

UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE

STATION MARINE DE WIMEREUX

CAMPAGNE D'ETUDE DU LITTORAL

NORD - PAS DE CALAIS

1980

_ HYDROBIOLOGIE _

D. BENTLEY

J. DUPONT

A. RICHARD

RESEAU NATIONAL D'OBSERVATION DE LA QUALITE DU MILIEU MARIN

_ CIPLINOR _

UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE

STATION MARINE DE WIMEREUX

**CAMPAGNE D'ETUDE DU LITTORAL
NORD - PAS DE CALAIS**

HYDROBIOS 1980

INTERPRETATION HYDROBIOLOGIQUE :

- . Caractéristiques physicochimiques**
- . Pigments végétaux**

INTRODUCTION

Dans le cadre d'un suivi de la qualité des eaux du littoral nord, le RNO a mis en place une campagne hydrobiologique, "Hydrobios 80". Des prélèvements destinés à l'étude des paramètres hydrologiques et de la qualité microbiologique des eaux ont été réalisés dans le détroit du Pas-de-Calais. La zone étudiée pendant l'été 80, s'étend sur une frange d'environ 5 miles le long des côtes de la baie de Somme à la frontière belge. Elle assure ainsi la continuité avec la zone côtière belge surveillée régulièrement par MOMMAERTS et Coll. (fig. 1). La campagne a comporté trois types d'études.

1 - En huit sites différents ont été exécutées des radiales, séries de 3 à 4 points de prélèvement situés sur un même axe, à peu près perpendiculairement à la côte. Ces radiales sont situées en face d'estuaires ou de zones à forte industrialisation, ou encore en des sites où l'hydrologie semble présenter des caractéristiques particulières (ex : Cap Gris-Nez).

Tableau 1 - Localisation des radiales.

Stations (numérotées selon la carte des prélèvements, fig. 2)	Références côtières
1 - 3 - 5	Baie de Somme
21 - 23 - 25	Baie de Canche
36 - 37 - 39	Boulogne/Mer (Liane)
50 - 51 - 53	Cap Gris-Nez
64 - 66 - 67 - 68	Calais
78 - 80 - 81 - 82	Gravelines
92 - 93 - 94 - 95	Dunkerque
99 - 100 - 101 - 102	Frontière belge

2 - Un échantillonnage complémentaire littoral plus précis a concerné la zone d'étude allant du Cap Gris-Nez à la frontière belge (stations référencées 49 à 102).

3 - Enfin, un suivi de cycle de marée a été mené en 5 points.

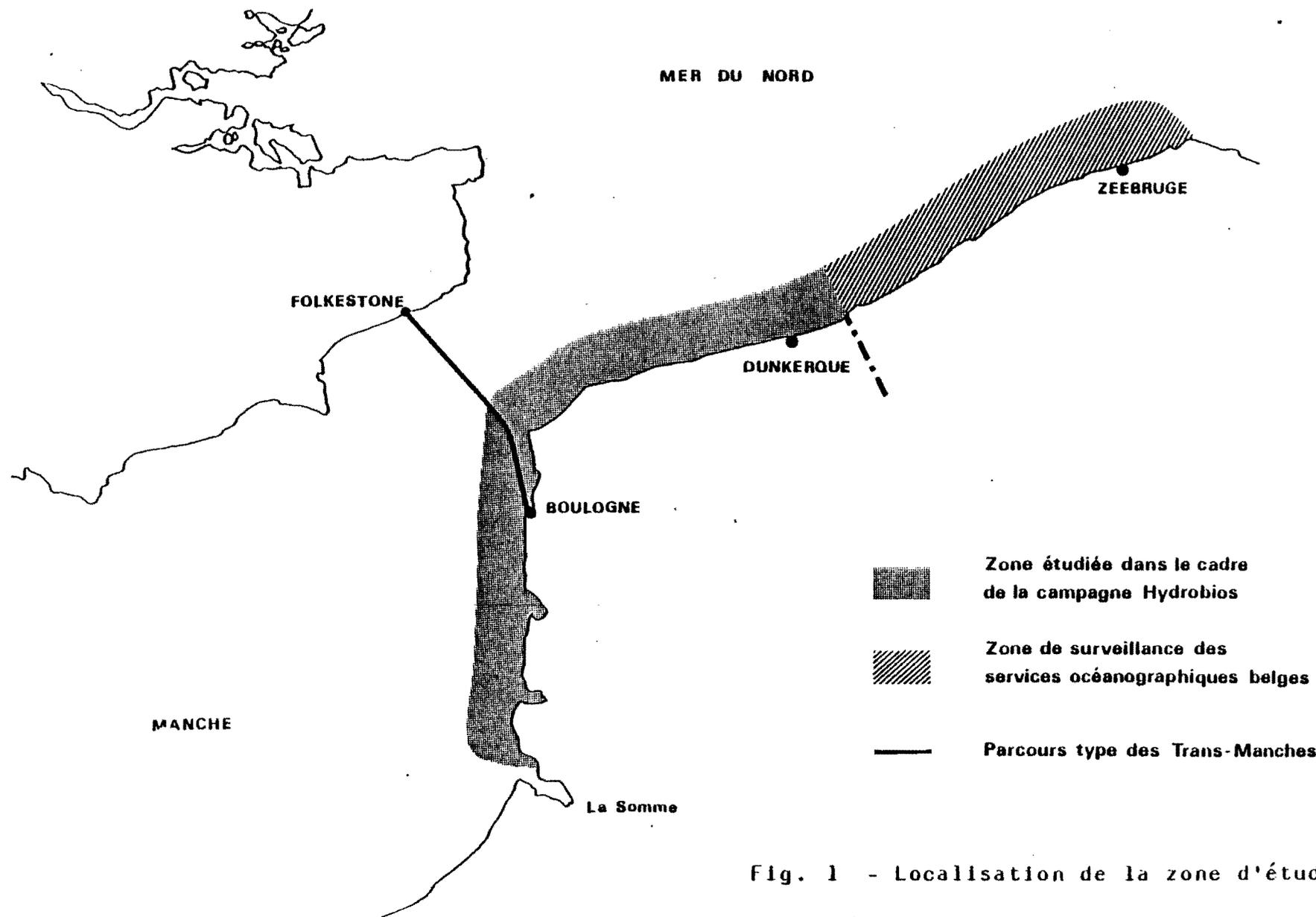


Fig. 1 - Localisation de la zone d'étude.

Fig. 2 : Localisation des prélèvements

hydrologiques

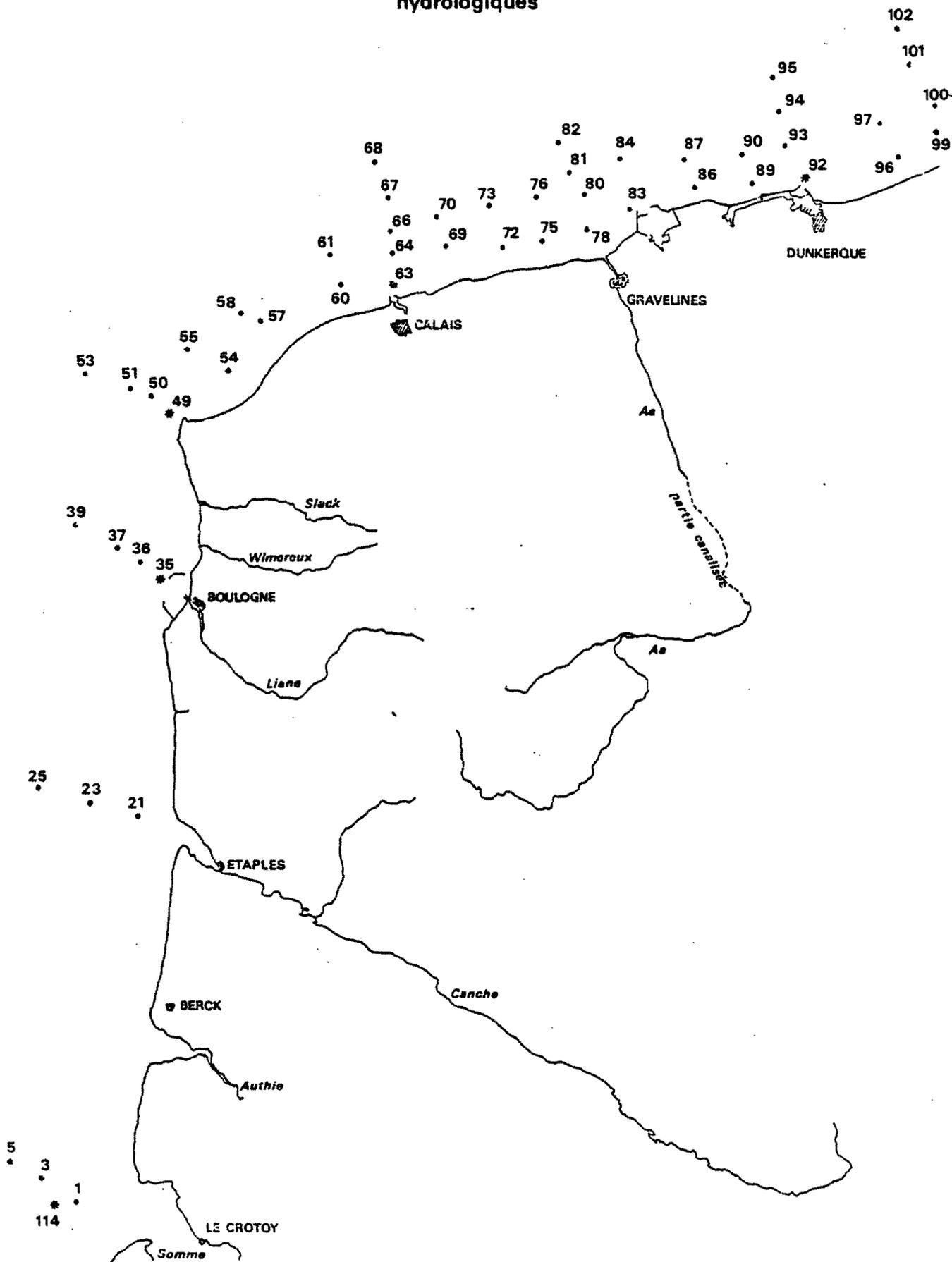


Tableau 2 - Localisation des stations fixes.

Référence des stations	Localisation
114-1 à 114-3	Baie de Somme
35-1 à 35-12	Boulogne/Mer
49-1 à 49-13	Cap Gris-Nez
63-1 à 63-13	Calais
82-1 à 92-13	Dunkerque

Des prélèvements ont été réalisés toutes les heures pendant 13 heures successives. Ces stations ont été qualifiées de "fixes" et permettent l'étude du mouvement de la masse d'eau pendant un cycle de marée (montant et baissant) et des courants associés (flot et jusant).

NB : Une critique peut être émise quant à la succession géographique des points de prélèvement. Les conditions météorologiques et certains impératifs de navigation ont empêché que les prélèvements se fassent avec une succession Sud-Nord ou Nord-Sud ou même encore côte-large.

1 - MATERIEL ET METHODES

1.1. - Caractéristiques générales du site

1.1.1. - Hydrographie

. Les marées

La marée observée sur les côtes françaises provient d'une onde née dans l'Atlantique. Cette onde incidente se superpose avec l'onde réfléchiée par la côte de la Somme jusqu'au Gris-Nez et à une onde progressive moins importante se propageant vers l'ouest et provenant de la Mer du Nord. En conséquence, le régime des marées est de type semi-diurne (l'intervalle entre 2 pleines mers consécutives est en moyenne de 12 h 25) cf. Tableau 2.

. Les courants de marée

Ce sont les courants induits par le déplacement vertical de la masse d'eau. Dans le Pas-de-Calais, les courants de marée sont alternatifs, c'est-à-dire que le flot a pendant toute sa durée une direction à peu près invariable qui est sensiblement opposée à celle qu'a le jusant (fig. 3 - Rose de courant au large du Gris-Nez).

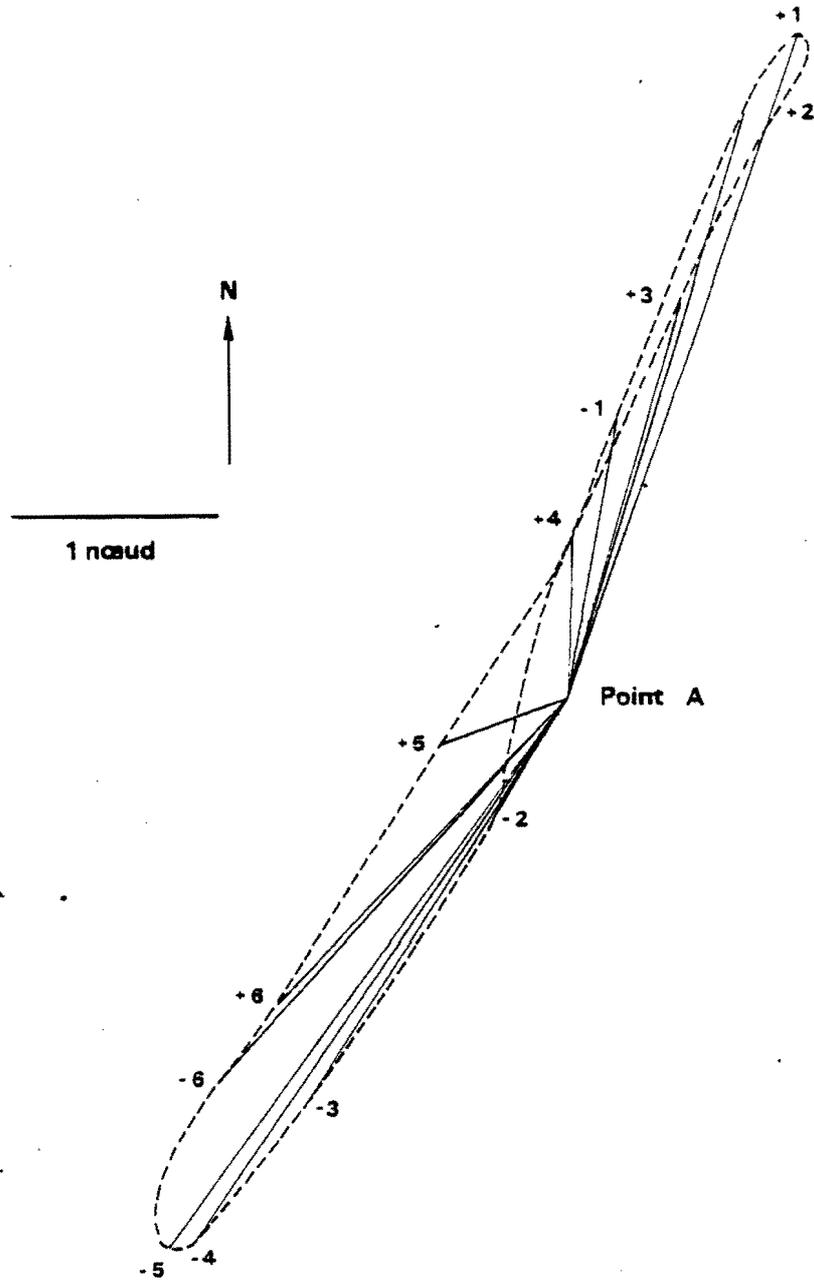


Fig. 3 - Rose des courants au large du Cap Cris Nez.
(50°54'N-1°32'E)

Tableau 3 - Horaires et coefficients des marées pendant la campagne Hydrobios

Date	Heure de la pleine mer à Boulogne/Mer	Coefficient de la marée
30 juillet	2 h 29	98
	14 h 51	98
31 juillet	3 h 13	98
	15 h 34	97
1 août	3 h 56	94
	16 h 20	91
2 août	4 h 41	86
	17 h 05	81
3 août	5 h 31	76
	17 h 58	71
4 août	6 h 27	66
	19 h 00	61
5 août	7 h 37	58
	20 h 16	56
6 août	8 h 57	55
	21 h 36	56
7 août	10 h 12	59
	22 h 43	62

Les caractéristiques des courants de marée sont liées à la nature de l'onde de marée. Le phénomène se complique du fait de la superposition des différentes ondes, mais on peut estimer l'onde de marée comme progressive : l'heure de la pleine mer se décale régulièrement dans le temps sur les points d'une ligne normale à sa direction de propagation.

Le flot débute à une heure correspondant approximativement au mi-montant, il est maximum à pleine mer puis diminue. Il est suivi de l'étale de flot, à mi-baissant. Le jusant débute dès la fin de l'étale, est maximum à basse mer puis diminue. La direction du courant de marée est globalement NE pour le flot et SW pour le jusant dans le Pas-de-Calais. L'amplitude du courant varie en surface essentiellement avec l'amplitude de la marée. On peut donc évaluer la vitesse du courant de marée grâce aux valeurs du coefficient de marée (A. MAUPAS, 1971).

1.1.2. - Les apports telluriques

Les fleuves dont l'embouchure est située sur le site et dont l'importance est à prendre en compte sont la Somme, la Canche,

Tableau 4 - Débit estimé de l'Aa en fonction des manoeuvres d'ouverture des vannes dans le port de Gravelines.

	Nombre de vannes manoeuvrées		Débit approximatif pour 24 h
	Matin	Soir	
Juillet			
1	2	4	750 000 m ³
2	4	3	850 000 m ³
3	rien	rien	-
4	rien	rien	-
5	1	1	200 000 m ³
6	1	1	200 000 m ³
7	1	1	200 000 m ³
8	6	8	1 650 000 m ³
9	ouverture totale		2 200 000 m ³
10	ouverture totale		2 200 000 m ³
11	ouverture totale	8	2 050 000 m ³
12	8	8	1 900 000 m ³
13	2	2	500 000 m ³
14	6	6	1 400 000 m ³
15	6	8	1 650 000 m ³
16	4	4	1 000 000 m ³
17	4	4	1 000 000 m ³
18	4	3	850 000 m ³
19	1	1	200 000 m ³
20	8	8	1 900 000 m ³
21	8	ouverture totale	1 050 000 m ³
22	ouverture totale	ouverture totale	2 200 000 m ³
23	8	8	1 900 000 m ³
24	6	6	1 400 000 m ³
25	3	2	600 000 m ³
26	1	1	200 000 m ³
27	3	3	700 000 m ³
28	2	2	500 000 m ³
29	3	4	850 000 m ³
30	4	4	1 000 000 m ³
31	2	2	500 000 m ³
Août			
1	2	2	500 000 m ³
2	2	2	500 000 m ³
3	1	1	200 000 m ³
4	1	1	200 000 m ³
5	1	1	200 000 m ³
6	1	1	200 000 m ³
7	rien	rien	-

la Liane et l'Aa. Le Wimereux, l'Authie et la Slack sont de moindre importance. Le cas de l'Yser mérite une attention particulière. Ce fleuve qui prend sa source en France, débouche en Belgique, à Nieuport sur la Mer du Nord (à environ 80 km de la frontière belge). Lors des périodes de jussant, les rejets de l'Yser sont à prendre en compte dans la zone Dunkerque-Frontière belge. On sait que ce sont les précipitations qui déterminent la valeur du débit de ces fleuves côtiers qui drainent des régions agricoles et industrielles importantes.

On a pu obtenir une évaluation des débits de l'Aa pendant la campagne, grâce au cahier des charges des services du Port Autonome de Dunkerque, indiquant les manoeuvres opérées sur les vannes régulant le niveau du fleuve.

Les fortes précipitations du mois de juillet ont donc entraîné une ouverture importante des vannes (et même des ouvertures complètes les 9, 10, 11 et 22 juillet).

Dans le fond de l'Avant-Port Est de Dunkerque se déverse le canal exutoire des waterings avec un débit estimé à 240 000 m³/jour en hiver et 140 000 m³ en été. Bien que les valeurs soient nettement inférieures à celles de l'Aa, le rôle du canal exutoire est indéniable car il draine aussi les zones agricoles de tout l'arrière-pays (waterings irriguant les cultures maraîchères) mais de plus il apporte à la mer les eaux usées des zones urbaines, notamment celles de la station d'épuration de Dunkerque.

1.1.3. - Climatologie

La campagne "Hydrobios 80" s'est déroulée entre le 30 juillet et le 7 août 1980. Les bulletins météorologiques régionaux émis quotidiennement par la station météorologique de Boulogne/Mer nous permettent d'avoir les conditions de vent et de mer au cours de la campagne. La saison a présenté un mois de juillet avec du temps frais (écart moyens inférieurs à la normale de 1 à 1,5 °) et des précipitations presque deux fois et demi supérieures à la normale (temps pluvieux surtout pendant les deux premières décades).

NB : Le 29 : orage et temps chaud avec rafales de vent.

Au mois d'août les températures ont été conformes à la moyenne des observations (première décade assez chaude, 17°C de moyenne). On a observé des brouillards fréquents (visibilité horizontale inférieure à 1 000 m pendant 5 jours au cours de la première décade). Le régime dominant des vents, sud-ouest à ouest, est normal pour la saison. Un vent de force plus importante pendant trois jours (3, 4 et 5 août) a formé la mer

Tableau 5 - Observations quotidiennes des conditions météorologiques

Date	Lieux	Vents (nds)	Mer	Visibilité (miles)	T °C
30.07.80	Boulogne	W 18	belle	8	
	Dunkerque	SW 14	peu agitée	8	
	Gris-Nez	SW 17	peu agitée	10	
31.07.80	Boulogne	S 8	belle	9	15
	Dunkerque	SSE 8	belle	5	
	Gris-Nez	S 8	calme	10-20	
1.08.80	Boulogne	E 6	belle	4	14
	Dunkerque	NNW 10	belle	5	16
	Gris-Nez	E 6	belle	5-10	
2.08.80	Boulogne	E 10	belle	2	
	Dunkerque	NE 6	calme	1	
	Gris-Nez	ENE 8	belle	2 à 5	
3.08.80	Boulogne	SSW 6	belle	1	
	Dunkerque	calme	calme	1	
	Gris-Nez	SSW 10	belle	1 à 2	
4.08.80	Boulogne	WSW 14	peu agitée	1	16
	Dunkerque	SSE 8	calme		16
	Gris-Nez	SW 18	peu agitée		
5.08.80	Boulogne	W 20	peu agitée	5	16
	Dunkerque	SSW 14	peu agitée	4	17
	Gris-Nez	WSW 19	peu agitée	5 à 10	
6.08.80	Boulogne	W 14	peu agitée	11	
	Dunkerque	WSW 16	belle	9	
	Gris-Nez	W 16	peu agitée	10 à 20	
7.08.80	Boulogne	SSE 6	belle	10	15
	Dunkerque	SSW 10	belle	8	
	Gris-Nez	SSW 10	belle	5 à 10	

en donnant naissance à des creux d'environ 2 m à 2 m 50, ce qui a rendu difficile les prélèvements hydrographiques de sub-surface. Les précipitations ont été très faibles pendant la campagne (à l'exception du 7 août) au total : 11,7 mm, valeur très inférieure à la moyenne par décade des mois d'été.

Tableau 6 - Précipitations à Boulogne/Mer durant la campagne

Date	Précipitations en mm
Juillet 30	0,2
31	2,4
Août 1	0,2
2	0,0
3	0,1
4	2,0
5	traces
6	0,0
7	6,8

1.2. - Techniques

Les prélèvements destinés à l'étude des caractéristiques hydrobiologiques ont été réalisés grâce à une bouteille à clapet, de 5 l., immergée entre 1 et 2 m au-dessous de la surface. Une hypothèse de départ ayant été que dans cette zone de faible profondeur le brassage vertical des eaux donne une homogénéité : un échantillonnage en surface permet d'apprécier les conditions hydrologiques de toute la colonne.

Aussitôt la bouteille remontée, la température est prise grâce à un thermomètre au 1/10ème (les thermomètres à renversement auraient nécessité un temps d'immersion supérieur). Après filtration à 200 µ (soie à plancton) les échantillons d'eau nécessaires aux mesures de la chlorophylle, de la turbidité, des matières en suspension, de la salinité, du pH et de la teneur en oxygène ont été prélevés. L'échantillon nécessaire à l'analyse manuelle des sels nutritifs a subi une filtration complémentaire à 50 µ. A bord et aussitôt après le prélèvement ont été analysés le pH, la turbidité et la concentration en oxygène.

Les filtrations pour matières en suspension* et chlorophylle

* Aux stations fixes deux estimations de la turbidité ont été faites :
 - par néphélogétrie : mesure optique en unités NTU,
 - par pesée du dépôt de matières en suspension, en mg/l.

ont été effectuées parallèlement sur une rampe millipore à l'aide de filtres Whatman (GF/C 0,45 μ).

Les échantillons destinés à l'analyse des sels nutritifs ainsi que les filtres utilisés pour les chlorophylles ont été congelés immédiatement.

Les analyses faites à bord ainsi que celles confiées au Laboratoire Lecerf-Callens de Dunkerque l'ont été selon les méthodologies conseillées dans le Manuel de prélèvement et d'analyse du R.N.O.

2 - RESULTATS

Les résultats de l'ensemble des analyses effectuées aux différentes stations sont regroupés dans le tableau 7.

Les résultats concernant les stations fixes (couvrant un cycle de marée) sont indiqués dans le tableau 8.

2.1. - Cartographie des résultats

Des isoplètes entre les différents points de prélèvement ont été tracés pour chacun des paramètres physicochimiques et biologiques étudiés.

Figure 4 - Salinité

Figure 5 - Température

Figure 6 - Turbidité

Figure 7 - pH

Figure 8 - Oxygène

Figure 9 - Sels azotés 9a : NH_4 ; 9b : NO_3 ; 9c : NO_2

Figure 10 - Sels non azotés 10a : PO_4 ; 10b : SiO_4

Figure 11 - Pigments végétaux 11a : Chlorophylle ;

11b : phaeopigments.

2.2. - Stations fixes

Pour chaque sortie échantillonnée en station fixe sur un cycle de marée on a tracé une courbe indiquant les variations de marnage, la direction et la force des courants.

Les courbes de variation des différents paramètres au cours du cycle de marée ont été rapportées à une même échelle temporelle.

