

HYDROLOGIE DE LA MEDITERRANEE OCCIDENTALE (SECTEUR MERIDIONAL ET GOLFE DU LION), EN AUTOMNE 1963

Campagne de la « Thalassa » du 12 octobre au 27 novembre

par Charles ALLAIN et Jean FURNESTIN

Le bassin occidental de la Méditerranée a fait l'objet, au cours de ces dernières années, d'observations hydrologiques suivies de la part des navires de l'Institut des Pêches maritimes. La connaissance de la structure thermohaline sur les secteurs étendus de la frange littorale, celle des fronts qui se dessinent au contact des différentes masses d'eau en présence, celle aussi des mouvements verticaux particulièrement actifs dans cette mer, nous étaient en effet nécessaires pour essayer de situer les différentes espèces marines dans leur habitat respectif.

C'est ainsi que pendant l'été 1957, le « Président Théodore Tissier » entreprenait une campagne englobant les secteurs de la Mer d'Alboran, de la Mer Catalane, du golfe du Lion et de la Corse occidentale. Les résultats de ces observations furent publiés en 1960 par FURNESTIN en ce qui concerne l'hydrologie, par ALLAIN en ce qui traite de la dynamique.

L'année suivante, au cours de l'automne, le même navire travaillait dans toute la zone comprise au nord du 42° parallèle, depuis le golfe du Lion jusqu'à la Mer Ligurienne (FURNESTIN et ALLAIN, 1962; ALLAIN, 1963).

C'est pendant l'hiver 1960 que le « Président Théodore Tissier » accomplit sa dernière campagne en parcourant la bordure algérienne jusqu'au 38° parallèle (FURNESTIN et ALLAIN, 1962) et, quand la « Thalassa » prit sa relève en 1961, deux sections complémentaires furent exécutées, en hiver également, entre Ivica et la Sardaigne occidentale, à hauteur du 40° parallèle et de là à Alger (FURNESTIN et ALLAIN, 1962).

Entre temps, le « Président Théodore Tissier » put faire une étude particulière du détroit de Gibraltar, portant sur les variations des régimes hydrologique et dynamique pendant l'été 1959 (ALLAIN, 1964).

Faisant suite à ces campagnes qui, réalisées à des saisons différentes, montraient déjà les variations qui peuvent intervenir au cours de l'année dans la situation hydrologique, il convenait d'étudier à nouveau, pendant une époque de transition, cette zone influencée directement par le courant atlantique qu'est le secteur méridional du bassin occidental. C'est donc l'automne 1963 que nous avons choisi pour refaire des sections normales à la côte algérienne et poussées jusqu'aux méridiens de 38°30 à 39°. Un profil oblique, allant de la Sardaigne occidentale au golfe du Lion, nous a permis, en outre, de comparer nos données à celles de l'automne 1958 dans le N du bassin.

Une étude particulière du golfe du Lion fut enfin entreprise pour examiner les variations intervenues par rapport aux résultats des deux campagnes précédentes effectuées sur ce plateau.

Nous ne reviendrons pas sur les travaux antérieurs qui ont été cités dans les précédentes publications et auxquels nous nous référerons au cours du développement de cette étude.

Composition de la mission.

La réalisation d'un tel programme qui comportait non seulement des mesures hydrologiques classiques à grandes profondeurs mais aussi de minutieux travaux de laboratoire, nécessitait la participation d'une équipe importante d'océanographes.

Outre les auteurs qui ont organisé cette campagne, la mission était composée des membres suivants :

MM. DARDIGNAC, chef de mission, VINCENT, chef de laboratoire
BONNET, DUCLERC, TAILLIEZ, assistants de l'I.S.T.P.M.
5 assistants stagiaires de l'I.S.T.P.M.
1 aide-technique

Le Professeur Nicanor MENENDEZ, de l'Institut espagnol d'Océanographie, a participé lui aussi, en tant qu'observateur, à la première partie de cette campagne.

Déroulement de la campagne.

Après avoir accompli des sondages bathymétriques et des séries de chalutages dans le secteur ibérique, au cours de son voyage d'aller de Brest à la Méditerranée, la « Thalassa » est repartie de Sète le 16 octobre pour commencer l'hydrologie du secteur méridional.

Des essais, destinés à tester le matériel, ont été faits au large, avant d'entamer le réseau de stations à partir du cap de Palos (carte d'implantation, fig. 1).

Ce réseau comportait les 7 sections principales suivantes :

- 1) du cap de Palos à Ténès, les 18 et 19 octobre : 10 stations;
- 2) de l'îlot Tokikt Indich (entre Ténès et Cherchell), à l'île Formentera, du 23 au 26 octobre : 9 stations;
- 3) du cap Caxine (à l'O d'Alger) à l'île Cabrera, du 26 au 28 octobre : 11 stations;
- 4) du cap Sigli (à l'O de Bougie) vers le N jusqu'au 38° parallèle, le 4 novembre : 7 stations;
- 5) du cap Bougaroni vers le N jusqu'au 38° parallèle, les 5 et 6 novembre : 7 stations;
- 6) du cap Axin (à l'O de Bône) à l'île Toro (SO de la Sardaigne), les 8 et 9 novembre : 9 stations;
- 7) de la roche Catalano (devant Oristano, Sardaigne occidentale) au centre du talus du golfe du Lion, du 16 au 19 novembre : 6 stations.

Neuf stations complémentaires ont, en outre, été faites à l'O d'Oran (2 st.) et autour de la section 2 (7 st.).

Afin de faciliter le développement de cette étude, certaines des stations de ces différentes sections ont été reliées entre elles pour établir deux coupes sensiblement parallèles à la côte algérienne, l'une suivant approximativement le 37° parallèle, à laquelle nous donnons le n° 8, l'autre autour du parallèle de 38°, 38°30', à laquelle nous donnons le n° 9.

L'hydrologie du golfe du Lion, qui a été faite à la suite de ces grands profils, du 20 au 23 novembre, comporte les 5 sections suivantes, du NE au SO, poussées jusqu'aux fonds de 1 000/1 500 m (carte d'implantation, fig. 39).

- 10) de Sète vers l'E-SE, jusqu'au large du Planier : 5 stations, plus une station complémentaire devant l'embouchure du Rhône;
- 11) de l'embouchure de l'Aude, vers l'E-SE : 7 stations;
- 12) du cap Leucate, vers l'E-SE : 7 stations;
- 13) du cap Bear, vers l'E-SE : 5 stations;
- 14) de la pointe Figuera (au S du cap Creux) vers l'E-SE : 7 stations.

Trois stations ont enfin été faites dans l'E du cap Creux.

Au cours de cette campagne, 1 717 observations comportant des mesures de température et des prélèvements d'eau, destinés principalement aux analyses de salinité, ont été faites aux niveaux

standard de : 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200 (250), 300, 400, 500, 600, 800, 1 000, 1 200, 1 500, 1 800, 2 000, 2 500 m et à proximité du fond.

Par ailleurs, les phosphates ont été dosés pour les trois premières sections.

Nous diviserons cette étude en deux parties : la première concernera le secteur méridional du bassin occidental que nous raccorderons aux données de la section reliant la Sardaigne occidentale au talus du golfe du Lion; la seconde comportera l'examen particulier du golfe du Lion.

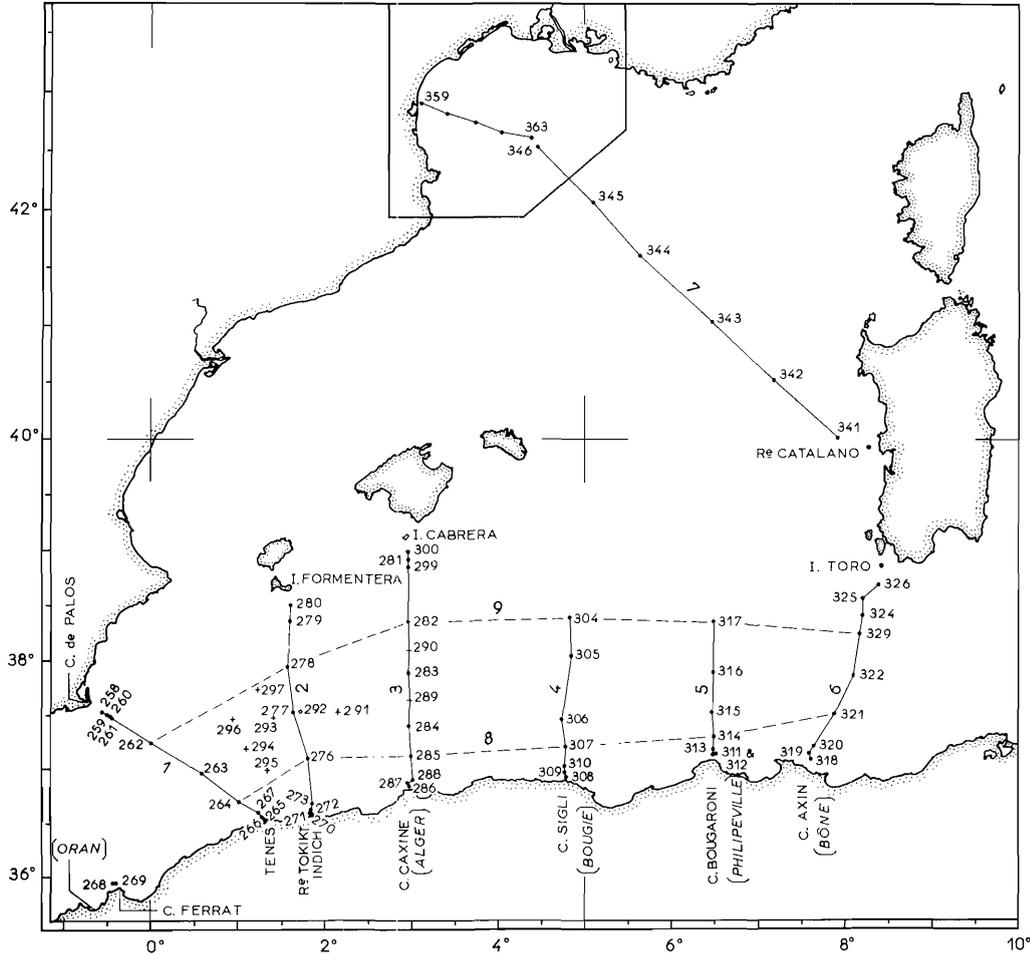


FIG. 1. — Réseau des stations dans la partie méridionale du bassin occidental et sur la section Sardaigne - golfe du Lion.

On traitera successivement de la distribution horizontale et verticale de la température et de la salinité.

Mais auparavant, nous exposerons les méthodes utilisées au cours de cette campagne, que nous reprendrons du rapport présenté à ce sujet par DARDIGNAC (1964) au Comité d'Océanographie physique de la Commission internationale pour l'Exploration scientifique de la Mer Méditerranée.

Matériel utilisé et méthodes suivies.

1) Matériel.

Le treuil hydraulique Boursier a été utilisé pour toutes les opérations; sa charge est de 0,5 tonne. Il peut enrouler 6 000 m de câble de 3,8 mm de diamètre.

Les bouteilles à renversement Mécaboliér et Knudsen, à clapets, utilisées précédemment, ont été remplacées par 20 bouteilles de type Nansen, à boisseaux, de fabrication américaine (G.M. Manufacturing Company); elles sont intérieurement revêtues de téflon et supportent un cadre de 4 thermomètres. Avec ce nouvel appareillage, le pourcentage des fonctionnements défectueux est devenu inférieur à 1.

Chaque bouteille est équipée de 2 thermomètres protégés; 14 bouteilles - il s'agit de celles qui sont destinées à parvenir au-dessous de 150 m d'immersion - comportent en outre 2 thermomètres non protégés contre la pression. Ont été utilisés au total : 43 thermomètres protégés Richter et Wiese, 30 non protégés dont 25 Richter et Wiese et 5 Negretti et Zambra.

Un salinomètre à couplage inductif I.M.E. a été utilisé pour l'analyse des échantillons. Il a nécessité une longue mise au point et des modifications de détail ont dû lui être apportées. Son fonctionnement a été satisfaisant durant toute la campagne.

Il nous a paru indispensable, pour analyser les eaux de salinité élevée de la Méditerranée, de confectionner un substandard à 38 ‰ qui a été étalonné à la température de 22,5° par rapport à 3 ampoules d'eau normale. On a ensuite procédé au ré-étalonnage de la compensation de la température du salinomètre pour une eau à 38 ‰. Conservé en bonbonne sous une couche d'huile de paraffine, cet étalon secondaire n'a présenté aucune variation significative de salinité au bout d'une période de deux mois et demi.

2) Méthodes.

On ne s'étendra pas sur le déroulement des stations. Signalons simplement que les échantillons destinés aux analyses de salinité sont prélevés en double dans des canettes de 250 ml. Un seau est utilisé pour les observations de la couche superficielle; la température de l'eau est notée après stabilisation et deux échantillons sont prélevés.

Une importance particulière est attachée à l'entretien des bouteilles à renversement, ainsi qu'à la vérification des lectures de température.

Le dépouillement des données constitue la partie la plus longue et la plus minutieuse du travail.

Température et profondeurs thermométriques. En ce qui concerne les thermomètres protégés, on a construit des abaques (SVERDRUP *et al.*, 1944, repris par LAFOND, 1951), donnant, pour chaque thermomètre, la correction totale ΔT en fonction des températures observées T' et t' . La moyenne des deux températures est ensuite calculée ainsi que l'écart algébrique $T_1 - T_2$.

Pour les thermomètres non protégés, les corrections et le calcul des profondeurs sont effectués à l'aide de règles Culbertson. On construit alors un graphique sur lequel la différence entre la longueur de câble filé et la profondeur thermométrique calculée est portée en abscisse et la longueur de câble filé en ordonnée. La multiplication des thermomètres non protégés permet non seulement une connaissance plus précise des profondeurs atteintes, mais surtout le contrôle du fonctionnement des bouteilles.

C'est ainsi que certaines erreurs peuvent être mises en évidence :

- 1) quand une série de bouteilles s'est renversée intempestivement pendant la descente ou la remontée, l'accident se traduit par un décrochement sur le graphique;
- 2) lorsque les deux non protégés d'une bouteille isolée donnent des profondeurs aberrantes, le prélèvement peut être considéré comme douteux;
- 3) par contre, quand l'écart entre les températures de deux protégés est important, le calcul des profondeurs permet, dans certains cas, de choisir la température correcte.

On peut enfin affirmer que le prélèvement s'est effectué correctement à la profondeur indiquée et que la température est exacte quand les deux profondeurs thermométriques s'ajustent sur la courbe.

Au cours de cette analyse, portant sur l'ensemble des résultats, 94 % des températures données sont obtenues par la moyenne de deux observations simultanées. L'écart type de la distribution entre les doubles est $\sigma = \pm 0,02^\circ$. Dans 6 % des cas, une seule température a été retenue. En ce qui concerne les profondeurs, l'une des profondeurs thermométriques a été éliminée dans 14 % des cas. Pour les autres, la distribution des écarts entre les doubles présente un écart type de $\sigma = \pm 3,5$ m.

Salinités. Les analyses de salinité ne sont entreprises que lorsque l'équilibre thermique des échantillons est atteint à l'intérieur du laboratoire où ils sont traités.

Le salinomètre est étalonné avant chaque station. La température de l'étalon et des échantillons est toujours notée. A la fin d'une série d'analyses, une nouvelle mesure est faite sur l'étalon pour connaître la dérive de l'appareil.

L'importance de l'uniformité thermique ayant été démontrée pendant les essais, l'ensemble des prélèvements d'une station, ainsi qu'une canette de substandard ont été disposés dans un même bac contenant de l'eau à la température de la pièce. Les écarts entre les doubles sont généralement faibles : $\sigma = \pm 0,002 \text{ ‰}$.

En revanche, quelques stations présentaient des erreurs systématiques plus importantes provenant de l'appareil et se traduisant par un décalage de toutes les salinités pouvant atteindre $0,025 \text{ ‰}$. Pour pallier cet inconvénient, les trois échantillons les plus profonds de l'une des deux séries de prélèvements étaient mis en réserve à chaque station. A la fin de la section, ils étaient analysés à nouveau ce qui permettait de faire ressortir les anomalies possibles avec les résultats de l'autre série et ainsi de vérifier les stations douteuses.

Les conductivités étant converties en salinités, on ajoute les deux corrections de la dérive et de la température.

Les salinités ainsi obtenues sont comparables d'une station à l'autre à $\pm 0,008 \text{ ‰}$ près, mais ces limites sont évidemment beaucoup plus étroites à l'intérieur d'une même station.

Adoption des résultats. Quand une section est achevée, on procède à la récapitulation et à l'analyse critique des résultats obtenus. Les courbes représentant la distribution de la température et de la salinité sont construites et comparées entre elles. Toutes les anomalies constatées - valeurs aberrantes ou écarts importants entre les doubles - sont pointées sur des fiches préparées à cet effet. Selon les cas, les données sont confirmées, considérées comme suspectes ou éliminées.

On voit ainsi que ces résultats, contrôlés avec rigueur, offrent une grande précision qui permet de s'engager avec certitude sur leur développement et sur l'interprétation qui va suivre.

Traitement mécanographique des données. Les données corrigées ont été traitées mécanographiquement par le Service central hydrographique où elles sont archivées. Nous remercions les ingénieurs et techniciens qui ont bien voulu mener ce travail dans les meilleures conditions.

Ces données seront publiées sous forme de cahier ronéotypé, mais tout renseignement à ce sujet peut être, dès à présent, fourni par la Direction de l'I.S.T.P.M.

PREMIERE PARTIE

LA SITUATION HYDROLOGIQUE DANS LE SECTEUR

MERIDIONAL DU BASSIN OCCIDENTAL

Distribution horizontale de la salinité et de la température

Surface (fig. 2 et 3).

a) *Salinité.* L'eau du courant atlantique est présente tout le long de la côte algérienne et se distingue par une salinité inférieure à $37,10 \text{ ‰}$. Elle se charge en sels en progressant vers l'E comme le montre la variation du taux, plus faible devant Oran : $36,48$ et maximum devant Bône : $37,03$.

Ainsi qu'on l'avait déjà remarqué au cours de l'hiver 1960 (FURNESTIN et ALLAIN, 1962), un lobe important se détache du courant principal à hauteur du méridien de 5° , mais son axe, au lieu de se développer vers le NE comme auparavant, se dirige maintenant vers le S de Majorque, en présentant dans ce secteur une salinité minimale de $36,89$ à $37,10$.

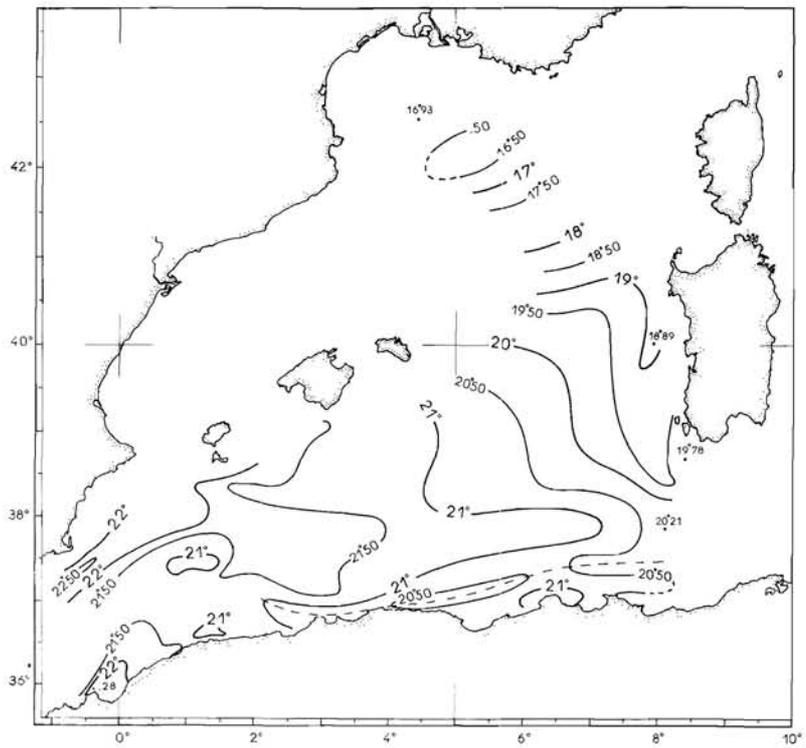
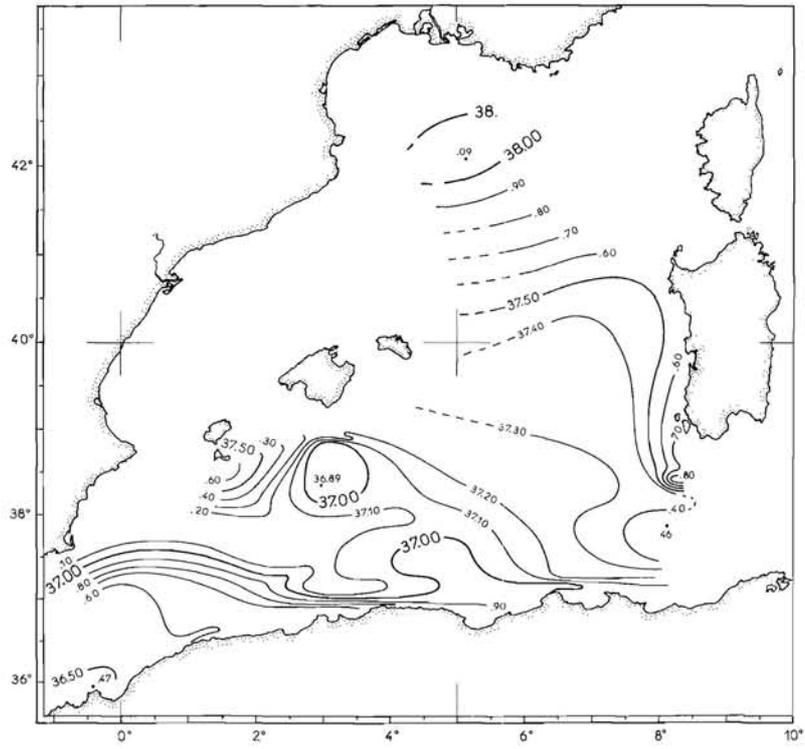


FIG. 2 et 3. — Isohalines et isothermes à la surface,

Une poussée générale de l'eau diluée s'exerce cependant vers le NO de la Sardaigne où l'on rencontre des salinités de 37,40/37,50.

La déformation du lobe atlantique est consécutive à l'avancée d'une formation plus salée : 37,64 à 37,10 qui se développe vers l'E à partir du secteur Ivices-cap de Palos. Une telle avancée se remarquait aussi au cours de l'hiver 1960, mais présentait une salinité plus forte : 38,05, du fait de l'activité d'une importante divergence dans ce secteur. Elle provoque un écrasement du courant atlantique devant Alger.

Par ailleurs, l'extension du courant atlantique vers l'E est ralentie à hauteur du canal de Sardaigne où la disposition des lobes, orientés vers l'O, et la rapide augmentation de la salinité : 37,87 à 37,40, traduisent la forte influence de l'eau orientale sous-jacente dans ce secteur. Ce barrage a pour effet de repousser l'eau diluée vers le NE du bassin algéro-provençal.

La ligne de stations allant du centre de la Sardaigne occidentale au talus du golfe du Lion nous donne quelques renseignements sur la situation dans le N du bassin. Après avoir présenté un minimum dans le NO de la Sardaigne, la salinité croît progressivement jusqu'au 42° parallèle où un maximum de 38,09 est atteint. Une certaine diminution : 37,99 est marquée sur le talus du golfe. Cette disposition montre que l'eau d'influence atlantique, inférieure à 38,00 se développe très loin vers le N, sans doute en direction de la Mer Ligurienne, ainsi que l'ont montré les travaux antérieurs, et circule en un mouvement cyclonique autour d'une eau plus salée dont la présence dans la couche supérieure traduit généralement une divergence de l'eau orientale sous-jacente.

b) *Température*. La carte des températures est plus difficile à interpréter du fait que l'on se trouve en pleine période de transition thermique.

En effet, les eaux sont chaudes au S du 40° parallèle : 20,15° à 22,53°, alors qu'un net refroidissement a lieu dans le N du bassin où l'on relève des températures de 16,15° à 19,0°. On notera toutefois que les plus basses se situent au centre de la divergence septentrionale. Les eaux froides glissent partiellement vers le S le long de la Sardaigne occidentale, sous forme d'un lobe qui atteint le SO de l'île (19,42°), en un secteur où la carte des salinités nous a pourtant montré la progression d'un lobe originaire de l'E.

Si l'on considère le secteur S seulement, on se rend compte que les eaux atlantiques superficielles sont en voie de réchauffement, ainsi que l'indiquent les plus fortes températures rencontrées dans l'O, devant Oran (max. : 22,28°).

Par ailleurs, on remarque qu'un lobe issu de la Mer Catalane et se dirigeant vers l'E est également chaud : 22 à 21,50°, températures que l'on trouvait en automne 1958 dans le N du bassin. Il semble donc que le refroidissement du secteur septentrional pendant la première quinzaine de novembre 1963 est récent puisqu'il ne s'est pas encore communiqué à la masse d'eau s'écoulant en Mer Catalane.

Niveau de 20 m (fig. 4 et 5).

Au niveau de 20 m, l'eau atlantique est mieux caractérisée qu'en surface où s'exerçait un certain mélange. En effet, son taux de salinité a sensiblement diminué sur tout le littoral africain, la valeur minimale étant de 36,42 dans le secteur d'Oran.

Cette formation occupe en outre, tout le secteur compris entre Oran, le cap de Palos et Ténès, mais ne peut s'étendre au N du 48° parallèle où elle rencontre le lobe plus salé (37,60 à 37,20) qui progresse vers le SE à partir de la zone située entre Ivices et le cap San Antonio.

Sous l'effet de cette dernière poussée, le courant atlantique se resserre contre la côte entre Ténès et Dellys, où son axe est marqué par un minimum halin (min. 36,63 devant Alger), cependant qu'un fort gradient des isohalines de 37,50 à 36,60 accuse le contraste entre les deux formations.

Le lobe atlantique qui se développe à partir de Bougie garde sensiblement la même disposition qu'en surface.

La carte des isothermes montre que l'eau atlantique est nettement plus froide (19,50 et 20,50°) que celle issue de la Mer Catalane (maximum 22,27°) dont le réchauffement se communique très loin vers l'est, la pointe du lobe chaud atteignant le canal de Sardaigne avec une température de 20,35°.

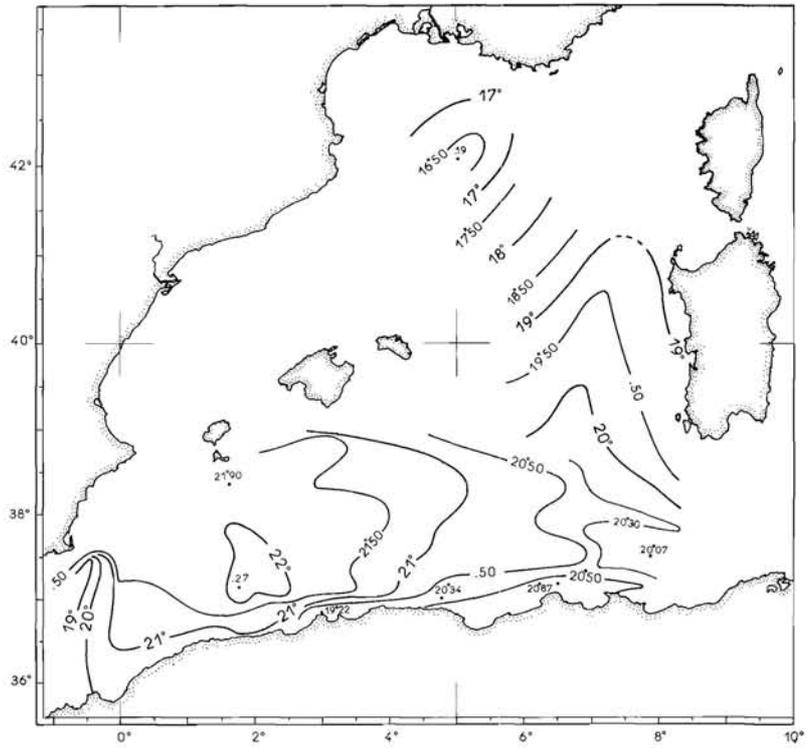
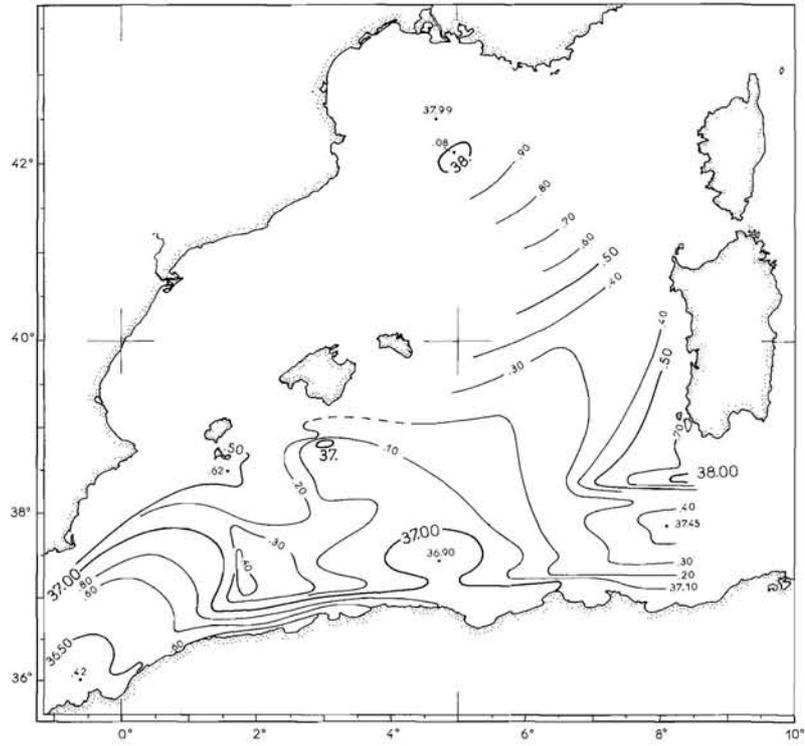


FIG. 4 et 5. — Isohalines et isothermes à 20 m.

La présence d'un lobe isolé entre Formentera et Tokikt Indich (22,27 à 22,00°), montre bien que la formation chaude de l'été et du début de l'automne est remplacée progressivement par les eaux de la fin de l'automne, plus froides dans le secteur septentrional.

Niveau de 50 m (fig. 6 et 7).

La situation a sensiblement évolué à ce niveau. L'axe du courant atlantique, qui s'est maintenant quelque peu décollé du rivage, présente des salinités qui varient de 36,38 dans la zone d'accumulation du secteur oranais à 37,00 devant le cap Axin en se rapprochant de son taux minimum. A ces faibles salinités, correspondent des températures relativement basses de 16 à 20°.

On constate, en outre, qu'à cette profondeur, l'avancée de l'eau atlantique vers le N à partir du méridien de 5° est maintenant scindée de sa source par une inclusion d'eau plus froide et plus salée, originaire de l'O. Une vaste ellipse, circonscrite par les isohalines de 36,50 à 37,20, se développe en effet entre le 37^e et le 38^e parallèle et un lobe en forme de triangle lui fait suite, dont la pointe est dirigée vers le NE de la Sardaigne où la salinité minimale est de 37,43.

La faible salinité, ainsi rencontrée au large de Bougie, inférieure au taux que l'on observe aux abords du littoral, montre que cette eau, parvenue dans ce secteur à la suite d'une poussée antérieure plus forte du courant atlantique, s'y est maintenue sous l'effet d'un important mouvement tourbillonnaire.

Les isothermes concentriques, qui se superposent sensiblement à la même formation, confirment ce dernier caractère. Les températures élevées : 21,53° à 18,00° que l'on rencontre dans cette zone ont été empruntées à la couche supérieure à laquelle elles ont été communiquées depuis le secteur ouest. On sait, en effet, qu'un mouvement anticyclonique provoque un enfoncement de la thermocline.

Dans le même temps, la formation issue du secteur Ivice-cap de Palos s'est brusquement refroidie au niveau de 50 m : 14,10 à 15,00°. La thermocline est dépassée et cette situation est consécutive à une certaine remontée des eaux sous-jacentes, rappelant la divergence observée dans les études antérieures. A ces basses températures correspondent des taux de salinité de 38,00 à 37,50, les axes des deux facteurs n'étant cependant pas superposables, comme c'est souvent le cas pour les formations méditerranéennes.

Cette dernière poussée, aussi bien latérale que verticale, s'exerce très loin dans le secteur compris entre la côte algérienne, les Baléares et la Sardaigne :

d'une part sous forme d'un lobe très étroit qui s'insinue parallèlement à la côte algérienne en suivant un axe de maximum halin (37,52 à 37,30) et de minimum thermique (14,50 à 16,80°), au sein du courant atlantique;

d'autre part sous forme d'une étroite coulée qui s'engage vers le NE, au moins jusqu'au 41^e parallèle, pour les températures (15 à 16°) et d'un lobe moins important (38,00 à 37,40), prolongé par une plage homohaline (37,43), pour les salinités. Cette dernière digitation a pour effet d'isoler un lobe plus chaud : 18,80 à 17,00° et sans doute moins salé autour des Baléares.

