

# La baie de Seine : hydrologie, nutriments et chlorophylle (1978-1994)

*Alain Aminot, Jean-François Guillaud, Roger K erouel*



La baie de Seine :  
hydrologie, nutriments et chlorophylle  
(1978-1994)

*Alain Aminot, Jean-François Guillaud  
et Roger Kérouel*



# Sommaire

<b>Préambule</b>	5
<b>Résumé</b>	7
<b>Chapitre I : Le site et les apports</b>	
<b>Introduction</b>	11
<b>Apports en éléments nutritifs</b>	12
<b>Chapitre II : Atlas des résultats</b>	
<b>Campagnes</b>	17
<b>Méthodes</b>	19
Paramètres mesurés et prélèvements	19
Méthodes d'analyse	19
<b>Présentation cartographique</b>	19
<b>Chapitre III : Caractéristiques spatio-temporelles</b>	
<b>Température</b>	105
<b>Salinité</b>	105
Structure spatiale	105
Cycles de marée	109
Diagrammes température-salinité (T-S)	111
<b>Matériel particulaire</b>	112
Relations turbidité-matières en suspension	112
Structure spatiale	113
Cycles de marée	117
<b>Nutriments</b>	118
Nitrate	118
Ammonium	119
Phosphate	120
Silicate	120
Nitrite	121
Urée	121
<b>Pigments chlorophylliens</b>	121
<b>Oxygène dissous</b>	122
<b>Chapitre IV : Comportement des nutriments</b>	
<b>Schémas de dilution</b>	127
Nitrate	127
Ammonium	127
Phosphate	127
Silicate	132
<b>Consommation en nutriments</b>	132
Consommation des nutriments au printemps	132
Consommation des nutriments en automne	129
<b>Régénération des nutriments</b>	141
<b>Conclusion</b>	145
<b>Bibliographie</b>	147





## Préambule

L'enrichissement du milieu côtier en éléments nutritifs (N, P, Si) devient préoccupant du fait des conséquences néfastes qui peuvent en découler, généralisées sous le terme d'eutrophisation. Si les proliférations de macroalgues, telles les ulves sur le littoral, sont surtout ressenties comme une nuisance envers les usages récréatifs, les proliférations de phytoplancton, qui peuvent provoquer des chutes du taux d'oxygène dissous et des effets néfastes sur la faune, sont perçues comme une atteinte plus marquée à l'environnement aquatique.

Étant soumise à un enrichissement notable par la Seine, la baie de Seine nous a paru devoir faire l'objet d'un bilan de nutriments, d'autant que ce site a représenté l'un des ateliers du thème « Eutrophisation » du Programme national d'océanographie côtière (PNOC I, 1992 - 1995) développé conjointement par l'IFREMER et l'INSU.

Ce document représente la synthèse des données de nutriments acquises en baie de Seine depuis 1978, date des premières campagnes du CNEXO\* dans ce secteur, jusqu'à 1994, fin des campagnes du PNOC I. Toutes les informations disponibles proviennent de travaux de l'IFREMER. Peu d'entre elles ont fait l'objet d'une publication ou d'un traitement antérieur.

Afin d'intégrer les données de nutriments dans un contexte océanographique, des mesures hydrologiques et de pigments ont également été traitées chaque fois qu'elles étaient disponibles. L'accent a été mis sur la présentation cartographique des données dans le but de fournir une image hydrologique et nutritive de la baie. Ce document constitue donc aussi un atlas de la baie qui vise à permettre un accès rapide aux schémas de distribution des concentrations dans diverses situations (saison, climat, débit, ...).

\* CNEXO : Centre national pour l'exploitation des océans. La fusion de cet organisme avec l'ISTPM (Institut scientifique et technique des pêches maritimes) a donné naissance à l'IFREMER (Institut Français de recherche pour l'exploitation de la mer) le 5 juin 1984.



## Résumé

Le présent document constitue une synthèse des données d'hydrologie, de nutriments et de chlorophylle acquises en baie de Seine de 1978 à 1994, grâce à 14 campagnes océanographiques. L'interprétation est complétée par la présentation cartographique des données de ces campagnes sous forme d'atlas.

La baie de Seine, d'une superficie de près de 4 000 kilomètres carrés, est largement ouverte, au nord, sur la Manche ; la profondeur n'y dépasse guère une trentaine de mètres et le marnage maximum est de l'ordre de 7 mètres.

La Seine représente 85 % des apports d'eau douce à la baie avec un débit moyen interannuel de 400 m<sup>3</sup>/s ; elle draine un bassin de 75 000 km<sup>2</sup> où vivent près de 15 millions d'habitants. En 1994, pour le débit moyen, les concentrations fluviales en azote minéral dissous étaient de 480 µmol/l, dont 60 d'azote ammoniacal. En phosphate et silicate les concentrations sont respectivement de 17 et 135 µmol/l. Les flux correspondants d'azote minéral dissous, de phosphate et de silicium sont de 86 000, 7 400 et 43 000 tonnes par an. Depuis la fin des années soixante-dix, les apports d'azote minéral ont augmenté de 2,2 % par an, ceux de phosphore ont diminué de 4 % par an et ceux de silicium sont restés stables.

L'influence des eaux douces de la Seine peut s'étendre, en crue, à toute la moitié est de la baie de Seine, qui présente alors des salinités inférieures à 33 PSS ; au-delà, la structure spatiale de la salinité apparaît peu influencée par la marée. On note une grande homogénéité verticale des masses d'eau, à l'exception du quart est de la baie qui peut connaître des stratifications halines marquées.

Concernant les matières en suspension (MES), elles peuvent atteindre plus de 10 mg/l dans le quart sud-est de la baie où, contrairement à la salinité, on observe généralement une assez grande homogénéité verticale. L'extension des eaux tur-

bides varie en fonction du débit fluvial et de l'amplitude de la marée. A une dizaine de kilomètres au large du Havre on trouve de 4 à 8 mg/l de MES en étiage, et de 25 à 35 mg/l en crue. Au centre de la baie, les teneurs varient de 0,5 mg/l en été à 2 mg/l en hiver.

Les concentrations en nutriments dans la moitié est de la baie de Seine reflètent la forte influence fluviale, l'activité biologique (consommation, régénération) n'intervenant qu'en second lieu, du printemps au début de l'automne.

Dans les eaux marines de la baie (34-35 PSS), les concentrations caractéristiques en nutriments sont les suivantes : en nitrate, de 14-16 µmol/l en hiver à moins de 1 µmol/l en été ; en ammonium, de 0,2-0,3 µmol/l en hiver et jusqu'à 2,5 µmol/l en été ; en phosphate, de 1 µmol/l en hiver à 0,1-0,2 µmol/l en été ; en silicate, de 7 µmol/l en hiver à 0,2 µmol/l en été.

Dans l'embouchure de la Seine, sous l'influence fluviale (salinité 25 PSS), les concentrations sont globalement : en nitrate, de 80-170 µmol/l (pas d'évolution saisonnière nette) ; en ammonium, de 20-30 µmol/l en hiver contre 2-6 µmol/l en été ; en phosphate de 3-10 µmol/l (en fonction inverse du débit fluvial) ; en silicate, de 70 µmol/l en hiver à 5 µmol/l en été.

Au printemps, la consommation de l'ensemble des nutriments dans la partie est de la baie est forte. Le silicate atteint le premier des niveaux considérés comme limitants. Au printemps et en automne, les consommations spécifiques de nutriments ont été déterminées (azote : 1 à 1,3 µmol par microgramme de chlorophylle ; phosphate : 0,05 à 0,09 µmol/µg ; silicate (printemps) : 0,5 µmol/µg). Au printemps les rapports atomiques d'assimilation N/P et Si/N sont de 17 et 0,4. En fin de printemps et en été, on peut observer, dans le quart sud-est de la baie, de fortes régénérations d'ammonium et de silicate. En automne et au début de l'hiver, on

assiste à la régénération du phosphate, du silicate, de l'ammonium et, de façon un peu plus lente, à celle du nitrate.

Les concentrations en chlorophylle a présentent souvent, au printemps, un maximum dans la partie centrale de la baie, au-delà du panache de dilution des eaux turbides de la Seine ; par la suite, s'établit un gradient décroissant sud-est/nord-ouest. On note des maximums secondaires au sud-ouest de la baie de Seine (baie des Veys et côte du Cotentin). Le maximum de chlorophylle a mesuré lors des campagnes est de 35 µg/l (fin septembre), mais les données du RNO (1976 à 1985) montrent, dans le panache de la Seine, des concentrations jusqu'à 40 à 70 µg/l une à deux fois par an. En hiver, les concentrations sont de 0,5 à 1 µg/l sur l'ensemble de la baie.

En ce qui concerne l'oxygène dissous, on peut noter qu'aucune hypoxie notable des eaux de fond n'a jamais été mise en évidence, même à

proximité de l'embouchure de la Seine. Les minimums du pourcentage de saturation (70 %) ont été observés dans les eaux de fond, à 25 PSS, en sortie d'estuaire. De très fortes sursaturations sont enregistrées au printemps dans le sud-est et le sud-ouest de la baie (130 à 160 %) du fait des poussées phytoplanctoniques.

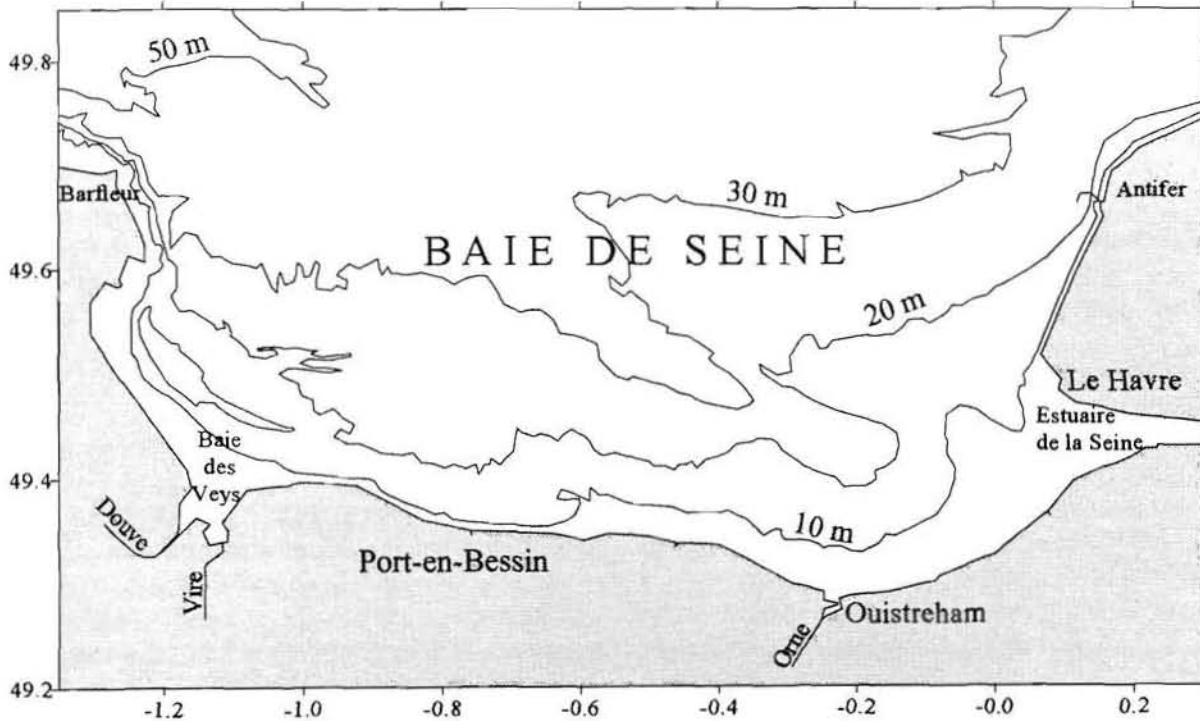
On conclut que la baie de Seine est fortement influencée par les apports continentaux. En période hivernale, elle apparaît comme une simple zone de transit des nutriments d'origine fluviale vers les eaux du large.

Aux autres saisons, une intense production primaire, caractéristique d'une zone côtière eutrophe, se développe principalement au droit de l'embouchure. Malgré l'accroissement pluriannuel des apports d'azote, les biomasses chlorophylliennes semblent relativement stables sur une quinzaine d'années.

# **Chapitre I**

## **Le site et les apports**





## Introduction

La baie de Seine, d'une superficie de près de 4 000 km<sup>2</sup>, est largement ouverte, au nord, sur la Manche ; la profondeur n'y dépasse guère une trentaine de mètres et le marnage maximum est de l'ordre de 7 m. La vitesse des courants de marée, faible dans la partie orientale (à l'exception de l'estuaire), croît non seulement au nord-est, mais surtout au nord-ouest, au large du Cotentin, où elle dépasse 3 noeuds en vive-eau moyenne.

Cette baie reçoit les eaux du principal fleuve se jetant dans la Manche, la Seine, dont le débit moyen interannuel est de 400 m<sup>3</sup>/s, et qui draine un territoire de 75 000 km<sup>2</sup> où vivent près de 15 millions d'habitants.

La partie orientale de la baie, plus directement soumise aux apports en éléments nutritifs de la Seine, présente, en périodes printanière et estivale, de fortes poussées de phytoplancton. Les mesures de chlorophylle effectuées régulièrement sur ce site par le RNO (Réseau national d'observation du milieu marin) de 1975 à 1984, montrent en effet

qu'au débouché de l'estuaire, la concentration moyenne en chlorophylle (d'avril à septembre) est de 8,7 µg/l ; vingt kilomètres plus au large, la valeur moyenne est encore de 4,3 µg/l. Les maximums annuels en ces deux points peuvent dépasser respectivement 50 et 15 µg/l (RNO, 1993), valeurs particulièrement fortes en zone côtière.

Par ailleurs, la baie de Seine connaît régulièrement des développements importants d'eaux colorées et de phytoplancton toxique ; c'est ainsi qu'entre 1975 et 1988, Belin *et al.* (1989) ont recensé 46 cas d'eaux colorées en baie de Seine, dus essentiellement aux développements de diatomées puis de dinoflagellés. En ce qui concerne les dinoflagellés toxiques, *Dinophysis* a été mis en évidence pour la première fois en 1983 dans la baie de Seine, à la suite d'une série d'intoxications alimentaires après consommation de moules contaminées. Depuis cette date, *Dinophysis* est régulièrement observé en baie de Seine, et plus particulièrement sur le site d'Antifer où, durant la période estivale, les concentrations peuvent atteindre 100 000 cellules par litre (Le Grand, 1994).



## Apports en éléments nutritifs

Les apports continentaux en éléments nutritifs sur le site de la baie de Seine proviennent, à plus de 85 %, de la Seine elle-même. L'évolution pluriannuelle de ces apports dépend des variations du débit fluvial et de l'évolution des concentrations dans la rivière.

De 1976 à 1994, les débits moyens annuels de la Seine (fig. 1) ont fluctué entre des valeurs inférieures à 300 m<sup>3</sup>/s (en 1976 et 1990) et des valeurs supérieures à 600 m<sup>3</sup>/s (en 1981, 1988 et 1994). Indépendamment des variations pluriannuelles de débit, les concentrations en éléments nutritifs dans la Seine (fig. 2, p. 13) ont évolué au cours des quinze dernières années. Les progrès réalisés dans le traitement des effluents industriels et urbains ont contribué à la diminution des concentrations en ammonium et en phosphate ; en revanche le nitrate, d'origine essentiellement agricole, a continué à progresser (Ménesguen *et al.*, 1995). Les concentrations en azote minéral dissous mesurées en amont de l'estuaire, à Caudebec (Cellule anti-pollution de la Seine, 1977 à 1994), ont augmenté de 2,2 % par an entre 1977 et 1994 ; elles sont ainsi passées en valeur moyenne, pour un débit de 400 m<sup>3</sup>/s, de 340 µmol/l à 480 µmol/l. Les concentrations moyennes en azote ammoniacal ont chuté de 110 à 60 µmol/l ; cette diminution est attribuable à une meilleure nitrification des

effluents urbains sur le bassin versant. Les concentrations moyennes en azote sous forme oxydée (nitrite plus nitrate) ont fortement progressé (de 230 µmol/l à 420 µmol/l). Les concentrations en phosphate ont, durant la même période, diminué de 4 % par an, du fait de la réduction des rejets industriels rouennais (passage de 34 µmol/l à 17,5 µmol/l). Enfin, les concentrations en silicate, quasiment indépendantes des activités humaines, ne montrent pas d'évolution significative sur la période 1977-1994 (pour 400 m<sup>3</sup>/s, valeur moyenne de 135 µmol/l).

L'évolution pluriannuelle des flux de sels nutritifs, qui est fonction à la fois de l'évolution des débits et des concentrations, montre qu'il y a, de façon significative, une augmentation des apports en azote minéral dissous (malgré la décroissance des apports d'ammonium) et une diminution des apports en phosphate ; les flux de silicate ne montrent pas de tendance pluriannuelle significative (fig. 3, p. 14). Actuellement les apports annuels d'azote minéral dissous, rapportés à une année hydrologique moyenne, c'est-à-dire pour un débit moyen de 400 m<sup>3</sup>/s, sont de 86 000 t/an (dont 12 000 t/an d'azote ammoniacal). Les apports de phosphore sont de 7 400 t/an, et ceux de silicium de 43 000 t/an. À la fin des années 70, et toujours pour une année hydrologique moyenne, les flux d'azote n'étaient que de 61 000 t/an (dont 19 000 t/an d'azote ammoniacal), les flux de phosphore de 13 000 t/an et les flux de silicium de 44 000 t/an.

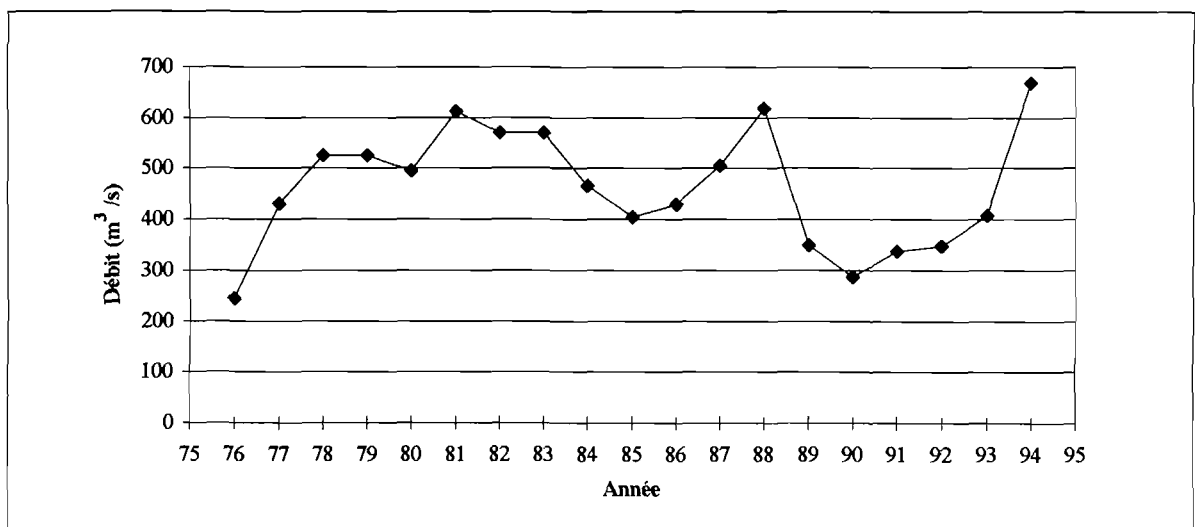


Figure 1 - Débits annuels moyens de la Seine de 1976 à 1994.

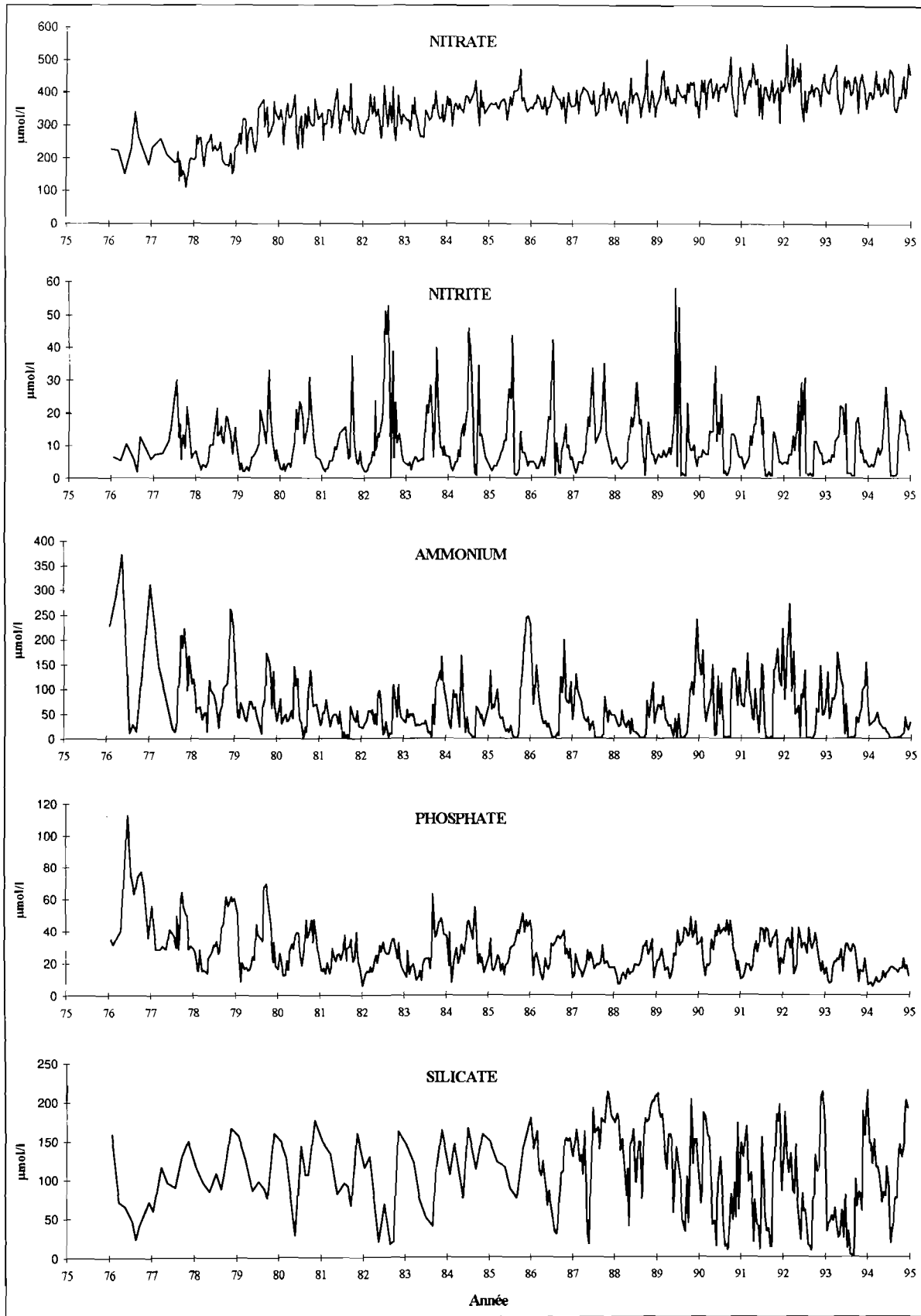


Figure 2 - Concentrations en éléments nutritifs dans la Seine à Caudebec, de 1976 à 1994.

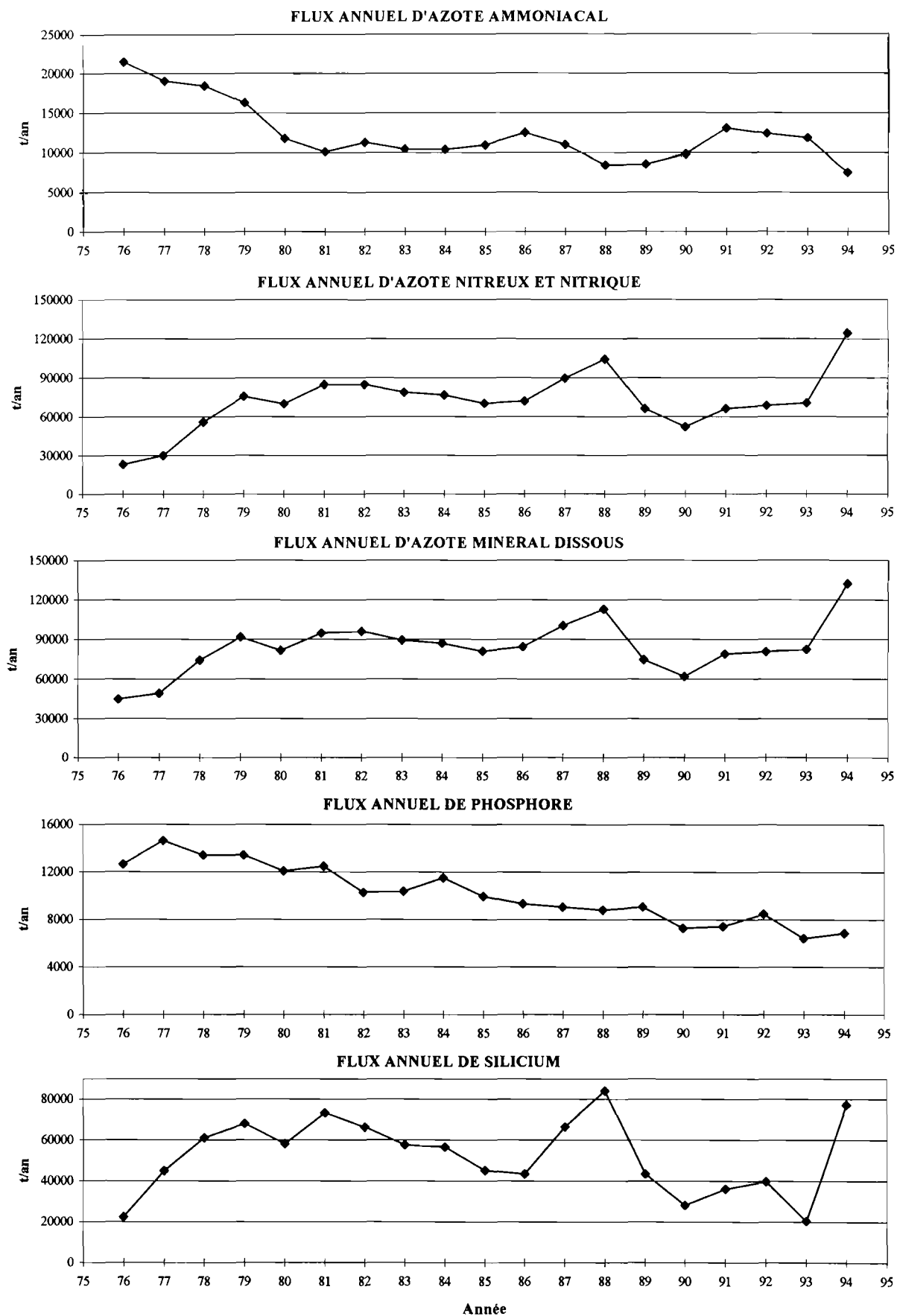


Figure 3 - Flux annuels en éléments nutritifs de la Seine à Caudebec, de 1976 à 1994.

# **Chapitre II**

## **Atlas des résultats**



## Campagnes

Treize campagnes ont été recensées, de 1978 à 1994, au cours desquelles des mesures d'hydrologie, de nutriments et de pigments chlorophylliens ont été effectuées. En outre, une quatorzième campagne (Écomanche 1) a fourni uniquement des données de pigments chlorophylliens. Ces campagnes sont sommairement présentées dans le tableau 1. A l'exception de la campagne britannique Cirolana, elles ont toutes été réalisées par l'IFREMER, et, plus particulièrement, par les équipes de chimie du Département environnement littoral, sauf Écomanche 2. Seuls les résultats de quatre campagnes ont fait l'objet de publication : Thalia 1 (CNEXO, 1978), Écomanche 1 et 2 (Boucher, 1980), Intersite 1 (RNO, 1985).

On notera que deux situations de marée, basse mer ( $\pm 2$  heures) et pleine mer ( $\pm 2$  heures), ont été étudiées au cours de certaines campagnes. La situation de basse mer s'avère intéressante car elle représente le cas d'extension maximale du panache de la Seine.

La surface et le fond ont été échantillonnés lors de la plupart des campagnes ; des prélèvements occasionnels ont été effectués à mi-profondeur pour des mesures de température, de salinité et de turbidité.

Nom	Date	Prélèvements		Coefficient de marée	Débit de la Seine
		Immersion	Heure marée	min - max	min - max (m <sup>3</sup> /s)
Thalia 1	13 - 17 mai 1978	S, M, F	BM, PM	41 - 52	570 - 580
Écomanche 1	19 - 23 mai 1978	S, F	V	62 - 101	590 - 665
Thalia 2	23 sept.-5 oct. 1978	S, M, F	BM	33 - 97	110 - 215
Thalia 3	8 - 14 mars 1979	S, M, F	BM	36 - 89	590 - 1070
Écomanche 2	13 - 17 juin 1979	S, F	V	63 - 93	495 - 545
Intersite 1	8 - 14 octobre 1983	S	BM	31 - 107	220 - 260
Cirolana	30 novembre 1989	S	V	74 - 75	205
Sédiseine 1	17 -19 février 1992	S, F	BM	87 - 114	505 - 615
Phytoseine 1	24- 29 avril 1992	S, F	BM, PM	34 - 63	290 - 340
Sédiseine 2	2 - 4 juin 1992	S, F	BM	86 - 90	140 - 300
Phytoseine 2	29 juin - 3 juillet 1992	S, F	BM, PM	73 - 98	105 - 240
Nutriseine 1	25 - 28 avril 1994	S	V	102 - 113	680 - 805
Nutriseine 2	22 - 25 juin 1994	S	V	91 - 99	205 - 310
Nutriseine 3	22 - 25 septembre 1994	S	V	64 - 89	325 - 405

Tableau 1 - Descriptif sommaire des campagnes effectuées en baie de Seine de 1978 à 1994.  
Abréviations : S = surface ; M : mi-profondeur ; F = fond ; BM = basse mer ; PM = pleine mer ; V = variable.

Par ailleurs, des cycles de marée ont été réalisés à l'embouchure de la Seine (Thalia 2, Intersite 1, Nutriseine 3), le long de la côte sud (Thalia 1) et en zone marine dans la partie orientale de la baie (Thalia 2).

Etant donné l'importance du rôle de la Seine sur l'hydrologie et les concentrations dans la baie, sur la figure 4 les dates de campagnes ont été superposées à la chronologie des débits du fleuve.

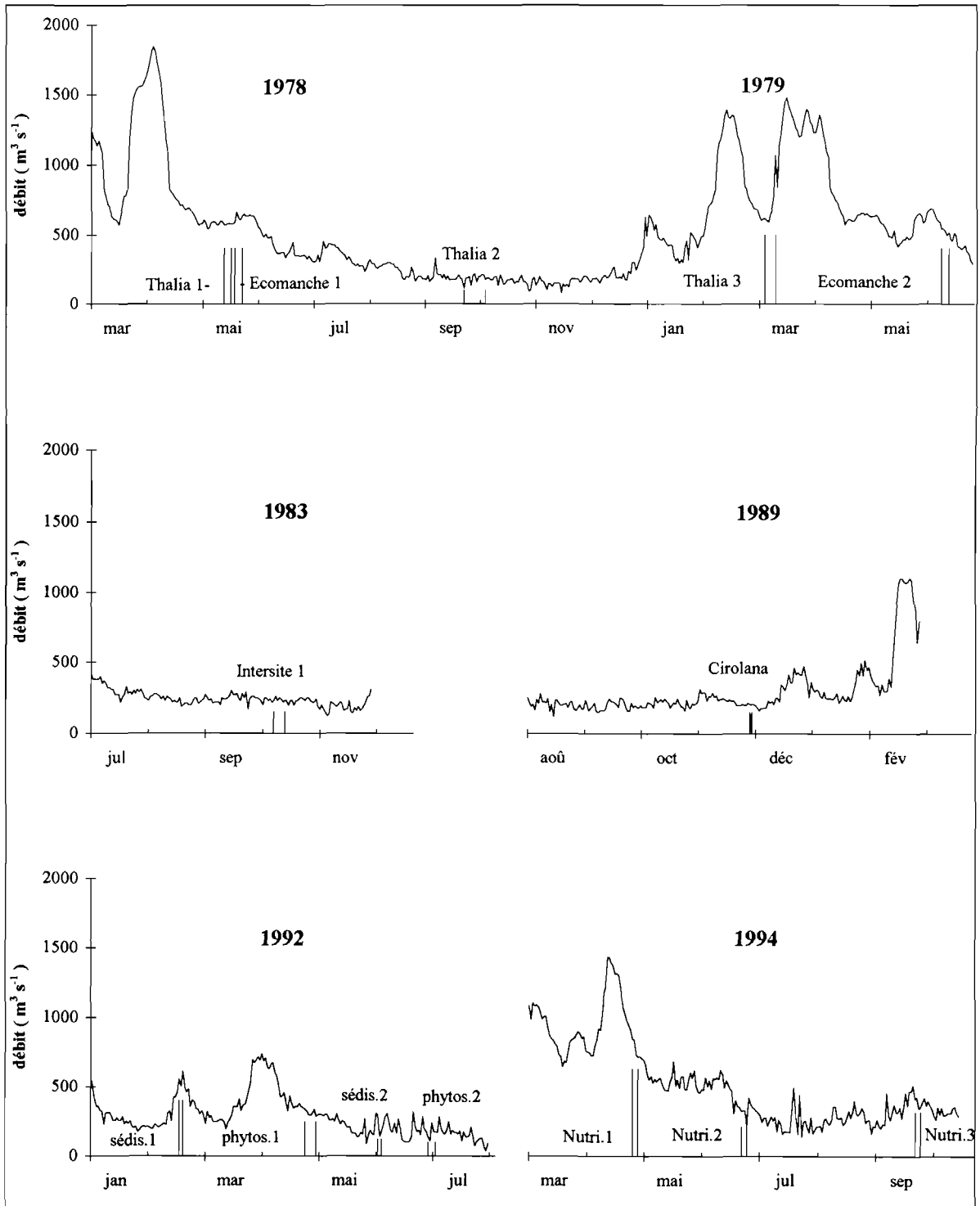


Figure 4 - Présentation simultanée des dates de campagnes et de l'évolution du débit de la Seine.

## Méthodes

### Paramètres mesurés et prélèvements

Les paramètres mesurés sont les suivants :

- salinité, sur l'échelle pratique de salinité (PSS) ;
- température, en °C ;
- turbidité, en NTU ;
- oxygène dissous (jusqu'à 1979), en ml/l ;
- nitrate + nitrite, en  $\mu\text{mol/l}$  ;
- nitrite (jusqu'à 1989), en  $\mu\text{mol/l}$  ;
- ammonium, en  $\mu\text{mol/l}$  ;
- urée (jusqu'à 1989), en  $\mu\text{mol/l}$  d'azote ;
- phosphate, en  $\mu\text{mol/l}$  ;
- silicate en  $\mu\text{mol/l}$  ;
- matières en suspension (MES), en mg/l ;
- chlorophylle a et phéopigments, en  $\mu\text{g/l}$ .

Les prélèvements ont été effectués à l'aide de bouteilles de 5 ou 8 l en PVC de type Niskin. De plus, les travaux suivants ont été effectués à bord :

- mesures de la turbidité et de l'oxygène dissous ;
- filtration pour les MES et les pigments chlorophylliens ;
- échantillonnage de l'eau pour les nutriments avec préfiltration en continu, à 50  $\mu\text{m}$  (jusqu'en 1979) puis à 10  $\mu\text{m}$ , directement au sortir de la bouteille de prélèvement ;
- échantillonnage spécial pour le silicate (après 1989), avec filtration à 1,2  $\mu\text{m}$  (filtres en acétate de cellulose) et ajout de chlorure mercurique (20 mg/l de Hg).

Les filtres de MES, de pigments chlorophylliens, ainsi que les échantillons pour mesure de nutriments sont immédiatement placés au congélateur (-20 °C). Les échantillons spécifiques pour la mesure du silicate sont laissés à température ambiante, à l'obscurité.

### Méthodes d'analyse

Les méthodes d'analyse sont mentionnées ci-dessous ; les précisions sont indiquées entre parenthèses. A l'exception des nutriments, les méthodes

sont décrites dans le *Manuel des analyses chimiques en milieu marin* (Aminot et Chaussepied, 1983).

*Température* : thermomètre à renversement jusqu'en 1979 ( $\pm 0,01$  °C) puis thermomètre de laboratoire plongé dans la bouteille de prélèvement dès sa remontée ( $\pm 0,1$  °C).

*Salinité* : mesure au laboratoire à l'aide d'un salinomètre de précision Guildline Autosal ( $\pm 0,003$  PSS).

*Oxygène dissous* : méthode chimique ( $\pm 0,03$  ml/l).

*Turbidité* : mesure à bord au turbidimètre néphélométrique Hach 2100 A ( $\pm 0,05$  NTU jusqu'à 1 NTU et 5 % au-delà).

MES : filtration à bord sur filtres Whatman GF/F pré-pesés, conservation à -20 °C, séchage à l'étuve à 65 °C puis pesée ( $\pm 0,1$  mg/l).

*Nitrate + nitrite* \* ( $\pm 0,1$   $\mu\text{mol/l}$ ), *nitrite* ( $\pm 0,01$   $\mu\text{mol/l}$ ), *ammonium* ( $\pm 0,05$   $\mu\text{mol/l}$ ), *phosphate* ( $\pm 0,01$   $\mu\text{mol/l}$ ), *silicate* ( $\pm 0,05$   $\mu\text{mol/l}$ ) : analyse au laboratoire sur Technicon Autoanalyzer II selon les méthodes de Tréguer et Le Corre (1975). Il importe de noter que toutes les mesures de nutriments de la période considérée ont été effectuées dans le même laboratoire, avec les mêmes méthodes.

*Urée* : mesure au laboratoire selon Aminot et Kérouel (1982), sur Technicon Autoanalyzer II ( $\pm 0,02$   $\mu\text{mol/l}$ ).

*Chlorophylle a et phéopigments* : filtration sur filtres Whatman GF/C. Mesure selon la méthode spectrophotométrique monochromatique ( $\pm 0,1$   $\mu\text{g/m}^3$ ).

### Présentation cartographique

Les résultats de toutes les campagnes sont présentés de manière cartographique, par ordre chronologique. Pour chacune d'elles, les coordonnées géographiques, ainsi que les dates et heures des stations, sont mentionnées.

\* Dans la suite du texte, pour simplifier, le terme « nitrate » sera employé à la place de l'expression « nitrate + nitrite » ; il est rappelé que la concentration de nitrite ne représente en général qu'une proportion très faible de l'ensemble des formes oxydées de l'azote.



Tous les paramètres cités précédemment ont été cartographiés. Seules les cartes de surface et de fond, à basse mer et à pleine mer, ont été tracées selon la disponibilité des données ; les résultats du niveau intermédiaire (mi-profondeur) n'ont été utilisés que lors de l'interprétation. Les prélèvements des campagnes Écomanche 1 et 2 n'ont pas été effectués à heure-marée fixe, mais les cartes ont néanmoins été réalisées, car les autres campagnes ont permis de montrer que la marée influençait peu la distribution générale des concentrations, notamment par débit et coefficient moyens.

Afin de faciliter la lecture de ces cartes, les lignes d'égale concentration (isoplèthes) ont été portées et un ombrage dégradé a été utilisé pour faire res-

sortir les gradients. Ces cartes ayant été réalisées à l'aide du logiciel Surfer v5 (Golden Software), les échelles ont été libellées en coordonnées décimales pour faciliter le traitement. Néanmoins, les coordonnées des stations sont disponibles en unités sexagésimales classiques dans le tableau descriptif de chaque campagne.

Pour les campagnes Cirolana et Nutriseine 1, 2 et 3, où le nombre de stations a été jugé insuffisant, la cartographie a été remplacée par une représentation symbolique du niveau de concentration à chaque station.

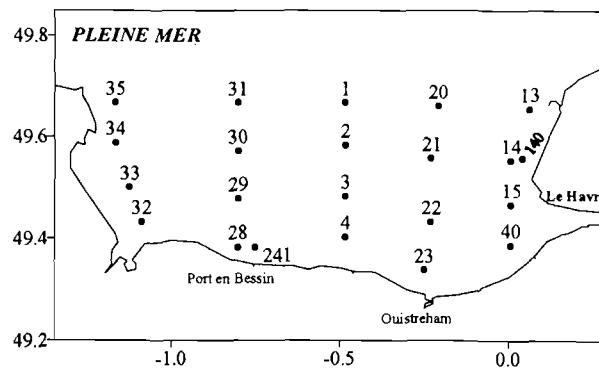
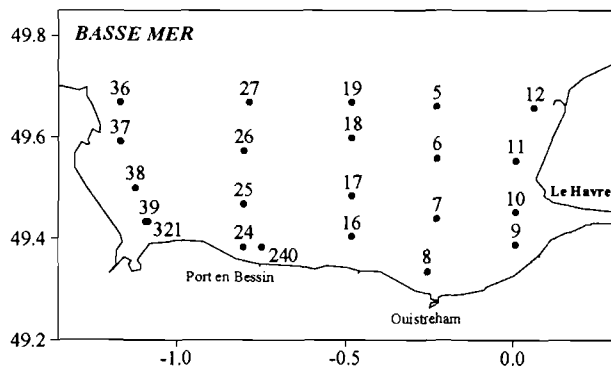
(Note : l'ensemble des données des campagnes est disponible sur demande.)

**CAMPAGNE THALIA 1**  
**13 - 17 mai 1978**

**THALIA 1, 13 - 17 mai 1978, coefficients 41 - 52, débit de la Seine 570 - 580 m<sup>3</sup>/s.**

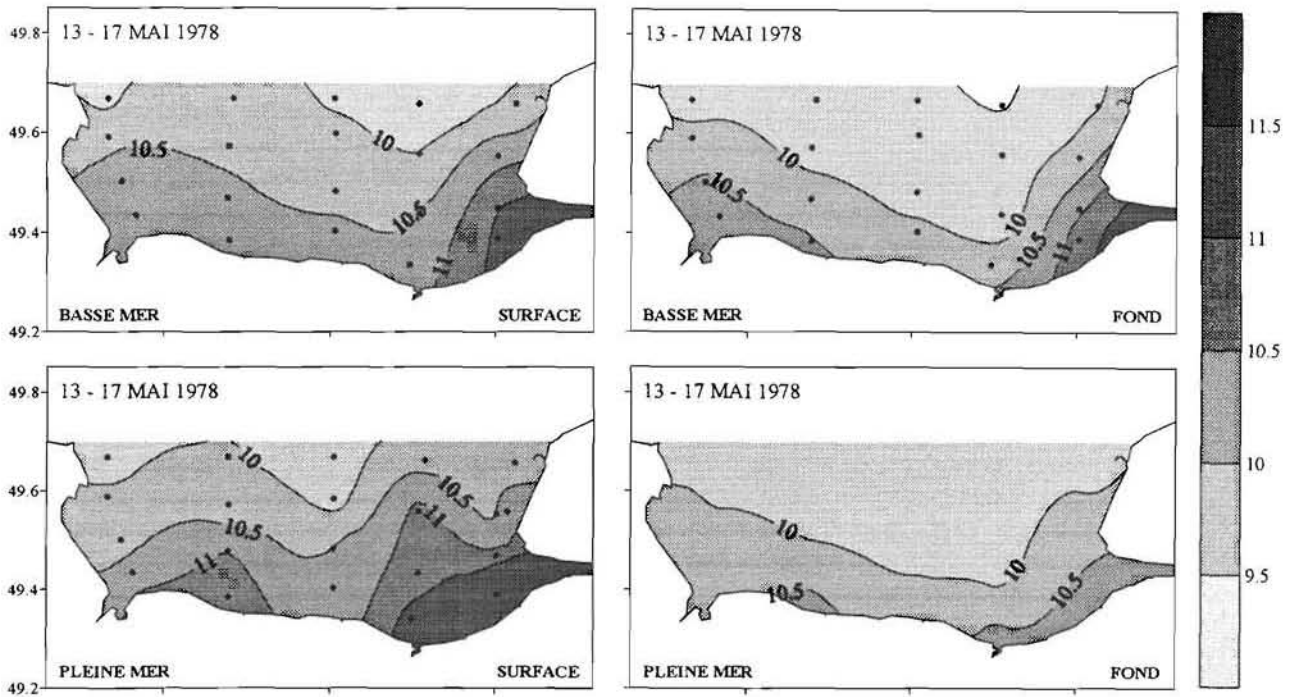
STA	POSITION	DATE	TU + 2	STA	POSITION	DATE	TU + 2
1	N 49° 40,0' W 00° 29,0'	13-mai	13:50	25	N 49° 28,0' W 00° 48,3'	16-mai	11:47
2	N 49° 35,0' W 00° 29,0'	13-mai	15:15	26	N 49° 34,3' W 00° 48,2'	16-mai	12:55
3	N 49° 29,0' W 00° 29,0'	13-mai	16:35	27	N 49° 40,0' W 00° 47,3'	16-mai	14:02
4	N 49° 24,2' W 00° 29,0'	13-mai	17:35	28	N 49° 23,0' W 00° 48,2'	16-mai	16:43
5	N 49° 39,5' W 00° 13,7'	13-mai	20:35	29	N 49° 28,7' W 00° 48,2'	16-mai	17:40
6	N 49° 33,4' W 00° 13,7'	13-mai	21:45	30	N 49° 34,3' W 00° 48,2'	16-mai	18:33
7	N 49° 26,2' W 00° 13,7'	13-mai	22:50	31	N 49° 40,0' W 00° 48,2'	16-mai	19:30
8	N 49° 20,1' W 00° 15,4'	14-mai	00:00	32	N 49° 26,0' W 01° 05,4'	17-mai	05:20
9	N 49° 23,2' E 00° 00,5'	14-mai	09:45	33	N 49° 30,0' W 01° 07,5'	17-mai	06:30
10	N 49° 27,0' E 00° 00,4'	14-mai	10:30	34	N 49° 35,3' W 01° 10,0'	17-mai	07:33
11	N 49° 33,1' E 00° 00,4'	14-mai	11:35	35	N 49° 40,0' W 01° 10,0'	17-mai	08:10
12	N 49° 39,4' E 00° 03,8'	14-mai	12:40	36	N 49° 40,0' W 01° 10,0'	17-mai	12:03
13	N 49° 39,3' E 00° 03,9'	14-mai	15:10	37	N 49° 35,4' W 01° 10,0'	17-mai	13:00
14	N 49° 33,2' E 00° 00,4'	14-mai	16:40	38	N 49° 30,0' W 01° 07,4'	17-mai	13:55
15	N 49° 28,0' E 00° 00,5'	14-mai	17:35	39	N 49° 26,0' W 01° 05,0'	17-mai	14:35
16	N 49° 24,1' W 00° 29,0'	15-mai	09:50	40	N 49° 23,3' E 00° 00,4'	17-mai	19:30
17	N 49° 28,9' W 00° 28,9'	15-mai	10:40	140	N 49° 33,4' E 00° 02,4'	14-mai	16:15
18	N 49° 35,8' W 00° 28,8'	15-mai	11:45	240	N 49° 23,0' W 00° 45,0'	15-mai	21:54
19	N 49° 40,0' W 00° 29,0'	15-mai	12:45	241	N 49° 23,0' W 00° 45,0'	16-mai	07:30
20	N 49° 39,6' W 00° 12,4'	15-mai	15:50	242	N 49° 23,0' W 00° 45,0'	16-mai	09:25
21	N 49° 33,4' W 00° 13,7'	15-mai	17:20	320	N 49° 26,0' W 01° 05,4'	16-mai	21:45
22	N 49° 26,0' W 00° 13,8'	15-mai	18:20	321	N 49° 26,0' W 01° 05,4'	17-mai	00:35
23	N 49° 20,3' W 00° 15,0'	15-mai	19:15	322	N 49° 26,0' W 01° 05,4'	17-mai	02:50
24	N 49° 23,0' W 00° 48,2'	16-mai	10:50	350	N 49° 40,0' W 01° 10,0'	17-mai	10:00

