

TENEUR EN OXYGENE

DES EAUX DE LA MEDITERRANEE OCCIDENTALE

(supplément à l'étude hydrologique de juin-juillet 1957) ⁽¹⁾

par Jean FURNESTIN

JACOBSEN (1912) ⁽²⁾ a fait, dans les rapports sur les expéditions océanographiques danoises (1908-1910), une étude de la teneur en oxygène des eaux de la Méditerranée qui est, comme celle de NIELSEN pour la température et la salinité, à la base de nos connaissances hydrologiques sur cette mer.

L'auteur danois a surtout considéré les variations journalières de l'oxygène dans les eaux de surface et les variations saisonnières de ce facteur aux différentes profondeurs.

Il a constaté, qu'en plus des variations qui se produisent au cours de 24 heures dans les eaux de surface, la répartition de la quantité relative d'oxygène révèle en général une saturation en surface et une sursaturation immédiatement au-dessous.

Puis, plus bas, à des profondeurs variables, il signale partout un minimum dû à l'eau de la Méditerranée orientale qui, dans son écoulement vers l'ouest, forme une couche intermédiaire sans rapport avec l'atmosphère et dont le taux d'oxygène s'affaiblit ainsi graduellement. Quant aux eaux du fond, leur teneur en oxygène relativement élevée s'obtient par le renouvellement opéré grâce aux courants de convection qui se manifestent en certains endroits durant l'hiver.

Les données recueillies par le « Président-Théodore-Tissier » au cours de sa campagne de l'été 1957 ⁽³⁾ permettent d'apporter un supplément à ces connaissances générales et déjà anciennes. Obtenues en même temps que celles qui ont trait à la température et à la salinité et comparées à elles, on peut en tirer des précisions plus étroites sur les caractéristiques des eaux orientales, septentrionales et atlantiques dont le développement en ces secteurs occidentaux a été décrit dans le volume XXIV, fascicule 1 (1960) de la Revue des Travaux.

On verra notamment que la répartition de l'oxygène est souvent corrélative de celle des deux facteurs précités, les couches considérées ayant, en plus de leurs caractères thermohalins, une teneur en oxygène qui permet, elle aussi, de les définir.

Ces données fourniront, en outre, des indications nouvelles sur le niveau, l'allure et l'impor-

(1) Rev. Trav. Inst. Pêches marit., t. XXIV, fasc. 1, p. 8.

(2) JACOBSEN (J.P.) 1912. — The amount of oxygen in the water of the Mediterranean. — *Report danish oceanogr. Exped. 1908-1910*, vol. I.

(3) Teneur en oxygène mesurée par la méthode Winkler et exprimée en centimètres cubes par litre.

tance de cette couche superficielle, sursaturée, dont JACOBSEN fait état et qui est due à la grande densité du phytoplancton rassemblé à ces niveaux où les conditions physicochimiques sont particulièrement favorables à la photosynthèse.

Afin d'éviter des redites, ce travail sera limité, dans son texte comme dans ses illustrations, aux faits principaux et pour tout ce qui concerne les coordonnées géographiques des stations, l'examen comparatif des cartes et des coupes hydrologiques, je renvoie le lecteur à ma précédente publication, déjà citée, sur la température et la salinité des eaux occidentales de la Méditerranée.

LE GOLFE DU LION

La carte *des 5 mètres* (fig. 1) se superpose presque à celle des isohalines ⁽¹⁾. Comme elle, elle décrit l'écoulement tourbillonnaire des eaux du Rhône dans le Golfe. Sursaturées (de 5.40 à 6.10) dans le courant du Rhône proprement dit, ces eaux perdent une partie de leur oxygène (de même qu'elles accroissent leur salinité) dans le contre-courant du Languedoc ; mais elles y conservent une oxygénation encore élevée (5.10 à 5.40).

En revanche, les eaux de type méditerranéen au large du Golfe, sont à un taux plus bas et relativement uniforme (5.02 à 5.06).

A *50 mètres* (fig. 2). La teneur en oxygène est nettement plus forte qu'en surface. On ne saisit pas de rapport entre l'oxygène et la salinité, ce qui n'est pas pour surprendre, les eaux étant à ce niveau, comme l'indique leur salinité de transition (38.00 à 38.30), fortement mélangées.

Mais, il semble y avoir une certaine corrélation avec la température. Les courbes dessinent un système comprenant une zone centrale à forte teneur (de 5.70 à 6.20) qui correspond à la température la plus élevée du couloir médian (14°5 à 15°) figurant sur la carte des températures et deux zones latérales où le taux d'oxygène est plus faible — celle de l'est surtout (5.50 à 5.10) — corrélatives de températures également plus basses (14° à 13°5).

A *100 mètres* (fig. 3). On retrouve une correspondance entre salinité et oxygène. Mais le taux de ce dernier élément, beaucoup plus bas qu'aux niveaux supérieurs, s'établit entre 5.30 et 4.40. Encore élevé près de la marge continentale où règnent des salinités voisines de 38.10, il est très inférieur au large où la zone de moindre oxygénation de forme elliptique s'allonge sensiblement d'est en ouest. Elle répond à peu de chose près aux salinités les plus fortes (supérieures à 38.40) qui caractérisent déjà les eaux dites orientales dont on sait que, faisant un long parcours aux niveaux intermédiaires, elles perdent peu à peu leur oxygène.

A *200 mètres* (fig. 4). La teneur en oxygène s'est encore abaissée (5.10 à 4.0), tout en laissant aux courbes la même allure générale qu'à 100 m. Cet abaissement correspond à l'accentuation du caractère oriental des eaux de ce niveau (salinité > 38.45).

A *400 mètres* (fig. 5). La diminution se poursuit, le taux varie entre 3.39 au voisinage des eaux les plus franchement orientales et 4.39 dans les zones légèrement moins salées.

Comme c'est à cette profondeur, où se situe le minimum d'oxygène, que les eaux orientales sont le plus typiques et le mieux développées, on peut considérer que 3.4 à 4.4 de O₂ sont, en ce lieu et à cette saison, une caractéristique de ces eaux aussi significative que la salinité de 38.45/38.50‰ et la température légèrement supérieure à 13°.

En effet, à *1 000 mètres* (fig. 6), le taux d'oxygène, tout en restant assez bas, se relève à 4.0/4.63, tandis que la salinité et la température diminuant montrent également qu'à ce niveau profond les eaux orientales, plus ou moins mélangées à celles d'origine septentrionale, leur ont cédé la primauté.

(1) *Loc. cit.*

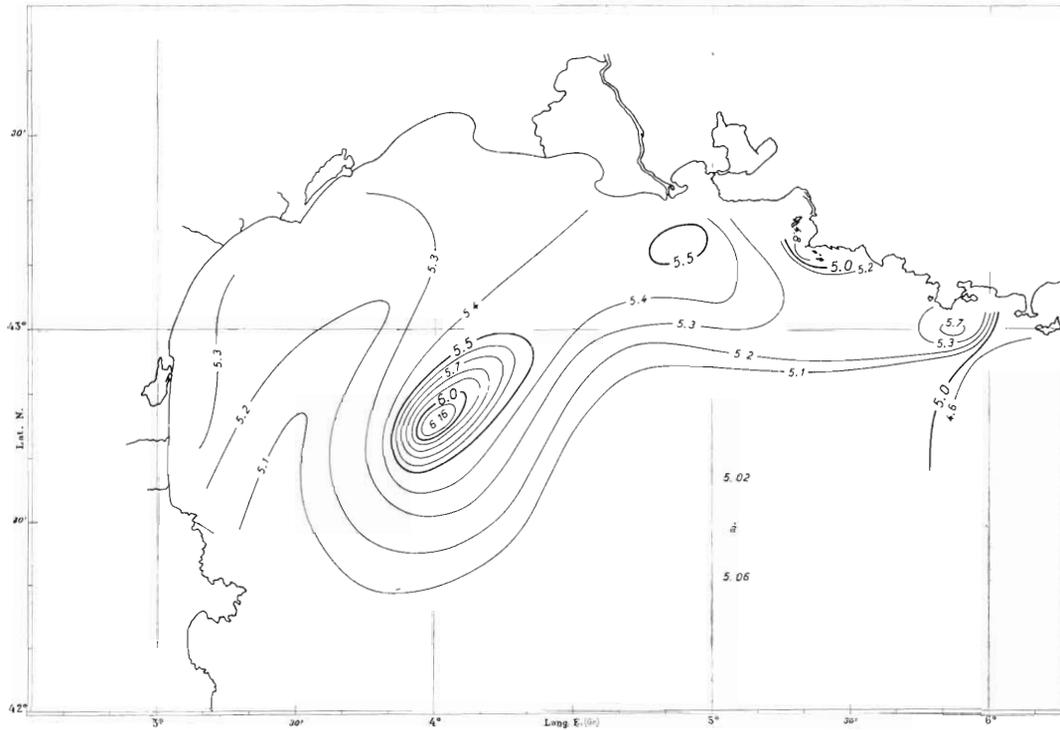


FIG. 1. — Golfe du Lion. Répartition de l'oxygène à 5 m.

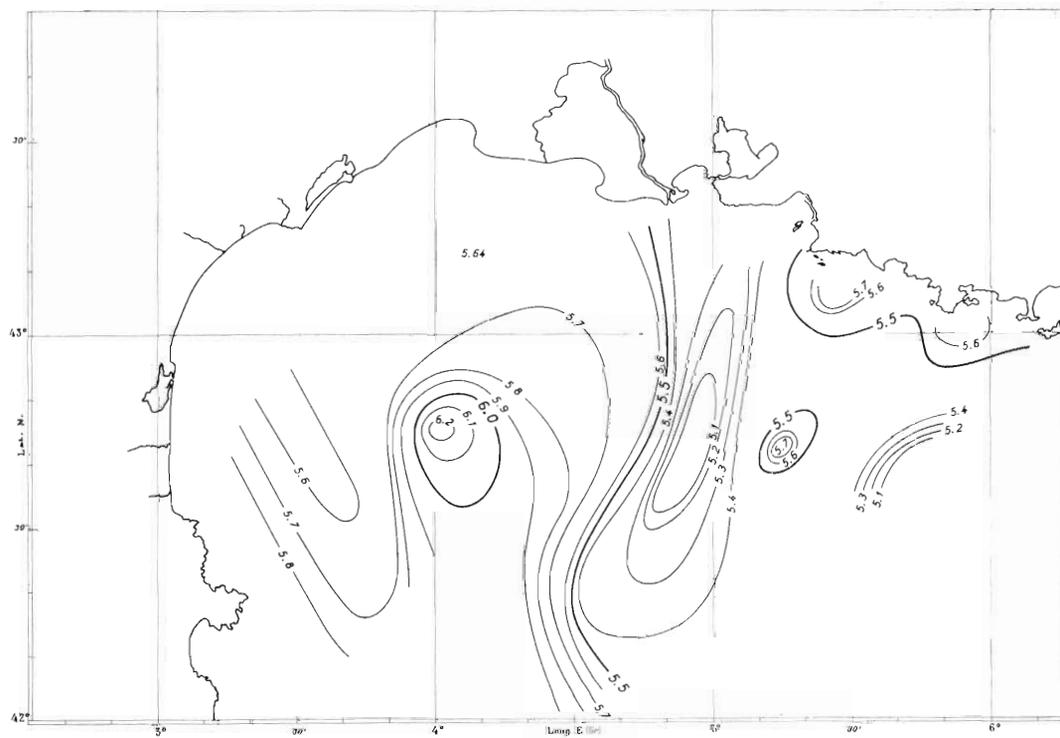


FIG. 2. — Golfe du Lion. Répartition de l'oxygène à 50 m.

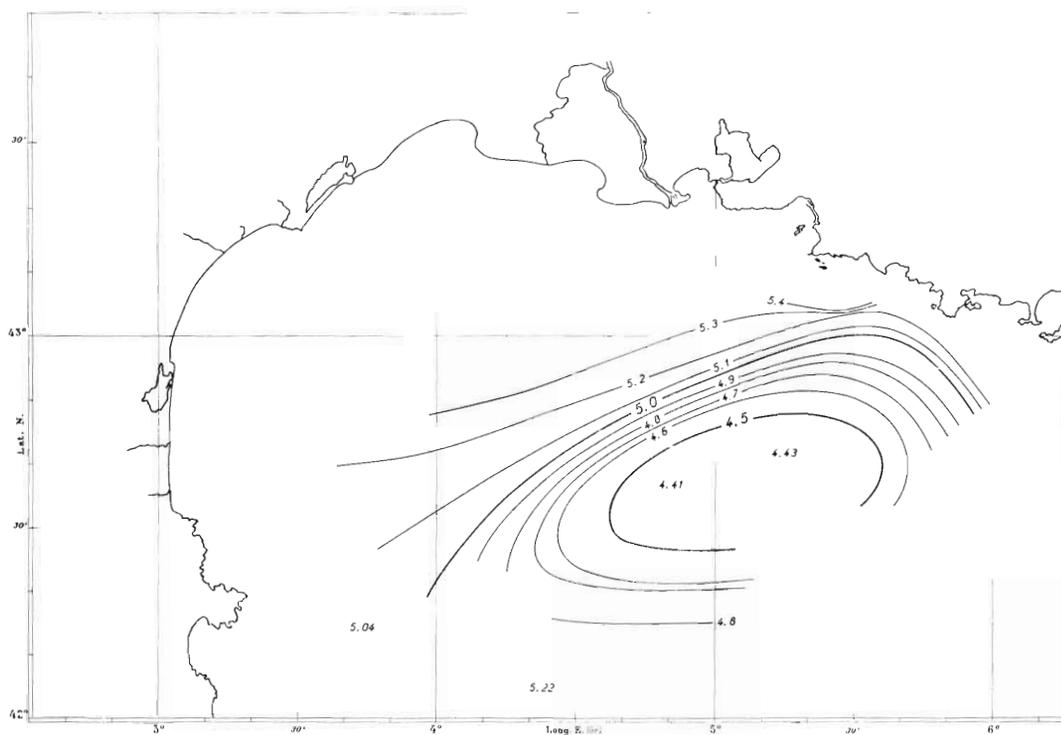


FIG. 3. — Golfe du Lion. Répartition de l'oxygène à 100 m.

