

HYDROLOGIE SAISONNIERE DU GOLFE DU LION (Travaux de l' « Ichthys » 1966-1967) ⁽¹⁾

par Henri TOURNIER

INTRODUCTION

L' « Ichthys », navire de recherches du laboratoire de l'Institut des Pêches maritimes à Sète, a réalisé de février 1966 à décembre 1967 onze campagnes d'hydrologie, chacune d'elles comprenant 25 stations réparties dans l'ensemble du golfe du Lion de la côte aux fonds de 100 m (fig. 1).

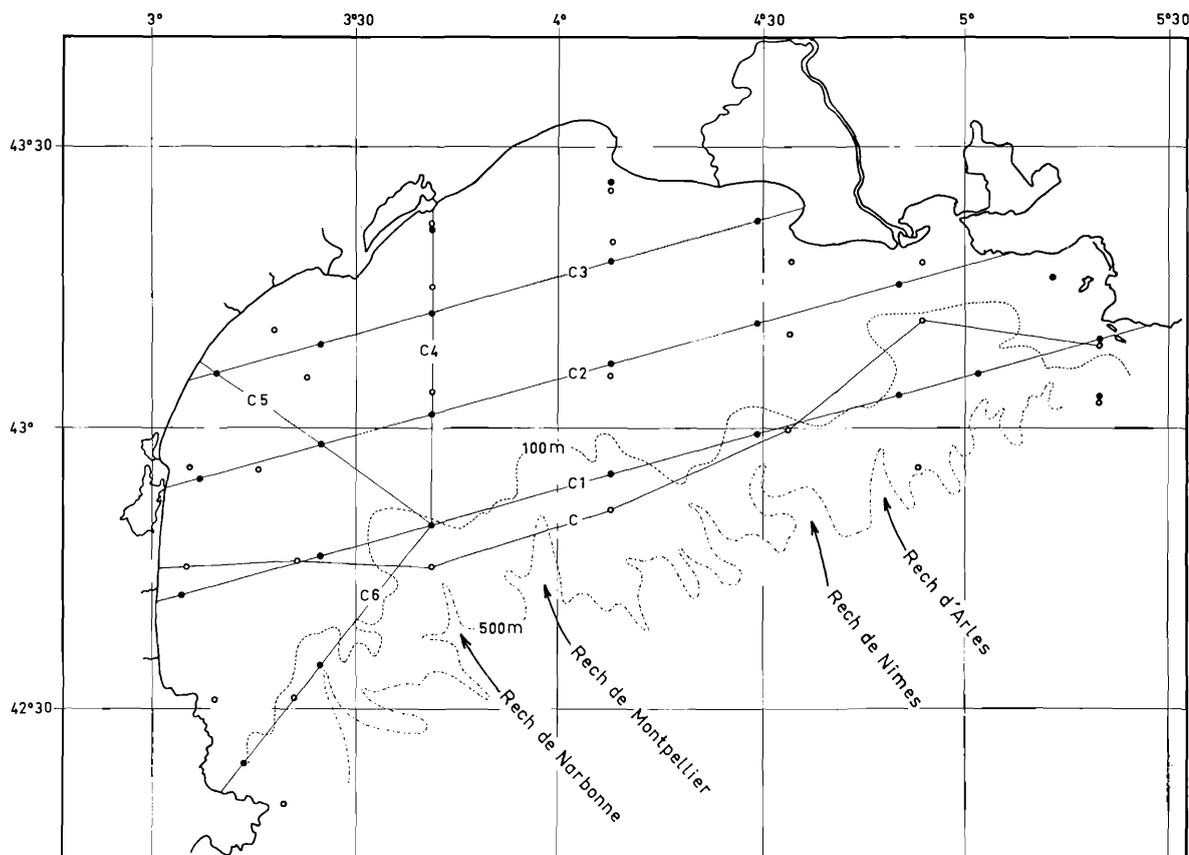


FIG. 1. — Carte d'implantation des stations et des sections présentées. Les cercles évidés représentent les stations du 1^{er} février au 9 mars 1966, les cercles pleins indiquent les stations du 13 juin 1966 au 21 décembre 1967 (les numéros des stations utilisées apparaîtront sur les coupes).

Les pêches de plancton faites à chaque station et la localisation des bancs de poisson au sondeur-détecteur, nous ont déjà permis de mettre en évidence la corrélation qui existe entre les conditions

1) Cette étude a été faite sous la direction du laboratoire d'Océanographie de l'I.S.T.P.M. à Paris.

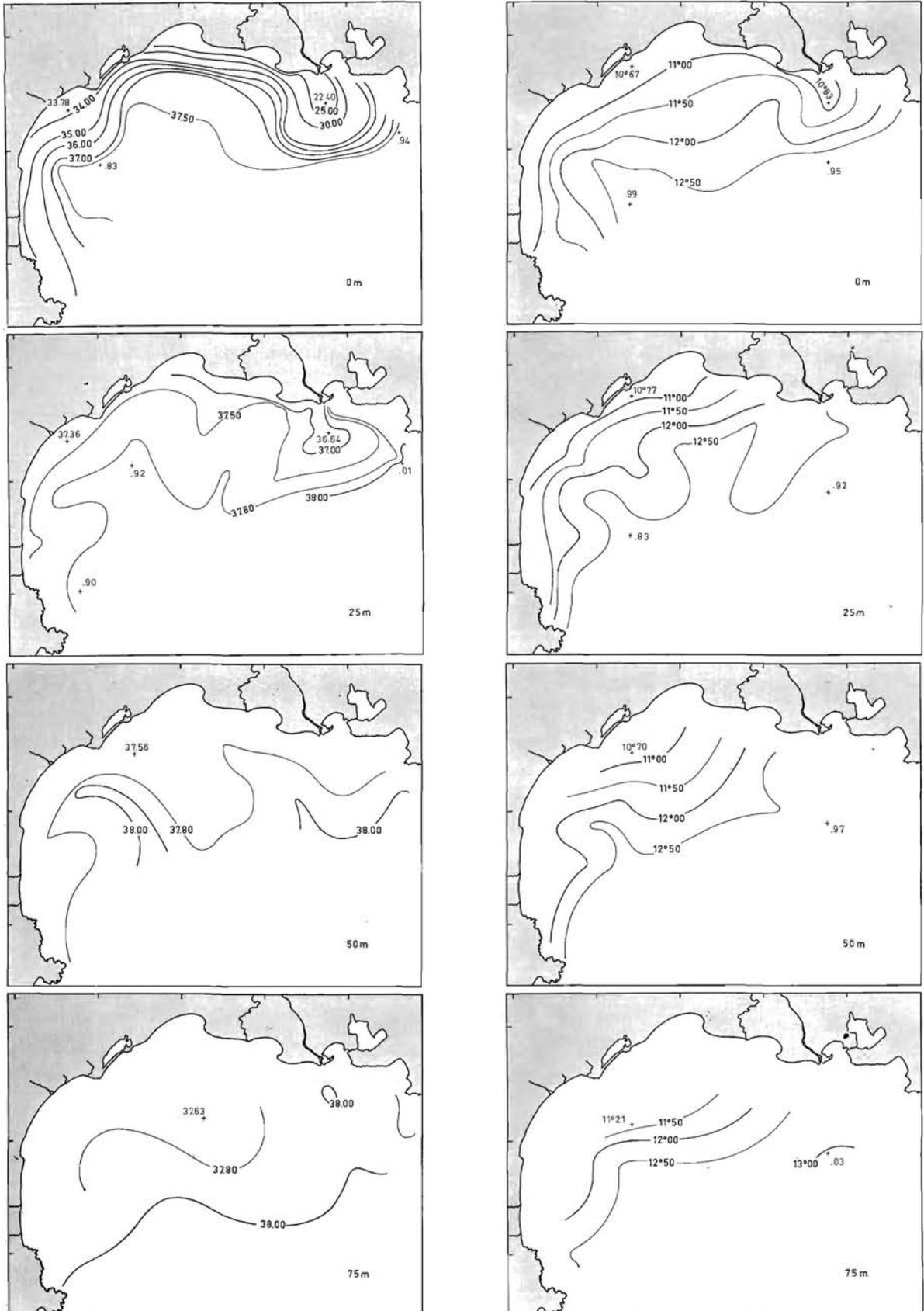


FIG. 2. — Cartes des isohalines et des isothermes du 1^{er} au 9 février 1966 (salinités à gauche, températures à droite).

de milieu et la ponte de la sardine (LEE, PARK, TOURNIER et ALDEBERT, 1967). Le présent travail consiste à exploiter les données recueillies par l'« Ichthys » sur la température et la salinité. Il fait suite à celui de FURNESTIN (1960), FURNESTIN et ALLAIN (1962) et ALLAIN et FURNESTIN (1969).

Les températures ont été mesurées à l'aide de thermomètres Richter et Wiese ou Yoshino disposés sur des bouteilles à renversement Tsurumi (de type Nansen). Les différentes corrections ont été faites ainsi que le calcul de la profondeur d'immersion des appareils laquelle a été évaluée d'après l'angle formé par le câble. Le nombre total de mesures de température est de 2 250; la précision obtenue est de deux centièmes de degré. Par ailleurs, le bathythermographe Richard nous a renseigné, à chaque station, sur la situation de la thermocline. Les analyses de salinité, au nombre de 2 250, ont été faites d'abord par la méthode chimique de Knudsen puis, à partir du mois de février 1967, avec un salinomètre à induction Auto-Lab. Le grand nombre d'observations permet de définir la situation hydrologique à chaque époque ainsi que son évolution au cours de l'année. Des renseignements météorologiques transmis par le Centre régional de la Météorologie nationale d'Aix-en-Provence et des indications sur le débit et la température des eaux du Rhône, fournies par le Service spécial du Rhône des Ponts et Chaussées en Avignon, ont pu être exploités avec profit.

Cette étude est divisée en trois parties. Les deux premières traitent de la répartition horizontale et verticale des salinités et des températures pour chaque campagne, en 1966 puis en 1967. L'implantation des différentes stations et le tracé des sections sont représentés sur la figure 1. Les cartes des isothermes et des isohalines sont présentées pour chaque niveau étudié. Une seule coupe (C) reliant l'embouchure du Têt au banc du Planier, est donnée pour les mois de février et mars 1966. Pour les campagnes suivantes, trois coupes ont ainsi été établies :

la première (C1) de l'embouchure du Tech au Planier, sur la partie la plus extérieure du secteur travaillé; elle comporte 8 stations;

la seconde (C2) du cap Leucate à l'Estaque (6 st.);

la troisième (C3) de La Nouvelle au golfe des Saintes-Maries (5 st.).

Pour faciliter l'interprétation des données nous avons reproduit la surface en vue perspective dans le secteur situé au nord des coupes et jusqu'à la côte.

Dans la troisième partie, les variations de la situation hydrologique entre les différentes saisons de 1966 et 1967 sont interprétées en fonction des facteurs extérieurs. En outre, des schémas de la répartition moyenne des eaux en présence aux différentes époques de l'année y sont donnés.

PREMIERE PARTIE

ANALYSE DE LA SITUATION HYDROLOGIQUE EN 1966

I. - Premier trimestre 1966.

La répartition des stations adoptée en février et mars 1966 est représentée sur la figure 1. Après l'étude des différents niveaux une seule coupe sera présentée pour chacune des deux campagnes.

Du 1^{er} au 9 février.

a) Examen des différentes cartes (fig. 2).

Surface. L'importance du débit du Rhône qui s'élève à cette époque à 3 280 m³/s explique l'ampleur du lobe d'eau diluée et froide qui prend naissance à l'embouchure du fleuve, avec des valeurs thermohalines minimales de 22.40 ‰ et de 10°83, et s'étale vers le sud. L'influence des eaux fluviales se fait d'ailleurs sentir tout au long des côtes de Camargue et du Languedoc et jusqu'au cap de Creux avec des salinités d'abord inférieures à 34.00 ‰ puis à 36.00 ‰ correspondant à des

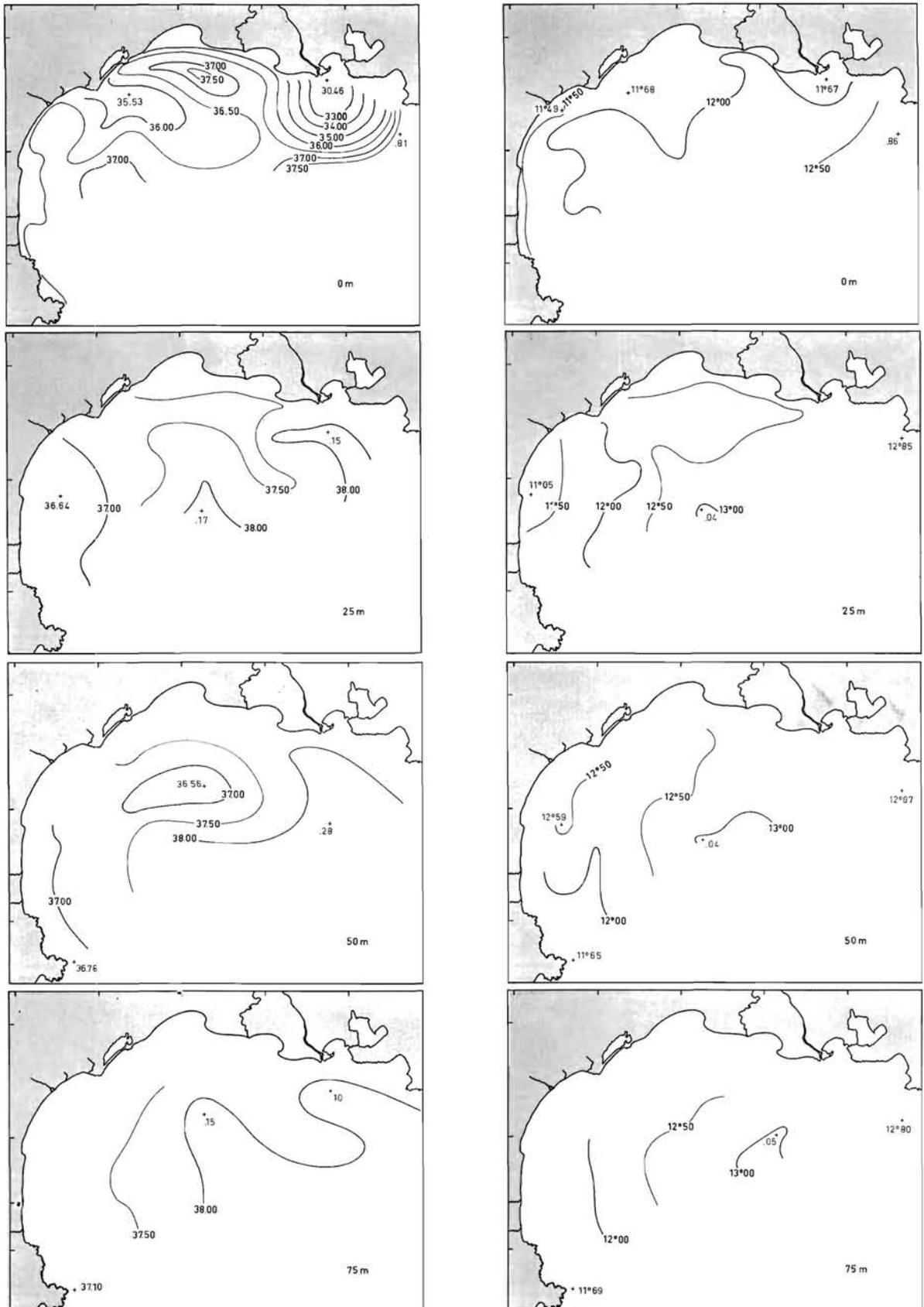


FIG. 4. — Cartes des isohalines et des isothermes du 2 au 9 mars 1966 (salinités à gauche, températures à droite).

températures de 10°67 à 11°50. Une avancée d'eau du large, plus salée et plus chaude, mais encore diluée (valeurs maximales 37.83 ‰ et 12°99), occupe tout le centre du golfe. Mais c'est dans la partie la plus orientale, au sud de Planier et de la formation d'origine fluviale, qu'elle présente la plus forte salinité : 37.94 ‰.

Niveau de 25 m. L'eau d'influence rhodanienne, d'une salinité minimale de 36.64 devant le delta et d'une température minimale de 10°77 en face de Sète, occupe sensiblement la même zone qu'en surface, si on limite son extension à l'isohaline de 37.80 et à l'isotherme de 12°50.

Le mouvement de l'eau du large, plus ou moins mélangée à celle d'influence fluviale, est marqué par deux lobes qui s'avancent en direction de Leucate et de Beauduc en présentant des valeurs maximales thermohalines de 37.90/38.00 et 12°92.

Niveau de 50 m. A cette profondeur les eaux les plus diluées (37.56-37.70) perdent beaucoup de leur importance et se localisent principalement près des côtes au sud du delta et de Sète. Les plus basses températures (minimum 10°70) se situent en face de Sète tandis qu'un certain réchauffement se manifeste dans le secteur marseillais. Dans le même temps des poussées d'eaux du large (maxima 38.04 ‰ et 12°97) scindent les eaux diluées et atteignent presque la côte aux mêmes points qu'au niveau de 25 m.

Niveau de 75 m. Les eaux de mélange se concentrent au nord-ouest du golfe en face d'Aigues-Mortes (minimum thermohalin : 37.63 et 11°21), cependant que les eaux du large occupent, à ce niveau, tout le tiers oriental du golfe avec une température maximale de 13°03 et une salinité de 38.00.

b) Etude des coupes.

On retrouve, sur la coupe principale C (fig. 3), le « lit » des eaux rhodaniennes défini par des salinités de 24.00 à 37.80 et des températures de 11° à 12°60, dans l'est du golfe jusqu'à la profondeur de 60-70 m. Elles réapparaissent sur le fond, à une profondeur de 80-100 m. D'autre part, les eaux diluées qui ont longé la côte languedocienne s'enfoncent dans l'ouest du golfe jusqu'à 100 m. L'eau du large a un taux de salinité relativement faible (37.80-38.00) qui montre dans toute l'épaisseur de la couche, l'influence des eaux diluées. Elle est animée de mouvements verticaux compensateurs qui la font progresser d'une part depuis le rech de Montpellier jusqu'à la surface et d'autre part au-dessus du rech d'Arles pour former, sur la coupe, un lobe intermédiaire à 38.00.

Du 2 au 9 mars.

a) Examen des différentes cartes (fig. 4).

Surface. La salinité minimale en face de l'embouchure du Rhône (30.46), plus élevée qu'en février, atteste du moindre débit du fleuve (2 000 m³/s); l'influence de celui-ci se traduit toutefois par un lobe d'isohalines concentriques bien marqué. L'isohaline de 36.50 et l'isotherme de 12°00 bordent les eaux diluées froides (minimum 11°49) qui forment une bande côtière continue, du delta rhodanien au cap de Creux, de laquelle se détache, à partir d'Agde, un lobe orienté vers le sud-est (minima 11°68 et 35.53). Ce dernier paraît compenser l'importante avancée des eaux du large qui se manifeste jusqu'à la côte dans le secteur d'Aigues-Mortes ainsi qu'aux abords de l'embouchure de l'Aude (isohaline de 36-36.50 et isotherme de 12°00).