Stations



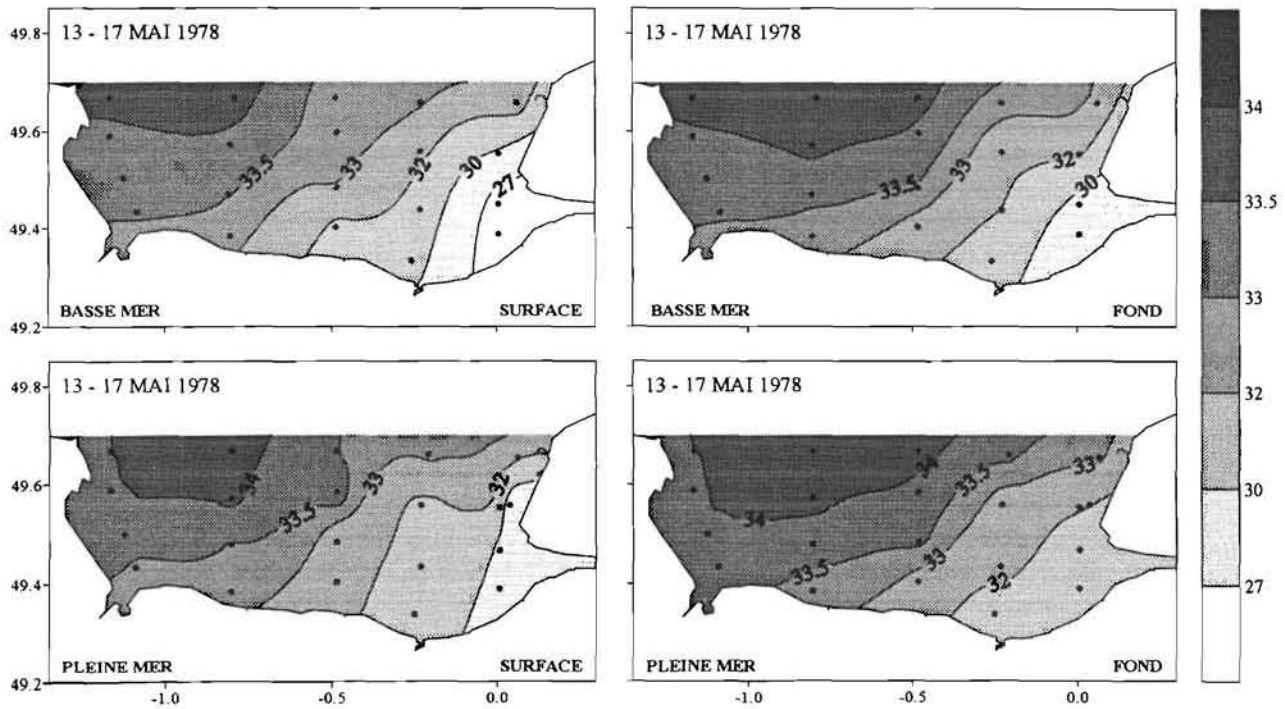
### TEMPÉRATURE

°C

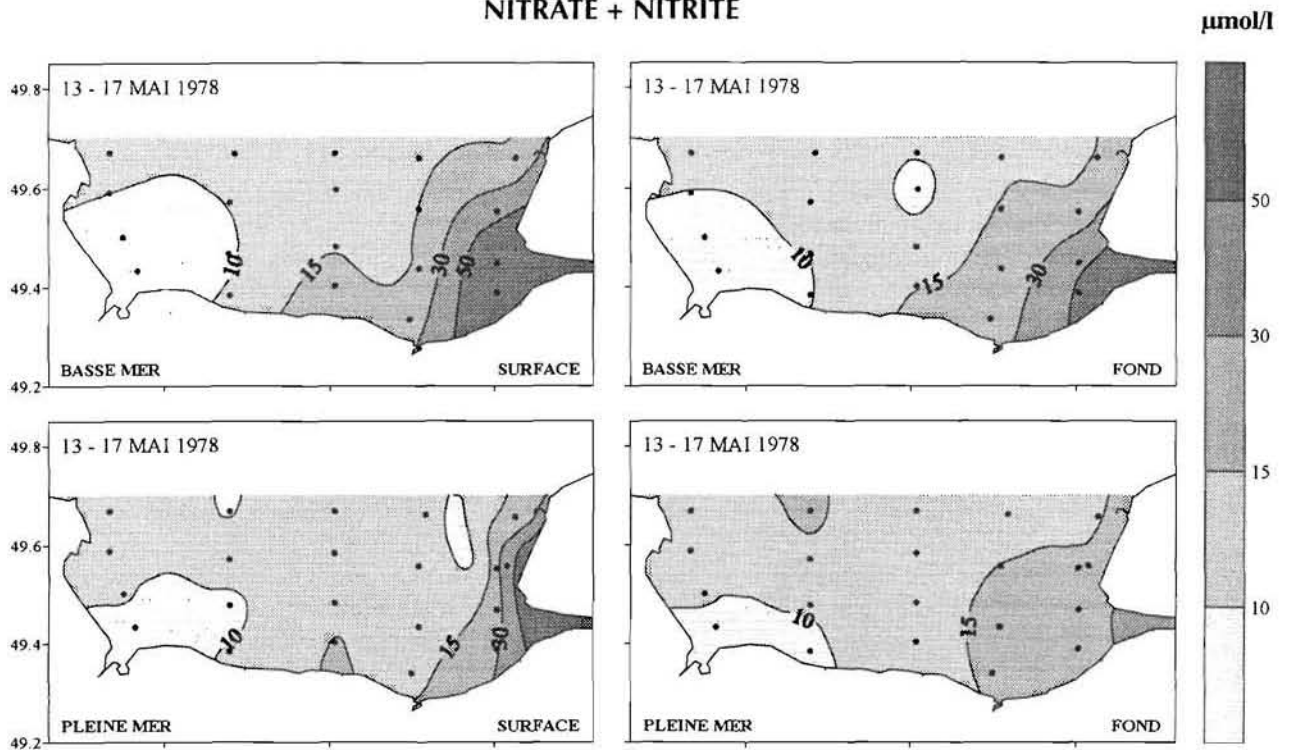


### SALINITÉ

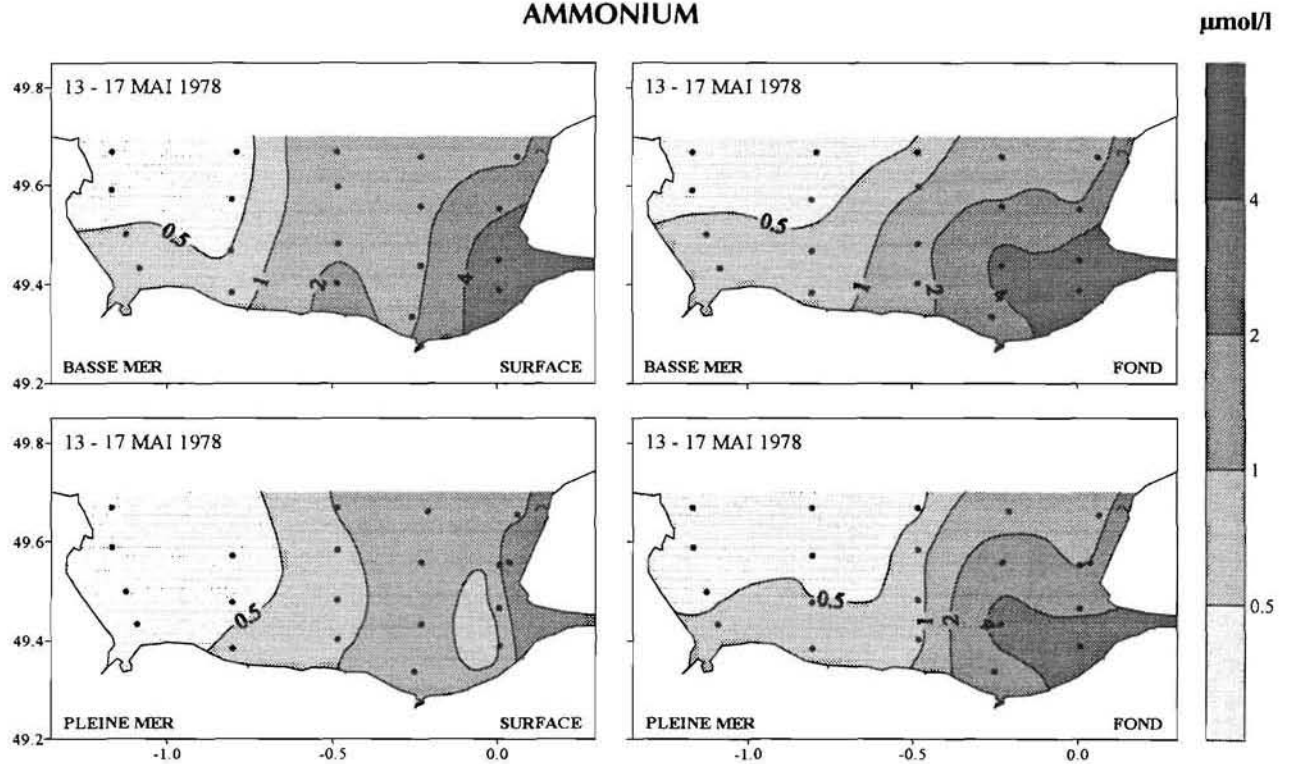
PSS



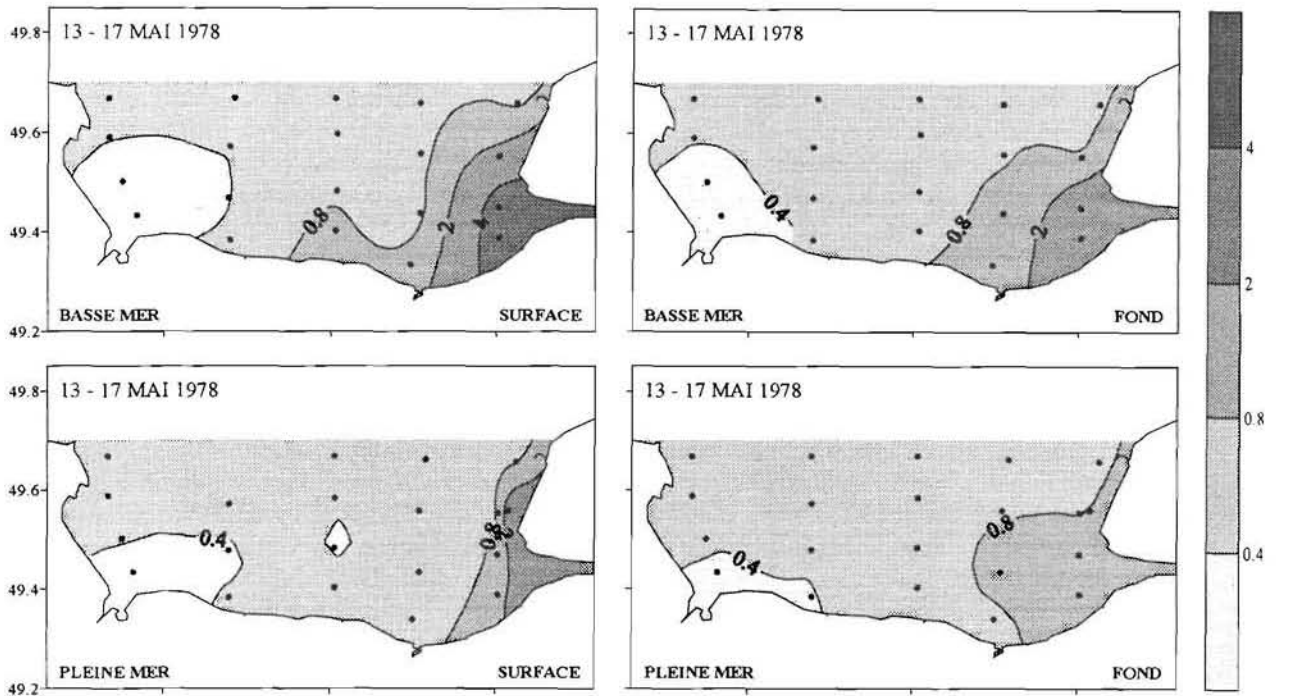
**NITRATE + NITRITE**



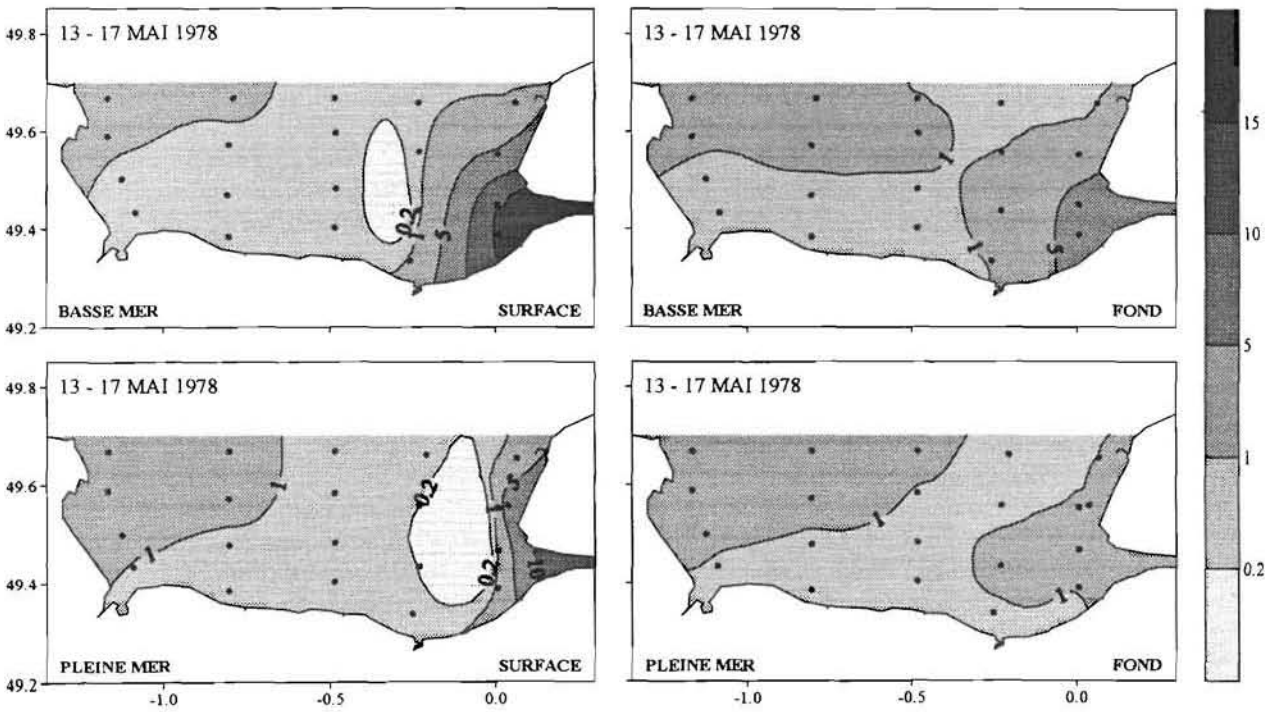
**AMMONIUM**



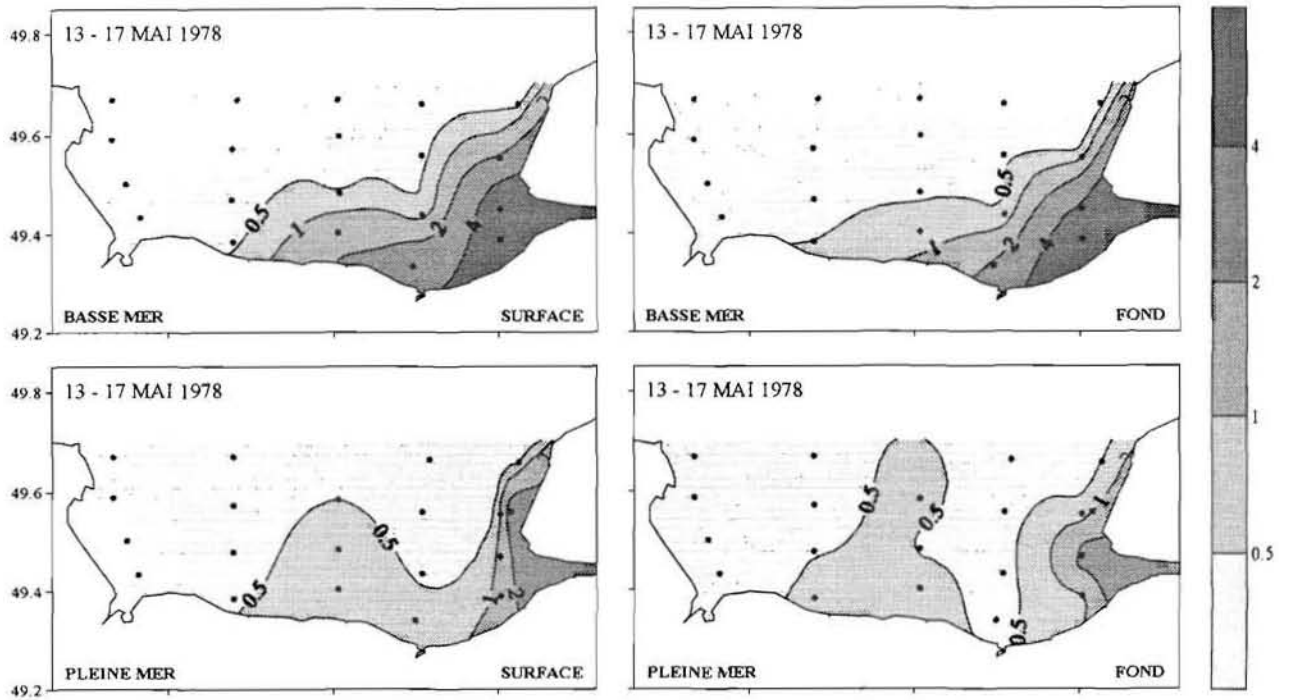
### PHOSPHATE



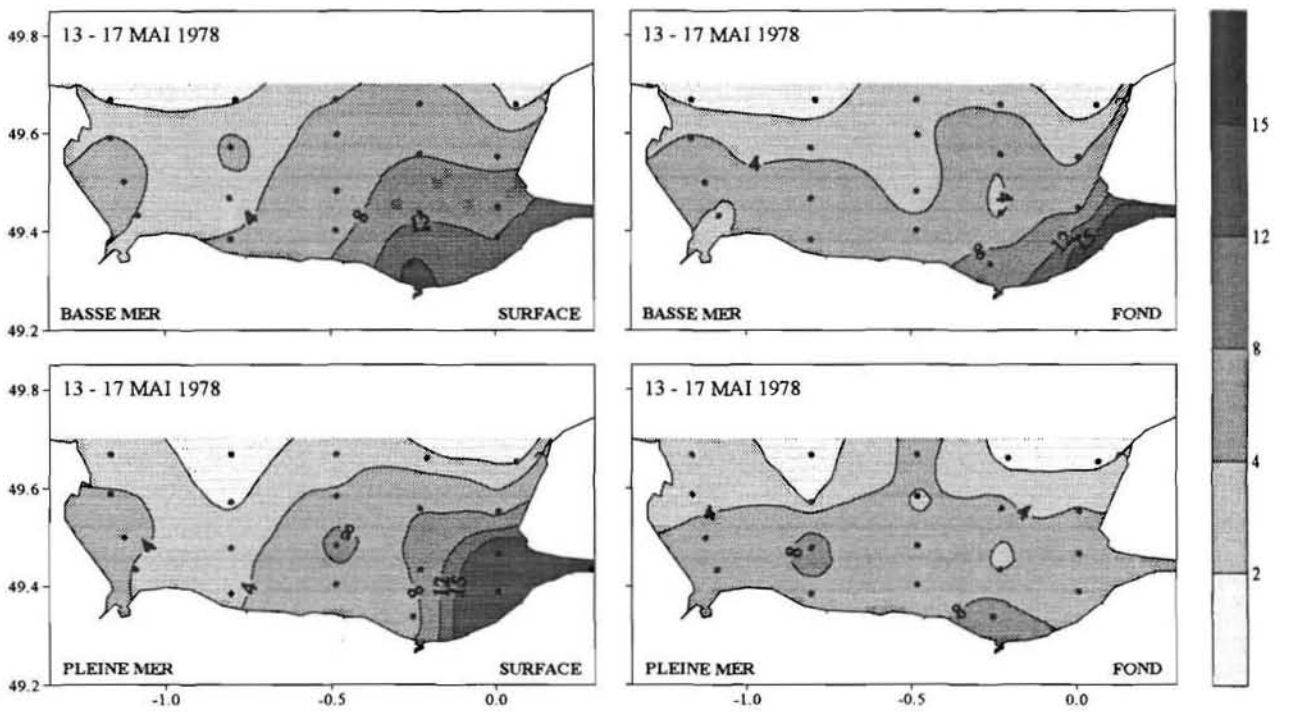
### SILICATE



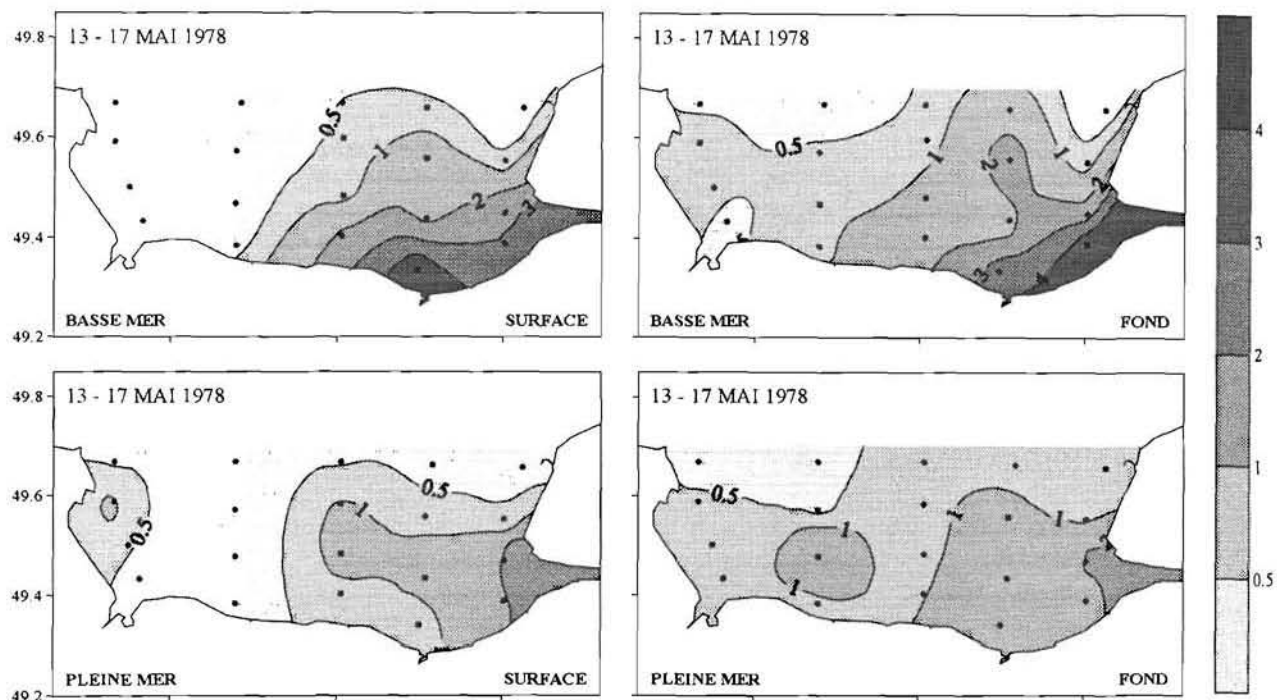
### TURBIDITÉ



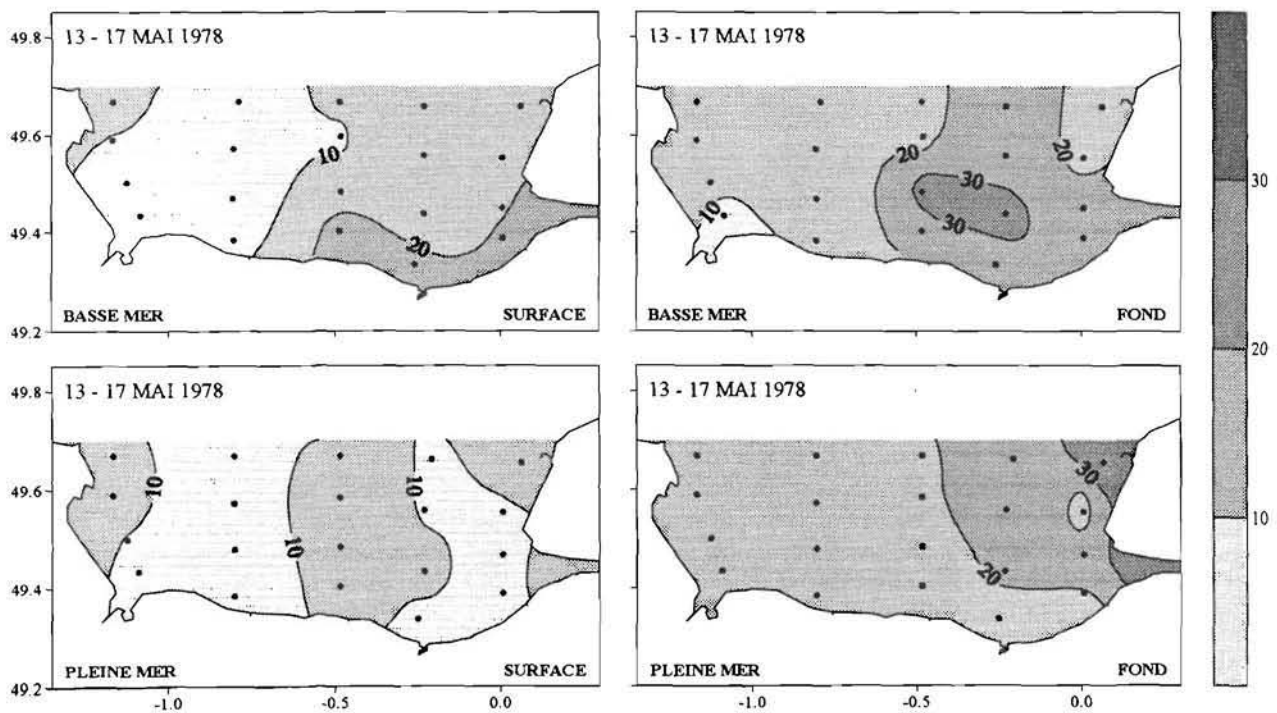
### CHLOROPHYLLE a



### PHÉOPIGMENTS

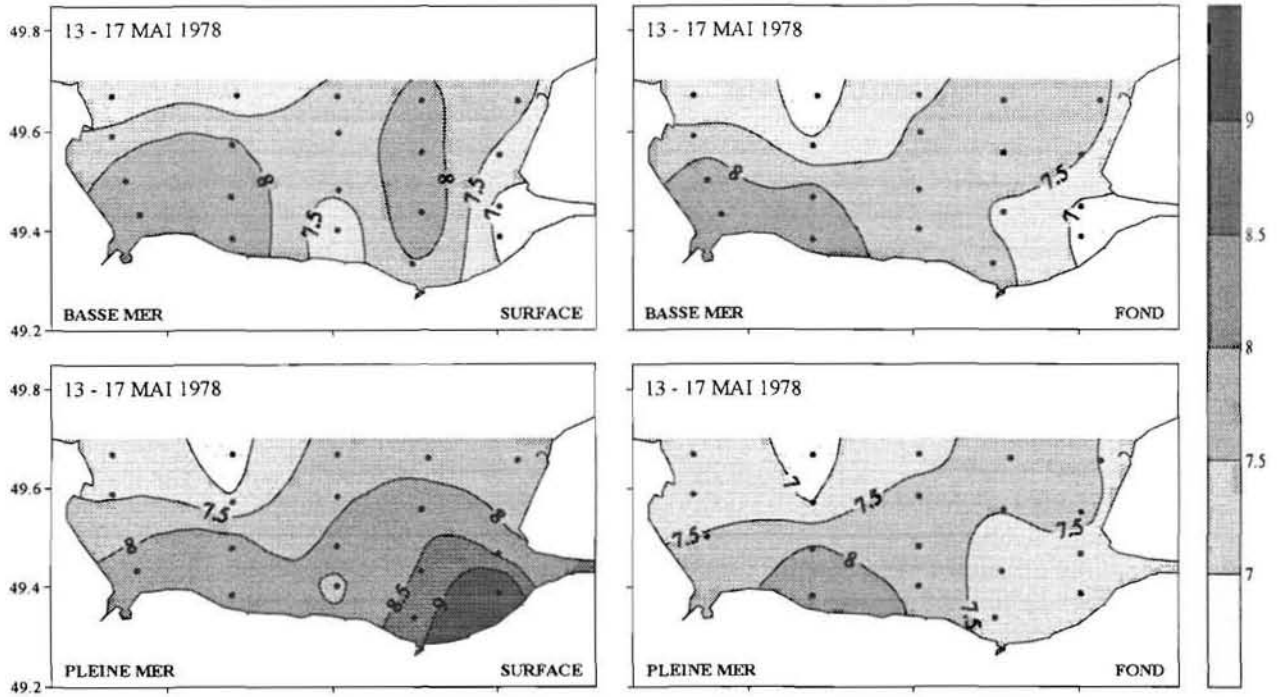


### % PHÉOPIGMENTS

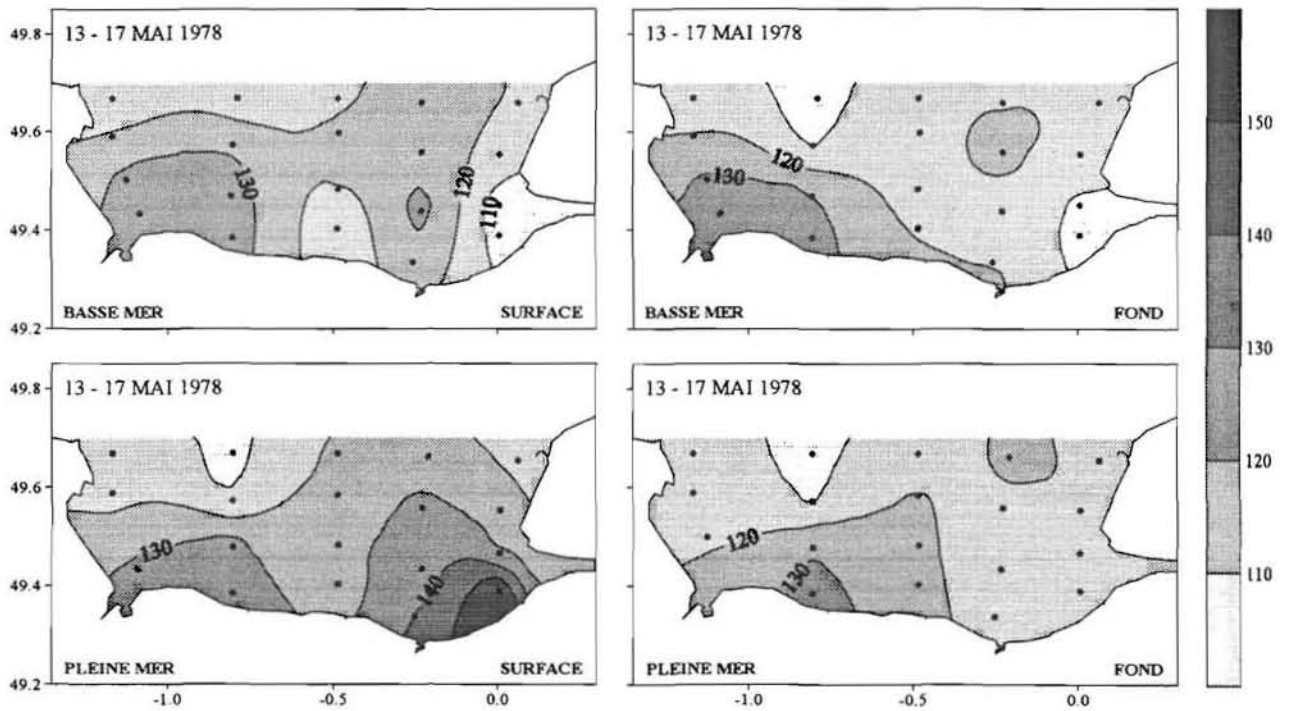




### OXYGÈNE DISSOUS

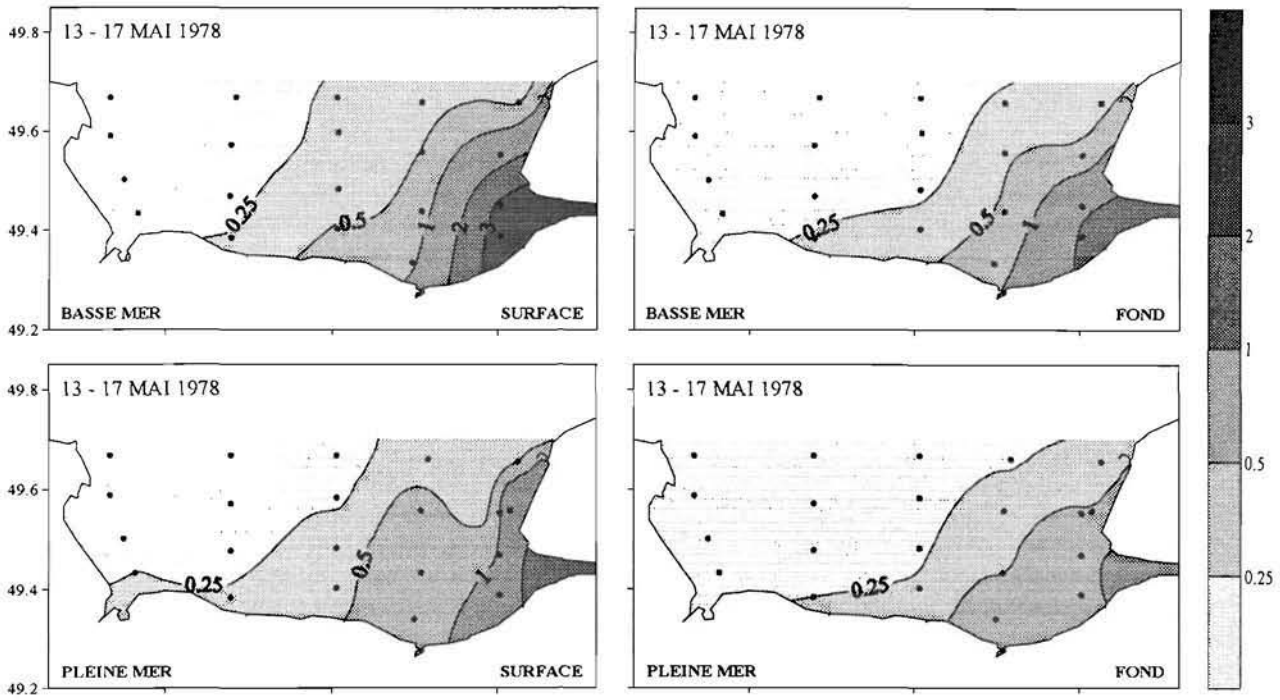


### OXYGÈNE DISSOUS : % SATURATION



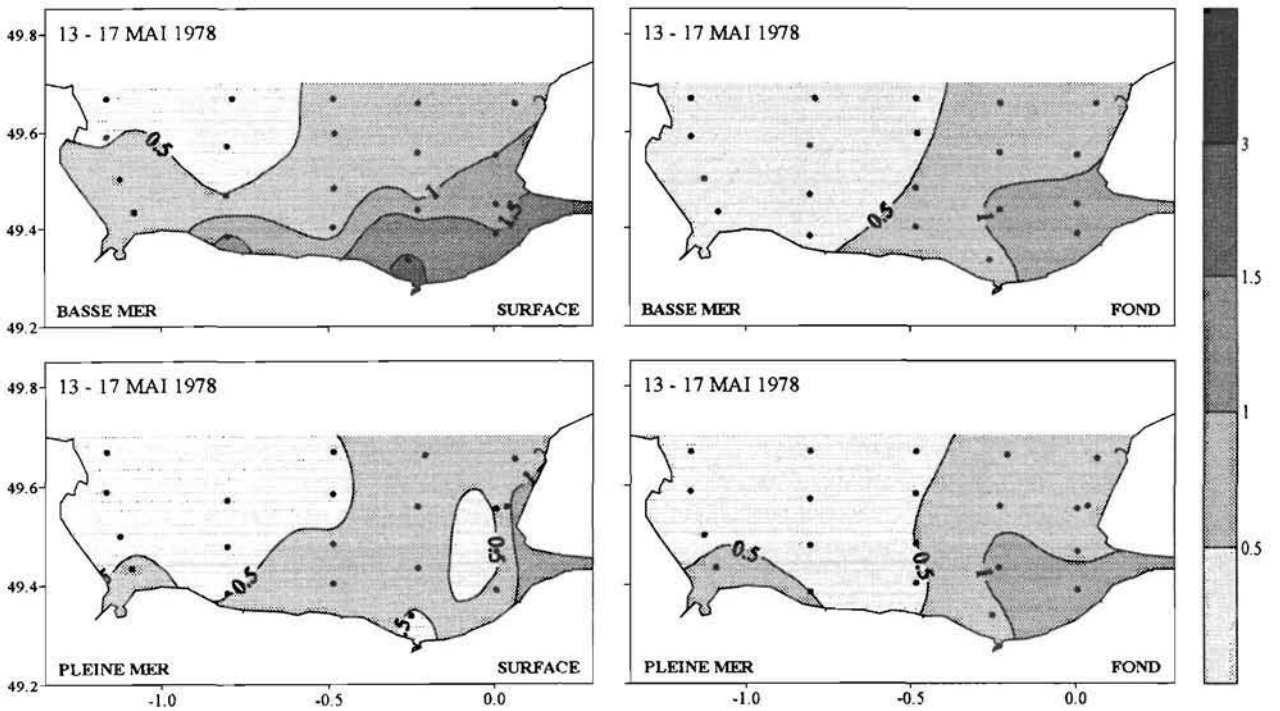
**NITRITE**

$\mu\text{mol/l}$



**URÉE (en N)**

$\mu\text{mol/l}$

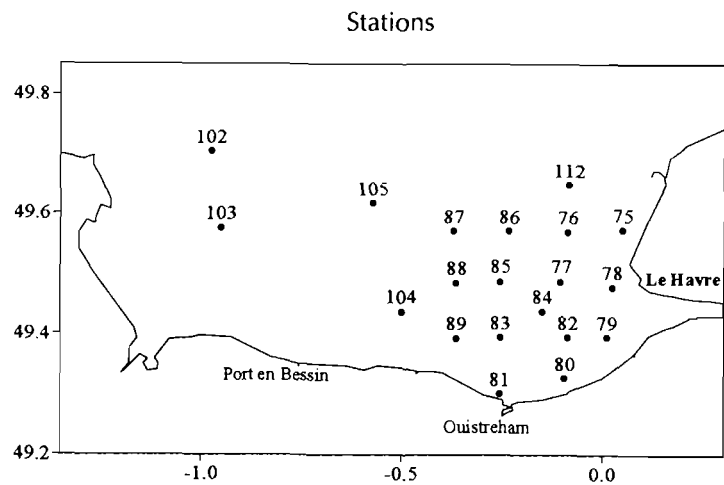




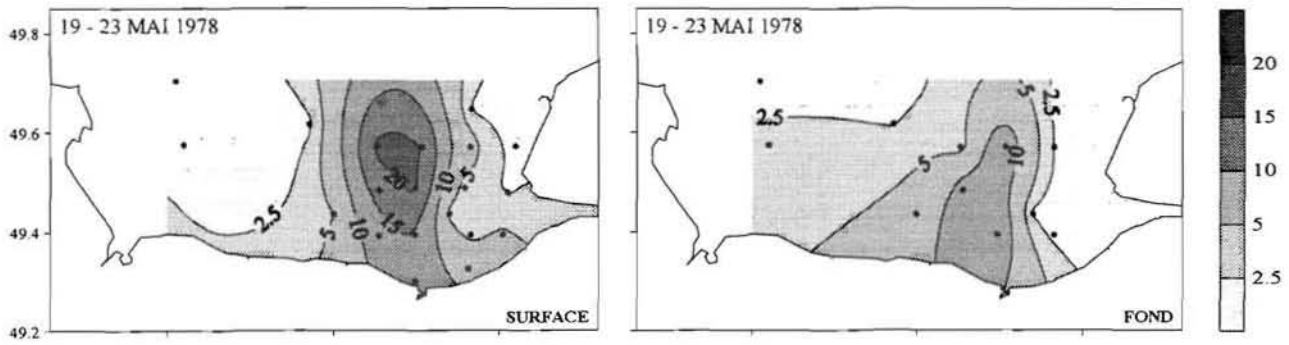
**CAMPAGNE ÉCOMANCHE 1**  
**19 - 23 mai 1978**

ÉCOMANCHE 1, 19 - 23 mai 1978, coefficients 62 - 101, débit de la Seine 590 - 665 m<sup>3</sup>/s.

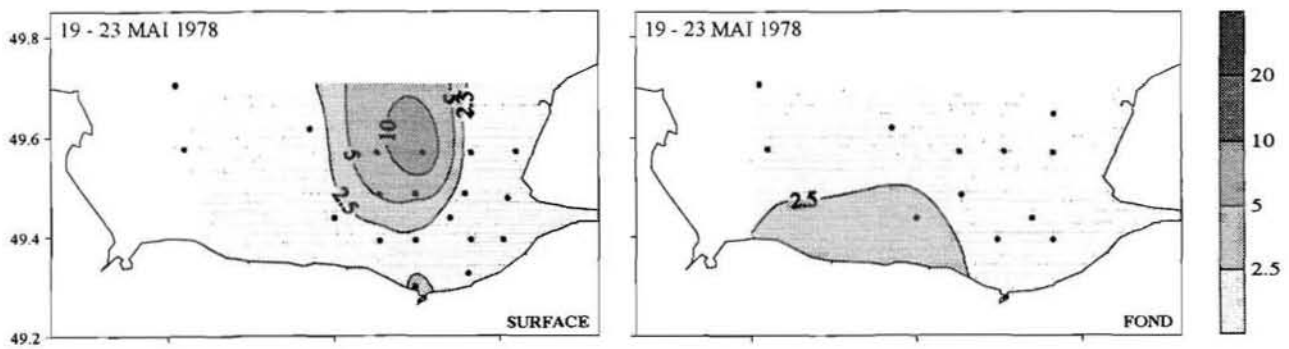
STA	POSITION		DATE	TU + 2
75	N 49° 34,3'	E 00° 03,0'	19-mai	12:00
76	N 49° 34,1'	W 00° 05,2'	19-mai	13:15
77	N 49° 29,2'	W 00° 06,2'	19-mai	14:25
78	N 49° 28,6'	E 00° 01,5'	19-mai	15:30
79	N 49° 23,6'	E 00° 00,6'	19-mai	16:38
80	N 49° 19,5'	W 00° 05,7'	19-mai	17:33
81	N 49° 18,0'	W 00° 15,3'	19-mai	18:30
82	N 49° 23,6'	W 00° 05,2'	19-mai	19:28
83	N 49° 23,6'	W 00° 15,3'	19-mai	20:40
84	N 49° 26,2'	W 00° 09,0'	19-mai	21:35
85	N 49° 29,2'	W 00° 15,3'	19-mai	22:35
86	N 49° 34,2'	W 00° 14,0'	19-mai	23:37
87	N 49° 34,2'	W 00° 22,2'	20-mai	00:40
88	N 49° 29,0'	W 00° 21,7'	20-mai	02:00
89	N 49° 23,5'	W 00° 21,8'	20-mai	03:05
102	N 49° 42,2'	W 00° 58,5'	22-mai	08:17
103	N 49° 34,5'	W 00° 57,0'	22-mai	09:12
104	N 49° 26,2'	W 00° 30,0'	22-mai	11:00
105	N 49° 37,0'	W 00° 34,3'	22-mai	12:15
112	N 49° 38,8'	W 00° 05,0'	23-mai	00:25



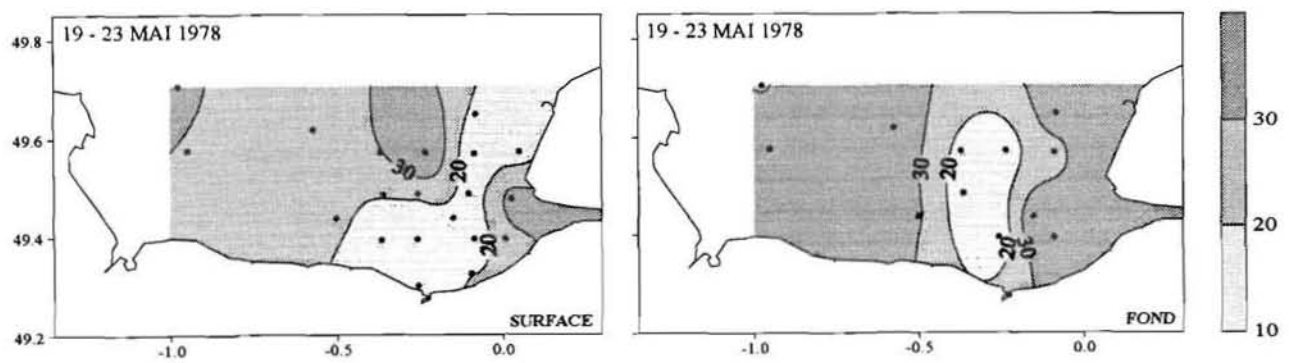
### CHLOROPHYLLE a



### PHÉOPIGMENTS



### % PHÉOPIGMENTS





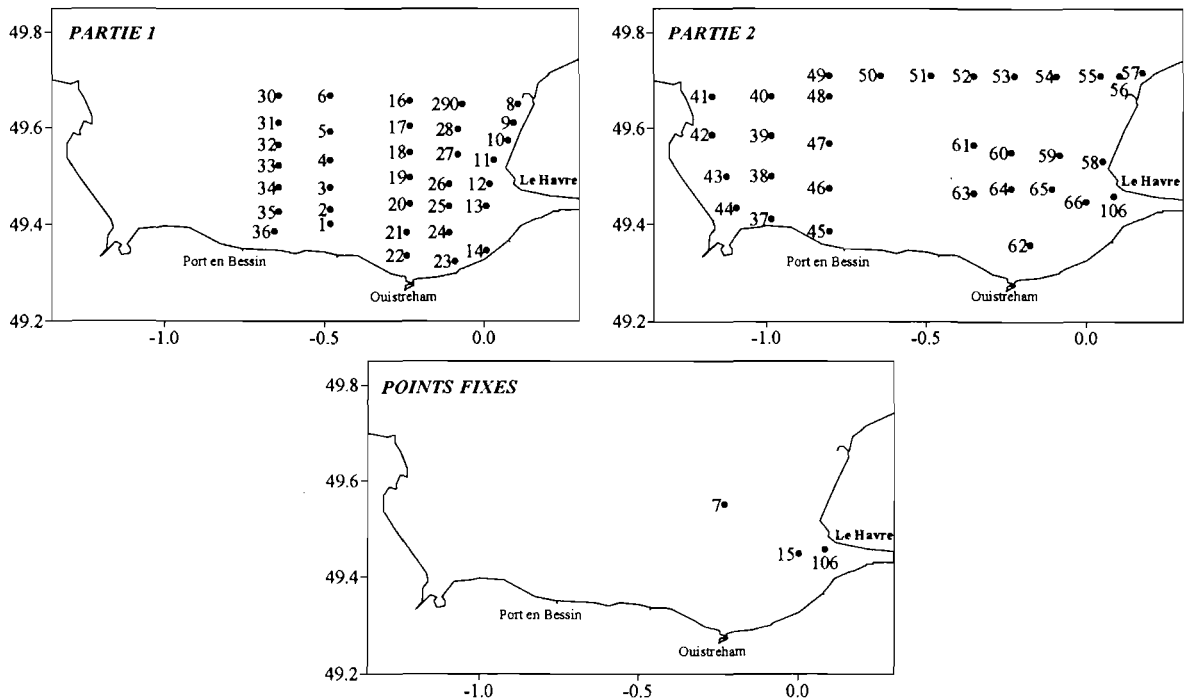
**CAMPAGNE THALIA 2**  
**23 septembre - 5 octobre 1978**  
partie 1 : 23-28 septembre  
partie 2 : 2-5 octobre



**THALIA 2, 23 sept. - 5 oct. 1978, coefficients 33 - 97, débit de la Seine 110 - 215 m<sup>3</sup>/s.**

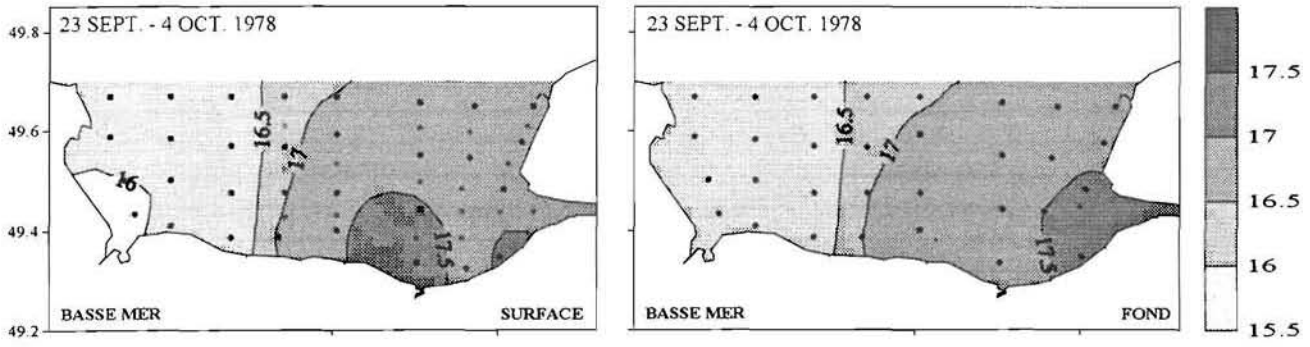
STA	POSITION		DATE	TU + 2	STA	POSITION		DATE	TU + 1
<b>PARTIE 1</b>					<b>PARTIE 2</b>				
1	N 49° 24,0'	W 00° 29,0'	23-sept	08:30	37	N 49° 24,6'	W 00° 59,0'	02-oct	11:10
2	N 49° 25,8'	W 00° 29,0'	23-sept	09:25	38	N 49° 30,0'	W 00° 59,0'	02-oct	11:55
3	N 49° 28,5'	W 00° 29,0'	23-sept	10:08	39	N 49° 35,0'	W 00° 59,0'	02-oct	12:40
4	N 49° 32,0'	W 00° 29,0'	23-sept	10:45	40	N 49° 40,0'	W 00° 59,0'	02-oct	13:25
5	N 49° 35,6'	W 00° 29,0'	23-sept	11:40	41	N 49° 40,0'	W 01° 10,0'	02-oct	15:55
6	N 49° 40,0'	W 00° 29,0'	23-sept	12:40	42	N 49° 35,2'	W 01° 10,0'	02-oct	16:35
8	N 49° 39,0'	E 00° 06,5'	24-sept	09:35	43	N 49° 30,0'	W 01° 07,5'	02-oct	17:25
9	N 49° 36,6'	E 00° 05,5'	24-sept	10:20	44	N 49° 26,0'	W 01° 05,5'	02-oct	18:05
10	N 49° 34,5'	E 00° 04,5'	24-sept	10:50	45	N 49° 23,1'	W 00° 48,2'	03-oct	04:00
11	N 49° 32,0'	E 00° 02,0'	24-sept	11:25	46	N 49° 28,5'	W 00° 48,2'	03-oct	05:00
12	N 49° 29,0'	E 00° 01,0'	24-sept	12:00	47	N 49° 34,1'	W 00° 48,2'	03-oct	05:40
13	N 49° 26,2'	E 00° 00,5'	24-sept	12:40	48	N 49° 40,0'	W 00° 48,2'	03-oct	06:50
14	N 49° 20,7'	E 00° 00,5'	24-sept	13:20	49	N 49° 42,6'	W 00° 48,2'	03-oct	07:30
16	N 49° 39,4'	W 00° 14,0'	25-sept	10:00	50	N 49° 42,6'	W 00° 38,5'	03-oct	08:15
17	N 49° 36,2'	W 00° 14,0'	25-sept	10:40	51	N 49° 42,6'	W 00° 29,0'	03-oct	09:00
18	N 49° 33,0'	W 00° 14,0'	25-sept	11:20	52	N 49° 42,6'	W 00° 21,0'	03-oct	09:35
19	N 49° 29,8'	W 00° 14,0'	25-sept	11:50	53	N 49° 42,6'	W 00° 13,5'	03-oct	10:15
20	N 49° 26,5'	W 00° 14,0'	25-sept	12:35	54	N 49° 42,6'	W 00° 05,5'	03-oct	10:55
21	N 49° 23,0'	W 00° 14,5'	25-sept	13:10	55	N 49° 42,6'	E 00° 02,5'	03-oct	11:45
22	N 49° 20,1'	W 00° 14,5'	25-sept	13:47	56	N 49° 42,6'	E 00° 06,0'	03-oct	12:15
23	N 49° 19,4'	W 00° 05,5'	26-sept	11:40	57	N 49° 43,0'	E 00° 10,5'	03-oct	12:40
24	N 49° 23,0'	W 00° 06,5'	26-sept	12:20	58	N 49° 31,8'	E 00° 03,0'	03-oct	16:55
25	N 49° 26,2'	W 00° 06,5'	26-sept	13:00	59	N 49° 32,7'	W 00° 05,0'	03-oct	18:00
26	N 49° 29,0'	W 00° 06,5'	26-sept	13:25	60	N 49° 33,0'	W 00° 14,0'	03-oct	19:00
27	N 49° 32,7'	W 00° 05,0'	26-sept	14:07	61	N 49° 34,0'	W 00° 21,0'	03-oct	19:40
28	N 49° 35,8'	W 00° 05,0'	26-sept	14:40	62	N 49° 21,5'	W 00° 10,5'	04-oct	05:05
29	N 49° 39,0'	W 00° 04,0'	26-sept	15:15	63	N 49° 28,0'	W 00° 21,0'	04-oct	06:20
30	N 49° 40,0'	W 00° 38,5'	28-sept	13:20	64	N 49° 28,5'	W 00° 14,0'	04-oct	07:05
31	N 49° 36,6'	W 00° 38,5'	28-sept	14:00	65	N 49° 28,5'	W 00° 06,5'	04-oct	07:50
32	N 49° 34,0'	W 00° 38,5'	28-sept	14:55	66	N 49° 26,8'	E 00° 00,0'	04-oct	08:30
33	N 49° 31,3'	W 00° 38,5'	28-sept	15:35	<b>POINTS FIXES</b>				
34	N 49° 28,5'	W 00° 38,5'	28-sept	16:20	7	N 49° 33,0'	W 00° 14,0'	23-sept	cycle
35	N 49° 25,5'	W 00° 38,5'	28-sept	16:45	15	N 49° 26,8'	E 00° 00,0'	24-sept	cycle
36	N 49° 23,1'	W 00° 39,5'	28-sept	17:15	106	N 49° 27,5'	E 00° 05,0'	05-oct	cycle

Stations



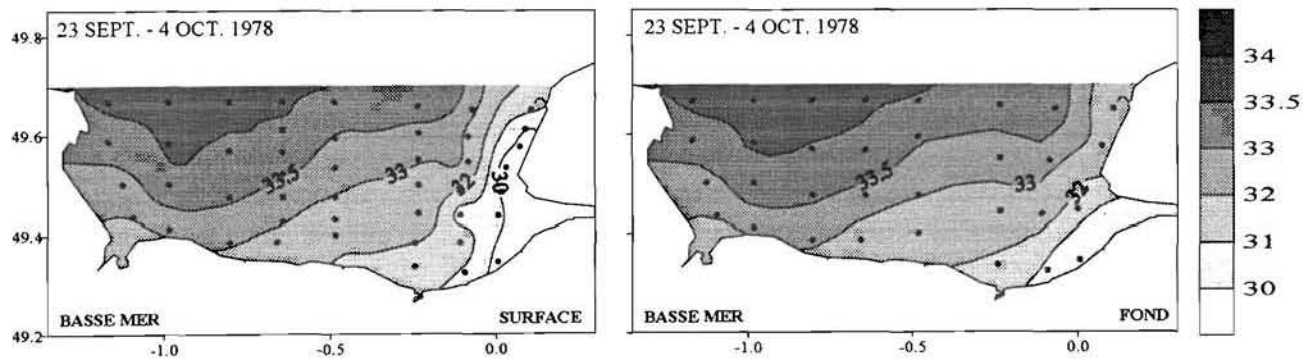
### TEMPÉRATURE

°C

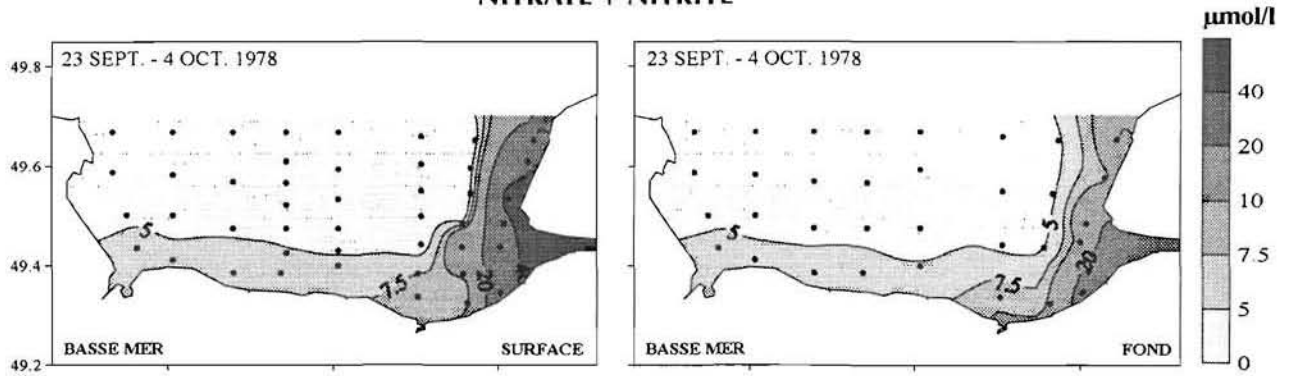


### SALINITÉ

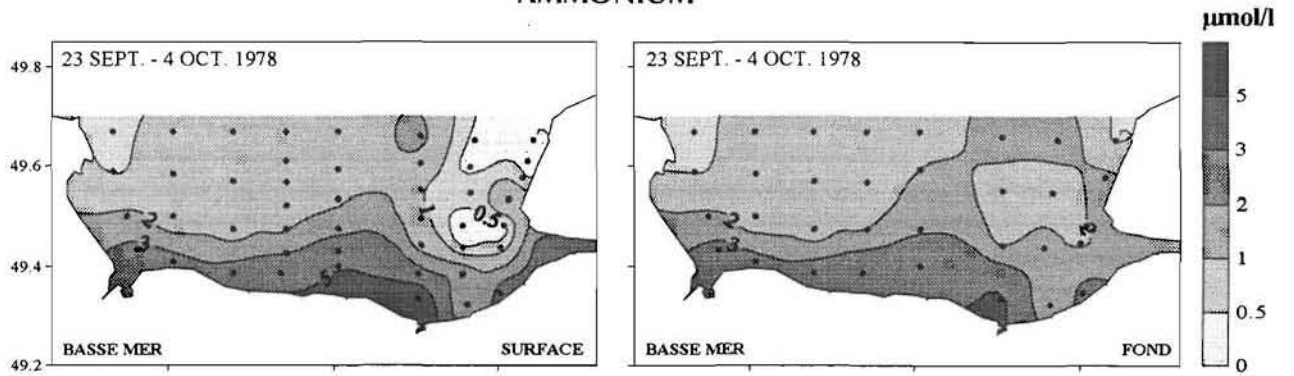
PSS



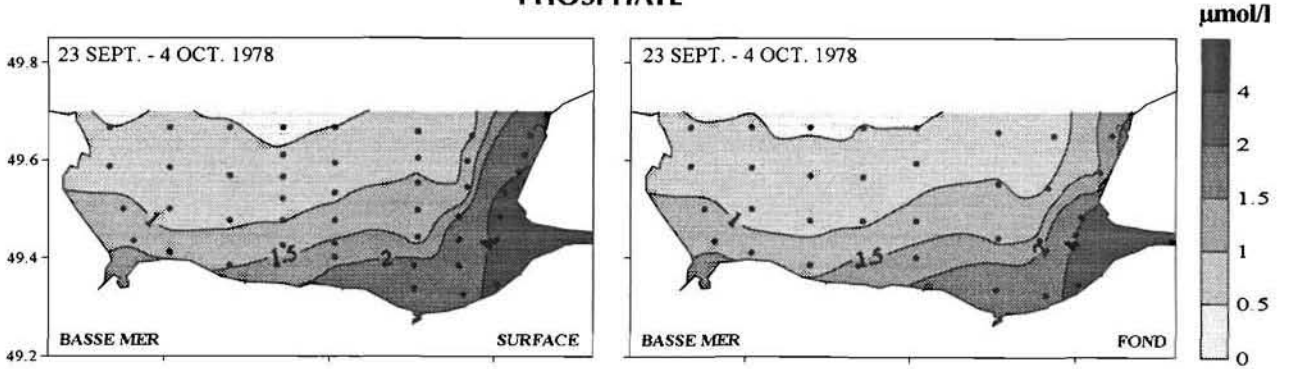
**NITRATE + NITRITE**



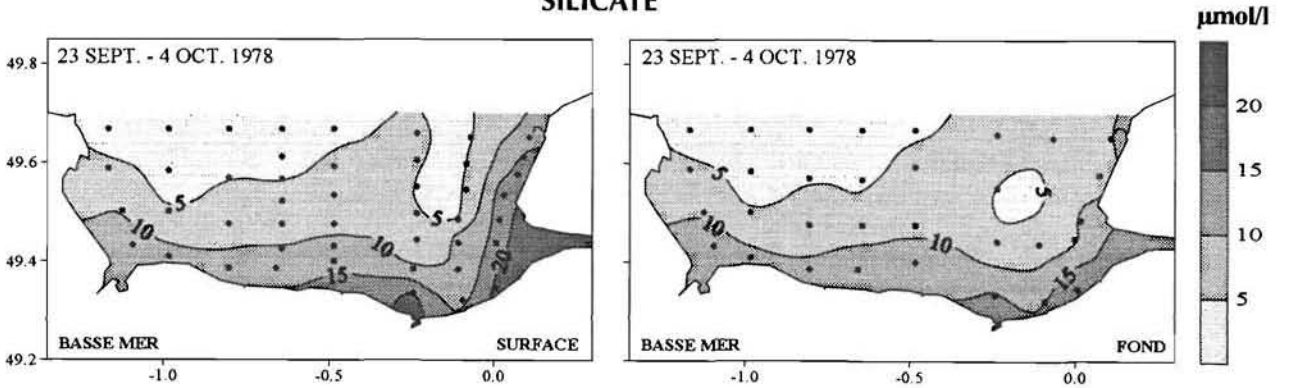
**AMMONIUM**



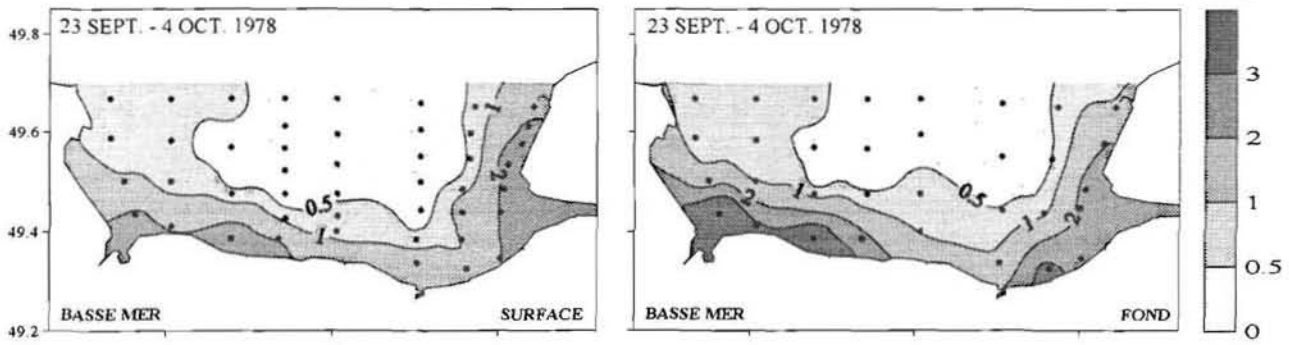
**PHOSPHATE**



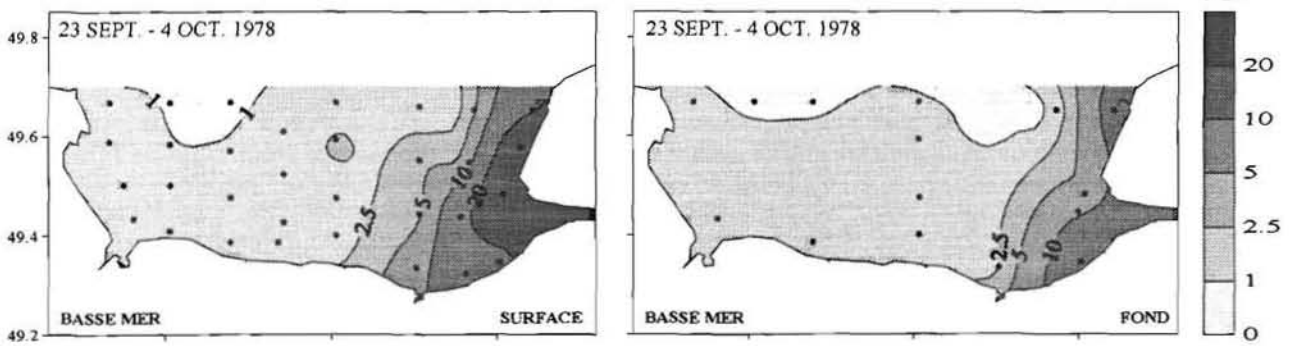
**SILICATE**



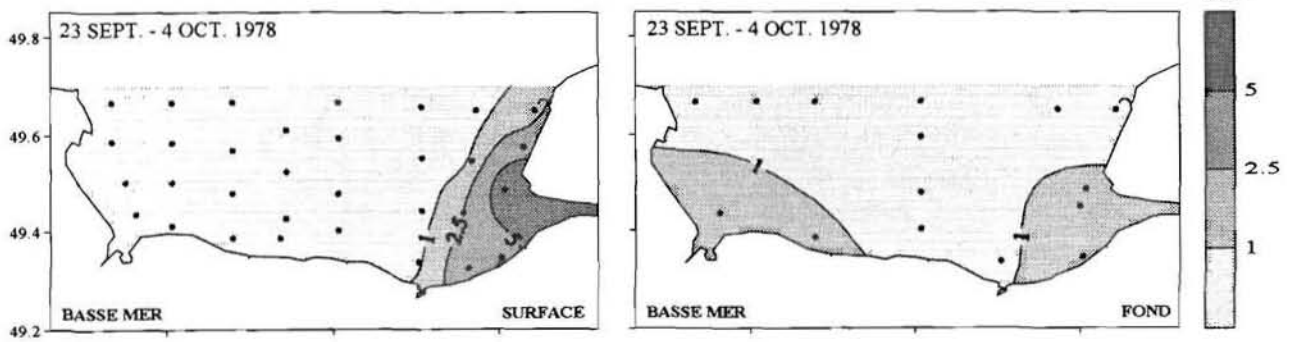
### TURBIDITÉ



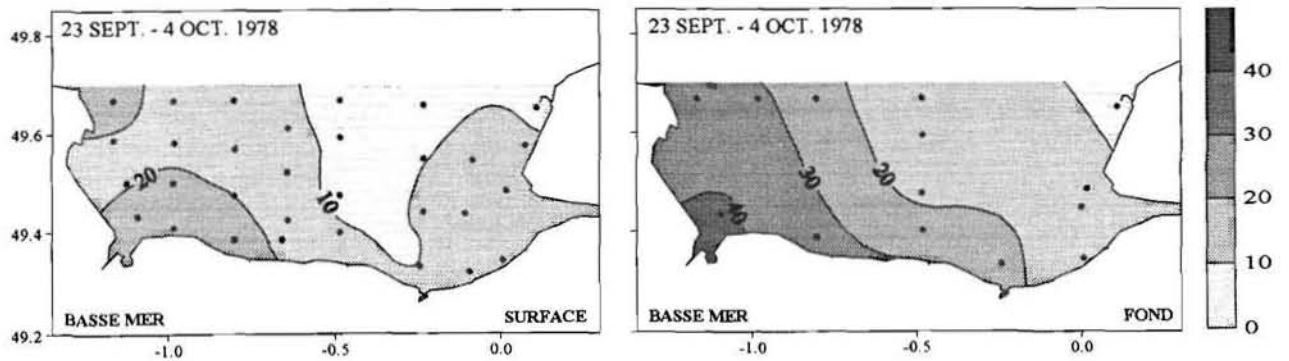
### CHLOROPHYLLE a



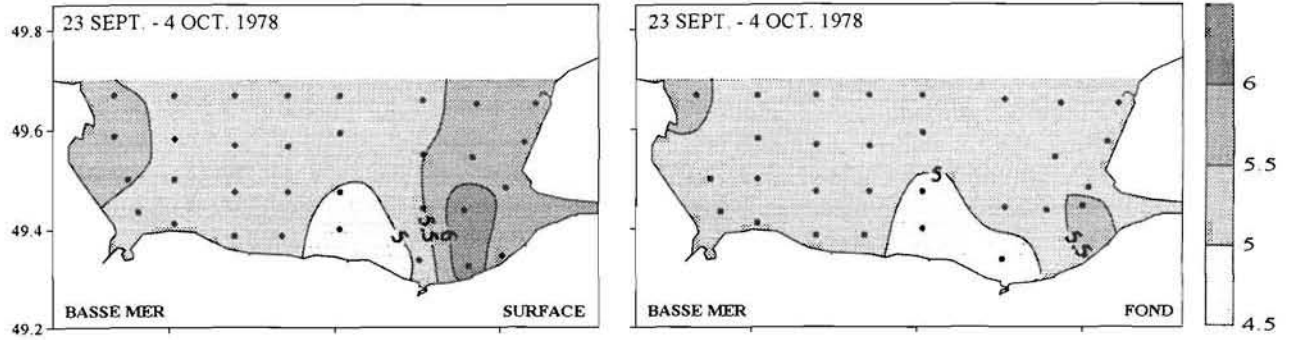
### PHÉOPIGMENTS



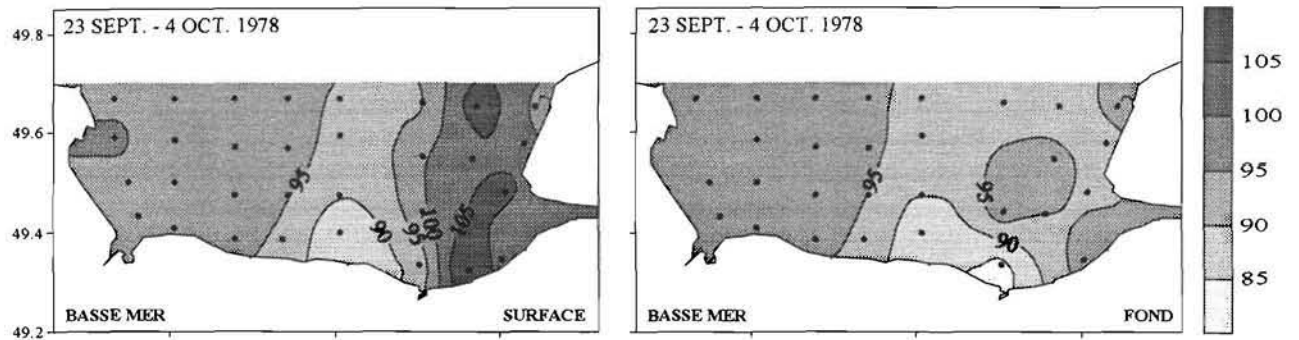
### % PHÉOPIGMENTS



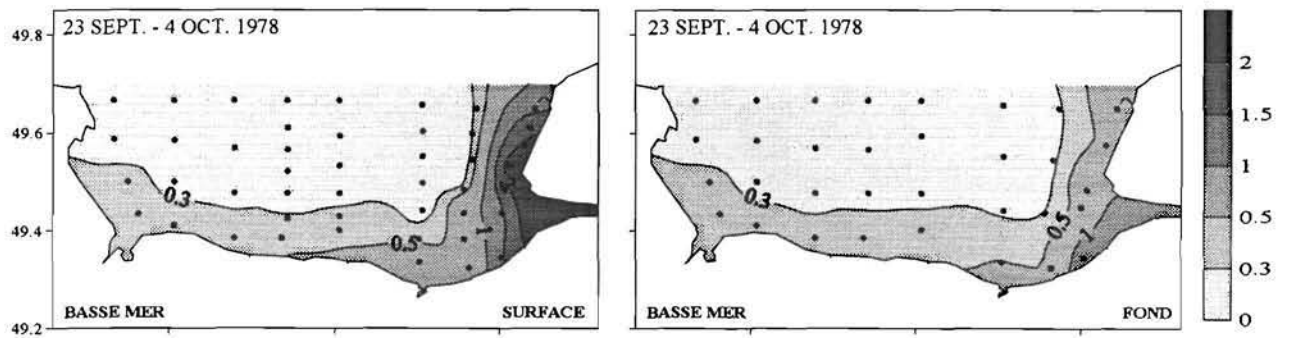
### OXYGÈNE DISSOUS



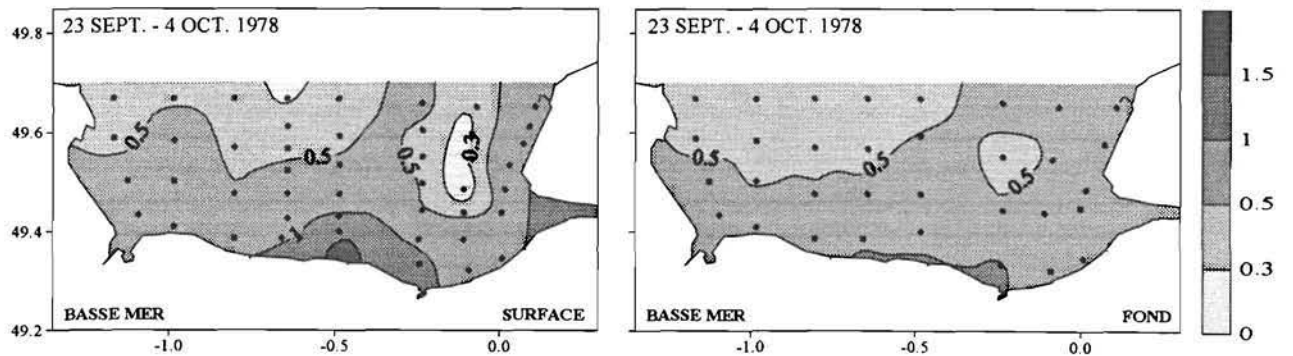
### OXYGÈNE DISSOUS : % SATURATION



### NITRITE



### URÉE (en N)

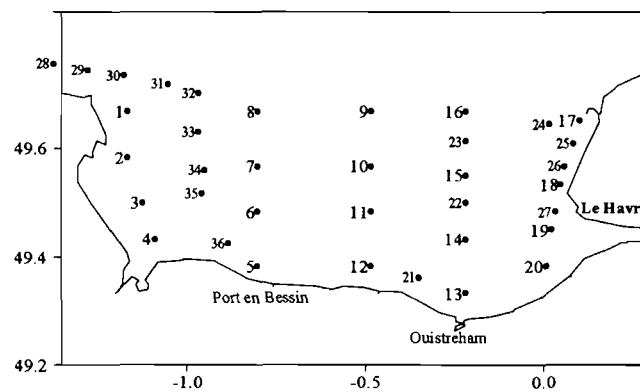


**CAMPAGNE THALIA 3**  
**8 - 14 mars 1979**

**THALIA 3, 8 - 14 mars 1979, coefficients 36 - 89, débit de la Seine 590 - 1070 m<sup>3</sup>/s.**

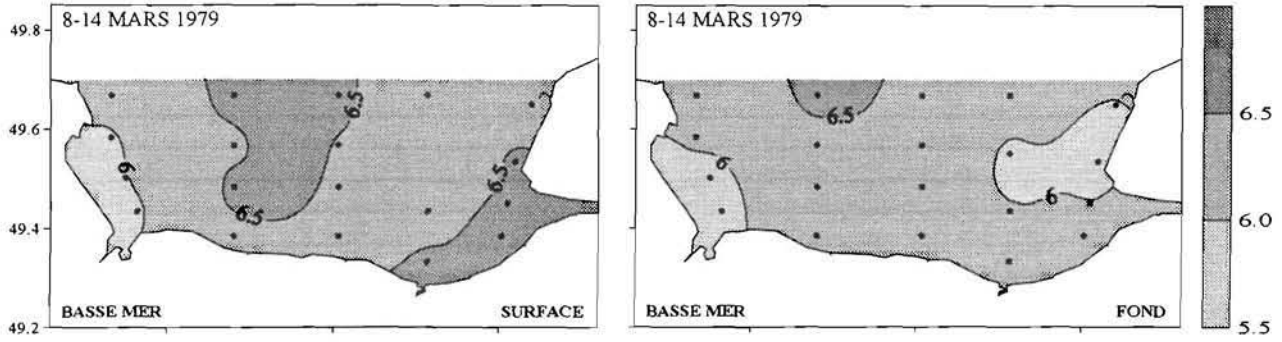
STA	POSITION		DATE	TU + 1
1	N 49° 40,0'	W 01° 10,0'	08-mars	11:28
2	N 49° 35,0'	W 01° 10,0'	08-mars	12:35
3	N 49° 30,0'	W 01° 07,4'	08-mars	13:41
4	N 49° 26,0'	W 01° 05,4'	08-mars	14:28
5	N 49° 23,0'	W 00° 48,0'	12-mars	09:45
6	N 49° 29,0'	W 00° 48,0'	12-mars	10:55
7	N 49° 34,0'	W 00° 48,0'	12-mars	11:50
8	N 49° 40,0'	W 00° 48,0'	12-mars	12:40
9	N 49° 40,0'	W 00° 29,0'	12-mars	14:30
10	N 49° 34,0'	W 00° 29,0'	12-mars	15:35
11	N 49° 29,0'	W 00° 29,0'	12-mars	16:25
12	N 49° 23,0'	W 00° 29,0'	12-mars	17:20
13	N 49° 20,0'	W 00° 13,0'	12-mars	18:40
14	N 49° 26,0'	W 00° 13,0'	12-mars	19:40
15	N 49° 33,0'	W 00° 13,0'	12-mars	20:40
16	N 49° 40,0'	W 00° 13,0'	12-mars	21:35
17	N 49° 39,0'	E 00° 06,0'	13-mars	05:25
18	N 49° 32,0'	E 00° 03,0'	13-mars	06:25
19	N 49° 27,0'	E 00° 01,5'	13-mars	07:15
20	N 49° 23,0'	E 00° 00,5'	13-mars	08:50
21	N 49° 21,8'	W 00° 20,8'	12-mars	18:00
22	N 49° 30,0'	W 00° 13,0'	12-mars	20:05
23	N 49° 36,7'	W 00° 13,0'	12-mars	21:05
24	N 49° 38,6'	E 00° 01,0'	13-mars	04:55
25	N 49° 36,5'	E 00° 05,0'	13-mars	05:45
26	N 49° 34,0'	E 00° 03,5'	13-mars	06:00
27	N 49° 29,0'	E 00° 02,0'	13-mars	06:48
28	N 49° 45,3'	W 01° 22,4'	09-mars	09:30
29	N 49° 44,6'	W 01° 16,6'	09-mars	10:00
30	N 49° 44,0'	W 01° 10,6'	09-mars	10:30
31	N 49° 43,0'	W 01° 03,2'	09-mars	11:00
32	N 49° 42,0'	W 00° 58,0'	09-mars	11:30
33	N 49° 37,8'	W 00° 58,0'	09-mars	12:00
34	N 49° 33,6'	W 00° 57,0'	09-mars	12:30
35	N 49° 31,0'	W 00° 57,5'	09-mars	13:00
36	N 49° 25,5'	W 00° 53,0'	09-mars	13:45

