

EXTENSION DES APPORTS SOLIDES ET LIQUIDES D'ORIGINE ESTUARIENNE DANS LES EAUX DE SURFACE DU PLATEAU AQUITAIN INTERNE

J.-M. JOUANNEAU ^{*}, P. BERGER ^{**}, B. BOUTIER [°], M. EWALD ^{**}, M. FONTUGNE ⁺ et M. HÉRAL [°]

^{*} Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine,
LA. 197 C.N.R.S. Université de Bordeaux I,
33405 Talence.

^{**} Groupe d'Océanographie physico-chimique,
LA. 348 C.N.R.S., Université de Bordeaux I,
33405 Talence.

[°] IFREMER, B.P. 133, 17390 La Tremblade
et B.P. 1049, 44037 Nantes Cedex.

⁺ C.F.R., Lab. mixte CEA - C.N.R.S.,
91190 Gif/Yvette.

Abstract

OUTSPREAD OF SOLID AND LIQUID INPUTS OF AN ESTUARINE ORIGIN IN SUPERFICIAL WATERS OF THE INNER AQUITAINE SHELF.

The PLACAR cruise which took place after the first autumn floodings on the inner Aquitaine shelf permitted to determine the outspread of solid and liquid inputs originating from the Gironde in superficial waters. In addition to the classical evaluations (S ‰, P.O.C., nutritive salt) and S.E.M. observations, we carried out detailed analyses of D.O.C., isotopic composition of P.O.C. $\delta^{13}\text{C}$, dissolved fulvic acids and metals.

The following results have been obtained :

- freshened water masses from the Gironde region spread out to the North and West until 40 m isobath and merge, in the « pertuis d'Antioche », with waters from the Marennes-Oleron Bay ;
- the best markers of estuarine exportation are : (i) in the dissolved phase : nitrates, silicates and D.O.C., (ii) in the particulate phase : S.M., $\delta^{13}\text{C}$, Zn and Cd. Phosphates, ammonium and copper are trapped at the river mouth very quickly ;
- an important phytoplanktonic development has been noted in the coastal water masses under the Gironde influence even during flooding ;
- the impact of elements in waters issued from the Arcachon Basin (isobath limit 20 m) is quite insignificant except silicates.

Résumé

La campagne PLACAR, qui s'est déroulée après que l'impact des premières crues automnales se soit fait sentir sur le plateau interne aquitain, a permis de préciser l'extension des apports solides et liquides issus de la Gironde dans les eaux de surface. Parallèlement aux mesures classiques de salinité (S ‰), température (T°), turbidité, carbone organique particulaire (C.O.P.), sels nutritifs et observations au microscope électronique à balayage (M.E.B.), des analyses plus spécifiques ont concerné le carbone organique dissous (C.O.D.), la composition isotopique du carbone organique particulaire $\delta^{13}\text{C}$, les acides fulviques dissous et les métaux.

Les enseignements suivants ont pu être dégagés :

- les masses d'eaux dessalées issues de la Gironde s'étaient en direction du nord et de l'ouest jusqu'à l'isobathe 40 m, se mélangeant dans le pertuis d'Antioche avec les eaux du Bassin de Marennes-Oléron ;
- les meilleurs marqueurs de l'exportation estuarienne sont, dans la phase dissoute : les nitrates, les silicates, le C.O.D., dans la phase particulaire : les M.E.S., le $\delta^{13}\text{C}$, Zn et Cd, par contre il apparaît qu'il existe au niveau de l'embouchure un piégeage très rapide des phosphates, de l'ammoniaque et du cuivre ;
- dans les eaux côtières, peu soumises à l'influence de la Gironde, se développe une production phytoplanktonique notable, même en période de crue ;
- en ce qui concerne l'impact des eaux issues du Bassin d'Arcachon, les résultats obtenus semblent indiquer que celui-ci est très limité (jusqu'à l'isobathe 20 m) exception faite peut-être des silicates.

Introduction.

La présence et la dispersion de matériels en suspension d'origine continentale sur le plateau aquitain est un fait établi depuis quelques dizaines d'années. Des preuves indirectes, telles que la répartition du cortège argileux depuis l'estuaire de la Gironde jusqu'au plateau, ont été apportées par les travaux de LATOUCHE (1971). Des observations directes de l'extension au large du panache turbide des eaux estuariennes ont été rapportées dans les travaux de LÉVÊQUE (1936) jusqu'à ceux de CASTAING (1981) en passant par ceux de BOURCART (1947), ALLEN *et al.* (1971) et THOMAS (1978).

Lors de la campagne TRANSEPLAT I, réalisée en mars 1980, en fin de période hivernale, CASTAING *et al.* (1982) ont étudié en détail la répartition des suspensions et la nature de la fraction inorganique grossière de ces matières en suspension (M.E.S.), ECHEBER et RELEXANS (1983) ont présenté des cartes de répartition du C.O.P., des protéines, glucides et pigments dans les suspensions, qui montraient une augmentation de ces constituants dans les eaux du large au delà du panache turbide. Parallèlement, HÉRAL *et al.* (1983) précisent qu'en période de crue, la Gironde pourrait contribuer à un enrichissement en nitrates des eaux du bassin de Marennes-Oléron.

La campagne PLACAR s'inscrit certes dans la continuité des travaux précédemment évoqués dans la mesure où elle devait permettre de préciser le devenir, l'extension et les mélanges éventuels des apports en suspension et des eaux d'origine estuarienne dans les eaux du proche plateau.

Elle en diffère cependant pour les raisons suivantes.

- En dehors d'observations et de mesures classiques telles que : S ‰, T°, turbidité, C.O.P., sels nutritifs, observations au M.E.B., des analyses plus originales ont été entreprises simultanément : composition isotopique du carbone organique particulaire ($\delta^{13}\text{C}$), carbone organique dissous (C.O.D.), acides fulviques dissous, métaux traces totaux.
- Les relations entre les évolutions et les distributions des différents paramètres ont pu être abordées afin de préciser l'impact des flux d'origine continentale.
- La période choisie correspondait à celle des premières crues post-étiage de la Gironde, c'est-à-dire à un moment où le caractère continental des expulsions estuariennes devait être plus affirmé.

L'étude a été articulée autour de lignes de prélèvements perpendiculaires à la côte au droit des trois principaux émissaires de M.E.S. continentales : le bassin d'Arcachon, l'estuaire de la Gironde et la baie de Marennes-Oléron. La localisation des stations de prélèvements est reportée sur la figure 1, les coordonnées géographiques correspondantes sont rassemblées en annexe.

Matériel et méthodes.

Coefficient de marée et débit fluvial.

L'échantillonnage a été réalisé en période de déchet à partir de vives-eaux vers des marées moyennes :

3 décembre - coefficients de marée 99-95,

6 décembre - coefficients de marée 68-65.

La campagne s'est déroulée alors que les débits fluviaux en Gironde se situaient aux environs de $1\,000\text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Cette information est en elle-même insuffisante, car en raison des temps de propagation des crues dans l'estuaire tels qu'ils ont été estimés par MIGNOT 1971, ALLEN 1972, CASTAING et JOUANNEAU 1979, il est nécessaire de considérer l'évolution des débits sur une période antérieure d'environ 1 mois (fig. 1), le temps de propagation d'une crue étant compris entre quelques jours et 3 semaines. Il apparaît alors qu'une crue bien marquée ($3\,200\text{ m}^3\text{s}^{-1}$) s'était produite vers le 10 novembre.

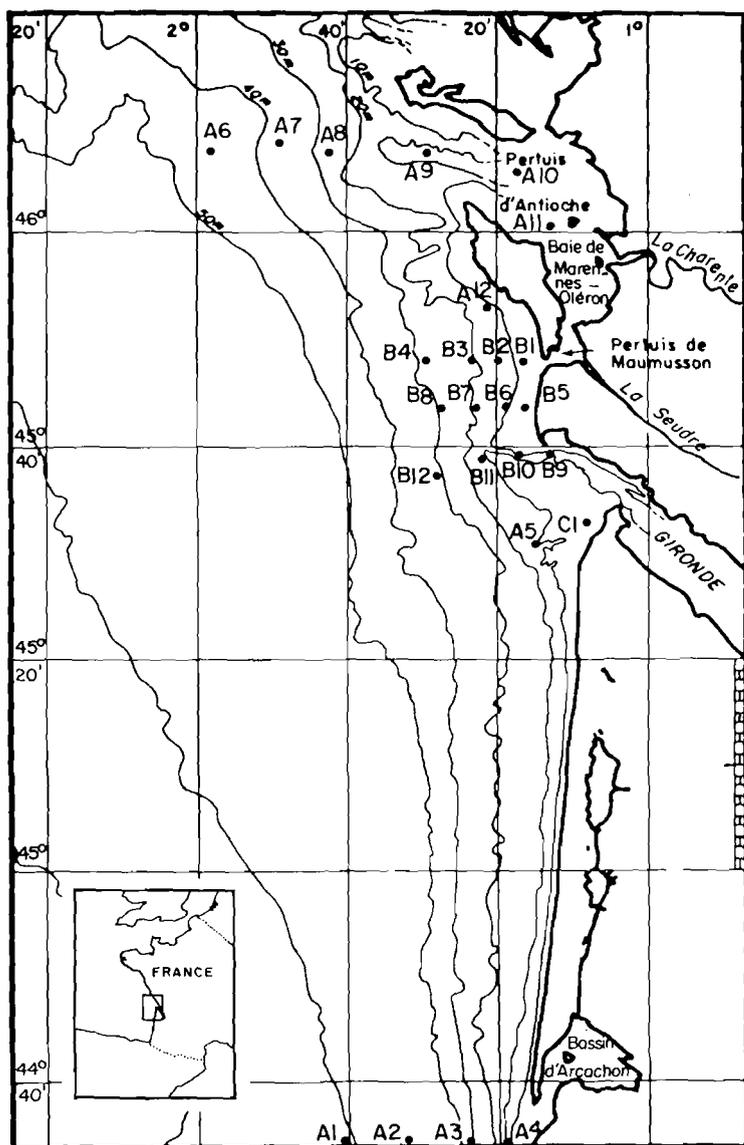
Toutes les conditions étaient donc bien requises pendant la période de la mission pour que les expulsions de suspensions estuariennes soient significatives sur le plateau continental interne (JOUANNEAU, 1982).

Température et salinité.

La température et la salinité ont été observées à l'aide d'un thermosalinomètre « Montedoro CTU 3 B » dont la précision est d'environ $0,1^\circ\text{C}$ et $0,2\text{ ‰}$ pour la salinité.

Sels minéraux.

L'ammoniaque est fixé immédiatement sur le bateau et dosé selon la méthode colorimétrique de KOROLEFF (1969). Les dosages de nitrites, nitrates et phosphates sont effectués sur de l'eau filtrée sur membrane



en acétate de cellulose de porosité $0,45 \mu\text{m}$ et congelée sur le bateau. Après un mois de stockage, les prélèvements sont analysés sur chaîne automatique Technicon, selon le protocole de STRICKLAND et PARSONS (1972) adapté par LE CORRE et TREGUER (1976). Tous les prélèvements sont effectués et analysés en double. La précision des analyses est la suivante ; pour les nitrites : 3,2 %, pour les nitrates : 2,5 %, pour les silicates : 2,5 % et pour les phosphates : 1 %.

Carbone organique dissous (C.O.D.).

Les mesures de C.O.D. sont faites sur un appareil Kontron-Oceanography International fonctionnant sur le principe de la méthode MENZEL et VACCARO (1964) avec oxydation chimique à chaud en ampoules scellées et mesure du CO_2 par détection infrarouge. Un dispositif supplémentaire a été rajouté pour éliminer le chlore moléculaire provenant de NaCl formé lors de l'oxydation à chaud de la matière organique (MENZEL et VACCARO, 1964).