Aux abords du canal de Sardaigne, les basses températures : 15,03 à 16,00°, qui correspondent dans la partie N à des salinités relativement élevées (maximum 38,06) sont maintenant influencées par la formation orientale sous-jacente.

Niveau de 100 m (fig. 8 et 9).

La configuration thermohaline du courant atlantique est ici sensiblement la même qu'au niveau de 50 m. Les minimums halins sont toujours inférieurs à 37,00 dans les secteurs oranais et kabyle (36,82 et 36,86), cette dernière zone se trouvant maintenant coupée de la première par l'avancée des eaux plus salées qui atteint la côte aux alentours d'Alger (min. : 37,60).

Mais c'est au centre du lobe qui se développe vers le NE entre le 4^e et le 7^e méridien que l'on rencontre la plus basse salinité : 36,67.

Les températures maximales de l'eau atlantique sont de 16,27 à 15,50° sur le littoral algérien, tandis que dans l'avancée du large, elles sont tombées à 15,39/14,00°, sous l'influence des eaux adjacentes.

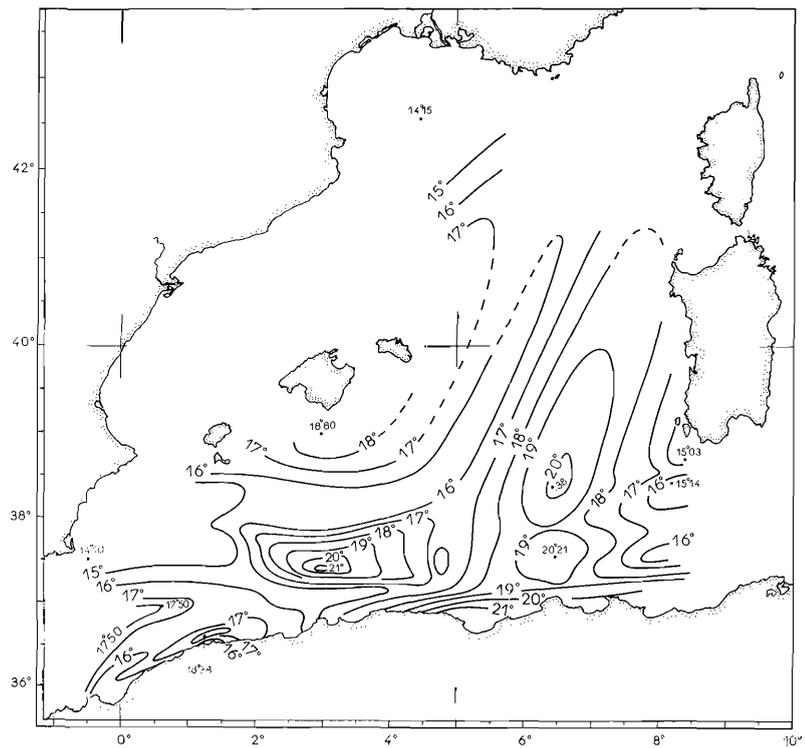
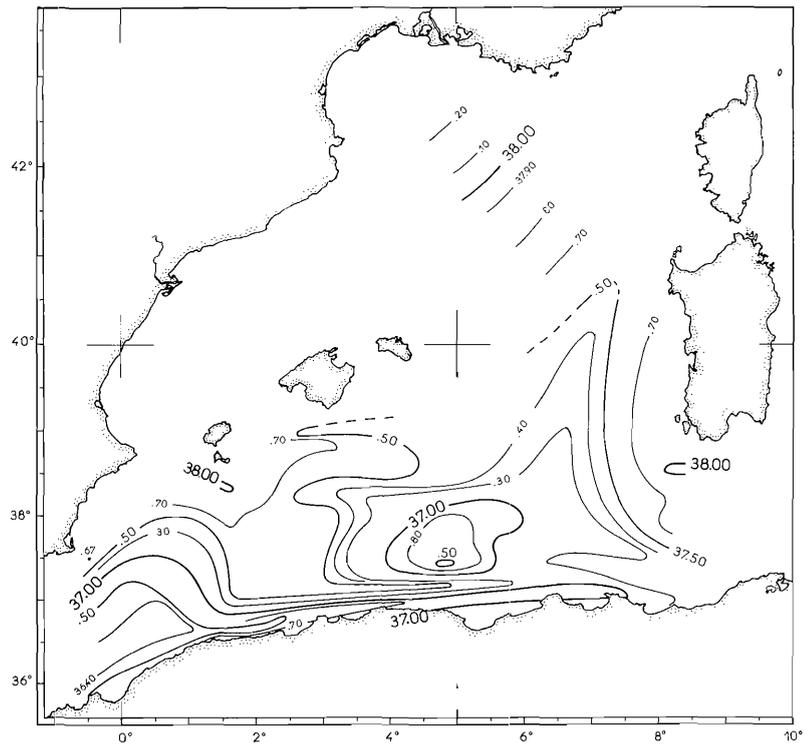


Fig. 6 et 7. — Isohalines et isothermes à 50 m.

L'isohaline des 38,00 qui s'est largement déplacée vers le SE représente maintenant la ligne de partage entre les eaux d'influence atlantique et celles plus salées du NO (max. : 38,39), qui continuent à exercer leur poussée vers le SE.

Par ses basses températures : 12,95 à 13,50°, cette dernière formation présente déjà les caractères de l'eau septentrionale supérieure, cependant qu'un lobe d'eau plus chaude : 13,82 à 13,50°, subsiste toujours dans le secteur SE de Majorque et de Minorque.

Dans le canal de Sardaigne, la salinité a sensiblement augmenté (max. 38,19 dans le N) et la température correspondante est de 13,50 à 13,20°. On voit que cette formation commence à se déployer vers l'O, ce qui montre l'action déjà sensible du courant intermédiaire oriental sous-jacent.

Niveau de 200 m (fig. 10 et 11).

L'influence du courant atlantique sur le littoral algérien n'est plus marquée que par une salinité à peine plus faible que celle des eaux du large : 38,10 à 38,20. Cette brusque croissance du taux implique que l'on a franchi une zone de fort gradient depuis le niveau de 100 m. Une certaine extension de cette formation est cependant encore marquée dans le secteur de Ténès par un lobe plus chaud (13,26 à 13,00°) que les eaux environnantes.

Par contre, la persistance d'un lobe d'eau atlantique, au large, autour du méridien du cap Bougaroni, ne manque pas de surprendre. Son caractère halin reste bien marqué (min. : 37,58), ce qui traduit une importante accumulation de cette eau dans ce secteur.

A l'E immédiat de cette zone tourbillonnaire, on entre pourtant au contact de l'eau orientale, avec une salinité maximale de 38,52 dans le N du canal de Sardaigne. Mais si le lobe halin de cette formation intermédiaire ne peut s'étendre vers l'O du fait de la présence de l'eau atlantique, il n'en est pas de même de la propagation thermique. En effet, un lobe important se forme à partir de la température maximale rencontrée dans le S de la Sardaigne : 13,78° dans le N du canal, 13,09° dans le S, et se développe dans les deux tiers sud du bassin sous forme d'isothermes concentriques pour atteindre une température de 13,00° à hauteur d'Alger.

On constate ainsi que la présence de l'eau atlantique sur le méridien de Bougaroni n'a aucune influence sur cette propagation et il faut admettre que la base de cette formation adopte la température de l'eau orientale à ce niveau, ce qui contribue sans doute à favoriser son enfoncement.

Par ailleurs, on remarque que l'eau d'influence orientale est présente dans le NO du bassin où l'on observe une salinité maximale de 38,47 sur le talus du golfe du Lion. Nous avons vu par l'étude antérieure de l'automne 1958 que cette branche du secteur septentrional était principalement alimentée par une veine qui, remontant le long de la Sardaigne occidentale, accomplit un mouvement cyclonique dans le N du bassin, tout en s'élevant progressivement et qu'un apport moindre de la Mer Tyrrhénienne pouvait lui être adjoint à certaines époques.

On voit ici qu'une partie de cette veine plus salée du NO glisse vers le S, à l'E des Baléares, contre la masse d'eau atlantique et se prolonge par un lobe au maximum halin de 38,30 à 38,25 qui atteint le cap de Palos.

Quant à l'eau moins salée : 38,21 à 38,25 qui enveloppe l'archipel baléarique, elle comporte maintenant des températures minimales de 12,70 à 12,90°. Cette zone froide du S de Majorque constitue en fait le centre d'une vaste ellipse, circonscrite par l'isohaline des 13,00° et qui s'étend, dans l'axe du seuil des Baléares depuis le cap de Palos jusqu'au 42° parallèle. On se trouve ici en présence de l'eau formée pendant l'hiver et le printemps précédents dans le N du bassin et c'est la première fois qu'elle est si bien localisée à une époque aussi avancée de l'année.

Si l'on s'en rapporte aux données chiffrées publiées à l'occasion de campagnes antérieures, on se rend compte que ce minimum thermique a déjà été rencontré en été et en automne par différents navires, autour des Baléares : campagnes du « Thor » en août 1910 (NIELSEN, 1912), du « Président Lacaze-Duthiers » en juin 1953 et août 1954 (BOUGIS, GINAT et RUIVO, 1957), de l'« Elie Monnier » en septembre 1956 (Bulletin du COEC, 1957).

Ses caractères tendent vers ceux de l'eau d'hiver identifiée par NIELSEN (1912) et caractérisée par LACOMBE et TCHERNIA (1960) sous le nom d'« eau de la Riviera » (12,35° et 38,30) d'après deux campagnes faites en mars aux alentours du méridien de 6° et à l'entrée de la Mer Ligurienne.

On remarquera que la température de cette formation n'est guère plus élevée, en cette fin d'automne, autour des Baléares, que sur le méridien de 6° en mars 1954 : 12,60 à 12,70° (TCHERNIA, 1956).

Le caractère stationnaire de ces eaux autour des Baléares s'explique par le fait que le plafond thermique (13,00°) de la formation d'hiver se situe normalement aux alentours de 150/200 m de profondeur dès qu'il n'y a plus d'alimentation à partir de la surface. La partie supérieure de cette masse qui emplit toute la profondeur subsiste, intacte, autour des Baléares et dans le SE de la Mer Catalane pendant la plus grande partie de l'année, uniquement parce que ce secteur, échappant au vaste mouvement périphérique de l'eau orientale, sera le dernier à subir l'influence de cette dernière formation.

Il s'ensuit que ce dôme froid peut constituer un centre permanent de plongée, au moins jusqu'au moment où la température se sera suffisamment élevée sous l'effet du mélange pour ne plus occasionner d'augmentation de la densité, ce qui, si l'on s'en réfère aux rares données d'hiver que nous possédons dans ce secteur, à l'E de Minorque (FURNESTIN et ALLAIN, 1962), peut se produire seulement au moment où de nouvelles eaux d'hiver se reforment sur la bordure septentrionale.

Encore subsiste-t-il à tous moments une couche de minimum thermique, qui s'étend d'ailleurs à la presque totalité du bassin occidental et que FURNESTIN (1960) a justement appelée la couche d'eau septentrionale supérieure.

Niveau de 300 m (fig. 12 et 13).

La persistance et l'importance du lobe qui se développe au large du secteur kabyle, avec une salinité minimale de 38,17, montrent que l'eau atlantique a encore une certaine influence à ce niveau.

Ce lobe continue d'ailleurs à s'opposer à la formation orientale qui se développe dans le canal de Sardaigne avec les fortes valeurs de 38,55 à 38,50 et 13,66 à 13,50°. Cette eau, plus ou moins dégradée réapparaît, sous forme de divergence, non seulement contre le talus du golfe du Lion (38,48), mais aussi entre les Baléares et le secteur d'accumulation des eaux atlantiques. Cette dernière remontée est d'ailleurs marquée, comme au niveau précédent, par un lobe de maximum halin qui s'étend jusqu'à l'entrée de la Mer d'Alboran où la salinité est de 38,40/38,35.

Dans l'axe de cette avancée, et entre Formentera et Tokikt Indich, on remarque un noyau plus salé : 38,51 à 38,45 et auquel correspond une température maximale de 13,42° qui représente un reliquat d'une poussée antérieure de la formation orientale.

Quant à la propagation thermique de cette nappe, elle s'effectue cette fois jusqu'au centre de la ligne cap de Palos-Ténès où l'on rencontre une température de 13,10°. L'influence de l'eau orientale est également sensible dans le secteur de Bône à Bougie où l'on relève un maximum thermohalin de 13,66 à 13,20° et de 36,53 à 38,40.

L'eau septentrionale qui ceinture les Baléares a conservé, depuis le niveau supérieur, la température minimale de 12,76° et la faible salinité de 38,26. On constate, à ce niveau, qu'elle ne stationne plus seulement dans l'axe de l'archipel, jusqu'au cap de Palos, mais qu'elle contourne maintenant l'extrémité du lobe oriental pour se développer vers l'E contre la côte algérienne, jusqu'au secteur de Ténès-Alger en présentant des températures de 12,92 à 13,00° et des salinités de 38,33 à 38,40. Cette avancée intéresse d'ailleurs le secteur plus oriental jusqu'à Bougaroni avec une température croissant jusqu'à 13,20°. Le mouvement de cette nappe est donc tributaire, dans le secteur algérien, de celui des eaux atlantiques sus-jacentes.

Dans la partie N du lobe septentrional, l'eau s'est chargée en sels sous l'influence de la nappe orientale (38,42 à hauteur du 42° parallèle, 38,39 au S de Majorque) alors qu'elle s'est à peine réchauffée : 13,01 et 12,99°.

Niveau de 500 m (fig. 14 et 15).

Nous ne présenterons pas ici le niveau de 400 m qui apporte peu d'éléments nouveaux par rapport à celui de 300 m. Il suffit de savoir que l'eau orientale occupe presque entièrement le secteur méridional, mais que l'eau atlantique a toujours une certaine influence au large de Bougaroni.

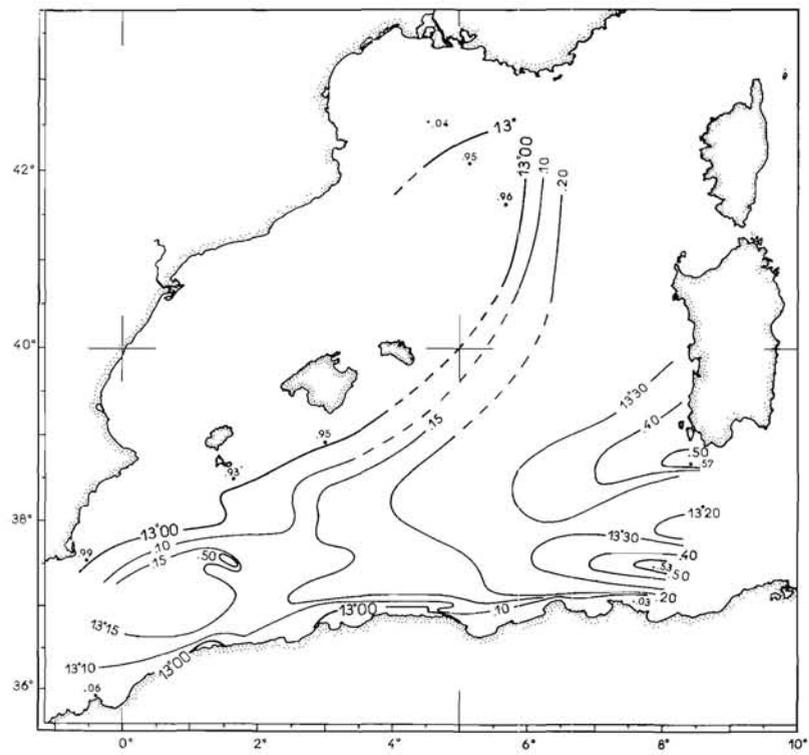
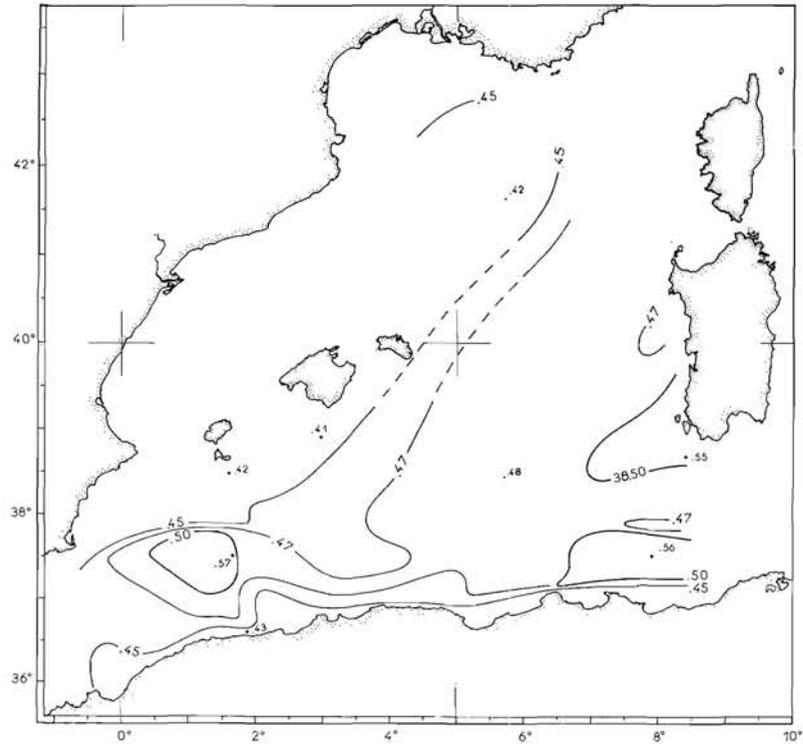


FIG. 14 et 15. — Isohalines et isothermes à 500 m.

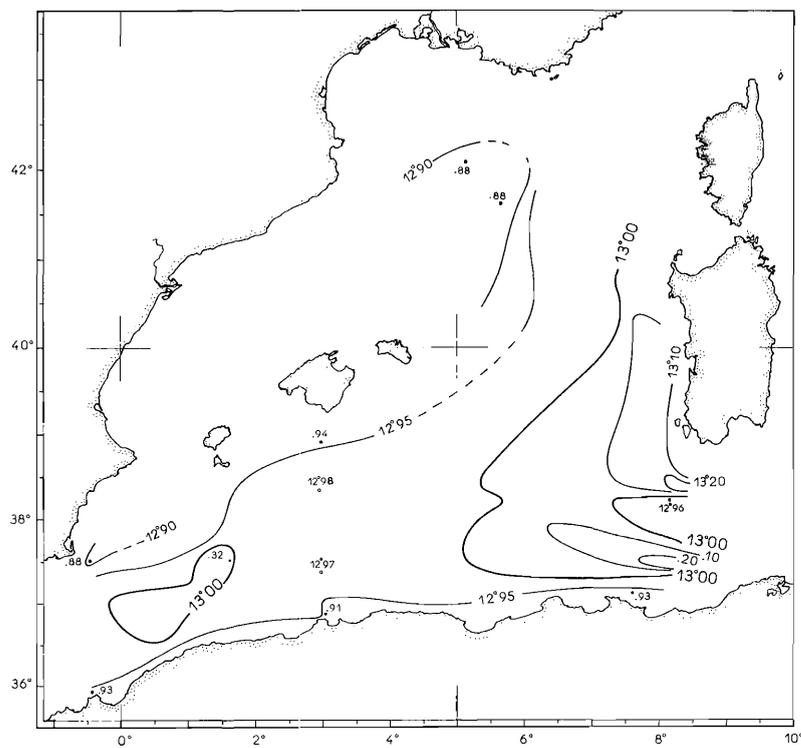
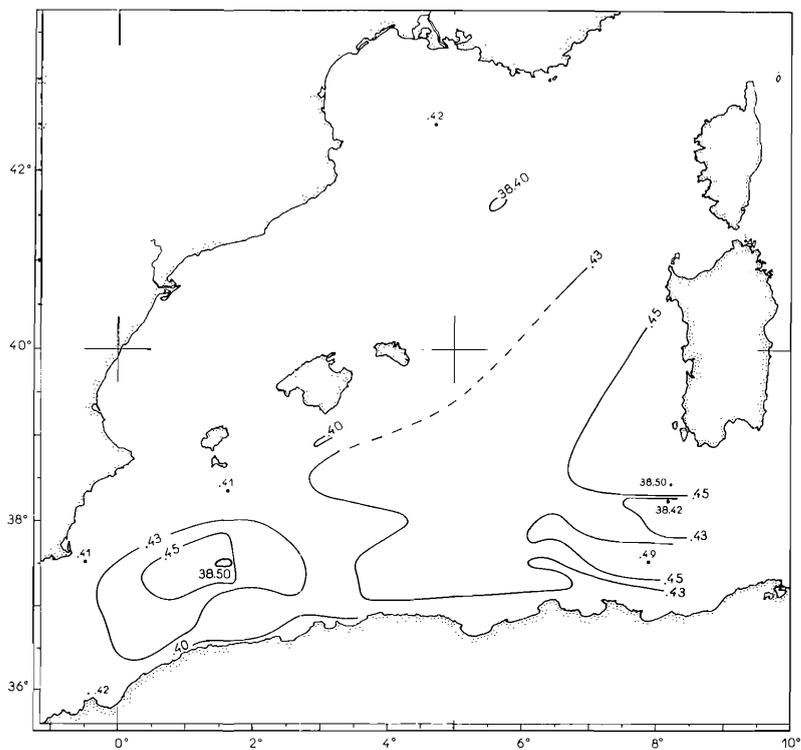


FIG. 16 et 17. — Isohalines et isothermes à 800 m.

Au niveau de 500 m, cette dernière influence a totalement disparu et l'eau orientale qui est circonscrite par l'isohaline des 38,45 et l'isotherme des 13,00° emplit maintenant toute la moitié SE du bassin algéro-provençal et réapparaît sur le talus du golfe du Lion (38,45).

Ses valeurs maximales se rencontrent dans le canal de Sardaigne : 38,55/38,56 et 13,57/13,53°, mais un noyau également très salé et chaud : 38,56 à 38,47, 13,52 à 13,15° subsiste toujours au large de Ténès et son origine est maintenant marquée par la continuité de l'isohaline de 38,47 qui la relie au secteur oriental.

C'est maintenant une eau de mélange, d'influence orientale : 38,41 à 38,42 qui est intéressée par les basses températures, inférieures à 13,00° (minimum 12,83°) de l'eau septentrionale de l'axe des Baléares. Une certaine augmentation de sa densité ($\sigma = 29,07$) va lui permettre de s'enfoncer sur la pente des Baléares et de participer à la formation de l'eau profonde, ainsi que nous le verrons par l'étude des coupes.

Niveau de 800 m (fig. 16 et 17).

On se trouve à ce niveau à la base de l'eau orientale qui se présente dans le secteur sardo-tunisien avec une salinité maximale de 38,49 et une température maximale de 13,21°. L'influence de cette formation est encore bien marquée dans tout le triangle SE du bassin où des valeurs de 38,51 et 12,98° se rencontrent à hauteur du méridien d'Alger. Par ailleurs, l'accumulation de cette eau entre Ténès et Formentera demeure évidente, avec la persistance d'un noyau plus salé et plus chaud : 38,51 et 13,32°. Sur le talus du golfe du Lion, on relève encore des traces de cette veine avec une salinité de 38,42 et 12,94°.

Dans le reste du bassin, c'est l'eau profonde septentrionale qui règne avec un taux de salinité sensiblement plus faible qu'au niveau supérieur : 38,39 à 38,42, correspondant à des températures minimales plus basses : 12,88° à hauteur du 42° parallèle et au cap de Palos, 12,94° au S de Majorque. L'eau de cette formation intéresse aussi la zone côtière algérienne où l'on relève des salinités inférieures à 38,42 et des températures inférieures à 13,00°.

Cette disposition rappelle celle du niveau supérieur, mais ce n'est que dans l'axe des Baléares que l'on observe une certaine homogénéité verticale, rappelant le processus de plongée des eaux dans ce secteur.

Nous ne présenterons pas ici les niveaux inférieurs à 800 m où le mélange s'effectue progressivement entre les eaux d'influence orientale à 38,42 et les eaux septentrionales voisines de 38,39. Ce sont maintenant les différentes sections qui nous renseigneront sur la situation des eaux profondes. La température *in situ* n'étant plus très significative à ces profondeurs, ce sera souvent la température potentielle qui sera mise en parallèle avec les salinités.

Distribution verticale de la salinité et de la température

Section I, du cap de Palos à Ténès.

A) De 0 à 200 m (fig. 18 a et 19 a).

Si on limite arbitrairement, comme on l'a fait pour ce secteur dans les études précédentes, l'eau atlantique à l'isohaline de 37,00, on se rend compte que son lit, qui se creuse au centre jusqu'à la profondeur de 100/110 m, emplit les trois quarts sud de la coupe. Il repose sur une couche de discontinuité marquée par le fort gradient des isohalines de 36,80 à 37,50/37,90, laquelle le sépare d'une eau de mélange supérieure à 37,90 de régime différent.

Le minimum halin : 36,38 à 36,40 se situe cependant entre 30 et 50 m, au centre d'un lobe circonscrit par l'isohaline de 36,60. Ce lobe n'est pas collé, comme on aurait pu s'y attendre, contre la côte algérienne, du fait d'une certaine poussée verticale de l'eau sous-jacente et aussi de l'avancée latérale d'une eau du large plus salée, ainsi que nous l'avons vu sur les cartes.

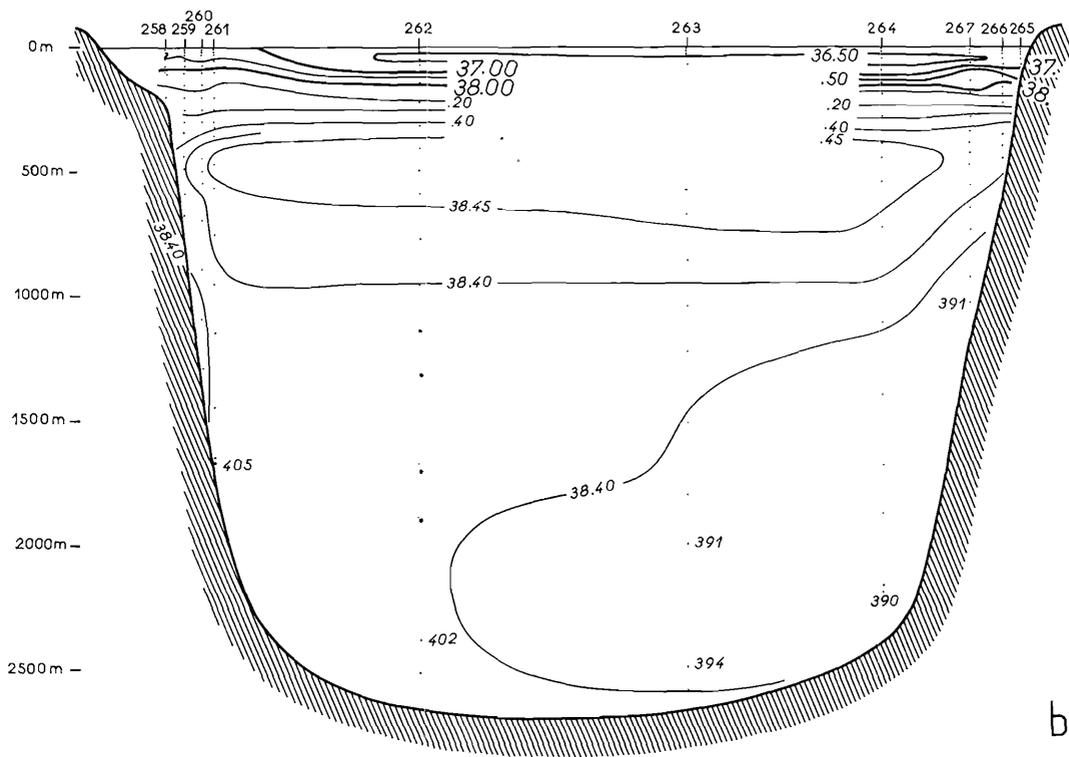
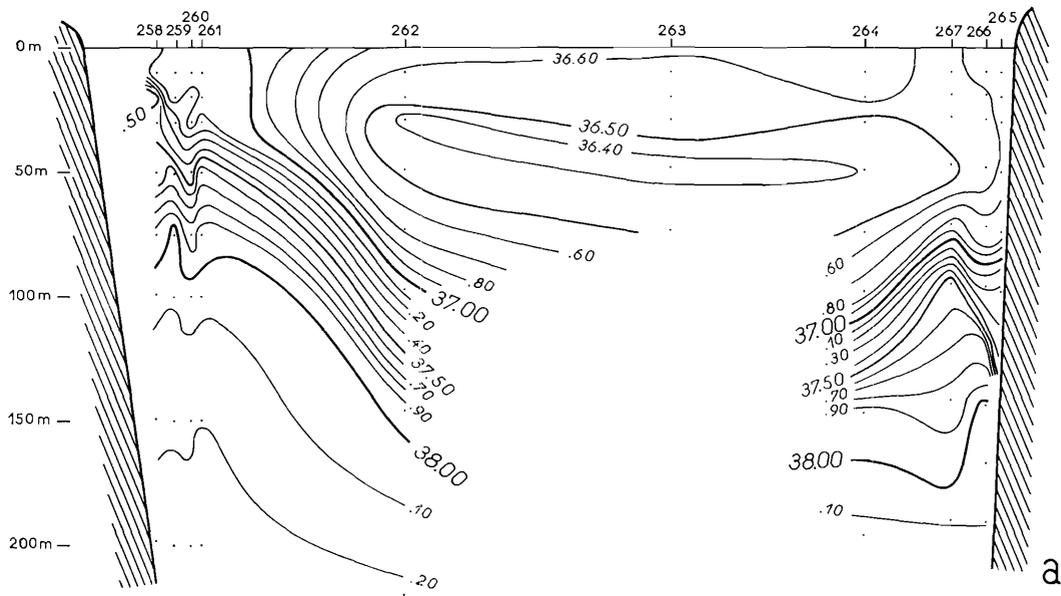


FIG. 18. — Coupe hydrologique n° 1, du cap de Palos à Ténès. Salinités.

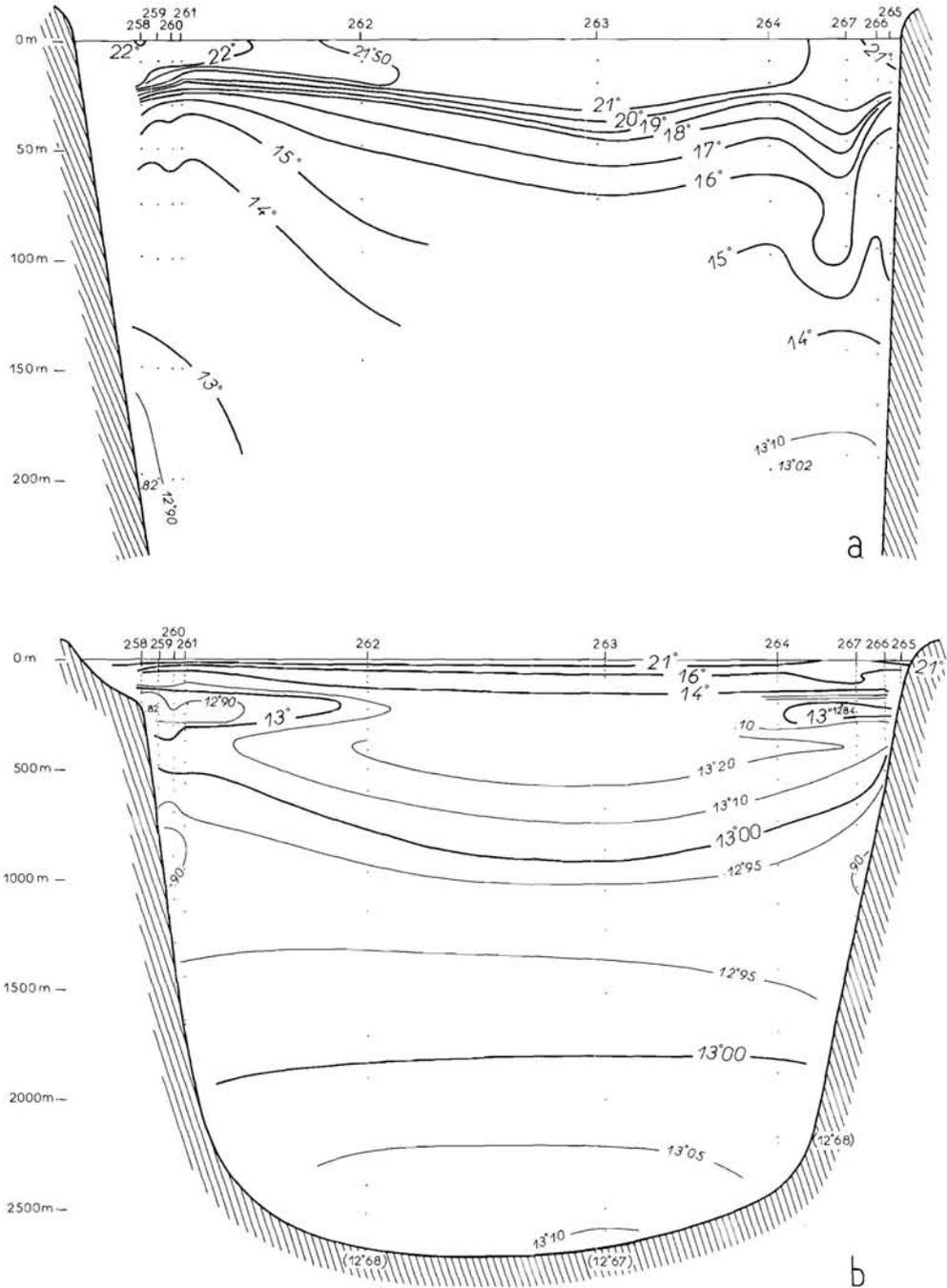


FIG. 19. — Coupe hydrologique n° 1, du cap de Palos à Ténès. Températures (les températures potentielles à proximité du fond sont portées en caractères droits au bas de la coupe).