TABEAU 7 : RESULTAT DES ANALYSES EFFECTUEES AUX DIFFERENTES STATIONS

N° Station	T°C	S°/‰	O ₂ ml	pH	NO ₃	NO ₂	PO ₄	SiO ₄	NH ₄	Turb	Chlor	Phaeo	ZO ₂	Heure
1	18,0	-	5,93	8,42	0	0,12	0,50	0,2	0,30	5,8	9,2	1,2	-	6 août - 10h25
3	17,8	33,10	5,88	8,32	0,05	0,06	0,36	0,3	0,50	2,1	6,8	1,8	108	6 août - 00h35
5	17,35	33,79	5,86	8,31	0,09	0	0,25	0	0	1,0	4,9	1,0	107	5 août - 23h15
21	18,5	32,76	5,96	8,42	0,02	0,08	0,50	0,2	0,35	5,3	7,7	2,0	111	6 août - 14h10
23	16,9	34,05	5,91	8,29	0,22	0,04	0,16	0,1	0,25	1,1	3,2	0,0	107	5 août - 17h15
25	16,45	34,34	5,86	8,25	0,02	0,07	0,08	0,2	0,30	1,1	2,4	0,0	106	5 août - 16h10
36	16,75			8,25										
37	16,5	34,00	5,55	8,24	0,21	0,05	0,16	0,4	0,20	2,0	2,6	0,5	100	31 juillet - 00h20
39	16,15	34,24	-	8,22	0,10	0,02	0,25	0	0,25	1,0	2,2	0,0	-	31 juillet - 02h00
50	16,9	33,98	5,66	8,23	0,12	0,03	0,25	0,00	0,45	1,2	4,0	1,1	103	5 août - 04h10
51	16,6	34,13	5,44	8,23	0,07	0,03	0,19	0,1	0,35	1,4	3,2	0,0	98	5 août - 05h20
53	15,75	34,58	5,58	8,19	0,20	0,03	0,08	0,6	0,30	0,7	1,9	0,0	99	31 juillet - 11h40
54	16,9	33,93	5,45	8,21	0,20	0,03	0,48	0,5	0,55	1,7	4,0	0,8	99	3 août - 23h55
55	16,9	33,98	5,66	8,23	0,12	0,03	0,25	0	0,45	1,2	4,0	1,1	103	5 août - 03h10
57	16,85	33,98	5,41	8,22	0,13	0,05	0,22	0,6	0,50	1,7	3,0	0,1	98	3 août - 23h15
58	16,55	34,20	5,51	8,22	0,05	0,06	0,19	0	0,05	1,7	2,8	0,0	99	4 août - 22h40
60	17,3	33,82	5,35	8,20	0,30	0,66	0,30	0,60	0,55	2,0	5,0	1,1	98	3 août - 22h35
61	16,55	34,27	5,28	8,18	0,44	0,13	0,41	2,1	1,45	1,5	3,7	0,2	95	4 août - 21h15
64	17,05	33,89	5,21	8,17	0,44	0,14	0,44	0,4	0,75	2,3	3,5	0,2	95	3 août - 8h35 4 août - 15h10
66	16,9	34,10	5,26	8,19	0,28	0,07	0,41	0,7	0,65	1,6	2,9	0,2	95	4 août - 16h30
67	16,65	34,17	5,37	8,19	0,52	0,08	0,29	0,8	0,70	2,0	2,5	0,2	97	4 août - 17h10
68	16,30	34,30	5,37	8,19	0,60	0,05	0,36	0,5	0,70	1,2	2,4	0,0	96	4 août - 18h00
69	17,3	33,89	5,32	8,10	0,84	0,23	0,46	0,70	1,45	2,6	4,1	0,1	97	2 août - 19h10
70	17,0	33,98	5,32	8,16	0,52	0,12	0,35	0,70	0,90	2,4	3,4	0,4	97	2 août - 19h10
72	17,7	33,75	5,49	8,12	1,6	0,42	0,78	1,0	4,95	2,9	6,9	0,8	101	2 août - 17h50
73	17,0	34,01	5,62	8,17	0,46	0,11	0,36	0	0,44	1,5	4,4	0,6	102	2 août - 18h20
75	17,7	33,81	5,77	8,15	0,78	0,41	0,70	0,4	3,45	2,3	8,0	0,0	106	2 août - 16h25
76	17,00	34,00	6,03	8,18	0,19	0,08	0,27	0,0	0,60	1,3	4,5	0,2	110	2 août - 16h00
78	17,5	33,82	5,71	8,15	0,67	0,33	0,68	0,6	3,05	5,0	8,4	1,6	105	2 août - 12h30
80	17,45	33,84	5,82	8,15	0,82	0,30	0,73	0,9	2,55	2,1	7,8	0,0	107	2 août - 13h15
81	17,00	34,10	5,88	8,19	0,26	0,10	0,30	0	0,46	1,6	4,7	1,5	107	2 août - 14h00
82	16,55	34,17	5,74	8,20	0,10	0,05	0,11	0,3	0,30	1,7	5,1	1,1	104	2 août - 14h50
83	17,45	33,81	5,71	8,12	0,52	0,27	0,50	0,1	4,4	2,4	7,9	2,2	105	2 août - 11h45
84	16,95	33,98	5,61	8,14	0,60	0,13	0,50	0,1	1,2	1,7	4,5	1,2	102	2 août - 11h00
86	17,35	33,75	5,47	8,09	1,2	0,42	0,68	0,4	4,20	3,8	7,6	0,0	100	2 août - 8h10
87	17,35	33,93	5,57	8,12	0,61	0,16	0,23	0,2	0,9	1,7	5,0	1,0	102	2 août - 8h45
89	17,3	33,82	5,78	8,14	0,50	0,28	0,50	0	2,55	2,6	8	0,4	106	2 août - 7h40
90	17,0	34,01	6,21	8,19	0,24	0,06	0,39	0,1	0,12	1,1	6,3	0,3	113	1 août - 19h10
93	16,85	34,01	6,47	8,23	0,12	0,04	0,23	0,1	0,30	1,0	5,4	0,6	117	1 août - 19h35
94	16,85	34,20	-	3,26	0,05	0,06	0,35		0,25	1,1	5,6	2,4	118	1 août - 18h10
95	16,9	34,22	6,50	8,24	0,09	0,03	0,11	0	0,25	1,0	4,4	0,6	118	1 août - 17h30
96	17,25	33,87	6,12	8,19	0,23	0,19	0,41	0,4	0,95	3,1	9,2	1,8	112	1 août - 09h45
97	17,15	34,00	6,39	8,25	0,06	0,06	0,37	0,0	0,35	2,1	6,7	0,2	117	1 août - 13h00
99	17,15	33,89	6,20	8,20	0,13	0,06	0,37	0,1	0,11	2,7	8,4	0,0	113	1 août - 10h20
100	17,15	34,01	6,29	8,24	0,09	0,08	0,11	0,8	0,35	1,7	6,7	1,1	115	1 août - 11h15
101	17,2	34,01	6,50	8,29	0,05	0,05	0,08	0,2	0,25	1,1	4,4	0,4	119	1 août - 15h20
102	16,8	34,22	6,26	8,28	0,08	0,04	0,18	0,4	0,25	1,0	4,5	1,2	114	1 août - 16h12

TABLEAU 8 : RESULTATS CONCERNANT LES STATIONS FIXES

N° Station	T°C	S°/‰	O ₂ ml	pH	NO ₃	NO ₂	PO ₄	SiO ₄	NH ₄	Turb	Chlor	Phaeo	MES	Heure
Boulogne														
35-1	17,0	33,46	5,22	8,20	0,24	0,11	0,78	2,0	0,95	4,2	6,5	1,5	6,8	30 juillet - 11h25
35-2	16,9	33,55	5,54	8,20	0,15	0,05	0,41	0,5	0,12	3,5	6,2	0,3	6,2	12h30
35-3	16,9	33,53	5,63	8,22	0,37	0,15	0,54	0,9	0,55	3,6	6,0	1,4	6,9	13h45*
35-4	17,0	33,38	5,39	8,22	0,18	0,27	0,95	1,7	0,46	(8,2)	8,8	3,4	19,7	15h30
35-5	17,3	33,22	5,70	8,26	0,09	0,20	0,66	1,1	0,55	6,0	-	-	15,4	16h30
35-6	17,4	33,10	5,91	8,29	0	0,15	0,54	0,8	0,35	5,4	8,5	2,2	11,7	17h30
35-7	17,55	33,15	5,84	8,26	0,07	0,08	0,50	0,7	0,45	4,3	-	-	8,4	18h45
35-8	17,4	33,36	5,43	8,22	0,62	0,23	0,95	2,7	2,15	5,0	6,7	0,6	9,7	19h30
35-9	17,3	33,24	5,82	8,27	0,11	0,07	0,44	0,7	0,45	3,0	-	-	5,4	20h40
35-10	17,35	33,29	5,44	8,22	0,57	0,22	0,78	2,2	1,35	4,4	7,1	0,3	8,6	21h30
35-11	17,45	33,38	5,43	8,24	0,18	0,14	0,63	1,5	0,23	6,2	-	-	12,6	22h35
35-12	17,20	33,39	5,49	8,25	0,10	0,12	0,72	1,2	0,46	4,0	6,9	1,5	7,8	23h30
* Problèmes avec le bateau - déplacement et retour toutes les heures à la station fixe.														
Gris-Nez														
49-1	17,1	33,89	5,48	8,23	0,07	0,05	0,57	0,7	0,55	3,2	4,0	0,4	5,2	4 août - 0h40
49-2	17,0	33,94	5,52	8,21	0,09	0,07	0,44	0,1	0,40	3,7	4,2	0,3	6,0	1h40
49-3	17,0	33,96	5,44	8,22	0,11	0,05	0,42	0,4	0,35	3,6	-	-	5,9	2h35
49-4	17,0	33,94	5,41	8,21	0,47	0,10	(0,27)	0,6	0,55	4,4	4,3	0,7	4,5	3h30
49-5	17,15	33,86	-	8,23	0,14	0,06	0,41	0,8	0,65	2,3	-	-	4,7	4h30
49-6	17,15	33,84	5,31	8,21	0,13	0,11	0,37	0,6	0,5	4,1	4,4	0,8	6,9	5h30
49-7	17,05	33,86	5,44	8,22	0,14	0,08	0,45	1,2	0,21	4,1	-	-	6,5	6h30
49-8	17,0	33,86	5,27	8,21	0,05	0,02	0,27	0,0	0,15	1,7	4,5	0,0	3,6	7h30
49-9	17,2	33,77	5,68	8,26	0,01	0,04	0,27	0,2	0,25	2,3	-	-	3,8	8h30
49-10	17,25	33,69	5,68	8,27	0,07	0,07	0,17	0,8	0,95	3,0	5,0	2,0	5,4	9h30
49-11	17,4	33,60	5,57	8,26	0,06	0,04	0,38	0,2	0,45	2,9	-	-	5,8	10h30
49-12	17,35	33,79 (4,94)	8,20	0,09	0,10	0,44	1,4	0,40	2,6	4,4	0,6	4,2	11h30	
49-13	17,2	33,79	5,59	8,25	0,02	0,11	0,46	0,5	0,35	2,1	4,1	0,7	3,2	12h30
Calais														
63-1	17,65	33,65	5,10	8,11	0,66	0,30	0,85	2,0	2,90	3,2	4,5	1,7	3,2	3 août - 8h35
63-2	17,55	33,75	5,13	8,12	0,51	0,18	0,68	0,9	2,35	3,0	-	-	3,5	9h35
63-3	17,5	33,77	5,16	8,15	0,49	0,21	0,60	1,4	0,21	2,7	3,9	1,2	3,3	10h30
63-4	17,8	33,75	5,24	8,09	0,27	0,18	0,60	0,9	2,25	3,2	-	-	4,0	11h30
63-5	17,8	33,75	5,24	8,09	2,0	0,31	0,85	0,5	4,20	5,2	6,4	0,6	7,6	12h30
63-6	17,85	33,77	5,23	8,05	1,2	0,37	1,04	1,5	5,6	6,3	-	-	9,2	13h30
63-7	17,6	33,75	5,26	8,12	0,61	0,21	0,70	0,9	3,05	3,6	4,6	0,0	-	14h30
63-8	17,5	33,81	5,33	8,07	1,03	0,31	1,0	1,2	3,40	7,3	-	-	-	15h30
63-9	17,5	33,82	5,22	8,07	1,11	0,36	0,8	0,9	3,75	4,3	6,0	0,5	-	16h30
63-10	17,6	33,84	5,47	8,11	0,85	0,25	0,67	0,5	2,55	4,5	-	-	5,7	17h30
63-11	17,45	33,82	5,23	8,15	0,43	0,20	0,54	0,9	1,5	4,3	3,9	1,4	8,5	18h30
63-12	17,6	33,81	5,22	8,16	0,36	0,18	0,60	1,0	1,8	4,8	-	-	8,0	19h30
63-13	17,5	33,82	5,29	8,49	0,15	0,12	0,60	1,2	0,46	4,0	4,0	0,4	7,5	20h30
Dunkerque														
92-1	17,20	33,89	6,38	8,21	0,37	0,30	0,44	0	0,95	3,0	11,9	0,0	5,0	31 juillet 17h40
92-2	-	33,87	6,41	8,20	0,44	0,30	0,65	0,1	1,15	4,1	-	-	8,1	18h30
92-3	17,65	33,77	5,20	8,22	1,2	0,56	0,50	0,2	1,95	2,8	10,9	1,2	3,3	19h30
92-4	17,4	33,81	6,57	8,21	0,46	0,37	0,50	0,1	1,05	2,2	-	-	2,6	20h30
92-5	17,2	33,87	6,48	8,21	0,23	0,32	0,18	0,8	0,60	3,7	10,6	2,9	5,4	21h30
92-6	17,25	33,87	6,36	8,21	0,41	0,30	0,50	0,3	0,95	5,7	-	-	10,2	22h30
92-7	17,40	33,86	6,23	8,21	0,16	0,29	0,66	0,5	0,95	6,0	12,1	1,8	9,9	23h30
92-8	17,3	33,89	6,20	8,22	0,16	0,21	0,80	0,4	0,70	4,6	-	-	7,3	00h30
92-9	17,5	33,84	6,12	8,22	0,05	0,19	0,60	0,0	0,70	4,2	11,1	1,3	7,9	1h30
92-10	17,45	33,87	6,18	8,23	0,02	0,14	0,44	0,1	0,40	2,1	-	-	3,5	2h30
92-11	17,3	33,87	6,35	8,23	0,0	0,19	0,37	0,0	0,48	3,0	8,6	3,0	3,9	3h30
92-12	17,2	33,86 (5,37)	8,22	0,21	0,23	0,68	0,3	0,90	3,0	-	-	-	5,3	4h30
92-13	17,1	33,86	5,93	8,19	0,46	0,33	0,54	0,1	1,15	3,6	10,0	0,4	6,7	5h30
Somme														
114-1	18,2	32,96	6,02	8,30	0,04	0,04	0,41	0,2	0,25	2,4	6,8	1,3	3,7	6 août - 17h30
114-2	18,15	33,08	6,25	8,31	0,01	0,07	0,44	0,0	0,65	1,5	-	-	-	18h30
114-3	18,0	33,19	5,27	8,30	0,06	0,05	0,33	0,0	0,40	1,4	6,0	0,0	2,2	19h30
114-4	17,8	33,32	6,10	8,30	0,10	0,04	0,41	0,3	0,0	2,4	-	-	-	20h40
114-5	18,2	33,10	6,28	8,30	0,05	0,03	0,49	0,2	0,25	3,7	6,7	1,6	4,4	21h35
114-6	17,7	33,41	6,00	8,27	0,15	0,01	0,38	0,0	0,0	1,3	-	-	-	22h35
114-7	17,7	-	5,87	8,26	0,12	0,05	0,23	0,2	0,42	2,0	6,1	0,0	3,1	23h40
114-8	18,0	33,15	5,81	8,27	0,09	0,06	0,62	0,1	0,16	3,0	-	-	-	00h25
114-9	18,05	32,98	5,73	8,27	0,0	0,08	0,55	0,6	0,35	3,9	9,7	0,0	6,7	1h35
114-10	18,00	32,26	5,86	8,28	0,04	0,10	0,69	2,9	0,11	6,3	-	-	-	2h35
114-11	18,00	32,36	5,89	8,28	0,04	0,08	0,65	2,5	0,40	6,1	7,6	1,7	7,2	3h30
114-12	18,2	32,48	5,61	8,29	0,14	0,05	0,44	0,6	0,18	5,9	-	-	-	4h35
114-13	18,1	33,01	5,81	8,29	0,04	0,05	0,19	0,2	0,25	2,4	8,3	2,6	5,3	5h30

Fig. 4 - Salinité (‰).

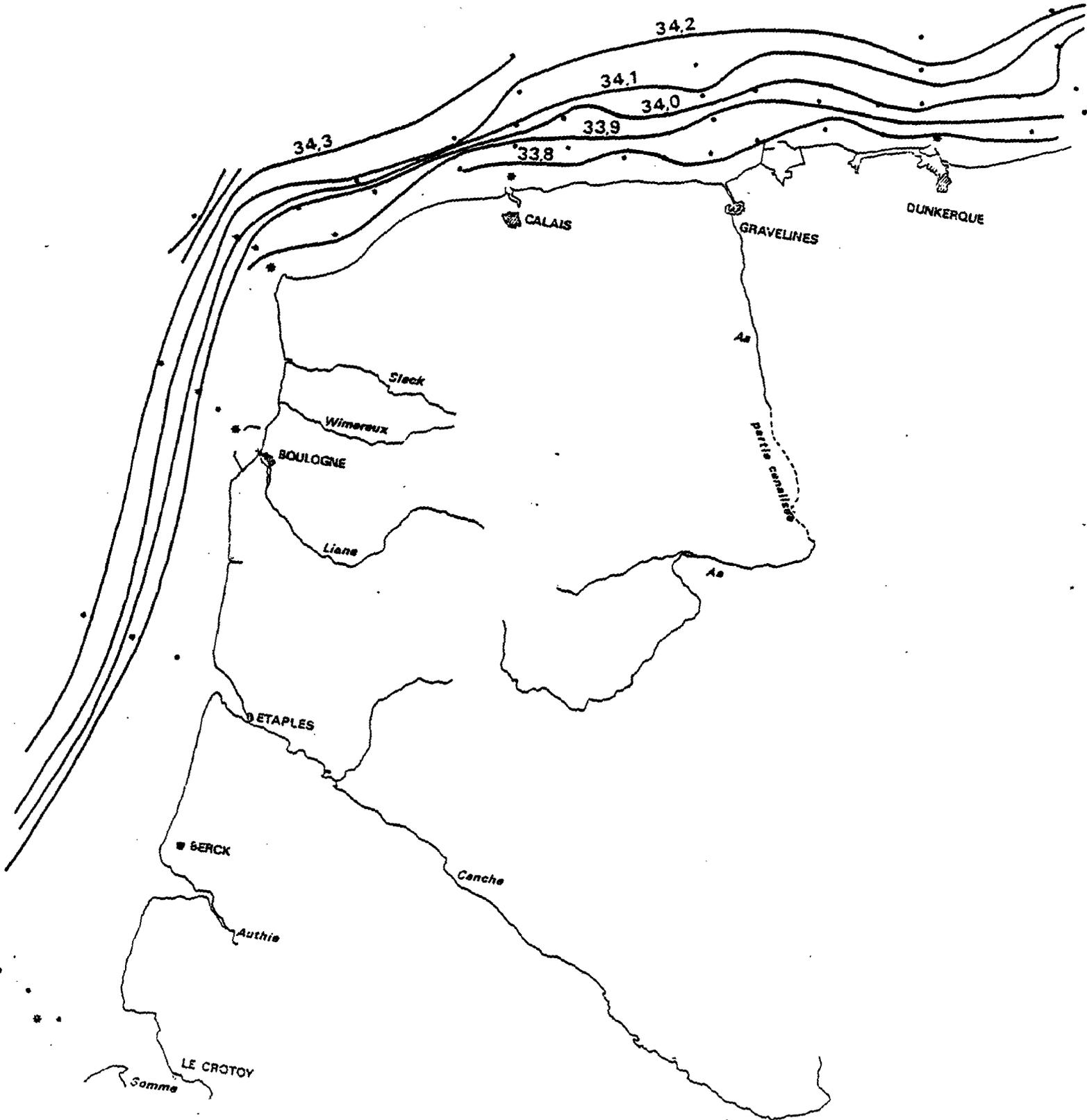


Fig. 6 - Turbidité (NTU).

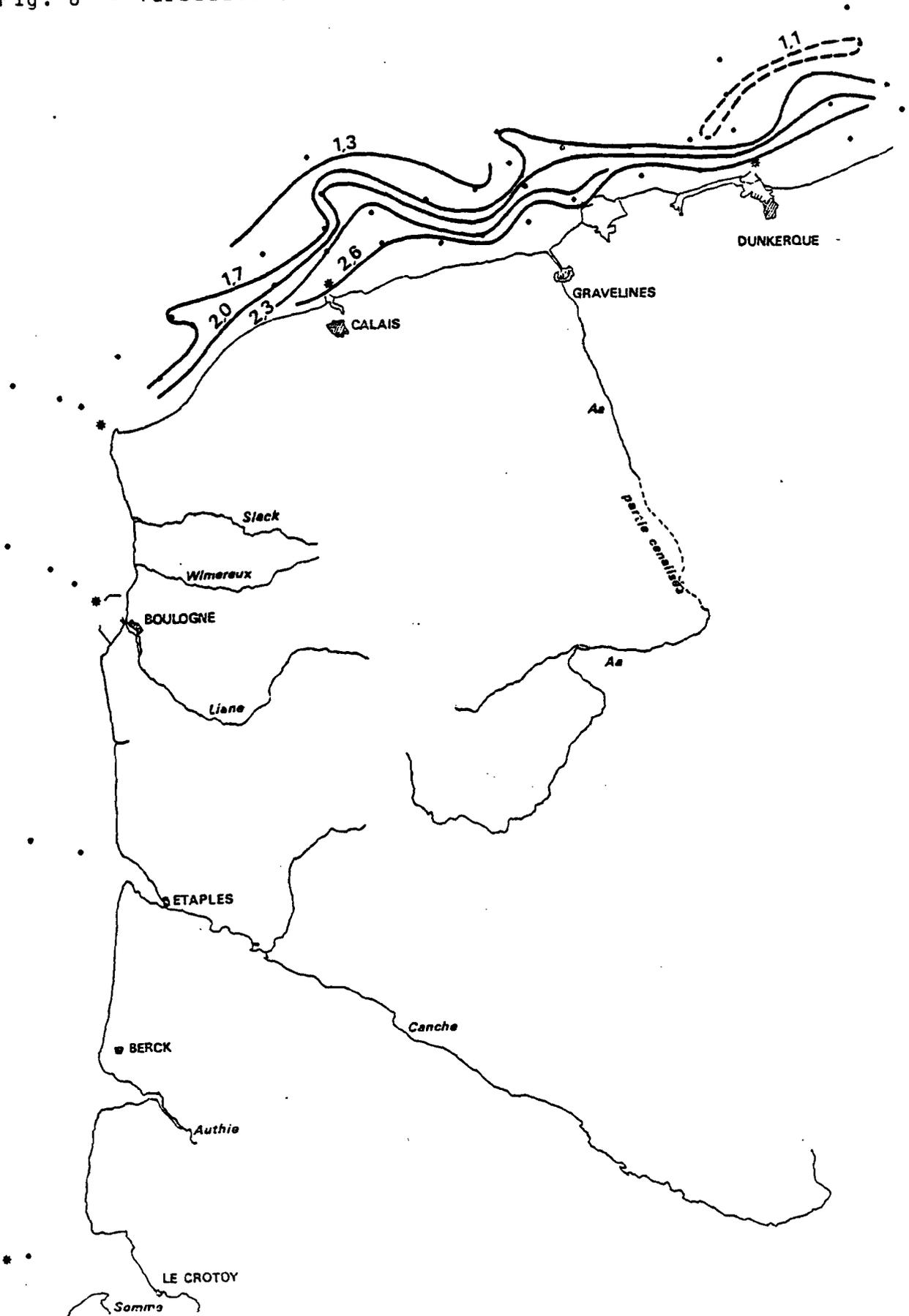


Fig. 7 - pH.