Stations



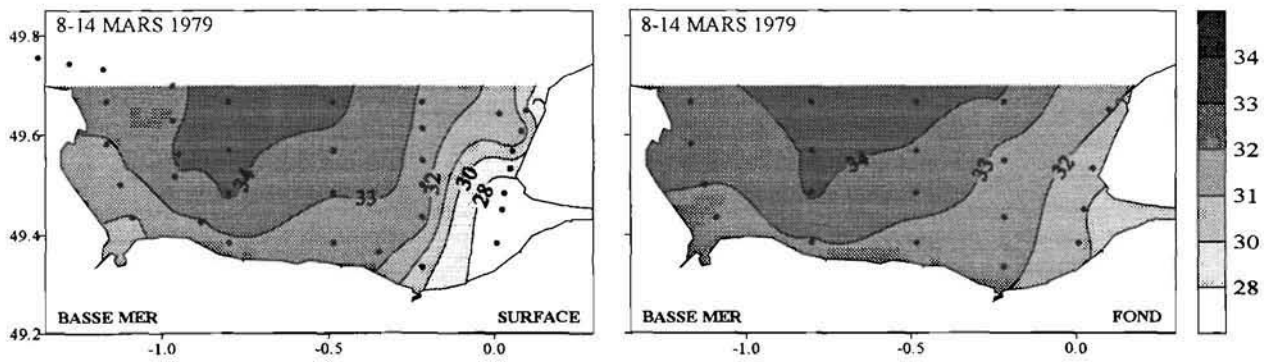
### TEMPÉRATURE

°C



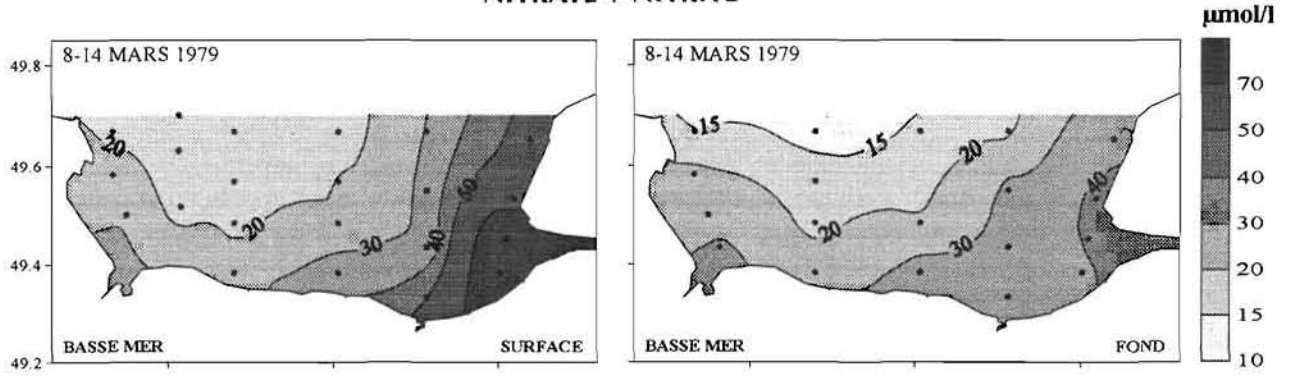
### SALINITÉ

PSS

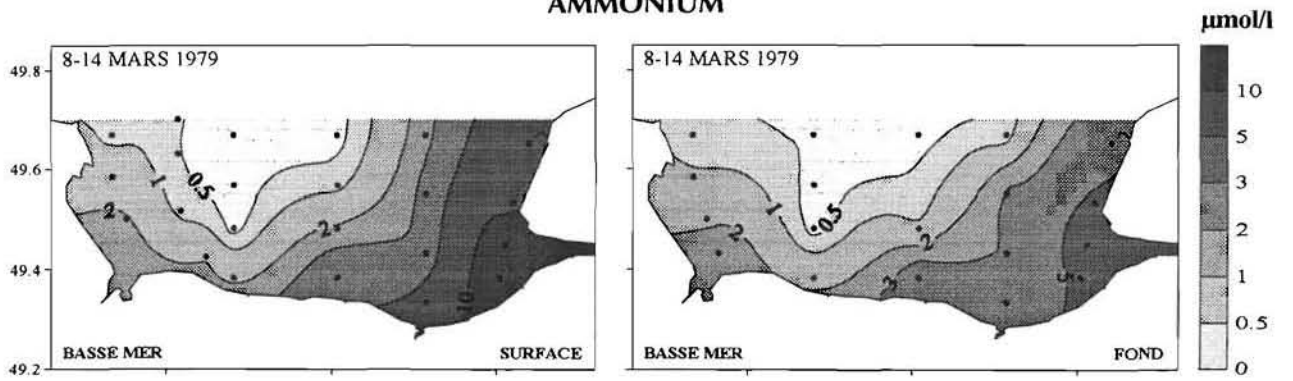




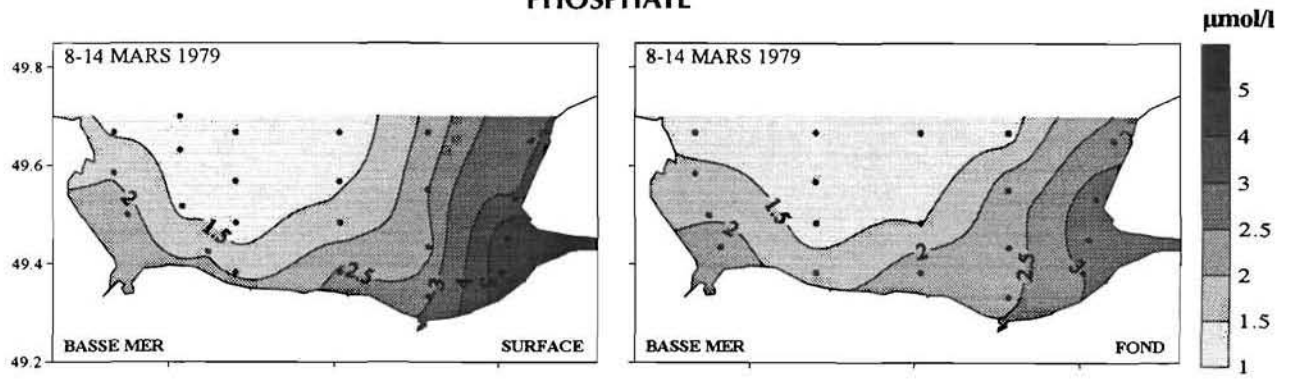
**NITRATE + NITRITE**



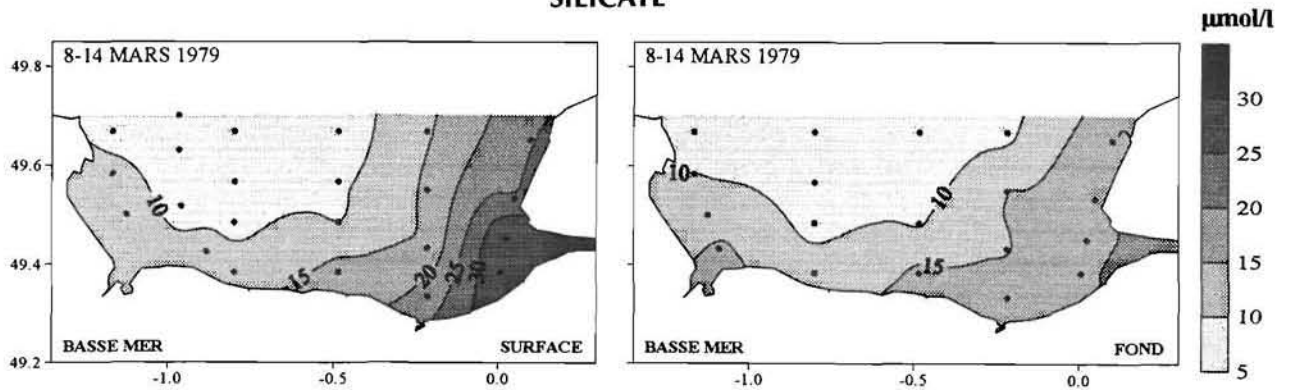
**AMMONIUM**



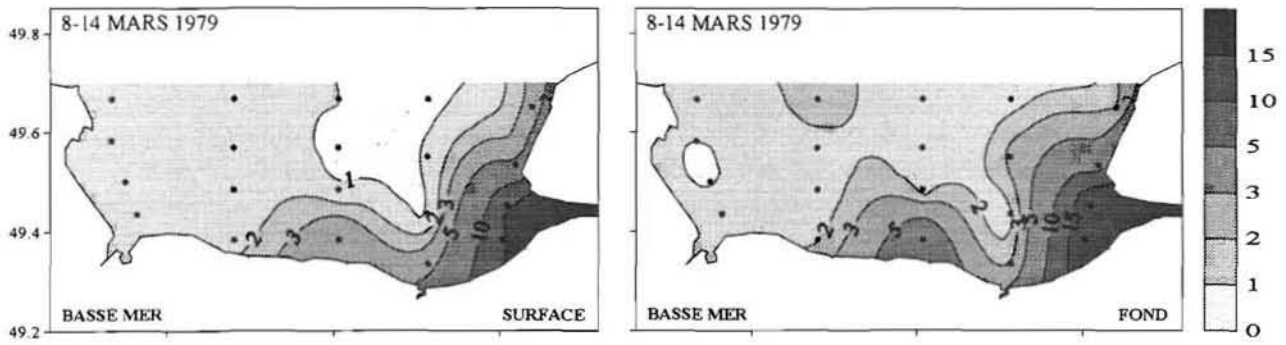
**PHOSPHATE**



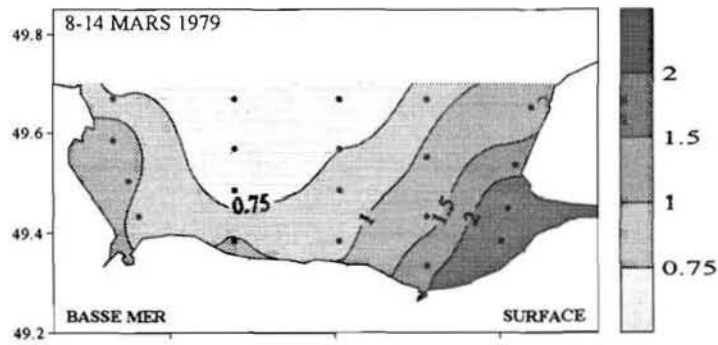
**SILICATE**



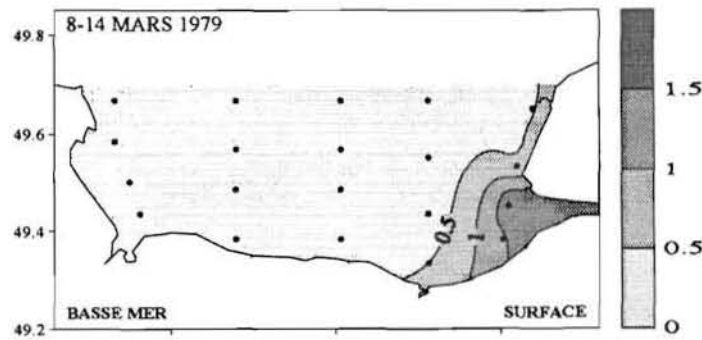
### TURBIDITÉ



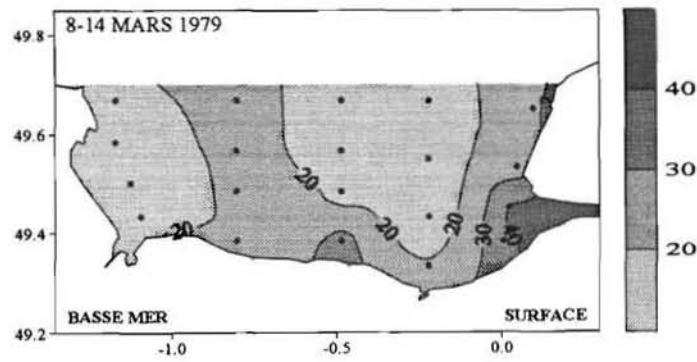
### CHLOROPHYLLE a



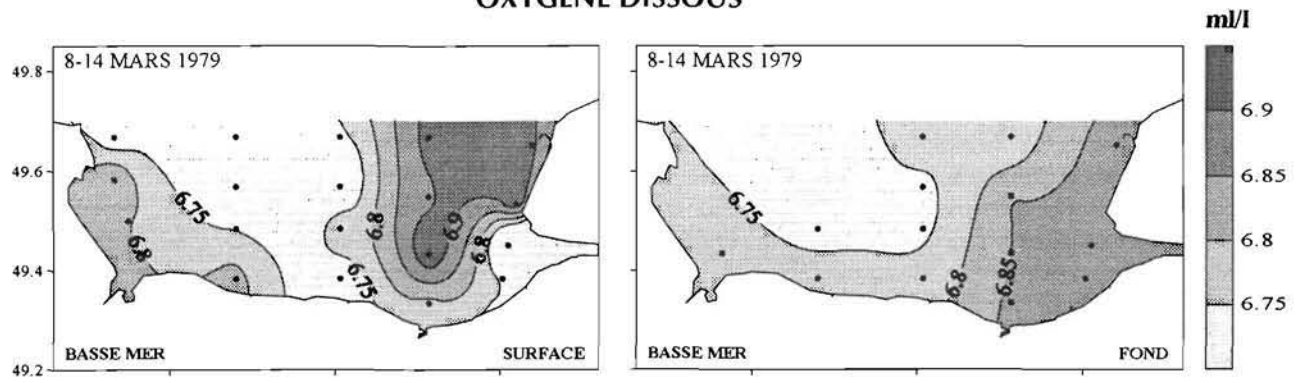
### PHÉOPIGMENTS



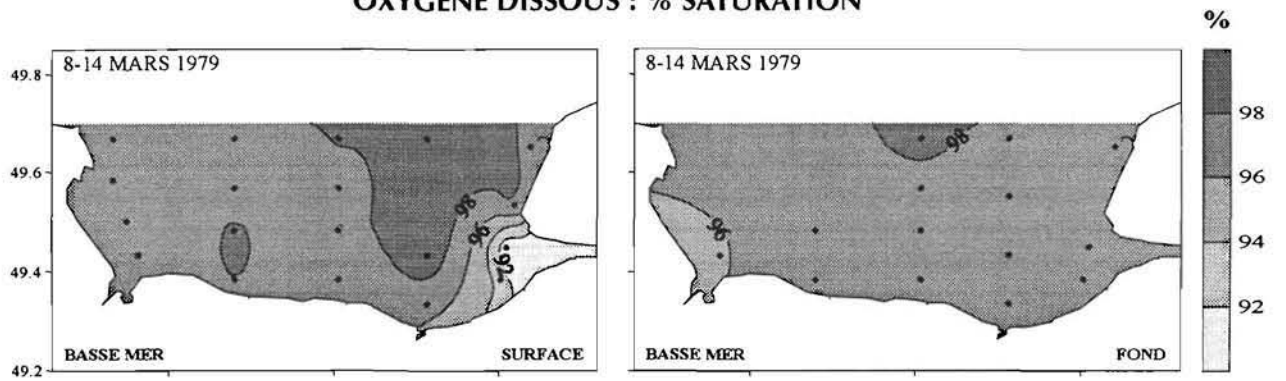
### % PHÉOPIGMENTS



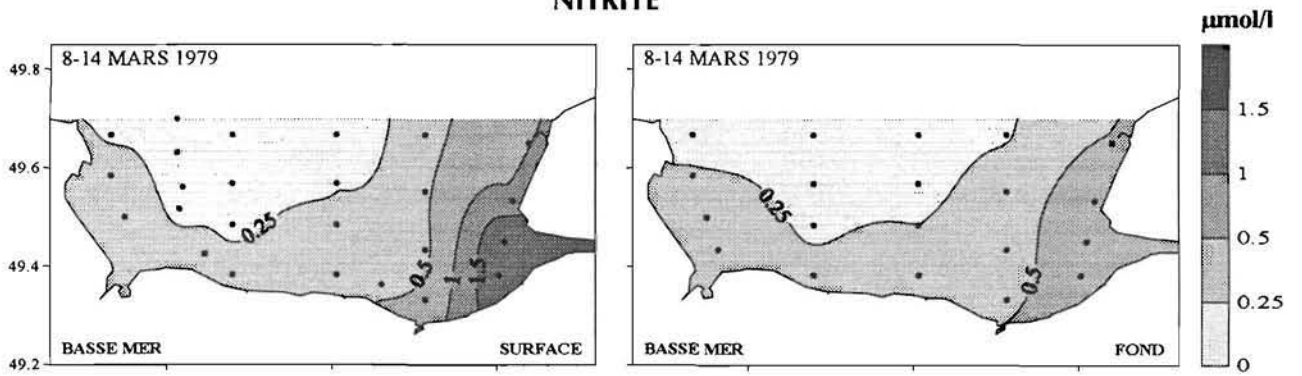
### OXYGÈNE DISSOUS



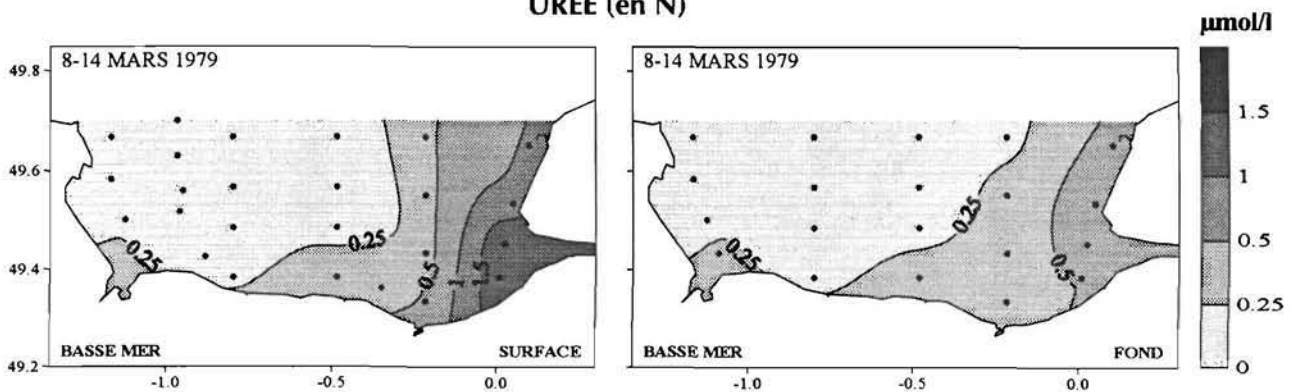
### OXYGÈNE DISSOUS : % SATURATION



### NITRITE



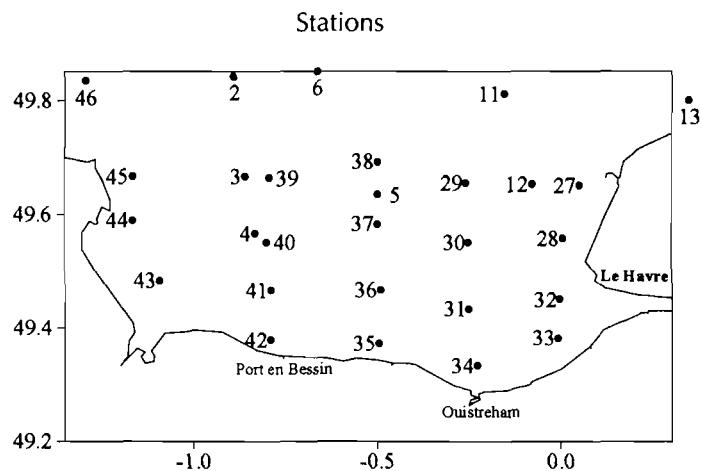
### URÉE (en N)



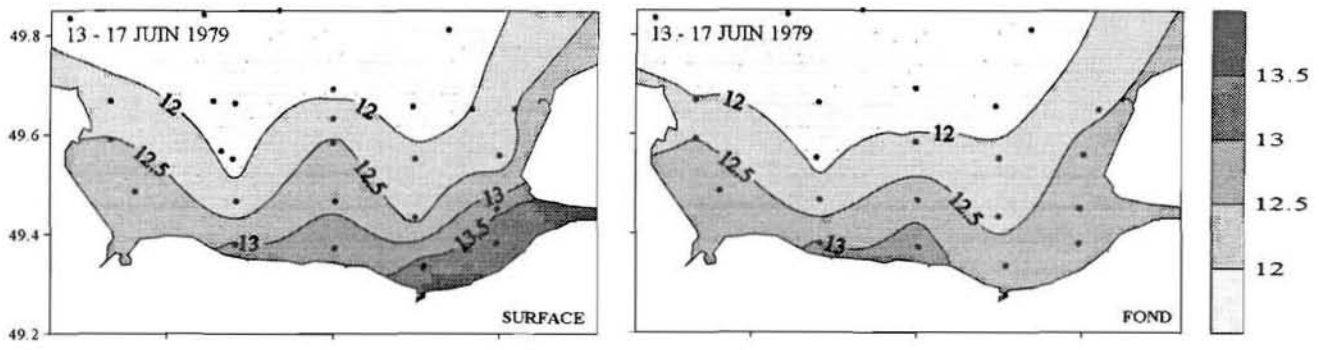
**CAMPAGNE ÉCOMANCHE 2**  
**13 - 17 juin 1979**

ÉCOMANCHE 2, 13 - 17 juin 1979, coefficients 63 - 93, débit de la Seine 495 - 545 m<sup>3</sup>/s.

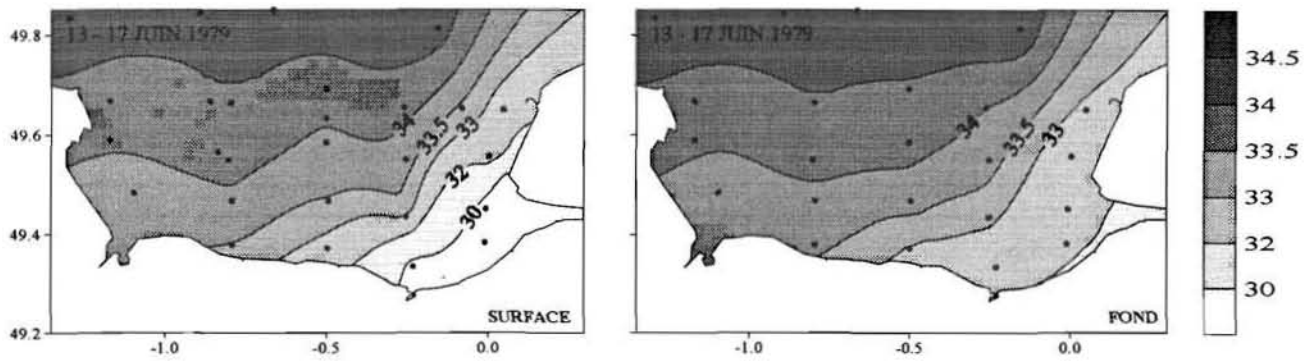
STA	POSITION	DATE	TU + 2
2	N 49° 50,5' W 00° 53,4'	13-juin	09:04
3	N 49° 40,0' W 00° 51,6'	13-juin	10:46
4	N 49° 34,0' W 00° 50,0'	13-juin	12:28
5	N 49° 38,0' W 00° 30,0'	13-juin	14:06
6	N 49° 51,0' W 00° 39,8'	13-juin	17:05
11	N 49° 48,7' W 00° 09,3'	14-juin	05:35
12	N 49° 39,1' W 00° 04,8'	14-juin	07:17
13	N 49° 48,0' E 00° 20,8'	14-juin	10:09
27	N 49° 39,0' E 00° 03,0'	16-juin	00:25
28	N 49° 33,4' E 00° 00,3'	16-juin	02:20
29	N 49° 39,3' W 00° 15,5'	16-juin	04:18
30	N 49° 33,0' W 00° 15,0'	16-juin	05:35
31	N 49° 26,0' W 00° 15,0'	16-juin	06:46
32	N 49° 27,0' W 00° 00,3'	16-juin	09:38
33	N 49° 22,9' W 00° 00,5'	16-juin	11:13
34	N 49° 20,0' W 00° 13,7'	16-juin	13:00
35	N 49° 22,3' W 00° 29,7'	16-juin	14:50
36	N 49° 28,0' W 00° 29,5'	16-juin	16:00
37	N 49° 35,0' W 00° 30,0'	16-juin	23:36
38	N 49° 41,5' W 00° 30,0'	17-juin	01:00
39	N 49° 39,8' W 00° 47,6'	17-juin	03:03
40	N 49° 33,0' W 00° 48,0'	17-juin	04:17
41	N 49° 28,0' W 00° 47,4'	17-juin	05:19
42	N 49° 22,7' W 00° 47,5'	17-juin	06:32
43	N 49° 29,0' W 01° 05,6'	17-juin	08:04
44	N 49° 35,4' W 01° 10,0'	17-juin	10:51
45	N 49° 40,0' W 01° 10,0'	17-juin	13:05
46	N 49° 50,0' W 01° 17,6'	17-juin	16:30



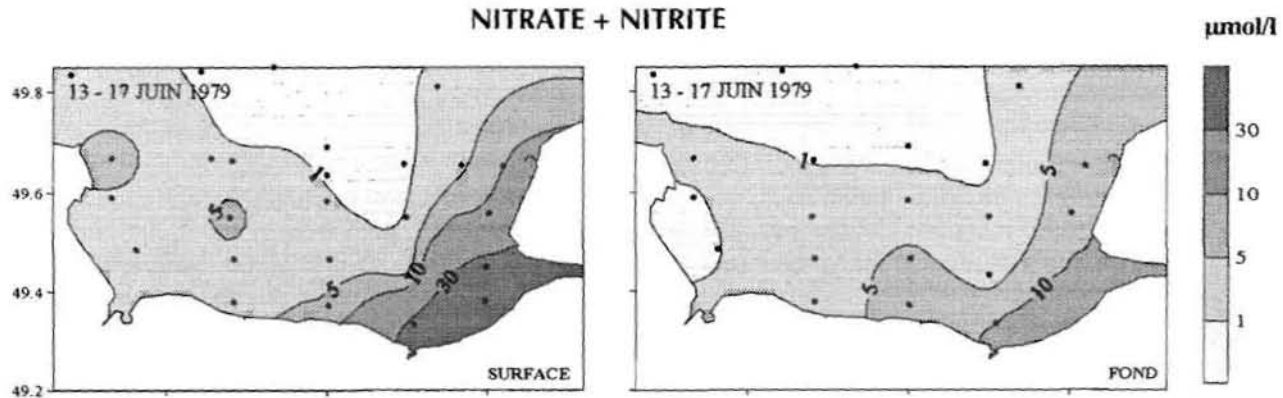
## TEMPÉRATURE



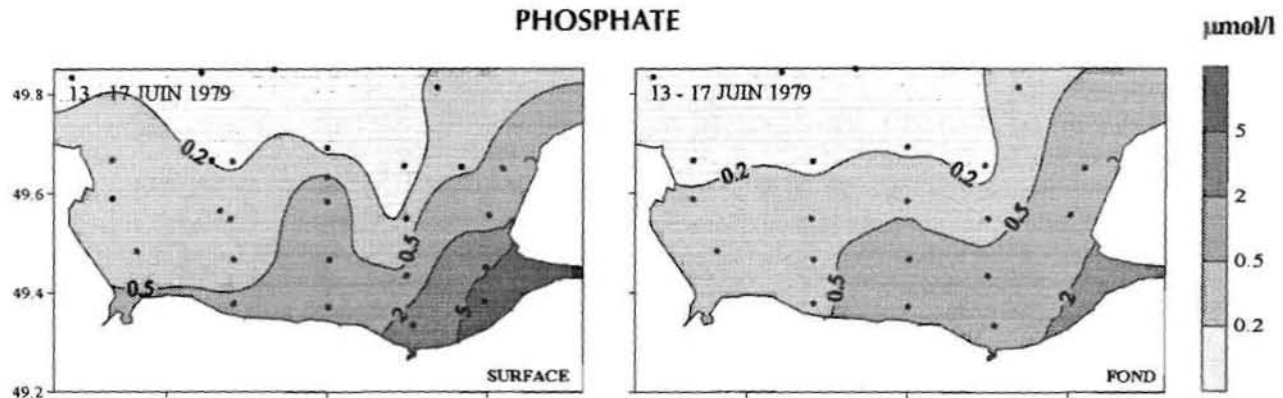
## SALINITÉ



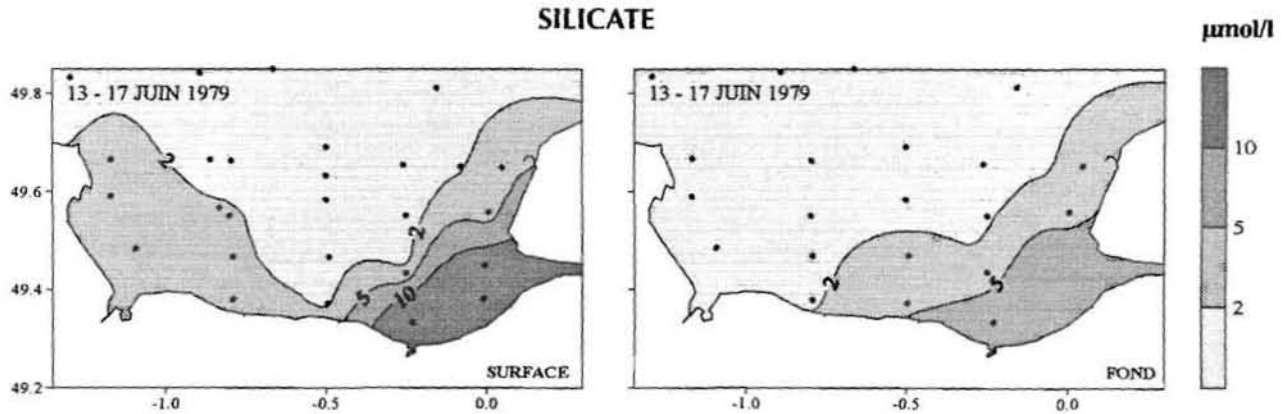
### NITRATE + NITRITE



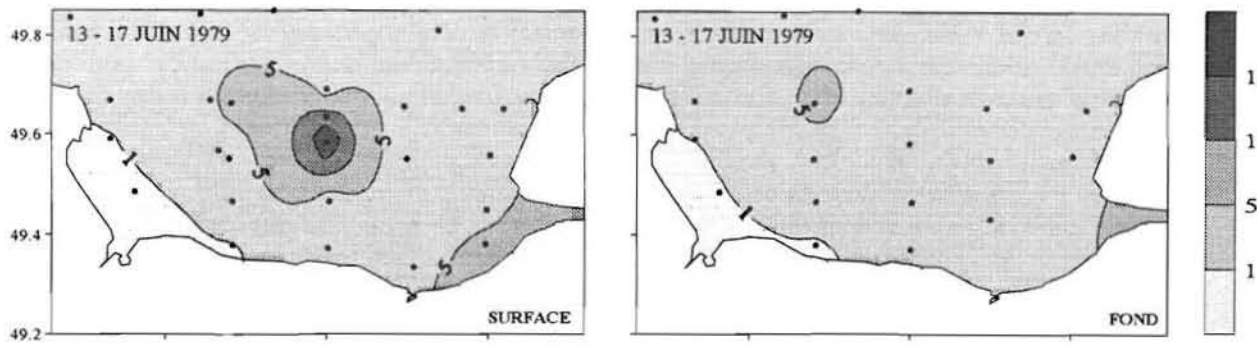
### PHOSPHATE



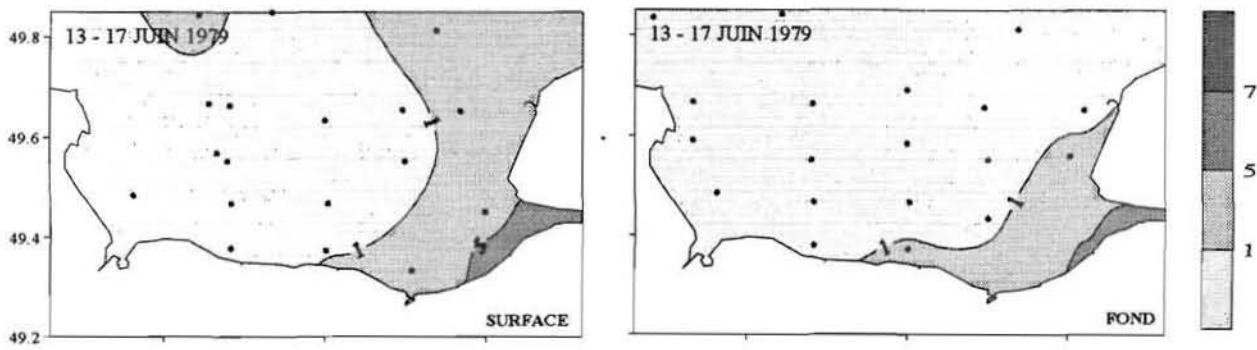
### SILICATE



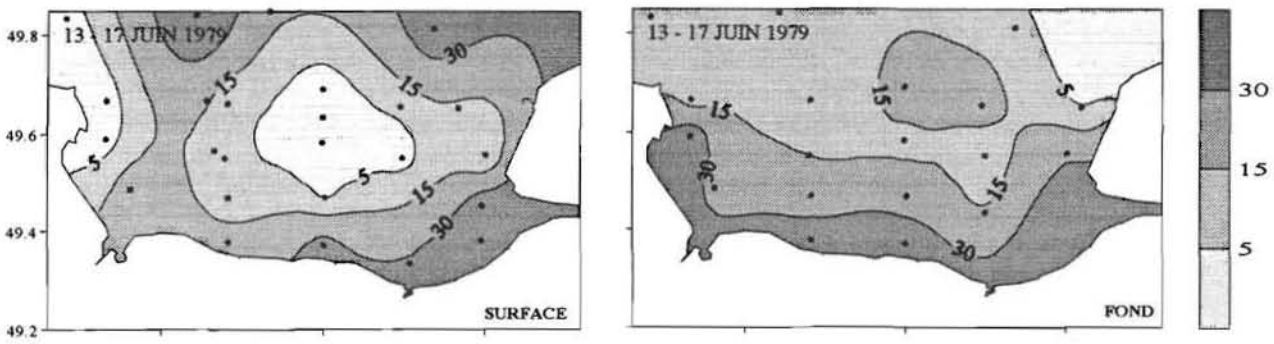
## CHLOROPHYLLE a



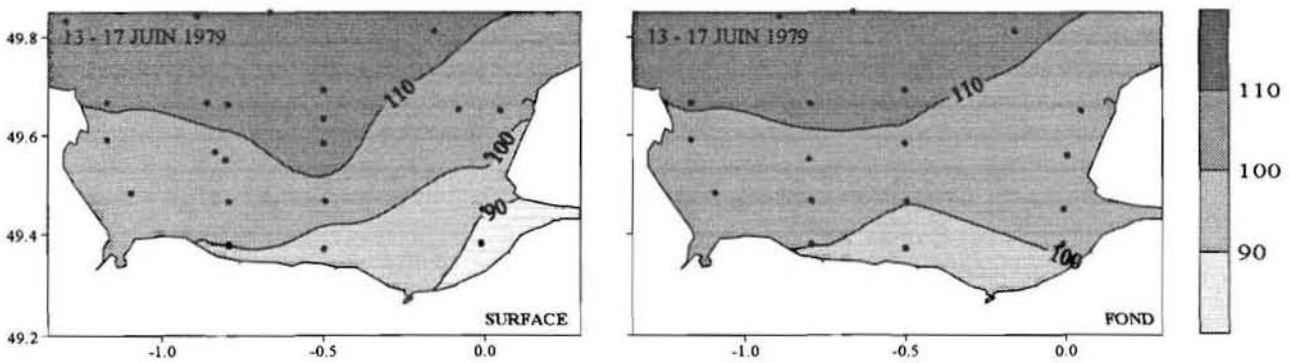
## PHÉOPIGMENTS



## % PHÉOPIGMENTS



## OXYGÈNE DISSOUS : % SATURATION



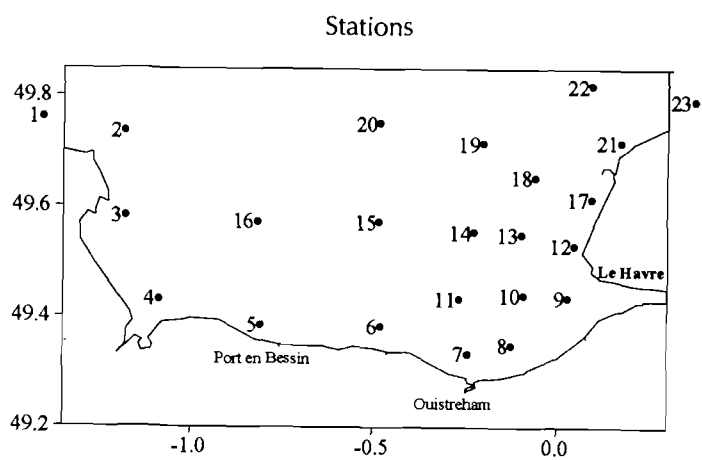


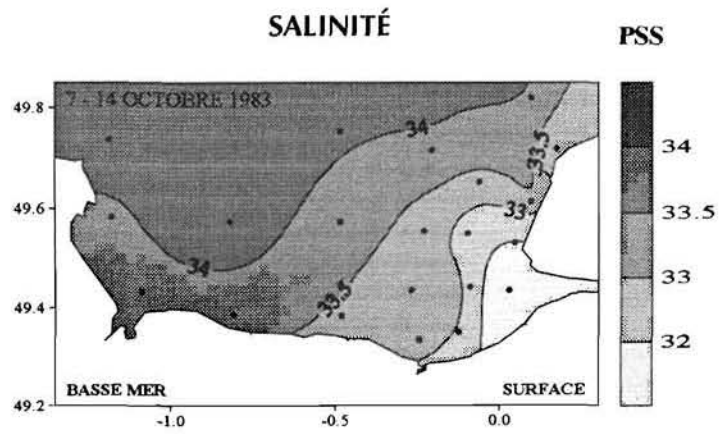
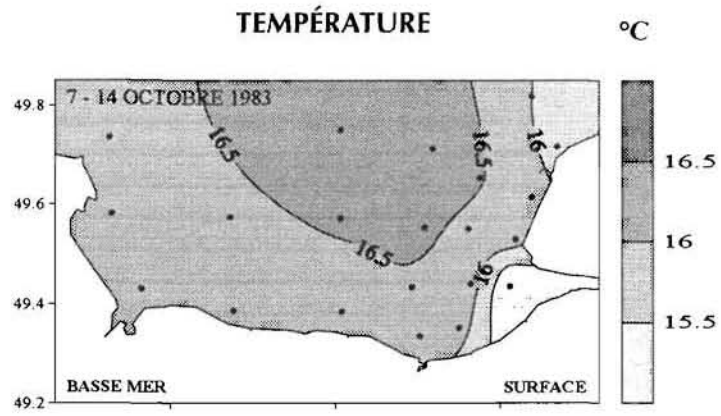


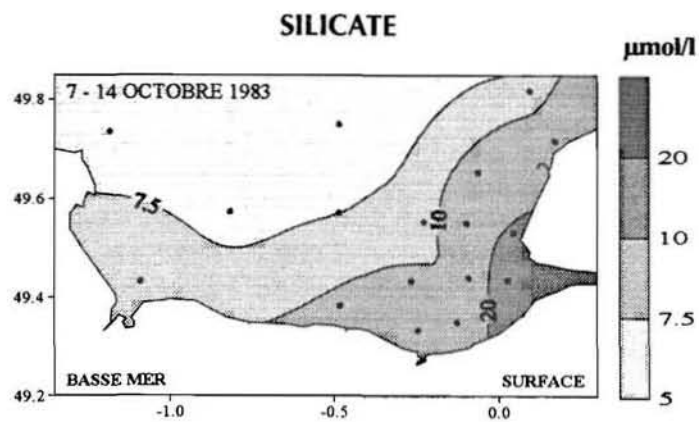
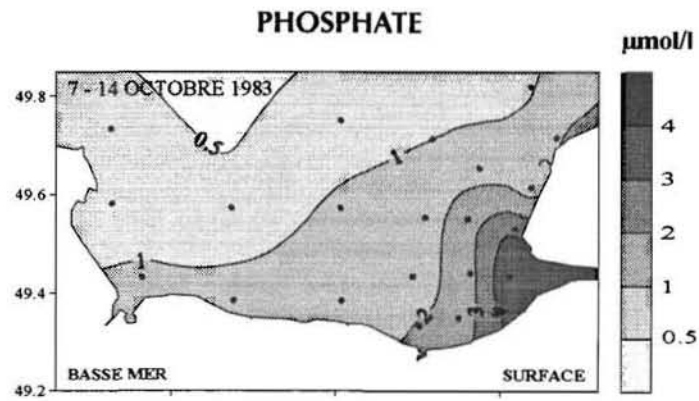
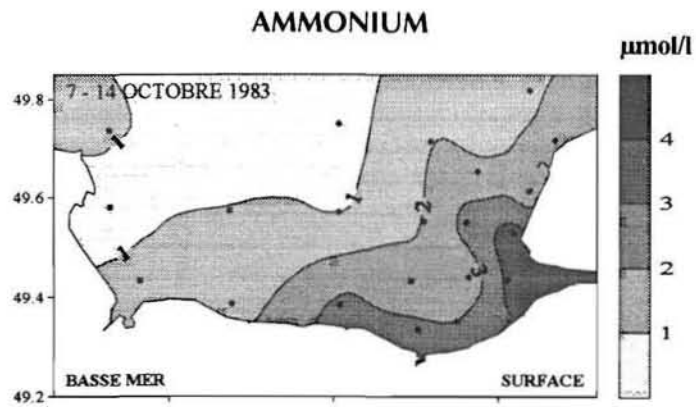
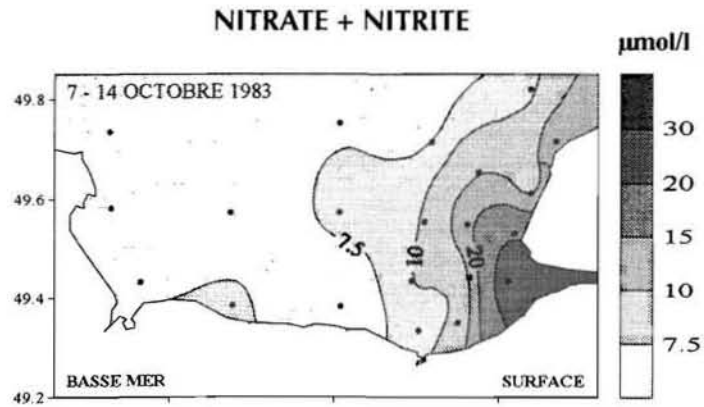
**CAMPAGNE INTERSITE 1**  
**8 - 14 octobre 1983**

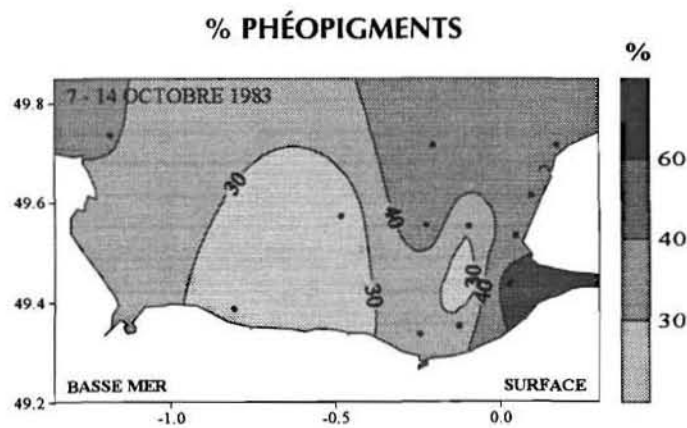
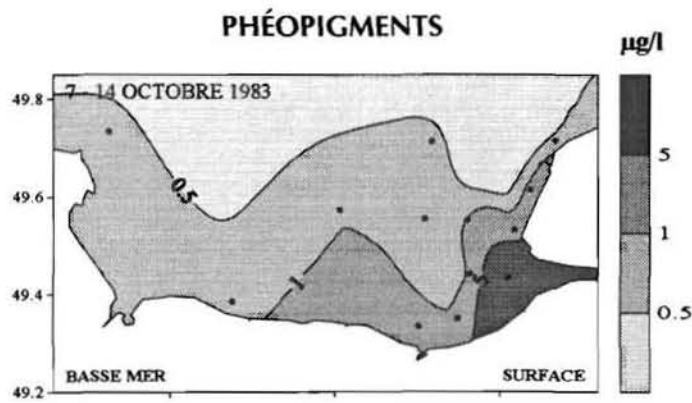
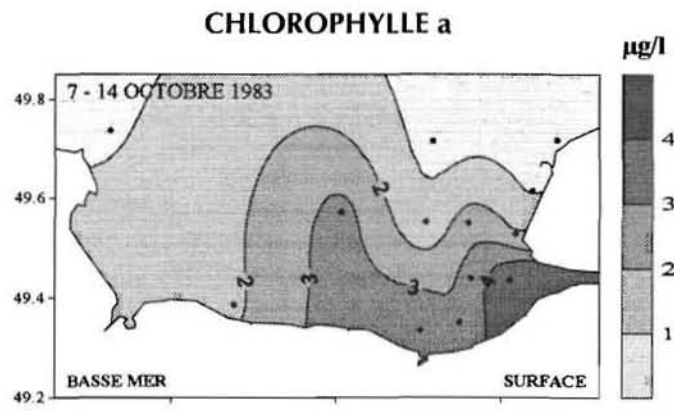
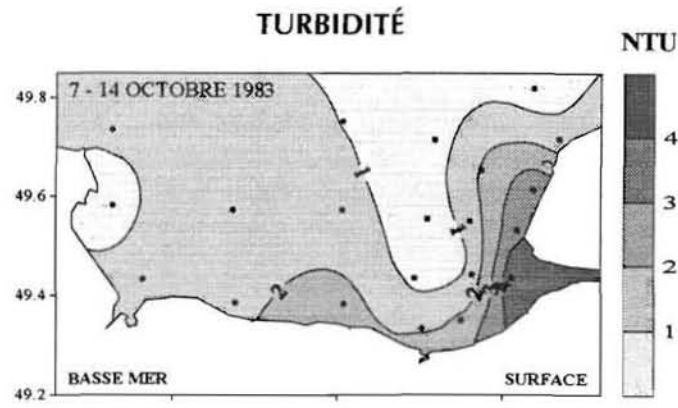
**INTERSITE 1, 8 - 14 octobre 1983, coefficients 31 - 107, débit de la Seine 220 - 260 m<sup>3</sup>/s.**

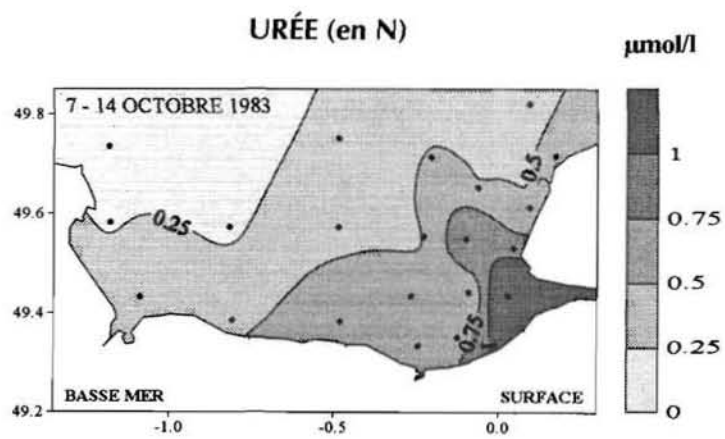
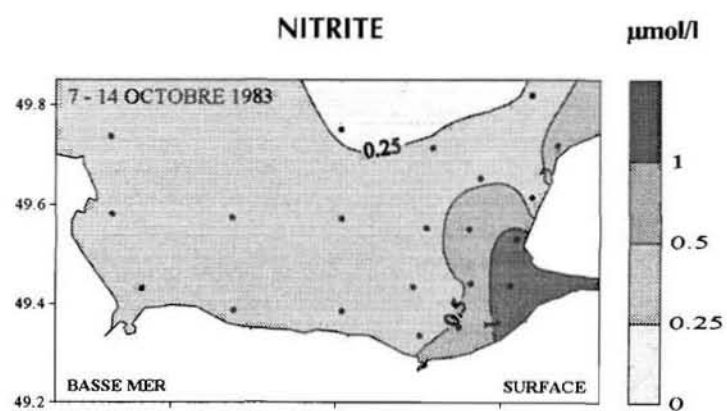
STA	POSITION	DATE	TU + 1
1	N 49° 45,6' W 01° 24,4'	08-oct	14:30
2	N 49° 44,1' W 01° 11,0'	08-oct	16:45
3	N 49° 34,9' W 01° 10,8'	08-oct	17:55
4	N 49° 25,9' W 01° 05,3'	11-oct	09:45
5	N 49° 23,1' W 00° 48,5'	11-oct	08:15
6	N 49° 23,0' W 00° 28,8'	11-oct	06:35
7	N 49° 20,0' W 00° 14,5'	10-oct	21:05
8	N 49° 21,0' W 00° 07,5'	10-oct	20:20
9	N 49° 26,1' E 00° 01,8'	11-oct	cycle
10	N 49° 26,4' W 00° 05,4'	10-oct	19:35
11	N 49° 26,0' W 00° 15,9'	10-oct	18:30
12	N 49° 31,8' E 00° 02,8'	10-oct	08:05
13	N 49° 33,0' W 00° 05,8'	10-oct	07:20
14	N 49° 33,2' W 00° 13,6'	10-oct	06:30
15	N 49° 34,3' W 00° 29,0'	09-oct	07:00
16	N 49° 34,4' W 00° 49,0'	09-oct	05:05
17	N 49° 36,8' E 00° 05,7'	09-oct	21:05
18	N 49° 39,2' W 00° 03,6'	09-oct	20:15
19	N 49° 42,8' W 00° 12,2'	09-oct	19:10
20	N 49° 45,0' W 00° 29,0'	09-oct	08:25
21	N 49° 43,0' E 00° 10,4'	13-oct	23:15
22	N 49° 49,1' E 00° 05,7'	14-oct	00:25
23	N 49° 47,5' E 00° 22,5'	14-oct	10:35









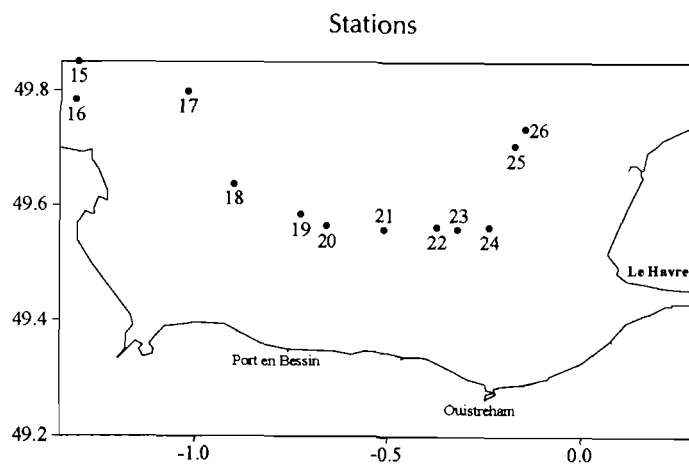


**CAMPAGNE CIROLANA**  
**30 novembre 1989**



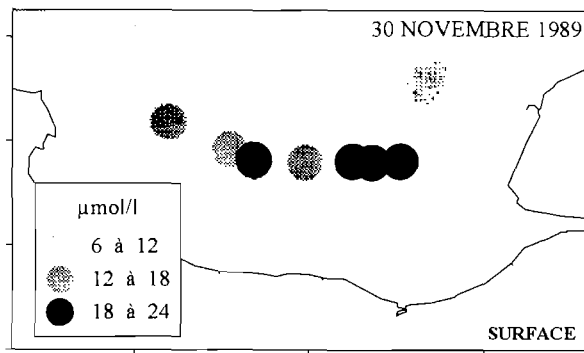
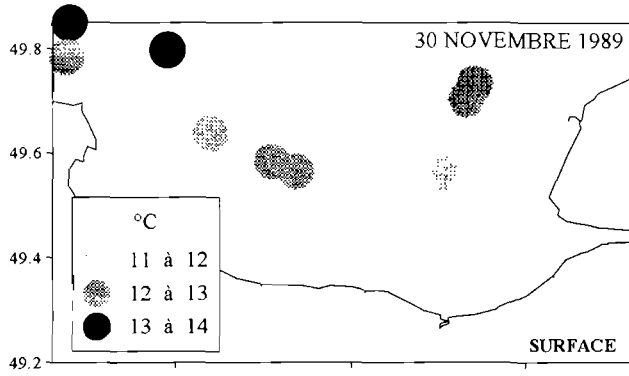
**CIROLANA, 30 novembre 1989, coefficients 74 - 75, débit de la Seine 205 m<sup>3</sup>/s.**

STA	POSITION		DATE	TU + 1
15	N 49° 51,1'	W 01° 18,2'	30-nov	11:00
16	N 49° 47,0'	W 01° 18,5'	30-nov	11:31
17	N 49° 47,9'	W 01° 01,3'	30-nov	12:32
18	N 49° 38,2'	W 00° 54,0'	30-nov	13:48
19	N 49° 35,0'	W 00° 43,6'	30-nov	14:33
20	N 49° 33,8'	W 00° 39,4'	30-nov	15:01
21	N 49° 33,5'	W 00° 30,6'	30-nov	15:34
22	N 49° 33,7'	W 00° 22,4'	30-nov	16:03
23	N 49° 33,5'	W 00° 19,1'	30-nov	16:26
24	N 49° 33,7'	W 00° 14,3'	30-nov	16:52
25	N 49° 42,2'	W 00° 10,3'	30-nov	17:36
26	N 49° 44,0'	W 00° 08,7'	30-nov	17:56



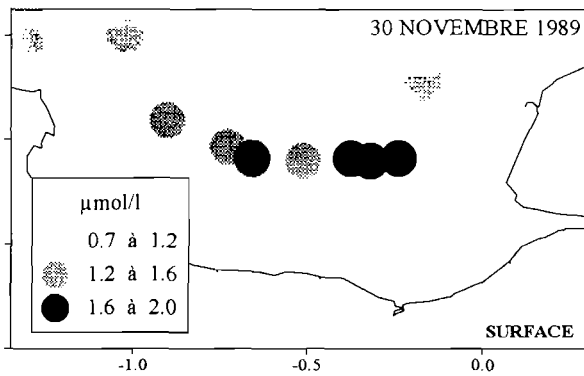
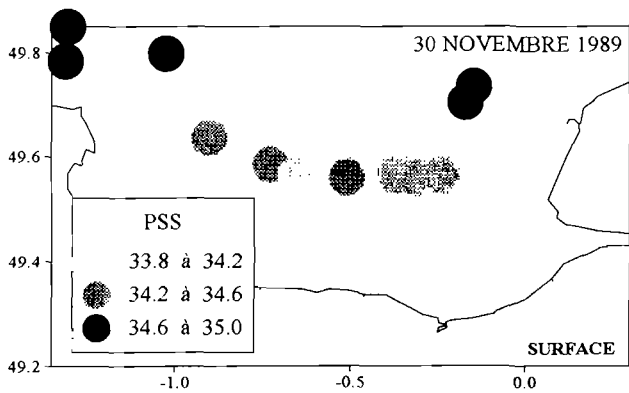
TEMPÉRATURE