Evaluation directe qualitative et quantitative des acides fulviques dissous (A.F.D.).

La matière organique dissoute est obtenue après filtration de l'eau sur filtre Whatman GF/C préalablement pyrolysé à 450°C pendant 2 heures. La fluorescence et l'intensité du spectre d'émission, les diffusions Rayleigh, Tyndall et Raman sont mesurées avec un spectrofluorimètre Hitachi Perkin-Elmer MPF 3 avec un photomultiplicateur à réponse R 106. Les spectres de fluorescence sont corrigés pour la diffusion parasite (blanche) de la lumière d'excitation (pied de la bande d'excitation) qui est observée sous le spectre de fluorescence (cf. détails techniques dans EWALD et al. 1983). Par contre, ces spectres ne sont pas corrigés

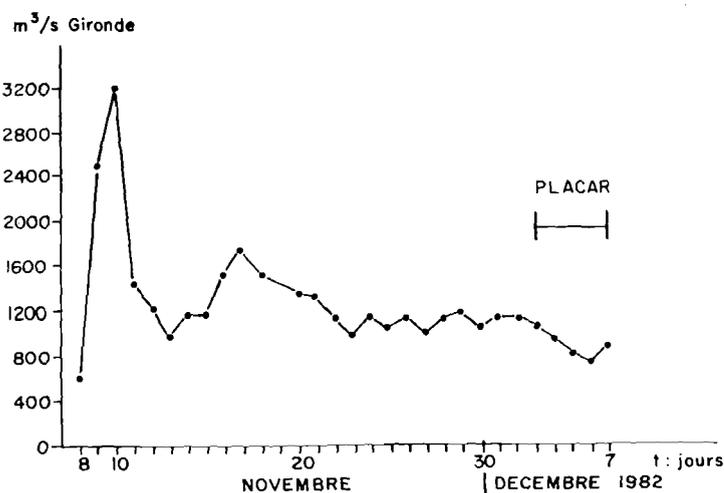


FIG. 1. — Localisation des stations et contexte hydrologique de la campagne PLACAR.
Location of stations and hydrological context of the PLACAR cruise.

de la variation de la fonction instrumentale avec la longueur d'onde d'observation puisque toutes les mesures sont faites en valeur relative. La fluorescence est excitée à 250 et à 370 nm avec des fentes d'excitation de 16 nm et des fentes d'observation de 4 nm. Les mesures sont faites à températures thermostatées de 20° C. Compte tenu de l'absence de standards marins (le spectre de référence de la fluorescence d'A.F.D. marins d'origine « autochtone » n'est pas connu), on ne peut toutefois qu'apprécier la variation relative des intensités de fluorescence de l'eau à chaque prélèvement.

Concentration en matières en suspension (M.E.S.).

Les prélèvements ont été réalisés à la bouteille verticale de 30 l type Niskin en PVC. Les estimations de la concentration en M.E.S. (turbidité) ont été effectuées par pesée de filtres Nucleo-pore (0,4 µm), un volume d'eau variant entre 1 et 5 l étant filtré immédiatement à bord. Préalablement au séchage, afin d'éliminer les dépôts de sel dans les pores des filtres, ceux-ci sont lavés à l'aide d'une solution isotonique de formiate d'ammonium, suivant en cela la méthode préconisée par ETCHEBER (1981).

Microscopie électronique à balayage (M.E.B.).

Les observations au M.E.B. (grossissement 4 000 au maximum) ont été réalisées avec un appareil CAMECA type MEB 07 équipé d'un système d'analyse X tractor TN 2 000, permettant le cas échéant d'effectuer la détermination qualitative des éléments compris entre le sodium et l'uranium. Les observations ont porté sur les matières en suspension recueillies après filtration des eaux de surface aux points reportés sur la figure 8.

Métaux mobilisables à pH 2,5.

La détermination des teneurs en Cu, Pb, Zn et Cd est effectuée par polarographie, sur les eaux brutes (les turbidités très faibles ne permettent pas en regard du volume échantillonné de mesurer la charge métallique particulière s.st.). L'échantillon est au préalable acidifié avec HNO₃ jusqu'à pH 2,5 sur le bateau. La méthode est basée sur le principe de la redissolution anodique sur goutte de mercure avec un appareil PAR 384 muni d'une électrode PAR 303.

Carbone organique particulaire (C.O.P.).

Le C.O.P. est dosé après filtration sur filtres Whatman GF/C, préalablement calcinés à 500° C afin d'éliminer toute trace de matière organique. Les filtres, avant dosage selon la méthode de STRICKLAND et PARSONS (1972) sont rincés à l'aide d'une solution de formiate d'ammonium pour éliminer les sels. Ce traitement au formiate d'ammonium entraîne selon ETCHEBER (1981) une perte en C.O.P. de 2 à 9 %.

Rapport isotopique ¹³C/¹²C.

Au laboratoire les échantillons sont traités avec HCl 0,1N afin de libérer le carbone minéral, puis lavés à l'eau permutée. Après séchage à l'étuve à 60° C les échantillons sont ensuite brûlés dans un flux d'oxygène suivant la technique décrite par LERMAN *et al.* (1970), FONTUGNE (1978). Le gaz carbonique ainsi obtenu est analysé au spectromètre de masse (VG Micromass 602 D). Les résultats sont exprimés comme suit ; le standard utilisé est le P.D.B. = *Pee Dee Belemnite*.

$$\delta^{13}\text{C} = \left[\frac{^{13}\text{C}/^{12}\text{C} \text{ Echantillon}}{^{13}\text{C}/^{12}\text{C} \text{ Standard}} - 1 \right] \times 1\,000$$

Résultats et interprétations.

Température des eaux de surface (fig. 2).

L'écart thermique observé dans la zone d'étude est de l'ordre de 3° C. Les eaux les plus froides (11 à 12° C) se rencontrent dans l'embouchure de la Gironde et dans la baie de Marennes-Oléron. Au nord de l'embouchure de la Gironde on observe un gradient d'augmentation des températures assez régulier de la côte vers le large, au-delà de l'isobathe des 50 m, la température atteignant 14° C.

Au sud de l'embouchure, au niveau du bassin d'Arcachon, le gradient de température côte-large est moins fort (13,2 à 14,7° C) sur l'isobathe des 50 m. La répartition des températures de surface est donc légèrement différente de celle observée par CASTAING *et al.* (1982) lors de la campagne TRANSEPLAT I (19 mars-8 avril 1980), ces auteurs remarquaient alors que les eaux les plus froides, en surface, se situaient bien entre la côte et l'isobathe des 50 m et en particulier au débouché de la passe ouest de l'estuaire de la Gironde, mais que par contre des eaux plus chaudes se rencontraient dans l'embouchure même de la Gironde et dans la baie de Marennes-Oléron ; ces différences pourraient s'expliquer par les conditions suivantes :

- l'écart thermique entre les eaux d'origine continentale et les eaux marines est plus grand en décembre qu'en mars-avril où une homothermie va s'établir (situation de printemps) ;
- la crue observée lors de la mission PLACAR est plus forte et mieux marquée que les forts débits fluviaux précédant la mission TRANSEPLAT I.

Ces observations confirment donc la plus grande inertie thermique des eaux marines.

Salinité des eaux de surface (fig. 2).

Sur l'ensemble de la zone d'étude les salinités varient entre 26 et 35 ‰. Au sud de l'embouchure de la Gironde, au large de la côte landaise, le gradient de salinité est très faible puisque la salinité passe de 34 ‰ au niveau de l'isobathe 20 m devant le bassin d'Arcachon à 35,1 ‰ sur l'isobathe 100 m, ce qui montre la très faible contribution du bassin d'Arcachon en eaux continentales sur le plateau. Il n'en est pas de même dans la zone nord ; c'est ainsi que l'on reconnaît aisément les masses d'eau dessalées issues de la Gironde qui s'étalent vers l'ouest jusqu'à l'isobathe 40 m, et vers le nord où elles se mélangent avec les eaux de la baie de Marennes-Oléron.

Les sels minéraux.

SiO₂ (fig. 3)

Les teneurs en silicates mesurées dans l'embouchure de la Gironde sont élevées (30 $\mu\text{atgSi.l}^{-1}$). On retrouve l'influence de ces eaux girondines en surface jusqu'à l'isobathe des 40 m où les teneurs en silicates sont encore supérieures à 5 $\mu\text{atgSi.l}^{-1}$. Ces apports en silicates, à salinité identique, sont beaucoup plus forts en Gironde que dans l'embouchure de la Seudre et de la Charente. Ainsi, si on trace pour toutes les stations de mesures le graphe silicates f (S ‰) (fig. 4), les silicates étant considérés comme un paramètre conservatif, on constate que tous les points sont répartis le long de la droite de dilution théorique issue de la Gironde, même pour les stations de la baie de Marennes-Oléron.

Cette distribution semble indiquer, d'une part que les silicates ont, en cette période de crue, un comportement conservatif et que la production primaire est alors très restreinte dans la zone turbide (alors que dans les claires du bassin de Marennes-Oléron, où l'eau est décantée, NEDHIF (1983) a mesuré, en décembre, une biomasse phytoplanctonique supérieure à 20 $\mu\text{g.l}^{-1}$), et d'autre part que, en conséquence, les silicates sont de bons marqueurs de l'influence girondine prépondérante dans la zone nord du plateau.

NH₄ et NO₂

La répartition des teneurs en ammoniacque ne montre pas de gradient côte-large, ni de différence nord-sud. C'est dans les stations les plus dessalées de la baie de Marennes-Oléron que les teneurs sont les plus élevées : 2,8 $\mu\text{atgN.l}^{-1}$ (fig. 5) (d'après TOETZ, 1970, en estuaire la majorité des ions NH₄ est adsorbée sur les particules en suspension).

Les teneurs en nitrites restent inférieures à 0,5 $\mu\text{atgN.l}^{-1}$ sur toutes les radiales et ne présentent pas de distribution particulière (fig. 5). Dans l'estuaire de la Charente et dans celui de la Seudre, des teneurs supérieures à 1 $\mu\text{atgN.l}^{-1}$ se rencontrent dans les stations où les teneurs en ammoniacque sont les plus élevées. Ainsi, il semblerait que dans ces secteurs se produit une minéralisation azotée, phénomène déjà signalé par HÉRAL *et al.* (1983).

Il s'agit cependant bien de concentrations naturelles contrôlées, dans des milieux oxydants comme le sont ceux-ci, par l'action des bactéries minéralisatrices qui induisent un flux de minéralisation identique dans les deux zones. Si en effet MARTIN *et al.* (1976) rappellent que les bactéries nitrifiantes ont un taux de croissance relativement lent (surtout en hiver), ils précisent que la nitrification se développe bien lorsque les eaux ont un temps de séjour de l'ordre du mois. Cette condition n'est pas remplie dans l'estuaire en période de crue. Ainsi donc, ammoniacque et nitrites seraient très rapidement minéralisés et ne peuvent témoigner de la dilution du panache estuarien.