Niveau de 25 m. Les eaux d'influence fluviale que l'on peut limiter à ce niveau à l'isohaline de 37.50 et à l'isotherme de 12°50 sont entièrement chassées de la zone du delta par une importante poussée du large qui envahit la baie de Marseille et le littoral de la Camargue ainsi que le secteur central en présentant des salinités de 38.17 à 38.00 et des températures de 13°04 à 12°85.

L'eau la plus diluée et la plus froide : 36.64 et 11°05 se cantonne maintenant dans la zone située entre Agde et le cap Creux.

Niveau de 50 m. Les eaux diluées froides ont tendance à glisser vers le sud-ouest du golfe où les minima sont 36.78 et 11°65. Une lentille dessalée (36.56) subsiste cependant dans le sud du golfe d'Aigues-Mortes. L'eau du large a pris plus d'importance dans tout le sud de la Camargue et du secteur marseillais; son taux atteint 38.28 et sa température 13°04.

Niveau de 75 m. L'eau d'influence fluviale est cantonnée dans la partie occidentale avec des minima de 11°69 et de 37.10 à proximité du cap de Creux, cependant que toute la moitié orientale du golfe est envahie par des eaux plus salées et plus chaudes (38.15 et 13°05).

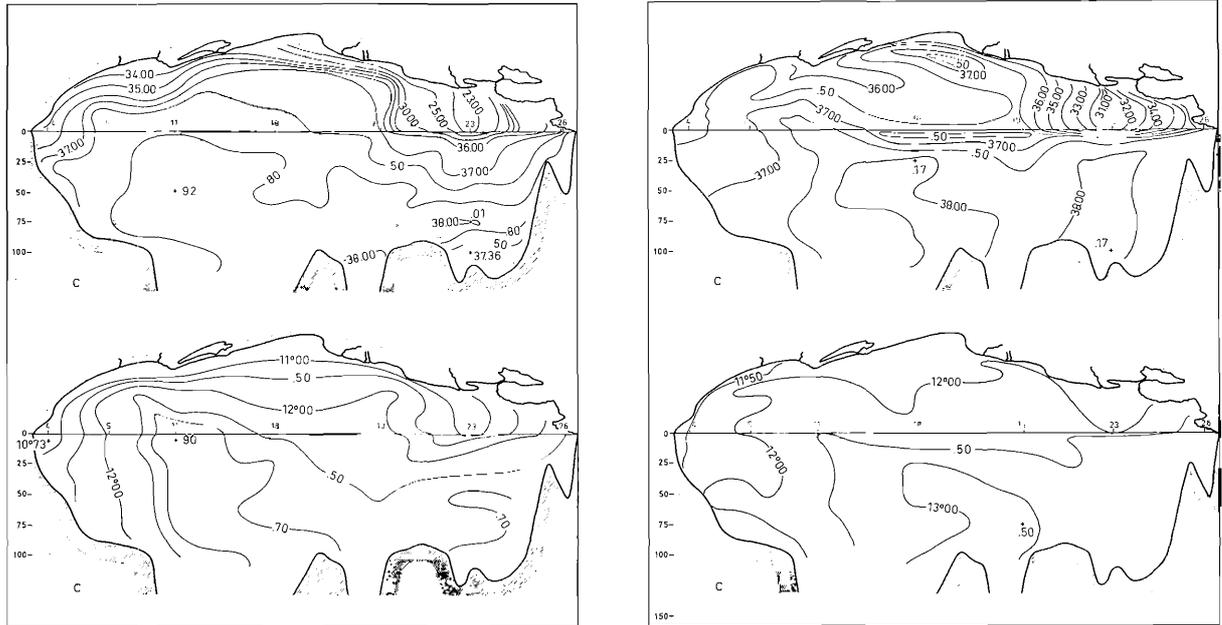


Fig. 3 et 5. — Coupe C des isohalines et des isothermes. A gauche (fig. 3) : du 1^{er} au 9 février 1966 ; à droite (fig. 5) : du 2 au 9 mars 1966 (salinités en haut, températures en bas).

b) Etude des coupes.

La coupe C de la figure 5 montre que l'extension en profondeur du lit rhodanien est réduite à une vingtaine de mètres, en face de l'embouchure du fleuve. Les courbes de 37.50 et de 12°50 marquent la limite de cette eau diluée qui, outre son mouvement général vers l'ouest, reflue aussi vers le sud-est à partir d'Agde dans la couche des 30 premiers mètres. Dans la partie occidentale du golfe elle plonge au-delà de 100 m où elle a encore une salinité de 37.50 et une température de 11°80 à 12°. Cette accumulation d'eau diluée dans l'ouest semble consécutive à la forte pression de celle du large qui a pris beaucoup plus d'extension qu'en février, surtout depuis le « rech » d'Arles. En même temps, les salinités maximales de plus de 38.10 et, dans le centre de la coupe, les températures supérieures à 13°, semblent indiquer que le mélange avec l'eau orientale sous-jacente est déjà actif dans ce secteur.

II. - Deuxième trimestre 1966.

Du 13 au 17 juin.

a) Examen des différentes cartes (fig. 6).

Surface. En dépit d'un débit rhodanien d'importance moyenne (1 800 m³/s) la presque totalité du golfe est occupée par des eaux à salinité inférieure à 37.50 et très chaudes (20°00 à 21°80). Les eaux les plus diluées (de salinité inférieure à 36.50) auxquelles correspond une ligne de maximum thermique (21°80) se répartissent le long des côtes, du Rhône au cap de Creux. Mais on peut remarquer qu'une vaste zone d'eau dessalée (minimum 34.54) s'étale également au large de l'embouchure du Rhône, séparée cependant de l'eau de très faible salinité (13.08) qui se maintient aux

abords immédiats du delta. Une avancée d'eau du large plus froide et plus salée se manifeste à partir du centre du talus en direction de l'embouchure de l'Hérault.

Ces phénomènes sont déjà très estompés au niveau de 5 m.

Niveau de 25 m. Bien que la température de l'eau d'influence fluviale se soit abaissée à ce niveau jusqu'à 19/17°, le contraste thermique avec l'eau du large qui n'atteint que 13°82 à 15°03 est plus marqué qu'au niveau sus-jacent. Quant aux salinités, l'homogénéité qu'elles présentent : 38.10 à 37.50, est l'indice d'un mélange actif à cette profondeur.

Niveau de 50 m. A cette profondeur, devant le delta et dans la majeure partie du golfe, les eaux du Rhône ont fait place à celles du large dont la salinité maximale atteint maintenant 38.13 et la température minimale 13°35. Le minimum thermique (13°35 à 14°00) que l'on observait déjà au niveau précédent sous forme d'une lentille isolée traduit une certaine remontée des eaux sous-jacentes. On observe toutefois que l'influence rhodanienne est encore marquée dans le secteur languedocien par des valeurs de 37.70 et de 16°75 et dans le secteur du Planier par celles de 37.83 et de 16°00.

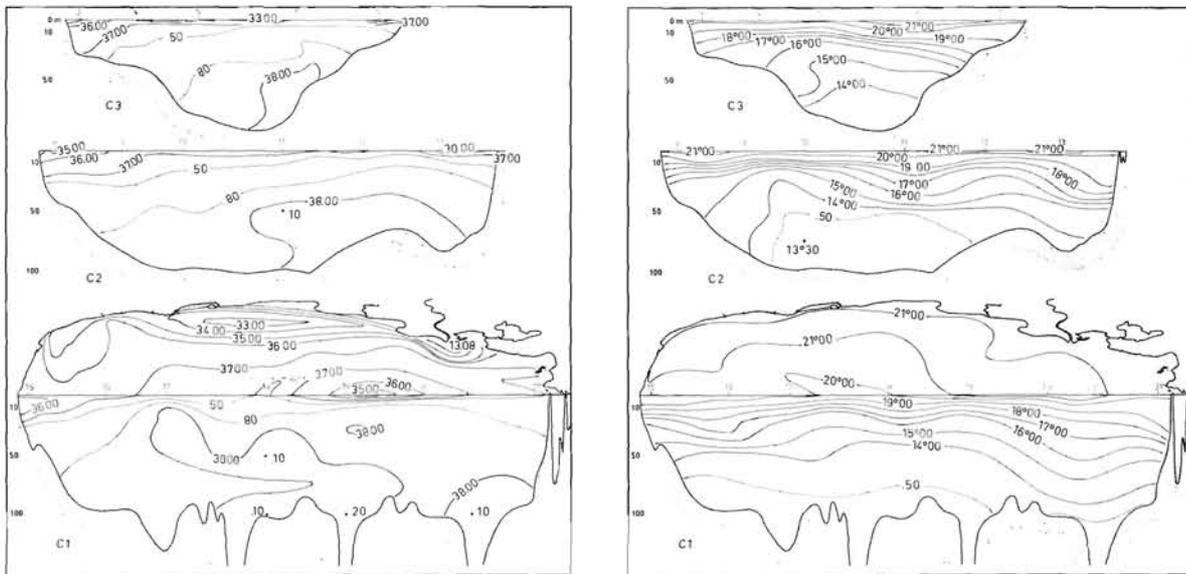


FIG. 7. — Coupes C1, C2, C3 des isohalines et des isothermes du 13 au 17 juin 1966 (salinités à gauche, températures à droite).

Niveau de 75 m. A ce niveau, la remontée d'eau froide prend naissance, près du fond, dans le secteur occidental où l'on rencontre un minimum thermique de 13°29 à 13°50; on remarque cependant que ces températures intéressent des eaux plus diluées d'influence rhodanienne (37.88-37.95). Ces dernières se trouvent donc refroidies à la suite d'un mélange avec les eaux de la profondeur. Les eaux du large qui progressent toujours vers l'embouchure du Rhône ont une salinité maximale de 38.04. Les eaux diluées du secteur oriental qui ont un taux de 37.94 à 37.99 conservent une température un peu plus élevée (maximum 14°57).

b) Etude des coupes (fig. 7).

Les trois coupes présentées ici (C3, C2 et C1) nous montrent que l'eau diluée occupant la presque totalité de la partie nord-ouest du secteur étudié s'écoule en s'enfonçant surtout dans le secteur occidental et, à un degré moindre, sur le versant marseillais. On voit ainsi que des salinités de 37.80 à 37.90 se retrouvent aux niveaux de 80 à 100 m le long du talus du cap Béar. Cette plongée des eaux d'influence fluviale peut être attribuée en partie au fait qu'elles se sont accumulées contre la côte languedocienne, où l'accélération de Coriolis les dévie, mais on peut y voir aussi l'effet des vents dominants du sud-est qui ont soufflé au même moment pendant plusieurs jours de suite. Par

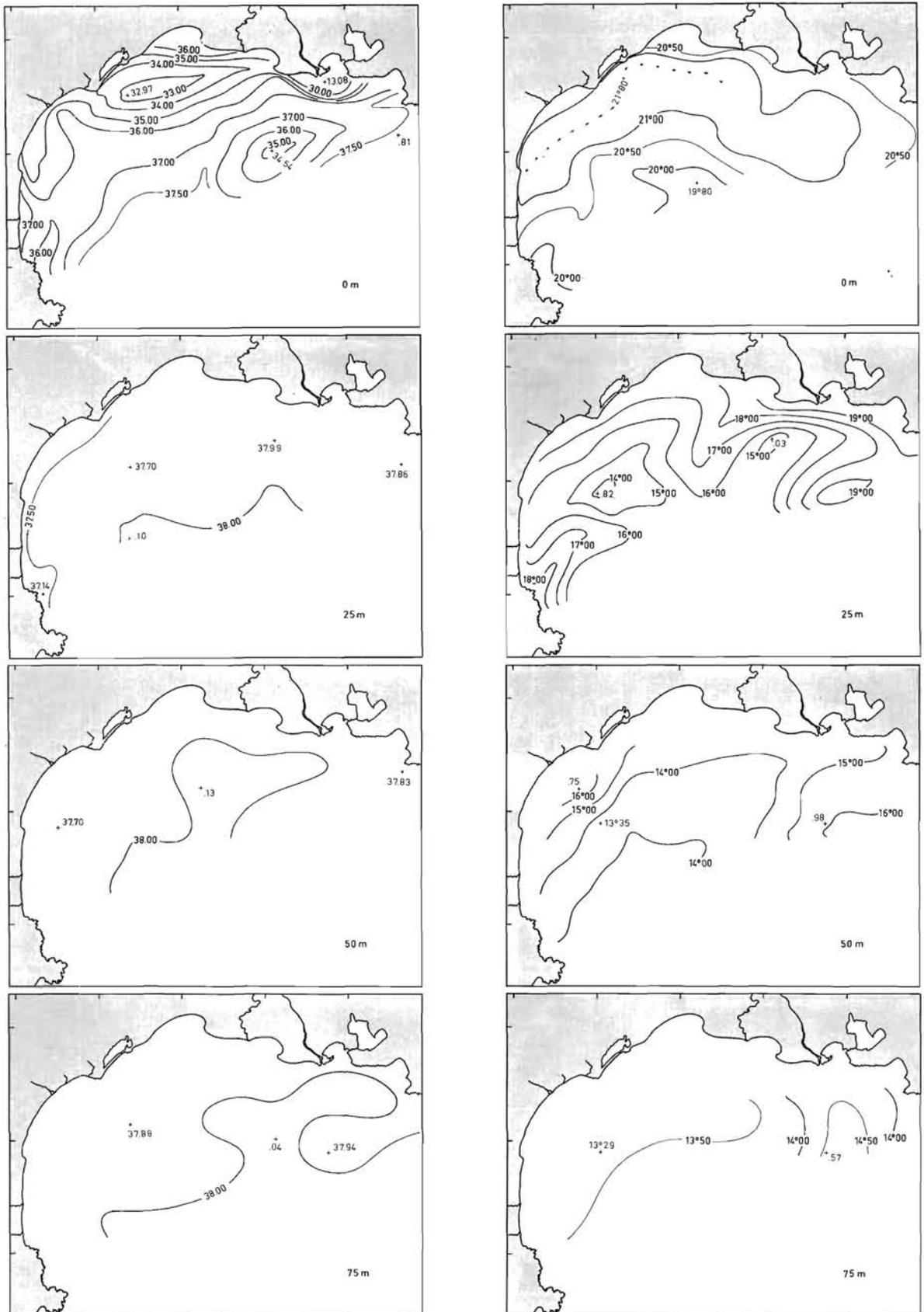


FIG. 6. — Cartes des isohalines et des isothermes du 13 au 17 juin 1966 (salinités à gauche, températures à droite).

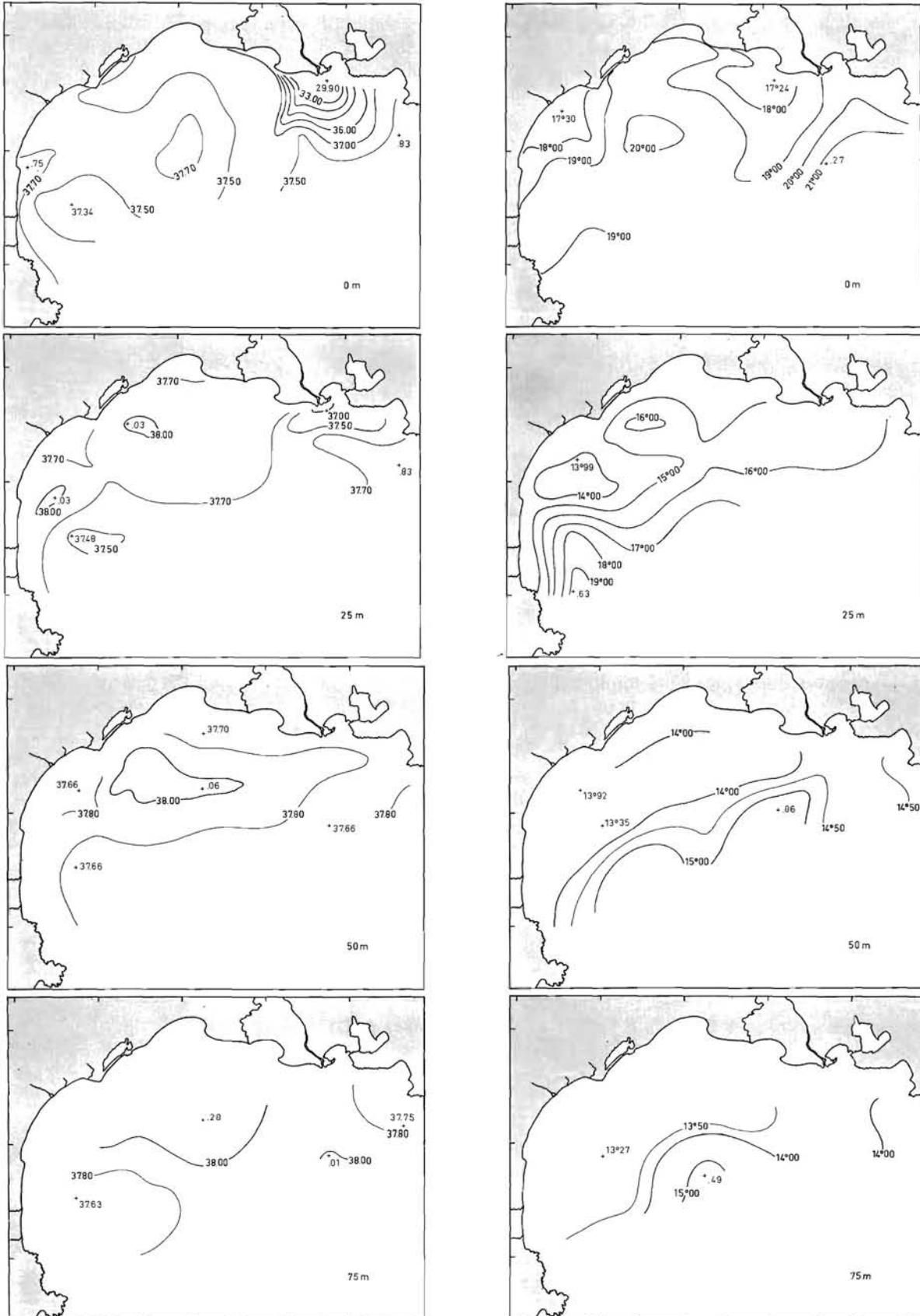


FIG. 8. — Cartes des isohalines et des isothermes du 23 au 26 août 1966 (salinités à gauche, températures à droite).

ailleurs le refroidissement de ces eaux au contact de la masse relativement froide ($13^{\circ}50$) située vers 75-100 m a pu contribuer à leur enfoncement. Les eaux de mélange se rencontrent également dans le secteur oriental du golfe où leur accumulation est due à la proximité du lit du Rhône. Ces eaux, de salinité inférieure à 37.90, conservent d'ailleurs des températures de plus de 15° , plus élevées que dans le secteur occidental.

