

ETUDE HYDROBIOLOGIQUE
DU
SITE DE DUNKERQUE

RESEAU NATIONAL D'OBSERVATION
DE LA QUALITE DU MILIEU MARIN

SOMMAIRE

INTRODUCTION	p.1
I - PRESENTATION DU SITE	p.4
1 - Géographie	p.4
2 - Climatologie	p.4
3 - Courants	p.4
4 - Apports d'eau douce	p.6
II - PARAMETRES PHYSIQUES	p.10
1 - Température	p.10
2 - Salinité	p.16
3 - Diagramme Température-Salinité	p.27
4 - Densité	p.33
5 - Transparence de l'eau	p.33
III - PARAMETRES CHIMIQUES	p.38
1 - Turbidité	p.38
2 - pH	p.43
3 - Oxygène dissous	p.47
4 - Sels nutritifs	p.57
4 . 1 - Sources d'apports	p.57
4 . 2 - Variations	p.67
5 - Autres paramètres : métaux	p.84
CONCLUSION	p.98
Annexe I - Description des diagrammes de dispersion	p.100
Annexe II - Liste des figures	p.101
BIBLIOGRAPHIE	p.104

INTRODUCTION -

Lors de sa réunion du 6 décembre 1972, le Conseil Interministériel d'action pour la Nature et l'Environnement, a décidé la création du Réseau National d'Observation de la Qualité du Milieu Marin (R.N.O.) . Le but du réseau est de permettre de rassembler les données concernant la situation écologique du milieu, de signaler l'état de pollution, de faire l'état des ressources et préciser l'état sanitaire du littoral (*) .

Dans une première phase (1er juin 1974- 30 septembre 1975), six points d'appui ont été mis en place . Les paramètres pris en compte concernaient les caractéristiques physico-chimiques de l'eau et les polluants . Durant la deuxième phase (à partir du 1er octobre 1975), le Réseau s'est doté de sept nouveaux points d'appui . Des paramètres biologiques ont été ajoutés aux précédents . Parmi ces derniers points d'appui, figure celui de Dunkerque .

Le R.N.O. et l'Unité Littoral du C.N.E.X.O. souhaitent qu'une interprétation des variations des paramètres mesurés sur le site de Dunkerque soit entreprise conjointement par les services du Port Autonome de Dunkerque et par l'Institut de Biologie Maritime et Régionale de Wimereux . Une première exploitation par le Port Autonome de Dunkerque des résultats, a fait l'objet d'un rapport . Il concerne essentiellement des paramètres physiques : nous en reprendrons quelques résultats (*) . Les travaux que nous avons entrepris, en complément, s'attachent plus particulièrement à expliciter les variations physico-chimiques et biologiques des paramètres . La période d'étude qui nous intéresse ici va de novembre 1975 à septembre 1977 (certaines figures tiennent compte de résultats ultérieurs) . Le manque de données biologiques, jusqu'en juillet 1977, en rend difficile l'interprétation . Nous nous aiderons des données généralement admises en écologie marine côtière, et plus particulièrement de celles qui ont été acquises sur le site voisin de Gravelines ; au cours de deux études d'une durée d'un an (novembre 1974 à décembre 1975, août 1976 à juillet 1977, ARNAL, BOUGARD, DEWARUMEZ, DEWARUMEZ, GREGOIRE, LEFEVRE, MENU, RYCKAERT, SOUPLLET, TOULARASTEL, VALDELIEVRE, 1976-1977) .

(*) - Il doit "s'orienter vers une mission d'observation générale de la qualité des eaux littorales, afin d'établir un système d'alarme instantané sur certains polluants particulièrement significatifs ; d'établir un système d'alarme à terme permettant la détection des tendances de l'évolution de la qualité du milieu marin ; de suivre l'effet des mesures de protection et de prévention et de formuler des recommandations concernant les objectifs de qualité" (Rapport annuel C.N.E.X.O. 1977) .

(*) - Nous ferons référence à ce rapport sous le sigle P.A.D.

Après la présentation du site de Dunkerque, ce rapport d'étude se divise en deux grandes parties :

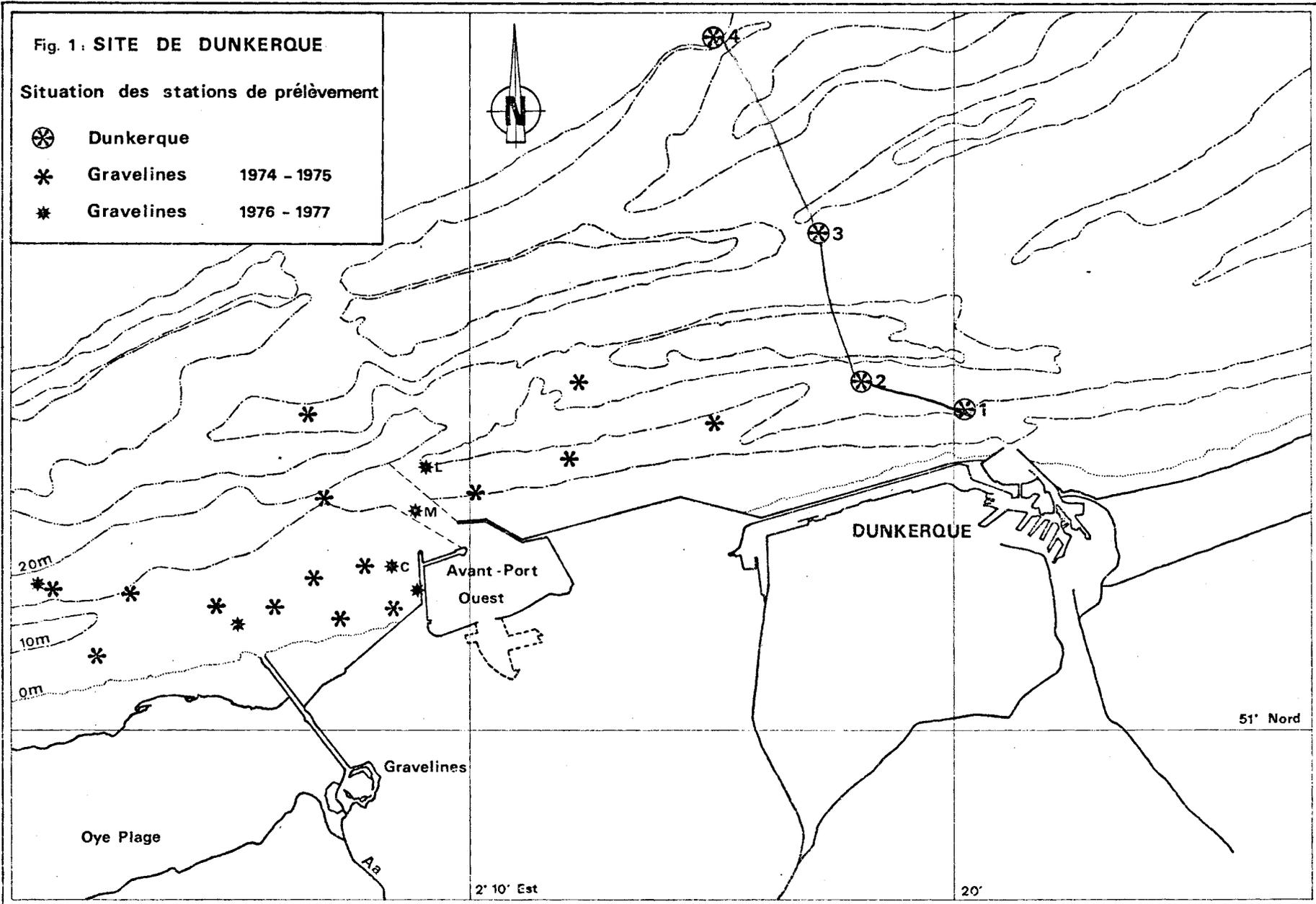
- les paramètres physiques du milieu marin, qui agissent sur les populations, mais sur lesquels l'action des organismes est faible, sinon nulle (exception faite de la transparence de l'eau) .

- les paramètres chimiques, dont les variations sont en parties régies par celles des populations . Le dernier paragraphe de cette seconde partie traite de paramètres ayant plus spécifiquement trait à la pollution, tels les métaux . Tout au long de cette étude, le milieu de Dunkerque est comparé avec d'autres milieux côtiers dont la littérature fait état, et plus particulièrement celui de Gravelines .

Fig. 1. SITE DE DUNKERQUE

Situation des stations de prélèvement

- ⊗ Dunkerque
- * Gravelines 1974 - 1975
- * Gravelines 1976 - 1977



I - PRESENTATION DU SITE

1 - Géographie .

Le point d'appui "Dunkerque" du R.N.O. se trouve dans la partie tout à fait méridionale de la Mer du Nord, en face du port est de Dunkerque (département du Nord) .

Les quatre stations d'étude sont disposées sur une radiale à peu près perpendiculaire au rivage, à l'ouest de l'entrée de l'avant-port est (fig.1) . Le point n° 1, décalé vers l'est par rapport à la radiale, se situe en bordure du chenal d'accès à l'avant-port . La distance à la côte des différentes stations et leur profondeur moyenne (estimée à partir des données de 1976), sont indiquées dans le tableau suivant :

Station	Distance à la côte (km)	Profondeur moyenne (m)
1	1	12
2	2,5	9,5
3	6,5	14
4	12	32

Nous avons également reporté sur la figure 1 la position des stations de prélèvements de Gravelines .

2 - Climatologie .

Le climat de la région de Dunkerque est un climat océanique tempéré . Température de l'air et pluviosité sont représentées sur la figure 2, à partir des données recueillies à Oye-Plage, village situé au sud de la zone d'étude (données tirées sur le Bulletin Climatologique du Département du Pas-de-Calais) .

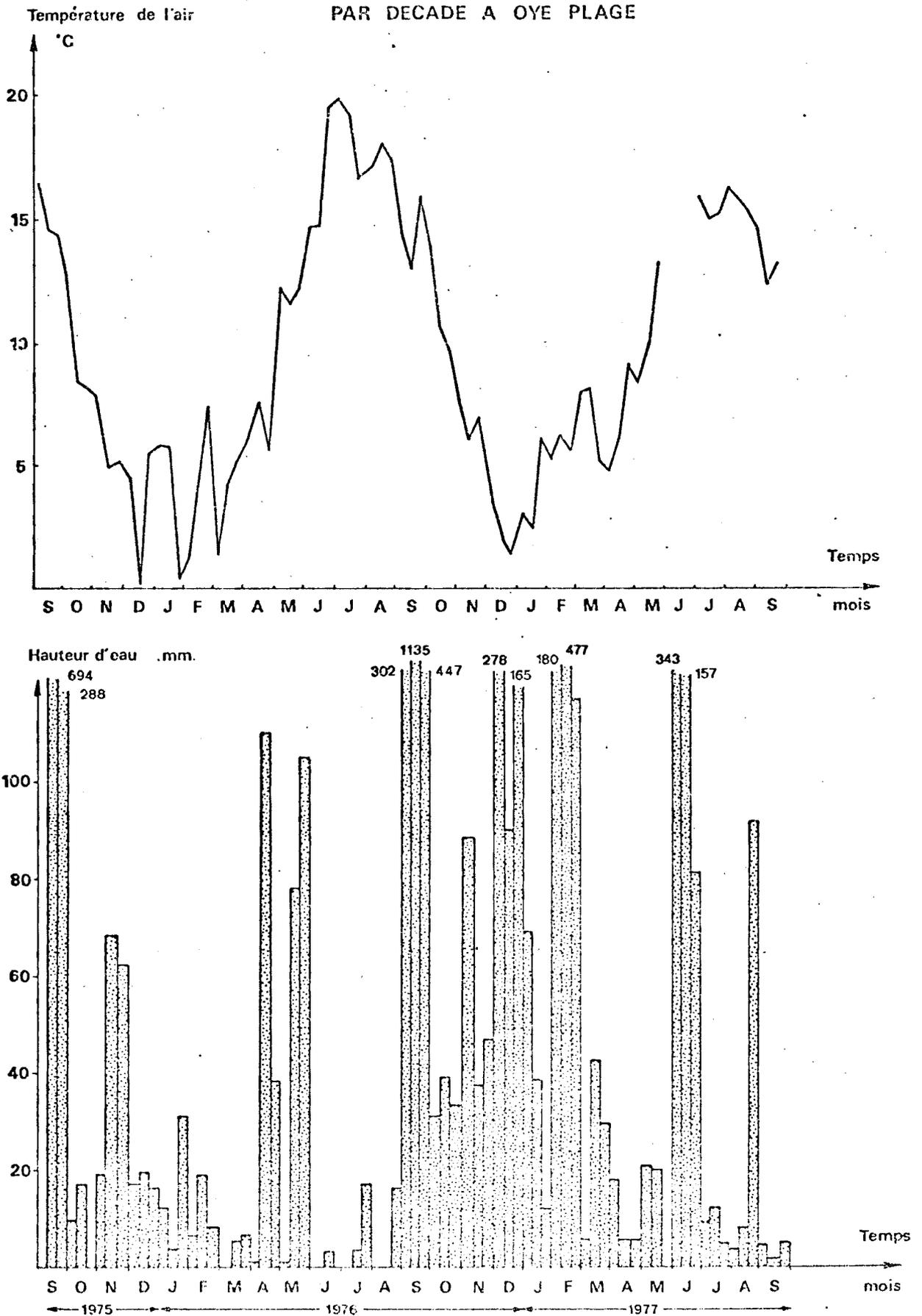
La température de l'air varie de façon sinusoïdale, le maximum thermique se situant en juillet-août, le minimum en décembre-janvier . L'écart entre les températures extrêmes est nettement moins prononcé en 1977 qu'en 1976 . L'année 1976 est caractérisée par une température estivale supérieure à la normale et une température hivernale (janvier-février) inférieure à la moyenne . L'été 77 est un été frais . Au cours des deux années on observe une vague de froid au mois de mars .

L'hiver 1975-1976 est très sec . Au contraire l'hiver 1976-1977 est marqué par une forte pluviosité .

3 - Courants .

L'étude des courants ayant été faite par le Port Autonome, nous ne la reportons pas ici . En résumé, " Le mouvement général d'une molécule d'eau est donc une oscillation dissymétrique de part et d'autre d'un point se déplaçant

Fig. 2 : TEMPERATURE ET PRECIPITATIONS MOYENNES



progressivement vers l'Est à la vitesse de 3,96 km par 12 heures en vives-eaux, et 0,92 km par 12 heures en mortes - eaux " .

La topographie du fond peut être à l'origine de certaines variations dans la direction des courants . En effet, plusieurs bancs parallèles à la côte délimitent des chenaux qui sont en communication entre eux, ce qui occasionnerait des mouvements d'eau différents de ceux du courant général . En outre, il faut tenir compte de l'action des vents sur la vitesse et la direction des courants .

4 - Apports d'eau douce .

A part les eaux de pluie et les eaux de ruissellement il existe deux importantes sources d'apport d'eau : l'avant-port est de Dunkerque et l'Aa, rivière qui débouche à Grand-Fort-Philippe, au sud de la zone d'étude (fig.1) . Une partie des eaux de l'Aa emprunte le canal de la Haute Colme après Watten et arrive à la mer au niveau du canal exutoire .

4.1 - Avant-port est .

L'avant-port est de Dunkerque est en communication avec les bassins du port par l'intermédiaire de trois écluses (fig.3) . Le débit de vidange des bassins est pratiquement constant dans l'année et correspond à environ 175.000 m³ toutes les 12 heures (P.A.D.) . Les apports d'eau douce y sont faibles : précipitations, éclusées du canal à grand gabarit, rejets intermittents des eaux de lavage des aires de stockage des minerais, effluents industriels (KHALANSKI, 1977) .

Au fond de l'avant-port se déverse le canal exutoire des waterings . Il collecte les eaux de drainage de tout l'arrière-pays et les eaux urbaines, notamment celles qui sortent de la station d'épuration de Coudekerque-Branche qui traite les eaux usées de l'agglomération dunkerquoise .

D'après le P.A.D., "En moyenne on peut estimer le débit journalier" du canal exutoire " à 240.000m³ par jour en période d'hiver, et 140.000m³ en jour en période d'été" .

Le Port Autonome de Dunkerque a étudié le cheminement des eaux déversées dans l'avant-port est : les eaux du canal exutoire arrivent au point 1 à H+14h et H+18h (H étant l'heure de passage des eaux du canal vers l'avant-port) si H = basse-mer - 1h30, et à H+3h et H+7h si H = basse-mer - 2h . Les eaux des bassins atteignent le point 1 entre l'étale de basse-mer qui suit leur sortie et la basse-mer .

4.2 - Aa .

L'Aa draine une grande partie de l'arrière-pays depuis St-Omer . Il amène à la mer une quantité d'eau 2 à 3 fois plus importante que celle du canal exutoire (P.A.D.) .

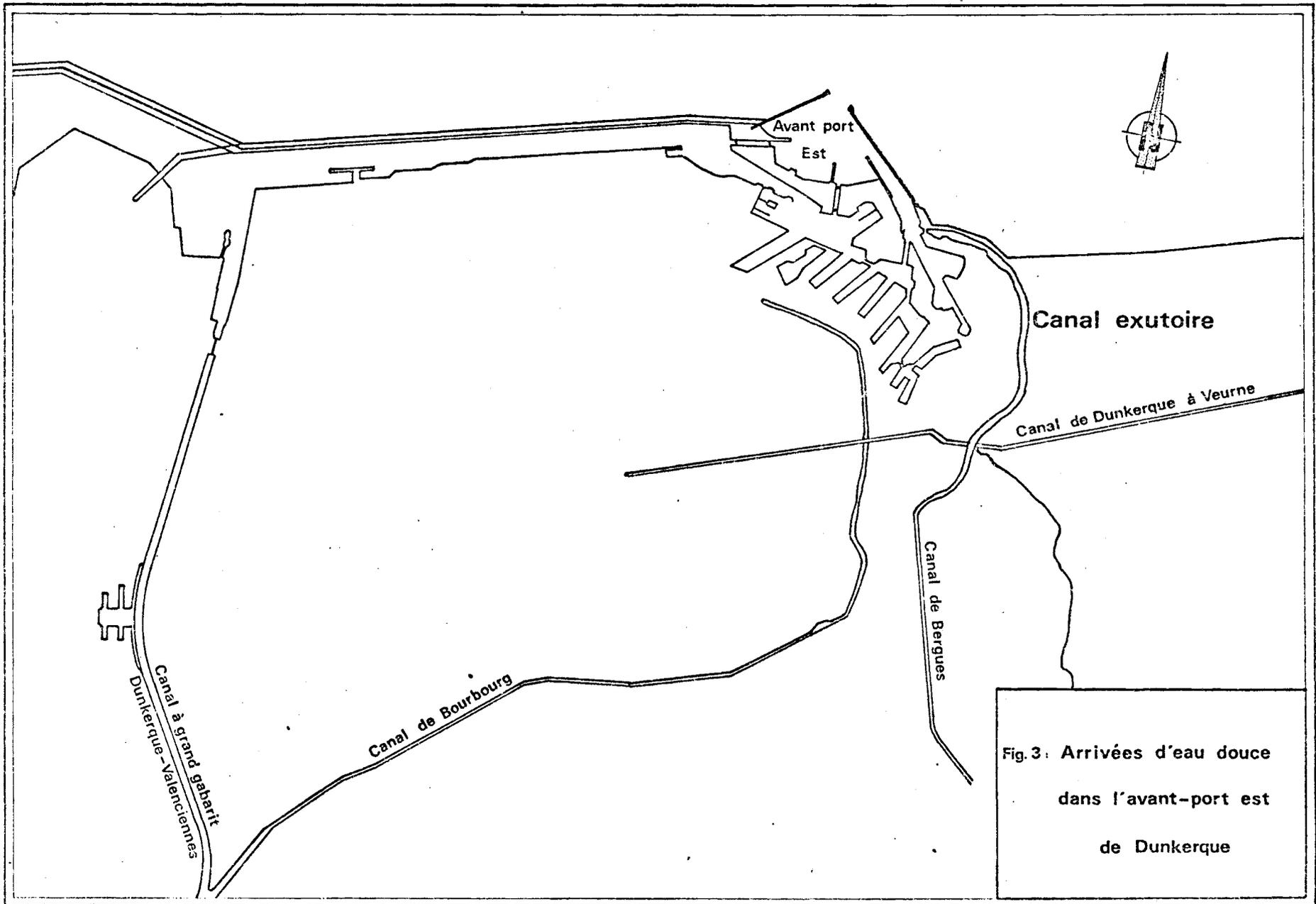


Fig.3. Arrivées d'eau douce
dans l'avant-port est
de Dunkerque

Une estimation des apports telluriques en mer, faite sur quelques jours, a donné les débits suivants (MERTENS, PRUDHON, 1976), en m³/jour :

	1975	1976
Gravelines : Aa	1.213.000	357.671 (5 au 8 octobre)
Dunkerque : avant-port est	215.000	300.647 (4 au 7 octobre)

Ces auteurs estiment qu'il faut considérer l'Aa en étiage en 1976 .

Dans le meilleur des cas, les eaux de l'Aa ne parviennent au niveau des stations de prélèvement que 50 heures après leur arrivée dans le milieu marin ; elles sont alors très diluées (P.A.D.) .

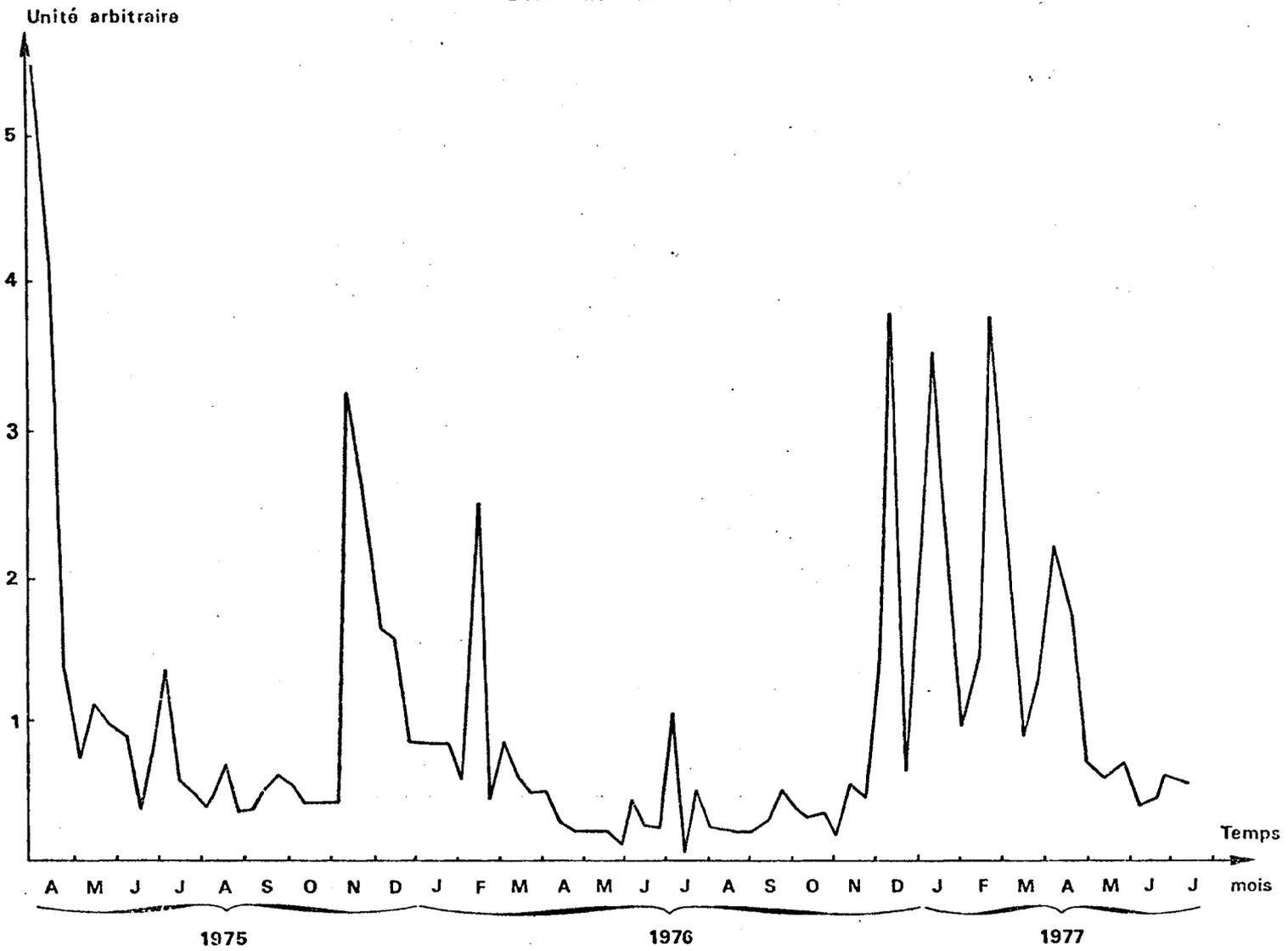
Nous avons reproduit fig.4, les rejets de l'Aa estimés par l'I.S.T.P.M. d'après le cahier de charge d'ouverture des vannes, ainsi que les sorties d'eau par le canal exutoire pendant le jour précédent les prélèvements (courbe 1 de l'annexe n°1 du P.A.D.) . Les variations des arrivées d'eau aux deux émissaires sont à peu près semblables : les rejets sont plus importants en hiver, période de plus forte pluviosité . Les faibles débits de l'été 1976 correspondent à la sécheresse des mois de juin-juillet-août .

Certaines périodes de pluviosité abondante ne sont pas ressenties au niveau des arrivées d'eau douce en mer : avril-mai 1976 et surtout septembre 1976 (*) . Il doit y avoir reconstitution des réserves en eau du sol après les faibles pluies de l'hiver 1975-1976 et la sécheresse de l'été 1976 .

(*) - (il est tombé pendant ce dernier mois 1884 mm d'eau) .

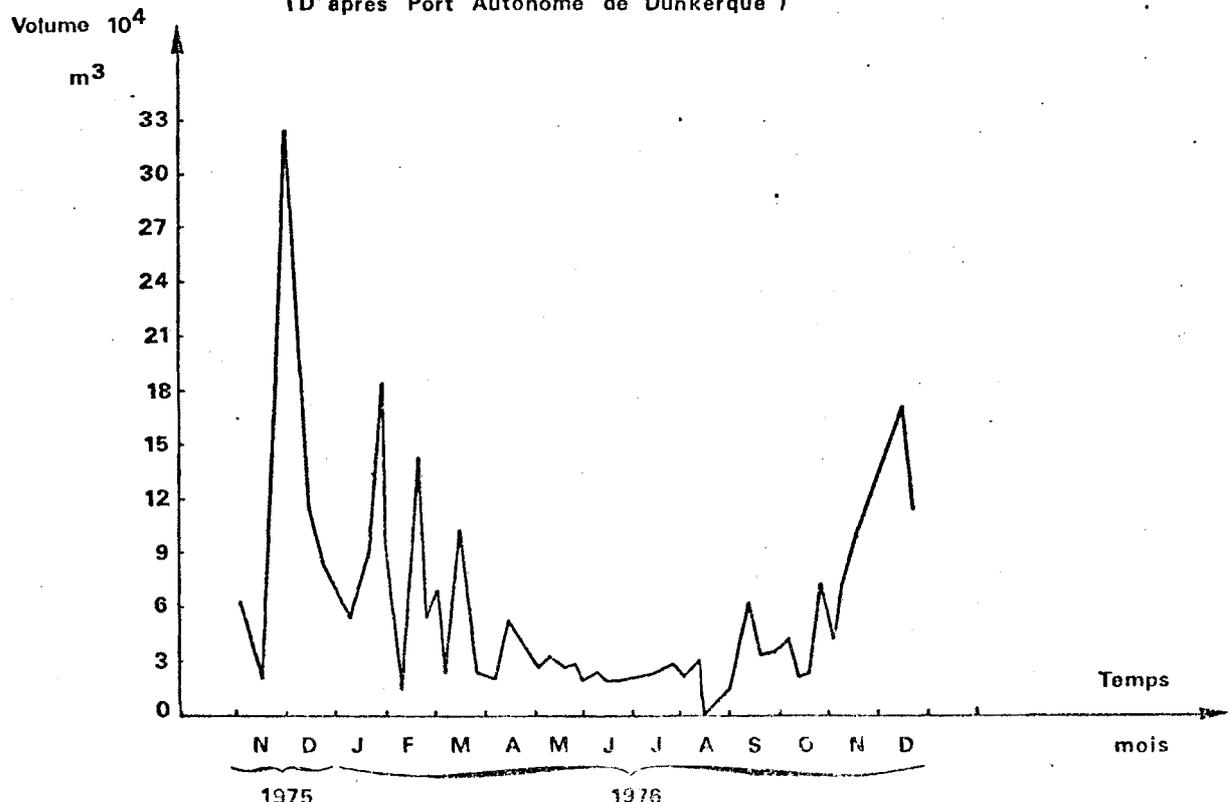
Fig. 4 : REJETS ESTIMES DE L'AA
(D'après le cahier de charges d'ouverture des vannes)

Document I.S.T.P.M.



SORTIE D'EAU AU NIVEAU DU CANAL EXUTOIRE

(D'après Port Autonome de Dunkerque)



II - PARAMETRES PHYSIQUES

1 - Température .

Les courbes de variation de la température de l'eau (fig.5 et 6) aux différents points de mesure présentent la même allure que celle de la température de l'air (fig.2) : courbe sinusoïdale avec un écart thermique moins prononcé la seconde année . On retrouve au niveau de la température de l'eau les mêmes variations que celles de la température de l'air, mais moins accentuées . Ceci résulte de l'inertie thermique de la masse d'eau, qui s'accroît au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la côte (la quantité d'eau qui entre en jeu est beaucoup plus importante au large) .

La température de l'eau, plus basse pendant l'hiver 1975-1976, est plus élevée durant l'été 1976 . Les températures extrêmes pour les deux années sont les suivantes :

	Point 1 T° extr.	ΔT	Point 4 T° extr.	ΔT
année 1976	3,0 - 20,1	17,1	4,7 - 19,5	14,8
année 1977	5,0 - 17,7	12,7	6,1 - 17,4	11,3

Le ΔT (T°max.-T°min.) est nettement inférieur en 1977. Il est beaucoup plus marqué au voisinage de la côte (point 1), qu'au large (point 4) .

D'après ces données, nous pouvons placer la zone côtière de Dunkerque dans la catégorie des mers tempérées froides, définie par PERES (1961) .

Les deux années présentent la même particularité : une période de refroidissement au début du printemps (début mars 1976, fin mars-début avril 1977), puis un palier au cours du réchauffement de l'eau, plus tardif en 1977 .

Les différences de température entre les deux niveaux échantillonnés d'une même station sont faibles : en moyenne $0,08^{\circ}\text{C} \pm 0,11^{\circ}\text{C}$ pour la station 1 et $0,11^{\circ}\text{C} \pm 0,12^{\circ}\text{C}$ pour la station 4 . Ceci traduit la grande homogénéité verticale de la masse d'eau, résultat de son mélange continu du à l'action des courants et des vents ainsi qu'à la faible hauteur d'eau . Des différences de $0,5$ ou $0,6^{\circ}\text{C}$ ont été enregistrées à la station 1 les 23 février, 21 juin et 5 juillet 1976 . La première s'explique aisément par l'arrivée en surface d'une eau légèrement dessalée, plus chaude à cette époque de l'année que l'eau sous-jacente . Le 21 juin 1976, les salinités sont très voisines aux deux niveaux des stations 1,2 et 3 ; pourtant, on y remarque des différences de température de $0,5$, $0,3$ et $0,4^{\circ}\text{C}$ entre la surface et le fond, l'eau plus chaude se situant en surface . La température de l'air marque à cette période un net réchauffement . De plus, les prélèvements ont été réalisés par temps calme et faible coefficient

Fig. 5 : VARIATIONS DE LA TEMPERATURE

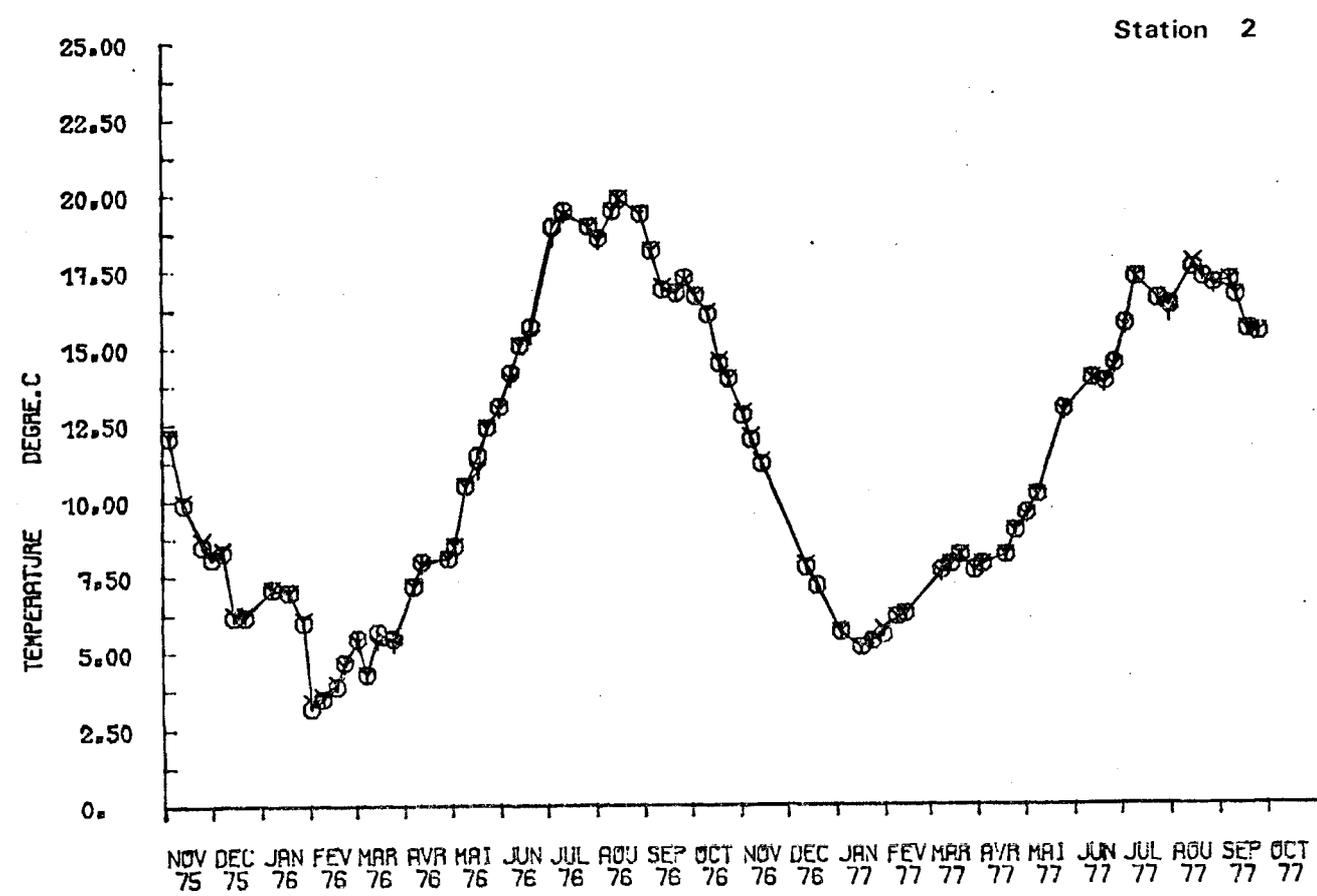
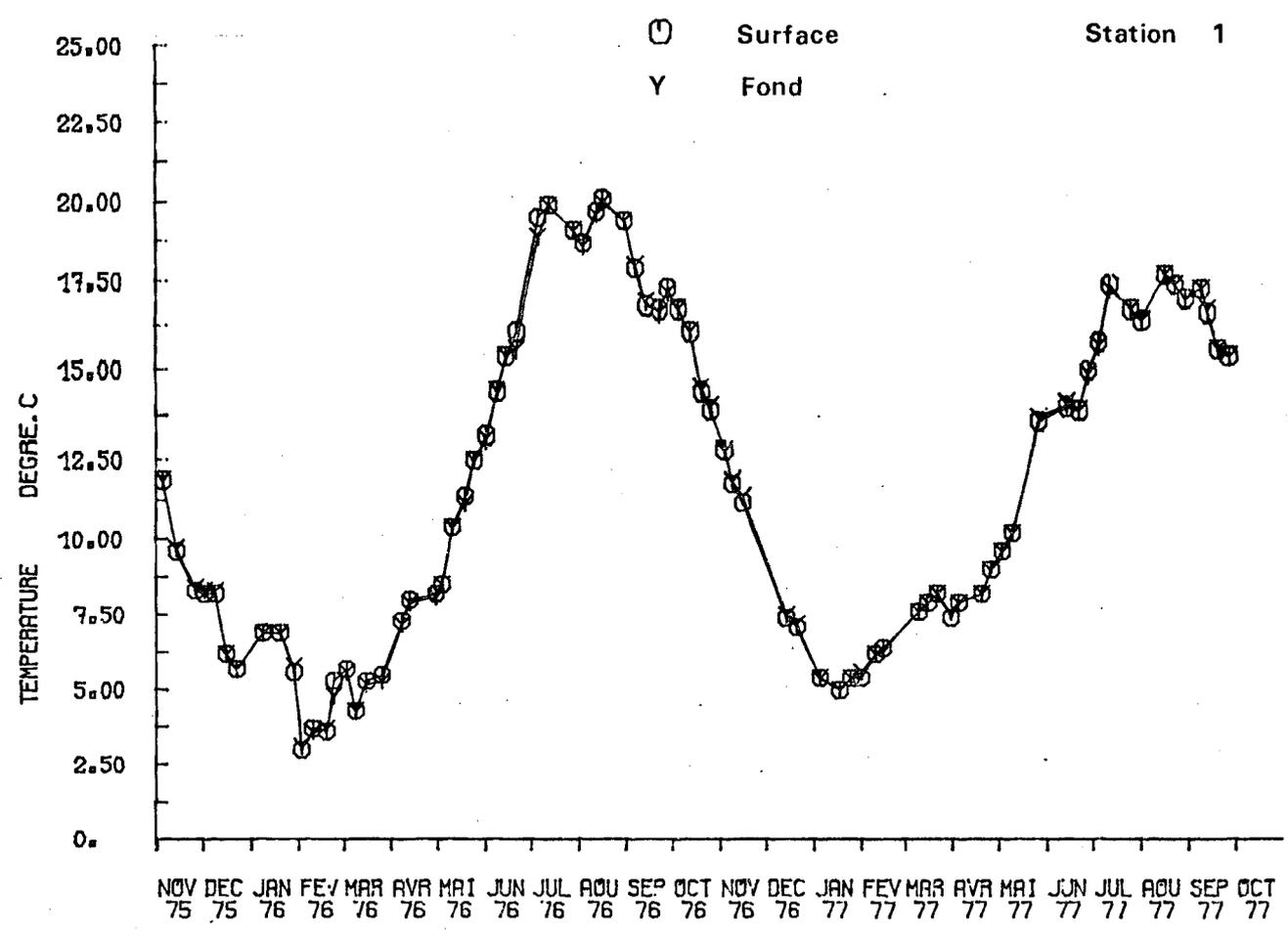
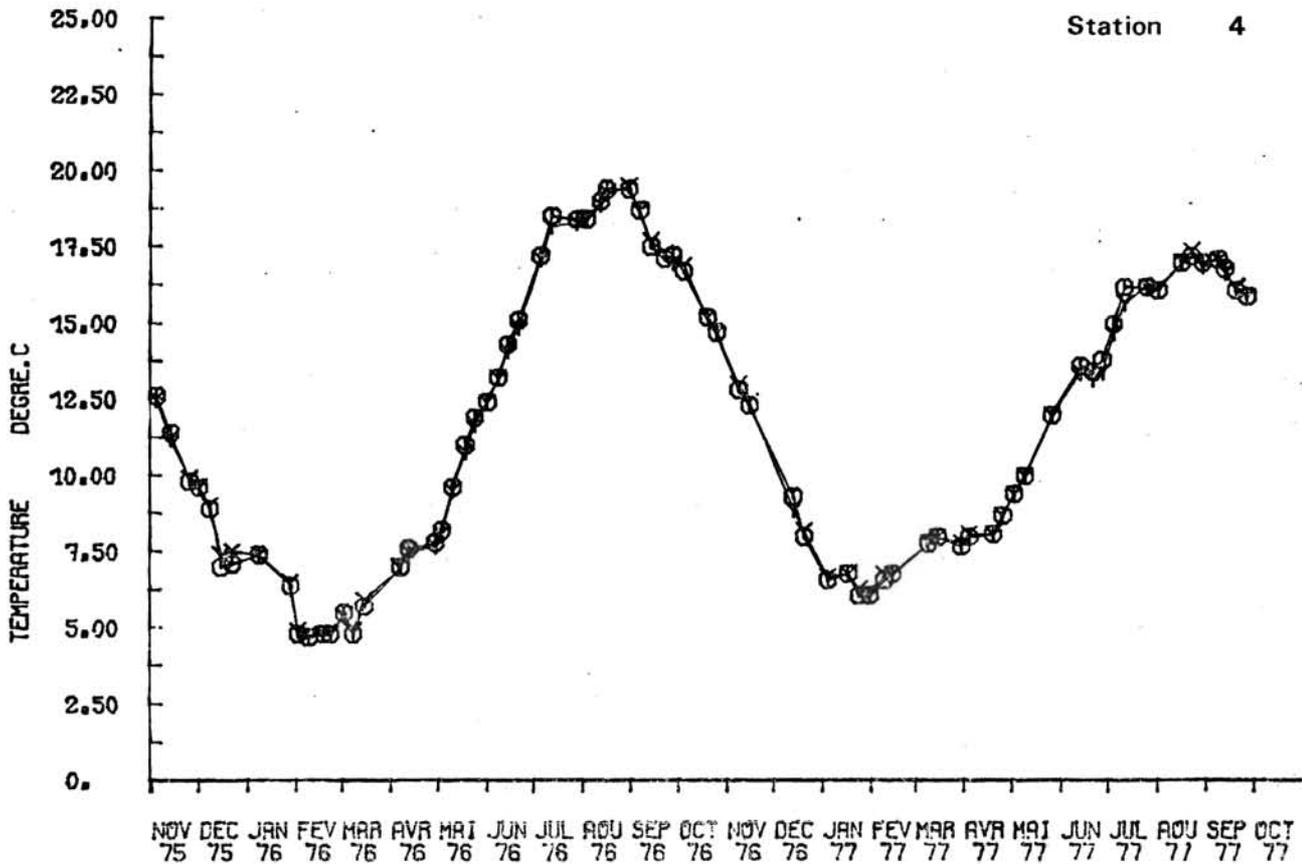
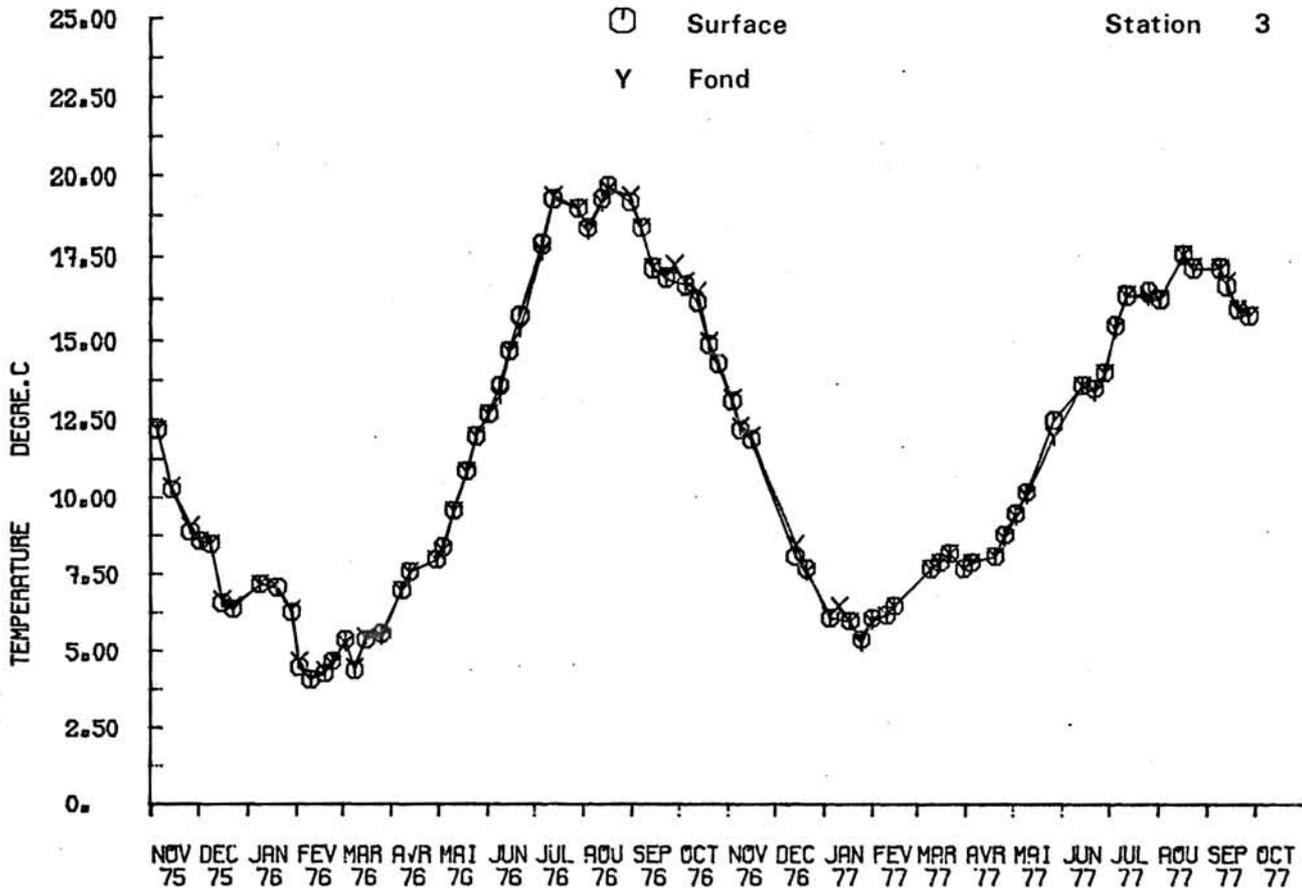


Fig. 6 : VARIATIONS DE LA TEMPERATURE



de marée (coeff.45), d'où une mer peu agitée . Ces deux actions conjuguées sont à l'origine de ce gradient thermique vertical plus accusé que d'ordinaire . En outre, une eau plus chaude tend naturellement à rester à la surface .