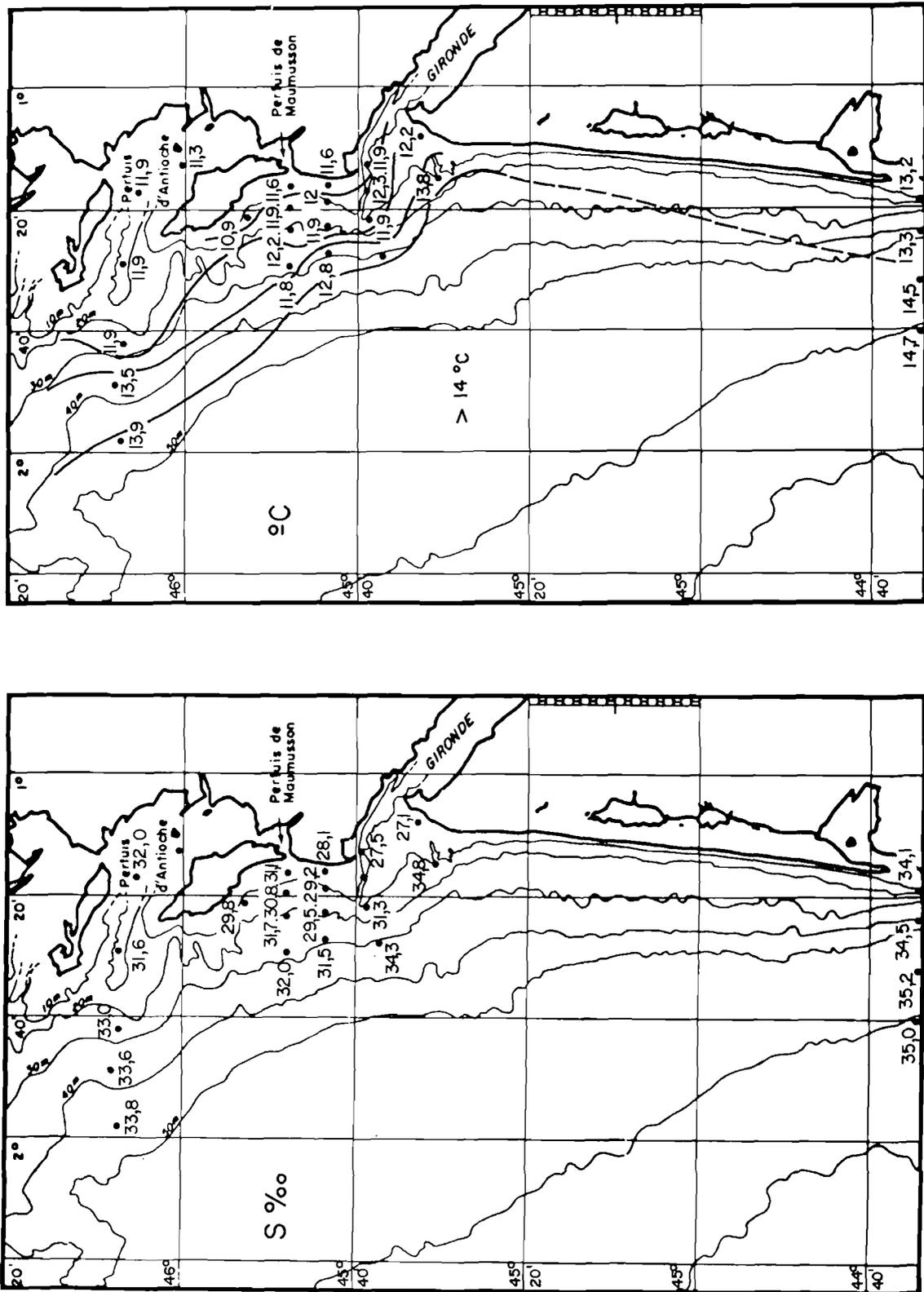


FIG. 2. — Température et salinité des eaux de surface.
Temperature and salinity of superficial waters.

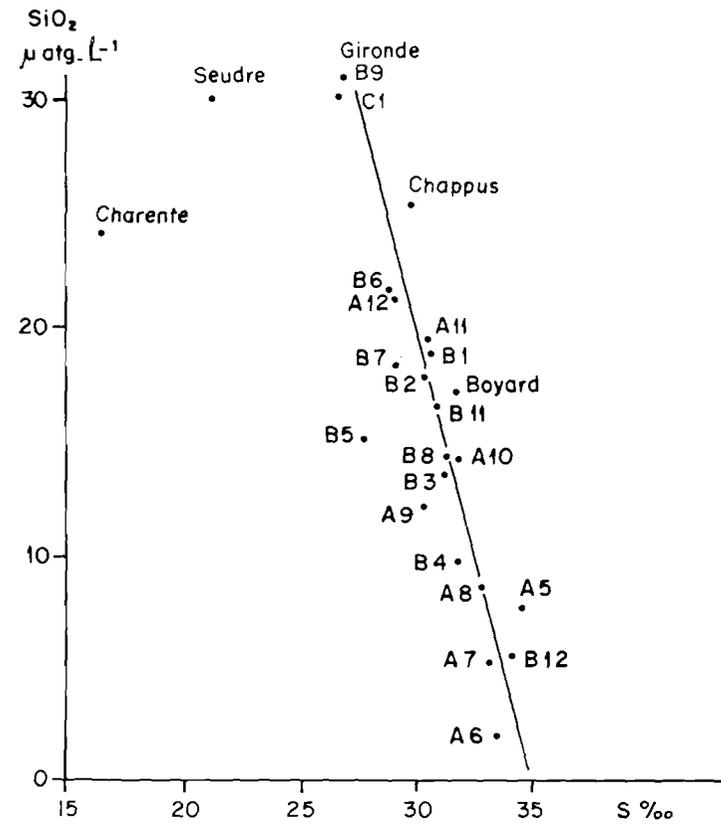
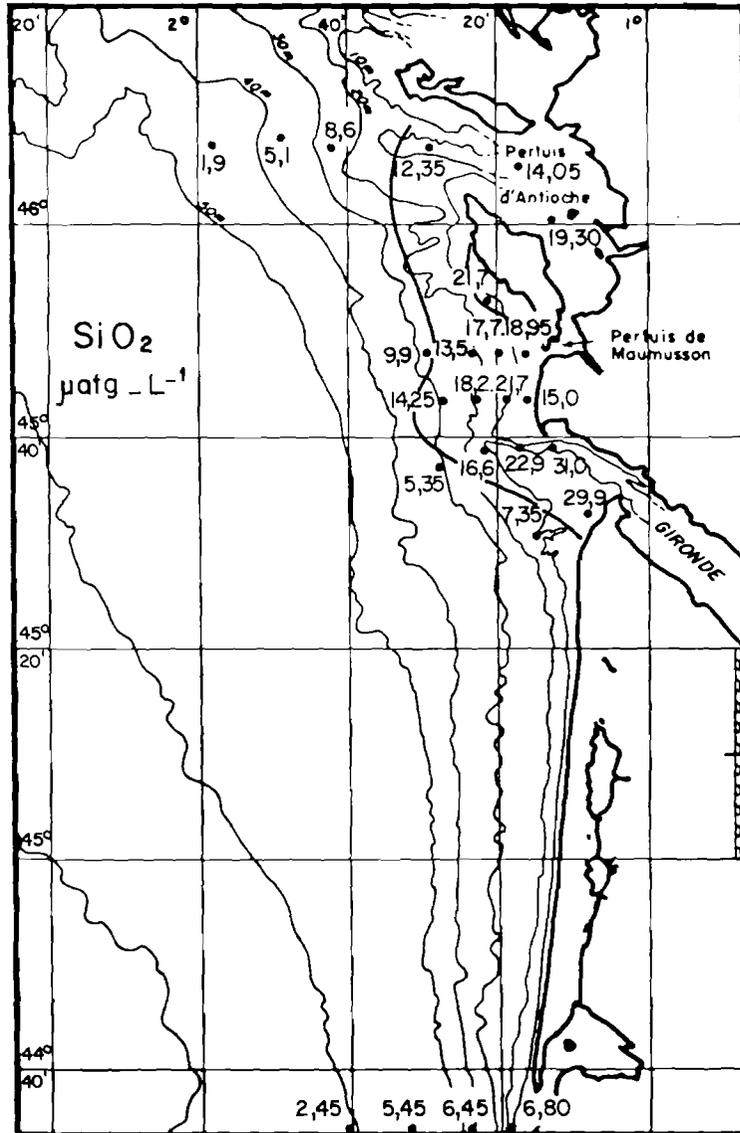


FIG. 3. — Teneurs en silicates des eaux de surface.
Silicate contents in superficial waters.

FIG. 4. — Relation silicates-salinité.
Silicate-salinity relationship.

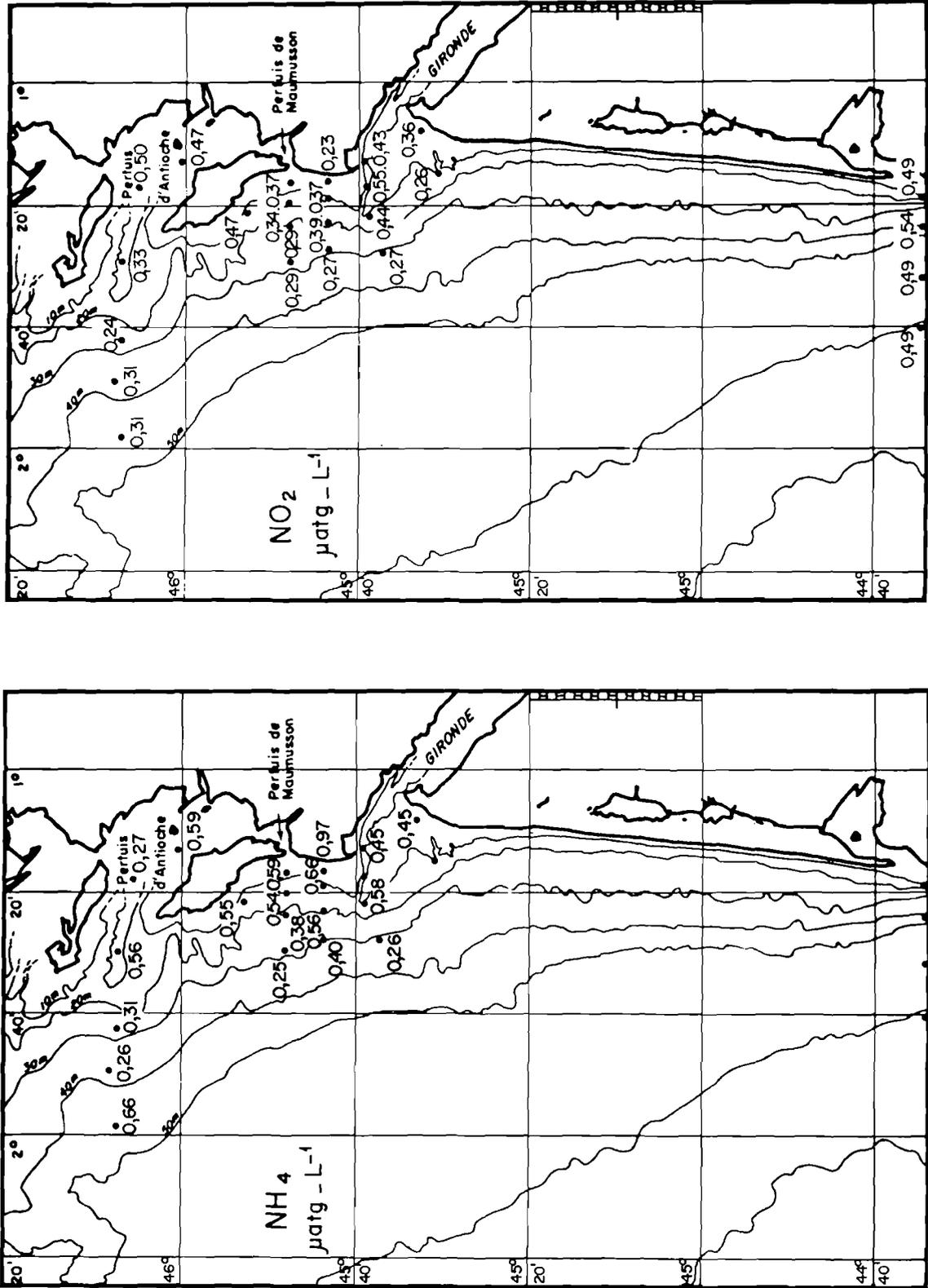


FIG. 5. — Teneurs en ammoniac et en nitrates.
Ammoniac and nitrate contents in surface waters.