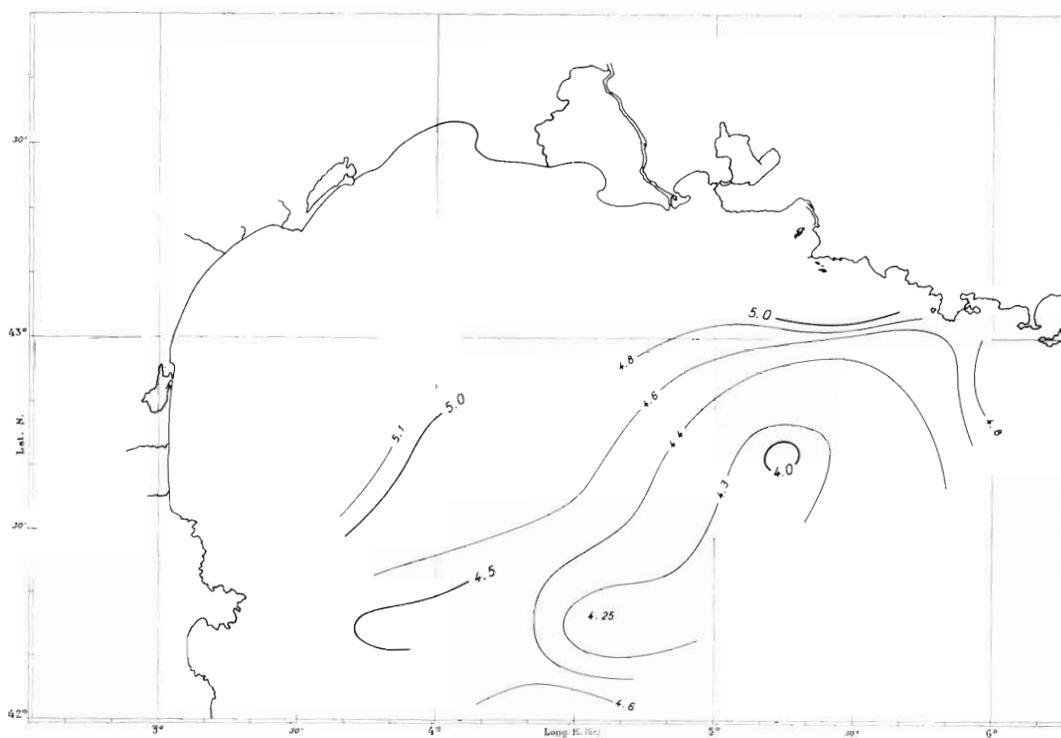


FIG. 4. — Golfe du Lion. Répartition de l'oxygène à 200 m.

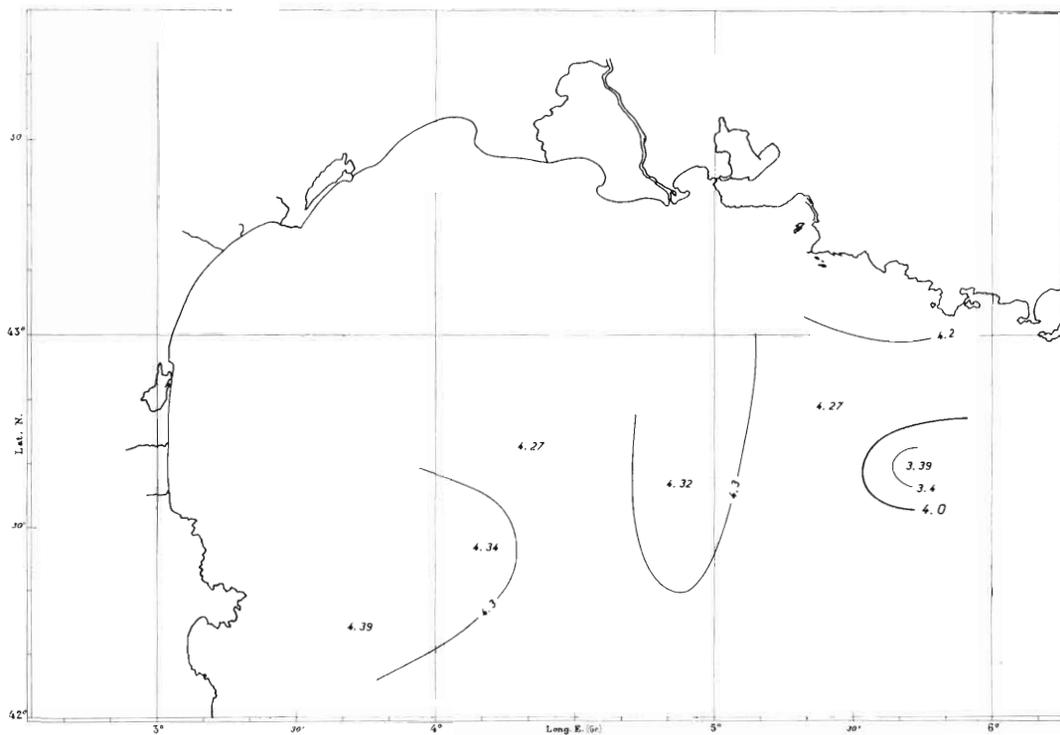


FIG. 5. — Golfe du Lion. Répartition de l'oxygène à 400 m.



FIG. 6. — Golfe du Lion. Répartition de l'oxygène à 1000 m.

La coupe n° L1 (fig. 7), qui s'inscrit dans l'axe du courant de retour des eaux du Rhône, offre une répartition très intéressante de l'oxygène dans la zone côtière des 100 m.

Tout d'abord, le lit de ce contre-courant s'y dessine fort bien : O₂ relativement faible (5.11) en surface, augmentant avec régularité jusqu'à 5.60 par 50 m.

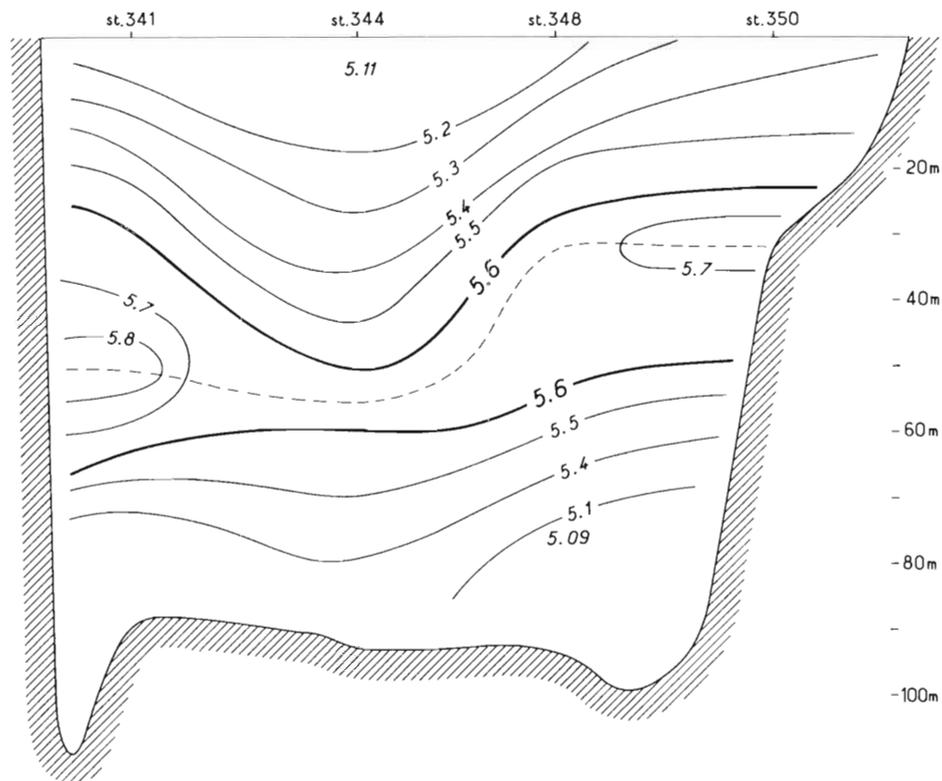


FIG. 7. — Golfe du Lion. Coupe hydrologique n° L1 (répartition de l'oxygène).
Les tirets situent le maximum de O₂ dans la couche saturée.

Mais ce qui retient le plus l'attention, c'est l'existence à mi-profondeur d'une couche à suroxygénation, mise en évidence par les lignes de 5.60. Epaisse d'une trentaine de mètres au nord et au sud, au voisinage de la côte, elle ne dépasse certainement pas 10 m dans sa partie médiane qui se situe au point le plus au large. Corrélativement, le maximum, qui traverse cette couche, débute au nord vers 30 m avec une teneur forte (5.72), s'infléchit au centre pour descendre à 55/60 m dans la partie la plus étroite de la couche, au sein de laquelle d'ailleurs la teneur diminue quelque peu (5.60), puis il remonte à 50 m sur la côte sud, où la couche s'épaissit et l'oxygène augmente (5.88).

Cette eau sursaturée est celle que JACOBSEN (1912) a décrite de divers autres lieux de la Méditerranée, sensiblement au même niveau et qu'il attribue, sans plus préciser, à l'activité des organismes. Autrement dit, c'est la couche où s'exerce la photosynthèse. Cette couche à oxygénation maximale a beaucoup de rapports avec la répartition des salinités. Elle décrit une courbe semblable à celle des 38,0 ‰ et son taux le plus élevée coïncide sur la côte sud à la salinité la plus forte (38.22 ‰). Ce dernier facteur — probablement dans la mesure où il influe sur la viscosité de l'eau et tout au moins dans le cas présent — peut donc jouer un rôle dans la répartition du phytoplancton et être à l'origine de sa concentration.

Enfin, la coupe montre qu'au-dessous de cette couche, la teneur en oxygène diminue rapidement (jusqu'à 5.09 par 80 m).

La coupe n° L2 (fig. 8) qui va, de l'embouchure du Grand-Rhône, vers le sud-est au large, également significative, est différente car elle déborde vite le plateau continental et concerne un secteur profond de 2 000 m.

Examinons d'abord la zone superficielle, entre 5 et 200 m (L2 B). On y voit :

1° Sur le coin continental une teneur relativement élevée qui, dans les 60 premiers mètres, diminue légèrement à mesure que le niveau s'abaisse (de 5,5 en surface à 5,3 vers 60 m). Puis, près du fond, la chute est plus brutale (de 5,0 à 4,71 entre 75 et 100 m).

2° La couche subsuperficielle à taux élevé (5,7 par 50 m à la station 369) qui plonge en s'affaiblissant progressivement vers le bord du talus par 100 m environ.

Cette couche à forte oxygénation est l'homologue de celle qui a été décrite en L1 et doit son existence aux mêmes causes (photosynthèse).

3° La raison d'être du minimum qui s'intercale entre cette couche et l'eau superficielle côtière est plus difficile à saisir. Anormal à un tel niveau dans cette région, il ne peut guère s'expliquer que par la présence d'une eau ayant longtemps cheminé depuis son point d'origine. Trop superficiel pour être attribué à l'eau intermédiaire qui se tient à une profondeur plus grande, ce minimum peut être considéré comme le témoin d'un lointain apport d'eau atlantique parvenu jusque là le long de la côte provençale, explication qui confirme l'hypothèse à laquelle a été conduit ALLAIN⁽¹⁾ dans son étude dynamique de cette région.

4° Au-dessous de la couche saturée, le taux d'oxygène rapidement dégressif, tombe à 4,0 par 200 m. On voit sur la coupe L2 A qu'entre ce niveau (station 369) et 400/500 m sur la pente continentale, s'inscrit un minimum de O₂ à travers une couche que délimite les lignes de 4,3. En se rapportant à la figure des salinités, on remarquera qu'il correspond au maximum thermique et plus encore à celui des salinités (> 38,45), c'est-à-dire à la couche d'eau orientale, au point que là où la salinité est la plus forte (38,50), donc l'eau orientale la plus caractéristique, la teneur en oxygène est la plus faible (4,0).

5° Au-dessous de l'eau orientale, l'oxygène remonte jusqu'à 4,5, en un maximum étroit qui, si on se réfère à la figure des températures, coïncide avec le minimum thermique (12°95) révélant la présence de l'eau septentrionale profonde, plus riche en oxygène que l'eau orientale en dépit de son niveau plus bas car elle n'a pas eu à accomplir un aussi long parcours que cette dernière ; n'ayant fait que plonger sur place, elle ne s'est pas appauvrie dans la même mesure.

6° Sous ce maximum de 4,5, le taux d'oxygène diminue graduellement jusqu'à un autre minimum de 4,11, au sein d'une couche inférieure à 4,2 entre 800 et 1 200 m. Puis il augmente de nouveau, mais faiblement, pour dépasser 4,34 par 1500 m.

Si on compare, là encore, les variations de l'oxygène à celles de la température, on observe une très exacte corrélation :

1° entre le minimum d'oxygène des 1000 m et l'inflexion de l'isotherme 13° qui, au même niveau (station 309), indique une dégradation du caractère de l'eau septentrionale par mélange avec l'eau orientale,

2° entre le dernier maximum d'oxygène, par 1500/1700 m, et la température de 12°95 qui signale à nouveau un caractère plus franchement septentrional de l'eau profonde.

La concordance est donc nette entre salinité et température d'une part et oxygène d'autre part, dans le domaine profond. Les données fournies par cette coupe L2 permettent ainsi d'ajouter un troisième facteur, l'oxygène, aux deux (température et salinité) habituellement utilisés pour définir les eaux de différentes natures de ce secteur nord-occidental de la Méditerranée.

On dira donc que la couche intermédiaire d'eau orientale se caractérise par une température supérieure à 13°, une salinité supérieure à 38,45 et une teneur en oxygène de (ou inférieure à) 4,0.

De même, les eaux septentrionales inférieures (anciennes) se caractérisent par une température inférieure à 13°, une salinité inférieure à 38,40 et une teneur en oxygène de (ou supérieure à) 4,4.

(1) ALLAIN 1960. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, t. XXIV, fasc. 1, p. 124-125.

