

PREMIERS RESULTATS SUR L'HYDROLOGIE, L'OXYGENE DISSOUS
ET LES PICMENTS PHOTOSYNTHETIQUES EN MANCHE OCCIDENTALE
APRES L'ECHOUAGE DE L'AMOCO CADIZ"

par

A. AMINOT et R. KEROUEL

Centre Océanologique de Bretagne
B.P. 337 - 29273 BREST Cedex

R E S U M E

Au cours des campagnes "SUROIT 1" (30 mars - 4 avril), "SUROIT 3" (13-18 avril) et "THALIA 1" (15-17 avril) un grand nombre de mesures d'oxygène dissous et de chlorophylle ont été réalisées afin d'analyser les effets de la pollution pétrolière de l'"AMOCO CADIZ" sur l'oxygénation du milieu et sur le comportement du phytoplancton.

Ces premiers résultats mettent en évidence une désoxygénation de l'eau jusqu'à quatre semaines après l'échouage dans une zone située entre 10 et 20 milles à l'est de l'"AMOCO CADIZ". Ces données permettent d'effectuer certaines considérations sur la dégradation des hydrocarbures.

En revanche, les analyses d'oxygène effectuées dans les estuaires et en particulier dans l'Aber Wrac'h, un des plus pollués, n'ont pas révélé d'anomalies caractéristiques un mois après la pollution.

Les résultats quantitatifs concernant la chlorophylle "a" et les phaeopigments ne semblent pas montrer de perturbation très notable entre 2 et 4 semaines après l'échouage, que ce soit au large ou à la côte.

A B S T R A C T

During the cruises "SUROIT 1", "SUROIT 3" and "THALIA 1", many analyses of dissolved oxygen and chlorophyll have been carried out in order to ascertain some effects of oil spill of "AMOCO CADIZ" on oxygen concentrations and phytoplankton behaviour.

These first results show an under-saturation of oxygen, four weeks after stranding, in sea-water standing between 10 to 20 milles eastward of "AMOCO CADIZ". These data allow to do some considerations about oxydation of hydrocarbons in sea-water.

In estuaries, especially Aber Wrac'h, one of the most polluted, the analyses do not show obvious anomaly one month after oil spill.

Quantitative results on chlorophyll "a" and phaeopigments don't seem to show any noticeable disturbance, neither off, nor near the coast, from two weeks to four weeks after oil spill.

M O T S - C L E S : Amoco Cadiz, Chlorophylle, Oxygène dissous, Manche.

K E Y W O R D S : Amoco Cadiz, Chlorophyll, dissolved oxygen, English Channel.

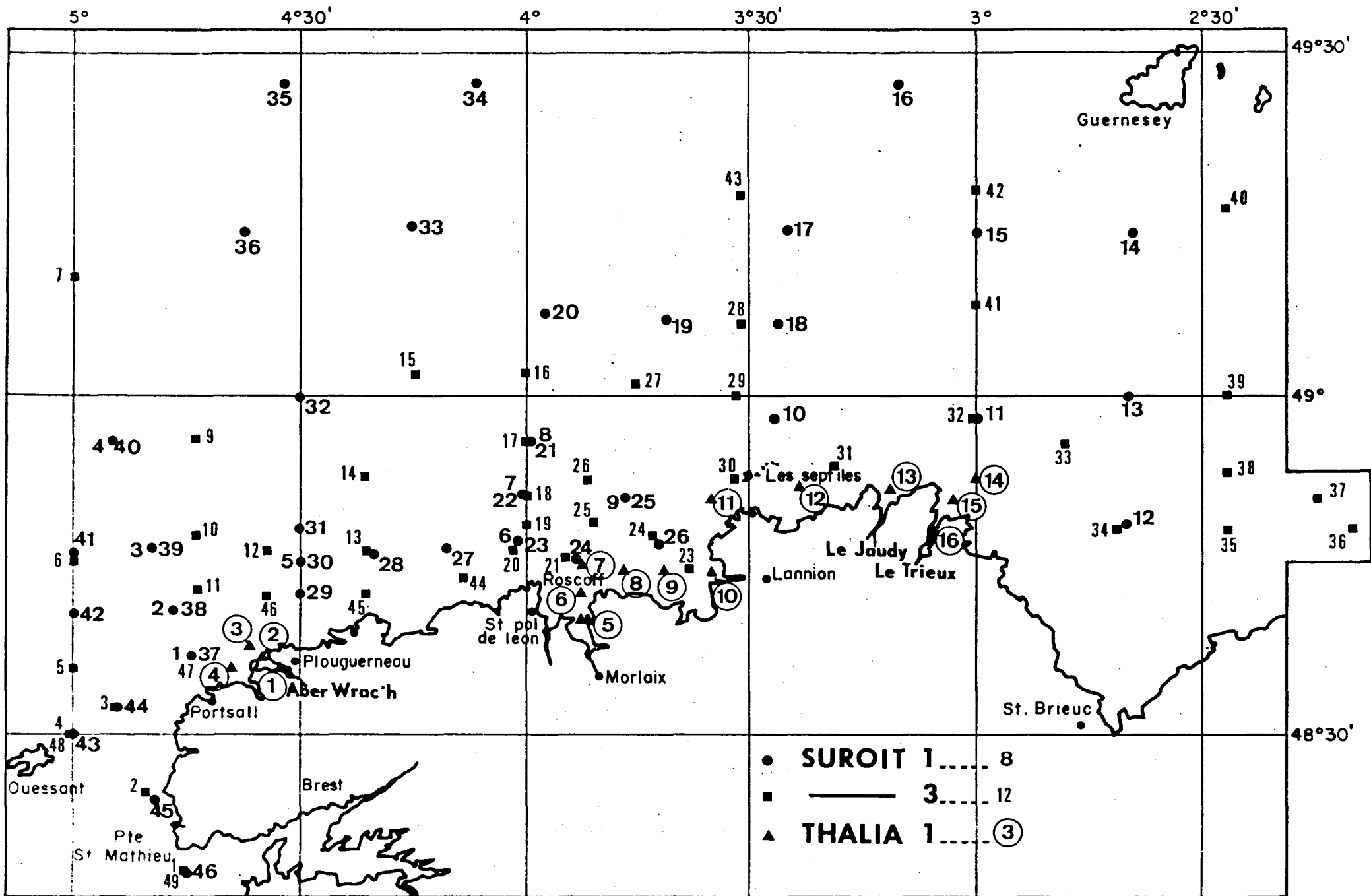


FIGURE 1 Position des stations de prélèvements aux campagnes "SUROIT 1", "SUROIT 3" et "THALIA 1".

INTRODUCTION

Le 16 mars 1978, l'"AMOCO CADIZ" s'échouait près de PORTSALL sur la côte nord du Finistère (France). Toute la cargaison, soit 223.000 tonnes de brut, était répandue avant la fin mars. Afin d'étudier les conséquences de cette catastrophe sur le milieu, plusieurs campagnes ont été effectuées en Manche Occidentale et sur la frange côtière de la Bretagne Nord.

Nous présentons ici les premiers résultats des deux campagnes "SUROIT 1" (30/3-4/4), et "SUROIT 3" (13/4-18/4) en Manche et de la campagne côtière "THALIA 1" (15/4-17/4). Les positions des stations de prélèvement sont présentées en figure 1. Lors de la campagne "SUROIT 1", la zone ouest a été couverte à l'aller et au retour, certaines stations ayant ainsi pu être doublées à quelques jours d'intervalle. Nous considérerons comme faisant partie du trajet aller les stations 1 à 19 et comme faisant partie du trajet retour les stations 20 à 46.

Outre l'hydrologie, nous avons étudié en particulier la distribution des concentrations en oxygène dissous ainsi que celle des pigments photosynthétiques (chlorophylle "a" et phaeopigments). L'analyse de ces paramètres prend en compte les relations physico-chimiques entre l'oxygène dissous et les hydrocarbures (oxydations, échanges à l'interface eau-atmosphère) ainsi que les incidences biologiques au niveau de la production primaire.

MATERIEL ET METHODES

Les prélèvements ont été effectués à l'aide de bouteilles NISKIN de 5 litres.

Les concentrations en oxygène dissous ont été déterminées selon la méthode de CARRITT et CARPENTER (1966). Les précautions prises pour respecter très strictement les conditions opératoires nous permettent d'attribuer aux résultats une reproductibilité de l'ordre de $\pm 0,02$ ml/l d'oxygène (soit $\pm 0,3$ % environ). L'absence d'interférences chimiques liées à la présence des hydrocarbures dans l'eau a été vérifiée au niveau du milligramme par litre de ces composés.

Les résultats d'oxygène dissous ont été comparés aux valeurs de saturation théorique, compte tenu de la température et de la salinité, en nous référant aux travaux de WEISS (1970) d'où sont extraites les tables Internationales de l'UNESCO (POSTMA et coll. 1976). Nous avons ainsi déterminé l'écart relatif de concentration par rapport à la saturation ; cet écart est exprimé en pourcentage (abréviation : ΔO_2 %).

Les analyses de chlorophylle "a" et de phaeopigments ont été effectuées selon la méthode spectrophotométrique de LORENZEN (1967) après filtration de deux litres d'eau de mer sur membrane de fibre de verre Whatman GF/C (porosité : environ $1 \mu\text{m}$). Les filtres ont été immédiatement immergés dans 10 ml d'acétone à 90 % et placés à l'obscurité et à -20°C jusqu'à l'analyse effectuée environ une semaine plus tard.

Les phaeopigments sont exprimés en pourcentage par rapport aux pigments "a" totaux, à savoir :

$$\text{Phaeopigments} = \frac{(\text{Phaeopigments})}{(\text{Chlorophylle})+(\text{Phaeopigments})} \times 100$$

RESULTATS

1. CAMPAGNES "SUROIT 1" ET "SUROIT 3" EN MANCHE SUD-OCCIDENTALE

1.1 Hydrologie

Les cartes de salinité (fig 2a,b,c et 3a,b) font apparaître aux deux campagnes un gradient de salinité décroissante du Nord-Ouest vers le Sud-Est. Ce gradient tend à s'orienter Ouest-Est dans la bande côtière, au-dessous d'une immersion de 20 mètres.

Les salinités dépassent de très peu la valeur de 35‰ dans la partie Ouest tandis que les valeurs les plus basses (mesurées à environ 5 milles de la côte) sont de l'ordre de 34,5 ‰ dans les baies de Morlaix et de Lannion.

Lors de la campagne "SUROIT 1" on observe en surface au Nord de Plouguerneau, l'extension vers l'Ouest d'une langue de salinité réduite s'étendant entre 5 et 15 milles de la côte environ.

Cette situation n'apparaît pas à la campagne "SUROIT 3", qui présente cependant peu de différences avec la campagne "SUROIT 1" en ce qui concerne la distribution des salinités, excepté au voisinage de la côte.

Le tracé des isothermes (fig. 4) met en évidence au début avril deux zones principales dans le secteur étudié de la Manche : à l'Est du 3ème degré de longitude, une zone froide (< 8,5°C) et à l'Ouest une masse d'eau de température légèrement plus élevée (9,5 à 10°C). Le gradient horizontal de température entre ces deux zones est plus faible à la côte qu'au large où il atteint 1°C pour 15 milles.