Quant à l'eau du large, sa place est plus restreinte dans le centre et l'est de la coupe la plus méridionale, au dessus des rechs. On peut voir, sur les autres coupes, qu'elle a tendance à progresser vers la Camargue cependant qu'un autre lobe se dirige vers l'embouchure de l'Hérault et tend à remonter vers la surface. C'est dans les rechs que ces formations présentent les salinités les plus élevées (38.10 à 38.20) auxquelles correspondent des températures minimales inférieures à $13^{\circ}50$.

III. - Troisième trimestre 1966.

Du 23 au 26 août.

a) Examen des différentes cartes (fig. 8).

Surface. Le débit du Rhône a nettement diminué durant cette période puisqu'il n'atteint plus en moyenne que $1\ 100\ m^3/s$. C'est pourquoi les eaux côtières qu'il influence directement sont plus salées qu'en juin à proximité immédiate de l'embouchure principale (minimum 29.90) autour de laquelle leur extension est d'ailleurs limitée ainsi que l'indique un lobe circonscrit par l'isohaline de 37.00. Dans cette zone de salinité minimale les températures sont relativement basses ($17^{\circ}30$ à $19^{\circ}00$) et les isothermes sont légèrement déjetées vers la droite.

Toutefois la présence d'un lobe d'eau diluée de salinité inférieure à 37.50, s'étendant jusqu'à Agde, et celle d'une eau relativement froide entre Sète et Leucate montrent encore l'influence du fleuve dans le secteur languedocien.

Quant au lobe de salinité à 37.34/37.50 situé dans la partie sud-ouest du golfe, il s'identifie au rebroussement du courant rhodanien décrit par FURNESTIN en 1960 et dénommé par cet auteur « contre-courant du Languedoc ». Dans le reste du golfe, une eau plus salée présente des maxima de salinité (37.60 à 37.80) et de température ($20^{\circ}00$ à $21^{\circ}00$) traduisant un mélange avec l'eau du large. Cette dernière s'avance vers le nord principalement dans le centre du golfe et dans le secteur oriental où les valeurs maximales sont rencontrées.

Nous ne présentons pas ici le niveau de 5 m qui offre sensiblement la même disposition qu'en surface avec toutefois une certaine augmentation de la salinité des eaux fluviales et des eaux du large.

Niveau de 25 m. A ce niveau on se rend compte que les eaux diluées d'influence fluviale et les eaux de mélange qui occupaient toute la couche superficielle laissent place, sur le plateau nord-ouest, à un lobe important d'eau plus salée (38.03 à 37.70) et plus froide ($13^{\circ}99$ à $15^{\circ}00$) qui s'étend depuis le nord du Roussillon jusqu'à la pointe de Beauduc. Il semble que l'on soit ici en présence d'une remontée des eaux sous-jacentes entre Leucate et l'Hérault.

Niveau de 50 m. Ici le lobe plus salé observé au niveau supérieur a pris beaucoup plus d'extension; il présente une salinité maximale de 38.06 dans le sud de l'Espiguette et une température minimale de $13^{\circ}35$ dans l'est de Leucate. Des eaux plus diluées et plus chaudes subsistent cependant dans le secteur côtier de l'Espiguette (37.70 et $14^{\circ}00$) et devant l'embouchure de l'Hérault (37.66 et $13^{\circ}92$). Au large, on relève des salinités minimales de 37.66 et des températures maximales de $15^{\circ}86$ qui peuvent rappeler l'extension du courant liguro-provençal dans ce secteur.

Niveau de 75 m. La veine des eaux les plus salées (38.28 à 37.90) et les plus froides ($13^{\circ}27$ à $13^{\circ}50$) se limite à la partie nord du golfe, cependant que, de part et d'autre, des eaux de plus faible salinité (37.63 à 37.80) et plus chaudes ($14^{\circ}00$ à $15^{\circ}49$) subsistent, en particulier devant le Plannier et le Roussillon.

b) Etude des coupes (fig. 9).

Le phénomène important qui apparaît au cours de cette campagne réside dans une remontée d'eaux profondes au-dessus du rech de Montpellier et sur la pente de Leucate. Cette eau qui remon-

te prend la place de celle, diluée, que l'on observait en juin dans le même secteur et les isohalines de 37.70-37.80 se redressent brusquement jusqu'à la surface. On observe simultanément une pente accentuée des isothermes de 14°00 à 18°00 dans la partie occidentale. Dans le même temps, les eaux d'influence fluviale ont été repoussées vers le large où elles s'accumulent et forment un « lit » qui se creuse jusqu'à la profondeur de 80 m avec des salinités de 37.50 à 37.80. Il semble que le mouvement ascendant des eaux profondes soit en partie consécutif à l'action des vents dominants qui ont soufflé à cette époque du secteur nord-ouest. On serait donc en présence d'un upwelling dû au vent qui intéresse le secteur du Roussillon et du Languedoc. Comme nous l'avons vu par les cartes, ce phénomène s'estompe déjà dans la couche superficielle à l'époque à laquelle nous avons travaillé.

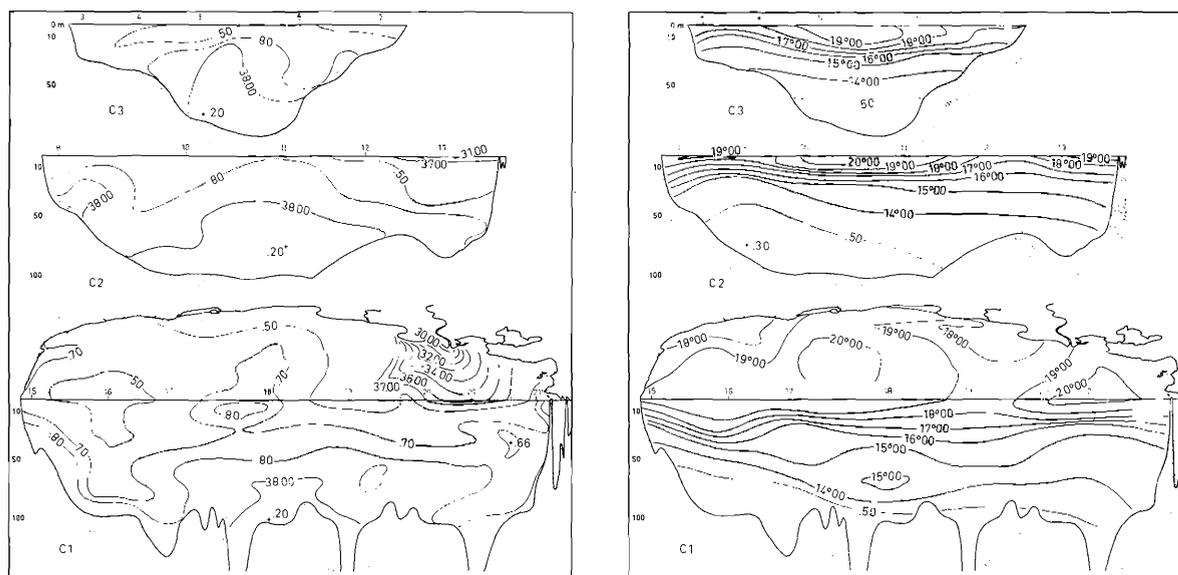


Fig. 9. — Coupes C1, C2, C3 des isohalines et des isothermes du 23 au 26 août 1966 (salinités à gauche, températures à droite).

La coupe du large montre en outre que l'eau diluée continue, comme précédemment, à s'enfoncer principalement dans le secteur occidental mais l'absence de thermocline accentuée devant le lit du Rhône semble indiquer que le courant liguro-provençal tel qu'il a été défini par FURNESTIN et ALLAIN (1962), ALLAIN (1963) prend une part active au mélange dans le secteur oriental. Quant à l'eau du large plus ou moins en divergence, elle occupe toute la partie centrale au-dessus des grands rechs avec une salinité maximale de 38.20 et une température minimale de 13°30.

IV. - Quatrième trimestre 1966.

Du 17 au 28 octobre.

La région marseillaise n'a pas fait l'objet d'observations au cours de cette campagne dont l'étude sera abrégée.

a) Examen des différentes cartes (fig. 10).

Surface. Les eaux chaudes du Rhône sont encore moins abondantes qu'en août (900 m³/s) et la salinité minimale, observée devant le delta, est de 35,53. Les eaux les plus diluées (35,53 à 37,50) se localisent sur la ceinture côtière de l'embouchure du Rhône à Leucate et les isohalines de 37,50 à 37,90

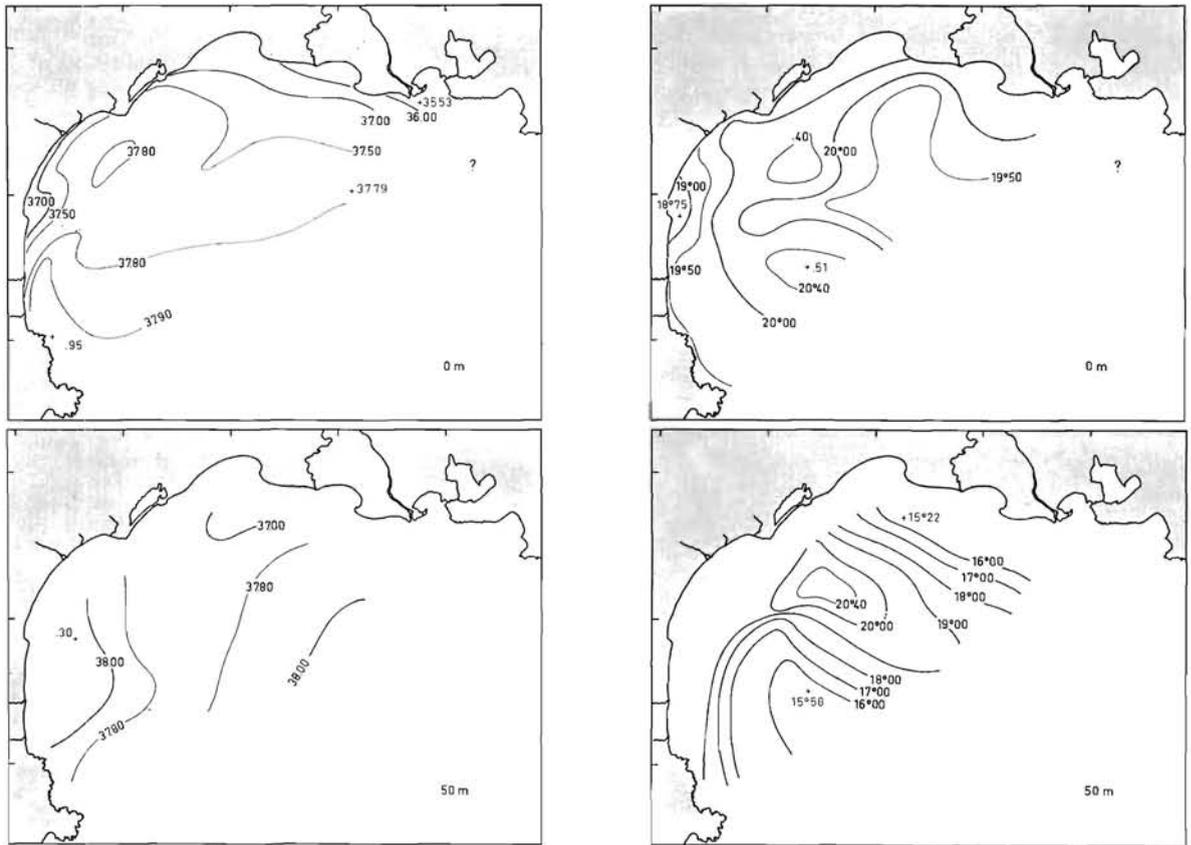


FIG 10. — Cartes des isohalines et des isothermes du 17 au 28 octobre 1966 (salinités à gauche, températures à droite).

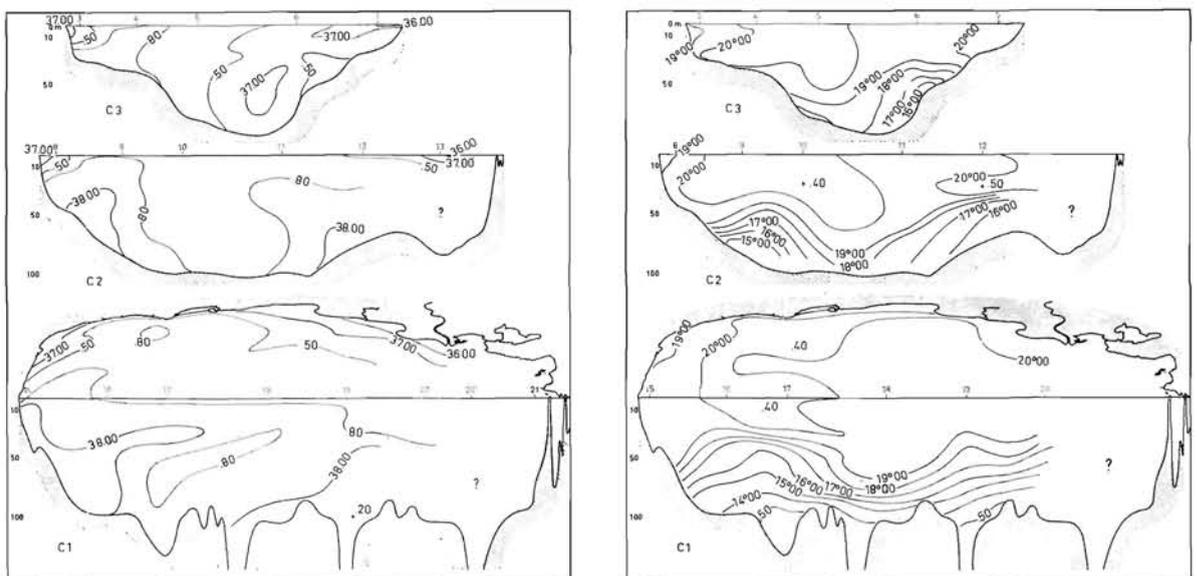


FIG. 11. — Coupes C1, C2, C3 des isohalines et des isothermes du 17 au 28 octobre 1966 (salinités à gauche, températures à droite).

limitent le mouvement des eaux d'influence fluviale qui, depuis la Camargue, s'écoulent en direction du cap de Creux. Les températures montrent que les eaux diluées côtières sont relativement froides à l'ouest (minimum 18°75), alors que les plus chaudes se trouvent dans l'axe de l'épanchement rhodanien en mer (19°50 à 20°40).

L'eau du large qui se présente avec une salinité maximale de 37.90 et une température de 20°50 dans le secteur sud-est et de 19°50 au sud du delta exerce une poussée, vers le secteur d'Agde, à laquelle on doit attribuer le réchauffement de toute la zone côtière septentrionale.

Les niveaux de 5 et de 25 m qui ne présentent pas de différence marquée avec la surface ne seront pas présentés ici.

Niveau de 50 m. Le lobe d'eau d'influence rhodanienne, qui se déploie vers le large entre le golfe d'Aigues-Mortes et Agde (37.00 à 37.80), conserve les températures élevées acquises en surface (18 à 20°40). L'eau de plus forte salinité (38.00 à 38.30) et de basses températures (15°22 à 16°00) se manifeste dans le sud du delta et dans le secteur du Roussillon.

b) Etude des coupes (fig. 11).

L'eau la plus salée et la plus froide du large (38.20 et 13°50) se présente au-dessus des rechs de Nîmes et de Montpellier. Un lobe de même origine, moins salé (38.00), vient buter par ailleurs contre le cap de Creux et s'avance le long de la côte du Roussillon entre 0 et 100 m. L'eau diluée de mélange n'occupe ici les niveaux profonds qu'au centre de la coupe, entre les deux masses du large. Sa salinité atteint 37.80 dans la partie sud et une température relativement élevée (20°00 à 15°00) jusqu'à une profondeur de 100 m. Le « lit » du courant côtier du Languedoc est réduit dans la coupe intermédiaire, à une profondeur d'environ 20 m.

Du 7 au 27 décembre.

a) Examen des différentes cartes (fig. 12).

Surface. Le Rhône est en crue (débit : 2 220 m³/s) ainsi d'ailleurs que les fleuves à régime torrentiel du Languedoc. Il s'ensuit une importante extension des eaux diluées d'influence fluviale devant le delta et dans le secteur languedocien (32.68 à 37.90), jusqu'au-dessus des fonds de 100 m. On constate cependant une poussée de l'eau du large très mélangée (maximum 38.04) jusqu'au golfe d'Aigues-Mortes (37.90). Les eaux directement influencées par le Rhône sont très froides : 8°00 devant le delta. Celles du secteur languedocien atteignent 12°20 tandis que celles du large ont une température maximale de 13°50. On note peu de différence à 10 m où l'eau du large prend cependant un peu plus d'importance, empiétant sur les zones d'eau diluée.

Niveau de 25 m. Les eaux diluées et froides (minimum 37.90 et 11°64) occupent encore presque toute la zone côtière. Par ailleurs l'abaissement de la salinité (37.63) dans le secteur du Planier semble impliquer une influence du courant liguro-provençal plutôt qu'un déplacement de l'eau d'influence fluviale. L'avancée du large se précise au centre du golfe, au-dessus des fonds de 100 m, avec une salinité maximale de 38.06 correspondant à une température de 13°50. Une lentille salée fait son apparition vers Leucate (38.04), qui pourrait être l'indice d'une remontée de la profondeur.

Niveau de 50 m. L'eau de plus faible salinité (37.61 à 37.90) et de plus basse température (12°42) s'étend ici à toute la partie occidentale du golfe. Une lentille d'origine différente (37.86) subsiste au large du golfe de Fos, cependant que la région du delta est maintenant occupée par une eau plus salée (38.19), d'une température de 13°00, qui correspond à celle qui se rencontre dans le secteur le plus méridional.

Niveau de 75 m. On se rend compte ici que les eaux diluées (37.79 à 37.90) gardent leur importance en s'étalant à nouveau devant le delta. Les salinités supérieures à 38.00 n'interviennent plus que dans les deux secteurs du cap Béar et du Planier. Cette disposition implique un enfouissement des eaux froides et peu salées qui passent partiellement sous les eaux du large, ces dernières se présentant sous forme de lobes intermédiaires.