Le sens de ce faible gradient thermique vertical varie selon la saison . Les échanges d'énergie thermique entre l'air et l'eau se font à l'interface eau-atmosphère ; les variations sont ensuite transmises à la colonne d'eau . D'où des changements de température légèrement plus importants à la partie supérieure de la colonne d'eau qu'au fond . La température est donc généralement plus élevée en surface quand l'air est plus chaud que l'eau, c'est-à-dire au printemps et en été . La situation s'inverse en automne et en hiver (fig.7) .

Comme nous l'avons entrevu précédemment, à ce gradient thermique vertical s'ajoute un gradient thermique horizontal, beaucoup plus net . La zone marine côtière subit l'influence des masses d'air continental . L'épaisseur de la couche d'eau limitant les échanges thermiques, cette influence diminue quand on s'éloigne vers le large . L'arrivée d'eaux continentales plus chaudes au printemps et en été, plus froides en automne et en hiver, accentue ce phénomène au voisinage de la côte, par suite de leur dilution progressive dans l'eau de mer . Ceci est très net au voisinage du débouché de l'Aa (fig.8) . L'eau est donc plus froide à la côte qu'au large en hiver, et inversement en été (fig.7) .

Les variations de la température de l'eau sont les mêmes à Dunkerque et à Gravelines . La comparaison entre les deux sites est rendue difficile par la périodicité réduite des prélèvements à Gravelines (1 sortie par mois, alors qu'à Dunkerque il y en a environ 4 par mois) . De plus, l'étude de Gravelines ne porte, pour la période commune aux deux sites, que sur une année (août 1976 à juillet 1977) et une campagne en décembre 1975 .

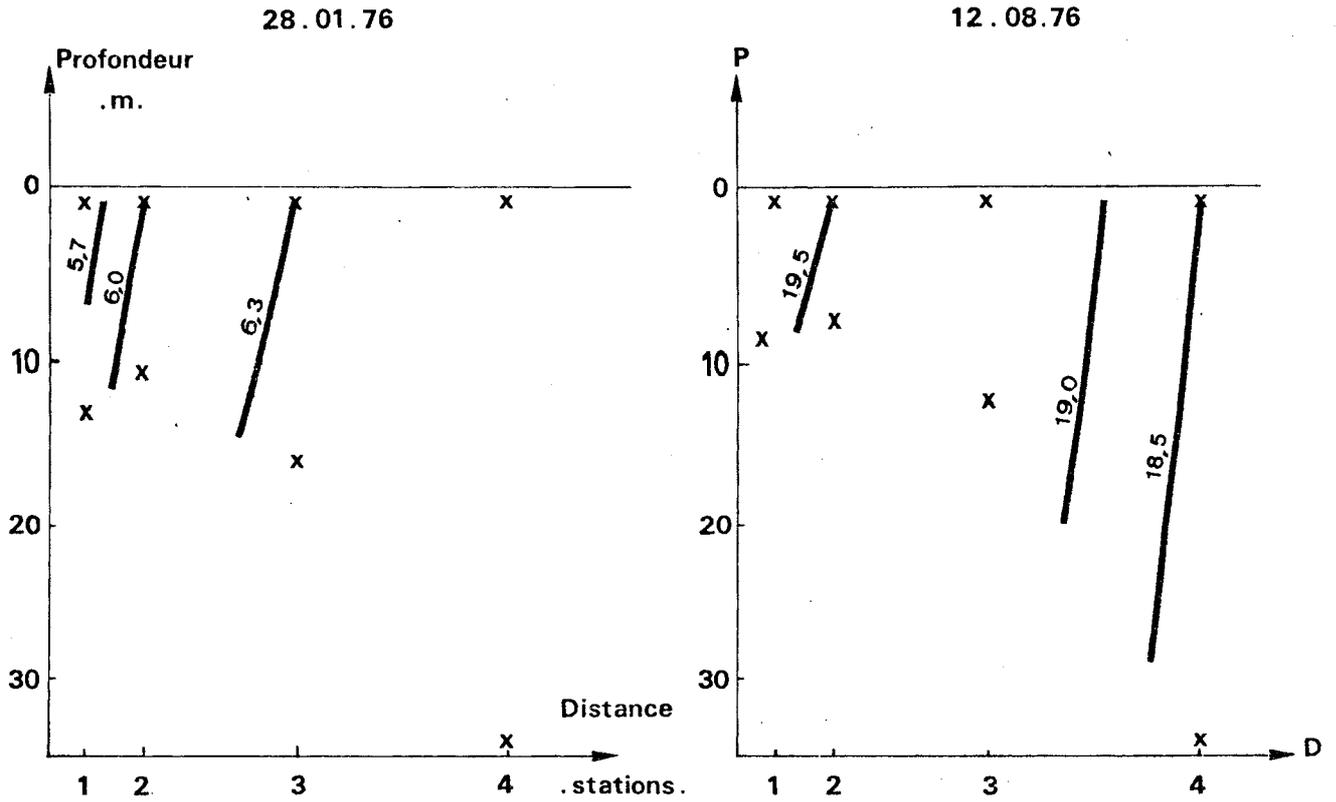
Les températures moyennes relevées lors de sorties effectuées le même jour, sur les deux sites, sont les suivantes (nous n'avons pris à Dunkerque que les points 1,2 et 3; le point 4 situé plus au large que le point L de Gravelines, aurait légèrement faussé la comparaison) :

	Dunkerque (pts 1,2,3)	Gravelines (pts M,L,C)
15.12.1975	6,37	6,60
17.01.1977	5,40	5,14
4.07.1977	15,65	15,77

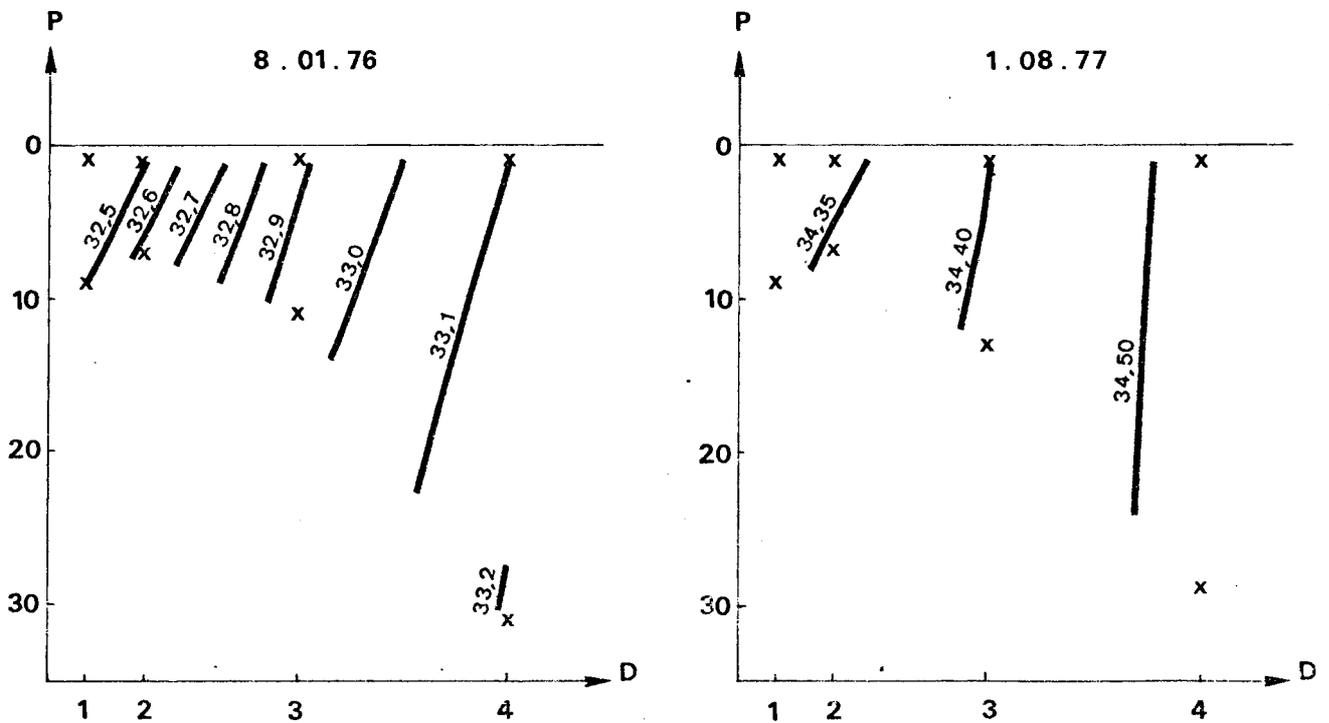
Il semble donc que les températures sont pratiquement les mêmes à Dunkerque et à Gravelines .

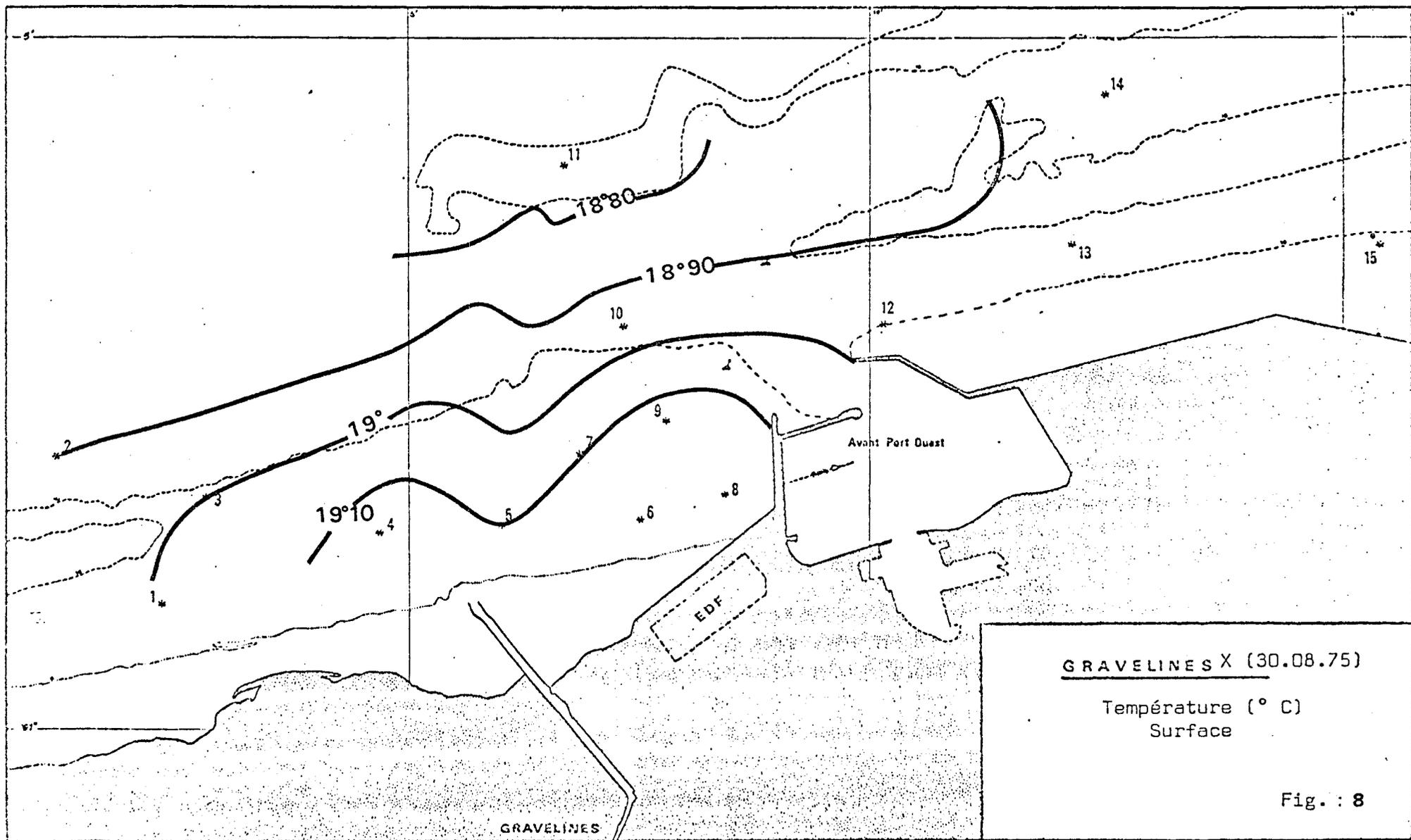
Fig. 7. GRADIENTS DE TEMPERATURE ET SALINITE

TEMPERATURE



SALINITE





GRAVELINES X (30.08.75)

Température (° C)
Surface

Fig. : 8

2 - Salinité .

Les fluctuations de la salinité dépendent essentiellement de l'importance de l'évaporation (accrue par temps chaud ou en cas de tempête) et des apports d'eau douce (précipitations, apports fluviaux,...), ces deux causes ayant des effets inverses .

Les précipitations assez abondantes du mois de novembre 1975 (fig.2), ont entraîné un débit accru du canal exutoire et de l'Aa (fig.4), d'où la dessalure enregistrée sur toute la zone au tout début de l'étude (fig.9 et 10) . En janvier et février 1976, la salinité n'atteint pas 34‰ ; elle suit les variations des sorties d'eau du canal exutoire, souvent abondantes à cette période . Toutefois, les chutes de salinité enregistrées le 15 décembre 1975 (flèche 1, fig.9 et 10) aux quatre stations du réseau, sont cependant trop accentuées pour pouvoir être expliquées par les apports d'eau (document P.A.D), compte tenu du gradient de dilution côte-large qui peut être estimé, par exemple, par les diminutions des taux de sels nutritifs (cf.fig.51)

Une tentative d'interprétation consiste à rechercher l'influence d'un courant de dérive due au vent . On sait en effet (Services hydrographiques de la Marine 1968), que les vents peuvent influencer la distribution de la salinité en modifiant les courants . Le courant de dérive sur les côtes de Flandres et du Pas-de-Calais, porte généralement dans la direction du vent, du moins en surface . Les hydrographes estiment que la vitesse de ce courant induit par le vent peut atteindre 5% de celle du vent, par petits fonds . Des résultats identiques ont été obtenus par les océanographes belges qui indiquent des valeurs allant de 0,8 à 2,4% de la vitesse du vent . Si toute la masse d'eau se déplace dans la direction du vent dans les eaux peu profondes, la déflexion résultant de la force de Coriolis (EAKMAN, 1906), est de l'ordre de 20° dans la Mer du Nord .

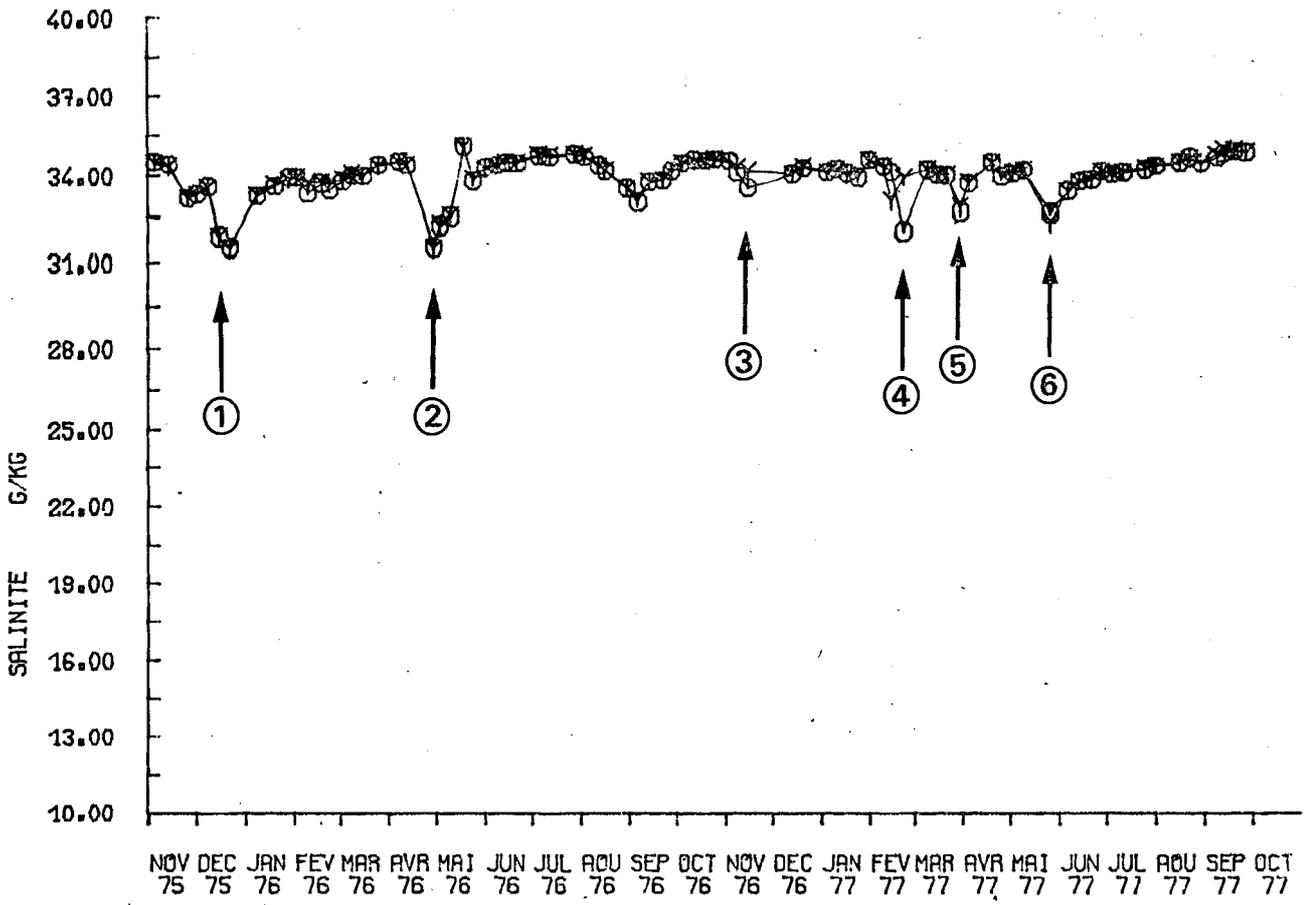
En analysant (tableau I A) les données (*) pour la période précédant cette journée, on constate que la dérive induite par le vent dans les 48 heures précédant l'analyse est considérable . On peut l'estimer entre 110km et 45km selon l'estimation retenue . Cette dérive dirigée dans le lit du vent irait à l'encontre du courant résiduel d'ailleurs faible en cette période de morte-eau ($4 \times 0,92$ km) . Elle amènerait donc des eaux à faible salinité situées à 40 ou 105 km à l'E.N.E. de la zone. Or, on sait (fig.11 d'après NIHOUL et RONDAY, 1976), que les eaux de l'Escaut sont entraînées vers le sud le long des côtes belges jusqu'au large d'Ostende où elles sont reprises dans le courant général résiduel de N.E .

(*) - Données reprises dans les bulletins météorologiques élaborés chaque jour par la station de Boulogne-sur-Mer, à partir des observations du bateau-feu Sandettie .

Fig. 9: VARIATIONS DE LA SALINITE

○ Surface
 Y Fond

Station 1



Station 2

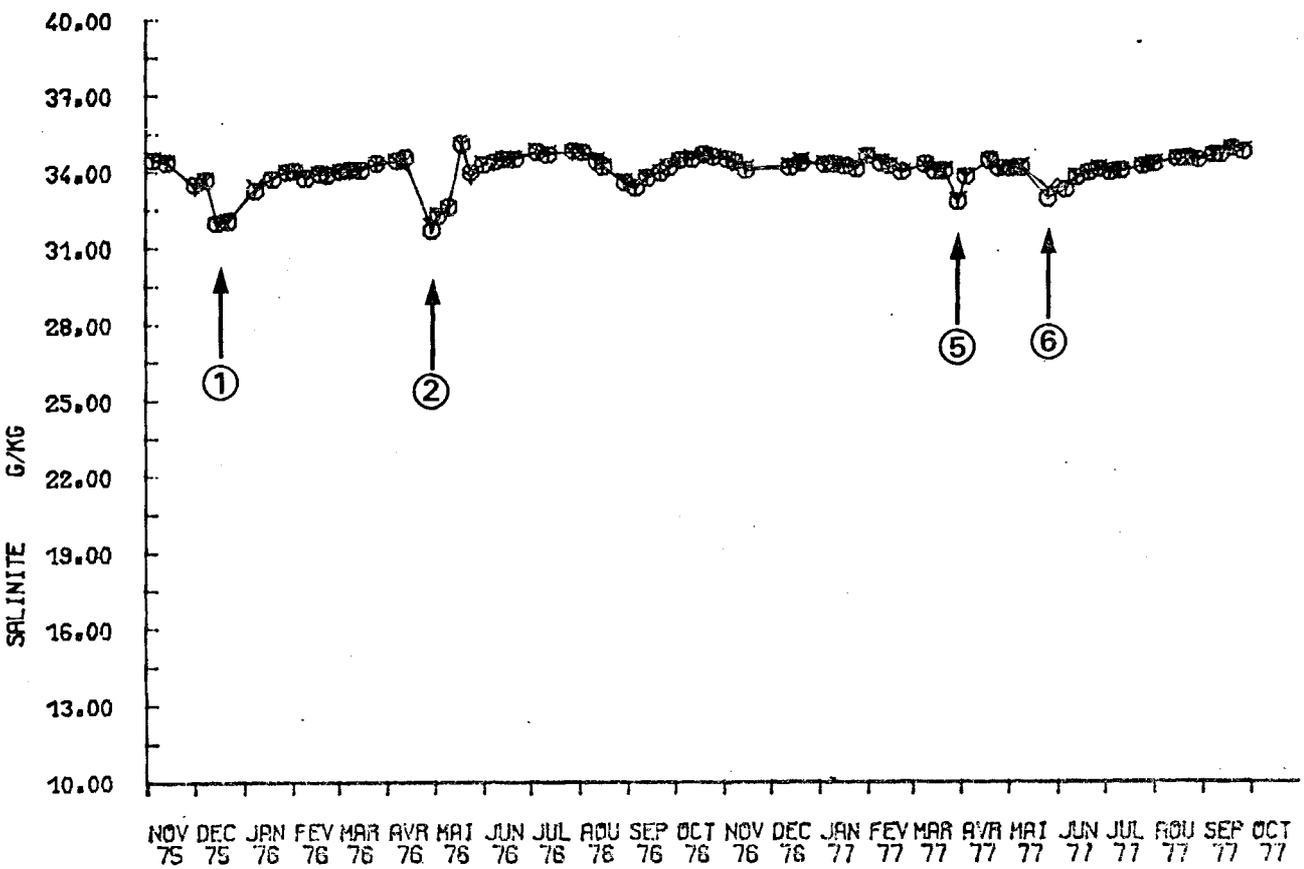


Fig. 10 : VARIATIONS DE LA SALINITE

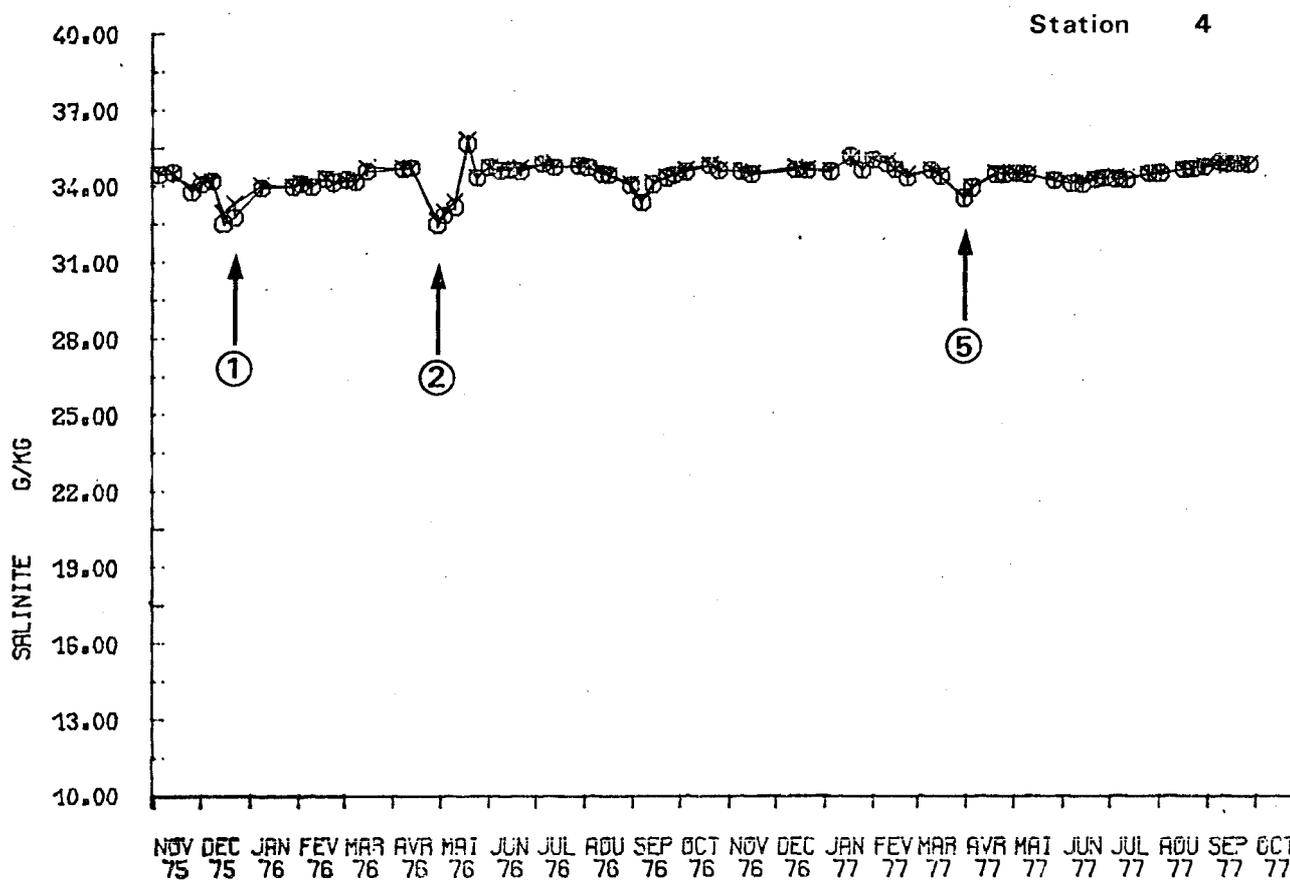
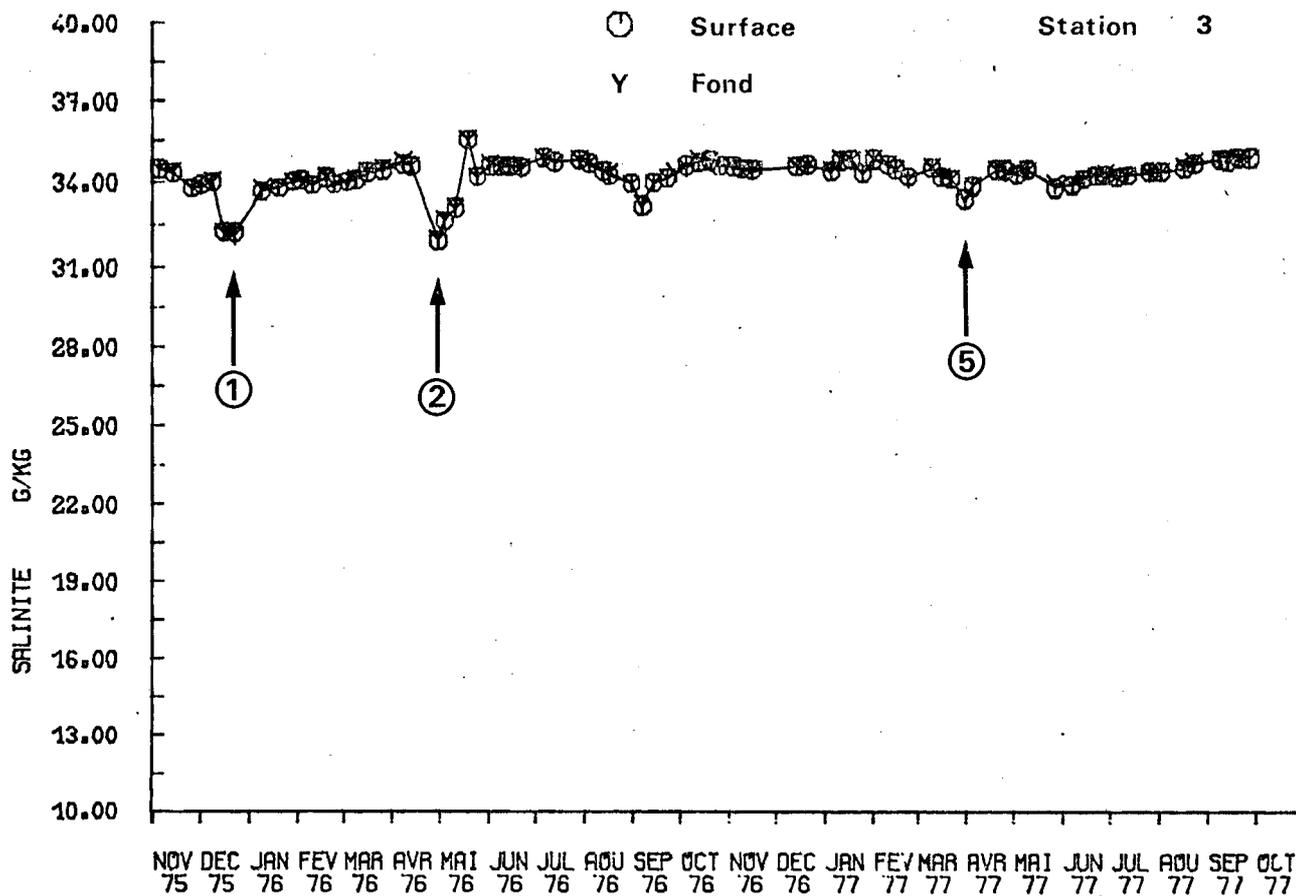


Tableau 1 - Estimation des courants de dérives induits par le vent

(Les estimations de la distance de dérive d'une particule sont calculées en km/jour, sur la base des 5% et 2% de la vitesse du vent : vitesses du vent relevées au bateau feu Sandetti, supposées constantes pendant 24 h.)

A) - Période du 12 au 15 décembre 1975 .

Dates	Direction du vent	Vitesse du vent (noeuds)	Calcul de la dérive (km/jour)		Coeff.de marée
			5%	2%	
12	-	calme			42
13	N	40	88,90	35,56	43
14	E.NE.	10	22,22	8,89	47
15	-	calme	-		55

B) - Période du 12 au 29 avril 1976 .

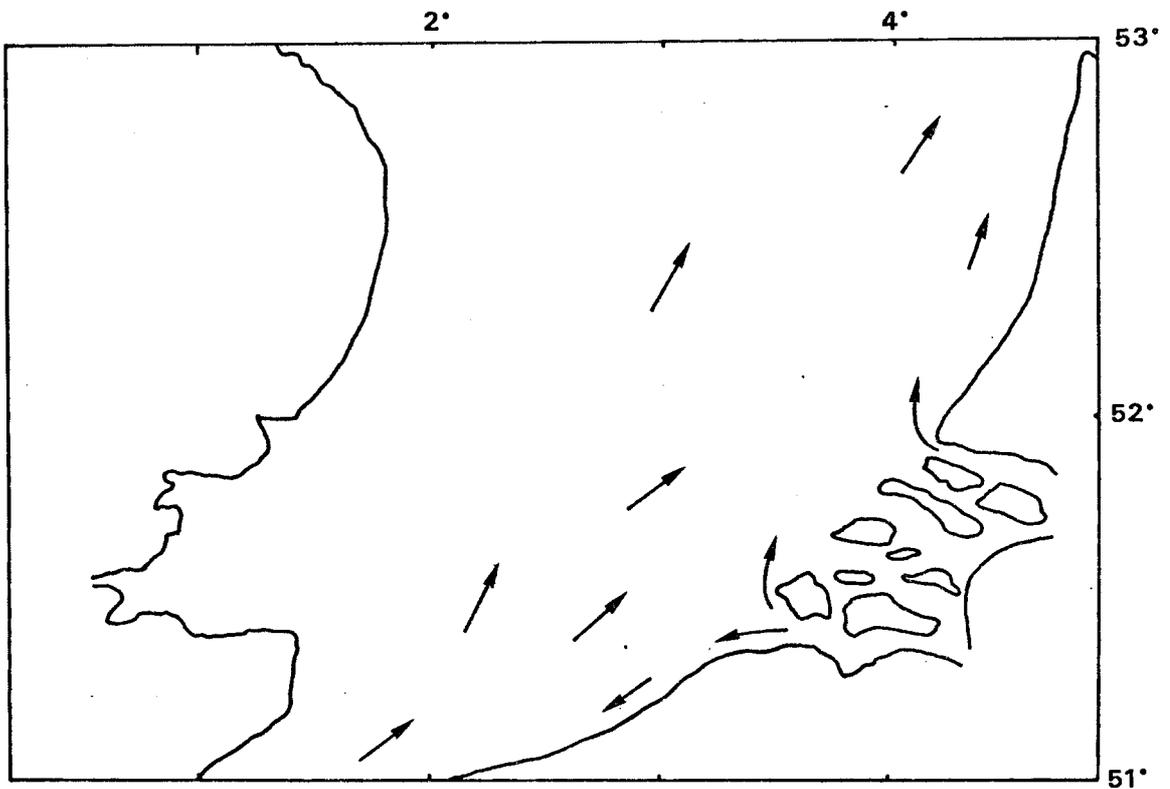
Dates	Direction du vent	Vitesse du vent (noeuds)	Calcul de la dérive (km/jour)		Coeff.de marée
			5%	2%	
12	N	11	24,45	9,78	80
13	N	10	22,22	8,89	96
14	NO	20	44,45	17,78	108
15	N.NE.	16	35,56	14,22	114
16	N	21	46,67	18,67	113
17	N.NE.	7	15,56	6,22	105
18		calme			92
19	E.NE.	15	33,34	13,33	76
20	E.NE.	16	35,56	14,22	60
21	NE	20	44,45	17,78	49
22	N.NE	16	35,56	14,22	43
23	NE	28	62,23	24,89	43
24	N.NE.	24	53,34	21,34	48
25	N.NE.	28	62,23	24,89	56
26	N.NE.	20	44,45	17,78	64
27	N.NE.	20	44,45	17,78	71
28	E.NE.	16	35,56	14,22	77
29	N.NE	10			81

Tableau 1 - (suite)

C) - Période du 14 au 26 mai 1977 .

Dates	Direction du vent	Vitesse du vent (noeuds)	Calcul de la dérive (km/jour)		Coeff. de marée
			5%	2%	
14	N.NE.	5	11,10	4,44	62
15	NE.	8	17,76	7,11	68
16	E.NE.	19	42,18	16,89	74
17	N.NE.	30	66,60	26,67	77
18	N.NE.	23	51,06	20,45	80
19	N.	18	39,96	16,00	80
20	NE.	20	44,40	17,78	78
21	NE.	28	62,16	24,89	74
22	NE.	16	35,52	14,22	69
23	NE.	18	39,96	16,00	63
24	E.	16	35,52	14,22	57
25	E.NE.	18	39,96	16,00	51
26	E.NE.	10			49

Fig. 11 : CIRCULATION GENERALE DANS LE SUD DE LA MER
DU NORD
(d'après NIHOUL et RONDAY 1976)



Ce gyre résiduel d'eaux à fortes turbidités et dessalées peut, pendant la période qui nous intéresse, avoir subi une dérive momentanée vers les côtes françaises, allant de 40 à 105 km selon les estimations retenues. On peut alors constater (fig.12), qu'une telle hypothèse rendrait plausible cette dessalure qui affecte l'ensemble de la masse d'eau (échantillons de surface et fond des stations du réseau), phénomène qui ne pourrait trouver justification dans les dilutions d'eaux côtières. Une telle présomption se doit, dans l'avenir, d'être confirmée par des mesures in situ (*). Un calcul du même ordre effectué d'après les relevés des vitesses du vent pendant la période du 12 au 29 avril 1976 permet d'aboutir à la même conclusion. Les fortes dessalures qui affectent toute la zone de Dunkerque (flèche 2, fig 9 et 10), peuvent être expliquées de cette manière. Ceci est particulièrement évident pour les stations du large 3 et 4 (fig.9), où la chute de salinité aussi importante, égale à celle de la côte (fig.9), allait à l'encontre du gradient de dilution côte-large.