Deux semaines plus tard (fig. 5), on constate un refroidissement de l'ordre de 0,5°C à l'Ouest tandis qu'à son extrémité Est la zone étudiée présente un léger réchauffement ; l'isotherme 8,5°C est resté inchangé au voisinage du 3ème degré de longitude pendant ce laps de temps.

1.2 Oxygène dissous

Les résultats d'oxygène dissous sont exprimés sous la forme de leur écart relatif à la saturation théorique. En raison des faibles variations de température et de salinité, les concentrations d'oxygène correspondant à la saturation sont comprises dans la fourchette 6,30 - 6,60 ml/l. En conséquence la transformation des écarts relatifs en écarts absolus peut s'effectuer simplement par la relation $\Delta O_2(\text{ml/l}) = \Delta O_2\% \times 0,065$.

Lors de la campagne "SUROIT 1" (fig. 6,a,b) on constate que la zone Est présente de très faibles sursaturations (<+ 1%) tandis que dans la partie Nord-Ouest elles atteignent plus de 3%, en surface.

Cependant, au nord de Plouguerneau, 10 milles à l'Est du lieu de l'échouage, on observe une zone où la sous-saturation est particulièrement nette (jusqu'à - 4,6%). Cette sous-saturation existe sur toute la profondeur aux stations 29 et 31 où trois immersions ont été analysées. La station 30 montre une anomalie de surface négative à l'aller mais légèrement positive lors du deuxième passage environ 3 jours plus tard (tableau 1).

Lors de la campagne "SUROIT 3" (mi-avril), le gradient Est-Ouest s'est estompé pour faire place à une sursaturation de surface de l'ordre de +2 à +3% sur presque toute la zone (fig. 7).

L'anomalie négative observée près de la côte deux semaines auparavant existe toujours sur toute la profondeur mais elle s'est déplacée légèrement vers l'Est et ne s'étend plus aussi loin vers le large (on ne la note qu'à la station 45) ; la sous-saturation est de - 2,5%.

1.3 Chlorophylle "a" et phaeopigments

Au début avril (campagne "SUROIT 1") de faibles teneurs en chlorophylle "a" délimitent une zone pauvre en phytoplancton depuis la baie de Saint-Brieuc jusqu'à la limite

TABLEAU 1 : COMPARAISON DES MESURES DE SURFACE EFFECTUEES AUX MEMES POINTS LORS DE L'ALLER
ET DU RETOUR DE LA CAMPAGNE "SUROIT 1".

(a) = aller ; (r) = retour. Le temps écoulé entre l'aller et le retour au même point est compris entre 44 et 71 heures.

| STATION | S°/‰ | TEMPERATURE | O ₂ % | CHLOROPHYLLE "a" mg/m ³ | PHAEOPIGMENTS % |
|---------|-------|-------------|------------------|---------------------------------------|-----------------|
| 1(a) | 34,96 | 10,0 | +2,7 | 2,26 | 16 |
| 37(r) | 34,86 | 10,0 | +2,4 | 1,72 | 6 |
| 2(a) | 35,05 | 9,9 | +1,1 | 1,68 | 7 |
| 38(r) | 34,93 | 10,1 | +4,4 | 1,44 | 2 |
| 3(a) | 35,03 | 9,9 | +0,6 | 1,24 | 5 |
| 39(r) | 35,04 | 10,2 | +3,3 | 1,57 | 0 |
| 4(a) | 35,01 | 9,8 | +2,1 | 2,22 | 6 |
| 40(r) | 35,02 | 9,9 | +3,9 | 2,23 | 2 |
| 5(a) | 34,67 | 9,7 | -1,7 | 2,31 | 1,5 |
| 30(r) | 34,64 | 9,75 | +0,9 | 2,62 | 1 |
| 6(a) | 34,56 | 9,5 | +1,4 | 3,30 | 7 |
| 23(r) | 34,55 | 9,6 | +1,9 | 2,56 | 3 |
| 7(a) | 34,61 | 9,6 | +1,6 | 2,82 | 2 |
| 22(r) | 34,60 | 9,55 | +1,9 | 2,94 | 0 |
| 8(a) | 34,61 | 9,55 | +1,7 | 2,66 | 3 |
| 21(r) | 34,60 | 9,5 | +1,7 | 2,47 | 0 |
| 9(a) | 34,59 | 9,45 | +2,7 | 2,16 | 5 |
| 25(r) | 34,62 | 9,6 | +3,1 | 3,67 | 3 |

TABLEAU 2 : RESULTATS DE LA CAMPAGNE COTIERE "THALIA 1" (prélèvements de surface)

| LIEU | N° DE STATION | S°/‰ | TEMP.(°C) | O ₂ % | CHLOROPHYLLE "a" (mg/m ³) | PHAEO. % |
|---|---------------|-------|-----------|------------------|--|----------|
| ABER WRAC'H | 1 | 31,63 | 10,1 | +8,8 | 1,31 | 17,6 |
| | 2 | 33,54 | 10,1 | +13,2 | 0,83 | 5,8 |
| | 3 | 34,74 | 9,7 | +3,9 | 1,33 | 1,8 |
| ABER BENOIT | 4 | 34,79 | - | +2,2 | 1,01 | 5,8 |
| BAIES DE MORLAIX ET DE LANNION | 5 | 33,20 | - | +5,4 | 2,19 | 5,2 |
| | 6 | 34,14 | 9,3 | +5,9 | 2,30 | 6,5 |
| | 7 | 34,51 | - | +2,9 | 1,52 | 3,9 |
| | 8 | 34,53 | 9,5 | +4,1 | 1,76 | 8,1 |
| | 9 | 34,09 | 9,7 | +10,2 | 3,07 | 10,2 |
| | 10 | 32,54 | 9,4 | +11,4 | 2,83 | 3,7 |
| TRIAGOZ | 11 | 34,56 | 9,1 | +1,2 | 1,33 | 6,3 |
| SEPT ILES | 12 | 34,59 | 9,5 | +2,8 | 1,42 | 0,8 |
| LE JAUDY | 13 | 34,10 | 8,85 | +7,7 | 2,78 | 2,1 |
| LE TRIEUX | 14 | 34,64 | 8,4 | +2,4 | 1,21 | 0,0 |
| | 15 | 34,46 | 8,6 | +7,2 | 1,52 | 0,0 |
| | 16 | 32,68 | 9,0 | +8,4 | 1,40 | 0,0 |

Nord de la zone étudiée ($< 1 \text{ mg/m}^3$). Les teneurs s'élèvent ensuite rapidement vers l'Ouest jusqu'à plus de 2 mg/m^3 au large et plus de 3 mg/m^3 près de la côte (fig. 8a,b).

On peut noter entre l'aller et le retour de la campagne un déplacement vers l'Est de la distribution générale des valeurs de chlorophylle, mais en particulier de la zone de concentrations élevées du Nord de la baie de Morlaix.

A la mi-avril (fig. 9) les valeurs relevées en surface sur la presque totalité de la zone restent inférieures à $1,5 \text{ mg/m}^3$; seules quelques poussées planctoniques sont notées très près de la côte, principalement en baie de Lannion ($> 3 \text{ mg/m}^3$).

Pour la campagne "SUROIT 1", les pourcentages de phaeopigments (fig. 10) se répartissent de façon approximativement inverse des concentrations en chlorophylle "a". Les valeurs les plus fortes se situent à l'Est dans la zone où ont été notées les plus faibles quantités de chlorophylle. Dans le reste de la zone étudiée les pourcentages sont inférieurs à 5%, excepté dans l'extrême Sud-Ouest où ils s'élèvent légèrement.

Deux semaines plus tard (fig. 11) on observe une forte chute des phaeopigments dans la zone Est. En revanche, dans la bande côtière de 15 à 20 milles allant de Plouguerneau à Lannion, le pourcentage s'est élevé de façon notable sans toutefois dépasser 10%.

2. CAMPAGNE COTIERE "THALIA 1"

Les principaux résultats de la campagne côtière "THALIA 1" sont reportés dans le tableau 2.

On remarque que les salinités restent supérieures à 34‰ pour la plupart des prélèvements ; seuls les quelques points situés les plus en amont présentent des dessalures notables (Aber Wrac'h : $31,63\text{‰}$, baie de Morlaix : $33,20\text{‰}$, baie de Lannion : $32,54\text{‰}$, Le Trieux : $32,68\text{‰}$).

Les températures confirment ce qui a pu être observé lors des campagnes en Manche : décroissance d'Ouest en Est avec $9,5$ à 10°C dans les Abers et $8,5$ à 9°C dans le Trieux.

Les pourcentages de saturation en oxygène sont en tous les points supérieurs à 100% ; les sursaturations, qui sont de +2 à +4% aux stations les plus marines, s'élèvent à environ +10% lorsque l'on se rapproche ou pénètre dans les estuaires (+13% dans l'Aber Wrac'h). Les valeurs de chlorophylle "a" sont proches de 1 mg/m^3 dans les Abers où elles sont associées à des proportions de phaeopigments généralement supérieures à 5%.

En baies de Morlaix et de Lannion, les concentrations en chlorophylle sont plus élevées ($1,5$ à 3 mg/m^3) tandis que les quantités de phaeopigments sont comprises entre 4 et 10%.

Dans la partie Est, et en particulier dans le Trieux, on note des valeurs supérieures à 1 mg/m^3 pour la chlorophylle "a", associées à un pourcentage très faible ou nul de phaeopigments.