NITRATE + NITRITE

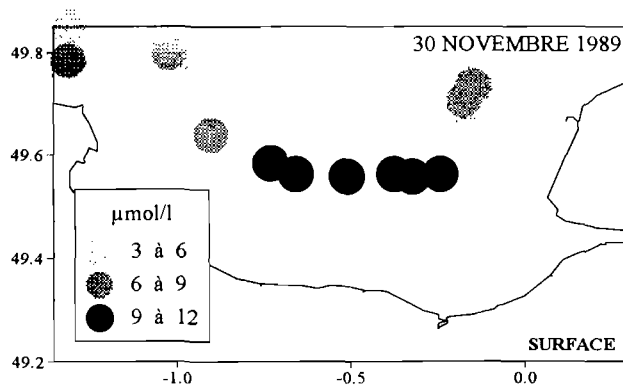


SALINITÉ

PHOSPHATE



SILICATE

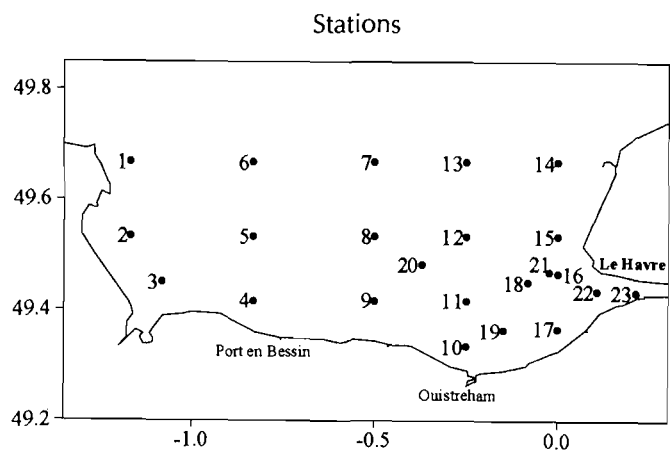




**CAMPAGNE SÉDISEINE 1**  
**17 - 19 février 1992**

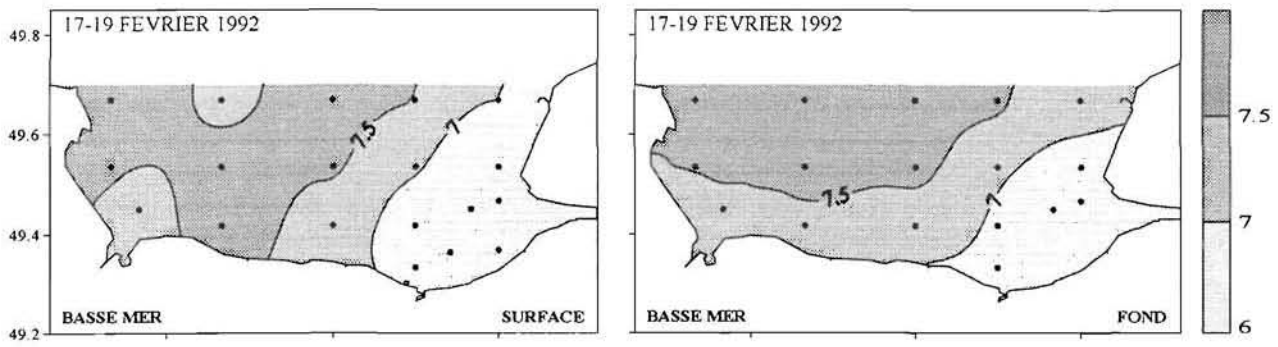
**SÉDISEINE 1, 17 - 19 février 1992, coefficients 87 - 114, débit de la Seine 505 - 615 m<sup>3</sup>/s.**

STA	POSITION		DATE	TU + 1
1	N 49° 40,0'	W 01° 10,0'	17-fév	09:30
2	N 49° 32,0'	W 01° 10,0'	17-fév	10:45
3	N 49° 27,0'	W 01° 05,0'	17-fév	11:45
4	N 49° 25,0'	W 00° 50,0'	17-fév	13:15
5	N 49° 32,0'	W 00° 50,0'	19-fév	11:25
6	N 49° 40,0'	W 00° 50,0'	19-fév	12:25
7	N 49° 40,0'	W 00° 30,0'	18-fév	12:10
8	N 49° 32,0'	W 00° 30,0'	19-fév	09:45
9	N 49° 25,0'	W 00° 30,0'	17-fév	14:50
10	N 49° 20,0'	W 00° 15,0'	17-fév	16:15
11	N 49° 25,0'	W 00° 15,0'	19-fév	08:15
12	N 49° 32,0'	W 00° 15,0'	18-fév	13:45
13	N 49° 40,0'	W 00° 15,0'	18-fév	10:55
14	N 49° 40,0'	W 00° 00,0'	18-fév	09:40
15	N 49° 32,0'	W 00° 00,0'	18-fév	08:45
16	N 49° 28,0'	W 00° 00,0'	17-fév	18:35
17	N 49° 22,0'	W 00° 00,0'	17-fév	17:35
18	N 49° 27,0'	W 00° 05,0'	18-fév	18:45
19	N 49° 21,8'	W 00° 08,8'	17-fév	17:00
20	N 49° 29,0'	W 00° 22,2'	19-fév	09:00
21	N 49° 28,1'	W 00° 01,4'	18-fév	15:00
22	N 49° 26,1'	E 00° 09,4'	18-fév	15:35
23	N 49° 26,1'	E 00° 12,7'	18-fév	16:18
24	N 49° 26,3'	E 00° 21,3'	18-fév	17:18



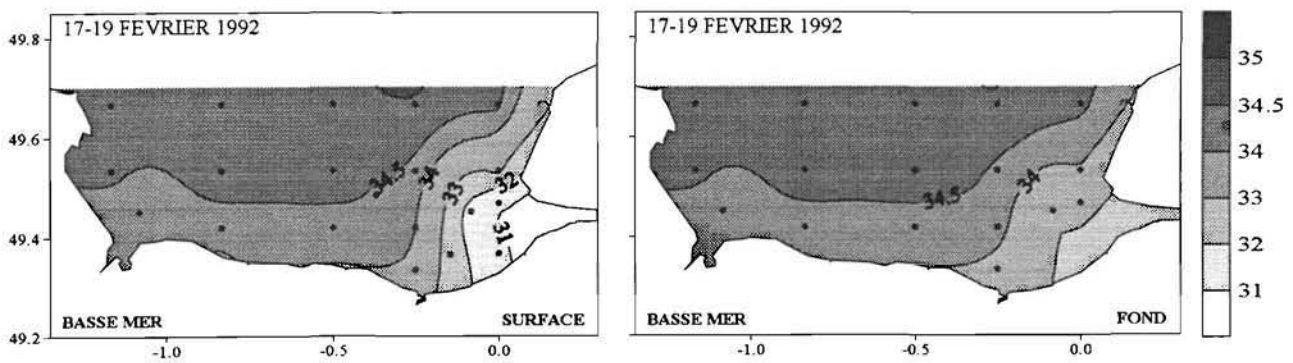
### TEMPÉRATURE

°C

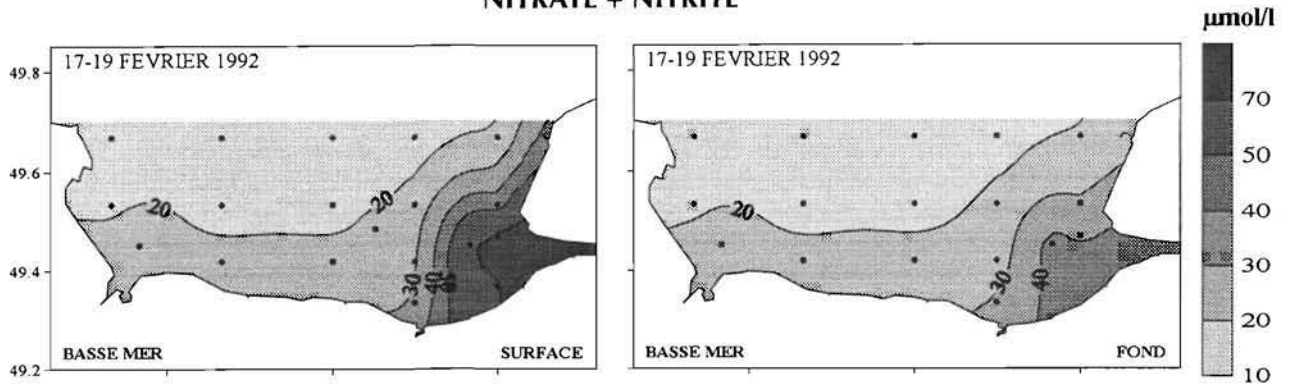


### SALINITÉ

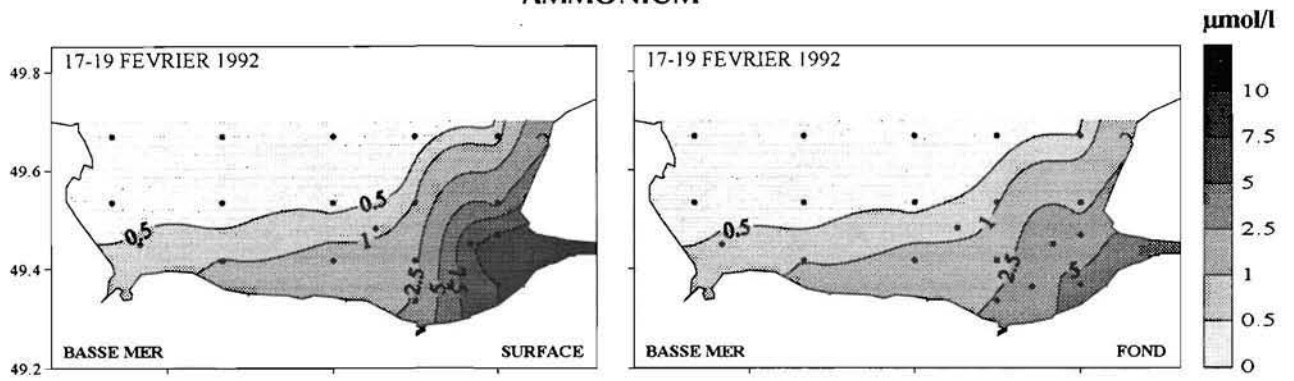
PSS



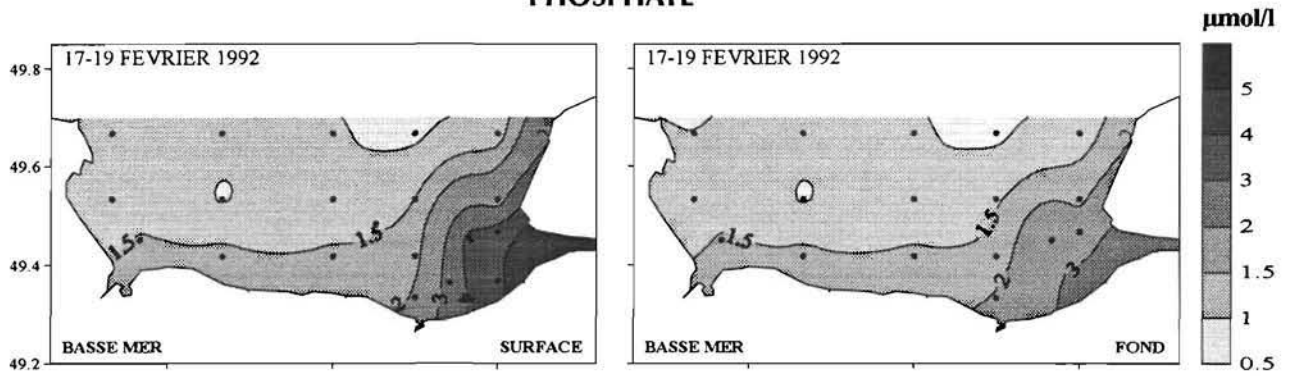
**NITRATE + NITRITE**



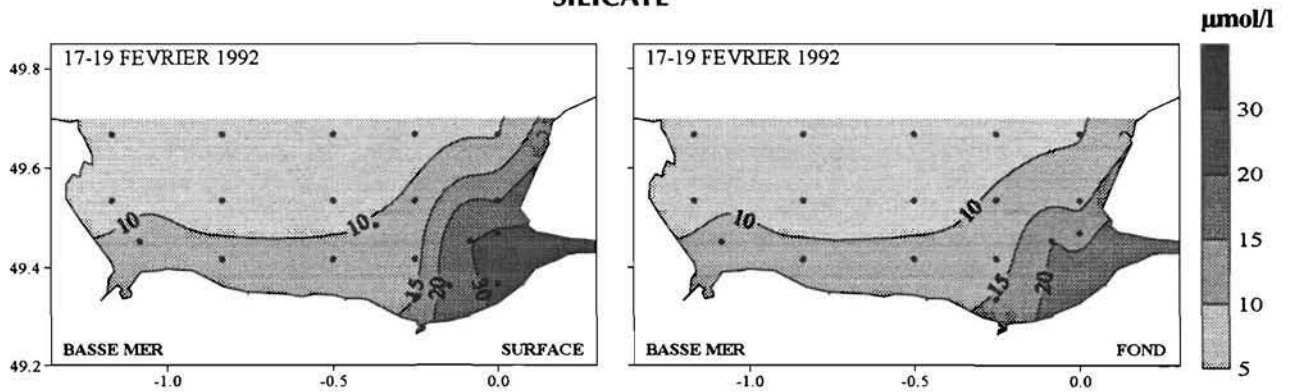
**AMMONIUM**



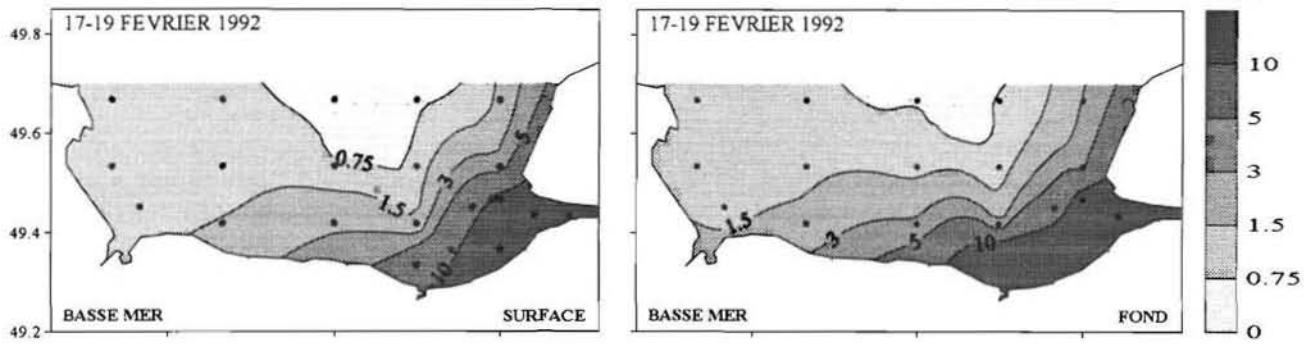
**PHOSPHATE**



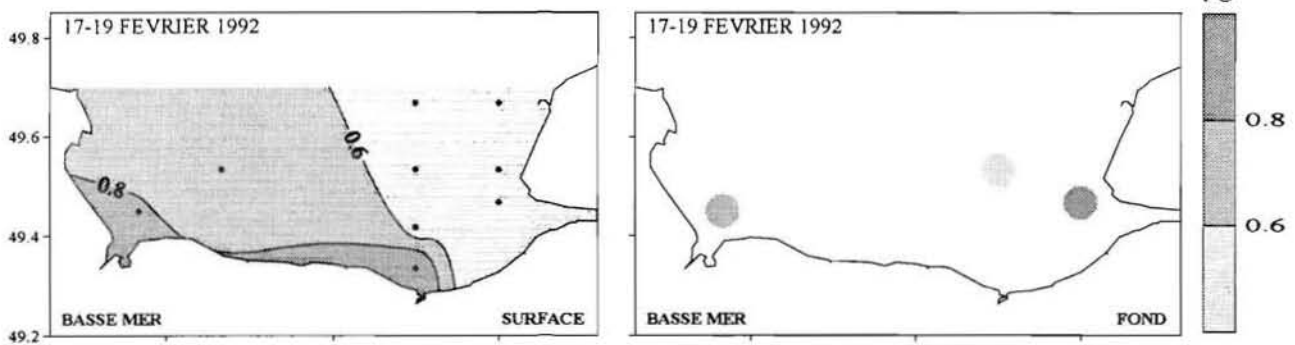
**SILICATE**



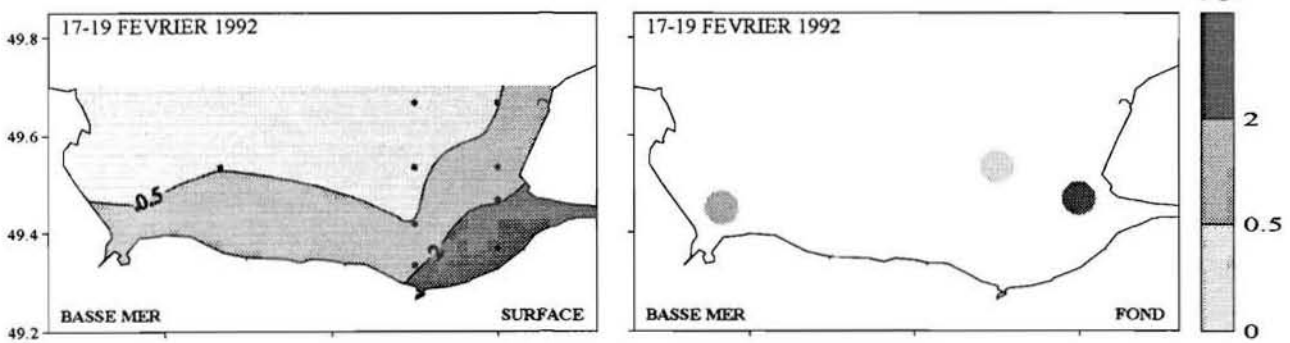
### TURBIDITÉ



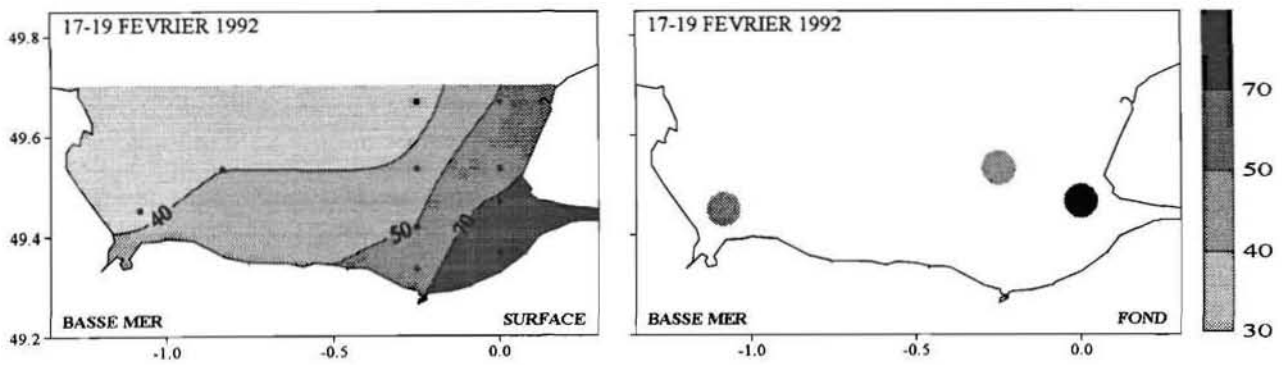
### CHLOROPHYLLE a



### PHÉOPIGMENTS



### % PHÉOPIGMENTS





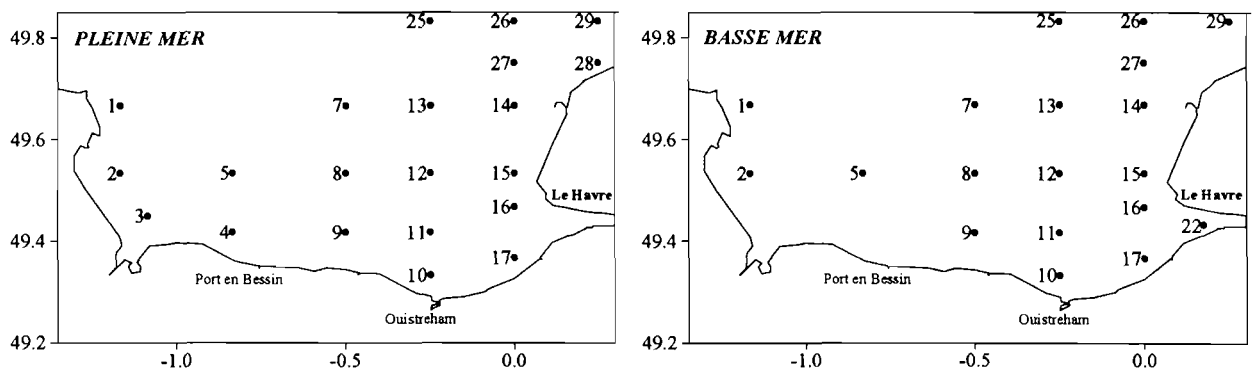


**CAMPAGNE PHYTOSEINE 1**  
**24 - 29 avril 1992**

**PHYTOSEINE 1, 24 - 29 avril 1992, coefficients 34 - 63, débit de la Seine 290 - 340 m<sup>3</sup>/s.**

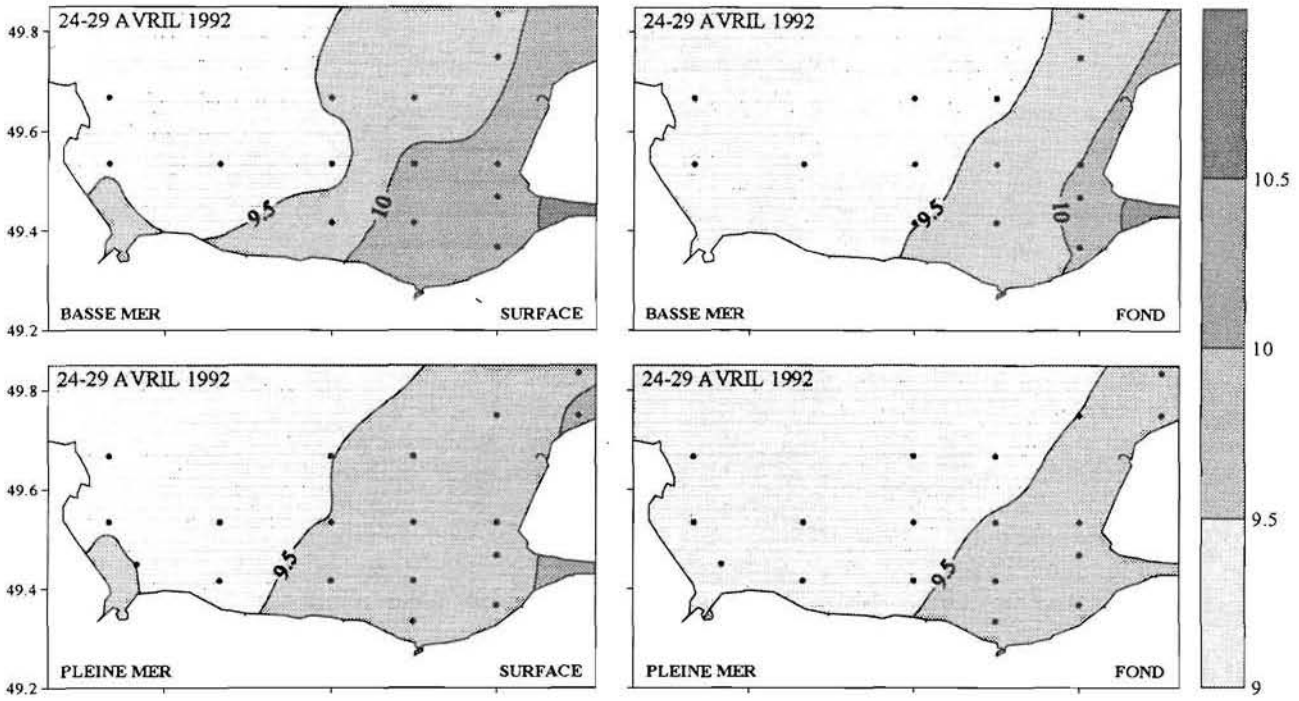
STA	POSITION		DATE		TU + 2	
			DATE	TU + 2	DATE	TU + 2
			<b>PLEINE MER</b>		<b>BASSE MER</b>	
1	N 49° 40,0'	W 01° 10,0'	24-avr	20:05	25-avr	09:00
2	N 49° 32,0'	W 01° 10,0'	24-avr	18:55	25-avr	10:35
3	N 49° 27,0'	W 01° 05,0'	24-avr	17:40		
4	N 49° 25,0'	W 00° 50,0'	24-avr	14:00		
5	N 49° 32,0'	W 00° 50,0'	24-avr	15:25	25-avr	12:30
7	N 49° 40,0'	W 00° 30,0'	25-avr	16:25	26-avr	13:30
8	N 49° 32,0'	W 00° 30,0'	25-avr	15:00	26-avr	11:30
9	N 49° 25,0'	W 00° 30,0'	26-avr	10:35	24-avr	12:35
10	N 49° 20,0'	W 00° 15,0'	27-avr	09:20	24-avr	10:50
11	N 49° 25,0'	W 00° 15,0'	29-avr	09:50	29-avr	17:40
12	N 49° 32,0'	W 00° 15,0'	29-avr	10:45	29-avr	18:45
13	N 49° 40,0'	W 00° 15,0'	25-avr	17:50	26-avr	14:50
14	N 49° 40,0'	W 00° 00,0'	26-avr	18:20	27-avr	14:05
15	N 49° 32,0'	W 00° 00,0'	26-avr	19:30	27-avr	12:45
16	N 49° 28,0'	W 00° 00,0'	26-avr	08:05	29-avr	16:30
17	N 49° 22,0'	W 00° 00,0'	27-avr	08:05	24-avr	09:25
22	N 49° 26,1'	E 00° 09,4'	29-avr	12:50		
23	N 49° 26,3'	E 00° 21,4'	29-avr	13:45		
24	N 49° 29,2'	E 00° 30,0'	29-avr	14:40		
25	N 49° 50,0'	W 00° 15,0'	26-avr	16:00		
26	N 49° 50,0'	W 00° 00,0'	28-avr	10:30	27-avr	16:00
27	N 49° 45,0'	W 00° 00,0'	26-avr	17:30	27-avr	14:50
28	N 49° 45,0'	E 00° 15,0'	28-avr	08:30		
29	N 49° 50,0'	E 00° 15,0'	28-avr	09:20	27-avr	17:20

Stations



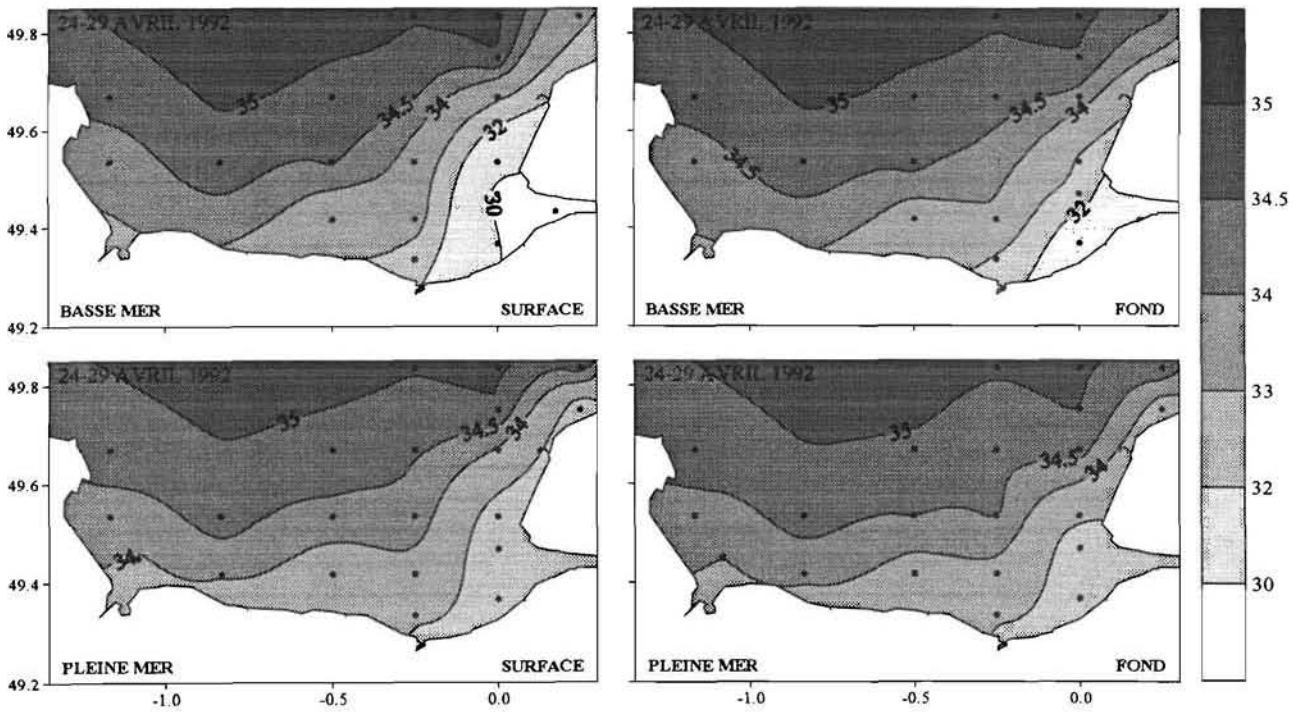
### TEMPÉRATURE

°C

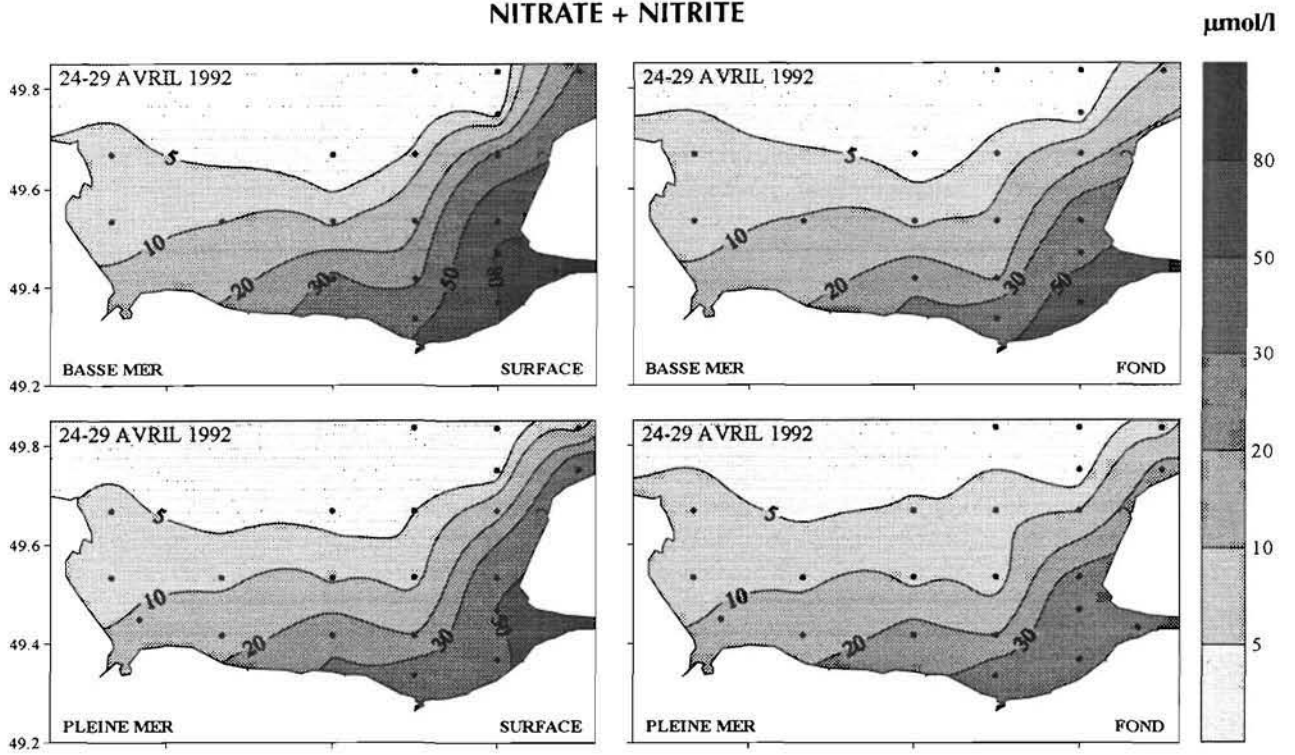


### SALINITÉ

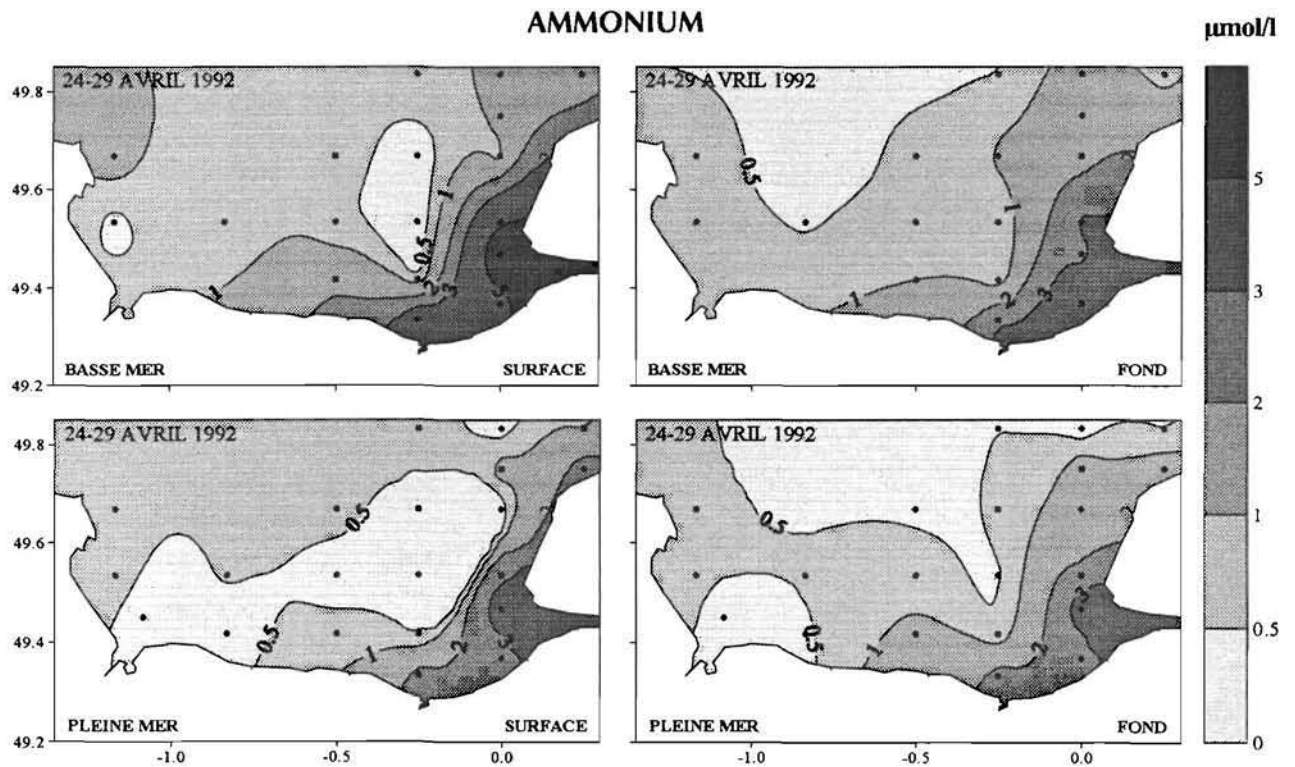
PSS



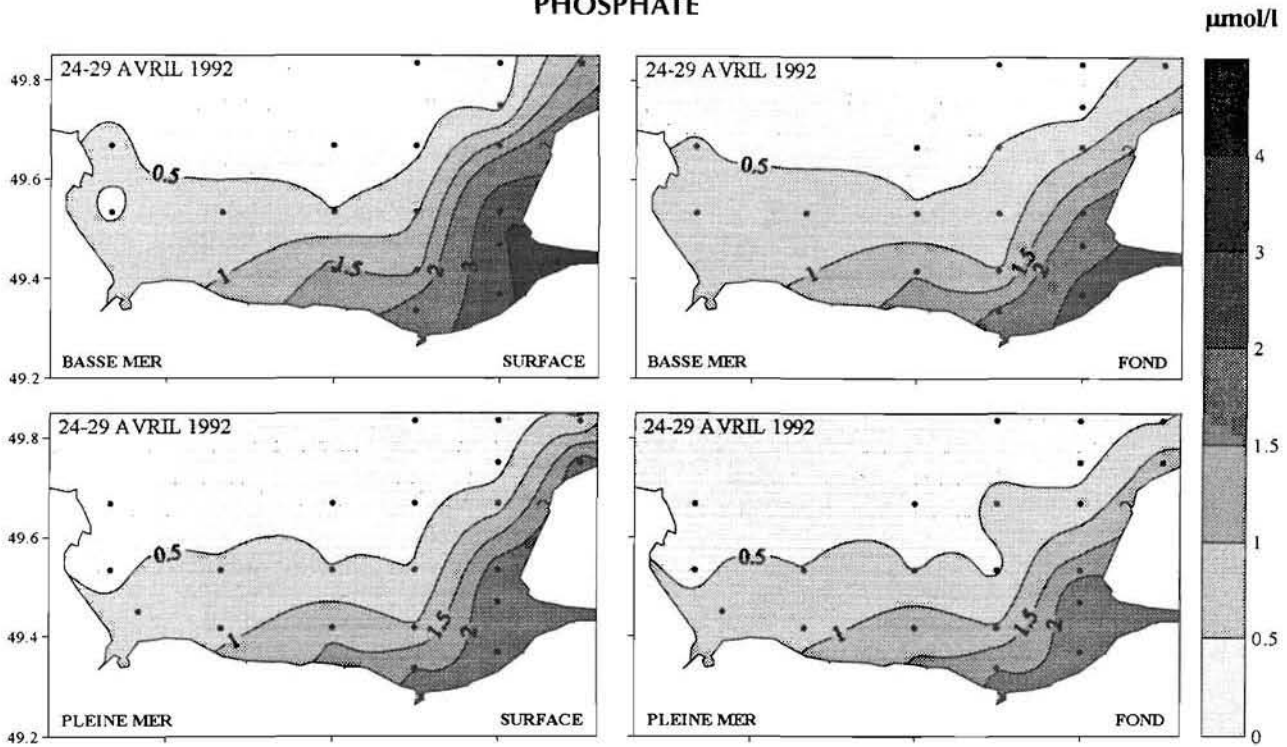
**NITRATE + NITRITE**



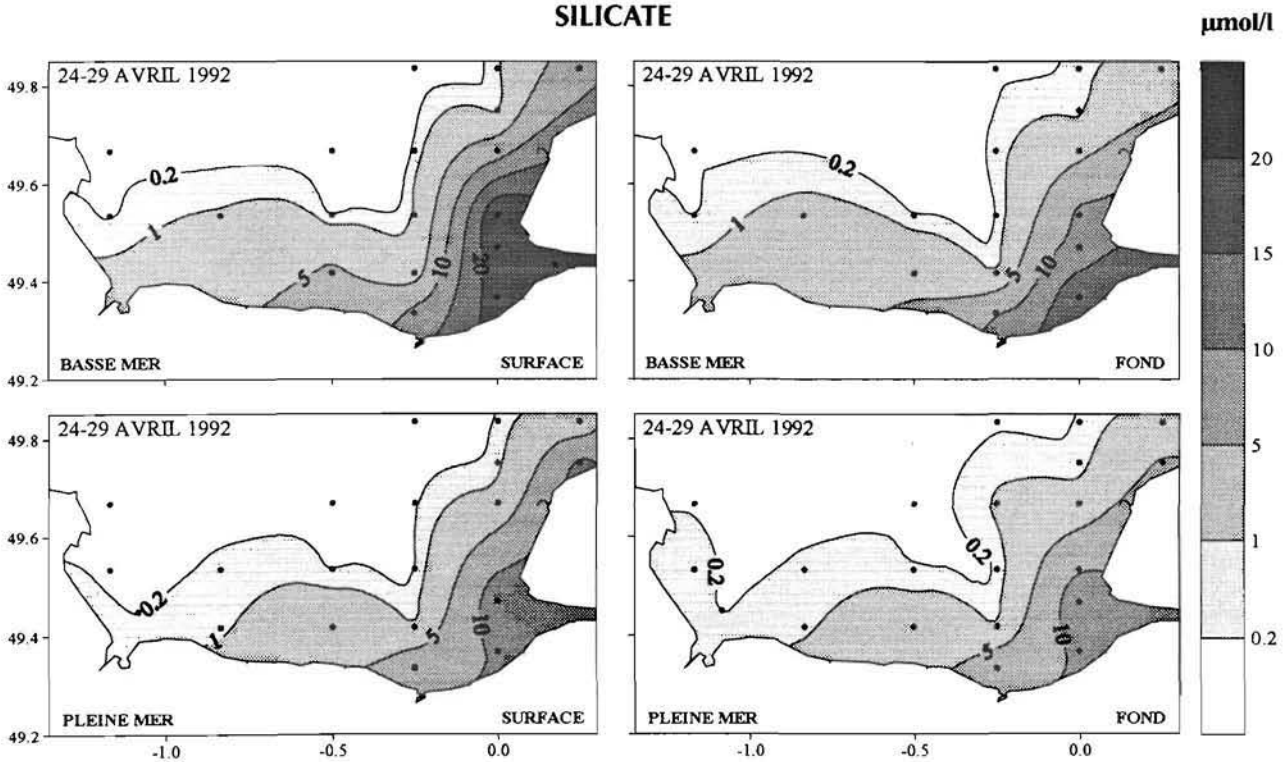
**AMMONIUM**



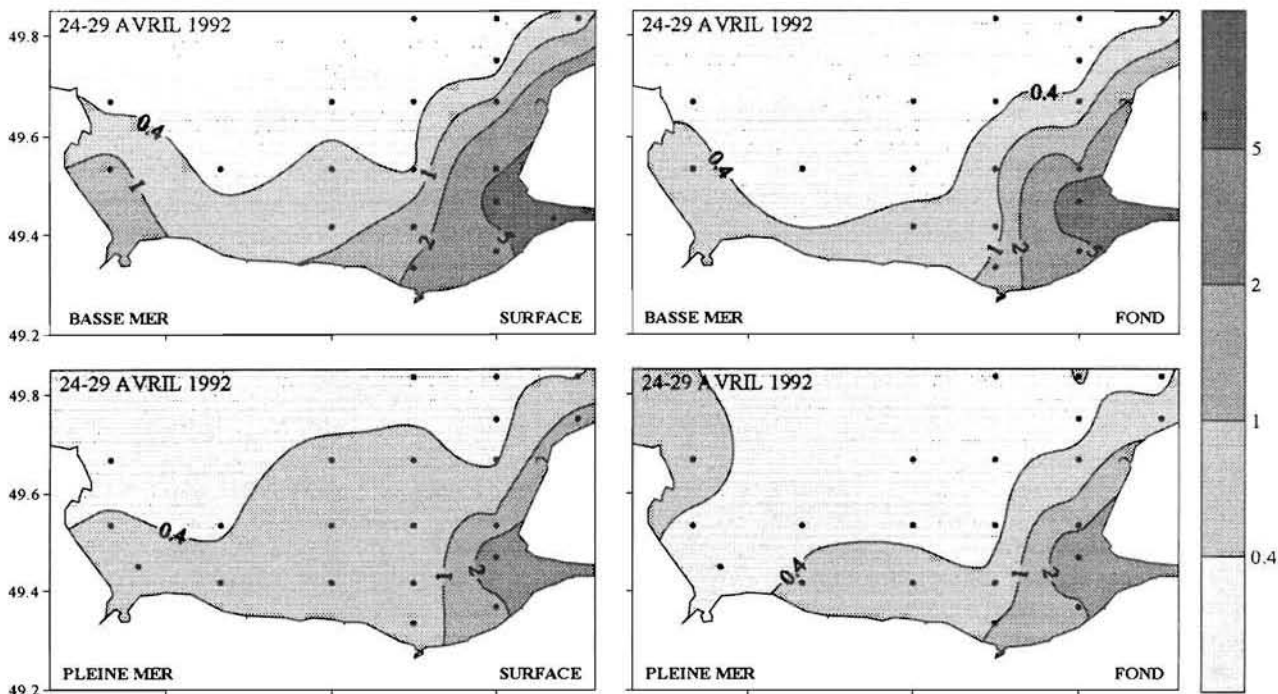
## PHOSPHATE



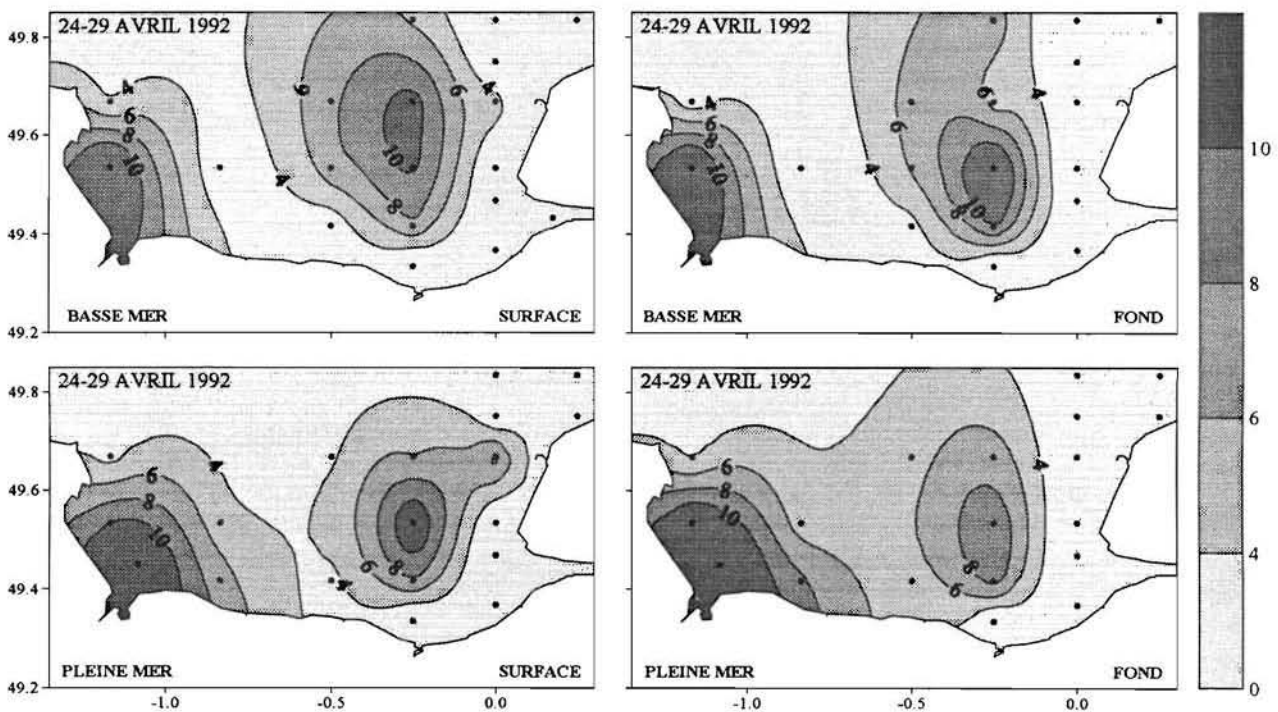
## SILICATE



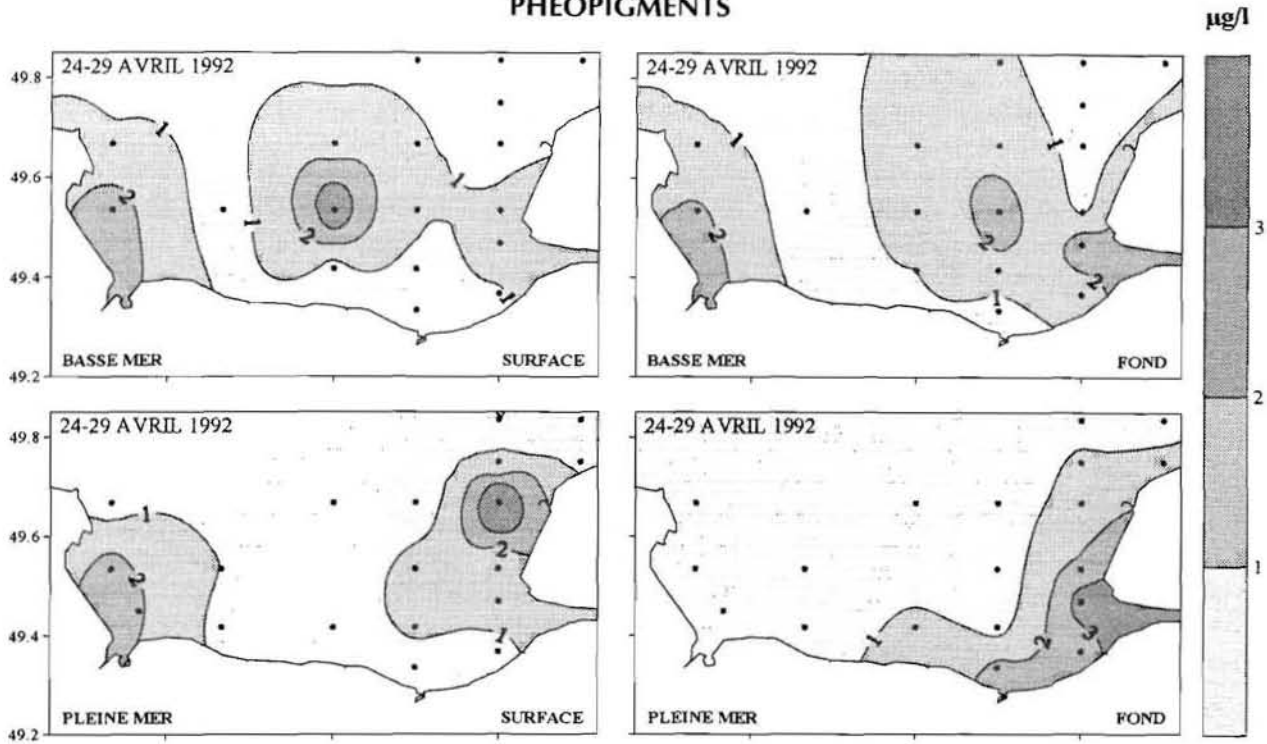
### TURBIDITÉ



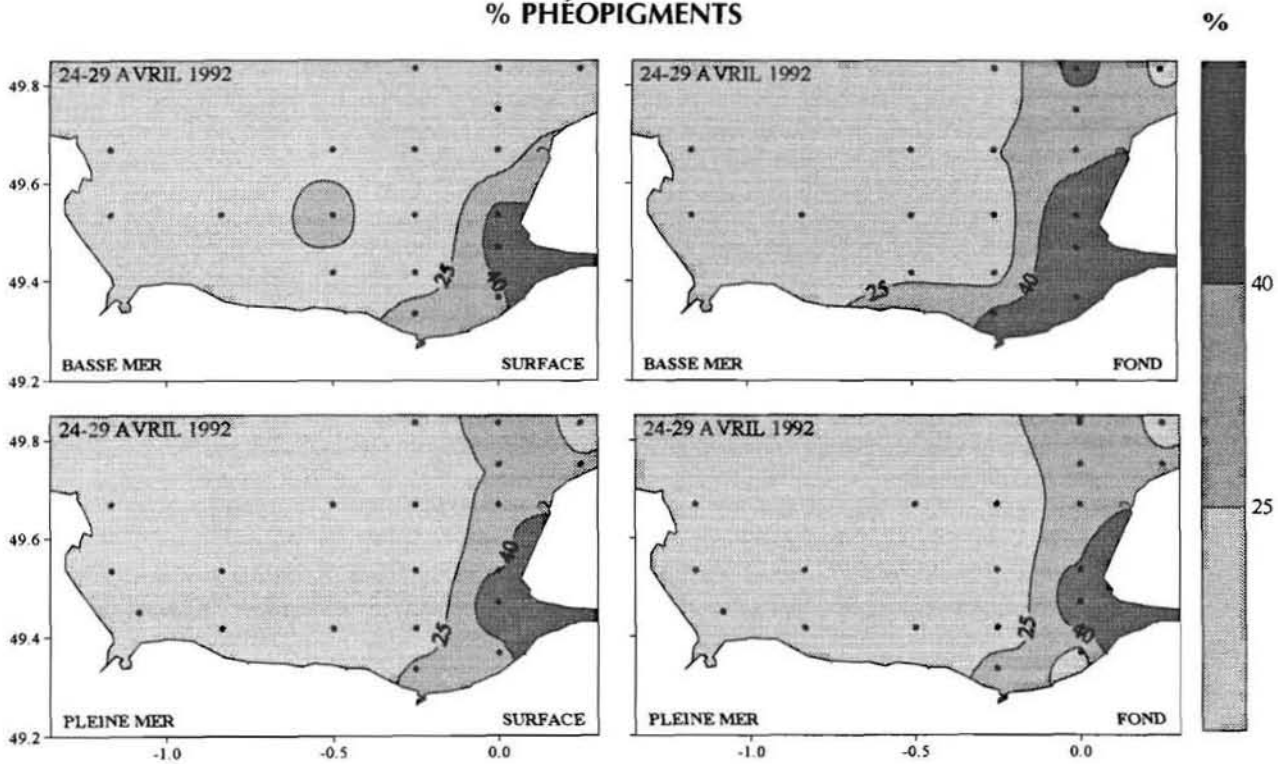
### CHLOROPHYLLE a



## PHÉOPIGMENTS



## % PHÉOPIGMENTS



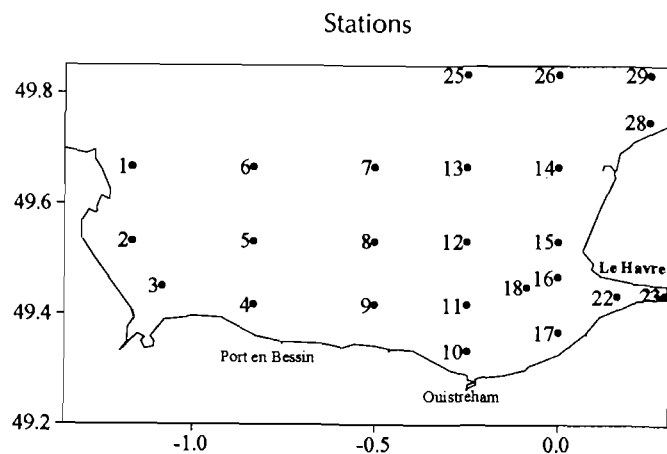




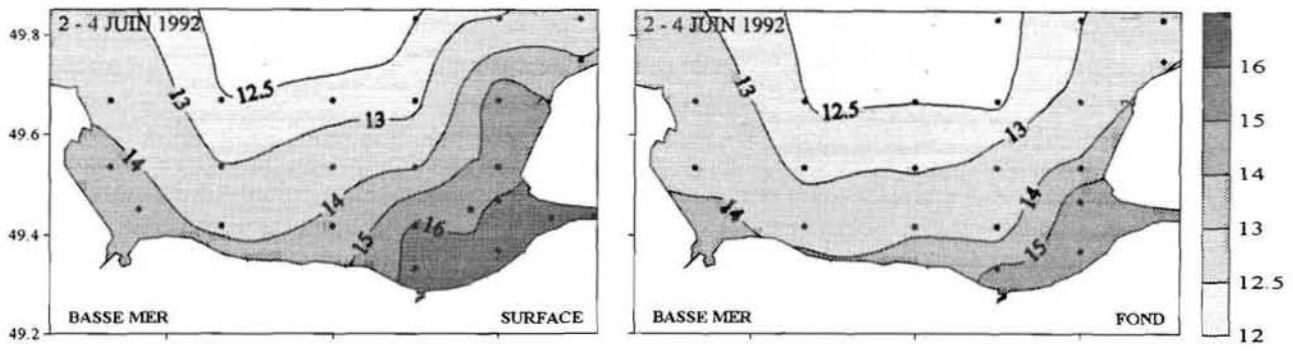
**CAMPAGNE SÉDISEINE 2**  
**2 - 4 juin 1992**

SÉDISEINE 2, 2 - 4 juin 1992, coefficients 86 - 90, débit de la Seine 140 - 300 m<sup>3</sup>/s.