Après cette baisse de salinité, on constate que les valeurs des taux de chlorures (fig.9 et 10) franchissent pendant l'été 1976 la barre des 34%. Le 15 novembre 1976, marqué par une dessalure en surface du point 1 (flèche 3, fig.9), marque le début des apports d'eaux fluviales dont l'abondance va caractériser l'hiver 76/77. Cependant, pendant cette période, la salinité ne baisse pas de manière notable, excepté à la date du 22.02.77 en surface du point 1 (flèche 4, fig.9). Les variations de concentration en chlorures pendant l'hiver 76/77 (fig.9 et 10) sont difficiles à expliquer dans la zone de Dunkerque. En effet, les informations concernant les apports du canal exutoire font alors défaut (cf.fig.4). On peut supposer que le 30 mars 77 (flèche 5, fig.9), les faibles salinités correspondent à un rejet du canal exutoire. La masse d'eau rejetée par l'Aa (fig.4) et probablement par le port de Calais, à cette date, peut d'ailleurs permettre de justifier la chute de salinité aux stations 3 et 4 (flèche 5, fig.10). En effet, le vent de S.E. (12 noeuds), devait entraîner au large des quantités d'eau fluviale, provenant de ces émissaires, selon la résultante du courant de marée résiduel dirigé vers le N.E. et ce courant résiduel de vent dirigé vers le N.W.

Pendant la période estivale sèche de 1977, la salinité augmente progressivement pour atteindre les plus fortes valeurs.

(*) - Nous souhaiterions pouvoir, avec l'aide du CNEXO, contrôler les paramètres physiques de la zone littorale de la Mer du Nord et en particulier pour la zone de Dunkerque, vérifier si, lors de périodes de morte-eau corrélées à une période de vent du N/N.E dominant, les images de télédétection et des radiales de vérité-mer, accréditent de telles présomptions.

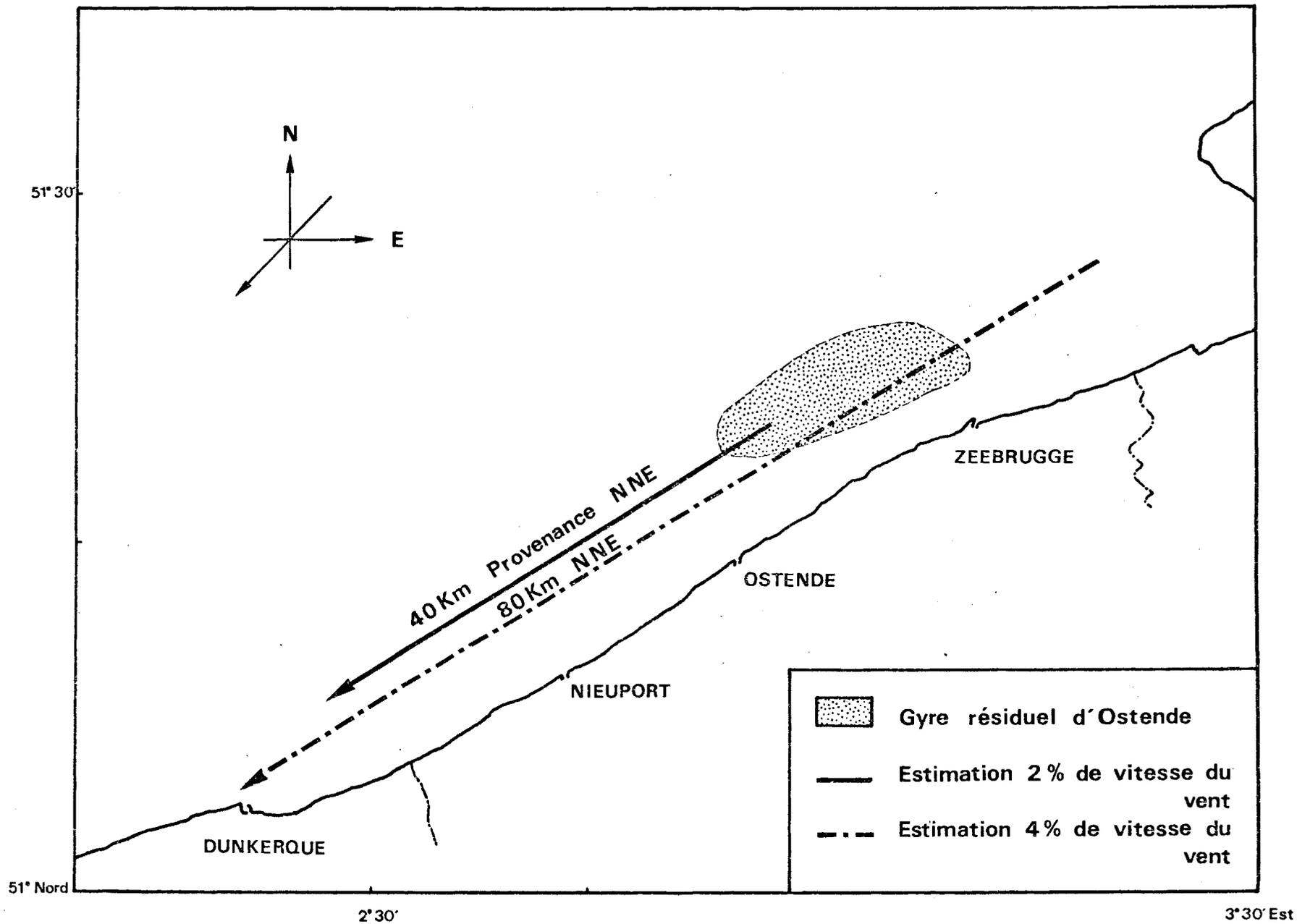


Fig. 12 : Courant de dérive du au vent - Hypothèse du 15.12.1975

Une dernière tentative d'interprétation concerne la chute de salinité observée le 26 mai 1977 (flèche 6, fig.9) aux stations 1 et 2. Les vents sont assez faibles mais constamment de N/N.E. ou E.N.E. pendant la période du 14 au 26 mai 1977 qui a précédé la sortie à la mer (tableau 1.C.). Les courants de marée résiduels, de faible valeur en cette période de morte-eau, ne peuvent contrecarrer les apports induits par le vent du nord en eaux dessalées. En outre, le vent d'est du 24 mai a pu amener devant Dunkerque les eaux littorales, drossées ensuite les 25 et 26 mai, vers le rivage (stations 1 et 2). La figuration d'une telle hypothèse est matérialisée fig.13 par des trajets théoriques de particules d'eau entièrement soumises (*) à des dérives journalières dont les vecteurs, reprenant les deux hypothèses (5% et 2% de la vitesse du vent), sont disposés dans le lit du vent journalier indiqué par le bateau-feu Sandetti.

L'analyse des variations de salinité a pris, à priori, les valeurs annoncées comme exactes. Il n'est pas exclu que les variations inexplicables soient en réalité la conséquence d'erreurs d'opérateurs. On peut également, en comparant des valeurs moyennes de salinités relevées à Gravelines et à Dunkerque, le même jour, noter des variations importantes pour deux sites aussi voisins.

	Dunkerque (pts. 1, 2, 3)	Gravelines (st. M, L, C)
15.12.1975	31,28	32,96 (* *)
17.01.1977	34,37	33,95
4.07.1977	34,10	34,11

Nous avons remarqué à l'occasion de prélèvements hebdomadaires réalisés à la digue de l'avant-port ouest de Dunkerque que la salinité peut varier très rapidement dans le temps. Sa valeur peut être modifiée de 0,5% ou plus, en huit jours (fig.14). Il en est donc probablement de même à Dunkerque. Il convient donc de considérer ces interprétations avec de grandes réserves, tout en déplorant que la facade maritime Nord de la France ne s'appuie que sur une seule radiale de mesures, ce qui rendra toujours hasardeux l'extrapolation de résultats.

(*) - Suivant l'hypothèse 5% ou 2% de la vitesse du vent, sur des calculs portant sur les cinq jours, ou respectivement les 9 jours, précédant la sortie, le fait de négliger le courant résiduel de marée conduit à une erreur de 10% et 25% respectivement (calculs effectués à partir d'une extrapolation de la dérive à Dunkerque).

(* *) - On doit noter qu'à cette date du 15.XII.75, la salinité est également faible à Gravelines.

Fig. 13 : Courant de derive du au vent - Hypothèse du 26.05.1977

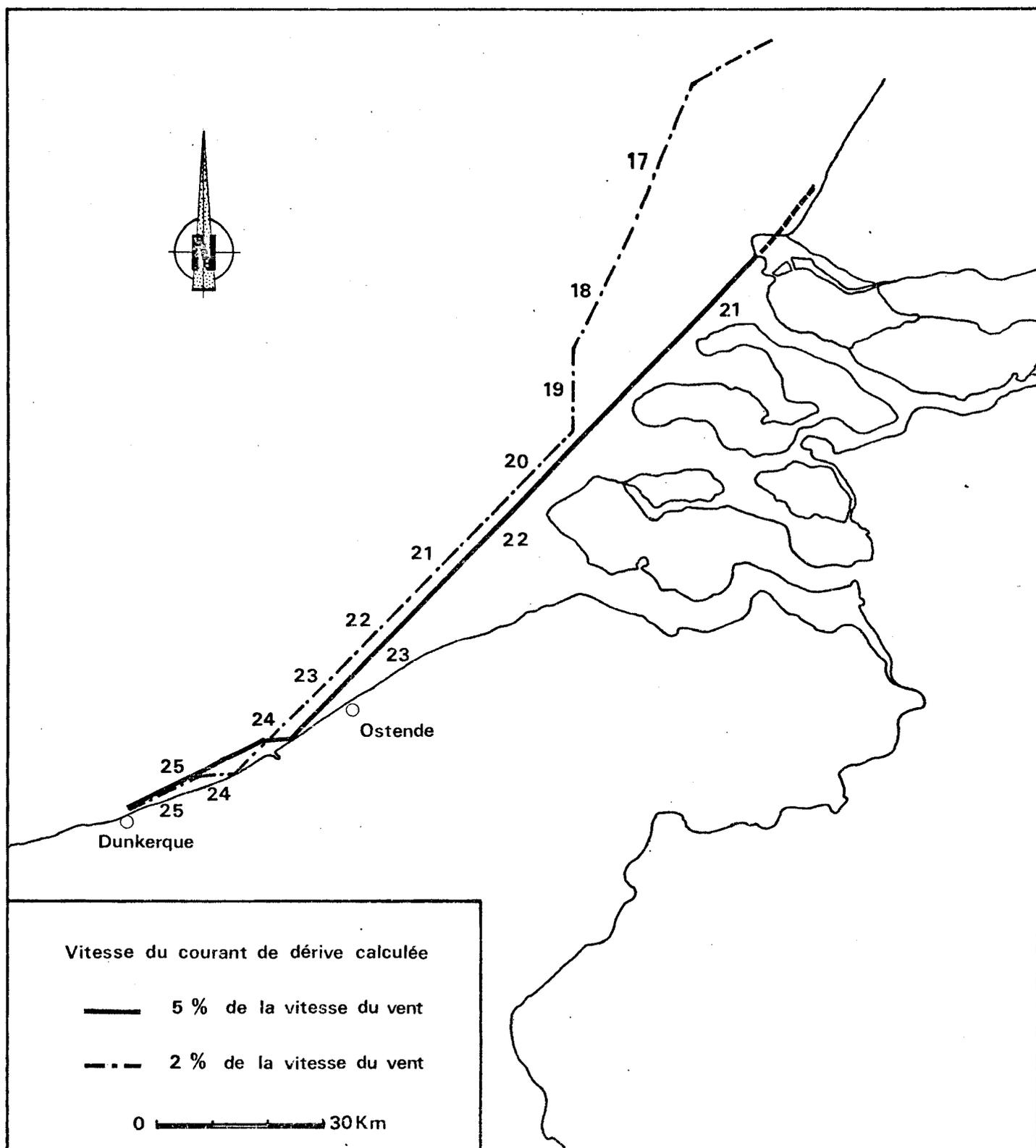
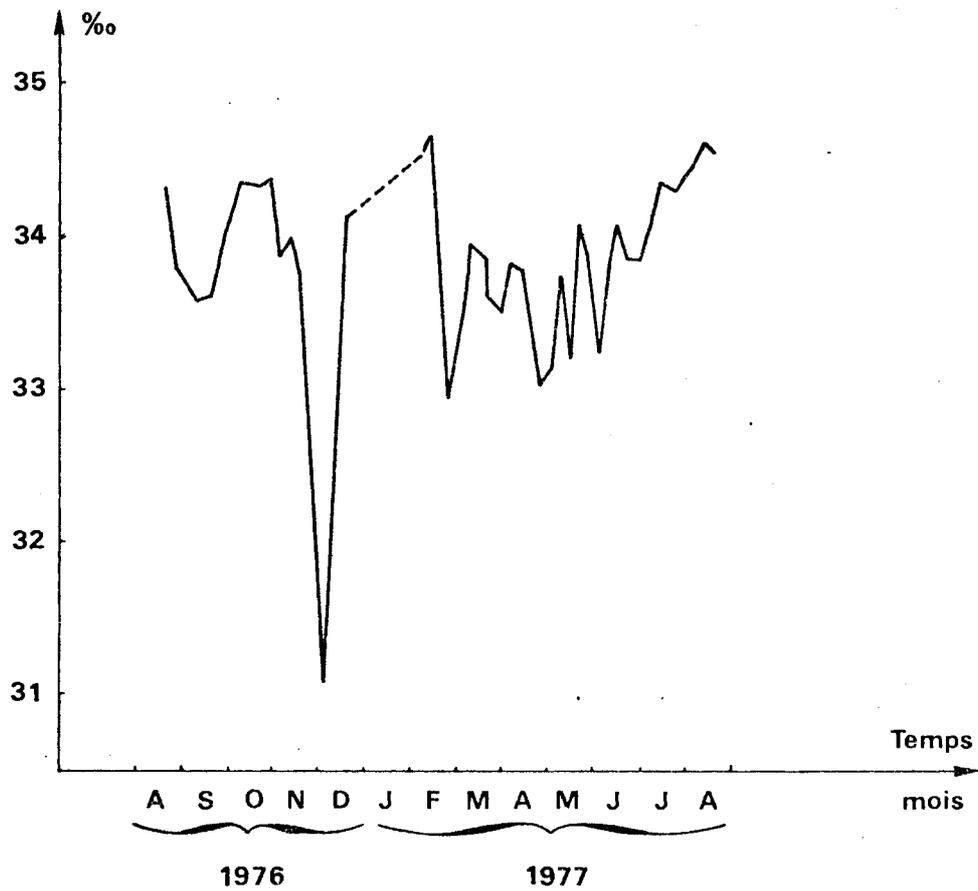


Fig. 14 : VARIATIONS DE LA SALINITE A LA STATION DIGUE
(Gravelines 1976-1977)



La salinité moyenne, calculée sur toute la durée de l'étude, a une valeur de 34,1‰ ($\pm 0,75\%$), la même que celle de Gravelines pendant la période août 1976-juillet 1977. Elle est légèrement supérieure à celle que donne JO PODAMO (1973), pour la moitié sud de la partie côtière de la Mer du Nord : 33,9‰. Les valeurs maximales enregistrées sont presque toujours inférieures à 35,1‰, salinité moyenne de la partie océanique de la Mer du Nord (JO PODAMO, 1973), ce qui traduit l'influence des arrivées d'eau douce sur ces sites côtiers du sud de la Mer du Nord.

Comme nous l'avons observé au sujet de la température, et pour les mêmes raisons, il y a généralement peu de différence de salinité entre les deux niveaux d'une même station. La moyenne des différences est la suivante : $0,09 \pm 0,24\%$ à la station 1, $0,06 \pm 0,08\%$ à la station 4. L'écart est légèrement plus important à la station 1 où l'influence des apports côtiers se fait sentir plus directement. Il existe un gradient côte-large résultant de la dilution des eaux douces en mer. Celui-ci (fig.7), est plus net que ne l'était celui de la température. Il influe selon l'importance de la pluviosité (hiver ou été).

3 - Diagramme Température-Salinité .

A partir des données de température et de salinité, nous avons tracé les diagrammes T.S. à chaque station, pour chaque année d'étude (fig.15 et 16). On y retrouve les caractéristiques exposées précédemment. Les tracés des diagrammes ont une forme étendue de plus en plus réduite au fur et à mesure que l'on passe de la station côtière (st.1), à celle du large (st.4) ; ceci traduit la plus faible amplitude des variations quand on s'éloigne du rivage, pour les deux paramètres. La première année est caractérisée par une salinité plus faible et plus irrégulière que la deuxième année, ainsi que par une gamme de température plus vaste.

Ces diagrammes, comparés à ceux de BARY (1963), confirment les caractéristiques côtières de la zone étudiée. Cet auteur place la limite entre les eaux côtières et océaniques au niveau de la salinité 35‰. Celle-ci n'atteint cette limite, à la station 4, qu'en janvier et février 1977. Elle en est proche, à l'ensemble des stations, à la fin de l'été 1977.

Si l'on compare les diagrammes établis pour la période commune des travaux sur Dunkerque et Gravelines (fig. 17), on s'aperçoit qu'ils n'ont pas tout-à-fait la même allure. Les variations de la température sont à peu près semblables, mais celles de la salinité sont beaucoup plus importantes à Dunkerque. On remarque trois périodes de dessalure que nous n'avions pas relevées à Gravelines. On peut supposer que, la salinité étant par ailleurs voisine sur les deux sites, ces dessalures se sont effectivement produites à Gravelines(*). La périodicité mensuelle des prélèvements sur Gravelines laisse sans doute échapper des fluctuations hebdomadaires rapides.

⊗ 4.11.75 au 25.10.76 ⊗

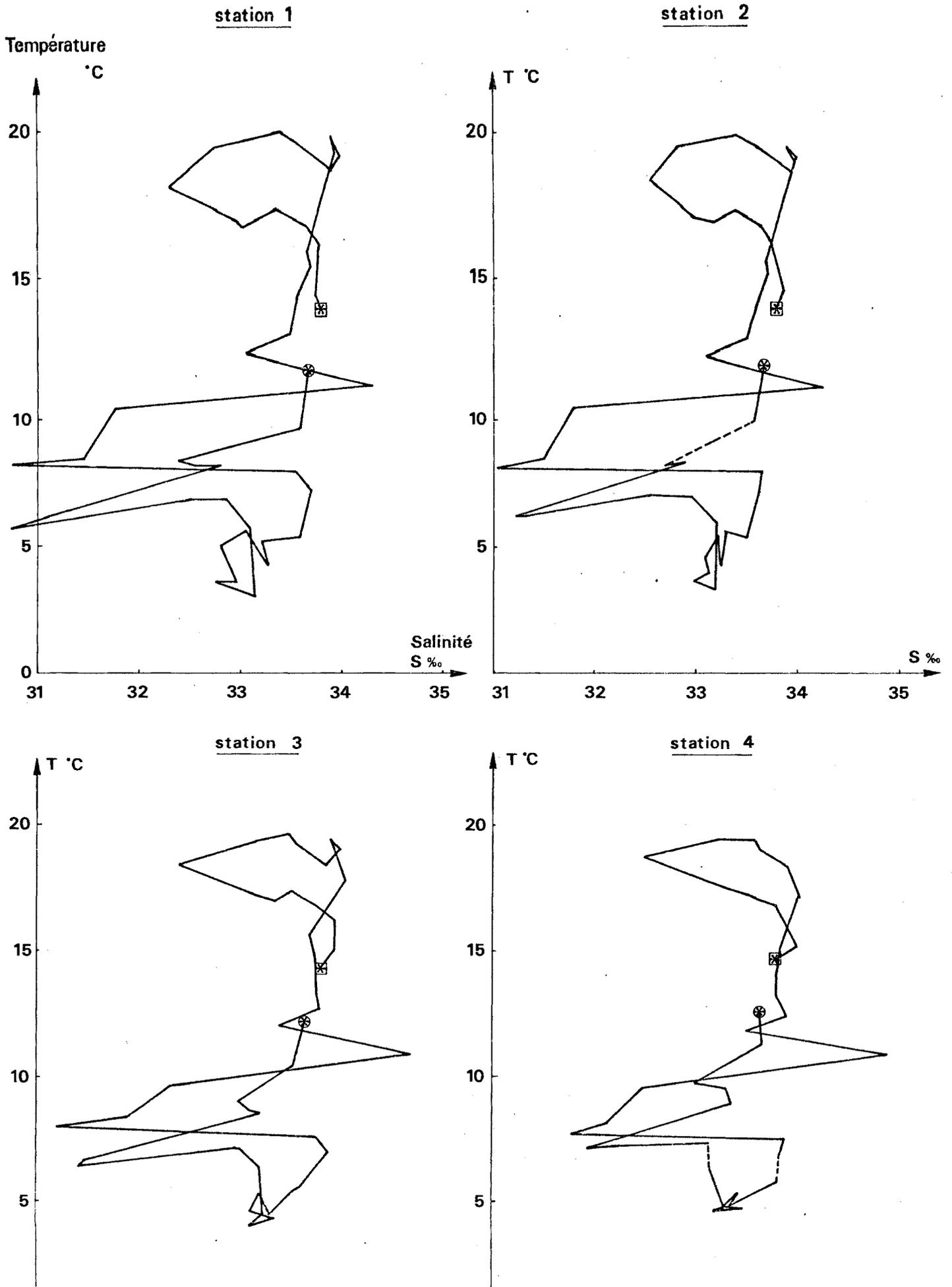
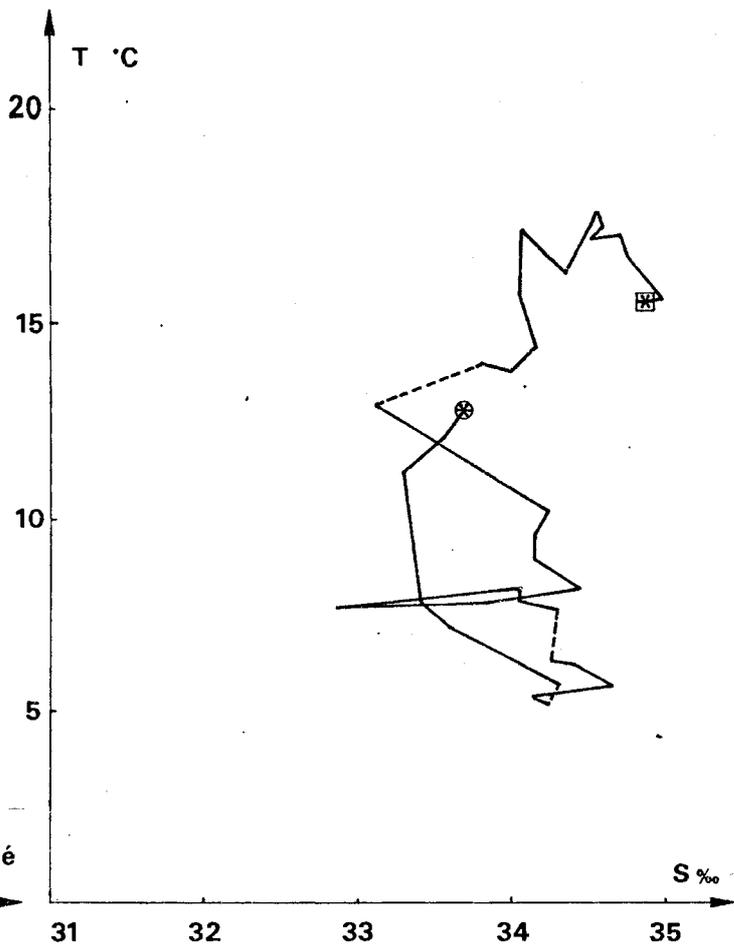
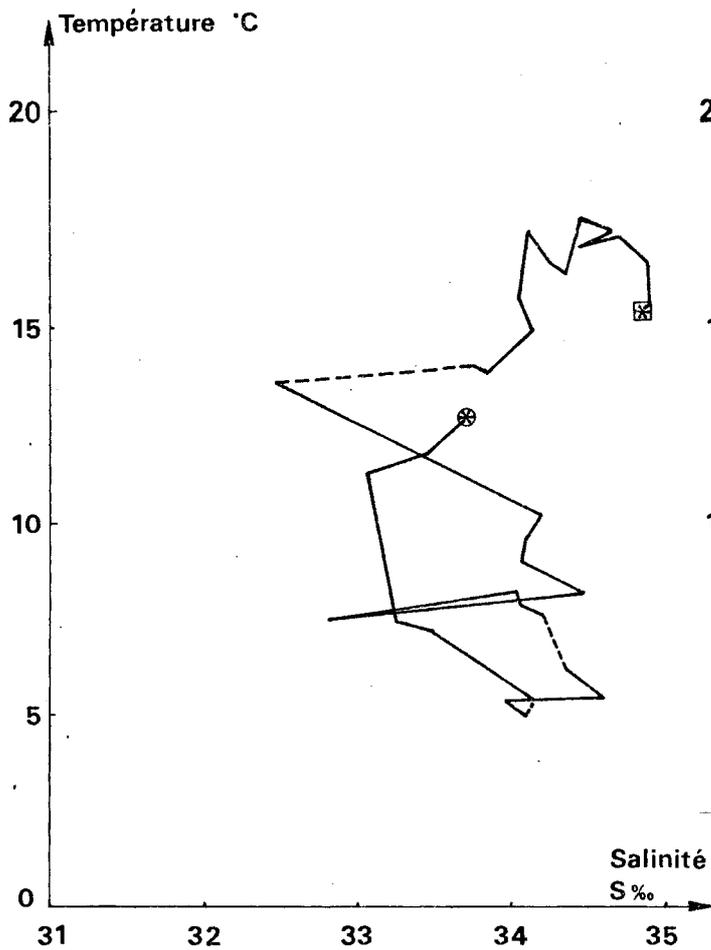


Fig. 16 · DIAGRAMMES TEMPERATURE - SALINITE

⊗ 3.11.76 au 26.9.77 ⊗

station 1

station 2



station 3

station 4

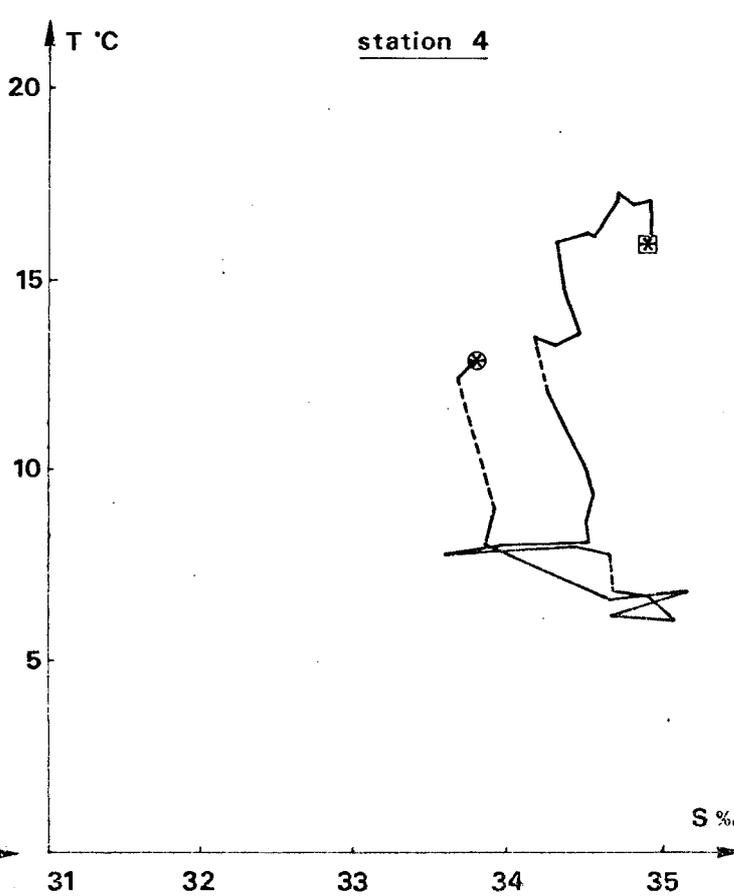
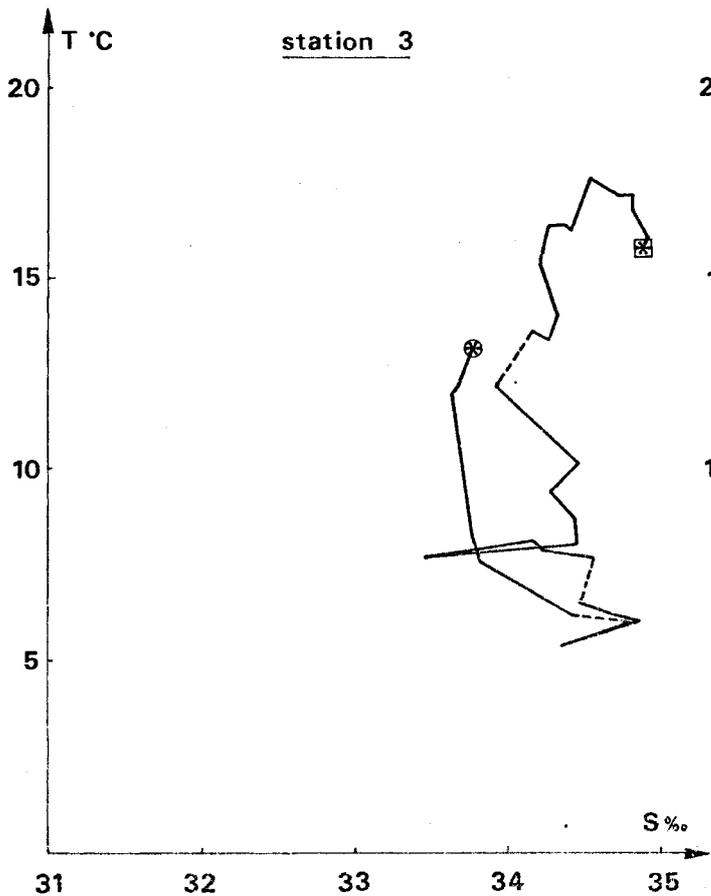


Fig. 17 : DIAGRAMME TEMPERATURE - SALINITE

- Gravelines Moyenne par campagne des points M, L et C
 (20.08.76 au 4.07.77)
 - - - Dunkerque 1, 2 et 3
 (16.08.76 au 4.07.77)
 ○ Prélèvements réalisés le même jour sur les deux sites