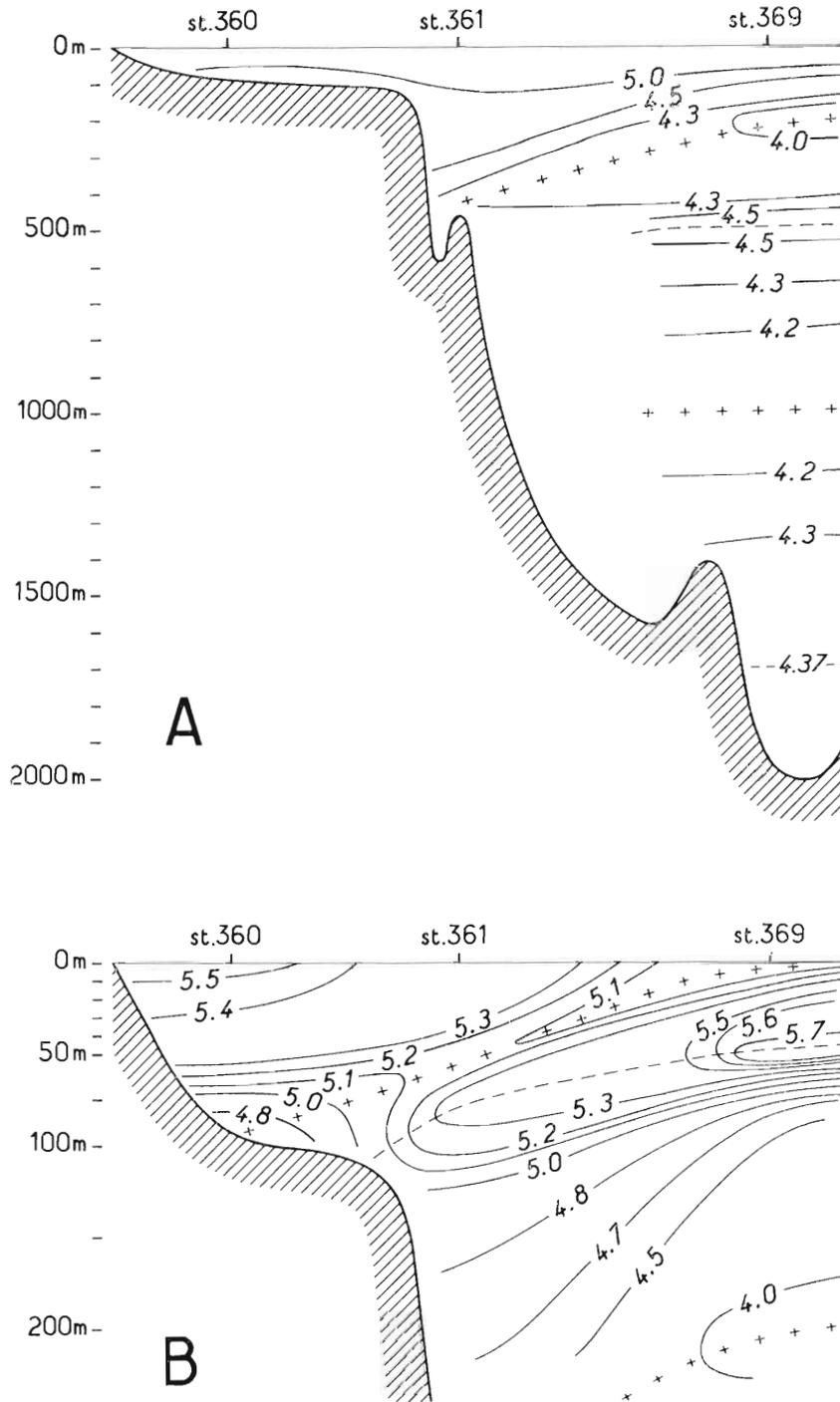


FIG. 8. — Golfe du Lion. Coupe hydrologique n° L2 (répartition de l'oxygène). Croix: minimum O_2 d'un apport subsuperficiel d'eau atlantique (fig. B) et de l'eau intermédiaire et profonde d'influence orientale (fig. A). Tirets: maximum O_2 de la couche saturée de surface (fig. B) et des eaux septentrionales profondes (fig. A).

MER CATALANE

La transcription des teneurs en oxygène sur cartes à différentes profondeurs, ne donne pas, pour la Mer catalane, de figures très significatives, en raison très vraisemblablement du caractère de mélange qui affecte les eaux de cette mer ; en conséquence, elles ne seront pas reproduites ici.

En revanche, si l'on reprend les différentes coupes hydrologiques déjà tracées pour les températures et les salinités, la distribution de l'oxygène apparaît pleine d'analogie avec celle de ces deux facteurs et donne l'occasion de vérifier qu'à partir de la subsurface, les couches de différentes natures, à l'exception toutefois de la couche septentrionale supérieure trop proche de la surface, sont aussi facilement identifiables par l'oxygène que par leurs caractères thermohalins.

Coupe n° C1 (fig. 9). On constatera d'abord, sur la figure B, que dans le secteur superficiel la couche sursaturée, si évidente pour le Golfe du Lion voisin, est ici également d'une très grande netteté. Si on lui donne comme limites les lignes de 5.5, on voit que sur cette coupe sensiblement nord-sud elle est plus superficielle, plus épaisse (niveaux 5 à 65 m), plus saturée (jusqu'à 6.02) au nord que sur le plateau de Minorque où elle plonge jusqu'à une soixantaine de mètres, son épaisseur ne dépassant pas une dizaine de mètres et sa teneur s'abaissant à 5.6.

La figure A, comparée à celles des températures et salinités, montre la corrélation existant entre les trois facteurs.

Au tracé de l'isohaline 38.45, correspond un tracé très comparable pour l'oxygène. L'un et l'autre délimitent une masse intermédiaire d'eau orientale à forte salinité (> 38.45) et à faible oxygène (4.2 à 4.3). Pareillement, les deux tracés mettent en évidence l'attaque de cette masse par les eaux septentrionales qui, latéralement, entre 500 et 1000 m, se manifestent par un abaissement de la salinité et une élévation du taux d'oxygène (> 4.5).

Coupe n° C2 (fig. 10). La couche sursaturée est ici subhorizontale (fig. B). Relativement épaisse (une centaine de mètres) et à plus forte teneur dans la zone côtière, elle s'amincit vers le large et est moins saturée, à l'inverse de ce qui se présentait dans la coupe précédente.

Figure A. Aux niveaux inférieurs, vers 300/400 m, s'inscrit le minimum d'oxygène (jusqu'à 4.35) de la couche intermédiaire, corrélatif de la salinité et de la température qui la définissent.

Au-dessous (700 m) apparaît un maximum d'oxygène qui, supérieur à 5.0 dans la moitié ouest, concorde avec les basses températures caractérisant l'eau septentrionale inférieure. Sur cette figure, comme sur celle de la température, les courbes délimitant cette couche inférieure se referment à l'est, cédant la place à des teneurs plus basses (inf. à 4.4 et 4.3), caractéristiques d'une eau de type oriental.

Après 1500 m, une légère augmentation du taux d'oxygène, puis une diminution du même ordre vers 2000 m, correspondent à des variations de même sens pour la température et montrent l'influence alternée de l'eau septentrionale et de l'eau orientale dans le mélange qui s'opère dans les couches les plus profondes du secteur.

Coupe n° C3 (fig. 11). Cette section, qui emprunte le 40° parallèle, passe à peu de chose près, dans la partie médiane de la Mer catalane, où se produit un certain mélange des eaux, rompant plus ou moins la continuité des couches superposées.

Sous l'aspect envisagé ici, celui de l'oxygène, elle est également différente, dans d'importants détails tout au moins, de celles qui ont déjà été décrites.

Sur la tranche superficielle, la couche sursaturée existe bien aux mêmes niveaux (30 à 60 m) et avec des teneurs comparables : circonscrite par les lignes de 5.5 avec un maximum supérieur à 6.0 sur le versant ouest de Majorque, mais contrairement à celle de la coupe précédente, elle se développe de l'est vers l'ouest où elle tend à s'affaiblir et où elle se superpose à une masse elle aussi fortement saturée (O_2 dépassant 6.40 à 500 m), plaquée sur la pente continentale.

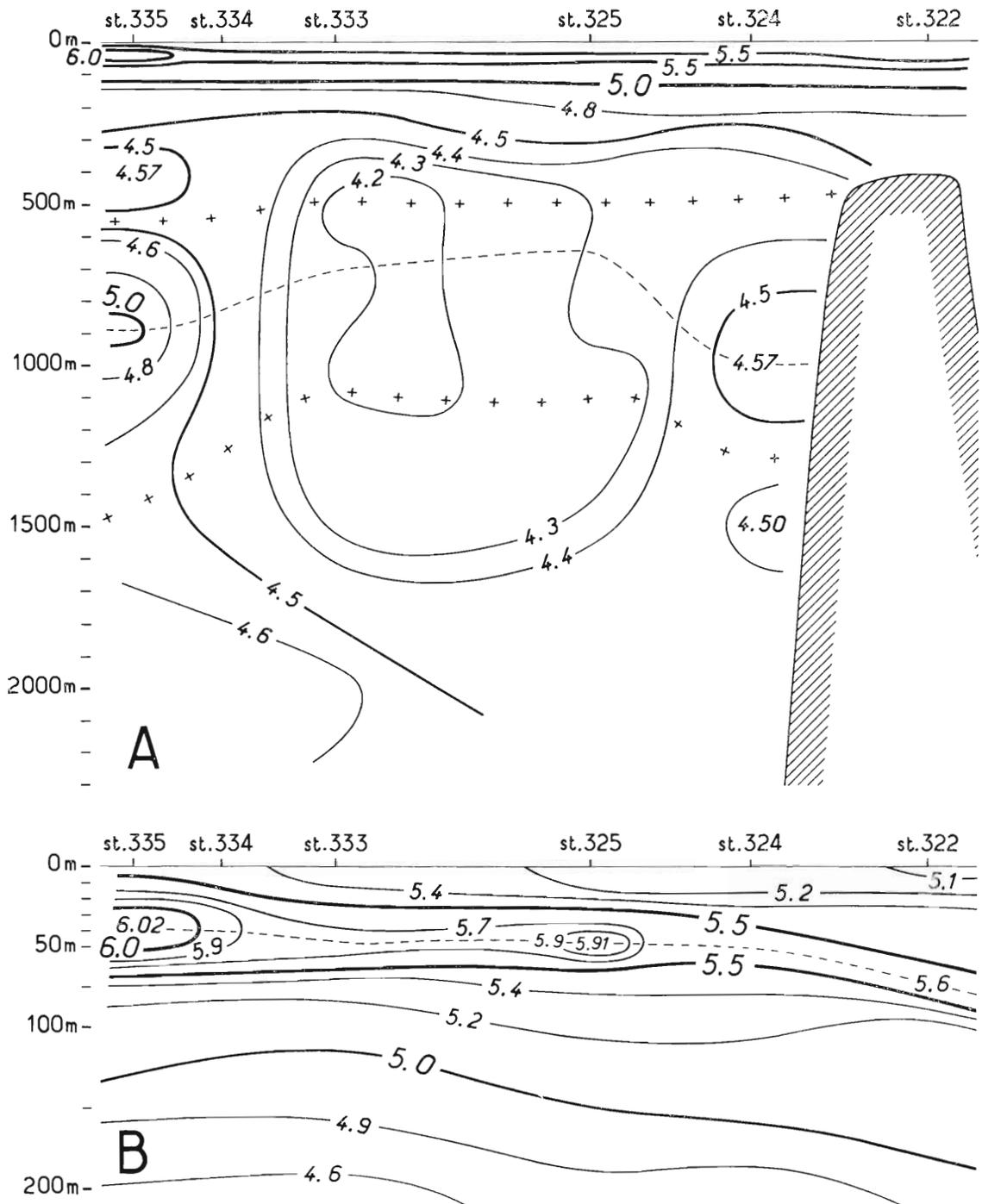


FIG. 9. — Mer catalane. Coupe hydrologique n° C1 (répartition de l'oxygène). Croix : minimum O_2 situant les couches d'eau orientale. Tirets : maximum O_2 de la couche superficielle sursaturée (fig. B) et de la couche septentrionale profonde (fig. A).

Cette formation qui débute vers 70 m, s'enfonce profondément, peut-être jusqu'à 1 000 m et plus. Si on consulte la carte des températures, on remarque qu'elle correspond à une masse à $13^{\circ}10$, constituant une véritable anomalie thermique à ce niveau qui est ordinairement celui de l'eau septentrionale supérieure à température basse ($12^{\circ}80$ à 13°). Je ne vois pas d'autre interprétation à donner à ce phénomène que celle d'une plongée très récente, le long de la pente, d'une eau superficielle due aux apports de l'Ebre et du plateau catalan, comme il s'en produit plus au nord, sur les côtes du Roussillon.

