

## Quelques considérations sur l'étude de la formation des eaux de fond, à la faveur des entreprises MEDOC 1969 et 1970

*par*

PAUL TCHERNIA et HENRI LACOMBE

*Laboratoire d'Océanographie physique, Muséum national d'Histoire naturelle, Paris (France)*

Aux Assemblées plénières de la C.I.E.S.M. de 1958, de 1962 et de 1966 nous avons exposé quelques résultats des études que, depuis décembre 1953, nous poursuivons sur les facteurs internes et externes responsables de la formation, en hiver, des eaux de fond de la Méditerranée occidentale.

Dès 1956 nous signalons les analogies existant entre les processus méditerranéens et ceux admis classiquement pour la formation des eaux de fond arctiques et antarctiques, analogies qui furent étudiées et discutées par B. SAINT-GUILY (C.I.E.S.M. 1962).

Cependant le détail des différentes phases des processus formateurs invoqués et les rôles respectifs des facteurs internes et externes restent obscurs, aussi bien dans les différentes régions polaires (mer de Norvège, océan Antarctique) qu'en Méditerranée occidentale.

Les observations nécessaires à ces études apparaissant plus faciles à poursuivre en Méditerranée qu'en mer de Norvège ou en mer de Weddell, certains océanographes intéressés par ces problèmes se sont depuis dix ans associés à nos recherches. Cette collaboration qui fut marquée dès février-mars 1961 et 1962 par deux campagnes en Méditerranée du navire de recherches américain *Atlantis* (A.R. MILLER C.I.E.S.M. 1962 A.R. MILLER et P. TCHERNIA C.I.E.S.M. 1966) s'est plus récemment manifestée par les entreprises concertées dites « MEDOC » 1969 et 1970 qui entre janvier et mars de ces deux années ont mis en œuvre les importants moyens flottants et aériens énumérés au tableau ci-dessous :

Navire	Laboratoire responsable	Chef de mission	Date d'opération
<i>Hybra</i>	Royal Navy N.I.O.	J. SWALLOW	1-10 janvier
<i>Discovery</i>	N.I.O.	J. SWALLOW	6-28 février
<i>Atlantis II</i>	W.H.O.I.	H. STOMMEL A.R. MILLER	23 janvier - 12 février 15 février - 8 mars
avion DC4 obs. Météo	W.H.O.I.	A.F. BUNKER	février
<i>Bannok</i>	C.N.R. Italie	R. FRASSETTO	février
<i>Maria Paolina</i>	SACLANT. La Spezia		
<i>Origny</i>	Marine Nationale B.F.O. Toulon	BONNOT	15 janvier - 7 mars
<i>Jean-Charcot</i>	Océanogr. Physique Muséum	P. TCHERNIA	2 - 27 février 18 - 31 mars
<i>Bouée Laboratoire</i>	Océanogr. Physique Muséum	J. GONELLA	janvier à mars

MEDOC 1969

*Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 21, 4, pp. 149-151 (1972).

MEDOC 1970	<i>Origny</i>	Marine nationale B.F.O. Toulon	THOUIN	6 au 20 janvier
	<i>Discovery</i>	N.I.O.	J. SWALLOW	28 janvier - 14 février
	<i>Bannock</i>	C.N.R. Italie	R. FRASSETTO	
	<i>Jean-Charcot</i>	Océanogr. Physique Muséum	H. LACOMBE P. TCHERNIA H. STOMMEL	5 février-9 mars
	<i>Bouée Laboratoire</i>	Océanogr. Physique Muséum	J. GONELLA Ph. GAUDILLERE	janvier - février

Ajoutons qu'en 1969 et 1970, la Météorologie Nationale a contribué à ces efforts en assurant en février l'exécution à bord du *Jean-Charcot* et en certaines stations à terre de radio-sondages spéciaux.

La réunion d'une telle quantité et d'une telle variété de moyens d'investigation a permis d'exécuter en un court espace de temps et dans une aire limitée un réseau d'observation très serré comportant en 1969 environ 525 stations hydrologiques et en 1970, 200 stations. La plupart de ces stations sont doublées par un relevé continu des profils de températures et de salinité (conductivité) au moyen de sondes électroniques.

De plus, en 1969, l'équipe du *Jean-Charcot* exécuta en deux points des mesures directes de courants à diverses immersions, d'une durée de 24 heures, l'équipe du *Discovery* fit des observations prolongées de courant au moyen de flotteurs de SWALLOW et celle de l'*Atlantis*, en utilisant des flotteurs de SWALLOW modifiés [VOORHIS & WEBB 1970] a pu mettre en évidence des mouvements verticaux liés aux mélanges convectifs, observations qui furent reprises avec succès par les mêmes auteurs en 1970 à bord du *Jean-Charcot*.

Au cours de ces deux campagnes une documentation considérable a été recueillie et pour permettre d'avancer l'exploitation de ce matériel il n'est pas envisagé de procéder à de nouvelles observations avant l'hiver 1971-1972.