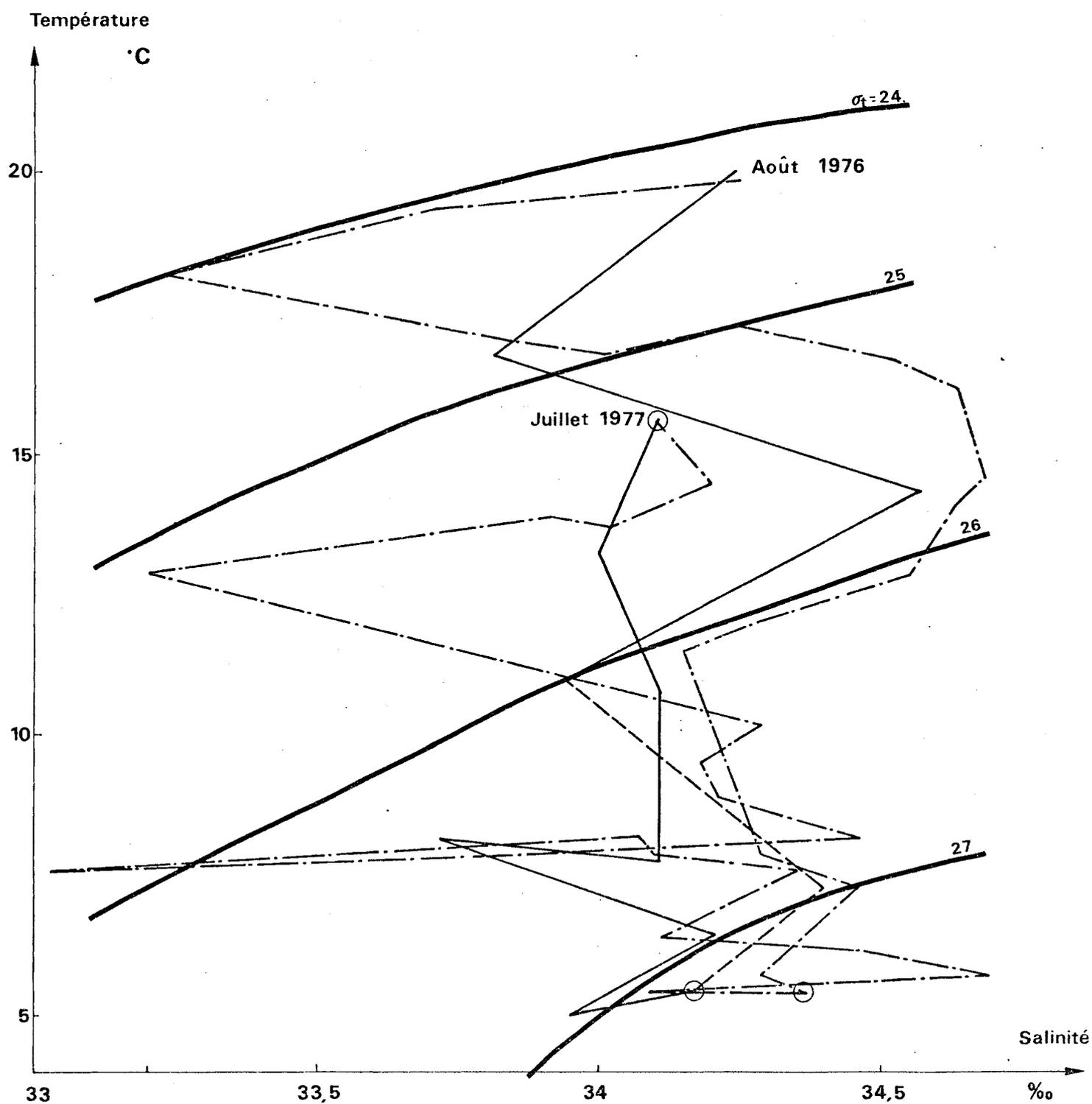


Fig. 18 : VARIATIONS DE LA DENSITE

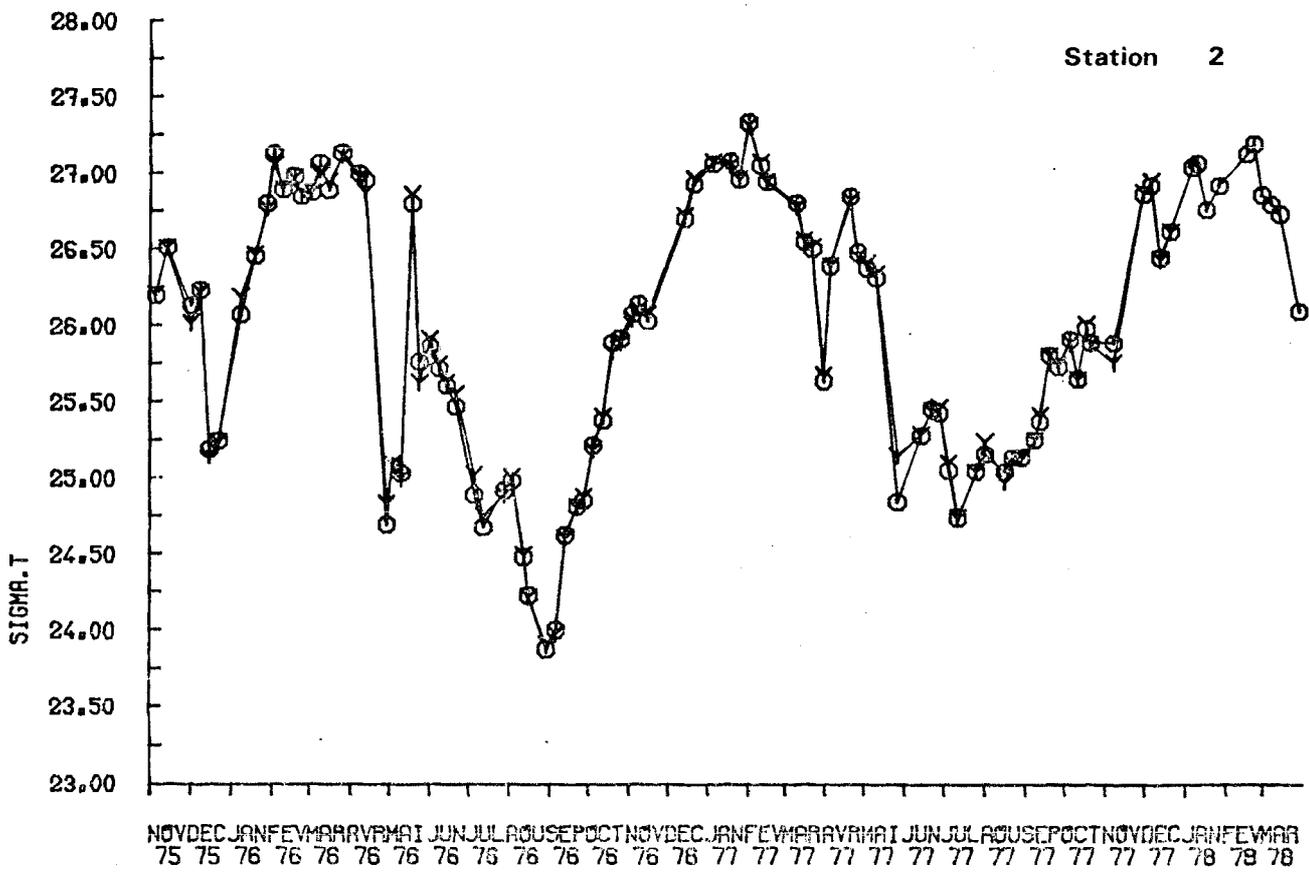
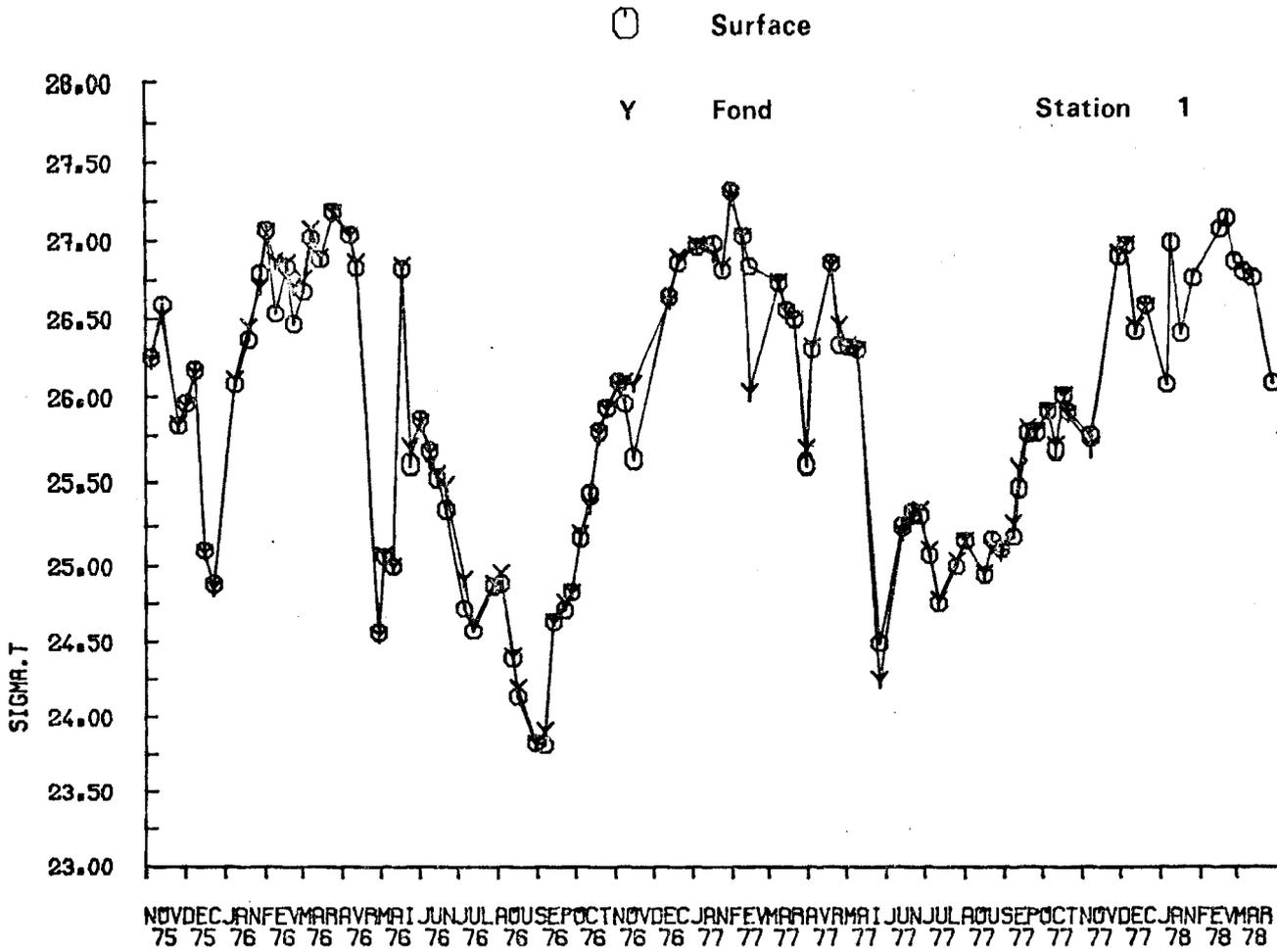
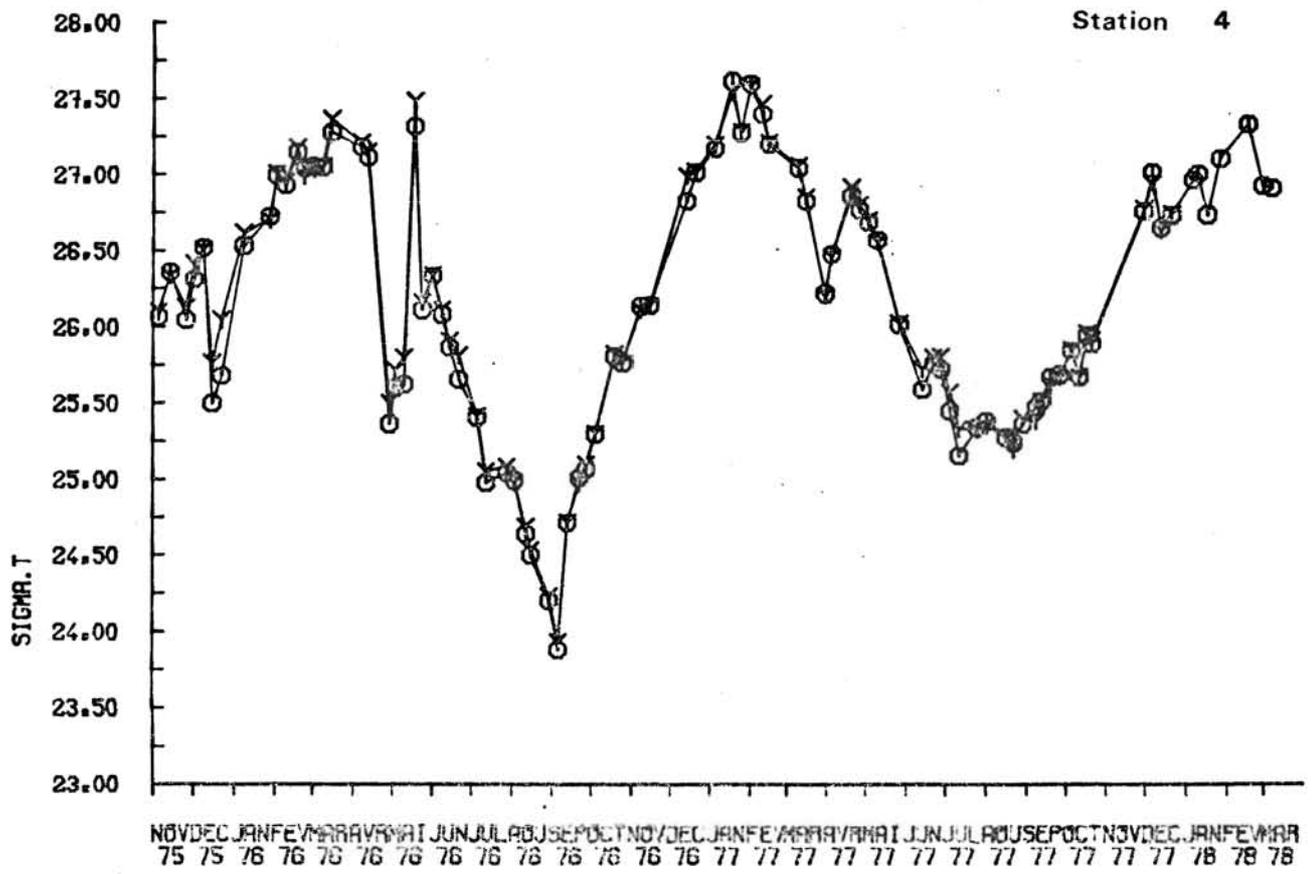
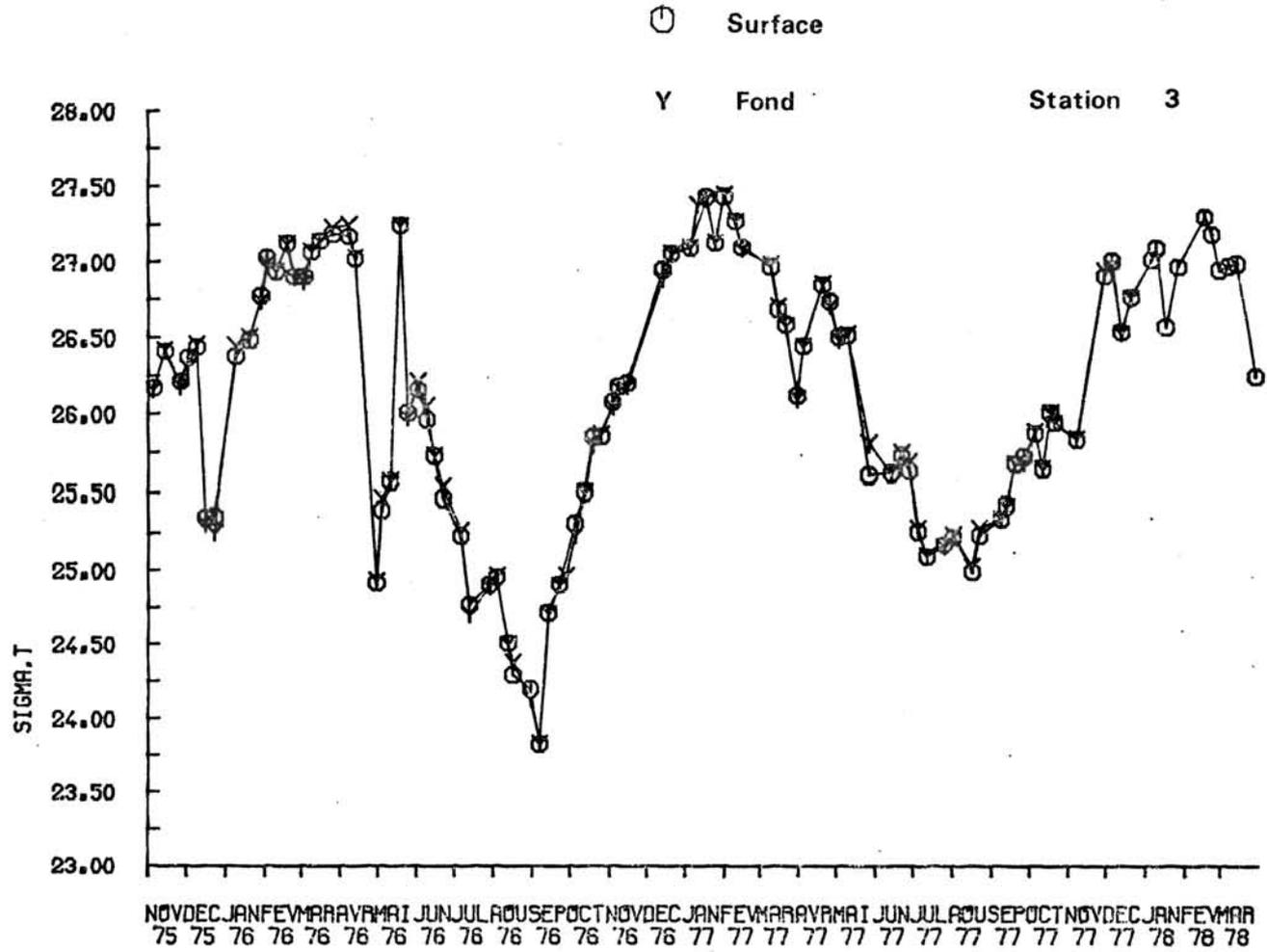


Fig. 19 : VARIATIONS DE LA DENSITE



4 - Densité .

La densité de l'eau est conditionnée par la température et la salinité (une augmentation de température ou une baisse de salinité entraînent une diminution de la densité) .

Au cours de l'année, densité et température varient de façon inverse : la densité est maximale en hiver (fig. 18 et 19) et minimale en été . Les fluctuations de la densité sont moins régulières que celles de la température : les baisses de salinité sont à l'origine d'une diminution de la densité, ce qui est bien visible en décembre 1975, avril-mai 1976 et mai 1977 . Conséquence du gradient de salinité vers le large, la densité augmente du point 1 au point 4 . Ceci est très net au printemps et en été quand l'eau est plus chaude à la côte . Par contre, en automne et en hiver, l'effet de l'élévation de salinité au large, qui tend à y accroître la densité, est contrebalancé par celui de la hausse de température (effet minorant) .

Suite à l'homogénéité verticale thermique et haline de la colonne d'eau, les différences de densité entre les deux niveaux d'une même station sont en général très faibles

Les limites de variation de la densité sont très voisines à Dunkerque et à Gravelines : 1,023 à 1,027 g/cm³ à Gravelines en 1974-1975, 1,024 à 1,027g/cm³ en 1976-1977 . A Dunkerque, elles se situent entre 1,024 et 1,028g/cm³ . La densité supérieure est un peu plus élevée qu'à Gravelines: le point 4 est situé, en fait, plus au large que le point L.

5 - Transparence de l'eau .

La mesure de la transparence de l'eau a été réalisée au moyen du disque de Secchi . Nous en avons représenté les variations à chaque station, de novembre 1975 à décembre 1976 (fig.20) . La profondeur moyenne de disparition du disque de Secchi augmente quand on s'éloigne de la côte, ce qui résulte de la diminution de la turbidité vers le large . La moyenne des mesures pour la période considérée est : 1,5m au point 1, 2,0m au point 2, 2,5m au point 3, 4,0m au point 4 . En effet, la quantité de matières en suspension plus importante près du rivage, limite la pénétration des rayons lumineux dans l'eau . Il en découle l'existence de variations inverses pour la transparence de l'eau (fig.20) et la turbidité (fig.21 et 22) sur les plans spatial et temporel . Aux faibles turbidités des mois d'avril et de l'été 1976, correspondent les profondeurs de disparition du disque de Secchi les plus élevées .

La transparence de l'eau est faible dans ce milieu côtier où l'eau est continuellement brassée: les valeurs maximales (et exceptionnelles) atteintes par la profondeur de disparition du disque de Secchi valent 8 mètres . A Gravelines, elle a atteint 7m aux stations 2 et 11 en 1974-1975, 3,5m à la station Hors-zone en 1976-1977 . Les moyennes

sur les deux sites sont les suivantes :

Dunkerque (pts.1,2,3)	1975-1976	: 2,0m
Gravelines	1974-1975	: 1,9m
Gravelines (st.M,L,C)	1976-1977	: 1,5m

Fig. 20: PROFONDEUR DE DISPARITION DU DISQUE DE SECCHI

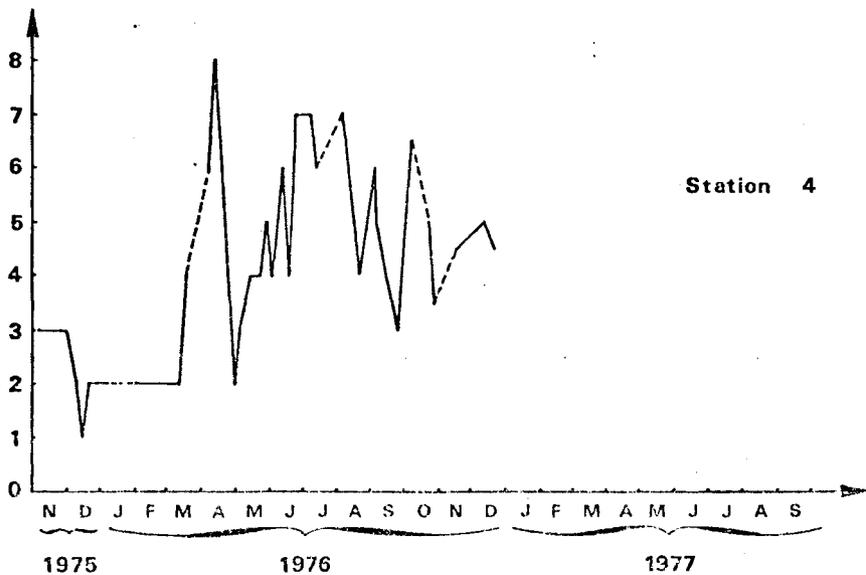
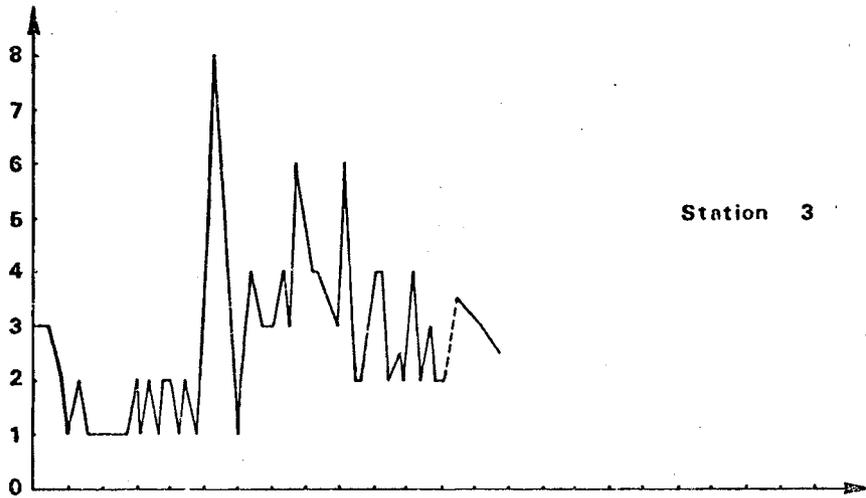
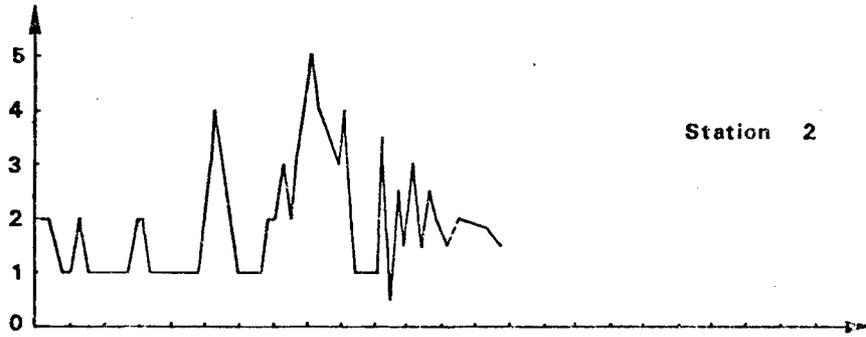
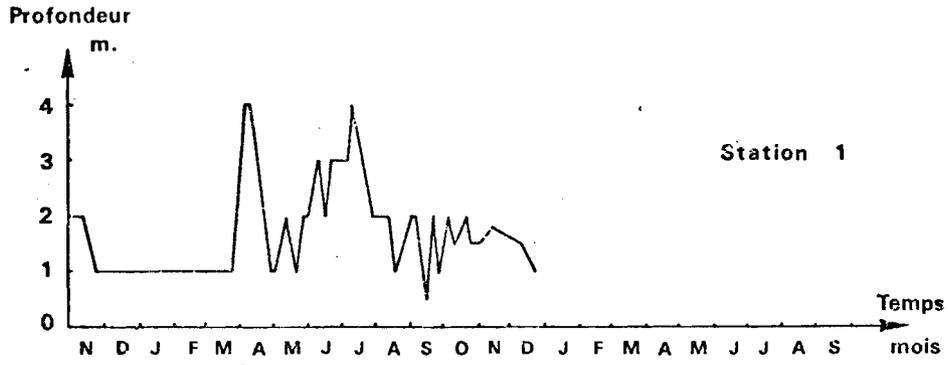


Fig. 21 : VARIATIONS DE LA TURBIDITE

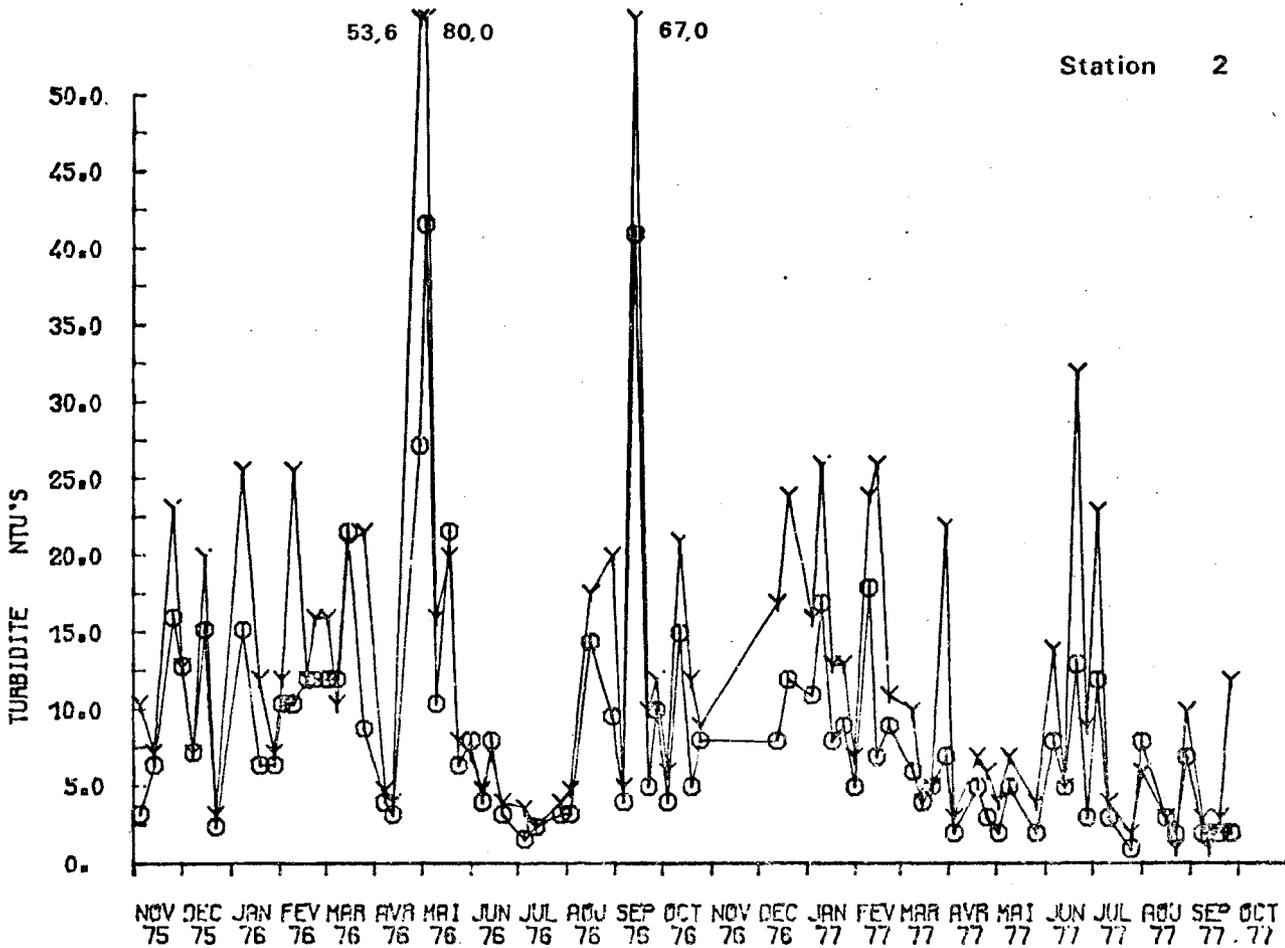
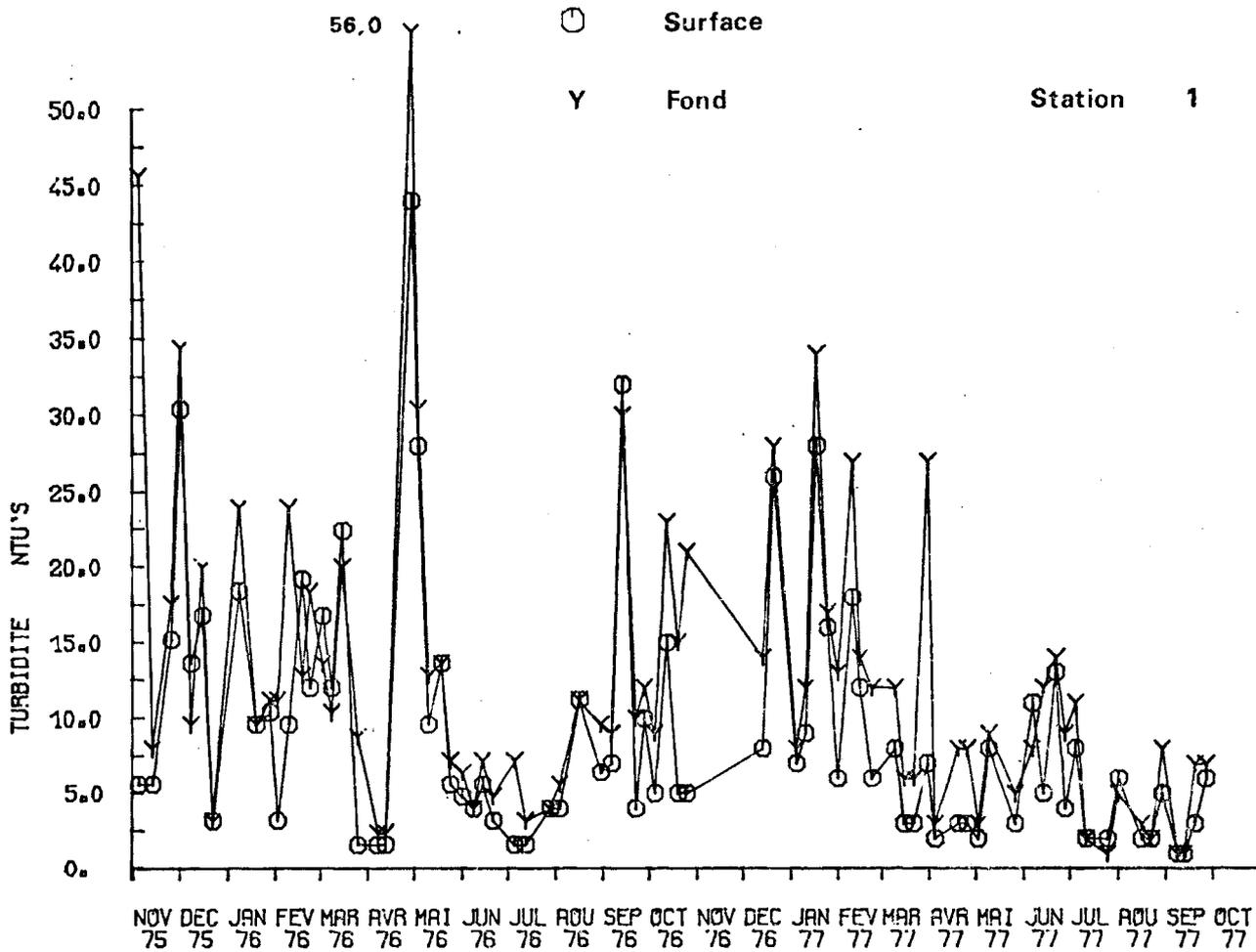
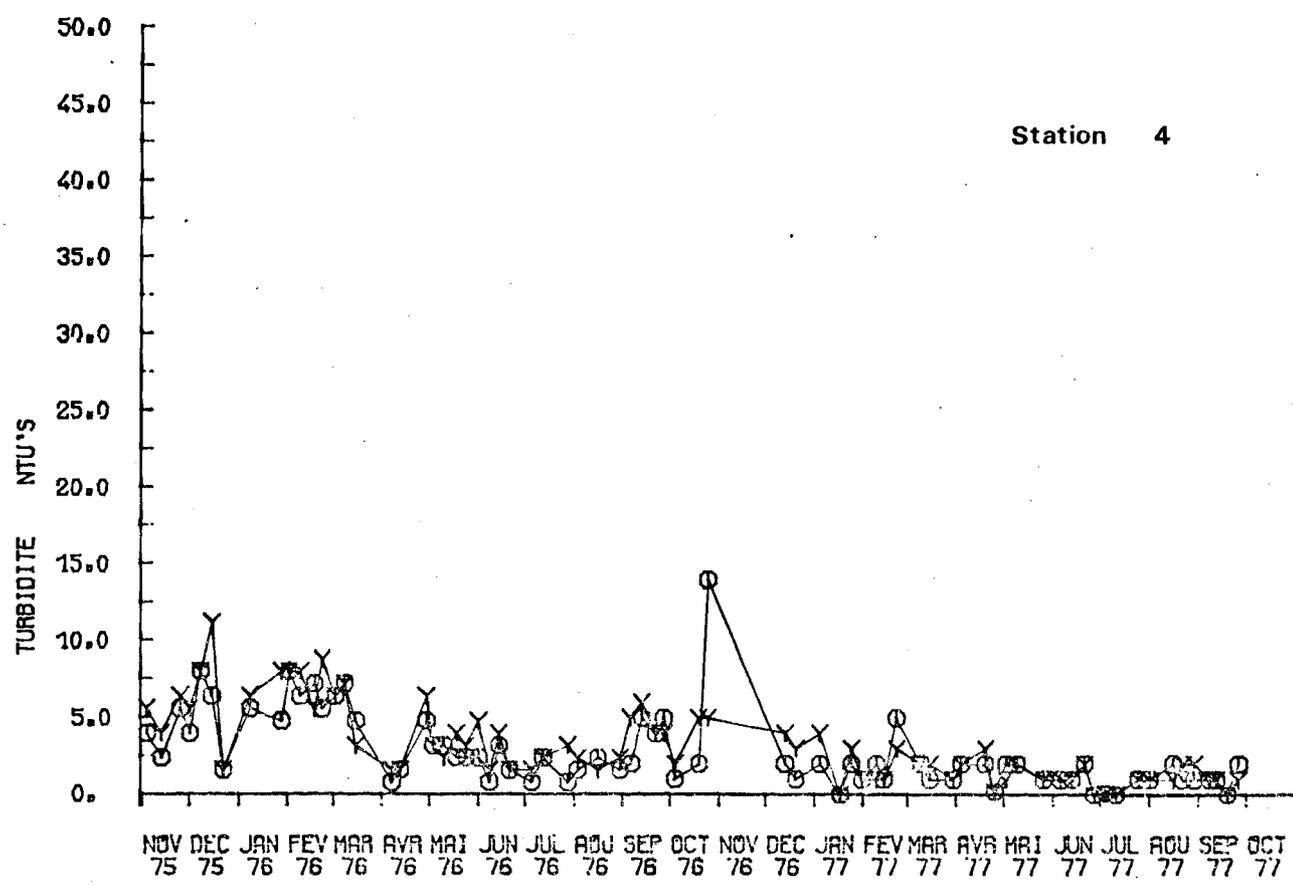
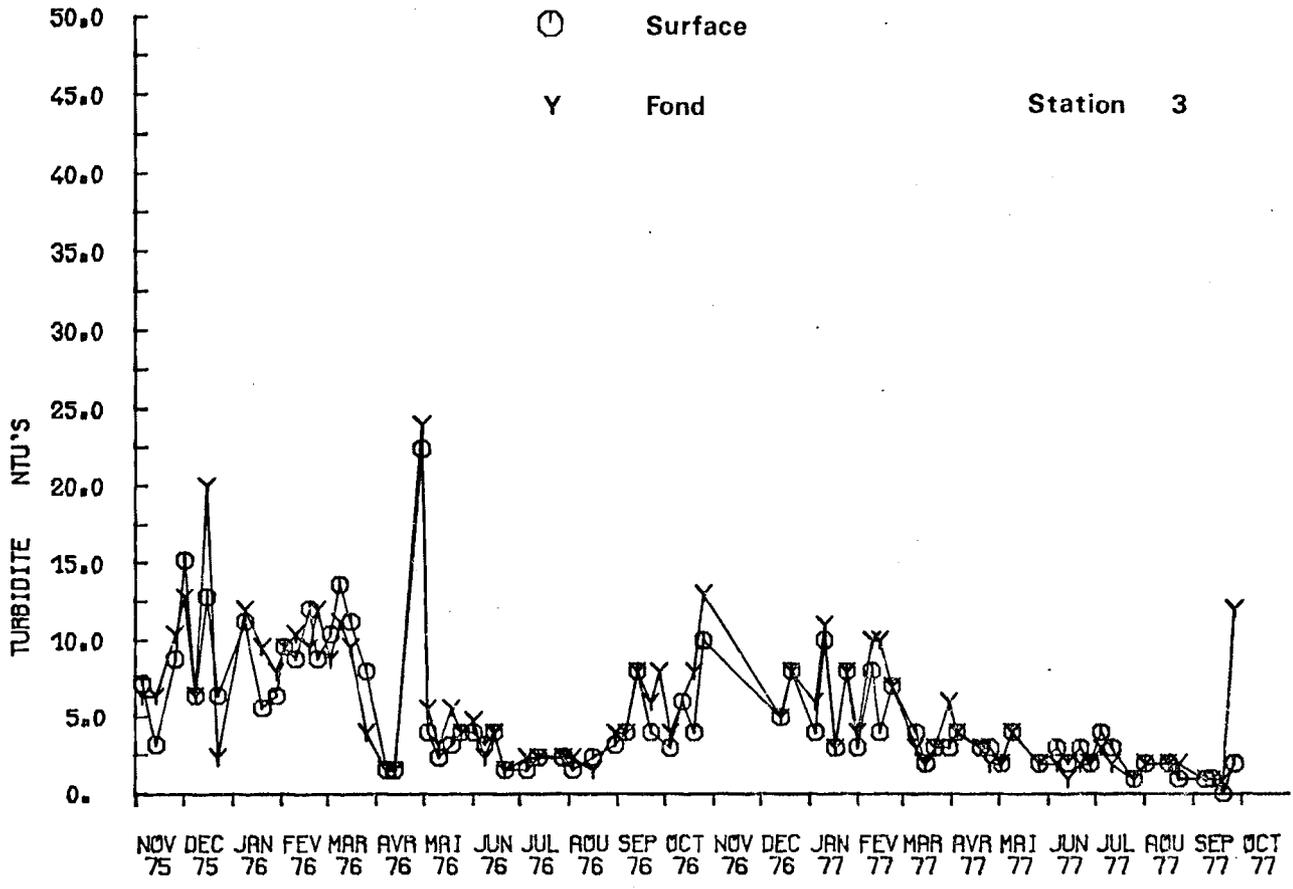


Fig. 22 : VARIATIONS DE LA TURBIDITE



III - PARAMETRES CHIMIQUES

1 - Turbidité .

Les courbes de variation de la turbidité (fig.21 et 22) montrent des valeurs plus faibles en été, plus élevées en hiver .

Les observations que nous avons faites à Gravelines montrent que la turbidité est surtout de nature détritique . Le matériel vivant représente rarement plus de 10% du volume des particules . Les particules en suspension dans l'eau ont plusieurs origines : certaines sont amenées par les eaux douces (selon leur poids et l'agitation de l'eau elles restent en suspension ou se déposent plus ou moins vite sur le fond) ; d'autres sont remises en suspension à partir du fond quand la mer est agitée . Enfin, le plancton en représente une faible partie . Il n'y a pas de relation entre la turbidité et l'agitation de l'eau (P.A.D.) . On peut supposer que la forte turbidité des 29 avril et 3 mai 1976, coïncidant avec une dessalure importante, est d'origine terrestre .

Le diagramme de dispersion (*) matières en suspension-chlorophylle (fig.23) ne montre pas de relation entre ces deux paramètres . Nous devons, toutefois, émettre des réserves sur ce diagramme qui ne porte que sur les quatre derniers mois de l'étude . Pourtant, la relation n'existe pas à Gravelines (fig.24) . Il est donc très probable que le phytoplancton ne constitue qu'une petite partie de la matière en suspension . Ceci sera à vérifier lors d'une prochaine analyse des paramètres mesurés à Dunkerque puisque la chlorophylle en fait maintenant partie .

Par contre, turbidité et carbone organique particulaire sont liés par la relation suivante (valeurs de surface) en 1977 (fig.25) :

$$C.org.part. (mg/l) = 0,016 M.E.S.totales(mg/l) + 0,318 \quad r = 0,667$$

Ceci confirme la place importante que tient l'apport de particules détritiques organiques dans l'hydrologie du site de Dunkerque . On note une certaine variabilité dans le temps de la proportion des particules organiques par rapport à la totalité des particules . Il n'y a pas de prépondérance particulière selon les stations .

Il n'existe pas de relation entre chlorophylle et carbone organique particulaire pour la fin de l'année 1977 (fig.26), ce qui renforce notre conclusion selon laquelle le phytoplancton ne représente qu'une faible partie de la turbidité, au moins pendant la deuxième partie de l'année 1977 .

La turbidité est généralement plus élevée au voisinage du fond qu'en surface (la différence entre les deux niveaux est plus faible aux stations 3 et 4 qu'aux stations 1 et 2) . Ceci témoigne de la remise en suspension des particules

(*) - Description des diagrammes de dispersion dans l'annexe 1

Fig. 23: Diagramme de dispersion
Chlorophylle - Matières en suspension totales

(Juillet 1977)

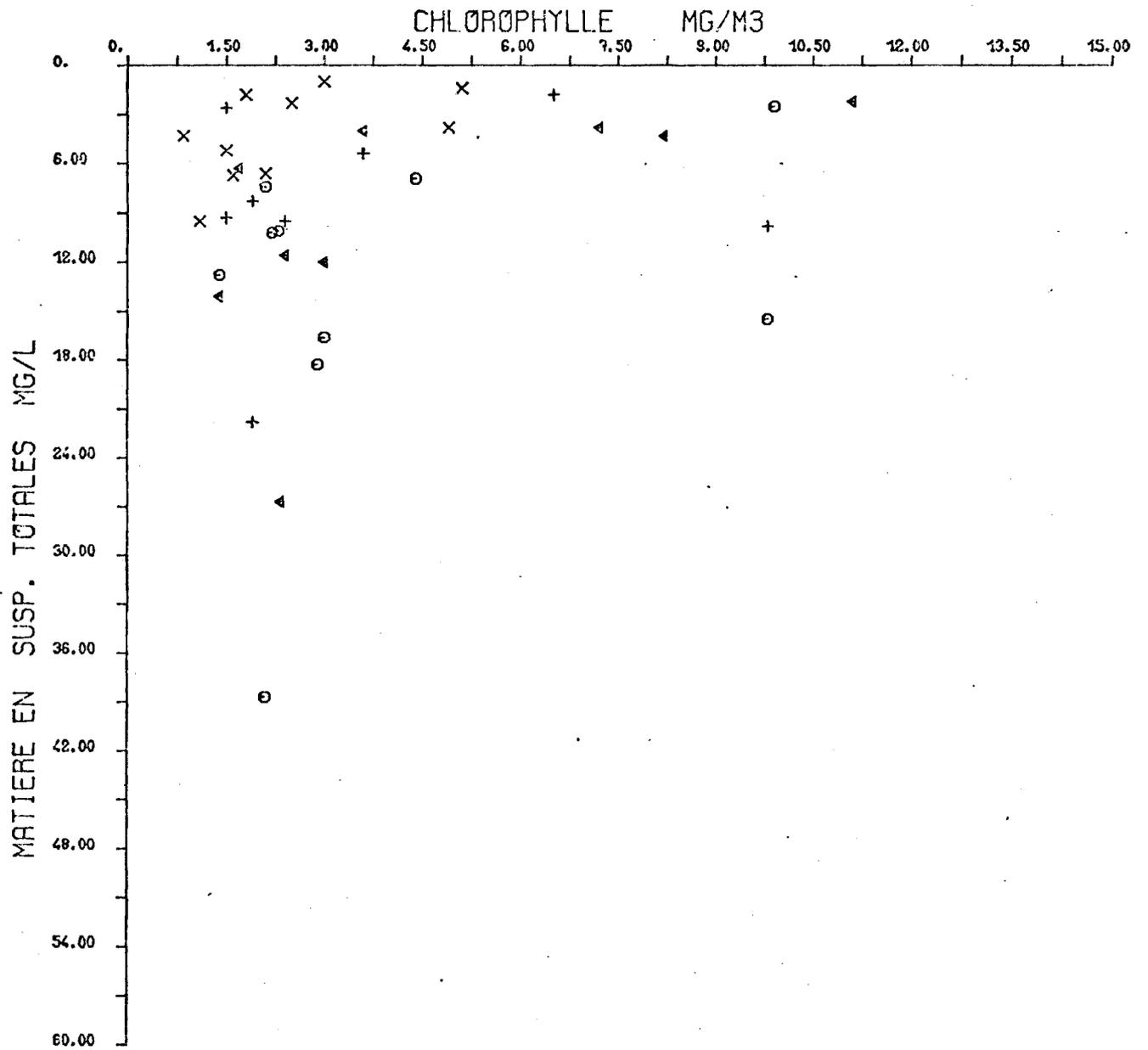


Fig. 24 : Diagramme de dispersion
Chlorophylle - Matières en suspension totales
à Gravelines
(Février 1975)

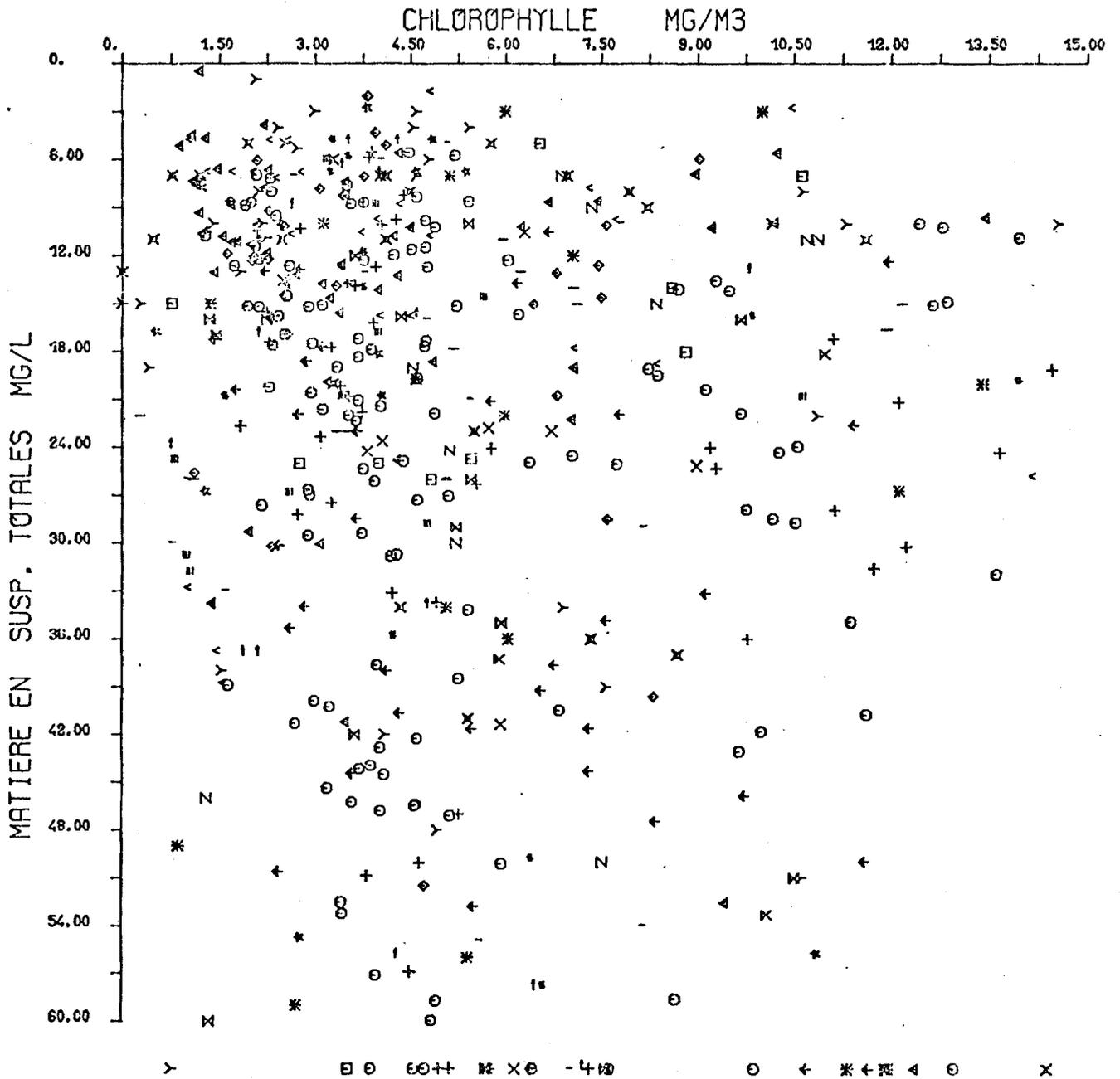


Fig. 25 : Relation Matières en suspension totales
Carbone organique particulaire, en surface
(Janvier 1977)