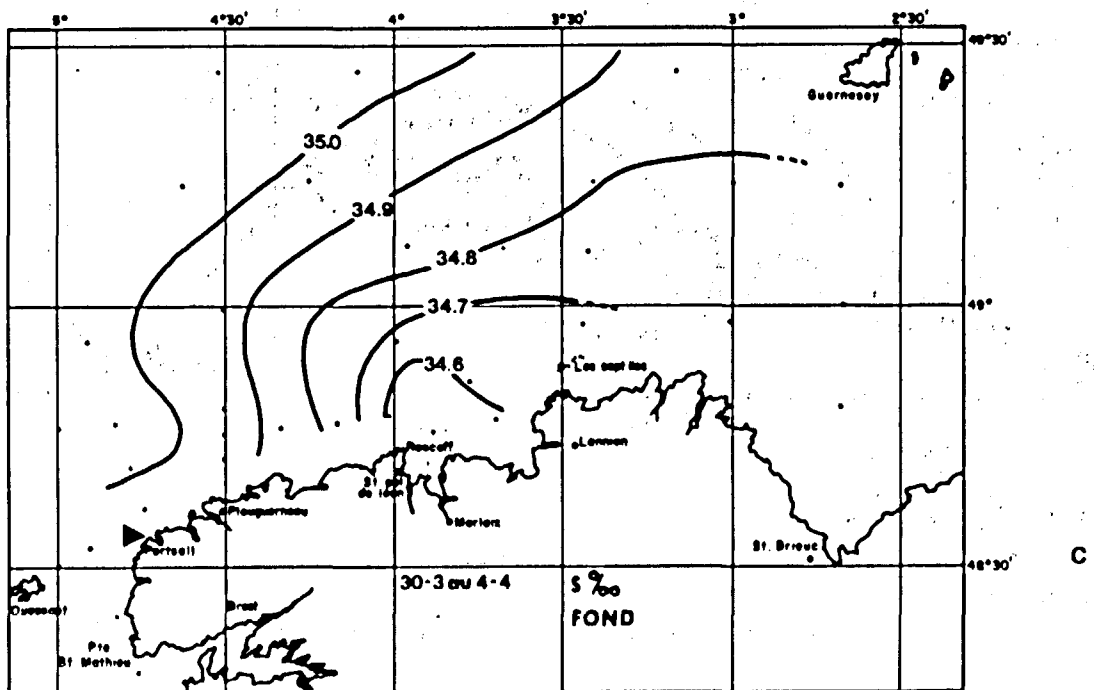
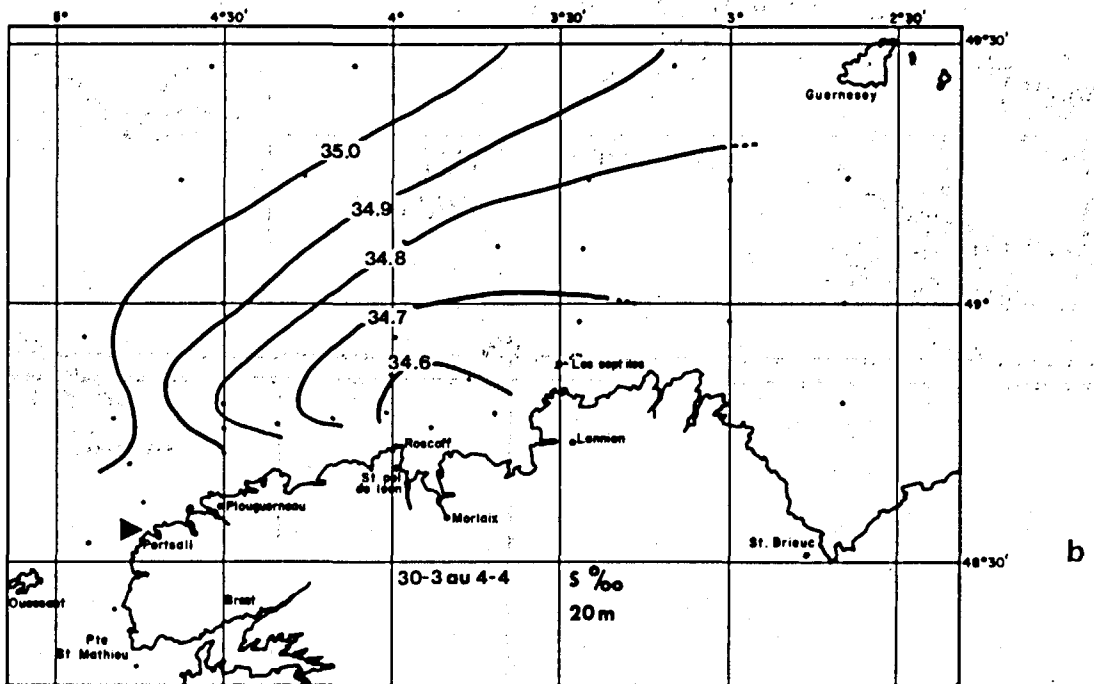
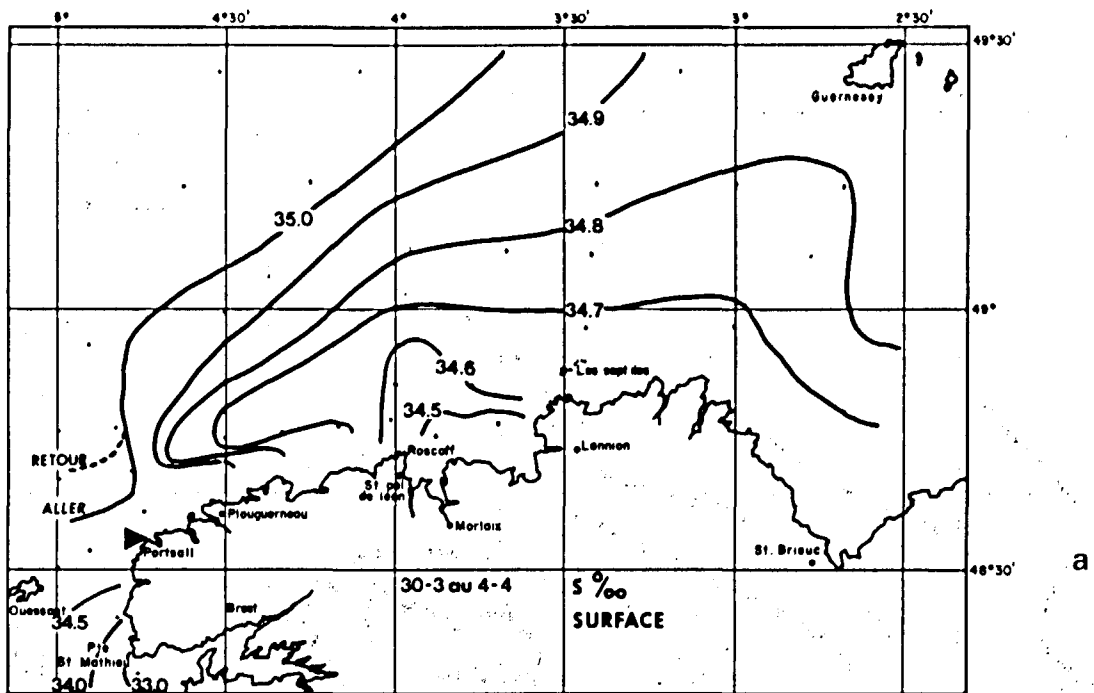
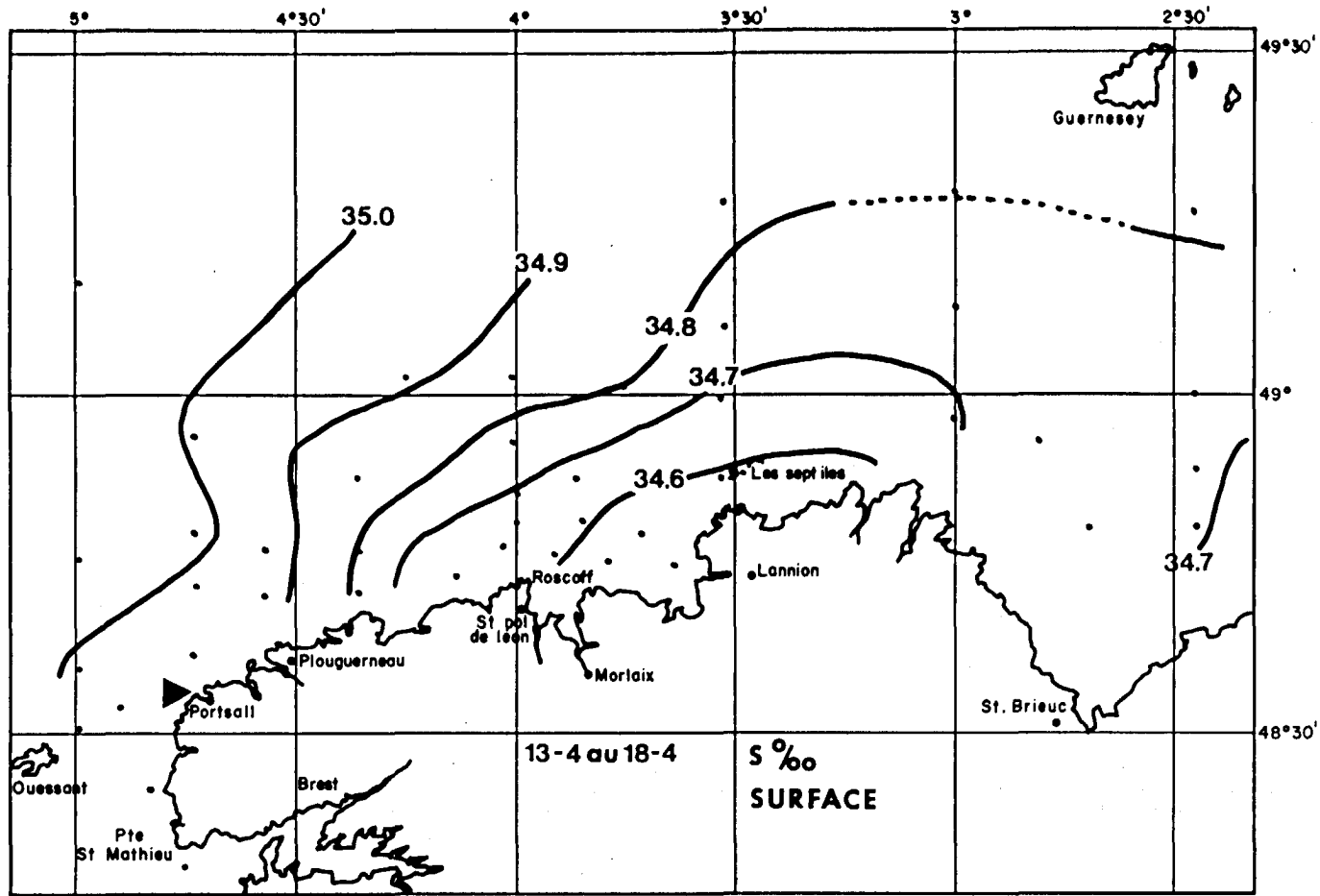
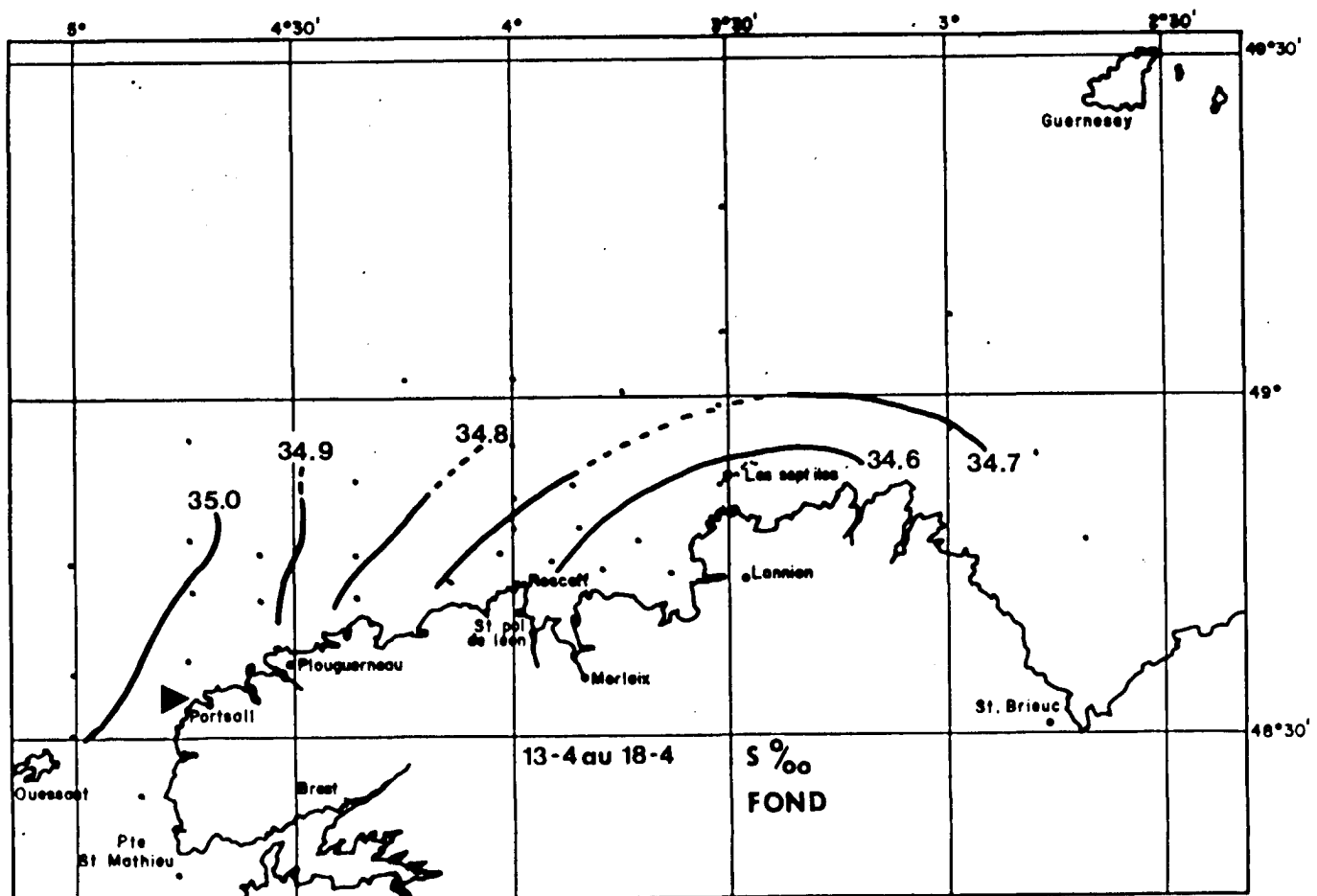