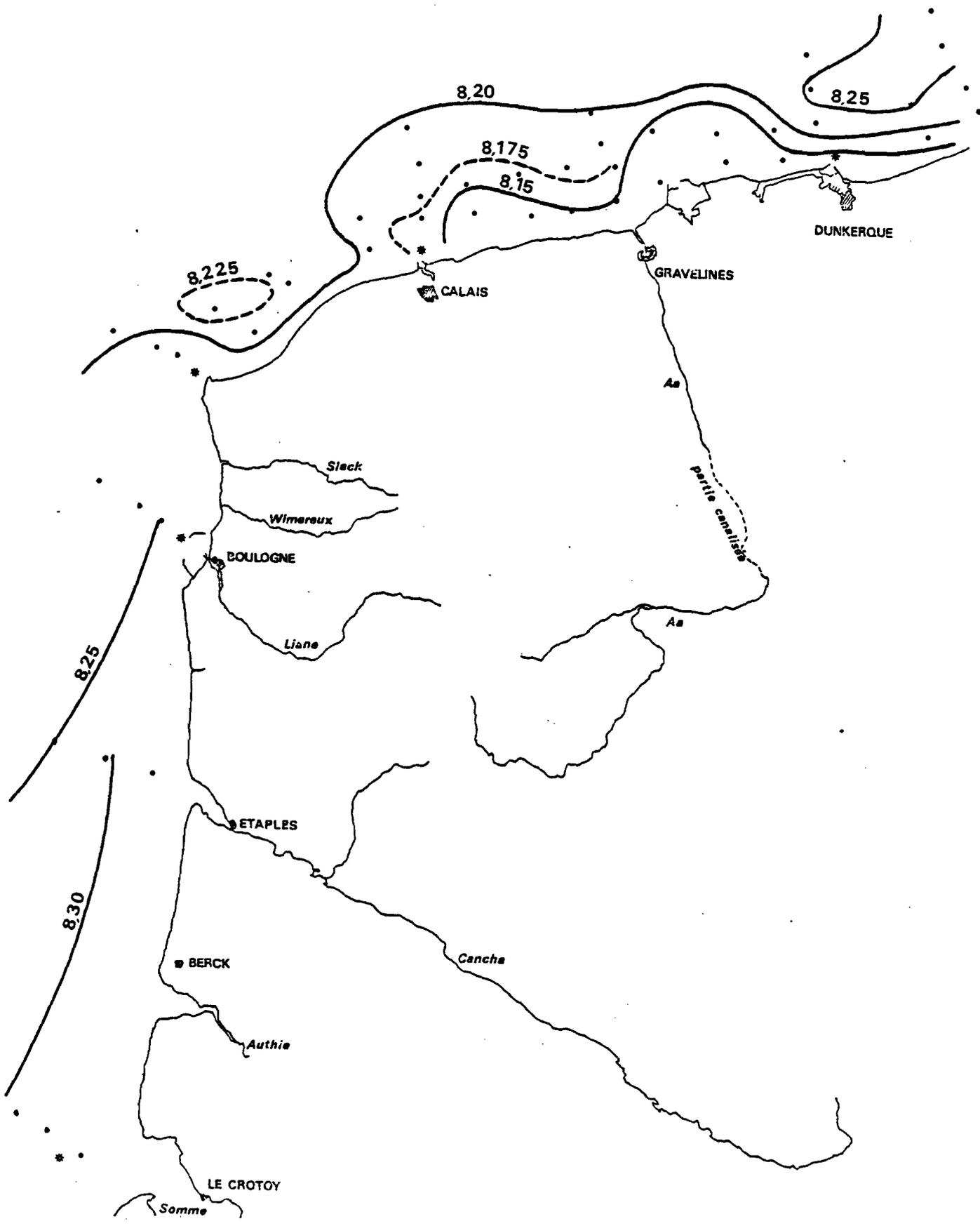


Fig. 8 - Oxygène (%)

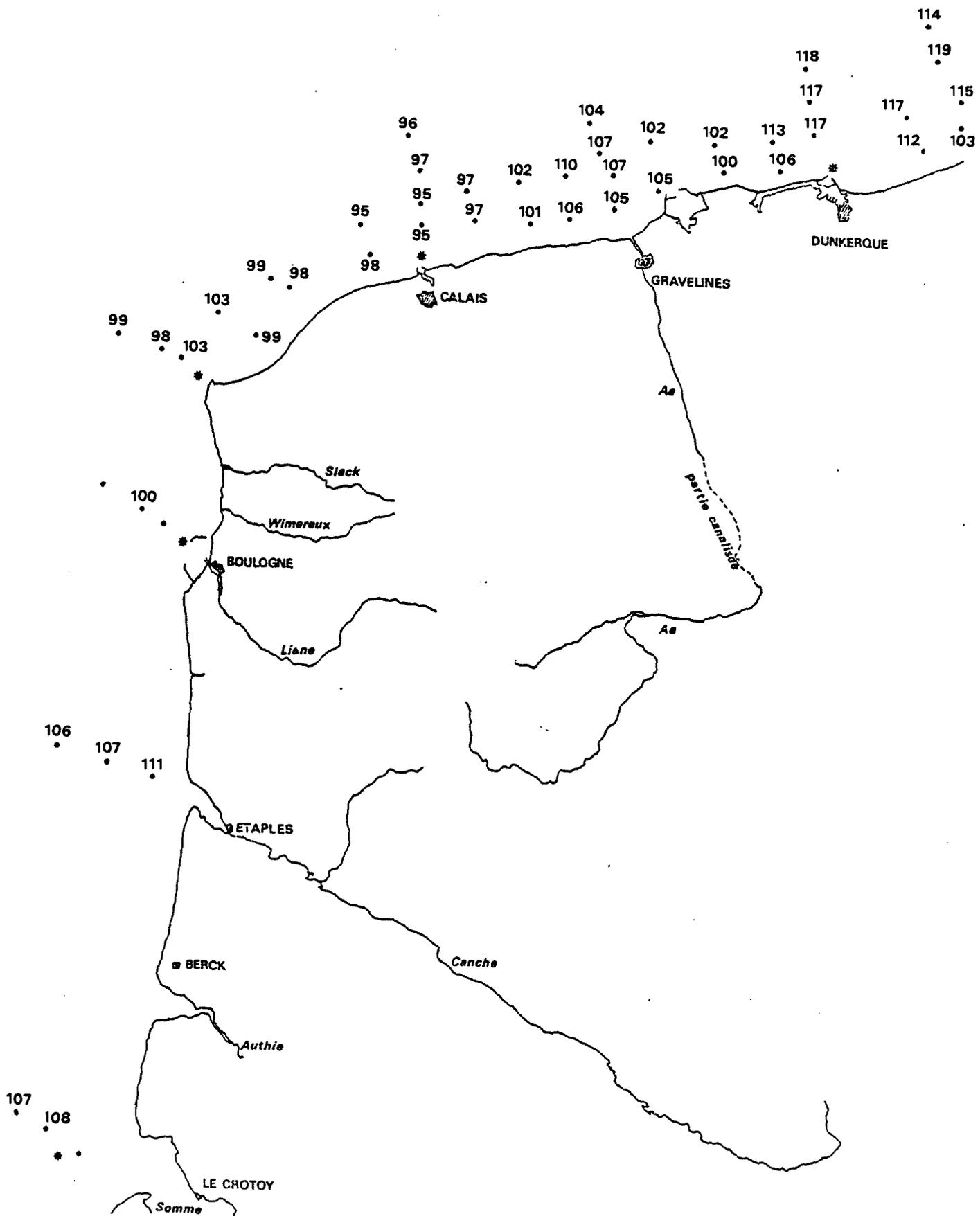


Fig. 9a -NH4 ($\mu\text{atg N-NH}_4/1$)

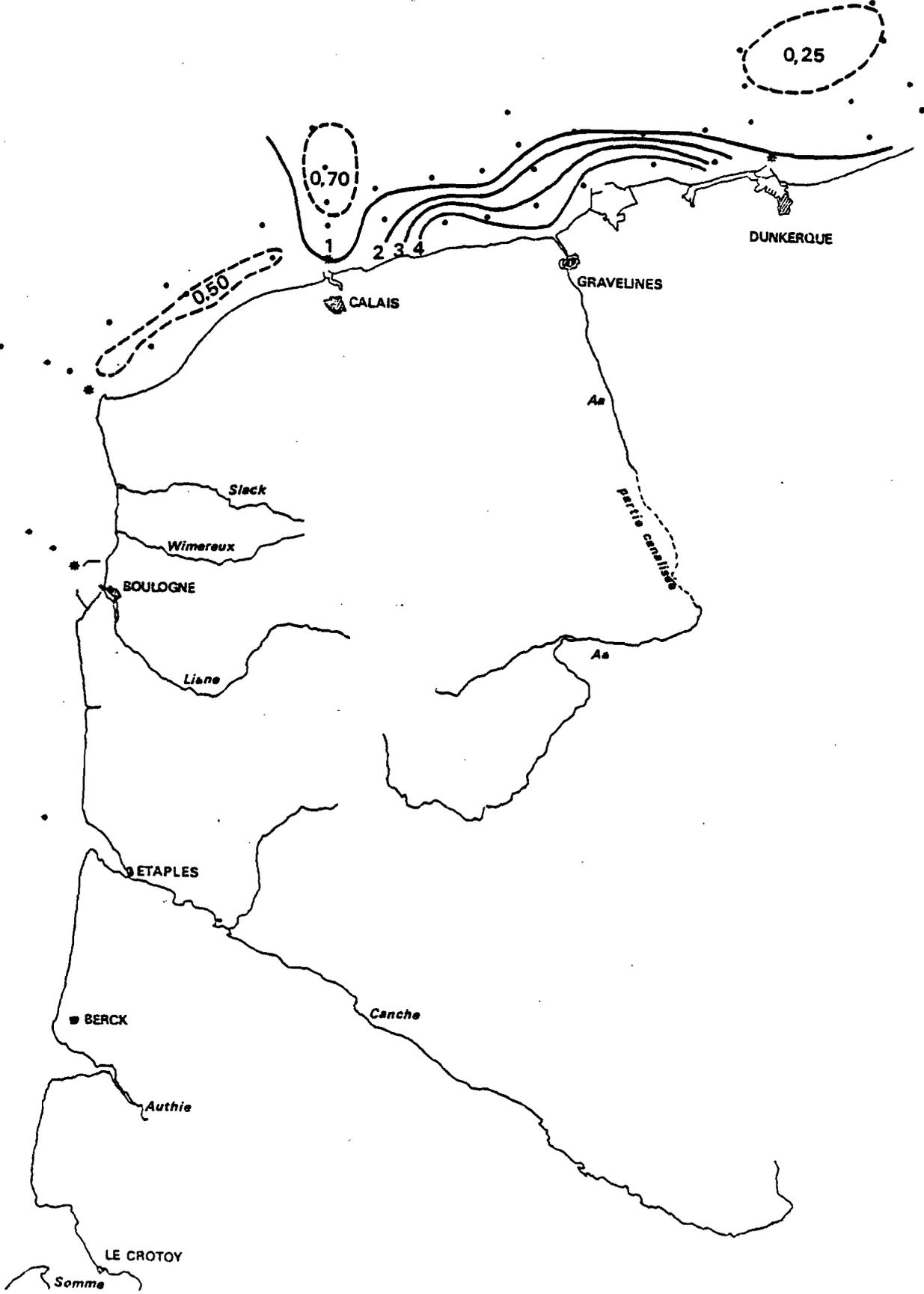


Fig. 9b - N03 ($\mu\text{atg N-N03/1}$)

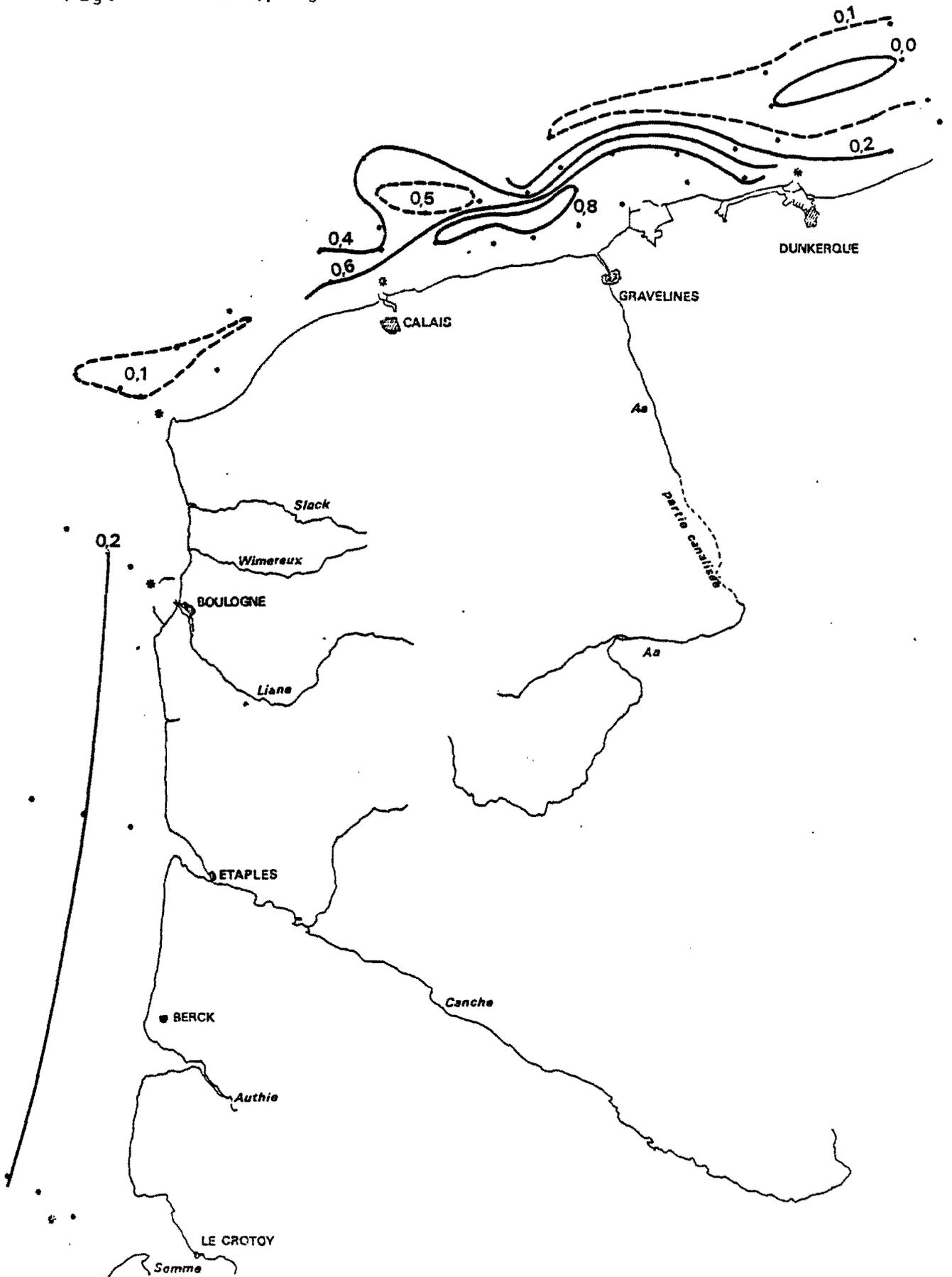


Fig. 9c - N02 ($\mu\text{atg N-N02/1}$)

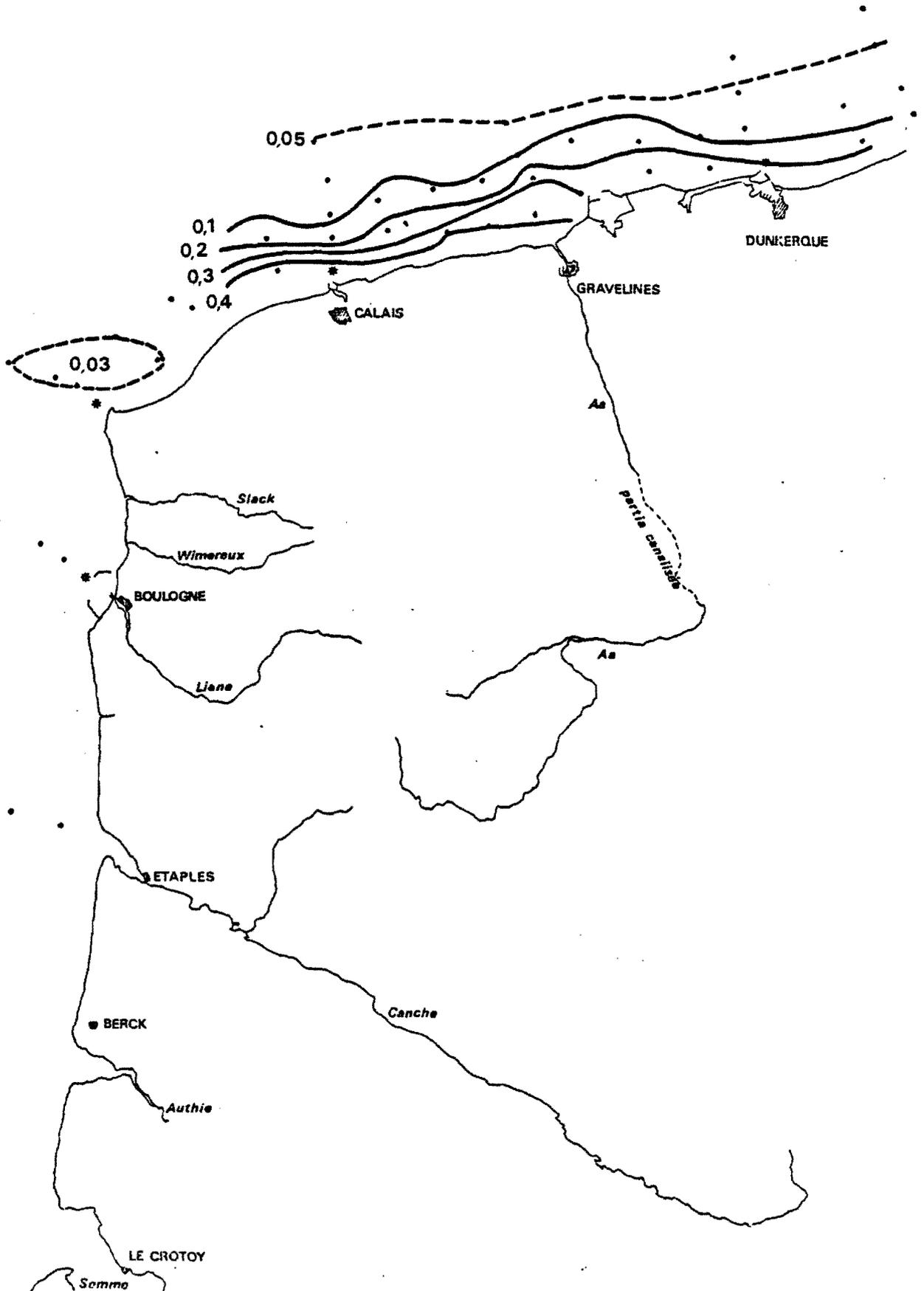


Fig. 10a - P04 (μ atg P-P04/1)

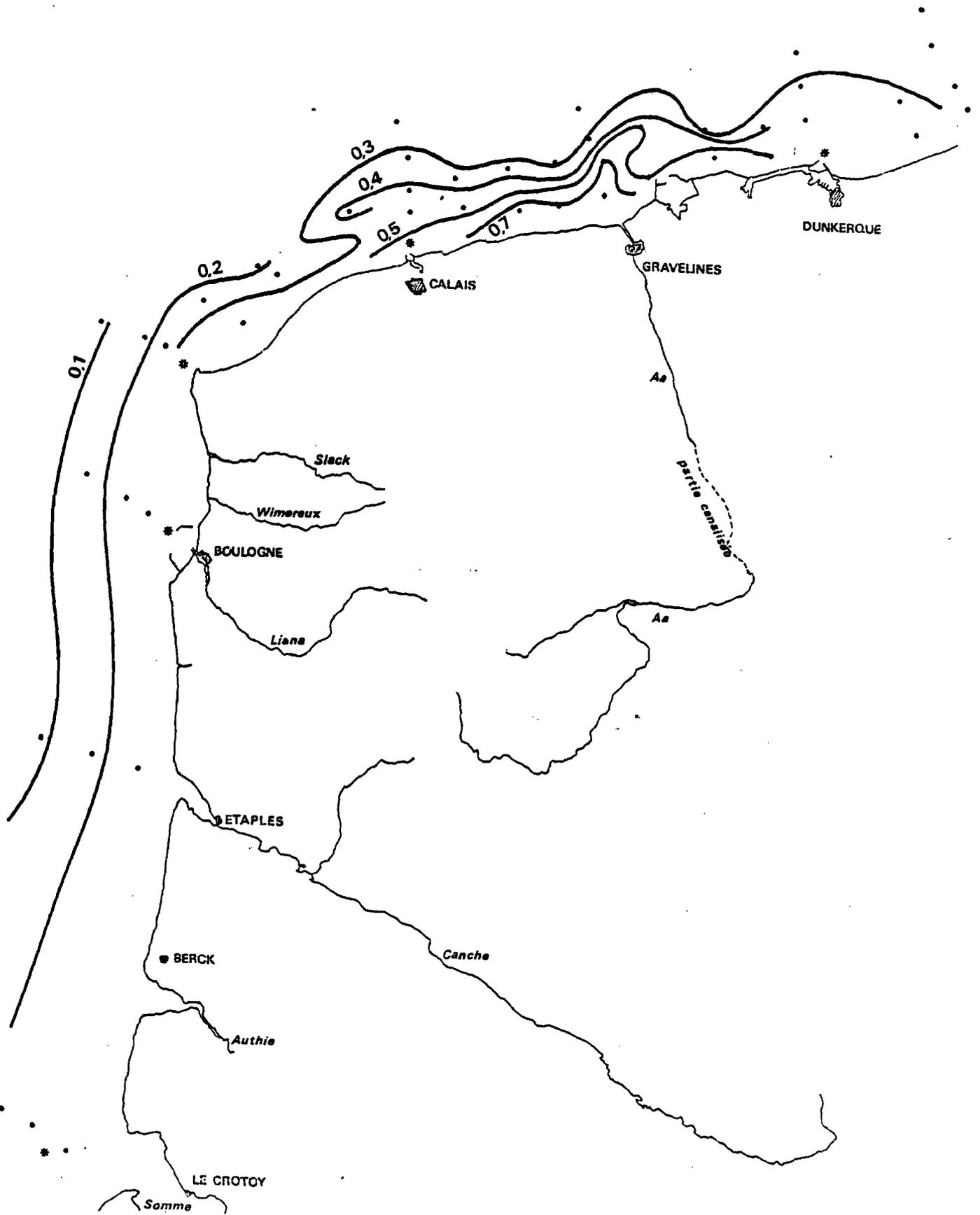


Fig. 10b - SiO4 (μ atg P-P04)

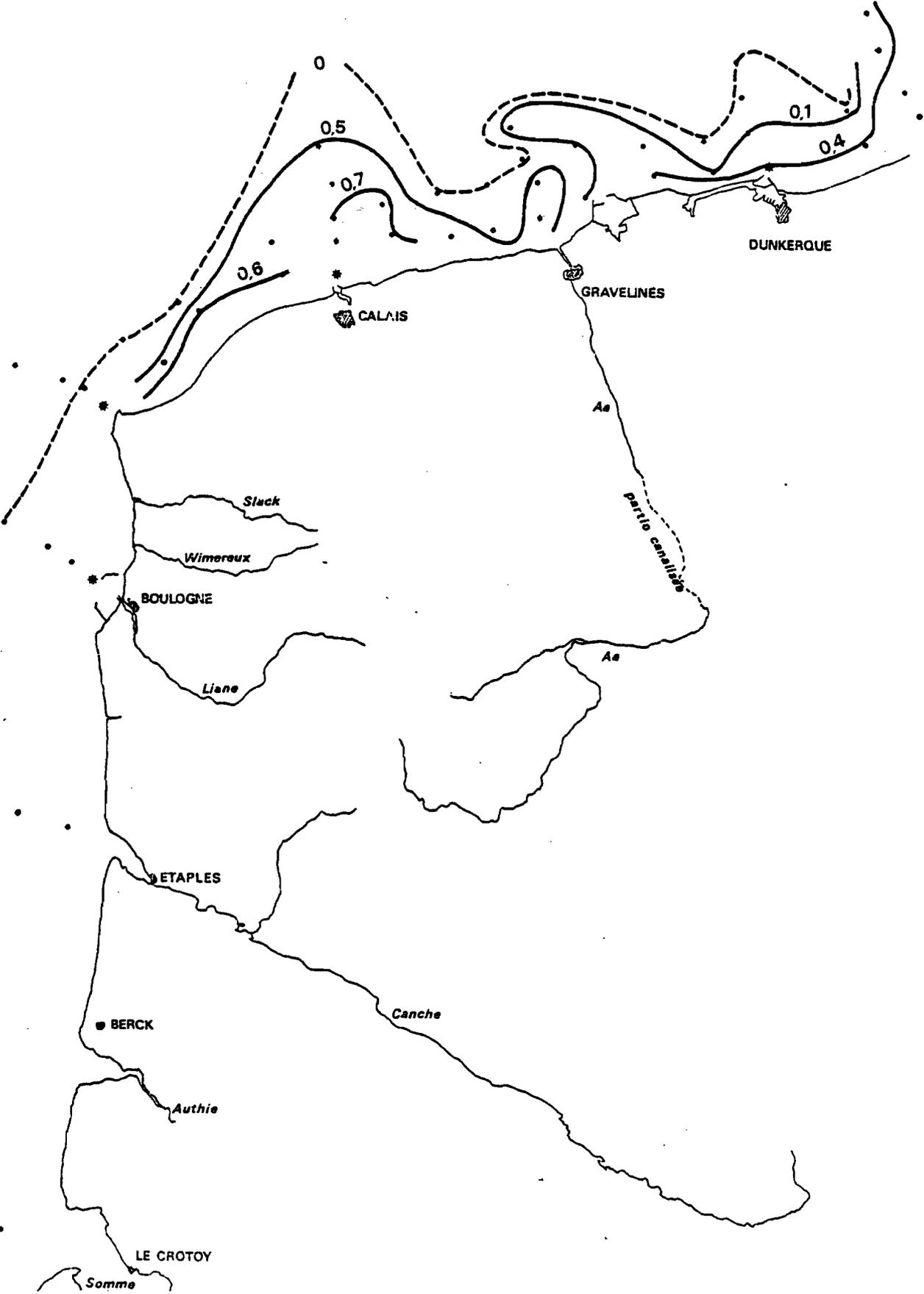
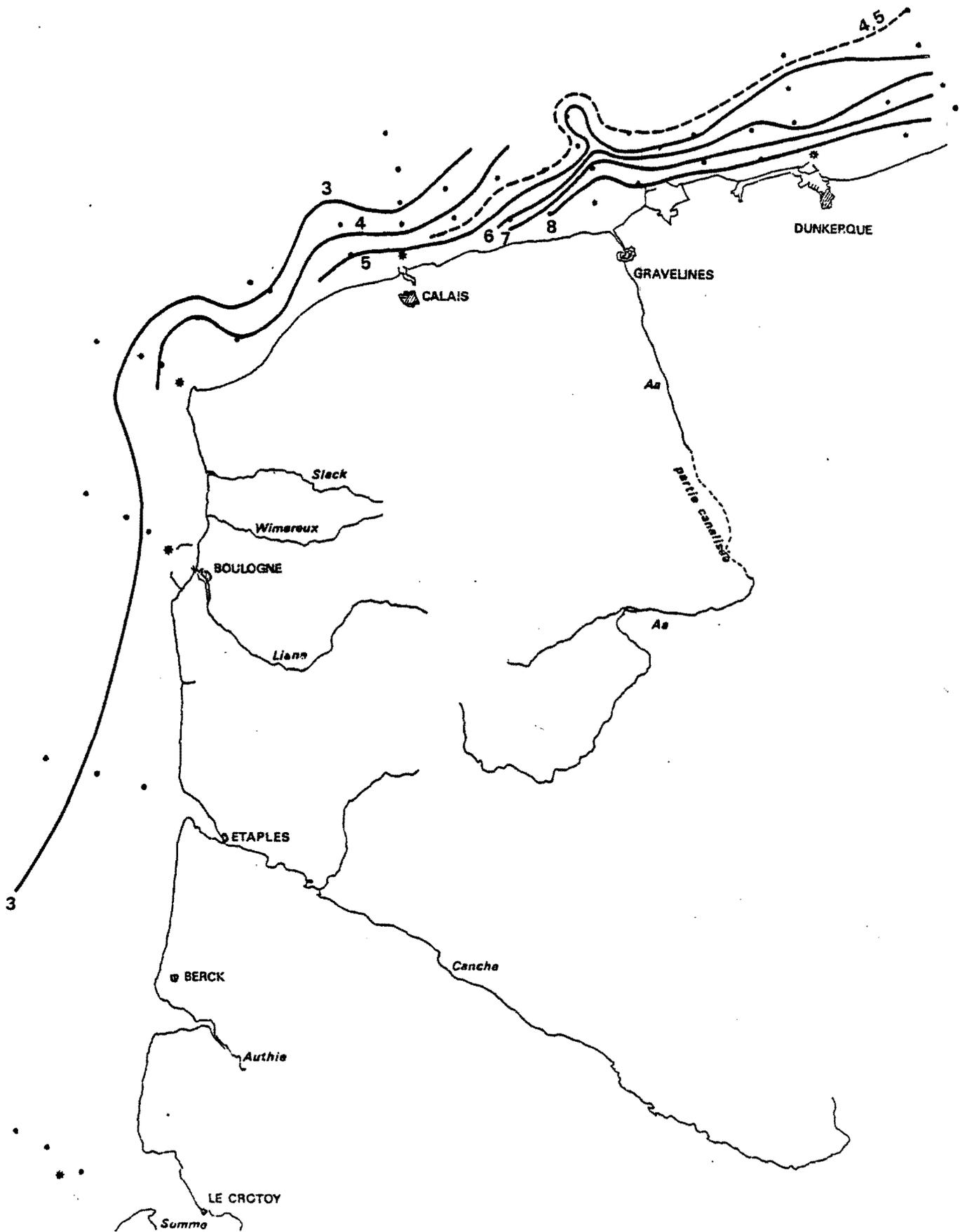


Fig. 11a - Chlorophylle (mg/m^3)



3 - DISCUSSION3.1. - Etude globale du site3.1.1. - Salinité (tableau 7, figure 4)

Il apparaît nettement que les valeurs côtières sont très inférieures à celles du large :

moyennes côtières : 33,78 ‰.

moyennes au large : 34,23 ‰.

cette hausse des salinités de la côte vers le large a déjà été observée sur les points du site R.N.O. de Dunkerque. Les valeurs obtenues en fin juillet et début août 79 présentent ce même gradient côte-large.