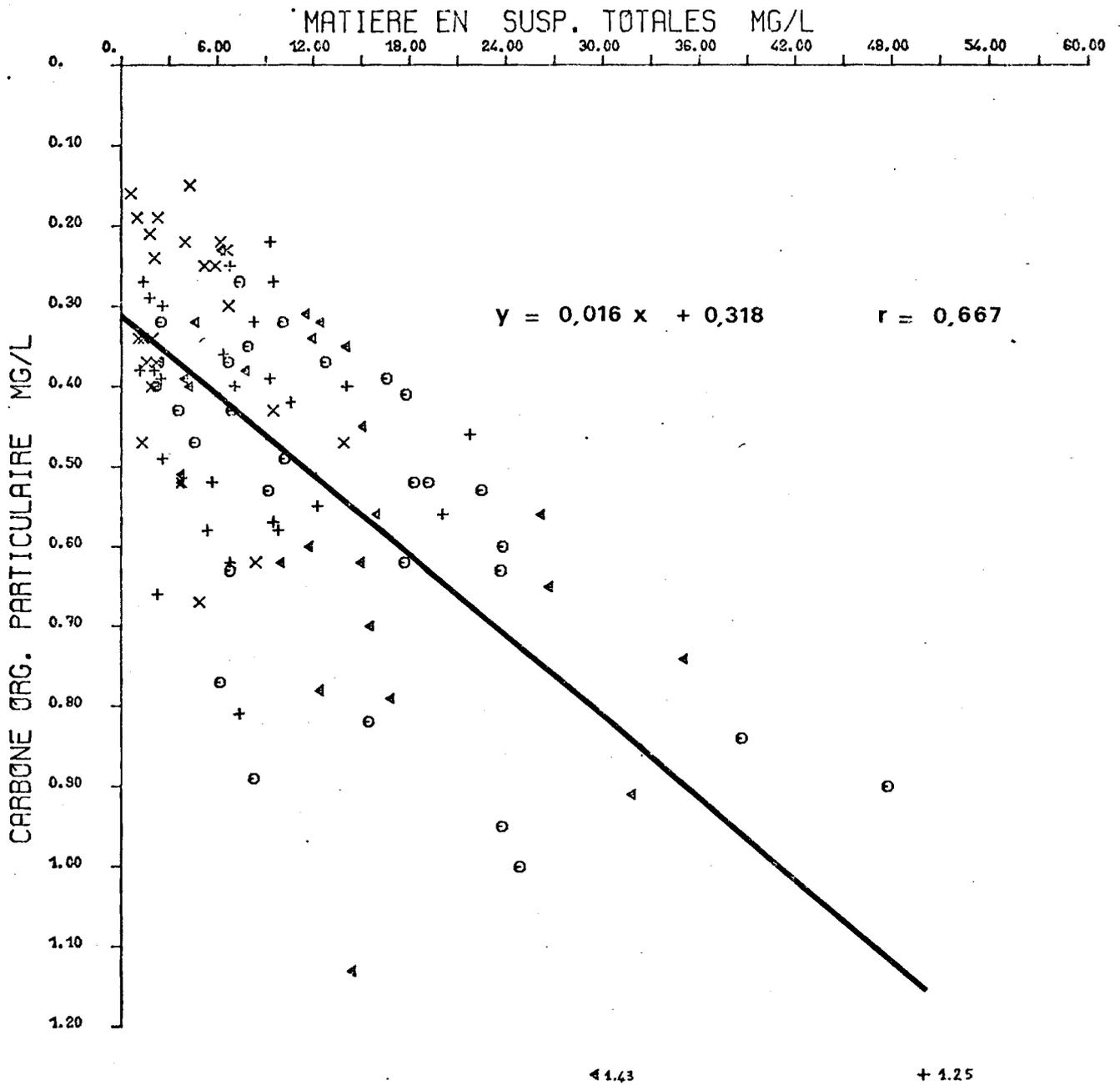
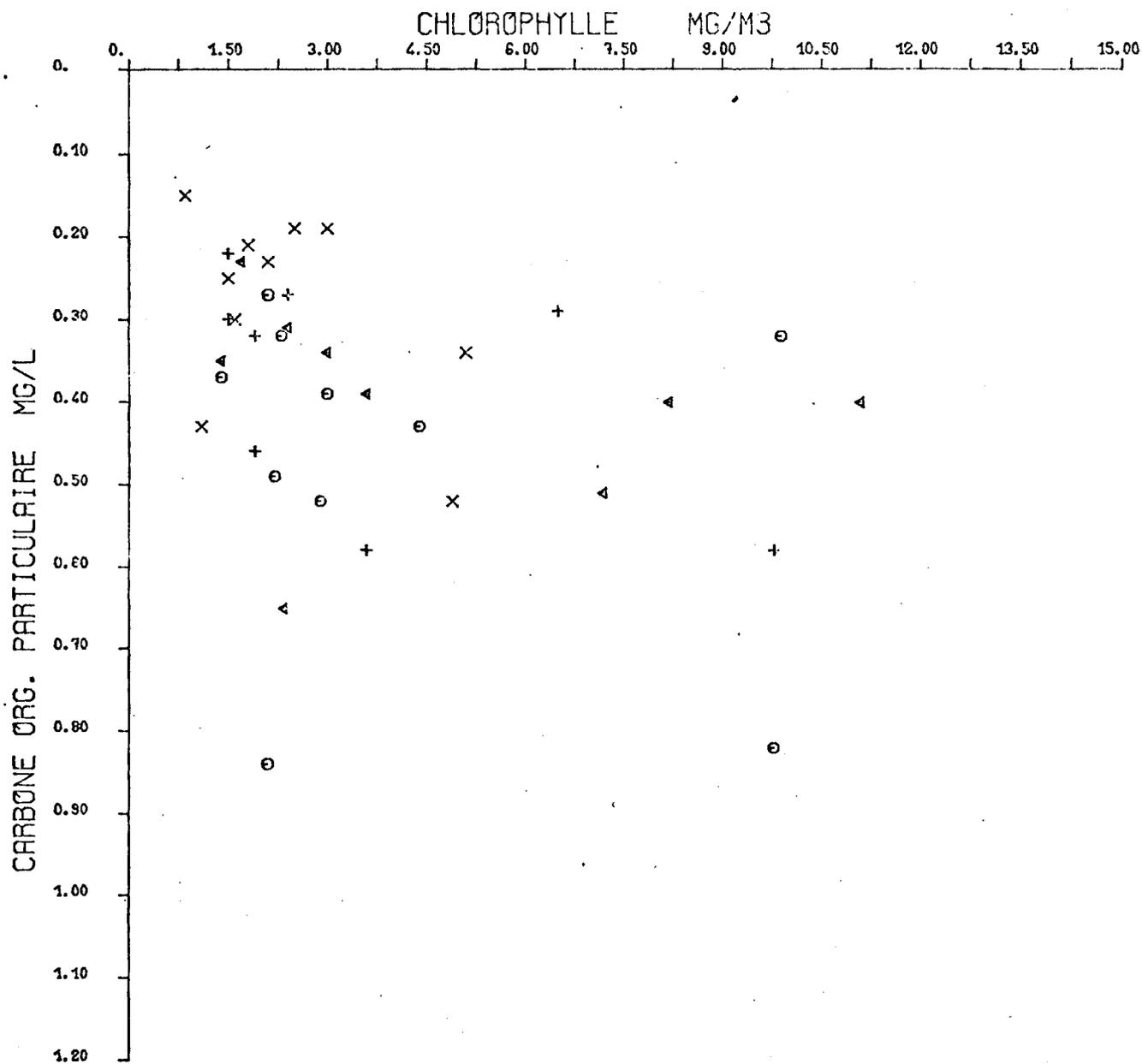


Fig. 26 : Diagramme de dispersion
Chlorophylle - Carbone organique particulaire
(Juillet 1977)



déposées sur le substrat . L'agitation de l'eau est plus importante près du fond quand la colonne d'eau est peu profonde . D'autre part, les organismes morts qui ne flottent plus sont plus nombreux près de la côte . Il en résulte une turbidité plus forte à la côte .

2 - p^H .

L'eau de mer est une eau basique dont le p^H à Dunkerque est généralement supérieur à 7,8, alors qu'à Gravelines il se situe toujours au dessus de 8 .

La comparaison des valeurs du p^H à Dunkerque et Gravelines, pour des prélèvements effectués le même jour, amène à penser que le p^H est plus élevé à Gravelines :

	Dunkerque (st.1,2,3)	Gravelines (pt.M,L,C)
15.12.75	8,06	8,36
17.01.77	7,97	8,22
4.07.77	8,03	8,17

Ceci est confirmé dans la figure 27 où sont tracées les variations du p^H sur les deux sites pour la période commune d'étude . La moyenne du p^H pour cette période (16 août 1976-4juillet 1977) vaut 8,25 à Gravelines et 8,06 à Dunkerque . Cette baisse du p^H à Dunkerque pourrait traduire une plus grande proximité de l'arrivée d'eau douce ou une décomposition de matières détritiques plus importante .

Les variations du p^H , qui semblent se répéter régulièrement d'une année sur l'autre, sont difficiles à interpréter dans le détail : nous n'avons pas de données sur les caractéristiques biologiques de la masse d'eau . Comme à Gravelines les variations du p^H ne sont pas liées à celles de la salinité . Le p^H augmente au printemps, résultat de la photosynthèse phytoplanctonique alors accrue . Au mois de juin le p^H retrouve une valeur moyenne : le phytoplancton est pauvre et le stock de sels nutritifs se reconstitue . Une nouvelle hausse de p^H intervient au cours de l'été, au moment du bloom phytoplanctonique estival . En automne et au début de l'hiver le p^H est bas : c'est à cette époque principalement qu'à lieu la décomposition des populations planctoniques mortes .

La différence de p^H entre les deux niveaux d'une même station est généralement faible (fig.28 et 29) . La moyenne de ces différences calculée pour l'ensemble des quatre stations au cours de toute l'étude est $0,01 \pm 0,02$. Souvent l'appareil de mesure donne la même valeur aux deux niveaux d'une station .

Fig. 27 : VARIATIONS DU pH

(Valeurs moyennes par campagne)

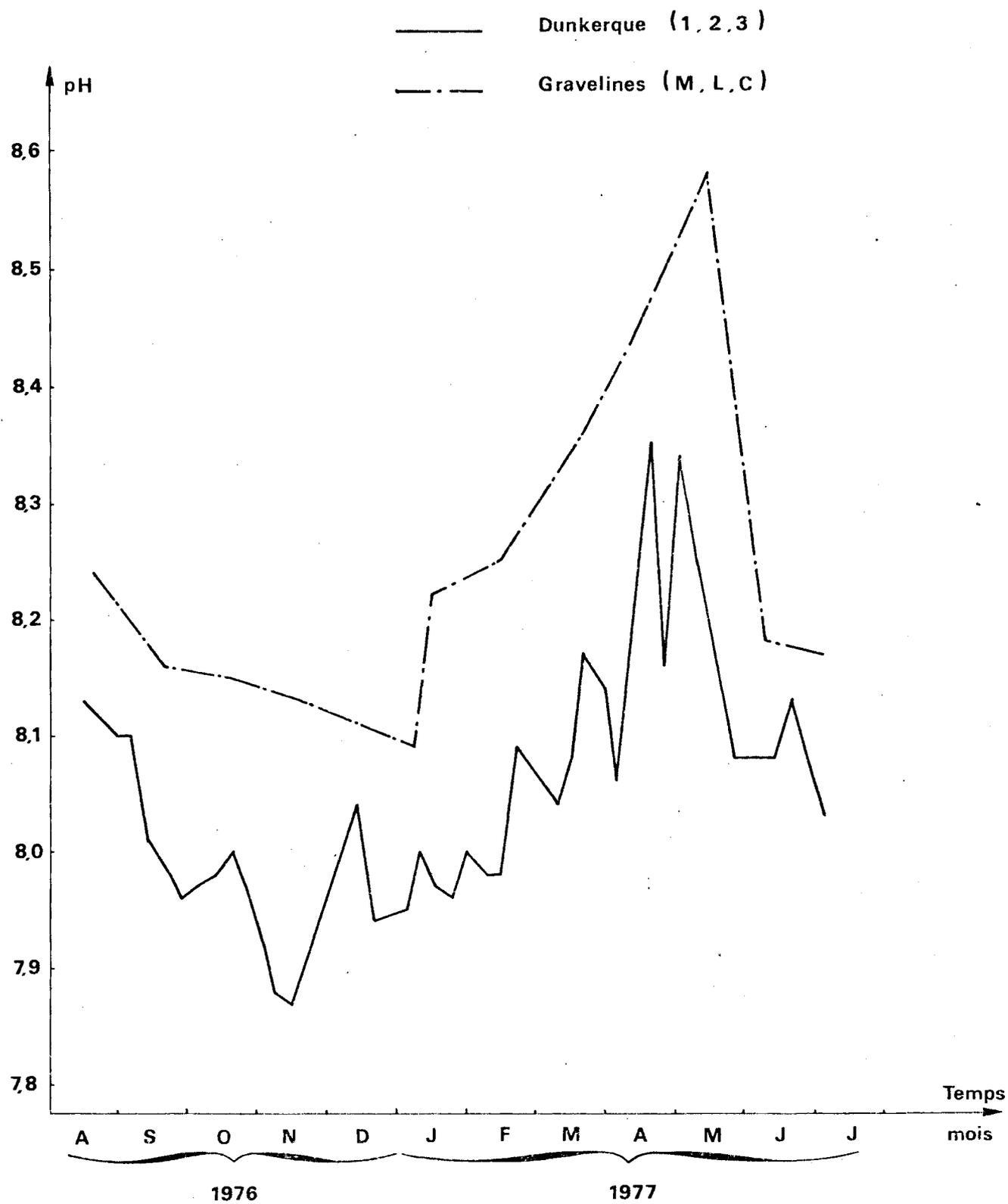
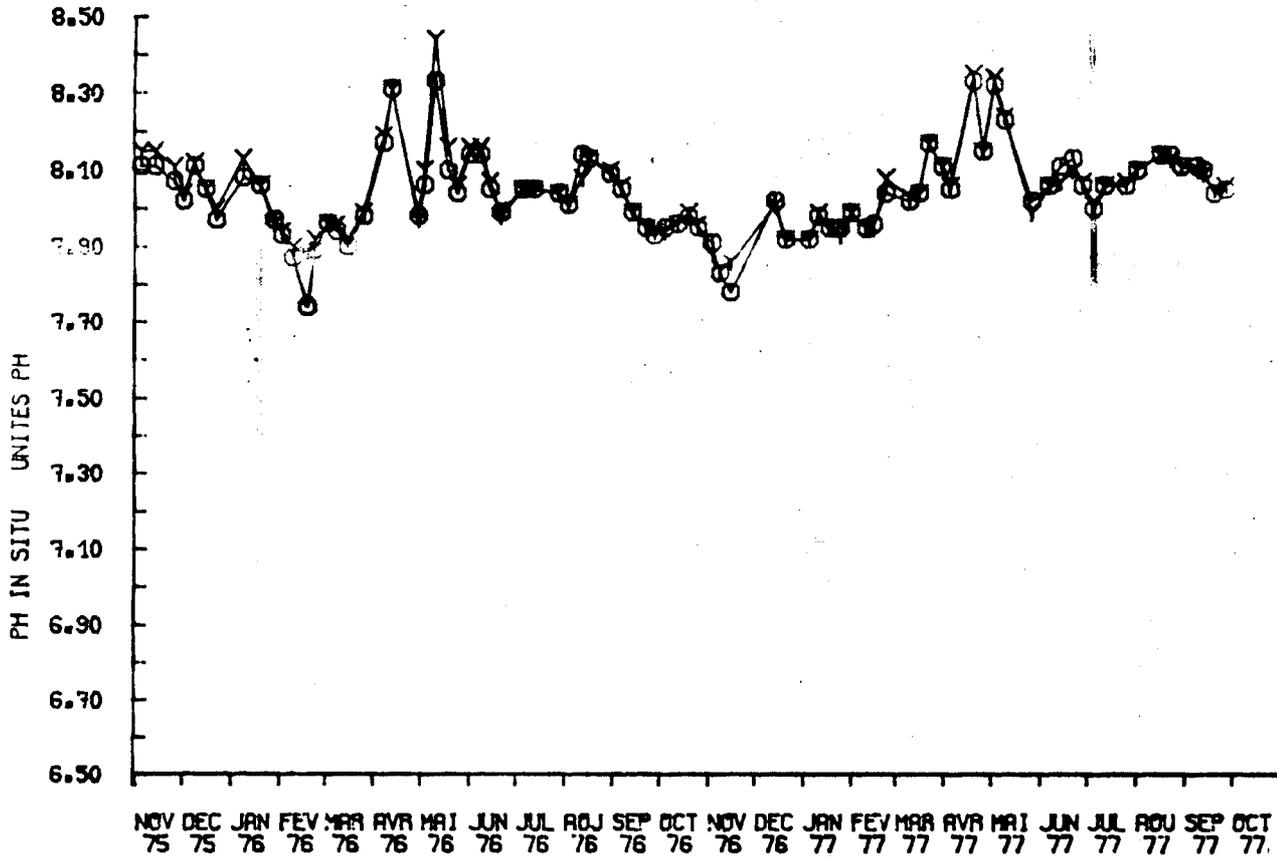


Fig. 28 : VARIATIONS DU pH

⊙ Surface

Y Fond

Station 1



Station 2

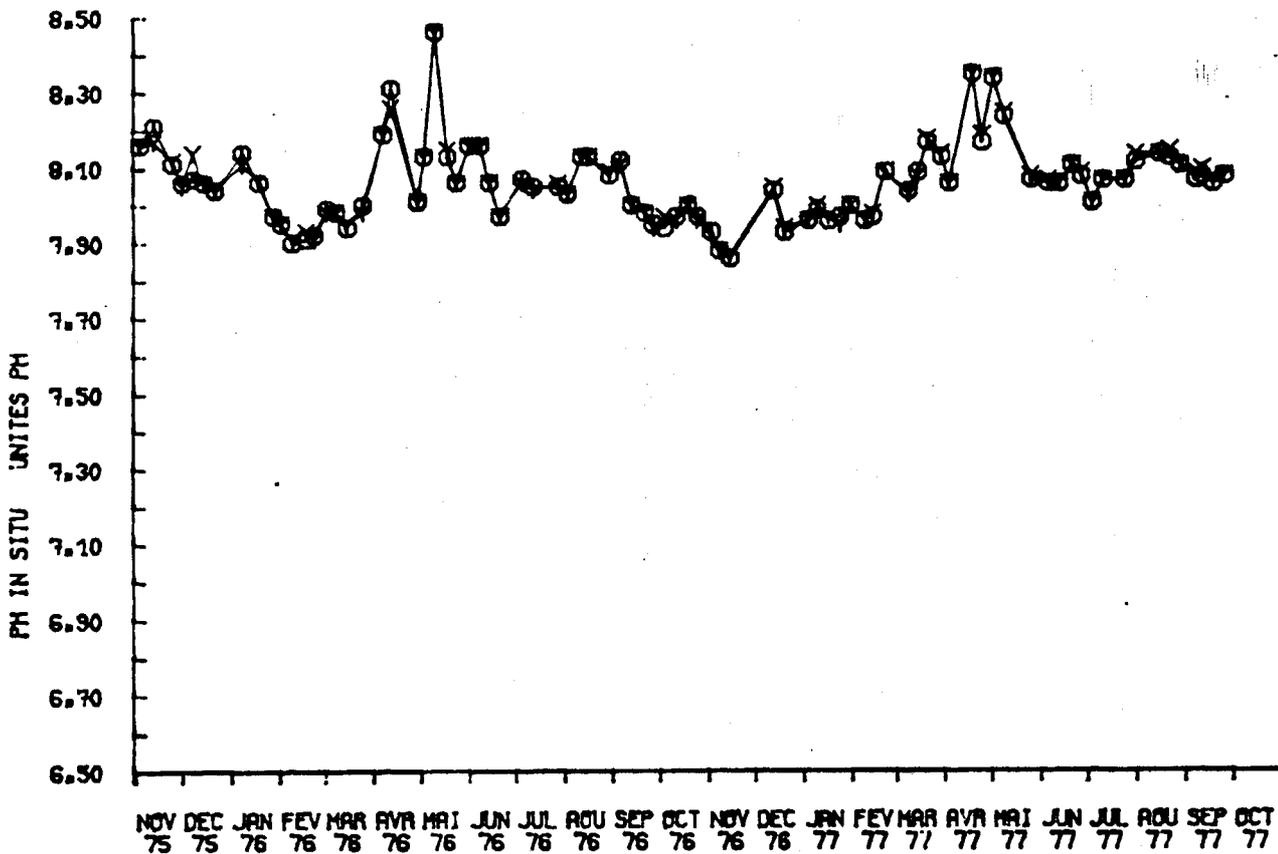
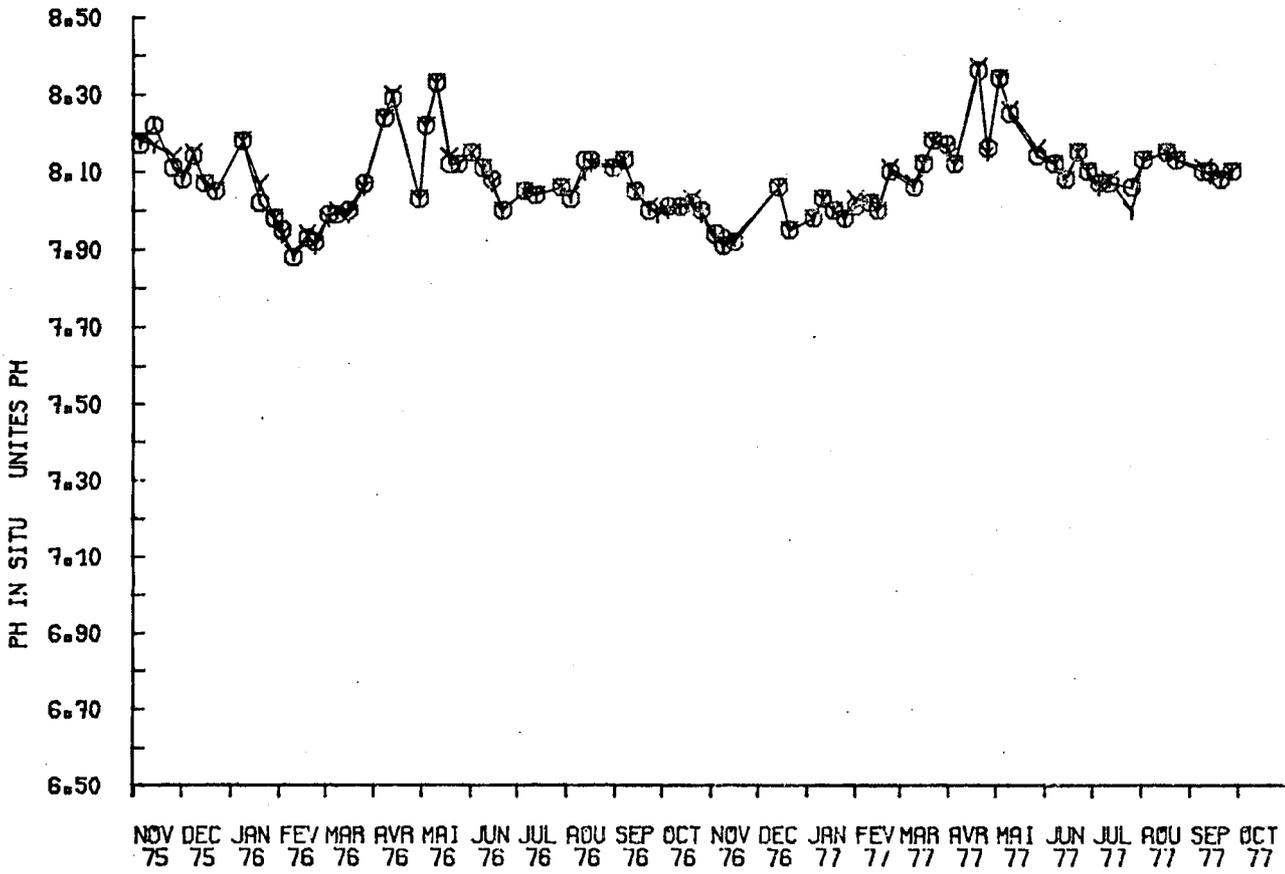


Fig. 29: VARIATIONS DU pH

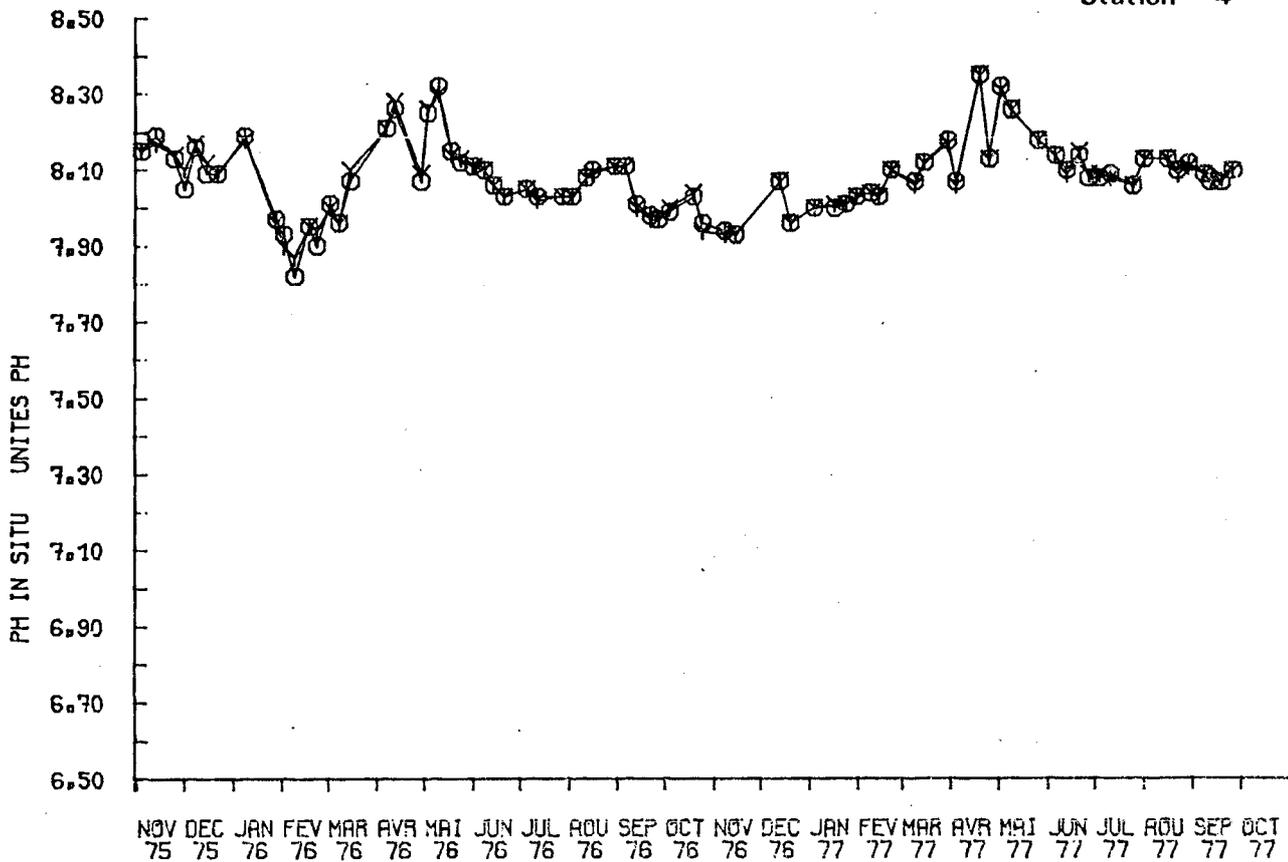
⊙ Surface

Y Fond

Station 3



Station 4



La distribution spatiale du p^H est assez irrégulière . Il existe cependant un gradient côte-large, pas toujours observé . Les moyennes du p^H , calculées à chacune des stations pour la durée de l'étude, sont :

st.1 : 8,04 ; st.2 : 8,06 ; st.3 : 8,08 ; st.4 : 8,08

On remarque que le p^H est parfois plus faible à la station 4 qu'à la station 3. L'eau qui transite par le point 4 pourrait provenir de Calais . Ou bien l'eau du large étant moins riche en phytoplancton, la photosynthèse y est peu importante ; par conséquent, l'augmentation de p^H y est plus faible .

3 - Oxygène dissous .

Le milieu marin de Dunkerque est bien oxygéné . Les teneurs en oxygène dissous y dépassent presque toujours 92% de saturation (fig.30) . Ceci est une des conséquences de l'agitation de l'eau qui augmente la surface de contact de l'eau avec l'atmosphère .

Les variations du taux d'oxygène dissous peuvent avoir plusieurs causes : la photosynthèse phytoplanctonique ou les échanges avec un air plus riche en oxygène que l'eau apportent de l'oxygène au milieu . Au contraire, la décomposition des matières en suspension ou déposées sur le fond, les échanges avec une atmosphère moins saturée en oxygène, la respiration du zooplancton ou des animaux benthiques, sont à l'origine d'une désoxygénation du milieu . D'autre part, température et salinité interviennent au niveau de l'amplitude des variations du taux d'oxygène dissous (en ml/l) : une augmentation de ces deux paramètres entraîne une diminution de la solubilité de l'oxygène dans l'eau . Un changement de $1^{\circ}C$ occasionne en moyenne une variation de solubilité de 0,1 à 0,2 cm^3 d' O_2 par litre (PERES et DEVEZE, 1963) .

Nous interpréterons les variations du taux d'oxygène dissous (fig.30 : moyenne du taux d' O_2 dissous à toutes les stations) à la lumière de ce qui se passe à Gravelines . Ici encore, la courbe présente une allure sinusoïdale, avec des maxima au printemps et en été, des minima en automne et en hiver . La quantité d'oxygène augmente au printemps : la régénération des sels nutritifs d'origine marine est terminée ; le phytoplancton est en plein développement et le zooplancton n'est pas encore apparu . A la fin du printemps, le phytoplancton disparaît et entre en décomposition, tandis que le zooplancton consomme une petite partie de l'oxygène dissous : le taux d'oxygène atteint la sous-saturation . On retrouve en été la situation printanière, moins accusée semble-t-il . En automne et en hiver, la sous-saturation correspond à l'absence de production phytoplanctonique et à la reconstitution importante du stock de sels nutritifs .

Fig. 30 : VARIATIONS DE L'OXYGENE DISSOUS

(Valeurs moyennes par campagne)

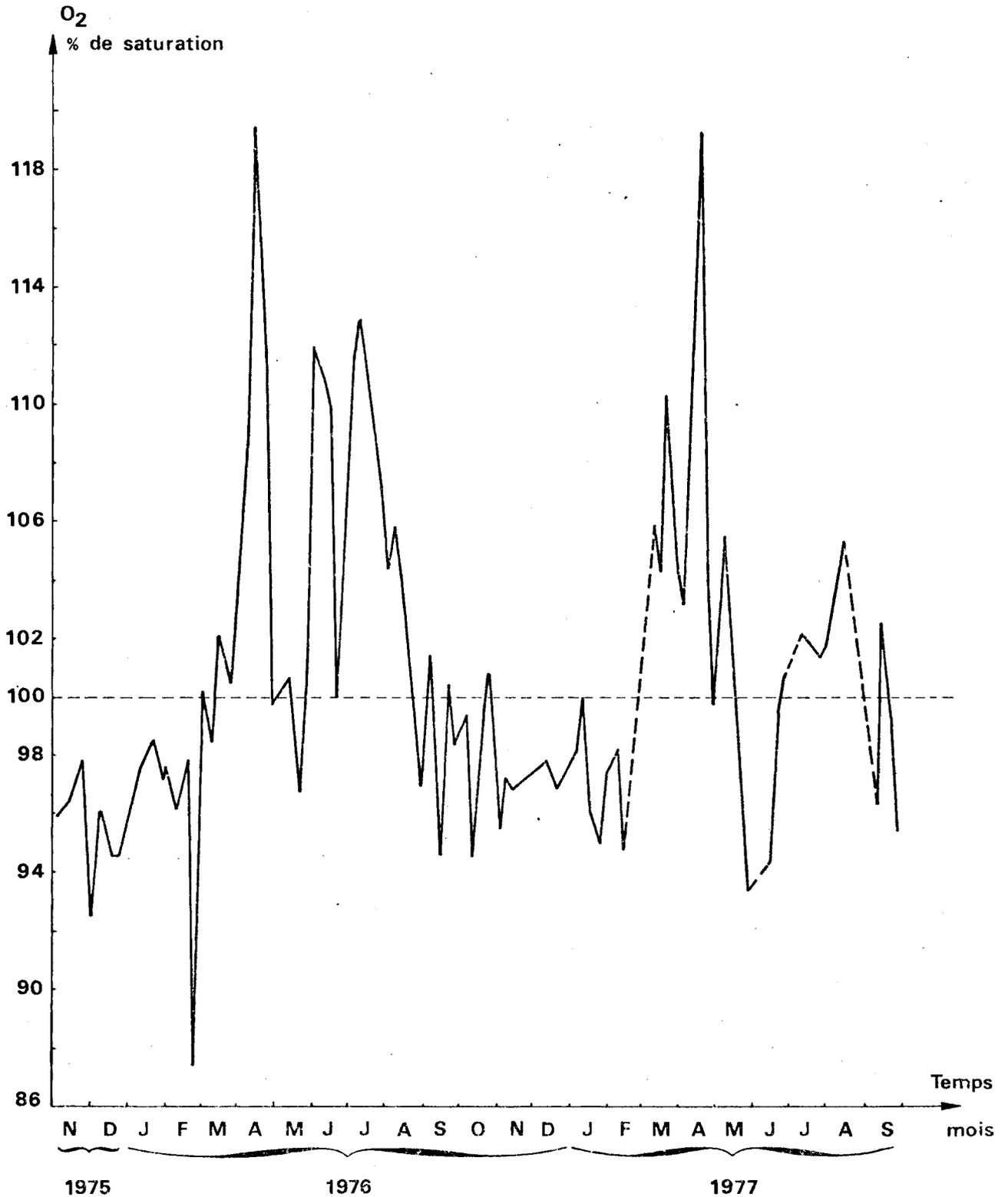


Fig. 31: Diagramme de dispersion
Chlorophylle - Oxygène (Juin 1977)

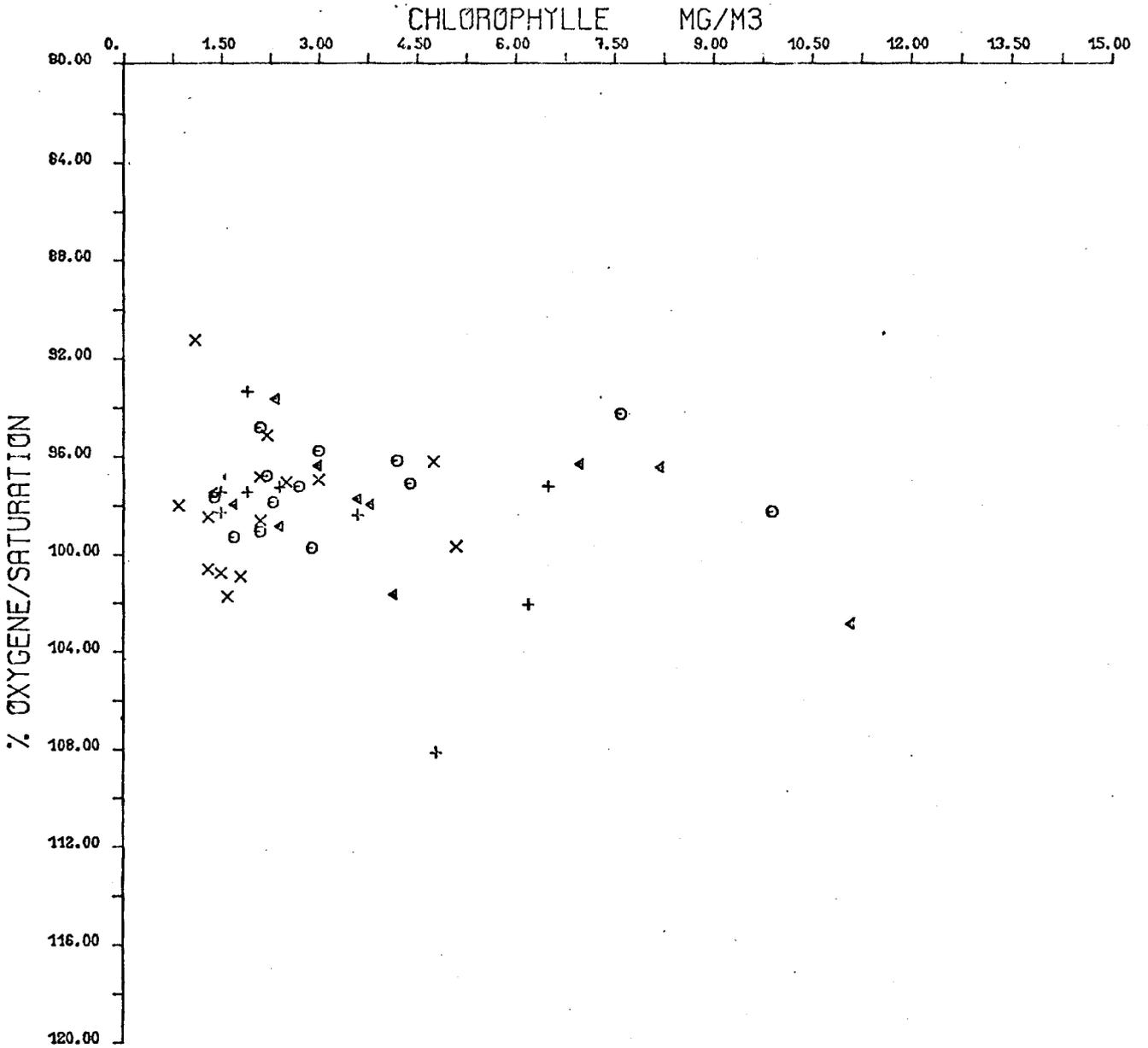
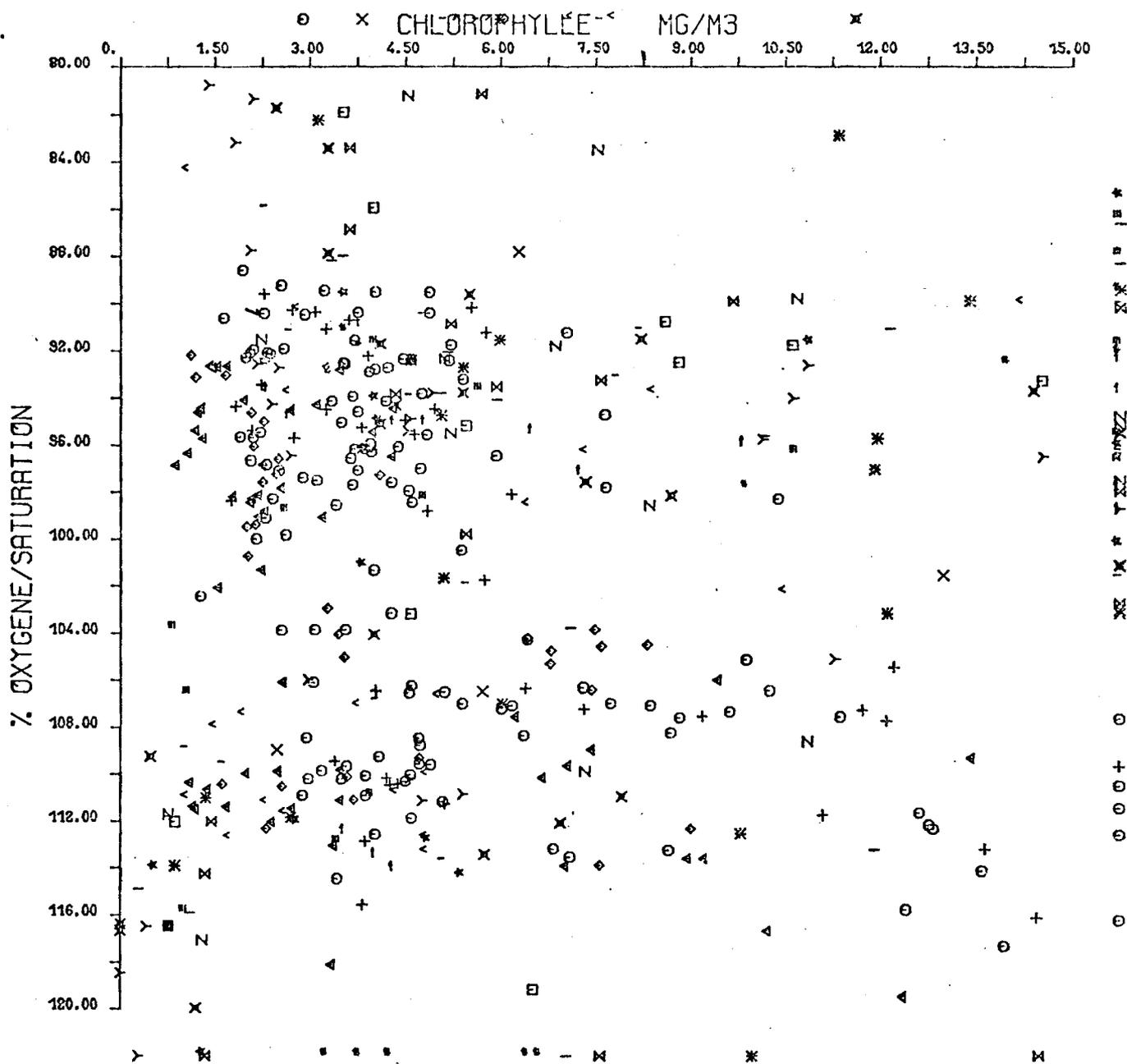


Fig. 32: Diagramme de dispersion
Chlorophylle - Oxygène à Gravelines (Fév. 1975)



Il ne semble pas y avoir de relation entre le taux d'oxygène dissous et la biomasse phytoplanctonique (fig.31). Cette affirmation ne peut être que provisoire, étant donné le petit nombre de données dont nous disposons actuellement sur la chlorophylle. Pourtant, une telle relation n'existe pas non plus à Gravelines (fig.32). Cette absence de relation résulte de l'intervention des nombreux autres facteurs décrits ci-dessus. L'importance des échanges avec les milieux extérieurs (atmosphère, eau douce pauvre en oxygène), ainsi que les apports de sels nutritifs d'origine terrestre, ne permettent pas d'estimer à l'aide de diagramme A.O.U.-sels nutritifs (A.O.U. : Apparent Oxygen Utilization, REDFIELD, 1942, in RICHARDS, 1965), le taux d'oxygène utilisé pour la régénération de ces derniers. On remarque pourtant, à partir de l'ensemble des données d'une année, une relation entre le taux d'oxygène dissous et celui de certains sels nutritifs (fig.33 à 35).

$$\begin{aligned} \text{O}_2 \text{ dissous (\%sat.)} &= -18,38 \text{ PO}_4 (\mu\text{atgP-PO}_4^{3-}/1) + 119,67 \\ &r = -0,608 \quad , \text{ en 1976} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{O}_2 \text{ dissous (\%sat.)} &= -1,47 \text{ NH}_4 (\mu\text{atgN-NH}_4^+/1) + 105,18 \\ &r = -0,556 \quad , \text{ en 1976} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{O}_2 \text{ dissous (\%sat.)} &= -0,92 \text{ SiO}_3 (\mu\text{atgSi-SiO}_3^-/1) + 105,72 \\ &r = -0,631 \quad , \text{ en 1976} \end{aligned}$$

L'allure des autres diagrammes de dispersion est en général la même, mais la relation est moins nette.