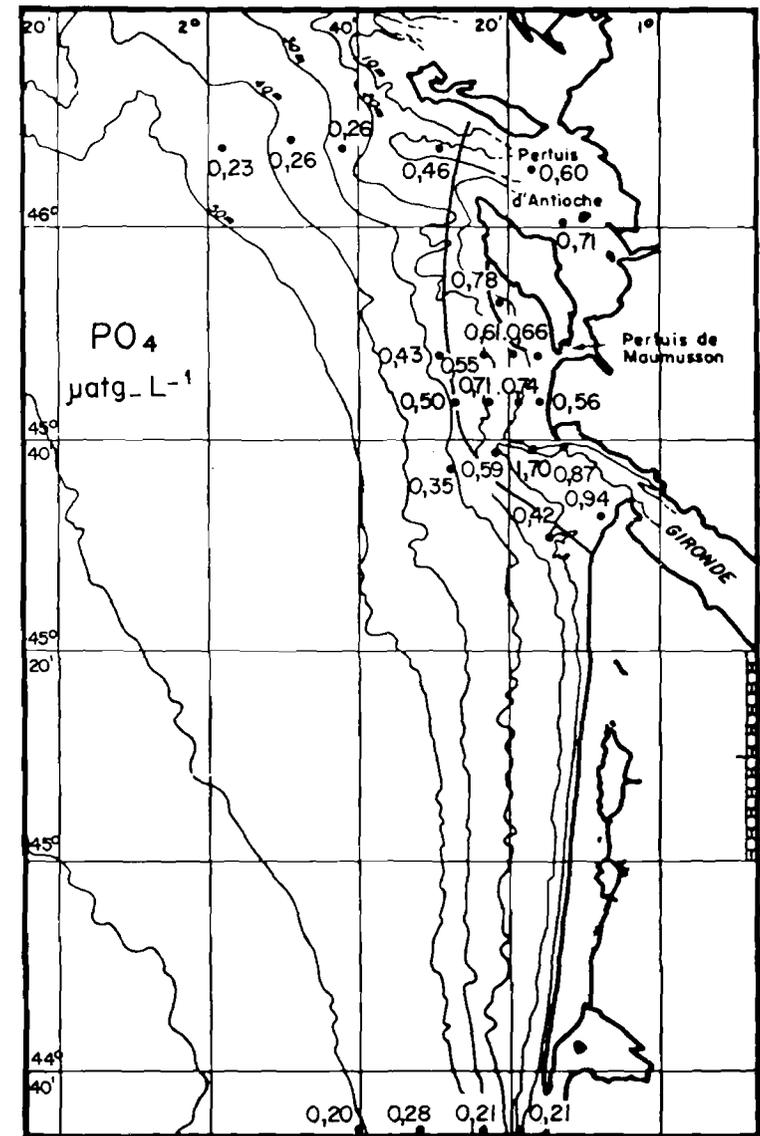
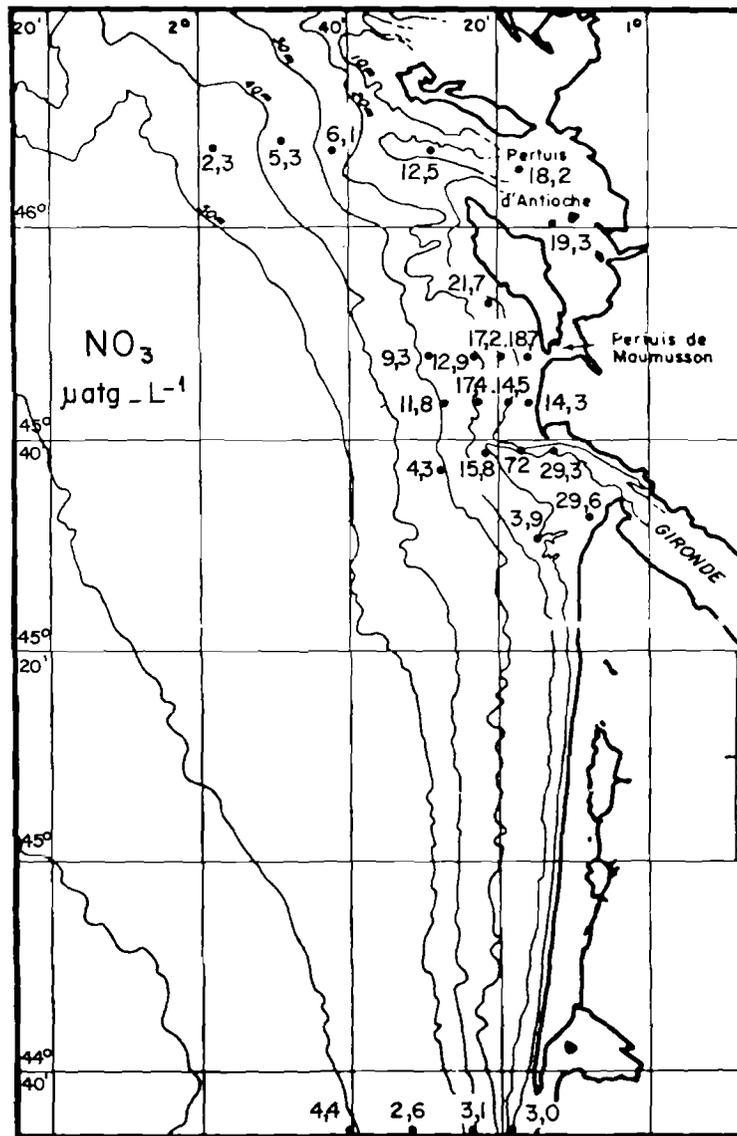


FIG. 6. — Teneurs en nitrates et en phosphates.
Nitrate and phosphate contents in superficial waters.

NO₃ et PO₄

Les nitrates et les phosphates, à l'opposé, ont un comportement différent, c'est ainsi qu'en ce qui concerne les nitrates, l'influence de la Gironde, où dans l'embouchure les concentrations varient entre 29 et 72 $\mu\text{atgN.l}^{-1}$, est identifiable en direction du nord le long de la côte ouest de l'île d'Oléron (fig. 6). Vers le large, dès l'isobathe 30 m, les teneurs en nitrates sont inférieures à 10 $\mu\text{atgN.l}^{-1}$. Il ne semble guère possible de préciser si les teneurs rencontrées dans le pertuis d'Antioche sont contrôlées par des apports girondins ou par ceux de la Charente et de la Seudre, car les courbes de dilution (NO₃, f(S ‰)) sont très voisines dans les trois estuaires (HÉRAL *et al.*, 1983). Quant à la répartition des phosphates, elle est identique à celle observée pour les nitrates, bien que les gradients soient moins importants :

- de 0,9 à 1,7 $\mu\text{atgP.l}^{-1}$,
- de 9,8 $\mu\text{atgP.l}^{-1}$ devant la côte ouest d'Oléron,
- de 1,5 à 2,2 $\mu\text{atgP.l}^{-1}$ dans les estuaires de la Seudre et de la Charente (fig. 6).

La répartition du rapport N/P (somme des azotes minéraux NH₃, NO₂, NO₃ sur phosphates) met en évidence des valeurs proches du rapport de Redfield dans les eaux du large (13,8 ; 14,2) alors que ce rapport est de 30 dans l'embouchure de la Gironde et dans le panache estuarien (fig. 7). Ce rapport reste élevé sur la côte ouest de l'île d'Oléron et dans le pertuis d'Antioche. Ce n'est que dans le bassin de Marennes-Oléron et dans le pertuis d'Antioche qu'il augmente, en relation avec les apports supplémentaires de la Charente (N/P = 93,1) et de la Seudre (N/P = 71,7).

Ainsi, il apparaît que l'influence de la Charente et de la Seudre en période de crue de la Gironde (= 3 000 m³.s⁻¹) serait très limitée en ce qui concerne la distribution des sels nutritifs dans la baie de Marennes-Oléron. Cette hypothèse avait déjà été envisagée par HÉRAL *et al.* (1983) au vu des courbes de dilution des nitrates dans l'estuaire de la Charente, mais elle n'avait pas été jusqu'à présent mise clairement en évidence.

La matière organique dissoute.

Carbone organique dissous (C.O.D.).

Les valeurs de C.O.D. obtenues lors de cette mission (tabl. 1) sont en bon accord avec les valeurs publiées dans la littérature pour les eaux côtières (MAC KINNON, 1981). Elles sont toujours plus faibles pour le point marin (maximum 1,3 mg.l⁻¹) que pour le point correspondant situé plus près de la côte (maximum 1,8 mg.l⁻¹). Les concentrations en carbone organique dissous rapportées ici sont plus faibles que celles obtenues par la même méthode sur des eaux de l'estuaire de la Gironde : sur des mesures effectuées pendant trois années consécutives (1981 à 1983), le C.O.D. varie dans la Gironde de 0,9 mg.l⁻¹ à 6,1 mg.l⁻¹ tout le long de l'estuaire. Les valeurs obtenues pour la zone aval se situent entre 0,9 et 2,1 mg.l⁻¹ (BERGER, 1984). Ces résultats témoignent donc de l'origine continentale du C.O.D.

Acides fulviques dissous (A.F.D.).

Six échantillons d'eau ont été étudiés, prélevés sous la surface à 0,5 m environ, sur six stations ; en effet, compte tenu des impératifs techniques, nous n'avons retenu que trois lignes — Arcachon, Gironde, pertuis d'Antioche — et, sur chacune, que la première station (la plus proche de la côte) et la dernière (la plus au large) (fig. 1).

Il n'a pas été détecté d'impuretés fluorescentes provenant des récipients en verre en contact avec l'eau de mer étudiée qui puissent interférer avec les résultats présentés ici (test par spectrofluorimétrie au laboratoire, après nettoyage intensif de la vaisselle).

L'intensité de fluorescence des acides fulviques d'origine terrigène mesurée près du maximum du spectre ($\lambda = 460 \text{ nm}$) est très faible. On peut cependant, sans difficulté, apprécier la variation de l'intensité de fluorescence entre les échantillons d'eau prélevés sur les six stations (compte tenu des corrections opti-

Stations	C.O.D. mg.l ⁻¹	Intensité de fluorescence mesurée à 460 nm *
A ₁	1,1	0,92
A ₄	1,2	1,97
A ₆	1,2	1,12
A ₁₀	1,8	3,40
B ₁₂	1,3	1,62
B ₉	1,7	8,74
Stations	D.O.C.	Fluorescence intensity measured at 460 nm

TABL. 1. — Teneurs en carbone organique dissous et intensité de fluorescence des eaux de surface. * Unité relative.
Dissolved organic carbon contents and fluorescence intensity of superficial waters. * Relative unit.

ques nécessaires). Le tableau 1 indique que l'intensité de fluorescence de l'eau du large est toujours plus faible que celle de l'eau côtière correspondante. Ceci est en accord avec l'origine continentale présumée de ces A.F.D. qui se diluent dans la masse océanique. De plus, notons que le spectre de fluorescence est le même (après correction pour les diffusions Rayleigh, Tyndall et Raman) que celui des A.F.D. dissous dans les eaux de la Gironde.

