouse, où elles sont directement accessibles depuis un ordinateur personnel par le réseau Transpac. Après les quelques jours nécessaires aux émissions ARGOS, MARVOR replongera pour un deuxième voyage et ainsi de suite.

Quelles sont donc ces informations recueillies puis transmises par le flotteur, qui finalement représentent tout ce qui restera une fois la mission du flotteur achevée, puisqu'il n'est pas prévu de le récupérer ? Il s'agit d'une part des mesures de température et de pression qui permettront de vérifier que le flotteur a bien suivi la masse d'eau voulue, d'autre part des temps d'arrivée d'ondes acoustiques entendues par l'hydrophone, puis reconnues par l'électronique de réception.

En effet pour obtenir la position du flotteur quand il est sous l'eau, on utilise les ondes acoustiques : les ondes électromagnétiques ne se propageant pas dans l'eau. De façon plus précise il faut d'abord immerger au voisinage du chenal SOFAR (vers 1000 m de profondeur, où les ondes acoustiques se propagent horizontalement le plus loin) un réseau fixe de sources acoustiques (au moins 2 sources) qui vont émettre régulièrement (par exemple toutes les 8 h) un signal de fréquence et de durée connue (aux environs de 260 Hz et pendant 80 s). MARVOR une fois sous l'eau va reconnaître ces signaux s'il n'est pas trop loin des sources pour pouvoir les entendre (en pratique avec les sources actuelles jusqu'à 1000 km), puis dater avec précision (au 1/10^{ème} de seconde près) les instants d'arrivée de ces signaux et les mettre en mémoire.

Après retransmission via ARGOS de tous ces temps d'arrivée mémorisés, c'est-à-dire une fois MARVOR remonté à la surface, on peut alors calculer sur son ordinateur personnel les positions successives (toutes les 8 h) du flotteur en dérive à son immersion de consigne. Connaissant en effet les instants d'émission par une source don-

née et de réception par le flotteur du signal acoustique, il est immédiat si l'on connaît aussi la vitesse moyenne du son dans l'eau de mer, d'obtenir la distance entre le flotteur et la source. De l'ensemble des distances du flotteur aux différentes sources entendues, dont on connaît les positions, on calcule la position du flotteur par ajustement au sens des moindres carrés.

La précision de la méthode de positionnement dépend de plusieurs facteurs, mais pour ce qui concerne le flotteur, il s'agit avant tout de disposer d'une horloge très stable. L'horloge de MARVOR est bâtie sur un quartz compensé en température, et semble excellente puisque les essais en mer entre les mois de mai et d'octobre 1992 de deux MARVOR ont montré une dérive des horloges inférieure à 0.1 s après 5 mois. L'expérience à la mer a également permis de vérifier le bon fonctionnement d'ensemble des deux MARVOR et le respect des spécifications techniques demandées. Quatre cycles de 37 jours ont été réalisés, l'immersion en dérive étant de 1000 ± 30 dbar. La température a été mesurée avec une incertitude de $\pm 0.03^\circ\text{C}$, et la pression avec une incertitude de ± 5 dbar (calibrations réalisées avant et après

l'expérience, les flotteurs ayant exceptionnellement été récupérés). L'écoute acoustique et la retransmission ARGOS ont aussi été très satisfaisantes puisque 97 % des écoutes (de périodicité 8 h) ont permis d'obtenir des positions. En conclusion, et bien qu'il reste à confirmer sur un plus grand nombre de flotteurs et sur une plus grande durée (théoriquement le flotteur MARVOR devrait pouvoir fonctionner au moins 3 ans) les résultats obtenus sur les 2 flotteurs testés en 1992, on peut raisonnablement tabler sur une réussite de cet instrument. Dans le cadre de WOCE, vingt cinq MARVOR doivent être mis à l'eau à la fin de l'année 1993 au large du Brésil pour une mission de 3 ans. Souhaitons-leur bonne mer et "bon courrant". ■