Les taux d'oxygène les plus élevés coïncident avec les quantités les plus faibles de sels nutritifs, notamment en avril-juin-juillet-août 1976. Ceci résulte d'un apport important d'oxygène par la photosynthèse, accrue à cette époque, et dont l'effet l'emporte nettement sur la consommation d'oxygène occasionnée par la destruction des matières détritiques, peu abondantes à cette période. D'après les diagrammes de dispersion, si l'on considère la partie des diagrammes située en dessous de la ligne correspondant aux 100% de saturation d'oxygène, la consommation d'oxygène est à peu près constante, quel que soit le taux de sels nutritifs. Elle est relativement faible, sans doute compensée par les apports atmosphériques. L'existence des relations entre l'oxygène dissous et les sels nutritifs est donc due à ce que la production d'oxygène par le phytoplancton est maximale au moment où sa croissance est maximale; il a alors épuisé une grande partie des réserves du milieu en sels nutritifs.

Pour la même raison (augmentation du p^H quand le phytoplancton est abondant), le diagramme de dispersion p^H -nitrates, présente la même allure que les diagrammes de dispersion O_2 -sels nutritifs (fig.36). p^H et oxygène varient dans le même sens pour des variations identiques des facteurs du milieu. Il en résulte l'existence d'une relation positive entre ces deux facteurs (fig.37).

Fig. 33: Relation Oxygène - Phosphates

(Janvier 1976)

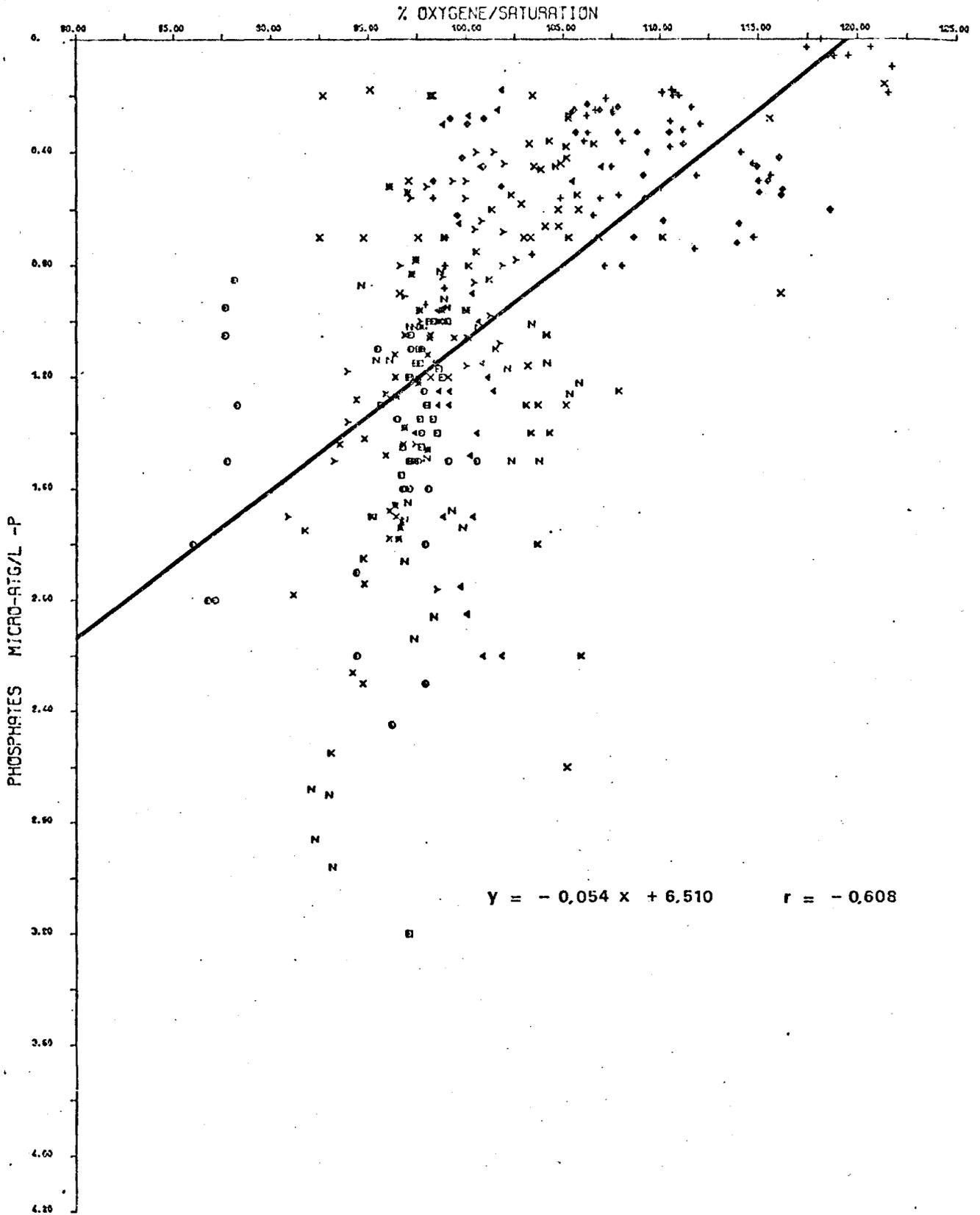


Fig. 34: Relation Ammoniac - Oxygène

(Janvier 1976)

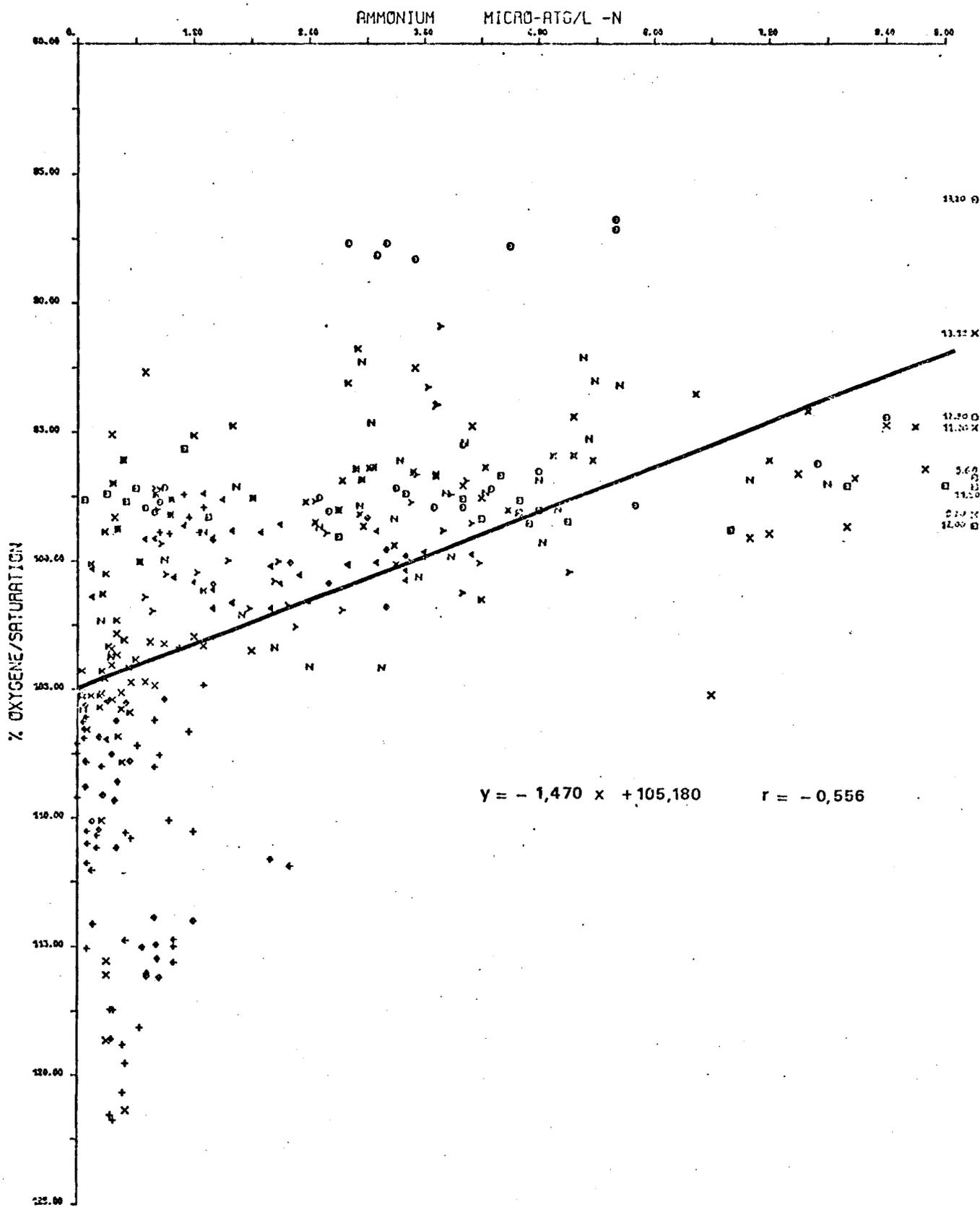


Fig. 35: Relation Silicates - Oxygène

(Janvier 1976)

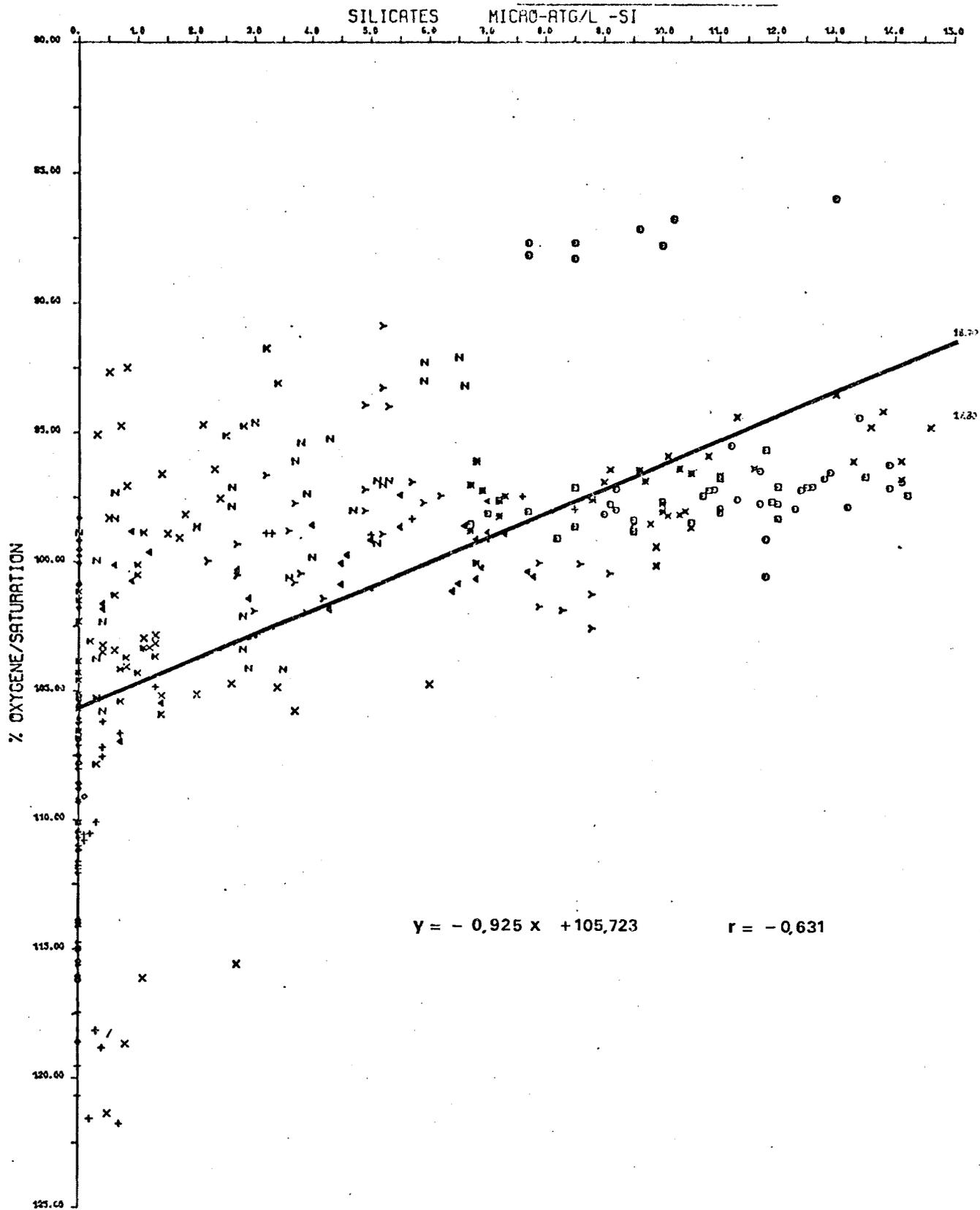


Fig. 36 : Diagramme de dispersion
pH - Nitrates (Janvier 1977)

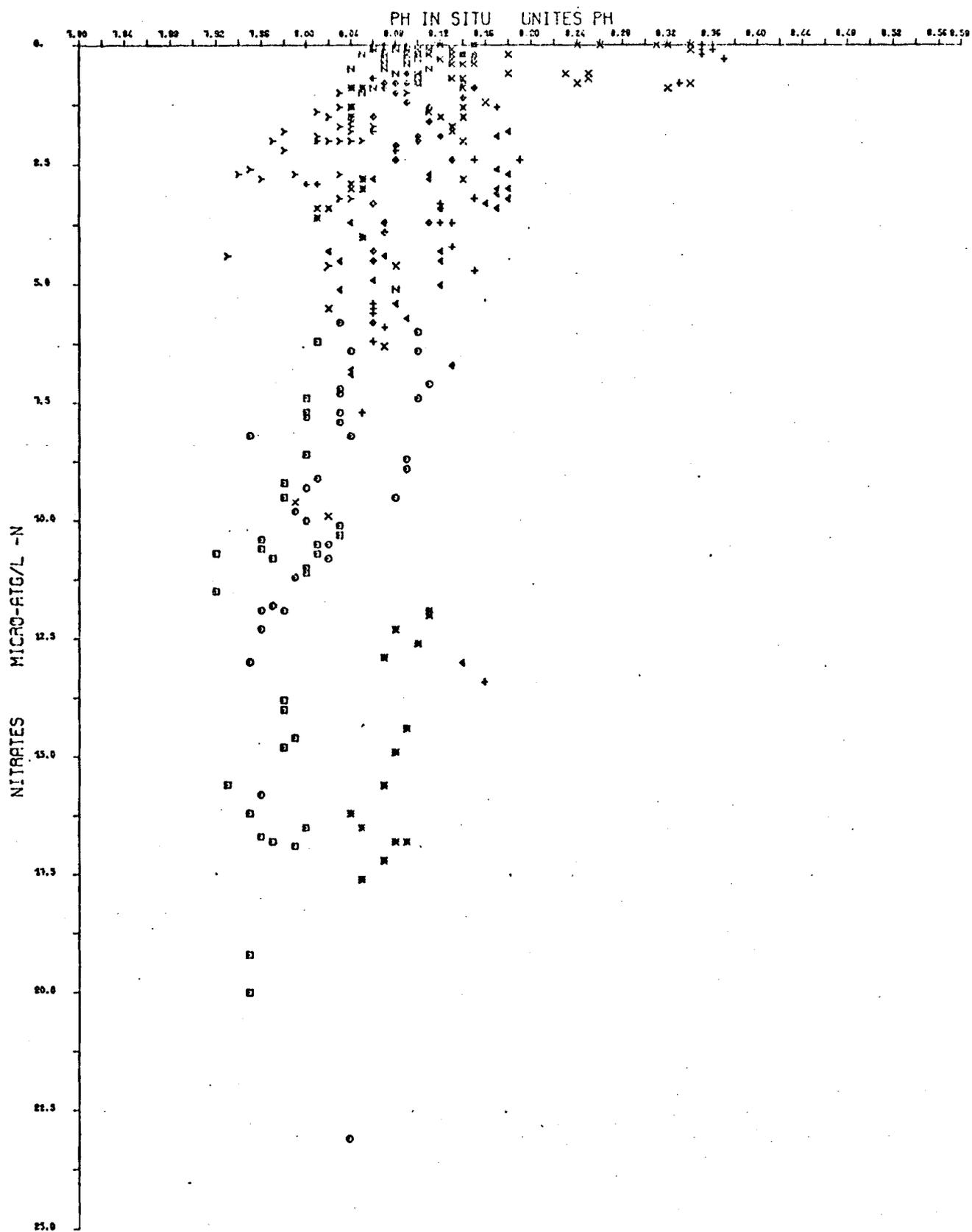
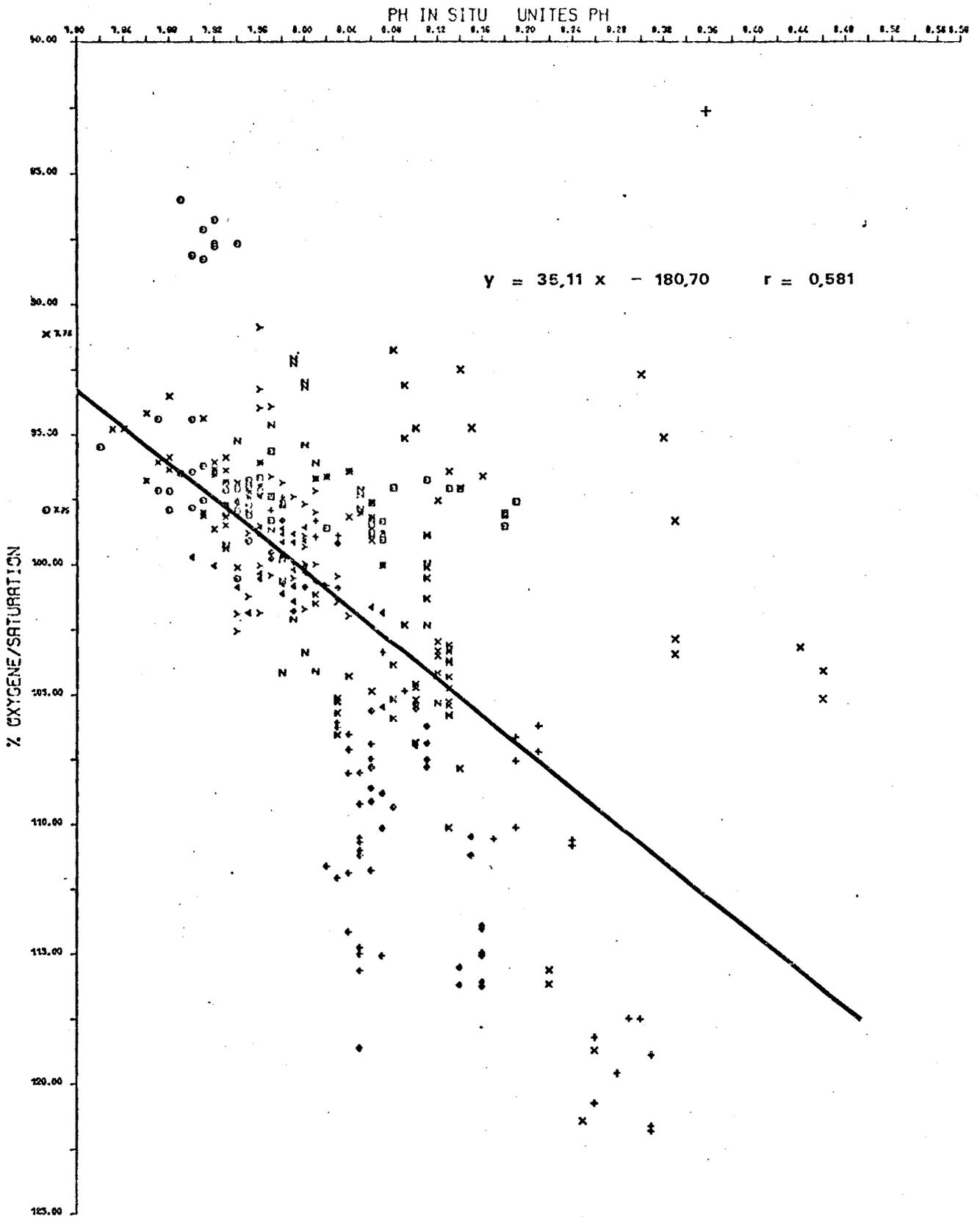


Fig. 37: Relation pH - Oxygène
(Janvier 1976)



Il n'y a pas de relation entre l'oxygène et la salinité . Un gradient côte-large est visible lors de certaines campagnes . La quantité d'oxygène dissous augmente généralement de la station 1 à la station 4 : la consommation d'oxygène est plus importante à la côte où la turbidité est maximale . Le gradient peut s'inverser quand il y a sursaturation en oxygène : la production d'oxygène photosynthétique, plus grande à la côte où le phytoplancton est plus abondant, semble l'emporter sur la consommation .

Le taux d'oxygène dissous est légèrement plus élevé à Gravelines qu'à Dunkerque : la moyenne des valeurs relevées du 22 septembre 1976 au 4 juillet 1977 est de 102,6 à Gravelines et 99,9 à Dunkerque . Ces variations sur les deux sites paraissent semblables de février à juillet 1977, mais sont très différentes de septembre 1976 à janvier 1977 (fig.38) . Elles sont alors beaucoup plus importantes à Gravelines .

4 - Sels nutritifs .

1 - Sources d'apports .

Les sels nutritifs présents dans le milieu marin de Dunkerque ont des origines diverses . Il y a remise en solution dans l'eau à partir des éléments en suspension ou déposés sur le fond (déchets d'origine terrestre ou organismes morts) . D'autre part, un apport important a lieu dans les eaux douces, comme en témoignent les chiffres suivants, correspondant aux dosages des sels nutritifs dissous que nous avons réalisés dans les eaux de l'Aa au début du printemps 1978 :

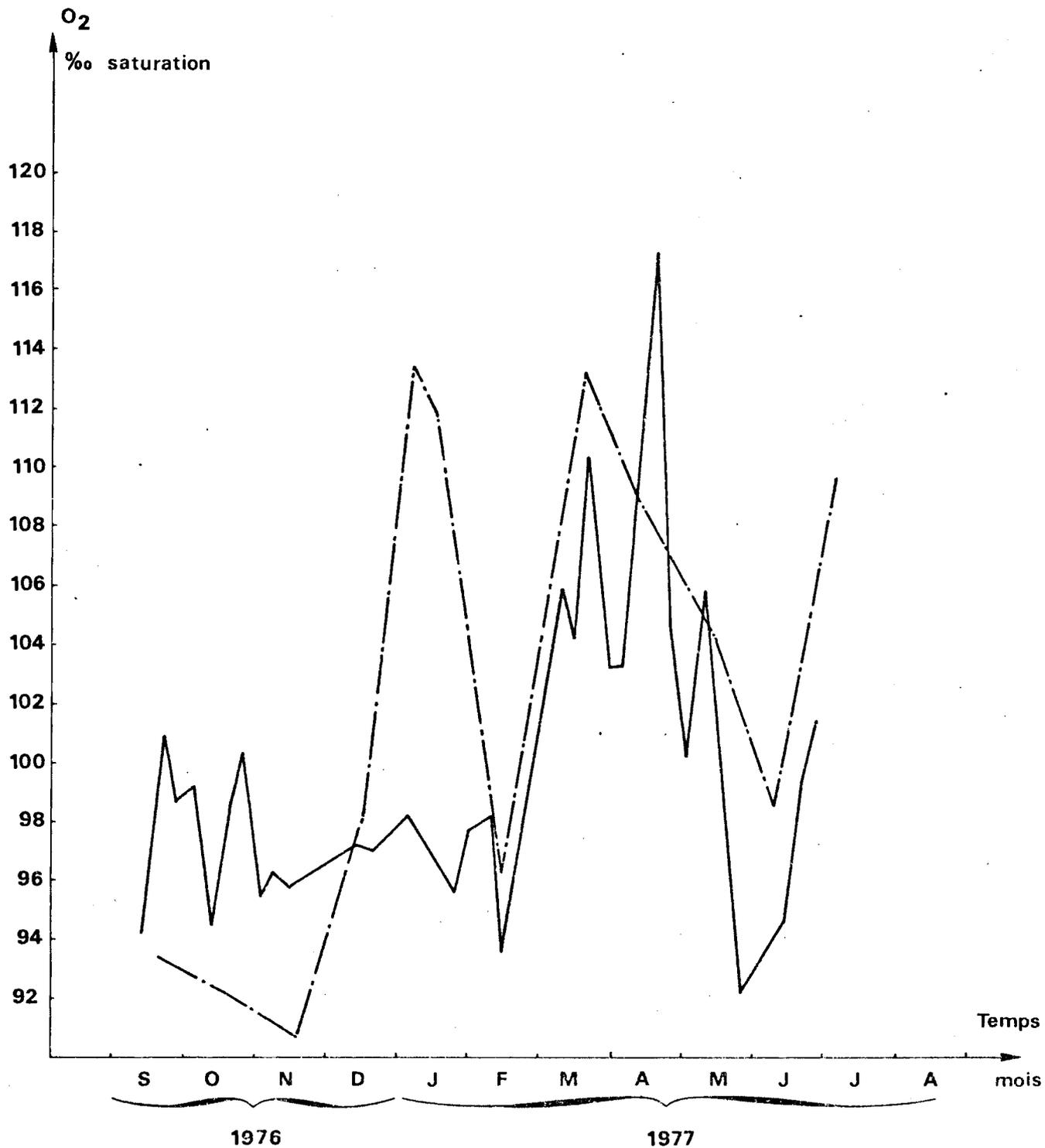
atg/l	7.02.78	2.03.78
N - NH_4^+	150	190
N - NO_2^-	1,37	6,8
N - NO_3^-	350	335
P - PO_4^{3-}	18,9	7
Si - SiO_3^-	145	122

Les apports à imputer aux bassins du port de Dunkerque sont modestes, comme le montrent les données suivantes (communication personnelle : BRYLINSKI, Contrat EdF - Université des Sciences et Techniques de Lille I) ; ce sont les moyennes mensuelles en 1977 des teneurs en sels nutritifs dans les bassins du port de Dunkerque, au voisinage de l'écluse Charles de Gaulle :

Fig. 38 : VARIATIONS DE L'OXYGENE DISSOUS

(Valeurs moyennes par campagne)

— Dunkerque (1,2,3)
 -.- Gravelines (M,L,C)



Année 1977	N-NO ₂ ⁻	N-NO ₃ ⁻	P-PO ₄ ³⁻	Si-SiO ₃ ⁻
janvier	6,7	60,9	0,89	33,7
février	8,1	44,5	0,58	30,8
mars	7,3	49,8	0,29	8,7
avril	7,5	47,3	0,42	5,7
mai	6,3	26,9	0,84	7,7
juin	9,0	19,9	1,84	17,0
juillet	11,8	21,5	0,93	11,7
août	9,4	19,1	>1,54	12,8
septembre	14,5	17,8	2,16	16,2
octobre	10,3	22,0	1,18	18,5
novembre	8,8	38,2	1,06	27,9
décembre	8,5		1,97	

Nous ne possédons pas de données de cette nature à propos du canal exutoire .

La zone marine de Dunkerque possède deux importants émissaires d'eau douce : l'Aa au sud, l'avant-port est de Dunkerque à proximité immédiate au nord . Les sources de pollution provenant de l'arrière-pays sont diverses (AGUR, 1973) : Une grande partie des apports extérieurs de la Flandre maritime arrive du Bassin minier jusqu'à l'Aa par la voie du Canal à grand gabarit . Le taux d' NH_4 y est considérable : 17 mg/l ; on sait que la situation est considérée comme douteuse à partir de quelques 1/100^e de mg/l ! .

Dans la plaine maritime, les apports de polluants à attribuer aux agglomérations rurales sont faibles en regard de ceux des industries . Essentiellement agricoles et alimentaires celles-ci rejettent une forte quantité de matières organiques : pollution nette correspondant au total à une consommation d'oxygène dissous dans l'eau de 6.000kg/jour . L'agriculture tient une grande part dans l'économie de cette région . Les rejets de l'élevage équivalent à 6 fois ceux de la population dunkerquoise . L'apport d'engrais aux cultures se solde par une perte de 500 tonnes d'engrais N-P-K, par le système des wateringues, la perte étant nettement plus grande au niveau du phosphore (175 tonnes d'acide phosphorique par an) qu'à celui de l'azote .

Les industries dunkerquoises (installations portuaires non prises en compte) représentent à elles seules une production nette de 4 tonnes de matières organiques et 2,5 tonnes de matières en suspension par jour . Ajoutons à cela les rejets domestiques que la station d'épuration de Dunkerque n'arrive pas à traiter en totalité (soit 18 tonnes/jour de D.B.O.5.) . Il est à noter que les détergents représentent 50 à 70% du phosphore des eaux usées urbaines ; de 6mg/l en 1960, il est passé à 10mg/l en 1970 ; tandis que les apports de carbone et d'azote qui leur sont dû ne jouent qu'un rôle mineur (Bureau National de l'Information Scientifique et Technique 1974) .

Une certaine auto-épuration se fait naturellement au niveau des canaux ; mais la quantité totale d'effluents est telle que cette auto-épuration ne peut être totale . A la sortie du canal exutoire, collecteur général principal du bassin des waterings, les taux d'ammoniac, de nitrites et de nitrates "subissent de fortes pointes, auxquelles succède une épuration active", mais " d'autres éléments sont en proportion phénoménale constante " :

D.B.O.₅ { 20 fois le seuil critique
 D.C.O. { d'effluent industriel brut .
 Sulfates : 6 fois le seuil (700mg/l) .
 Phosphates : 10 fois le seuil (5250µg/l) "

La quantité de matières en suspension (80mg/l), bien qu'il y ait décantation dans les canaux, reste relativement élevée par rapport aux valeurs que nous avons généralement observées en mer .

La résultante de ces différents apports au niveau du milieu marin a été estimée par MERTENS et PRUDHON (1976) :

		D.C.O. (kg/jour)	D.B.O. ₅ (kg/jour)	Débit (m ³ /jour)
1975	Gravelines	40.900	6.350	1.213.000
	Dunkerque	24.500	2.900	215.000
1976	Gravelines	12.689	1.744	357.671 (étiage)
	Dunkerque	21.535	1.981	300.647

Il est difficile de tirer une conclusion générale de cette étude qui ne porte que sur quelques jours . Si l'on calcule le rapport de la charge en matière organique sur le débit (tableau ci-dessous), il semble que les eaux provenant de Dunkerque sont plus chargées en effluents ; mais le débit de l'Aa étant plus élevé, la pollution apportée par ce dernier serait égale ou supérieure à celle issue de l'avant-port est de Dunkerque .

		D.C.O./débit	D.B.O. ₅ /débit
1975	Gravelines	0,034	0,005
	Dunkerque	0,114	0,013
1976	Gravelines	0,035	0,005
	Dunkerque	0,072	0,007

Les teneurs en sels nutritifs relevées à Dunkerque et Gravelines sont élevées par rapport à celles de la Manche (tableau 2) . Elles sont faibles comparées à celles que l'on peut observer au voisinage d'autres arrivées d'eau douce (delta du Rhône, Ostende, Baie de Seine) .

Tableau 2 -

Sites	N-NH ₄ ⁺ µatg/l	N-NO ₂ ⁻ µatg/l	N-NO ₃ ⁻ µatg/l	P-PO ₄ ³⁻ µatg/l	Si-SiO ₃ ⁻ µatg/l
Manche, valeurs maximales (SYKES et BONEY, 1970) (*)			10,50	0,44 à 0,70	
Partie occidentale de la Manche (ARMSTRONG, BUTLER et BOALCH, 1966)			1 à 6	0,05 à 0,55	0,5 à 9
Mer du Nord-Ostende (SEGBARTH-ORBAN, 1975) Valeurs maximales (**)	50	31,5	96	1,23	28,6
Proximité du delta du Rhône, valeurs maximales (BLANC, LEVEAU et SZEKIELDA, 1969, BERLAND, BONIN et MAESTRINI, 1974)			38,3 43	2,43 4	
Baie de Seine, valeurs maximales (juin 74 à déc. 77) (R.N.O.) st.1 st.5	38(60) 25(40,9)	11(51,5) 3(5)	188(204,6) 62(85)	14(18,6) 5(10)	75 35,4
Gravelines, valeurs maximales : 1974-1975 1976-1977 (sauf st.Aa) (moyenne/campagne, M, L, C)	9,92 8,56	1,41 1,10 0,90	32,38 19,14 17,66	3,3 1,91(3,17) 1,34	14,5 14,1 12,1
Dunkerque, valeurs maximales nov. 75 à oct. 76 nov. 76 à sept. 77	13,8 13,1(18,5)	1,52(2,44) 1,88	32,3 23,1	4,3 3,2	19,0(28,0) 18,7(20,6)
Normes selon ELSKENS (1971) (Etat non pollué, non limitant vis-à-vis de la croissance des populations (***))		0,2	5	0,48	

(*) - Les auteurs ont tenu compte des travaux de COOPER (1958), ARMSTRONG et HARVEY (1950) et ARMSTRONG et BUTLER (1959).

(**) - Valeurs relevées à la station Oostendebank Oost à 2 miles de la côte (période mars 1970 à mars 1971). Valeurs données en µatg/l à partir des courbes tracées en mg/l).

(***) - Valeurs calculées en µatg/l à partir des chiffres cités en µg/l par ELSKENS.

Fig. 39 : Variations comparées des concentrations en Ammoniac à Dunkerque (—) et à Gravelines (---) (Valeurs moyennes par campagne)

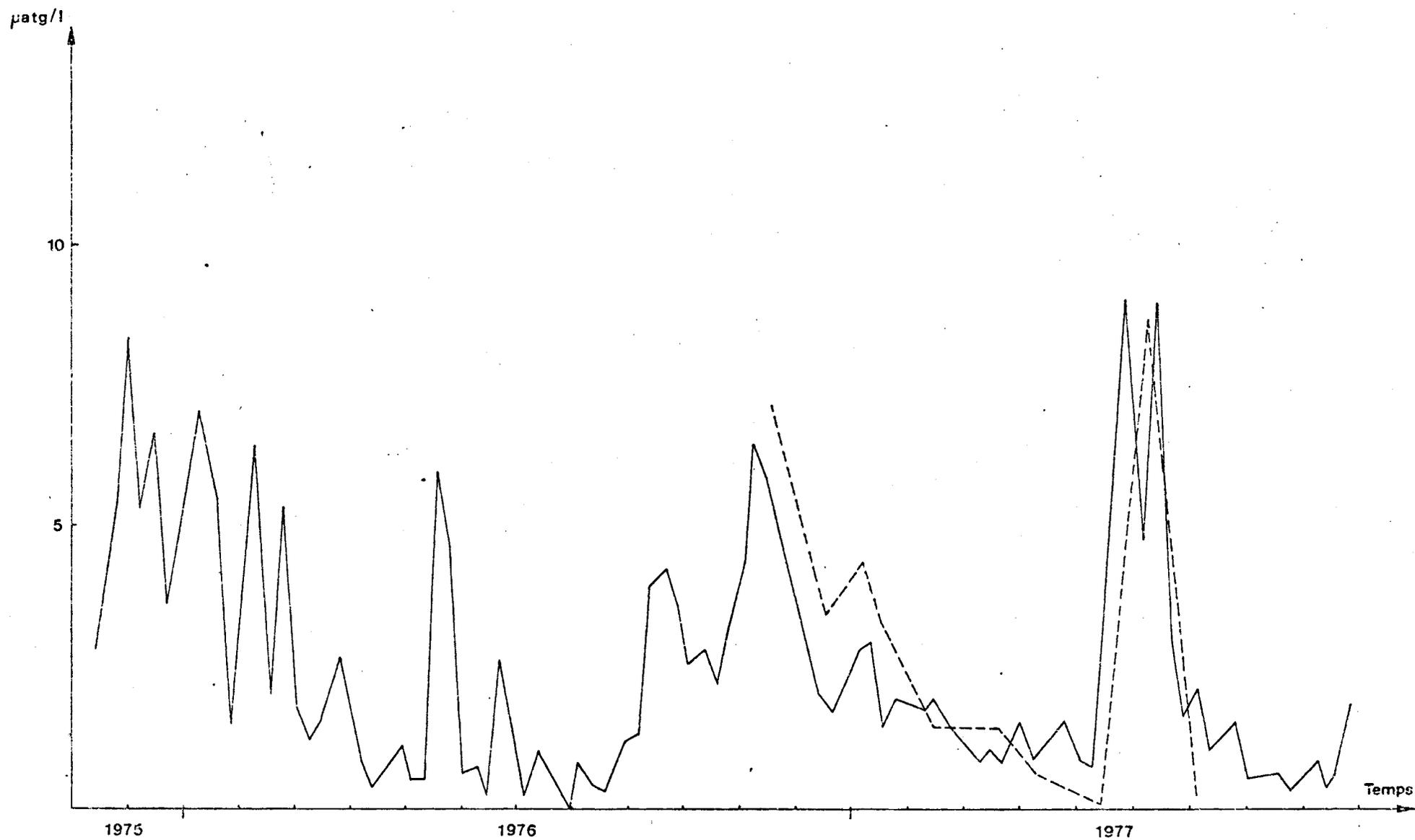


Fig. 40 : Variations comparées des concentrations en Nitrites à Dunkerque (—) et à Gravelines (----) (Valeurs moyennes par campagne)

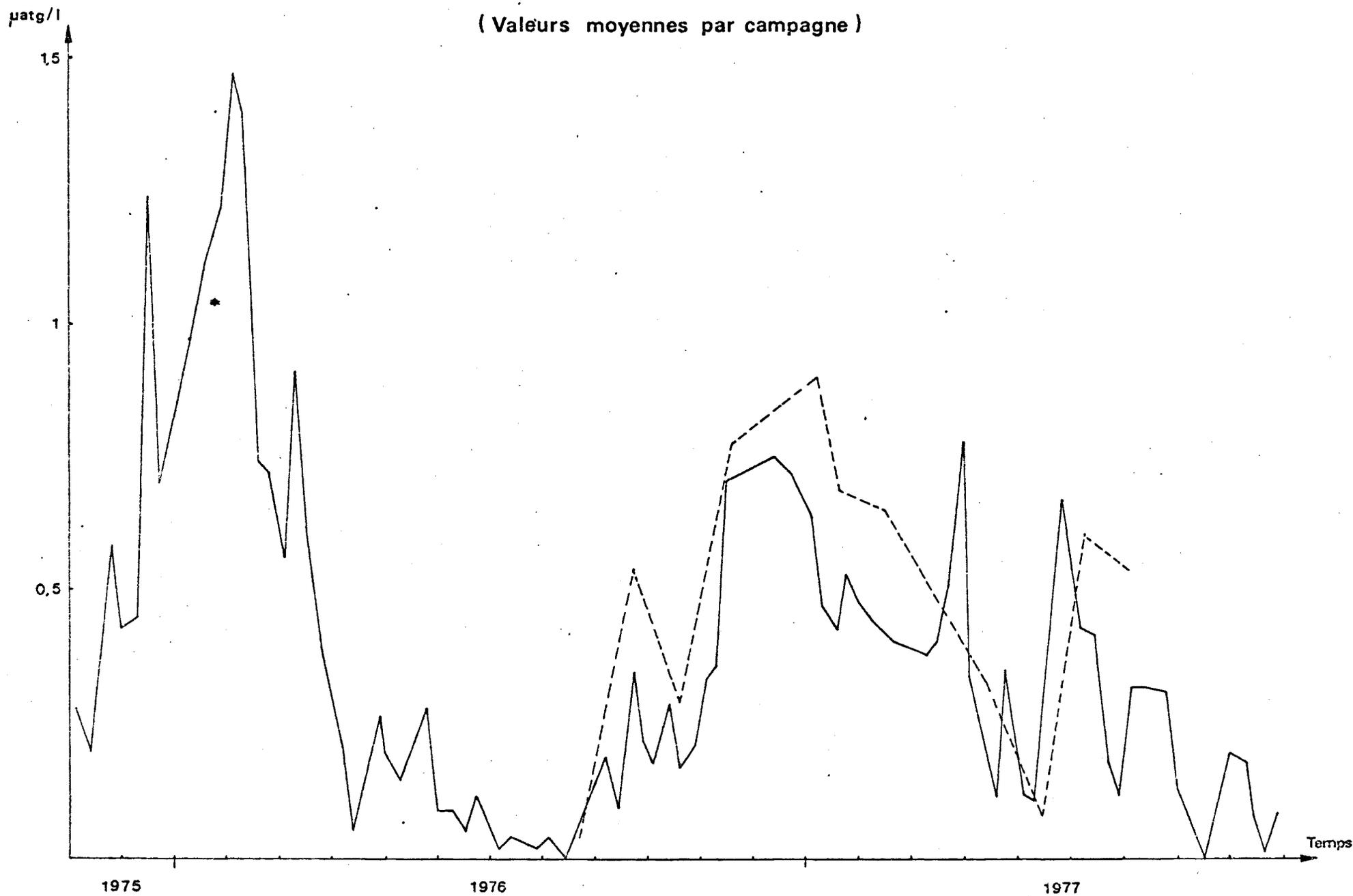


Fig. 41 : Variations comparées des concentrations en Nitrates à Dunkerque (—) et à Gravelines (---) (Valeurs moyennes par campagne)