Tableau 9

	25.07.1979	6.08.1979
Station 1 (côtière)	34,19	33,79
Station 2	34,23	34,05
Station 3	34,28	34,12
Station 4 ("large")	34,29	34,23

Un phénomène comparable est observé lors des sorties trans Manche (figures 12 et 13). Au sortir de la zone de dessalure (rade de Boulogne) et au fur et à mesure de l'éloignement de la côte au large du Cap Gris-Nez, on constate un net gradient de salinités croissantes. On observe sur la carte de la campagne Hydrobios et sur les différentes campagnes trans Manche que le gradient côte-large est resserré au Gris-Nez et "dilaté" devant les fleuves. On a une dessalure maximale devant la Canche, 32,76 ‰. à la station 21, et la Somme, 33,10 à la station 3 (la salinité n'a pas été mesurée à la station 1 mais elle est "descendue" à 32,26 ‰. à la station fixe 114). Toutes ces mesures montrent que la salinité peut varier très rapidement dans le temps (st 114 32,26 ‰. à 33,32 ‰. en 8 heures) et dans l'espace (32,26 ‰. à la station 21 - 34,05 à la station 23 - 34,34 à la station 25).

La dessalure côtière est donc liée essentiellement à l'intensité des apports telluriques, ceux-ci sont fonctions des précipitations. Pendant la campagne, celles-ci ont atteint des valeurs légèrement inférieures à la moyenne et la dilution par les eaux douces reste limitée aux zones estuariennes. Sur la côte de la Manche, les baies de la Somme, de l'Authie, de la Canche et la rade de Boulogne constituent les principaux sites d'apports telluriques. Leur impact varie avec les conditions de marée et de courants

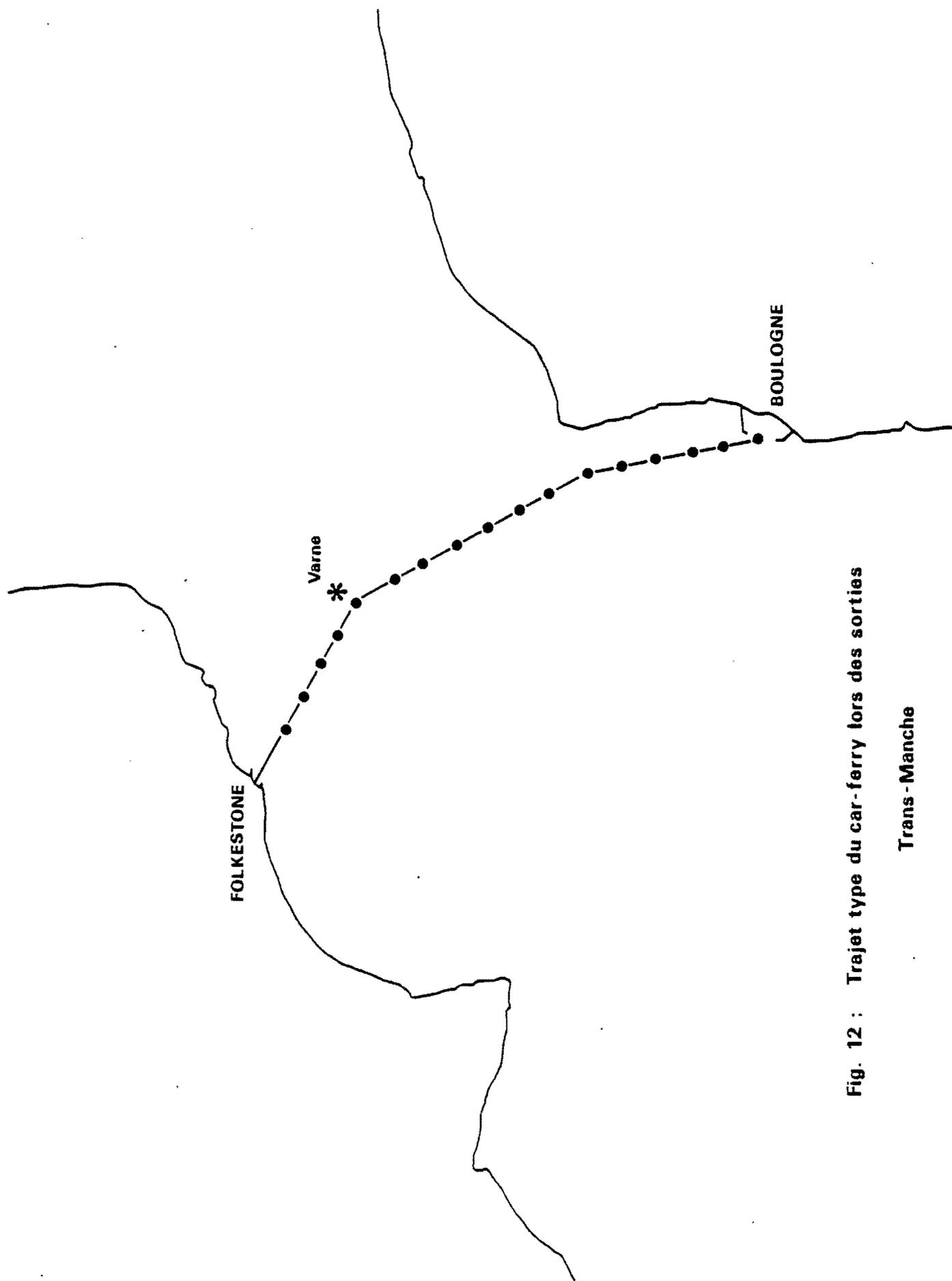


Fig. 12 : Trajet type du car-ferry lors des sorties

Trans - Manche

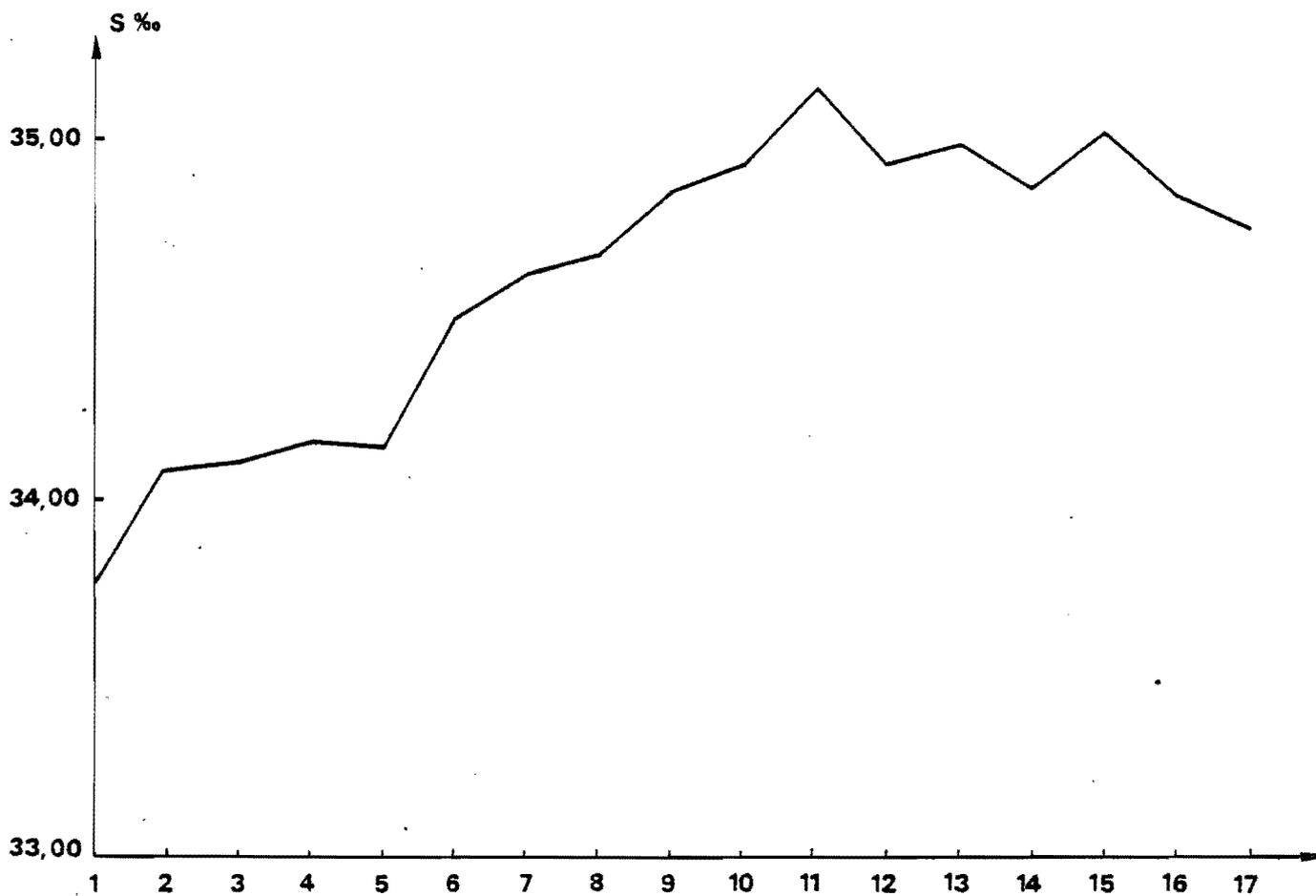


Fig. 13 - Variations de la salinité au cours de la sortie "Car-ferry" du 30/7/80.

(phénomènes étudiés pour la Liane et la Somme, stations fixes 35 et 114). La dessalure côtière provoquée par ces apports est maximale au sud de la zone d'étude où les isoplètes se trouvent éloignés de la côte (face à la Baie de Somme). La taille et le débit de la Somme justifient cet impact très supérieur à celui des "fleuves côtiers" qui débouchent dans la zone d'étude. Il resterait à préciser par des études au large du pays de Caux, l'intervention de la Seine dans cet écosystème littoral dessalé. Au nord du Gris-Nez la dessalure localisée entre Dunkerque et la côte belge peut être attribuée à la dilution des eaux de l'Aa et du canal exutoire dans l'avant port de Dunkerque. Ceci notamment en période de flot. En période de jusant les eaux de l'Yser peuvent avoir une influence. L'hypothèse selon laquelle les eaux de l'Escaut peuvent dériver sous l'effet des vents jusqu'à la côte française n'a pu être appliquée car les vents n'ont pas été d'Est Nord Est pendant la période précédente la campagne (hypothèse R.N.O. Dunkerque 75-76-77).

3.1.2. - Température (Tableau 7, figure 5)

Les températures sont réparties selon un gradient côte-large classique en période estivale. Les eaux côtières sont nettement plus chaudes que les eaux du large (fig. 5).

moyenne côtière : 17,19°C

moyenne "au large": 16,53°C

Le réchauffement des eaux côtières est lié à l'insolation dont l'intensité permet le réchauffement des eaux peu profondes léchant à chaque montant un estran réchauffé après exondation. Les eaux fluviales participent aussi à l'élévation de température de la zone côtière. On atteint en effet des valeurs de 18,0°C face à la Somme, de 18,5°C face à la Canche et 17,7°C face à l'Aa.

Depuis Gravelines jusqu'au Cap Gris-Nez, les températures côtières chutent de 17,7°C à 16,9°C et celles du large de 16,55°C à 15,75°C. Les eaux de l'Aa ajoutées aux rejets, peu importants, du port de Calais sont entraînées par le courant résiduel vers le Nord Est et se cumulent aux rejets de Dunkerque. Les températures entre Dunkerque et la côte belge sont beaucoup moins réduites (17,25°C à la côte et 16,8°C au large) ce qui conforte l'idée d'influence cumulée des rejets AA-Dunkerque et peut-être de l'Yser, du fait des courants de marée sur toute cette région.

Comme les courbes d'isohalinité les isothermes sont resserrés au Gris-Nez :

T° point côtier - T° point au large : 1,15 au Gris-Nez
0,75 à Calais
0,45 à Dunkerque.

Ce phénomène est lié à la nature même du détroit dont la partie la plus étroite est celle comprise entre le Gris-Nez et Douvres.

Lors des prélèvements R.N.O. Dunkerque, les températures estivales ont montré la même répartition dans l'espace.

Tableau 10 - Températures aux 4 stations R.N.O. site de Dunkerque.

Station Date	1 Côte	2	3	4 Large
3.08.76	18,7	18,6	18,4	18,4
1.08.77	16,4	16,4	16,3	16,1
1.08.78	17,5	17,3	17,0	16,6
6.08.79	18,6	17,7	17,6	17,7

3.1.3. - Turbidité (Tableau 7, figure 6)

La turbidité est ici considérée comme une propriété optique de l'eau évaluée par néphélogéométrie (lors de l'étude des cycles de marée on l'a au contraire évaluée par le poids de matières en suspension).

Comme pour les paramètres précédents on observe un gradient évoluant des fortes valeurs côtières vers des valeurs moindres dans la zone des 5 miles. Cela est surtout apparent pour la partie Gris-Nez - frontière belge où les nombreux points de prélèvement permettent le tracé d'isoplètes (fig. 6).

Des coefficients de marée moyens, une mer calme pendant la première partie de la campagne et un régime de vents modérés expliquent les valeurs de turbidité relativement faibles. Les courants de marée et l'agitation verticale de la colonne d'eau n'empêchent pas la sédimentation des éléments en suspension dans les eaux côtières.

Des turbidités très fortes apparaissent nettement au droit des estuaires de la Somme (5,8 NTU) de la Canche (5,3 NTU) et de l'Aa (5,0 NTU). L'influence des apports telluriques sur ce type de turbidité est indéniable d'autant que les fortes précipitations du mois de juillet accroissent certainement la quantité de matière charriée par les fleuves côtiers.

Les plus faibles valeurs de turbidité s'observent devant le Cap Gris-Nez, où la décantation a permis d'assurer une atténuation.

3.1.4. - L'oxygène (Tableau 7, figure 8)

Les teneurs en oxygène mesurées en ml/l ont été ramenées à des pourcentages de saturation, corrigés en fonction de la température et de la salinité.

La répartition géographique de ces valeurs montre sur toute la zone étudiée des valeurs très proches de la saturation. Valeurs légèrement supérieures à 100 % face aux estuaires du littoral Manche (Somme, Canche, Liane) et face à la zone de Gravelines à l'avant Port Ouest de Dunkerque. Entre le cap Gris-Nez et Calais on observe une légère sous saturation atteignant 95 % devant Calais. A l'opposé, à l'approche de la frontière belge les teneurs corrigées conduisent à des valeurs supérieures ou égales à 115 %. De multiples phénomènes ont une influence sur le paramètre et il semble que ce soit la part dominante de l'un ou de l'autre qui modifie les taux observés ici. Températures et salinité jouent un rôle sur la teneur en oxygène de l'eau mais le calcul des pourcentages de saturation permet de supprimer leur impact. A côté de cela, une des causes importantes d'oxygénation en surface est l'agitation des eaux. L'augmentation sous l'effet des vagues et des embruns des surfaces d'échange mer-atmosphère peuvent accroître notablement les teneurs en oxygène de l'eau.

L'activité photosynthétique a aussi pour effet d'enrichir le milieu en oxygène. On en perçoit les effets sur le site entre Dunkerque et la frontière belge (teneurs en chlorophylle 5 µg/l) et moins nettement face à Gravelines (où l'oxygène reste cependant en sursaturation et où les teneurs en chlorophylle varient autour de 8 µg/l) ainsi qu'au droit des estuaires de la Somme et de la Canche (fig. 8).

La forte charge en matière organique liée à une dégradation de cette matière, tendant à utiliser l'oxygène du milieu, conduit au contraire à une sous saturation. La transformation notamment des matières organiques azotées en nitrites puis nitrates entraîne une importante consommation d'oxygène. Autour de Calais, les teneurs en nitrites élevées montrent l'existence de ce type d'oxydation et expliquent pour une part les plus faibles pourcentages calculés dans cette zone.

NB : Nous avons tenté d'établir une corrélation entre les % d'oxygène et les paramètres turbidité et pH, mais elle n'a pas permis de mettre en évidence une relation simple entre ces paramètres (fig. 14).

Les teneurs en oxygène sont donc influencées par un très grand nombre de paramètres physicochimiques et biologiques dont l'influence individuelle est difficile à évaluer.

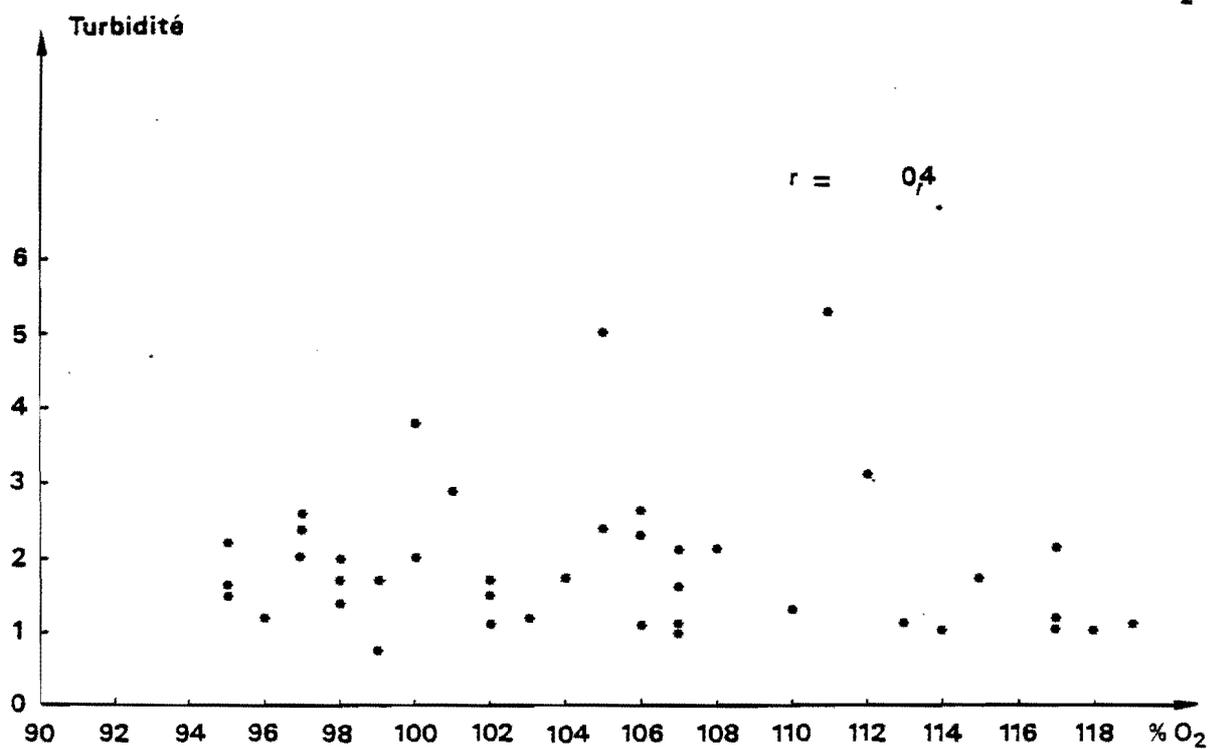
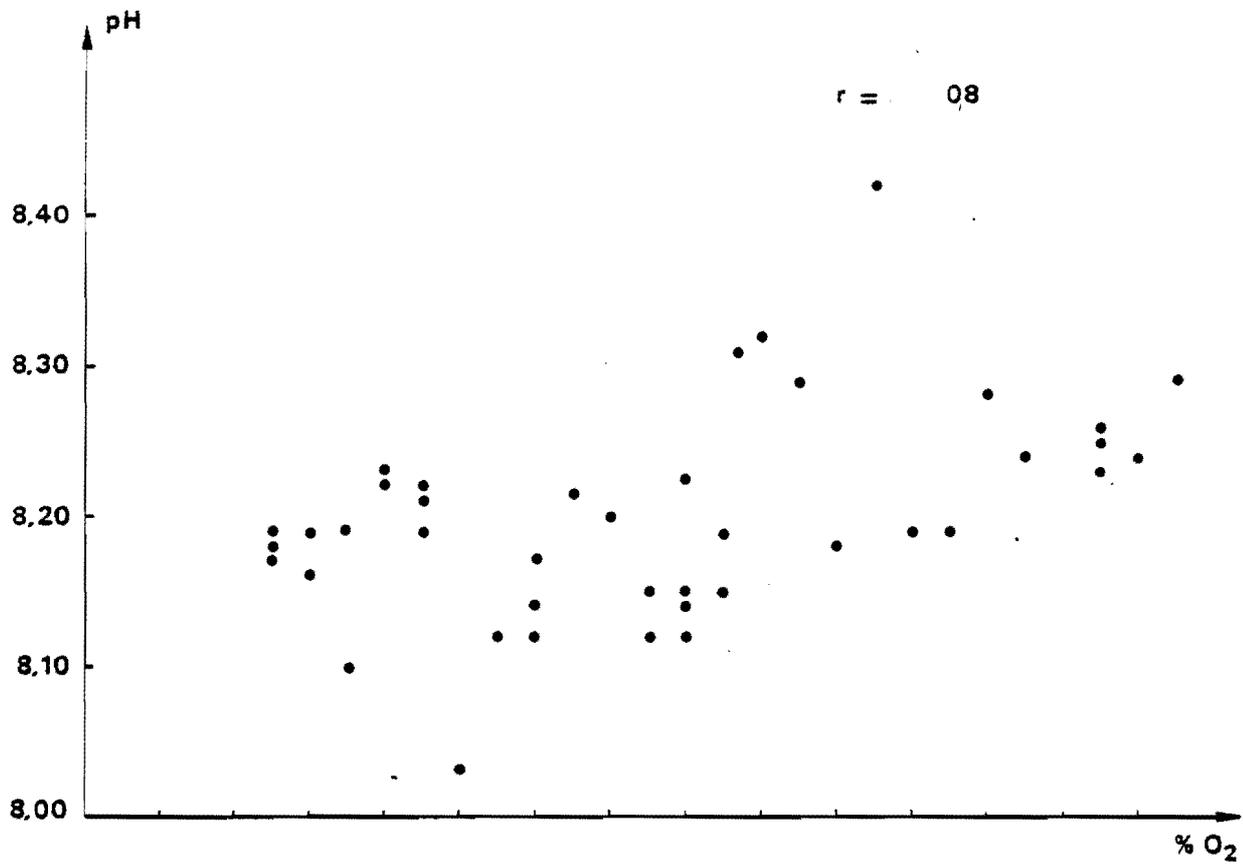


Fig. 14 - Diagrammes de dispersion
Oxygène-Turbidité
Oxygène-pH

3.1.5. - pH (Tableau 7, figure 7)

L'amplitude des variations de pH est très faible sur le site. Entre les points côtiers et les points du large on observe un gradient côte-large à la frontière belge. Ce gradient diminue progressivement (0,09 à l'est de Dunkerque, 0,05 devant Gravelines, 0,00 à l'ouest de Calais). A partir du Cap Gris-Nez ce gradient s'inverse, les valeurs côtières deviennent supérieures à celles du large face aux estuaires de la Liane, de la Canche et de la Somme (fig. 7).