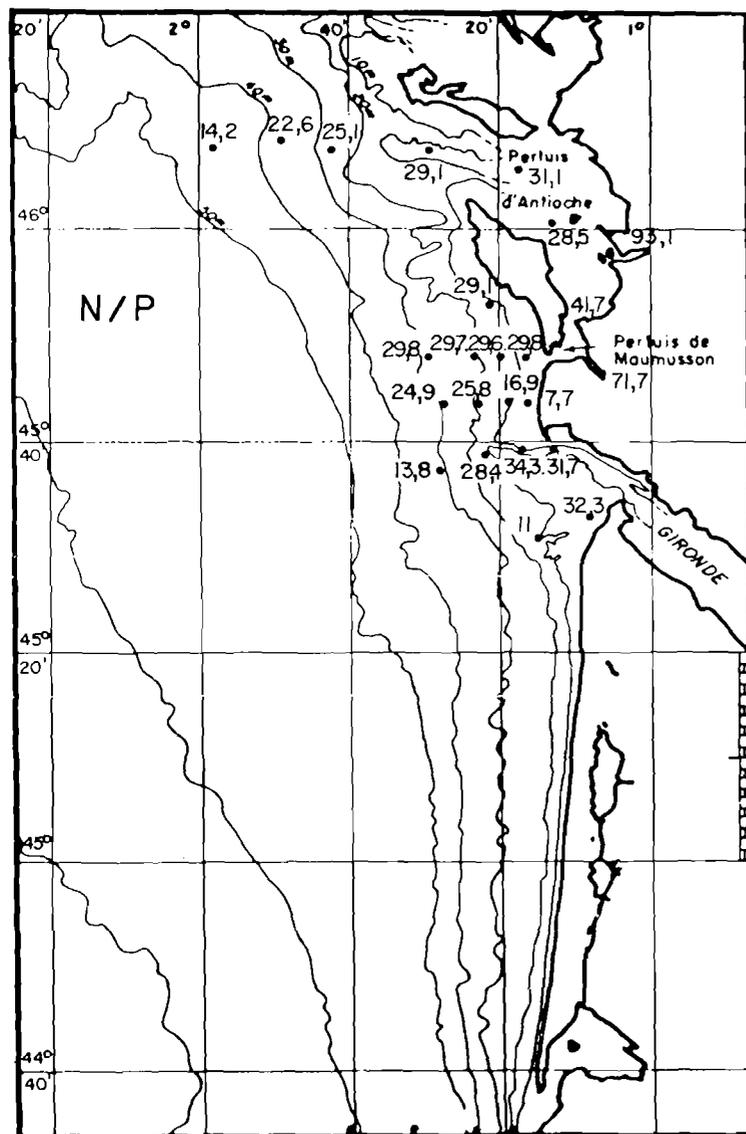


FIG. 7. — Evolution du rapport N/P.
Evolution of N/P relationship.

Observations au M.E.B.

Les observations au M.E.B. n'ont porté que sur les échantillons de quelques stations (fig. 8). Des différences très nettes apparaissent entre les prélèvements réalisés dans la "plume" turbide tel que B₉ et les prélèvements franchement marins tels que A₂ par exemple.

- Dans les prélèvements à caractère estuarien (planche 1), les remarques suivantes peuvent être faites. Dans l'échantillon B₉ les minéraux argileux sont très abondants, il n'existe pas à proprement parler de flo-

Les matières en suspension.

Turbidité.

Les concentrations en matières en suspension récupérées sur les filtres varient entre 4 et 60 mg.l⁻¹, sont sensiblement plus fortes que celles mesurées en mars-avril 1980 par CASTAING *et al.* (1982) lors de TRANSEPLAT I (0,3 à 10 mg.l⁻¹) ; ceci s'explique sans doute par les contextes hydrologiques différents qui prévalaient lors des deux missions (période de forte crue pour PLACAR).

L'examen de la répartition des M.E.S. (fig. 8) permet de faire les remarques suivantes :

- le panache d'eau turbide de la Gironde est bien individualisé, on observe très nettement un gradient est-ouest de diminution de la turbidité ;
- les eaux turbides de la Gironde remontent vers le nord le long de l'île d'Oléron ;
- entre les eaux du large, dont les turbidités sont comprises entre 10 et 15 mg.l⁻¹ et les eaux à caractère estuarien de la Gironde, il existe une bande d'eau très peu chargée, de l'ordre de 5 mg.l⁻¹ qui s'étale du nord au sud au niveau de l'isobathe des 40 m ; cette « structure » hydrologique n'avait pas été reconnue précédemment ;
- on remarque la pénétration de ces eaux peu chargées dans le pertuis d'Antioche ;
- au sud de l'estuaire de la Gironde et au large des passes d'Arcachon, l'examen des turbidités de surface ne permet pas de mettre en évidence l'existence de masses d'eaux d'origine continentale (plus chargées).

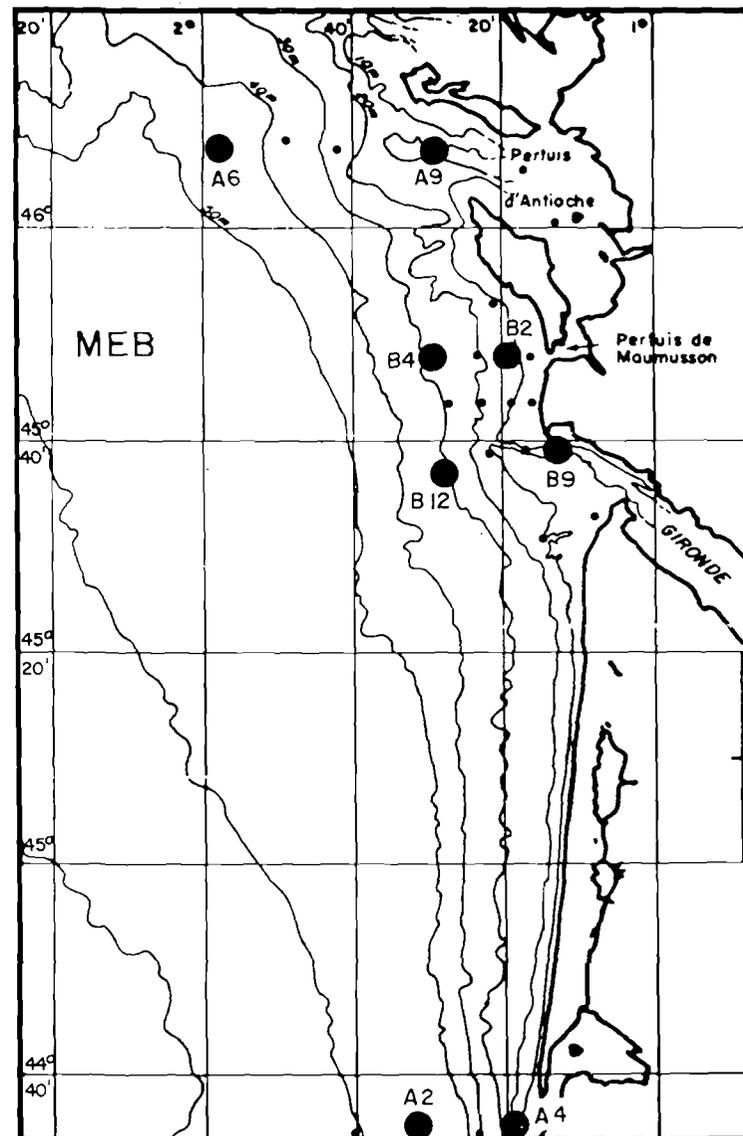
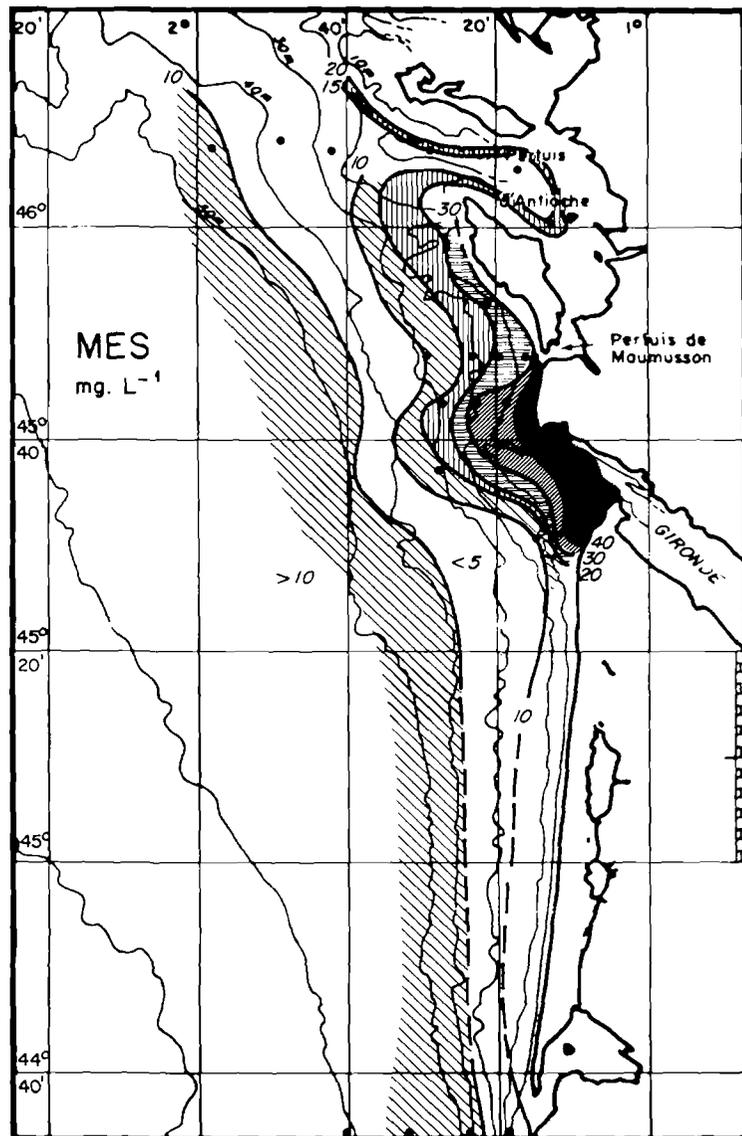
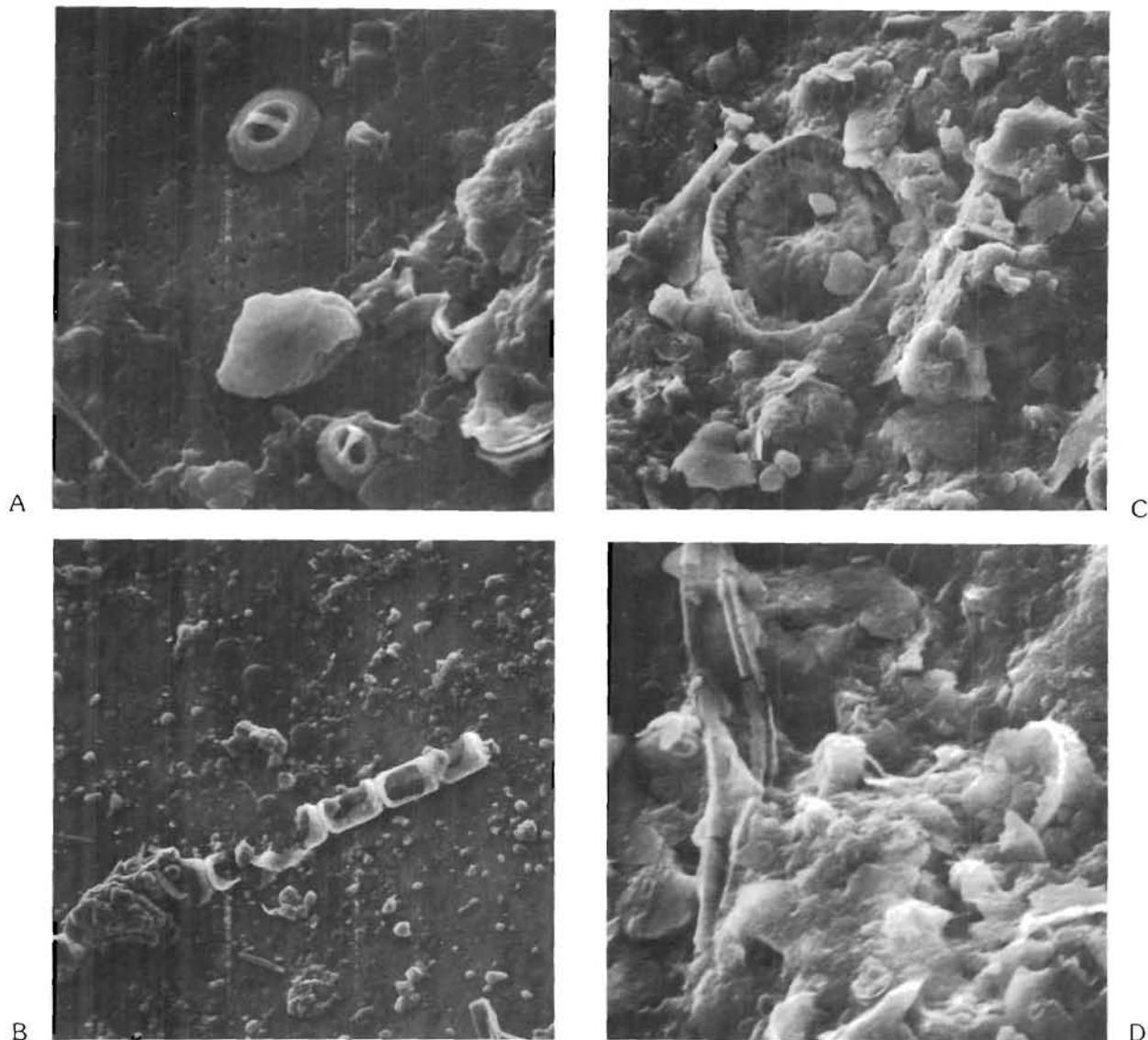