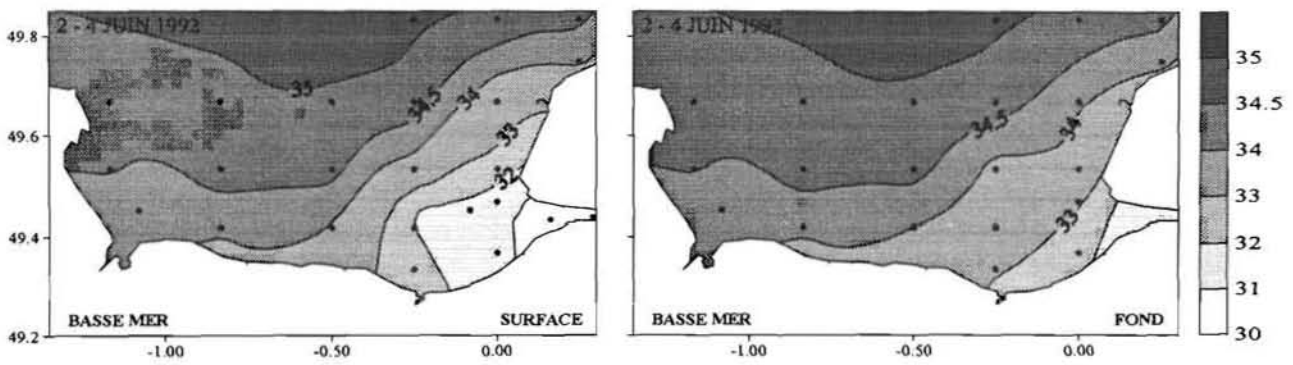
STA	POSITION	DATE	TU + 2
1	N 49° 40,0' W 01° 10,0'	04-juin	14:00
2	N 49° 32,0' W 01° 10,0'	04-juin	13:00
3	N 49° 27,0' W 01° 05,0'	04-juin	12:10
4	N 49° 25,0' W 00° 50,0'	04-juin	10:55
5	N 49° 32,0' W 00° 50,0'	02-juin	11:00
6	N 49° 40,0' W 00° 50,0'	02-juin	07:40
7	N 49° 40,0' W 00° 30,0'	02-juin	09:00
8	N 49° 32,0' W 00° 30,0'	02-juin	13:15
9	N 49° 25,0' W 00° 30,0'	02-juin	14:40
10	N 49° 20,0' W 00° 15,0'	02-juin	17:30
11	N 49° 25,0' W 00° 15,0'	03-juin	08:45
12	N 49° 32,0' W 00° 15,0'	03-juin	09:45
13	N 49° 40,0' W 00° 15,0'	03-jun	10:45
14	N 49° 40,0' W 00° 00,0'	03-jun	15:55
15	N 49° 32,0' W 00° 00,0'	04-jun	07:35
16	N 49° 28,0' W 00° 00,0'	02-jun	19:50
17	N 49° 22,0' W 00° 00,0'	02-jun	18:45
18	N 49° 27,0' W 00° 05,0'	03-jun	08:00
22	N 49° 26,1' E 00° 09,4'	03-jun	18:00
23	N 49° 25,9' E 00° 17,5'	03-jun	18:45
24	N 49° 28,1' E 00° 27,3'	03-jun	19:45
25	N 49° 50,0' W 00° 15,0'	03-jun	12:10
26	N 49° 50,0' W 00° 00,0'	03-jun	13:10
28	N 49° 45,0' E 00° 15,0'	03-jun	14:40
29	N 49° 50,0' E 00° 15,0'	03-jun	14:00



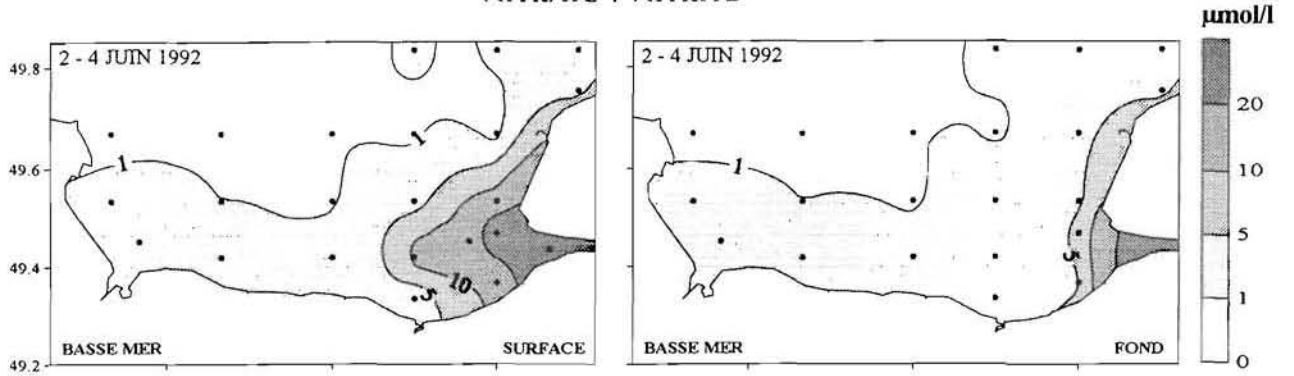
TEMPÉRATURE



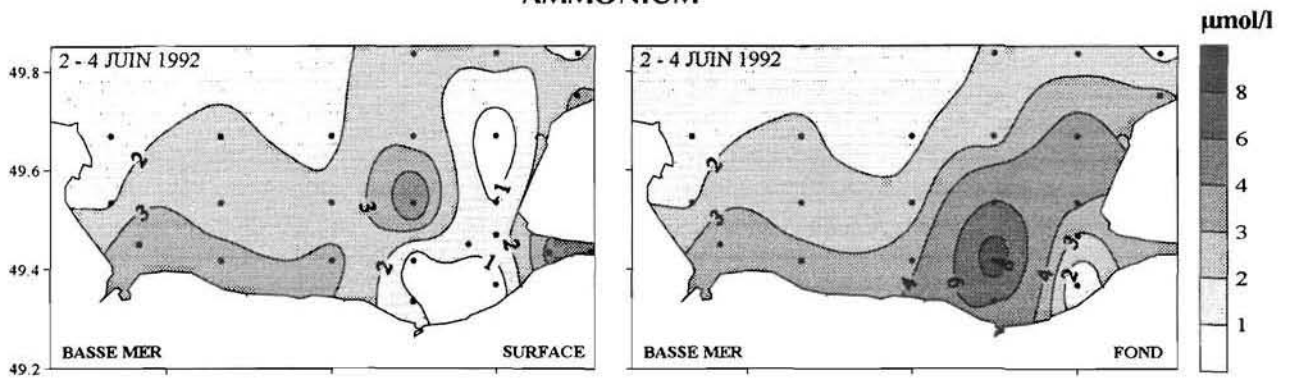
SALINITÉ



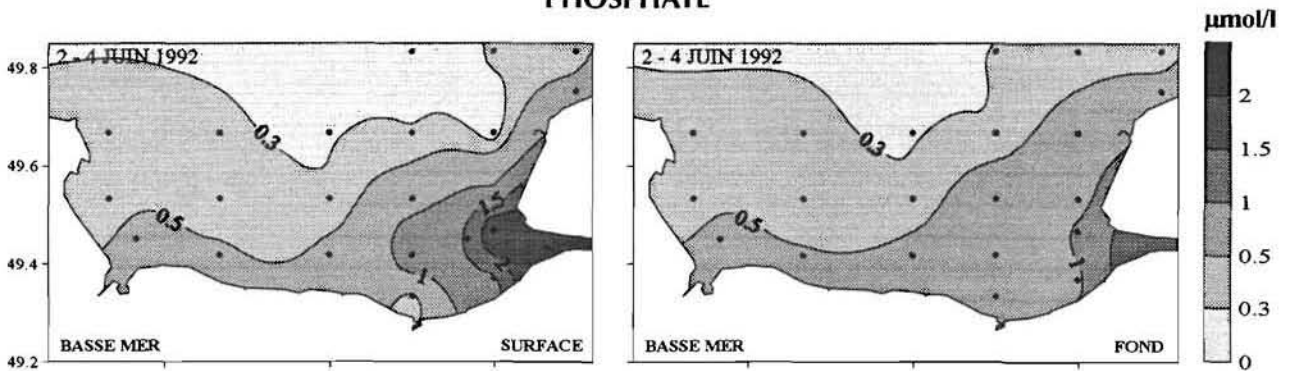
**NITRATE + NITRITE**



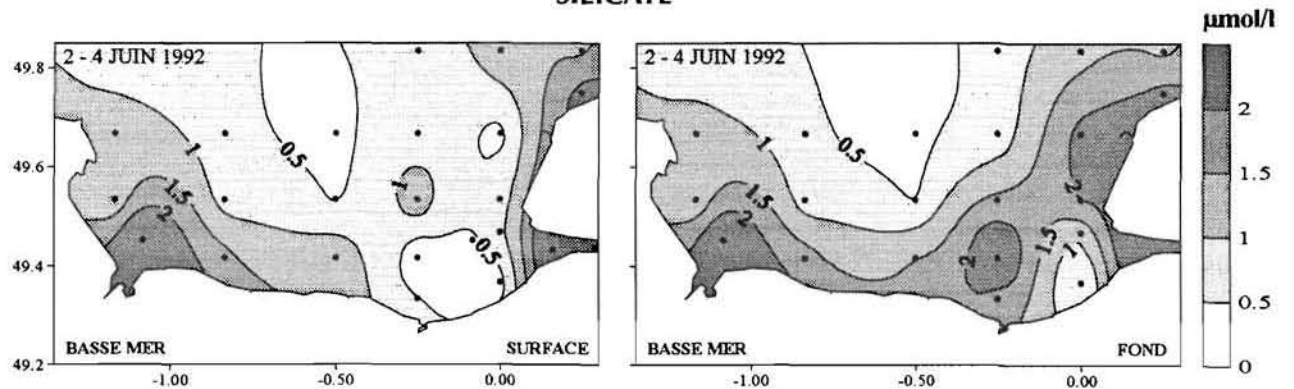
**AMMONIUM**



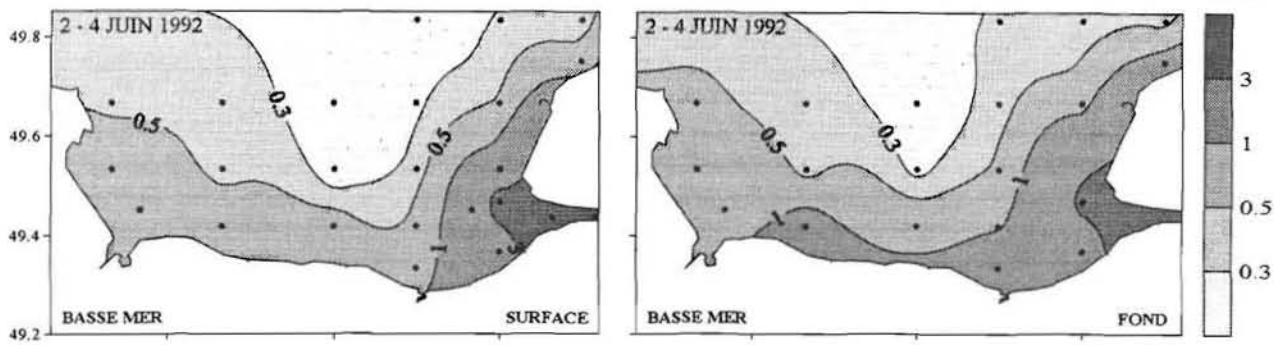
**PHOSPHATE**



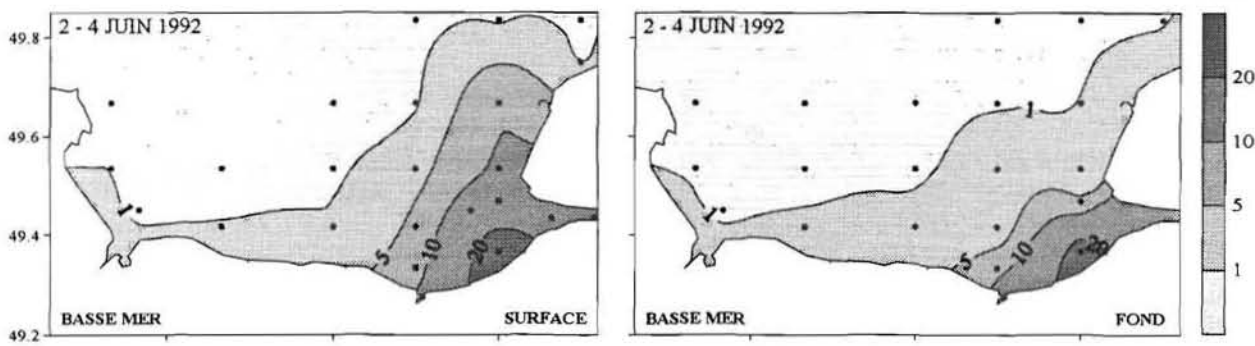
**SILICATE**



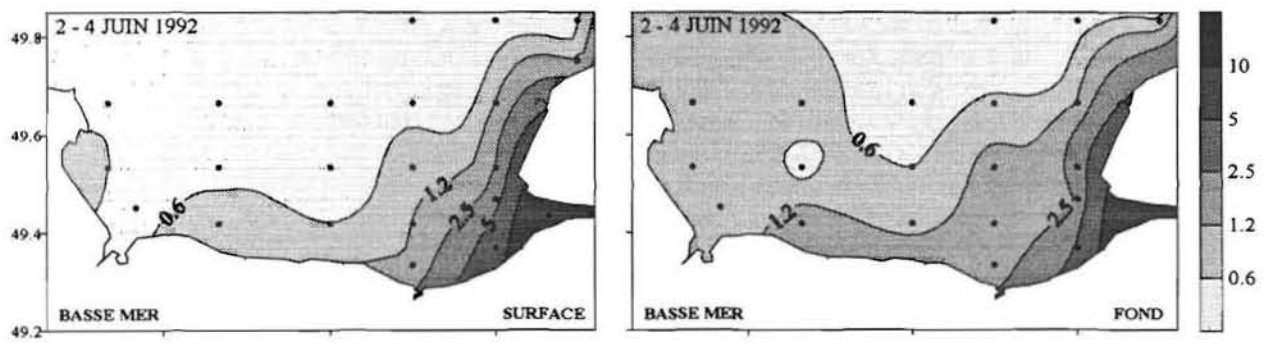
### TURBIDITÉ



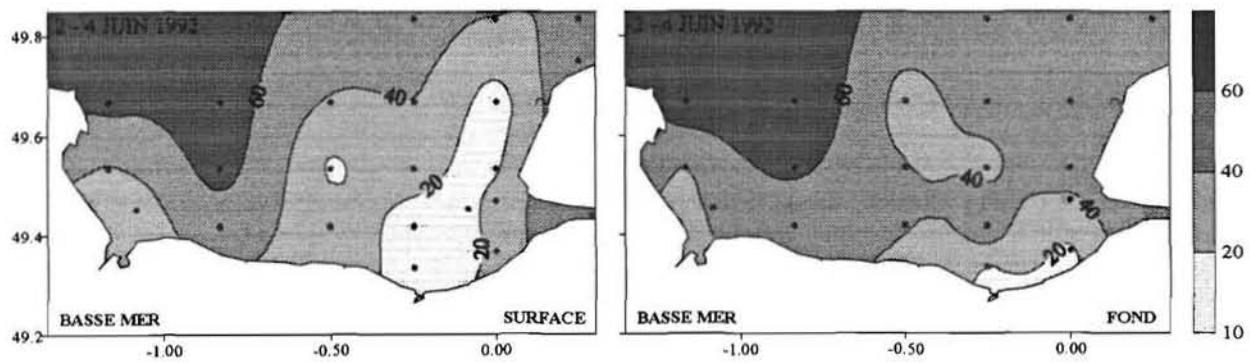
### CHLOROPHYLLE a



### PHÉOPIGMENTS



### % PHÉOPIGMENTS





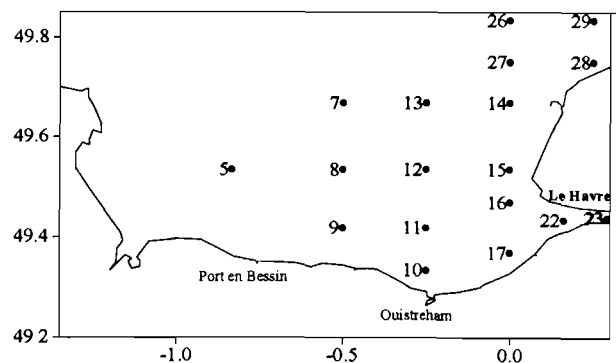
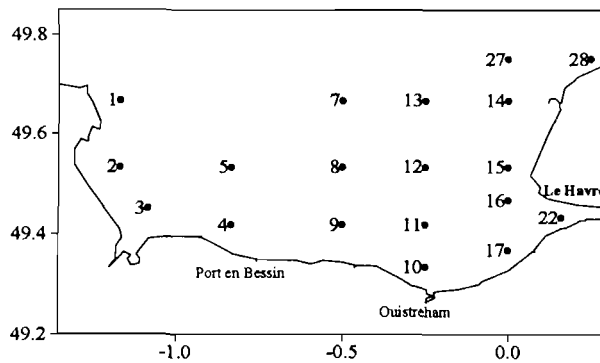
**CAMPAGNE PHYTOSEINE 2**  
**29 juin - 3 juillet 1992**



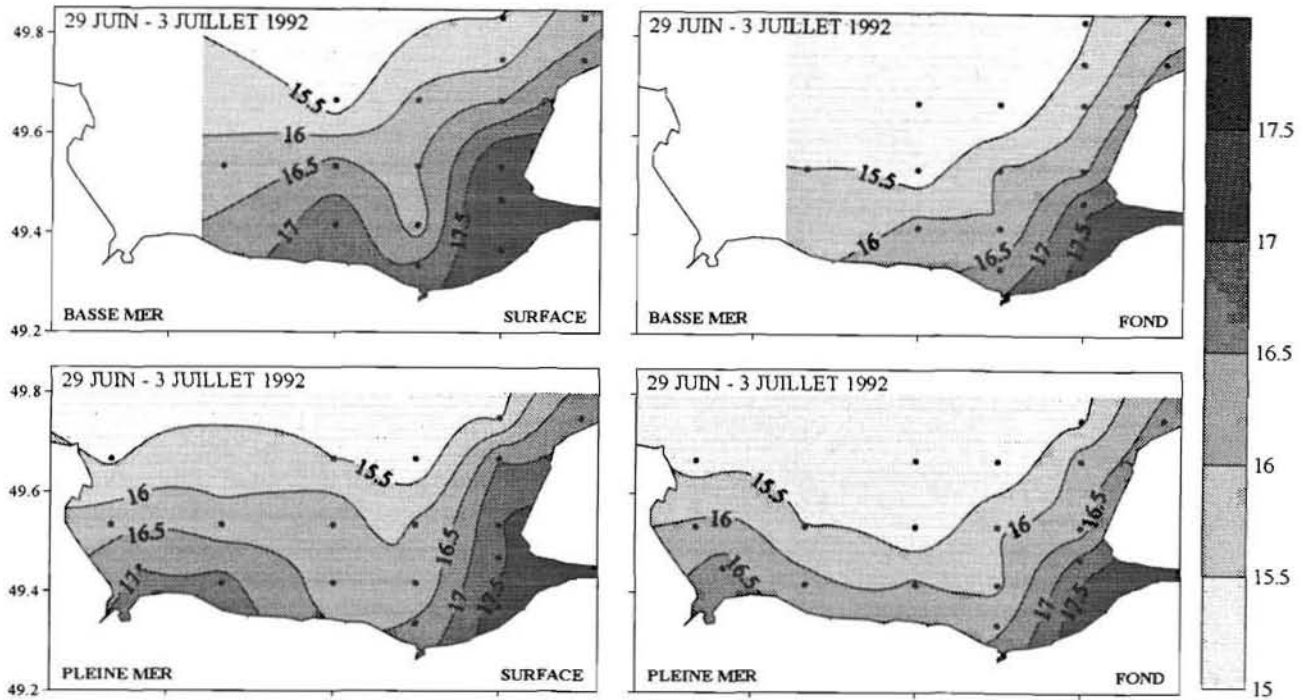
PHYTOSEINE 2, 29 juin - 3 juil. 1992, coefficients 34 - 73, débit de la Seine 290 - 340 m<sup>3</sup>/s.

STA	POSITION		DATE		DATE	
			TU + 2		TU + 2	
			PLEINE MER		BASSE MER	
1	N 49° 40.0'	W 01° 10.0'	29-juin	08:00		
2	N 49° 32.0'	W 01° 10.0'	29-juin	09:15		
3	N 49° 27.0'	W 01° 05.0'	29-juin	10:30		
4	N 49° 25.0'	W 00° 50.0'	29-juin	11:45		
5	N 49° 32.0'	W 00° 50.0'	29-juin	13:25	29-juin	13:25
7	N 49° 40.0'	W 00° 30.0'	29-juin	12:15	29-juin	15:40
8	N 49° 32.0'	W 00° 30.0'	30-juin	11:15	29-juin	17:00
9	N 49° 25.0'	W 00° 30.0'	30-juin	10:20	29-juin	18:10
10	N 49° 20.0'	W 00° 15.0'	02-juil	11:15	01-juil	19:00
11	N 49° 25.0'	W 00° 15.0'	02-juil	12:05	01-juil	18:15
12	N 49° 32.0'	W 00° 15.0'	02-juil	13:00	01-juil	17:15
13	N 49° 40.0'	W 00° 15.0'	02-juil	14:00	30-juin	16:40
14	N 49° 40.0'	W 00° 00.0'	01-juil	13:40	30-juin	18:00
15	N 49° 32.0'	W 00° 00.0'	01-juil	12:40	30-juin	19:00
16	N 49° 28.0'	W 00° 00.0'	01-juil	12:05	02-juil	06:30
17	N 49° 22.0'	W 00° 00.0'	01-juil	11:30	02-juil	07:10
22	N 49° 26.1'	E 00° 09.4'	01-juil	07:45		
23	N 49° 25.9'	E 00° 17.5'	01-juil	08:20		
24	N 49° 28.1'	E 00° 27.3'	01-juil	09:00		
26	N 49° 50.0'	W 00° 00.0'	03-juil	10:00		
27	N 49° 45.0'	W 00° 00.0'	03-juil	11:30	02-juil	18:00
28	N 49° 45.0'	E 00° 15.0'	03-juil	12:50	03-juil	08:15
29	N 49° 50.0'	E 00° 15.0'	03-juil	09:00		

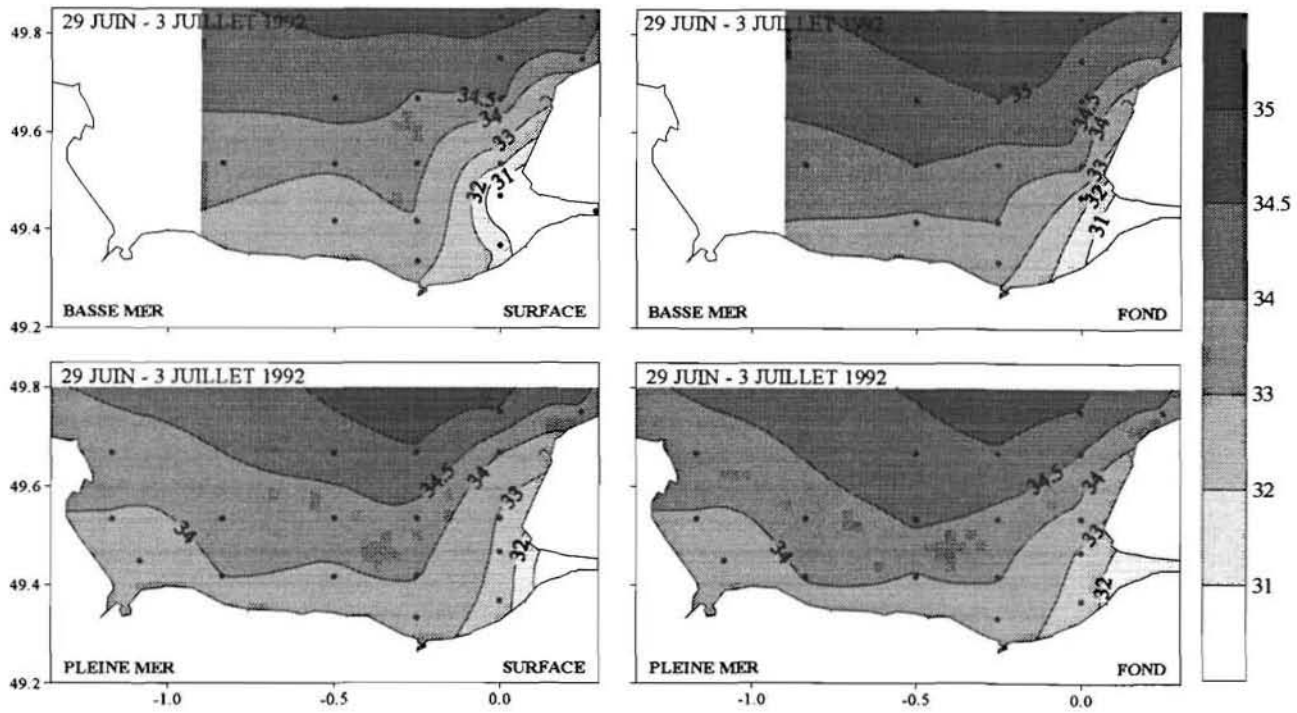
Stations



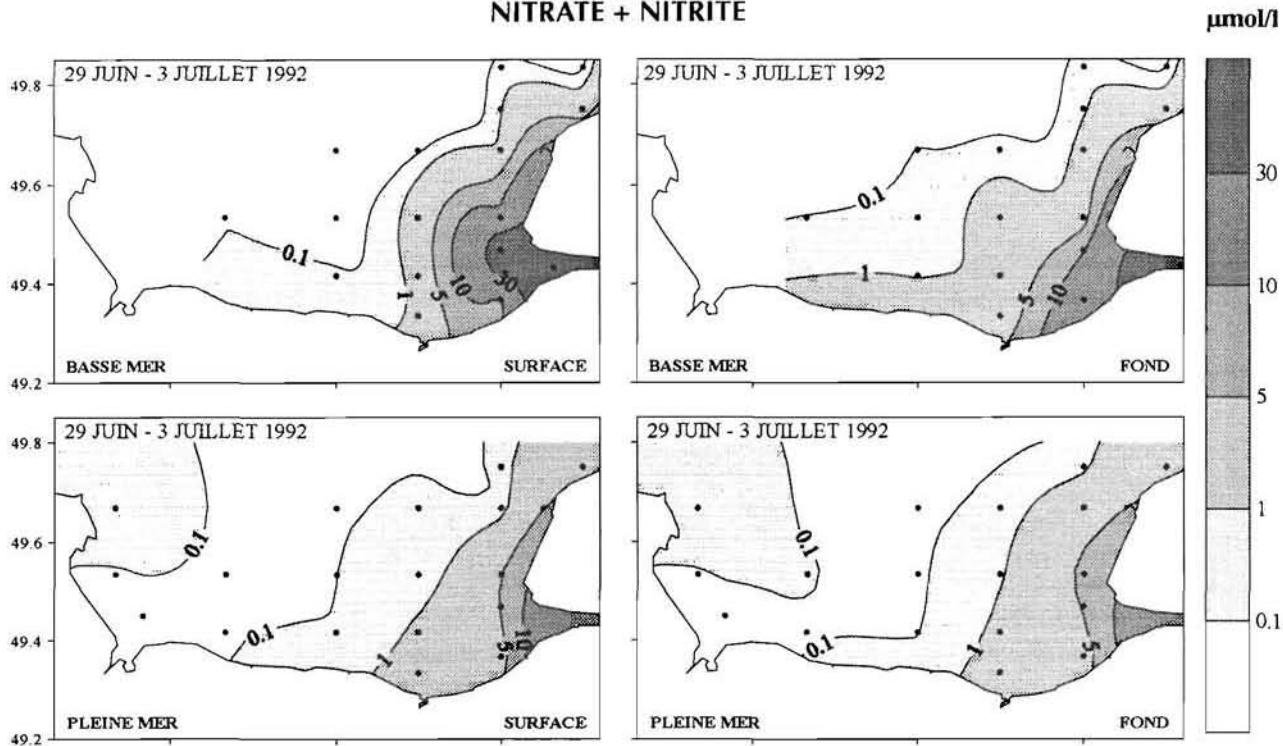
### TEMPÉRATURE



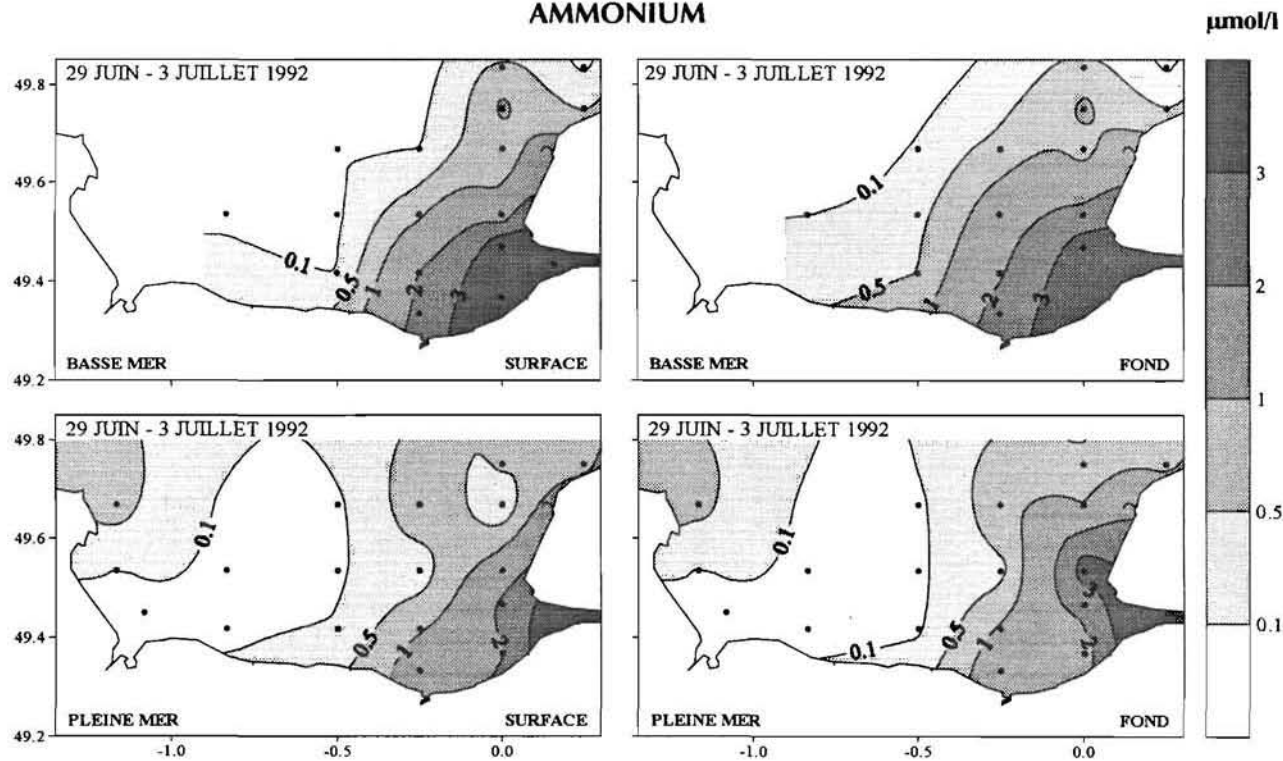
### SALINITÉ



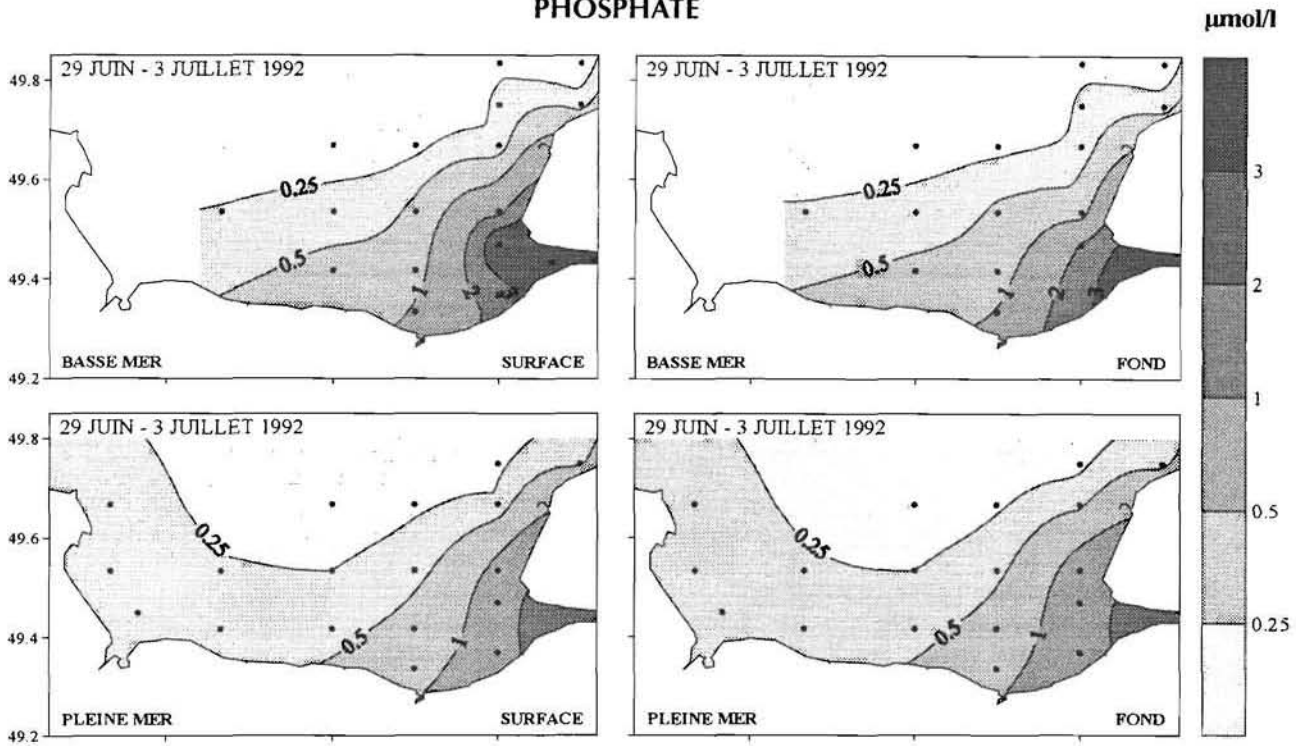
**NITRATE + NITRITE**



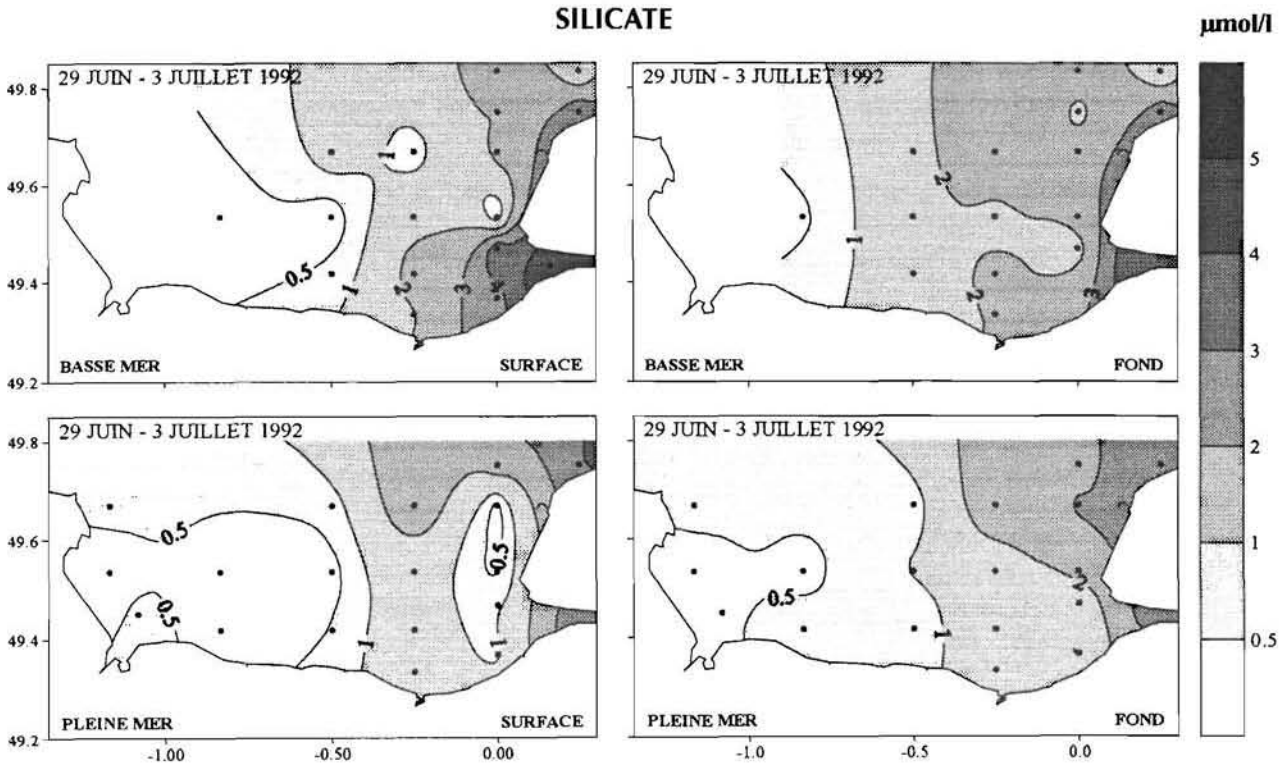
**AMMONIUM**



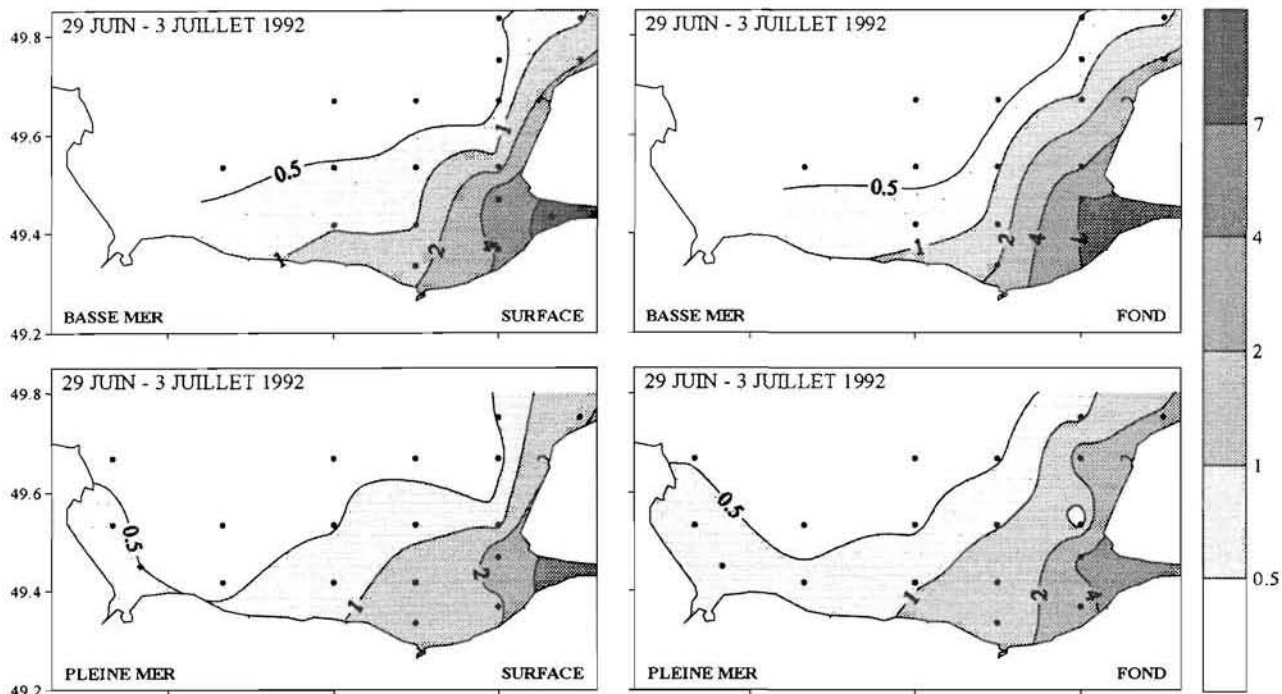
## PHOSPHATE



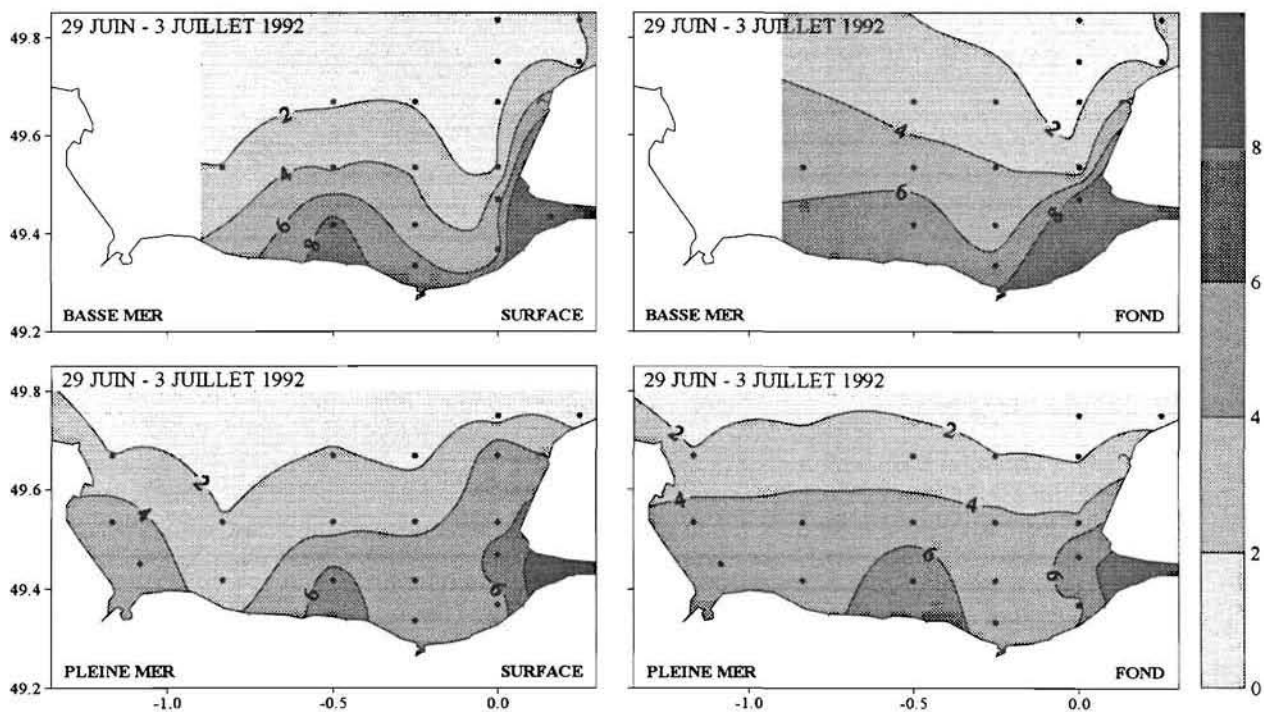
## SILICATE



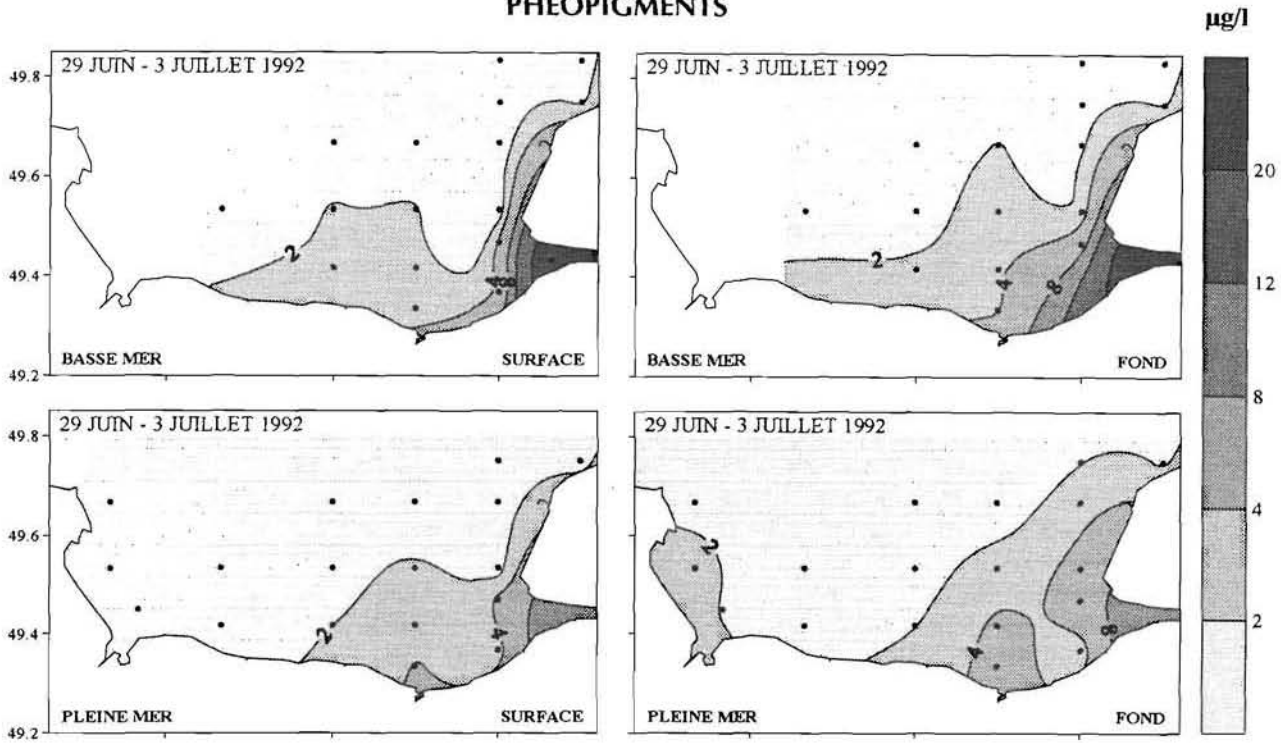
### TURBIDITÉ



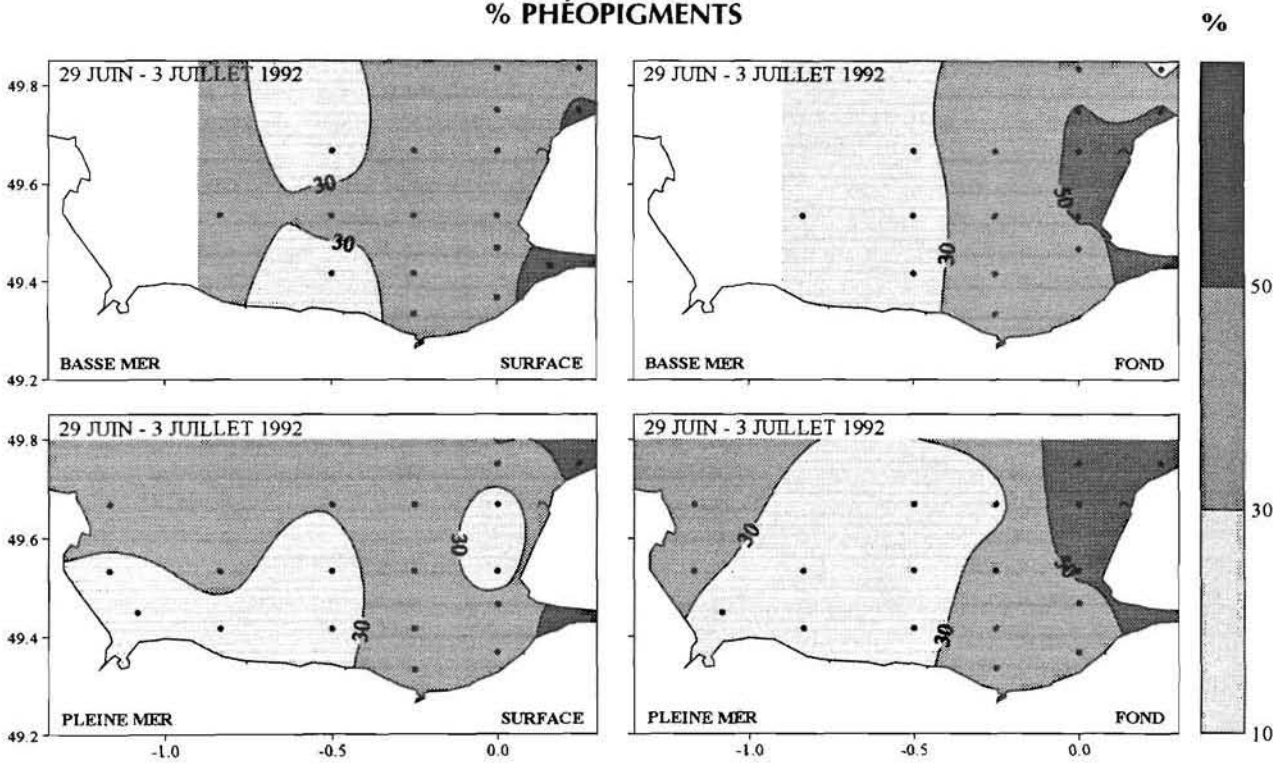
### CHLOROPHYLLE a



## PHÉOPIGMENTS



## % PHÉOPIGMENTS





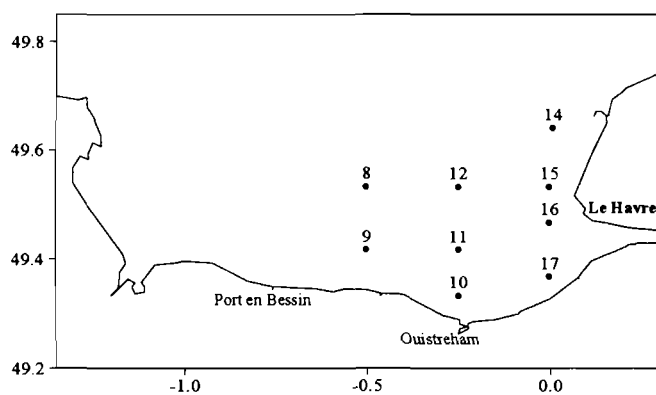
**CAMPAGNE NUTRISEINE 1**  
**25 - 28 avril 1994**



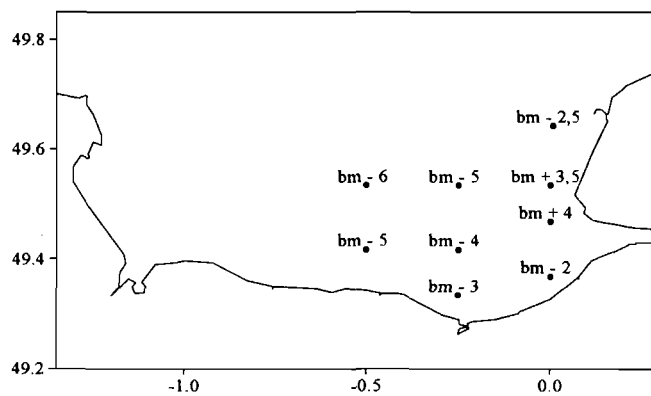
**NUTRISEINE 1, 25 - 28 avril 1994, coefficients 102 - 113, débit de la Seine 680 - 805 m<sup>3</sup>/s.**

STA	POSITION	DATE	TU + 2
8	N 49° 32,0' W 00° 30,0'	28-avril	14:30
9	N 49° 25,0' W 00° 30,0'	28-avril	15:30
10	N 49° 20,0' W 00° 15,0'	28-avril	17:30
11	N 49° 25,0' W 00° 15,0'	28-avril	16:50
12	N 49° 32,0' W 00° 15,0'	26-avril	14:00
14	N 49° 38,5' W 00° 00,5'	25-avril	15:55
15	N 49° 32,0' W 00° 00,0'	27-avril	11:00
16	N 49° 28,0' W 00° 00,0'	27-avril	
17	N 49° 22,0' W 00° 00,0'	28-avril	18:35

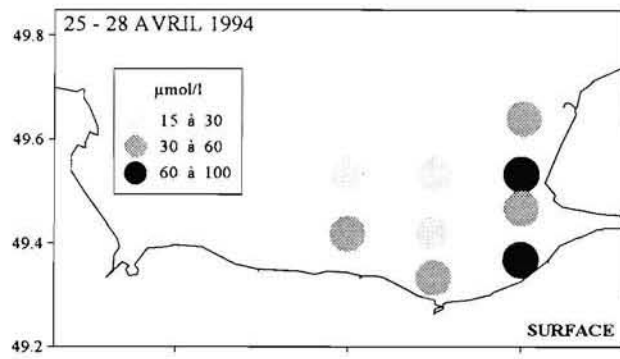
Stations



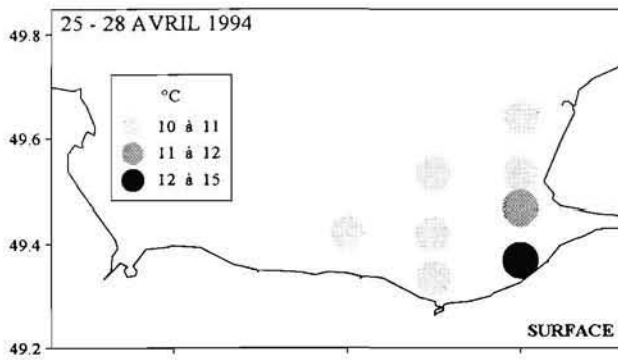
Heure marée



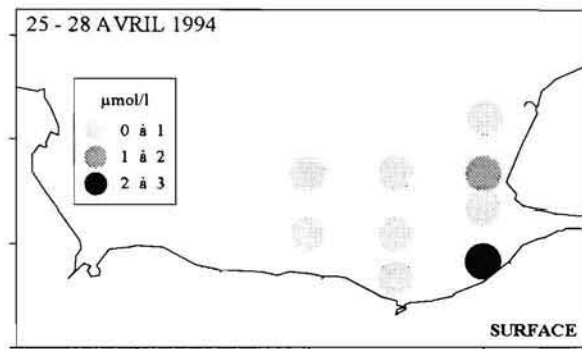
## NITRATE + NITRITE



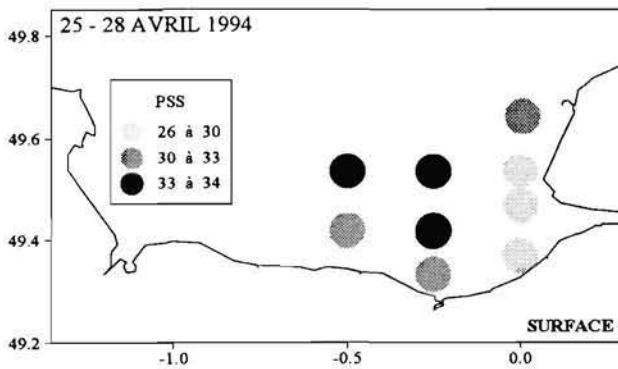
## TEMPÉRATURE



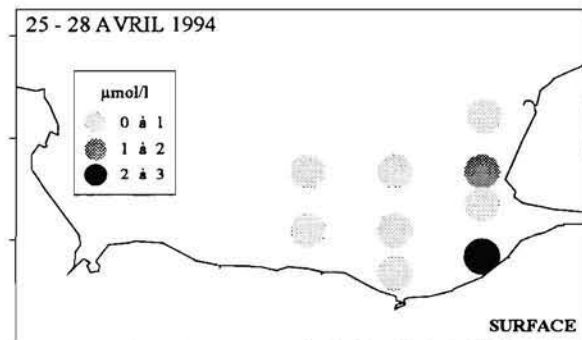
## AMMONIUM



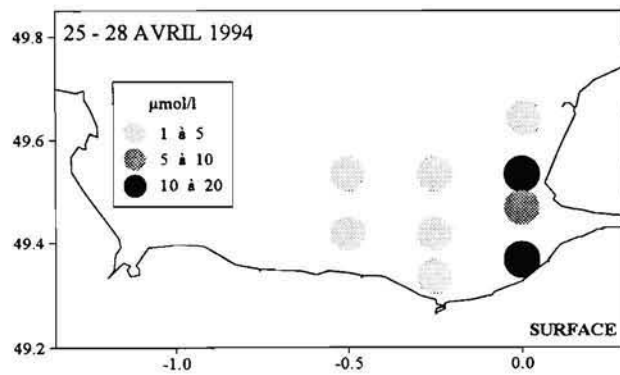
## SALINITÉ



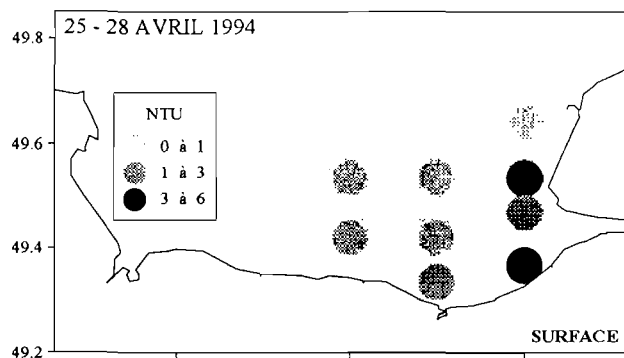
## PHOSPHATE



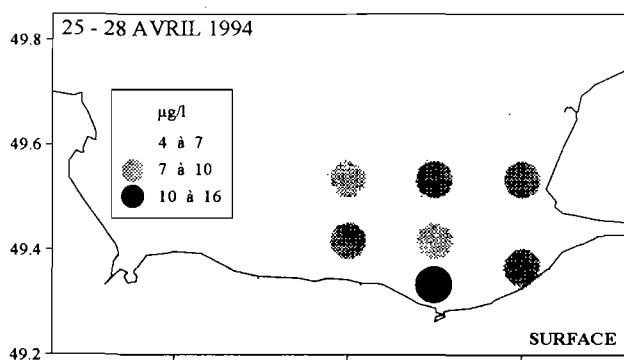
## SILICATE



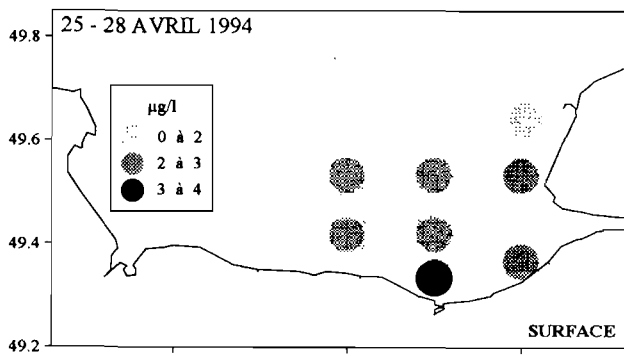
### TURBIDITÉ



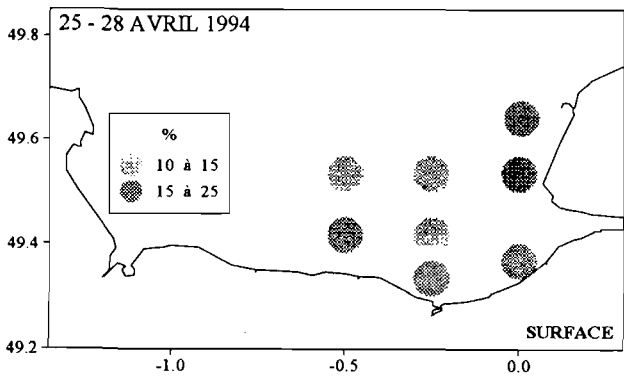
### CHLOROPHYLLE a



### PHÉOPIGMENTS



### % PHÉOPIGMENTS

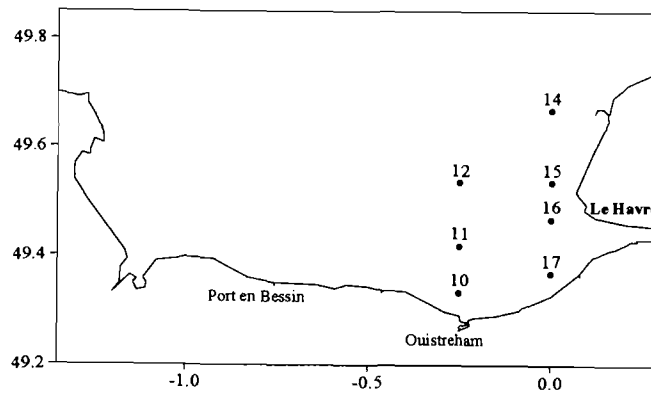


**CAMPAGNE NUTRISEINE 2**  
**22 - 25 juin 1994**

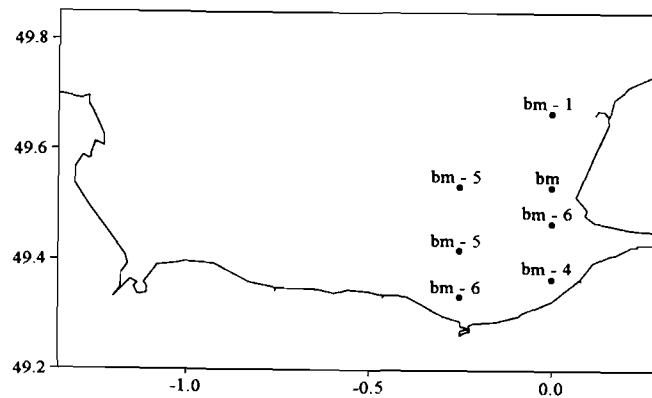
**NUTRISEINE 2, 22 - 25 juin 1994, coefficients 91 - 99, débit de la Seine 205 - 310 m<sup>3</sup>/s.**

STA	POSITION	DATE	TU + 2
10	N 49° 20.0' W 00° 15.0'	25-juin	14:15
11	N 49° 25.0' W 00° 15.0'	25-juin	14:56
12	N 49° 32.0' W 00° 15.0'	23-juin	13:45
14	N 49° 40.0' E 00° 00.0'	22-juin	16:17
15	N 49° 32.0' E 00° 00.0'	22-juin	17:30
16	N 49° 28.0' E 00° 00.0'	24-juin	13:26
17	N 49° 22.0' E 00° 00.0'	25-juin	16:10