Contrairement à ce qui se passait pendant l'hiver 1960, l'influence du courant atlantique ne dépasse donc guère, en cette période d'automne, le niveau de 140 m sur le versant de Ténès.

L'eau plus salée : 37,00 à 37,53 que l'on rencontre du côté espagnol provient en grande partie du secteur catalan, ainsi que l'indiquent par ailleurs les températures plus élevées rencontrées en surface : maximum 22,53°, mais la disposition des courbes traduit aussi une poussée verticale de l'eau sous-jacente.

C'est à cette arrivée d'eau plus salée et plus chaude que l'on doit attribuer le mélange observé sur toute la couche superficielle, au-dessus du minimum halin de l'eau atlantique auquel correspondent les températures de 17 à 18° rencontrées à la base de la thermocline.

Dans le secteur algérien, les isothermes ne se superposent pas aux isohalines ce qui traduit sans doute un mélange actif dans ce secteur.

On remarquera que le resserrement de la thermocline dans le secteur de Palos précise le caractère ascendant de l'eau sous-jacente, laquelle tend vers la formation de l'hiver qui présente, dès le niveau de 200 m, une température de 12,82° et une faible salinité de 38,24.

B) Couche profonde (fig. 18 b et 19 b).

Sur la coupe de la surface au fond, l'eau septentrionale supérieure présente un minimum thermique de 12,84 à 13,00° aux deux extrémités, entre 100 et 200/300 m. Formée pendant l'hiver et le printemps précédents, elle continue à circuler dans le S du bassin, entraînée dans un mouvement cyclonique, ainsi que l'indique la présence des lobes les plus froids contre les pentes continentales et comme l'ont montré les cartes de la distribution horizontale. Sa salinité, qui varie entre 38,20 et 38,40 ne présente cependant pas de lobe intermédiaire comme le font les températures, parce que cette eau est le produit d'un mélange direct entre l'eau atlantique et l'eau orientale sous-jacente.

L'eau orientale, circonscrite par l'isohaline des 38,42, se manifeste entre les niveaux de 300 à 1 000 m et s'étale sur presque toute la largeur de la coupe. Son axe le plus salé (maximum 38,47) et le plus chaud (13,26 à 13,00°) se situe aux alentours de 500 m pour les salinités, de 400 m pour les températures, décalage des deux facteurs que nous remarquerons sur la plupart des coupes et qui peut être consécutif à un échange thermique avec la formation sous-jacente.

On se rend compte, en effet, que la base de l'eau orientale est intéressée par les basses températures de l'eau septentrionale supérieure, notamment sur les pentes continentales. Il s'ensuit un certain enfoncement de l'eau de mélange à 38,42/38,40 dans le secteur espagnol, comme le montrent la disposition des isohalines et les salinités supérieures à 38,40 rencontrées sur le fond dans ce secteur, alors que dans la moitié sud de la coupe elles n'atteignent que 38,39.

Les températures potentielles que nous n'avons indiquées qu'à proximité du fond sur la figure 19 montrent que les inversions de la température *in situ* constatées à partir de 1 300 m ne sont qu'un effet de la variation adiabatique, qui s'exerce au cours de la plongée des eaux d'hiver depuis la surface. Les basses valeurs : 12,67 à 12,70° rencontrées à partir de 1 200 m jusqu'au fond, indiquent en outre que cette eau est plus ancienne que celle que l'on rencontre actuellement dans la couche septentrionale supérieure, dont le minimum thermique est de 12,79°.

Section II, de l'îlot Tokikt Indich à l'île Formentera.

A) De 0 à 200 m (fig. 20 a et 21 a).

Le long de cette section, l'eau atlantique s'étale encore dans toute la partie supérieure de la coupe, mais l'essentiel du courant s'est maintenant porté contre la côte algérienne où son lit se creuse jusqu'au niveau de 150 m, son influence se faisant cependant sentir jusqu'à 200 m. Ses eaux se sont chargées en sels : 36,50 à 38,00, le minimum halin se situant au niveau de 50 m.

La poussée des eaux de mélange sous-jacentes est nettement marquée dans le secteur algérien par un resserrement de la couche du plus fort gradient et la thermocline est plus resserrée, du fait que le dôme des eaux méditerranéennes s'est rapproché de la surface.

On remarquera que l'eau atlantique des 30 premiers mètres s'est définitivement réchauffée, la température maximale : 21,85°, se rencontrant dans le secteur sud.

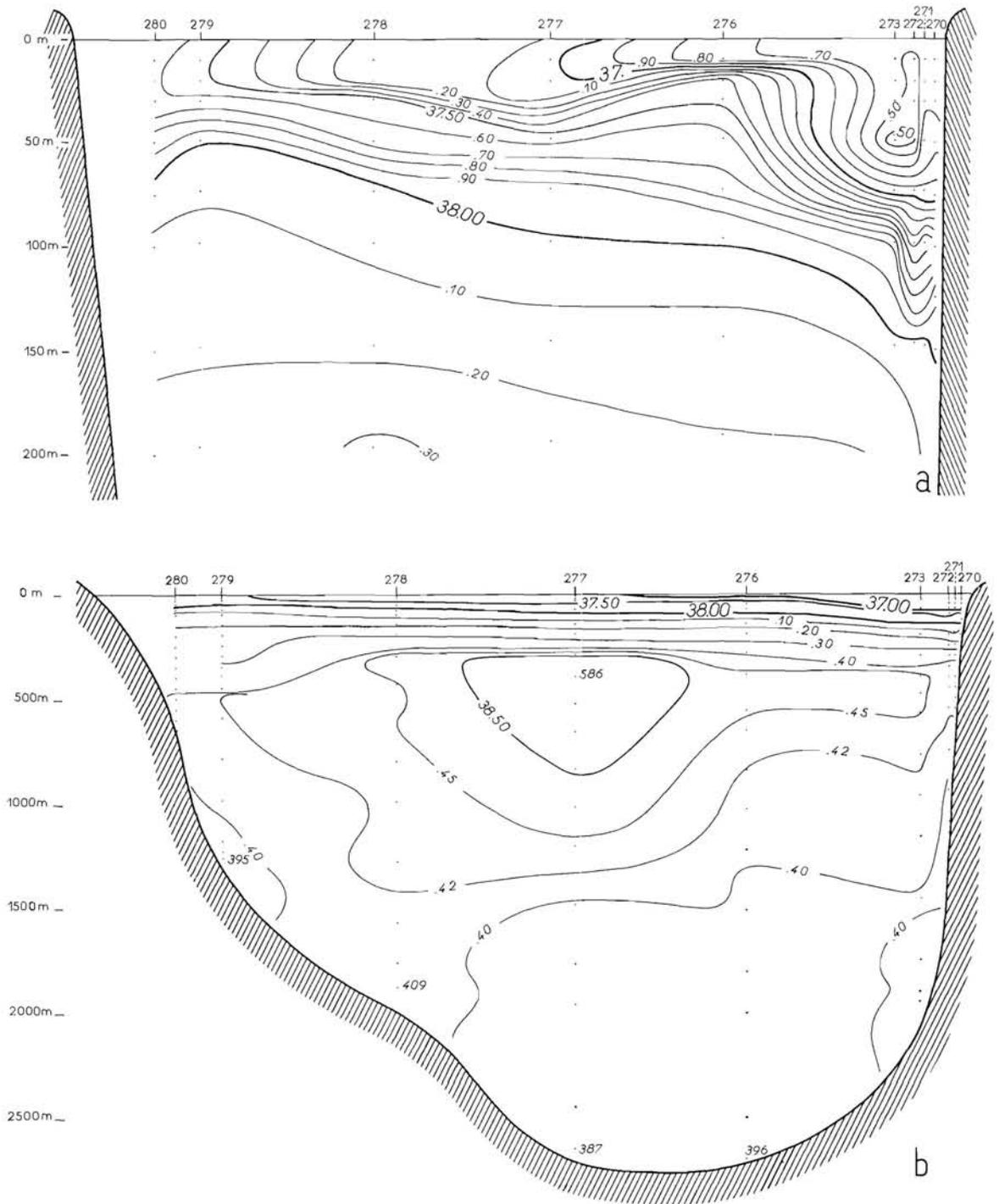


FIG. 20. — Coupe hydrologique n° 2, de l'îlot Tokikt Indîç à Formentera, Salinités.

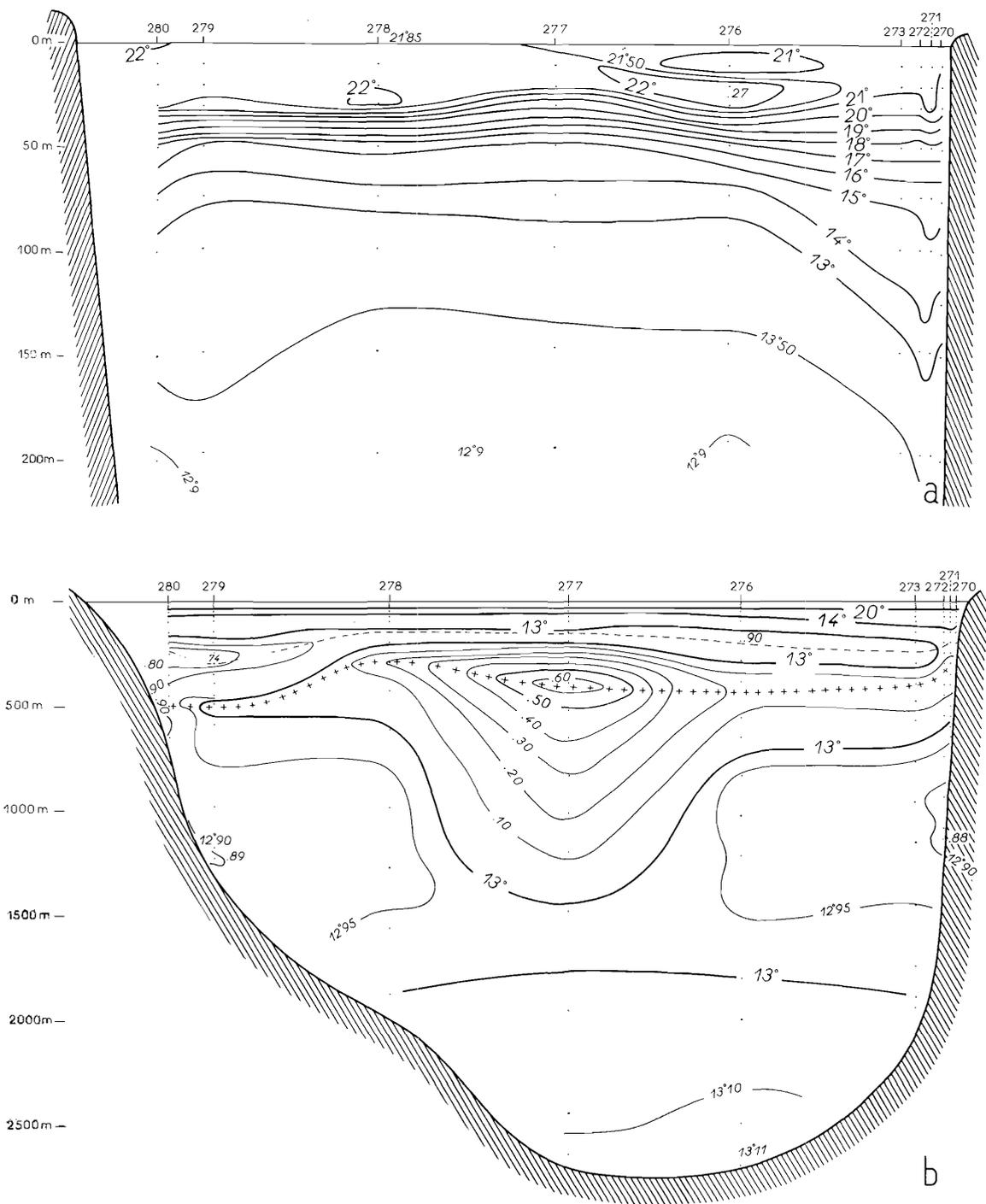


FIG. 21. — Coupe hydrologique n° 2, de l'îlot Tokikt Indich à Formentera. Températures.

B) Couche profonde (fig. 20 b, 21 b et 22).

La couche du minimum thermique de l'eau septentrionale supérieure, circonscrite par l'isotherme des 13,00° est parfaitement marquée autour du niveau de 150/200 m dans la totalité de la coupe et l'on remarque que le lobe des plus basses températures : 12,74 à 12,90° (12,70 à 12,80° en températures potentielles) est collé contre le versant baléarique entre les profondeurs de 200 à 600 m.

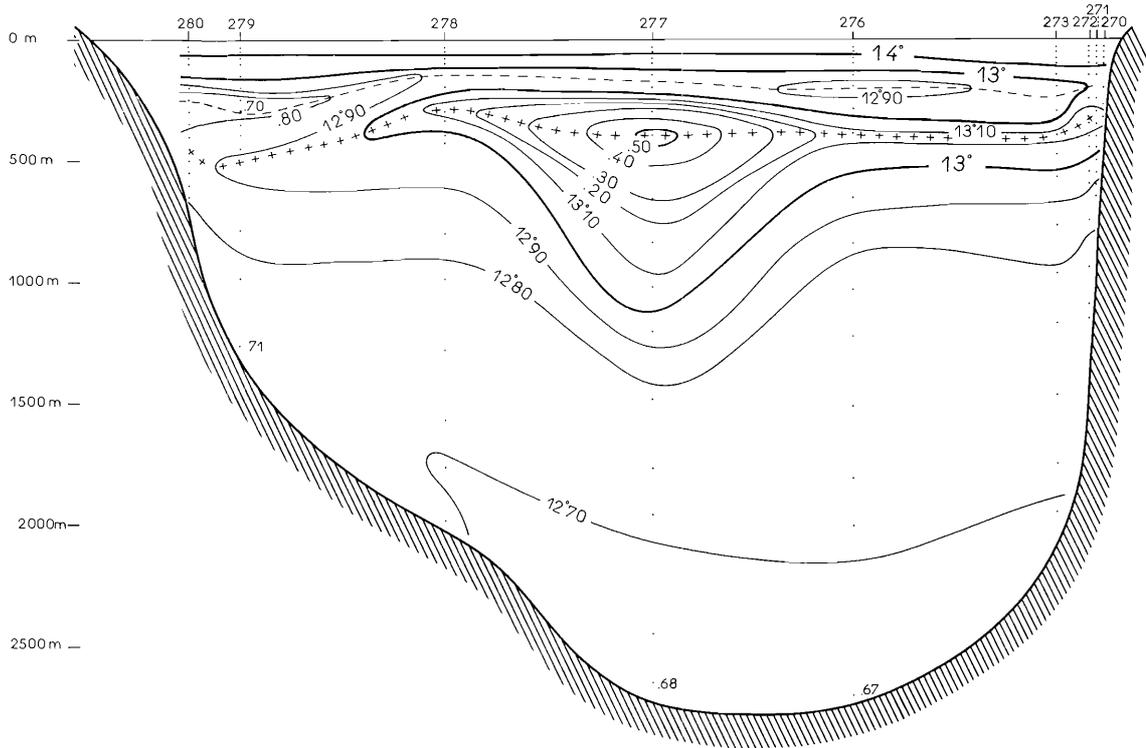


FIG. 22. — Coupe hydrologique n° 2, de l'îlot Tokikt Indich à Formentera. Températures potentielles.

Bien qu'elle en soit actuellement séparée par un certain maximum thermique, on peut penser que cette eau froide peut être, à certains moments, en relation avec celle de la couche profonde de température potentielle supérieure à 12,70°, qui occupe le versant des Baléares jusqu'à la profondeur de 2 000 m. Quant à l'eau du fond, encore plus froide, θ° minimale = 12,67°, elle serait plus ancienne.

Le développement de l'eau orientale est considérable dans cette coupe où son lit, circonscrit par l'isohaline des 38,42 et l'isotherme des 13,00° se creuse en plein centre, jusqu'à la profondeur de 1 400 m.

Une telle accumulation semble exceptionnelle, d'autant plus que les valeurs atteintes à 400 m : 38,58 et 13,63°, ne se rencontreront à nouveau, pendant cette campagne, que dans le canal de Sardaigne. Il est probable que les basses températures que cette formation a rencontrées sur le versant des Baléares contribuent à son enfoncement, ainsi que l'indiquent d'ailleurs les fortes salinités : 38,41. rencontrées sur le fond dans la partie septentrionale de la coupe.

Section III, du cap Caxine à l'île Cabrera.

A) De 0 à 200 m (fig. 23 a et 24 a).

Sur ce méridien, qui passe sensiblement à l'O d'Alger, la situation a évolué, du fait que l'eau atlantique se trouve maintenant répartie en deux lobes. En effet, le courant principal continue à lon-

ger la côte algérienne, avec un minimum halin de 36,00 entre 30 et 50 m, mais une dérivation secondaire présentant une faible salinité : 35,89 à 37,10, et aussi un certain abaissement de la température : 21,17 à 21,50° occupe maintenant le secteur septentrional.

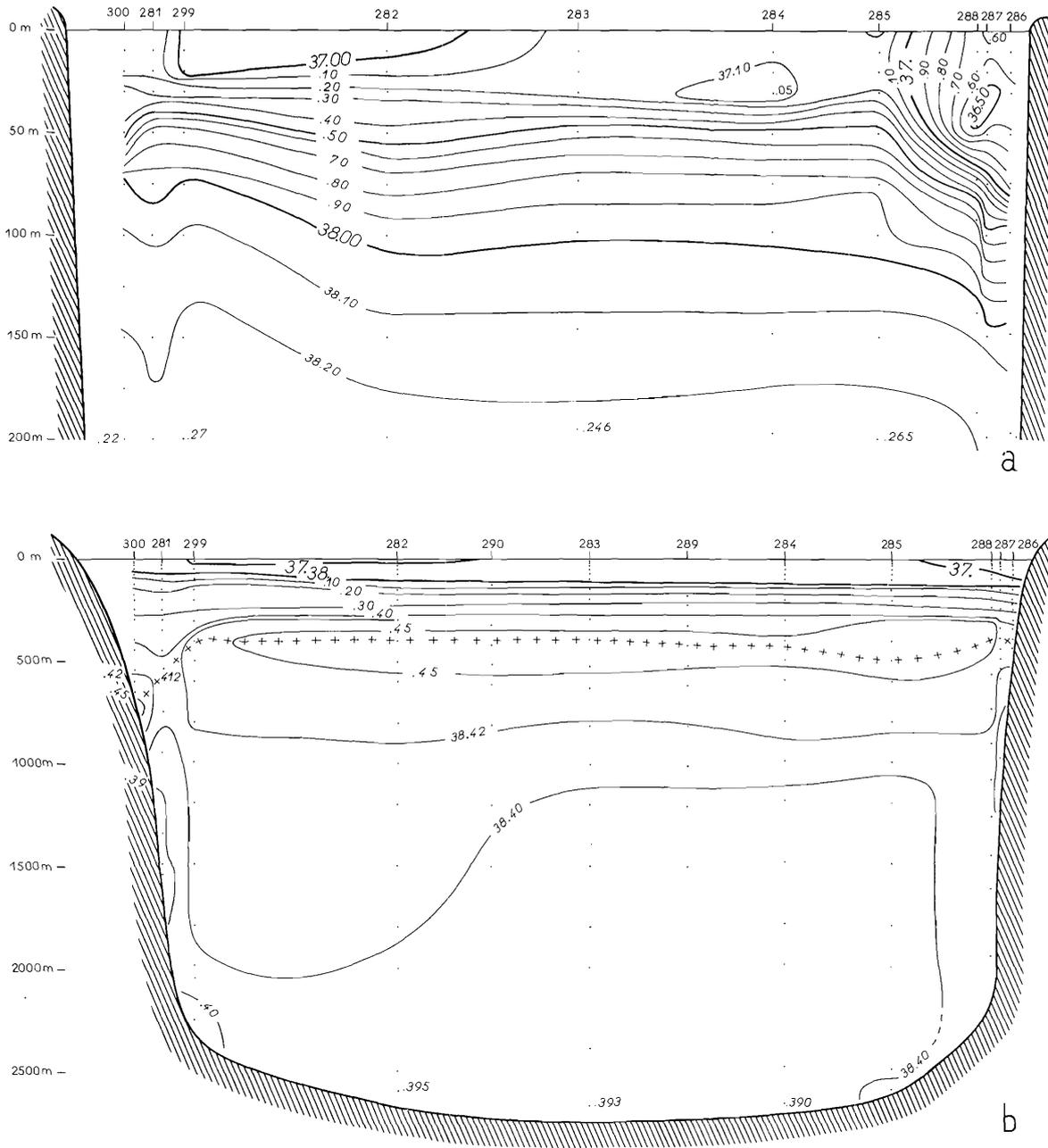


FIG. 23. — Coupe hydrologique n° 3, du cap Caxine à l'île Cabrera. Salinités.

Nous savons par les cartes que cette dernière branche s'est détachée du courant principal à partir du secteur plus oriental du cap Sigli, d'où elle progresse vers le NO et que la masse plus salée qui sépare les deux lobes atlantiques (37,10 à 37,20) est originaire du secteur Ivice-cap de Palos.

La thermocline est encore très accusée entre les niveaux de 30 à 60 m, mais son faisceau se déploie en éventail dans le secteur algérien où l'axe du courant atlantique a conservé les basses températures de 16 à 20°.

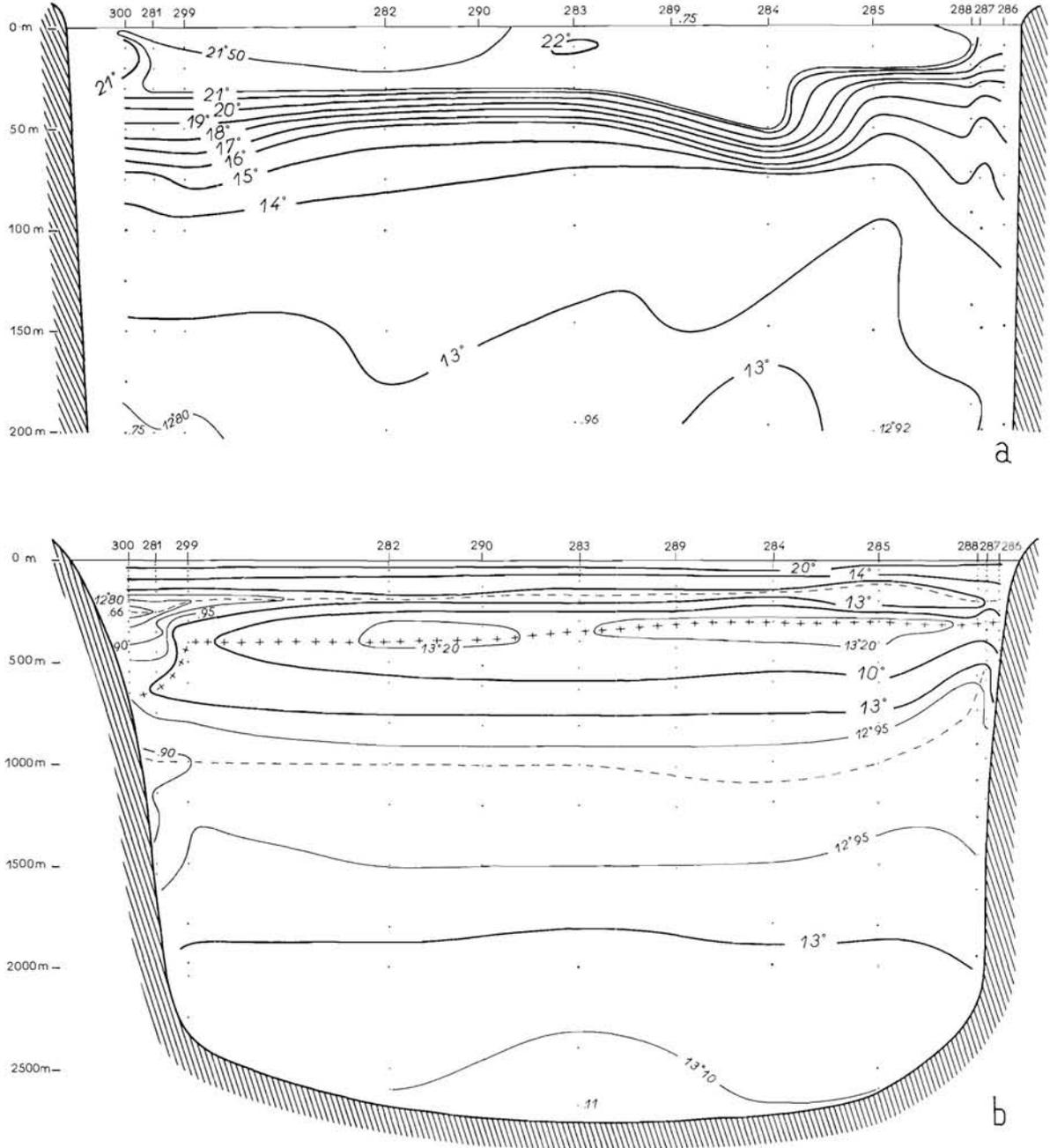


FIG. 24. — Coupe hydrologique n° 3, du cap Caxine à l'île Cabrera. Températures.

B) Couche profonde (fig. 23 b, 24 b et 25).

Contrairement à ce qui se passe sur la coupe précédente, l'eau orientale se présente ici suivant un lit très étalé qui occupe la couche de 250 à 900 m où elle est circonscrite par l'isohaline des 38,42 et

l'isotherme des 13,00°. La ligne du maximum halin (taux maximal : 38,47) se situe autour du niveau de 400/500 m et celle du maximum thermique reste au niveau un peu supérieur de 300/400 m, la température maximale étant de 13,26° dans la partie droite de la coupe.

Ainsi que sur le versant de Formentera, la nappe septentrionale supérieure, qui s'étend par ailleurs à toute la coupe autour du niveau de 150/200 m, présente ses plus basses températures : 12,66 à 13,00° sur la pente de Cabrera.

Dans ce dernier secteur, on se rend compte maintenant que cette eau froide de la couche supérieure est bien en relation avec celle de la couche septentrionale inférieure car l'influence de l'eau orientale est à peine marquée par un minimum de 12,98° au niveau de 650 m. L'examen des températures potentielles montre d'ailleurs que les valeurs minimales rencontrées sur la partie profonde du versant baléarique et sur le fond lui-même : $\theta^{\circ} = 12,68$ à $12,70$ sont sensiblement plus élevées que celle, minimale, de la couche supérieure : $\theta^{\circ} = 12,62^{\circ}$.

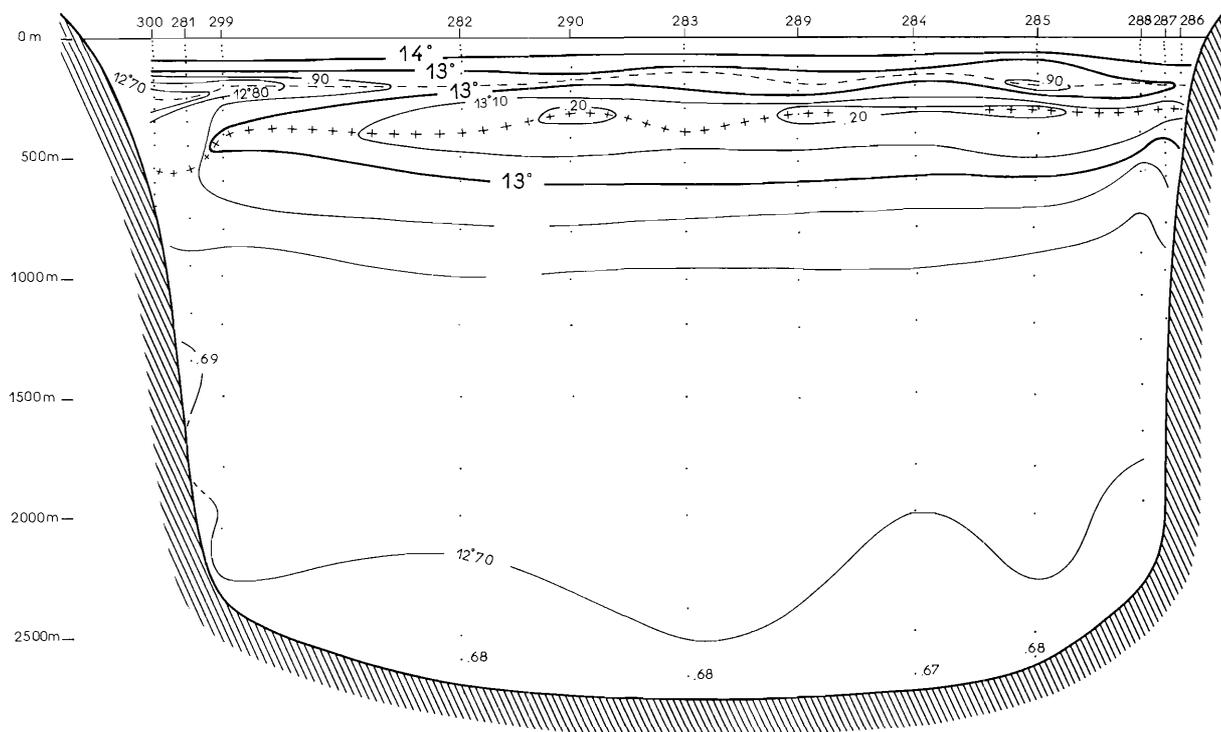


FIG. 25. — Coupe hydrologique n° 3, du cap Caxine à l'île Cabrera.
Températures potentielles.

Cette constatation implique déjà qu'une partie des eaux profondes peut être formée à cette période de l'année. Les salinités viennent, en outre, confirmer cette plongée tardive. En effet, les basses températures de la couche supérieure intéressent, non seulement des eaux du niveau de 200/400 m dont le taux est de 38,23 à 38,40, mais aussi les eaux de la couche orientale déjà dégradées qui parviennent jusque dans ce secteur. Il s'ensuit une certaine augmentation de la densité et un enfoncement des eaux de mélange, supérieures à 38,40, qui a pour effet de scinder la nappe orientale à hauteur de la station 281. Simultanément, le lobe d'eau plus salé : 38,46 à 38,42, qui est resté collé contre le talus, a plongé depuis le niveau de 400 m, axe du maximum halin, jusqu'à la profondeur de 600 à 850 m. D'autre part, la disposition du lobe inférieur, de moindre salinité : 38,386 à 38,40 qui adhère au versant entre 800 et 1 200 m montre qu'il a été formé à partir des eaux de mélange du niveau supérieur.

On remarque enfin que des eaux d'influence orientale, un peu supérieure à 38,40, parviennent jusqu'au fond, sous l'effet du mélange avec l'eau septentrionale. La plus grande partie de la coupe est cependant occupée à partir du niveau de 1 100 m par des eaux de salinité voisine de 38,39, dont la température potentielle décroît de 12,75° à 12,67°.

L'ensemble de cette disposition correspond à l'une des phases de la plongée des eaux d'hiver dont il convient de rappeler ici le processus.

Sur la bordure septentrionale du bassin, l'eau profonde est formée en deux temps :

1°) le refroidissement de l'eau plus salée de la surface donne lieu à une formation d'eau d'hiver : $T = 12,35^\circ$, $S = 38,30$ que LACOMBE et TCHERNIA (1960) ont appelé l'« eau de la Riviera »;

2°) cette eau d'hiver se mélange plus ou moins à l'eau orientale pour produire l'eau profonde de la Méditerranée plus dense : $T = 12,95^\circ$ ($\theta = 12,70^\circ$), $S = 38,39$ (mêmes sources).