Le pH côtier, plus "basique" au large qu'à la côte entre le Gris-Nez et la frontière belge, peut être lié aux rejets telluriques (l'eau douce chargée en matière organique est légèrement moins basique que l'eau de mer). L'impact des rejets industriels de toute la zone Calais-Dunkerque entraîne une baisse de pH côtier. Au niveau des estuaires les valeurs importantes observées sont liées à la fois à la charge organique considérable charriée par les fleuves et à l'activité biologique qui en dépend, l'ensemble tendant à amener le pH vers des valeurs légèrement plus acides.

3.1.6. - Sels azotés (Tableau 7, figures 9)

. Ammoniac - Nitrites - Nitrates

L'ammoniac et les nitrates sont au départ et à la fin de la chaîne d'oxydation des matières organiques, il est donc normal de les trouver en quantité plus importante que les nitrites qui ne sont qu'une étape intermédiaire de cette minéralisation.

. NH₄

Il existe en quantité considérable, le minimum côtier observé étant 0,30 µatg/l devant la baie de Somme. Dans toute la zone "manche" les concentrations sont faibles, alors que sur le littoral Nord, depuis Calais jusqu'à la frontière belge, l'enrichissement est très important (4,95 µatg N-NH₄/l) entre Calais et Gravelines (fig. 9a).

La répartition des isoplètes sur cette zone montre un gradient côte-large évident et conduit à penser à une origine tellurique de cet enrichissement ou à une cause biologique liée à la proximité de la côte (forte teneur en phytoplancton et recyclage actif des matières organiques).

. NO₂

Les valeurs apparaissent faibles comme on peut s'y attendre dans le cycle biologique (0,03 µatg N-NO₂/l en zone côtière au large du Gris-Nez et un maximum à 0,66 µatg/l à l'est de Calais). Les isoplètes qui

ont pu être tracées sont parallèles à la côte et mettent aussi en évidence l'existence d'un gradient depuis la côte vers le large. Comme pour l'ammoniac, les stations du littoral Manche présentent des valeurs très inférieures avec notamment devant la Somme un gradient qui semble montrer l'origine estuarienne des sels azotés (fig. 9c).

. NO₃

Les nitrates sont par définition les sels azotés qui constituent une réserve permettant la croissance du phytoplancton. Les valeurs sont faibles (nulles en certains points côtiers tels que face à la Canche). Si l'on replace la période de la campagne dans un cycle saisonnier on constate que les valeurs côtières en hiver peuvent atteindre et dépasser 20 µatg/l pour descendre brutalement autour de 0,5 µatg/l quand le développement de phytoplancton est maximal (printemps-été-début d'automne). Les valeurs observées pendant la campagne hydrobios sont donc normales. On peut même noter la persistance de valeurs, relativement élevées pour cette période entre Calais et Gravelines. Ici encore un gradient, bien que moins net, est indéniable et les valeurs côtières sont toujours supérieures à celles du large (fig. 9b).

Pour les sels azotés, les concentrations déterminent deux zones : l'une allant de la baie de Somme à l'Est de Calais (Cap Blanc-Nez) où les teneurs sont normalement faibles pour la saison et l'autre, de Calais à la frontière belge où l'on distingue, surtout en nitrates, un enrichissement tellurique important. Les nitrites, bien qu'en faible concentration, dépassent sur toute la zone côtière Nord la norme de 0,2 µatg N-NO₂/l qui définit, selon ELSKENS (1971), un état non pollué. L'origine de ces sels nutritifs est à la fois le recyclage des matières organiques et les apports telluriques importants du fait des précipitations importantes au cours du mois de juillet.

3.1.7. - Sels non azotés (Tableau 7, figures 10)

. PO₄

Il apparaît sur toute la zone d'étude un gradient avec des valeurs côtières très supérieures à celles du large. La différence peut atteindre 0,60 µatg P-PO₄/l. Les valeurs sont situées autour de 0,5 µatg P-PO₄/l mais à partir de l'Est de Calais jusqu'à l'avant port de Dunkerque les valeurs atteignent 0,68 à 0,78 µatg P-PO₄/l (fig. 10a).

Le gradient est perturbé au large de Calais avec des valeurs très importantes à la station située le plus loin de la côte (0,36 µatg P-PO₄/l). Cette perturbation peut être attribuée à des modifica-

tions courantologiques au droit du Port de Calais ; des hauts fonds sableux et les ridens détournent les eaux circulant le long du littoral et celles qui débouchent du port de Calais, vers le large.

Partout sur la zone d'étude le taux côtier dépasse le seuil définissant, selon ELSKENS, une zone non polluée (0,48 $\mu\text{atg P-PO}_4/\text{l}$).

. SiO_4

Les valeurs de silicates sont très faibles et même fréquemment nulles pour les points les plus éloignés de la côte. Le phyto-plancton de la zone d'étude est en majorité composé de diatomées qui utilisent les silicates pour l'élaboration de leur squelette.

Les teneurs sont plus fortes auprès de la côte et atteignent 1 $\mu\text{atg Si-SiO}_4/\text{l}$ sur le littoral Nord. Les valeurs maximales observées sont regroupées comme pour les phosphates entre Calais et Dunkerque (fig. 10b).

Bilan pour l'ensemble des sels nutritifs

La zone allant de Calais au port Ouest de Dunkerque présente des teneurs en sels nutritifs très supérieures à celles observées sur le reste de la région étudiée. La raison de ces apports est liée à l'urbanisation. Dans toute cette région le littoral a une vocation industrielle liée à l'activité portuaire. De plus les industries, notamment alimentaires, situées dans l'arrière pays, voient leurs rejets entraînés par l'Aa jusqu'au littoral Nord. A cette époque, l'enrichissement artificiel des terres agricole est achevé et la part des engrais dans l'eutrophisation de la zone doit être considérée comme secondaire.

L'environnement urbain prend par contre une importance indéniable pendant les périodes estivales où le littoral du Nord-Pas de Calais a une vocation touristique certaine. (Tableau 11)

3.1.8. - Chlorophylle et phaeopigments (Tableau 7, figures 11)

. Chlorophylle

Sur tout le site, apparaît un gradient avec des valeurs côtières très élevées (8,0 et 8,4 $\mu\text{g/l}$ devant Gravelines et 9,2 près de la côte belge).

Au sud du site, face aux estuaires de la Somme et de la Canche les gradients sont encore plus nets (fig. 11a).

Somme	Station 1	9,3 $\mu\text{g/l}$
	Station 3	6,8 $\mu\text{g/l}$
	Station 5	4,9 $\mu\text{g/l}$
Canche	Station 21	7,7 $\mu\text{g/l}$
	Station 23	3,2 $\mu\text{g/l}$
	Station 25	2,4 $\mu\text{g/l}$

Tableau 11 - Variations du nombre d'habitants en période estivale dans quelques stations du littoral Nord-Pas de Calais (DEWAILLY J.-M., 1977).

Stations	Capacités d'accueil touristiques (en milliers de vacanciers)	Indice touristique (population vacancière rapportée à 100 habitants permanents)
Bray-Dunes	9	180
Malo-les-Bains	6	38
Wissant	3	282
Audresselles	2	318
Ambleteuse	3	181
Wimereux	5	78
Le Portel	5	42
Equihen	3	91
Hardelot	5	206
Le Touquet	22	404
Stella Plages	16	388
Merlimont	9	575
Berck	16	95
Fort-Mahon	12	1 247
Quend-Plage	10	797
Le Crotoy	8	309
St-Valéry/Somme	5	170

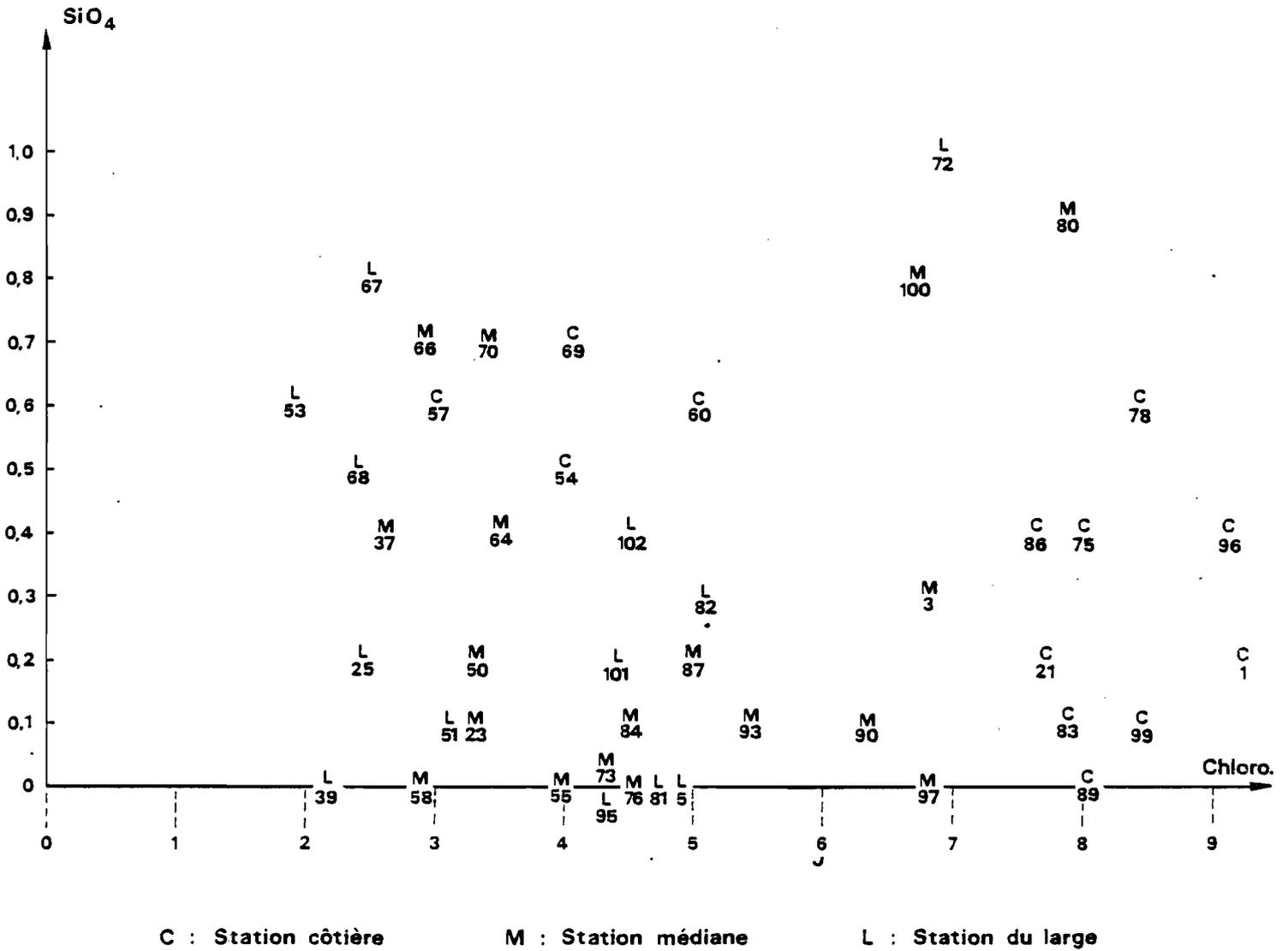


Fig. 15 - Diagramme de dispersion Chlorophylle-Silicates.

Les isoplètes, déformés face à l'Aa, prouvent l'enrichissement quasi eutrophique que provoque ce fleuve.

Des valeurs très importantes vers la frontière belge permettent de penser à nouveau que l'Aa et l'Yser sous l'effet des courants de marée maintiennent ces eaux dans des conditions favorables au développement du phytoplancton.

Les taux de chlorophylle observés ne semblent pas correspondre, au moment du prélèvement, avec les valeurs limitantes de SiO_4 . La liaison ne peut être faite que par un suivi dans le temps de ces deux paramètres (fig. 15).

. Phaéopigments

On retrouve les fortes concentrations aux mêmes sites que celles de la chlorophylle (fig. 11b).

L'information apportée par l'examen des teneurs en phaéopigments donne des précisions sur l'abondance du zooplancton. Ces phaéopigments sont en effet le signe d'une consommation importante des végétaux du phytoplancton par les zooplanctontes (acidification des pigments végétaux dans le tube digestif des zooplanctontes consommateurs).

3.2. - Etude des stations fixes

3.2.1. - Point fixe de la baie de Somme

La station de prélèvement en face de la baie de Somme est placée légèrement au sud de l'axe central d'écoulement des eaux de l'estuaire. Les fluctuations de la salinité (fig. 16 b) enregistrées au point fixe sont à mettre en relation avec les tracés de la marée et des courants de marée (fig. 16 a). En comparant les figures 16 a et b, on constate que la station d'étude est soumise au cours d'un cycle de marée, tantôt aux rejets telluriques pendant le baissant, tantôt aux influences océaniques pendant le montant. Au cours du baissant, deux cas sont à envisager. En fin de flot, les eaux douces de l'estuaire sont portées vers le Nord et n'affectent que partiellement la station d'étude. Par contre, sous l'effet cumulé du baissant et du jusant, les eaux de la baie s'écoulent en direction du point fixe, provoquant une baisse brutale de la salinité (fig. 16 c). La remontée progressive de la salinité à la fin du baissant est probablement liée à une diminution du débit de chasse de la rivière. Le point étudié est alors balayé par un mélange d'eau en provenance de la baie et du large, les eaux du large étant des eaux océaniques plus ou moins mixées aux eaux fluviales rejetées en période de flot. Enfin, au cours du montant, la station

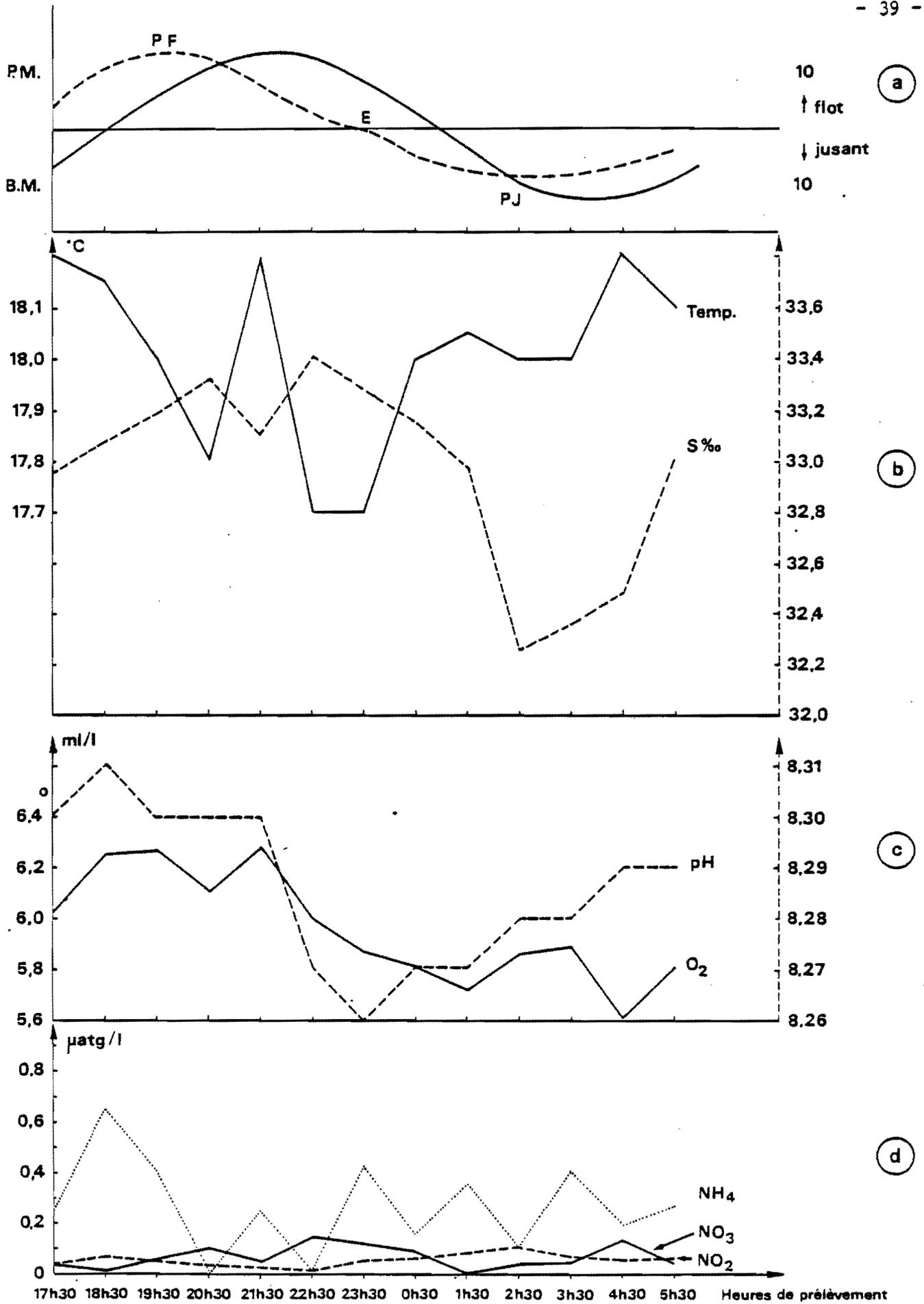
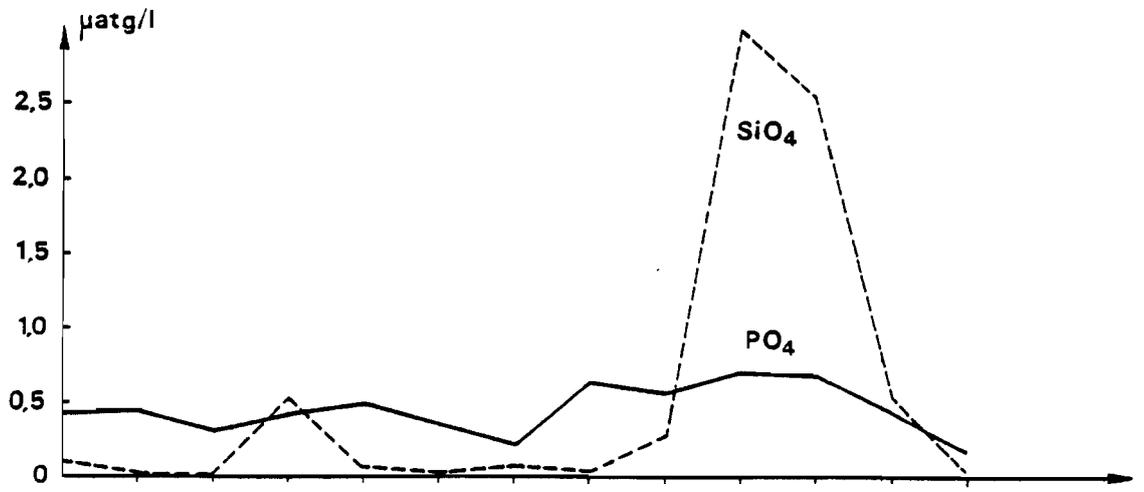
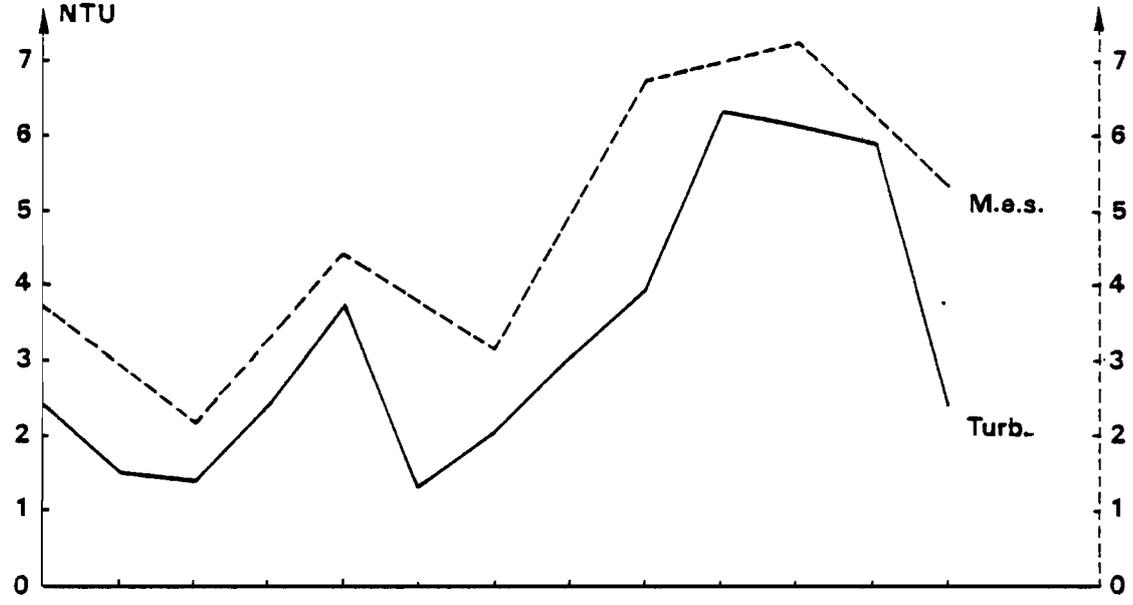


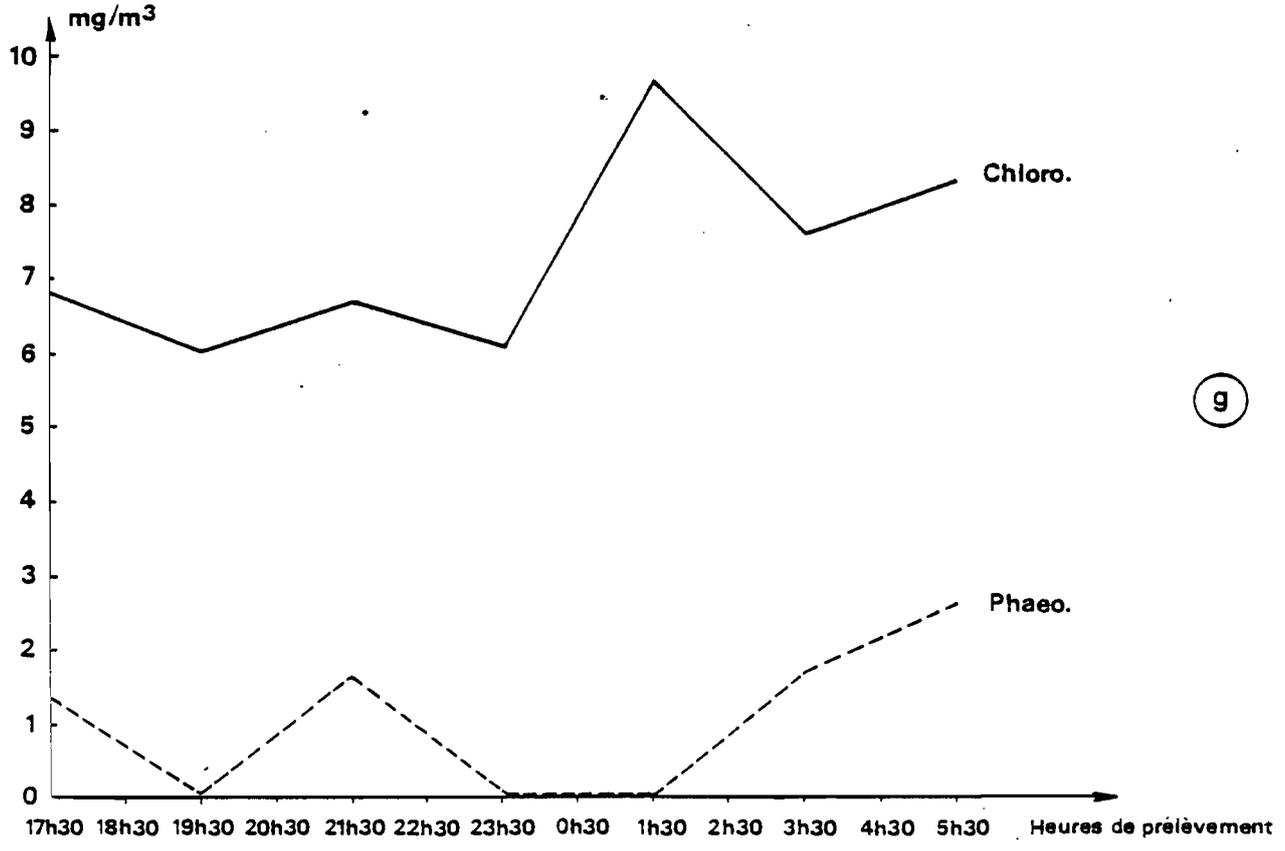
Fig. 16 - Variations des paramètres hydrologiques et hydrobiologiques au cours d'un cycle de marée face à la baie de Somme.



(e)



(f)



(g)

Station Baie de Somme

n'est plus sous l'influence des eaux douces de l'estuaire. On observe alors une remontée rapide des valeurs de salinité. D'après les valeurs du pH reportées sur la figure 16 c, il apparaît que les eaux dessalées présentent un pH plus faible. Cependant, les variations du pH dépendent aussi de facteurs comme la photosynthèse. Ainsi, en jusant, le pH devient légèrement plus bas que lorsque le taux de chlorophylle (fig. 16 g) augmente. Les fluctuations de l'oxygène dissous dans l'eau (fig. 16 c) varient en fonction de la marée. Au montant, alors que les prélèvements concernent des eaux en provenance du large, le taux en oxygène s'élève rapidement pour atteindre des valeurs de 6,25 avant de redescendre à 5,6 au baissant, lors de la sortie des eaux douces continentales. Il semble donc que le taux d'oxygène dépende plus de l'agitation de l'eau qui augmente la surface de contact de la masse d'eau avec l'atmosphère que de la photosynthèse (fig. 16 g). Les informations météorologiques qui révèlent une mer agitée pendant la période d'étude devant la baie de Somme accréditent cette hypothèse. Les sels azotés (fig. 16 d) et les phosphates (fig. 16 a), par leurs variations de faibles amplitudes (NO_2 , NO_3 , PO_4) ou par leurs fluctuations irrégulières (NH_4) au cours du cycle de marée ne paraissent pas influencées par la sortie des eaux douces de la baie. Par contre, les silicates présentent un pic significatif de forte intensité à la fin du baissant. Ce pic de silicates est lié à un pic de turbidité et de matières en suspension (fig. 16 f) ainsi qu'à une très faible salinité (fig. 16 b). L'origine des matières en suspension (fig. 16 f) et des silicates serait due aux eaux douces estuariennes. Au début du baissant, les eaux fluviales s'écouleraient alors qu'en fin de baissant, seules les eaux des marigots de l'estuaire seraient rejetées. Le tracé des fluctuations de la chlorophylle (fig. 16 g), bien qu'imprécis par le manque de données, coïncide avec les sorties d'eaux douces qui ont dérivées à la station de prélèvement.