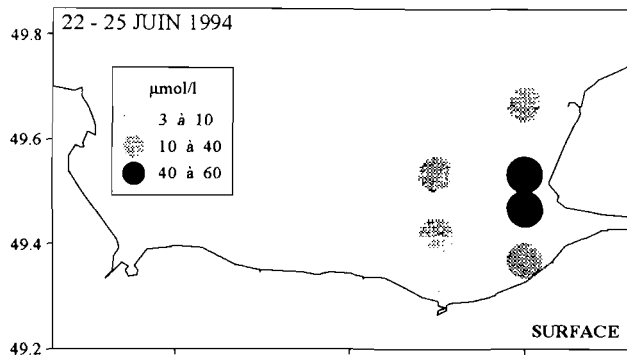
Stations



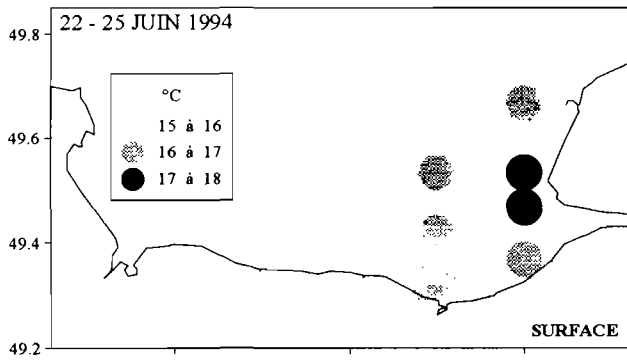
Heure marée



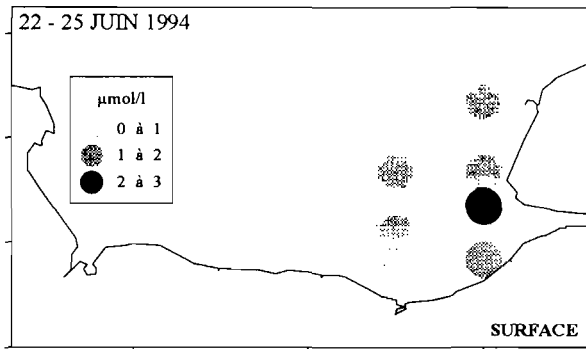
**NITRATE + NITRITE**



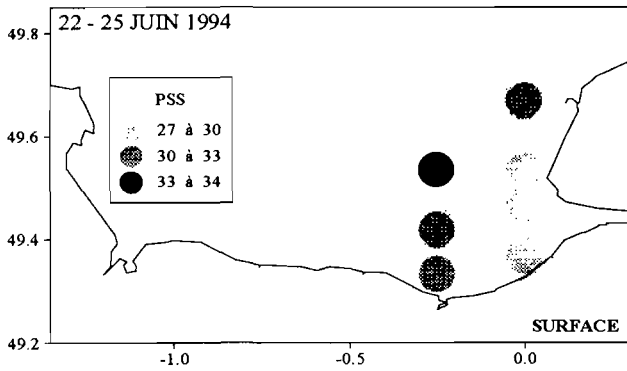
**TEMPÉRATURE**



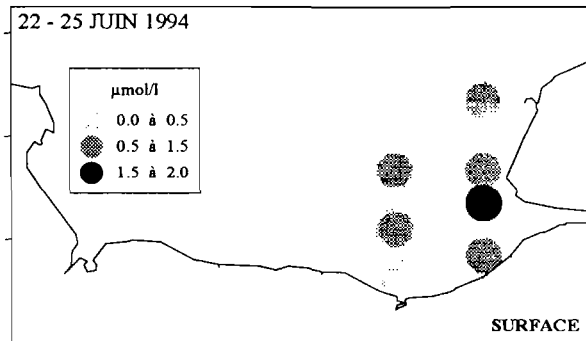
**AMMONIUM**



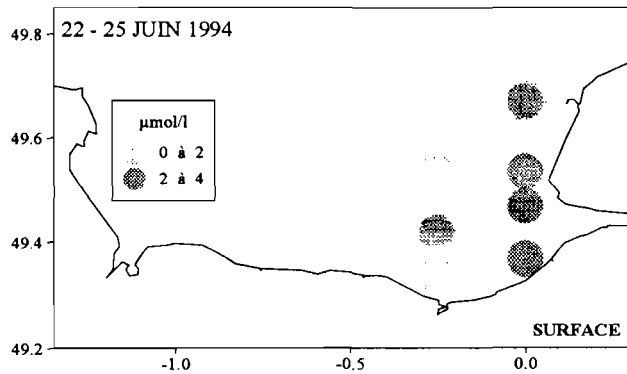
**SALINITÉ**



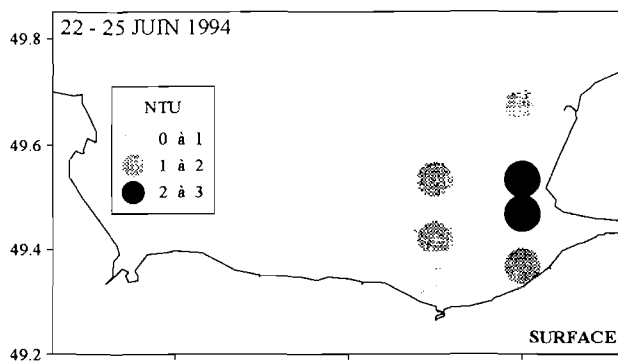
**PHOSPHATE**



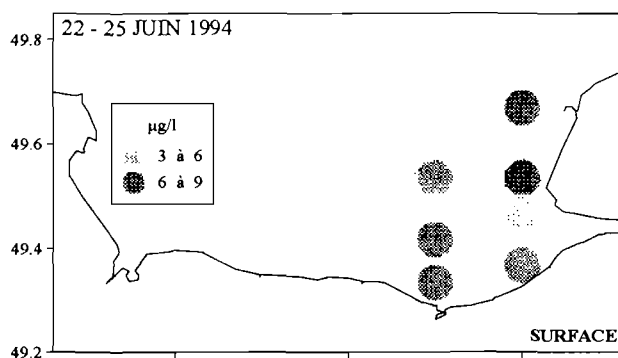
**SILICATE**



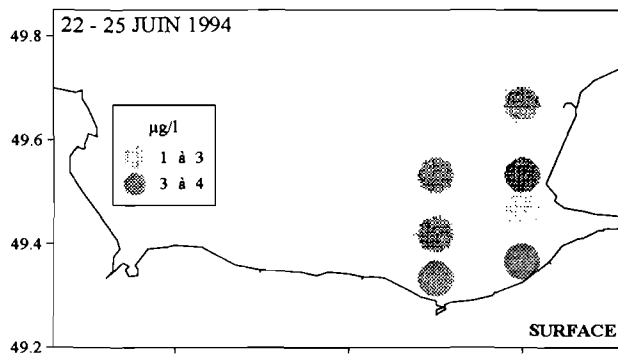
### TURBIDITÉ



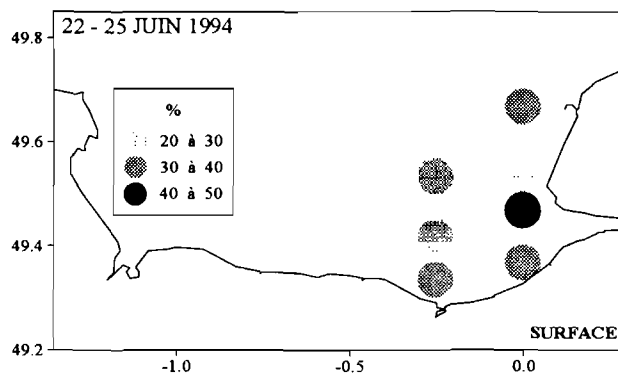
### CHLOROPHYLLE a



### PHÉOPIGMENTS



### % PHÉOPIGMENTS



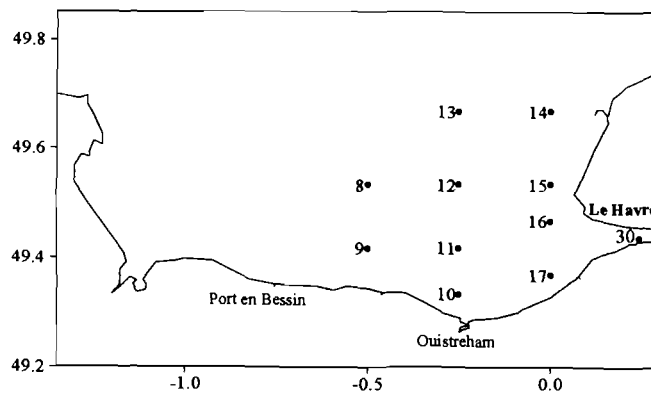
**CAMPAGNE NUTRISEINE 3**  
**22 - 25 septembre 1994**



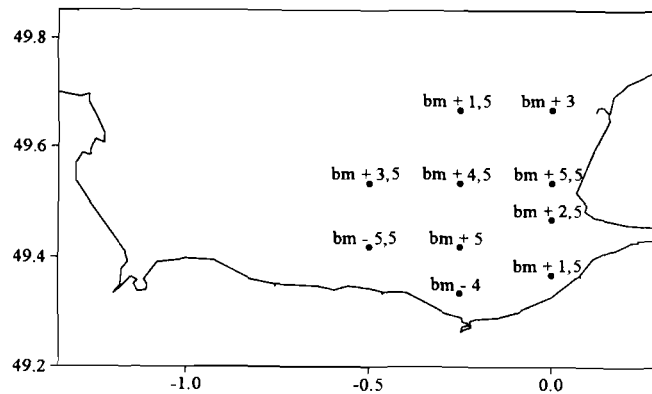
**NUTRISEINE 3, 22 - 25 sept. 1994, coefficients 64 - 89, débit de la Seine 325 - 405 m<sup>3</sup>/s.**

STA	POSITION		DATE	TU + 2
8	N 49° 32.0'	W 00° 30.0'	24-sep	12:10
9	N 49° 25.0'	W 00° 30.0'	23-sep	14:55
10	N 49° 20.0'	W 00° 15.0'	23-sep	16:15
11	N 49° 25.0'	W 00° 15.0'	23-sep	13:35
12	N 49° 32.0'	W 00° 15.0'	24-sep	13:15
13	N 49° 40.0'	W 00° 15.0'	24-sep	10:15
14	N 49° 40.0'	W 00° 00.0'	25-sep	12:10
15	N 49° 32.0'	W 00° 00.0'	24-sep	14:15
16	N 49° 28.0'	W 00° 00.0'	22-sep	10:20
17	N 49° 22.0'	W 00° 00.0'	22-sep	09:20
30	N 49°26.0'	E 00° 14.0'	22-sep	cycle

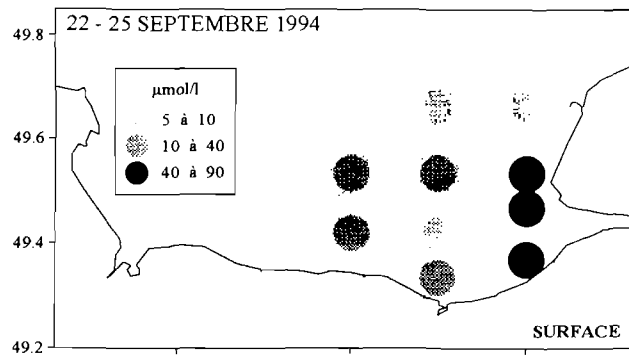
Stations



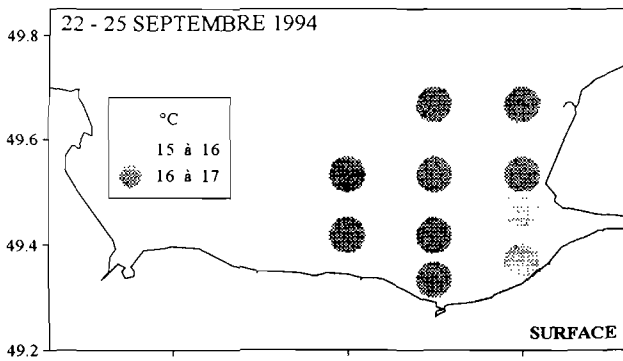
Heure marée



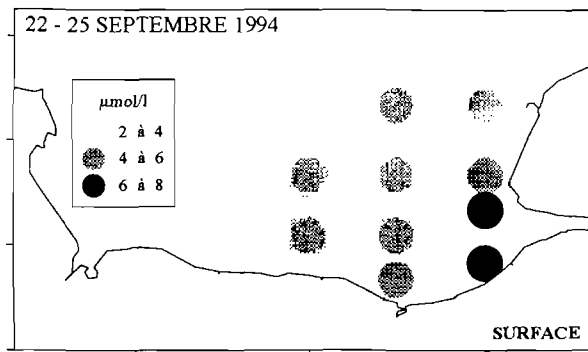
### NITRATE + NITRITE



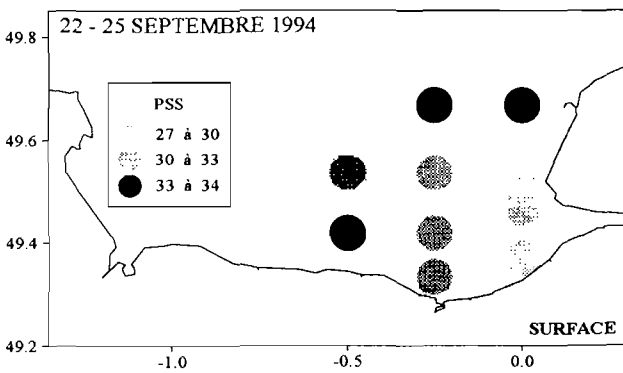
### TEMPÉRATURE



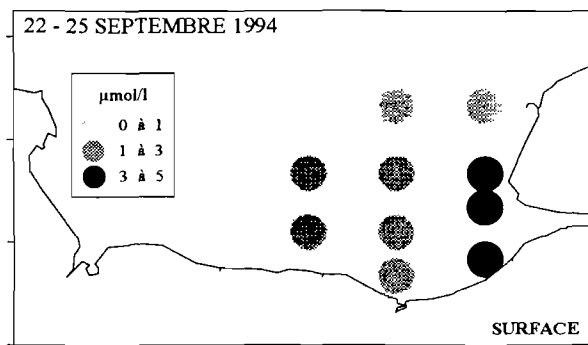
### AMMONIUM



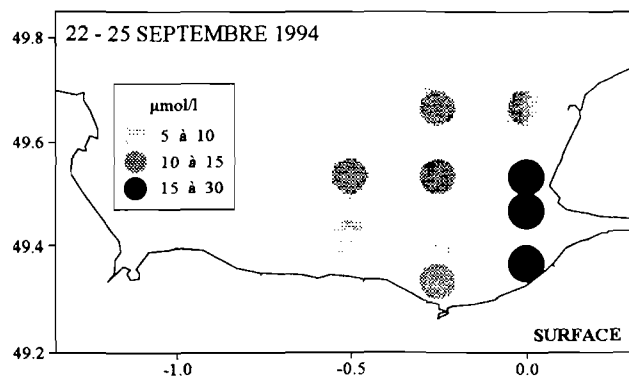
### SALINITÉ



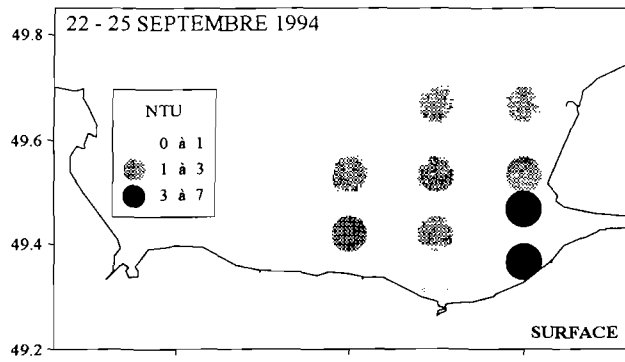
### PHOSPHATE



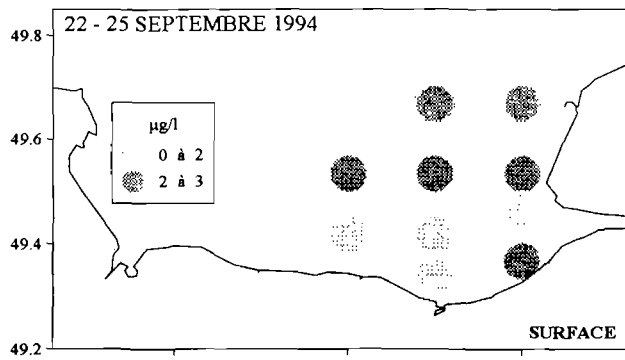
### SILICATE



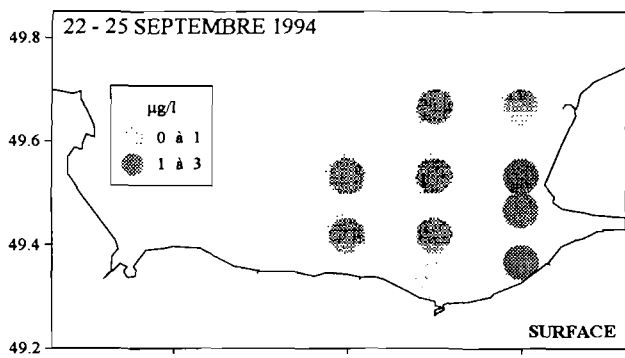
### TURBIDITÉ



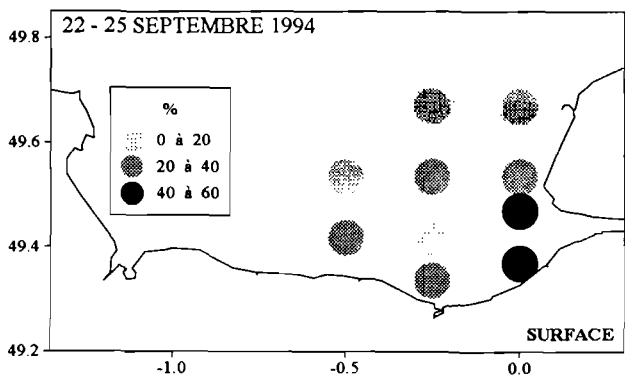
### CHLOROPHYLLE a



### PHÉOPIGMENTS



### % PHÉOPIGMENTS



## **Chapitre III**

# **Caractéristiques spatio-temporelles**



Il apparaît évident, à la lecture des cartes (cf. chapitre II), que la distribution géographique des caractéristiques hydrologiques et, dans de nombreux cas, des paramètres chimiques, est fortement influencée par la présence de la Seine qui impose un gradient sud-est/nord-ouest dans la baie, quelle que soit l'époque de l'année.

## Température

La température des eaux de la baie varie de 6 à 8 °C en hiver (février-mars) à 15 à 18 °C en juillet. Le gradient de température sud-est/nord-ouest s'inverse courant avril, l'eau de la Seine étant plus froide que l'eau de mer en hiver et plus chaude en été. Verticalement, la masse d'eau est thermiquement assez homogène. De l'automne au début du printemps, la différence de température entre la surface et le fond n'excède qu'exceptionnellement 0,5 °C. Le reste de l'année les gradients peuvent atteindre 1 à 3 °C, les plus fortes différences restant toutefois localisées dans le sud-est.

## Salinité

Les données acquises nous ont permis d'étudier les gradients horizontaux et verticaux de plusieurs manières : déplacement d'isohaline, différences verticales de salinité, cycles de marée. On note

qu'en 1992, les salinités ont été dans l'ensemble plus élevées que celles observées lors des autres campagnes. Ceci s'explique par la faible pluviométrie de la période d'étude, comme en témoignent les débits de la Seine (tableau 1, p. 17 et données du Service de navigation de la Seine) qui n'ont que rarement dépassé le débit moyen annuel de 400 m<sup>3</sup>/s.

## Structure spatiale

Sous l'influence des apports de la Seine, les isohalines s'orientent nord-est/sud-ouest dans l'est de la baie. Elles se redressent en direction du Cotentin dans la partie ouest du fait des apports de la Vire et de la Douve, ainsi que de la circulation générale dans la baie (Le Hir, 1980). L'influence horizontale de l'eau douce est illustrée par le déplacement de l'isohaline 33 PSS, en surface à basse mer, lors de conditions différentes de débit, à différentes époques (fig. 5).

L'extension du panache de la Seine est très variable à une même période, selon la pluviométrie. En effet, le temps de stockage de l'eau douce en baie de Seine ayant été évalué à  $2,5 \pm 1$  mois (Le Hir *et al.*, 1986), les débits de la période précédant la campagne auront à l'évidence des répercussions sur la distribution des salinités (fig. 4, p. 18). Néanmoins, la position des isohalines est peu influencée par la marée pour des salinités supérieures à 33 PSS, comme on a pu le déterminer lors des

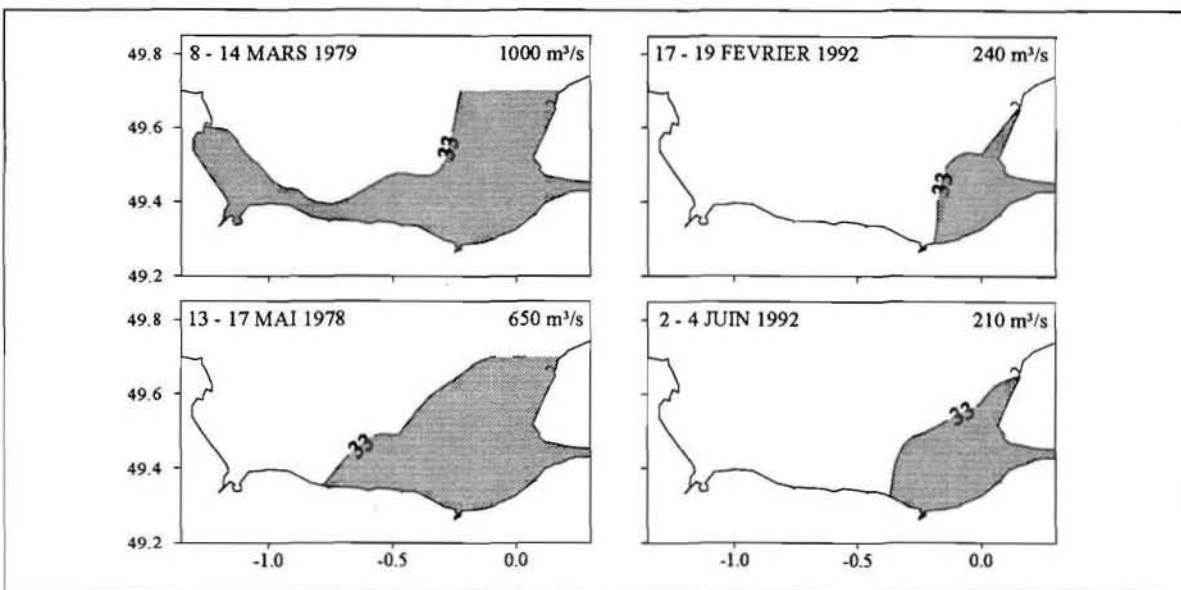


Figure 5 - Isohaline 33 PSS en surface à basse mer, dans quatre situations typiques. Le débit mentionné correspond au débit moyen de la Seine durant le mois précédant la campagne.

campagnes où des couvertures de pleine mer et basse mer ont été réalisées (cf. chapitre II). Le brassage intense par les courants conduit à une grande homogénéité verticale de la masse d'eau. Ceci est vérifié par l'étude des différences de salinité entre la surface et le fond. Les cartes de la figure 6 montrent que des écarts supérieurs à 1 PSS (soit, en valeur relative, 3 %) ne sont mesurés que dans la partie sud-est et le long de la côte est. La moitié ouest de la baie ne présente que rarement des écarts de plus de 0,1 PSS. Comme le concluait Le Hir (1980), *la baie de Seine peut donc être considérée comme homogène sur au moins les trois-quarts ouest de son étendue*. Par contre, les apports en eau douce engendrent des stratifications marquées sur le quart est de la baie.

La distribution tridimensionnelle des salinités est illustrée par les jeux de coupes verticales ouest-est tracées pour les campagnes où trois immersions ont été échantillonnées (fig. 7 et 8, p. 107 et 108). La succession des coupes du nord au sud permet de visualiser la pénétration de l'eau marine de la Manche dans la partie ouest à centre-ouest de la baie, tandis que l'écoulement du panache de la Seine s'identifie nettement par la stratification qui s'établit le long de la côte sud et directement à l'ouest de l'embouchure. Cette dernière structure est toutefois moins marquée en mai 1978 qu'en mars 1979, en relation avec le débit de la Seine. Les coupes de mai 1978 permettent également de vérifier que la distribution des salinités est peu influencée par la marée.

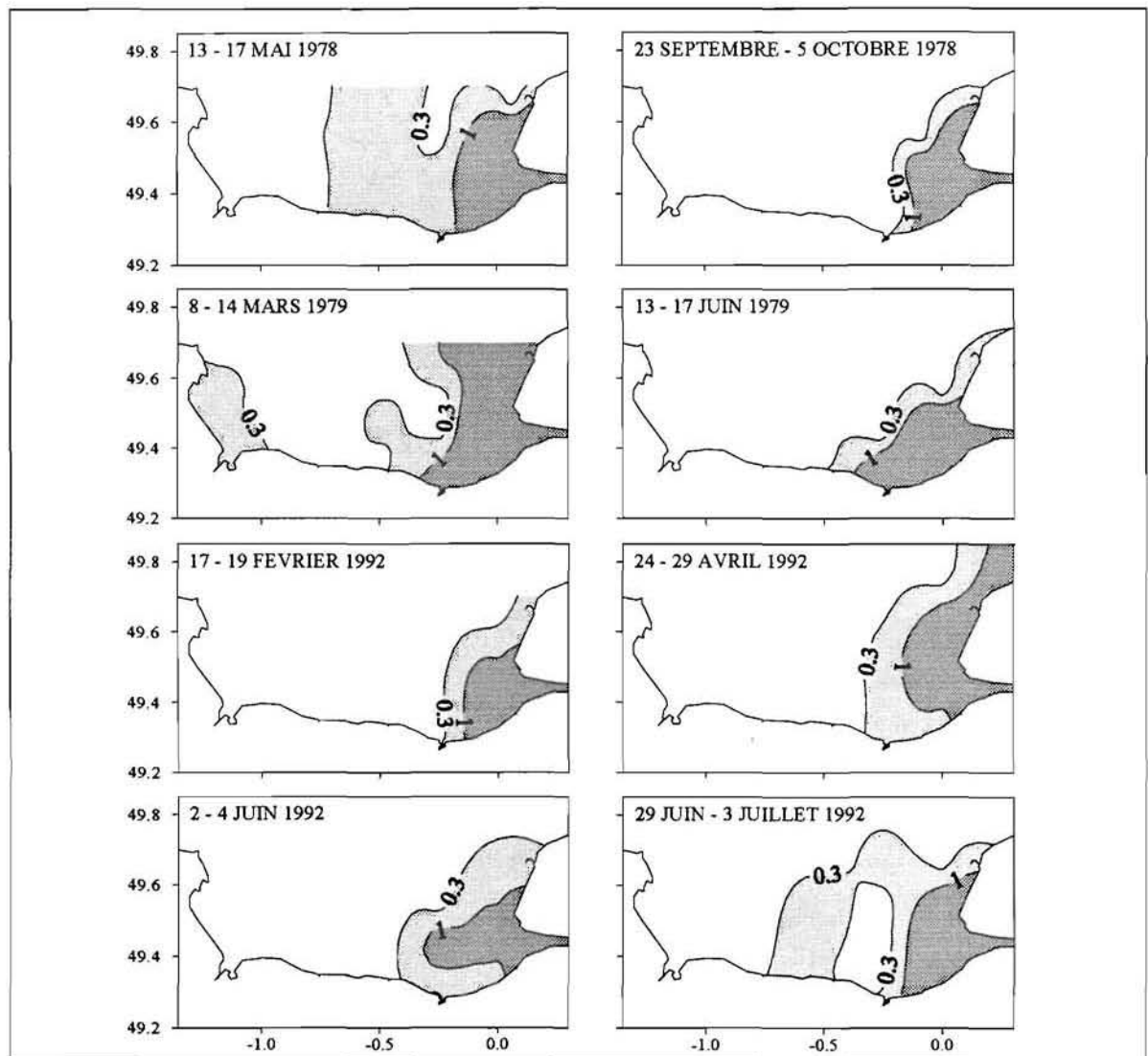


Figure 6 - Différence de salinité (PSS) entre le fond et la surface en situation de basse mer, lors des campagnes où ces deux immersions ont été échantillonnées.

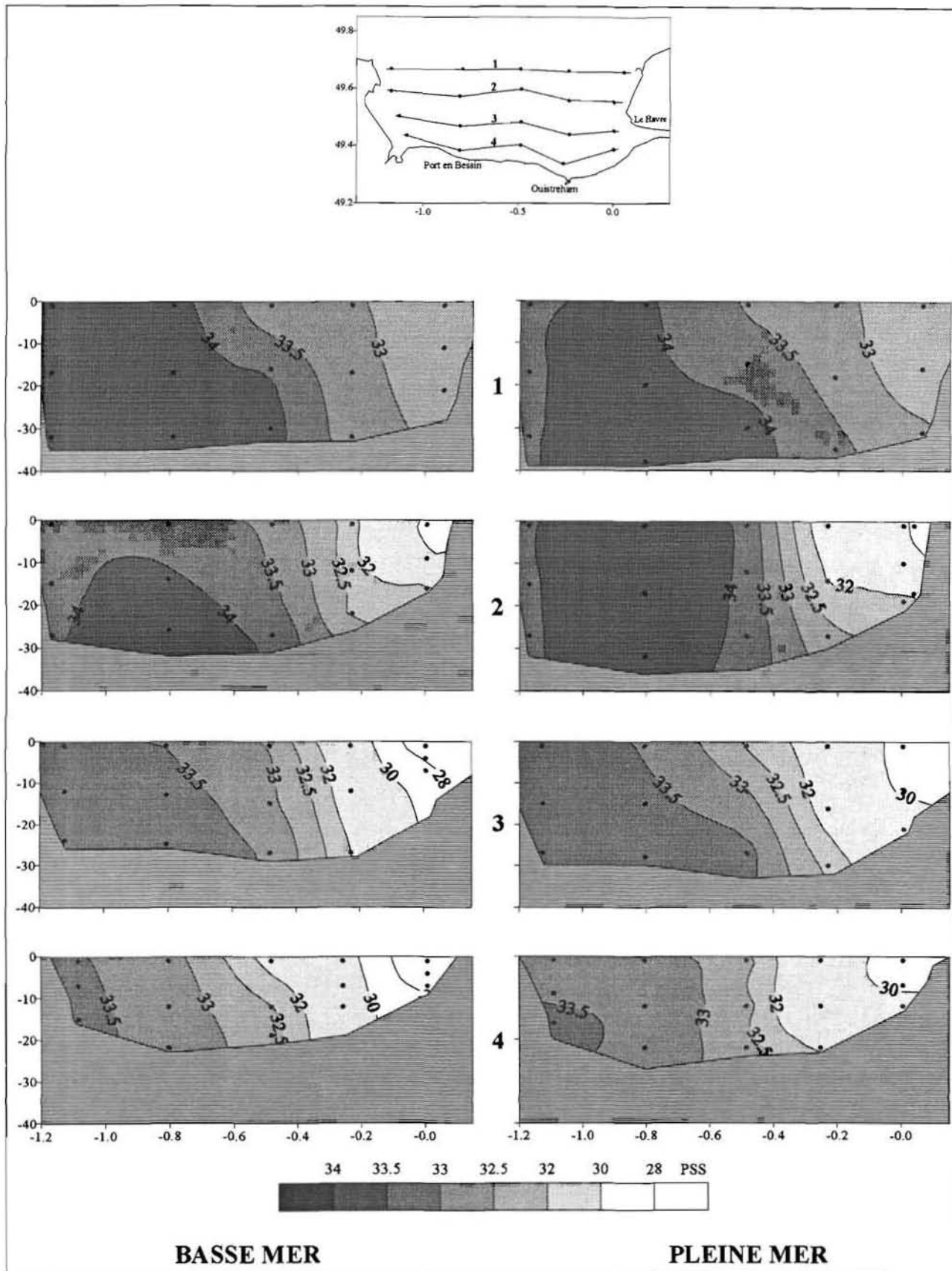


Figure 7 - Coupes verticales de salinité, à basse mer et pleine mer, en mai 1978.



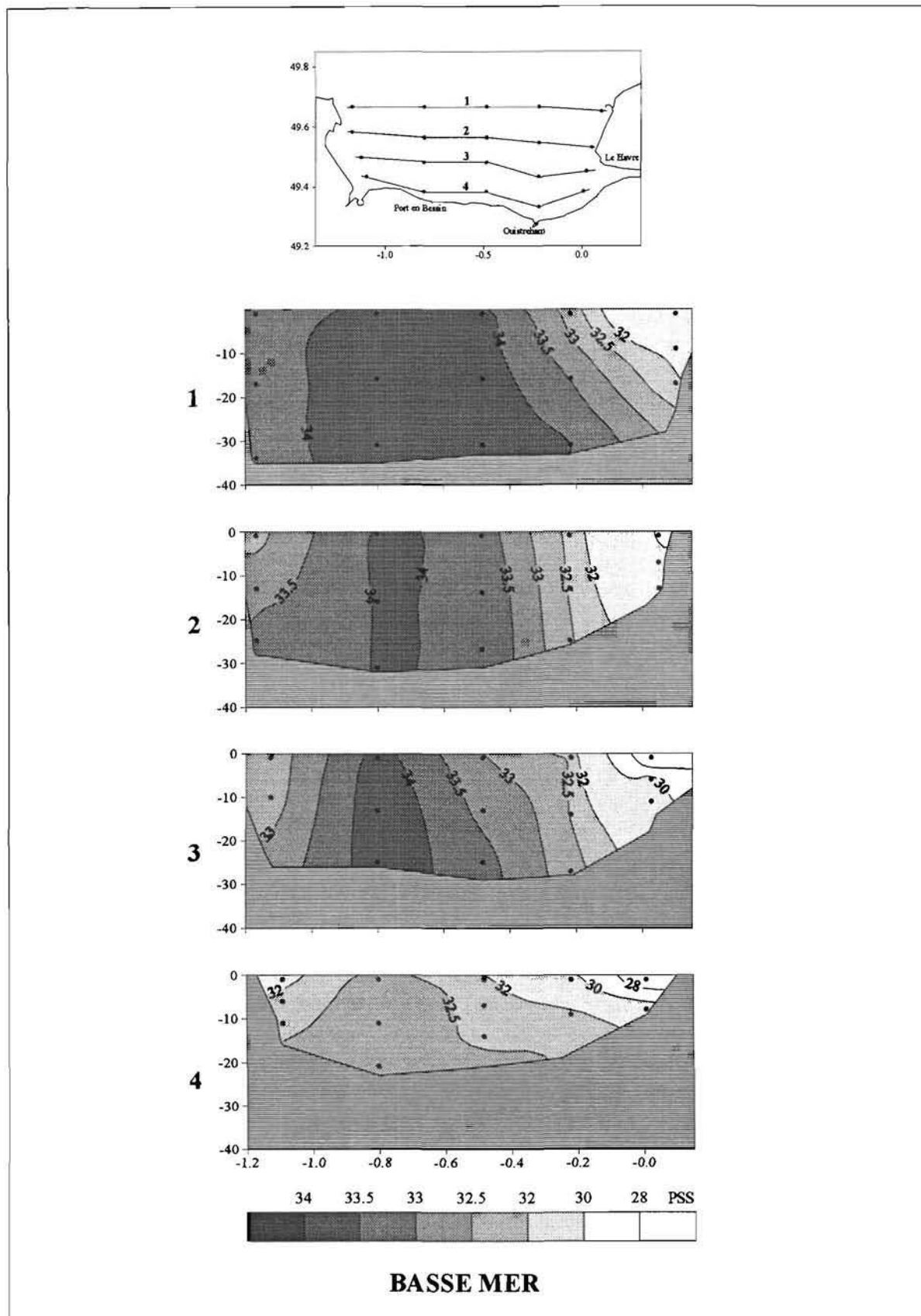


Figure 8 - Coupes verticales de salinité, à basse mer, en mars 1979.

## Cycles de marée

Les variations de salinité en fonction du temps, en différents points de la baie, ont été suivies au cours d'un cycle de marée complet (plus de douze heures), le navire étant au mouillage. Les caractéristiques de ces stations sont rassemblées dans le tableau 2 (voir les positions de ces stations au chapitre II). Les résultats sont présentés sur la figure 9, page 110.

Le point A en baie des Veys, au sud-ouest de la baie de Seine, montre une influence des apports de la Douve et de la Vire, avec parfois de légères dessalures (jusqu'à 0,5 PSS) en surface aux environs de la basse mer, ces dessalures pouvant atteindre la mi-profondeur (9 m) à pleine mer.

Le point B, situé au niveau de Port-en-Bessin, présente de faibles fluctuations de salinité (< 0,3 PSS) au cours du cycle de marée, quelle que soit l'immersion. Cette situation résulte de l'absence d'apports continentaux notables dans cette zone. À noter que le minimum de salinité apparaît à mi-marée.

Le point C est situé à environ 30 kilomètres dans l'ouest-nord-ouest du Havre, sur un fond d'une trentaine de mètres. La fluctuation de salinité y est régulière au cours du cycle de marée, avec une amplitude voisine de 0,2 PSS, pour une valeur moyenne de 33,15 PSS. L'écart surface-fond ne dépasse pas 0,1 PSS. Le panache de la Seine s'y fait donc peu sentir en cette période correspondant à la fin de l'étiage (débit moyen 150 m<sup>3</sup>/s). Les variations mineures de salinité au cours du cycle confirment la faible influence de la marée

sur la position des isohalines, comme l'ont fait ressortir les cartographies. Toutefois, on note que les salinités maximale et minimale ne coïncident pas avec la pleine mer et la basse mer (fig. 9, p. 110).

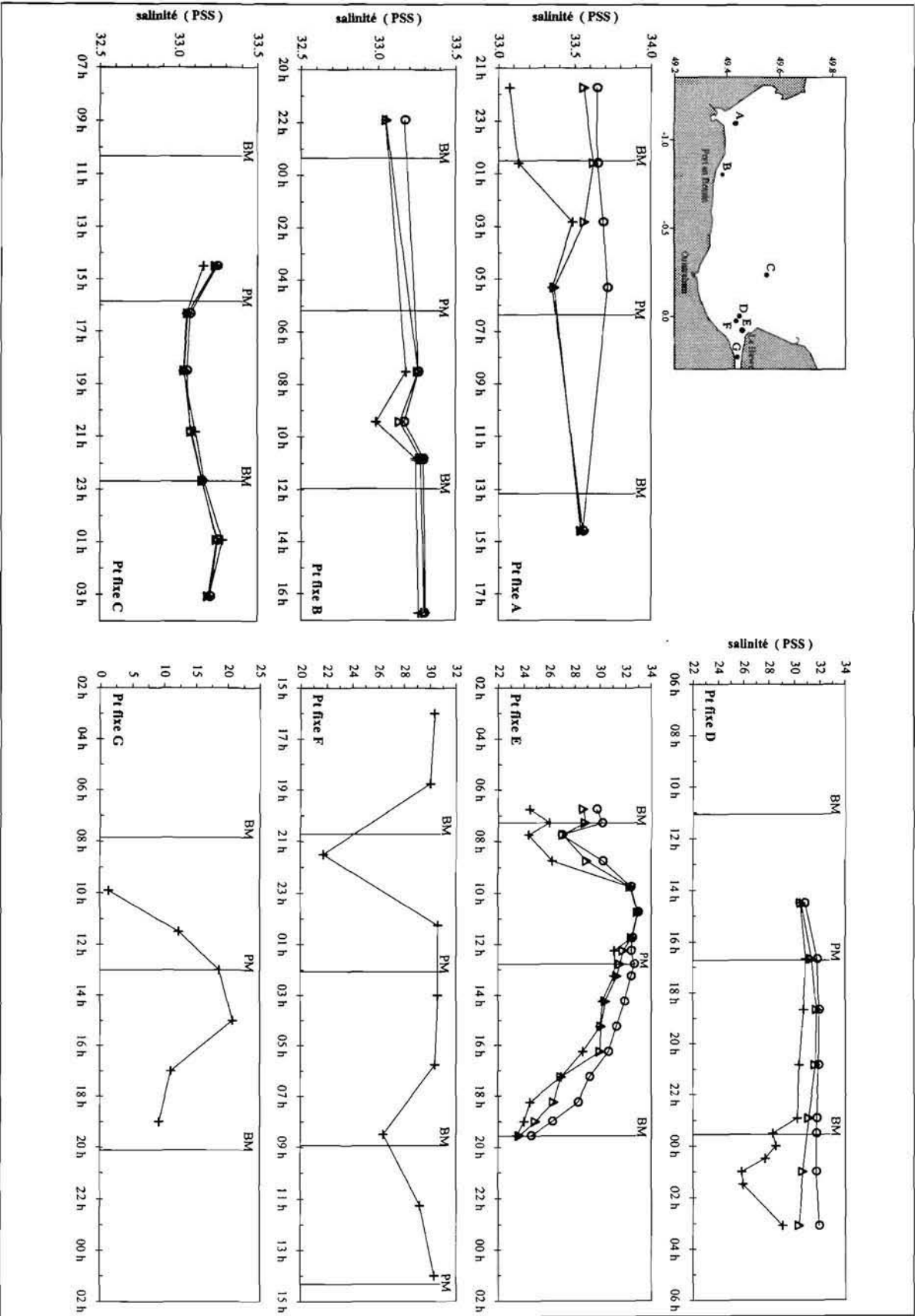
Situé en face de l'embouchure de la Seine, à une dizaine de kilomètres du Havre, le point D est soumis à des fluctuations plus grandes de salinité : 26 à 31 PSS en surface, 30,9 à 31,9 PSS au fond. En surface le cycle est dissymétrique, avec une stabilité des fortes salinités (30,2-30,9 PSS) pendant près de 8 h, suivie d'une chute de 30,2 à 25,8 PSS en 2 h, puis d'une remontée rapide après un minimum fugace, apparu entre 1 h et 2 h après la basse mer (fig. 9, p. 110). Le gradient vertical est intense, la dessalure ne se faisant sentir que de manière très atténuée au-dessous de l'immersion 5 m : au moment du minimum de salinité en surface, l'écart de salinité entre 0 et 5 m avoisine 5 PSS contre 1 PSS entre 5 et 10 m. Le point F, proche du point D, étudié également en fin d'étiage (débit 245 m<sup>3</sup>/s), au cours d'une autre campagne, a donné lieu, outre les prélèvements ponctuels, à un enregistrement continu de surface (RNO, 1985). Les observations faites en ce point confirment les fluctuations de salinité de surface notées au point D (maximum : 30,4-30,6 PSS durant 6 h ; minimum : 21,7 PSS).

À l'embouchure, au sud du Havre, le point E présente un cycle qui diffère des précédents par une courte période (2 h) de salinité maximale (32,4-32,9 PSS). Ce maximum est observé entre 1 h et 3 h avant la pleine mer. La salinité maximale plus élevée qu'en aval (point D), est attribuée, à débit identique, à la pénétration plus marquée de l'eau marine en raison du plus fort coefficient de marée.

Point	Campagne	Station	Date début	Date fin	Immersion	Coefficient de marée
A	Thalia 1	32	16/05/78 21:45	17/05/78 14:35	S, M, F	43
B	Thalia 1	24	15/05/78 21:54	16/05/78 16:43	S, M, F	41
C	Thalia 2	7	23/09/78 14:30	24/09/78 03:05	S, M, F	47
D	Thalia 2	15	24/09/78 14:30	25/09/78 03:05	S, M, F	36
E	Thalia 2	106	05/10/78 06:45	05/10/78 19:33	S, M, F	94
F	Intersite 1	9	11/10/83 16:00	12/10/83 14:00	S	65
G	Nutriseine 3	30	22/09/94 13:00	23/09/94 11:30	S	86

Tableau 2 - Caractéristiques des stations où des cycles de marée ont été suivis. S = surface ; M = mi-profondeur ; F = fond.

Figure 9 - Variation de la salinité au cours de cycles de marée (cf. références dans le tableau 2). + : surface ; Δ : mi-profondeur ; ○ : fond.



La salinité minimale est d'environ 23 PSS. Le gradient de surface est nettement atténué par rapport au point D. La colonne d'eau est plus homogène pendant une plus longue durée du fait des faibles hauteurs d'eau (5 m à basse mer et 11 m à pleine mer) et du coefficient de marée élevé.

Le point G, plus en amont, au niveau de Honfleur, présente une très forte variation de salinité (de 1,3 à 20,7 PSS), pour un débit et un coefficient moyens (400 m<sup>3</sup>/s et 86). Bien que le cycle n'ait été que grossièrement étudié, on constate qu'il faut s'attendre à trouver fréquemment en ce point de très fortes dessalures, voire de l'eau douce en fin de jusant.

### Diagrammes température-salinité (T-S)

Les diagrammes T-S sont utilisés couramment en océanographie physique pour caractériser les

masses d'eau et étudier leur mélange ; c'est pourquoi nous présentons un diagramme de synthèse sur toute la période étudiée (fig. 10). Cette illustration n'a pour objet que de montrer les conditions hydrologiques que l'on peut rencontrer dans la baie quelle que soit l'époque de l'année. En effet, les caractéristiques des eaux sources ne sont pas identifiables précisément, et les échanges thermiques en eaux côtières rendent la température moins conservative que dans le domaine océanique. Le diagramme montre qu'il n'y a pas de changement notable d'année en année à la même saison, le climat restant le facteur prépondérant. La période durant laquelle l'eau marine est plus chaude que celle de l'estuaire se situe d'octobre à mars, tandis que la situation inverse est observée d'avril à septembre.

On peut remarquer l'effet d'une tempête sur les températures de la baie en septembre-octobre

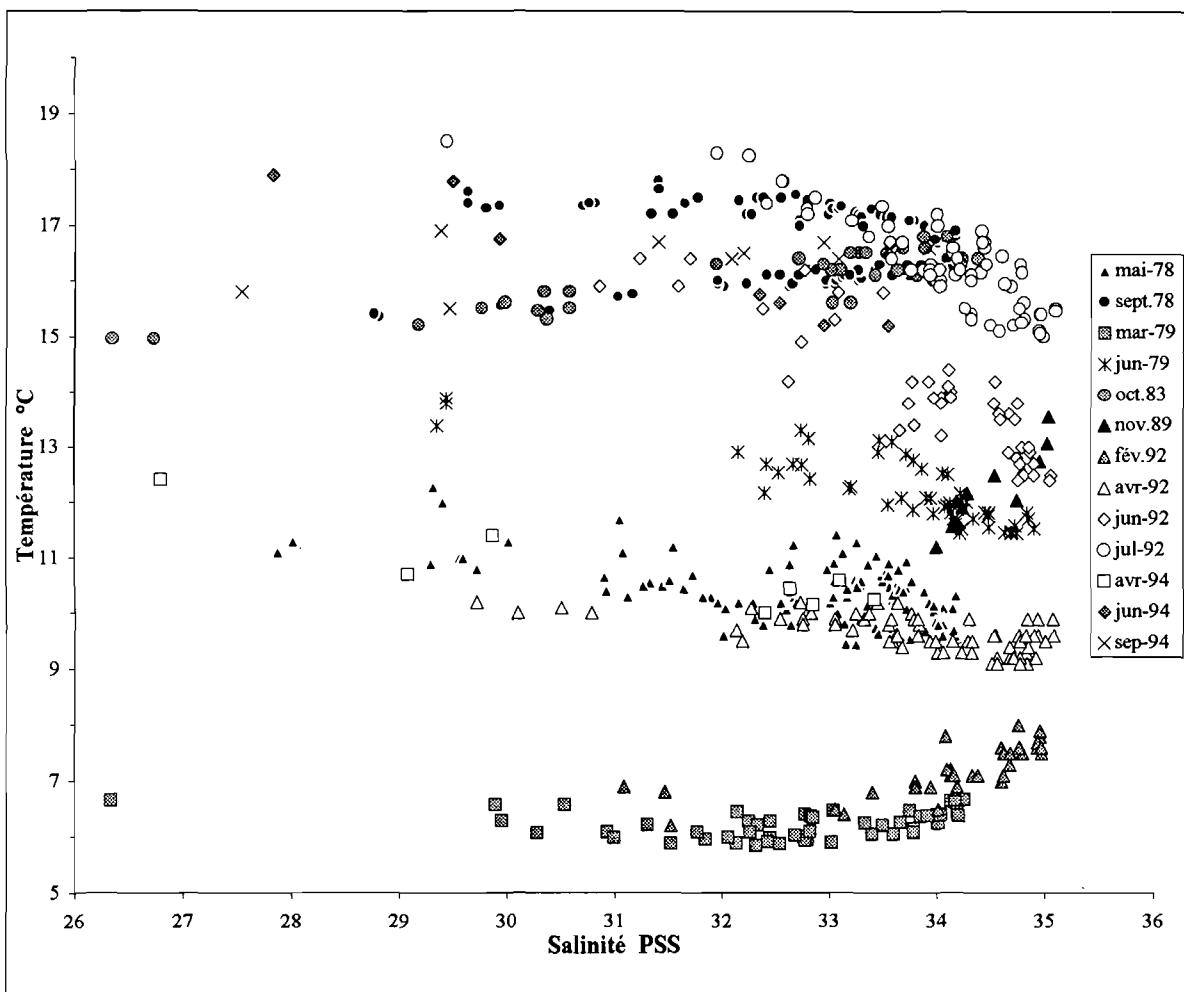


Figure 10 - Diagramme température-salinité pour la période 1978-1994.

1978. La baie a été couverte deux fois à quelques jours d'intervalle, avant et après cet événement météorologique. On observe ainsi, sur les relations température-salinité, un refroidissement des eaux lors de la deuxième partie de la campagne. L'écart de température, très faible dans les eaux les plus marines, s'accroît rapidement avec la baisse de salinité, et est voisine de 2 °C dans les eaux les plus dessalées, proches de l'embouchure. Cette évolution des températures affecte toute la colonne d'eau sur la quasi-totalité des points de mesure ; elle traduit donc un changement rapide des caractéristiques hydrologiques des eaux de la baie, qui ne peut résulter d'un simple refroidissement des eaux fluviales, étant donné que le temps de séjour des eaux dans la baie est de plusieurs mois.

## Matériel particulaire

Le matériel particulaire influence fortement la pénétration de la lumière dans l'eau, d'où son intérêt pour l'étude des poussées planctoniques. Par ailleurs, les particules jouent un rôle impor-

tant pour le transport de certains éléments chimiques tant nutritifs que polluants.

## Relations turbidité-matières en suspension

Basée sur la mesure de la diffusion de la lumière par les particules, la turbidité, exprimée en unités internationales néphélobométriques (NTU), est fonction de la charge en matières en suspension. Mesurée plus aisément que les matières en suspension (MES), et acquise immédiatement à bord, la turbidité a donc été déterminée systématiquement. Les MES n'ont été mesurées qu'occasionnellement pour calibrer la turbidité. Les paramètres de la corrélation  $turbidité = a.MES + b$ , obtenus au cours des campagnes, sont résumés dans le tableau 3. Les données ont été traitées en deux gammes de valeurs, une gamme basse (environ 0-15 mg/l), couvrant la majorité de la baie, et une gamme estuarienne pouvant atteindre 2 500 mg/l. En multipliant la turbidité par 2 on obtient approximativement la concentration en MES. Dans l'ensemble, les pentes des relations turbidité-MES sont très proches dans les gammes haute et basse.

Date	Gammes		Pente (a)	Origine (b)	r <sup>2</sup>	n
	MES mg/l	Salinité PSS				
mai 1978	0,4-12	25-34	0,59	-0,13	0,97	115
sept.-oct. 1978	0,5-10	29-34	0,48	0,02	0,90	74
	11-330	23-33	0,47	0,94	0,98	61
octobre 1983	1,3-16	30-34	0,56	-0,03	0,99	7
	17-90	22-30	0,47	2,6	0,99	9
février 1992	1,7-6	32-35	0,59	-0,18	0,98	9
	18-2500	0,6-34	0,45	3,3	0,99	7
avril 1992	0,5-13	30-35	0,56	-0,14	0,99	12
juin 1992	0,3-9	31-35	0,42	0,01	0,92	13
	9-120	12-34	0,40	0,71	1,00	4
juillet 1992	0,6-8	32-35	0,47	-0,04	0,95	21
	8-350	0,5-32	0,47	0,83	1,00	4
avril 1994	0,5-10	27-34	0,66	-0,21	0,97	9
septembre 1994	0,4-12	27-34	0,57	0,04	1,00	10
	12-1200	1-21	0,56	-0,13	1,00	8

Tableau 3 - Paramètres des corrélations de la turbidité en fonction des matières en suspension. (r<sup>2</sup> : coefficient de corrélation ; n : nombre de couples).

## Structure spatiale

Les cartes (voir chapitre II) mettent en évidence l'effet des apports turbides de l'estuaire de la Seine dans la partie sud-est de la baie. Ces apports sont issus du bouchon vaseux de l'estuaire et sont liés au débit du fleuve et à l'amplitude de la marée (Avoine, 1981 ; Avoine et Crevel, 1986 ; Avoine *et al.*, 1986). Les valeurs rencontrées au droit de l'embouchure à une dizaine de kilomètres au large du Havre sont de 2 à 4 NTU (4 - 8 mg/l de MES) par débit d'étiage (150 à 170 m<sup>3</sup>/s), et de 12 à 16 NTU (25-30 mg/l de MES) par débit élevé (500 à 700 m<sup>3</sup>/s). Les minimums sont observés dans l'eau marine de la zone centrale au nord de la baie : environ 0,2 NTU au printemps et en été et 0,8 à 1 NTU en hiver. Après la période hivernale et en l'absence de crue, les trois-quarts ouest de la baie peuvent donc être considérés comme faiblement turbides (< 2 mg/l de MES). L'extension de la zone turbide, fortement influencée par l'estuaire, peut être schématiquement limitée par l'isoplette 5 NTU (fig. 11).

Les panaches sont nettement plus étendus en hiver qu'au printemps. Le panache de février 1992, similaire à celui de mars 1979 malgré les débits relativement faibles observés durant les semaines précédant la campagne (250 m<sup>3</sup>/s), semble plutôt attribuable à l'association de forts coefficients de marée et d'une tempête. Des mesures complémentaires, effectuées simultanément dans l'estuaire, montrent en effet des valeurs de matières en suspension très élevées (jusqu'à

2 500 mg/l), de l'ordre de celles mentionnées dans les mêmes conditions de marée par Avoine et Crevel (1986) et Avoine *et al.* (1986).

Ces auteurs font également remarquer la bonne relation qui existe souvent, en sortie d'estuaire, entre la salinité et les MES, ce que nous avons pu observer dans certaines conditions, notamment au cours des cycles de marée. Néanmoins, cette observation concerne plus particulièrement les eaux de surface (voir cycles de marée, fig. 14, p. 116).

La campagne de septembre-octobre 1978 a permis de mettre en évidence l'effet d'une tempête sur les niveaux de turbidité dans la baie. Après la tempête un accroissement très net de la turbidité a été remarqué dans toute la baie : très peu de valeurs dépassaient 2 NTU avant la tempête, alors que des valeurs de 2 à 10 NTU étaient fréquentes après la tempête dans les zones peu profondes.

Les coupes verticales présentées sur les figures 12 et 13, pages 114 et 115 illustrent la structure générale, avec la dominance du gradient est-ouest de turbidité. Les faibles différences de concentration de matières en suspension entre les eaux de surface et de fond confirment l'efficacité du mélange dans la colonne d'eau. Même dans la zone sud-est, où les gradients verticaux de salinité sont parfois très marqués, comme en mars 1979, on observe une grande homogénéité verticale du matériel en suspension, due à la décantation des particules apportées par les eaux dessalées en surface.

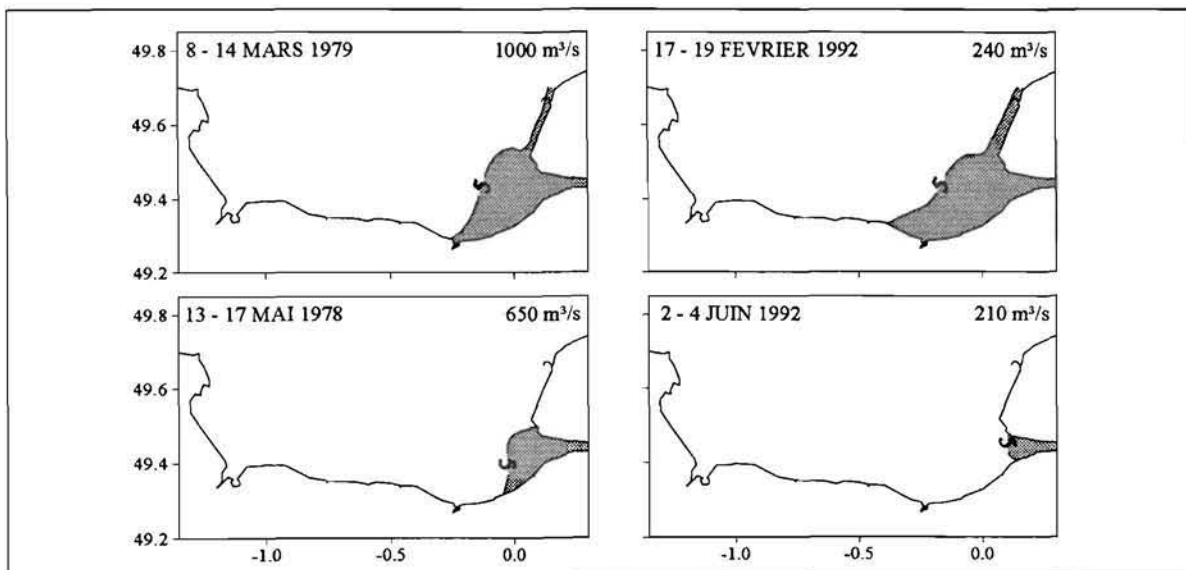


Figure 11 - Isoplette 5 NTU en surface à basse mer dans les quatre situations typiques illustrées figure 5 pour la salinité.



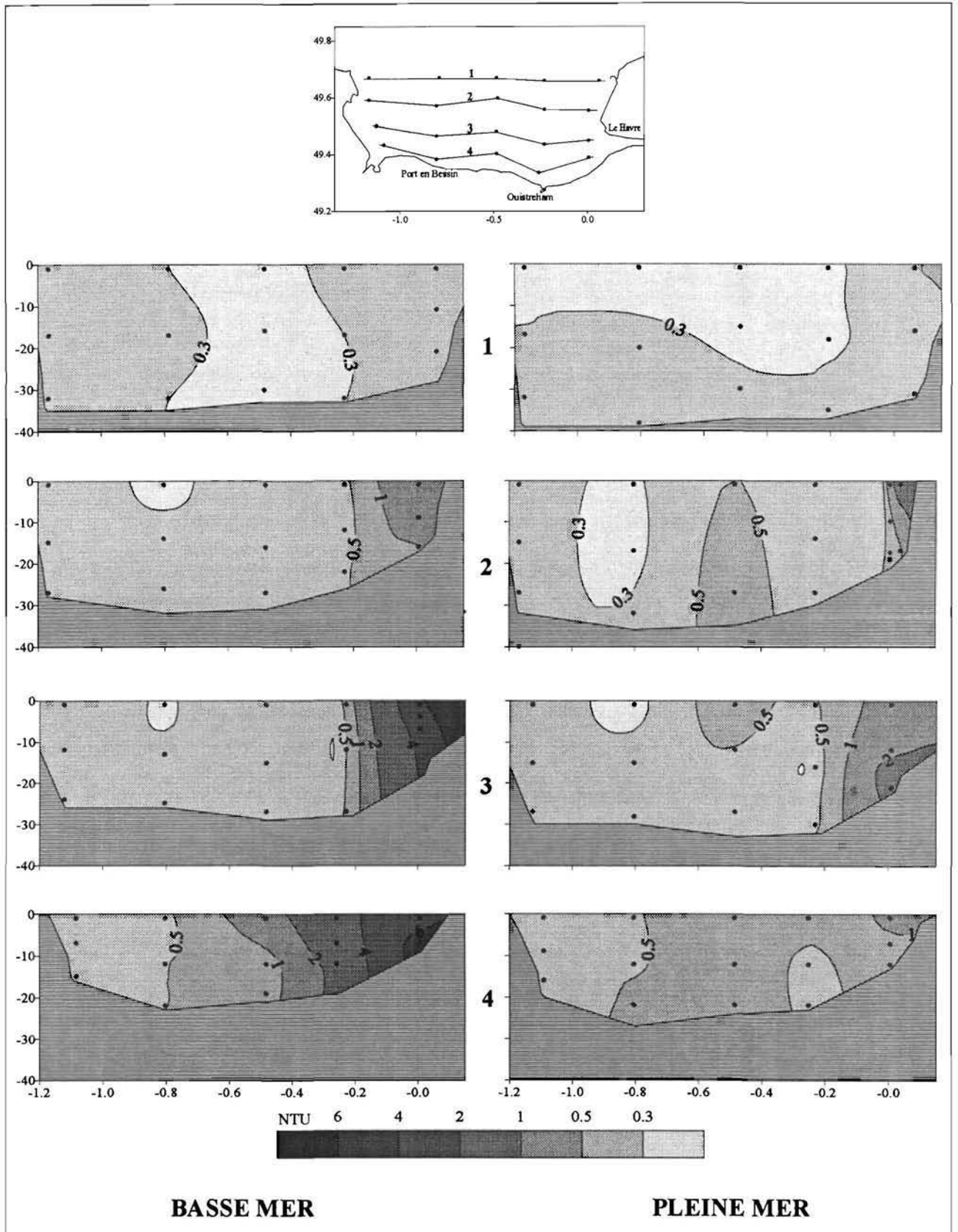


Figure 12 - Coupes verticales de turbidité, à basse mer et pleine mer, en mai 1978.