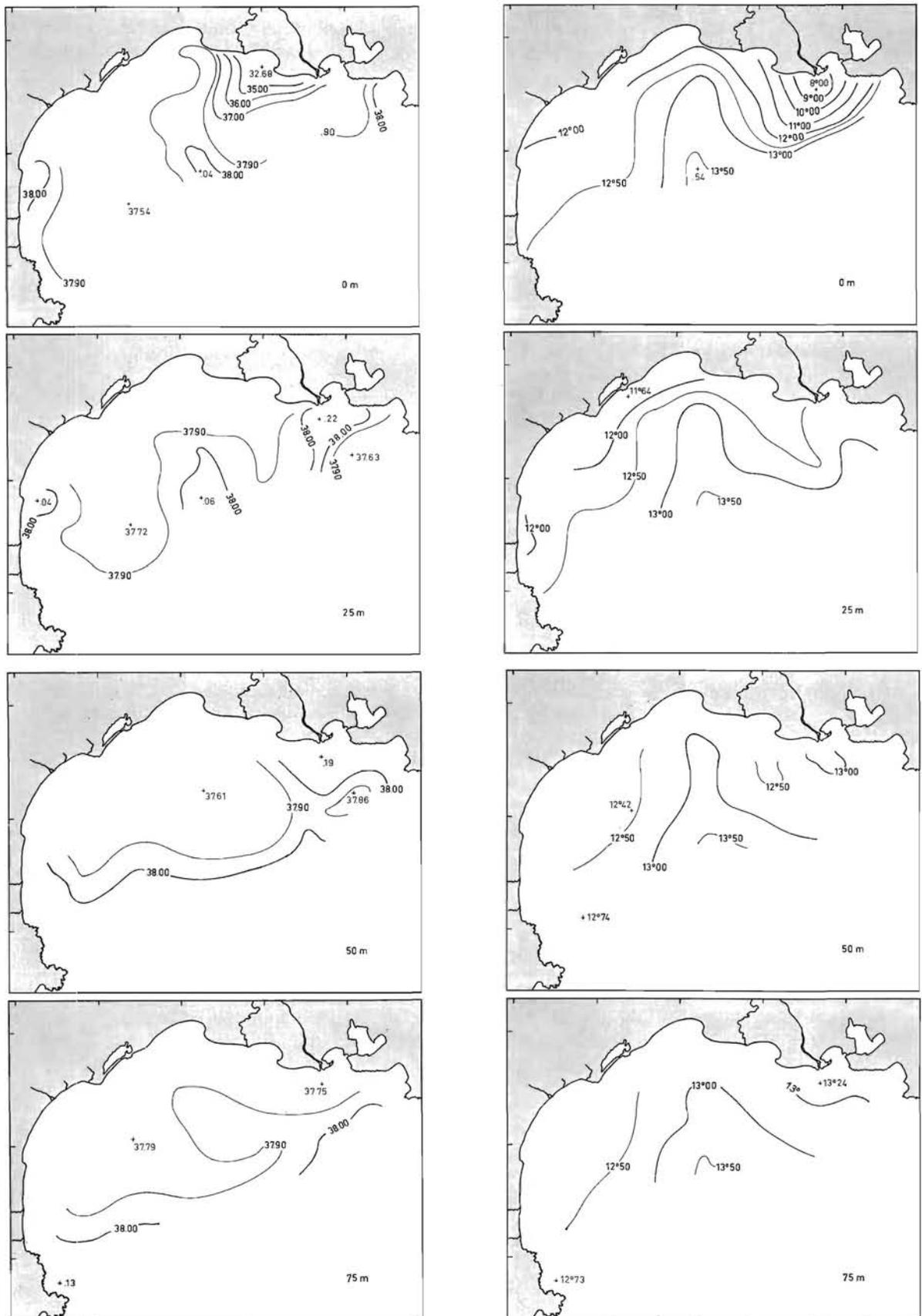


FIG. 12. — Cartes des isohalines et des isothermes du 7 au 27 décembre 1966 (salinités à gauche, températures à droite).

b) Etude des coupes (fig. 13).

On constate sur les trois coupes principales que les eaux diluées de salinité inférieure à 38.00 occupent presque toute la couche au-dessus du plateau où elles se mélangent plus ou moins à l'eau du courant liguro-provençal. Leur lobe principal, déterminé par l'apport du Rhône, se situe devant la

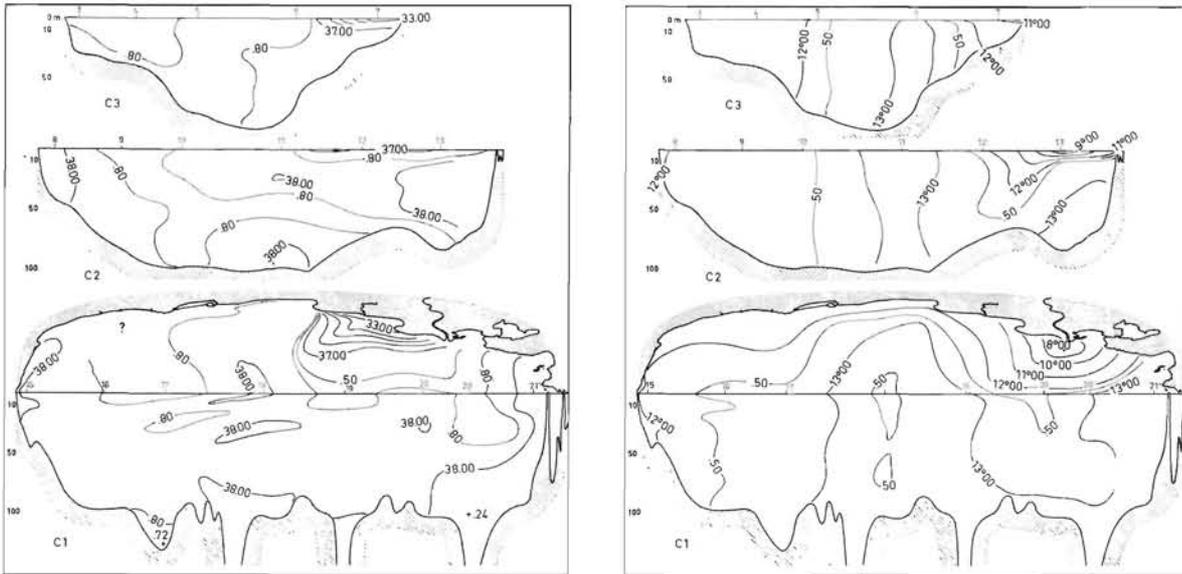


FIG. 13. — Coupes C1, C2, C3 des isohalines et des isothermes du 7 au 27 décembre 1966 (salinités à gauche, températures à droite).

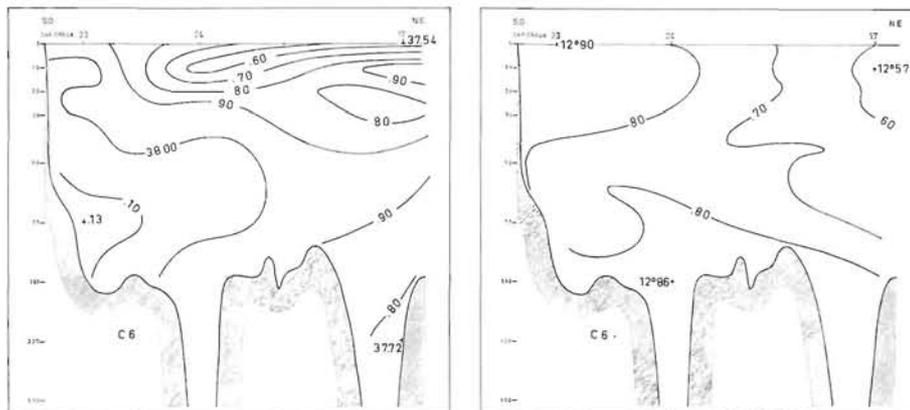


FIG. 14. — Coupes C6 des isohalines et des isothermes du 7 au 27 décembre 1966 (salinités à gauche, températures à droite).

Camargue. Quant à l'eau du large, elle progresse vers le nord—nord-ouest à partir des principaux rechs, où sa salinité maximale est de 38.24; elle se présente jusqu'à la surface dans le secteur marseillais. Des digitations intermédiaires apparaissent cependant entre la surface et 50 m selon les cas, au sud de l'embouchure du Rhône, dans le centre du golfe ainsi qu'en bordure du Roussillon. Pour préciser cette dernière poussée du large nous présentons la coupe C6 partant du cap de Creux en direction du nord-est (fig. 14). On voit ainsi que cette digitation prend naissance plus au sud, à partir du niveau de 100 m et qu'elle est en divergence dans ce secteur. Ces eaux du large ont des températures de 12°85 à 13°00 montrant qu'elles n'ont pas encore été influencées par le refroidissement récent de la zone côtière.

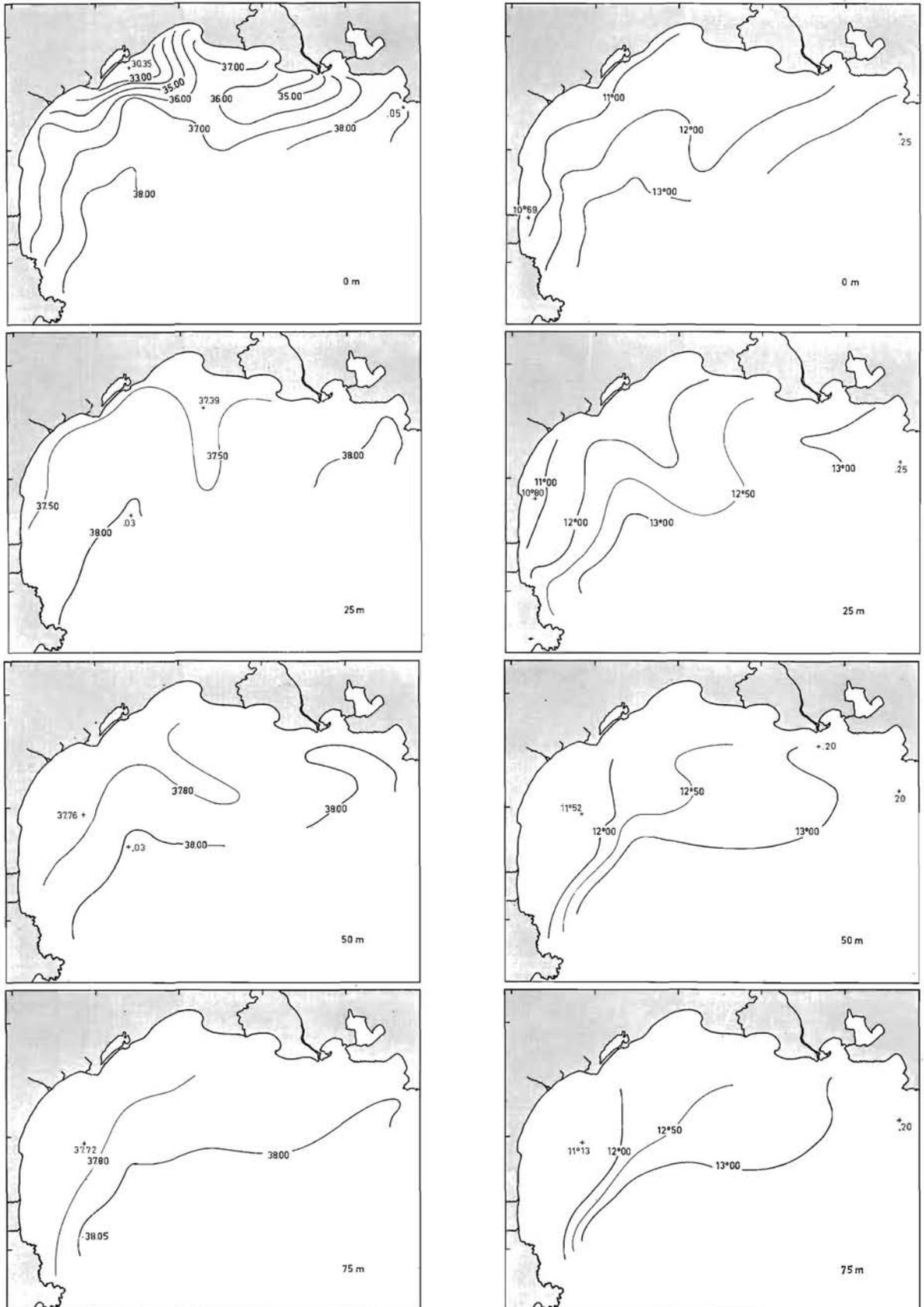


FIG. 16. — Cartes des isohalines et des isothermes du 1^{er} au 10 février 1967 (salinités à gauche, températures à droite).

Il apparaît donc que pendant cette période l'extension des eaux diluées prédomine sur les avancées du large, d'une part parce que le débit des fleuves est plus important et d'autre part parce que

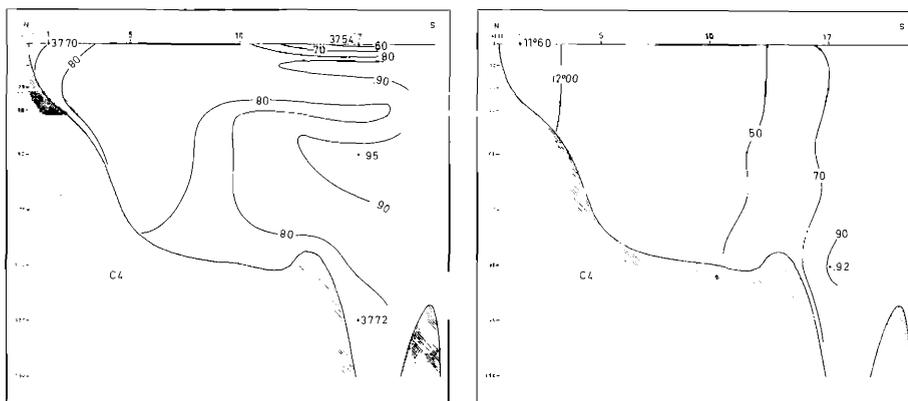


FIG. 15. — Coupes C4 des isohalines et des isothermes du 7 au 27 décembre 1966 (salinités à gauche, températures à droite).

les basses températures entraînent ces eaux diluées vers la profondeur. Pour illustrer cet enfoncement d'eau diluée nous présentons la coupe C4 faite à partir de Sète vers le sud (fig. 15).

DEUXIEME PARTIE

ANALYSE DE LA SITUATION HYDROLOGIQUE EN 1967

I. - Premier trimestre 1967.

Du 1^{er} au 10 février.

a) Examen des différentes cartes (fig. 16).

Surface. On observe une assez bonne concordance entre la température et la salinité. Le débit du Rhône est peu important pour la saison : 1 530 m³/s. Les eaux très diluées limitées par l'isohaline de 37.00 et par l'isotherme de 12°00 occupent toute la bordure littorale du Rhône à Port-Vendres. Elles présentent des valeurs minimales inférieures à 35.00 devant le delta et à 31.00 devant Sète. Le mouvement vers l'est de ces eaux diluées est cependant perturbé par une avancée d'eau de mélange entre Beauduc et l'Espiguette. L'eau plus salée et plus chaude du large (maxima 38.05 et 13°20) exerce une poussée dans le secteur de Sète où elle renforce le gradient des salinités. On la retrouve également au banc du Planier. On notera que les vents de nord-est ont contribué à un entraînement de l'eau superficielle dans le secteur côtier situé entre Sète et le cap Béar. La présence d'une eau très diluée devant Sète traduit sans doute un apport antérieur du Rhône dont le débit peut varier rapidement.

Niveau de 25 m. Les eaux sont déjà très mélangées à ce niveau et la situation a sensiblement évolué depuis la surface. En effet, les eaux diluées (37.39-37.50) et froides (10°80-12°00), encore présentes sur la bordure littorale occidentale, s'avancent maintenant vers le centre du golfe, scindant en deux parties l'eau du large qui progresse en direction de Sète et de Marseille avec une salinité et une température maximales de 38.03 et 13°25.

Niveau de 50 m. Comme pendant la campagne précédente, les eaux diluées et froides (minima 37.76 et 11°52) glissent vers l'ouest puis vers le sud pour amorcer leur plongée dans le secteur du

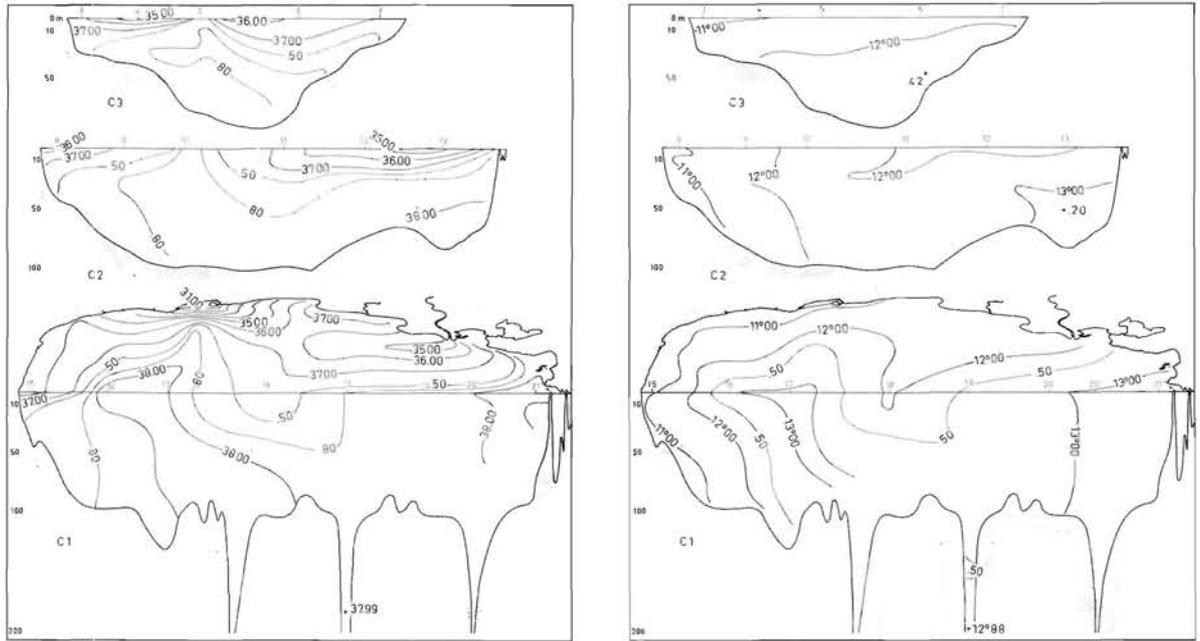


FIG. 17. — Coupes C1, C2, C3 des isohalines et des isothermes du 1^{er} au 10 février 1967 (salinités à gauche, températures à droite).

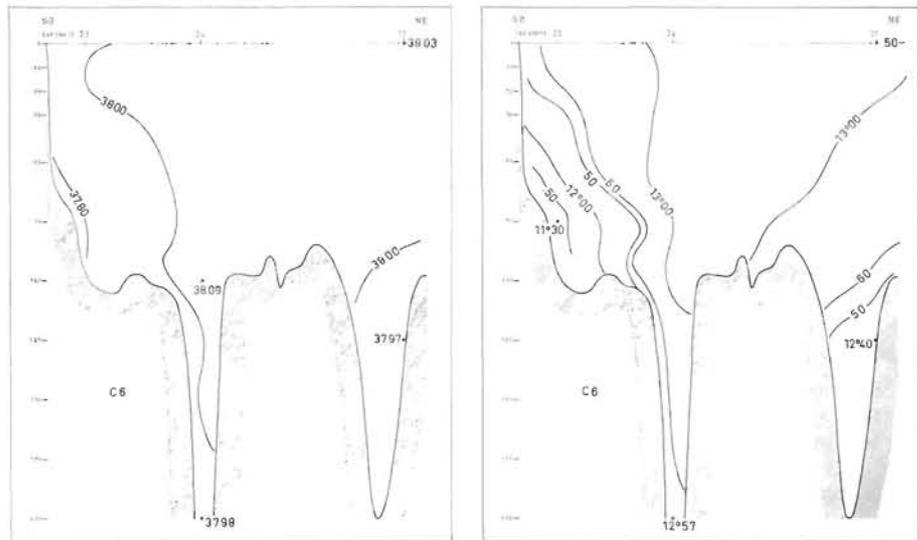


FIG. 18. — Coupes C6 des isohalines et des isothermes du 1^{er} au 10 février 1967 (salinités à gauche, températures à droite).

cap Béar tandis que les eaux du large (maxima 38.00 et 13°20) effectuent un mouvement de compensation dans l'est du golfe.