Ainsi que le mentionnent ces auteurs, en aucune occasion, il n'a été possible d'observer une nappe d'eau d'hiver en train de plonger jusqu'aux grandes profondeurs et les deux formations sont généralement séparées par un écran d'eau d'influence orientale, plus ou moins franc entre 200 et 400 m. Il est, en effet, extrêmement rare que des eaux à 38,39/38,40, qui seraient issues de divergences régnant dans le N du bassin parviennent jusqu'à la surface et seul TROTTI (1953, 1954) a relevé de telles valeurs au centre de la Mer Ligurienne.

Par contre, il peut arriver qu'une colonne d'eau soit pratiquement homotherme en hiver, de la surface au fond, avec une température inférieure à 13,00°, ainsi que l'a remarqué TCHERNIA (1956) en mars 1954, dans le N du bassin, sur le méridien de 6°.

On doit donc admettre qu'au cours du mélange entre les deux eaux, l'échange thermique ne se fait pas dans les mêmes proportions que l'échange halin, puisqu'une grande partie de l'eau septentrionale supérieure continue à circuler, à une faible profondeur, dans le bassin algéro-provençal, pendant la plus grande partie de l'année.

Il apparaît donc que c'est dans la zone de contact de l'eau d'hiver et de l'eau orientale qu'est formée l'eau profonde, c'est-à-dire la périphérie de la deuxième formation, mais que cette deuxième phase de mélange et de plongée peut avoir lieu après la formation de la couche septentrionale supérieure, à condition que cette dernière conserve ses caractères au niveau de la couche orientale.

C'est précisément ce qui se passe dans l'axe des Baléares, depuis le 42° parallèle jusqu'au cap de Palos et sans doute aussi dans la partie centrale et méridionale de la Mer Catalane, lieu d'aboutissement de l'eau orientale. Toute cette région peut donc constituer, pendant la plus grande partie de l'année, un centre de formation d'eau profonde.

Section IV, du cap Sigli au large du 38° parallèle.

A) De 0 à 200 m (fig. 26 a et 27 a).

Sur le méridien de 5°, le courant atlantique s'est scindé sous l'effet d'une poussée ascendante des eaux de la mi-profondeur, particulièrement marquée à une vingtaine de milles de la côte algérienne.

Cette divergence, qui semble localisée à la couche des 150 premiers mètres, a pour effet d'isoler contre la côte le courant atlantique d'une salinité de 36,52 à 36,90, lequel continuera son trajet vers l'E, cependant qu'elle favorise l'extension vers le N d'un autre lobe qui occupe toute la partie centrale de la coupe où ses eaux s'accumulent jusqu'à la profondeur de 120 m avec des taux de 36,48 à 37,00.

Une telle accumulation et les faibles salinités qu'on y rencontre impliquent un état stationnaire ou tourbillonnaire des eaux atlantiques dans ce secteur.

On remarque par ailleurs que le minimum halin, que l'on rencontrait dans les coupes précédentes à la profondeur de 30 à 50 m, se situe maintenant à celles de 75 m, niveau qu'il conservera dans



FIG. 27. — Coupe hydrologique n° 4, du cap Sigli. Températures (les températures potentielles à proximité du fond sont indiquées en caractères droits au bas de la coupe).

L'eau de plus faible salinité a conservé la basse température de $16,26^\circ$ sur le versant algérien et de $16,51^\circ$ dans le lobe central. L'axe de ce dernier lobe se développe d'ailleurs sous la thermocline située vers 20/30 m de profondeur. Les eaux de mélange de la couche superficielle ont une température de $21,00^\circ$.

B) Couche profonde (fig. 26 b et 27 b).

Au-dessous de 200 m, la structure thermohaline est très régulière dans cette section.

L'eau septentrionale supérieure, qui présente des températures minimales de $13,02/13,05^\circ$ occupe toujours le niveau de 200/300 m.

Au-dessous, entre les profondeurs de 250 à 1 000 m, se développe la nappe d'eau orientale dont l'axe se situe entre 300 et 500 m, ses valeurs maximales étant maintenant de $13,33^\circ$ et de $38,49$ dans le N de la coupe.

La zone de mélange est ici importante, puisque l'isohaline des $38,40$ demeure à 1 700 m dans la presque totalité de la coupe. Aux niveaux inférieurs, la salinité ne s'abaisse d'ailleurs pas au-dessous de $38,395$. Les températures potentielles accusent un minimum de $12,67^\circ$ dans la couche profonde.

On notera que, dans cette section, ainsi que dans la plupart des suivantes, la température potentielle n'est plus indiquée qu'à proximité du fond, par des chiffres droits portés au-dessous du profil du fond.

Section V, du cap Bougaroni au 38° parallèle.

A) De 0 à 200 m (fig. 28 a et 29 a).

A hauteur du cap Bougaroni, les deux lobes du courant atlantique, dont les eaux se sont à peine chargées en sels : minimum $36,70$ sur le versant algérien et $36,93$ au large, sont toujours bien distincts et séparés par une divergence qui prend naissance sur le versant algérien vers le niveau de 200 m.

On constate, en outre, une nette augmentation de la salinité : $37,26$ à $37,28$ dans la couche superficielle du large que l'on doit attribuer, ainsi que nous l'avons vu sur les cartes, à un mélange avec un apport du secteur oriental. Cette couverture a pour effet de rabaisser le minimum halin jusqu'à la profondeur de 70 m, ce qui l'amène au même niveau que celui du lobe algérien. Bien que la température de la surface soit élevée : $21,53^\circ$, les inversions verticales de la salinité se traduisent par une certaine instabilité de la couche superficielle.

Ce n'est qu'à partir de cette section que l'axe de la branche atlantique du large progresse franchement vers le nord.

B) Couche profonde (fig. 28 b et 29 b).

Par rapport à la couche précédente, peu de changements interviennent dans la structure profonde.

On remarquera que le minimum thermique de la couche septentrionale supérieure reste relativement bas : $13,05$ à $13,18^\circ$ dans la partie sud de la coupe.

Quant à l'eau orientale, sa ligne de valeurs maximales oscille entre 400 et 600 m, en présentant une salinité de $38,52$ et une température de $13,48^\circ$ dans la partie méridionale de la coupe.

En profondeur, le mélange est plus actif du côté algérien, où l'isohaline de $38,40$ descend jusqu'à 2 000 m et où le taux sur le fond reste plus près de $38,40$ que de $38,39$. Des valeurs à peine plus faibles : $38,385$ à $38,40$ se rencontrent sur la pente algérienne entre 900 et 800 m. La présence d'un lobe plus dessalé dans ce secteur est sans doute due au fait que l'axe de la veine orientale s'écarte de la côte au niveau supérieur.

La coupe des températures potentielles n'accuse aucune anomalie dans la structure thermique et les basses valeurs rencontrées sur le fond, minimum $\theta^\circ = 12,67^\circ$ accuse le caractère ancien ou l'origine plus lointaine de l'eau du fond.

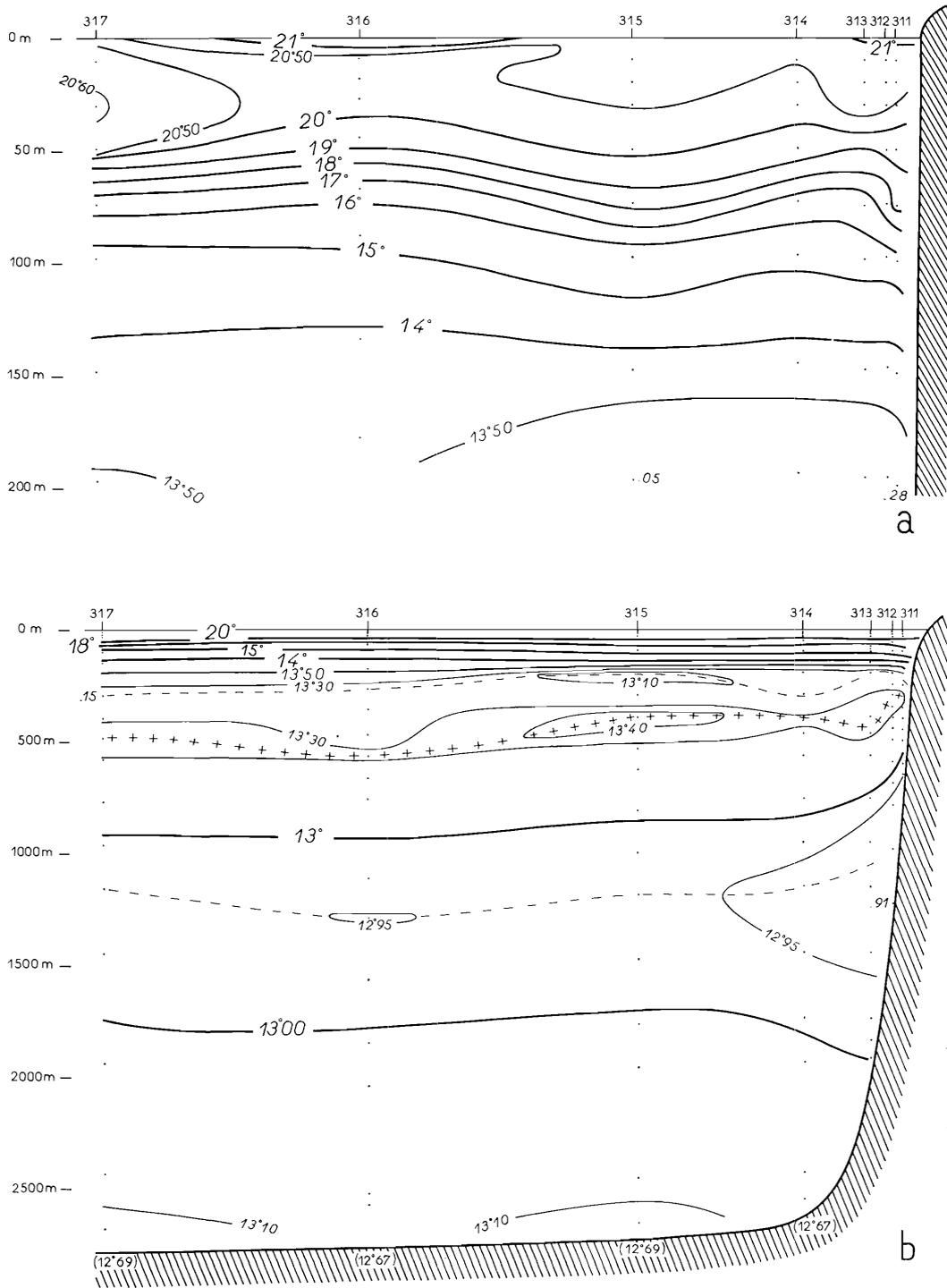


FIG. 29. — Coupe hydrologique n° 5, du cap Bougaroni. Températures.

Section VI, du cap Axin à l'île Toro.

A) De 0 à 200 m (fig. 30 a et 31 a).

Dans cette section située à l'entrée du canal de Sardaigne, le courant atlantique a conservé son individualité sur le versant algérien où il présente à 75 m de profondeur un minimum halin de 36,79 correspondant à la basse température de 16,63°, mais il entraîne maintenant à sa périphérie une proportion importante d'eau de mélange, circonscrite par l'isohaline de 37,50 et occupant les trois quarts supérieurs de la coupe. Ce lobe acquiert, en surface, une température de 20,78 à 20,00°.

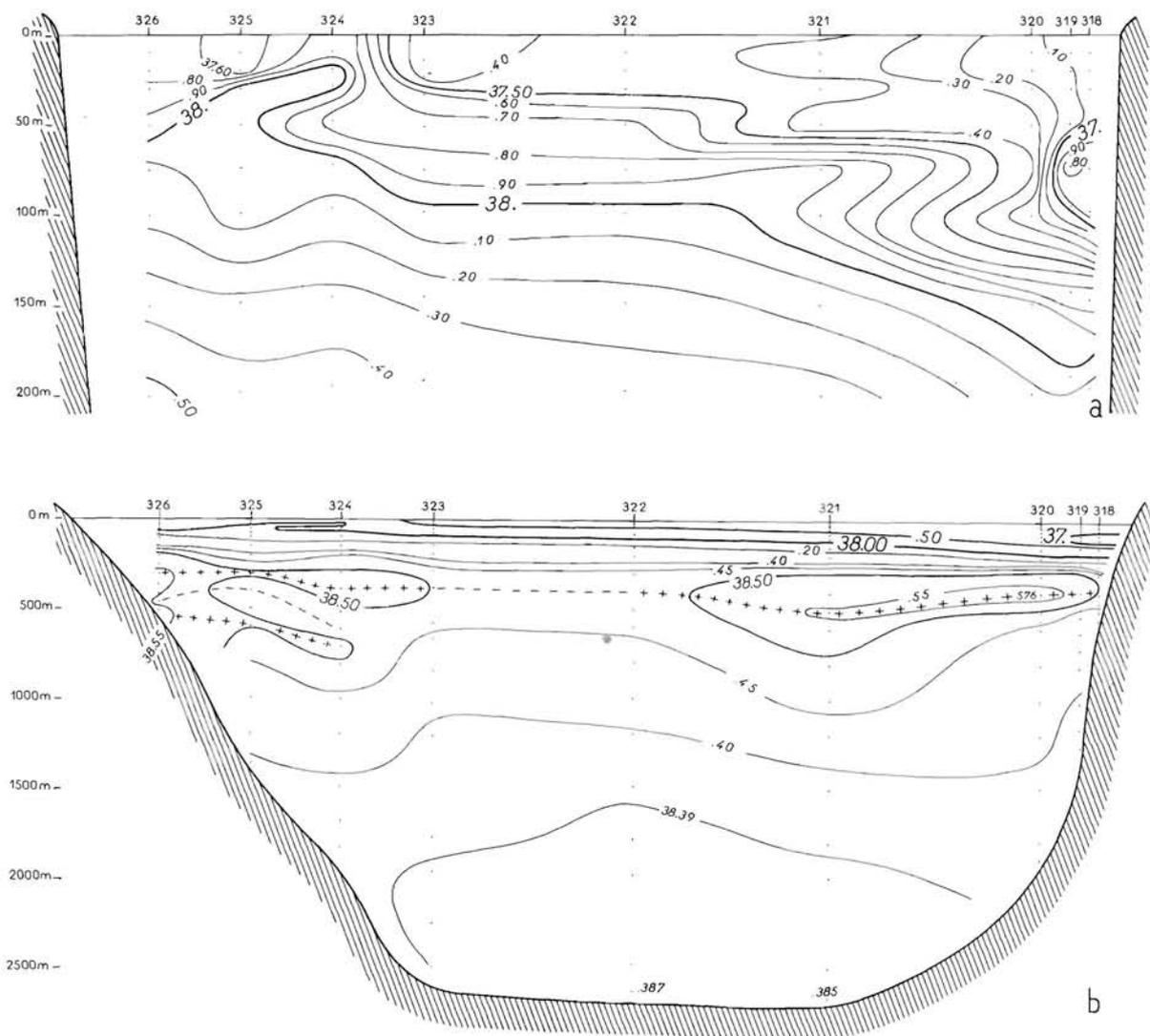


FIG. 30. — Coupe hydrologique n° 6, du cap Axin à l'île Toro. Salinités.

Les cartes nous ont montré que cette eau d'influence atlantique n'était pas uniformément orientée vers l'E et qu'elle se rebroussait en grande partie vers l'O, sous l'influence de l'eau orientale sous-jacente, dont elle est séparée par un fort gradient de salinité.

En effet, l'eau orientale caractéristique se manifeste déjà sur le versant sarde, entre les profondeurs de 150 à 200 m, avec des valeurs maximales de 38,52 et 13,78°.

Cette dernière formation exerce une poussée verticale et oblique qui se transmet dans la couche de mélange située entre elle et le lobe d'influence atlantique et se traduit par une déformation de la couche de fort gradient dans la partie S de la coupe et par une divergence qui atteint la surface dans le secteur N où une salinité de 37,87 est observée à la station 324.

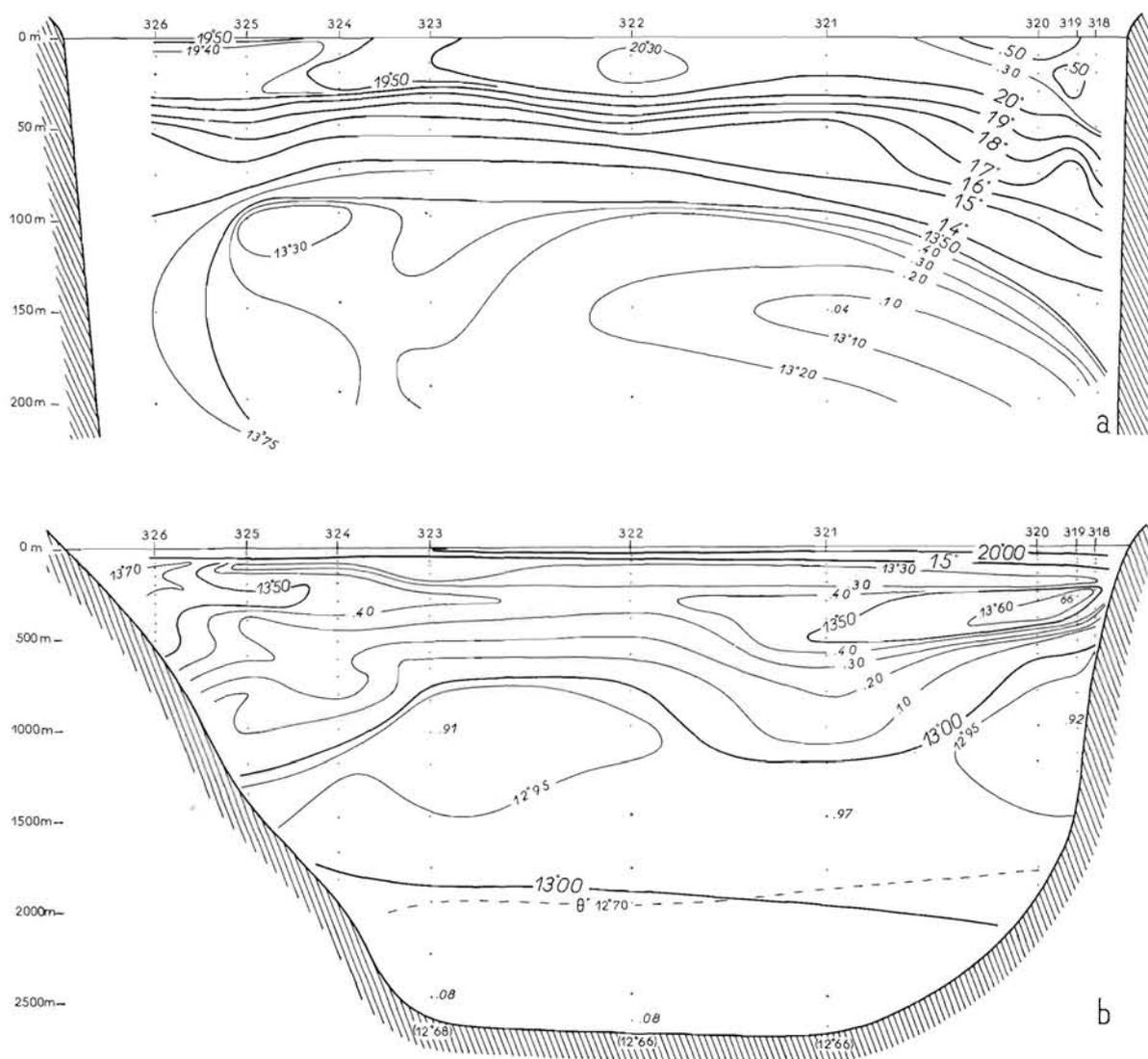


FIG. 31. — Coupe hydrologique n° 6, du cap Axin à l'île Toro. Températures.

Ce mouvement ascendant correspond sans doute à celui qui se manifeste en permanence en Mer Tyrrhénienne, déterminant une masse centrale très salée autour de laquelle circule une branche du courant d'influence atlantique. C'est ainsi que le lobe d'eau relativement dessalée qui apparaît du côté sarde, avec une salinité de 37,60 à 37,80 proviendrait du secteur oriental de l'île.

C'est encore à l'importance que prend la couche orientale dans ce secteur qu'est dû le soulèvement de la nappe septentrionale supérieure qui se manifeste ici dès le niveau de 100 à 200 m avec des températures minimales de 13,04 à 13,30°.

B) Couche profonde (fig. 30 b et 31 b).

Dans ce secteur peu éloigné du canal de Sicile, d'où elle se déverse dans le bassin occidental, l'eau orientale est bien caractérisée. Elle se divise en deux lobes, l'un qui progresse du côté algérien autour d'un axe situé vers 400/500 m avec des valeurs maximales de 38,58 et 13,66°, l'autre qui se développe contre le versant sarde, à la même profondeur avec des valeurs maximales de 38,56 et

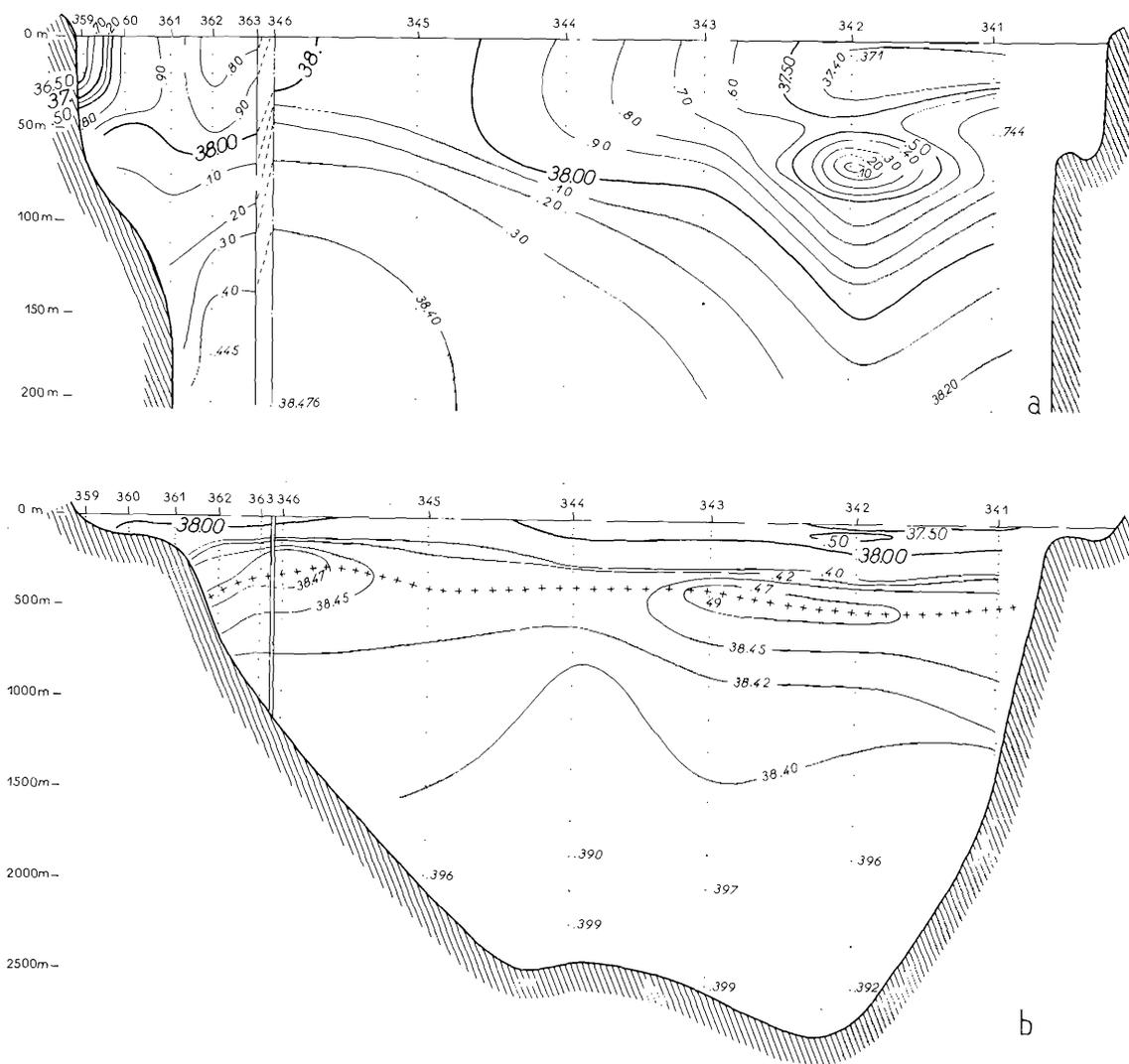


FIG. 32. — Coupe hydrologique n° 7, de la roche Catalano à Leucate. Salinités.

13,78°. Mais, dans ce dernier secteur, un autre maximum halin : 38,56 se rencontre contre le talus à 550 m de profondeur, avec une température plus faible, de 13,56°.

Cette disposition implique que l'eau orientale qui parvient sur ce versant, se trouve refroidie dans sa partie inférieure au contact des eaux plus froides de la profondeur et amorce une plongée qui est marquée par la formation d'un lobe dirigé obliquement vers le large.

On remarquera que, de 1 500 m au fond, la salinité est légèrement inférieure à 38,39, et donc moins forte que dans les autres coupes, ce qui pourrait s'expliquer par le mouvement, un peu plus

rapide, de l'eau orientale à sa sortie du canal, lequel ne favorise pas le mélange dans la couche profonde.

Section VII, de la roche Catalano (Sardaigne) à Leucate.

A) De 0 à 200 m (fig. 32 a et 33 a).

Afin de mieux comprendre les phénomènes qui intéressent le secteur NO, nous avons raccordé à cette section qui traverse en diagonale le N du bassin entre la Sardaigne et le centre du talus

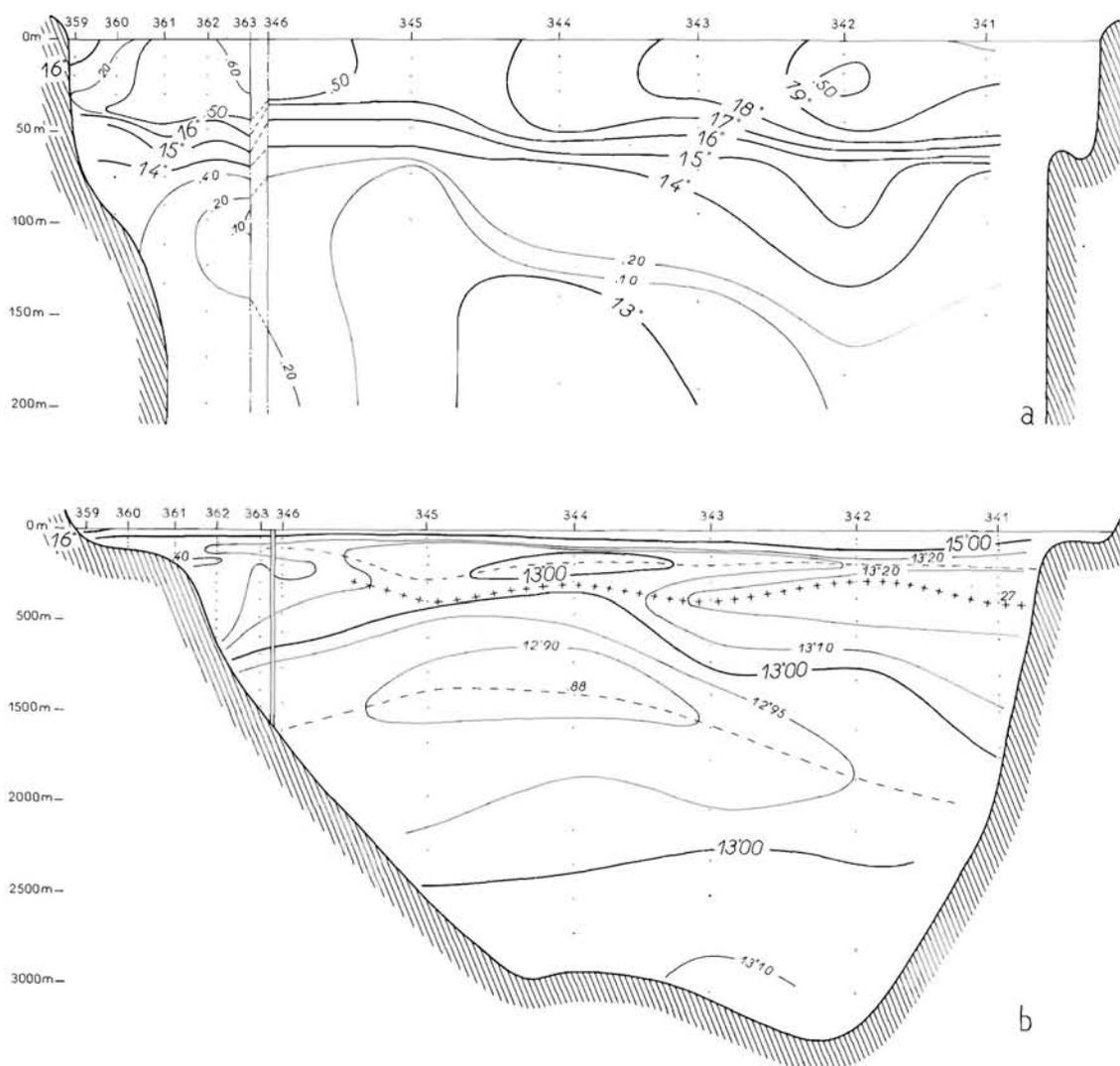


FIG. 33. — Coupe hydrologique n° 7, de la roche Catalano à Leucate. Températures.

du golfe du Lion la coupe n° 12 qui, partant de Leucate vers le SE a été exécutée 3 jours après, le 19 décembre. Les stations de raccordement 346 et 363 sont espacées de 5 milles.

La veine atlantique qui s'est détachée du courant principal à hauteur du méridien de 5°, occupe une place considérable dans les deux tiers E de la coupe, mais le mélange avec les eaux environnantes y est cependant plus actif que sur la bordure algérienne, ce qui implique un mouvement moindre vers le NE. En effet, l'eau d'influence atlantique se trouve maintenant circonscrite par l'isohaline des 38,00 et se développe autour d'un axe de salinité minimale de 37,09 que l'on rencontre, ainsi que dans la coupe de Bougaroni, au niveau de 70 m. Son lit se creuse jusqu'à la profondeur de 150 m, base de la couche du plus fort gradient, mais la disposition des courbes montre que son influence est encore bien marquée jusqu'à la profondeur de 200 m où la salinité n'est que de 38,12.

L'eau de mélange relativement salée que l'on rencontre au-dessus du courant atlantique (37,37 à 37,50) et contre le versant sarde (37,54) marque la progression de l'eau issue de la Sardaigne méridionale en même temps que l'influence de l'eau orientale sous-jacente.

On notera que dans cette partie orientale de la coupe, l'eau superficielle, influencée par les conditions du secteur septentrional est plus froide que sur la bordure algérienne : 17 à 19,50°. Quant au lobe atlantique de salinité minimale, il acquiert maintenant la basse température de 15,76°, consécutivement au fait qu'il s'enfonce dans la couche septentrionale supérieure dont l'axe n'atteint dans ce secteur, que la profondeur de 190 m avec des températures de 12,93 à 13,13°.

Dans le secteur du golfe du Lion, on remarque tout d'abord qu'aux deux stations de recouplement, les variations d'immersion des isohalines et des isothermes sont de l'ordre de 10 à 15 m, ce qui peut être dû, soit à leur situation respective, soit aux variations des flux des diverses formations en présence.

Contre la pente de Leucate, le courant du Rhône est nettement marqué par une salinité de 36,37 en surface et par un très fort gradient qui groupe les isohalines de 36,40 à 37,80 jusqu'à 8 milles de la côte et jusqu'à la profondeur de 50 m. La température de ces eaux varie de 15,80° en surface à 16,30° en profondeur.

Au-dessus de 50 m, l'eau du Rhône se mélange plus ou moins à l'eau d'influence atlantique qui a accompli un mouvement cyclonique dans le N du bassin, ainsi qu'on l'avait constaté en automne 1958 (FURNESTIN et ALLAIN, 1962). Ces eaux de mélange s'enfoncent sur le versant languedocien où la salinité atteint 38,40 à la profondeur de 200 m.

Plus au large, l'eau orientale, dégradée après son long parcours dans le N du bassin, présente ses valeurs maximales : 38,48 et 13,23° à 200 m de profondeur. Le dôme accentué que détermine cette formation accuse une divergence active qui rompt la continuité du courant atlantique à hauteur de la station 345 où la salinité est de 38,08 en surface et la température de 16,15°.

B) Couche profonde (fig. 32 b, 33 b et 34).

La coupe générale montre que l'eau orientale accomplit dans le N du bassin un mouvement cyclonique devenu classique, depuis les études antérieures dans ce secteur.

Elle progresse vers le N contre le versant sarde d'où son lobe se développe dans la partie orientale de la coupe circonscrit par l'isohaline des 38,45 et l'isotherme des 13,00/13,10°. Des valeurs maximales de 38,49 et de 13,27° sont rencontrées sur son axe qui se situe vers la profondeur de 400 à 500 m. Contre le talus du golfe du Lion où cette formation prend bien moins d'importance, du fait qu'elle a subi des mélanges au cours de son cheminement, son axe s'est élevé au large jusqu'au niveau de 300 m, cependant qu'il retombe contre le talus jusqu'à la profondeur de 500 m sous l'influence des basses températures communiquées par l'eau septentrionale adjacente.