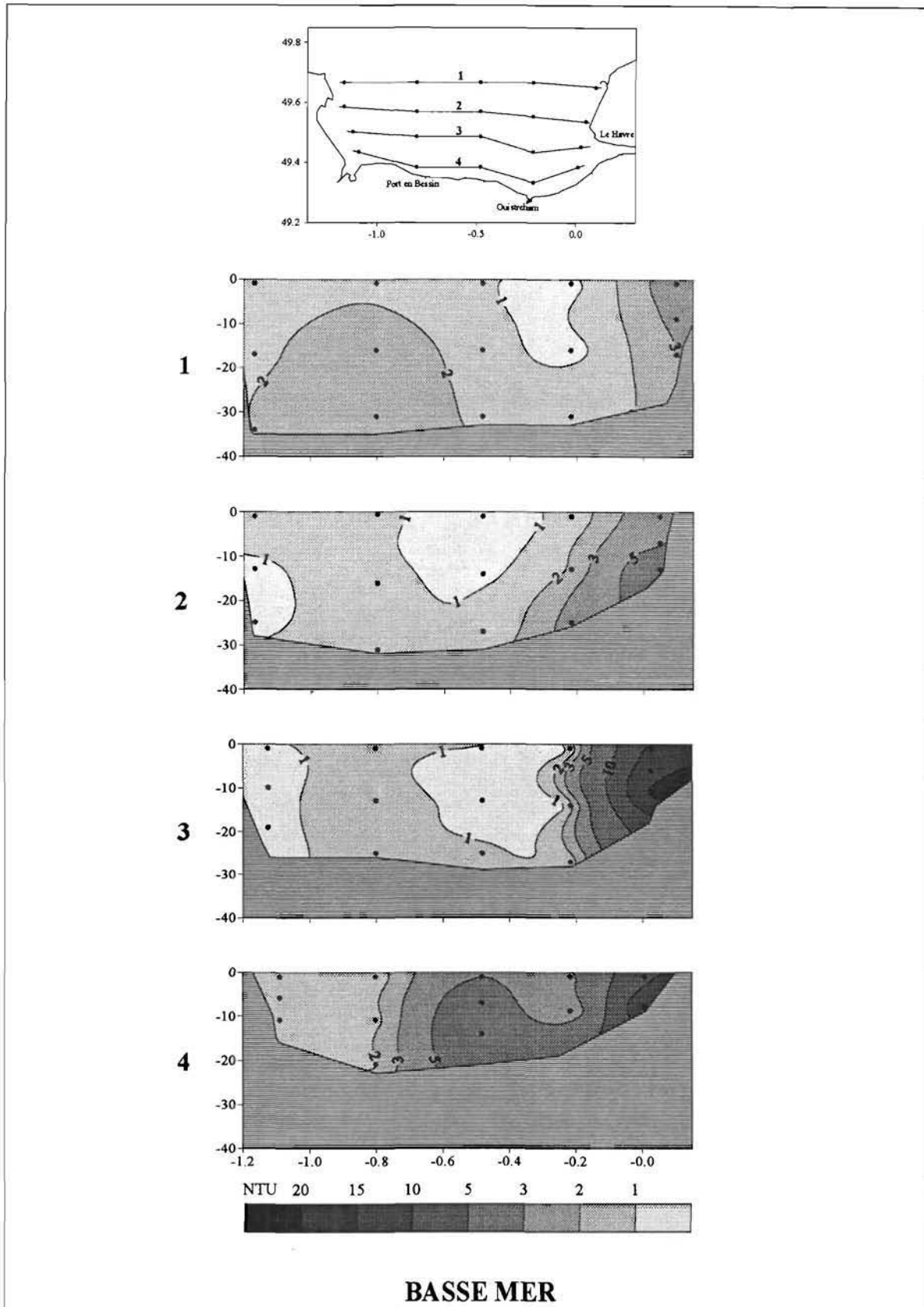


Figure 13 - Coupes verticales de turbidité, à basse mer, en mars 1979.



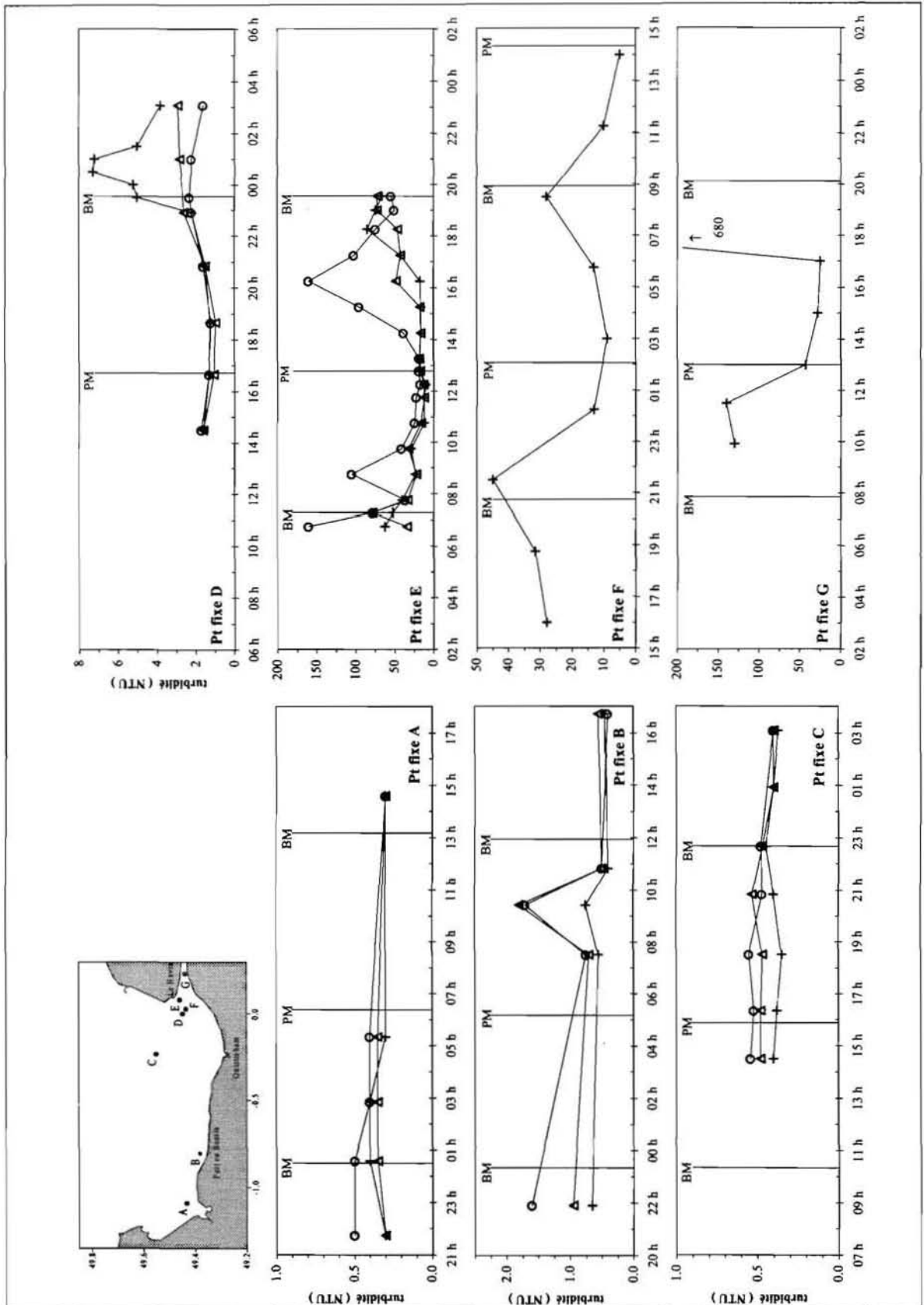


Figure 14 - Variation de la turbidité au cours de cycles de marée (cf. références dans le tableau 2, page 109). + : surface ; Δ : mi-profondeur ; O : fond.

En mars 1979, on remarque, dans le secteur nord-ouest, une zone plus turbide ( $> 2$  NTU) située loin des influences continentales. En forme de cloche, du fond jusqu'à une dizaine de mètres de la surface, elle pourrait être attribuée au maintien des particules en suspension par la circulation tourbillonnaire induite par la presqu'île du Cotentin (Le Hir *et al.*, 1986).

## Cycles de marée

Au cours des cycles de marée la turbidité a toujours été mesurée en parallèle avec la salinité. Les caractéristiques des stations sont répertoriées dans le tableau 2, page 109. Les résultats sont présentés sur la figure 14, page 116.

Aux points A et B, situés au sud-ouest de la baie, la turbidité reste relativement stable au cours du

cycle, sauf au voisinage du fond, où les augmentations temporaires constatées peuvent être attribuées à la remise en suspension par les courants de marée. Cet effet est particulièrement marqué au niveau de Port-en-Bessin, à mi-marée.

Au point du large (C), la turbidité reste stable à environ  $0,5 \pm 0,1$  NTU, avec un léger gradient vertical ( $0,1$  à  $0,15$  NTU) pendant plusieurs heures, avant et après la pleine mer.

Plus près de l'embouchure de la Seine (points D et F), on observe une grande symétrie entre les variations de turbidité et de salinité, malgré des valeurs de turbidité variant d'un facteur 5 à 10 en fonction du coefficient de marée et du débit instantané. Par coefficient 36, on note au point D une homogénéité verticale durant la majorité du cycle et un

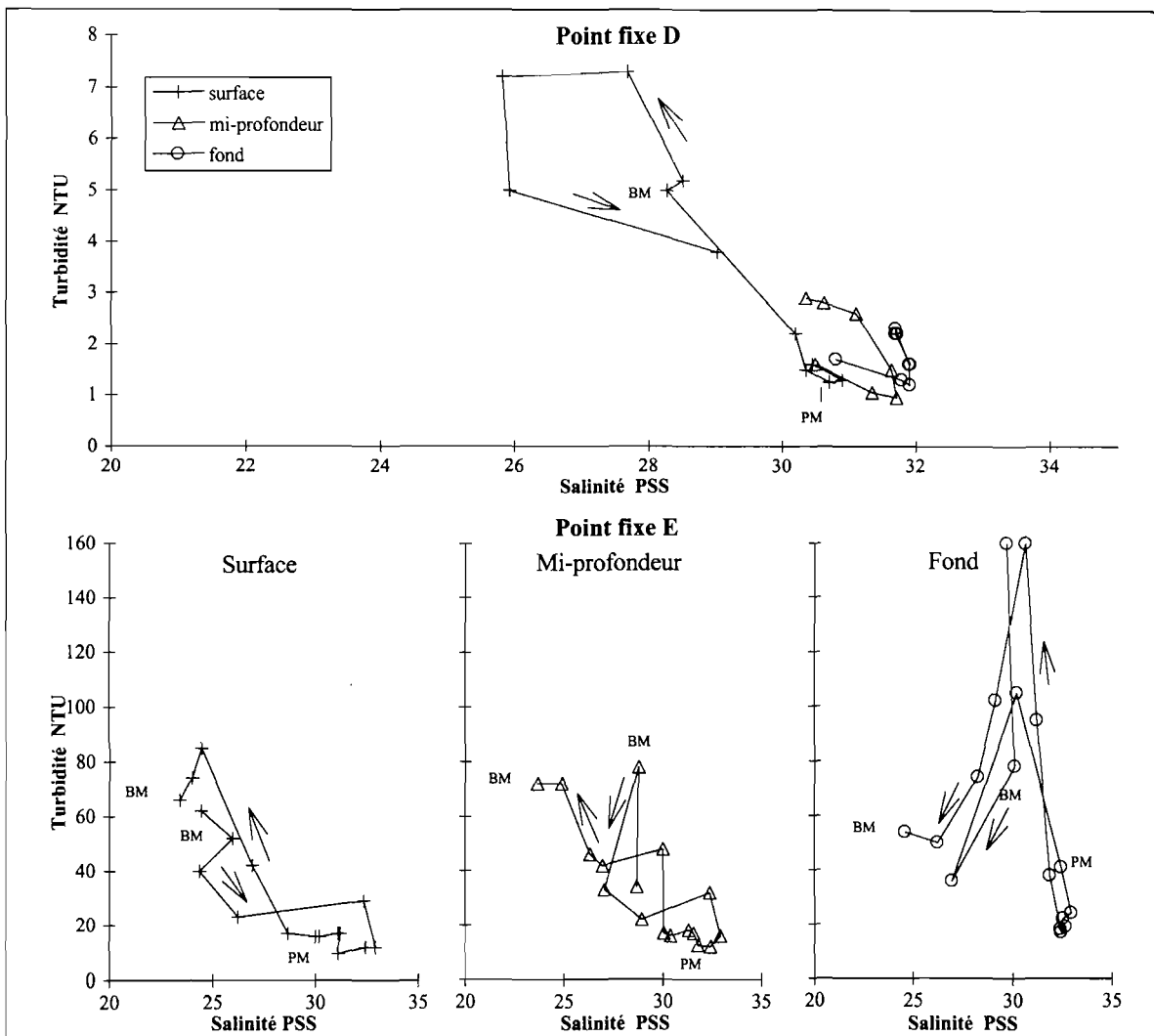


Figure 15 - Relation entre la turbidité et la salinité au cours du cycle de marée aux points D et E.

net maximum de surface dans les deux heures suivant la basse mer. La figure 15, page 117 représente la relation entre la turbidité et la salinité au cours du cycle de marée au point D. Malgré l'effet de « boucle », dû au déphasage des cycles des deux paramètres, la turbidité reste globalement bien corrélée à la salinité dans les eaux de surface, comme il l'a été mentionné précédemment.

Au point E, à l'embouchure, par coefficient 94, on observe un effet de courant plus marqué (fig. 14, p. 116), avec de forts maximums de fond apparaissant entre la pleine mer et la basse mer, phénomène classique déjà évoqué par Avoine *et al.* (1986). La variation de la turbidité avec la salinité diffère selon l'immersion (fig. 15, p. 117).

En surface et à mi-profondeur on retrouve une relation similaire à celle du point D, alors qu'au fond celle-ci est totalement masquée par les remises en suspension dynamiques.

Au point G, au niveau de Honfleur, des pics de turbidité de 500 à 1000 NTU peuvent être observés à certaines heures-marée, en relation avec les déplacements du bouchon vaseux.

## Nutriments

En zone côtière, le comportement des nutriments est étroitement lié à deux facteurs prépondérants : les apports continentaux et l'activité biologique. Cette dernière recouvre à la fois la consommation par le phytoplancton (caractérisé par la chlorophylle), et la régénération par les microorganismes responsables de la dégradation de la matière organique.

L'influence des apports continentaux se distingue, sur les cartes de distribution spatiale, des nutriments (voir chapitre II) par la présence fréquente de gradients inverses de ceux de la salinité. L'influence de la Seine induit notamment une décroissance des concentrations de nutriments du sud-est vers le nord-ouest. L'influence de la Vire, bien que moins marquée, est également souvent mise en évidence par les concentrations un peu plus élevées de la baie des Veys. Les distributions des quatre nutriments présentent une similitude remarquable en hiver, du fait du peu d'activité biologique. Au cours du printemps et de l'été, l'in-

fluence des phénomènes d'assimilation et de régénération, couplée à la baisse des flux continentaux, crée parfois des structures plus complexes. Néanmoins, le maintien d'une structure proche de celle de la salinité exprime la prédominance de l'influence continentale sur l'effet de l'activité biologique.

Compte tenu des divers facteurs influençant les concentrations de nutriments, nous nous sommes intéressés aux niveaux rencontrés dans deux types d'eau extrêmes de la baie : les eaux marines (34-35 PSS), d'une part, et les eaux estuariennes à l'embouchure de la Seine, d'autre part. Pour ces dernières, la salinité de 25 PSS a été retenue car elle représente une valeur typique observable aux alentours de la basse mer dans la zone proche du Havre. Les concentrations à 25 PSS sont interpolées ou extrapolées à partir des mesures faites aux salinités voisines de cette valeur. Ces valeurs extrêmes, pour la période 1978-1994, sont rassemblées chronologiquement, de janvier à décembre, sur la figure 16, page 119 qui représente donc un pseudo-cycle annuel pour chacun des nutriments.

Le facteur d'échelle est d'environ 10 entre les concentrations des deux types d'eau, et ceci pour les quatre nutriments. Les variations saisonnières (cycle avec maximum d'hiver et minimum de printemps-été) sont plus marquées pour certains nutriments : nitrate, phosphate et silicate en eau marine, ammonium et silicate en eau estuarienne.

### Nitrate

Il est rappelé que l'appellation « nitrate » recouvre la somme nitrate + nitrite. Ce nutriment présente, dans la baie, une distribution très similaire à celle de la salinité (voir chapitre II), du fait de concentrations en nitrate constamment élevées à l'embouchure de la Seine. Du printemps à l'été, les concentrations de nitrate sont fortement abaissées dans les eaux les plus marines. Ainsi, en juillet 1992, par exemple, les trois-quarts ouest de la baie sont à moins de 1  $\mu\text{mol/l}$  de nitrate, et au moins un tiers est quasi épuisé sur toute la colonne d'eau ( $< 0,1 \mu\text{mol/l}$ ). Au début de l'automne, la régénération commence à dépasser la consommation, mais les niveaux n'ont pas encore atteint le quart des valeurs hivernales, qui s'élèveront à 20-40  $\mu\text{mol/l}$  dans la majorité ouest de la baie.

Les pseudo-cycles (fig. 16) montrent qu'en eau marine l'épuisement printanier du nitrate par le phytoplancton peut être plus ou moins précoce selon l'importance du stock disponible, lui-même fonction des apports continentaux, autrement dit de la salinité. Ainsi, en avril 1992 le nitrate a chuté à  $0,1 \mu\text{mol/l}$  alors qu'il était encore à  $11 \mu\text{mol/l}$  en avril 1994 et  $16 \mu\text{mol/l}$  en mai 1978. Les salinités pour ces deux derniers mois ne sont que de 34,0 et 34,2 PSS contre 35,1 PSS en avril 1992. La part de nitrate provenant de l'eau douce, et calculée à partir des valeurs dans la Seine et d'une référence marine à 35,2 PSS, est estimée à  $10\text{-}15 \mu\text{mol/l}$  ; ceci correspond bien au surplus observé en 1978 et 1994 par rapport à 1992.

En eau estuarienne (25 PSS), la concentration fluctue autour de  $120 \mu\text{mol/l}$ , sans tendance marquée. Toutefois, les valeurs récentes (plus élevées en hiver et au printemps en 1992-1994) sont le reflet de l'augmentation des concentrations dans le fleuve par rapport aux années 1970 (voir chapitre I).

## Ammonium

En hiver, l'influence continentale sur la baie est bien mise en évidence, comme dans le cas du nitrate. Lorsque l'hiver est humide la zone d'im-

pact continental s'étend davantage dans la baie qu'en période sèche, induisant des concentrations moyennes plus élevées : ainsi, les trois-quarts ouest de la baie n'ont pas montré de concentrations supérieures à  $2 \mu\text{mol/l}$  en février 1992, alors que des valeurs de 4 à  $5 \mu\text{mol/l}$  ont été atteintes en mars 1979. Mais à partir du printemps, la distribution spatiale est perturbée par la consommation phytoplanctonique d'azote. Celle-ci s'exerce en effet prioritairement sur l'ammonium qui, de plus, est en concentration nettement inférieure à celle du nitrate. Des concentrations de moins de  $0,1 \mu\text{mol/l}$  ont été mesurées en juillet 1992 sur une large zone centre et ouest de la baie. Par la suite, lorsque la matière organique issue de la production primaire est régénérée, des pics très intenses peuvent apparaître localement dans la baie, notamment là où de fortes poussées ont précédemment eu lieu. Des concentrations jusqu'à  $4 \mu\text{mol/l}$  et  $8 \mu\text{mol/l}$  ont ainsi été mesurées en surface et au fond, en juin 1992, sur une radiale nord-sud à la longitude de Ouistreham, c'est-à-dire en dehors de l'influence directe des eaux de l'estuaire.

Les pseudo-cycles annuels (fig. 16) montrent que l'ammonium varie dans de fortes proportions en eau de mer comme en eau estuarienne, mais que les maximums n'apparaissent pas aux mêmes époques.

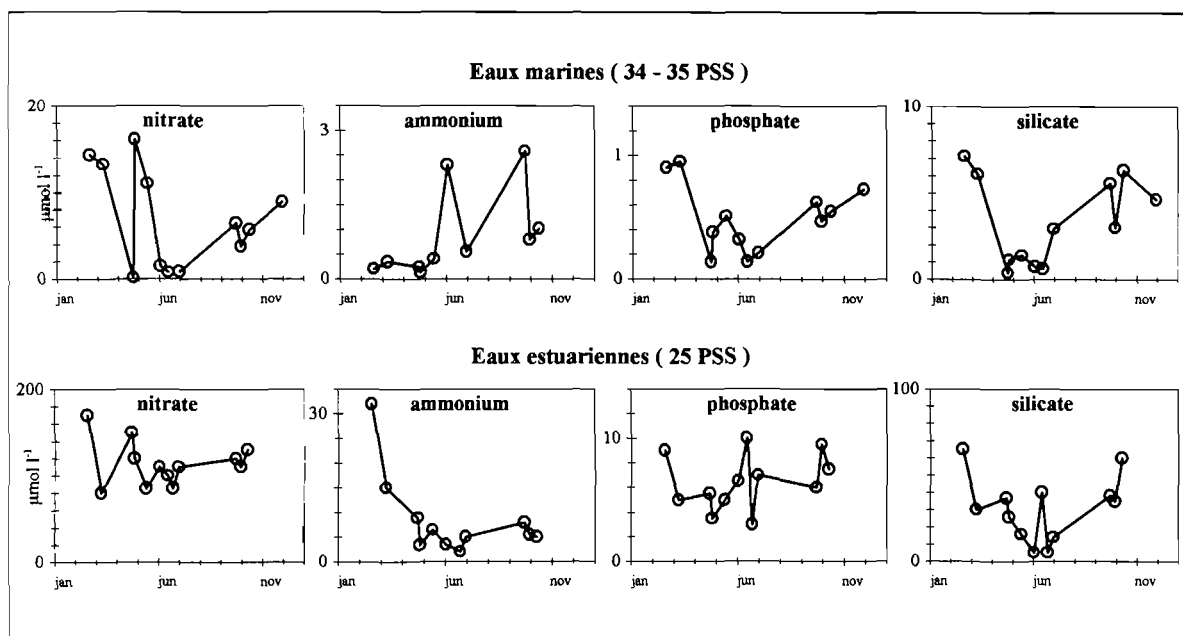


Figure 16 - Nutriments dans les eaux marines et estuariennes de la baie de Seine. Chronologie annuelle, toutes observations confondues de 1978 à 1994, selon la séquence suivante : février 92, mars 79, avril 92, avril 94, mai 78, juin 92, juin 79, juin 94, juillet 92, septembre 94, septembre 78, octobre 83, novembre 89.

Dans les eaux marines de forte salinité, la présence d'ammonium en quantité notable provient de la reminéralisation de l'azote organique : des pics dépassant 2,5  $\mu\text{mol/l}$  sont observés en été ou en automne, alors que les valeurs ne dépassent pas 0,2-0,3  $\mu\text{mol/l}$  en hiver, du fait de l'oxydation de l'ammonium en nitrate. Les grandes variations non simultanées de nitrate et d'ammonium font que ce dernier peut représenter de 1 à 2 % (notamment en hiver) jusqu'à plus de 70 % du stock d'azote minéral dissous (fig. 17).

En estuaire (25 PSS), le maximum de concentration (plus de 30  $\mu\text{mol/l}$ ) s'observe en hiver. Il reflète les teneurs en eau douce qui montrent des maximums de concentration en automne et au début de l'hiver (voir chapitre I). Dès le printemps, avec l'accroissement de la température, l'oxydation de l'ammonium dans la rivière fait chuter son niveau vers des valeurs de 2 à 6  $\mu\text{mol/l}$ . Ensuite la proportion d'azote ammoniacal se maintient à quelques pour-cents de l'azote dissous du printemps à l'automne et reste inférieure à 20 % en hiver (fig. 17).

## Phosphate

La distribution géographique du phosphate est très similaire à celle du nitrate. Du fait de concentrations constamment élevées à l'embouchure de la Seine, le phosphate se comporte aussi en traceur des apports continentaux. Au printemps, la consommation par le phytoplancton abaisse simultanément les teneurs en phosphate et nitrate, ce qui conserve globalement la similitude de leurs distributions géographiques. De légères divergences apparaissent en automne car la régénéra-

tion du nitrate est plus lente que celle du phosphate. Ainsi, en septembre 1978 et octobre 1983, le phosphate était déjà revenu à des niveaux quasi-hivernaux (0,5 à 3  $\mu\text{mol/l}$ ) dans les trois-quarts ouest de la baie contrairement au nitrate aux niveaux encore relativement bas.

Le cycle du phosphate présente une très grande analogie avec celui du nitrate (fig. 16 p. 119) : cycle marqué en mer (minimum : 0,1-0,2  $\mu\text{mol/l}$  ; maximum : environ 1  $\mu\text{mol/l}$ ) mais absence de cycle en estuaire. Les variations de concentration en estuaire (3-10  $\mu\text{mol/l}$ ) sont dépendantes du débit étant donné que le flux de phosphate est majoritairement anthropogénique et peu variable au cours de l'année. En hiver, le rapport molaire N/P des nutriments dissous est de 14 à 16 en eau marine et de 19 à 22 en eau estuarienne. Ces valeurs sont proches de la valeur 16 du rapport de Redfield, exprimant la composition moyenne du phytoplancton (Redfield *et al.*, 1963), ce qui montre des conditions proches de l'équilibre nutritionnel pour la première poussée printanière en mer.

## Silicate

Le silicate, contrairement aux autres nutriments, n'est nécessaire qu'à un nombre limité d'espèces phytoplanctoniques, celles qui disposent d'un squelette siliceux, principalement les diatomées. En hiver, la distribution géographique dans la baie est très similaire à celle de la salinité (voir chapitre II). A l'exclusion de l'embouchure, les concentrations s'échelonnent de 6-7  $\mu\text{mol/l}$  à 30  $\mu\text{mol/l}$ . Dès le milieu du printemps, la consommation de

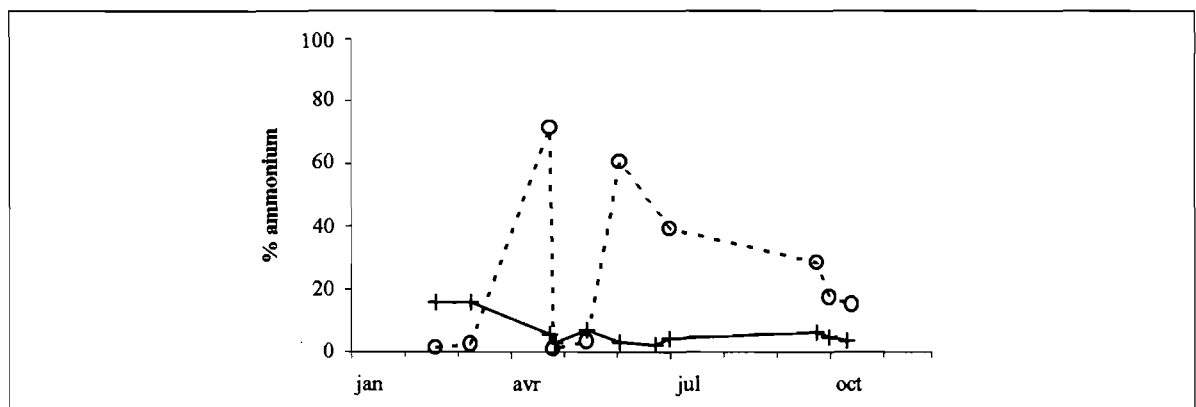


Figure 17 - Pourcentage d'azote ammoniacal dans le stock d'azote minéral dissous, en eaux marines ( ···· ) et estuariennes ( —+— ).

silicate par les diatomées provoque une très forte baisse des concentrations. En avril 1992 et mai 1978, on observe ainsi des niveaux de 0,2 à 2-3  $\mu\text{mol/l}$  sur toute la colonne d'eau dans une très grande majorité de la baie. Ces faibles niveaux peuvent se maintenir jusqu'en juillet, mais avec des augmentations temporaires, locales (juin 1992) ou générales (juin 1979), provenant de la redissolution de la silice biogénique. Dès l'automne, les concentrations reviennent à des niveaux élevés proches de ceux de l'hiver.

Le silicate est le seul nutriment présentant des cycles assez voisins en eau de mer et en eau estuarienne (fig. 16, p. 119), avec un maximum hivernal et un minimum printanier (en mer) ou estival (en estuaire). Les observations révèlent une gamme de 0,2 à 7  $\mu\text{mol/l}$  en mer et de 5 à 70  $\mu\text{mol/l}$  à 25 PSS. Lors de la campagne de juin 1979, on note, à la salinité de 25 PSS, un pic estival à 40  $\mu\text{mol/l}$  résultant notamment d'une concentration élevée en eau douce (environ 100  $\mu\text{mol/l}$ ).

En hiver, dans les eaux marines, le rapport molaire N/Si (2 à 2,2) est proche de la valeur 2 donnée par Redfield ; en estuaire ce rapport est sensiblement supérieur (3,1 à 3,2).

## Nitrite

Le nitrite n'a été mesuré que lors de quatre campagnes (1978 à 1983). Ce composé ne représente que quelques pour-cents du stock d'azote minéral dissous (tab. 4), les proportions minimales apparaissant en hiver et les maximales en automne. On peut noter que les distributions géographiques du nitrite sont très similaires à celles de la salinité. Les gammes vont de 0,1-0,2  $\mu\text{mol/l}$  en eau marine à 2-3  $\mu\text{mol/l}$  à l'embouchure de la Seine. Contrairement aux autres nutriments, les concentrations fluctuent peu, les niveaux ne variant grossièrement

que d'un facteur 2 pour les observations effectuées, qui ne couvrent que l'hiver, le printemps et l'automne.

## Urée

L'urée n'a également été mesurée que de 1978 à 1983. Ce composé se comporte comme une forme minérale, c'est pourquoi il a été intégré aux mesures de nutriments durant ces périodes, à titre expérimental. En hiver, la proportion d'azote uréique par rapport à l'azote minéral dissous (tab. 4) est semblable à celle de nitrite (0,4 à 2 %). Aux autres périodes les proportions sont plus élevées, l'urée pouvant contribuer jusqu'à 10 à 20 % du stock. Les distributions spatiales ne sont pas reliées à celles de la salinité, sauf en hiver. Les concentrations varient de 0,2 à environ 1,5  $\mu\text{mol/l}$  d'azote uréique.

## Pigments chlorophylliens

La distribution géographique de la concentration en chlorophylle *a* varie entre deux situations typiques : soit un gradient décroissant sud-est/nord-ouest, soit un maximum dans la partie centrale de la baie, au-delà du panache de dilution de la Seine (fig. 18, p. 122). Cette dernière structure a été observée au printemps au cours de trois campagnes (Écomanche 1 et 2, Phytoseine 1 ; cf. chapitre II), sur les cinq couvrant la totalité de la baie à cette époque ; elle n'a jamais été observée aux autres périodes de l'année. On peut noter également des maximums secondaires au sud-ouest de la baie de Seine (baie des Veys et côte du Cotentin), probablement attribuables aux apports nutritifs de la Vire et de la Douve.

	Nitrite				Urée			
	mai-78	sept-78	mars-79	oct-83	mai-78	sept-78	mars-79	oct-83
moy	2,3	4,1	1,2	3,7	4,5	5,9	0,9	3,2
écart-type	1,1	0,7	0,2	1,0	3,2	2,8	0,4	1,6
min	0,7	2,7	1,0	2,2	1,5	1,1	0,4	0,7
max	5,2	7,0	1,8	6,6	21	13	1,9	8,8

Tableau 4 - Pourcentage d'azote sous forme de nitrite et d'urée dans le stock d'azote minéral dissous total.

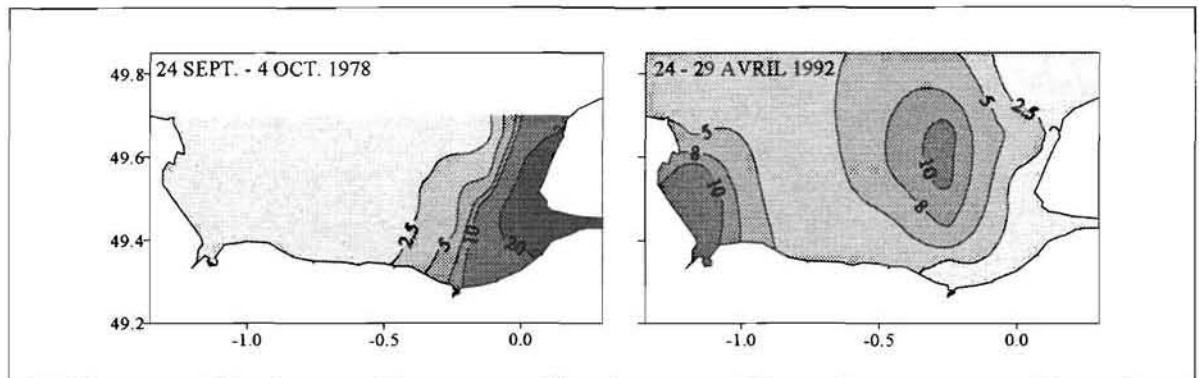


Figure 18 - Distributions géographiques typiques de la chlorophylle a.

Les phéopigments, produits de dégradation de la chlorophylle, présentent des distributions encore plus variables que cette dernière. Des proportions élevées par rapport aux pigments totaux traduisent la présence de phytoplancton dégradé, tandis que des proportions faibles, associées à beaucoup de chlorophylle, sont le signe de populations planctoniques jeunes ou en phase de croissance. Ainsi, en sortie d'estuaire, des proportions de 75 à 80 % se rencontrent fréquemment. À l'opposé, dans la baie, des valeurs de moins de 5 % sont courantes au printemps dans les eaux de surface.

Les plus faibles concentrations de chlorophylle a sont observées en hiver lorsque l'activité biologique est réduite. Ainsi, en février 1992, hiver sec, des valeurs de 0,5 à 1  $\mu\text{g/l}$  de chlorophylle a ont été mesurées sur l'ensemble de la baie. Les 40 à 80 % de phéopigments trouvés simultanément montrent qu'il s'agit de populations planctoniques âgées, caractéristiques du « bruit de fond » hivernal. En mars 1979, la situation de fin d'hiver apparaît légèrement différente : les pourcentages plus faibles de phéopigments (5 à 25 % hors embouchure de la Seine) associés à des concentrations de chlorophylle a plus élevées (jusqu'à 2  $\mu\text{g/l}$ ) montrent l'existence d'un démarrage de l'activité phytoplanctonique. Par ailleurs, en cet hiver humide, les apports particuliers de la Seine ont contribué à accroître les concentrations de chlorophylle à proximité de l'embouchure (> 2  $\mu\text{g/l}$ ).

Les concentrations maximales de chlorophylle a mesurées lors des campagnes ne reflètent pas nécessairement les maximums absolus pouvant être atteints dans la baie. En effet, ces derniers sont

fugaces et n'ont qu'une faible probabilité d'être observés lors des campagnes. Les changements rapides de la distribution spatiale de la chlorophylle a sont bien illustrés par les cartes tracées pour les campagnes Thalia 1 et Écomanche 1 séparées d'environ une semaine en mai 1978 (voir chapitre II). En ce qui concerne les pics printaniers, au centre de la baie, des valeurs allant jusqu'à 21  $\mu\text{g/l}$  ont été mesurées en mai 1978 et juin 1979 (Écomanche 1 et 2). Lors de toutes les campagnes effectuées, la plus forte concentration de chlorophylle a mesurée est de 35  $\mu\text{g/l}$  à la fin septembre 1978. Néanmoins des concentrations allant de 40 à 70  $\mu\text{g/l}$  ont été observées une à deux fois par an jusqu'à une quinzaine de kilomètres dans le panache de la Seine. Ces données ont pu être obtenues grâce à l'échantillonnage à fréquence élevée (2 semaines) utilisé pour la surveillance RNO de 1976 à 1985. Malgré l'accroissement des apports azotés de la Seine depuis la fin des années 1970 (voir chapitre I), les sept campagnes de 1992 et 1994 n'ont pas mis en évidence de valeurs plus fortes qu'en 1978 et 1979.

## Oxygène dissous

En l'absence d'activité biologique, la concentration d'oxygène dissous tend vers la saturation de l'eau, qui est fonction de la température et de la salinité (à pression atmosphérique normale). L'activité bactérienne de dégradation de matière organique est consommatrice d'oxygène, tandis que la production primaire en est productrice. Le pourcentage de saturation représente donc un critère de l'activité biologique dominante.

Quatre campagnes (1978-1979) ont fourni des données d'oxygène dissous en hiver, au printemps et en automne (voir chapitre II). En hiver (mars 1979), le taux de saturation est compris entre 95 et 99 % dans toute la baie, et ceci sur toute la colonne d'eau, à l'exception de l'embouchure de la Seine (environ 90 %). Au milieu du printemps (mai 1978) de très fortes sursaturations sont enregistrées dans le sud-est (160 %) et dans le sud-ouest (130 %), du fait des poussées phytoplanctoniques printanières. En fin de printemps (juin 1979) les pourcentages de saturation s'abaissent à nouveau (90 à 120 %). Les valeurs les plus basses sont observées dans le sud-est, là où les plus fortes sursaturations avaient été antérieurement mesurées. Celles-ci résultaient de densités planctoniques élevées, source de matière organique dégradable. Par ailleurs, la colonne d'eau reste relativement homogène et l'eau de fond présente également des taux d'oxygène dissous avoisinant

100 %. En automne (septembre 1978), les taux de saturation sont inférieurs à 100 % (minimum 85 % en surface et 82 % au fond) sur les deux tiers ouest de la baie. Dans la partie est, les sursaturations dépassent à peine 105 %, même aux stations les plus riches en chlorophylle *a* (35 µg/l). Cette situation traduit l'intensité de la dégradation après la période de production estivale.

On peut noter qu'*aucune hypoxie notable des eaux de fond n'a jamais été mise en évidence* par les mesures effectuées, même à proximité de l'embouchure de la Seine, probablement en raison du mélange intense des eaux par les courants de marée. Le cycle de marée effectué le 5 octobre 1978 (Thalia 2) au niveau du Havre n'a par ailleurs pas montré de taux d'oxygène dissous inférieurs à 70 % dans les eaux de fond, à 25 PSS, en sortie d'estuaire.





## **Chapitre IV**

# **Comportement des nutriments**



## Schémas de dilution

L'examen des répartitions spatiales des nutriments (chapitre III) a montré l'effet important des apports continentaux sur la distribution de leurs concentrations. Une approche plus détaillée requiert l'étude des relations entre chaque nutriment et la salinité. Étant donné la forte composante saisonnière qui affecte les nutriments, les schémas de dilutions ont été regroupés par saison (fig. 19 à 22, p. 128 à 131), indépendamment de la chronologie pluriannuelle des campagnes.

### Nitrate

Dans la gamme des salinités observées (25-35 PSS), il y a en toutes saisons un impact marqué des apports d'eau douce qui entraînent toujours une forte élévation des teneurs en nitrate dans les eaux les plus dessalées (fig. 19, p. 128). En hiver, la relation nitrate-salinité est parfaitement linéaire, ce qui traduit la simple dilution, l'activité biologique étant réduite durant cette période. Au printemps, on observe nettement la chute progressive des concentrations dans les eaux marines du fait de la consommation phytoplanctonique ; on aboutit ainsi, en juin et jusqu'à la fin de l'été, à des teneurs très basses aux salinités supérieures à 33 PSS où l'impact continental n'est alors plus visible. Aux plus faibles salinités, cet impact reste fort, mais on note une dispersion des points de la relation nitrate-salinité. Ce fait est relié à l'hétérogénéité spatiale des poussées phytoplanctoniques dans la baie, sans relation directe avec la salinité des masses d'eau. Une dispersion semblable est observée sur les schémas de dilution des autres nutriments au printemps. En automne, dans la zone la plus marine, les concentrations augmentent à nouveau, signe que la régénération commence à l'emporter sur la consommation.

### Ammonium

Contrairement à ce qui se passe pour le nitrate, les eaux de l'estuaire aval (25-35 PSS) ne présentent pas de teneurs élevées en ammonium en toutes saisons (fig. 20, p. 129). En hiver, l'ammonium, présent à de fortes concentrations dans les eaux

les plus dessalées, se dilue dans la baie de façon linéaire pour aboutir à des concentrations très basses dans les eaux marines, où il a été oxydé en nitrate. Au printemps, la consommation d'ammonium par le phytoplancton marin et la baisse des apports fluviaux entraîne une chute générale des concentrations, y compris dans l'estuaire aval (25-35 PSS), qui se poursuit durant l'été. Toutefois, durant cette période, les phénomènes de régénération conduisent à des augmentations temporaires de concentration, comme par exemple en juin 1992 dans les eaux de salinité 32 à 34 PSS. De ce fait, la corrélation ammonium-salinité reste en général peu significative au printemps et en été. En automne, les concentrations remontent vers les valeurs hivernales et les relations avec la salinité redeviennent plus cohérentes. Malgré des concentrations très variables (de 1 à plus de 100  $\mu\text{mol/l}$ ) dans les eaux douces, à Caudebec, l'allure des relations entre l'ammonium et la salinité reste très similaire durant les trois campagnes d'automne. Tout se passe comme si l'ammonium provenant de l'amont disparaissait (par nitrification dans l'estuaire amont), tandis qu'une régénération se produisait dans les eaux de salinité 25-35 PSS.

### Phosphate

Le comportement du phosphate en fonction de la salinité s'apparente fortement à celui du nitrate, avec une relation forte quasiment toute l'année entre la salinité et les concentrations (fig. 21, p. 130). Au cours du printemps, l'abaissement des concentrations dans la zone marine s'étend progressivement aux masses d'eau de salinité moindre : la relation de dilution n'est alors significative qu'en dessous de 31 PSS. En fin de printemps et en été, la chute des concentrations dans les eaux marines, par rapport à celles d'hiver, semble relativement moins sévère que celle du nitrate. Cela se traduit par des rapports molaires nitrate/phosphate généralement très inférieurs à 10, alors que les valeurs hivernales sont de l'ordre de 15. Ce phénomène peut être attribué à la reminéralisation du phosphore planctonique.

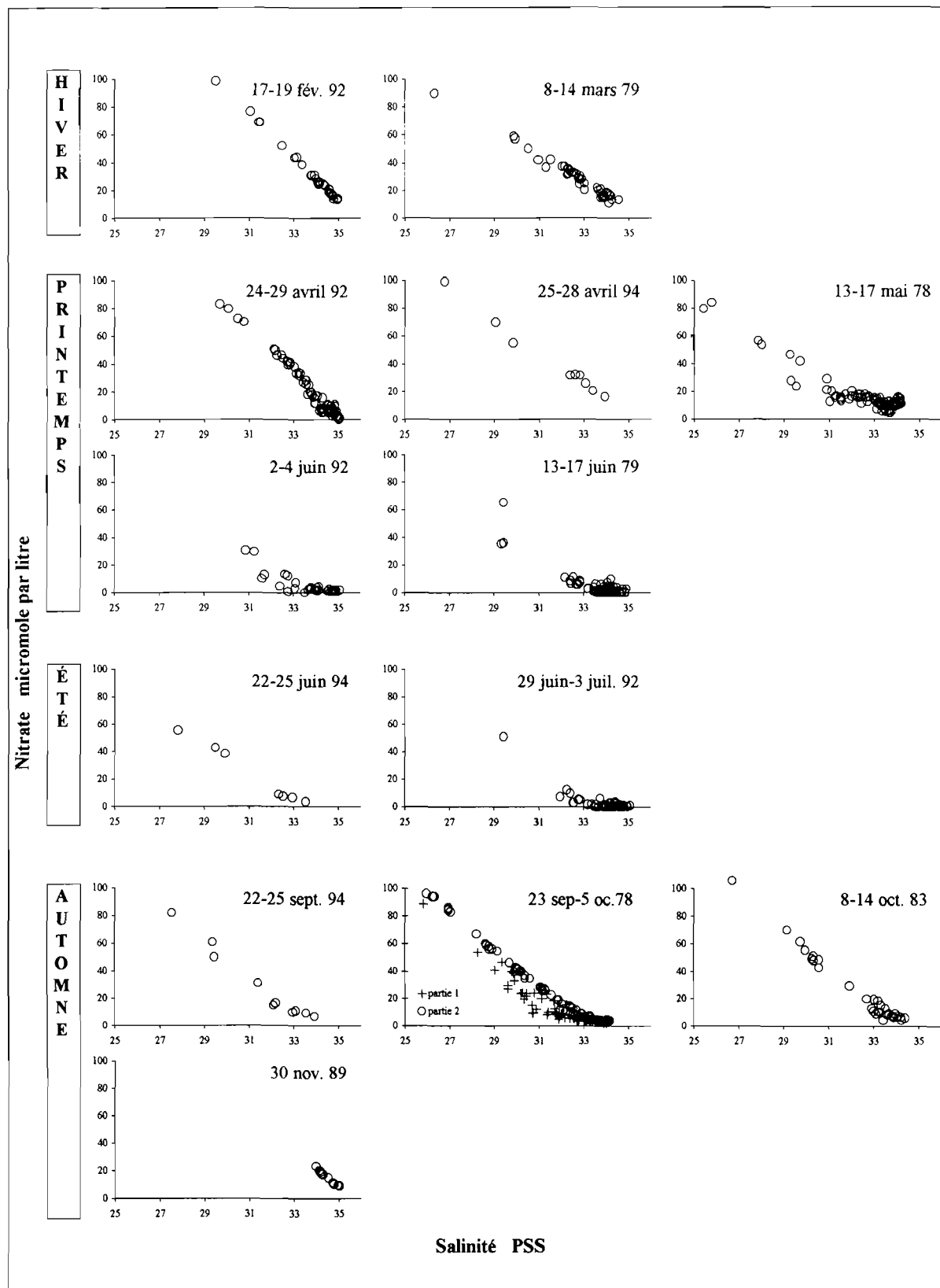


Figure 19 - Relations nitrate-salinité, regroupées par saison, au cours des campagnes de 1978 à 1994.

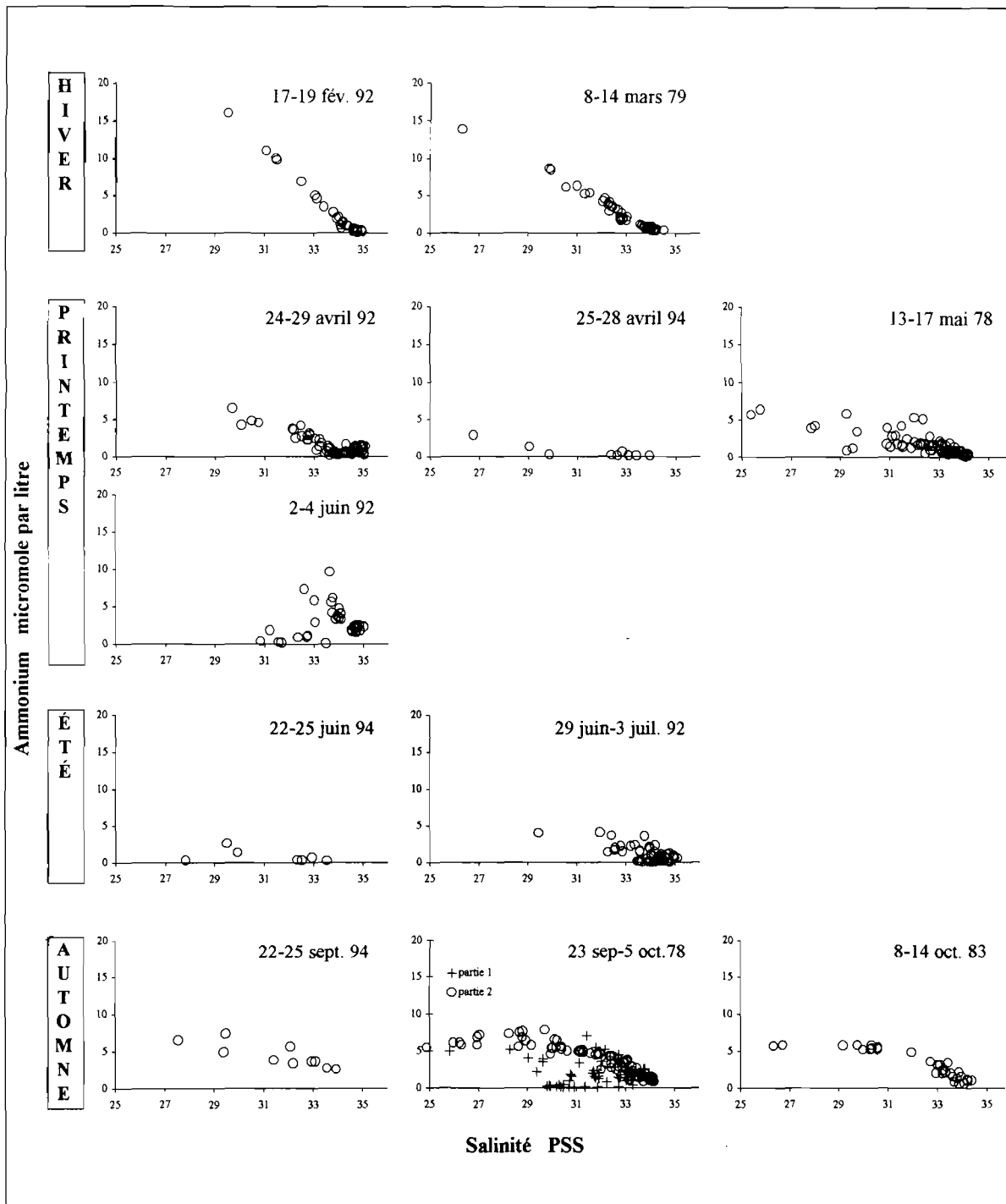


Figure 20 - Relations ammonium-salinité, regroupées par saison, au cours des campagnes de 1978 à 1994.

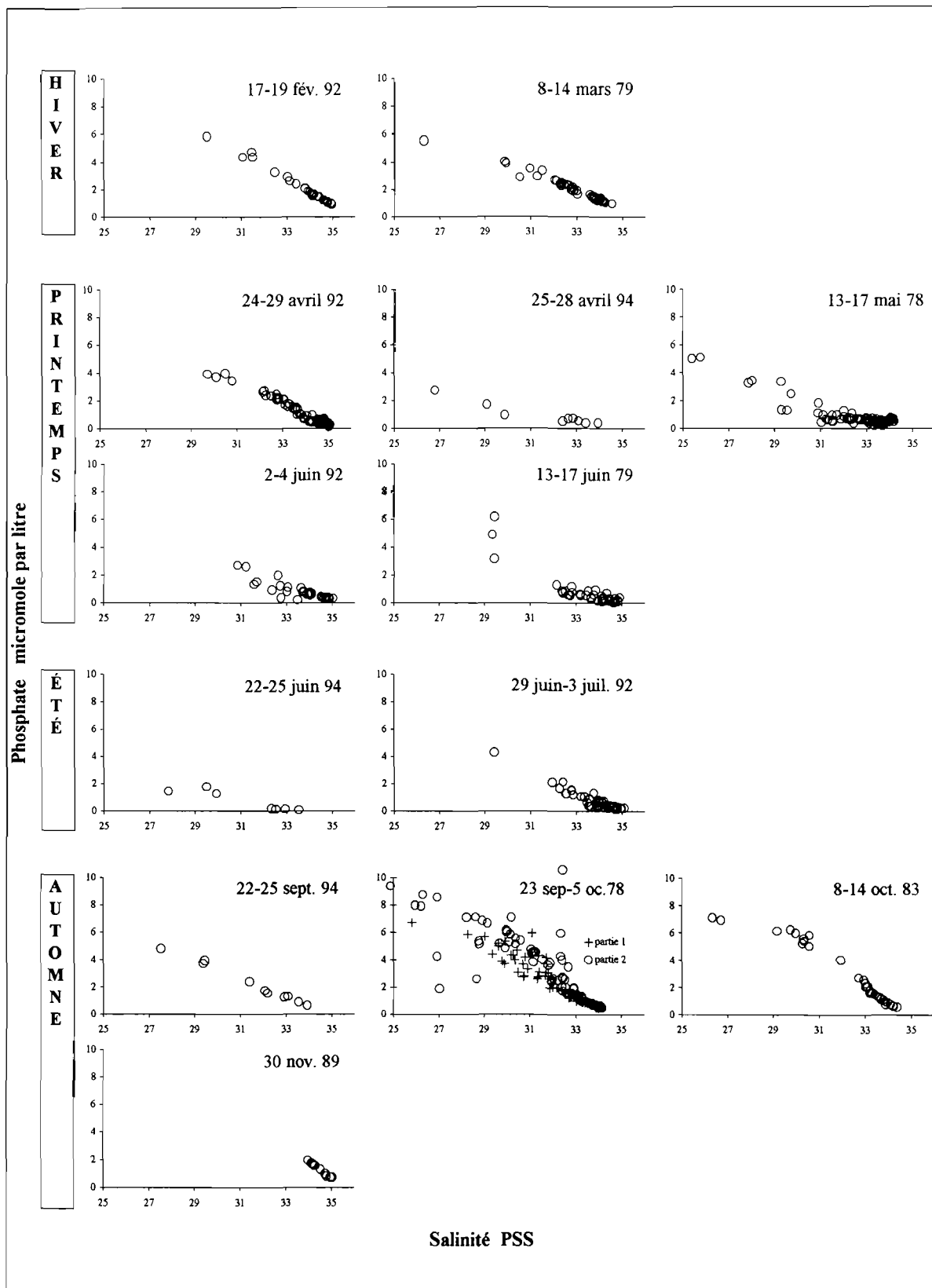


Figure 21 - Relations phosphate-salinité, regroupées par saison, au cours des campagnes de 1978 à 1994.

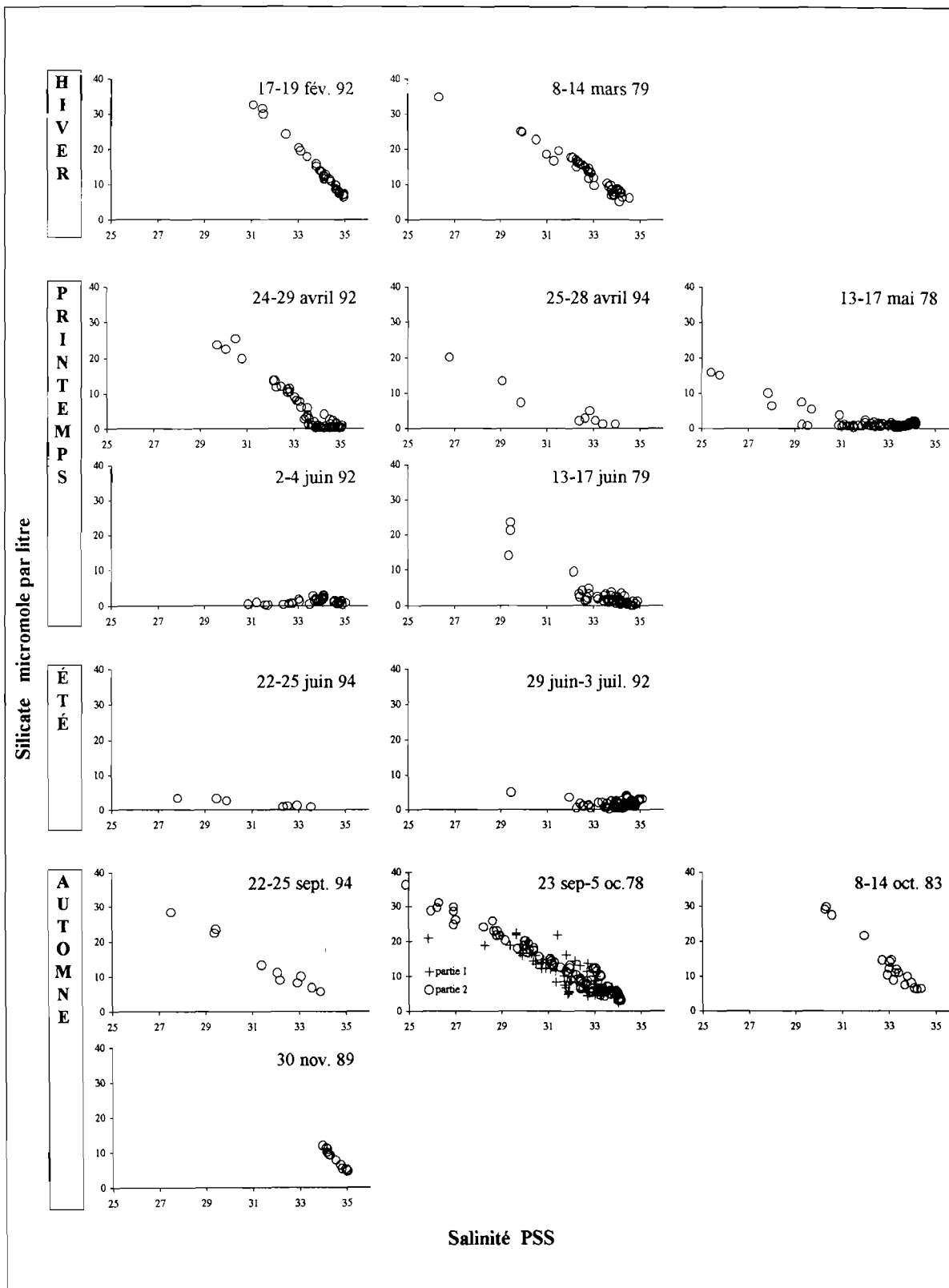


Figure 22 - Relations silicate-salinité, regroupées par saison, au cours des campagnes de 1978 à 1994.



## Silicate

Les concentrations hivernales de silicate montrent, comme pour les autres nutriments, l'importance des apports continentaux qui se diluent de façon linéaire dans la baie (fig. 22, p. 131). Au printemps, l'épuisement du silicate, d'abord visible dans les eaux à forte salinité, progresse très nettement vers les eaux de salinité moindre (jusqu'à 29 PSS en mai 1978). En été, les concentrations restent très faibles sur l'ensemble de la baie, y compris aux salinités les plus basses rencontrées dans l'estuaire aval (environ 27 PSS). Cette situation peut être due à la baisse des concentrations estivales dans le fleuve avec un niveau de l'ordre de 50  $\mu\text{mol/l}$ , contre 150  $\mu\text{mol/l}$  en hiver (voir fig. 2, p. 13), se cumulant avec la consommation dans la baie. En automne, les concentrations remontent et indiquent à nouveau un processus de dilution prépondérant, les relations avec la salinité redevenant quasi linéaires.

## Consommation en nutriments

### Consommation des nutriments au printemps

Sur les graphes représentant les relations nutriment-salinité (fig. 19 à 22, p. 128 à 131), la baisse des concentrations au printemps, par rapport à celles constatées en hiver à même salinité, met nettement en évidence la consommation des nutriments par le phytoplancton. Lors des deux campagnes d'avril 1992 et 1994, des concentrations de chlorophylle *a* de 5 à 15  $\mu\text{g/l}$ , contre 0,5 à 1  $\mu\text{g/l}$  en hiver, ont en effet été observées dans la grande majorité de la baie.

Les résultats de l'année 1992, où une campagne d'hiver et une de printemps ont été effectuées, étaient particulièrement intéressants pour aborder les processus d'interaction nutriment-phytoplancton. La campagne d'avril révèle en effet une biomasse phytoplanctonique importante et de fortes chutes de nutriments dans les eaux de salinité supérieure à 33 PSS et de turbidité inférieure à 1 NTU (fig. 23, p.133). On émet l'hypothèse que les premières poussées phytoplanctoniques dans la baie, à cette époque de l'année, se développent

essentiellement sur le stock de nutriments issu des apports fluviaux et marins, et que la production «régénérée» (c'est-à-dire se développant grâce à la reminéralisation du matériel planctonique antérieurement produit) est négligeable. Afin de vérifier cette hypothèse, et d'évaluer les consommations des nutriments, notamment les uns par rapport aux autres, il était nécessaire de déterminer l'état de référence des concentrations de nutriments pré-existant à cette intense assimilation printanière.

### État de référence pour l'évaluation des consommations

L'évaluation de la consommation d'un nutriment en un point de la baie est faite par calcul de la différence entre, d'une part, la concentration théorique de ce nutriment résultant du simple mélange entre les eaux d'origines marine et continentale, et, d'autre part, la concentration réellement observée. La concentration théorique est elle-même déduite du schéma de dilution entre deux sources : eau de rivière et eau de mer. À l'état stationnaire, c'est-à-dire avec des concentrations stables en nutriments dans ces sources, sur des durées égales ou supérieures au temps de séjour des eaux dans la zone de mélange, ce schéma de dilution est linéaire en fonction de la salinité. Dans le cas contraire, Loder et Reichard (1981) ont montré qu'une variation des concentrations au niveau des sources faisait apparaître des schémas de dilution curvilignes, même en l'absence de tout effet biologique.

Dans le cas présent, cet état de référence, nécessaire au calcul des déficits, ne peut être qu'une droite tracée entre deux points-sources (amont et aval). Pour éviter le risque d'erreurs liées à une éventuelle courbure du schéma de dilution, la définition de l'état de référence est effectuée sur une gamme de salinité aussi réduite que possible.

### Référence amont

Afin de réduire la possibilité d'erreur dans la détermination de l'eau source amont, il est apparu logique de se référer à la masse d'eau estuarienne du mois d'avril qui soit la plus «proche», en terme de salinité, de la zone de consommation, et qui soit aussi peu perturbée que possible par l'activité biologique. C'est pourquoi nous avons choisi la station 16 (surface) qui correspond

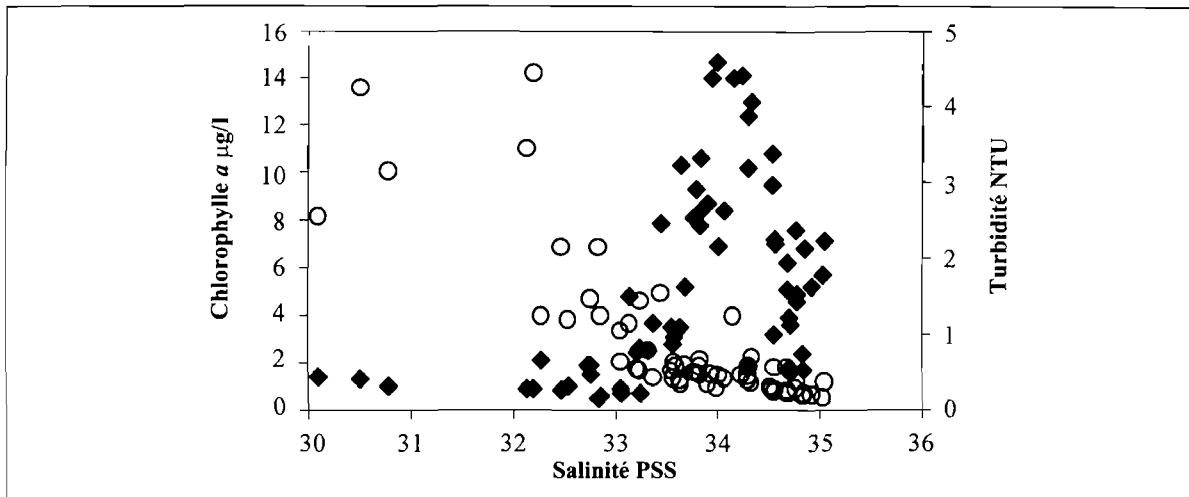


Figure 23 - Relation chlorophylle-salinité et turbidité-salinité pour la campagne de fin avril 1992. ◆ : chlorophylle ; ○ : turbidité.