Niveau de 75 m. Le glissement des eaux diluées vers le sud occidental s'accroît à cette profondeur où les plus basses valeurs (37.72 et 11°13) sont rencontrées dans le secteur du Roussillon.

b) Etude des coupes (fig. 17).

Le fait marquant qui ressort de cette campagne du mois de février est la plongée importante des eaux diluées d'influence fluviale contre le versant du Roussillon, rappelant le phénomène de cascading décrit par BOUGIS et RUIVO (1954) dans le même secteur. Cet enfoncement est plus marqué qu'en décembre, d'une part par la disposition presque verticale des isothermes de 11°00 à 13°00 jusqu'au fond dans le tiers occidental de la coupe et d'autre part par la présence d'eau à 37.80-37.90 jusqu'aux fonds de 100 m. Si l'on se rapporte à la coupe C6 (fig. 18) partant du cap Creux vers le nord-est on constate que cette plongée intéresse la couche plus profonde des rechs; en effet, on observe encore à 200 m une salinité de 37.98 correspondant à une température de 12°57. On peut donc suggérer que cette eau, qui se mélange progressivement à celle des couches sous-jacentes, participe à la formation de l'eau profonde du bassin.

L'enfoncement des eaux diluées froides intéresse d'ailleurs la partie centrale du talus où elles s'accumulent, comme le montrent les valeurs de 37.99 et 12°88 que l'on rencontre à la profondeur de 200 m dans le rech de Nîmes. Leur mouvement de plongée se trouve dévié vers la droite du delta sous l'effet de la poussée de l'eau du large qui est présente dans le secteur oriental.

Cette dernière formation prend plus d'importance qu'en décembre puisque le dôme de salinité supérieure à 38.00 qui se développe en divergence au-dessus du rech de Montpellier atteint maintenant la surface sans être scindé. On remarquera que cette eau plus salée s'est refroidie par rapport à décembre et tend maintenant vers les caractères de l'eau d'hiver tels qu'ils sont définis dans le secteur provençal par les travaux antérieurs.

II. - Deuxième trimestre 1967.

Du 8 au 11 mai 1967.

a) Examen des différentes cartes (fig. 19).

Surface. Les eaux d'influence rhodanienne - le débit du fleuve est maintenant de 1 610 m³/s - auxquelles s'ajoutent les apports fluviaux du Languedoc, forment deux lobes, l'un en face du delta, le second au sud des fleuves languedociens. Dans les deux cas, elles sont relativement chaudes (15°50 à 16°50). Les deux lobes sont séparés par une eau de mélange (37.84 à 37.50 et 14°30 à 15°00) qui s'avance jusqu'à la côte entre le golfe d'Aigues-Mortes et Agde. Ce sont les isohalines qui mettent le plus en valeur cette coupure de la ceinture littorale.

On notera que les vents dominants qui soufflaient alors de l'est ont sans doute favorisé cet apport du large vers la côte.

Niveau de 10 m. A ce niveau, les eaux les plus dessalées se sont concentrées dans le secteur compris entre Beauduc et Sète et tout le reste du plateau est occupé par des eaux de mélange, d'une salinité inférieure à 37.90 montrant que l'influence fluviale est importante sur l'ensemble du golfe. L'eau du large se manifeste cependant par une forte avancée comportant des températures supérieures à 14°00. Il y a donc une certaine inversion dans le système thermique depuis la surface indiquant que le réchauffement n'est encore que très superficiel puisque les couches sous-jacentes d'eaux diluées n'ont qu'une température de 13°33, peu supérieure à celle observée en période hivernale.

Niveau de 30 m. Ce sont toujours des eaux de mélange d'une salinité de 37.70 à 37.90 qui occupent le plateau. Les températures montrent maintenant que les nappes les plus froides (13°12 à 13°20), reliquat des conditions hivernales, intéressent le secteur languedocien et le Roussillon.

L'eau du secteur provençal se différencie des précédentes par une température plus élevée qui atteint 14°13 dans le secteur de Marseille. Elle s'étale vers l'ouest au-dessus des fonds de 100 m.

Niveau de 50 m. A cette profondeur on constate toujours une certaine homogénéité des eaux diluées. Seul le secteur languedocien est intéressé par une eau de salinité supérieure à 38.00 et présente une température minimale de 12°56, valeurs qui semblent annoncer une certaine remontée de la nappe sous-jacente.

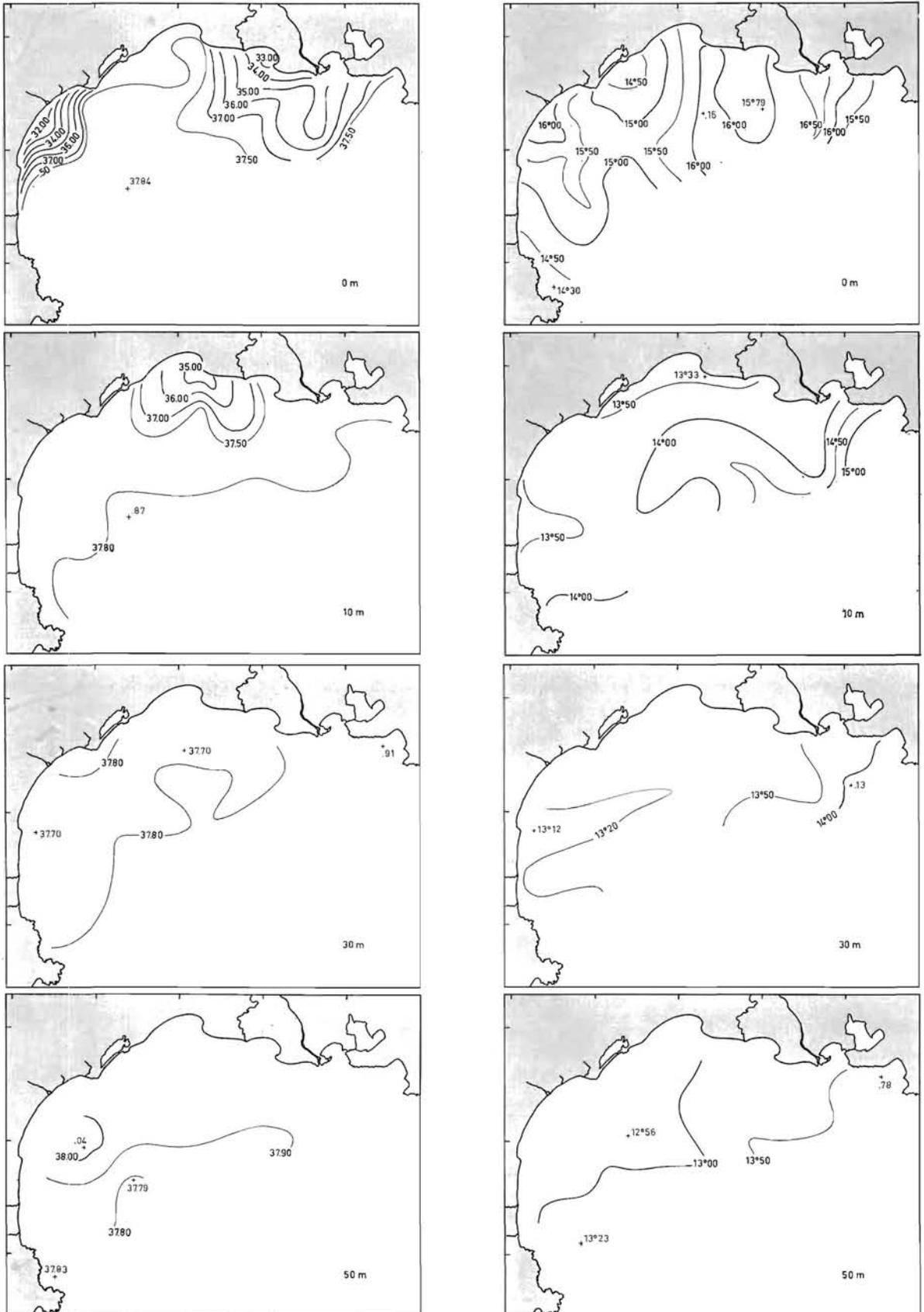


FIG. 19. — Cartes des isohalines et des isothermes du 8 au 11 mai 1967 (salinités à gauche, températures à droite).

Cette remontée se précise à 75 m (niveau que nous ne présentons pas ici) où l'isohaline de 38.00 et l'isotherme de 13°00 apparaissent dans le secteur compris entre Beauduc et Béar, mais la présence d'eau plus diluée au large peut être aussi l'indice de l'influence du courant liguro-provençal dans ce secteur.

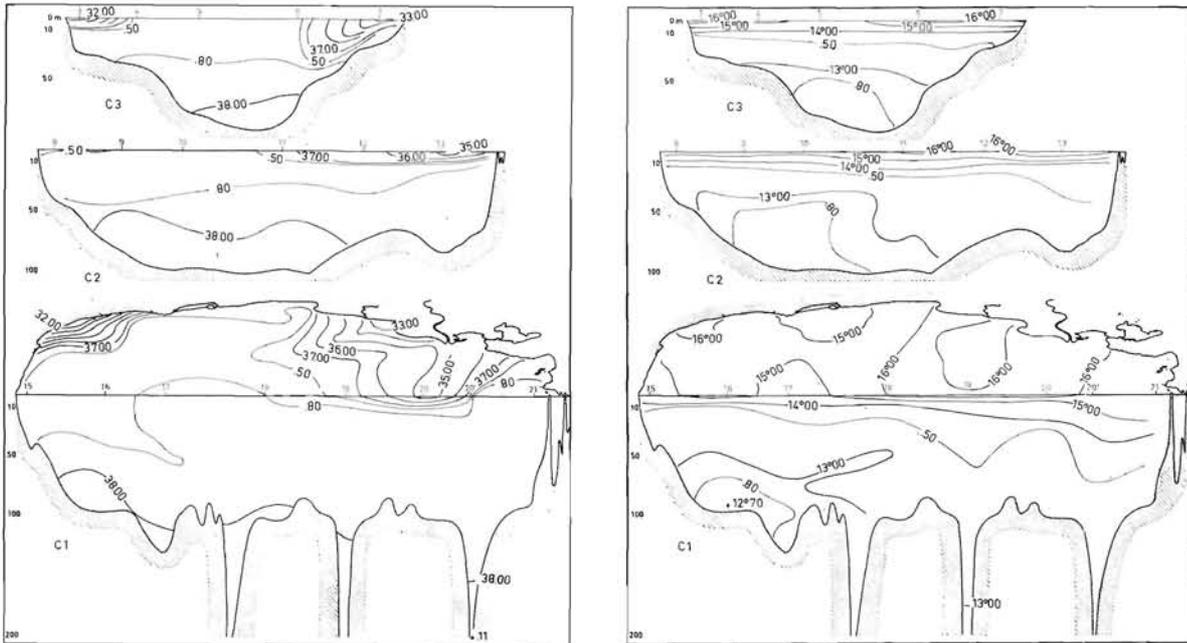


FIG. 20. — Coupes C1, C2, C3 des isohalines et des isothermes du 8 au 11 mai 1967 (salinités à gauche, températures à droite).

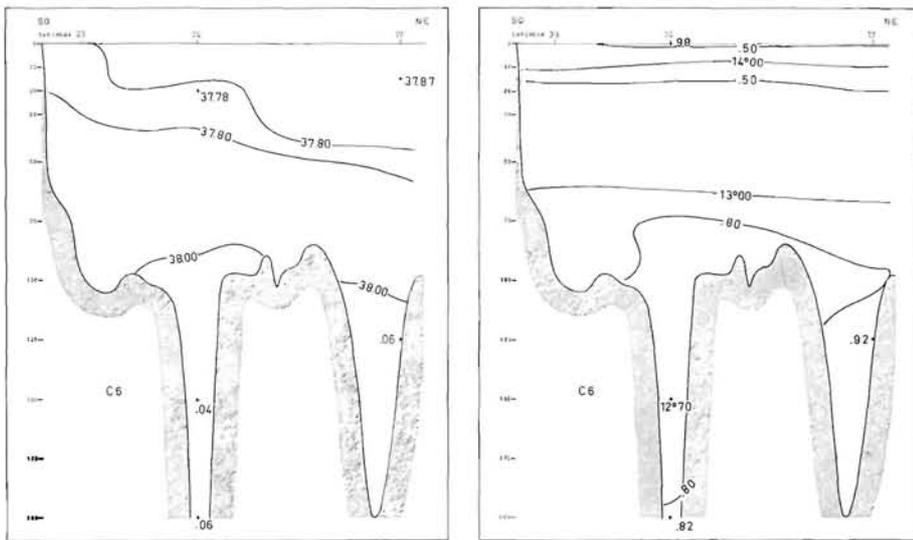


FIG. 21. — Coupes C6 des isohalines et des isothermes du 8 au 11 mai 1967 (salinités à gauche, températures à droite).

b) Etude des coupes (fig. 20).

Pendant cette période, les eaux très diluées du Rhône qui s'enfoncent devant le delta jusqu'à la profondeur d'une cinquantaine de mètres, n'occupent dans la coupe la plus méridionale que les vingt premiers mètres. Tout le reste de la région concernée est occupé jusqu'aux fonds de 100 m

par une eau sensiblement homogène, résultat des mélanges de l'hiver, d'une salinité de 37.80 à 38.00 et d'une température de 13°00 à 14°00. Cependant une légère plongée se remarque dans le secteur occidental jusqu'à la profondeur de 50 m.

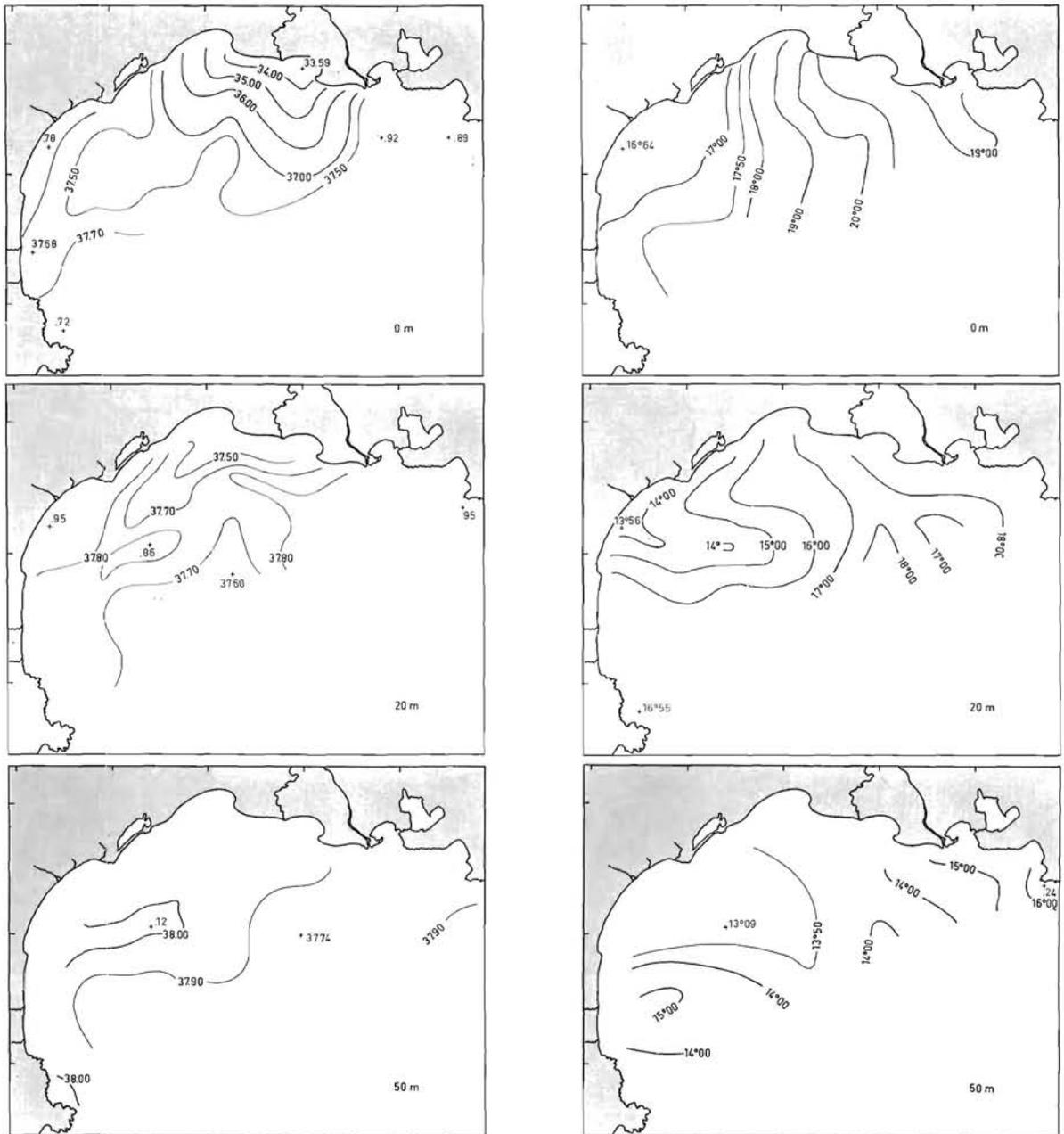


FIG. 22. — Cartes des isohalines et des isothermes du 18 au 29 juin 1967
(salinités à gauche, températures à droite)

On voit aussi que, par compensation, l'eau de la profondeur, de salinité supérieure à 38.00, présente dans les rechs au-dessous des fonds de 100 m, a tendance à remonter sur le versant du Roussillon. Cette eau profonde est froide (12°70 à 13°00); elle a été formée pendant l'hiver sur

place ou dans un secteur proche du golfe. La coupe C6 (fig. 21) qui se dirige du cap Creux vers l'est-nord-est montre que cette eau d'hiver est stabilisée à partir de 100 m dans les rechs de Montpellier et de Narbonne, ainsi que l'indique la stratification régulière des isothermes et des isohalines.

On remarque par ailleurs que le minimum thermique est relevé à 150 m, niveau moyen de la formation désignée par FURNESTIN en 1960 sous le nom « d'eau septentrionale supérieure ». La relative dilution de cette eau à cette profondeur montre en outre que l'influence des eaux fluviales et du courant liguro-provençal est encore marquée à ce niveau.

Du 18 au 29 juin.

a) Examen des différentes cartes (fig. 22).