FIG 8. — Concentration en matières en suspension des eaux de surface et localisation des observations au M.E.B.
 Suspended matter concentration in superficial waters and SEM observations.

Station A₂
(dominante marine)

Station B₉
(dominante estuarienne)



PL. 1. — *Matières en suspension dans les eaux des stations A₂ et B₉ (dominante marine et estuarienne respectivement).*
Suspended matters in waters at station A₂ (marine predominance) and at station B₉ (estuarine predominance).

× 4 000 (A et D). × 400 (B), × 2 000 (C)

cons bien individualisés mais des petits agrégats. Les minéraux ont des contours plus ou moins estompés par des enduits ou des gels (amorphes ? hydroxydes ou M.O. ?). Les débris de diatomées sont relativement nombreux, mais toujours inclus dans de petits agrégats.

• Dans les prélèvements à caractère marin (planche 1), les minéraux peu abondants sont de très petites tailles, à contours très nets, très « propres », on remarque souvent des diatomées et des coccolithes en très bon état.

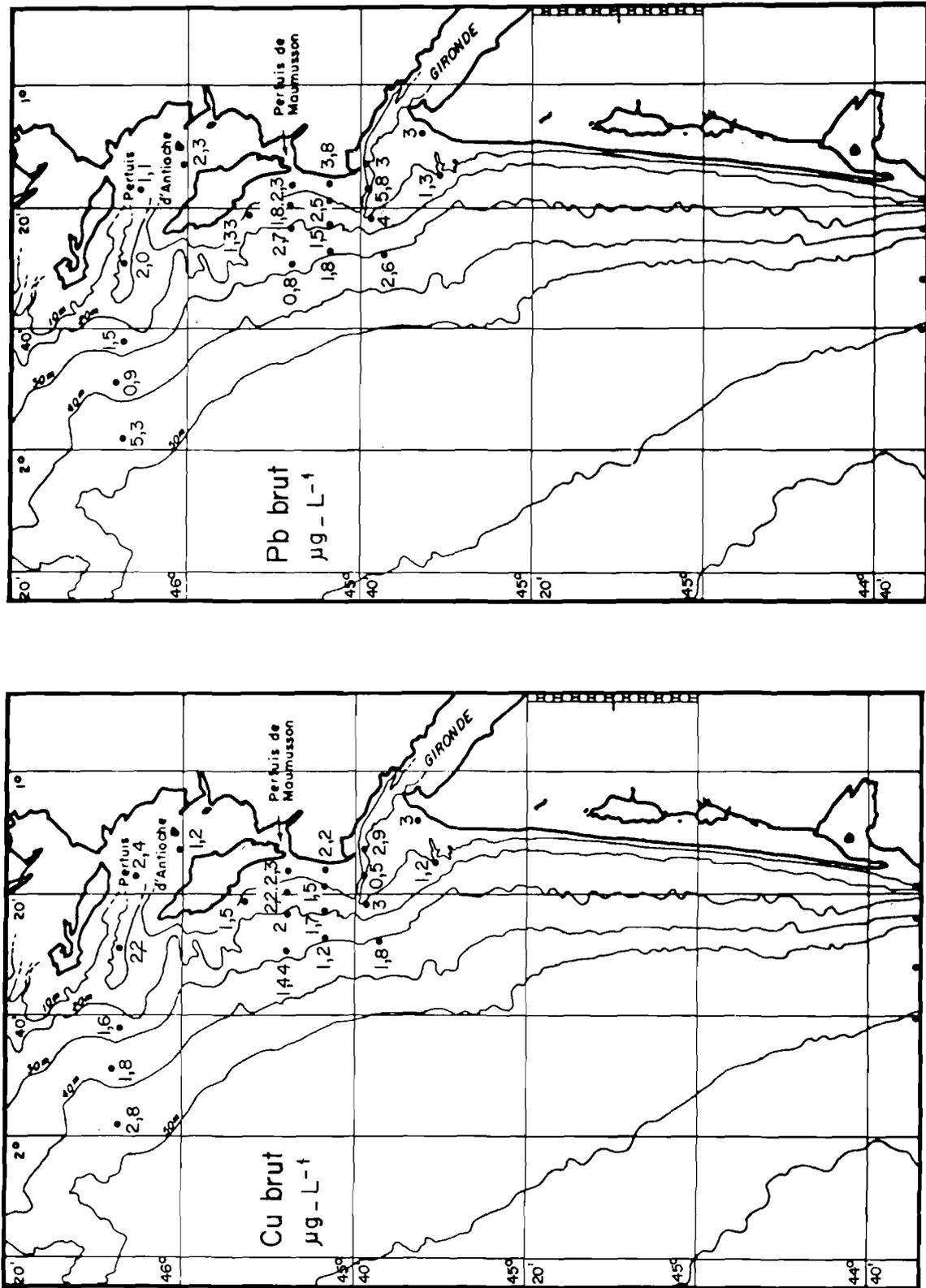


FIG. 9. — Teneurs en Cu et Pb.
Cu and Pb contents in superficial waters.

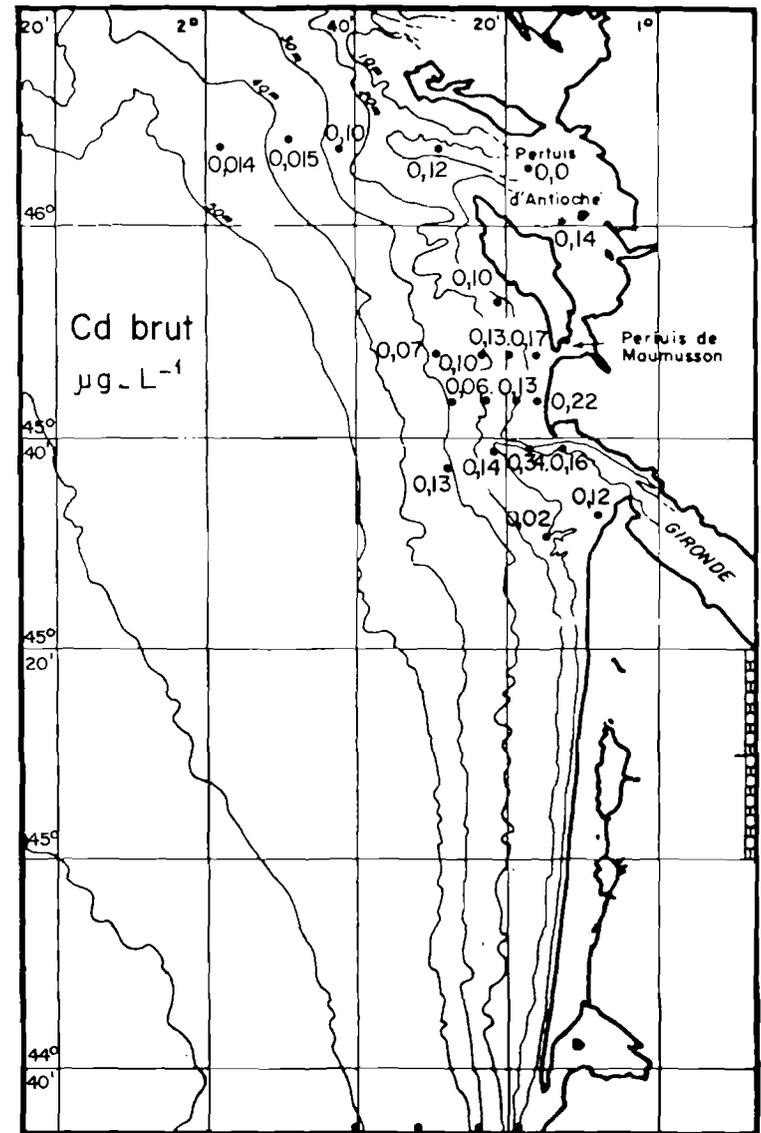
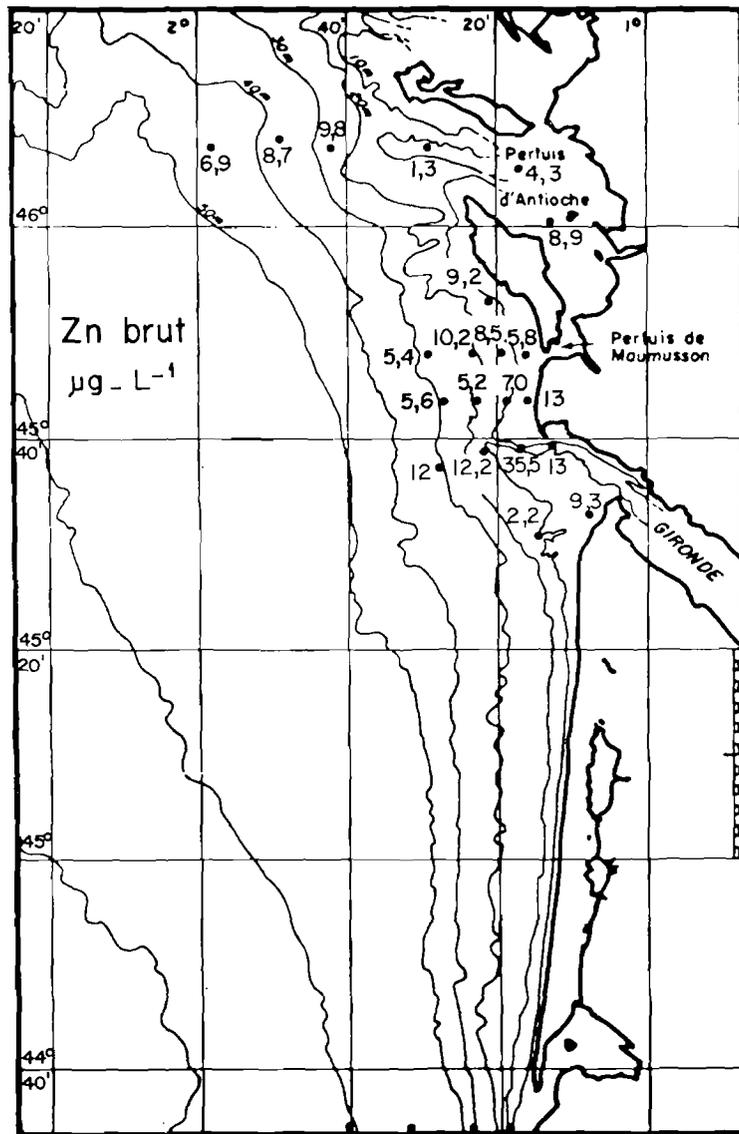


FIG. 10. — Teneurs en Zn et Cd.
Zn and Cd contents in superficial waters.