3.2.2. - Point fixe de Boulogne-sur-Mer

Les variations de salinité à la station fixe de Boulogne-sur-Mer, située au Nord Est du port, peuvent s'expliquer par le marnage, les courants de marée et le rôle des digues formant la rade de Boulogne. L'augmentation de salinité (fig. 17 b) au début du montant à la station de mesures est lié à l'absence de sortie d'eau douce de la rade et au remplissage de celle-ci par les eaux du large. Par contre, la baisse de salinité à la fin du montant est vraisemblablement due au retour de la masse d'eau côtière préalablement poussée au sud par le jusant et à un écoulement des eaux de la rade poussées par le flot vers le lieu de prélèvement. Les

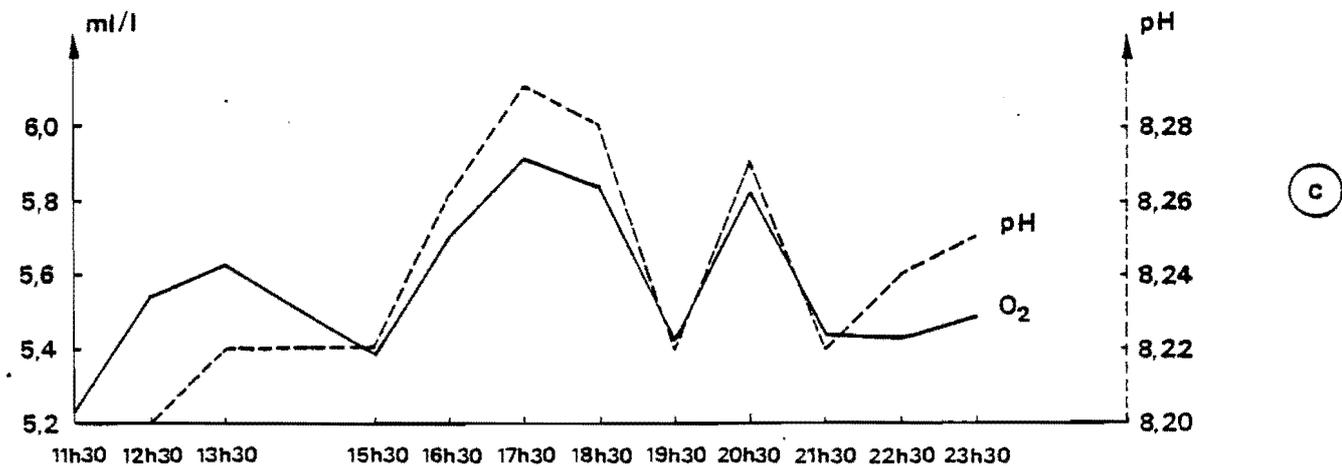
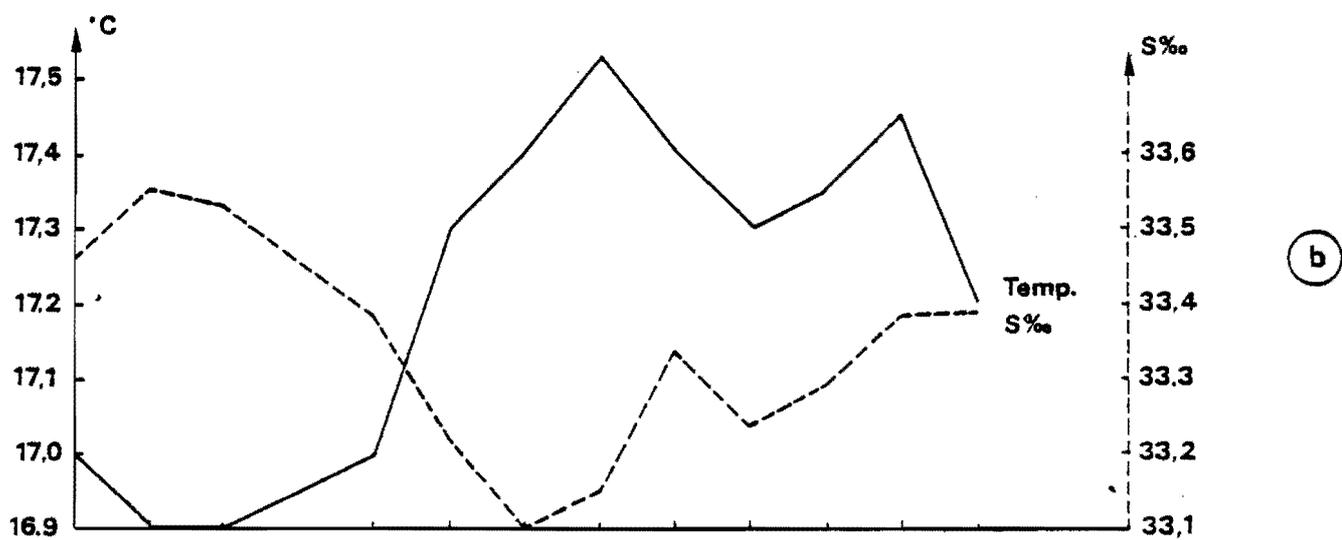
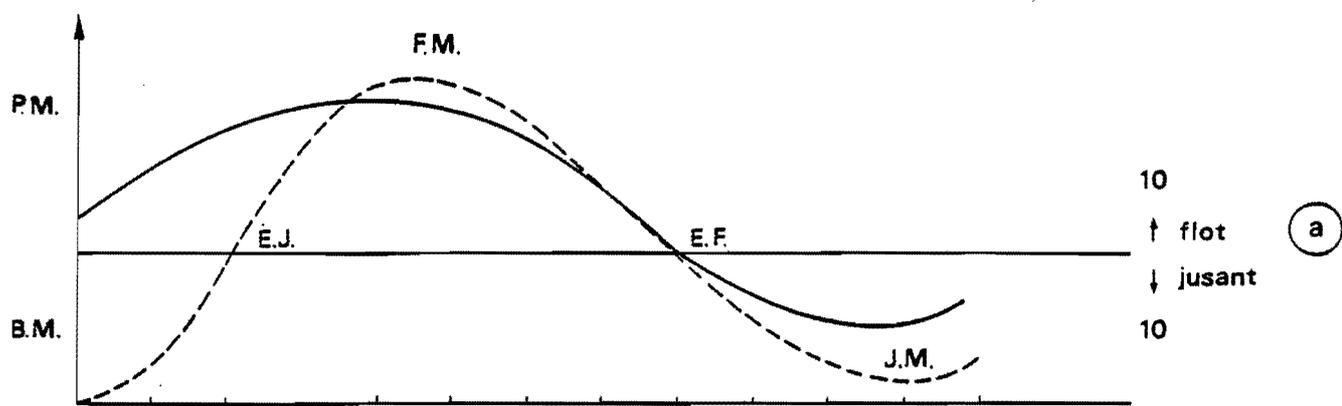
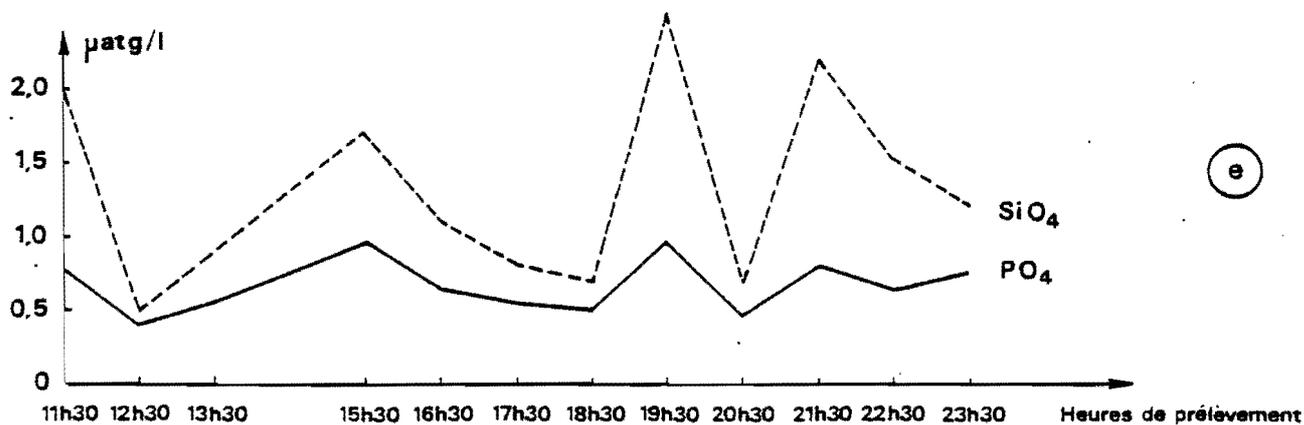
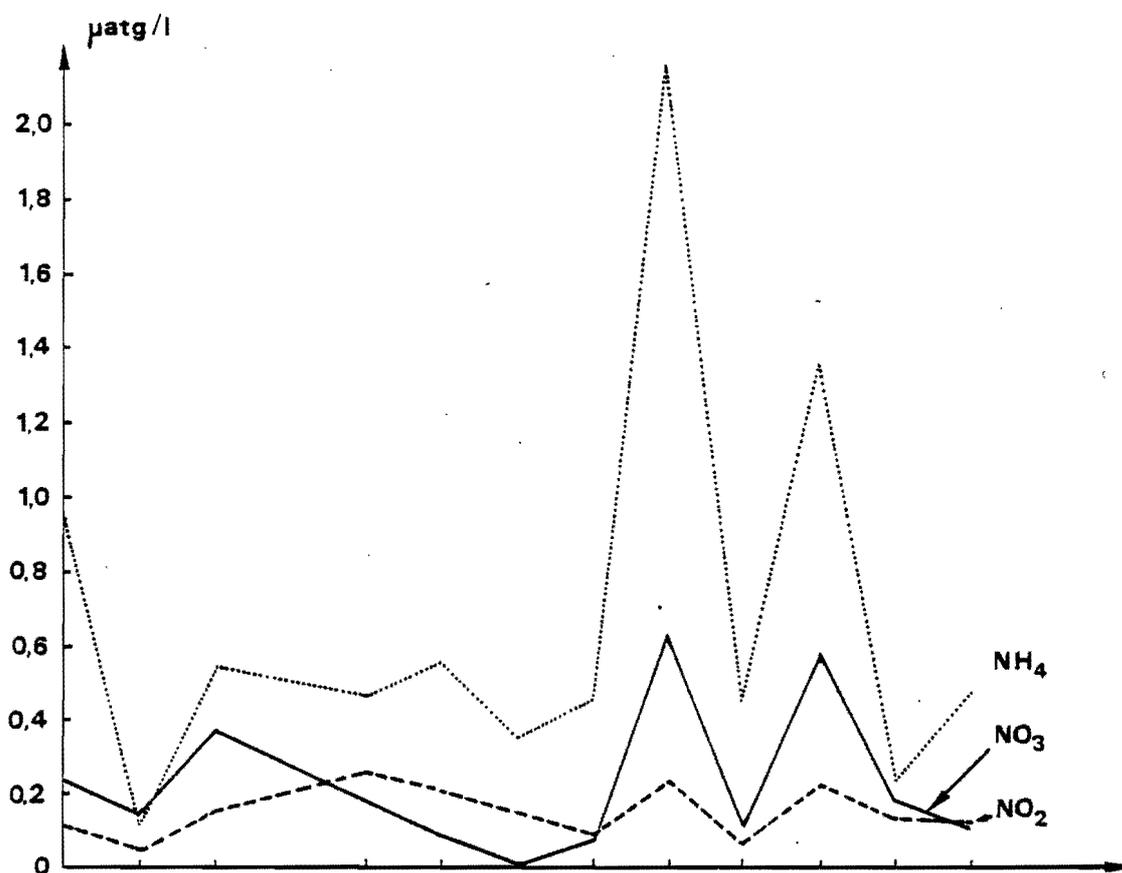
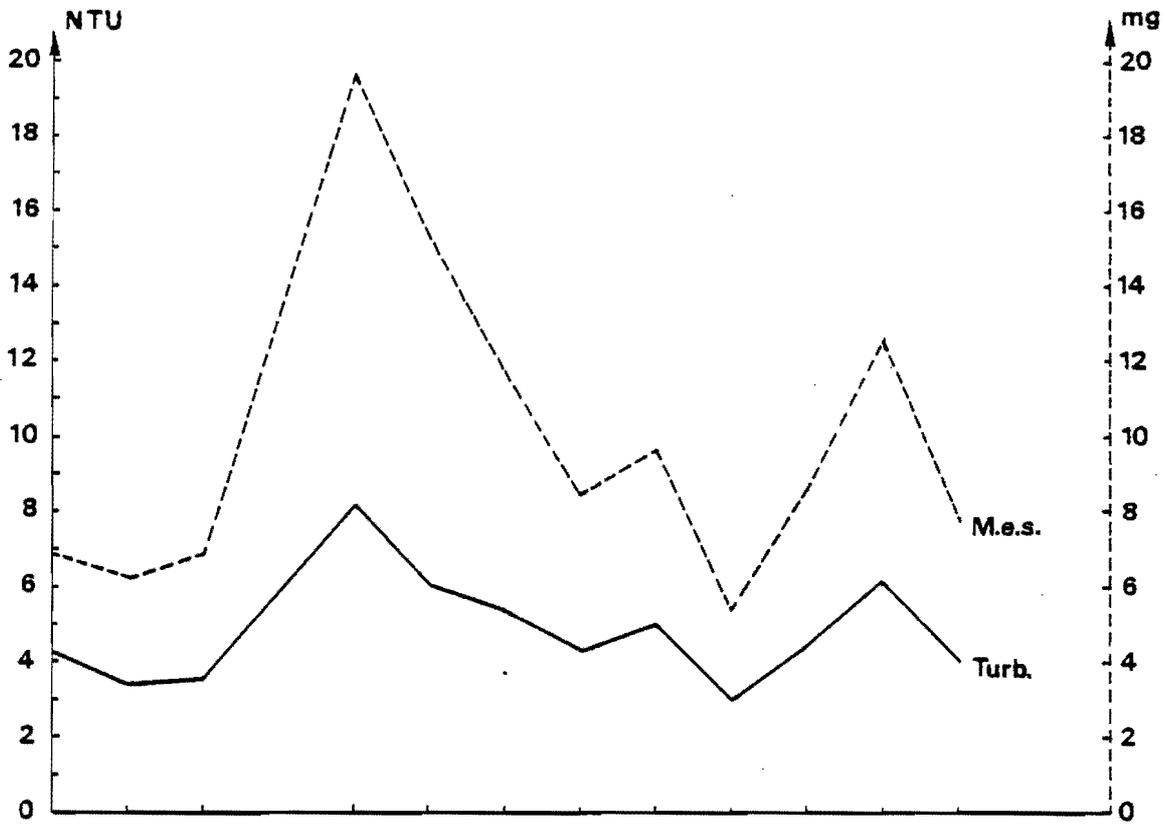


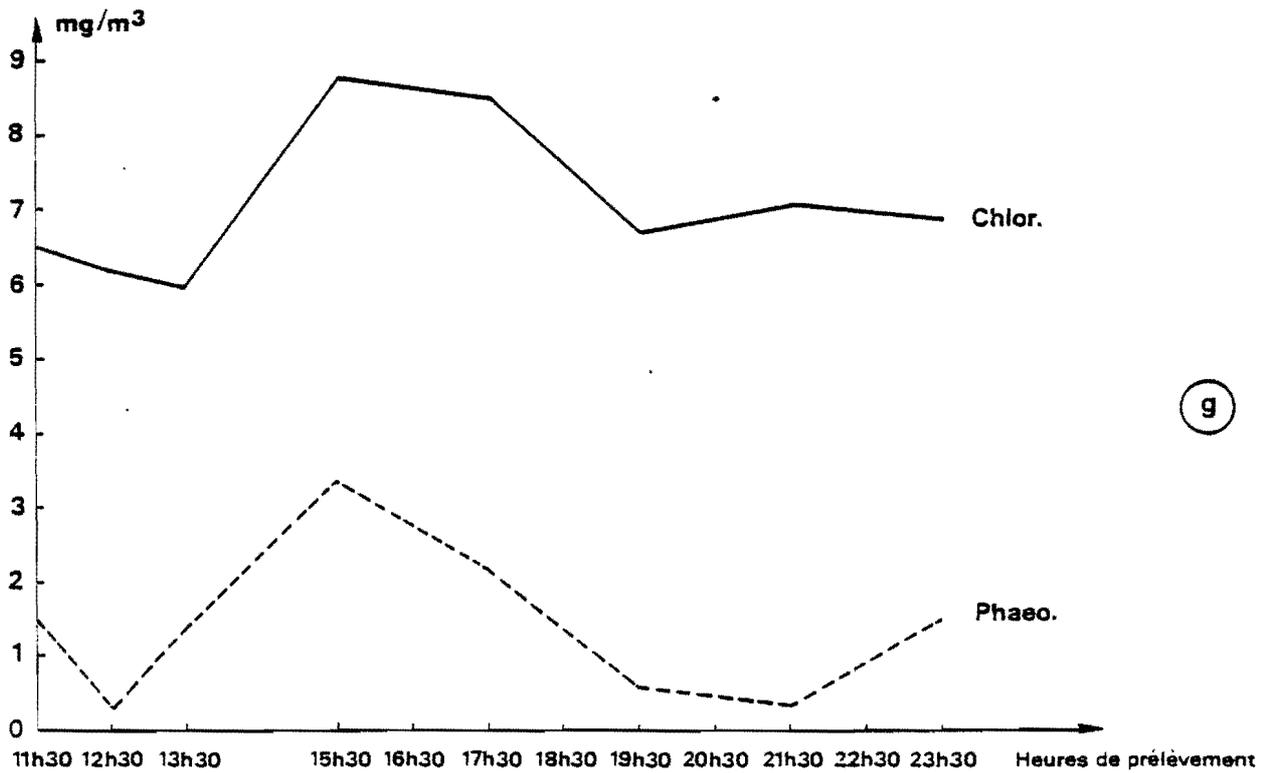
Fig. 17 - Variations des paramètres hydrologiques et hydrobiologiques au cours d'un cycle de marée devant Boulogne sur mer.



Station Boulogne/mer



(f)



(g)

Station Boulogne/mer

valeurs minimales de salinité sont atteintes au début du baissant à cause de la sortie des eaux douces de la rade. A l'étale de courant de flot, on enregistre une augmentation des valeurs de salinité pouvant être attribuée aux rejets d'eaux mélangées de la rade. En effet, au cours du montant, il est probable que les eaux de la Liane, accumulées dans l'enceinte portuaire, se mélangent avec les eaux en provenance du large. Un gradient de densité doit s'installer avec localisation des eaux douces en surface et des eaux plus salées en profondeur. Les mesures de salinité au point fixe sont donc influencées au début du baissant par les eaux douces de la couche supérieure de la rade, puis l'augmentation de salinité au cours du baissant traduit le mixage des eaux de plus en plus salées provenant des niveaux inférieurs. Au début du jusant, on remarque le retour à la station de prélèvements, de la masse d'eau en cours de dilution, ce qui provoque une nouvelle baisse de la salinité. Le cycle de marée est bouclé sous l'effet du jusant qui dirige sur le point fixe, des eaux en provenance du Nord de moins en moins affectées par les apports telluriques. L'hypothèse relative à la circulation des masses d'eau devant la rade de Boulogne, étayée par les résultats de salinité, semble se trouver confirmée par la courbe de température (fig. 17 b). L'été, les eaux douces étant plus chaudes que celles de l'océan, les valeurs de la température sont donc inversement proportionnelles à celles de la salinité. On note sur la figure 17 c une similitude dans les fluctuations du pH et de l'oxygène. L'élévation du pH serait le résultat d'un accroissement de la concentration en oxygène du milieu provoqué par une photosynthèse accrue. Les données partielles relatives au taux de chlorophylle (fig. 17 g) ne nous permettent pas de confirmer cette supposition. Les figures 17 d et e mettent en évidence, à la fin du baissant, deux pics correspondant à de fortes concentrations en sels azotés et en silicates. Selon l'hypothèse émise lors de l'interprétation des résultats de la salinité, l'observation de ces pics à l'étale de courant est liée aux eaux profondes de la rade, riches en matières en décomposition et par conséquent en sels nutritifs. Par contre, la baisse rapide des différents sels et leur remontée à la fin du baissant demeurent sans explication. Les variations de la concentration des matières en suspension au cours d'un cycle de marée figurent sur le graphique 17 f. Le premier pic de turbidité est à rapprocher d'une baisse de salinité, c'est-à-dire de rejets d'eaux douces en provenance de la rade. Les particules en suspension seraient plus nombreuses dans les apports telluriques que dans les eaux du large. Le second pic de turbidité est en relation avec la salinité et les sels nutritifs. Il proviendrait de l'écoulement des eaux profondes de la rade. Le troisième pic serait dû au retour de la masse d'eau.

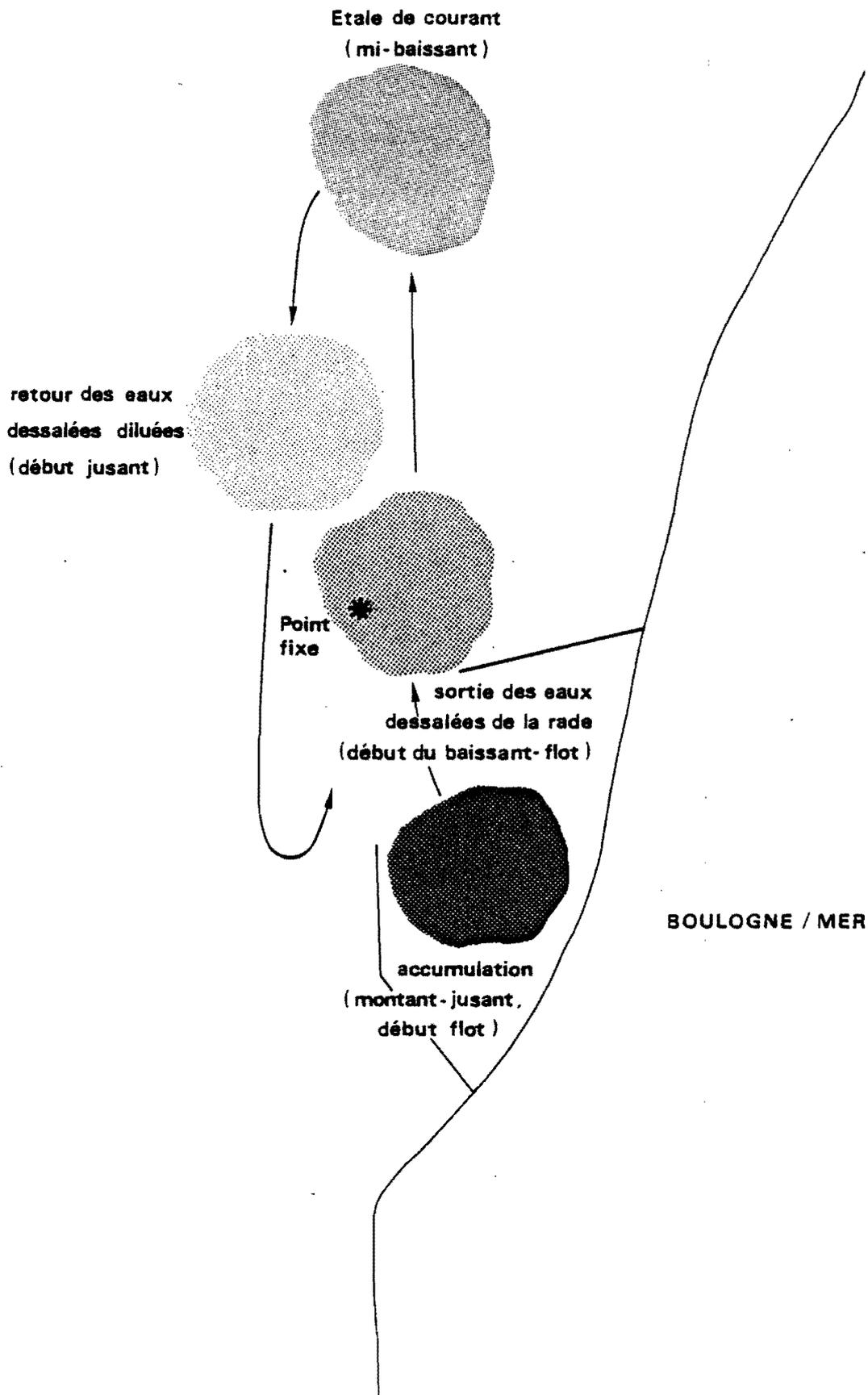
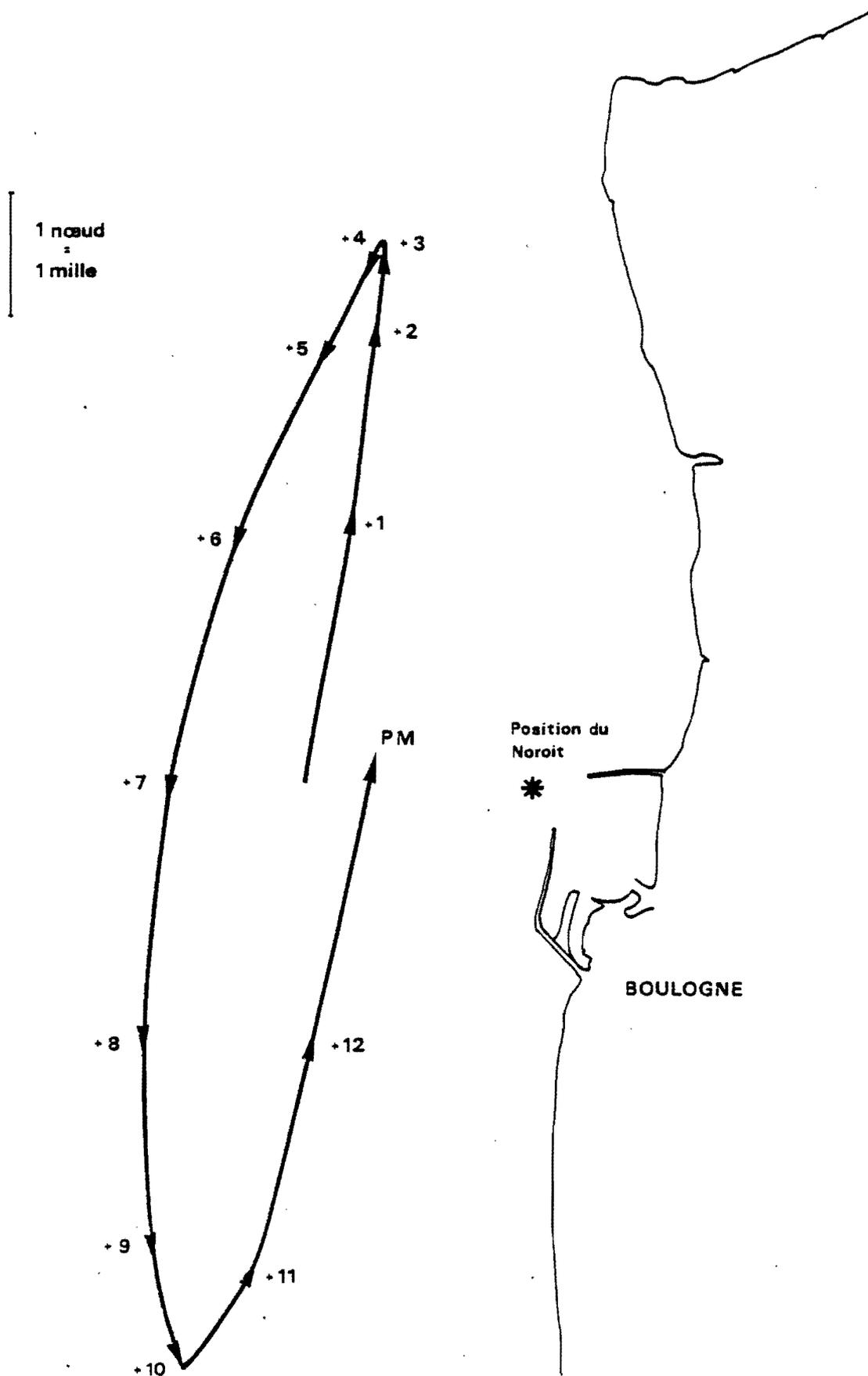


Fig. 18 - Hypothèse de déplacement d'une masse d'eau dessalée accumulée dans la rade de Boulogne.