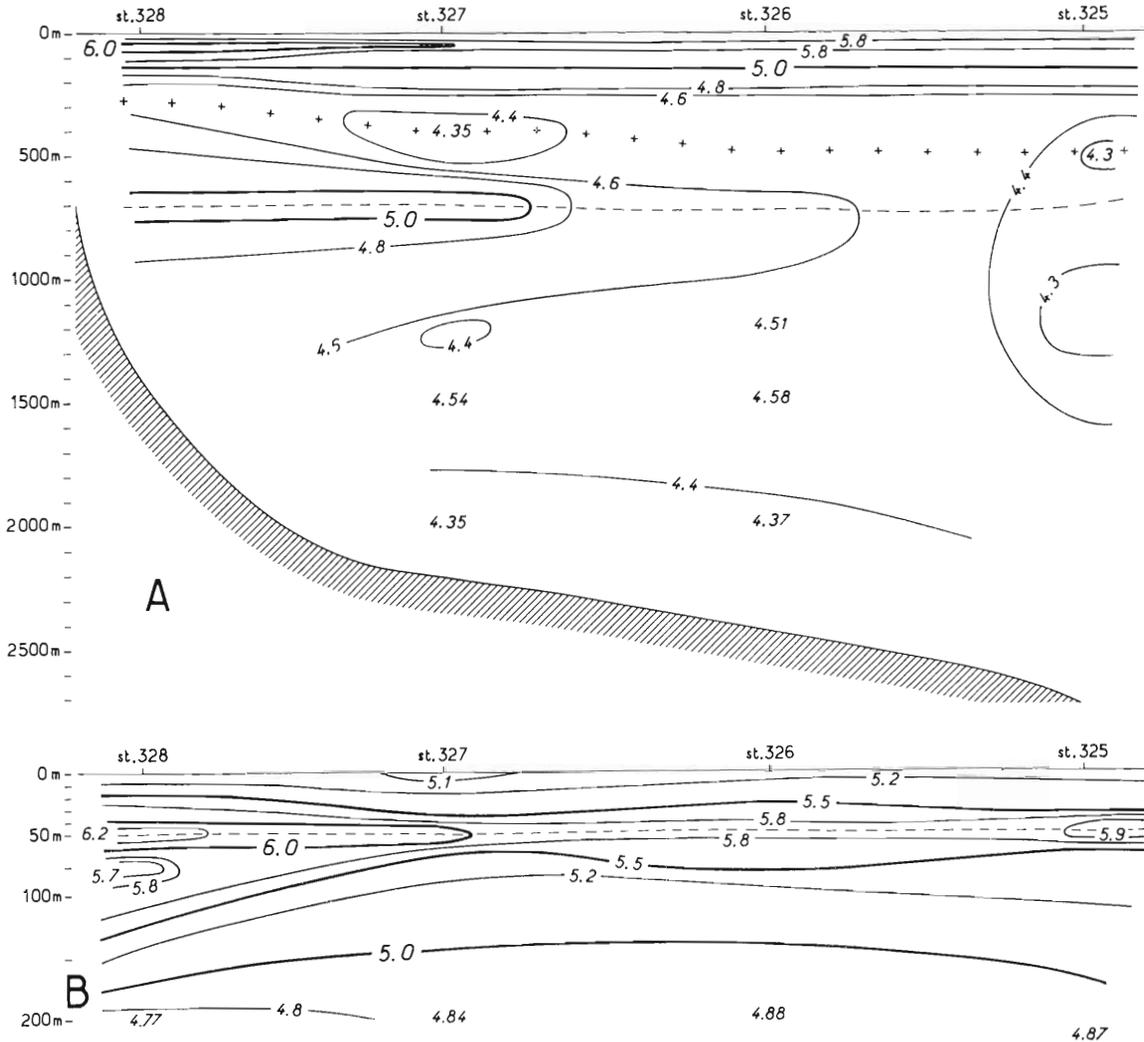


FIG. 10. — Mer catalane. Coupe hydrologique n° C2 (répartition de l'oxygène). Croix : minimum O_2 de la couche orientale. Tirets : maximum O_2 de la couche superficielle (fig. B) et de la couche septentrionale (fig. A).

Autre anomalie sur cette coupe : l'existence entre 100 et 200 m, d'une couche à minimum d'oxygène ($< 5.0/4.8$) s'enracinant à l'est et affrontée à la masse sursaturée précitée, à l'ouest. La cause de ce minimum d'ailleurs très relatif, qui rappelle dans une certaine mesure celui que mettait en évidence la coupe L2 dans le Golfe du Lion, sera elle aussi attribuée à la pénétration en ce secteur d'une branche du courant atlantique.

A une profondeur un peu plus grande, entre 200 et 300 m, apparaît un nouveau maximum (4,94 à l'est, 5,75 à l'ouest) qui peut être provoqué par la diffusion de la masse sursaturée glissant le long de la pente continentale catalane ou simplement par l'influence de l'eau septentrionale supérieure qui se manifeste à ce niveau avec sa température caractéristique de 12°80 à 13°.

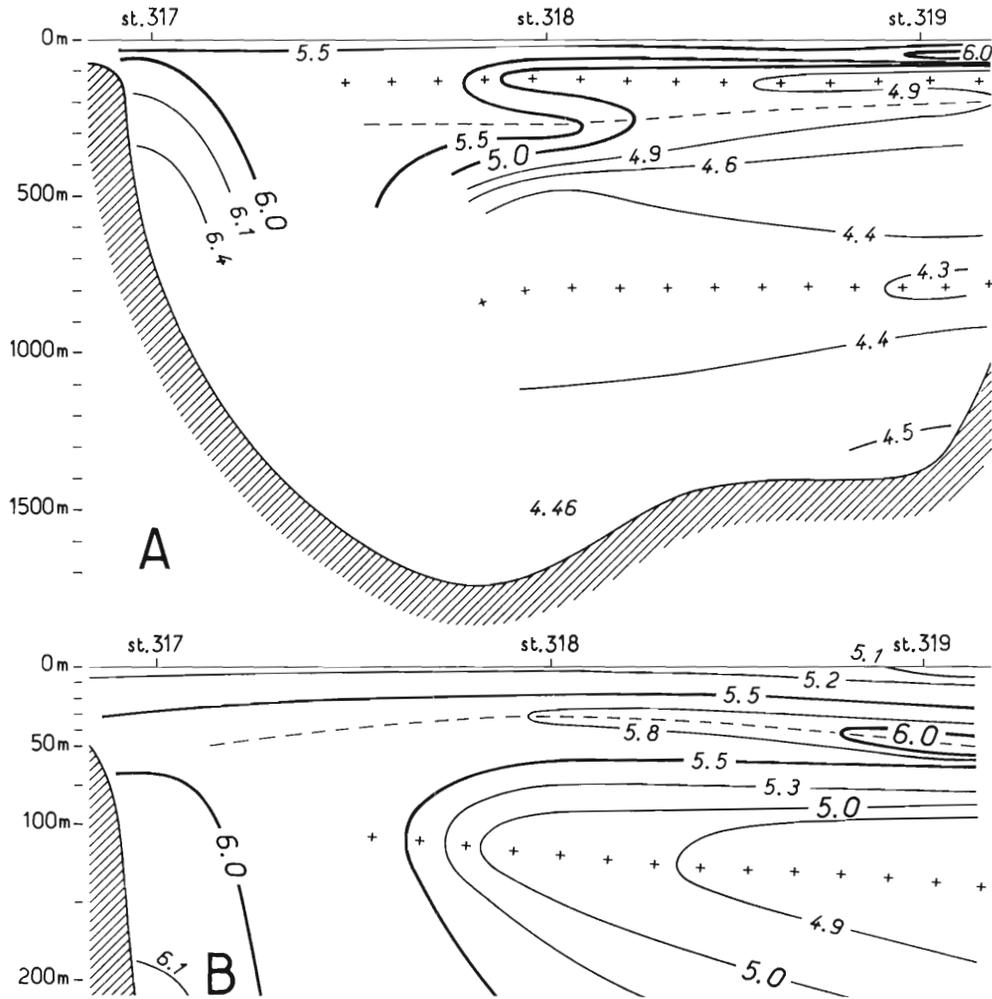


FIG. 11. — Mer catalane. Coupe hydrologique n° C3 (répartition de l'oxygène). Croix : minimum O₂ situant les eaux orientales intermédiaires et profondes. Tirets : maximum O₂ de la couche superficielle (fig. B) et de l'eau septentrionale (fig. A).

En profondeur, un minimum passant par les teneurs de 4.30 à 4.38, habituelles de l'eau orientale en cette région, occupe la partie est de la coupe entre 500 et 1 000 m. La couche pauvre en oxygène dans l'axe de laquelle il passe, suit en l'élargissant la bande à 13° qui, en cette région où les eaux se mélangent, permet de repérer la couche intermédiaire.

Vers le fond, lui succèdent des teneurs en augmentation légère (jusque 4.51) corrélatives des températures de l'eau septentrionale profonde.

Coupe n° C4 (fig. 12). La couche superficielle, sursaturée, se tient à son niveau habituel de 30 à 50 m. Son taux très élevé est comme sur C3, plus fort sur le versant des îles (jusqu'à 6.42) que sur celui de la péninsule (5.99).

Une anomalie de faible étendue (fig. B) rompt sa continuité à la station 314 où s'insère, par 50 m, un noyau à 5.30 qui correspond à une inflexion des isothermes et isohalines, traduisant une élévation de la température et une diminution de la salinité.

Aux niveaux inférieurs, se remarque une couche pauvre en oxygène (jusqu'à 4.08) qui est celle des eaux intermédiaires à forte salinité (38.50) au-dessous desquelles on retrouve, avec la température inférieure à 13° des eaux septentrionales profondes, un taux d'oxygène de nouveau plus élevé (4.69 à 4.86).

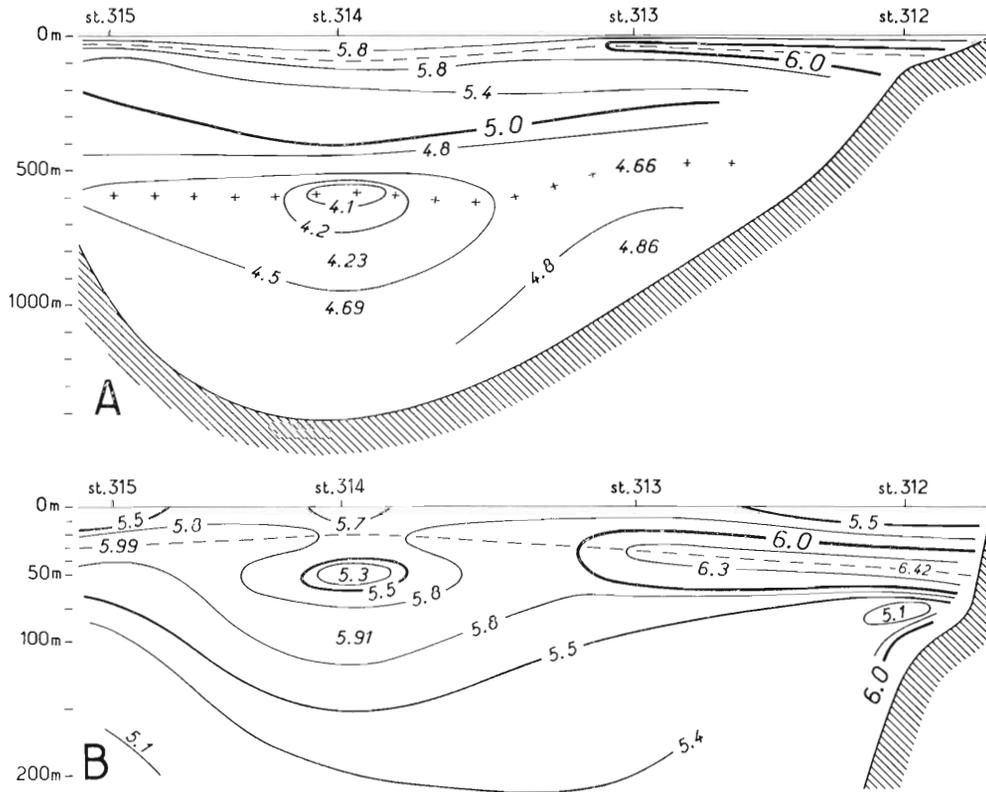


FIG. 12. — Mer catalane. Coupe hydrologique n° C4 (répartition de l'oxygène). Croix minimum O₂ situant la couche orientale. Tirets : maximum O₂ de la couche superficielle.

La coupe n° C5 (fig. 13) se situe dans le canal d'Ivice à la sortie de la Mer catalane.

Dans ce détroit, la couche superficielle à forte teneur (> 5.8, maximum 6.07) n'existe que sur le versant péninsulaire. Vers Ivice, le taux d'oxygène est plus bas (5.21 à 5.40); on peut y voir une corrélation avec l'influence aux abords de l'île, de l'eau atlantique dont la teneur est du même ordre que dans le secteur ibéro-algérien.

A la profondeur de 500 m, une couche pauvre en O₂ (4.41) s'interpose dans la masse profonde à teneur plus élevée (4.90 à 4.82); c'est la couche orientale intercalée dans les eaux septentrionales.

Une remarque est à faire ici, quant au niveau auquel se signale le minimum d'oxygène de cette couche, comparativement au maximum de température et de salinité, qui permettent ordinairement de le caractériser.

Dans la plupart des cas, ces indices sont plus ou moins décalés les uns par rapport aux autres. Mais dans le canal d'Ivice ce décalage est particulièrement fort : tandis que le maximum de température s'inscrit vers le niveau de 300 m, celui des salinités se trouve vers 400 m et le minimum d'oxygène vers 500 m. Compte tenu de la perte d'oxygène qui peut se produire en profondeur où les mouvements d'eau ont moins de force, il semble donc que l'influence de l'eau intermédiaire s'exerce en fait sur une tranche bien souvent plus importante que ne pourrait l'indiquer un seul des deux facteurs habituellement utilisés pour la repérer.

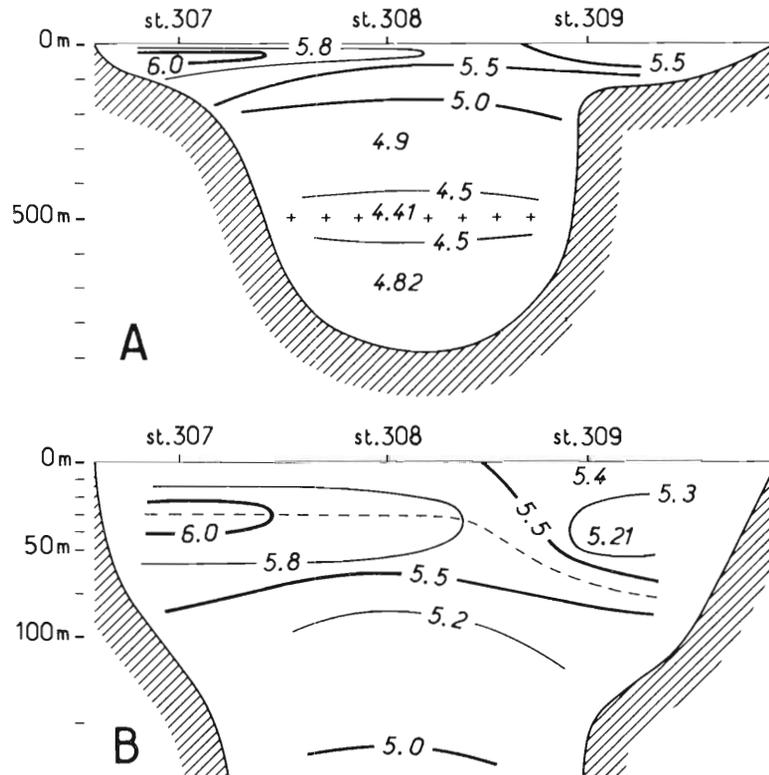


FIG. 13. — Mer catalane. Coupe hydrologique n° C5 (répartition de l'oxygène). Croix : minimum O_2 de la couche orientale. Tirets : maximum O_2 de la couche superficielle.

La coupe n° C6 (fig. 14) qui se situe hors de la Mer catalane, au sud du canal d'Ivice, mais qui a déjà été étudiée avec les précédentes sous son aspect thermohalin, peut l'être également ici.