FIGURE 2a, b, c
Salinité en surface, à 20 m et au fond au début avril (campagne "SUROIT 1").



a



b

FIGURE 3a, b

Salinités en surface et au fond à la mi-avril (campagne "SUROIT 3").

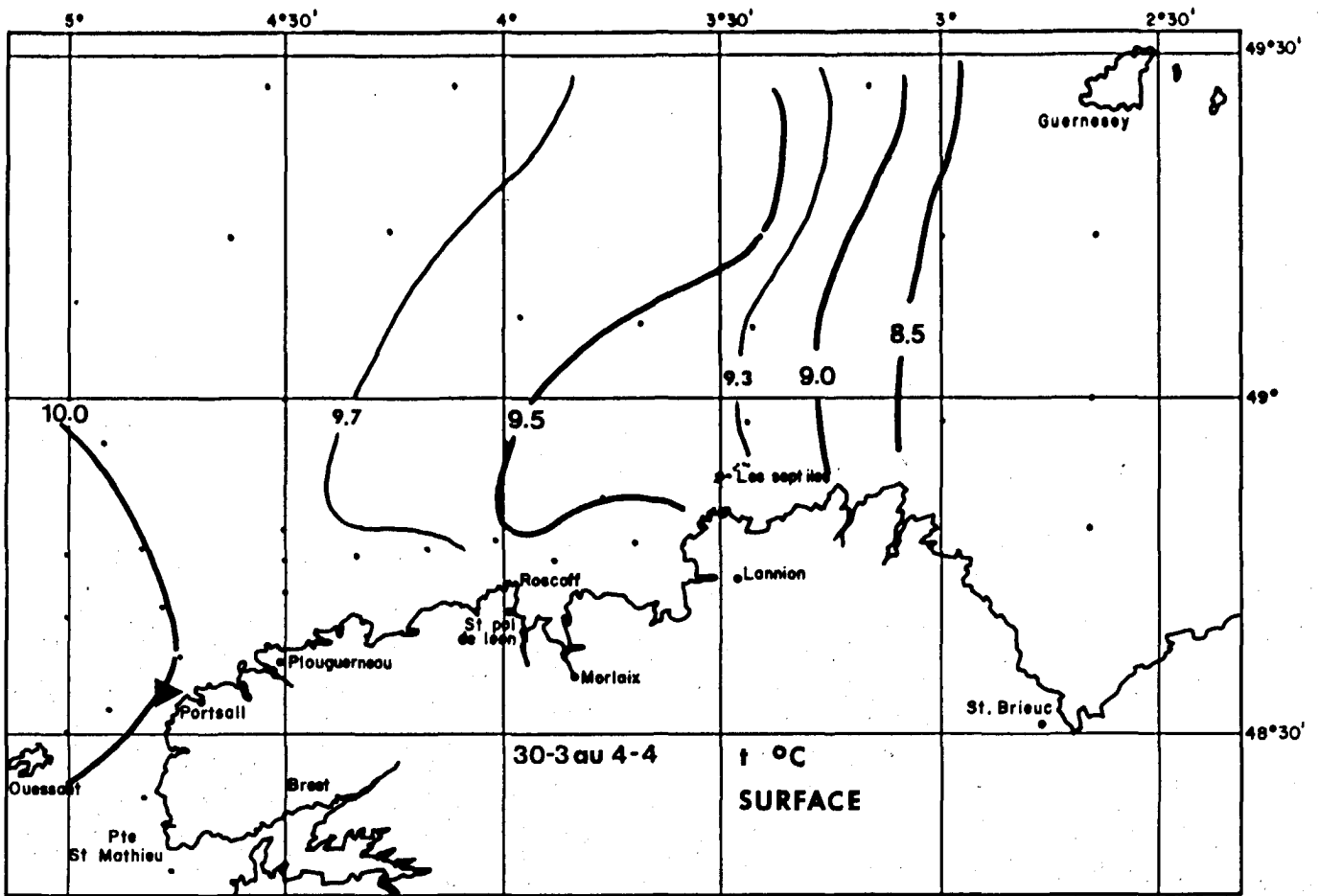


FIGURE 4

Températures de surface au début avril (campagne "SUROIT 1").

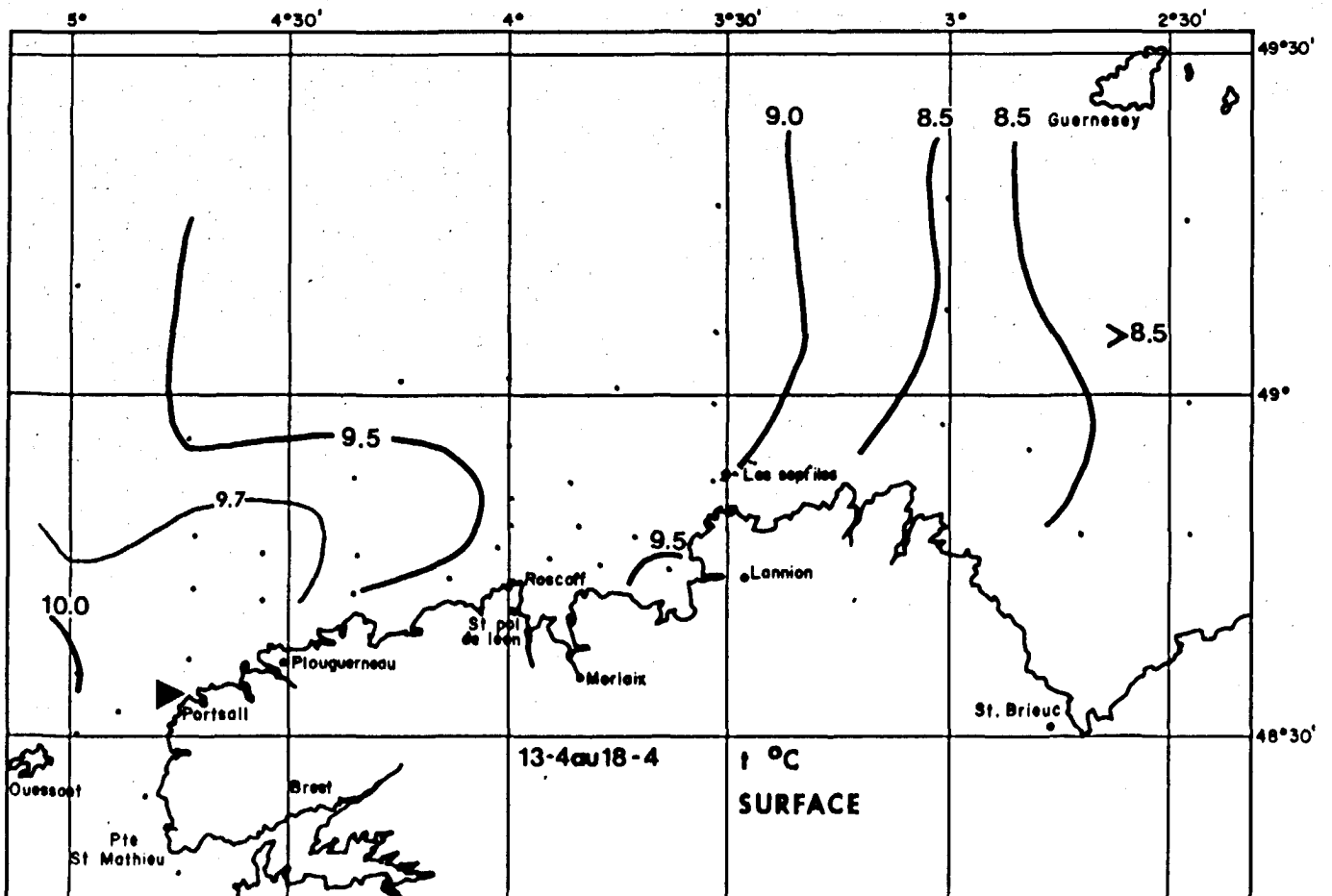
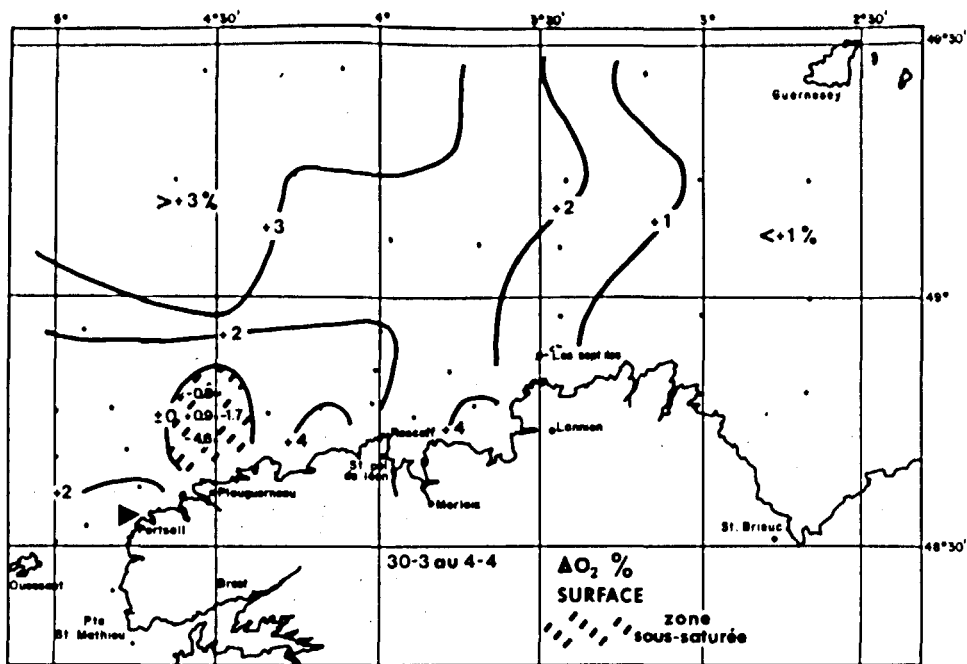
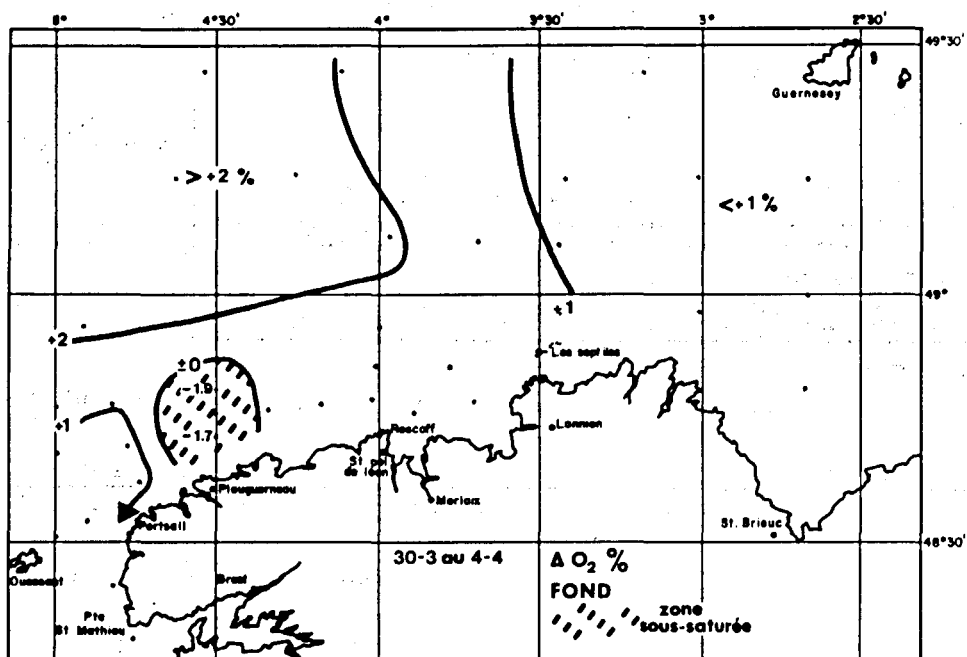