Surface. Le débit du Rhône est faible à cette époque de l'année (1 400 m³/s), c'est pourquoi les eaux issues de ce fleuve sont rapidement rejetées vers l'ouest où elles se développent, suivant des isohalines concentriques, jusqu'à l'embouchure du Tech. Leur taux de salinité varie de 33.59 à 37.68 et leur température, relativement élevée, se situe entre 20°00 et 17°50. Ce lobe se trouve sensiblement écarté de la côte languedocienne par un upwelling qui ramène, dans cette zone côtière, une eau plus salée (37.78) et froide (16°64 à 17°00) de la sub-surface.

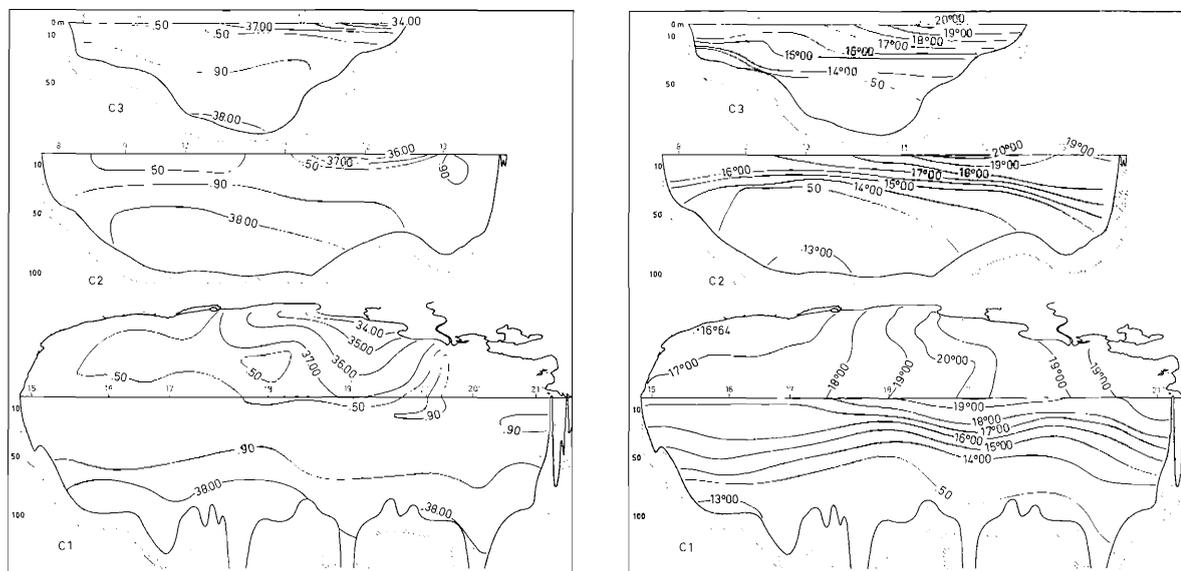


FIG. 23. — Coupes C1, C2, C3 des isohalines et des isothermes du 18 au 29 juin 1967 (salinités à gauche, températures à droite)

Niveau de 20 m. L'eau diluée d'influence fluviale (37.50 à 37.70) s'étale toujours dans le même secteur et l'upwelling de la bordure languedocienne est maintenant mieux caractérisé par une salinité de 37.95 et un lobe thermique de 13°56 à 16°00 qui s'étale vers le centre du golfe.

Niveau de 50 m. Ici les salinités supérieures à 38.00 auxquelles correspondent des basses températures de caractère hivernal (minimum 13°09) n'apparaissent que dans la zone d'upwelling du secteur languedocien. Partout ailleurs les eaux encore légèrement diluées (37.74 à 38.00) ont une température nettement plus élevée, maximale dans le secteur marseillais (16°24).

b) Etude des coupes (fig. 23).

A cette période de l'été on constate une stratification des courbes qui indique une relative stabilité thermohaline. Par suite du débit relativement faible du Rhône et des fleuves côtiers, le mélan-

ge se fait régulièrement de la surface au fond. Cependant les eaux conservent depuis la sub-surface jusque vers 75-100 m. une salinité de 37.50 à 38.00 et une température de 20°00 à 13°50 montrant l'influence des fleuves et du courant liguro-provençal. La coupe C5 (fig. 24) nous montre par

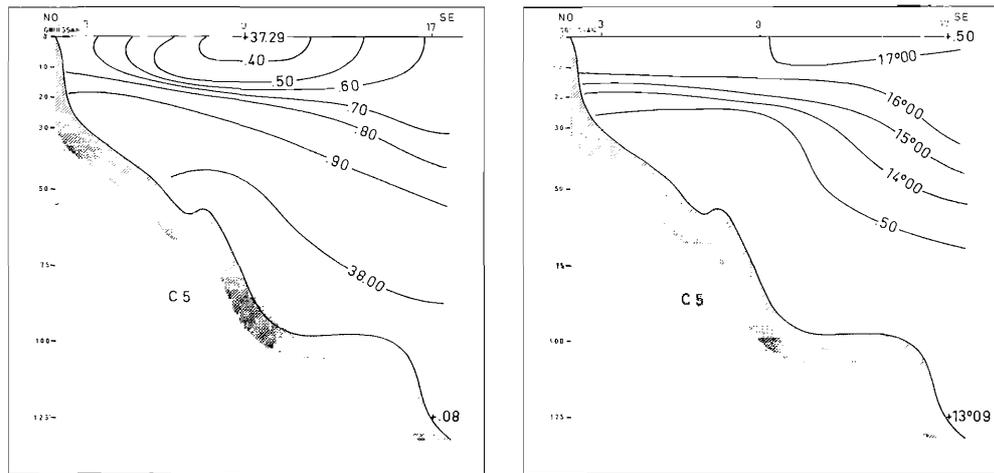


FIG. 24. — Coupes C5 des isohalines et des isothermes du 18 au 29 juin 1967 (salinités à gauche, températures à droite)

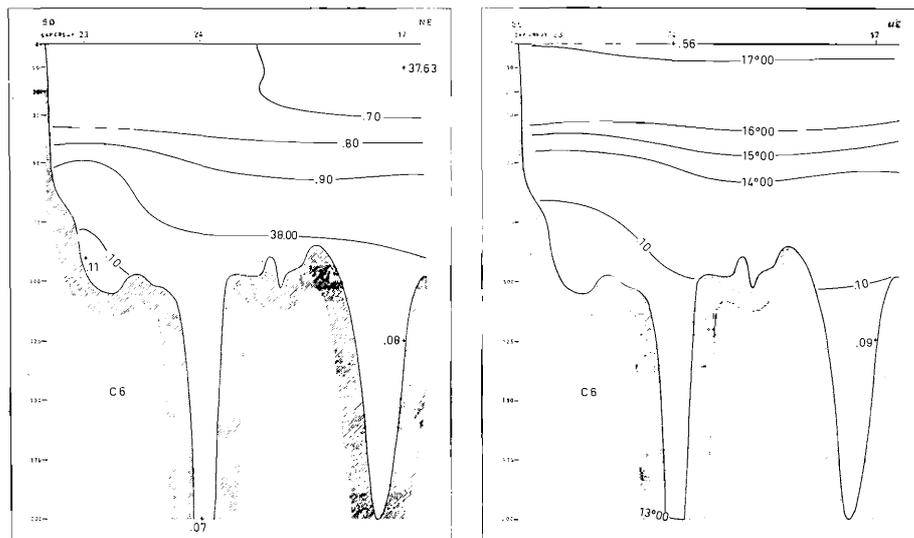


FIG. 25. — Coupes C6 des isohalines et des isothermes du 18 au 29 juin 1967 (salinités à gauche, températures à droite)

ailleurs que les eaux profondes à salinité supérieure à 38.00 ont tendance à remonter en déterminant le long du littoral languedocien un léger upwelling qui ramène en surface les eaux à 37.78. La coupe C6 (fig. 25) indique enfin que l'eau de salinité supérieure à 38.00 a maintenant acquis une température supérieure à 13° et que les plus basses températures de l'hiver se sont propagées à la couche plus profonde et à celle qui s'écoule vers le sud.

III. - Troisième trimestre 1967.

Du 24 au 29 août.

a) Examen des différentes cartes (fig. 26).

Surface. Au mois d'août 1967 la situation est très comparable à celle que l'on trouvait en juin 1957 dans le golfe du Lion (FURNESTIN, 1960).

En effet, bien que le débit du Rhône soit très faible (990 m³/s), les isohalines concentriques se développent devant le delta et s'étendent en direction du sud-ouest, au moins jusqu'au-dessus des fonds de 100 m. Il est probable que, comme en 1957, cette avancée s'étend vers le large SO, jusqu'au cap de Creux où elle s'incurve vers le nord comme le montre la présence d'un lobe à faible salinité devant la côte du Roussillon jusqu'au large de Leucate. Nos observations ne permettent pas de figurer la continuité du phénomène mais la comparaison avec la carte de 5 m de la campagne de 1957 met en évidence une analogie certaine entre les deux situations. Cette eau rhodanienne à température élevée (21°03) et à salinité faible près du delta, se charge en sels au cours de son cheminement; elle atteint 37.80 au large de Leucate. Simultanément, elle se réchauffe au contact des eaux du large qui occupent le sud-est du golfe et dont la température maximale est de 24°00 devant l'île du Planier. Ces eaux du large réapparaissent sous forme de divergence dans le secteur languedocien où un lobe dirigé vers le sud présente des valeurs maximales de 37.88 et de 21°31, interrompant ainsi l'évolution du contre-courant languedocien qui s'arrête au large de Leucate. Une telle divergence, bien que moins apparente, se remarquait aussi en été 1957 devant Sète, toujours d'après FURNESTIN (1960).

Niveau de 20 m. A 20 m il n'y a plus de continuité apparente dans le « courant du Rhône » et ce sont maintenant deux masses isolées, chaudes (20°40 à 21°50) et dessalées (37.75), qui représentent l'accumulation de ses eaux dans le centre du golfe et dans le secteur du Roussillon.

La divergence languedocienne, plus marquée par les isothermes que par les isohalines, a pris une importante extension et s'étale maintenant depuis le Languedoc jusqu'à Beauduc. Elle présente une salinité maximale de 37.89 et une température minimale de 15°24. On peut cependant considérer qu'à ce niveau toutes les eaux du golfe sont encore diluées, même dans le secteur marseillais où les salinités plus faibles (37.87), qui ont remplacé celles plus fortes de la surface, représentent sans doute le minimum halin du courant liguro-provençal.

Dans ces conditions, on peut suggérer que l'activité du « courant du Rhône » dans la couche très superficielle ne serait pas le fait d'un débit important mais surtout d'un étalement, dû à un réchauffement intensif de la surface et à la formation d'une thermocline très accusée sur laquelle glissent rapidement les eaux plus légères issues du fleuve.

Niveau de 30 m. Il est encore occupé par des eaux diluées. Mais on remarque que les plus basses salinités (minimum 37.76), auxquelles correspond la température élevée de 20°00, se situent uniquement dans le secteur du Roussillon à l'emplacement du « contre-courant du Languedoc ». C'est donc dans ce secteur que s'effectue le principal enfoncement des eaux rhodaniennes. L'action du courant liguro-provençal est marquée par les températures relativement élevées du secteur marseillais (17°94) et l'extension du lobe à 37.90, cependant que la divergence subsistant dans le secteur nord-ouest n'est plus marquée que par les températures (minimum 14°19).

Niveau de 50 m. La situation évolue encore au niveau de 50 m où les eaux du large de salinité supérieure à 38.00 et d'une température de 15°87 exercent une poussée devant le delta. Elles ont tendance à se confondre avec celles de la divergence très active du secteur languedocien et du Roussillon (37.97 et 13°62). Du fait de leur remontée, ces dernières repoussent vers le large les eaux plus diluées (37.90).

Au niveau de 75 m, que nous ne présentons pas ici, les eaux du large s'avancent jusqu'au talus, aussi bien au sud de Sète qu'au large de la Camargue. Cette disposition isole les eaux de salinité un peu plus faible (37.96 à 37.98), en plein centre du golfe et contre la côte du Roussillon. Ces eaux légèrement diluées du secteur provençal prennent encore une certaine place dans la partie orientale.

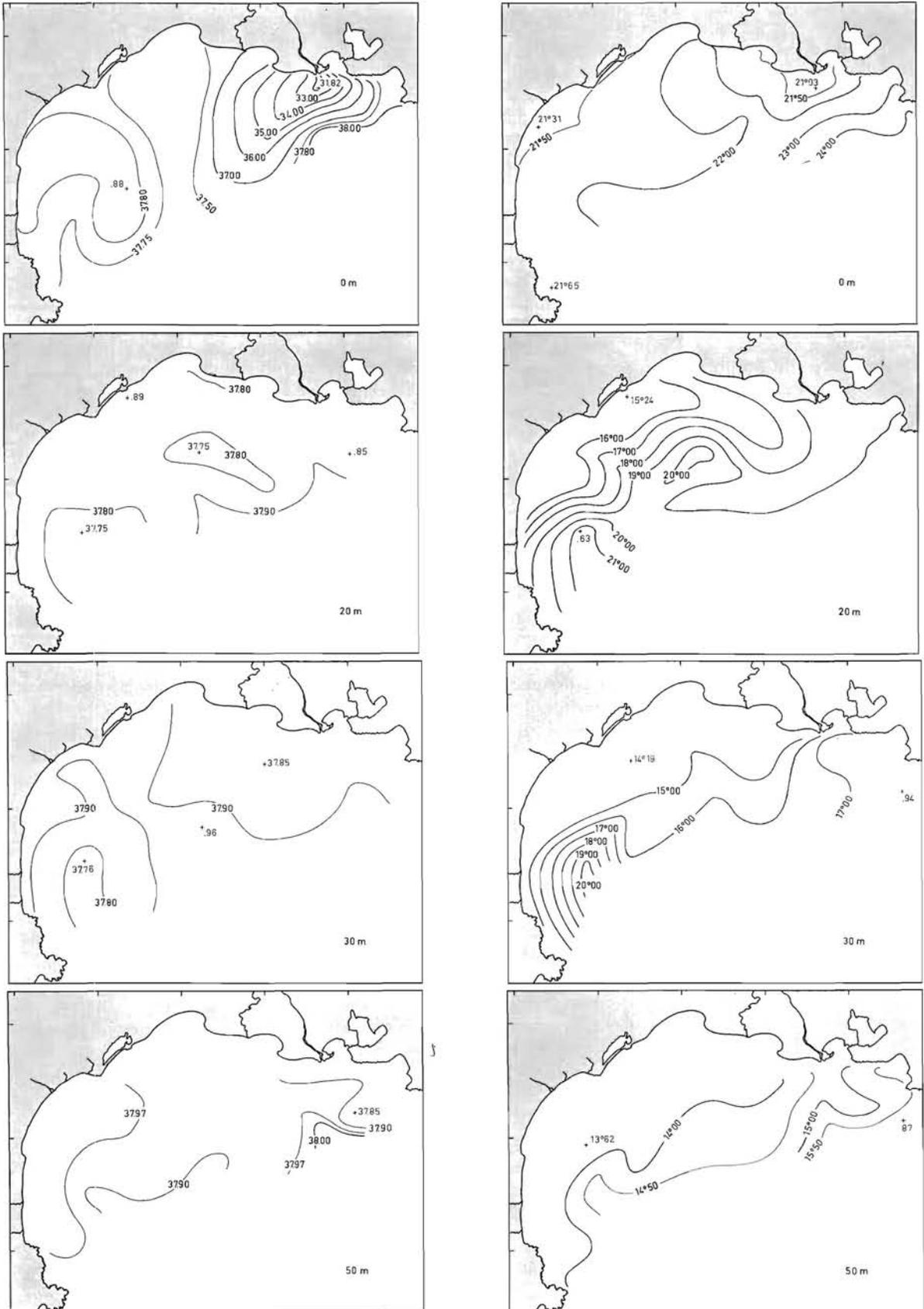


FIG. 26. — Cartes des isohalines et des isothermes du 24 au 29 août 1967
(salinités à gauche, températures à droite)

b) Etude des coupes (fig. 27).

Le « lit » des eaux d'origine rhodanienne est nettement défini dans la couche superficielle des 20 premiers mètres au sud-ouest du delta. Le contre-courant languedocien apparaît dans l'ouest de la coupe méridionale où son influence s'exerce jusqu'à 35 m de profondeur (valeurs de 37.75 à 37.80).

Ainsi que nous l'avons vu par l'étude des cartes, la température des eaux superficielles très chaudes (23°50 à 21°80) détermine, dans son contraste avec l'eau profonde un fort gradient de la thermocline qui se situe à la profondeur de 10 à 40 m entre les isothermes de 21 à 16°.

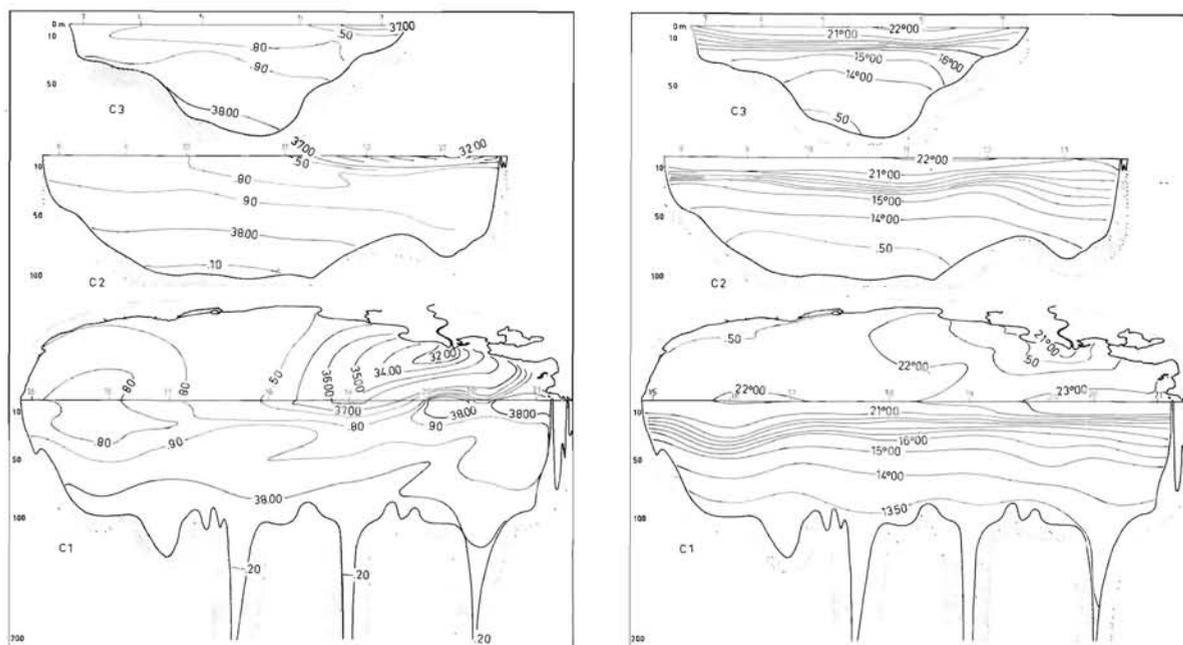


FIG. 27. — Coupes C1, C2, C3 des isohalines et des isothermes du 24 au 29 août 1967 (salinités à gauche, températures à droite)

Au-dessous, la température décroît progressivement jusqu'au fond; elle atteint 13°50 vers 100 m et des valeurs encore plus basses dans les rechs (13°34 à 200 m). Ces basses températures intéressent la couche des eaux de salinité supérieure à 38.00 qui se développent au-dessous de 70 m. On constate cependant un important enfoncement des eaux à 37.90-38.00 dans le secteur oriental. Il convient de rappeler que le courant d'influence atlantique qui longe la côte provençale atteint sans doute cette partie du golfe, comme le montre l'étude de la campagne réalisée à bord du « Président Théodore Tissier » en automne 1958 (FURNESTIN et ALLAIN, 1962). Il est donc probable qu'un certain mélange s'opère dans ce secteur entre les eaux du Rhône et celles de cette formation relativement dessalée.