La couche superficielle à oxygénation maximale y est continue et très homogène (de 5.8 à 6.0); elle se situe entre 40 et 75 m environ (fig. B).

Mais C6 se singularise surtout par la diminution rapide, au-dessous de cette couche, du taux d'oxygène qui, devenant inférieur à 5.0 dès le niveau des 100 m et à 4.5 avant que ne soient atteints les 200 m, s'abaisse encore en profondeur pour tomber au-dessous de 4.0 à la station 303.

Dans ces eaux des niveaux moyens et profonds, la faible teneur en O_2 est l'indice d'une certaine stagnation. Il est toutefois possible d'y déceler un minimum intermédiaire s'amortissant d'est en ouest et un maximum profond qui, lui, décline d'ouest en est.

Ces gradients de sens opposé peuvent être interprétés comme la traduction, pour le premier,

d'une influence très affaiblie des eaux intermédiaires que ne révèle pas la salinité et, pour le second, de la présence de l'eau septentrionale profonde que la température (inférieure à 13°) nous avait déjà signalée.

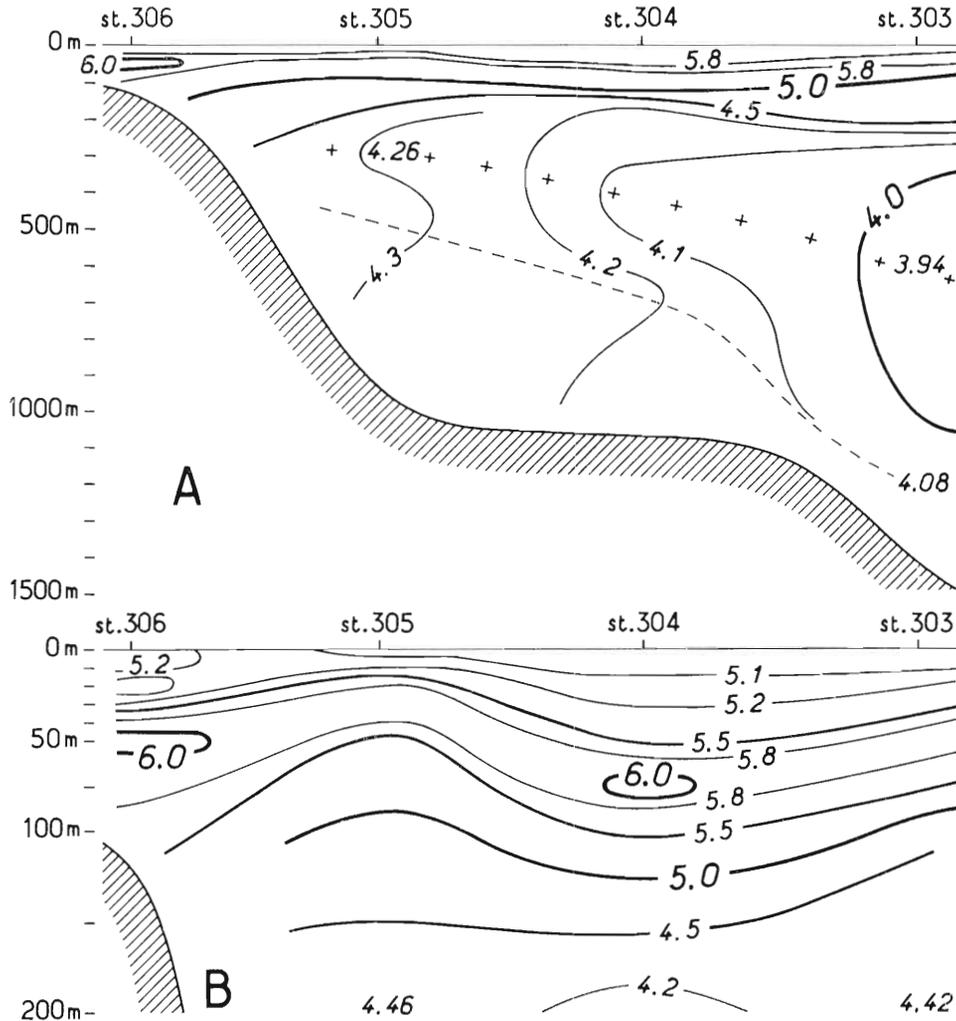


FIG. 14. — Mer catalane. Coupe hydrologique n° C6 (répartition de l'oxygène). Croix minimum O_2 traduisant l'influence de l'eau orientale. Tirets maximum O_2 montrant la présence de l'eau septentrionale profonde.

En conclusion, la répartition de l'oxygène dans la Mer catalane rappelle celle du Golfe du Lion. Sur le plan horizontal, cette distribution ne permet pas aussi bien de mettre en évidence les eaux de différentes natures et leurs mouvements généraux, ceci en raison du caractère de mélange qu'elles manifestent, ici plus qu'ailleurs, mais sur les sections hydrologiques où la localisation des couches est rendue plus facile, l'oxygène, sensiblement au même titre que la température et la salinité, permet de caractériser ces couches aux niveaux intermédiaire et profond ; dans certains cas, même, il renseigne sur leur influence là où les autres facteurs sont muets.

Par ailleurs, en surface, la couche sursaturée se présente avec netteté et constance dans tous les secteurs de cette mer.

LA MER D'ALBORAN

La répartition de la salinité et de la température, dans cette partie de la Méditerranée conduit, nous le savons, à préciser la part qui revient aux eaux atlantiques superficielles de même que celle des eaux intermédiaires et profondes dans les différents secteurs andalou, marocain, algérien...

Dans sa distribution, l'oxygène, tantôt corrélatif de la première, tantôt de la seconde et souvent des deux, aide à définir ces différents types d'eau et renseigne sur les mouvements qui les animent.

Carte des 5 mètres (fig. 15). Les teneurs en oxygène sont surtout corrélatives des températures, à la carte desquelles on se rapportera. Moins ces dernières sont fortes, plus grand est le taux d'oxygène, ce qui n'est pas toujours le cas, bien au contraire, en profondeur où la température ne dépend pas de l'insolation directe et se cantonne au voisinage de 13°.

Sur cette carte, le seuil des Trois Fourches fait la démarcation entre la Mer d'Alboran proprement dite, à forte teneur (5.4 à 6.2) — notamment suivant l'axe Malaga-cap des Trois Fourches qui est également celui des températures les moins fortes — et le secteur ibéro-algérien dont O_2 , décroissant de l'ouest à l'est et du nord au sud, s'inscrit entre 5.3 et 4.9.

On retiendra aussi les chiffres élevés (7.0 à 7.4) de l'Océan vers Spartel et le noyau, d'un taux relativement bas (5.1), à l'entrée de Gibraltar, qui témoigne comme la température (16°) d'une résurgence de l'eau profonde.

Carte des 50 mètres (fig. 16). Ici, la distribution de l'oxygène est, contrairement à celle de la surface, en corrélation directe avec la température.

L'oxygénation de l'eau atlantique peu salée, de $T^{\circ} = 15^{\circ}$ à $16^{\circ}5$, entre Gibraltar et les Trois Fourches, est supérieure à celle des eaux de « remontée » sur le versant andalou (5.5 à 5.9 contre 4.2 à 5.0) en concordance avec une température également plus basse (14° à $14^{\circ}25$) et une salinité forte (37.30).

Le seuil d'Alboran se présente toujours comme une zone perturbée séparant l'ouest et l'est.

Dans la région ibéro-algérienne, la teneur est relativement élevée dans les eaux atlantiques (5.4) le long de la côte algérienne et faible (inférieure à 4.5) dans la zone de divergence, sur le versant espagnol, en parfaite concordance là aussi, avec les températures et les salinités qui indiquent l'origine respective de ces eaux.

Carte des 100 mètres (fig. 17). De part et d'autre du seuil d'Alboran, cette carte reproduit presque trait pour trait celle des températures et salinités.

Teneur basse dans le détroit de Gibraltar (4.26) où s'exerce une montée des eaux sous-jacentes.

Teneur élevée (de 4.5 à 5.5) dans la nappe atlantique entre le détroit et les Trois Fourches.

Teneur basse (4.2 à 3.83) sur Alboran dont le seuil provoque lui aussi la montée de l'eau profonde.

Teneur moyenne (4.5 à 4.85) dans l'eau d'influence atlantique à l'ouest du seuil.

Teneur basse (4.3 à 3.69) dans la grande zone de divergence entre Carthagène et le versant oranais.

Carte des 200 mètres (fig. 18). A ce niveau, l'oxygénation est comparativement moindre (de 4.4 à 3.6). Toujours en concordance avec les températures, elle s'établit au-dessous de 4.0 (3.70) dans une large zone de part et d'autre du seuil d'Alboran ainsi que sur le versant de Carthagène et qu'à l'entrée de Gibraltar, points de « remontée » des eaux profondes de températures égales ou inférieures à 13°.

Ce taux est de 4.0 à 4.3 le long de la côte andalouse et sur les larges surfaces du versant sud où le courant atlantique fait encore sentir son influence, avec une température supérieure à $13^{\circ}10$ et une salinité inférieure à 38.00.



FIG. 15. — Mer d'Alboran. Répartition de l'oxygène à 5 m.



FIG. 16. — Mer d'Alboran. Répartition de l'oxygène à 50 m.



FIG. 17. — Mer d'Alboran. Répartition de l'oxygène à 100 m.

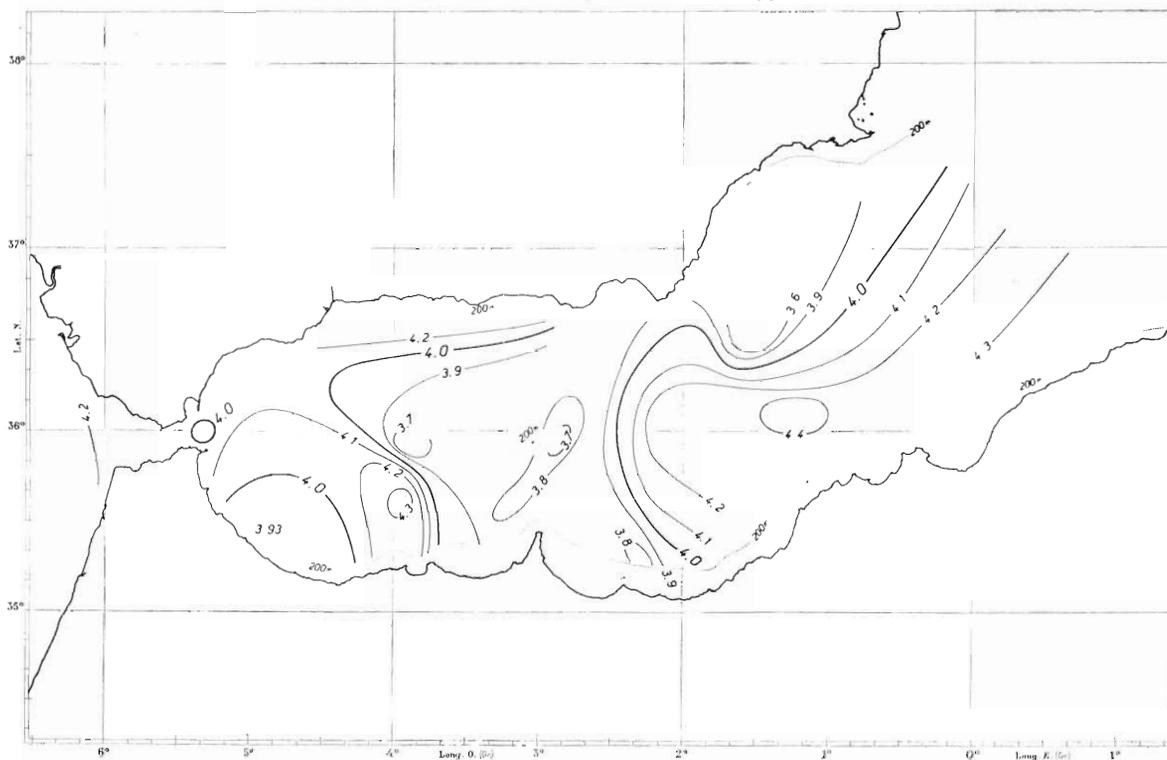


FIG. 18. — Mer d'Alboran. Répartition de l'oxygène à 200 m.

Carte des 400 mètres (fig. 19). Il y a encore moins d'oxygène à cette profondeur qu'à 200 m (3.4 à 4.1). Mais une différence est à noter : tandis que le seuil d'Alboran se montrait plus pauvre que les autres secteurs, il est au contraire un peu plus riche avec un noyau à 4.96 entre l'îlot et le cap des Trois Fourches, en rapport, avec la nature de l'eau septentrionale profonde, plus oxygénée qui rompt en cet endroit la continuité des eaux de salinité supérieure à 38.40.

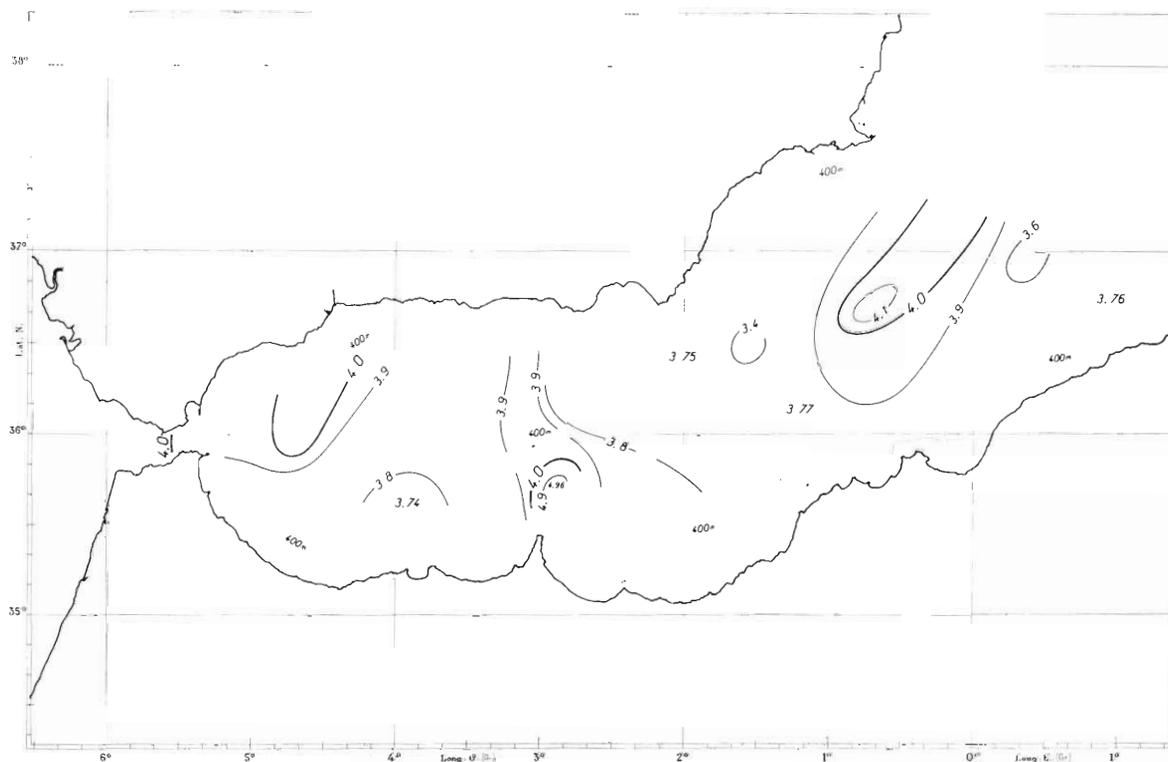


FIG. 19. — Mer d'Alboran. Répartition de l'oxygène à 400 m.