FIGURE 5

Températures de surface à la mi-avril (campagne "SUROIT 3").



a



b

FIGURE 6a, b

Écarts d'oxygène dissous par rapport à la saturation, en surface et au fond au début avril (campagne "SUROIT 1").

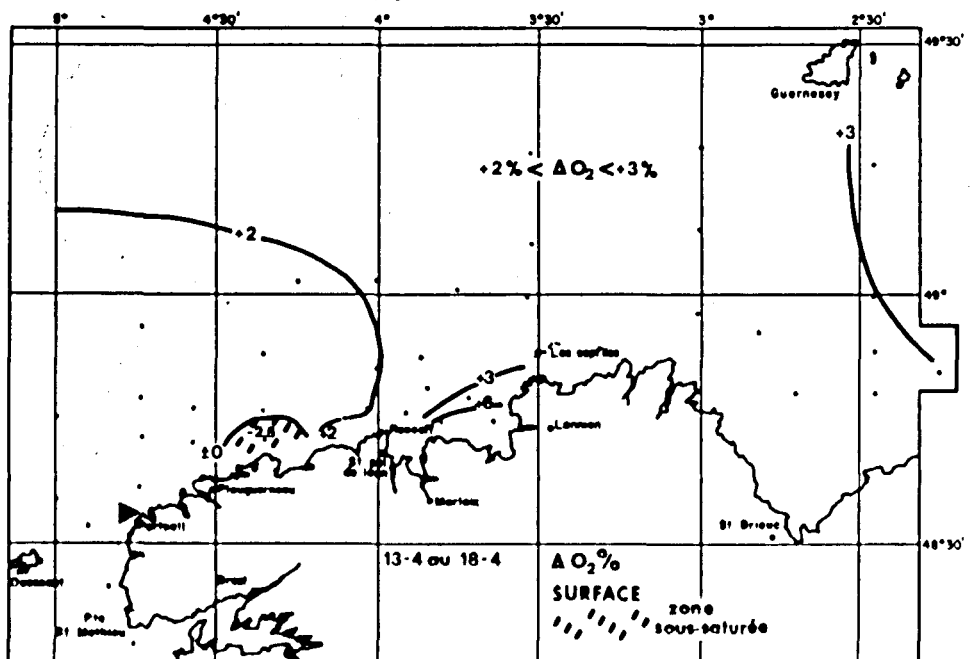


FIGURE 7

Écarts d'oxygène dissous par rapport à la saturation, en surface à la mi-avril (campagne "SUROIT 3").

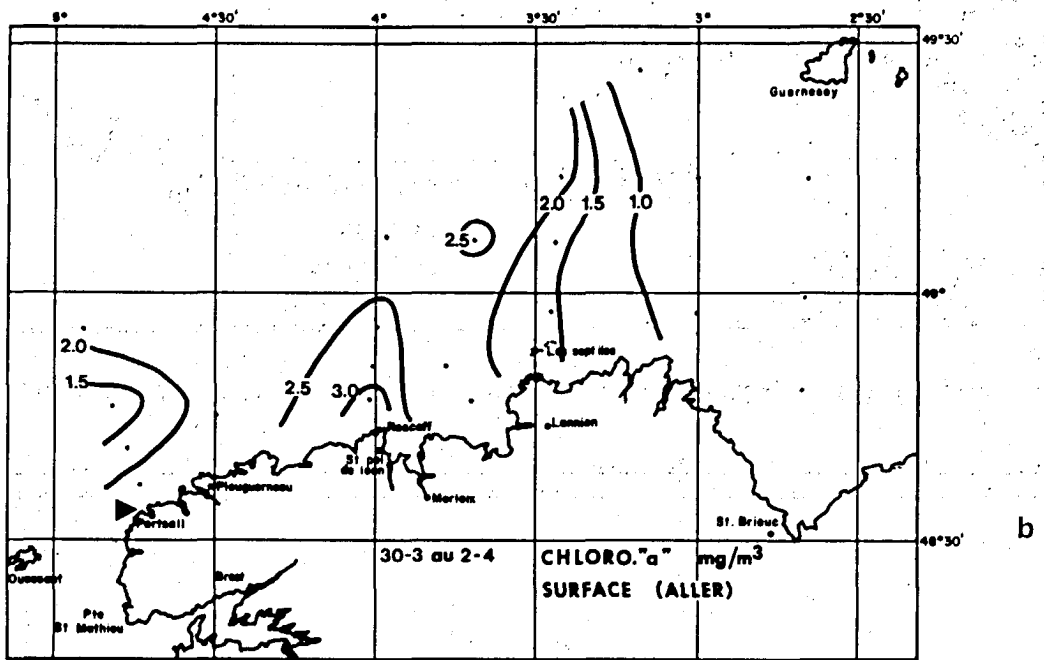
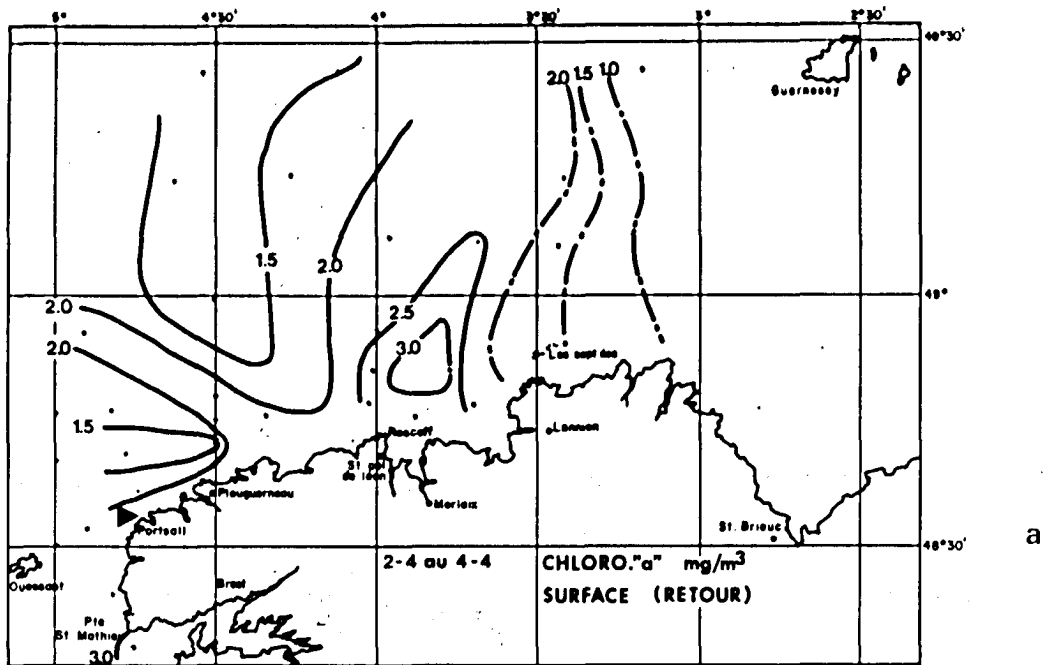


FIGURE 8a, b
Chlorophylle "a" en surface au début avril (aller et retour de la campagne "SUROIT 1").