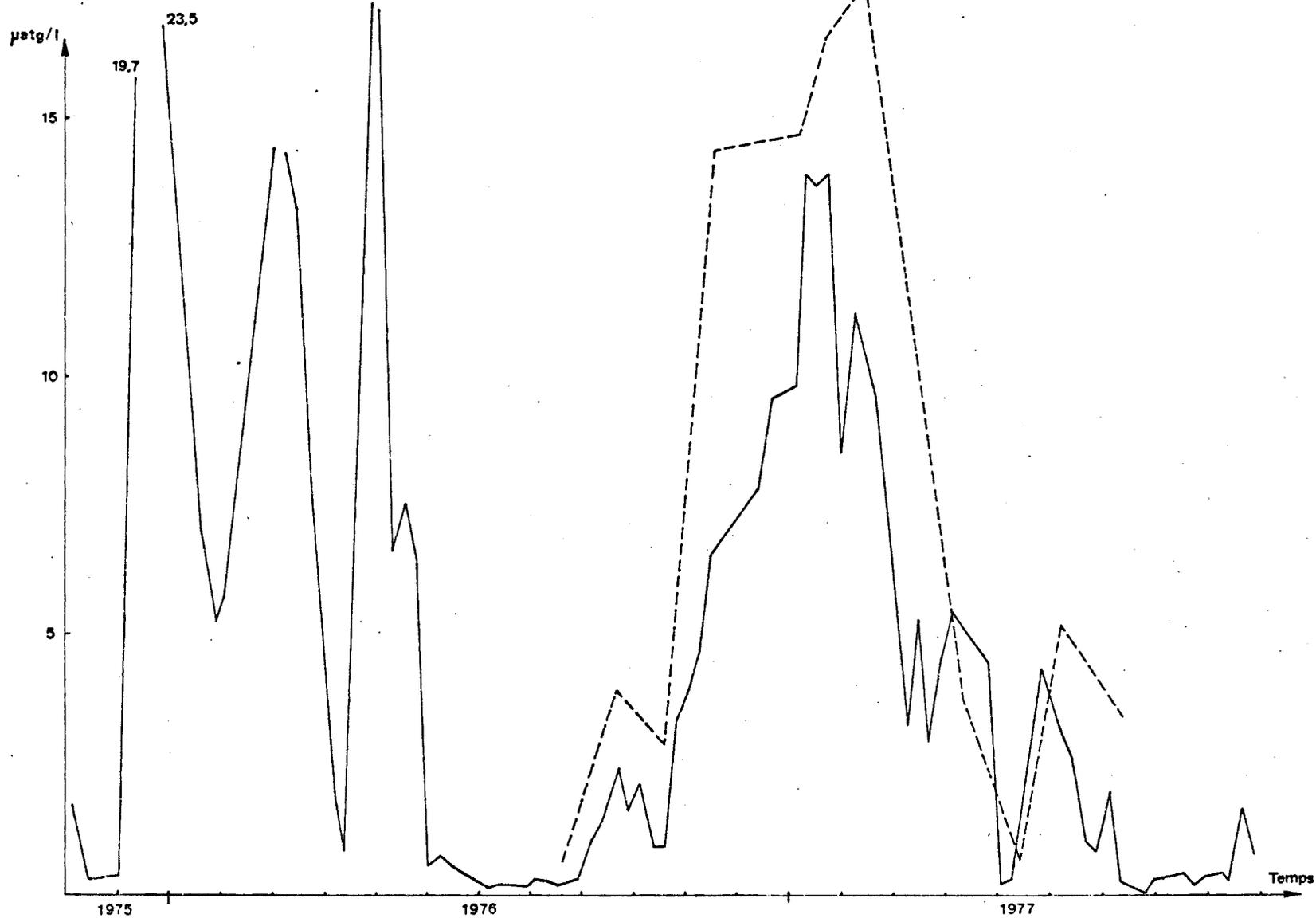


Fig. 42 : Variations comparées des concentrations en Phosphates à Dunkerque (—) et à Gravelines (---) (Valeurs moyennes par campagne)

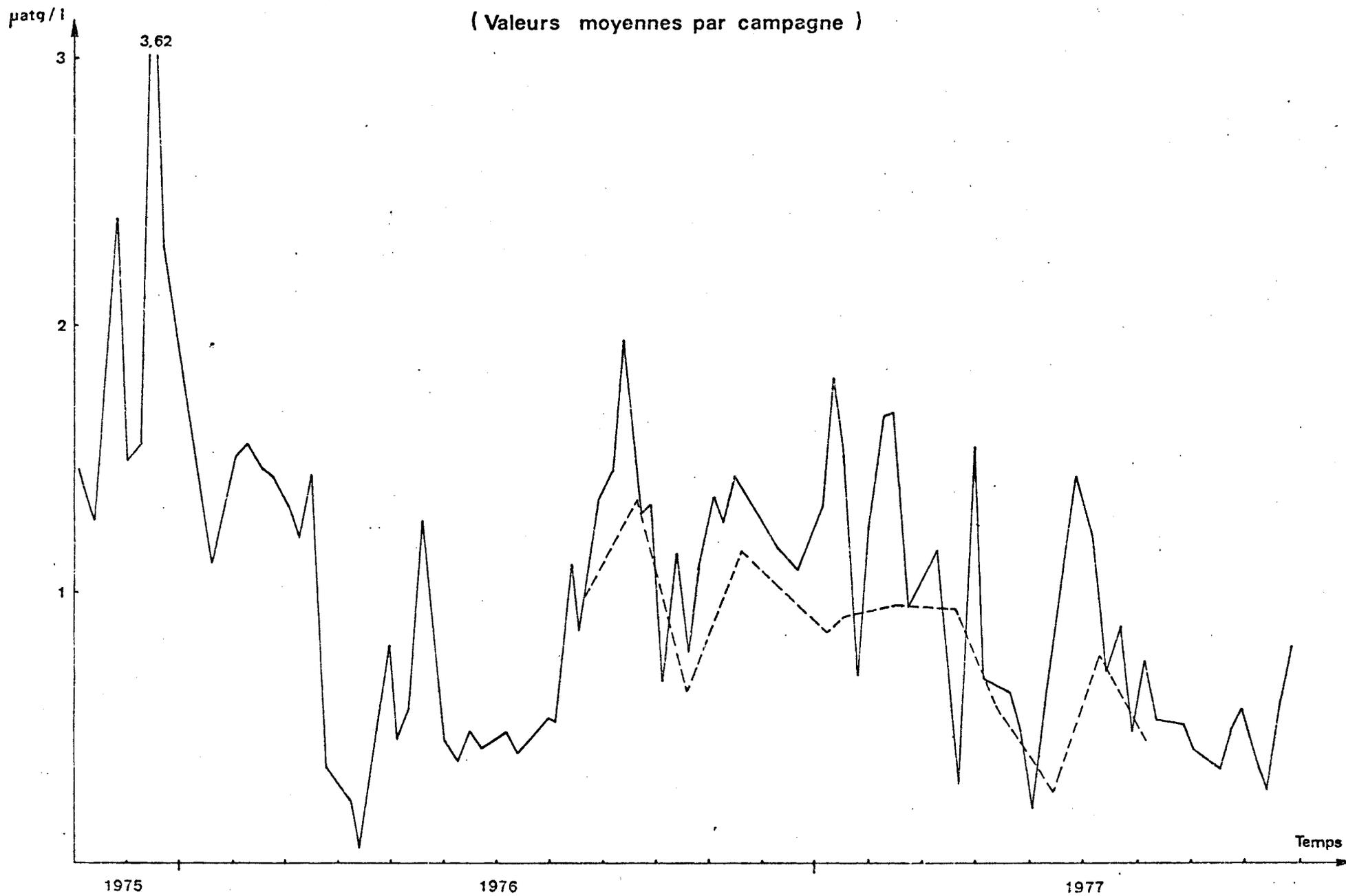
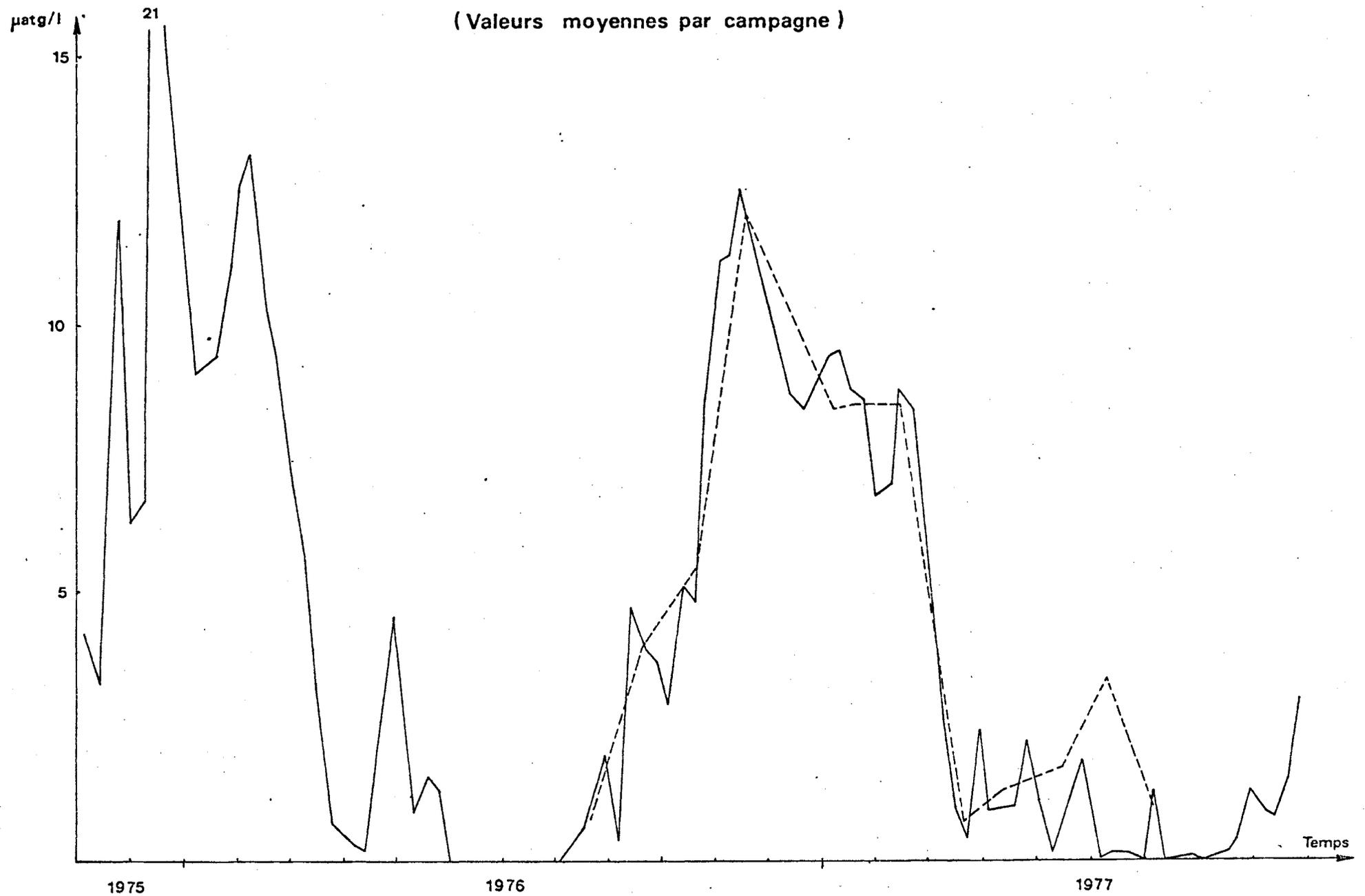


Fig. 43: Variations comparées des concentrations en Silicates à Dunkerque (—) et à Gravelines (----) (Valeurs moyennes par campagne)



Les normes définies par ELSKENS (1971), sont souvent dépassées . On peut dire que le milieu est eutrophe .

Les variations des sels nutritifs sont les mêmes sur les sites de Dunkerque et de Gravelines (fig.39 à 43) . Les moyennes des teneurs en sels nutritifs pour la période commune d'étude (16 août 1976 ou 4 juillet 1977) sont les suivantes :

(µatg/l)	Dunkerque (pts 1,2,3)	Gravelines (st.M,L,C)
$N-NH_4^+$	2,9	3,1
$N-NO_2^-$	0,37	0,49
$N-NO_3^-$	5,1	7,7
$P-PO_4^{3-}$	1,2	0,8
$Si-SiO_3^-$	7,5	4,6

du 15.11.76 au
4.07.77

Gravelines : pas
de valeur en
décembre 76

Les sels nutritifs azotés sont un peu plus abondants à Gravelines . La quantité de phosphates et de silicates est plus importante à Dunkerque . Il peut y avoir un apport accru de phosphates au niveau de l'avant-port est, conséquence des rejets de détergents dans la région dunkerquoise . Ou alors, la consommation des phosphates à Gravelines étant insuffisante pour en épuiser le stock, l'eau parvient à Dunkerque encore chargée en phosphate, ce qui n'est pas le cas pour les sels azotés, facteur limitant à Gravelines .

La faible différence entre les deux sites résulte de la dilution des eaux apportées par l'Aa, à laquelle s'ajoute la consommation par la phytoplancton . Les sels nutritifs présents dans le milieu de Dunkerque auraient pour origine essentielle les apports de l'avant-port est .

2 - Variations .

Il n'y a pas relation entre les sels nutritifs et la salinité . Les variations des sels nutritifs sont principalement régies par le cycle des populations planctoniques .

Les courbes de variation des sels nutritifs dans le temps (fig.39 à 43), ont une allure identique : maximum en hiver, minimum au printemps et en été . Nous interpréterons ces variations à l'aide de ce que nous avons observé à Gravelines .

L'allure en dents de scie des courbes traduit une variation rapide de ces paramètres, surtout dans le cas de l'ammoniac et des phosphates .

A la fin de l'automne et au début de l'hiver, la consommation par le phytoplancton est très faible . Il y a reminéralisation à partir des organismes morts et des apports terrigènes constants : le stock de sels nutritifs

augmente . Les fortes valeurs du mois de décembre 1975 semblent être la conséquence de l'arrivée d'eau douce importante . De telles hausses de sels nutritifs se produisent en mai 1976 (pour les nitrates et silicates, mais les phosphates ne montrent pas cette hausse accusée) et en mai 1977, à la côte .

A partir des mois de janvier-février, quand la température de l'eau remonte et que l'éclairement augmente, la population phytoplanctonique se développe en assimilant une partie des sels nutritifs dissous . La hausse du mois de février 1976, sur l'ensemble de la zone, s'explique difficilement par une dessalure : si celle-ci existe bien à la côte, on ne l'observe pas au large . Sans doute la chute importante de température a-t-elle entraîné la mort des phytoplanctontes, dont la croissance a repris en mars . Celle-ci est légèrement interrompue au milieu du mois par une nouvelle baisse thermique . A l'élévation rapide de température de l'eau, associée à un éclairement plus important, au mois d'avril, correspond une croissance accrue qui se solde par un appauvrissement général des sels nutritifs . Ceux-ci atteignent alors leurs taux minima . On retrouve à peu près le même schéma en 1977 ; la chute thermique se situe alors au début du mois d'avril .

Le manque de sels nutritifs disponibles et l'apparition probable du zooplancton causent alors la disparition du phytoplancton, ce qui permet la réapparition des sels nutritifs (apports extérieurs, reminéralisation des phytoplanctontes morts et des produits d'excrétion du zooplancton) . A ce moment pourraient se développer les organismes du genre *Phaeocystis* (*), d'où la nouvelle chute de sels nutritifs ; mais celle-ci est ressentie au niveau des silicates, qui ne sont pas assimilés par ces organismes . La population phytoplanctonique, qui ne semble donc pas composée de *Phaeocystis*, se développe jusqu'à la fin de l'été . La pointe d'ammoniac en juin 1976 et 1977 résulterait de la transformation des produits d'excrétion du zooplancton ; l'ammoniac, aussitôt réutilisé par le phytoplancton, n'a pas le temps de se transformer en nitrites . La poussée de *Phaeocystis* observée à Gravelines en avril-mai 1977 n'est pas décelable à Dunkerque .

Après la disparition du phytoplancton estival en août s'amorce le réenrichissement en sels nutritifs, ralenti en octobre par la poussée secondaire automnale .

(*) - Les *Phaeocystis* sont des organismes unicellulaires groupés en colonie, chaque colonie étant enfermée dans une gangue gélatineuse . Leur développement peut être très rapide et prendre des proportions considérables . Il y a alors généralement exclusion des autres espèces phytoplanctoniques . Ces poussées se produisent souvent au printemps dans la région de Gravelines ; elles se traduisent par une élévation du p^H et du taux d'oxygène dissous et un appauvrissement en sels nutritifs, excepté les silicates (BOUGARD, 1978) .

Le cycle d'incorporation de l'azote par le phytoplancton est le suivant :

NO_3^- (eau de mer) \rightarrow NO_3^- (cellule) \rightarrow NO_2^- \rightarrow NH_4^+ \rightarrow acides aminés .

Le phytoplancton utilise de préférence l'ammoniac, puis les nitrites et enfin les nitrates . La reminéralisation se fait dans l'ordre inverse . L'ammoniac reconstitué en novembre disparaît rapidement pour être transformé en nitrates dont le stock sera maximal en janvier . De même en septembre, début de la reminéralisation, le taux d'ammoniac est supérieur à celui des nitrites, lui-même plus élevé que celui des nitrates .

La teneur en sulfate varie peu (fig.44 et 45) . On remarque une légère augmentation aux stations 3 et 4 pendant la deuxième année d'étude .

D'après les courbes de variation des sels nutritifs aux différents points (fig.46 à 50), il existe à Dunkerque un gradient côte-large, résultant de la dilution des eaux douces ainsi que de la distribution et de la consommation du phytoplancton . Nous avons représenté dans la figure 51 les relations entre les concentrations en sels nutritifs et la distance à la côte pour les 2 sites, pendant les mois d'hiver durant lesquels la consommation par le phytoplancton est minimale . La dilution est rapide jusqu'à 5km de la côte ; elle semble un peu plus nette à Gravelines

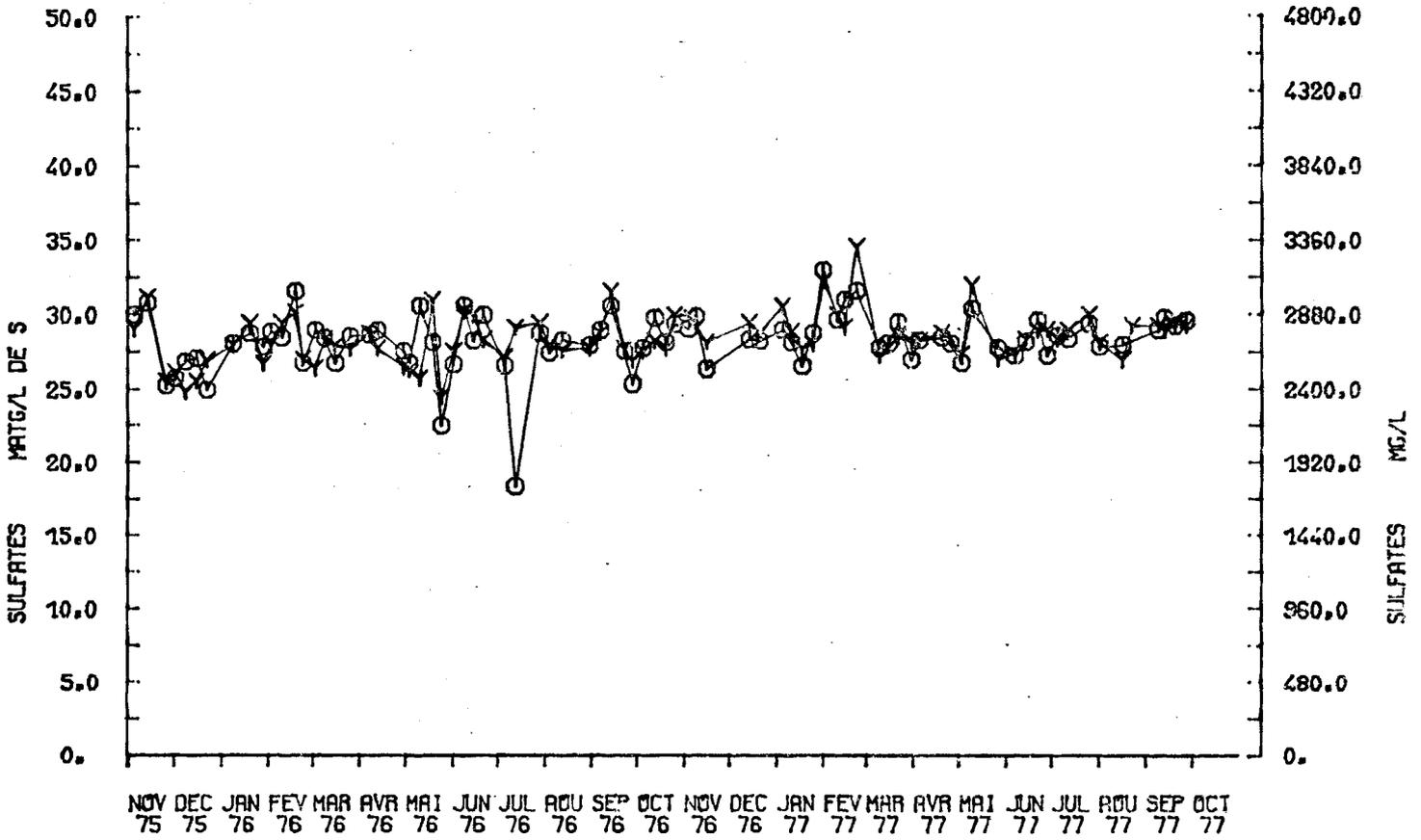
Nous avons établi les diagrammes de dispersion des sels nutritifs entre eux (nitrates, phosphates, silicates) pour toute la durée de l'étude (fig.52 à 54) . Nitrates et silicates présentent un grand nombre de valeurs nulles ou très faibles ; ils constituent à Dunkerque, malgré leurs taux parfois élevés, un facteur limitant pour la croissance du phytoplancton (fig.52) . Ce n'est pas le cas des phosphates (fig.53) . Même quand le milieu est très pauvre en nitrates ou en silicates, les taux de phosphates peuvent être importants . A Gravelines, nitrates et silicates sont aussi des facteurs limitants (fig.55 à 57), mais à un moindre degré . Ils y atteignent rarement des valeurs nulles . Peut-être ceci n'est-il qu'une apparence, le nombre réduit de prélèvements à Gravelines ne permettant pas de déceler les périodes les plus pauvres en sels nutritifs . Sur les deux sites, les apports de phosphates résultant de l'addition d'engrais aux terres cultivées, assurent une présence constante de phosphates, en quantité supérieure aux besoins des populations, même quand leur croissance est maximale . L'eau est d'autant plus riche en phosphates que le phytoplancton est essentiellement constitué de diatomées qui utilisent 9 à 10,4 fois plus de nitrates que de phosphates (HARVEY, 1940) .

Fig. 44: VARIATIONS DES SULFATES

○ Surface

Y Fond

Station 1



Station 2

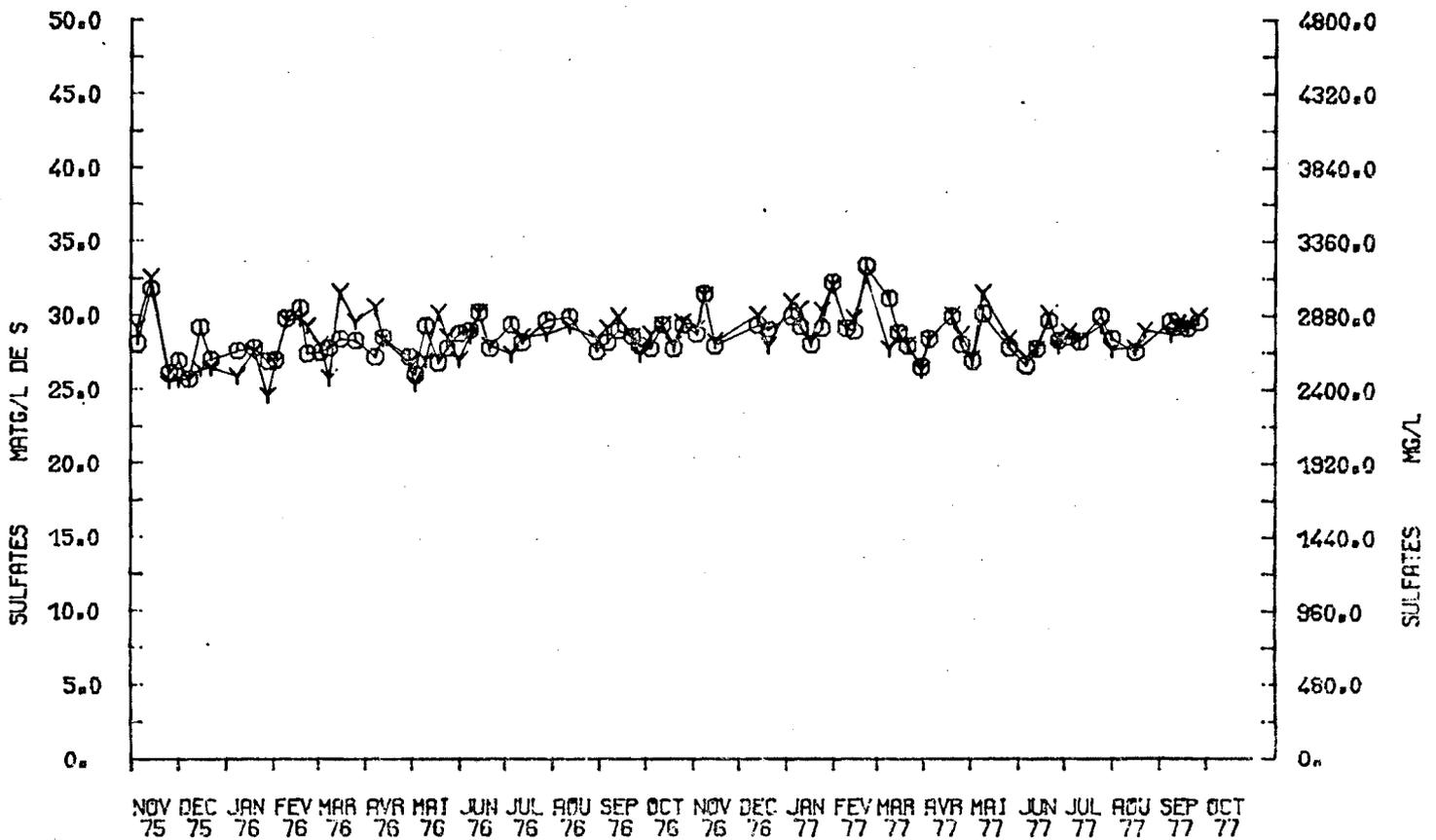
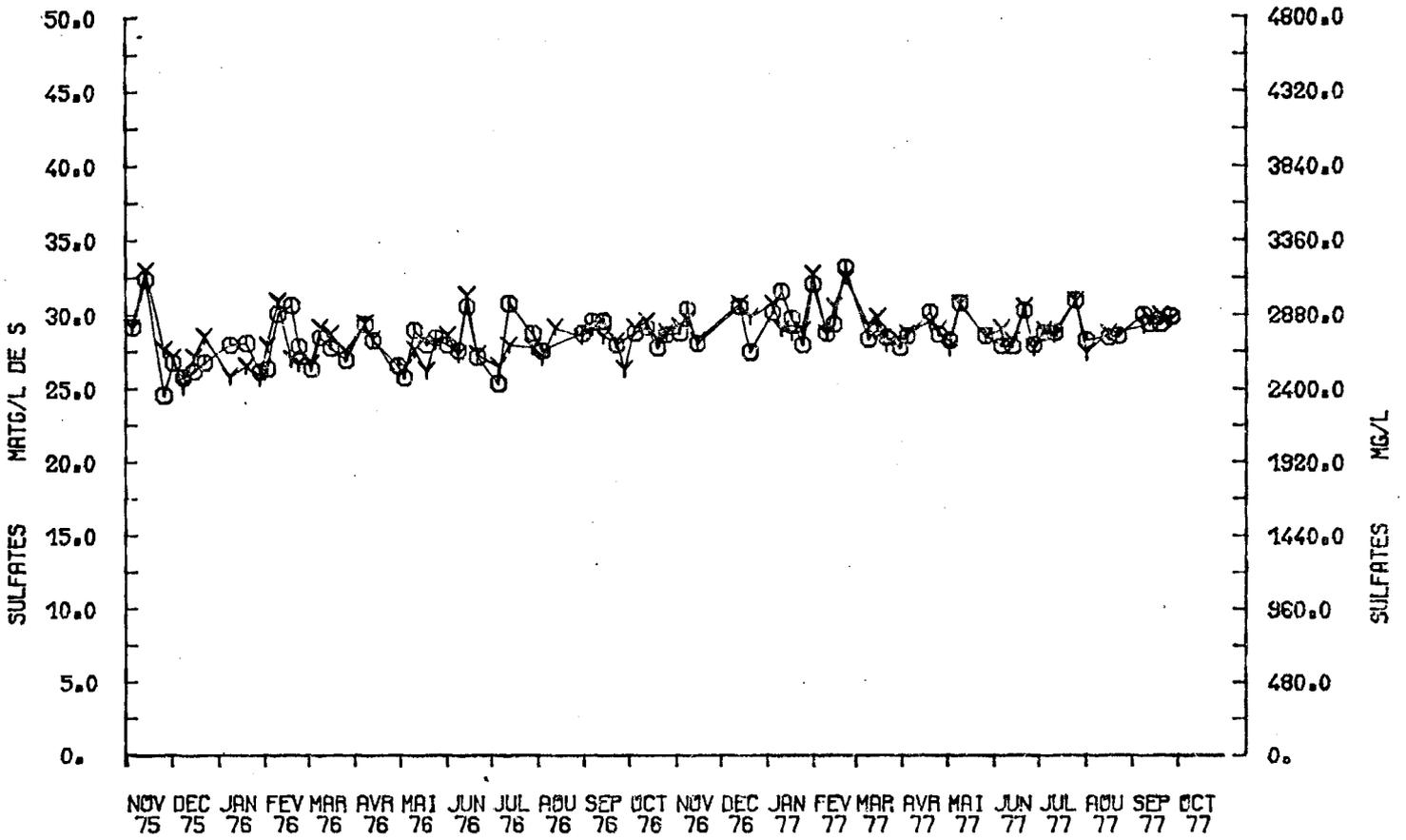