On notera qu'en août 1966 la présence du contre-courant languedocien coïncidait également avec celle d'une forte thermocline.

IV. - Quatrième trimestre 1967.

Du 14 au 31 décembre 1967.

a) Examen des différentes cartes (fig. 28).

Surface. L'automne et le début de l'hiver 1967 ont été caractérisés par une période de sécheresse et le débit du Rhône, extrêmement faible en octobre (630 m³/s) est resté bas en décembre

(1 200 m³/s). L'influence du fleuve dans la couche superficielle a donc été bien moins importante qu'au cours de nos autres campagnes.

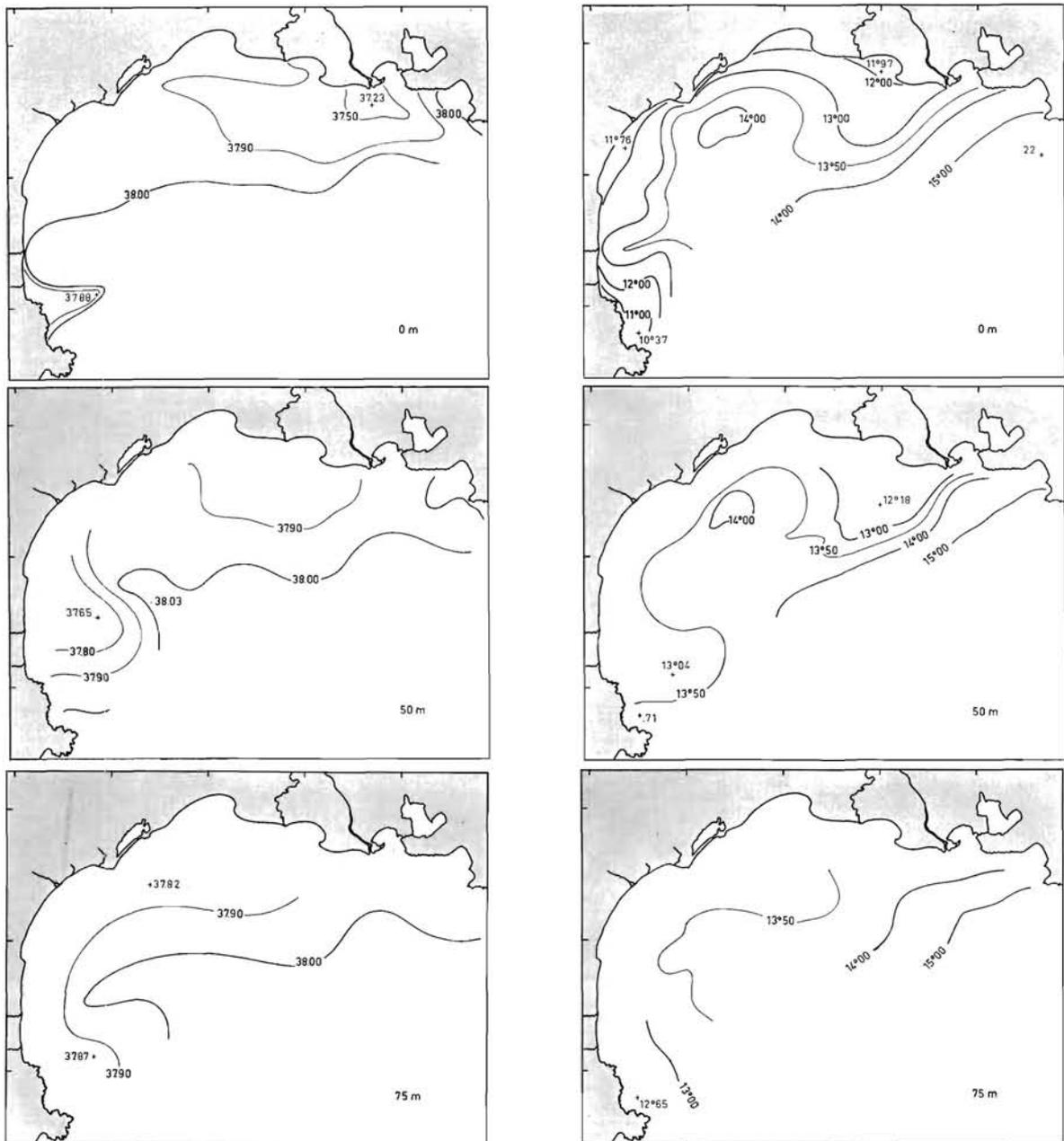


FIG. 28. — Cartes des isohalines et des isothermes du 14 au 31 décembre 1967
(salinités à gauche, températures à droite)

En décembre, la salinité à proximité de l'embouchure est de 37.23 et les eaux du large atteignent largement le plateau ainsi que l'indique le développement de l'isohaline de 38.00 au-dessus de l'isobathe des 100 m. On remarque un net refroidissement côtier avec un minimum de 11°76 devant le Languedoc et de 11°97 devant le golfe des Saintes-Maries; les eaux du large conservent encore

une température de $15^{\circ}22$ à $13^{\circ}50$. L'isotherme de $13^{\circ}50$ pénètre dans le nord du golfe jusqu'à Sète. Les eaux d'influence fluviale sont cependant légèrement rejetées sur la côte du Roussillon où l'on observe un minimum thermohalin (37.88 et $10^{\circ}37$).

Aucun changement n'intervient au niveau de 10 m non plus d'ailleurs qu'à celui de 20 m. C'est à peine si l'on constate une légère augmentation de la salinité et un faible réchauffement des eaux côtières à 30 m.

Niveau de 50 m. A cette profondeur, les eaux du large plus salées (38.03) ont progressé vers Sète tandis que les eaux les plus dessalées du secteur occidental (37.65) se localisent maintenant à la région comprise entre le Tech et Leucate; leur température varie de $13^{\circ}04$ à $13^{\circ}50$.

Niveau de 75 m. Au niveau de 75 m on observe un gauchissement du lobe d'eau du large relativement chaude et salée qui, devant le Tech, divise les eaux à peine diluées du secteur côtier qui ont acquis une salinité de $37.82-37.87$. Une basse température de $12^{\circ}65$ apparaît dans le secteur du cap Béar; elle semble être le reliquat d'une plongée antérieure des eaux superficielles. On peut constater qu'il existe à cette époque une certaine homogénéité verticale.

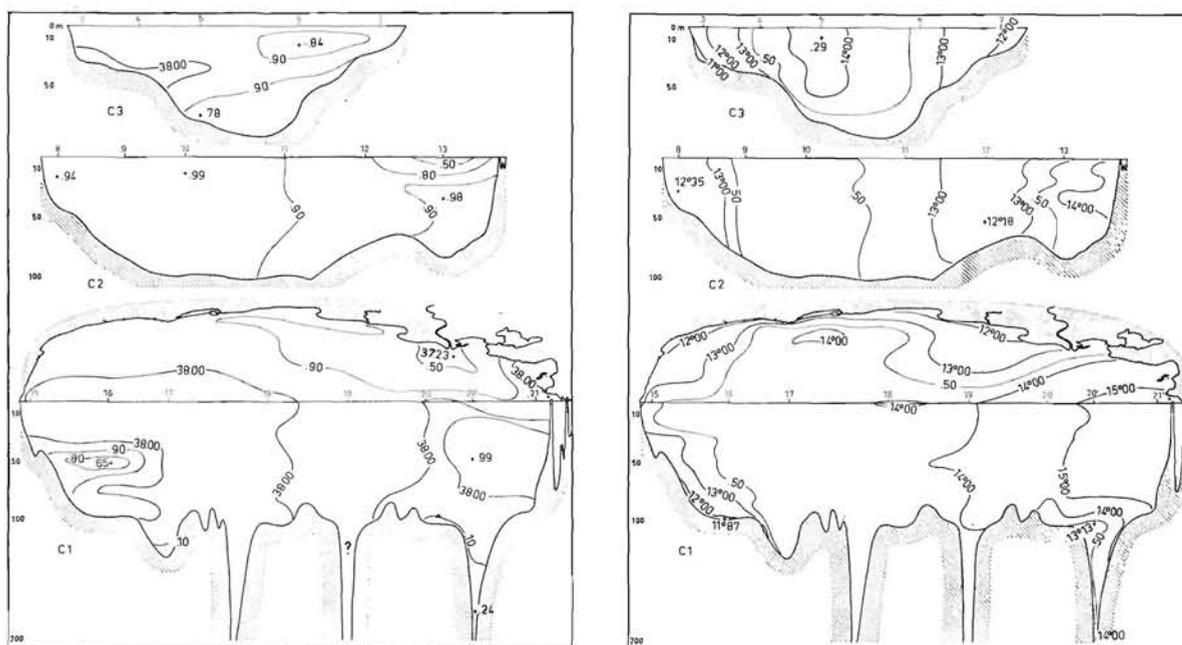


FIG. 29. — Coupes C1, C2, C3 des isohalines et des isothermes du 14 au 31 décembre 1967 (salinités à gauche, températures à droite)

b) Etude des coupes (fig. 29).

Cette homogénéité verticale est très nette dans la partie centrale des deux coupes C2 et C1. On constate cependant qu'un lobe d'eau diluée et froide (37.65 à 38.00 et $11^{\circ}87$ à $13^{\circ}50$) subsiste sur le versant du Roussillon. Il s'agit d'une plongée des eaux d'influence fluviale dans ce secteur et l'on se rend compte que les valeurs rencontrées dans la coupe la plus septentrionale sont plus faibles que dans les sections plus côtières. Il s'agit donc d'un apport plus important du Rhône et des fleuves languedociens.

Quant au lobe d'eau relativement dessalée (37.99) et d'une température supérieure à 15° , que l'on observe dans le secteur oriental, il est sans doute l'aboutissement du courant liguro-provençal.

Par ailleurs, les plus fortes salinités qui se présentent dans le rech d'Arles (maximum 38.24), associées à des températures de $13^{\circ}31$ à $14^{\circ}00$, correspondent à une formation de mélange qui n'a pas encore acquis son caractère hivernal. On voit ainsi que, d'un hiver à l'autre, les conditions peuvent changer de façon importante dans le golfe du Lion en fonction du débit du fleuve.

TROISIEME PARTIE

VARIATIONS DE LA SITUATION HYDROLOGIQUE
ENTRE LES DIFFERENTES SAISONS DE 1966 ET 1967
EN FONCTION DES FACTEURS EXTERIEURS

Après avoir étudié en détail, campagne par campagne, la situation hydrologique dans le golfe du Lion, il est nécessaire d'examiner maintenant les variations de cette situation d'une saison à

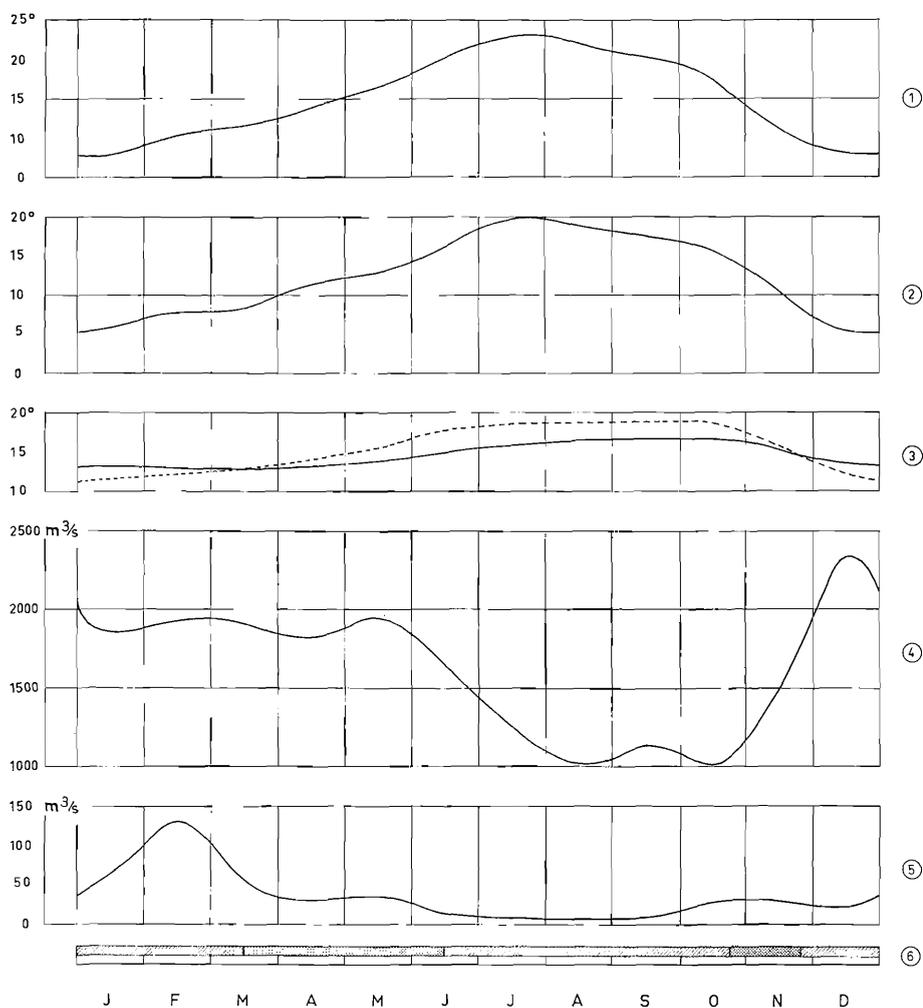


Fig. 30. — Evolution annuelle moyenne de la température : de l'air dans le golfe du Lion (1), de l'eau du Rhône en Avignon (2), des eaux diluées de salinité inférieure à 37.80 (en tirets) et des eaux du large supérieures à 38.00 (en trait continu) (3); évolution annuelle moyenne du débit : du Rhône (4) et de l'ensemble des fleuves languedociens (5); la durée des saisons hydrologiques est figurée en 6.

l'autre en considérant simultanément les années 1966 et 1967. Cette étude peut se faire en tenant compte des facteurs extérieurs qui influencent le régime hydrologique des différentes formations.

Mais on sait déjà que les saisons hydrologiques en Méditerranée ne correspondent pas exactement à celles du calendrier. Aussi, avant de commencer cette étude, en donnerons-nous une définition.

I. - Définition des saisons hydrologiques dans le golfe du Lion.

Sur la figure 30 sont rassemblés différents graphiques donnant les éléments suivants :

la température de l'air dans le secteur côtier,

la température de l'eau du Rhône en Avignon,

la température des eaux du large supérieures à 38.00 et des eaux diluées inférieures à 37.80, les débits du Rhône et de l'ensemble des fleuves languedociens.

On notera que les courbes de température et de débit des eaux du Rhône donnent les valeurs moyennes établies d'après les données fournies pour les années 1965, 1966 et 1967. Pour ce qui est de tous les autres éléments, les courbes représentent des moyennes établies sur les chiffres recueillis à l'époque des campagnes hydrologiques de 1966 et de 1967.

On voit par ces graphiques que la température des eaux diluées côtières, ainsi qu'à un degré moindre celle des eaux du large, présentent un maximum de juin à octobre. Ce maximum correspond d'ailleurs à celui observé pour la température du Rhône en Avignon. A cette époque le fleuve est généralement en période d'étiage.

Les températures les plus basses observées dans les eaux côtières comme dans les eaux du large se situent à la période pendant laquelle la température de l'air est la plus basse. Dans les deux cas, on constate en effet un abaissement des courbes de décembre au début de mars. Pour la température de l'eau du Rhône en Avignon la courbe est du même type. Il convient de préciser qu'à cette période froide correspondent, en général, les crues du Rhône et des fleuves du Languedoc. Mais celles-ci sont irrégulières; dans certains cas, sans doute exceptionnels, par exemple en décembre 1967, on n'observe qu'un très faible débit.

Les courbes comparées des températures d'eau d'influence fluviale et d'eau du large superficielle et profonde montrent que la première de ces deux formations se refroidit plus rapidement que la seconde en hiver.

Après l'étude de ces graphiques, et malgré l'irrégularité des résultats due en très grande partie au caractère climatique variable des régions méditerranéennes et à la complexité du bassin rhodanien, on arrive à distinguer quatre grandes périodes au cours de l'année.

a) L'hiver hydrologique, qui s'étend de la fin novembre à la première quinzaine de mars, se caractérise par le fort débit des fleuves et le minimum thermique des eaux diluées.

b) Le printemps hydrologique se situe entre la première quinzaine de mars et le 15 juin. Il se distingue de la saison précédente par un lent réchauffement des eaux diluées et un second maximum du débit rhodanien.

c) L'été hydrologique est caractérisé, entre le 15 juin et la fin octobre, par le maximum thermique des eaux diluées qui correspond au débit minimum des fleuves.

d) L'automne hydrologique est fugitif : il débute généralement à la fin d'octobre et ne dure guère plus d'un mois. Il correspond à un brusque refroidissement des eaux diluées alors que le débit des fleuves est encore faible.

II. - Description des différentes saisons hydrologiques.

Pour décrire ces saisons nous nous basons pour les salinités sur une carte (fig. 31) et trois coupes établies d'après les moyennes de 1966 et 1967 (fig. 32). Nous avons représenté sur la première l'évolution de l'isohaline de 37.00 qui situe bien la répartition des eaux très diluées au cours des quatre saisons. On notera que le tracé concernant l'automne a été établi d'après une seule campagne, celle de 1966.

En raison de ce qui a été dit plus haut nous n'avons pas tenu compte du mois de décembre 1967 pendant lequel les conditions de sécheresse ont été exceptionnelles. Sur les coupes nous avons fixé arbitrairement la limite des eaux d'influence fluviale à 37.80. Ce sont donc les variations de cette isohaline que nous donnons dans ces derniers schémas.

Pour les températures nous ne considérons que les coupes, les variations en surface étant telles qu'elles permettent difficilement de tracer des courbes moyennes. Nous donnons en outre des cartes (fig. 33) de la limite thermohaline moyenne des eaux d'hiver et des eaux d'été sur le fond.

1°) L'hiver hydrologique (fig. 31, 32, 33).