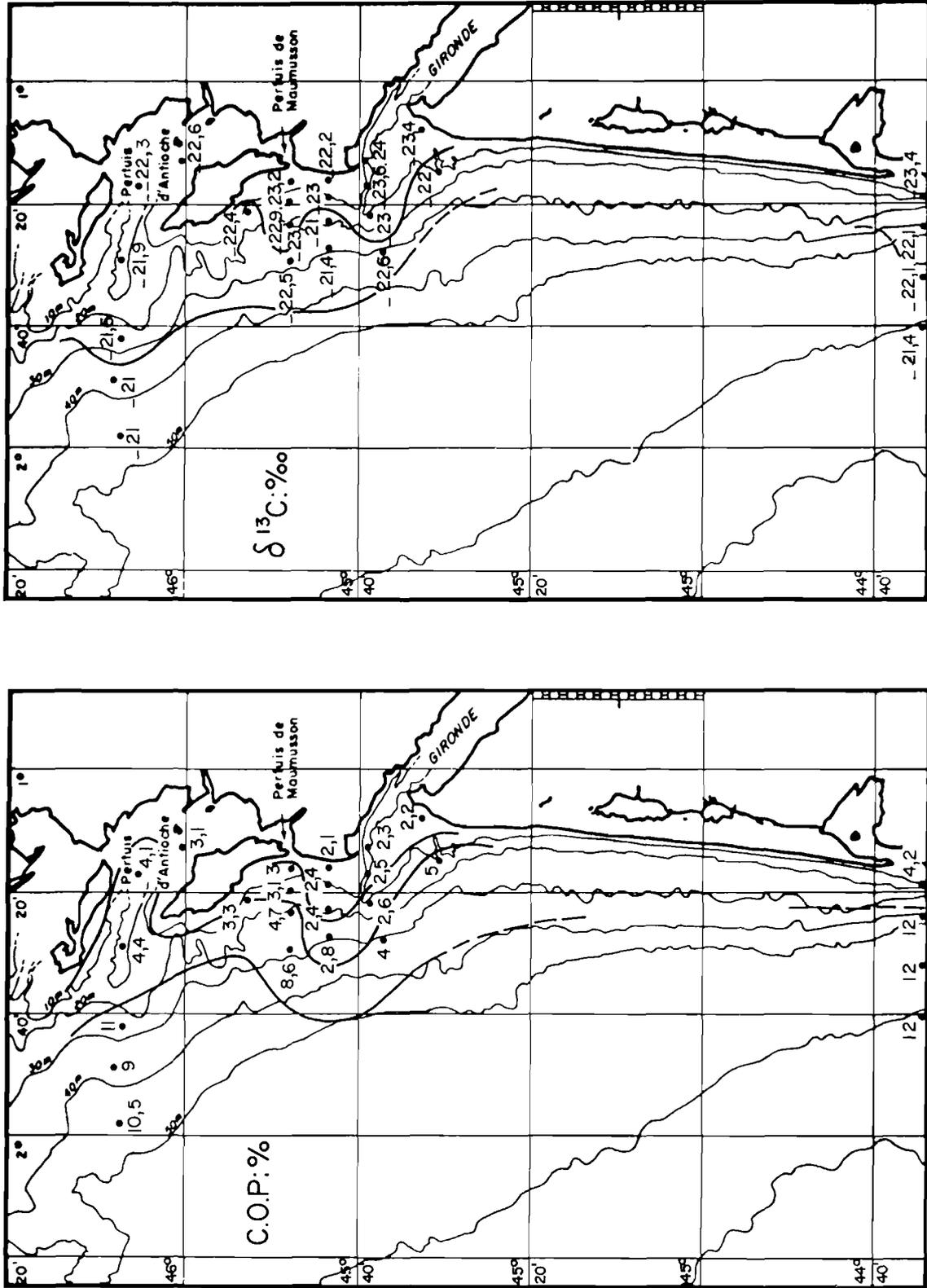


FIG. 11. — Teneurs en carbone organique particulaire et de la composition isotopique du carbone organique particulaire.
Particulate organic carbon contents and its isotopic composition.

Métaux mobilisables à pH 2,5.

Il ne sera fait sur ces résultats qu'un commentaire succinct, car un certain nombre de données nécessaires à une interprétation plus complète n'ont pu être recueillies lors de cette campagne.

Cuivre (fig. 9).

Les teneurs en cuivre total observées sont caractérisées par une grande homogénéité sur l'ensemble de la zone. Elles sont situées entre 1 et 3 $\mu\text{g.l}^{-1}$, ce qui correspond aux valeurs rencontrées habituellement sur les zones estuariennes et côtières. L'enseignement le plus important réside toutefois dans le fait qu'aucun gradient côte-large ne peut être mis en évidence et que les valeurs mesurées sont peu différentes de celles rencontrées dans la partie aval de l'estuaire de la Gironde (dans la phase dissoute).

Zinc et cadmium (fig. 10).

Contrairement au cuivre ces deux éléments ne présentent pas de répartition homogène à l'intérieur de la zone échantillonnée.

Des teneurs élevées en zinc ont été rencontrées à proximité immédiate de l'embouchure (jusqu'à 35 $\mu\text{g.l}^{-1}$). Elles diminuent nettement selon deux directions : sud-nord et est-ouest. On passe du 35 $\mu\text{g.l}^{-1}$ à la pointe de la Coubre à 12 $\mu\text{g.l}^{-1}$ en B12 (11 milles dans l'ouest de la Coubre) et à 5,4 $\mu\text{g.l}^{-1}$ en B4 (14 milles dans le N.O. de la Coubre).

Les points situés dans l'alignement du chenal de navigation sont plus chargés que ceux de la passe sud (12 et 35 $\mu\text{g.l}^{-1}$ contre 2 et 9 $\mu\text{g.l}^{-1}$), ce qui est en accord avec la courantologie du secteur (CASTAING, 1981).

Dans le pertuis d'Antioche les variations sont plus irrégulières, ce qui conduit à s'interroger sur l'origine du zinc à ce niveau. Ainsi, on observe en A9 un résultat caractéristique des eaux du large (1,3 $\mu\text{g.l}^{-1}$). Cette observation est compatible avec l'examen des salinités qui révèle la présence d'eaux encore très salées dans le pertuis d'Antioche.

A l'intérieur du bassin de Marennes-Oléron les teneurs en zinc remontent, sans doute sous l'influence des apports terrigènes (Charente).

Le cadmium est distribué de façon très similaire au zinc. Les stations les plus « continentales » et les plus « girondines » présentent des résultats caractéristiques d'une zone estuarienne (entre 100 et 200 ng.l^{-1} , avec un maximum isolé à 340 ng.l^{-1}). Comme le zinc, le cadmium semble réparti selon deux directions privilégiées (fig. 10), est-ouest et sud-nord. Le gradient décroissant côte-large est bien marqué : les niveaux passent de 160 à 130 ng.l^{-1} entre B9 et B12, après un maximum de 340 ng.l^{-1} en B10. Le gradient sud-nord est moins net. Les résultats sont cependant très inférieurs dans la partie nord de la zone étudiée, où l'on observe des teneurs semblables à celles des eaux du large (14 et 15 ng.l^{-1} en A6 et A7).

Plomb (fig. 9).

Les niveaux relevés dans l'eau brute se situent pour la plupart entre 1 et 3 $\mu\text{g.l}^{-1}$, ce qui correspond aux observations réalisées sur d'autres zones estuariennes comparables (tabl. 1). Cependant, un résultat nettement plus élevé (5,3 $\mu\text{g.l}^{-1}$) est observé sur le point le plus au large (A6) ce qui peut sembler surprenant et nécessiterait une confirmation, l'éventualité d'une contamination ne pouvant être écartée.

La répartition du plomb est beaucoup moins structurée que celle du zinc ou du cadmium, tout au plus remarque-t-on au niveau de l'estuaire une légère élévation des teneurs.

Carbone organique particulaire.

Les teneurs en C.O.P., exprimées en % du poids sec de M.E.S. recueillies sur les filtres (fig. 11) varient entre 2,2 % dans l'embouchure interne de la Gironde et 12 % environ dans les eaux franchement marines. Ces valeurs sont du même ordre que celles mesurées par ETCHEBER et RELEXANS (1982). Le mélange des eaux estuariennes appauvries en C.O.P. d'origine continentale avec des eaux marines plus riches (FONTUGNE et JOUANNEAU, 1981) se traduit bien par une remontée sensible des teneurs. Il apparaît toutefois que, à cette époque, une valeur en C.O.P. de l'ordre de 5 % correspond à la limite des eaux à caractères continentaux bien marqués. La ligne d'isovaleur 5 % en C.O.P. se calque en effet assez bien sur la « plume » turbide de la Gironde. Ceci n'est pas tout à fait vrai dans le pertuis d'Antioche, ni même au voisinage immédiat de la passe d'entrée d'Arcachon où, en dépit de turbidités faibles, la mesure du C.O.P. (3,5 à 5 %) traduit un mélange terrigène marin que confirme le $\delta^{13}\text{C}$.

Composition isotopique du carbone organique ($\delta^{13}\text{C}$).

Le carbone organique dérivant du plancton marin est enrichi en ^{13}C par rapport au carbone d'origine continentale. Connaissant la composition isotopique des sources marines (peu différente de $\delta^{13}\text{C} = -20\text{‰}$) et continentale ($\delta^{13}\text{C}$ voisin de -26‰), la mesure du $\delta^{13}\text{C}$ des M.E.S. permet de déterminer la contribution respective des deux sources.

L'ensemble des résultats, portés sur la figure 11 montre la similitude des distributions du $\delta^{13}\text{C}$ et de la salinité ou des turbidités entre autres. Au sud de l'embouchure (stations A₁ à A₅) les salinités ($> 34\text{‰}$) et les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ sont plus élevées, attestant une contribution exclusivement marine pour le carbone organique en suspension. Seule la station A₄, à la sortie du bassin d'Arcachon, présente pour le carbone organique une empreinte terrigène.

Au nord de la pointe de Grave, les trois paramètres évoluent de façon parallèle, suivant deux axes : augmentation des salinités et des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ et diminution des turbidités que l'on aille vers le large ou vers le nord, suivant chaque isobathe. Ces résultats montrent que l'essentiel du panache turbide de la Gironde est repoussé vers le nord et se dilue rapidement, la contribution terrigène devenant négligeable au-delà de l'isobathe 50 m, même en période de crue de la Gironde.