On remarque qu'une ligne de maximum halin traverse toute la coupe, indiquant l'influence de l'eau orientale; il correspond à un maximum thermique cependant à peine marqué entre les stations 345 et 344. Mais, si l'on rétablit les températures potentielles, on se rend compte qu'à la station 345 il n'y a plus de maximum non plus d'ailleurs que de minimum thermiques et, sous une thermocline qui atteint le niveau de 100 m, la température décroît progressivement de 13,00 à 12,69° sur le fond. Cette disposition implique :

1°) que l'on se trouve ici dans l'axe de circulation de l'eau d'hiver septentrionale qui s'est progressivement mélangée au cours de l'année à l'eau orientale adjacente;

2°) que la partie supérieure de cette formation s'étale au-dessus des lobes d'eau orientale pour former l'eau septentrionale supérieure;

3°) que cette dernière nappe, qui présente ici des températures plus élevées qu' autour des Baléares, s'est réchauffée à partir du secteur septentrional après sa formation et progresse vers le sud.

Ces dernières constatations corroborent les observations de FURNESTIN (1960) au sujet de la circulation de l'eau septentrionale supérieure.

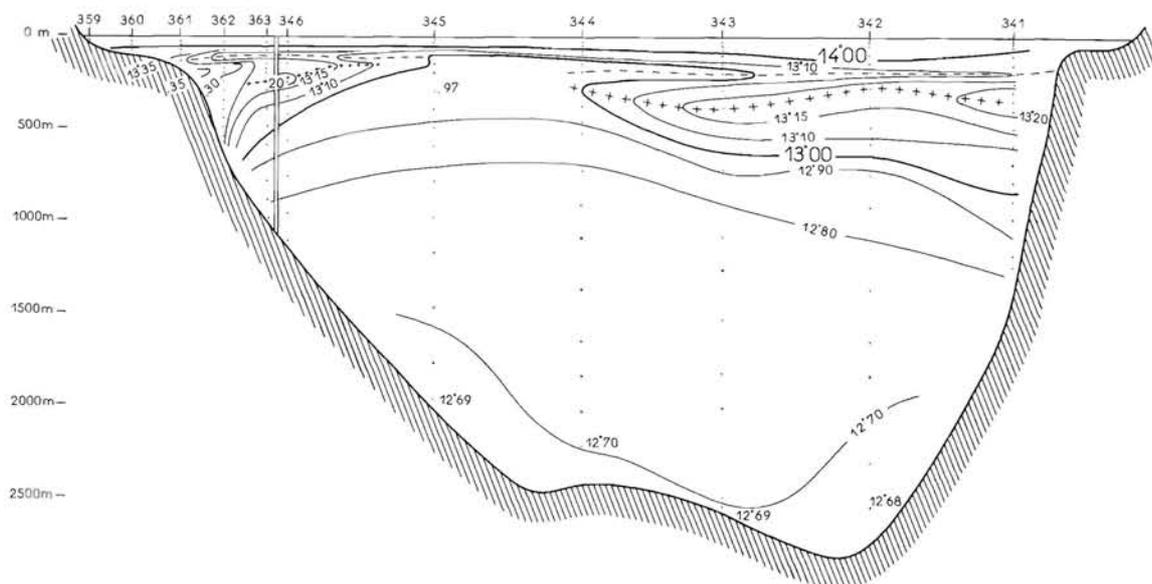


FIG. 34. — Coupe hydrologique n° 7, de la roche Catalano à Leucate.
Températures potentielles.

Sections VIII et IX, parallèles à la côte algérienne autour des parallèles de 37° et de 38°30.

Il nous a paru utile, afin d'avoir une vue d'ensemble des phénomènes observés, de présenter ici deux coupes parallèles à la côte algérienne et reliant des stations choisies sur les sections précédentes, autour des parallèles de 37° et de 38°30.

A) De 0 à 200 m (fig. 35 a à 38 a).

L'examen de ces coupes qui traversent le secteur méridional montre que l'eau atlantique, accumulée dans le secteur de Ténès et présentant une salinité minimale de 36,40, correspondant aux températures relativement basses de 16,48 à 17,80° aux niveaux de 30 à 50 m, se heurte à hauteur de Cherchell, à un front d'eau septentrionale très froide et plus salée : 12,90 à 13,00°; 38,23 à 38,00, en divergence.

Il s'ensuit que l'essentiel du courant atlantique est rabattu contre la côte et que seule la partie supérieure de cette formation, plus salée et plus chaude : 36,89 et 21,17° réapparaît en surface au-dessus du dôme de la formation sous-jacente.

Par contre, une forte accumulation d'eau dessalée se présente devant le cap Bougaroni, avec un minimum halin de 36,40 à 37,05, correspondant à une gamme de températures de 16,78 à 14,50°. L'enfoncement de cette formation semble consécutif au refroidissement communiqué par les eaux adjacentes.

Dans le secteur E, l'influence de l'eau orientale se manifeste à 200 m avec des valeurs maximales de 38,37 et 13,27°.

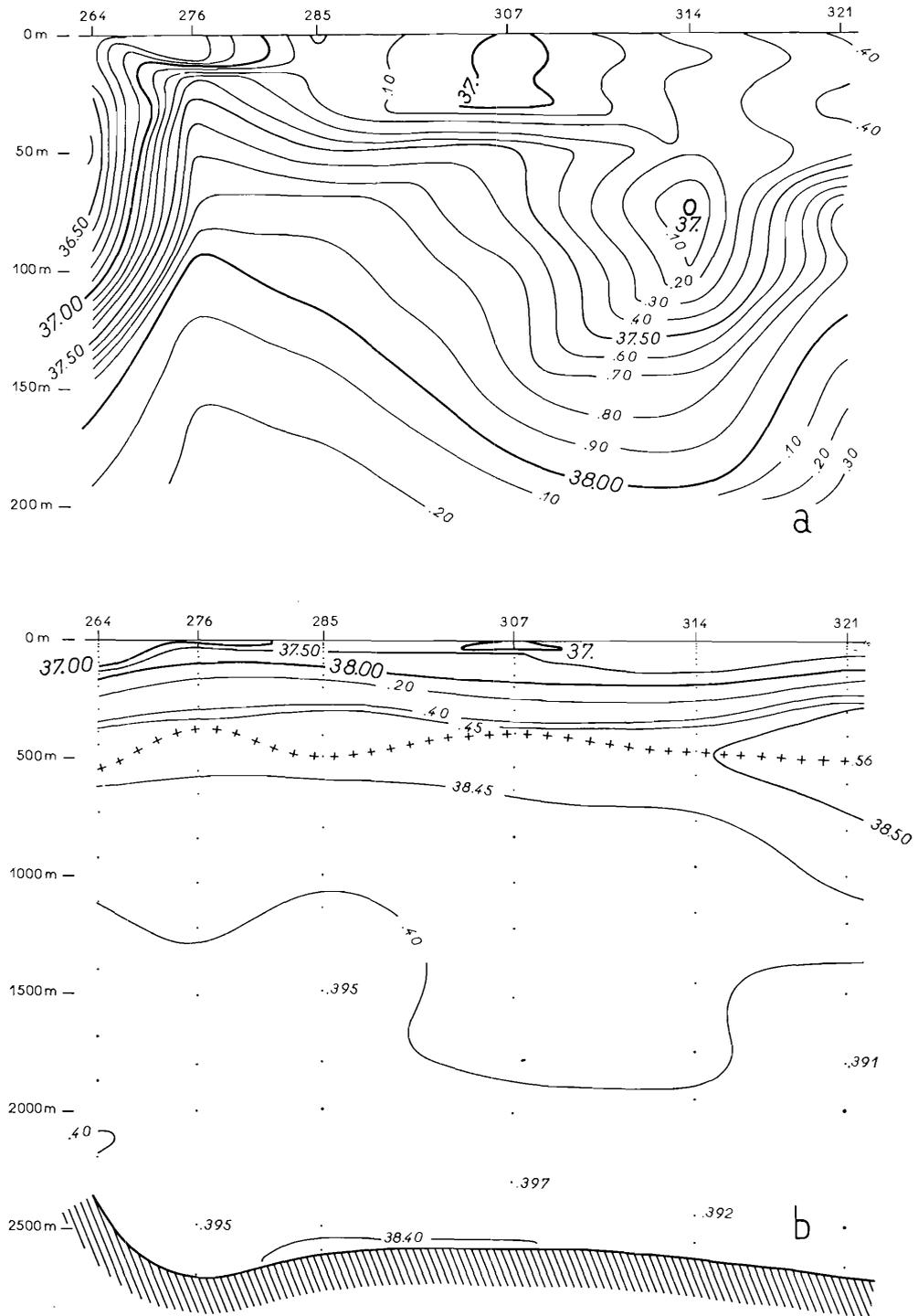


FIG. 35. — Coupe hydrologique n° 8, autour du 37° parallèle. Salinités.

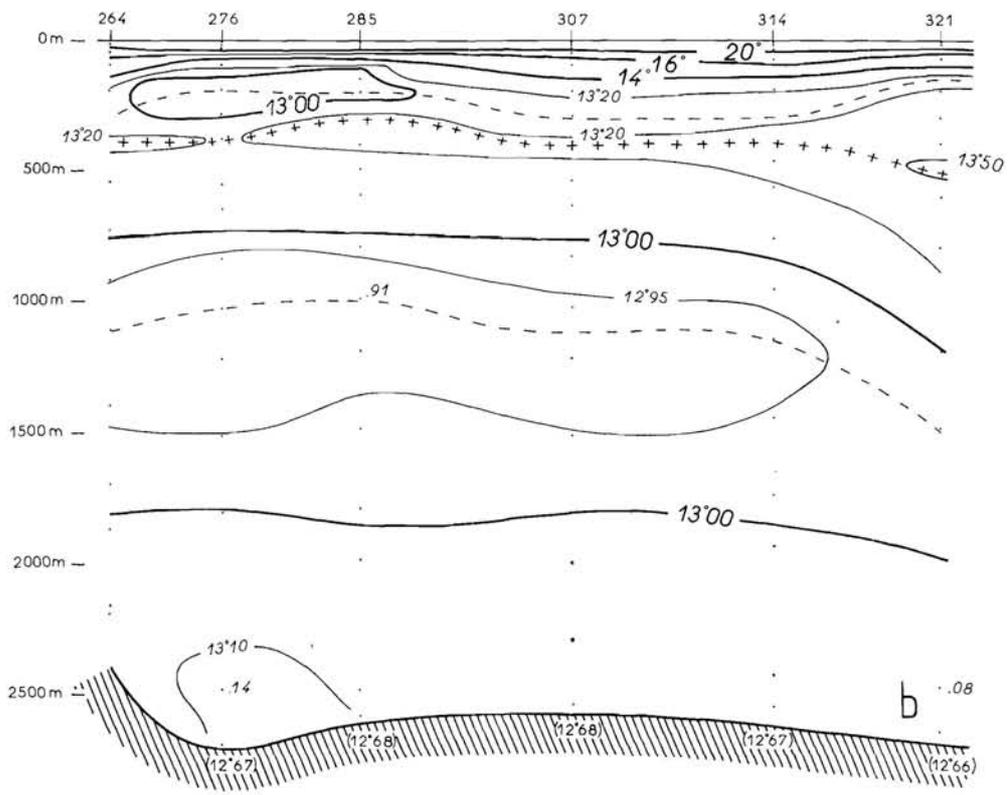
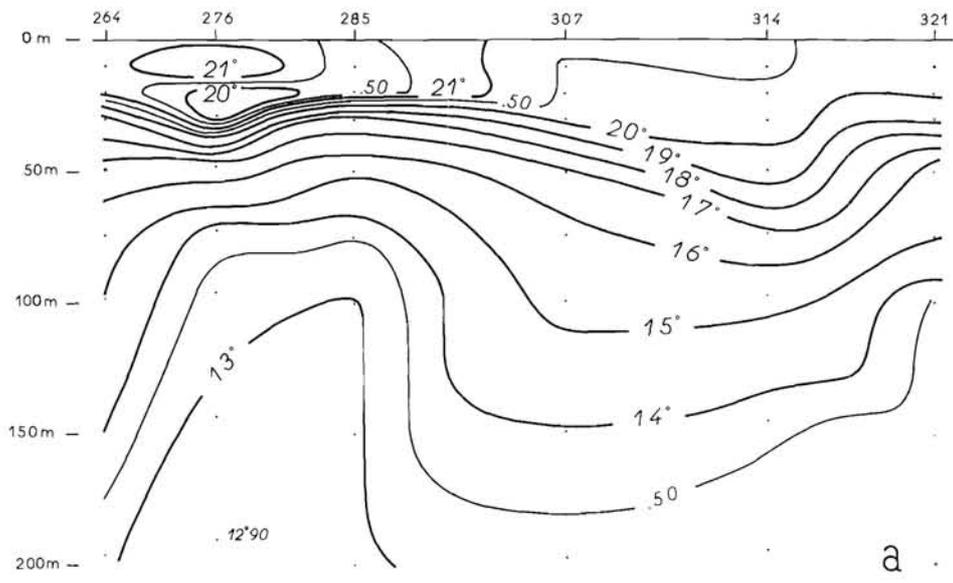


FIG. 36. — Coupe hydrologique n° 8, autour du 37^e parallèle. Températures.

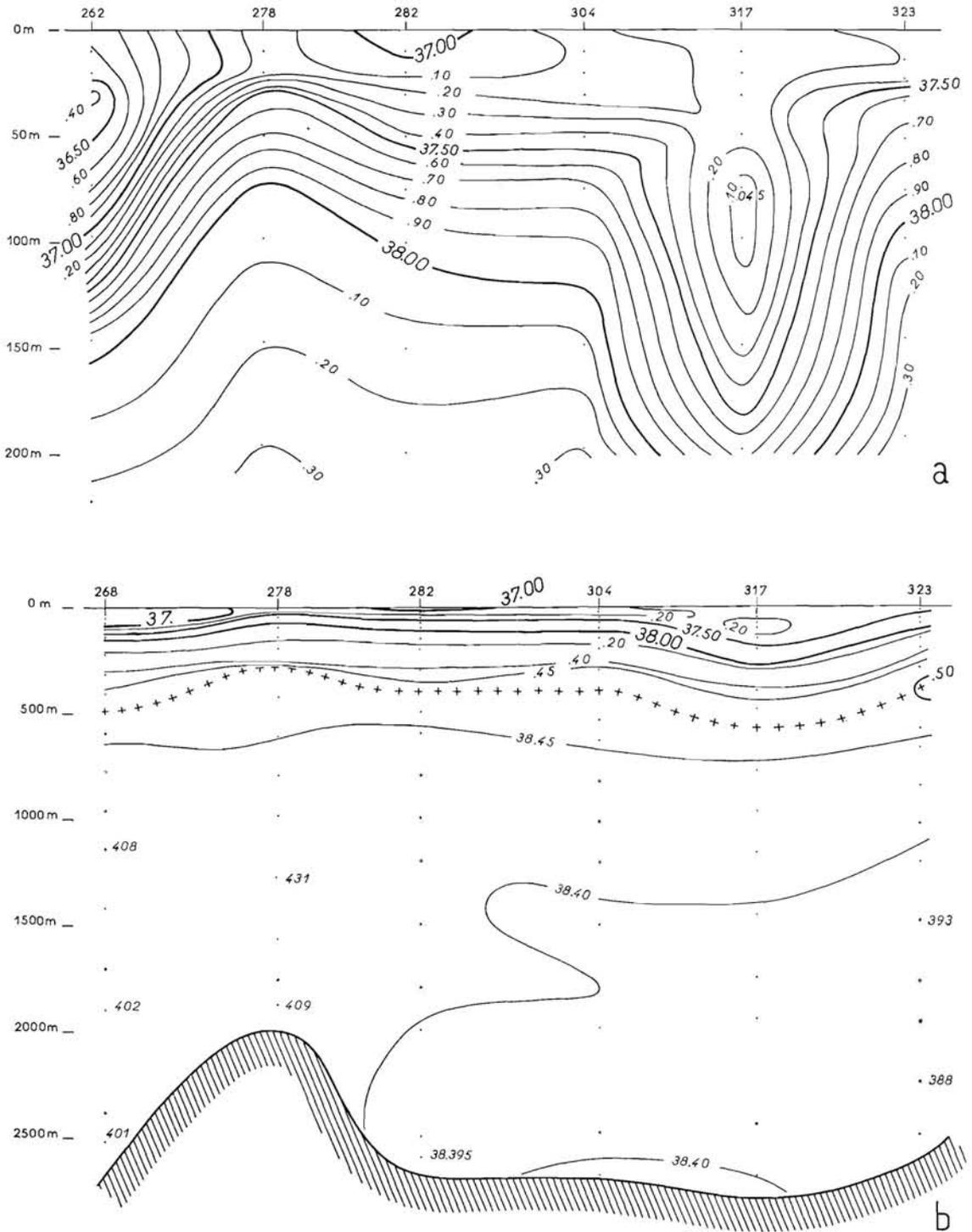


FIG. 37. — Coupe hydrologique n° 9, autour du parallèle de 38°30. Salinités.

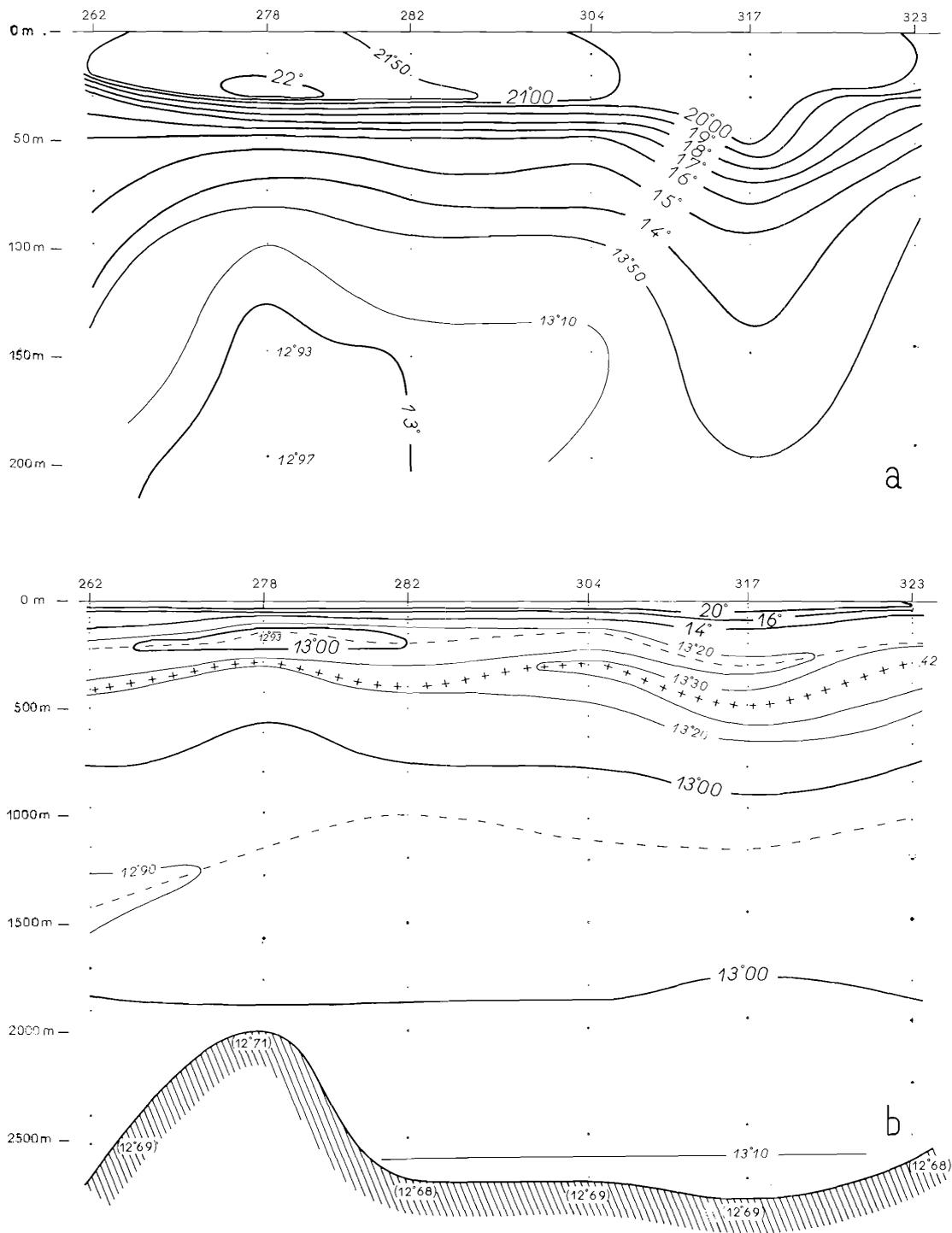


FIG. 38. — Coupe hydrologique n° 9, autour du parallèle de 38°30. Températures.

B) Couche profonde (fig. 35 b à 38 b).

La couche du minimum thermique est présente sur la totalité des deux coupes, autour du niveau de 200/300 m et les températures minimales : 12,90°, se rencontrent dans la partie occidentale.

Au-dessous, l'eau orientale se développe autour des niveaux de 300 à 500 m avec des valeurs maximales de 38,56 et 13,50° dans le secteur E de la coupe du 37°.

Sur le fond, il est intéressant de noter que les plus basses salinités : 38,385 à 38,39 se rencontrent dans la partie orientale. Par contre, des salinités légèrement supérieures à 38,40 atteignent le fond, notamment dans la partie occidentale de la section du 38° parallèle et l'allure des isohalines de 38,42 à 38,40 confirme bien l'enfoncement des eaux d'influence orientale à la suite de leur refroidissement dans le secteur baléarique.

Résumé et conclusion de la première partie

Raccordé dans ses grandes lignes à l'étude que nous avons faite antérieurement au N du 42° parallèle, l'important réseau de stations couvert au cours de cette campagne dans le secteur méridional, nous a permis de compléter notre connaissance du bassin occidental pendant la courte période de transition de l'automne méditerranéen.

Toutes les mesures effectuées ont fait l'objet d'une attention particulière portant sur le fonctionnement du matériel utilisé, l'exactitude des méthodes suivies et l'analyse des résultats. Un tel contrôle nous a permis d'exploiter, avec la plus grande certitude, cette hydrologie descriptive.

Les grandes formations en présence dans le bassin occidental sont à nouveau mises en évidence : courant atlantique dont les eaux se mélangent progressivement à celles de la couche orientale sous-jacente, eaux d'hiver septentrionales qui continuent à circuler pendant cette période avancée de l'année.

A cette époque, l'eau algéro-atlantique n'a cependant plus l'importance qu'elle avait pendant l'hiver et n'est plus caractérisée par d'importantes plongées dans les secteurs oranais et kabyle.

Ainsi qu'on pouvait s'y attendre, le courant atlantique continue à progresser le long de la côte algérienne où son axe se situe entre 50 et 75 m de profondeur. Ses eaux, accumulées à la sortie de la Mer d'Alboran, sont canalisées dans le secteur algérois où elles sont écrasées contre la côte sous l'effet d'une poussée latérale et verticale d'une formation issue du secteur Ivice-cap de Palos. Cette disposition ne manque pas de rappeler celle que l'on avait pendant l'hiver à une époque où la divergence intéressait des couches plus profondes.

Le courant parvient ainsi jusqu'au secteur tunisien, mais ses eaux, encore très diluées, ne franchissent qu'en partie le canal de Sardaigne où la formation orientale, plus ou moins en divergence et s'écoulant vers l'O, l'oblige à se rebrousser vers le NE à partir du méridien de 5°, situation déjà observée au cours des travaux antérieurs. Ce trop-plein, ainsi rejeté à l'ouest de la Sardaigne, s'accumule dans ce secteur où il détermine un lobe très important, en partie coupé de sa source à cette époque. Ses eaux diluées influencent la couche sous-jacente jusqu'à la profondeur de 400 m où elles sont alors intéressées par les températures plus basses de l'eau orientale. C'est ce lobe qui alimentera le secteur de la Corse occidentale avant d'influencer la côte liguro-provençale où ses eaux perdront progressivement leurs caractères.

La couche d'eau orientale issue du canal de Sardaigne circule dans la presque totalité du bassin algéro-provençal et se développe autour d'un axe aux valeurs thermohalines maximales, situé entre les profondeurs de 300 à 500 m.

Cette formation progresse, d'une part le long de la côte algérienne, d'autre part vers le N en longeant la Sardaigne occidentale. Elle réapparaît sur le talus du golfe du Lion après avoir décrit un mouvement cyclonique dans le N du bassin, en diminuant progressivement d'importance.

Les fluctuations de cette nappe sont sujettes aux conditions thermiques des eaux environnantes qu'elle rencontre sur son parcours. C'est ainsi qu'elle peut être refroidie à sa périphérie au contact des eaux septentrionales supérieures et inférieures et amorcer des mouvements de plongée, notamment dans le secteur des Baléares, sur le talus du golfe du Lion et même dans le canal de Sardaigne.

Fait exceptionnel, on observe entre Ténès et Formentera, une forte accumulation d'eau orientale jusqu'à la profondeur de 1 400 m. Cette masse importante, dont les valeurs maximales sont au moins égales à celles rencontrées dans le canal de Sardaigne, semble avoir été formée au cours d'une poussée antérieure plus forte de cette formation, mais il apparaît que les basses températures des eaux adjacentes ont pu jouer un rôle important dans cet enfoncement.

L'eau septentrionale supérieure, mise en évidence dans la plupart des coupes, présente un minimum thermique au-dessus de l'eau orientale au contact de laquelle elle est progressivement réchauffée dans le secteur N. Ainsi que pendant l'été, elle progresse vers le SO, mais on remarque cette fois que, parvenue à l'entrée de la Mer d'Alboran, elle est reprise par le mouvement du courant atlantique qui l'entraîne vers l'E le long de la côte algérienne. La présence de cette couche froide n'est pas sans avoir une certaine incidence sur l'importance plus ou moins grande de l'accumulation des eaux diluées sur la pente littorale.

On s'aperçoit, en outre, que cette formation a conservé, intacts, ses caractères d'hiver dans l'axe des Baléares, où elle échappe au mouvement tourbillonnaire de l'eau orientale. Il s'ensuit que la deuxième phase de plongée des eaux d'hiver, mélange et refroidissement, tout à fait comparable à celle qui a lieu dans le secteur liguro-provençal en hiver, est encore active dans ce secteur pendant cette période avancée de l'année.

C'est ainsi que le plateau des Baléares et le prolongement de son grand axe, depuis le 42^e parallèle jusqu'au cap de Palos, peut être, au moins jusqu'en automne, un centre de formation des eaux profondes du bassin occidental. Transposée aux travaux antérieurs, on peut considérer que cette conclusion s'applique également à la partie centrale et méridionale de la Mer Catalane, dans les secteurs où l'eau orientale, parvenue au terme de sa course, diminue d'importance en favorisant les échanges thermiques. Une telle constatation avait d'ailleurs été faite par FURNESTIN à la suite de la campagne de l'été 1957.

Quant à l'eau septentrionale profonde, sa salinité varie de 38,385 à 38,40, ce dernier taux étant le plus répandu. Les basses températures potentielles (minimum : 12,67°) rencontrées sur le fond montrent que dans la plupart des cas, elle est ancienne, mais les faibles valeurs rencontrées sur la pente baléarique confirment que dans ce secteur elle a pu être formée récemment à partir de la couche septentrionale supérieure de température équivalente.

Nous n'avons pas parlé des eaux continentales. Comme il s'agit essentiellement des eaux du Rhône au cours de cette campagne, elle seront étudiées plus particulièrement dans la deuxième partie de cette étude sur le golfe du Lion.

En dehors des faits nouveaux qu'elle met en évidence sur les particularités des différentes formations dans divers secteurs, cette étude confirme, en outre, que le courant atlantique est parfaitement individualisé à toute époque de l'année contre la côte algérienne. Mis à part le fait que son influence s'étend, de proche en proche, à tout le bassin méditerranéen, ce fleuve océanique pourrait faire l'objet d'une étude particulière portant sur la totalité des facteurs physico-chimiques mis en rapport avec la distribution de la faune marine.

SECONDE PARTIE

LA SITUATION HYDROLOGIQUE DANS LE GOLFE DU LION

Distribution horizontale de la salinité et de la température

Surface (fig. 40 et 41).

Ainsi qu'au cours des campagnes antérieures de l'été 1957 et de l'automne 1958, l'eau déversée par le Rhône dans le golfe du Lion influence toute la couche superficielle au-dessus du plateau.

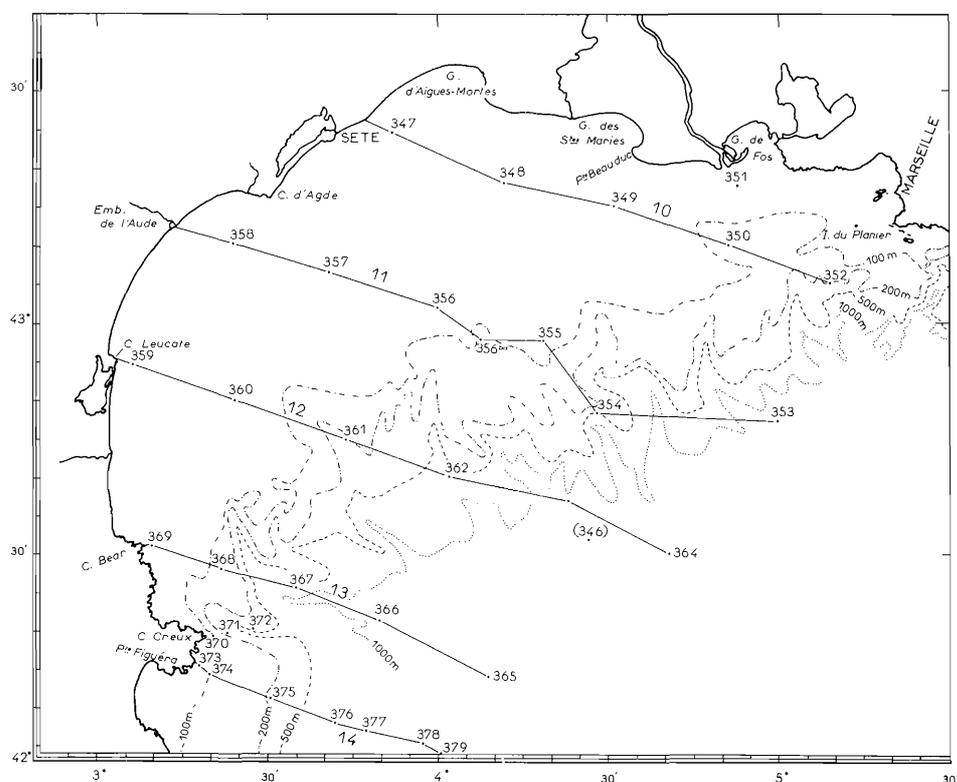


FIG. 39. — Réseau des stations du golfe du Lion.

Son extension, maximale pendant l'été, et consécutive principalement au fait que le réchauffement, intense, confère alors à ces eaux très diluées une densité beaucoup plus faible que celle des formations environnantes - phénomène qui se trouve confirmé par les récentes observations de TOURNIER (travaux en cours de publication) - se trouve limitée à partir du moment où la température des apports fluviaux est moindre que celle des eaux du large.

C'est ce qui se passait à la fin de septembre 1958 et que l'on constate maintenant à la fin de novembre 1963, où le courant rhodanien s'épanche suivant deux axes :

d'une part devant le delta, sous forme d'un lobe aux isohalines concentriques qui se développe à partir d'une salinité de 29 ‰ à 3 milles de l'embouchure, le taux croissant progressivement au cours du mélange avec l'eau du large, pour atteindre 37,80 à 30 milles de la côte;

d'autre part vers l'O, où il est en grande partie dévié sous l'effet de l'accélération de Coriolis, pour baigner d'abord la bordure de la Camargue, puis tout le secteur du Languedoc et du Roussillon où il draine en même temps l'apport des rivières qui s'y jettent. Les salinités minimales relevées dans la zone littorale sont inférieures à 34,00 dans le premier secteur, à 37,00 dans le second, à 37,80 dans le troisième.