Reprenons quelques-unes des coupes hydrologiques faites pour l'étude de la température et de la salinité. Elles permettront de mieux situer la répartition de l'oxygène, d'abord dans la couche sursaturée de la surface, ensuite dans les eaux profondes où les masses d'origine septentrionale et d'origine orientale se partagent inégalement ce secteur méridional.

Coupe n° A1 (fig. 20). La couche à forte oxygénation (fig. B) n'est pas homogène sur cette section qui va du socle des Baléares à la côte algérienne et recoupe la zone médiane de divergence si nette sur les cartes de température et de salinité. D'une teneur très élevée au nord, où elle dépasse largement 6.0 (jusqu'à 6.42), elle est moins riche au sud, dans le flux atlantique qui longe la côte d'Algérie où son maximum est de l'ordre de 5.4. Dans la partie médiane de la coupe (station 302), comme pour les salinités, la continuité de cette couche est rompue par des teneurs inférieures à 5.0, résultat et traduction fort nette de la montée en surface des eaux profondes.

Aux niveaux intermédiaires et profonds (fig. A), la distribution tant horizontale que verticale de l'oxygène sépare les eaux en deux systèmes : l'un faiblement oxygéné (< 4.0) entre 300 et 1 000 m, plus épais et d'un taux minimum (3.6) sur le versant algérien ; l'autre entre 1 000 et 2 000 m, à plus forte oxygénation (> 4.0), s'appuyant sur le versant espagnol où le taux est plus haut (4.34) que du côté africain (3.93).

Cela concorde avec la répartition générale des salinités, sinon avec le tracé étroit des isohalines. La couche intermédiaire à basse teneur est celle des salinités élevées dues à la prédominance de l'eau orientale.

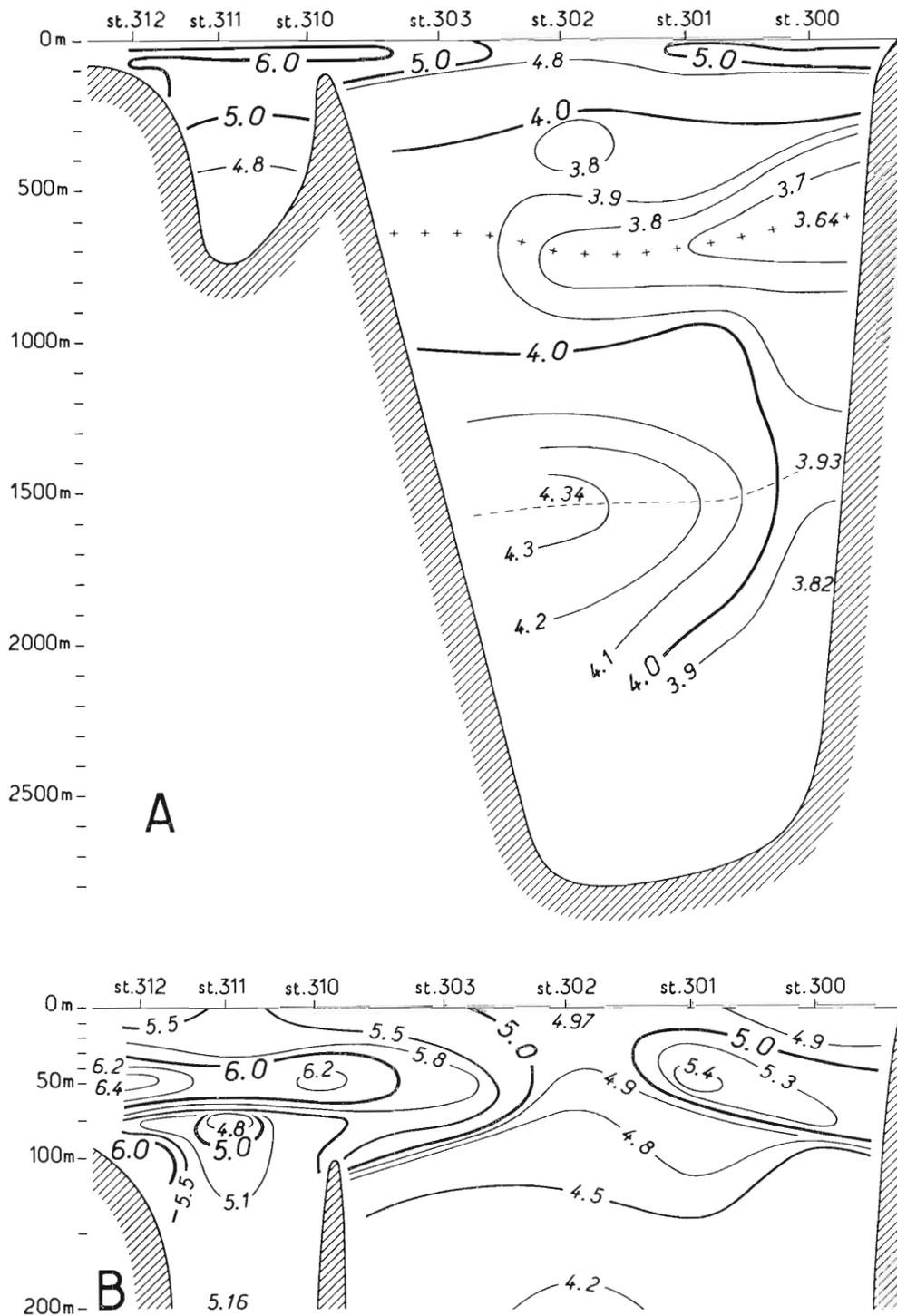


FIG. 20. — Mer d'Alboran. Coupe hydrologique n° A1 (répartition de l'oxygène). Croix : minimum O_2 de la couche orientale intermédiaire. Tirets : maximum O_2 de la couche septentrionale profonde.

Dans la couche inférieure, l'oxygénation plus forte s'ajoute aux températures basses (et, sur la pente des Baléares, aux salinités faibles) pour caractériser l'eau septentrionale profonde. Mais il est quelque peu déconcertant de constater que le dôme d'eau chaude et salée de type

oriental qui occupe, sur les coupes des salinités et des températures, l'axe profond de cette section, n'apparaît pas ici. Sa teneur en O_2 est donc du même ordre que celle des eaux septentrionales et ceci s'explique par le fait que ces eaux orientales du fond, qui viennent directement de l'est, ont progressé plus rapidement que celles de la couche intermédiaire de la mi-profondeur, ce qui implique que cette dernière a eu à franchir des distances beaucoup plus grandes et confirme qu'elle a suivi une direction différente, celle d'un vaste circuit en sens inverse des aiguilles d'une montre, autour du bassin occidental.

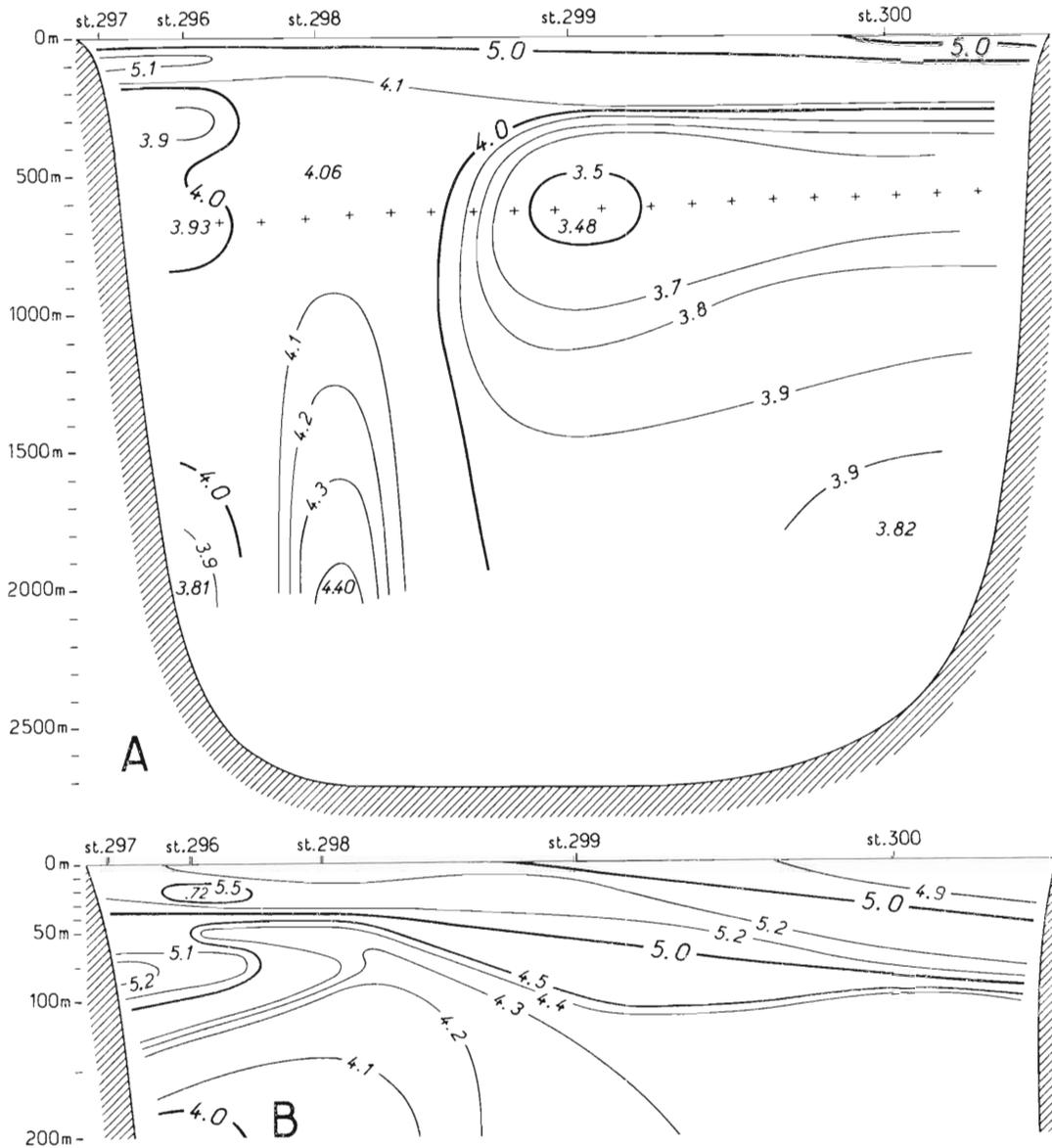


FIG. 21 — Mer d'Alboran. Coupe hydrologique n° A2 (répartition de l'oxygène)
Croix minimum O_2 des eaux orientales.

Coupe n° A2 (fig. 21). Quoique bien nette, la couche fortement saturée de la surface a des taux moindres que sur la coupe précédente et décroissants du nord au sud.

Parallèlement, il est à remarquer aussi qu'elle est moins superficielle du côté algérien (vers 50 m), influence probable du courant atlantique, que du côté espagnol (vers 10 m).

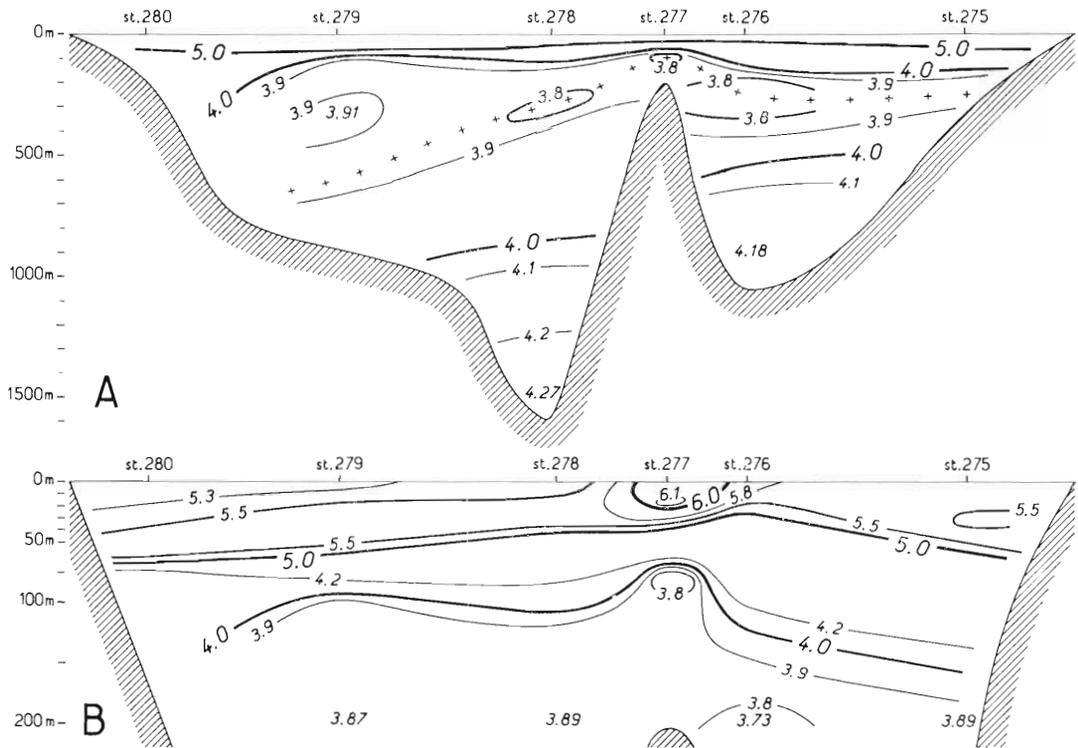


FIG. 22. — Mer d'Alboran. Coupe hydrologique n° A5 (répartition de l'oxygène).
Croix · minimum O₂ des eaux orientales.