Discussion et conclusion.

A l'issue de cette campagne, les enseignements suivants peuvent être dégagés.

L'impact des eaux douces issues du bassin d'Arcachon semble très limité aux eaux très proches des passes (jusqu'à 20 m). Seuls les silicates dont les teneurs restent élevées jusqu'à l'isobathe 100 m au droit d'Arcachon semblent témoigner de cette influence.

Par contre, l'influence de la Gironde en période de crue est bien prépondérante sur le proche plateau continental aquitain et ceci essentiellement vers l'ouest et le nord-ouest. Cependant, dans les eaux côtières du plateau, en dehors de l'influence directe de la Gironde, on notera l'augmentation des teneurs en carbone organique particulière qui traduit, même en cette période hivernale, la présence d'un phytoplancton abondant.

Il n'en demeure pas moins que cette influence du panache estuarien se traduit aussi bien en ce qui concerne les flux particuliers qu'au niveau des substances dissoutes et des paramètres physico-chimiques des masses d'eaux. Ainsi, les masses d'eaux dessalées issues de la Gironde en période de crues hivernales s'étalent en direction du nord vers l'ouest jusqu'à l'isobathe 40 m, se mélangeant dans le pertuis d'Antioche avec les eaux du bassin de Marennes-Oléron. Mais, après avoir précisé l'étendue du panache des eaux de Gironde, on doit conclure et on peut s'interroger sur leur influence modifiant en cela les caractéristiques des eaux du proche plateau continental aquitain.

L'estuaire de la Gironde se comporte en effet soit comme un exportateur direct (la distribution des éléments dans les eaux du proche plateau étant alors contrôlée par la dilution), soit au contraire comme une zone de transformation (minéralisation, solubilisation, consommation) et/ou de piégeage d'un certain nombre d'éléments minéraux ou organique. Il en est ainsi pour les sels minéraux : ammoniacque et nitrites qui seraient minéralisés très rapidement, mais aussi du cuivre, bien qu'en fait en ce qui le concerne les tendances soient assez mal définies.

A l'inverse, les meilleurs marqueurs de l'exportation d'éléments estuariens de la Gironde, exportation matérialisée par le panache turbide, dessalé et plus froid, sont :

- pour les sels minéraux : les nitrates, les phosphates et les silicates,
- pour la matière organique dissoute : le carbone organique dissous,
- pour la matière particulière : la concentration en M.E.S. et le rapport des isotopes stables du carbone organique,
- pour les teneurs métalliques totales : le zinc, le cadmium et dans une moindre mesure le plomb.

Il est intéressant de noter qu'en cette période de crue les auréoles de concentration de ces différents marqueurs sont très voisines les unes des autres. Il apparaît également que cette influence des expulsions girondines est sensible dans la baie de Marennes-Oléron même ; c'est ainsi qu'en ce qui concerne les sels nutritifs par exemple l'impact de la Charente et de la Seudre ne se fait sentir qu'au débouché de ces deux fleuves.

Enfin, il faut rappeler l'existence d'une « structure » hydrologique originale à l'entrée du pertuis d'Antioche, bande d'eau très peu chargée, peu dessalée, peu riche en zinc, de caractère océanique marqué, empri-

sonnée par des eaux typiquement estuariennes. Cette lentille d'eau peut s'expliquer par l'influence des courants de marée avec, au flot, pénétration d'eaux océaniques et, au jusant, diffusion des eaux estuariennes vers le large, permettant ainsi à cette structure de s'individualiser ; ce peut être éventuellement un phénomène de courte durée dépendant de la période de la marée où les masses d'eaux ont été échantillonnées.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEN (G.-P.), 1972. — Etude des processus sédimentaires dans l'estuaire de la Gironde. — Thèse Doct. ès Sc., Bordeaux I, n° 369, 310 p., 134 fig., 13 tabl.
- ALLEN (G.-P.), KLINGEBIEL (A.), VIGNEAUX (M.), 1971. — Modalités de répartition des suspensions issues de l'estuaire de la Gironde sur le plateau continental atlantique. — *C.R. Acad. Sc., Paris*, **273** : 2211-2214.
- ALLEN (G.-P.), SAUZAY (G.), CASTAING (P.), JOUANNEAU (J.-M.), 1976. — Transport and deposition of suspended sediment in the Gironde estuary, France. — In « Estuarine Processes », vol. 2, Wiley edit. Academic Press New York, Londres : 63-82.
- BERGER (P.), 1984. — Etude de la matière organique complexe fluorescente dans les estuaires de la zone tempérée. — Thèse Doct. ès Sc., Univ. Bordeaux I, n° 805, 186 p., 46 fig., 21 tabl.
- BOURCART (J.), 1947. — Sur les vases du plateau continental français. — *C.R. Acad. Sc., Paris*, **225** : 137-139.
- CASTAING (P.), 1981. — Le transfert à l'océan des suspensions estuariennes : cas de la Gironde. Thèse Doct. ès Sc., Bordeaux I, n° 701, 530 p., 179 fig., 14 tabl.
- CASTAING (P.), JOUANNEAU (J.-M.), 1979. — Temps de résidence des eaux et des suspensions dans l'estuaire de la Gironde. — *J. Rech. océanogr.*, Paris, **4** : 41-52.
- CASTAING (P.), PHILIPPS (I.), WEBER (O.), 1982. — Répartition et dispersion des suspensions dans les eaux du plateau continental aquitain. — *Oceanologica Acta*, **5** (1) : 85-96.
- ETCHEBER (H.), 1981. — Comparaison de diverses méthodes d'évaluation des teneurs en matière en suspension et en carbone organique particulaire des eaux marines du plateau continental aquitain. — *J. Rech. océanogr.*, **6** (2) : 37-42.
- ETCHEBER (H.), RELEXANS (J.-C.), 1983. — Nature et répartition de la matière organique particulaire sur le plateau continental au large de l'estuaire de la Gironde. — *Annales Inst. océanogr.*, **5** (1) : 5-19.
- EWALD (M.), JOBET-BELIN (C.), 1981. — Fluorescence des acides fulviques et d'acides humiques extraits d'un sédiment marin d'origine autochtone. Etude directe de la fluorescence de l'eau sus-jacente et interstitielle du sédiment. — In « Géochimie organique des sédiments marins profonds », mission ORGON IV, Golfe d'Aden, Mer d'Oman, Edition du C.N.R.S. : 383-403.
- EWALD (M.), BELIN (C.), BERGER (P.), WEBER (J.H.), 1983. — Corrected fluorescence spectra of fulvic acids isolated from soil and water. — *Environ. Sci. Techn.*, **17** : 501-504.
- FONTUGNE (M.-R.), 1978. — Etude de la composition isotopique du carbone organique du plancton marin : application à la paléo-océanographie. — Thèse 3^e Cycle, Univ. Bordeaux I, n° 1459, 103 p., 28 fig., 18 tabl.
- HÉRAL (M.), RAZET (D.), DESLOUS-PAOLI (J.-M.), BERTHOMÉ (J.-P.), GARNIER (J.), 1982 (1983). — Caractéristiques saisonnières de l'hydrobiologie du complexe estuarien de Marennes-Oléron. — *Rev. Trav. Inst. Pêch. marit.*, **46** (2) : 97-119.
- JOUANNEAU (J.-M.), 1982. — Matières en suspension et oligo-éléments métalliques dans le système estuarien girondin : comportement et flux. — Thèse Doct. ès Sc., Bordeaux I, n° 732, 150 p., 62 fig., 31 tabl.
- KOROUEFF (F.), 1969. — Direct determination of ammoniac in natural waters as indophenol blue. — Note au CIEM, **C 2**, 19-22.
- LATOUCHE (C.), 1971. — Les argiles des bassins alluvionnaires aquitains et des dépendances océaniques. Contribution à l'étude d'un environnement. — Thèse Doct. ès Sc., Bordeaux I, n° 344, 2 t., 415 p., 96 fig.
- LE CORRE (P.), TRÉGUER (P.), 1976. — Contribution à l'étude de la matière organique dissoute et des sels nutritifs dans l'eau de mer. Caractéristiques chimiques du Golfe de Gascogne et des upwellings côtiers et l'Afrique du Nord-Ouest. — Thèse Doct. ès Sc., Univ. Bretagne occidentale, 490 p.
- LERMAN (J.C.), MOOK (W.G.), VOGEL (J.C.), 1970. — C-14 in tree rings from different localities. — *Nobel Symposium 12 : Radio-carbon variation and absolute chronology* : 273-301.
- LÉVÊQUE (F.), 1936. — Bordeaux et l'estuaire girondin. — Delmas edit., Bordeaux, 167 p.
- MAC KINNON (M.C.), 1981. — In « Marine organic chemistry », Duursma E.K., Dawson R. edit., Elsevier oceanography, **31**, 14 : 415-437.
- MARTIN (J.-M.), MEYBECK (M.), SALVADORI (F.), THOMAS (A.), 1976. — Pollution chimique des estuaires : état actuel des connaissances. — *Rapport scient. techn. CNEXO*, n° 22, 286 p.
- MENZEL (D.W.), VACARRO (R.F.), 1964. — The measurement of dissolved organic and particulate carbon in sea water. — *Limn. Oceanogr.*, Lawrence (Kansas), **9** : 138-142.
- MIGNIOT (C.), 1971. — L'évolution de la Gironde au cours des temps. — *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine*, Bordeaux, **11** : 221-281.

- NEDHIF (M.), 1983. — Elevage de *Ruditapes philippinarum* dans le bassin de Marennes-Oléron : relations trophiques et bilan énergétique. — Thèse INAT, 154 p.
- REDFIELD (A.L.), 1934. — On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton. — In James Johstone Memorial Volume. Liverpool : The University Press : 176-192.
- STRICKLAND (J.D.H.) et PARSONS (T.R.), 1972. — A practical hand-book of sea water analysis. — *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, **167** (2), 310 p.
- THOMAS (Y.F.), 1978. — Etude par télédétection de certaines zones côtières de la France. — Lab. de Géogr. Ecole Normale Sup., Montrouge, contrat CNEXO 76/1580, 168 p.
- TOETZ (P.W.), 1970. — Experiments on the adsorption of ammonium ions by clay particles in natural waters. — *Waters resources research*, **6** (3) : 979-989.

Manuscrit soumis le 26 octobre 1984, accepté le 12 février 1985.

ANNEXE

Echantillon	Latitude Nord	Longitude Ouest
A 1	44° 31' 3	1° 40' 0
A 2	44° 31' 5	1° 33' 0
A 3	44° 31' 8	1° 24' 8
A 4	44° 31' 7	1° 19' 5
A 5	45° 30' 2	1° 15' 3
A 6	46° 06' 8	1° 57' 5
A 7	46° 07' 4	1° 48' 5
A 8	46° 06' 7	1° 41' 8
A 9	46° 06' 2	1° 28' 3
A 10	46° 06' 0	1° 17' 9
A 11	46° 00' 3	1° 11' 6
A 12	45° 53' 5	1° 20' 7
B 1	45° 47' 6	1° 16' 8
B 2	45° 47' 6	1° 19' 8
B 3	45° 47' 8	1° 23' 1
B 4	45° 47' 6	1° 29' 0
B 5	45° 43' 8	1° 15' 8
B 6	45° 43' 8	1° 18' 0
B 7	45° 43' 9	1° 22' 9
B 8	45° 44' 0	1° 27' 3
B 9	45° 39' 7	1° 12' 5
B 10	45° 38' 8	1° 17' 3
B 11	45° 38' 4	1° 21' 8
B 12	45° 37' 4	1° 28' 6
C 1	45° 32' 9	1° 17' 6

PLACAR

Coordonnées géographiques des prélèvements