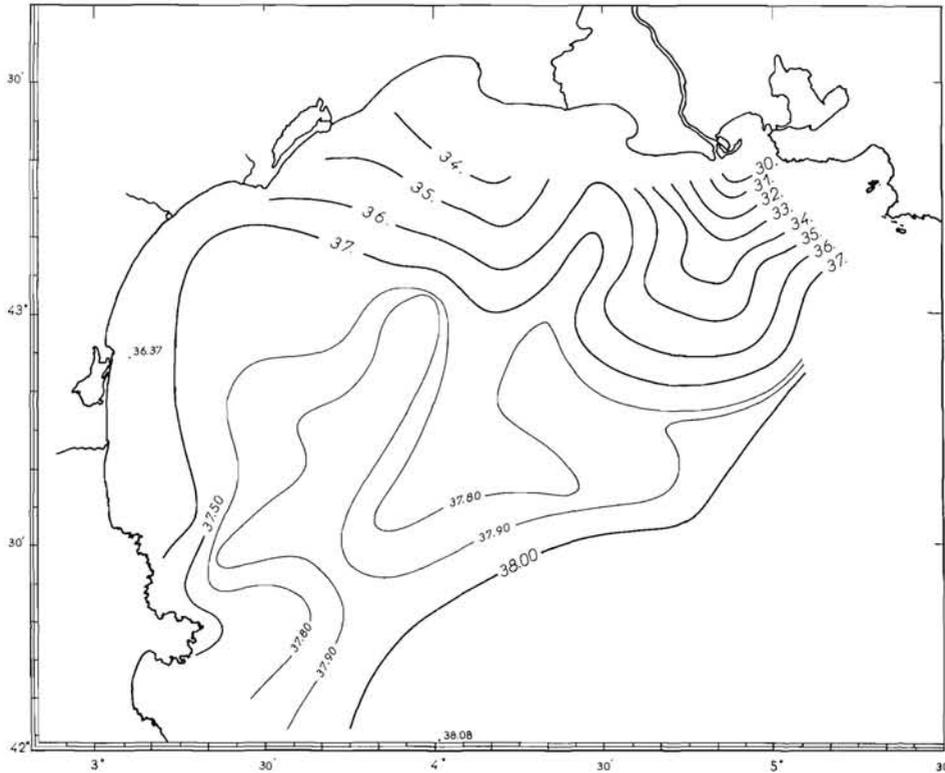


FIG. 40. — Isohalines à la surface.

Cet écoulement des eaux d'influence fluviale n'est cependant pas uniforme et se trouve perturbé par deux avancées d'eau du large SE, d'une salinité de 38,00 à 37,80 qui sont sans doute favorisées par la présence des grands rechs du talus et progressent, l'une en direction de la pointe de Beauduc, l'autre à partir du talus SO vers le centre du plateau. Une eau encore très diluée : 37,00 à 37,80 s'avance, par compensation, entre ces deux bras, jusqu'au centre du talus.

L'eau rhodanienne, froide, est circonscrite par l'isotherme de 16,50°. La plus basse température est relevée devant le delta : 13,41°; devant Sète elle passe à 15,24°, puis à 15,60/15,80° dans le secteur de Leucate au cap Béar.

L'eau du large SE, elle aussi, est froide, contrairement à ce qui se passait en septembre 1958. Des températures de 15,92 à 16,50° correspondent en effet aux salinités de 38,08 à 38,00 et il semble, d'après ce que montrait la coupe qui relie la Sardaigne au golfe du Lion que ce refroidissement, bien localisé, correspond à l'aboutissement de la grande divergence qui intéresse en cette saison le large liguro-provençal (FURNESTIN et ALLAIN, 1962) et dont l'activité s'exerce jusqu'à la surface.

Par contre, tout le centre du plateau est occupé par une nappe chaude, d'une température maximale de 17,20° et circonscrite par l'isotherme de 16,70° que l'on pourrait attribuer aussi bien à l'état stationnaire des eaux dans ce secteur, qu'à un apport antérieur plus chaud des eaux du Rhône, mais qui est dû en fait, ainsi que le montreront les cartes et les coupes suivantes à l'influence des eaux réchauffées du secteur littoral provençal que l'on rencontre d'ailleurs aux alentours du Planier.

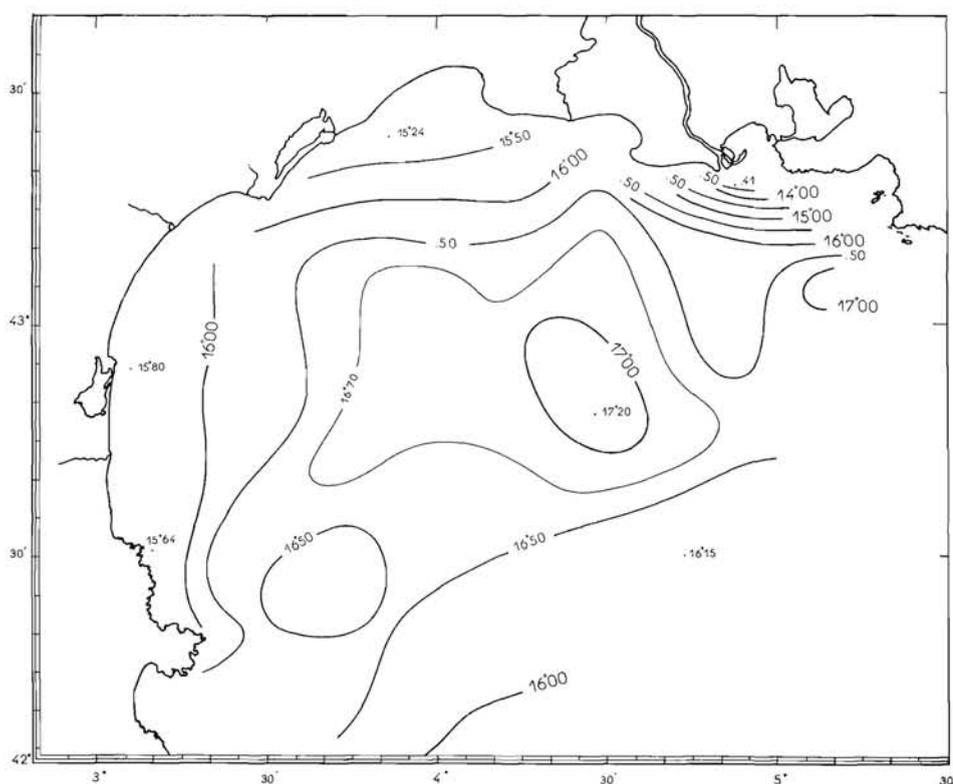


FIG. 41. — Isothermes à la surface.

Niveau de 10 m (fig. 42 et 43).

On constate un certain changement dès le niveau de 10 m, où l'activité du Rhône est déjà réduite. En effet, les eaux les plus diluées : 34,59 à 37,00 et les plus froides : 15,95 à 16,50° se trouvent repoussées sur la bordure du Languedoc et du Roussillon; elles s'écoulent alors vers le sud jusqu'à la hauteur du cap Creux où elles sont rejetées vers le large en se heurtant au promontoire.

Les fortes salinités, 37,11 à 37,32 rencontrées entre Marseille et le golfe de Fos ainsi que le développement du lobe circonscrit par l'isohaline de 37,80 qui s'étire sur la bordure du plateau en direction du cap Creux, confirment l'influence depuis le secteur oriental de la formation littorale du courant liguro-provençal dont on connaît la lointaine origine atlantique depuis les travaux antérieurs.

Cette influence est encore plus marquée par les températures de 17,89 à 16,80° qui décrivent un vaste lobe orienté vers l'O-SO et qui emplit la plus grande partie du golfe.

Dans le secteur méridional, la situation n'a guère évolué : l'eau du large SE, aux valeurs sensiblement égales à celles de la surface progresse sur le plateau suivant les mêmes axes, ces avancées se trouvant cependant réchauffées à leur extrémité par la propagation thermique de l'E.

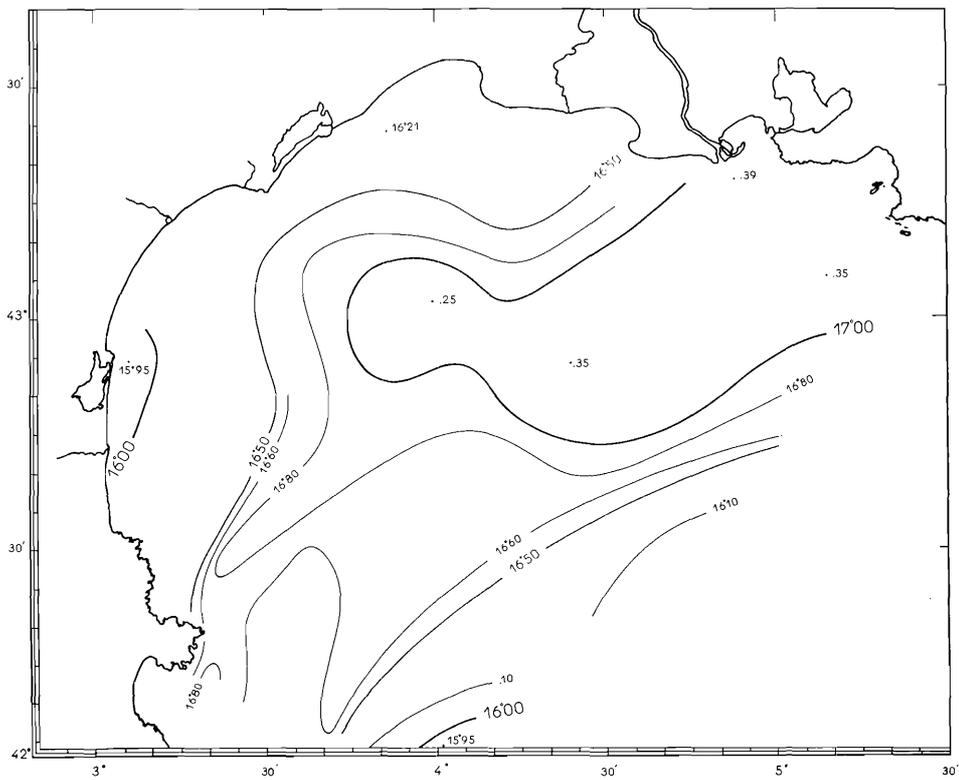
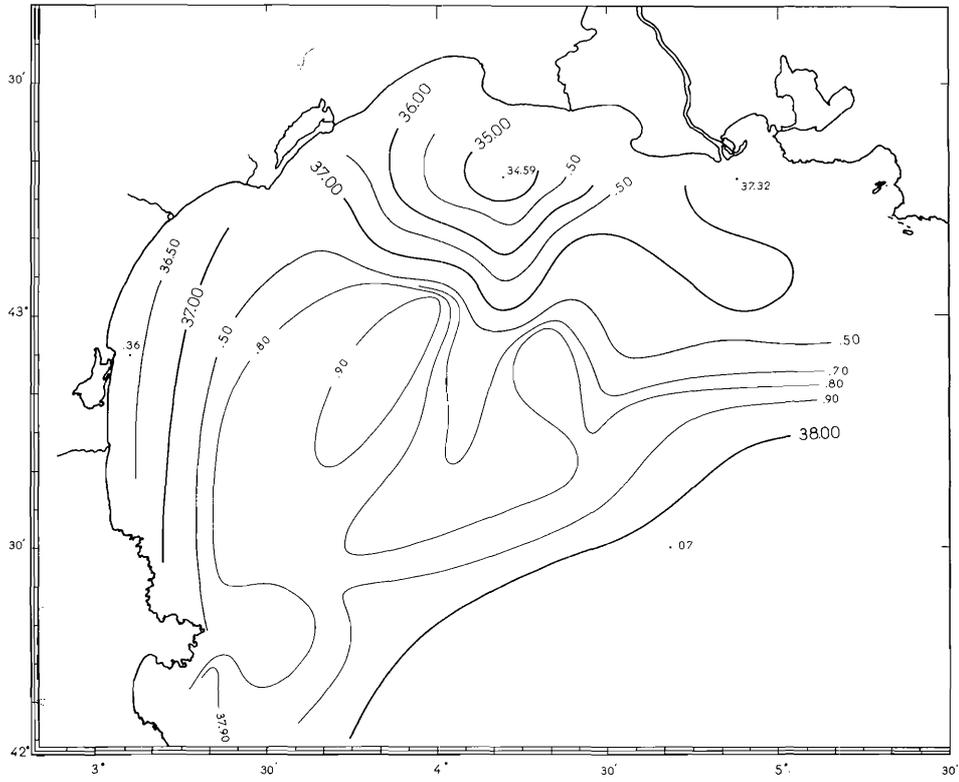


FIG. 42 et 43. — Isohalines et isothermes à 10 m.

Niveau de 20 m (fig. 44 et 45).

C'est encore dans le secteur de Leucate que l'on rencontre les plus faibles valeurs thermohalines : 36,37 et 16,04°, autour desquelles se développe une auréole d'eau diluée et froide (37,80 et 16,80°), qui s'étale entre Agde et le cap Creux.

L'essentiel de l'eau d'influence fluviale, à peine mélangée, a donc été rejeté dans le secteur le plus occidental, où elle a tendance à s'enfoncer et c'est maintenant une eau plus salée : 37,47 à 37,80 et plus chaude : 17,83 à 16,90°, produit d'un mélange entre l'eau du Rhône et celle du courant liguro-provençal, qui s'étale devant le Planier et la Camargue. L'influence thermique de cette dernière formation se fait sentir jusqu'au large du cap Creux où l'on rencontre des températures de 16,80 à 16,60°.

On relève même un maximum halin (37,92) exactement devant le delta et dans le golfe d'Aigues-Mortes avec des prolongements vers le SO qui scindent les différents lobes d'eau diluée. Bien qu'à ces inclusions d'eau plus salée ne correspondent pas de plus faibles températures, on peut penser qu'il s'agit d'une certaine remontée de l'eau sous-jacente dans ces secteurs.

L'eau du large SE atteint à ce niveau un maximum halin de 38,06 et un minimum thermique de 15,96°.

Niveau de 50 m (fig. 46 et 47).

Mise à part une lentille d'eau plus diluée qui se trouve isolée au centre et le lobe d'influence fluviale : 37,78 à 37,90, qui subsiste dans le secteur occidental, c'est une eau supérieure à 37,90 et atteignant 38,00 à la pointe de Beauduc qui occupe presque tout ce niveau au-dessus du plateau. On tombe ici dans des valeurs rencontrées à la même profondeur dans le secteur liguro-provençal en automne 1958, au sein de l'eau d'influence atlantique.

Cette pénétration du courant liguro-provençal sur le plateau est marquée sur la carte des températures par un lobe circonscrit par l'isotherme de 16,50° qui se développe jusqu'au cap Creux et comporte une température maximale de 17,62° devant le delta et de 16,95° devant le promontoire.

Cette nappe est scindée dans son tiers méridional d'une part par la poussée de l'eau du large SO qui, en présentant des températures de 13,20 à 16,00°, progresse vers le NO, d'autre part par le développement de la formation en divergence qui se manifeste maintenant dans le secteur languedocien avec un minimum thermique de 14,70°.

On voit en effet que l'abaissement de la température dans ce dernier secteur n'est plus consécutif à un enfoncement de l'eau d'influence fluviale de la couche supérieure qui est sensiblement plus chaude. Les salinités restent cependant faibles sur la bordure littorale : 37,77 à 37,90. Il y a donc un certain refroidissement de l'eau diluée de la couche supérieure à partir de celle de la couche sous-jacente.

Dans la partie SO, au large, on remarquera, en outre, l'infléchissement du lobe à 13,50/14,00° vers le SO, provoqué par l'accumulation des eaux chaudes dans le secteur du cap Creux, cependant que le lobe halin se dirige franchement vers l'O.

Niveau de 75 m (fig. 48 et 49).

Le contraste est plus marqué à cette profondeur entre les formations en présence sur le plateau.

Les salinités minimales se rencontrent encore dans le lobe originaire de NE : 37,93 ainsi qu'au cap Creux où subsiste un reliquat d'eau diluée à 37,95. À ces taux correspondent des températures relativement élevées de 17,44 à 14,00° dans le premier secteur, de 16,54 à 14,00° dans le second.

L'eau du large présente une salinité maximale de 38,38 vers le centre du talus et une température minimale de 13,09° dans la partie sud. Elle pénètre largement jusqu'aux fonds de 75 m où l'on relève des valeurs de 38,08/38,10 et de 13,71° à 14,00°.

On note une température très basse contre le cap Creux : 13,79° qui est sans doute l'indice d'une remontée d'eau sous-jacente.

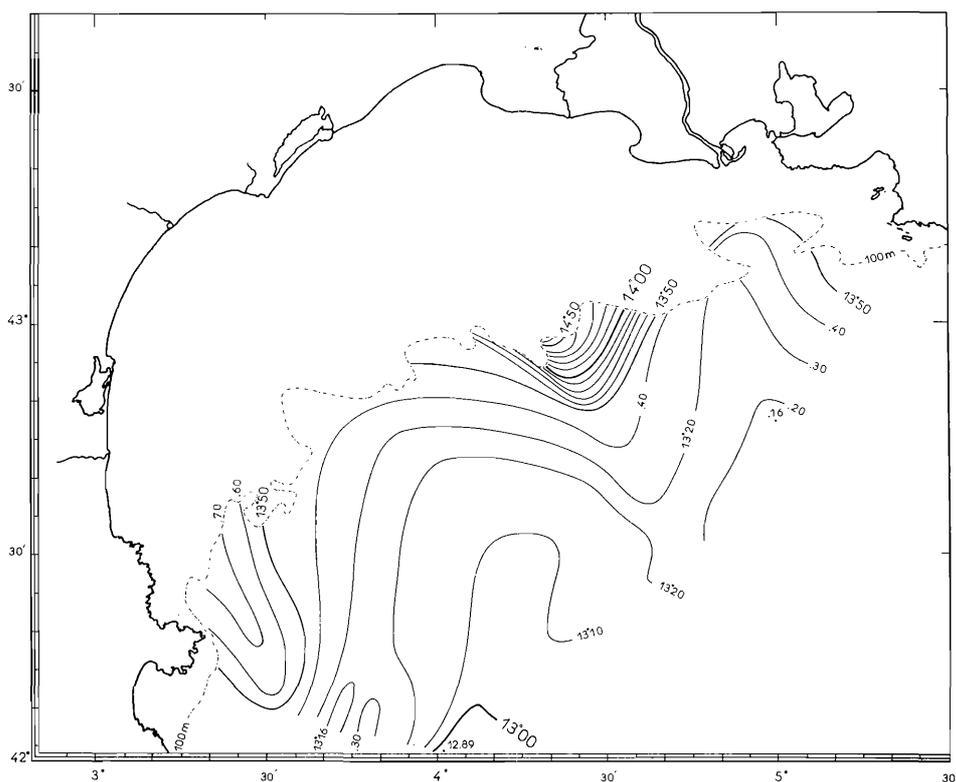
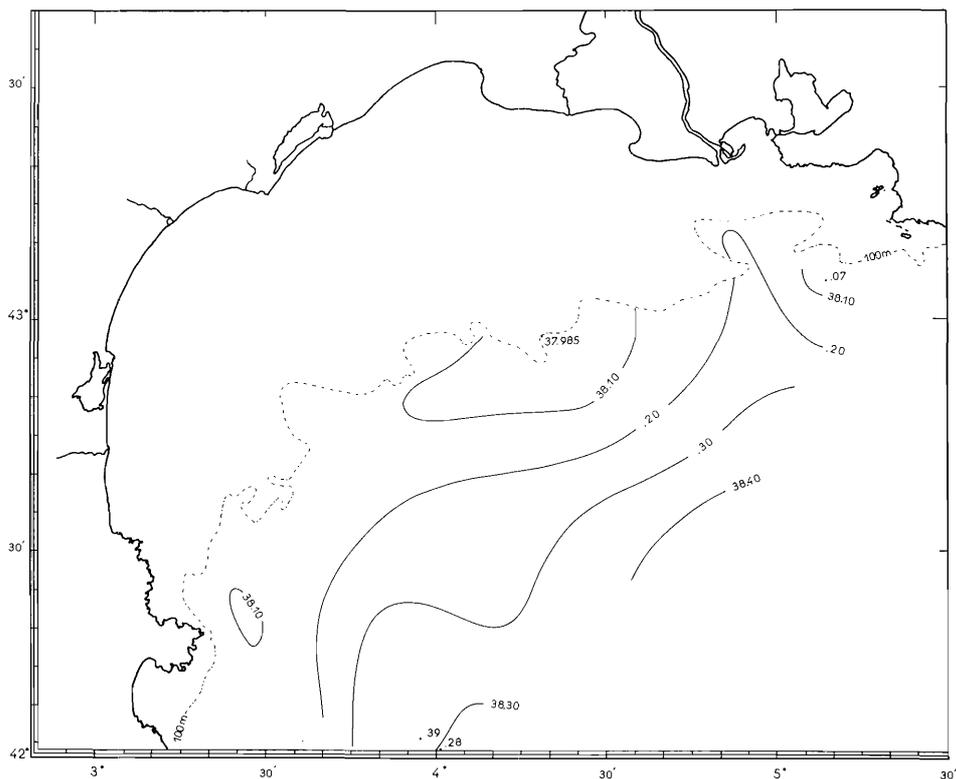


FIG. 50 et 51. — Isohalines et isothermes à 100 m.

Niveau de 100 m (fig. 50 et 51).

L'eau de la formation liguro-provençale est encore bien marquée contre le bord du talus, devant le golfe des Saintes-Maries sous forme d'un lobe aux valeurs extrêmes de 37,99 et 14,63°.

Un écoulement d'eau relativement chaude : 13,75 à 13,50°, sans doute de même origine, orienté vers le S-SE, s'observe également devant le cap Creux, cependant que les salinités accusent dans cette zone un taux à peine plus faible de 38,08.

Entre ces deux lobes, l'eau du large qui est caractérisée dans le secteur central par une salinité maximale de 38,42 à laquelle correspond une température de 13,22°, valeurs montrant déjà l'influence de la couche orientale, exerce une poussée contre le talus.

Dans le secteur le plus méridional, une basse température de 12,89° correspondant à une salinité de 38,30 marque cependant la présence à ce niveau de la couche septentrionale supérieure.

Une autre avancée du large vers le N se manifeste également devant le delta où les valeurs atteignent 13,50° et 38,20 contre les fonds de 100 m.

Niveau de 200 m (fig. 52 et 53).

On entre à ce niveau au cœur de la couche orientale qui accuse au large central une salinité de 38,49 à 38,45 et une température de 13,25 à 13,20°.

Une eau plus diluée, 38,30 à 38,40 et plus chaude, 13,36° à 13,30° se maintient contre le talus et cette formation présente un lobe thermique encore accentué qui se dirige vers l'E devant le cap Creux.

Dans le secteur méridional du large l'eau septentrionale supérieure est mise en évidence par des valeurs de 12,88° et 38,37.

Niveau de 300 m (fig. 54 et 55).

C'est à cette profondeur que l'eau orientale atteint ses plus fortes valeurs, en bordure du golfe du Lion : 38,495 et 13,28° dans le secteur NE. Elle se développe suivant un lobe circonscrit par l'isohaline des 38,45, orienté NE-SO, parallèlement au talus. Cette disposition rappelle le mouvement cyclonique dont est animée cette formation dans le N du bassin occidental.

Malgré son long cheminement au sein d'eaux plus froides et moins salées, depuis la Sardaigne occidentale, dernier secteur où elle a été rencontrée durant cette campagne, son taux de salinité n'a guère diminué et sa température s'est un peu élevée. Cette constatation implique une alimentation intermittente de cette couche, que nous avons d'ailleurs observée au cours de la campagne de 1958 et qui se traduisait alors par une série de noyaux isolés à partir du secteur provençal. Quant à la température un peu plus élevée, elle peut avoir été communiquée par la formation sus-jacente de la pente. En effet, l'eau plus chaude de la couche supérieure exerce encore une certaine influence contre le talus où l'on relève des valeurs de 13,39 à 13,30°.

L'augmentation à peine sensible des valeurs de la couche septentrionale supérieure dans le secteur le plus méridional : 13,02° et 39,43 montre que l'influence de l'eau orientale est très atténuée dans certaines stations du large.

Niveaux de 400 et 500 m (fig. 56 à 59).

A 400 m, la nappe orientale a diminué d'importance et on assiste, au large, à un affaiblissement de la salinité : 38,43, en même temps qu'à un abaissement de la température : 12,98 à 13,05°, montrant que l'on se rapproche déjà de la couche d'hiver profonde.

A 500 m, l'eau orientale s'infiltré encore contre le talus où l'on relève des salinités de 37,47 à 38,45, correspondant à des températures de 13,30 à 13,10°.

Au large, la situation haline est sensiblement la même qu'au niveau de 400 m, mais on note toutefois un certain refroidissement : 12,91 à 13,00°.

Il n'est pas nécessaire d'examiner plus en profondeur la distribution horizontale thermohaline et les coupes nous renseigneront mieux sur la situation des couches profondes.

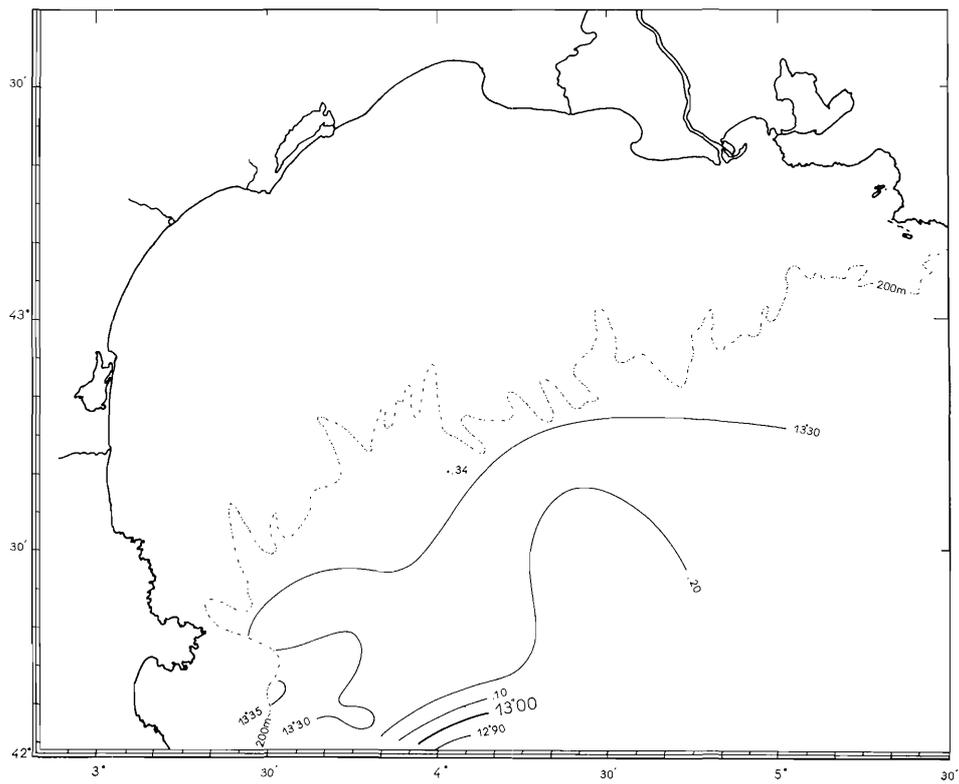
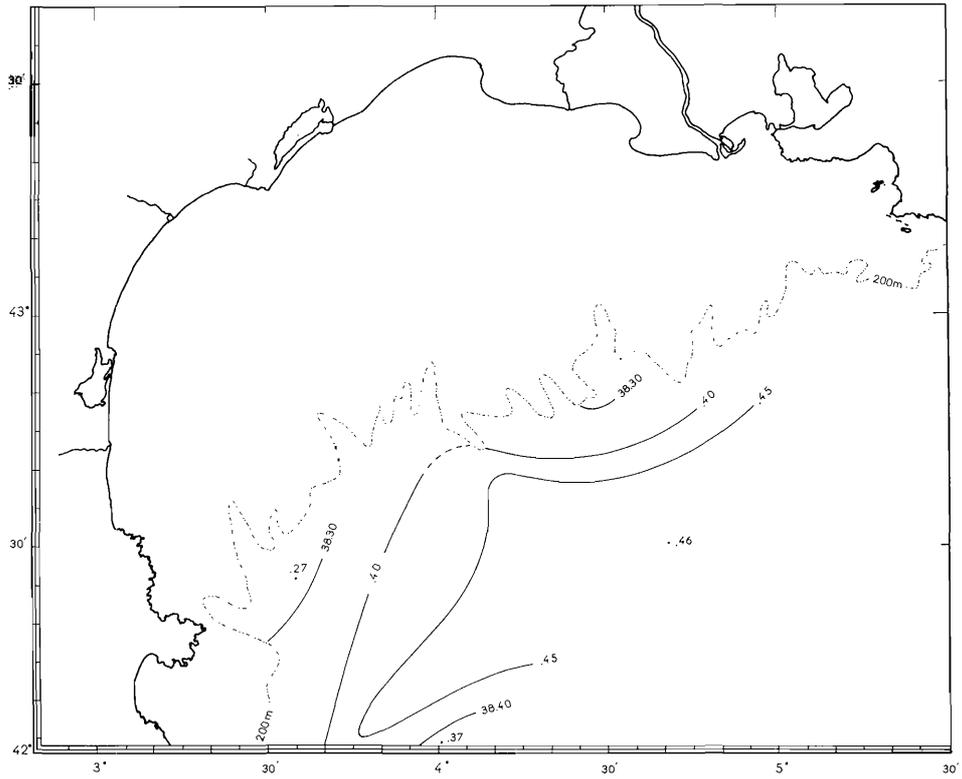


FIG. 52 et 53. — Isohalines et isothermes à 200 m.

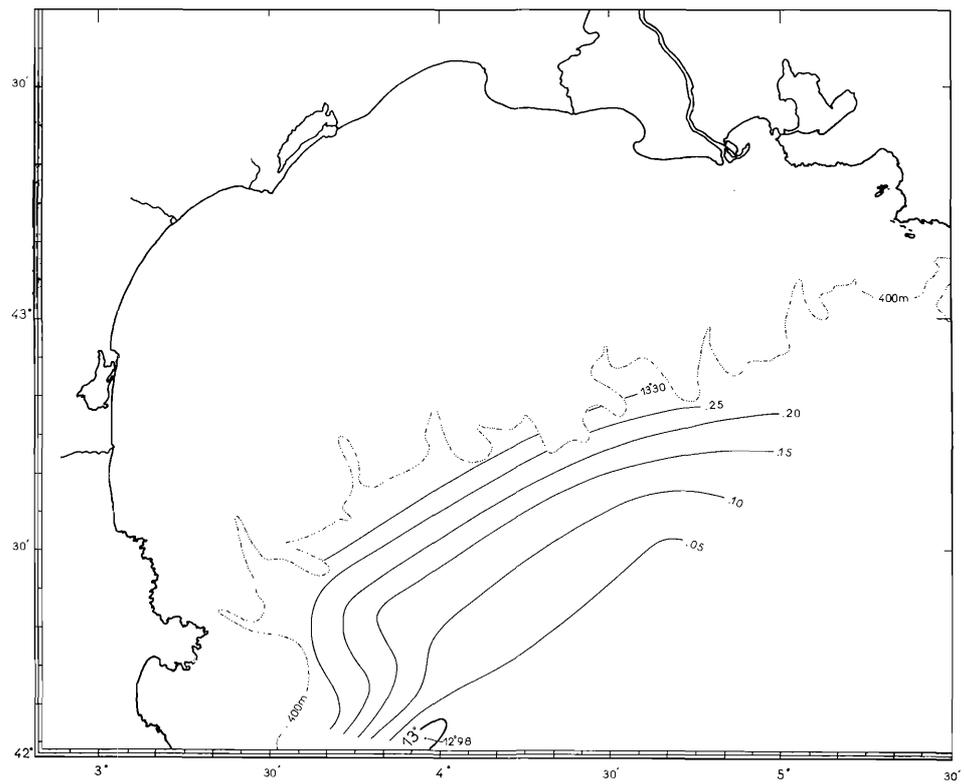
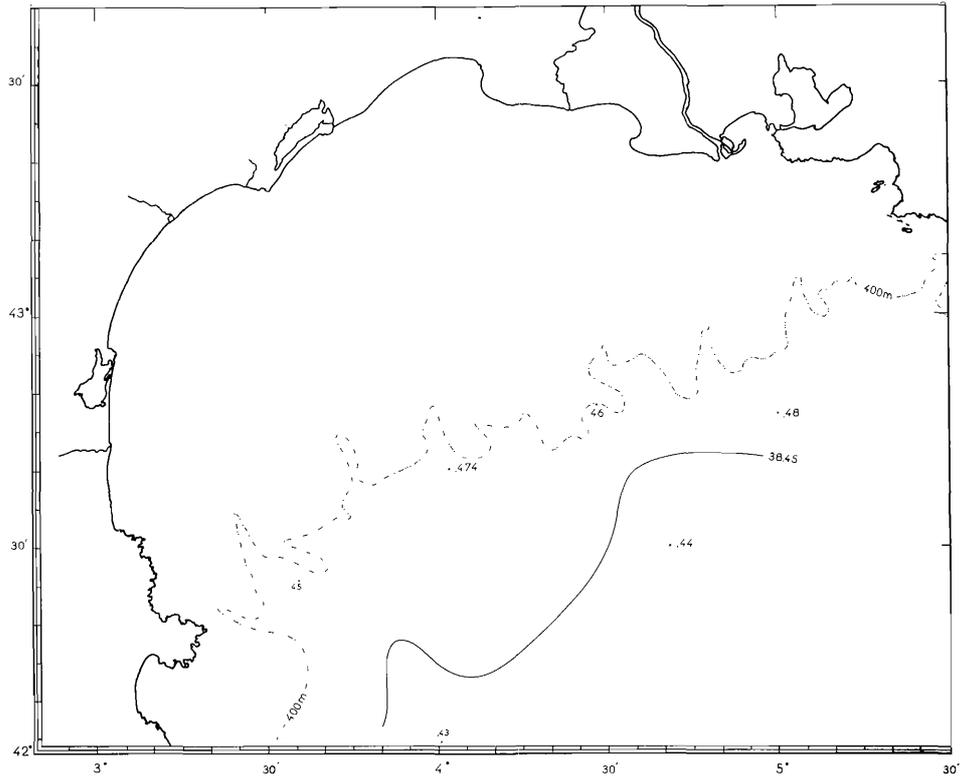


FIG. 56 et 57. — Isohalines et isothermes à 400 m.