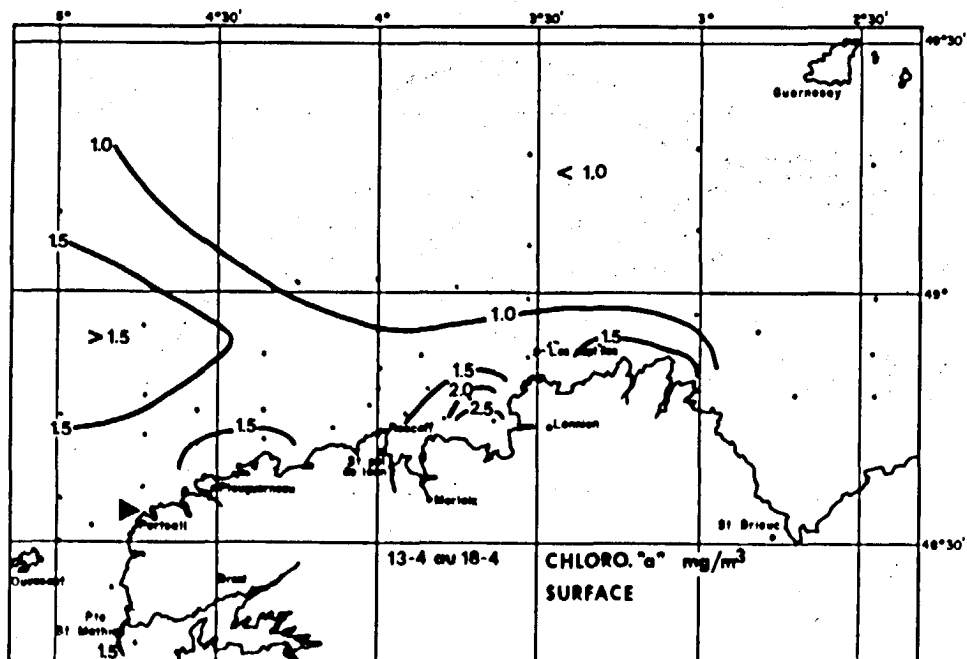


FIGURE 9
Chlorophylle "a" en surface à la mi avril (campagne "SUROIT 3").

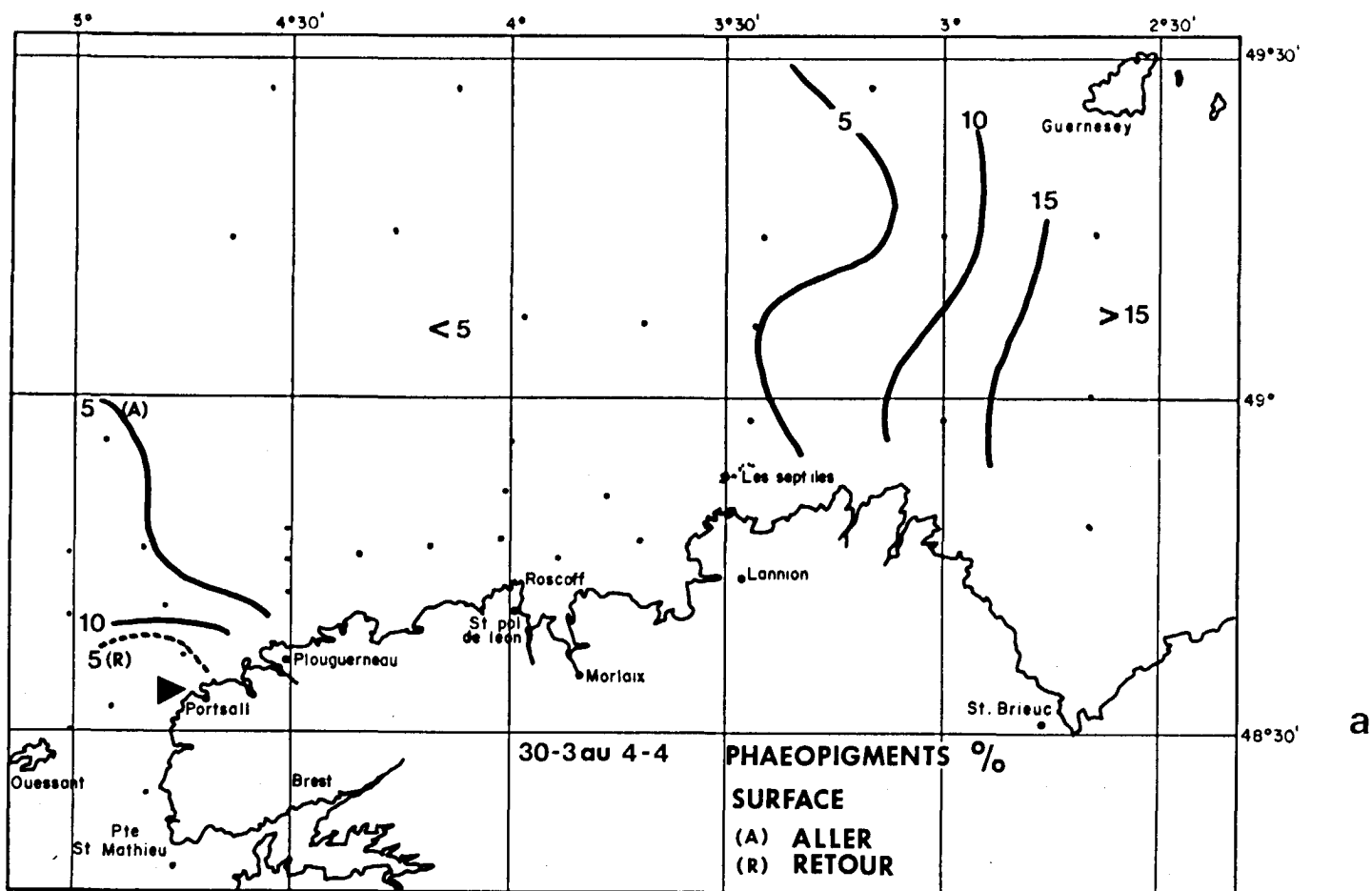


FIGURE 10

Pourcentages de phaeopigments en surface au début avril (campagne "SUROIT 1").

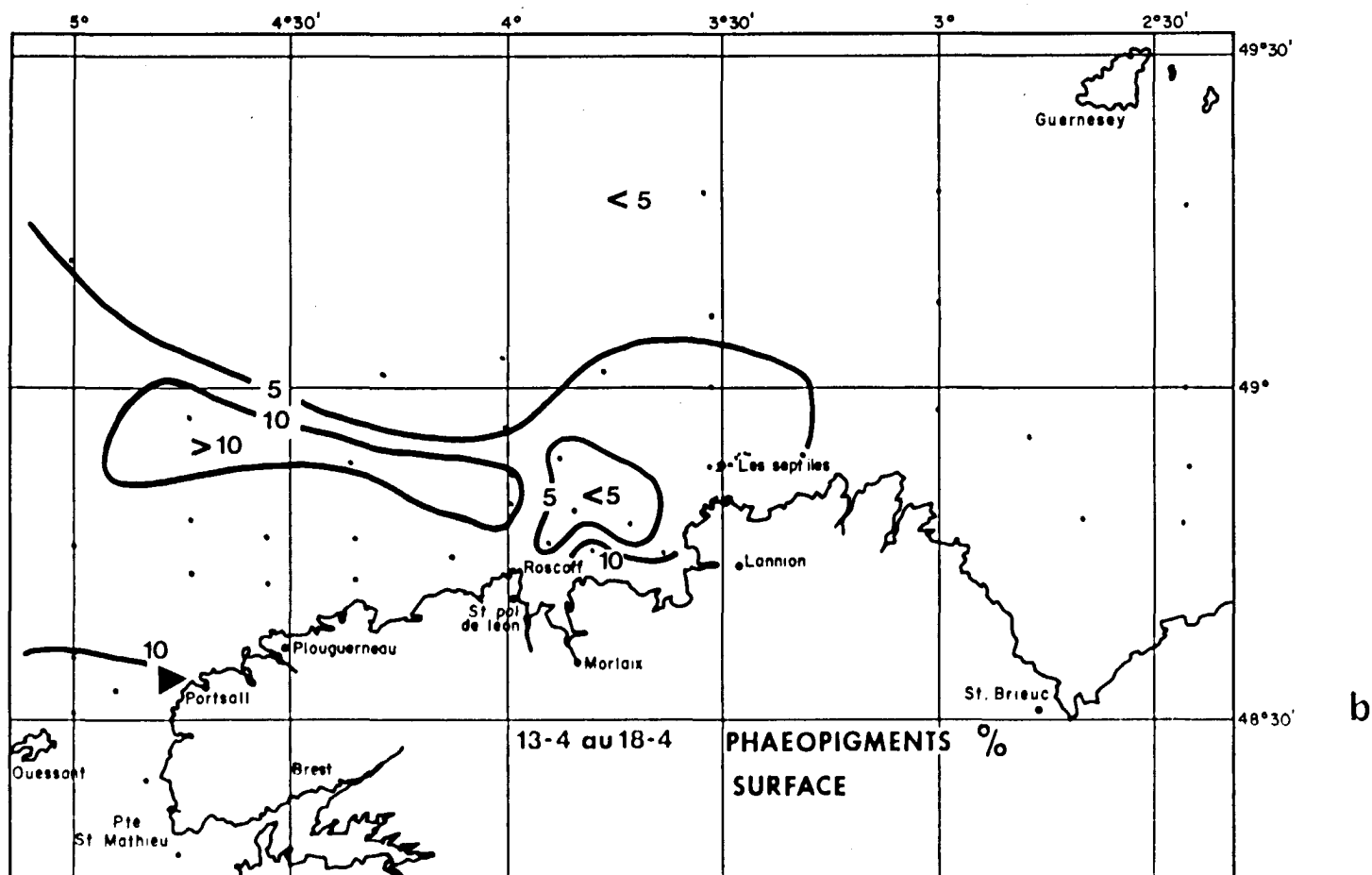


FIGURE 11

Pourcentages de phaeopigments en surface à la mi-avril (campagne "SUROIT 3").

DISCUSSION

1. LA MANCHE SUD-OCCIDENTALE

La zone étudiée présente une grande homogénéité verticale pendant la période suivie. Les courants intenses et les vents forts provoquent un mélange des eaux sur toute la profondeur à cette période de l'année. COOPER (1967) a montré l'importance des vents de secteur Ouest sur la circulation dans cette partie de la Manche où l'on peut s'attendre à un mouvement à caractère cyclonique (HENAFF, 1973). Dans ces conditions, la circulation se fera d'Ouest en Est le long de la côte bretonne et on peut envisager une entrée d'eau plus salée par l'Ouest.

Cette situation peut être rapprochée de celle que l'on observe à la campagne "SUROIT 1". Cette campagne a en effet été précédée d'une période de vents de secteur Ouest à Sud-Ouest du 18 mars au 2 avril (GUNDLACH and HAYES, 1978) et les mesures de salinité font apparaître une pénétration d'eaux de salinité plus forte par le Sud-Ouest, comme on peut en juger par la direction des isohalines (fig. 2). Si la distribution d'ensemble des salinités se retrouve à la campagne "SUROIT 3", il n'en reste pas moins qu'une modification est constatée le long de la côte du Finistère. L'intrusion des eaux plus salées par l'Ouest paraît moins évidente et on note une plus grande homogénéité verticale. Ce changement peut être imputé aux vents de secteurs Est à Nord-Est ayant soufflé du 2 au 11 avril, vents froids responsables également de la baisse de température survenue entre le début et la mi-avril. Une des principales conséquences de l'homogénéité verticale, due aux brassages des eaux, sera la dispersion dans toute la couche d'eau de toute modification du milieu intervenant à un niveau quelconque. C'est ainsi que des concentrations élevées d'hydrocarbures ont pu être mesurées par plus de 50 m de profondeur et que les différences entre le fond et la surface se sont révélées particulièrement faibles (MARCHAND, 1978).