De l'expérience acquise au cours de ces entreprises nous ne présenterons ici que trois points particuliers :

### 1. — Difficulté des opérations dans la zone active

Les observations ont montré que la zone favorable était représentée par une bande de 20 à 30 milles d'extension N-S sur 100 milles environ d'extension E-W centrée vers 42° N - 05° E. Cette région à l'ouvert du Golfe du Lion est soumise à des vents dominants de N-W. Elle est connue pour être, surtout en hiver, la plus venteuse et la plus agitée de toute la Méditerranée. Il y a là une relation de cause à effet : aux variations thermiques saisonnières qui atteignent en surface 12° C contre 6 à 7° C seulement à latitude égale dans l'Atlantique Nord, s'ajoutent dans cette région des facteurs liés aux effets directs et indirects des vents. Cet argument proposé par B. SAINT-GUILY dès 1958 a été confirmé par les observations de MEDOC 1969 (ANATI et STOMMEL 1970 - MEDOC group 1970).

Il en résulte aussi que si les processus de convection verticale sont en hiver dans la Méditerranée Occidentale Nord, plus aisément accessibles à nos investigations qu'en mer de Norvège ou dans l'océan Antarctique, les conditions de travail y sont cependant souvent difficiles.

### 2. — Nécessaire précision des mesures

Les régions où apparaissent en hiver, des mouvements étendus de cyclose verticale, pouvant rendre compte de la formation, par mélange, des eaux de fond, sont toutes au centre de circuits cycloniques. Ce sont des régions de stabilité précaire, à faible gradient vertical de densité. Ceci implique que les divers

paramètres susceptibles de rendre compte de ces mouvements ( $t^\circ - S^\circ/_{00} - O^2$ ) devront être mesurés en limite de précision de nos méthodes actuelles et que les diverses équipes associées dans ces opérations devront être capables de fournir des résultats strictement comparables.

Des comparaisons qui furent effectuées pendant MEDOC 1969 (P. TCHERNIA et L. GAMBERONI, 1970) il ressort que trois équipes comme celles de l'*Atlantis II*, du *Discovery* et du *Jean-Charcot* connues pour leur expérience du travail à la mer n'arrivent pas aisément dans leurs mesures à un accord atteignant  $\pm 0,01$  en température,  $\pm 0,005$  p. 1000 en salinité et  $\pm 0,05$  ml/L en oxygène dissous.

### 3. — Caractère imprévisible de l'emplacement et du moment des plongées profondes

En 1969 et 1970 l'extension horizontale des mélanges est apparue plus restreinte qu'en 1963 (H. LACOMBE, P. TCHERNIA & G. PELUCHON C.I.E.S.M. 1966). En 1970 en particulier, le *Jean-Charcot* et le *Discovery* entre le 14 et le 25 février furent amenés à concentrer leurs actions dans un carré de seulement 20 milles de côté, centré sur le point  $41^\circ 50' N - 04^\circ 30' E$ . Malgré la densité et la fréquence des observations exécutées, en une dizaine de jours, dans cet espace restreint, il est apparu qu'aucune des deux équipes ne pouvait prévoir le lieu ni le moment où sur la verticale d'une station on constaterait un mélange profond (2000 m et plus) faisant disparaître la structure en trois couches, observable cependant à quelques milles de distance.

### Conclusion

De ces trois ordres de considération il ressort que nous nous trouvons avoir à observer et analyser en détail à partir de mesures très précises, coordonnées entre différents navires, un processus hydrologique transitoire, imprévisible et se passant obligatoirement dans des conditions météorologiques et climatiques adverses. En l'état actuel de nos techniciens hydrologiques cette tâche apparaît difficile aussi bien en Méditerranée que dans les régions polaires.

### Références bibliographiques

- ANATI (D.) & STOMMEL (H.), 1970. — The initial phase of deep water formation in the northwest mediterranean, during Medoc 69, on the basis of observations made by « Atlantis II ». January 25 - February 12, 1969. *Cah. océanogr.*, **12**, 4, pp. 343-351.
- LACOMBE (H.) & TCHERNIA (P.), 1965. — Océanographie physique méditerranéenne. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, **18**, 3, p. 791.
- LACOMBE (H.), TCHERNIA (P.) & PELUCHON (G.), 1969. — Influence d'un hiver exceptionnel sur les conditions hydrologiques au large de la côte provençale (février-mars 1963). *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, **19**, 4, p. 739.
- MEDOC GROUP 1970. — Observation of formation of deep water in the Mediterranean Sea, 1969. *Nature*, **227**, n° 5262, pp. 1037 - 1040, september 1970.
- MILLER (A.R.), 1963. — Physical oceanography of the Mediterranean sea : a discourse. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, **17**, 3, pp. 857-871.
- MILLER (A.R.) & TCHERNIA (P.), 1969. — Méditerranéan Sea Atlas. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, **19**, 4, p. 677.
- SAINT-GUILY (B.), 1963. — Remarques sur le mécanisme de formation des eaux profondes en Méditerranée occidentale. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, **17**, 3, pp. 929-932.
- TCHERNIA (P.), 1960. — Hydrologie d'hiver en Méditerranée occidentale. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, **15**, 3, p. 277.
- TCHERNIA (P.) & GAMBERONI (L.), 1970. — Comparaison des résultats de mesures de température, salinité et teneur en oxygène, exécutées simultanément par l'« Atlantis II » (W.H.O.I.), le « Discovery » (N.I.O.) et le « Jean Charcot » (M.O.P.) au cours de la campagne Medoc 1969. *Cah. océanogr.*, **12**, 10, pp. 1011-1031.
- VOORHIS (A.D.) & WEBB (D.C.), 1970. — Large vertical currents observed in a water sinking region of the northwestern Mediterranean. *Cah. océanogr.*, **12**, 6, pp. 571-580.