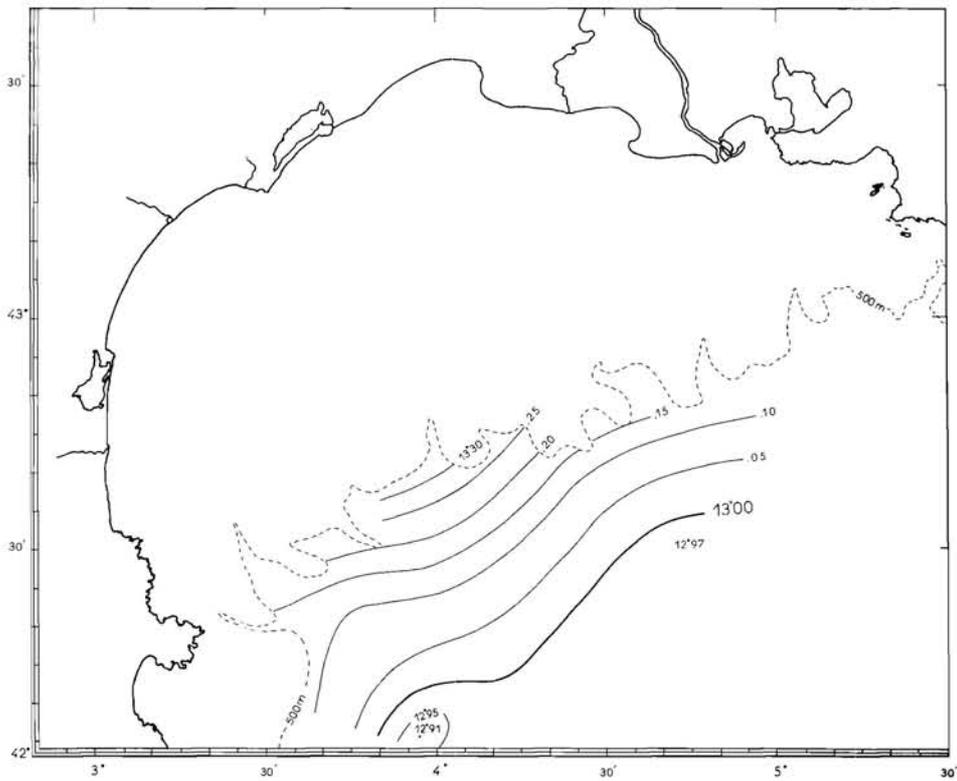
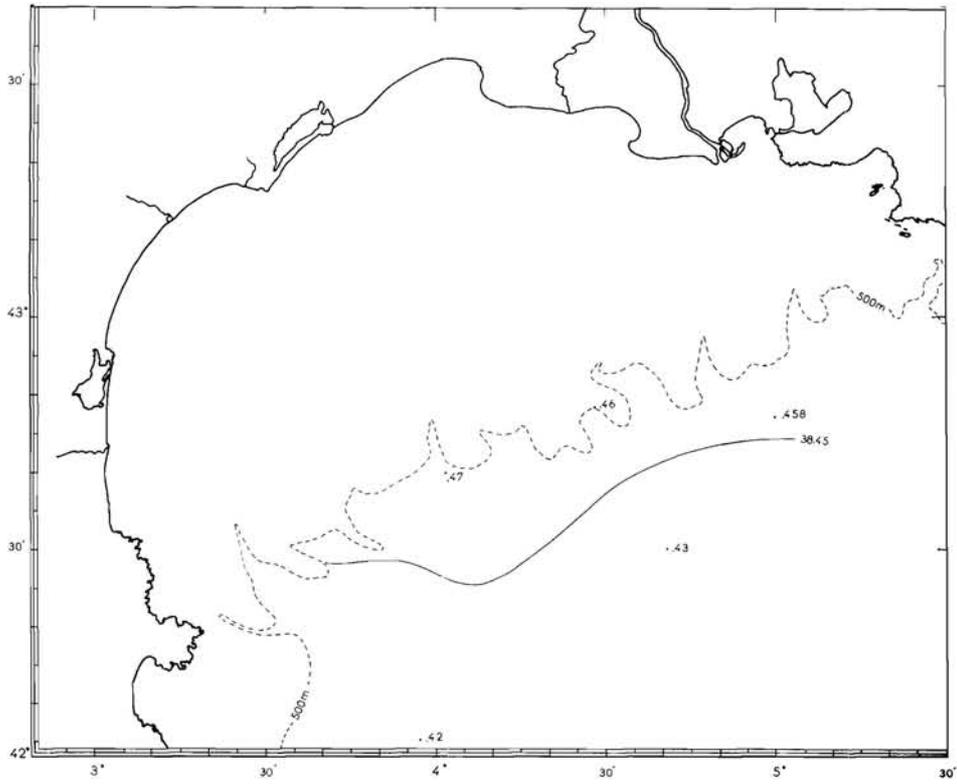


FIG. 58 et 59. — Isohalines et isothermes à 500 m.

Relation température-salinité

La distribution horizontale thermohaline nous a montré une certaine complexité dans la distribution des différentes masses en présence. L'examen des diagrammes TS, réunis en un seul schéma (fig. 60), va nous permettre d'éclaircir cette situation.

Dans cette figure, l'échelle des salinités de 37,00 à 39,00 a été agrandie à dessein, par rapport à celle de 29,00 à 37,00, pour mieux différencier les formations profondes.

On voit ainsi que l'eau d'influence rhodanienne est représentée par une bande allongée, légèrement oblique qui a son origine au point TS : 13,40°/29,00. Ces valeurs sont certainement moindres à l'embouchure du grand Rhône.

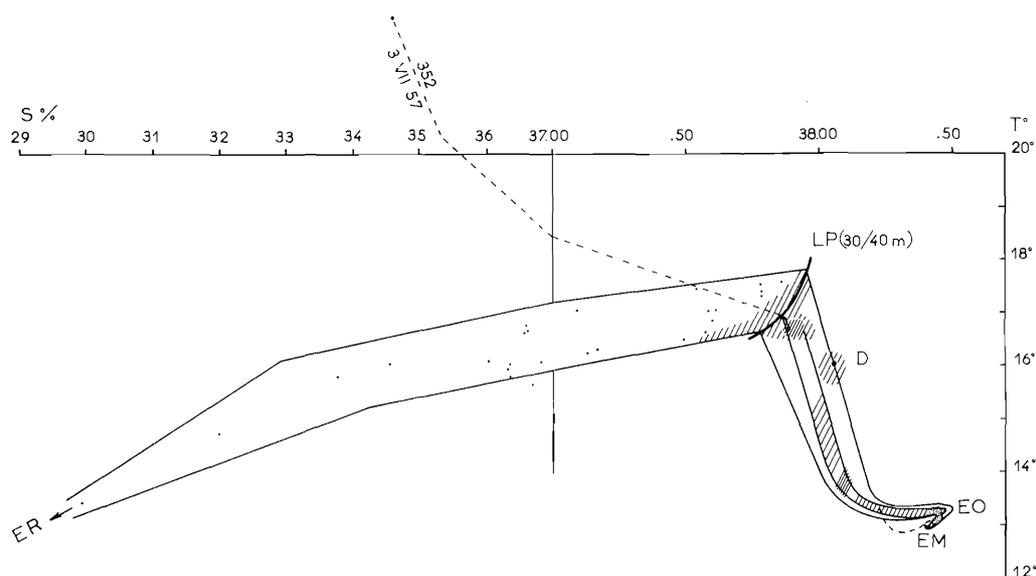


FIG. 60. — Golfe du Lion. Relation température-salinité. ER : eau du Rhône; LP : eau du courant liguro-provençal; EO : eau orientale; EM : eau méditerranéenne septentrionale; D : zones de divergence.

Les différents diagrammes qui composent cette bande se rompent à angle droit, à partir d'un segment courbe qui relie les points TS 17,80°/37,95 et 16,65°/37,78, autour de 30 à 40 m de profondeur. Cette cassure, qui marque la limite de l'influence fluviale, caractérise en même temps l'axe du courant liguro-provençal qui se dégrade progressivement au contact de la formation rhodanienne.

À partir du segment courbe, le diagramme tend vers une zone représentant une eau de transition hivernale qui s'est dégradée et réchauffée depuis sa formation : 38,10 à 38,20/13,25 à 13,75°.

Un segment sensiblement horizontal comportant une grande densité de points traduisant un mélange très actif, sépare cette zone des valeurs extrêmes de l'eau orientale dont la salinité moyenne est de 38,45, le taux maximal étant de 38,50. Sa température maximale est de 13,30°, ce qui implique une certaine influence de la couche sus-jacente jusqu'à cette profondeur, influence d'ailleurs marquée par le fait que le diagramme ne s'est pas redressé en atteignant la couche intermédiaire, comme c'est généralement le cas dans les stations des grandes profondeurs.

Un brusque crochet du diagramme vers la gauche, accompagné de sinuosités consécutives à certains mélanges, montre la tendance vers l'eau profonde qui est figurée autour des points 12,90 à 13,00° (T° *in situ*)/38,40 à 38,39. On rappellera que les observations sur le talus du golfe n'ont pas excédé 1 500 à 2 000 m de profondeur.

L'eau du large qui ne participe pas au mélange avec l'eau d'influence rhodanienne est marquée en surface par deux groupes de points :

le premier, autour de 16,50 à 16,70°/37,90 qui figure toujours l'eau du courant liguro-provençal de la périphérie du large,

le second, autour de 16,00°/38,05, qui représente l'eau en divergence du grand tourbillon cyclonique qui occupe le N du 42° parallèle. On remarquera qu'à partir de ce dernier point, les diagrammes tendent plus directement vers les valeurs de l'eau orientale en accusant une courbe caractéristique vers celles de l'eau septentrionale supérieure.

On observe même qu'à l'une des stations (n° 379), le diagramme tend directement vers l'eau d'hiver : 12,80°/38,32, atteinte à 146 m, avant de se mélanger directement à l'eau profonde, l'influence orientale étant à peine marquée par des valeurs de 38,43 à 12,95° à 540 m d'immersion. Cette disposition rappelle celle que nous avons rencontrée dans le secteur des Baléares.

A titre de comparaison, nous avons figuré en tiretés, sur la figure, le diagramme de la station 352, effectuée en juillet 1957. On voit ainsi qu'à cette époque l'eau fluviale était plus chaude que celle du courant liguro-provençal, laquelle était alors atteinte à l'immersion de 30 m.

Distribution verticale de la salinité et de la température

Coupe n° 10, de Sète vers l'E-SE (fig. 61 et 62).

Après cet examen des diagrammes TS, les différentes sections peuvent être maintenant facilement interprétées.

Dans la coupe effectuée à partir de Sète vers l'E-SE, on peut ainsi considérer que l'axe du courant liguro-provençal est représenté par la ligne des températures maximales : 17,39 à 17,72° à laquelle correspond sensiblement l'isohaline des 37,90, toutes deux oscillant autour du niveau de 20 à 35 m.

La couche qui se trouve au-dessus de cet axe est constituée par un mélange entre la formation superficielle rhodanienne et l'eau d'influence atlantique du courant liguro-provençal. La couche qui se trouve au-dessous est le produit d'un mélange entre cette dernière formation et l'eau du large méditerranéen où intervient une certaine proportion d'eau orientale et aussi d'eau d'hiver formée dans les régions voisines.

L'eau du Rhône, peu salée : 32,93 à 36,00 et froide : 15,24 à 16,50° (ses valeurs sont moindres à la sortie du delta, ainsi que nous l'avons vu sur les cartes), cependant limitée par un gradient relativement fort, occupe seulement la couche des dix premiers mètres devant l'embouchure et des quinze premiers mètres dans le secteur languedocien.

C'est l'eau du courant liguro-provençal qui réchauffe la couche sous-jacente circonscrite par l'isotherme des 17,00° et qui se développe jusqu'à la profondeur de 60 à 80 m.

On assiste à une poussée de l'eau du large à partir de 100 m où l'on relève une salinité de 38,21 correspondant à une température de 13,32°. Elle s'exerce au moins jusqu'au niveau de 50 m ainsi que le montre la disposition de l'isohaline de 38,00 qui épouse la forme du talus.

Coupe n° 11, de l'embouchure de l'Aude vers l'E-SE (fig. 63 et 64).

On constate que, dans cette section, la zone de mélange entre l'eau rhodanienne et celle du courant liguro-provençal a pris plus d'importance que sur la coupe précédente. Cette situation est due au fait que l'axe du courant liguro-provençal marqué par la ligne de plus haute température et l'isohaline de 37,90 s'enfonce, à hauteur du talus, jusqu'à la profondeur de 70 m, en même temps que s'accumulent des eaux d'influence fluviale.

Ces dernières sont toujours séparées en deux lobes, l'un qui provient directement du delta avec des valeurs maximales de 37,60 et 16,87°, l'autre qui borde le littoral languedocien en conservant les valeurs plus faibles de 37,13 et 15,06°. Dans ce dernier secteur la température reste basse jusqu'à 30 m de profondeur : 16,74°.

L'eau du large, supérieure à 38,00 (max. : 38,14), occupe tout le fond du plateau dont la profondeur est ici supérieure à celle de la coupe précédente.

Les eaux de mélange de la couche supérieure creusent cependant un lit qui atteint la cassure du talus avec des valeurs de 38,00 et 14,00° et se prolonge en profondeur contre la pente, ainsi que l'indique l'inclinaison des isohalines de 38,10 à 38,40. Ce dernier taux est atteint vers 350 m de profondeur.

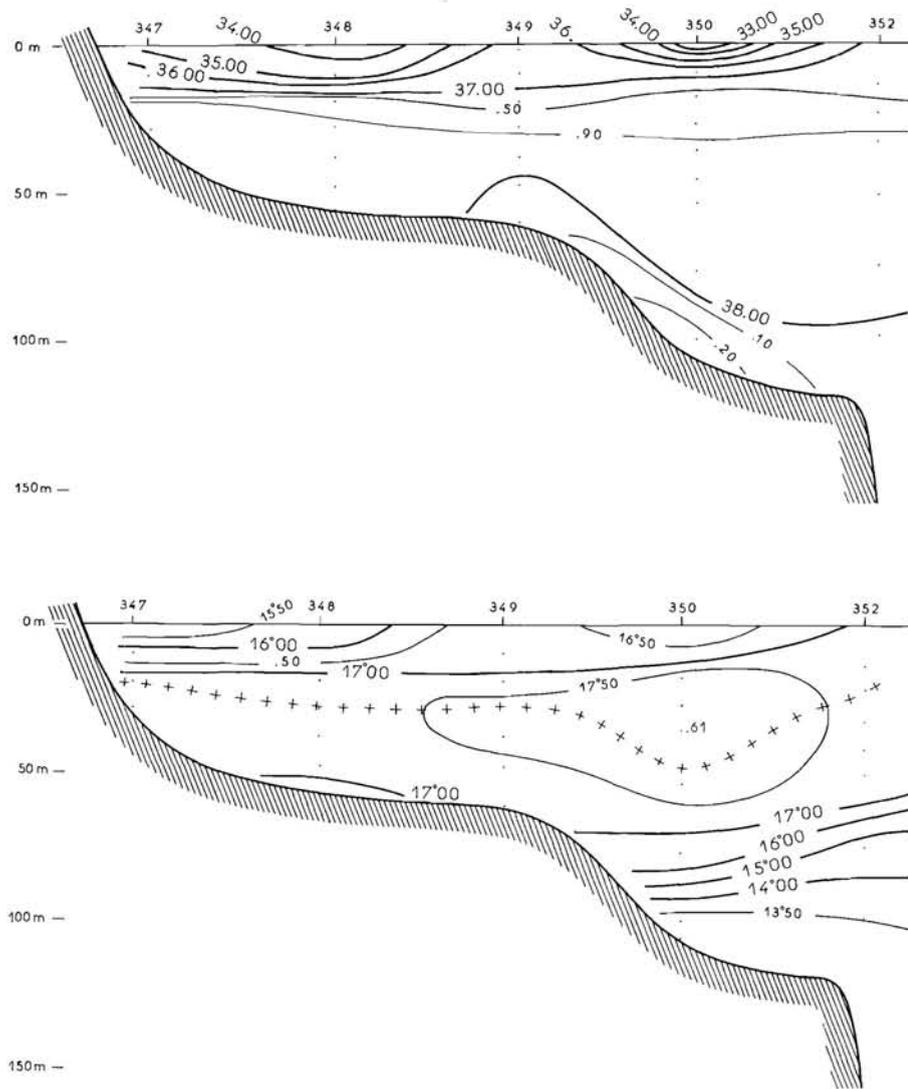


FIG. 61 et 62. — Coupe hydrologique n° 10, de Sète.
Salinités et températures.

Plus au large, l'eau orientale, circonscrite par l'isohaline de 38,45, se présente entre 160 et 850 m, avec une salinité maximale de 38,50 à 270 m. Sa température maximale est de 13,32°, mais elle a tendance à se confondre avec celle de l'eau relativement chaude qui s'écoule sur le talus depuis la couche supérieure.

On constate que les eaux à 38,25/38,40 qui surmontent la nappe orientale sont intéressées par un minimum thermique : 13,15 à 13,30° qui correspond à l'aboutissement de la couche d'eau septentrionale supérieure.

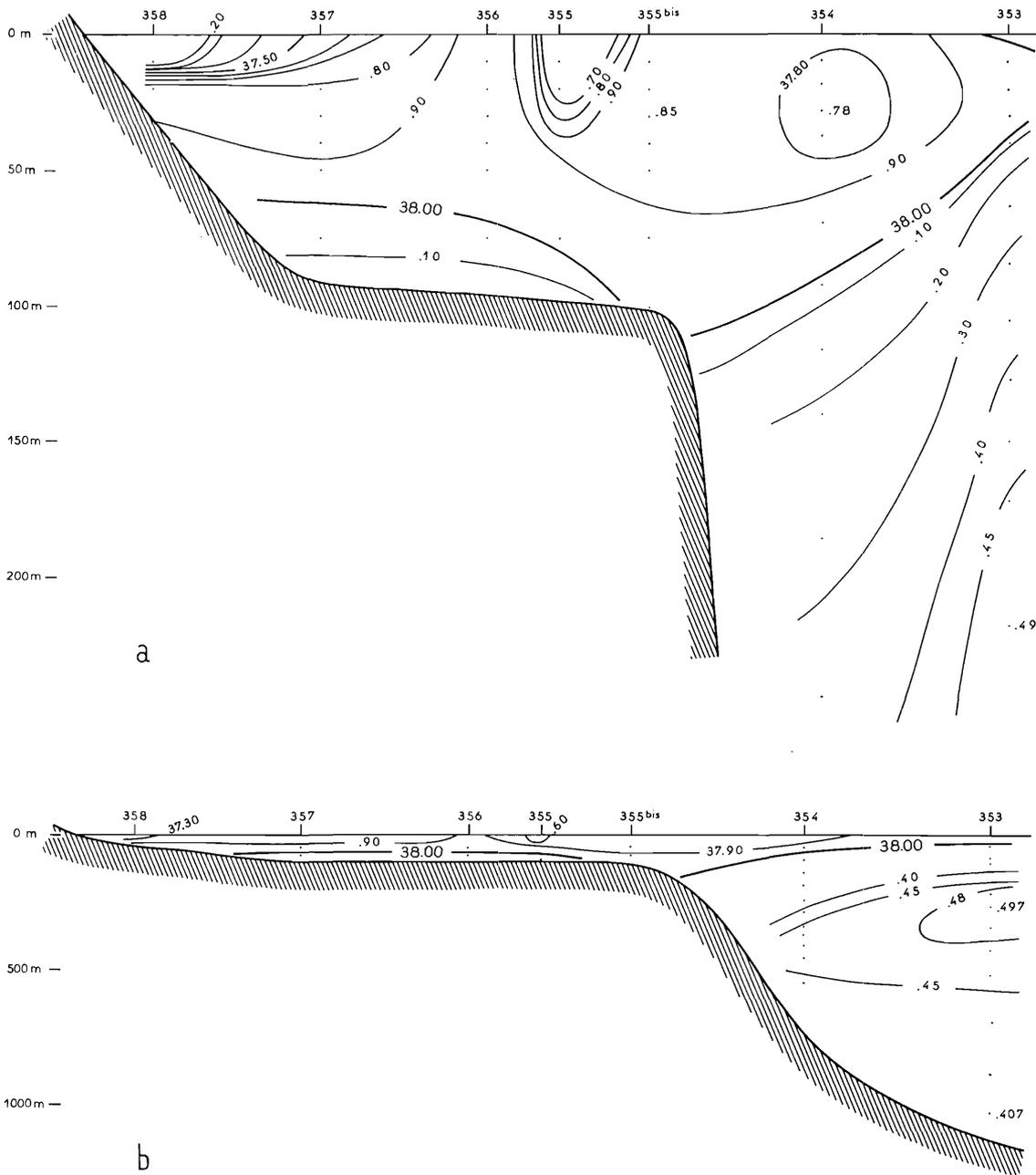


FIG. 63. -- Coupe hydrologique n° 11, de l'embouchure de l'Aude. Salinités.

En profondeur, la salinité décroît en même temps que la température pour atteindre 38,41 et 12,95° à 1 030 m, valeurs indiquant qu'il y a un certain mélange entre l'eau orientale et l'eau d'hiver profonde jusqu'à ce niveau.

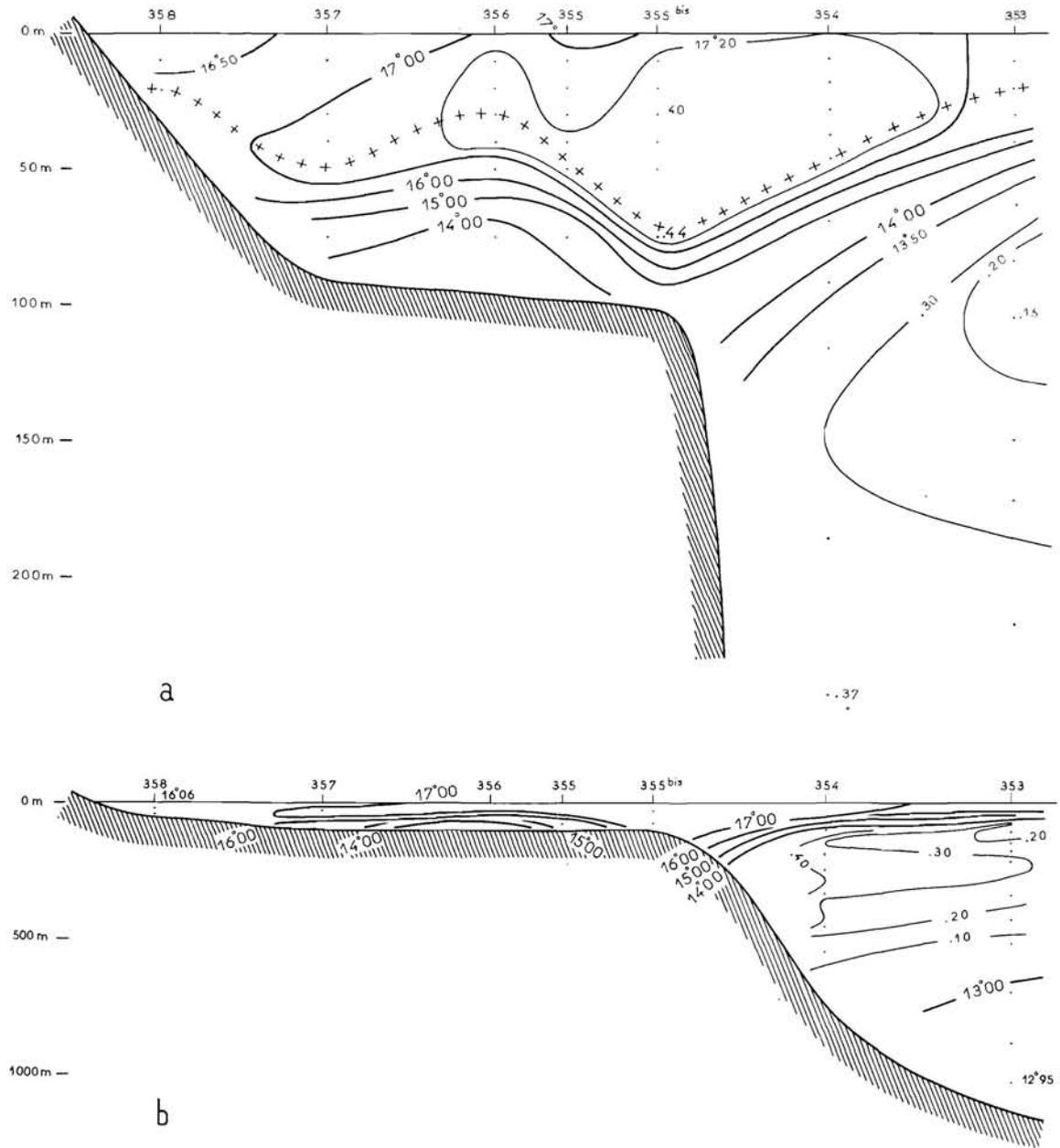
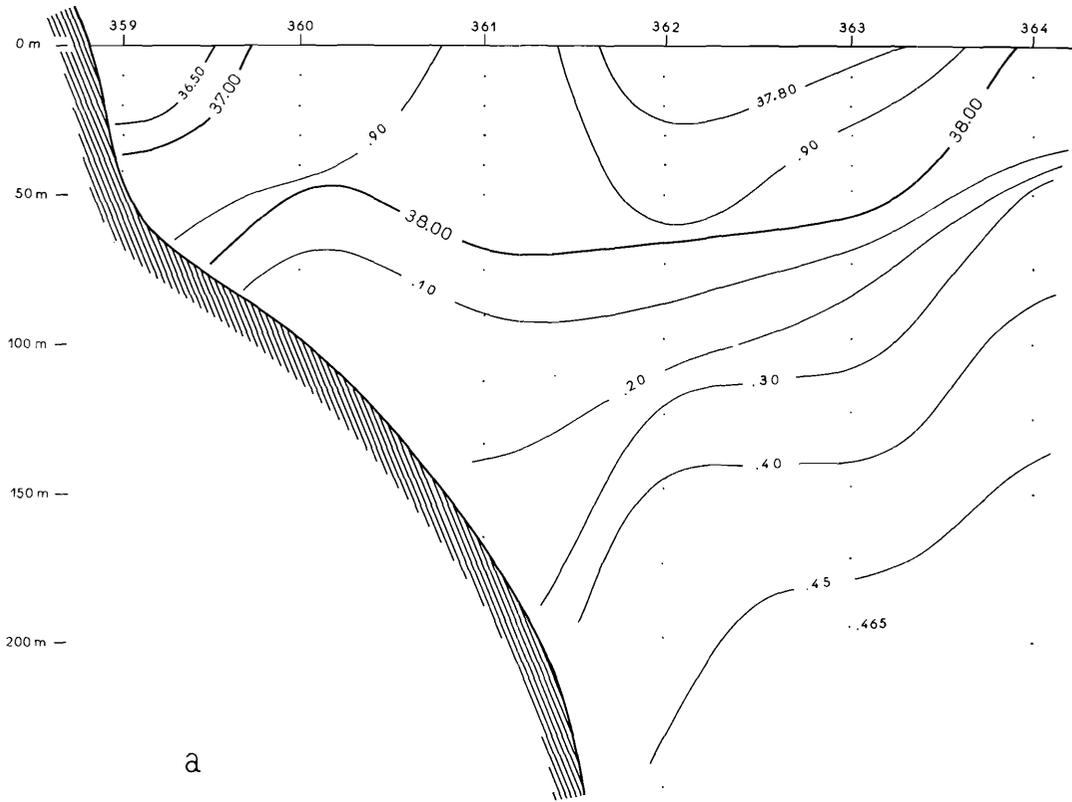
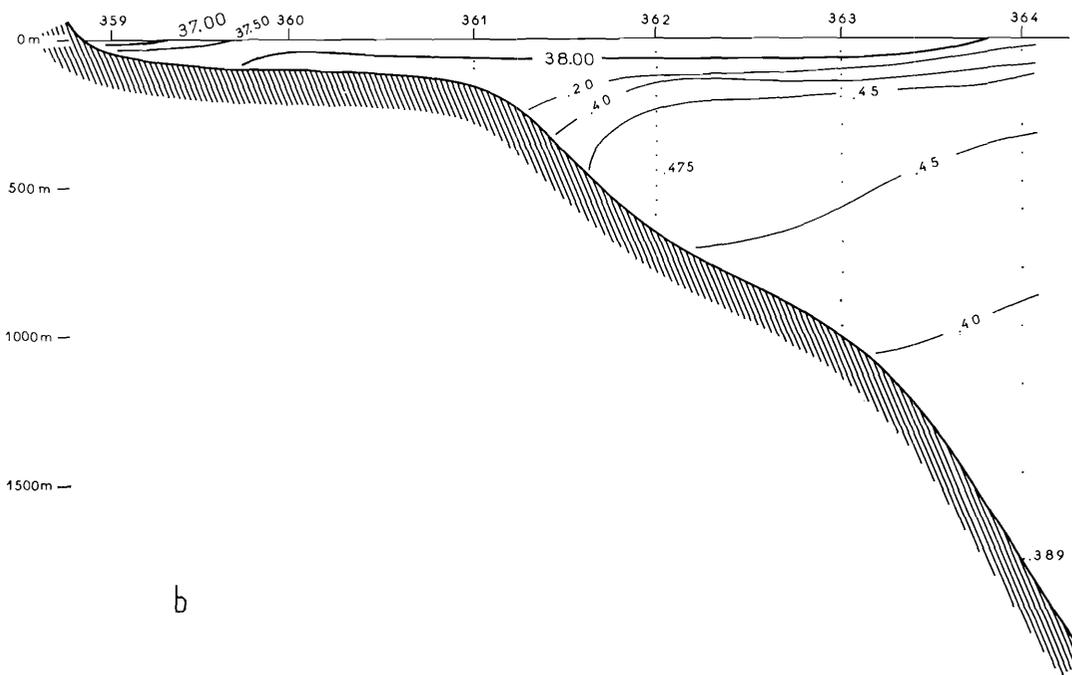


FIG. 64. — Coupe hydrologique n° 11, de l'embouchure de l'Aude. Températures.



a



b

FIG. 65. — Coupe hydrologique n° 12, de Leucate. Salinités.

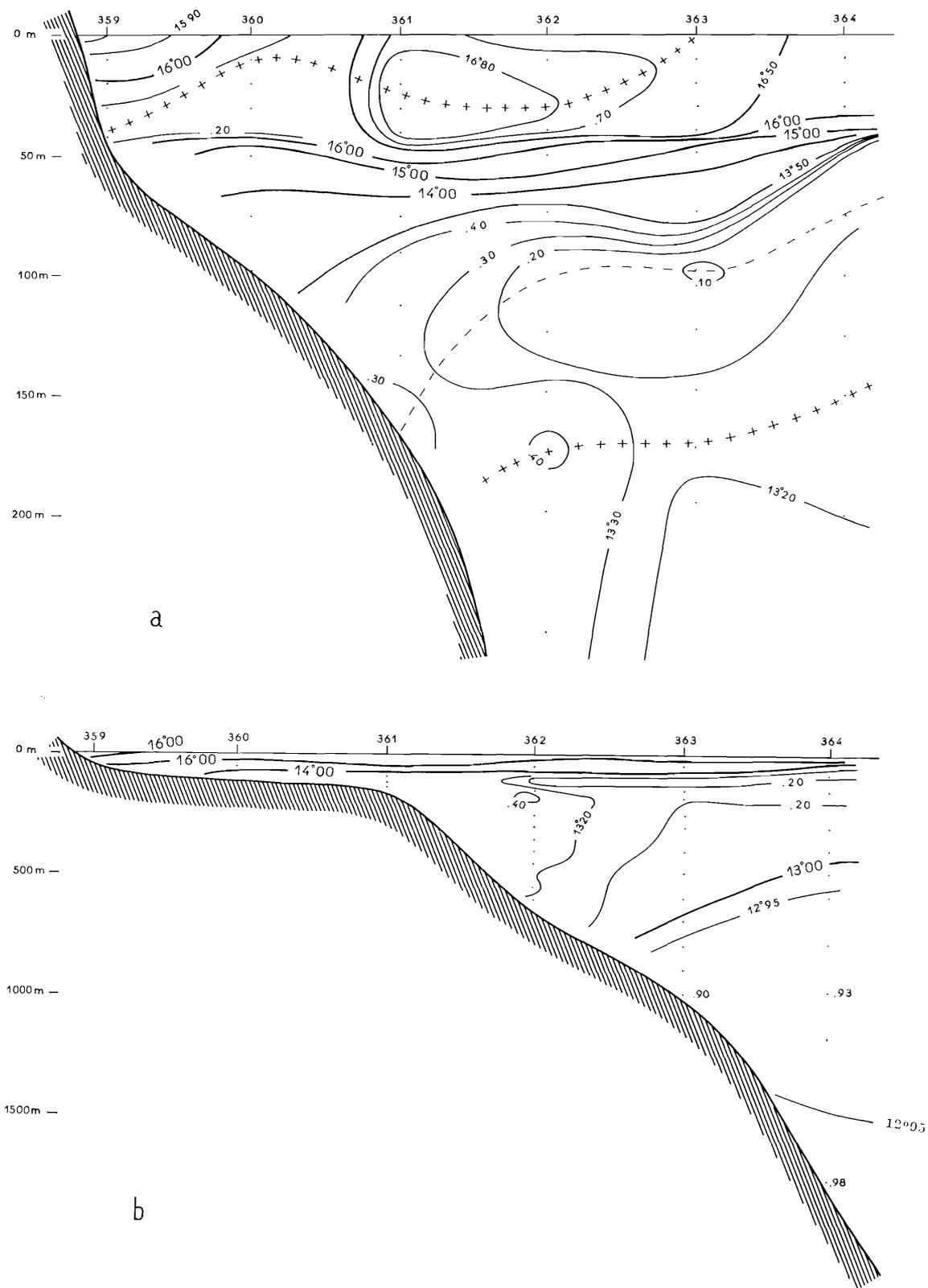


FIG. 66. - - Coupe hydrologique n° 12, de Leucate. Températures,

Coupe n° 12, du cap Leucate vers l'E-SE (fig. 65 et 66).