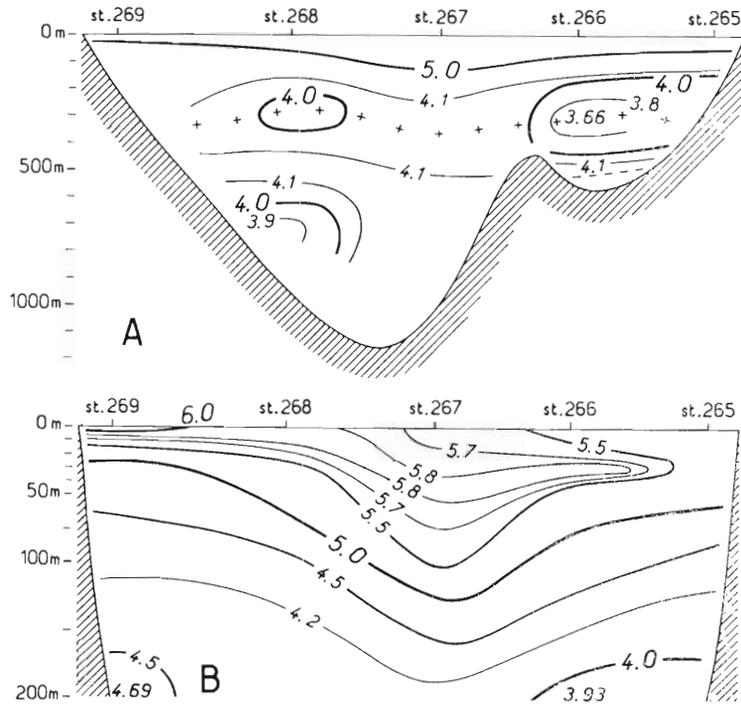


FIG. 23. — Mer d'Alboran. Coupe hydrologique n° A7 (répartition de l'oxygène).
Croix · minimum O₂ des eaux orientales.

Au-dessous, on trouve entre cette figure et celle des salinités et températures, les correspondances générales observées en d'autres lieux.

S'étendant du versant algérien vers le nord, une zone intermédiaire à faible oxygénation (< 4.0 et s'abaissant jusqu'à 3.48) est corrélative des hautes températures et salinités de l'eau orientale vers 500/600 m.

Au tiers nord de la coupe, une teneur supérieure à 4.0 et augmentant assez nettement vers la profondeur (4.40 à 2 000 m) correspond, avec un certain décalage, aux eaux à 38.39 et $12^{\circ}80/12^{\circ}90$ de la masse septentrionale profonde non loin de la pente continentale ibérique.

Les coupes n° A3 à n° A7 donneraient des résultats comparables à ceux qui précèdent : couche superficielle sursaturée suivie d'une zone intermédiaire faiblement oxygénée à laquelle succède vers le fond un secteur de teneur moyenne. Il n'est pas indispensable de reproduire ici ces cinq sections et les coupes n° A5 et n° A7 (fig. 22 et 23) suffiront à montrer la continuité du phénomène de l'est à l'ouest de la Mer d'Alboran.

Toutefois, on notera qu'au débouché dans l'Océan, la répartition de O_2 fait exception à ce schéma classique. La coupe située dans l'axe du détroit de Gibraltar montre que la teneur, plutôt basse dans l'ensemble, décroît assez régulièrement de 5 à 200 m et que la couche fortement oxygénée, présente partout ailleurs, n'existe pratiquement pas ici. Les conditions hydrologiques particulières au détroit, où les deux courants de sens contraire ont une certaine vigueur, doivent en être cause, comme le laisse supposer la corrélation très nette qui se manifeste entre les répartitions de O_2 , de la salinité et de la température (fig. 24).

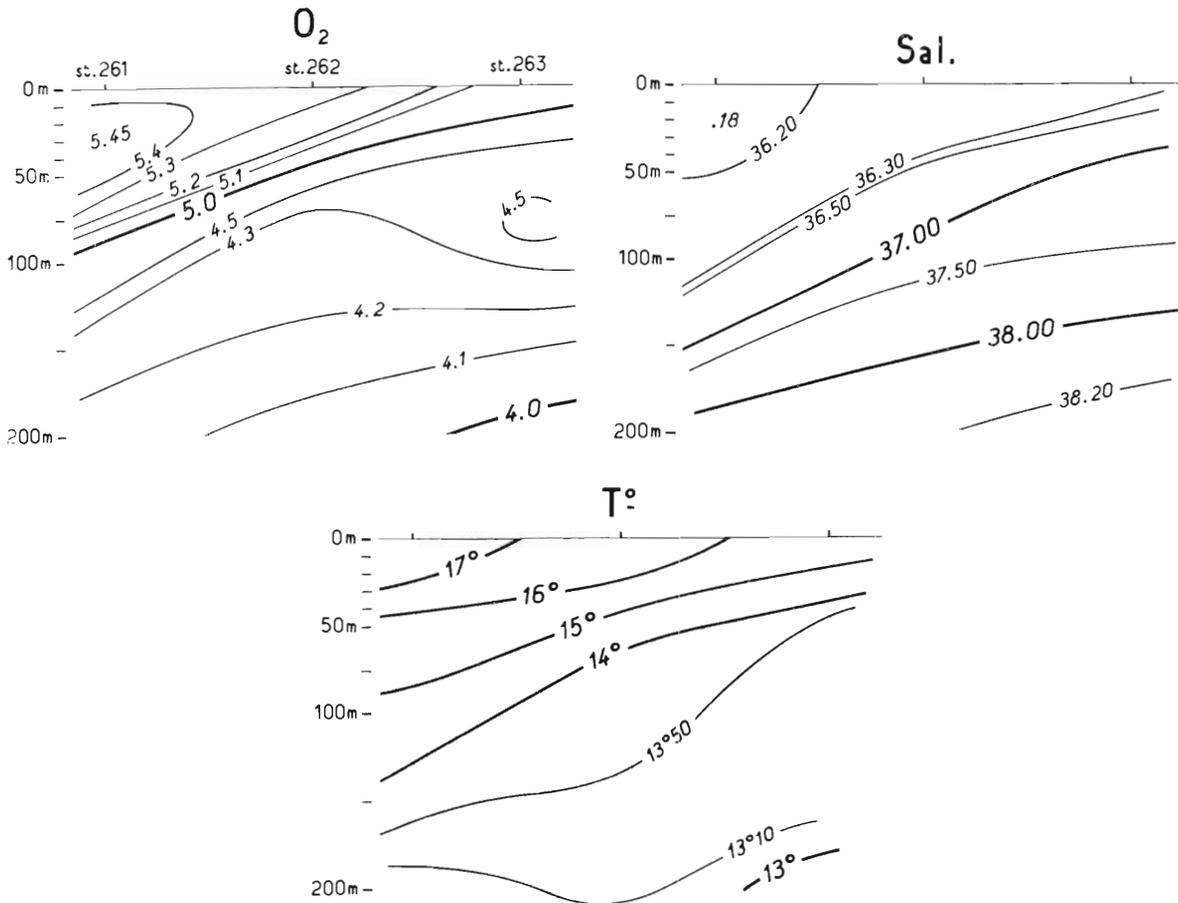


FIG. 24. — Coupe hydrologique suivant l'axe du détroit de Gibraltar (oxygène, salinité, température).

CORSE ORIENTALE

Cette région, du point de vue qui nous occupe, est intéressante car les eaux septentrionales qui, on le sait, se forment dans la partie nord du bassin occidental et sont l'un des éléments fondamentaux de son hydrologie, ne jouent ici aucun rôle. Seules interviennent les eaux de la Mer

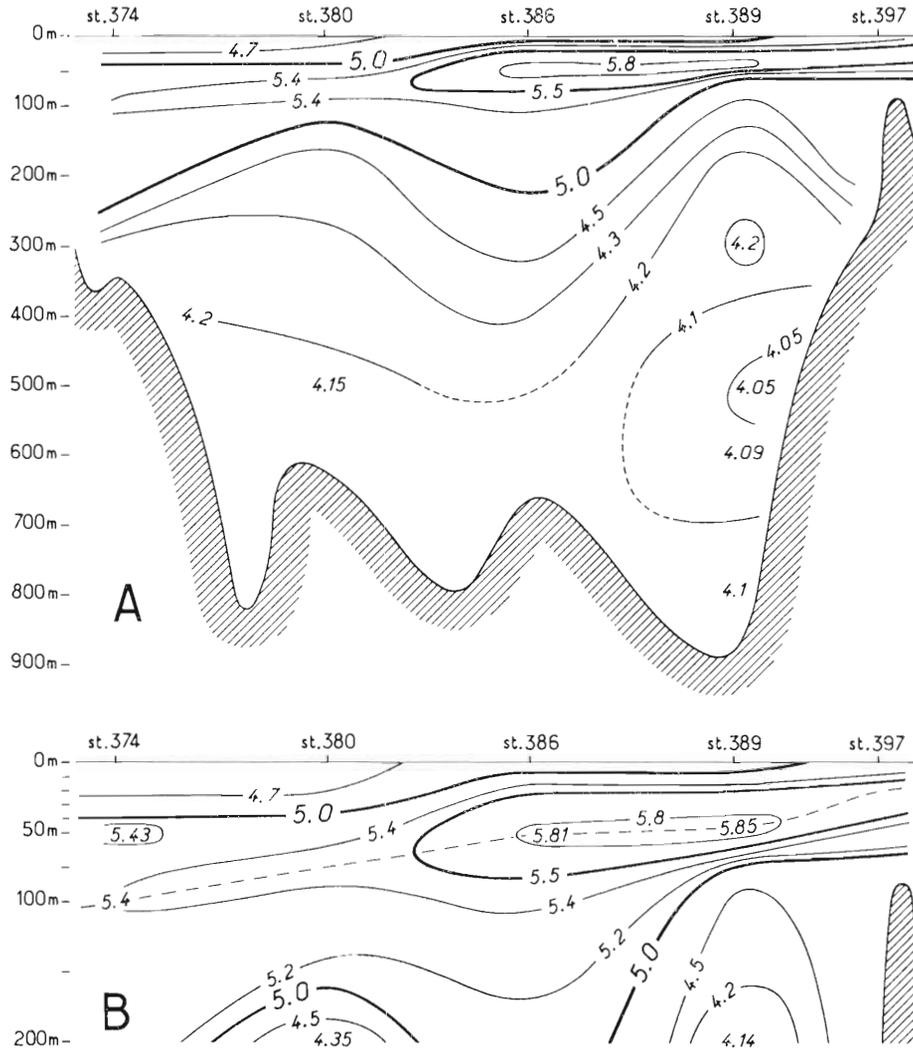


FIG. 25. — Corse orientale. Coupe hydrologique n° T1 (répartition de l'oxygène).
Les tirets situent le niveau de la couche subsuperficielle à maximum de O₂.

tyrrhénienne auxquelles s'ajoutent, en se mélangeant peu à peu à elles, celles, superficielles, d'une branche du courant atlantique qui pénètre dans ce secteur par le canal du cap Corse et le détroit de Bonifacio.

Les teneurs en oxygène qu'on y entregistre ne doivent donc rien aux apports de l'eau septentrionale; en profondeur notamment, elles sont le fait de l'eau orientale seule, ce qui permet de savoir dans une certaine mesure la part qui revient à ce type d'eau dans les zones marginales de l'ouest (Golfe du Lion et Mer catalane) et aussi l'oxygène qu'il a pu perdre au fil de son parcours jusqu'aux régions les plus distantes de son lieu d'origine.

Coupe n° T1 (fig. 25). Cette section générale qui recoupe l'ensemble de la zone étudiée par le « Président Théodore-Tissier » du nord au sud, se présente en effet tout différemment de celles des secteurs occidentaux. On n'y trouve plus cette stratification alternée de basses et de hautes teneurs qui caractérisent ceux-ci.

Au-dessous de la couche superficielle sursaturée ayant son maximum de O_2 au sud (> 5.8) et s'affaiblissant vers le nord où elle plonge jusqu'au niveau de 100 m (5.4), sous l'eau d'influence atlantique plus faiblement oxygénée qui pénètre par le canal du cap Corse, la teneur tombe rapidement à 5.0 entre 100 et 200 m et jusqu'à 4.0 près du fond.

Pour les niveaux inférieurs, la figure offre une assez grande similitude avec celles des salinités et surtout des températures. Le taux le plus bas (moins de 4.20 et jusqu'à 4.05) se remarque dans la zone de mi-profondeur, en concordance avec la salinité et la température les plus fortes (respectivement 38.60 et plus de $13^{\circ}60$) qui définissent le mieux la formation hydrologique de ce bassin.

Les coupes transversales de T2 à T6 offriraient la même concordance avec les coupes de température et de salinité, mais T1 suffisant à figurer de manière assez complète la répartition de l'oxygène en profondeur, il n'était pas nécessaire de les reproduire dans leur totalité, ici.

Toutefois, il est bon d'en reprendre la partie superficielle, entre 0 et 150 m, pour montrer les variations locales de la couche d'oxygénation maximale (fig. 26).

1° En T2 (canal du cap Corse), cette couche que matérialise le tracé de la ligne de 5.40 se situe entre 40 et 70 m avec une teneur déclinante d'ouest (5.48) en est (5.39). Au-dessous d'elle, O_2 ne diminue que peu à peu; mais au-dessus, tout à fait en surface, il peut être inférieur à 4.7 (4.64).

2° En T3, entre le cap d'Arco et l'île Pianosa, la couche du maximum de O_2 , toujours limitée par la ligne de 5.4, se tient à un niveau plus profond: entre 50 et 100 m. Elle s'amincit dans la partie médiane, mais sa teneur est partout un peu plus forte (≥ 5.45 et même sur le flanc corse = 5.70). L'eau de surface qui la surmonte a un taux plus bas que dans le canal du cap (jusqu'à 4.6/4.5), et au-dessous d'elle ce taux diminue aussi très rapidement (5.0 à 150 m).