Fig. 19 - Déplacement de la masse d'eau au cours d'un cycle de marée, à partir d'un point situé à l'Ouest de Boulogne sur mer (50°44'6N-1°30'4E)



La faible amplitude de cette dernière fluctuation s'explique par la sédimentation des particules en suspension au cours du déplacement de la masse d'eau.

Les variations de la chlorophylle (fig. 17 g) indiquent une augmentation de leur teneur dès le baissant. Ces concentrations de pigments photosynthétiques sont à mettre en relation avec l'écoulement des eaux douces de la rade vers la station de prélèvements. On note aussi (fig. 17 g) de fortes teneurs en phéopigments liées à des taux de chlorophylle élevés.

3.2.3. - Point fixe du Gris-Nez

La station du Gris-Nez est moins soumise aux apports telluriques que les stations situées en face de la baie de Somme ou de la rade de Boulogne-sur-Mer. Ces échanges limités du continent vers la mer se vérifient sur la figure 20 b où les variations de la salinité au cours d'un cycle de marée sont de faibles amplitudes comparées aux deux stations précédentes. Cependant, on remarque que les fluctuations de la salinité dépendent du courant de marée et des rejets continentaux. Cette diminution de la salinité s'explique d'abord par le retour de la masse d'eau préalablement poussée au sud par le jusant et qui s'est enrichie en apports telluriques au cours de son déplacement. Sous l'effet du flot, elle est progressivement remplacée par des masses d'eau de plus en plus affectées par les effluents continentaux car proches des rejets d'eau douce au moment de la renverse du courant. On relève ensuite de fortes valeurs de salinité, le jusant poussant devant le Gris-Nez des eaux en provenance du Nord, pauvres en apports telluriques. Les mesures relatives à la salinité, à l'oxygène, au pH, à la chlorophylle et aux phéopigments sont rassemblées sur les figures 20 b, c et g. On constate que les valeurs les plus élevées du pH et du taux en oxygène coïncident avec une baisse marquée de la salinité et une augmentation sensible de la concentration du milieu en chlorophylle et en phéopigments. On suppose que ces relations entre les différents paramètres sont dues à une photosynthèse phytoplanctonique accrue dans les eaux douces partiellement diluées. Quant aux sels nutritifs (fig. 20 d et e) et à la turbidité (fig. 20 f) ils ne semblent pas directement soumis aux influences telluriques et aux courants de marée. Il est probable que le resserrement du détroit du Pas-de-Calais provoque une accélération du déplacement des masses d'eau riches en particules de sable provenant des bancs situés aux approches du Gris-Nez, d'où cette succession rapide des pics de matières en suspension (fig. 20 f).

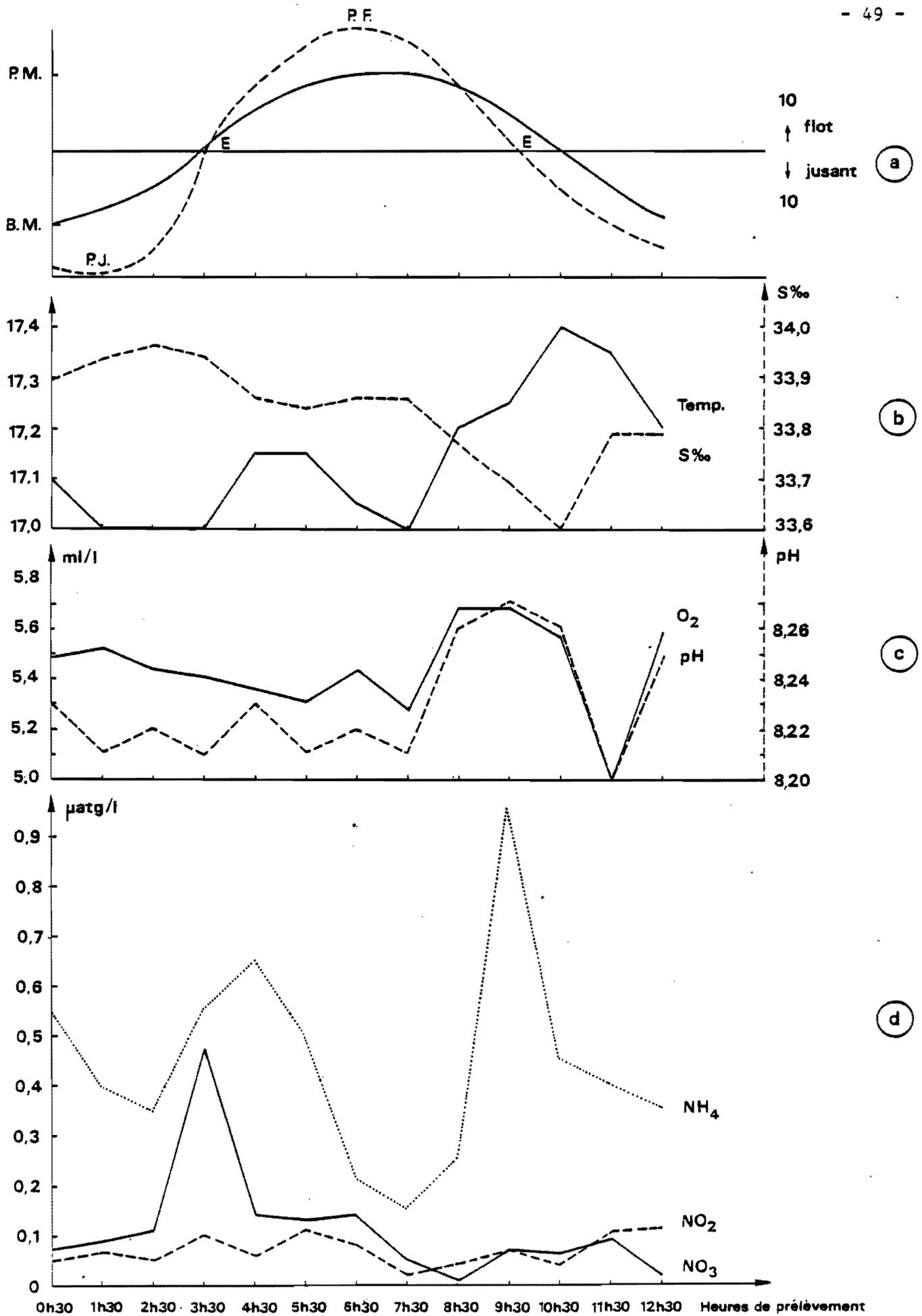
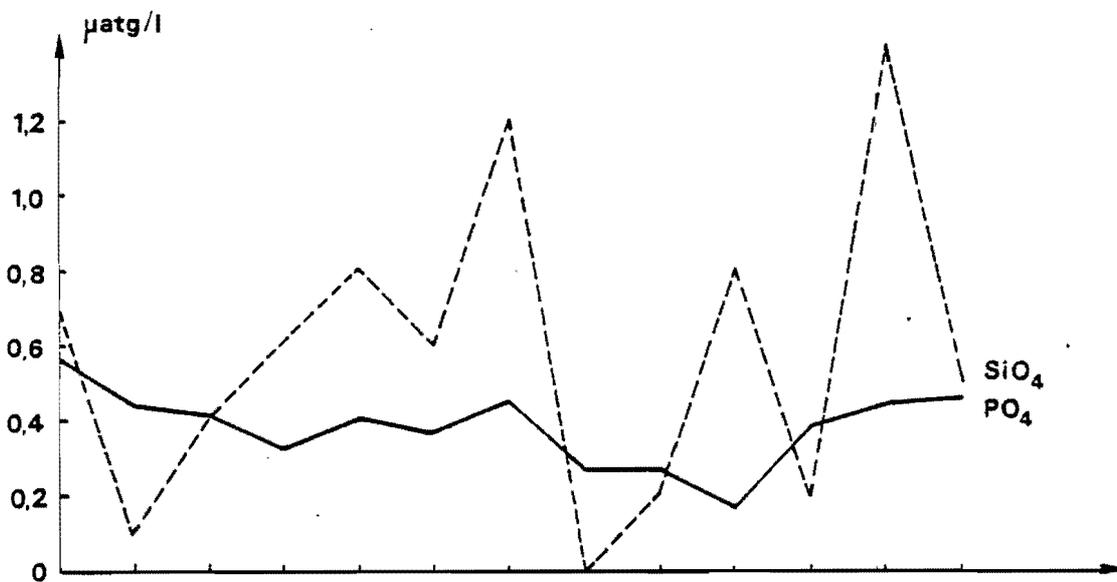
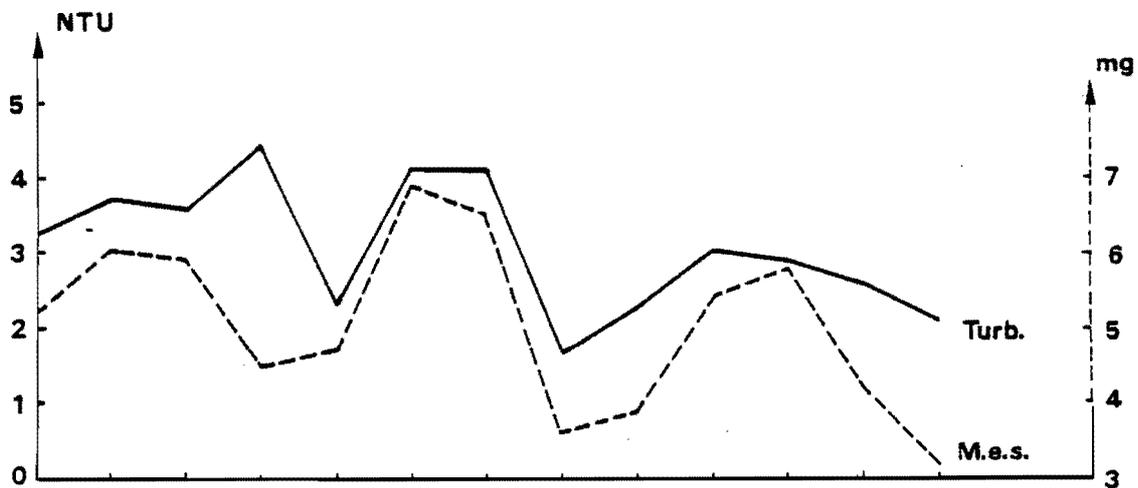


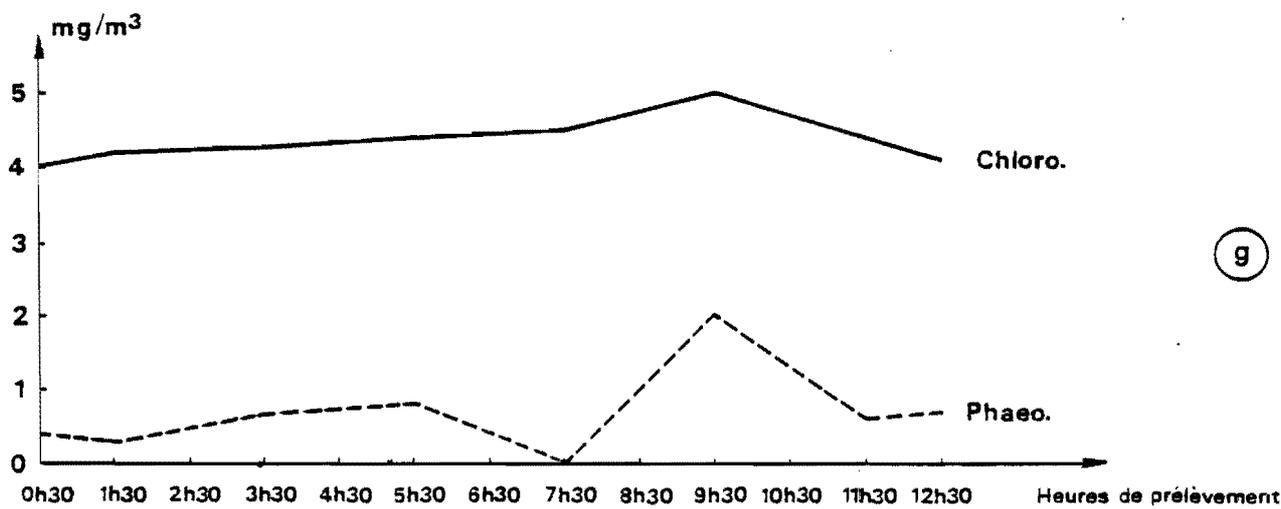
Fig. 20 - Variations des paramètres hydrologiques et hydrobiologiques au cours d'un cycle de marée face au cap Gris Nez.



(e)



(f)



(g)

Station Cap Gris Nez

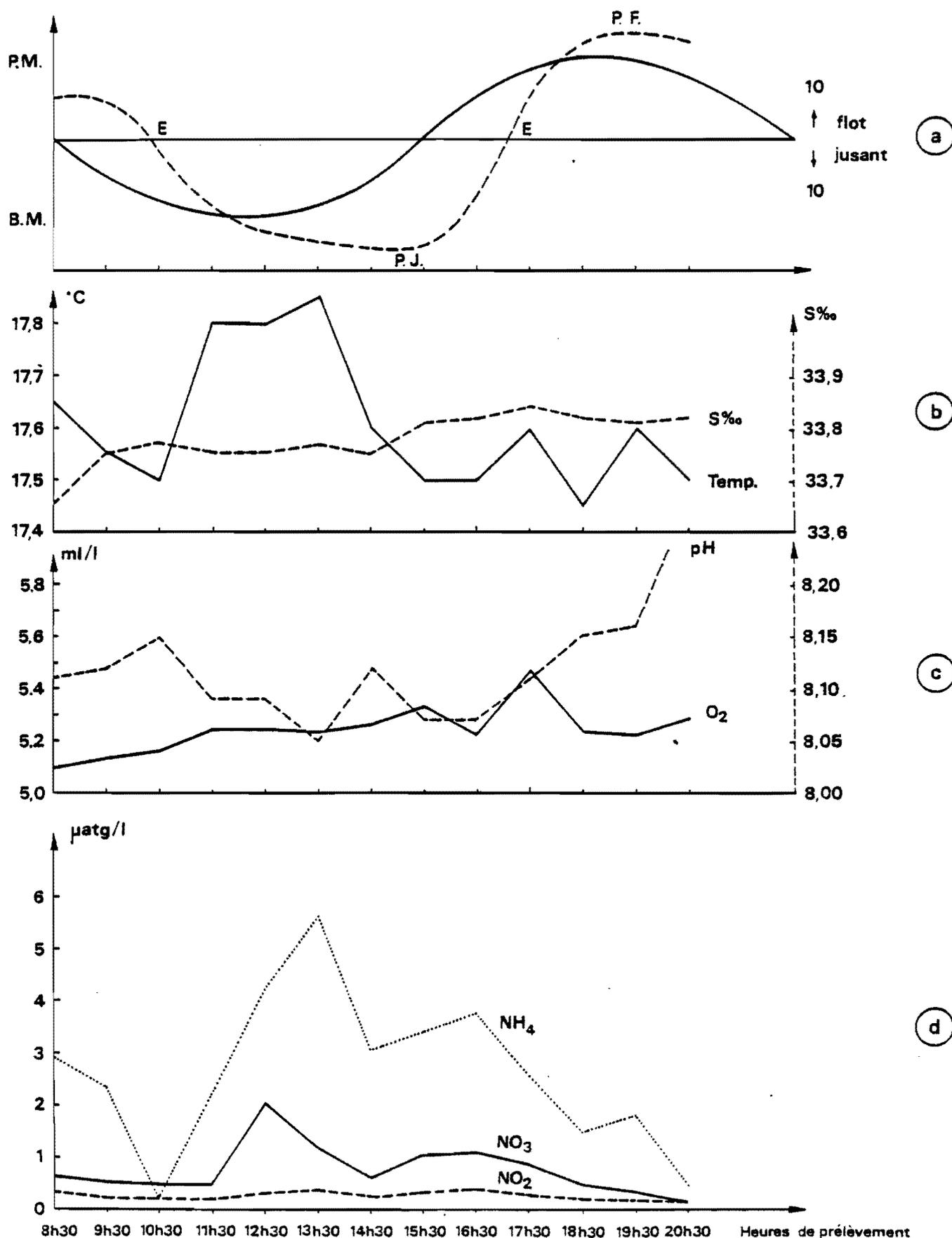
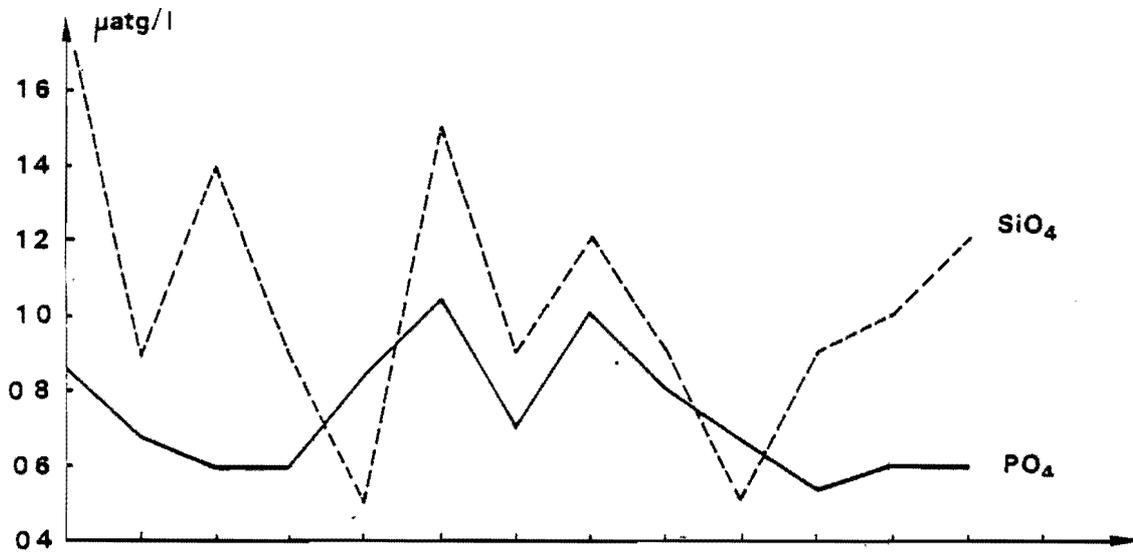
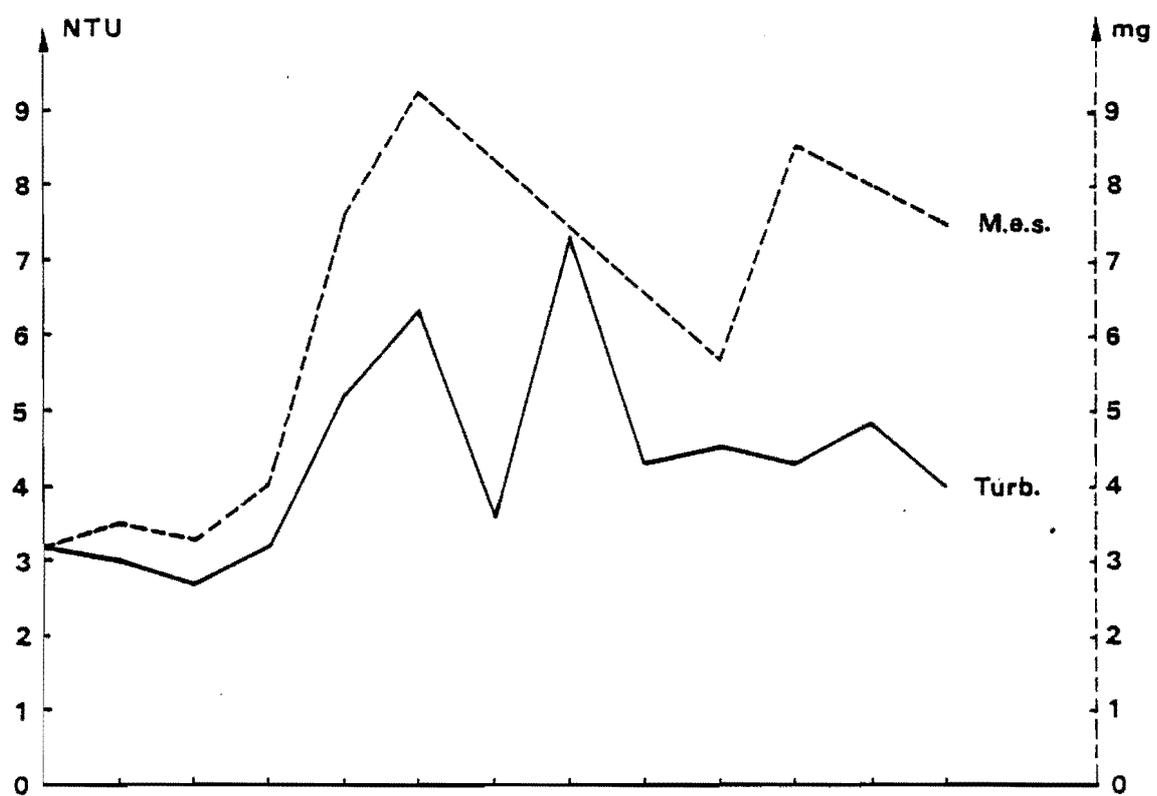


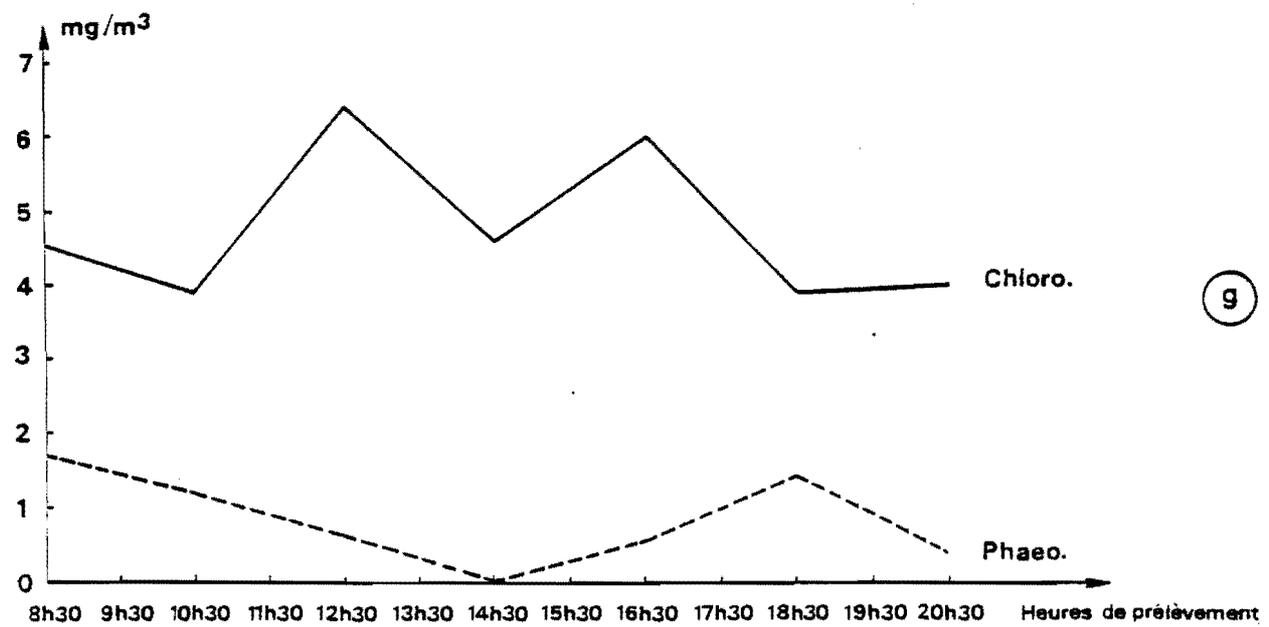
Fig. 21 - Variations des paramètres hydrologiques et hydrobiologiques au cours d'un cycle de marée devant Calais.