En ce qui concerne l'examen des résultats de chlorophylle et d'oxygène dissous, nous nous intéresserons tout d'abord à la partie Est de la zone étudiée, partie non touchée par les hydrocarbures.

Dans cette zone la température est restée stable, ou a légèrement augmenté entre le début et la mi-avril ; bien que les concentrations en chlorophylle "a" soient du même ordre de grandeur, à deux semaines d'intervalle, on doit admettre que la première poussée printanière a eu lieu entre les deux campagnes. En effet, alors que l'oxygène dissous est à une concentration très proche de la saturation ($\Delta O_2 < +0,5\%$) au début avril, il est nettement en sur-saturation à la mi-avril ($\Delta O_2 \approx +2\text{ à }+3\%$), témoignant d'une activité photosynthétique récente ou en cours. De même, le pourcentage de phaeopigments chute de près de 15% à une valeur nulle, caractérisant ainsi le passage de populations phytoplanctoniques âgées à des populations jeunes en phase de développement. Ces faibles concentrations de chlorophylle ne peuvent être, semble-t-il, que la conséquence du "brouillage" des cellules végétales par le zooplancton.

En ce qui concerne la zone située à l'Ouest du 3ème degré de longitude, elle apparaît comme en phase de poussée printanière lors de la campagne "SUROIT 1" (début avril). On y relève en effet des valeurs de chlorophylle "a" élevées associées à une sursaturation en oxygène ($>3\%$ au large), et à de faibles pourcentages de phaeopigments.

L'observation d'un déplacement vers l'Est de la distribution des chlorophylles entre l'aller et le retour de cette campagne suggère un déplacement du phénomène de "bloom" d'Ouest en Est, cette hypothèse étant appuyée par les observations faites dans la partie Est où le développement planctonique a eu lieu entre le début et la mi-avril.

Les résultats de la campagne "SUROIT 3" font apparaître à la mi-avril, dans toute cette zone Sud-Ouest de la Manche, une assez grande homogénéité de concentrations en chlorophylle "a" (1 à 1,5 mg/m³) associée à des teneurs en phaeopigments faibles au large ($<5\%$) mais plus élevées à la côte ($\approx 10\%$). L'hypothèse d'une dégradation résultant d'un "brouillage" plus intense par le zooplancton ne semble pas confirmée par les données de biomasse (SAMAIN et coll, 1978). Les populations phyto-planctoniques se présentent donc vers la mi-avril comme vraisemblablement plus âgées dans la bande côtière, ce vieillissement résultant d'une réduction du "brouillage" zooplanctonique. Les sursaturations mesurées au nord du Finistère sont assez faibles (+1 à 1,5%) et ne témoignent pas d'une activité photosynthétique

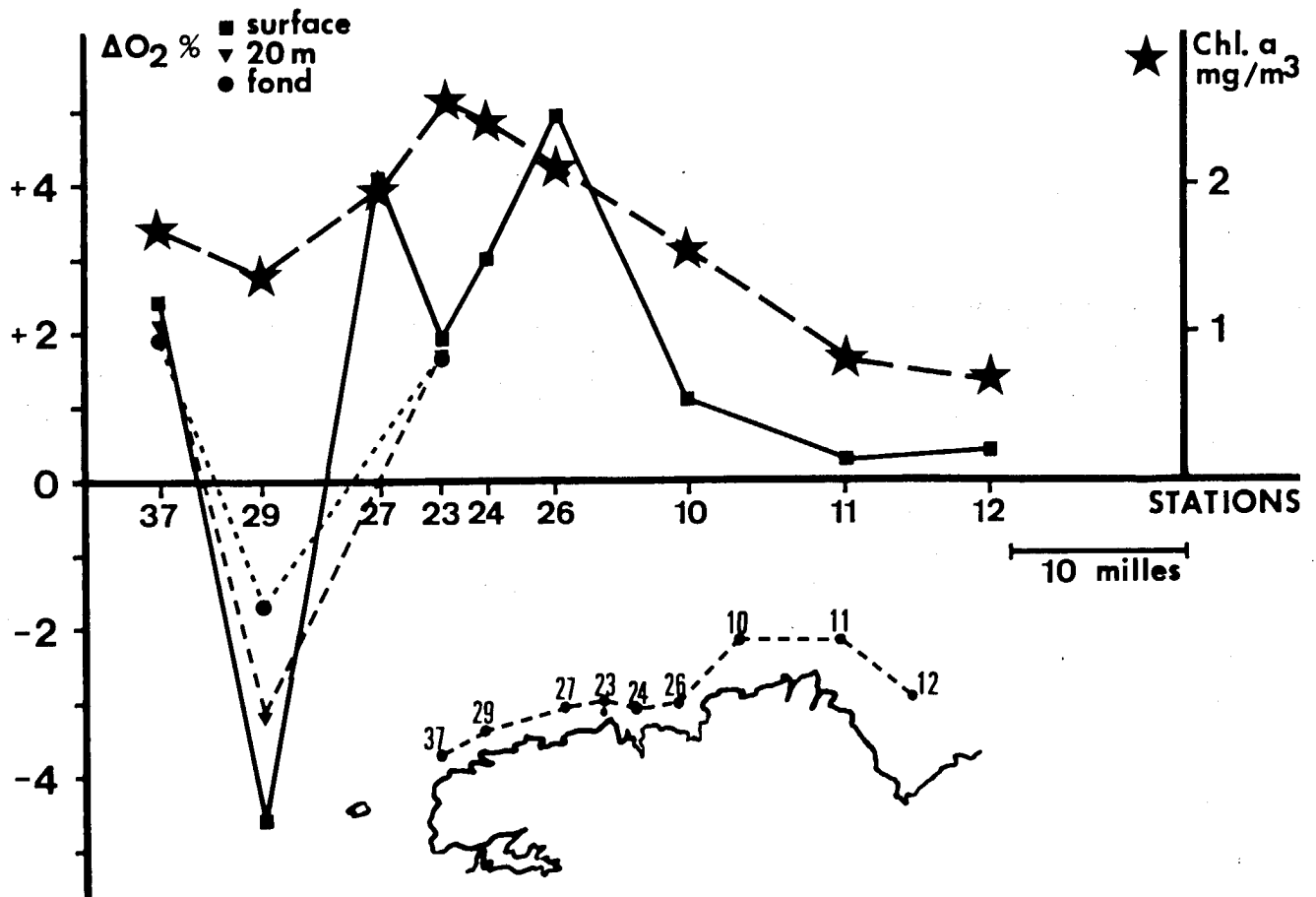


FIGURE 12 Variations du pourcentage d'oxygène dissous par rapport à la saturation et de la chlorophylle "a" aux stations côtières effectuées lors de la campagne "SUROIT 1" (début avril).

très intense, à moins qu'une partie de l'oxygène en sursaturation ne soit consommé par des phénomènes de dégradation des hydrocarbures.

A la suite de ces observations, nous constatons que les résultats concernant les pigments photosynthétiques ne permettent pas de mettre en évidence d'anomalie quantitative caractéristique du phytoplancton dans la Manche du Sud-Ouest.

Parmi les expériences concernant l'effet des hydrocarbures sur la photosynthèse, on peut noter soit des effets stimulants à des basses concentrations de 10 à 30 ppb (GORDON, D.C., in ANONYME, 1975) soit des effets nuls pour certaines espèces jusqu'à 300 ppb (même référence) soit des effets inhibiteurs plus ou moins prononcés (GORDON D.C., in ANONYME, 1975 ; LACAZE, 1974).

Dans le cas présent, l'étude et la comparaison des mesures de chlorophylle et phaeopigments entre les zones du large très peu polluées par les hydrocarbures et les zones côtières nettement plus polluées ne suffisent pas pour déterminer un effet évident des hydrocarbures sur la photosynthèse.

Considérant donc que les concentrations de chlorophylle sont normales, nous avons voulu les comparer aux écarts d'oxygène dissous par rapport à la saturation. Nous avons représenté sur la figure 12 l'évolution Ouest-Est de ces deux paramètres aux stations situées entre 5 et 10 milles de la côte, lors de la campagne "SUROIT 1". Ce tracé met en évidence la sous-saturation anormale en oxygène, constatée 10 milles à l'Est de l'"AMOCO-CADIZ", alors que la teneur en chlorophylle n'est pas différente de celle des zones avoisinantes.

Si nous prenons comme niveau de référence la moyenne des stations 27 et 37, l'anomalie constatée en surface par rapport à la sursaturation attendue (+ 2,5% environ) est de - 7%. Cette valeur correspond à un déficit en oxygène de 0,45 ml/l soit 0,65 mg/l. L'homogénéité constatée aux autres stations en oxygène dissous permet d'assigner aux immersions - 20 m et - 65 m des déficits respectifs de 5% et 4% environ, c'est-à-dire 0,35 ml/l (0,5 mg/l) et 0,25 ml/l (0,35 mg/l). Etant donné que ces déficits en oxygène sont calculés par rapport aux valeurs observées en des points voisins, de caractéristiques physico-chimiques très comparables, l'attribution de ce déficit à la présence des hydrocarbures est une hypothèse raisonnable.

La concentration en oxygène dissous est la résultante des facteurs physiques, chimiques et biologiques suivants :

- (1) échanges à l'interface océan-atmosphère
- (2) diffusion et mélanges au sein de la masse d'eau
- (3) utilisation lors de la photooxydation des matières organiques
- (4) consommation biologique pour la dégradation des matières organiques
- (5) production par photosynthèse.

Le déficit en oxygène relevé au nord de Plouguerneau prouve que, dans cette zone, les échanges physiques (1) et (2) n'ont pas pu compenser les consommations photochimique (3) et biologique (4) (la production biologique (5) est prise en considération dans le calcul du déficit).

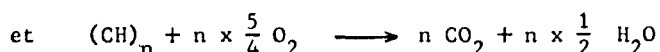
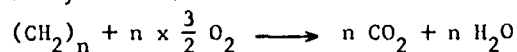
Plusieurs produits oxygénés, identifiés ou non, résultant de la dégradation photochimique des hydrocarbures, ont été mis en évidence par les analyses de la NOAA et de l'EPA (CALDER et coll, 1978). Un certain nombre de produits oxygénés peuvent résulter du métabolisme des micrororganismes (YEN, 1975), tandis qu'une dégradation totale peut également être réalisée par les bactéries (ANONYME, 1975).

Si nous faisons l'hypothèse d'un milieu oxygéné contenant des hydrocarbures, sans échanges avec l'extérieur, et que nous supposons l'oxygène consommé exclusivement par la dégradation totale des hydrocarbures^(*), nous pouvons estimer l'ordre de grandeur de la quantité minimum d'hydrocarbures touchés par les phénomènes d'oxydation. Nous attribuerons respectivement aux hydrocarbures aliphatiques et aromatiques les formules simplifiées $(CH_2)_n$ et $(CH)_n$.