à une salinité de 32,1 PSS et une teneur en chlorophylle *a* de 0,9 µg/l, et où les concentrations en nutriments sont les suivantes :

NO<sub>3</sub> : 50,8 µmol/l  
 NH<sub>4</sub> : 3,75 µmol/l  
 PO<sub>4</sub> : 2,60 µmol/l  
 Si : 13,4 µmol/l

#### Référence aval

Le choix de la référence aval est un peu plus complexe car l'ensemble des échantillons marins du mois d'avril est a priori affecté par la consommation phytoplanctonique. Nous avons donc choisi les concentrations en nutriments du mois de février comme référence aval. En faisant l'hypothèse que les nutriments éventuellement consommés dans les eaux du large, entre février et avril, se retrouvent dans la biomasse planctonique, l'élément total (dissous plus planctonique) doit, quant à lui, rester invariant. Cette dernière hypothèse n'est valide que dans la mesure où le matériel particulaire phytoplanctonique a un comportement voisin de celui du matériel dissous ou que consommation et régénération s'équilibrent.

Par ailleurs, l'incertitude demeure sur la stabilité des concentrations des eaux «océaniques» transitant en Manche, d'ouest en est, de février à avril. Faute d'une meilleure approche, le choix de la référence hivernale s'impose pour nitrate, ammonium et phosphate. Cette référence pour les eaux marines a donc été déterminée par extrapolation des relations nutriments-salinité calculées avec les valeurs de février ; cette extrapolation a été faite à

la salinité de 35,05 PSS, maximum rencontré en avril. En février, les nutriments sont parfaitement corrélés à la salinité du fait de l'activité biologique réduite. Seul l'ammonium présente une courbure de la relation aux fortes salinités, et l'extrapolation pour ce dernier paramètre n'a été faite qu'à partir des salinités comprises entre 34,5 et 35 PSS. Les valeurs retenues pour le point de référence aval à 35,05 PSS sont les suivantes :

NO<sub>3</sub> : 11,25 µmol/l  
 NH<sub>4</sub> : 0,15 µmol/l  
 PO<sub>4</sub> : 0,80 µmol/l

Pour le silicate, la valeur calculée à l'aide des mesures de février 1992 (Si = 6 µmol/l) conduit à une surestimation générale des déficits de ce nutriment en avril. Celle-ci est mise en évidence grâce aux relations avec la chlorophylle *a* qui font apparaître, pour une concentration nulle en chlorophylle, une « consommation » significative de silicate alors que les déficits d'azote minéral et de phosphate sont nuls. Cette incohérence semble provenir d'une référence marine trop élevée. En effet, selon plusieurs auteurs, la concentration en silicate des eaux océaniques pénétrant en Manche en hiver, pour une salinité de 35 PSS, est inférieure de 2 à 2,5 µmol/l à la valeur extrapolée de février (tableau 5, p. 134).

Comme les concentrations en azote et en phosphate mesurées simultanément par ces auteurs sont tout à fait cohérentes avec celles que nous avons calculées comme référence, il faut admettre un comportement spécifique du silicate, peut-être

Référence	Date	Silicate ( $\mu\text{mol/l}$ )
Armstrong <i>et al.</i> (1974)	1966	4,5
Folkard & Jones (1978)	1962	3,6 - 4,4
Morin <i>et al.</i> (1985)	1982	3,5 - 4,0
L'Helguen (1991)	1988	3 - 3,7
Tappin (1988)	1985	3 - 4

Tableau 5 - Concentrations de silicate mesurées en Manche-ouest et en mer Celtique par divers auteurs, en janvier-février, pour une salinité de 35 PSS.

lié à une vitesse de régénération différente. Il est donc apparu logique d'utiliser, pour la référence marine, les valeurs hivernales des eaux d'entrée de Manche, qui auront migré vers l'est au moment de l'observation : la moyenne de ces valeurs est de 3,7  $\mu\text{mol/l}$  de silicate.

### Évaluation des déficits de nutriments

La figure 24 montre la répartition des concentrations de nutriments en fonction de la salinité, ainsi

que les schémas de dilution linéaire servant de référence au calcul des déficits.

La figure 25 page 135 présente la distribution géographique des déficits des formes nutritives essentielles, azote minéral (nitrate + ammonium), phosphate et silicate, comparés à la concentration de chlorophylle *a*, en surface et à basse mer. La correspondance spatiale entre les distributions des déficits de nutriments et la chlorophylle *a* est évidente.

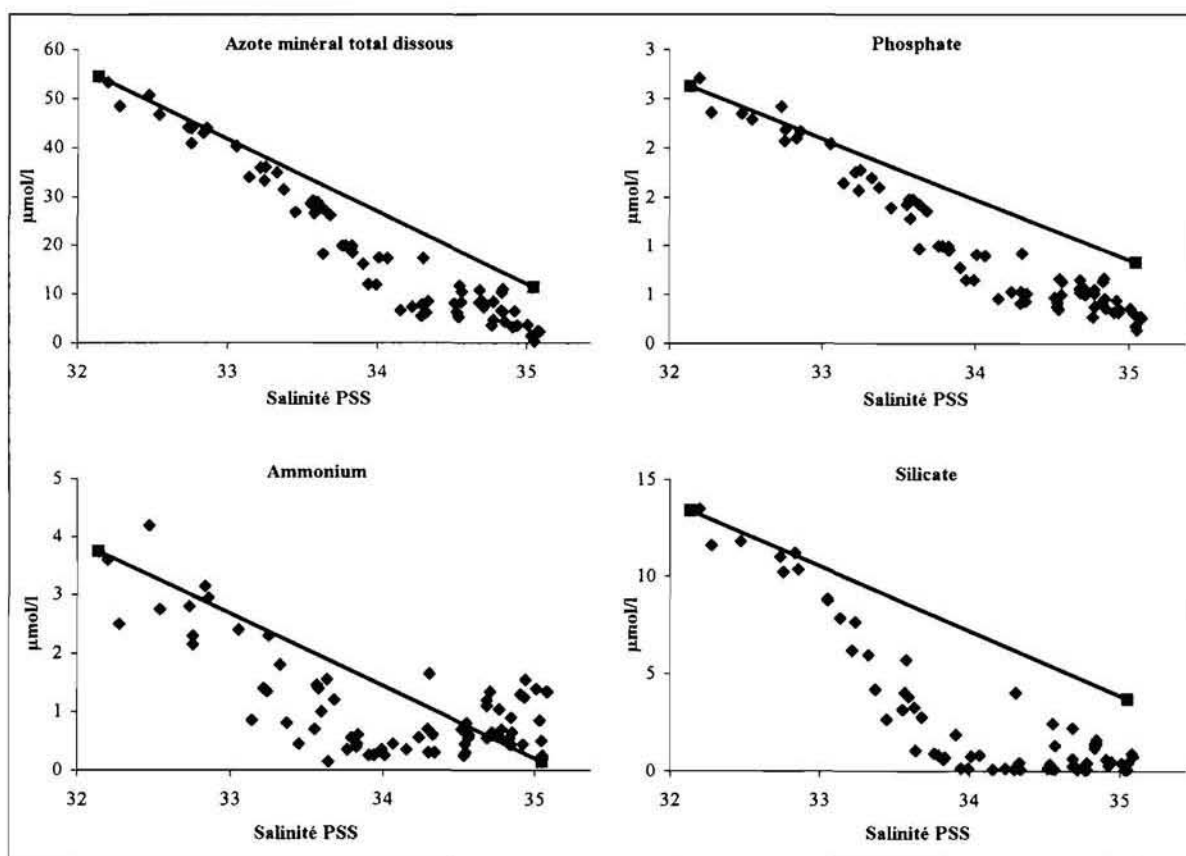


Figure 24 - Relations nutriment-salinité pour la campagne de fin avril 1992. Le trait plein représente la droite de référence pour le calcul des déficits de nutriments.

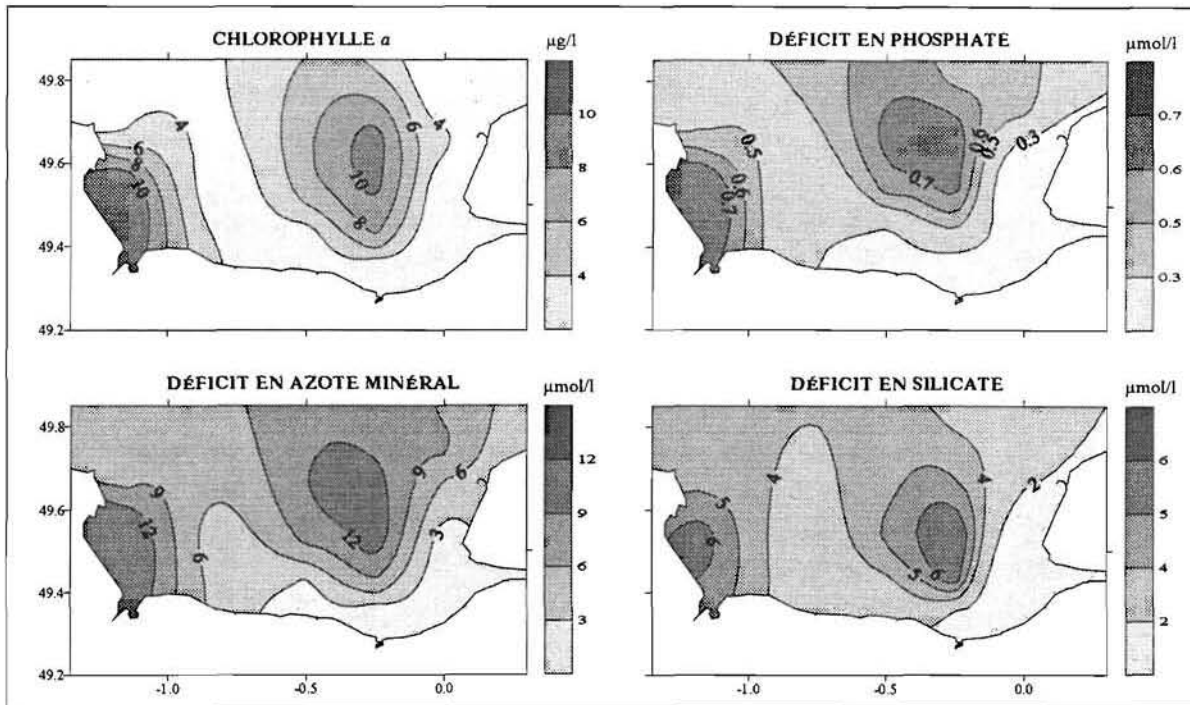


Figure 25 - Comparaison de la distribution des déficits calculés d'azote minéral, de phosphate et de silicate ( $\mu\text{mol/l}$ ) avec la distribution de la chlorophylle *a* ( $\mu\text{g/l}$ ). Situation de basse mer en surface.

### Déficits de nutriments et biomasse phytoplanctonique

Pour compléter l'analyse des résultats, il est intéressant d'étudier les relations entre les déficits de nutriments et un paramètre représentatif de la biomasse phytoplanctonique totale, à savoir la somme de la chlorophylle *a* et des phéopigments (fig. 26, p. 136).

Tous les prélèvements de la campagne d'avril (pleine et basse mer, surface et fond) dont la salinité est supérieure à 32 PSS ont été utilisés pour cette analyse. Il apparaît que l'augmentation des déficits est bien reliée, notamment pour l'azote minéral total dissous et le phosphate, à l'accroissement du marqueur de biomasse phytoplanctonique. Le déficit d'ammonium, qui correspond à moins de 20 % du déficit d'azote total, montre de ce fait une plus grande dispersion des points, et en outre des « déficits négatifs » qui traduisent un début de minéralisation.

En azote et en phosphate, un groupe de stations à faibles biomasses se distingue par des déficits plus importants que ceux observés dans le reste de la baie, pour des biomasses similaires. Ce groupe correspond aux stations marines du nord (1, 7, 13,

26, 27 et 29). À ces stations également, les pourcentages de phéopigments (20 - 50 %) sont sensiblement plus élevés qu'aux autres stations marines (< 20 %). L'explication la plus vraisemblable à cette situation est que les déficits d'azote résultent de la poussée d'une population planctonique antérieure, en voie de sédimentation, et dont le résidu de population se traduit par quelques microgrammes par litre de chlorophylle et des taux de phéopigments plus élevés. On remarquera qu'en ce qui concerne le silicate, le groupe de stations identifiées ne présente pas les fortes anomalies notées en azote et phosphore, mais seulement des valeurs plutôt élevées, en marge du nuage formé par les autres points. L'examen des concentrations résiduelles de silicate y révèle un quasi-épuisement du milieu ( $< 1 \mu\text{mol/l}$ ) qui se trouve alors en conditions limitantes pour la poussée phytoplanctonique vis-à-vis de ce nutriment. De ce fait, la consommation de silicate (et donc le déficit) n'a pu se poursuivre, tandis que le phytoplancton a pu continuer à consommer de l'azote et du phosphore. En outre, ces stations marines présentent des concentrations en ammonium significativement plus élevées que celles de février ( $> 0,5 \mu\text{mol/l}$ ), signe d'une reminéralisation de la matière organique produite par photosynthèse depuis l'hiver.

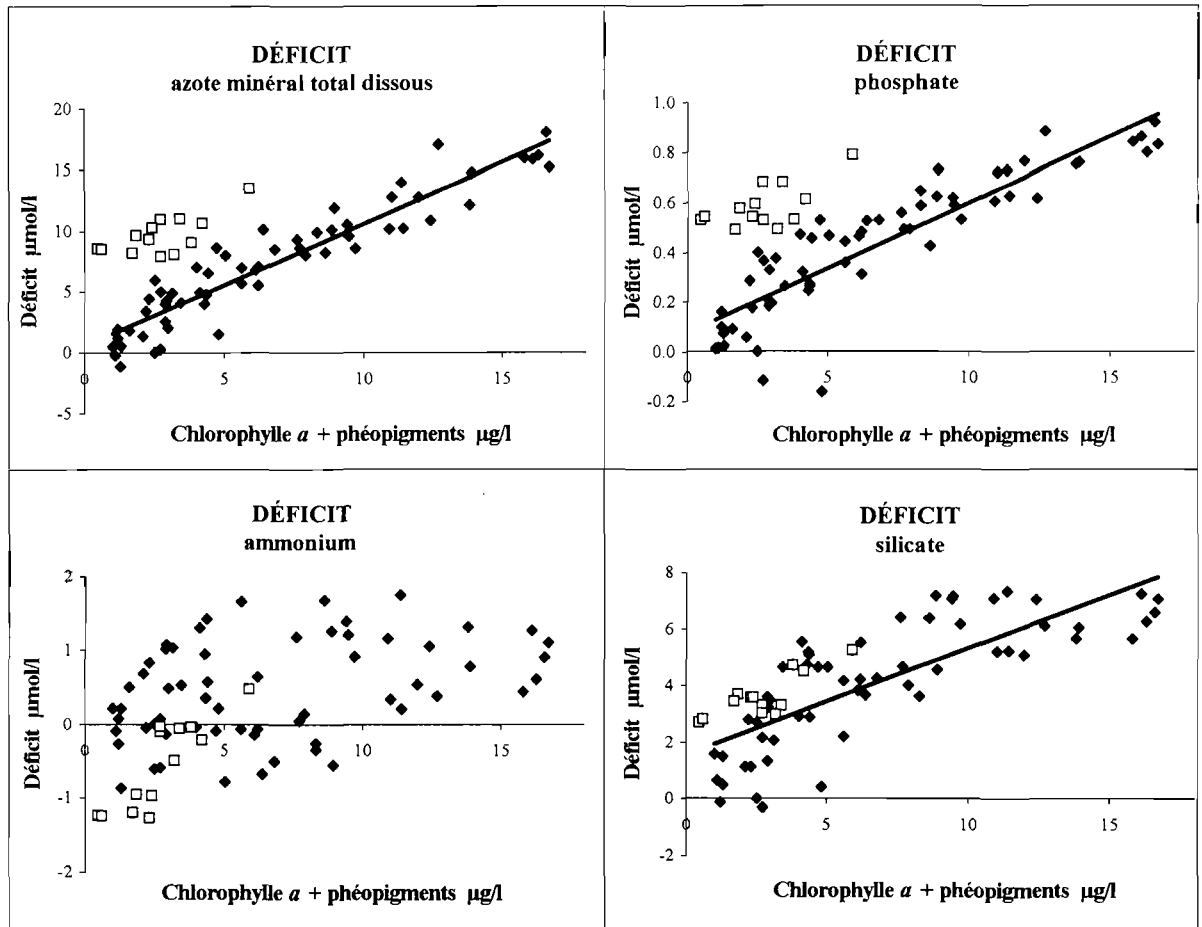


Figure 26 - Relations entre déficits de nutriment et biomasse phytoplanctonique (représentée par la somme chlorophylle a + phéopigments) pour la campagne du 24 au 29 avril 1992.

□ : stations 1, 7, 13, 26, 27, et 29 (nord de la baie).

◆ : autres stations, pour lesquelles les droites de régression ont été représentées.

Après exclusion du groupe des stations marines identifiées ci-dessus, les corrélations entre les déficits d'azote (def N) et de phosphate (def P) d'une part, et le marqueur de biomasse (chlorophylle a + phéopigments :  $C_a$ ) d'autre part, ont été calculées :

$$\text{def N} = 0,57 + 1,00C_a ; (n = 64 ; r^2 = 0,88).$$

$$\text{def P} = 0,075 + 0,053C_a ; (n = 64 ; r^2 = 0,79).$$

Le rapport  $\text{def N}/C_a$  tend donc vers  $1,0 \mu\text{mol}/\mu\text{g}$  lorsque la biomasse phytoplanctonique augmente ; ce rapport est conforme à la majorité des valeurs issues de la littérature (Jorgensen, 1979). Le rapport  $\text{def P}/C_a$  tend, quant à lui, vers  $0,05 \mu\text{mol}/\mu\text{g}$ .

Concernant le silicate, l'ajustement du nuage de points à une droite donne la relation suivante :  $\text{def Si} = 1,5 + 0,38C_a ; (n = 61 ; r^2 = 0,61)$ .

Cependant, la relation entre les déficits de silicate et la biomasse pigmentaire n'est visiblement pas linéaire sur l'ensemble du domaine d'étude ; pour les fortes valeurs de pigments, les déficits de silicate plafonnent car les concentrations résiduelles de silicate sont très faibles et sans doute limitantes pour les diatomées. La relation entre les déficits de silicate et la biomasse phytoplanctonique, établie en condition non limitante, c'est-à-dire pour les concentrations en silicate supérieures à  $1 \mu\text{mol}/\text{l}$ , devient :

$$\text{def Si} = 0,87 + 0,50C_a ; (n = 31 ; r^2 = 0,50).$$

La valeur de  $\text{def Si}/C_a$ , proche de  $0,5 \mu\text{mol}/\mu\text{g}$ , correspond aux valeurs usuelles admises dans la littérature (Jorgensen, 1979). Pour les concentrations en silicate inférieures à  $1 \mu\text{mol}/\text{l}$ , la pente de la relation  $\text{def Si}/C_a$  s'abaisse à  $0,2$ , ce qui traduit soit une

adaptation des diatomées, soit une modification des peuplements. La concentration de  $1 \mu\text{mol/l}$  a été retenue car elle se situe dans la moyenne des valeurs des constantes de demi-saturation ( $K_s$ ) présentées par Peeters et Peperzak (1990).

La valeur des déficits ci-dessus est indéniablement liée au choix de l'état de référence utilisé pour le calcul des consommations (voir page 132). Néanmoins des tests de l'influence du choix des « eaux-sources » ont montré que si les ordonnées à l'origine des relations « déficit en nutriments-biomasse pigmentaire » sont sensibles au changement de ces références, les pentes elles-mêmes sont peu affectées par ce choix. Cette « robustesse » des pentes provient des valeurs très élevées, à la fois des déficits et des biomasses phytoplanctoniques, lors de cette forte poussée d'avril 1992. Ceci valide donc les rapports calculés ci-dessus entre les déficits de nutriments et la charge pigmentaire.

En retour, il est apparu intéressant d'utiliser la notion de nutriment « total », calculée en additionnant les concentrations du nutriment présent sous forme minérale dissoute d'une part, et sous forme particulaire assimilée par le phytoplancton d'autre part ; cette dernière concentration est déterminée à l'aide des charges pigmentaires et des rapports déf nutriment/ $C_a$  obtenus précédemment. On peut alors établir un schéma de dilution de ce nutriment « total » (fig. 27).

Dans le cas de l'azote, ce schéma apparaît très voisin de la droite de référence préalablement

adoptée pour le calcul des déficits ; ceci confirme, en retour, la validité, pour l'ensemble des peuplements phytoplanctoniques de la baie, de la valeur du rapport déf  $N/C_a$ . Les points du nord de la baie présentent un déficit en azote « total », probablement lié à une sédimentation partielle du phytoplancton produit dans les eaux du large entre février et avril 1992, phénomène déjà évoqué. Le calcul précédent, réalisé également pour le phosphore « total », conduit à des résultats similaires.

Dans le cas du silicium, le bilan total apparaît assez dispersé par rapport à la droite de référence. L'hypothèse d'une sédimentation plus importante des diatomées produites semble peu plausible du fait que des anomalies concomitantes d'azote et de phosphore auraient dû être détectées, ce qui n'est pas le cas. La figure 27 montre que certaines valeurs de silicate « total » sont nettement en excès par rapport à la droite de référence tandis que d'autres sont en déficit. L'excès correspond au pic de chlorophylle des eaux à plus de 34 PSS. Comme on l'a déjà mentionné, cette forte poussée a quasiment épuisé le silicate, et son rapport déf  $Si/C_a$  est inférieur à la valeur moyenne de 0,5, déterminée ci-dessus et utilisée pour calculer le silicate « total », ce qui explique l'anomalie positive constatée. De part et d'autre de la tranche de salinité où se localise le maximum de chlorophylle, on observe des anomalies négatives de silicate total. Si l'on admet qu'il n'y a pas de perte significative du matériel phytoplanctonique, c'est que la valeur du rapport déf  $Si/C_a$  utilisée pour le calcul du silicate « total » est sous-évaluée.

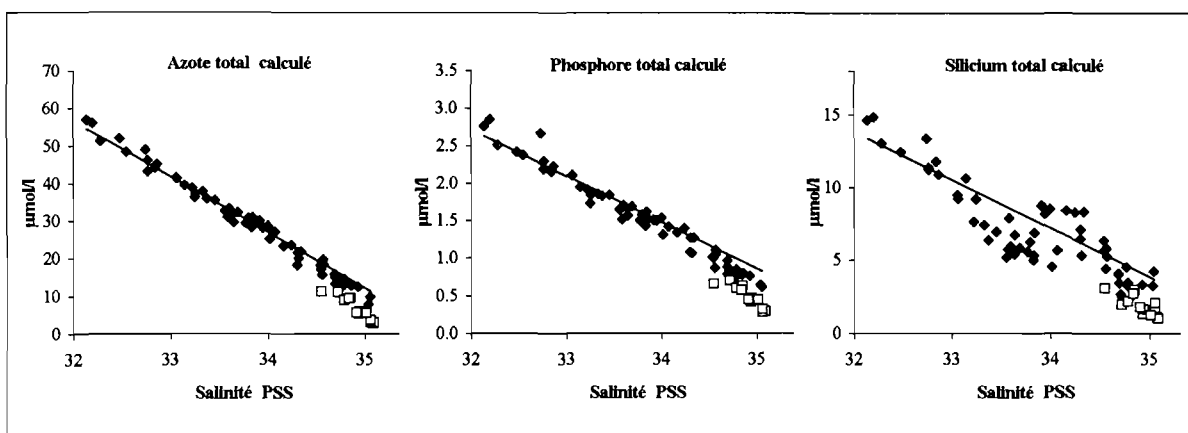


Figure 27 - Relations nutriment « total » calculé-salinité pour la campagne de fin avril 1992. Le trait plein représente la droite de référence utilisée pour le calcul des déficits de nutriment.

□ : stations 1, 7, 13, 26, 27, et 29 (nord de la baie).

◆ : autres stations.

Ce phénomène correspondrait donc, soit à la présence de diatomées plus exigeantes en silicate pour la formation de leurs tests, soit à une consommation en excès par rapport aux besoins immédiats, mais qui sera utilisée ultérieurement au fur et à mesure de la croissance de la population. Cette dernière hypothèse paraît la plus probable.

### Relations entre les déficits de nutriments

La relation entre les déficits en azote minéral et les déficits en phosphate au cours de la poussée phytoplanktonique printanière d'avril 1992 est présentée sur la figure 28. La corrélation entre ces deux déficits ( $\text{def N} = -0,19 + 17,54\text{def P}$  ;  $n = 64$  ;  $r^2 = 0,94$ ) fournit une valeur moyenne du rapport atomique N/P égale à 17,5, ce qui est assez voisin de la valeur classique de 16 donnée par Redfield *et al.* (1963).

L'examen de la relation entre les déficits en silicate et ceux en azote minéral (fig. 28) permet d'individualiser un groupe de stations qui présentent, pour des déficits en azote donnés, de plus forts déficits en silicate ; il s'agit des stations 4, 9, 11 et 12, situées dans les zones de fortes concentrations en chlorophylle *a*. Ces stations, dont la salinité varie de 33 à 34 PSS, correspondent en fait à la zone du panache de dilution des eaux de la Seine où les turbidités deviennent inférieures à 1 NTU (environ 2 mg/l de matières en suspension). Le long de ce gradient de dilution (c'est-à-dire lors du passage de 33 à 34 PSS), les teneurs en chloro-

phyllé *a* s'élevaient de 2 à 10  $\mu\text{g/l}$  et sont le signe d'une forte production primaire, favorisée par la plus faible turbidité des eaux (fig. 23, p. 133) et très probablement par le temps de séjour accru du phytoplancton dans ces masses d'eaux. À cette augmentation de la chlorophylle correspond, le long de ce gradient, une baisse des teneurs en silicate de 6  $\mu\text{mol/l}$  à 0,6  $\mu\text{mol/l}$ . Cette dernière valeur montre que l'on atteint déjà des concentrations limitantes en silicate, alors que les concentrations en azote (19  $\mu\text{mol/l}$ ) et en phosphate (1  $\mu\text{mol/l}$ ) sont encore très au-dessus des valeurs limitantes. Le rapport entre les déficits de silicate et les déficits d'azote minéral présente, dans cette zone, des valeurs élevées variant de 1,7 à 0,65. Tout se passe comme s'il y avait dans ces eaux un pompage très actif du silicate par les diatomées en phase de croissance ; ces constatations rejoignent celles que nous avons faites lors du calcul des concentrations en silicate « total » (p. 137).

En excluant ces points au comportement particulier, la corrélation entre les déficits de silicate et d'azote ( $\text{def Si} = 0,29 + 0,40\text{def N}$  ;  $n = 44$  ;  $r^2 = 0,86$ ) fournit une valeur moyenne du rapport atomique Si/N égale à 0,4. En comparaison, Harrison *et al.* (1977) fournissent des valeurs de 0,43 à 0,55 pour la composition de trois espèces de diatomées en conditions non limitantes. Par ailleurs, les rapports d'assimilation donnés par Billen (1993) en mer du Nord sont de 0,38-0,40 et ceux déterminés par Tréguer et Le Corre (1979), dans l'upwelling marocain, de 0,3 à 0,5.

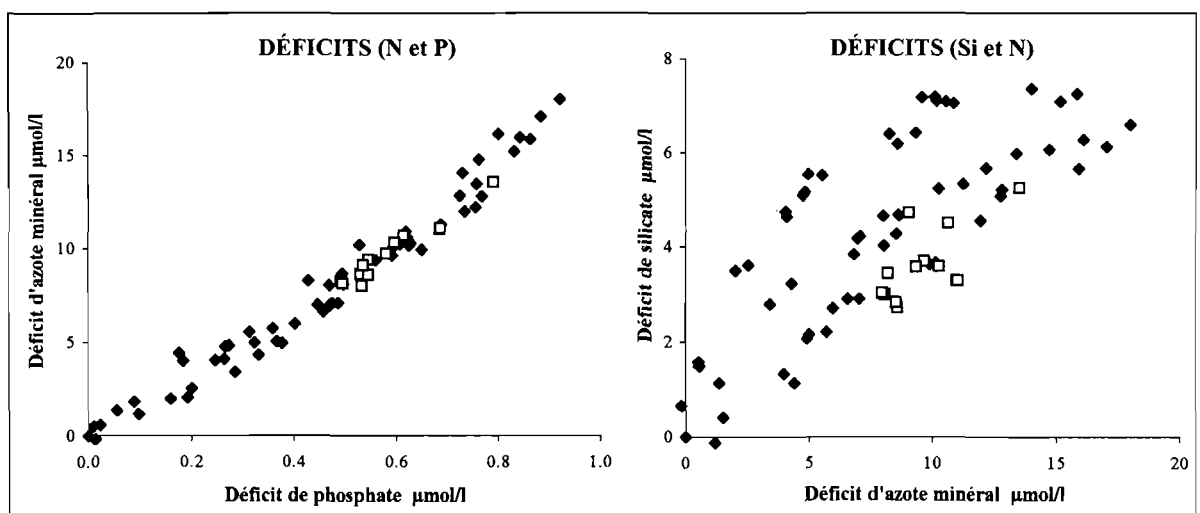


Figure 28 - Relations entre les déficits d'azote minéral dissous, de phosphate et de silicate, pour la campagne de fin avril 1992.

□ : stations 1, 7, 13, 26, 27, et 29 (nord de la baie).

◆ : autres stations.

Dans la zone de dilution des eaux de la Seine (salinité supérieure à 32 PSS), les déficits en azote minéral dissous s'accroissent lorsque les salinités augmentent. Il est donc apparu intéressant de calculer, pour chacune des deux formes d'azote assimilable - l'ammonium et le nitrate - les pourcentages d'épuisement par rapport à la concentration déduite de l'état de référence avant consommation, et de les comparer entre eux (fig. 29).

Dans les eaux de salinité comprise entre 32 et 34 PSS, les déficits en ammonium augmentent fortement alors que les déficits de nitrate restent relativement faibles (fig. 29). Les pourcentages d'épuisement en nitrate ne dépassent 20 % que lorsque les pourcentages d'épuisement en ammonium ont atteint 70 %, ce qui confirme la préférence du phytoplancton pour la forme ammoniacale de l'azote dans cette zone de forte production primaire. Dans les eaux situées plus au large (salinité supérieure à 34 PSS) les forts pourcentages d'épuisement en nitrate se maintiennent mais ceux d'ammonium diminuent, puis deviennent négatifs, ce qui équivaut à une production, attribuable à de la reminéralisation.

## Consommation des nutriments en automne

Durant la campagne de septembre 1978, on observe sur les relations nutriments-salinité des déficits importants par rapport à la majorité des points représentatifs du schéma de dilution à cette époque (fig. 19 à 22, p. 128 à 131). Comme au printemps 1992, il était intéressant d'effectuer une évaluation de ces déficits et de les comparer aux biomasses phytoplanctoniques. Après les poussées planctoniques du printemps et de l'été, il n'était pas logique de se référer aux valeurs hivernales pour calculer les déficits de nutriments. Les relations nutriments-salinité font apparaître une série de points qui se répartissent très régulièrement selon une courbe formant la limite maximale des valeurs en fonction de la salinité (fig. 30, p. 140). En négligeant quelques valeurs excédant cette limite, cette courbe a été considérée comme la référence des concentrations existant avant la consommation observée.

À l'appui de ce choix il est à noter que de nombreuses mesures effectuées avant et après la forte tempête qui a interrompu cette campagne, se répartissaient selon la même courbe limite,

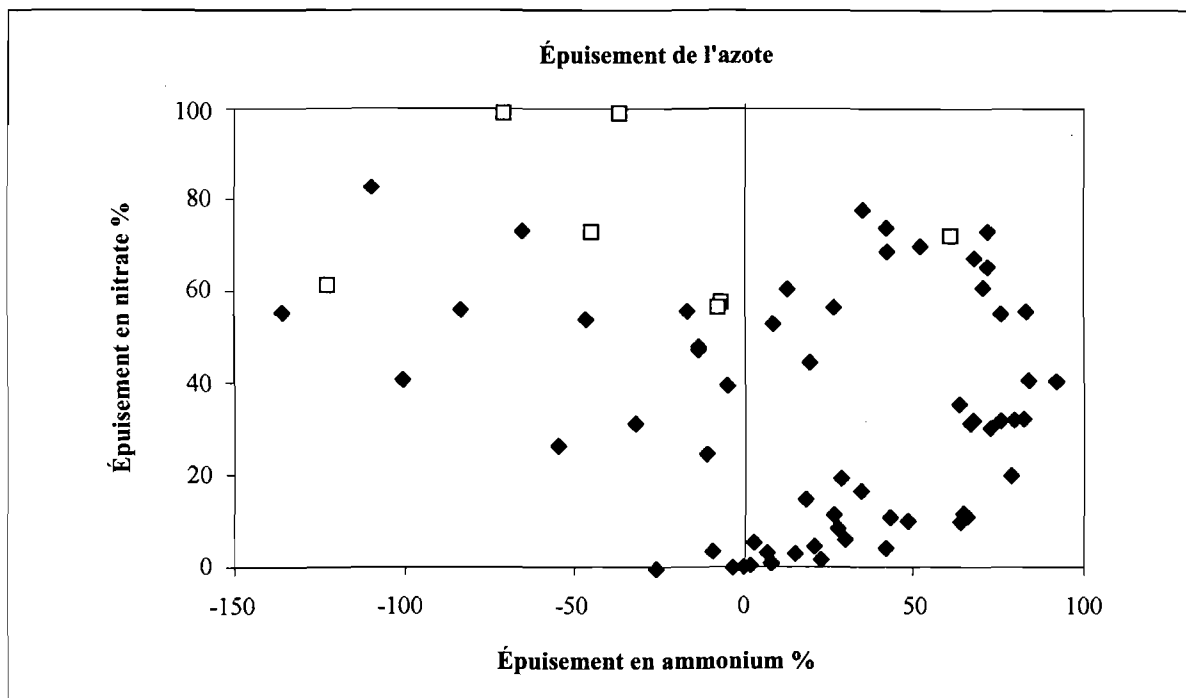


Figure 29 - Relations entre les pourcentages d'épuisement en ammonium et en nitrate, à la fin d'avril 1992. Le calcul est fait par rapport à l'état de référence avant consommation.

□ : stations 1, 7, 13, 26, 27, et 29 (nord de la baie).

◆ : autres stations.



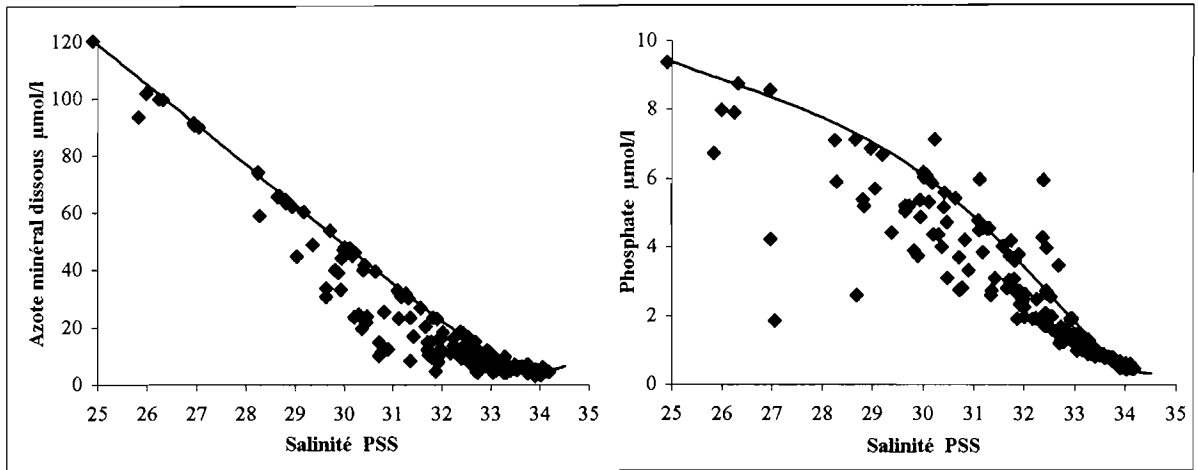


Figure 30 - Relations azote minéral dissous-salinité et phosphate-salinité pour la campagne de septembre 1978. La courbe représentée est la référence de concentration utilisée pour le calcul des déficits de nutriments.

démontrant ainsi sa stabilité sur la période étudiée. Par ailleurs, les plus faibles valeurs de pigments chlorophylliens sont associées à ces valeurs maximales de nutriments. Le calcul des productions phytoplanctoniques a donc été effectué en soustrayant ces valeurs minimales, supposées représenter le bruit de fond pigmentaire avant la poussée automnale observée. Seuls l'azote minéral dissous et le phosphate ont pu être traités, les valeurs de silicate étant trop dispersées, sans doute en raison des processus de minéralisation.

Les relations entre les déficits de nutriments et la production de biomasse phytoplanctonique (chlorophylle a plus phéopigments) sont présentées sur la figure 31. Il apparaît que ces relations sont relativement bonnes si l'on exclut les stations situées le long de la côte est, entre l'embouchure et le port d'Antifer (stations 8, 10, 12 et 15).

Après exclusion de ce groupe de stations, les corrélations entre les déficits d'azote (def N) et de phosphate (def P) d'une part, et le marqueur de biomasse (chlorophylle a + phéopigments :  $C_a$ ) d'autre part, sont :

$$\text{def N} = 0,30 + 1,32C_a ; (n = 72 ; r^2 = 0,74).$$

$$\text{def P} = 0,20 + 0,094C_a ; (n = 69 ; r^2 = 0,49).$$

Le rapport  $\text{def N}/C_a$  est donc d'environ  $1,3 \mu\text{mol}/\mu\text{g}$  ; ce rapport est légèrement supérieur à celui déterminé au printemps, mais reste toujours voisin des valeurs issues de la littérature (Jorgensen, 1979). Le rapport  $\text{def P}/C_a$  tend, quant à lui, vers  $0,09 \mu\text{mol}/\mu\text{g}$ , valeur significativement supérieure à celle de  $0,05$  trouvée au printemps.

Quant aux stations 8, 10, 12 et 15 exclues du traitement, elles présentaient compte tenu de leurs déficits d'azote, de forts excès de chlorophylle a. En raison de la position de ces stations

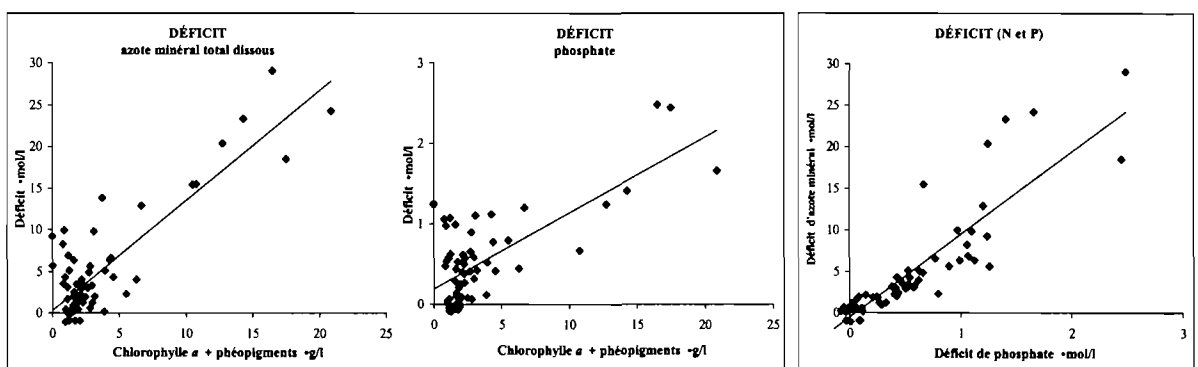


Figure 31 - A gauche : relations entre les déficits de nutriment et la biomasse phytoplanctonique (représentée par la somme chlorophylle a + phéopigments) pour la campagne du 23 septembre au 5 octobre 1978. À droite : relation entre les déficits d'azote minéral dissous et de phosphate. Note : les stations 8, 10, 12 et 15, exclues du traitement, ne sont pas représentées sur les graphes.

en limite du panache de la Seine, l'hypothèse d'une concentration physique des cellules planctoniques, de type frontal, paraît la plus plausible.

La relation entre les déficits en azote minéral et les déficits en phosphate au cours de la poussée phytoplanktonique automnale de 1978 est présentée sur la figure 31, page 140. La corrélation entre ces deux déficits ( $\text{def N} = -0,51 + 9,93\text{def P}$ ;  $n = 69$ ;  $r^2 = 0,78$ ) fournit une valeur moyenne du rapport N/P égale à 9,9, ce qui diffère sensiblement de la valeur classique de 16 donnée par Redfield. D'après les relations entre les déficits de nutriments et les pigments, il semble que l'on puisse attribuer cette faible valeur du rapport N/P à une consommation élevée du phosphore par rapport à l'azote, par comparaison aux valeurs classiques.

## Régénération des nutriments

L'examen des relations entre la salinité d'une part, et les concentrations en ammonium et en silicate d'autre part, dans la baie de Seine en juin 1992, révèle un comportement particulier. Par rapport aux teneurs d'avril (fig. 24, p. 134), on observe un épuisement de ces nutriments dans les eaux dont la salinité est comprise entre 30 et 33 PSS, et à l'inverse une augmentation très nette des teneurs entre 33 et 34,5 PSS (fig. 32).

Cet accroissement des teneurs, prépondérant dans les prélèvements de fond situés dans l'embouchure de la Seine (stations 10, 11, 12, 14, 15 et 18), fait suite à une intense période de production phytoplanktonique déjà notée en avril 1992. Cette augmentation des teneurs en ammonium et en silicate ne peut s'expliquer que par une remi-

néralisation de la matière organique phytoplanktonique produite antérieurement, puis sédimentée. La dispersion des mesures de phosphate, ainsi que les fortes concentrations en amont, ne permettent pas de mettre en évidence une régénération de ce nutriment.

En faisant l'hypothèse d'un épuisement des nutriments avant la régénération observée, on peut comparer directement les concentrations d'ammonium et de silicate mesurées dans le milieu (fig. 32). Cette comparaison montre que, au cours de ce processus de régénération, le rapport molaire Si/N est voisin de 0,5 pour la plupart des stations. Font exception les stations 10, 11 et 18 qui, pour de très fortes productions d'ammonium (supérieures à  $5 \mu\text{mol/l}$ ), ne présentent paradoxalement que de faibles valeurs de production de silicate. Ce rapport molaire de 0,5 correspondrait à la reminéralisation d'une population de diatomées, avec des cinétiques équivalentes pour l'azote et le silicium.

Des productions évidentes de nutriments, en particulier d'ammonium, ont également été observées en septembre 1994. À cette époque, la concentration en ammonium est maximale dans les eaux à 30 PSS ( $8 \mu\text{mol/l}$ ), et décroît régulièrement vers les eaux douces ( $1 \mu\text{mol/l}$ ) et marines ( $2 \mu\text{mol/l}$ ); cette production peut être attribuée en partie à la décomposition de la biomasse planctonique d'origine fluviale (pigments chlorophylliens proches de  $100 \mu\text{g/l}$ ). On peut enfin rappeler qu'en juin 1992, une régénération d'ammonium était déjà visible dans les eaux les plus marines (p. 127).

Il apparaît donc que l'ammonium montre, de façon généralement beaucoup plus nette que les autres nutriments, l'existence des processus de reminéralisation de la matière organique.

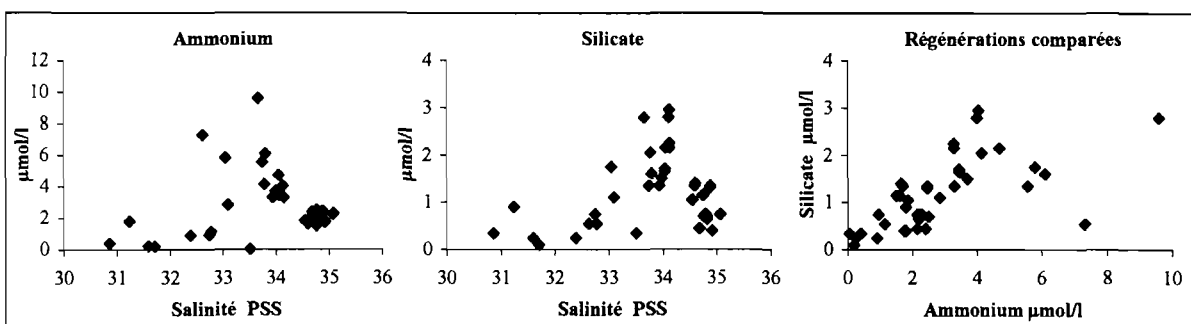


Figure 32 - Campagne de juin 1992 : relations entre la salinité et les concentrations en ammonium et en silicate d'une part, et entre ces deux nutriments d'autre part.



# Conclusion



Un certain nombre de faits marquants sont apparus à l'examen de l'ensemble des campagnes réalisées en baie de Seine, entre 1978 et 1994 ; ils sont rappelés ici sous forme de synthèse.

Durant les fortes crues, **l'influence des eaux douces** de la Seine peut s'étendre, en surface, à toute la moitié est de la baie de Seine, qui présente alors des salinités inférieures à 33 PSS ; au-delà de cette valeur, la structure spatiale de la salinité, au cours des différentes campagnes, apparaît peu influencée par la marée. Les courants de marée induisent une grande homogénéité verticale des masses d'eau, à l'exception de celles du quart est de la baie qui peuvent connaître des stratifications halines marquées, avec des écarts de salinité sur la verticale supérieurs à 1 PSS. Cette partie de la baie subit également des variations thermiques saisonnières un peu plus fortes que les eaux du large, du fait de l'influence des eaux de la Seine.

Les eaux turbides issues de l'estuaire modifient les teneurs en **matières en suspension** dans la baie. Quelle que soit l'époque, et sur toute la baie, le rapport entre les matières en suspension et la turbidité, exprimée en NTU, reste voisin de 2. Dans le quart sud-est de la baie des valeurs supérieures à 10 mg/l peuvent être mesurées. Dans ce secteur où les gradients verticaux de salinité peuvent être marqués, on observe généralement une plus grande homogénéité verticale du matériel en suspension. L'extension de ces eaux turbides varie en fonction du débit fluvial et de l'amplitude de la marée ; dans l'embouchure il existe fréquemment, en surface, une relation entre la salinité et la turbidité. A une dizaine de kilomètres au large du Havre les turbidités sont de 2 à 4 NTU en étiage, et de 12 à 16 NTU en crue. Dans les eaux du centre de la baie, qui ne subissent pas l'influence directe des eaux estuariennes, les turbidités varient de 0,2 NTU en été à 1 NTU en hiver.

Les variations des **flux de nutriments** apportés par la Seine résultent non seulement des variations de débit, mais aussi de l'évolution saisonnière des concentrations de ces sels dans le milieu fluvial : alors que les teneurs en nitrate et en phosphate restent élevées durant l'été, les concentrations en ammonium et en silicate baissent fortement durant cette même période, du fait de l'oxydation de l'ammonium et de la forte consom-

tion du silicate par les diatomées dans la Seine. Actuellement, les apports annuels d'azote minéral dissous sont, pour une année hydrologique moyenne (400 m<sup>3</sup>/s), de 86 000 t (dont 12 000 t d'ammonium), ceux de phosphore (P-PO<sub>4</sub>) de 7 400 t, et ceux de silicium de 43 000 t. Depuis la fin des années 70, les apports d'azote minéral ont augmenté de 2,2 % par an et ceux de phosphore ont diminué de 4 % par an ; les apports de silicium sont quant à eux restés stables.

Les **niveaux de concentrations en nutriments** dans la moitié est de la baie de Seine reflètent avant tout la forte influence des apports fluviaux ; l'effet de l'activité biologique (consommation, régénération) n'intervient qu'en second lieu, notamment du printemps au début de l'automne, pour modifier les schémas linéaires de dilution des eaux de la Seine dans les eaux du large.

Dans les eaux marines de la baie (34-35 PSS), les variations de concentrations en nutriments les plus fréquemment observées sont les suivantes :

- nitrate : 14-16 µmol/l en hiver, et moins de 1 µmol/l en été ;
- ammonium : 0,2-0,3 µmol/l en hiver, et jusqu'à 2,5 µmol/l en été (reminéralisation) ;
- phosphate : 1 µmol/l en hiver, et 0,1-0,2 µmol/l en été ;
- silicate : 7 µmol/l en hiver, et 0,2 µmol/l en été.

Dans les eaux de l'embouchure de la Seine subissant une influence estuarienne nette (25 PSS), les concentrations en nutriments sont en général supérieures d'un facteur 10 à celles de la baie ; les teneurs sont globalement les suivantes :

- nitrate : de 80 à 170 µmol/l, sans évolution saisonnière nette ;
- ammonium : 20-30 µmol/l en hiver, et 2 à 6 µmol/l en été ;
- phosphate : de 3 à 10 µmol/l en fonction inverse du débit fluvial ;
- silicate : 70 µmol/l en hiver, et 5 µmol/l en été.

Les **variations des concentrations en nutriments** au cours des différentes saisons révèlent une consommation importante, au printemps, de l'ensemble des nutriments dans la partie est de la baie. On vérifie que l'ammonium est consommé en priorité par rapport au nitrate, et que le silicate est le premier sel à atteindre des niveaux considérés comme limitants. Par ailleurs il a été observé, lors de poussées

phytoplanctoniques printanière et automnale, que le rapport entre les déficits d'azote et l'augmentation des biomasses pigmentaires (1 à 1,3  $\mu\text{mol}/\mu\text{g}$ ) a une valeur proche de celle qui est classiquement admise (1  $\mu\text{mol}/\mu\text{g}$ ). En phosphate les rapports observés sont de 0,05 à 0,09  $\mu\text{mol}/\mu\text{g}$ , et en silicate (printemps) de 0,5  $\mu\text{mol}/\mu\text{g}$ . Au printemps, les rapports atomiques d'assimilation N/P et Si/N sont de 17 et 0,4.

En fin de printemps et en été, on peut observer, notamment dans les eaux de fond, des régénérations significatives d'ammonium et de silicate dans les secteurs qui ont auparavant connu une forte production phytoplanctonique. Ces régénérations sont d'autant plus visibles que les apports fluviaux de ces sels sont, à ce moment-là, relativement faibles.

En automne et au début de l'hiver, on assiste à la régénération du phosphate, du silicate, de l'ammonium et, de façon un peu plus lente, à celle du nitrate.

La distribution géographique des concentrations en chlorophylle *a*, durant les périodes printanières et estivales, varie entre deux situations typiques :  
- soit un gradient décroissant sud-est - nord-ouest,  
- soit un maximum dans la partie centrale de la baie, au-delà du panache de dilution des eaux turbides de la Seine. Cette dernière structure a été observée à trois reprises au printemps, lors des cinq campagnes couvrant la totalité de la baie à cette époque, mais jamais aux autres périodes de l'année. On peut noter également des maximums secondaires au sud-ouest de la baie de Seine (baie des Veys et côte du Cotentin), probablement attribuables aux apports nutritifs de la Vire et de la Douve.

Les concentrations de chlorophylle *a* sont les plus faibles en hiver lorsque l'activité biologique est réduite ; des valeurs de 0,5 à 1  $\mu\text{g}/\text{l}$  de chlorophylle *a* sont alors mesurées sur l'ensemble de la baie. Les 40 à 80 % de phéopigments trouvés simultanément montrent qu'il s'agit de populations planctoniques âgées, caractéristiques du « bruit de fond » hivernal.

Les concentrations maximales de chlorophylle *a* mesurées lors des campagnes ne reflètent pas nécessairement les maximums fugaces pouvant être atteints dans la baie. Lors de toutes les cam-

pagnes effectuées, la plus forte concentration de chlorophylle *a* mesurée est de 35  $\mu\text{g}/\text{l}$  à la fin septembre. Les données du RNO acquises de 1976 à 1985 à une fréquence plus élevée montrent toutefois, dans le panache de la Seine (jusqu'à une quinzaine de kilomètres de l'embouchure), des concentrations de 40 à 70  $\mu\text{g}/\text{l}$  une à deux fois par an. Malgré l'accroissement des apports azotés de la Seine depuis la fin des années 1970 et la progression des teneurs hivernales en nitrate des eaux estuariennes, les sept campagnes de 1992 et 1994 n'ont pas mis en évidence de valeurs de chlorophylle *a* plus fortes qu'en 1978 et 1979.

En ce qui concerne l'**oxygène dissous**, on peut noter qu'aucune hypoxie notable des eaux de fond n'a jamais été mise en évidence par les mesures effectuées, même à proximité de l'embouchure de la Seine, probablement en raison du mélange intense des eaux par les courants de marée. Les plus faibles valeurs du taux d'oxygène dissous (70 %) ont été observés dans les eaux de fond, à 25 PSS, en sortie d'estuaire. En revanche, de très fortes sursaturations ont été enregistrées au printemps dans le sud-est de la baie (160 %) et dans le sud-ouest (130 %), du fait de fortes poussées phytoplanctoniques.

Les résultats montrent que la baie de Seine est largement influencée par les apports du fleuve le plus important des rivages de la Manche. En période hivernale, la baie apparaît comme une simple zone de transit des nutriments d'origine fluviale vers les eaux du large. Pendant les autres saisons, une intense production primaire se développe au droit de l'embouchure, dès que les eaux du panache sont moins turbides et que les temps de séjour sont suffisamment longs ; on observe alors des concentrations en chlorophylle *a* supérieures à 30  $\mu\text{g}/\text{l}$ . Ces teneurs peuvent être considérées comme caractéristiques d'une zone côtière eutrophe. Malgré l'accroissement pluriannuel des apports d'azote, les biomasses chlorophylliennes ne montrent toutefois pas d'évolution temporelle. Après les phases de poussées phytoplanctoniques, des régénérations de silicate et d'azote sous forme ammoniacale sont visibles, notamment près du fond. Le caractère eutrophe de la baie se traduit par de très fortes sursaturations d'oxygène dissous en surface, mais les eaux de fond ne révèlent pas de déficits d'oxygène de plus de 30 %.

## BIBLIOGRAPHIE

- AMINOT (A.) et CHAUSSEPIED (M.), 1983. *Manuel des analyses chimiques en milieu marin*. CNEXO ed., BP 70, 29280 Plouzané (France), 300 p.
- AMINOT (A.) et KEROUEL (R.), 1982. *Dosage automatique de l'urée dans l'eau de mer : une méthode très sensible à la diacétylmonoxime*. Can. J. Fish. aquat. Sci., 39 (1), 174-183.
- AVOINE (J.), 1981. *L'estuaire de la Seine : sédiments et dynamique sédimentaire*. Thèse de Géologie de l'Université de Caen, 236 p.
- AVOINE (J.) et CREVEL (L.), 1986. *Influence des apports fluviaux en baie de Seine*. IFREMER, Actes de Colloques, 4, 125-134.
- AVOINE (J.), DUBRULLE (L.) et LARSONNEUR (C.), 1986. *La dynamique sédimentaire dans les estuaires de la baie de Seine - Conséquences sur l'environnement*. IFREMER, Actes de Colloques, 4, 183-192.
- ARMSTRONG (F.A.J.), BUTLER (E.I.) et BOALCH (G.T.), 1974. *Hydrographic and nutrient chemistry surveys in the western English Channel during 1965 and 1966*. J. mar. biol. Ass. U.K., 54, 895-914.
- BELIN (C.), BERTHOME (J.-P.) et LASSUS (P.), 1989. *Dinoflagellés toxiques et phénomènes d'eaux colorées sur les côtes françaises : évolution et tendances entre 1975 et 1988*. Hydroécol. Appl., 1/2, 3-17.
- BILLEN (G.), 1993. *Coastal eutrophication in a global perspective*. In : Biological indicator of global change Symposium, 7-9 mai 1992, Brussels Royal Academy of Overseas Sciences, Symoens et al. Eds, Brussels, 17-34.
- BOUCHER (J.), 1980. *Campagnes Écomanche I - II - État de référence écologique de la Manche*. Publications du Centre National pour l'Exploitation des Océans, 21, 118 p.
- CELLULE ANTIPOLLUTION DE LA SEINE DE ROUEN, 1977 à 1994. *Étude des pollutions en Seine*. Ministère de l'Environnement, Service Maritime de la Seine Maritime (3<sup>ème</sup> Section). Dossiers non paginés.
- CNEXO, 1978. *Baie de Seine, Campagne «Thalia», mai 1978. Présentation des résultats*. Centre Océanologique de Bretagne, Département Environnement Littoral et Gestion du Milieu Marin, 189 p.
- FOLKARD (A.R.) et JONES (P.G.W.), 1978. *Hydrographic observation in the southern North Sea during 1961 and 1962, with particular reference to the distribution of nutrients salts*. MAFF-DFR, Fish. Res. techn. Report, 48, 1-44.
- HARRISON (P.J.), CONWAY (H.L.), HOLMES (R.W.) et DAVIES (C.O.), 1977. *Marine diatoms grown in chemostats under silicate or ammonium limitation*. 3. Cellular chemical composition and morphology of *Chaetoceros debilis*, *Skeletonema costatum* and *Thalassiosira gravida*. Mar. Biol., 43 (1), 19-31.
- JORGENSEN (S.E.), 1979. *Handbook of environmental data and ecological parameters*. International Society for Ecological Modelling-[ISEM] (Edit), Vaerlose (DK), 1162 p.
- LE GRAND (J.), 1994. *Bilan du réseau de surveillance phytoplanctonique en Normandie (1989-1992)*. IFREMER, Rapport interne DEL / 94.09 / Port-en Bessin, 72 p.
- LE HIR (P.), 1980. *Calcul par modélisation numérique de la structure verticale des courants et application à la Baie de Seine*. Thèse, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 122 p.
- LE HIR (P.), SALOMON (J.-C.), LE PROVOST (C.), CHABERT D'HIERES (G.) et MAUVAIS (J.-L.), 1986. *Approche de la circulation résiduelle en baie de Seine*. IFREMER, Actes de Colloques, 4, 63-72.
- L'HELGUEN (S.), 1991. *Absorption et régénération de l'azote dans les écosystèmes pélagiques du plateau continental de la Manche occidentale. Relations avec le régime de mélange vertical des masses d'eaux ; cas du front thermique d'Ouessant*. Thèse, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 212 p.



- MENESGUEN (A.), GUILLAUD (J.-F.), AMINOT (A.) et HOCH (T.), 1995. *Modelling the eutrophication process in a river plume : the Seine case study (France)*. *Ophelia*, 42, 205-225.
- MORIN (P.), LE CORRE (P.) et LE FEVRE (J.), 1985. *Assimilation and regeneration of nutrients off the west coast of Brittany*. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 65, 677-695.
- PEETERS (J.C.H.) et PEPERZAK (L.), 1990. *Nutrient limitation in the North Sea : a bioassay approach*. *Neth. J. Sea Res.*, 26 (1), 61-73.
- REDFIELD (A.C.), KETCHUM (B.H.) et RICHARDS (F.A.), 1963. *The influence of organisms on the composition of sea water*. In : *The Sea*, V.2, M.N. Hill ed., Interscience, 26-77.
- RNO, 1985. *Résultats de la campagne à la mer*. Intersite I, 7 - 20 octobre 1983, IFREMER-Ministère de l'Environnement, 94 p.
- RNO, 1993. *Surveillance du milieu marin*. Travaux du RNO, Edition 1992-1993, IFREMER-Ministère de l'Environnement, 32p.
- TAPPIN (A.D.), 1988. *Studies of trace metals in shelf waters of the British Isles*. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, University of Southampton.
- TREGUER (P.) et LE CORRE (P.), 1975. *Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer*. Université de Bretagne Occidentale, Brest, France, 110 p.
- TREGUER (P.) et LE CORRE (P.), 1979. *The ratio of nitrate, phosphate and silicate during uptake and regeneration phases of the Moroccan upwelling regime*. *Deep Sea Res.*, 26, 163-184.

Réalisation, mise en page : XLC (02 98 30 50 07)

Achevé d'imprimer à l'atelier de reprographie  
du centre de l'IFREMER de Brest

ISSN - 1240-1153

ISBN 2-905434-76-7 / Dépôt légal 2<sup>e</sup> trimestre 1997

© 1997, IFREMER. Tous droits de reproduction, même partielle  
par quelque procédé que ce soit, sont réservés pour tous pays.