Cette section du cap Leucate a été en partie traitée à la suite de celle qui traverse en diagonale le N du bassin occidental (coupe n° 7). Nous y revenons pour l'examiner plus en détail en la comparant aux coupes précédentes.

A hauteur de Leucate, l'eau du Rhône, encore très diluée dans la couche superficielle (min. : 36,36 et 15,80°) et à laquelle s'ajoutent d'autres apports continentaux, comme celui de l'Aude, baigne la pente littorale et se mélange rapidement en profondeur à celle du courant liguro-provençal. Ce mélange est d'ailleurs plus actif dans la zone d'eau diluée du centre où la salinité est maintenant de 37,74 en surface.

La ligne du maximum thermique de l'eau d'influence atlantique oscille ici entre 10 et 40 m et la température maximale n'est plus que de 16,87°, ce qui implique un certain mélange avec l'eau du large.

Sous cette formation d'eaux diluées, la salinité croît sensiblement avec la profondeur, jusqu'à l'axe de la couche d'eau orientale qui présente une salinité maximale de 38,48 à 350 m du côté du talus.

On assiste toutefois, comme dans la coupe précédente, à un enfoncement des eaux plus diluées contre la pente, jusqu'à 250 m.

Les isothermes n'adoptent cependant pas la disposition des isohalines car elles sont déformées par l'extension de la nappe septentrionale supérieure qui s'étale entre 50 et 150 m, en s'abaissant aux abords du talus et présente des températures de 13,10 à 13,30°. Au-dessous, les valeurs rencontrées, plus élevées : 13,42 à 13,30°, ne sauraient être attribuées à l'eau orientale qui ne peut atteindre qu'une température voisine de 13,25°, relevée d'ailleurs plus au large et correspondant sensiblement à celle de la même formation dans le secteur sarde d'où elle provient.

On doit donc admettre qu'à partir de 100 m d'importants échanges thermiques ont lieu entre les différentes formations en présence.

A partir de 500 m, les valeurs thermohalines décroissent progressivement : 38,39 à 1 750 m, 12,90° à 1 000 m. Le réchauffement constaté sur le fond est un effet de la variation adiabatique.

Coupe n° 13, du cap Béar vers l'E-SE (fig. 67 et 68).

Dans cette partie méridionale du golfe du Lion, le rétrécissement du plateau donne lieu à un rassemblement des eaux diluées dans le secteur littoral, qui accentue leur plongée contre la pente. C'est ainsi que l'isohaline de 38,30, très inclinée, atteint la profondeur de 300 m et l'isotherme de 13,30°, celle de 400 m.

L'eau rhodanienne est toujours marquée dans la couche superficielle par un minimum thermohalin de 36,71 et 15,64°, cependant que l'axe du courant liguro-provençal se présente entre 25 et 50 m avec une température maximale de 16,83° et une salinité qui a sensiblement augmenté au large sous l'effet du mélange : 37,90 à 38,05.

Ainsi qu'à hauteur de Leucate, on assiste à des échanges thermiques entre les formations de la mi-profondeur : la nappe septentrionale supérieure est bien marquée par un minimum thermique de 13,04 à 13,20° vers 100/150 m de profondeur, mais il serait difficile de situer, par les seules températures, la couche d'eau orientale qui est pourtant bien localisée par les salinités de 38,48 à 38,45 entre 180 et 500 m. On remarquera d'ailleurs que la plus grande partie de cette formation est intéressée par les basses températures de 13,20 à 13,07° qui l'entraînent en profondeur et favorisent le mélange dans la couche inférieure.

La couche profonde est en effet occupée par des eaux un peu plus salées que dans le secteur septentrional : 38,41 à 38,40, correspondant à des températures inférieures à 12,95°.

Coupe n° 14, de la pointe Figuera vers l'E-SE (fig. 69 et 70).

Devant la pointe Figuera, l'eau diluée a diminué d'importance sous l'effet d'un mélange plus actif dû à la proximité de l'eau orientale dans ce secteur.

Cette dernière formation, dont la salinité maximale est de 38,46, se présente ici sous forme d'un dôme important entre 150 et 450 m. Sa partie haute, plus ou moins réchauffée au contact des eaux

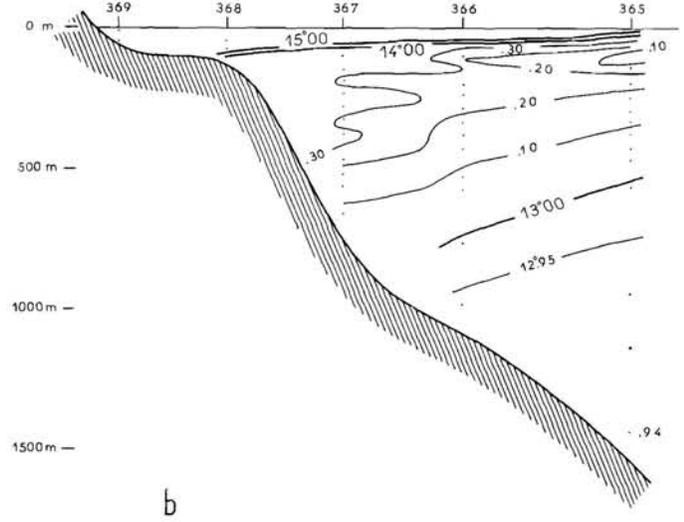
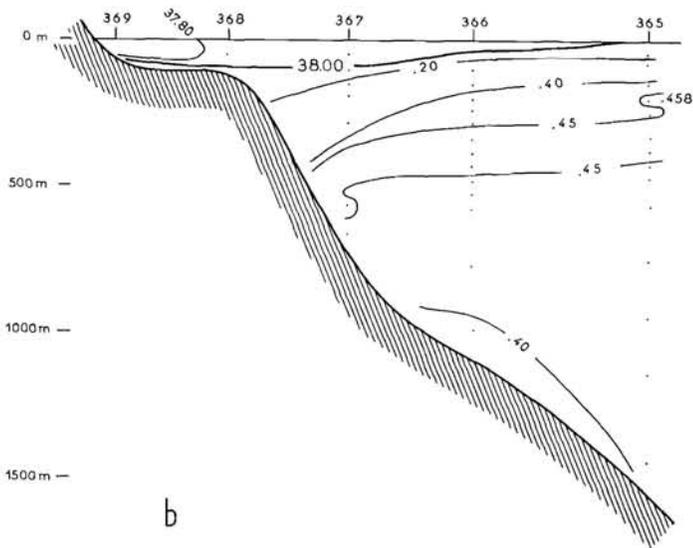
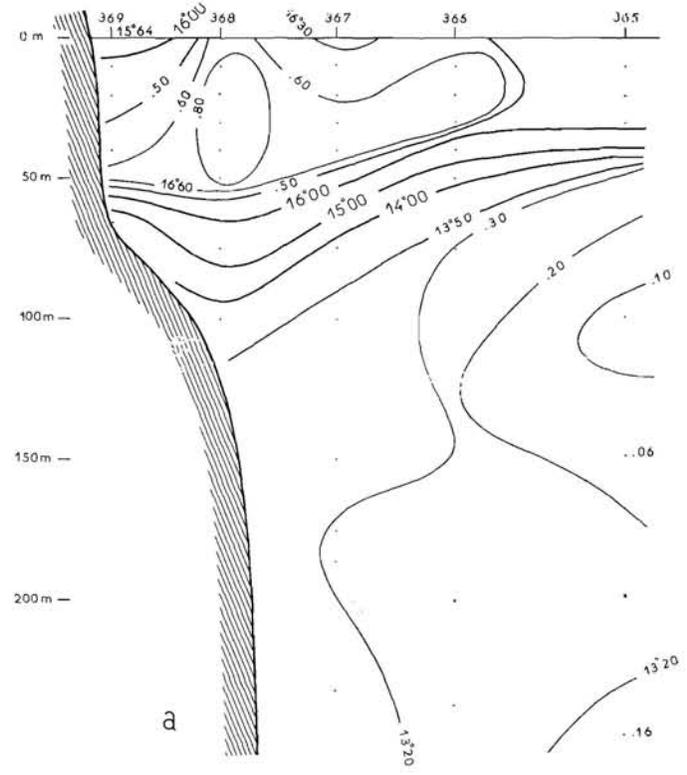
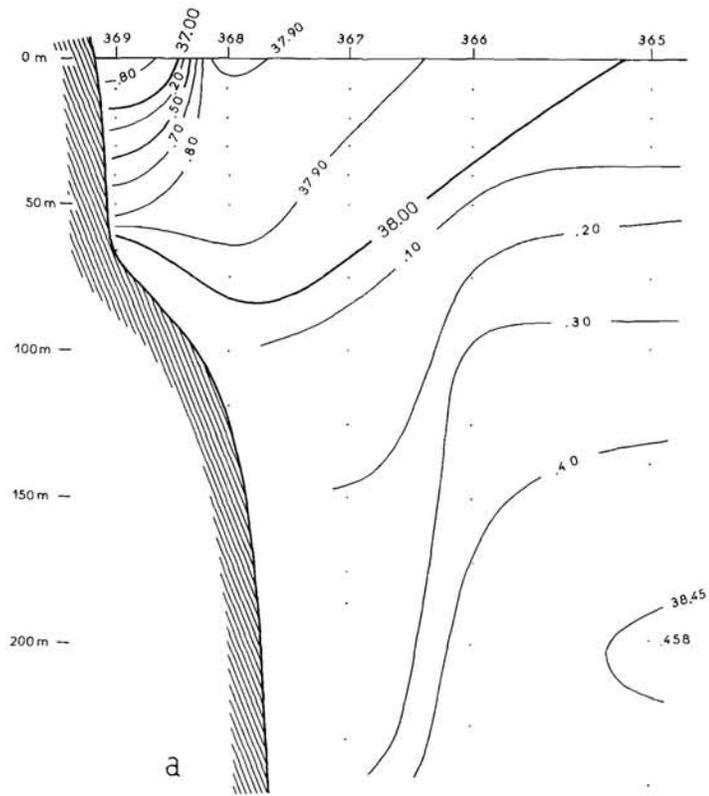


FIG. 67 et 68. — Coupe hydrologique n° 13, du cap Béar. Salinités (à gauche) et températures (à droite),

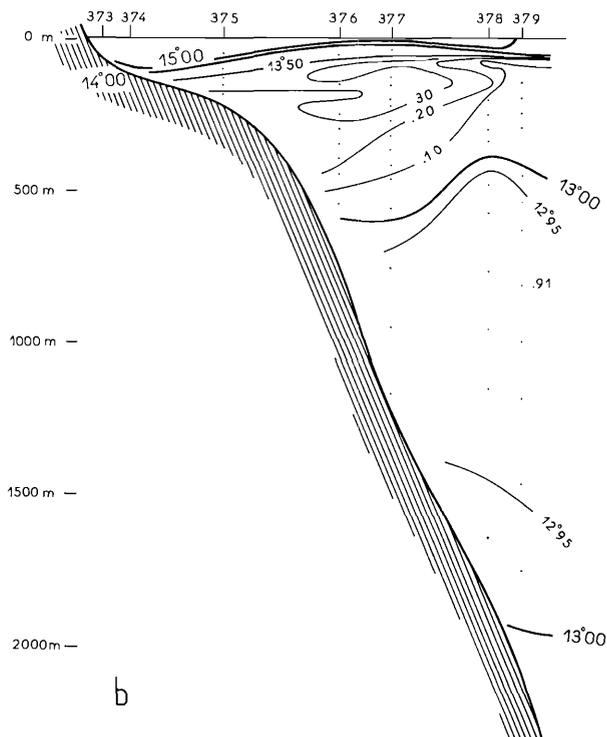
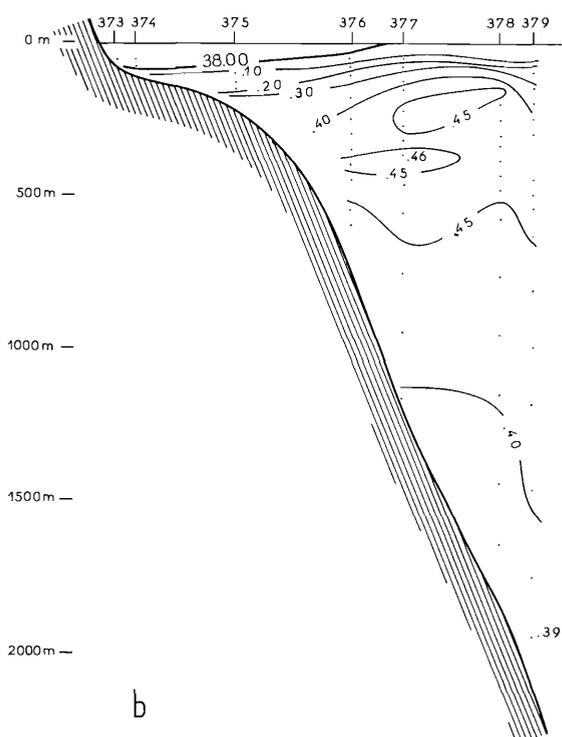
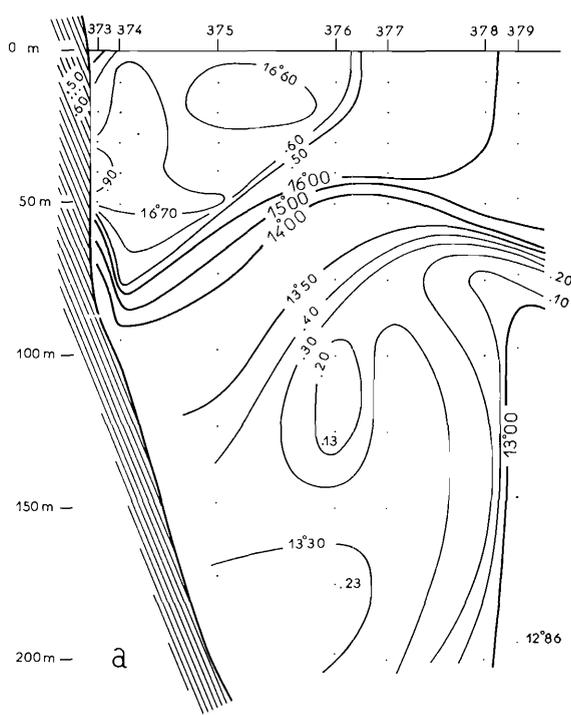
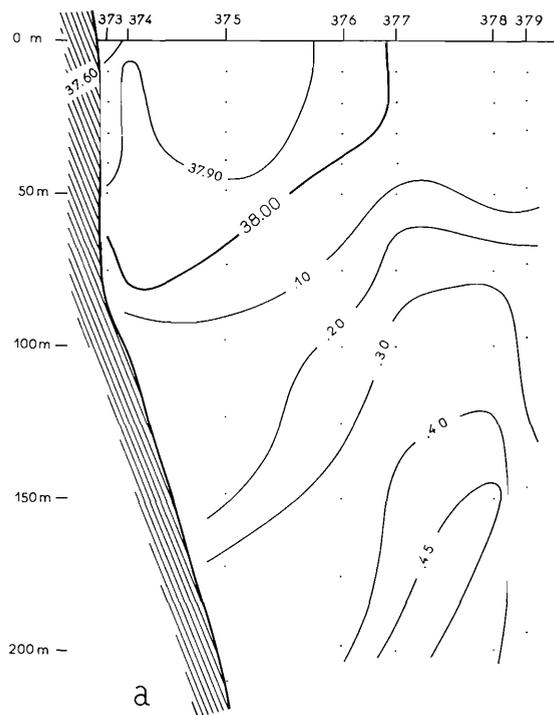


FIG. 69 et 70. — Coupe hydrologique n° 14, de la pointe Figuera.
Salinités (à gauche) et températures (à droite).

de la pente se trouve en divergence et exerce une poussée qui se communique à la couche supérieure.

Par contre, sa partie basse, refroidie par l'eau septentrionale adjacente a tendance à s'enfoncer.

On remarquera d'ailleurs que les températures de la couche septentrionale supérieure (min. : 12,80°) sont ici plus basses que celles de la couche septentrionale profonde (min. 12,91°) et ne se trouvent séparées que par un faible maximum de 13,02°.

Cette disposition est à rapprocher de celle que nous avons à la st. 345 de la section 7, de la Sardaigne à Leucate, dans l'axe de circulation de l'eau d'hiver septentrionale.

La situation est donc très complexe en bordure du talus méridional du golfe du Lion où l'on constate des échanges thermiques donnant lieu à des mélanges actifs.

Résumé et conclusion de la seconde partie

Mise en parallèle avec les travaux de l'été 1957 et du début de l'automne 1958, cette nouvelle étude, qui porte sur la fin de novembre 1963, montre que des variations importantes peuvent intervenir dans la situation hydrologique du golfe du Lion, d'une année sur l'autre et aussi suivant la saison envisagée.

Ces variations peuvent être consécutives, non seulement au débit du Rhône et des fleuves côtiers du Languedoc, mais aussi à l'extension du courant liguro-provençal d'influence atlantique dont l'importance est loin d'être négligeable au-dessus du plateau.

Ce courant, dont les caractères initiaux, essentiellement atlantiques, ont été transformés au cours de son long cheminement dans le bassin occidental, parvient en bordure du littoral provençal, après avoir subi l'influence thermique des régions qu'il traverse. C'est ainsi que pendant la période considérée, il peut être individualisé par des températures élevées qui se trouvent en contraste avec celles, plus froides, du Rhône.

Les eaux les plus diluées d'influence fluviale, progressent d'abord devant le delta du Rhône mais sont rejetées, pour la plus grande part, contre la côte du Languedoc et du Roussillon où elles ont tendance à s'accumuler en se mélangeant à l'eau d'influence atlantique et en s'enfonçant progressivement contre la pente, à mesure que diminue la largeur du plateau continental.

Cette eau de mélange se trouve alors en contact direct :

d'une part avec l'eau du large formée pendant l'hiver et le printemps précédents qui, bien qu'ayant perdu en partie ses caractères initiaux, séjourne dans ce secteur,

d'autre part avec l'eau de la couche orientale plus ou moins dégradée qui aboutit en bordure du talus du golfe après avoir contourné la partie N du bassin occidental.

L'état stationnaire de cette dernière formation qui parvient au terme de sa longue course depuis le canal de Sicile, favorise le mélange avec les eaux environnantes, donnant lieu, dans la plupart des cas, à des échanges thermiques qui modifient la structure verticale des masses en présence.

Dans la couche profonde, au-dessous de 600 m, cette situation complexe se stabilise et l'on retrouve la stratigraphie propre aux eaux septentrionales profondes où les conditions tendent vers des salinités de 38,39 à 38,40 et des températures inférieures à 13,00°.

On notera enfin que, dans le secteur le plus méridional, les basses températures de la couche septentrionale supérieure : 12,80° à 150 m peuvent provoquer, à leur point de contact avec des eaux adjacentes très salées, des mouvements de plongée locaux. Cette situation est comparable à celle que nous avons rencontrée, au cours de la même campagne, dans le grand axe des Baléares.

Il convient de rappeler, pour conclure, l'importance que revêt l'étude systématique de l'hydrologie du golfe du Lion dans toutes recherches biologiques et halieutiques.

En ce qui concerne la salinité, l'extension d'eaux diluées d'influence fluviale et la régénérescence du courant d'influence atlantique au contact des eaux rhodaniennes ont une influence évidente sur la présence de certaines espèces sténohalines. C'est ainsi que, dans le domaine du plancton (M.-L.

FURNESTIN, 1960), on peut maintenant affirmer que *Sagitta setosa*, espèce peu halophile du groupe des Chaetognathes, se maintient essentiellement dans les eaux inférieures à 37,00, ce qui en fait un indicateur des eaux d'influence fluviale. C'est par ailleurs dans les eaux d'une salinité voisine de 37,00 et offrant donc une analogie avec les eaux atlantiques que certains copépodes de provenance atlantique ont été rencontrés.

Comme autre exemple, chez les poissons cette fois, l'affinité du sprat pour les eaux peu salées et relativement froides est suffisamment connue pour avancer que, seules, les conditions créées par la diminution de la salinité, jointes aux basses températures hivernales, lui ont permis de subsister dans le golfe du Lion.

Mais les conditions thermiques jouent un rôle encore plus important dans la distribution des espèces sténothermes. Ce sont les températures de l'eau du Rhône, souvent plus basses que celles du courant liguro-provençal, et aussi certaines remontées des couches sous-jacentes, qui favoriseront les concentrations de sardine, notamment à la limite d'extension de ces formations. Ce sont encore les zones de contraste du talus, où se heurtent la formation continentale et celle du large, en divergence, que suivront les thons quand leur migration les conduira dans ce secteur.

Bien d'autres corrélations du même ordre pourraient s'ajouter à ces exemples qui suffisent à démontrer la nécessité de poursuivre les observations hydrologiques dans le golfe du Lion en orientant les investigations sur les fluctuations des zones de contact et sur les écarts thermiques que l'on observe d'un secteur à l'autre, au cours des saisons.

C'est une telle étude qui a été entreprise depuis deux ans par le laboratoire de l'Institut des Pêches de Sète et dont les premiers résultats seront bientôt publiés.

OUVRAGES CONSULTÉS

- ALLAIN (Ch.), 1960. — Topographie dynamique et courants généraux dans le bassin occidental de la Méditerranée (golfe du Lion, Mer Catalane, Mer d'Alboran, secteur à l'est de la Corse). — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **24** (1) : 121-45.
- 1963. — Topographie dynamique et courants généraux dans le bassin occidental de la Méditerranée, au nord du 42° parallèle (supplément à l'étude hydrologique de septembre-octobre 1958). — *Ibid.*, **27** (2) : 127-35.
- 1964. — L'hydrologie et les courants du détroit de Gibraltar pendant l'été de 1959. — *Ibid.*, **28** (1), 102 p., 82 fig.
- ALLAIN (Ch.), FURNESTIN (M.-L.) et MAURIN (C.), 1966. — Essai de synthèse sur l'océanographie physique et biologique dans la zone d'influence du courant atlantique en Méditerranée du sud et du levant. — *Comm. int. Explor. Sci. Mer Médit.*, schéma présenté à la Conférence d'experts réunis à Split (décembre 1965), 38 p.
- BERNARD (F.), 1952. — Eaux atlantiques et méditerranéennes au large de l'Algérie. I. Hydrographie, sels nutritifs et phytoplancton en 1950. — *Ann. Inst. océanogr., Paris*, **27** (1) : 1-48.
- 1956. — Eaux atlantiques et méditerranéennes au large de l'Algérie. II. Courants et nannoplancton de 1951 à 1953. — *Ibid.*, **31** (4) : 231-54.
- BOUGIS (P.), GINAT (M.) et RUIVO (M.), 1957. — Contribution à l'hydrologie de la Mer Catalane. Résultats des campagnes du « Professeur Lacaze-Duthiers ». — *Vie et milieu*, suppl. n° 6 : 123-164.
- « IGÉNIEUR ELIE-MONNIER ». 1957. — Observations hydrologiques des bâtiments de la Marine nationale. C. Méditerranée occidentale, septembre 1956. — *Bull. Inform. COEC*, **9** (10) : 585-588.
- DARDIGNAC (J.), 1965. — Matériel et méthodes en hydrologie à bord de la « Thalassa ». (Campagne du 15 octobre au 27 novembre 1963). — *Comm. int. Explor. sci. Mer Médit., Rapp. et P.V.*, **18** (3) : 821-822.
- DARDIGNAC (J.) et ALLAIN (Ch.), 1965. — Quelques points remarquables de l'hydrologie méditerranéenne en automne 1963. — *Ibid.*, **18** (3) : 823-825.
- FURNESTIN (J.), 1960. — Hydrologie de la Méditerranée occidentale (golfe du Lion, Mer Catalane, Mer d'Alboran, Corse orientale), 14 juin - 20 juillet 1957. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **24** (1) : 5-119.
- FURNESTIN (J.) et ALLAIN (Ch.), 1962 a. — Hydrologie de la Méditerranée occidentale au nord du 42° parallèle en automne 1958 (campagne du « Président Théodore Tissier », 27 septembre au 18 octobre 1958). — *Ibid.*, **26** (2) : 133-62.
- 1962 b. — L'hydrologie algérienne en hiver (campagne du « Président Théodore Tissier », février 1960). — *Ibid.*, **26** (3) : 277-308.
- 1962 c. — Nouvelles observations sur l'hydrologie de la Méditerranée occidentale (entre Alger et le 40° parallèle). Campagne de la « Thalassa », hiver 1961. — *Ibid.*, **26** (3) : 309-17.

- LACOMBE (H.) et TCHERNIA (P.), 1960. — Quelques trait généraux de l'hydrologie méditerranéenne, d'après diverses campagnes hydrologiques récentes en Méditerranée, dans le proche atlantique et dans le détroit de Gibraltar. — *Cah. océanogr.*, **12** (8) : 527-47.
- NIELSEN (J.N.), 1912. — Hydrography of the Mediterranean and adjacent waters. — *Rep. dan. oceanogr. Exped. 1908-1910 Medit.*, **1**, II, n° 2 : 77-191.
- TCHERNIA (P.), 1956. — Contribution à l'étude hydrologique de la Méditerranée occidentale. Deuxième mémoire préliminaire. — *Bull. Inform. COEC*, **8** (9) : 435-54.
- TCHERNIA (P.) et SAINT-GUILY (B.), 1959. — Nouvelles observations hydrologiques d'hiver en Méditerranée occidentale. — *Ibid.*, **11** (7), 499-542.
- TROTTI (L.), 1954. — Report on the oceanographic investigations in the ligurian and north tirrenian seas hydrography. — *Centro talassogr. Tirreno*, publ. n° 16.
- 1953. — Risultati delle crociere talassografiche nel mar ligure e nell'alto Tirreno. — *Ibid.*, publ. n° 14.
- WÜST (G.), 1960. — Die Tiefenzirkulation des Mittelländischen Meeres in den Kernschichten des Zwischen und des Tiefenwassers. — *Dtsch. hydrogr. Z.*, **13** (3), p. 105-31.

TABLE DES FIGURES

FIGURES

1. — Réseau des stations dans la partie méridionale du bassin occidental et sur la section Sardaigne - golfe du Lion	7
2. — Secteur méridional. Isohalines à la surface	10
3. — Secteur méridional. Isothermes à la surface	10
4. — Secteur méridional. Isohalines à 20 m	12
5. — Secteur méridional. Isothermes à 20 m	12
6. — Secteur méridional. Isohalines à 50 m	14
7. — Secteur méridional. Isothermes à 50 m	14
8. — Secteur méridional. Isohalines à 100 m	15
9. — Secteur méridional. Isothermes à 100 m	15
10. — Secteur méridional. Isohalines à 200 m	16
11. — Secteur méridional. Isothermes à 200 m	16
12. — Secteur méridional. Isohalines à 300 m	18
13. — Secteur méridional. Isothermes à 300 m	18
14. — Secteur méridional. Isohalines à 500 m	20
15. — Secteur méridional. Isothermes à 500 m	20
16. — Secteur méridional. Isohalines à 800 m	21
17. — Secteur méridional. Isothermes à 800 m	21
18. — Coupe hydrologique n° 1, du cap de Palos à Ténès. Salinités	23
19. — Coupe hydrologique n° 1, du cap de Palos à Ténès. Températures	24
20. — Coupe hydrologique n° 2, de l'îlot Tokikt Indich à Formentera. Salinités	26
21. — Coupe hydrologique n° 2, de l'îlot Tokikt Indich à Formentera. Températures	27
22. — Coupe hydrologique n° 2, de l'îlot Tokikt Indich à Formentera. Températures potentielles	28
23. — Coupe hydrologique n° 3, du cap Caxine à l'île Cabrera. Salinités	29
24. — Coupe hydrologique n° 3, du cap Caxine à l'île Cabrera. Températures	30
25. — Coupe hydrologique n° 3, du cap Caxine à l'île Cabrera. Températures potentielles	31
26. — Coupe hydrologique n° 4, du cap Sigli. Salinités	33
27. — Coupe hydrologique n° 4, du cap Sigli. Températures	34
28. — Coupe hydrologique n° 5, du cap Bougaroni. Salinités	36
29. — Coupe hydrologique n° 5, du cap Bougaroni. Températures	37
30. — Coupe hydrologique n° 6, du cap Axin à l'île Toro. Salinités	38
31. — Coupe hydrologique n° 6, du cap Axin à l'île Toro. Températures	39
32. — Coupe hydrologique n° 7, de la roche Catalano à Leucate. Salinités	40
33. — Coupe hydrologique n° 7, de la roche Catalano à Leucate. Températures	41
34. — Coupe hydrologique n° 7, de la roche Catalano à Leucate. Températures potentielles	43
35. — Coupe hydrologique n° 8, autour du 37° parallèle. Salinités	44
36. — Coupe hydrologique n° 8, autour du 37° parallèle. Températures	45
37. — Coupe hydrologique n° 9, autour du parallèle de 38°30. Salinités	46
38. — Coupe hydrologique n° 9, autour du parallèle de 38°30. Températures	47
39. — Réseau des stations du golfe du Lion	50
40. — Golfe du Lion. Isohalines à la surface	51
41. — Golfe du Lion. Isothermes à la surface	52
42. — Golfe du Lion. Isohalines à 10 m	53
43. — Golfe du Lion. Isothermes à 10 m	53
44. — Golfe du Lion. Isohalines à 20 m	54
45. — Golfe du Lion. Isothermes à 20 m	54
46. — Golfe du Lion. Isohalines à 50 m	56
47. — Golfe du Lion. Isothermes à 50 m	56
48. — Golfe du Lion. Isohalines à 75 m	57

49. — Golfe du Lion. Isothermes à 75 m	57
50. — Golfe du Lion. Isohalines à 100 m	58
51. — Golfe du Lion. Isothermes à 100 m	58
52. — Golfe du Lion. Isohalines à 200 m	60
53. — Golfe du Lion. Isothermes à 200 m	60
54. — Golfe du Lion. Isohalines à 300 m	61
55. — Golfe du Lion. Isothermes à 300 m	61
56. — Golfe du Lion. Isohalines à 400 m	62
57. — Golfe du Lion. Isothermes à 400 m	62
58. — Golfe du Lion. Isohalines à 500 m	63
59. — Golfe du Lion. Isothermes à 500 m	63
60. — Golfe du Lion. Relation température-salinité	64
61. — Golfe du Lion. Coupe hydrologique n° 10, de Sète. Salinités	66
62. — Golfe du Lion. Coupe hydrologique n° 10, de Sète. Températures	66
63. — Golfe du Lion. Coupe hydrologique n° 11, de l'embouchure de l'Aude. Salinités	67
64. — Golfe du Lion. Coupe hydrologique n° 11, de l'embouchure de l'Aude. Températures	68
65. — Golfe du Lion. Coupe hydrologique n° 12, de Leucate. Salinités	69
66. — Golfe du Lion. Coupe hydrologique n° 12, de Leucate. Températures	70
67. — Golfe du Lion. Coupe hydrologique n° 13, du cap Béar. Salinités	72
68. — Golfe du Lion. Coupe hydrologique n° 13, du cap Béar. Températures	72
69. — Golfe du Lion. Coupe hydrologique n° 14, de la pointe Figuera. Salinités	73
70. — Golfe du Lion. Coupe hydrologique n° 14, de la pointe Figuera. Températures	73