(*)

Cela équivaut à prendre un quotient respiratoire $\frac{\text{Moles CO}_2 \text{ produites}}{\text{Moles O}_2 \text{ consommées}} = 1$ (OGURA, 1975)

L'oxydation totale se fera selon les réactions :



Ces dégradations correspondent approximativement, pour 1 gramme d'oxygène consommé, à 0,29 g d'hydrocarbures aliphatiques et 0,32 g d'hydrocarbures aromatiques. Nous retiendrons donc la valeur de 0,3 g d'hydrocarbures totalement oxydés par gramme d'oxygène.

Ainsi, lors de la campagne "SUROIT 1", le déficit en oxygène constaté à la station 29 correspondrait, selon les hypothèses restrictives formulées ci-dessus, à une dégradation totale d'environ 200 µg/l en surface, 150 µg/l à 20 m et 110 µg/l à 65 m.

Ce calcul ne prend pas en compte la réoxygénation physique de l'eau. Or le vent et la houle ont été très importants au cours du mois qui a suivi l'échouage de l'"AMOCO-CADIZ" et, même si le film d'hydrocarbures répandu à la surface a pu limiter partiellement les échanges avec l'atmosphère, on ne peut exclure a priori une certaine réoxygénation. Les quantités d'hydrocarbures oxydés calculées par la méthode ci-dessus seraient donc de ce fait sous-estimées. Par ailleurs, on doit tenir compte qu'une partie des composés ne subit qu'une oxydation partielle. Par conséquent, on voit que la quantité d'hydrocarbures ayant subi une oxygénation (peut-être plusieurs centaines de µg/l) paraît bien supérieure à celle qui est mise en évidence par les diverses méthodes d'analyse (MARCHAND, 1978 ; MOREL et COURTOT, 1978 ; CALDER et coll, 1978).

Cette constatation tendrait à prouver que les processus de dégradation biologique ou photochimique ont abouti à une oxydation poussée des hydrocarbures dont une partie des composés formés ne peut plus être prise en compte par les méthodes d'analyse^(*).

Si l'on se réfère aux concentrations d'hydrocarbures relevés dans le milieu, on peut constater que la zone de sous-saturation en oxygène se situe à l'Est de celle où ont été relevés les valeurs les plus élevées d'hydrocarbures (région de Portsall à l'aller de la campagne "SUROIT 1").

Ce fait s'explique aisément si l'on tient compte d'une part du déplacement des masses d'eau d'Ouest en Est le long de la côte, d'autre part des cinétiques de dégradation et de dispersion des hydrocarbures. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne du lieu de l'échouage, la consommation d'oxygène s'accroît jusqu'à ce que la concentration des composés oxydables soit suffisamment faible pour réduire la demande en oxygène.

Le déplacement vers l'Est est confirmé par les mesures de la campagne "SUROIT 3" effectuées 2 semaines après les précédentes. Cependant, la réduction de la zone sous-saturée peut s'expliquer par l'arrêt des apports d'hydrocarbures et leur dispersion.

2. LES ESTUAIRES ET LES BAIES

Les mesures effectuées dans les estuaires présentent de faibles dessalures aux stations les plus en amont : la pluviométrie importante de l'hiver et du printemps se fait donc encore sentir à la mi-avril.

Les valeurs de chlorophylle et de phaeopigment sont en accord avec ce qui a été observé à la campagne "SUROIT 3" effectuée à la même période.

La partie Est se caractérise en effet par des populations dont le développement est en cours ou très récent (sursaturation en oxygène, phaeopigments nuls) tandis que les autres lieux de prélèvement montrent des populations plus âgées.

(*) La dégradation biologique aboutit entre-autres, à la formation d'alcools, d'acides à bas poids moléculaire ou de CO₂ si l'oxydation est totale (YEN, 1975). En outre, un certain nombre d'inconnues subsistent quant aux types de composés oxydés échappant aux méthodes courantes d'analyse (LASETER, 1978).

La comparaison des écarts de pourcentages d'oxygène dissous par rapport à la saturation avec ceux observés au large ne peut pas être rigoureuse en ce qui concerne les points situés dans les estuaires. Ces derniers sont en effet abrités du vent et de la houle et la plus faible agitation de surface qui en résulte ralentit les échanges eau-atmosphère, ces derniers tendent toujours à ramener l'eau à son niveau de saturation.

Ainsi, dans l'Aber Wrac'h on note des sursaturations élevées aux points 1 et 2, alors que les résultats de chlorophylle "a" seule ne laisseraient pas supposer de telles valeurs par comparaison aux autres observations effectuées.

Remarquons que le pourcentage de phaeopigments trouvé à la station 1 est particulièrement fort (17,6%) et ne caractérise donc pas (malgré la sursaturation d'oxygène de 9%) une population phytoplanctonique particulièrement active. Une très faible activité zooplanctonique peut être à l'origine de ce vieillissement.

Si nous comparons les quantités de chlorophylle trouvées à celles qui ont été mesurées par ailleurs en baie de Morlaix (HOUVENAGHEL, 1975 ; GRALL et JACQUES, 1964), nous constatons que les valeurs relevées sont du même ordre de grandeur. En effet, en 1962 et 1963, des concentrations maximales de l'ordre de 2 à 2,5 mg/m³ sont notées au moment des poussées phytoplanctoniques printanières. Les quantités trouvées en baies de Morlaix et de Lannion à la mi-avril 1978 sont tout à fait comparables (et même supérieures en baie de Lannion). Comme nous ne disposons que d'une seule mesure, les maxima ont donc pu être plus élevés, ce qui tendrait à prouver que la présence des hydrocarbures dans ces baies n'a pas eu d'effet inhibiteur sur la croissance du phytoplancton, du moins dans un premier temps.

En ce qui concerne l'oxygène dissous, on ne constate dans la zone côtière aucune sous-saturation contrairement à ce qui a été observé plus au large.

Ces premières données ont été acquises un mois environ après l'échouage et on a pu constater qu'en mer la sous-saturation s'était déjà fortement réduite à cette date.

CONCLUSION

Les conséquences de la pollution de la Manche Sud-Occidentale par les hydrocarbures du pétrolier "AMOCO-CADIZ" ne pourront être tout à fait déterminées que par une étude à long terme.

Les premiers résultats présentés ici ne mettent pas en évidence d'anomalie quantitative du phytoplancton au moment de sa poussée printanière. Même dans l'Aber Wrac'h, particulièrement touché par le pétrole, les mesures ne révèlent pas une forte perturbation du phytoplancton un mois après l'échouage.

La principale anomalie constatée dans les paramètres physicochimiques concerne l'oxygène dissous qui présente une sous-saturation notable jusqu'à un mois après l'échouage, dans les masses d'eau situées au Nord du Finistère un peu à l'Est du lieu de l'échouage. Cette sous-saturation serait la preuve d'une dégradation assez poussée des hydrocarbures dispersés dans la phase aqueuse ; il n'est pas possible de préciser l'importance relative des phénomènes biologique et photochimique dans cette dégradation.

BIBLIOGRAPHIE

- ANONYME, 1975. "Petroleum in the Marine Environment". Workshop on Inputs, Fates and the Effects of Petroleum on the Marine Environment, May 21-25, 1973. Airlie House, Airlie, Virginia. National Academy of Sciences / Washington D.C. 107 p.
- CALDER J.A., J. LAKE and J. LASETER. 1978. "Chemical composition of selected environmental and petroleum samples from the "AMOCO-CADIZ" oil spill". In: The "AMOCO-CADIZ" oil spill, A preliminary scientific report. NOAA/EPA Special report, Avril 1978.
- CARITT, D.E., and J.H. CARPENTER, 1966. "Comparison an evaluation of currently employed modifications of the winkler method for determining dissolved oxygen in sea water" ; a NASCO Report. J. Mar. Research, 24, 286-318.
- COOPER, L.H.N., 1967. "The physical oceanography of the Celtic sea". Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 5, 99-110.
- GRALL, J.R. et G. JACQUES, 1964. "Etude dynamique et variations saisonnières du plancton de la région de Roscoff". Cah. Biol. Mar, 5, 423-455.
- GUNDLACH, E.R. and M.O. HAYES, 1978. "Investigations of beach processes" . In: The "AMOCO-CADIZ"oil Spill ; A preliminary Scientific Report. NOAA/EPA Special Report, Avril 1978.
- HENAFF, G., 1973. "Contribution à l'étude de l'océanographie physique du secteur Nord-Gasconne". Thèse Océanographie Physique, Université de Bretagne Occidentale, 6 ave Le Gorgeu, BREST 99 p.
- HOUVENAGHEL, G.T., 1975. "Contribution à la connaissance de la distribution des sels nutritifs en baie de Morlaix (Finistère, France). Mise en évidence du rôle des algues benthiques". Hydrobiologia, 47, 1, 13-29.
- LACAZE, J.C., 1974. "De la production primaire d'écosystèmes expérimentaux établis dans l'estuaire de la Rance. Effet d'un pétrole brut". C.R. Acad. Sc. Paris, t. 278, série D, 2531-2534.
- LASETER, J.L., 1978. Communication personnelle.
- LORENZEN, C.J., 1967. "Determination of chlorophyll and phaeopigments : spectrophotometric equations." Limnol. Oceanogr., 12, 343-346.
- MARCHAND, M., 1978. "Estimation par spectrofluométrie des concentrations d'hydrocarbures dans l'eau de mer en Manche Occidentale à la suite du naufrage de l'AMOCO CADIZ, du 30 Mars au 18 Avril 1978".
- MOREL G. et P. COURTOT, 1978. "Résultats préliminaires de la pollution pétrolière par l'AMOCO-CADIZ". Teneurs en hydrocarbures totaux dans les eaux de mer, de la Rade de Brest à la presqu'île du Cotentin. (Mars-Avril 1978). Dans ce volume.
- OGURA, N., 1975. "Further studies on decomposition of dissolved organic matter in coastal sea water". Mar. Biol. 31, 101-111.
- POSTMA, H., A. SVANSSON, H. LACOMBE and K. GRASSHOFF, 1976. "The International Oceanographic Tables for the solubility of oxygen in sea water". J. Cons. Int. Explor. Mer, 36(3), 295-296.
- SAMAIN, J.F., J. LE FEVRE, J. NOAL, J.Y. DANIEL et J. BOUCHER, 1978. "Evolution de la biomasse et de la physiologie du zooplancton sur la côte Nord de la Bretagne en relation avec l'échouage de l'AMOCO-CADIZ". Résultats préliminaires du 15 mars au 15 mai". Dans ce volume.
- WEISS, R.F., 1970. "The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and sea water". Deep Sea Res., 17, 721-735.
- YEN, T.F., 1975. "Genesis and degradation of petroleum hydrocarbons in marine environments". In: Marine Chemistry in the Coastal Environment, T.M. CHURCH Editor. ACS Symposium Series 18, American Chemical Society, Washington, D.C.