3° En T4, coupe placée près du 42° parallèle, cette couche devient beaucoup plus importante. Débutant très près de la surface puisque la ligne de 5.4 est au niveau des 20 m, elle a de 80 à 100 m d'épaisseur et son oxygénation est aussi beaucoup plus forte (jusqu'à 6.17). A noter que ce n'est plus au voisinage de l'île que le taux est le plus élevé, mais au large.

4° En T5, à une trentaine de milles plus au sud, la couche se présente également avec un taux dégressif du large vers la côte. Mais elle est près de deux fois moins épaisse que sur la coupe précédente et d'une teneur un peu moindre. De plus, alors qu'elle affleure la surface au large, elle s'enfonce d'une cinquantaine de mètres près du littoral.

5° En T6, au voisinage du détroit de Bonifacio, dans la zone côtière où les conditions hydrologiques ne sont pas sans ressemblance avec celles du canal du cap Corse, la sursaturation s'atténue encore, la couche s'amincit et c'est de nouveau près des côtes que O_2 est le plus élevé (5.9).

Dans cette série de sections transversales, la couche à oxygénation maximale n'est donc pas homogène.

Elle est plus superficielle, plus épaisse et de teneur plus forte sur les deux coupes centrales (T4 et T5) les plus ouvertes vers le large et aussi les plus profondes. En outre le taux de O_2 y est maximum en pleine mer et décroissant vers la côte.

Sur les trois autres coupes, beaucoup plus côtières, ce taux est au contraire plus haut près du littoral et a tendance à diminuer vers l'est.

Par ailleurs, les eaux de surface qui recouvrent cette couche sursaturée ont elles aussi une teneur moindre sur ces trois coupes que sur T4 et T5.

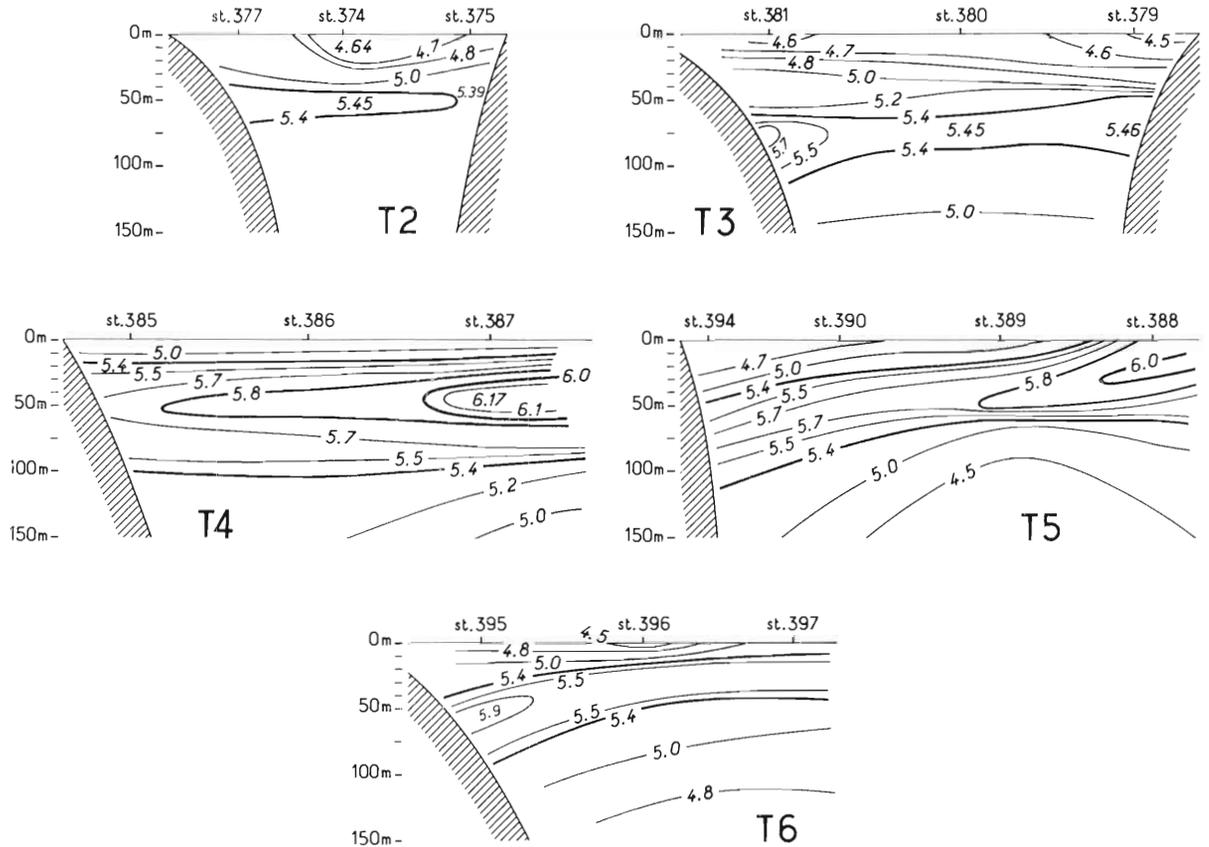


FIG. 26. — Corse orientale. Coupes hydrologiques n° T2, T3, T4, T5, T6 (répartition de l'oxygène dans la couche superficielle de 0 à 150 m).

Il semble que ces diverses variations soient en rapport avec l'influence, plus ou moins grande selon le lieu, de l'eau atlantique qui, ayant perdu une bonne partie de sa haute teneur originelle au terme d'un long parcours, abaisse celle du canal du cap et des bouches de Bonifacio, par lesquels elle pénètre en cette région, ainsi que celle de la zone côtière le long de laquelle elle s'écoule, comme l'indiquent les salinités inférieures à, ou voisinent de 38 ‰ qui permettent de déceler cette eau d'origine océanique.

Enfin, ces valeurs de O_2 , portées sur les cartes de 5 et 50 m fig. 27 et 28), montrent l'importance que revêtent, sur le plan horizontal, les différences constatées entre ces deux niveaux très proches de la surface, avec des teneurs presque partout inférieures à 5.0 pour la première et très largement supérieures à ce chiffre pour la seconde. Elles expriment également bien la saturation maximum de la zone ouverte vers le large et sa diminution à proximité de la côte et des détroits.

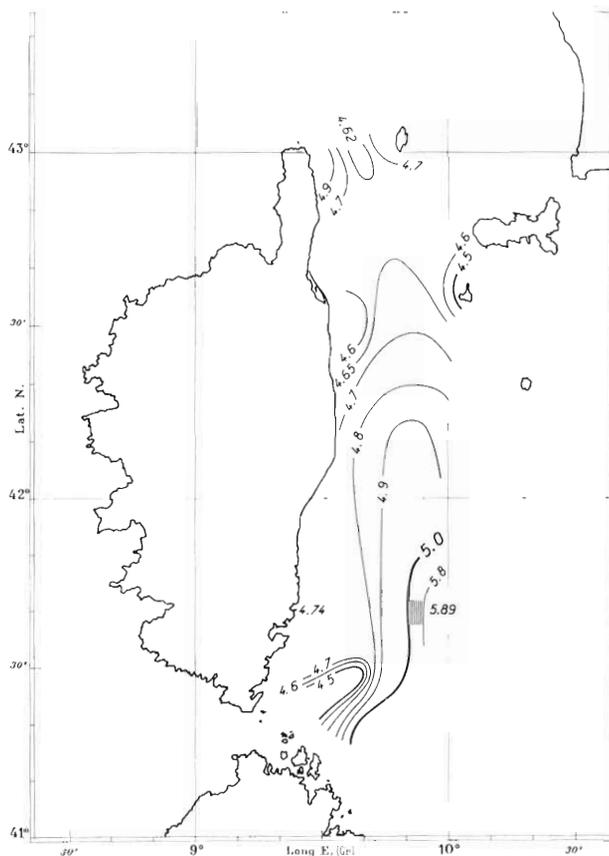


FIG. 27. — Corse orientale.
Répartition de l'oxygène à 5 m.

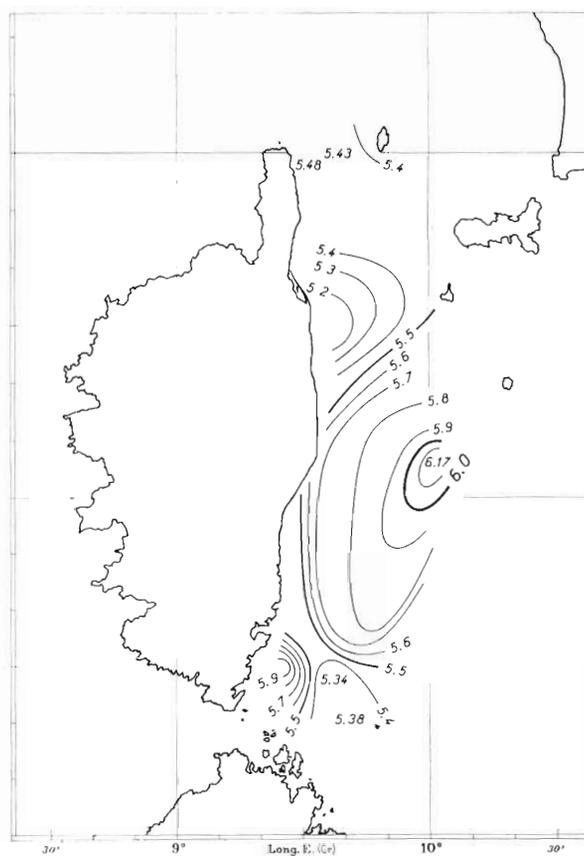


FIG. 28. — Corse orientale.
Répartition de l'oxygène à 50 m.

CONCLUSION

La répartition de l'oxygène dans les eaux du bassin occidental est presque toujours en rapport direct avec celle de la salinité et de la température.

N'échappe guère à cette concordance que la couche généralement sursaturée qui se forme très près de la surface où les conditions favorables à la photosynthèse provoquent une pullulation du phytoplancton. Et même dans ce cas, on l'a vu pour la zone côtière du Golfe du Lion et pour le nord de la Mer tyrrhénienne, il peut y avoir une relation étroite entre les valeurs des trois facteurs.

Au-dessous de la couche superficielle l'oxygène permet, au même titre que la température et la salinité, de définir les eaux de nature différente : septentrionale, orientale, atlantique.

En certaines circonstances même, par exemple lorsque le mélange de ces divers types d'eau est assez intime pour que la salinité et la température soient insuffisantes à renseigner sur l'influence de l'un d'eux, le gradient d'oxygène peut révéler cette influence. Tel est le cas pour la diffusion de l'eau orientale dans la masse profonde des eaux d'origine septentrionale et pour celle de l'eau atlantique de surface à l'est du Golfe du Lion.

Il est un autre phénomène que le taux d'oxygène peut mettre en évidence. C'est celui du « cascading » qui fait glisser, plus ou moins brutalement le long de la pente continentale, une eau de surface vers les niveaux profonds. Un exemple particulièrement net en a été donné pour la coupe C3 en Mer catalane où une masse de faible salinité mais de température élevée (13°10) présentait tous les caractères d'une eau superficielle plongeant jusqu'au-delà de 300/500 m, ce qu'est venu confirmer sa teneur en O₂ beaucoup plus forte (6.40) que celle des eaux environnantes.

L'oxygène peut aussi fournir d'utiles indications, par ses variations dégressives ou progressives, sur l'évolution d'une masse d'eau définie.

Ainsi, sur les lieux même où elle se constitue, c'est-à-dire dans le Golfe du Lion, l'eau septentrionale, pour une part, s'accumule *in situ* sur le fond et de par sa forte densité y séjourne longtemps, ce que corrobore un taux de O₂ assez bas (4.6 à 4.8) traduisant la perte sensible d'oxygène qui résulte de la lenteur avec laquelle cette eau se déplace. Par contre, pour une autre part, cette formation hivernale se trouve entraînée vers la Mer catalane avant d'atteindre les niveaux les plus profonds; un taux plus élevé, de 4.8 à 5.10 vers 900 m à l'entrée de cette mer, est l'indice d'une perte moindre d'oxygène et par conséquent d'un âge plus récent.

De même, dans le secteur méridional du bassin entre les Baléares et la côte africaine, cette eau septentrionale profonde, d'une teneur assez faible sur le talus de l'archipel (4.0 à 4.10) et plus basse encore sur celui de l'Algérie (3.8 à 3.9), montre à la fois que sa perte en O₂, du nord au sud, est corrélative du temps qu'elle met pour franchir cette distance et que cette eau s'écoule moins vite dans le secteur algéro-provençal qu'en Mer de Catalogne.

Un schéma comparable pourrait être tracé pour l'eau orientale.

Au nord de la Mer tyrrhénienne, bien qu'elle soit encore assez proche de son secteur d'origine, cette eau a, à mi-profondeur (300/500 m), une teneur assez basse de 4.03 à 4.10, qui traduit une stagnation relative à l'est de la Corse d'où un mouvement giratoire lent tend à la ramener vers le sud.

On a pu constater, en revanche, qu'une masse d'eau profonde, du même type, conserve, au large de l'Algérie, une oxygénation plutôt forte (jusqu'à 4.20) ce qui incline à conclure que sa plongée est récente et qu'elle se déplace avec une certaine rapidité vers l'ouest.

Cette veine profonde contraste avec la couche « intermédiaire » susjacente, de faible épaisseur qui, bien que du même type d'eau, est très pauvre en O₂ (jusqu'à 3.6) lorsqu'elle ne s'est pas secondairement enrichie par mélange avec l'eau superficielle ou septentrionale, sa pauvreté confirmant bien le long détour qu'elle a dû faire par l'est et le nord pour parvenir jusqu'à la crête d'Alboran.

Il en va de même pour l'eau atlantique à laquelle sa propagation constante à la surface devrait pourtant conserver une teneur forte. Or, son taux, dépassant 7,5 dans l'Océan, près du cap Spartel, tombe à moins de 5.5 sur les côtes algériennes, à moins de 4.7 dans le canal de Corse et au-dessous de 4.0/4.03 près du delta du Rhône, aux points où viennent mourir les branches du courant qui sinue à travers le bassin occidental.