(e)



(f)



(g)

Station Calais

3.2.4. - Point fixe de Calais (Fig. 21)

Si l'on fait abstraction du premier prélèvement, les mesures de la salinité à la station fixe de Calais, positionnée légèrement Nord-Est de la sortie du canal exutoire, oscillent entre 33,75 ‰ et 33,85 ‰. Cette relative stabilité de la salinité s'explique par de faibles apports d'eau douce. Cependant, d'autres facteurs comme la température, les sels azotés, les phosphates, la turbidité, présentent des valeurs élevées au cours du jusant. Etant donné que les différents paramètres cités précédemment ont leurs concentrations immédiatement modifiées par le début du jusant, il paraît donc exclu que les eaux dessalées de l'Aa puissent être la cause de ce changement. Par contre, il est probable que les effluents des industries de Calais, riches en matière organique, modifient rapidement la qualité physicochimique de la masse d'eau circulant près de la côte. Les rejets de ce complexe industriel, situé au Nord Est de Calais, ne peuvent affecter la station de prélèvement qu'en jusant. Sous l'influence de ce courant de marée, les rejets provoquent le réchauffement (fig. 21 b) et l'acidification (fig. 21 c) des eaux littorales mais aussi un enrichissement du milieu en sels azotés (fig. 21 d) et en matières en suspension (fig. 21 f). Quant aux pics des phosphates (fig. 21 e), ils pourraient s'expliquer par la présence d'industries mais surtout par la proximité de la ville de Calais. Enfin, les taux de chlorophylle (fig. 21 g) semblent liés aux quantités de sels nutritifs présents dans le milieu.

3.2.5. - Point fixe de Dunkerque

Les prélèvements à la station de Dunkerque ont été effectués au large du canal exutoire. Si le taux des chlorures est relativement constant (fig. 22 b), on note toutefois une baisse sensible de la salinité à l'étale de courant (fig. 22 a) qui suit le flot. Cette baisse de la salinité à l'étale de courant coïncide avec une nette augmentation de la température (fig. 22 b), du pH (fig. 22 c), des différents sels azotés (fig. 22 d) et des faibles taux en oxygène (fig. 22 c). Etant donnée la position du point de prélèvement, on peut supposer que des rejets importants en provenance du système des waterings s'écoulent vers la mer et stationnent, faute de courant, devant l'avant port de Dunkerque. Le même phénomène ne se répète pas à l'étale de courant qui précède le flot car la station est alors sous l'influence des eaux océaniques à cause du montant. Pour interpréter les paramètres physicochimiques mesurés à la station de Dunkerque, il faut donc faire la distinction entre l'étale de flot (qui suit le flot) et l'étale de jusant (qui suit le jusant). La première étale se produit à mi-baissant et favorise la sortie des eaux des waterings, la seconde se situe à mi-montant et freine l'écoulement des eaux continentales. les variations du pH au cours du

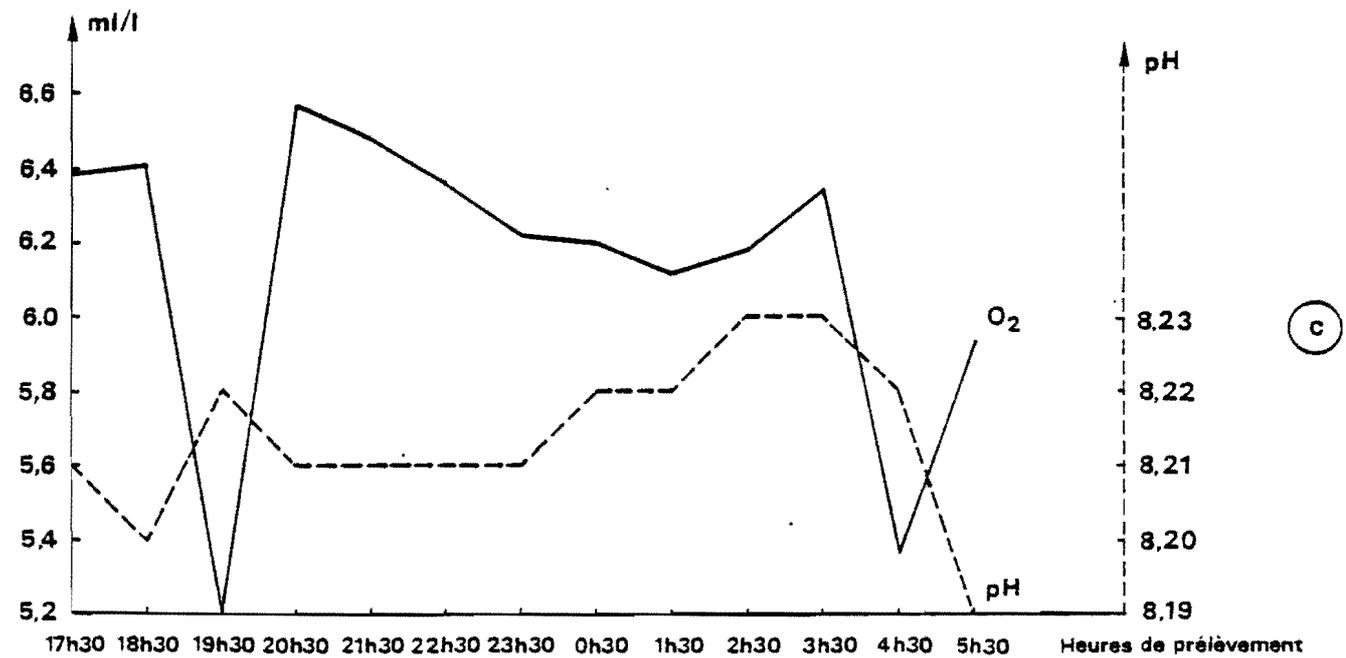
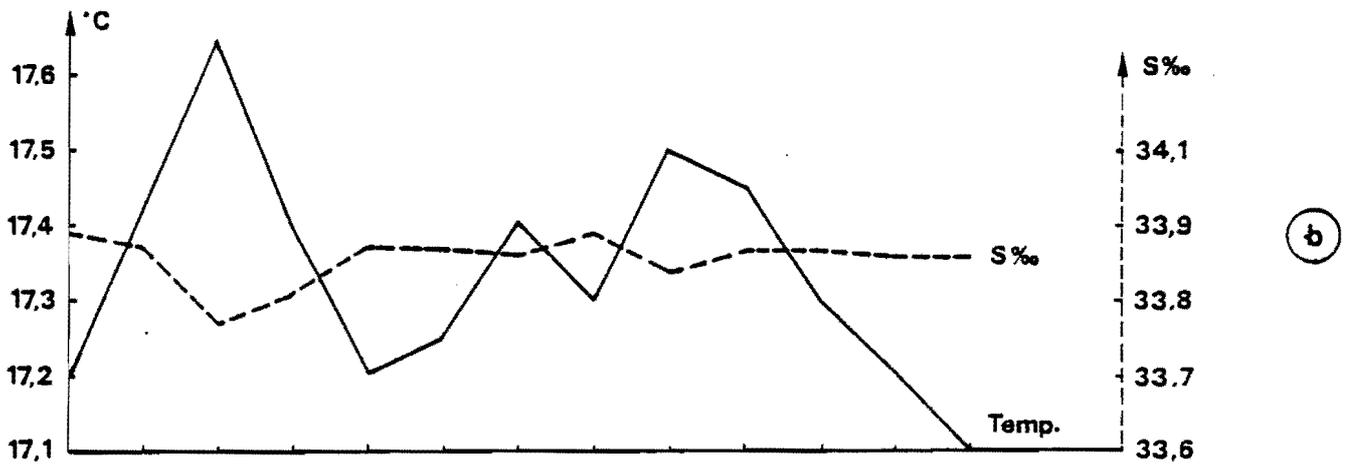
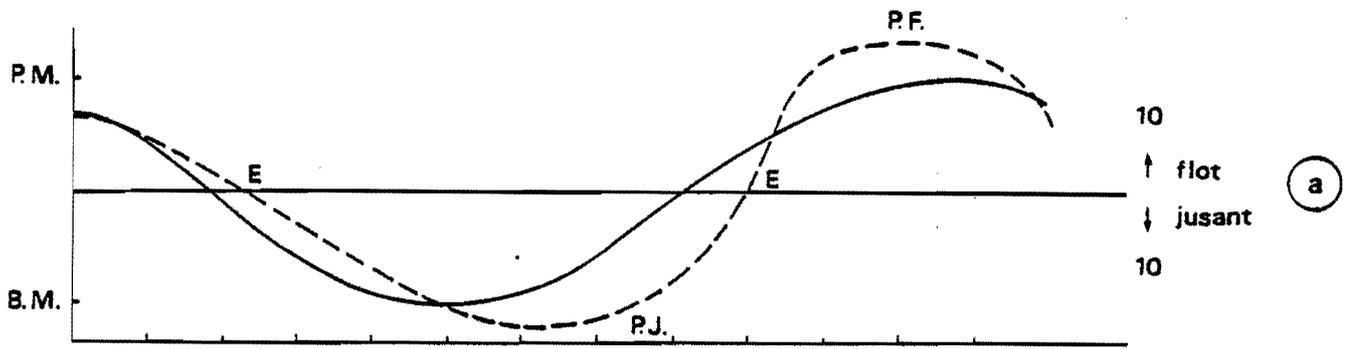
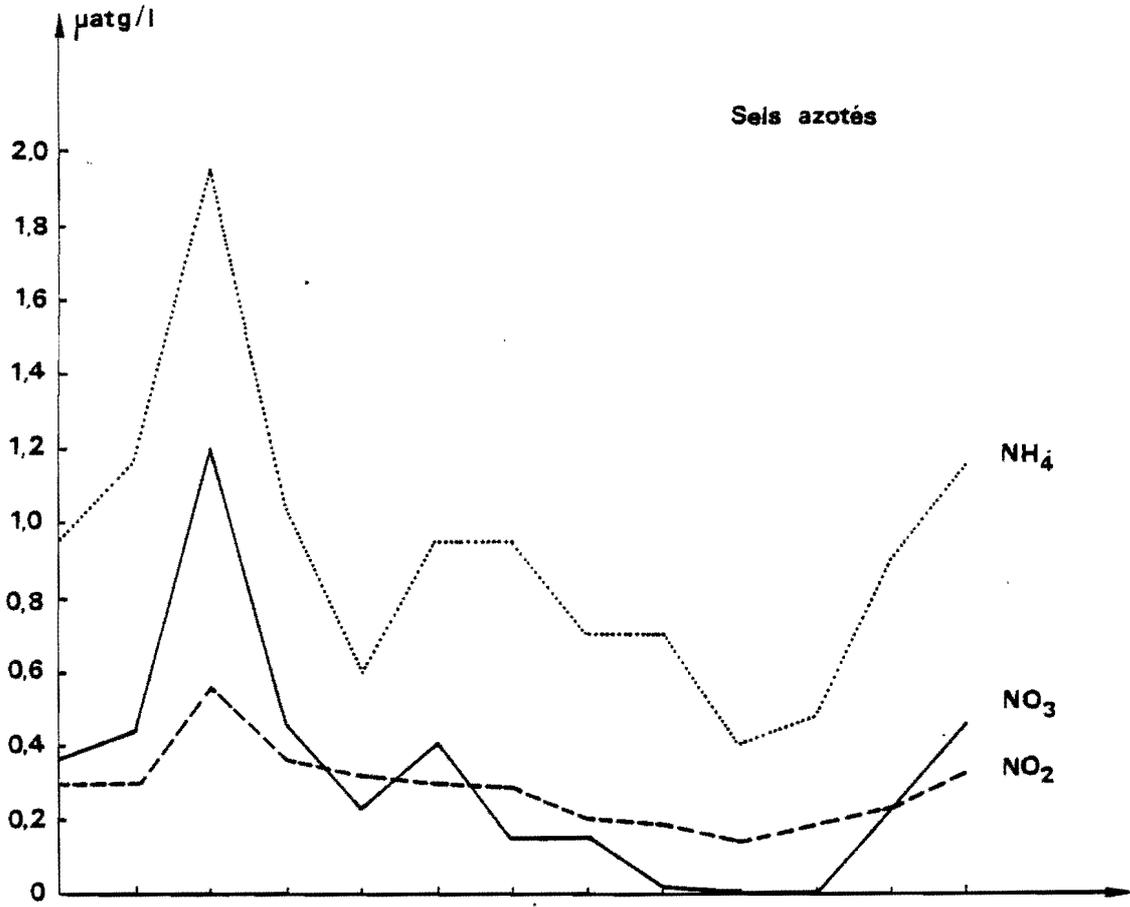
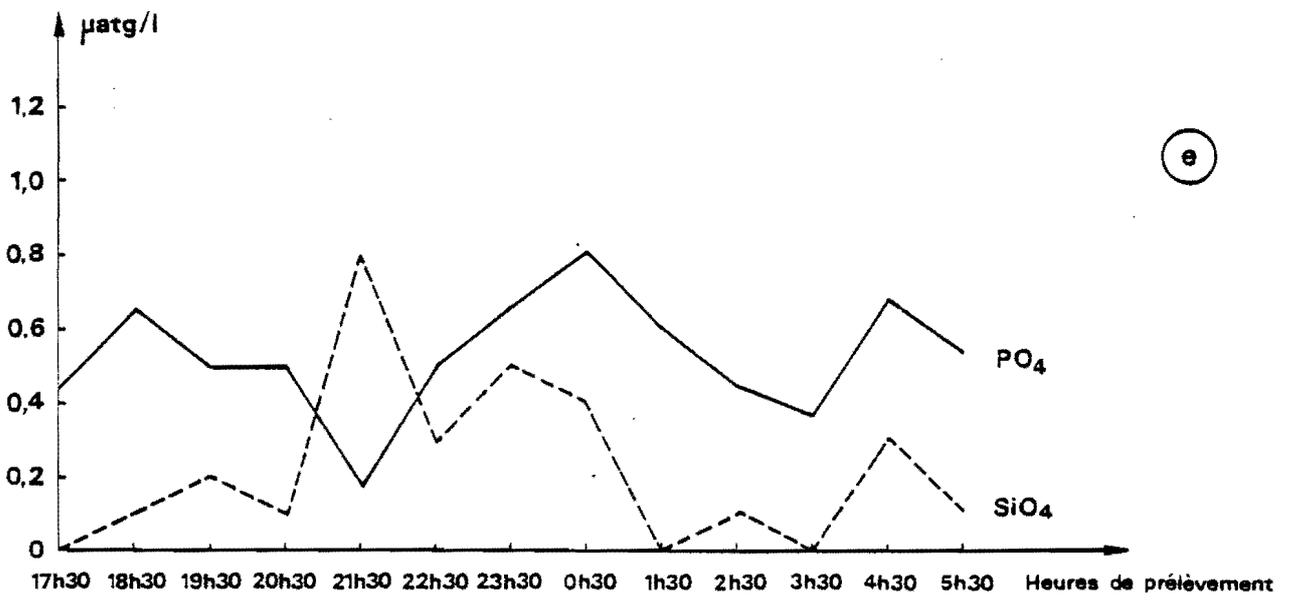


Fig. 22 - Variations des paramètres hydrologiques et hydrobiologiques au cours d'un cycle de marée devant Dunkerque.

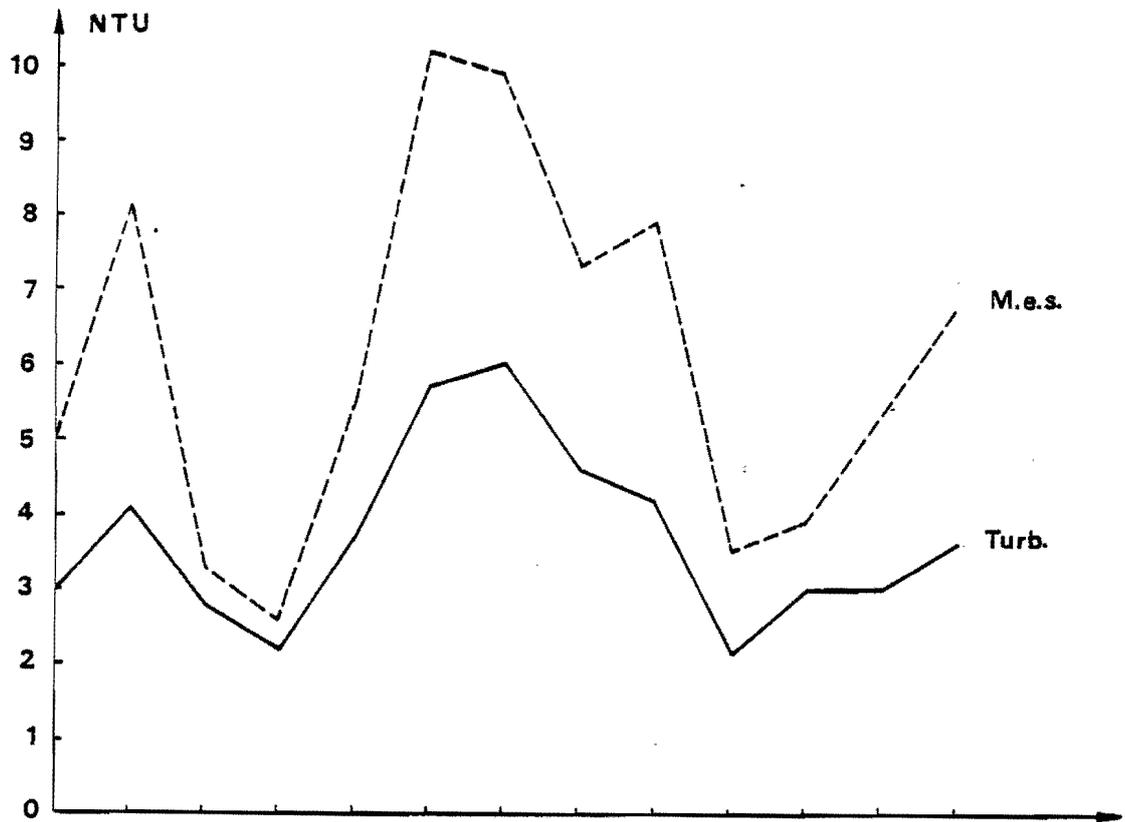


d

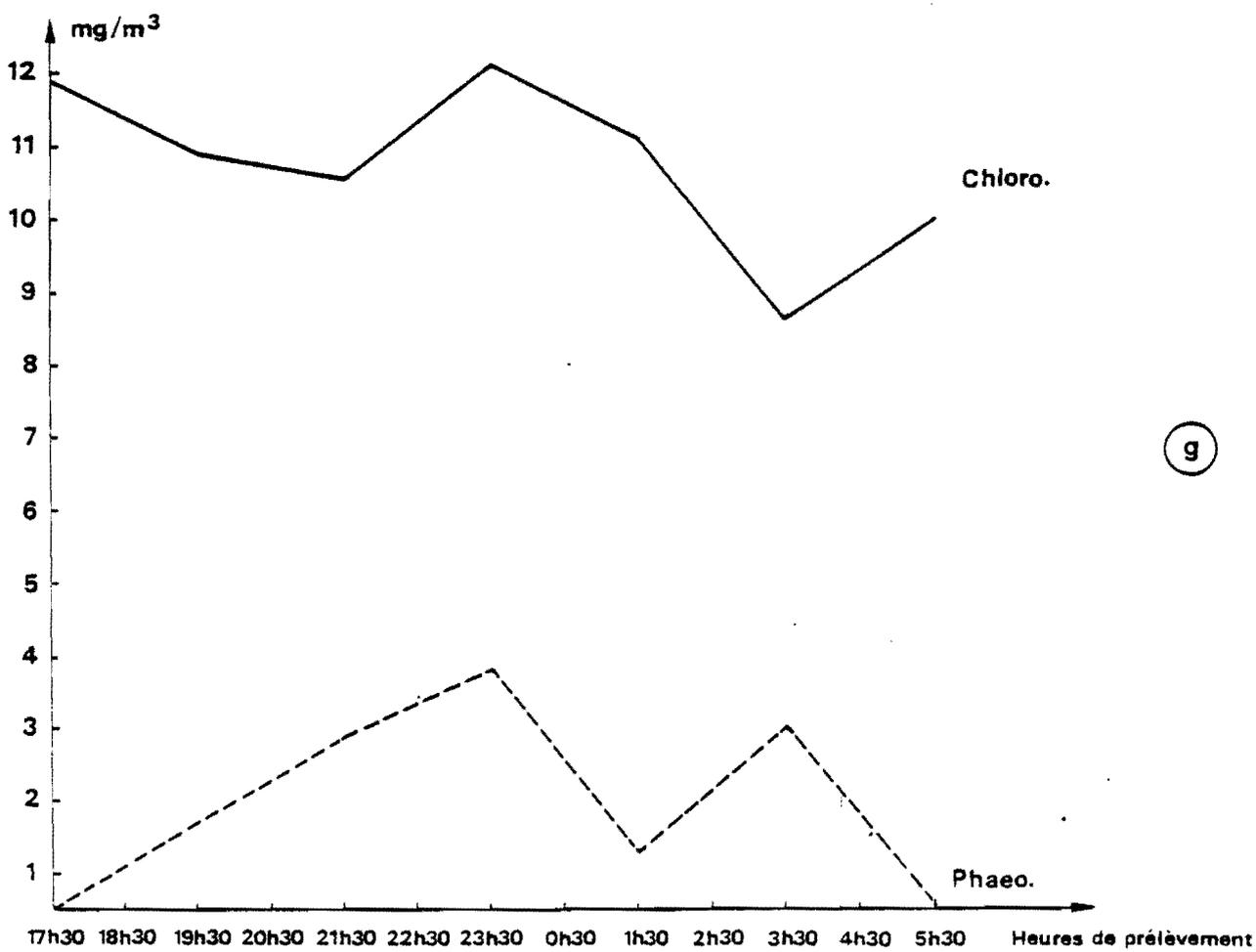


e

Station Dunkerque



(f)



(g)

Station Dunkerque

cycle de marée sont représentées sur la figure 22 c. Sur cette courbe, on relève une diminution du pH au baissant, c'est-à-dire lorsque la station est soumise aux apports telluriques. Il est probable que les industries côtières en soient la principale cause. A cette station d'étude, on note aussi en période de flot, les effets de rejets côtiers lointains. Ainsi, on constate sur la figure 22 d une augmentation de la concentration en sels azotés consécutive à un enrichissement des eaux par les apports industriels et telluriques de port Ouest de Dunkerque et de l'Aa. Les résultats de la turbidité (fig. 22 f) montrent que les masses d'eau circulant au large de Dunkerque sont chargées de matières en suspension dont l'origine est probablement les hauts fonds sableux. Les particules de sable seraient remises rapidement en suspension sous l'effet du flot et du jusant alors qu'aux étales de courant ces particules sédimenteraient, entraînant une chute brutale des valeurs de la turbidité (fig. 22 f). Les autres paramètres sont difficilement interprétables, car cette région est soumise aux rejets du canal exutoire dans l'avant port de Dunkerque, aux eaux de l'Aa en cours de dilution en période de flot et probablement à celles de l'Yser en jusant.

CONCLUSION

Comme il avait été conclu lors des rapports R.N.O. sur le site de Dunkerque, les variations des caractéristiques hydrologiques sont difficiles à interpréter du fait que la masse d'eau étudiée à un moment précis est une masse d'eau en transit sous l'effet des courants de marée alternatifs. Des prélèvements effectués en des lieux voisins, à des dates différentes concernent des masses d'eau fluctuantes. De plus il s'agit d'un milieu ouvert où les échanges sont difficilement estimables (avec le milieu benthique, l'atmosphère ou le continent). Cependant, comme l'a montré l'analyse microbiologique (coliformes fécaux) la zone d'étude est essentiellement soumise aux influences telluriques, notamment en zone urbanisée et industrialisée (Calais, Dunkerque, frontière belge par exemple). Les apports aux niveaux des estuaires ont été mis en évidence aux stations fixes. Leur impact, modifié par les marées et les courants de marée n'a pu être précisé sur la zone Somme au Cap Gris-Nez par manque de prélèvements hydrologiques.

Sur l'ensemble du site on a cependant fait apparaître un gradient côte-large correspondant surtout à la dilution progressive des influences côtières. Ces résultats sont confirmés par ceux des campagnes trans Manche et l'étude des sites de Dunkerque et Gravelines. Il se révèle donc nécessaire

de resserrer le maillage des prélèvements hydrologiques sur le sud de la zone pour déterminer l'étendue de l'impact des fleuves, tels que la Somme, la Canche ou l'Authie, et des effets cumulés de l'urbanisation, de l'industrialisation et des rejets de la Liane autour de Boulogne/Mer. De même le prolongement de la zone d'étude au delà de la frontière belge apparaît souhaitable afin de coordonner certaines phases du programme océanographique belge avec celles du R.N.O., ce qui permettrait de définir l'importance de l'Yser et éventuellement de l'Escaut sur l'extrême Nord des côtes françaises.

Une étude globale des rejets estuariens et de leur devenir dans le Pas-de-Calais peut être envisagée. Elle nécessiterait des mesures de terrain en s'appuyant sur les acquis de la télédétection par avion ou par satellite.