Nous voyons qu'en hiver l'eau diluée d'influence fluviale occupe une large bande sensiblement parallèle au littoral mais qui diminue cependant en importance le long des côtes du Roussillon. Ces eaux diluées se maintiennent en sub-surface jusqu'à une profondeur de 20 à 50 m dans les parties orientale et centrale du golfe.

La plongée massive des eaux de salinité inférieure à 37.80 et de température inférieure à 12°50 dans le secteur occidental est la principale caractéristique de cette période, ainsi que le montrent la carte et les coupes des figures 31 et 32. Les cartes de la figure 33 montrent, par ailleurs, la place importante que prennent ces eaux à proximité du fond.

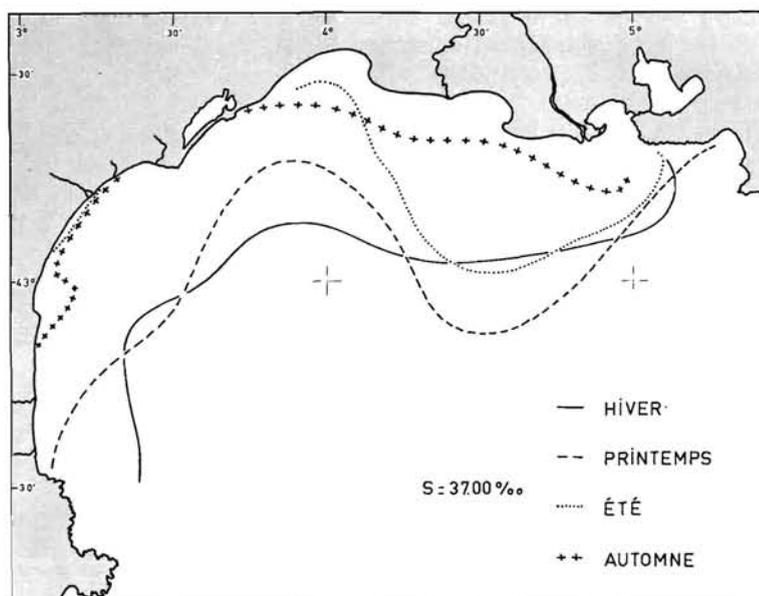


FIG. 31. — Situation moyenne de l'isohaline de 37.00 en surface aux quatre saisons d'après les données de 1966 et 1967.

On rappellera qu'à cette époque le débit du Rhône est généralement maximum, mais les eaux diluées qu'il alimente ne s'étalent pas très loin en surface à cause du refroidissement hivernal. Elles acquièrent en effet, du fait de leur basse température, une densité relativement élevée qui les fait s'enfoncer très rapidement en glissant vers le sud-ouest.

Il est certain que les vents dominants peuvent modifier de manière importante la disposition du lobe rhodanien. Nous avons vu, au cours des différentes campagnes, que les vents fréquents de nord-ouest pouvaient accélérer l'écoulement des eaux superficielles vers le sud; ils favorisent ainsi l'accumulation et la plongée de ces eaux dans le secteur du Languedoc-Roussillon tandis que le vent de sud-est les accumule au moins partiellement, dans le secteur oriental.

2°) Le printemps hydrologique (fig. 31 et 32).

Au printemps, bien que le débit du Rhône soit généralement plus faible, l'extension des eaux diluées en surface est au moins aussi importante qu'en hiver (fig. 31). En effet, leur densité est moins

dre puisqu'elles se sont nettement réchauffées et que, de ce fait, leur tendance à plonger s'atténue. D'ailleurs, la disposition de ces masses d'eaux diffère sensiblement de ce qu'elle est pendant la saison précédente. On constate devant le delta du Rhône une avancée des eaux diluées plus marquée qu'en hiver cependant que leur flux diminue contre la côte du Languedoc.

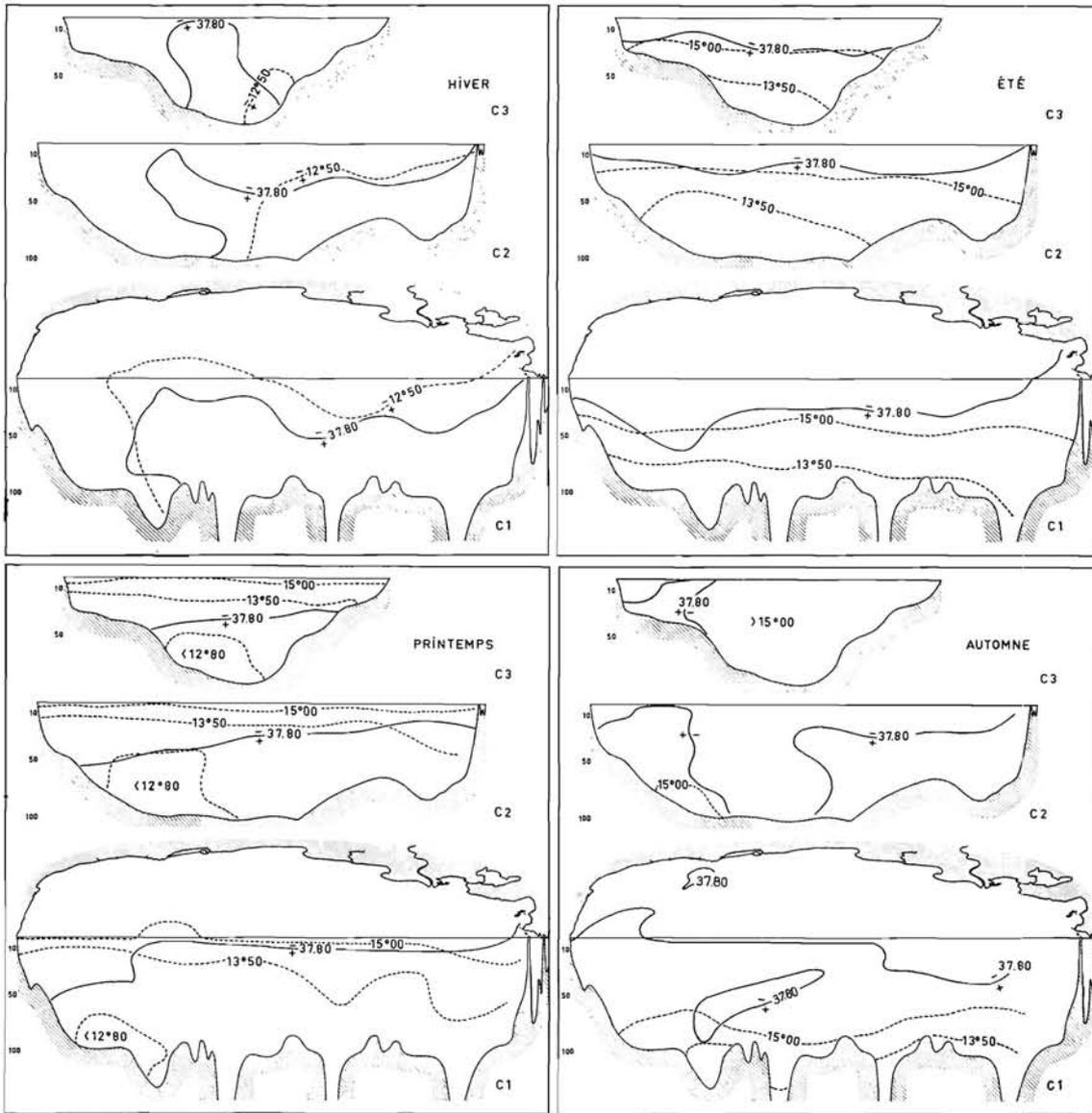


FIG. 32. — Schéma de situation moyenne de l'isohaline de 37,80 et de distribution des températures, aux quatre saisons, dans le golfe du Lion. Le signe + indique le côté plus chaud ou plus salé, le signe — indique le côté plus froid ou moins salé par rapport aux courbes limites figurées.

La coupe des salinités (fig. 32) montre qu'une certaine plongée a encore lieu sur le versant du Roussillon. Elle est consécutive aux basses températures inférieures à $13^{\circ}50$ de la couche sub-superficielle. Les plus basses températures, inférieures à $12^{\circ}80$, que l'on rencontre entre 50 et 100 m, caractérisent l'eau formée antérieurement pendant l'hiver hydrologique.

3°) L'été hydrologique (fig. 31, 32 et 33).

En été, le débit du Rhône est généralement minimum et c'est pourquoi l'isohaline de 37.00 prise sur une moyenne relevée au cours de quatre campagnes (fig. 31) n'a qu'une extension limitée devant la Camargue; c'est à peine si elle reparait dans le secteur languedocien. Toutefois, en considérant l'ensemble des cartes, on note que cette eau diluée et très chaude a tendance à s'étaler vers le sud en se mélangeant plus ou moins aux eaux environnantes. C'est ainsi que les deux campagnes d'août, notamment celle de 1967, traduisent une situation tout à fait comparable à celle décrite par FURNESTIN (1960) pour l'été 1957. En effet, dans les trois cas, on observe que l'axe d'écoulement des eaux diluées se dirige vers le cap de Creux. Puis une part importante de ce courant est déviée vers le nord en direction des côtes du Languedoc; c'est elle qui constitue le « contre-courant du Languedoc ».

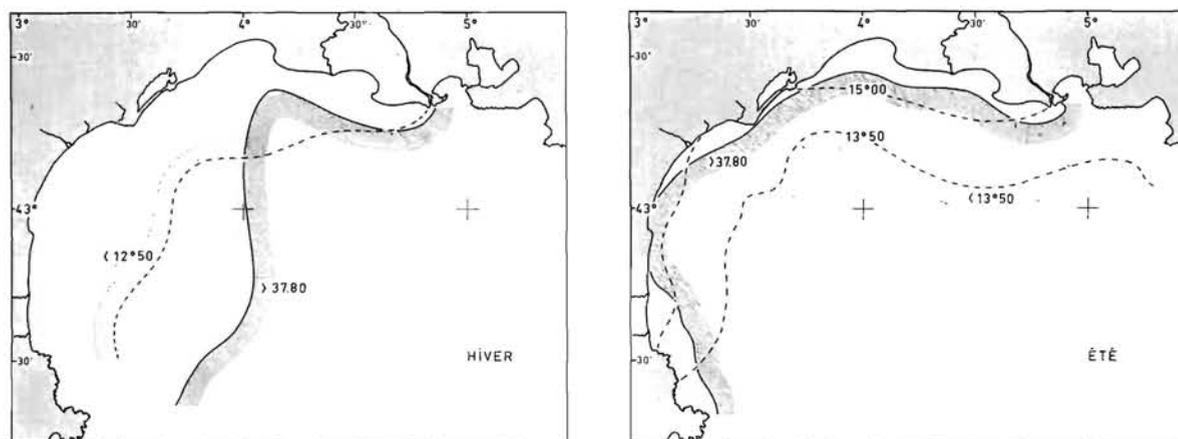


FIG. 33. — Répartition des salinités et des températures moyennes sur le fond du golfe du Lion en hiver et en été.

De plus, l'été hydrologique est caractérisé par la présence d'une importante thermocline qui se situe entre 10 et 30 m et au-dessus de laquelle glisse rapidement la nappe des eaux d'origine rhodanienne de faible densité. Cependant on peut remarquer un certain enfoncement des eaux de mélange au large du Roussillon ainsi que l'indique l'isohaline de 37.80, sur la figure 32.

L'étude des différentes campagnes a mis, par ailleurs, en évidence une divergence des eaux de la mi-profondeur vers la surface. Cette divergence peut être accentuée, dans bien des cas, et particulièrement dans le nord-ouest et l'ouest du golfe par un upwelling dû au vent dominant.

Un examen des cartes portant sur la température et la salinité moyenne sur le fond montre d'ailleurs qu'à cette époque la progression de l'eau du large, qui occupe presque toute la zone profonde, est assez bien marquée en direction de Sète et de Leucate (fig. 33), cependant que la place des eaux diluées se trouve limitée à la zone très côtière.

Bien que le vent de nord-ouest soit en général prédominant à cette époque, celui du sud-est peut prendre également une certaine importance; il favorise alors l'avancée des eaux du large dans le secteur languedocien.

4°) L'automne hydrologique (fig. 31 et 32).

En automne, le débit du Rhône demeurant faible, l'eau diluée ne présente plus qu'une faible extension devant le delta et immédiatement à l'ouest de celui-ci, comme le montre le tracé de l'isohaline de 37.00. Dans la couche sub-superficielle l'isohaline de 37.80 reste proche de la surface sauf devant le delta et dans le centre du golfe où les eaux diluées s'enfoncent par simple accumulation. On constate d'ailleurs que l'isotherme des 15° se trouve à la profondeur de 70 à 100 m ce qui

ne laisse plus de place aux eaux septentrionales supérieures que dans les rechs. Cette situation automnale est brève; elle traduit une période de transition puisque l'hiver hydrologique commence, nous l'avons vu, à la fin novembre. Cette date marquera le début du refroidissement côtier qui entraînera des perturbations dans la totalité du golfe.

Résumé et conclusion

La partie de cette étude où sont analysées successivement les différentes campagnes effectuées dans le golfe du Lion en 1966 et en 1967, met déjà en valeur les variations importantes de la structure thermohaline au cours de ces deux cycles; l'autre, où sont groupées les données moyennes, fait ressortir l'existence de périodes hydrologiques qui ne correspondent pas nécessairement aux saisons de l'année.

En outre, et bien que ces saisons hydrologiques présentent entre elles des analogies certaines, des fluctuations importantes peuvent intervenir d'une année à l'autre. Les principaux facteurs qui déterminent la plupart de ces variations sont locaux et d'ordre météorologique. Cependant si les vents dominants et la température de l'air ont, d'évidence, une grande influence sur la répartition des différentes masses, il est probable que des phénomènes d'une ampleur plus considérable, qui intéressent tout le bassin méditerranéen, comme le développement du courant atlantique, ont leur répercussion jusque dans le golfe du Lion, région pourtant bien individualisée. Mais, sur ce plateau continental de faible profondeur, un élément encore plus important commande la situation hydrologique : c'est le débit variable du Rhône qui, par son intensité, peut intéresser non seulement la zone littorale languedocienne mais également le large du Roussillon.

Une extension considérable de ces eaux superficielles peu salées avait déjà été remarquée au cours de la campagne de juin 1957 par FURNESTIN (1960) et nous avons vu qu'un tel phénomène s'était reproduit, bien qu'avec moins d'ampleur, en août 1966 et surtout en août 1967. Cet épanchement des eaux rhodaniennes ne correspond pas nécessairement aux plus forts débits du Rhône mais plutôt aux moments où le réchauffement superficiel devient le plus intense. Sa densité s'affaiblissant, l'eau de cette formation s'étale alors en une mince pellicule, sur une grande surface, au-dessus d'une thermocline au faisceau d'isothermes très resserrés.

Quant à la plongée des eaux d'origine fluviale, plus ou moins mélangées à celles du courant liguro-provençal, elle est bien marquée le long de la pente côtière du Languedoc et du Roussillon et comparable à celles qui ont déjà été remarquées par FURNESTIN et ALLAIN au cours des campagnes de 1957, 1958 et 1963. Son importance est considérable au moment du refroidissement hivernal. En été, au contraire, les eaux du large, plus ou moins en divergence dans ce secteur, sont souvent attirées jusqu'à la surface par un upwelling local qui peut s'opposer, lorsqu'il est intense, à l'extension en profondeur des eaux diluées.

Par ailleurs, on a noté que les eaux de salinité supérieure à 38.00 conservaient jusqu'en hiver des températures de plus de 13°00 et que ce n'était qu'au printemps que leur température s'abaissait au-dessous de cette valeur; il apparaît donc qu'elles se sont formées en hiver le long des côtes de Provence et ont dérivé lentement vers l'ouest.

La synthèse de la troisième partie résume les résultats acquis. En plus de l'intérêt qu'ils présentent pour la connaissance du milieu marin ils permettent d'expliquer l'originalité de la faune qui peuple le golfe du Lion et d'éclaircir certains aspects particuliers de la biologie et des déplacements des espèces pélagiques qui y vivent, en fonction notamment des importantes variations de température et de salinité que l'on peut observer au cours de l'année. Cette étude écologique déjà amorcée en ce qui concerne les migrations de sardines (LEE, 1961) et leur ponte (ALDEBERT et TOURNIER, 1967) reste à développer et il est nécessaire, à cet effet, de poursuivre ces travaux suivant un cycle saisonnier en établissant un nouveau réseau de stations dans les secteurs critiques. Un examen plus approfondi comportant des mesures au moins jusqu'aux fonds de 200 m ainsi qu'une étude particulière du secteur de plongée du cap Creux permettra ainsi d'acquérir une connaissance plus étendue sur les variations du milieu marin dans cette zone d'influence fluviale dont les caractères particuliers la différencie, sur le plan écologique, de tout le reste du bassin occidental.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALDEBERT (Y.) et TOURNIER (H.), 1967. — Reproduction de la sardine dans le golfe du Lion. Son importance pour l'avenir de la pêche. — *Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches marit.*, n° 159.
- ALLAIN (Ch.), 1960. — Topographie dynamique et courants généraux dans le bassin occidental de la Méditerranée (golfe du Lion, Mer Catalane, Mer d'Alboran et ses abords, secteur à l'est de la Corse). — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **24** (2) : 121-145.
- 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) : 127-135.
- ALLAIN (Ch.) et FURNESTIN (J.), 1969. — Hydrologie de la Méditerranée occidentale (secteur méridional et golfe du Lion) en automne 1963. Campagne de la « Thalassa » du 12 octobre au 27 novembre. — *Ibid.*, **33** (1) : 5-78.
- BOUGIS (P.) et RUIVO (M.), 1954. — Sur une descente d'eaux superficielles en profondeur (cascading) dans le sud du golfe du Lion. — *Bull. Inform. C.O.E.C.*, **6** (4) : 147-154.
- BOUGIS (P.), GINAT (M.) et RUIVO (M.), 1956. — Recherches hydrologiques sur le golfe du Lion. — *Vie et Milieu*, **7** (1), 18 p.
- FURNESTIN (J.), 1960 a. — 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) : 5-120.
- 1960 b. — Teneur en oxygène des eaux de la Méditerranée occidentale (supplément à l'étude hydrologique de juin-juillet 1957). — *Ibid.*, **24** (4) : 453-480.
- FURNESTIN (J.) et ALLAIN (Ch.), 1962. — Hydrologie de la Méditerranée occidentale au nord du 42° parallèle en automne 1958 (campagne du navire « Président Théodore Tissier » du 27 septembre au 18 octobre 1958). — *Ibid.*, **26** (1) : 121-145.
- GUILCHER (A.), 1965. — Précis d'hydrologie marine et continentale. — Paris, MASSON et Cie, 379 p.
- LEE (J.Y.), PARK (J.S.), TOURNIER (H.) et ALDEBERT (Y.), 1967. — Répartition des principales aires de ponte de la sardine en fonction des conditions de milieu dans le golfe du Lion. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **31** (4) : 343-350.
- TOURNIER (H.), 1967. — Aspect hydrologique du golfe du Lion en hiver. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **31** (4) : 339-342.
-