Fig. 45: VARIATIONS DES SULFATES

○ Surface

Y Fond

Station 3



Station 4

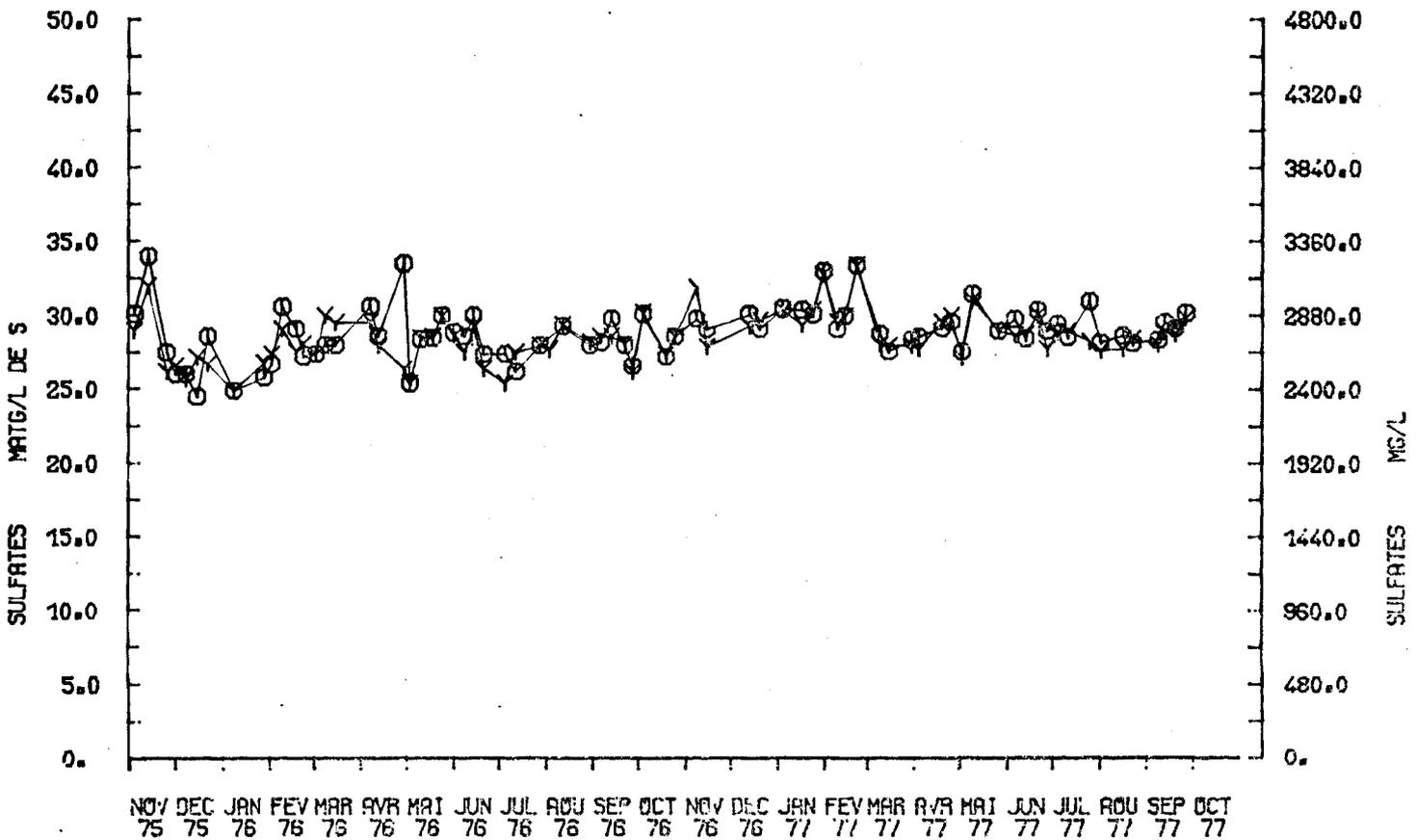


Fig. 46 : Variations de l'Ammoniac à Dunkerque aux quatre stations
du réseau

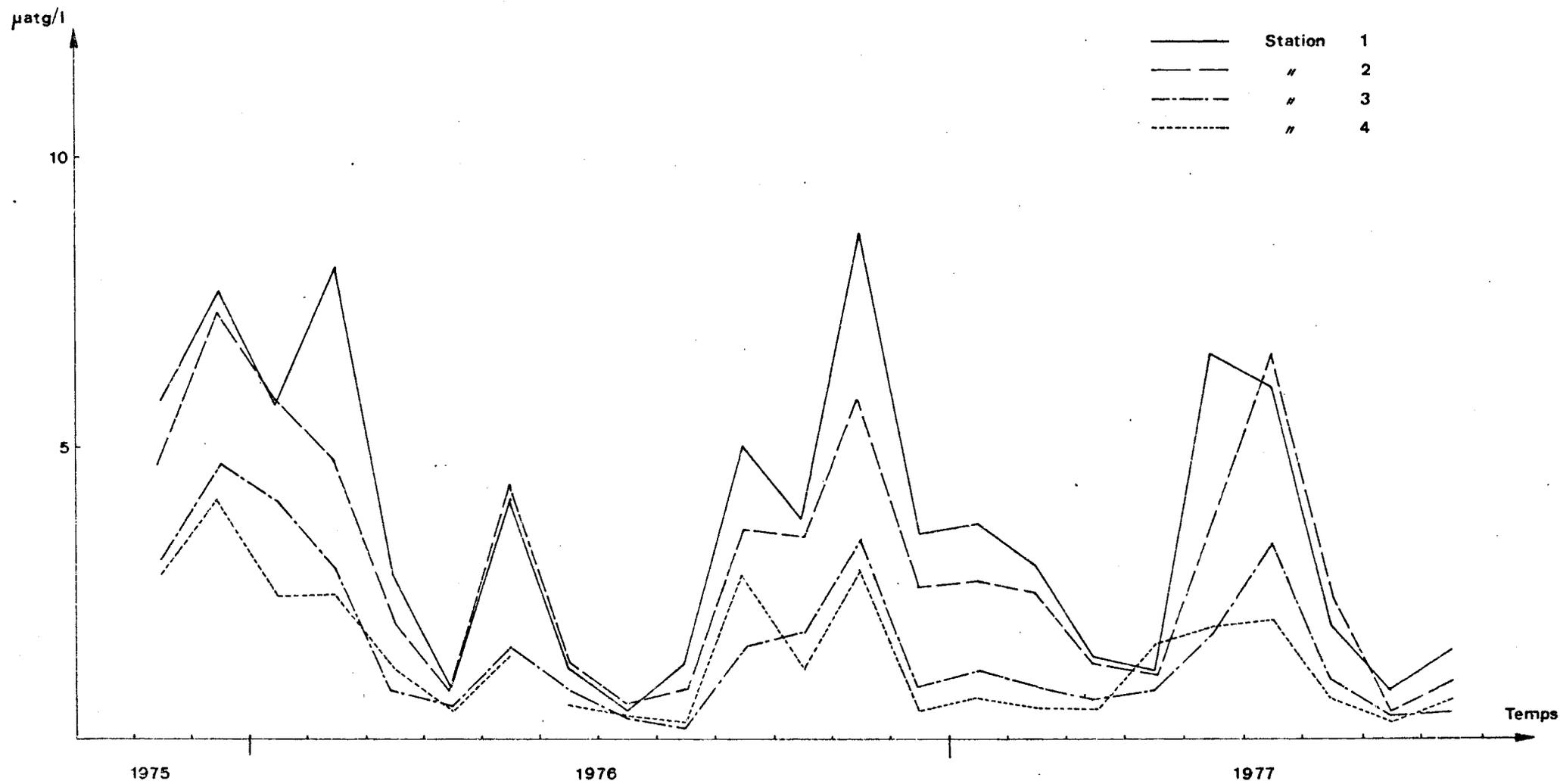


Fig. 47: Variations des Nitrites à Dunkerque aux quatre stations
du réseau

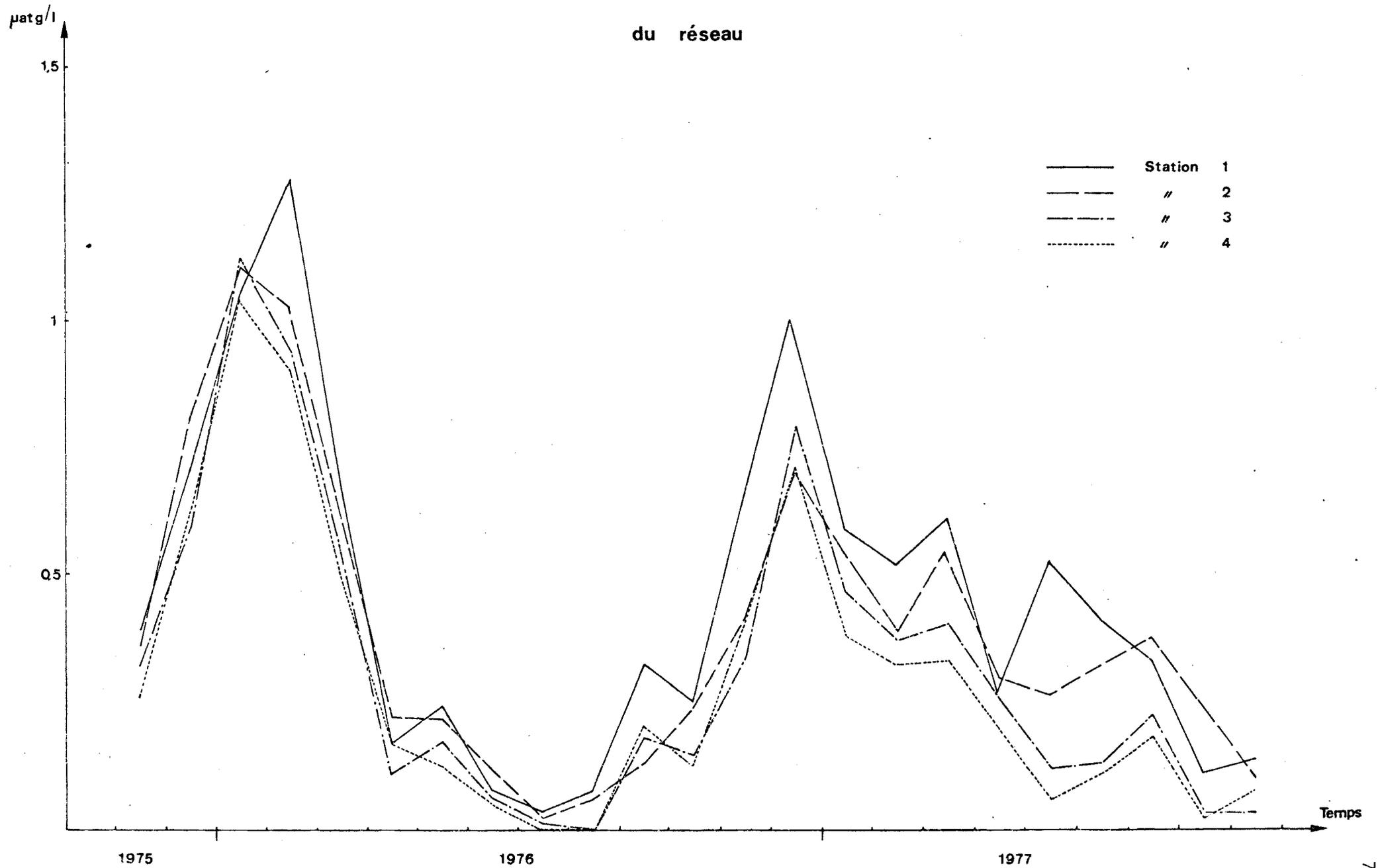


Fig. 48: Variations des Nitrates à Dunkerque aux quatre stations
du réseau

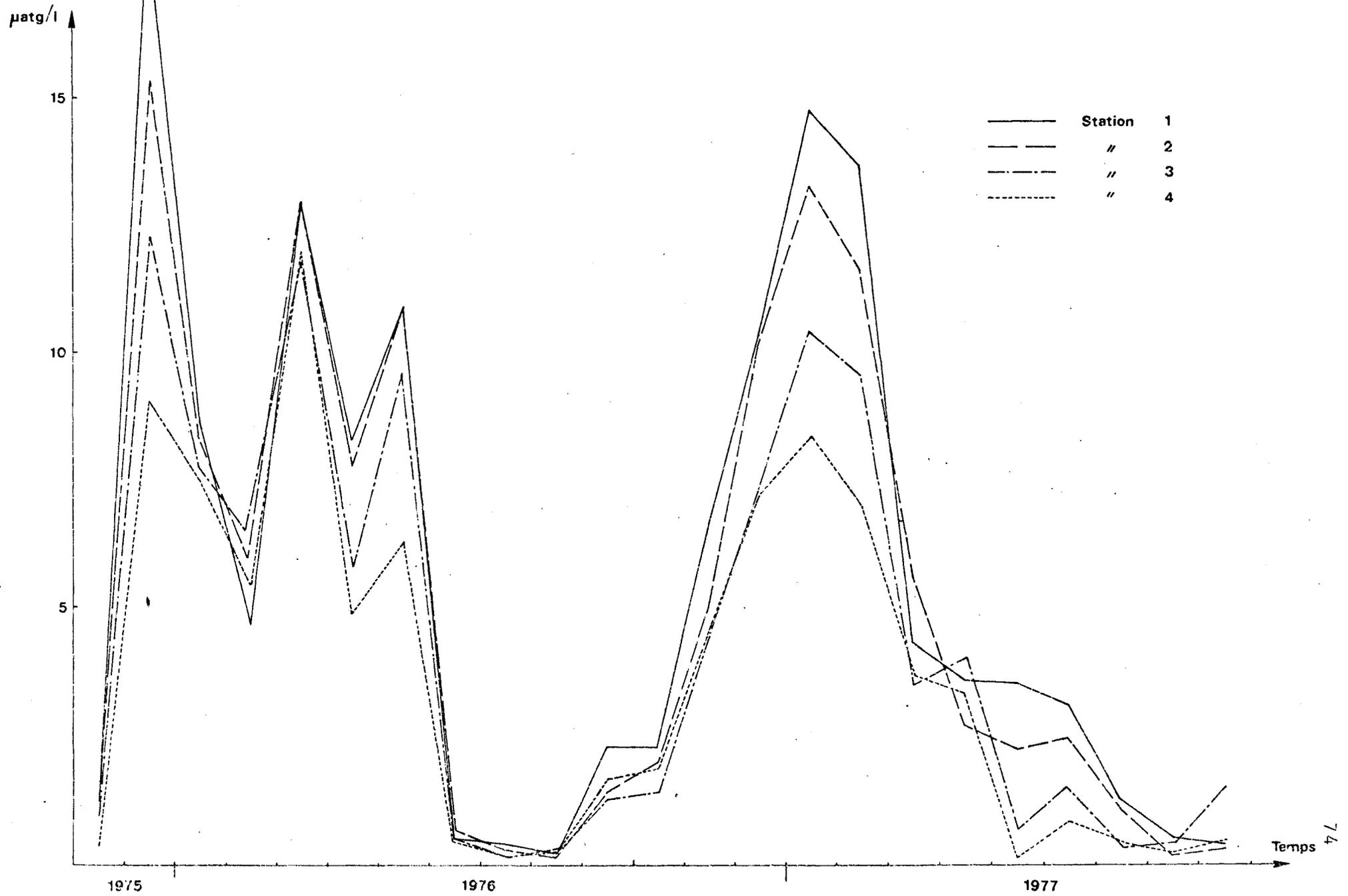


Fig. 49: Variations des Phosphates à Dunkerque aux quatre stations

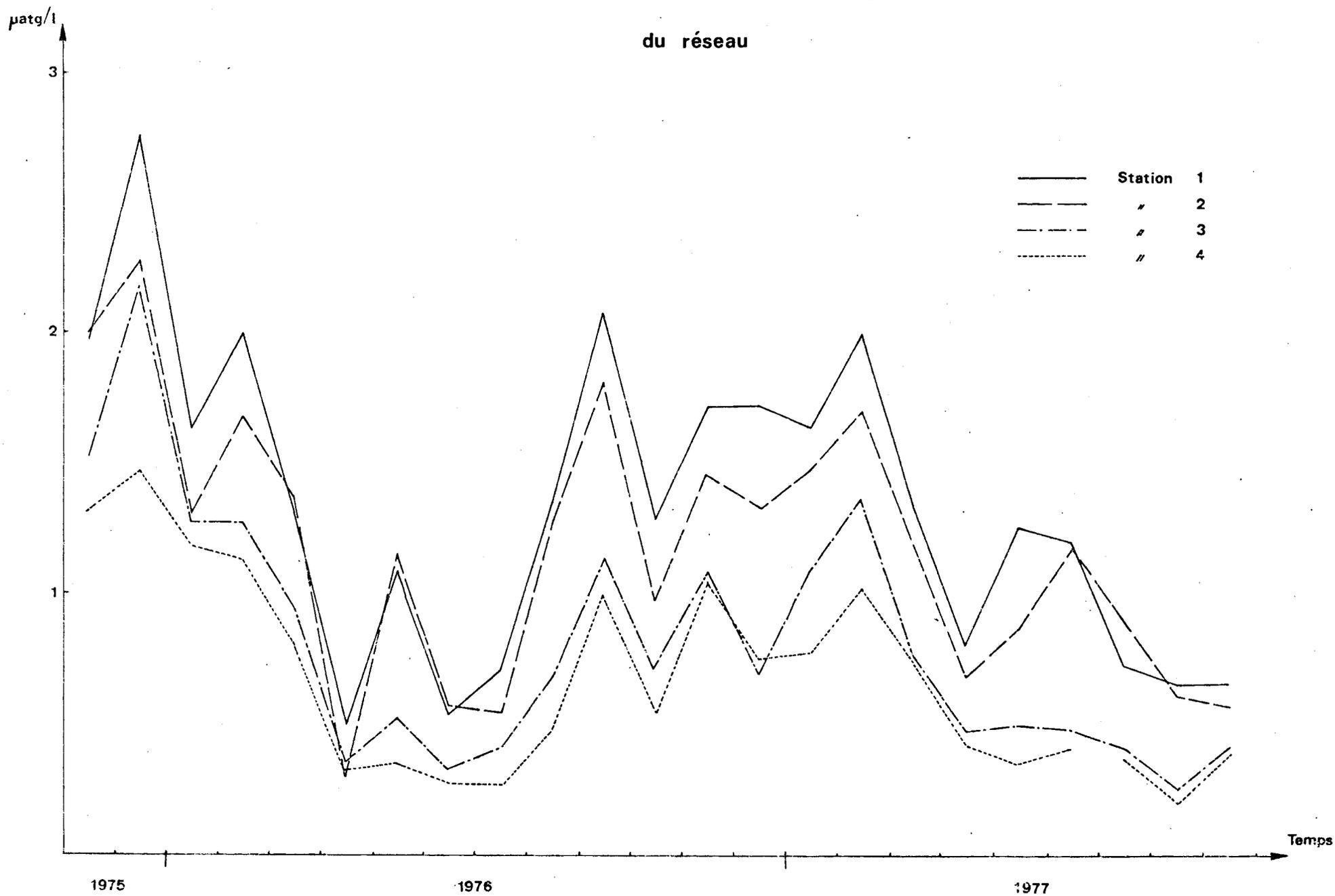
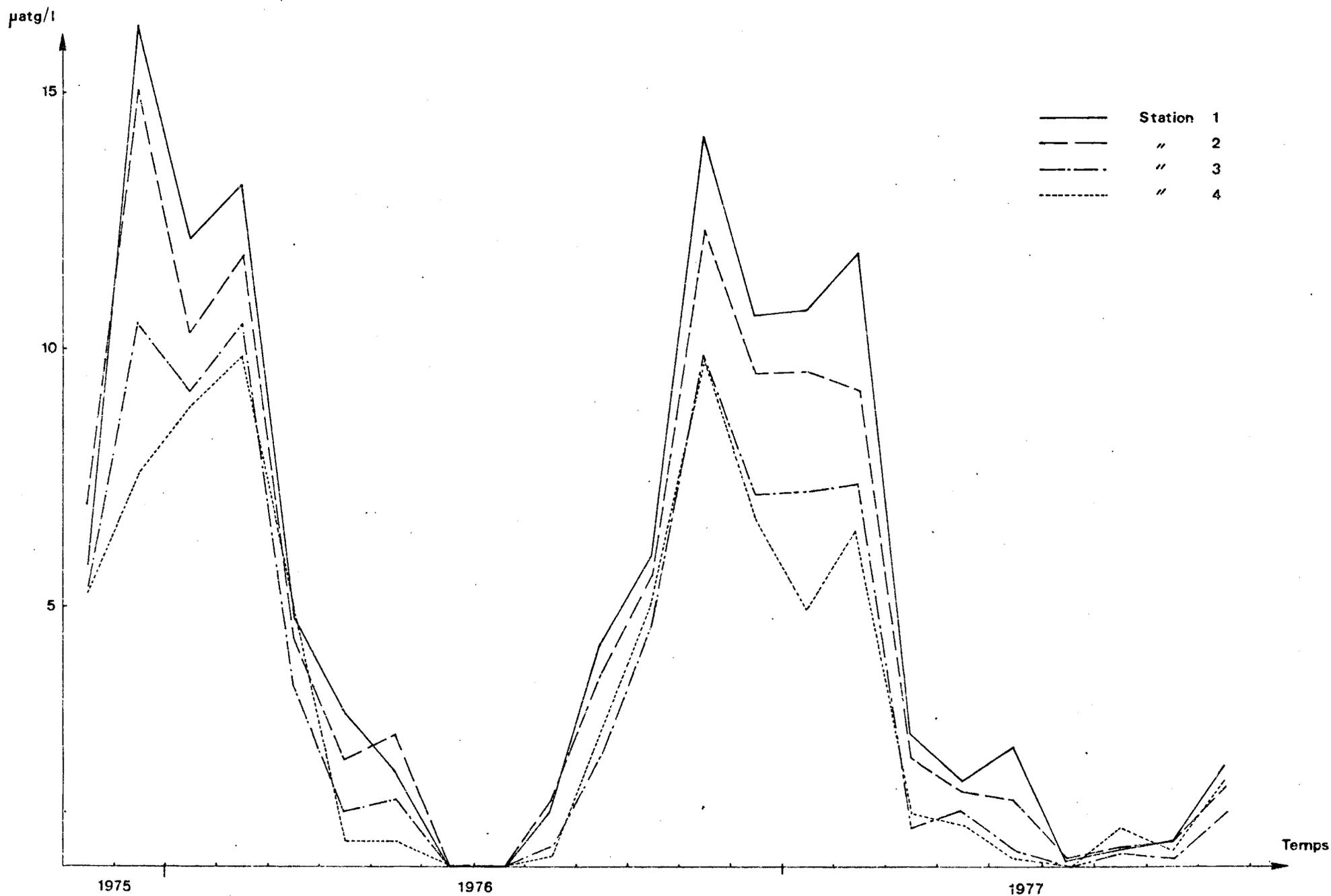


Fig. 50 : Variations des Silicates à Dunkerque aux quatre stations
du réseau



ET LA DISTANCE A LA COTE DURANT LES MOIS

D'HIVER

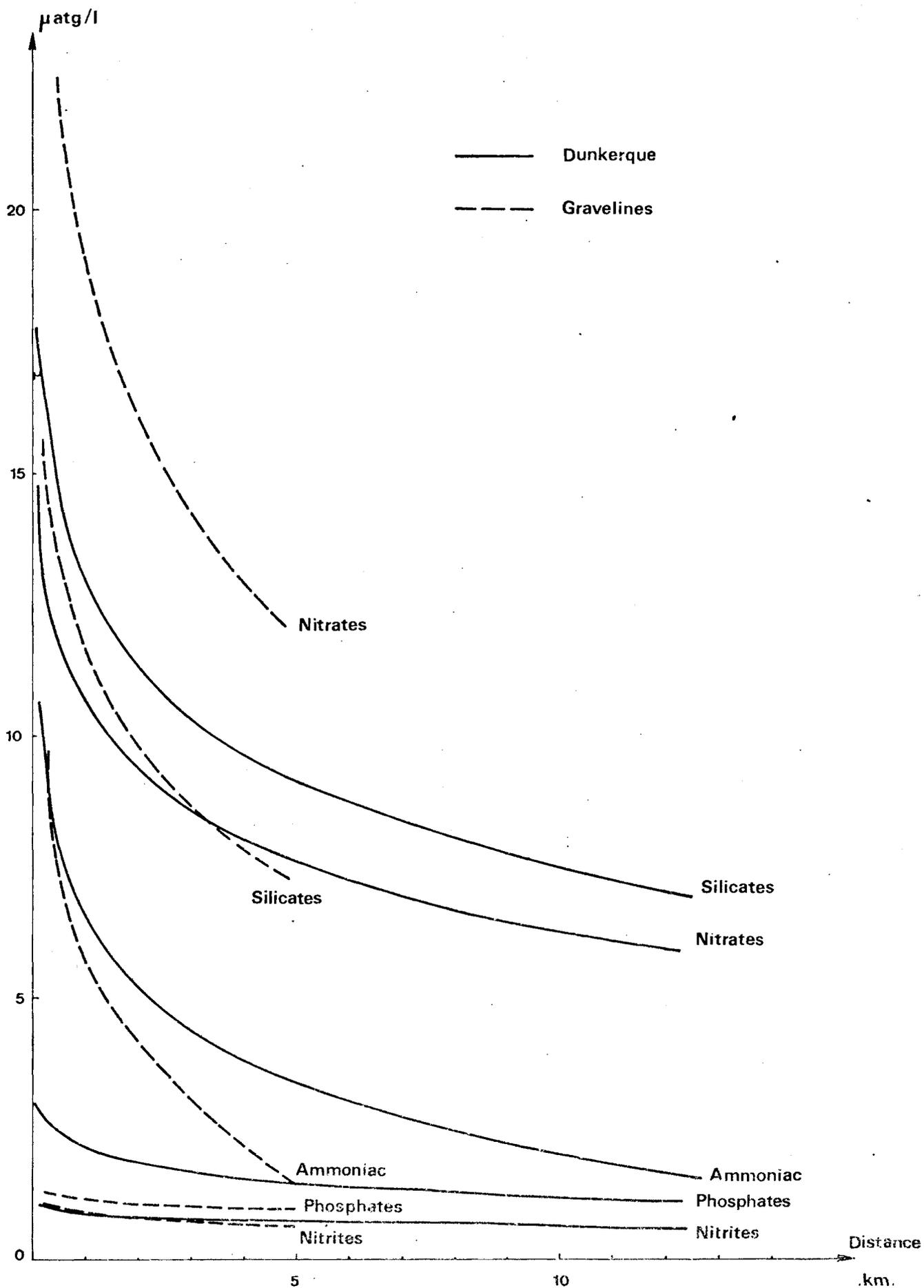


Fig. 52 : Diagramme de dispersion
Silicates-Nitrates
(Novembre 1975)

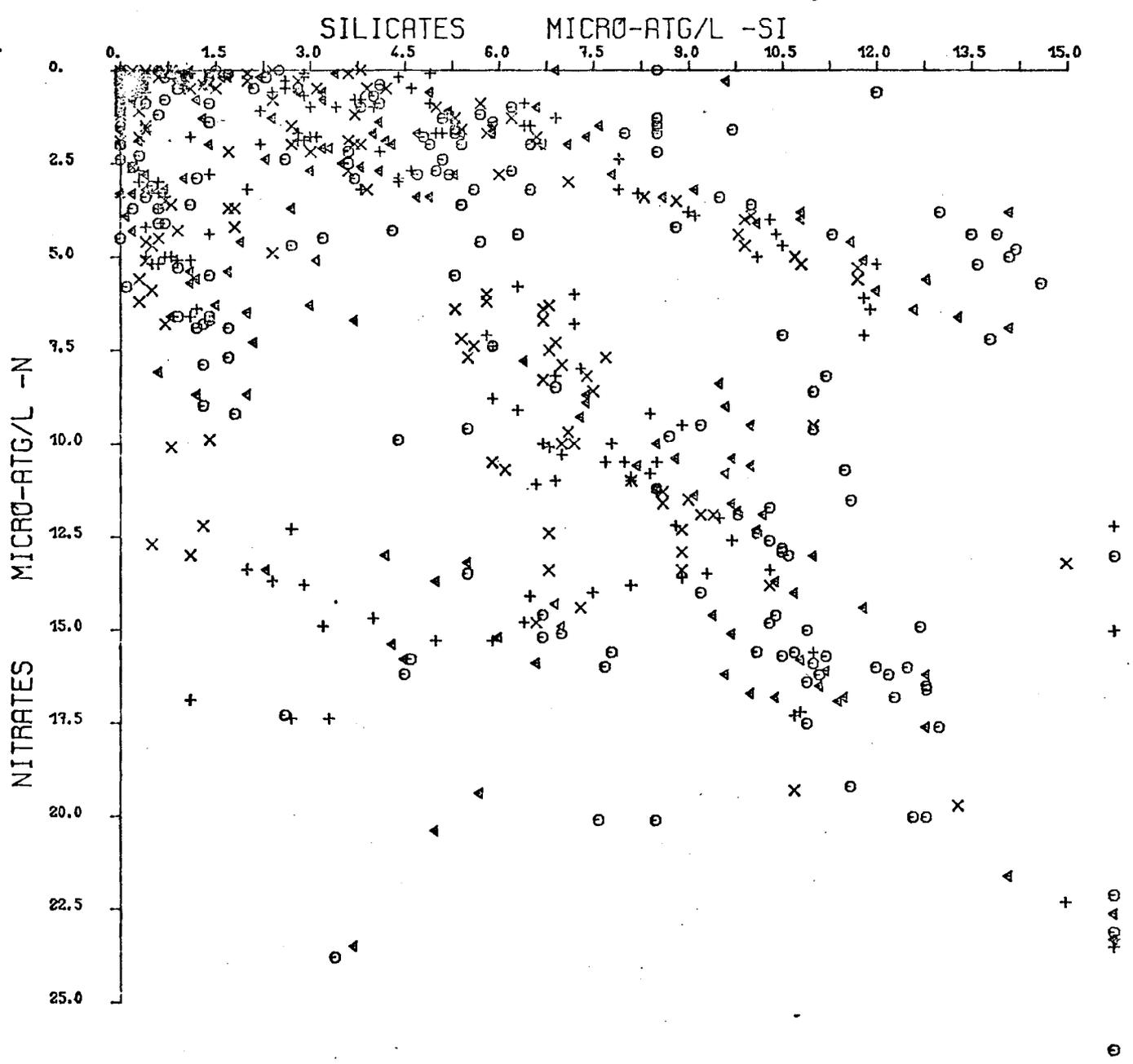


Fig. 53 : Diagramme de dispersion
Silicates - Phosphates
(Novembre 1975)

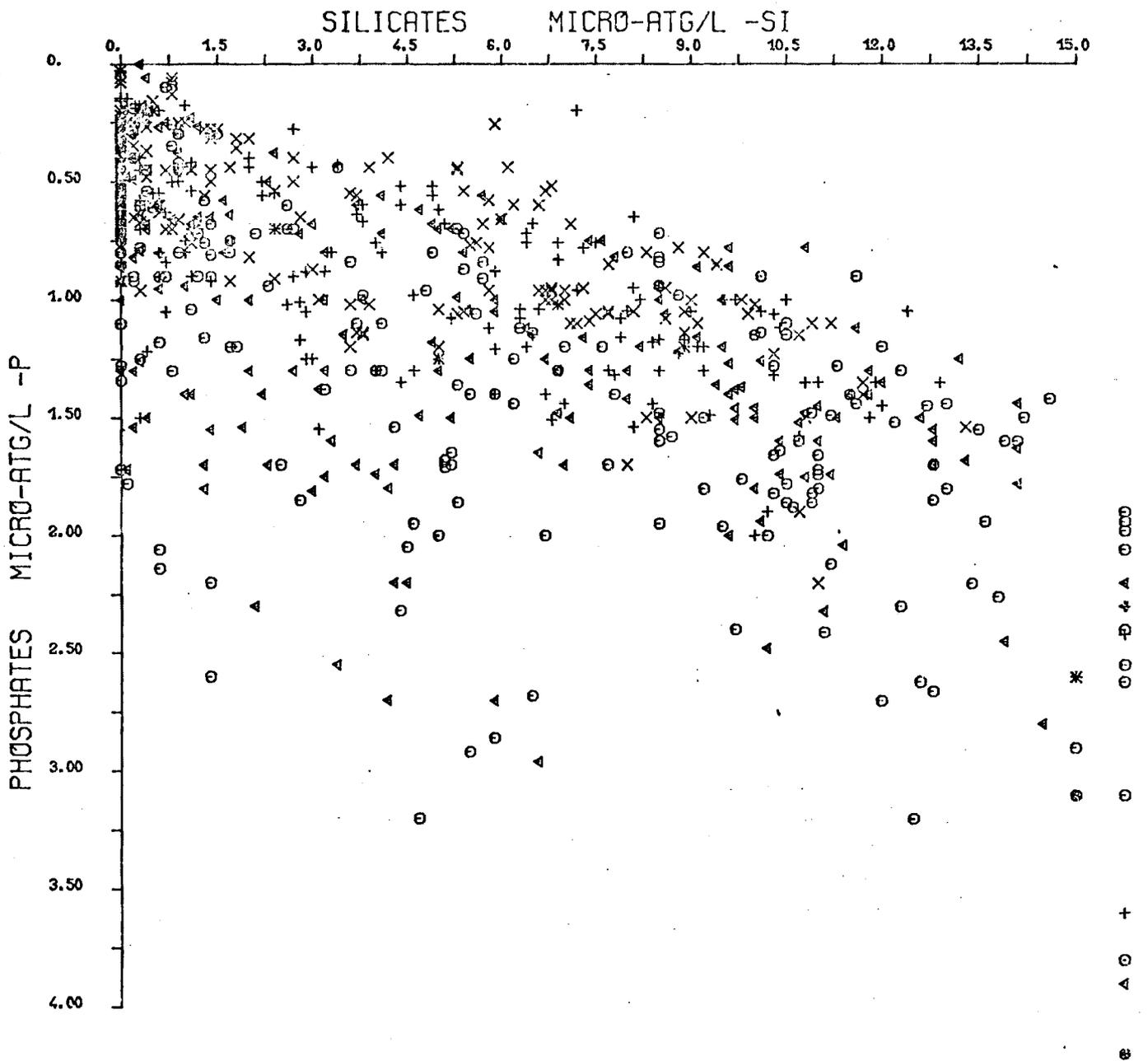


Fig. 54 : Diagramme de dispersion

Phosphates Nitrates

(Novembre 1975)

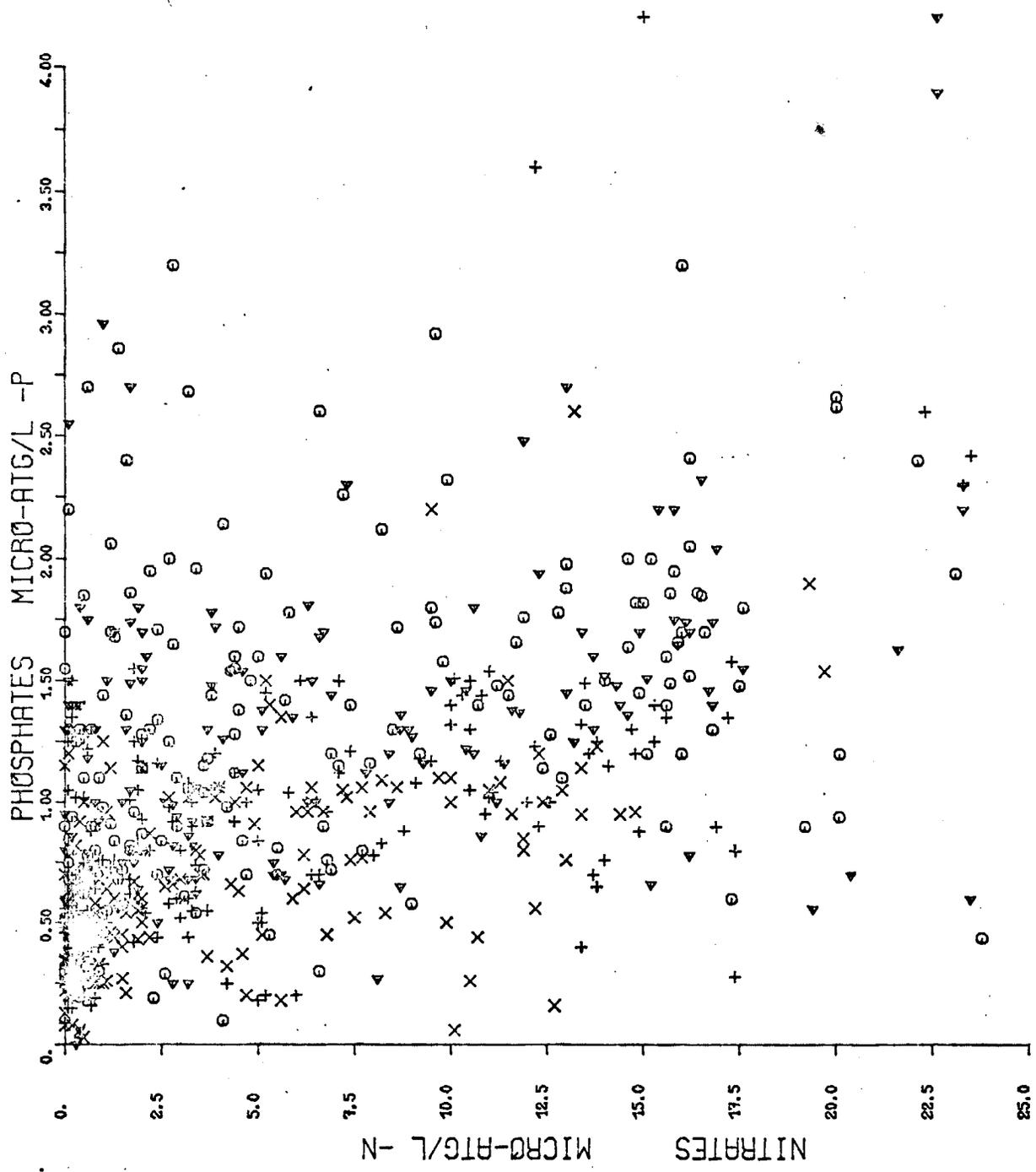


Fig. 55 : Diagramme de dispersion
 Silicates - Nitrates à Gravelines
 (Mars 1975)

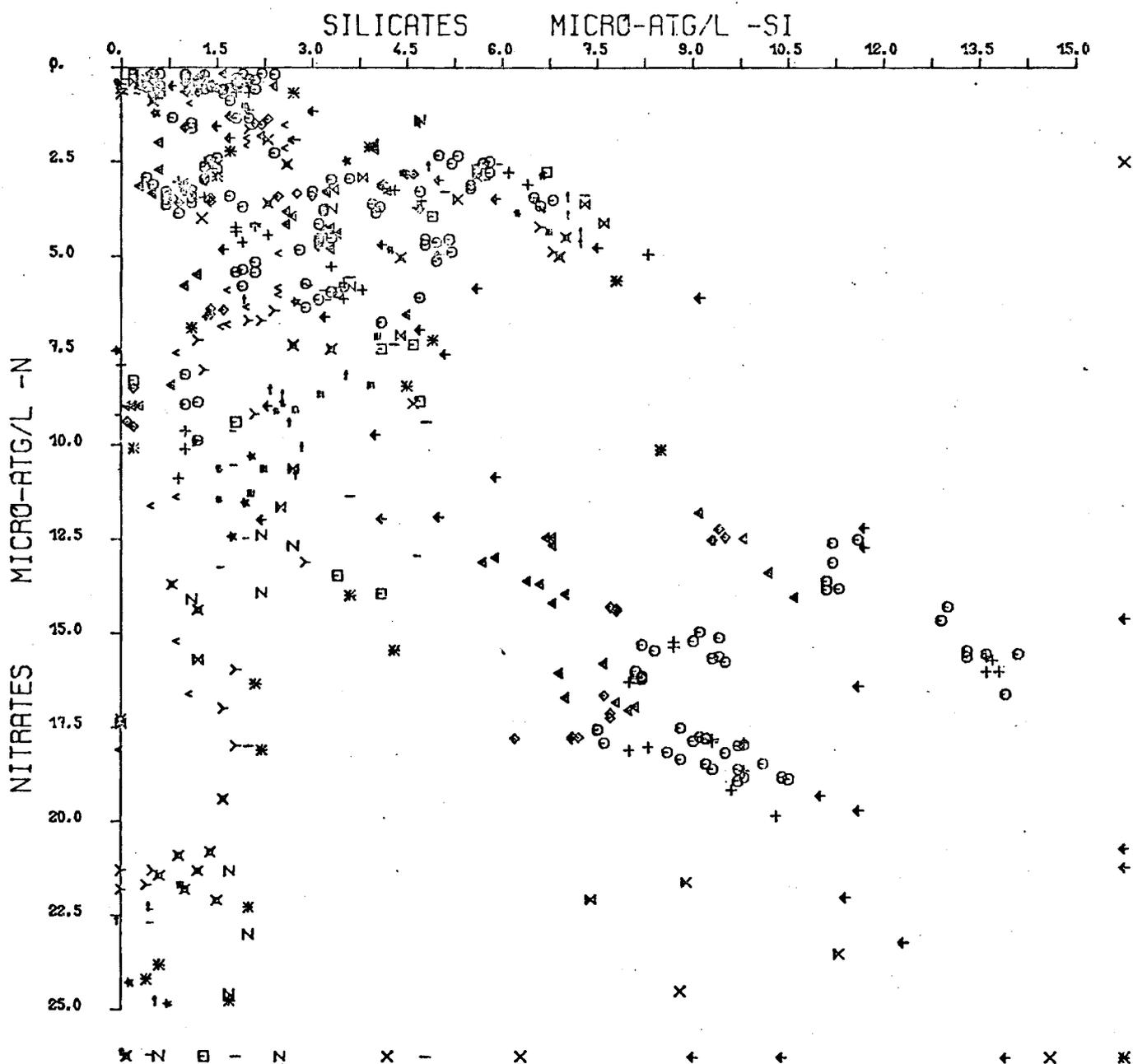


Fig. 56 : Diagramme de dispersion
Silicates - Phosphates à Gravelines
(Mars 1975)

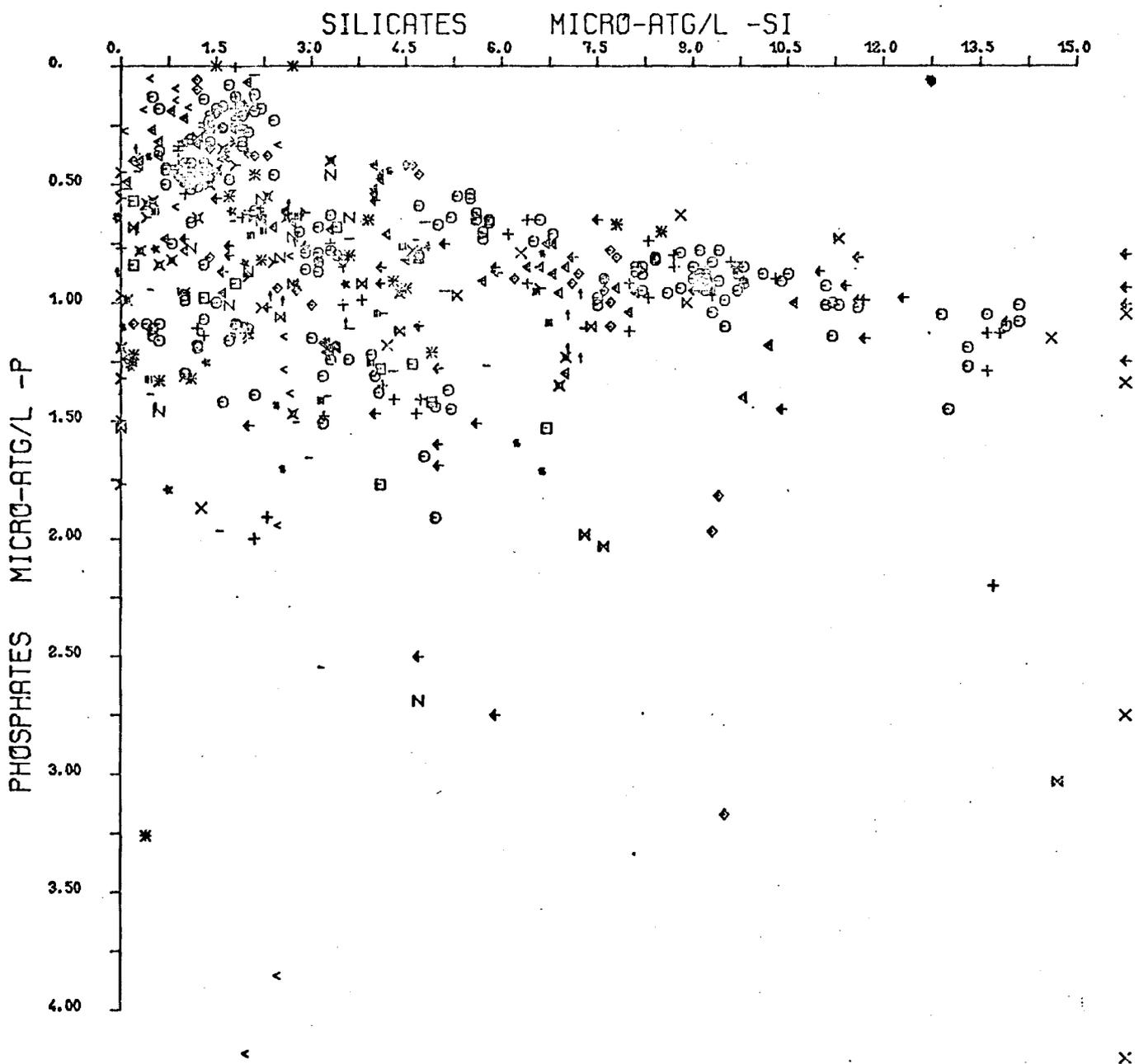
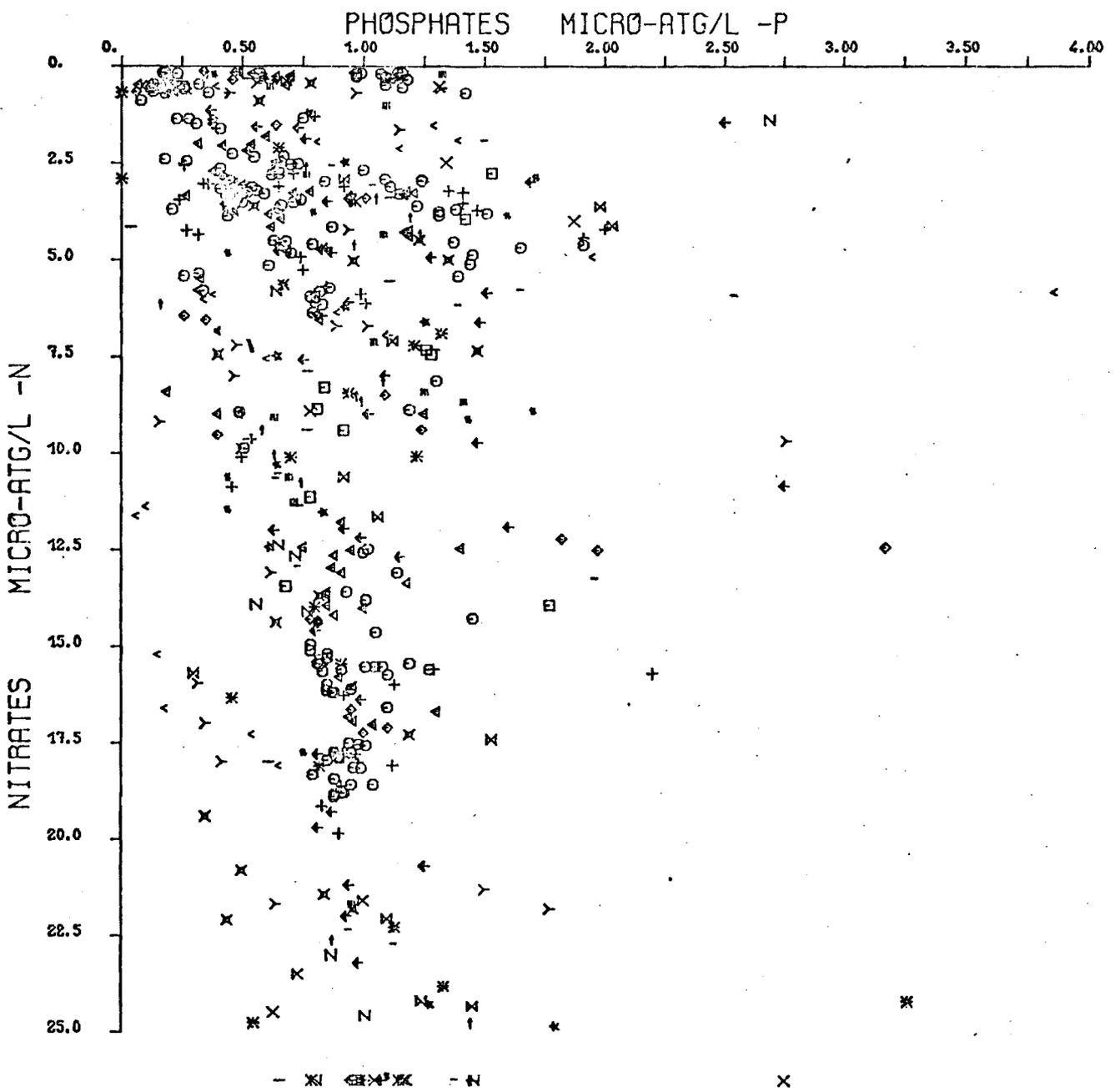


Fig. 57 : Diagramme de dispersion
Phosphates-Nitrates à Gravelines
Mars 1975



A Gravelines, les sels nutritifs dissous dans l'eau, présentent les apports suivants pour la période de novembre 1976 à juillet 1977 :

$$\Delta N / \Delta Si / \Delta P = 26,5 / 16 / 1 \quad \text{si } N = NO_3$$

$$\Delta N / \Delta Si / \Delta P = 31,5 / 16 / 1 \quad \text{si } N = NH_4 + NO_2 + NO_3$$

D'après les droites de régression tracées à partir des valeurs de sels nutritifs, nous avons calculé ces rapports à Dunkerque en 1977 (fig.58 à 61) :

$$\Delta N / \Delta Si / \Delta P = 6,3 / 9,4 / 1 \quad \text{si } N = NO_3$$

$$\Delta N / \Delta Si / \Delta P = 8,6 / 9,4 / 1 \quad \text{si } N = NH_4 + NO_2 + NO_3$$

(le rapport $\Delta Si / \Delta P$ a été calculé à partir de la droite de régression concernant les données de janvier à septembre) .

Les rapports azote/phosphore et silice/phosphore sont plus faibles qu'à Gravelines . Ceci traduit l'apport extérieur de phosphates plus important au niveau de l'avant-port de Dunkerque, comme nous l'avions vu précédemment .

Les rapports azote/silice sont les suivants :

Gravelines : $\Delta N / \Delta Si = 1,7 / 1$ si $N = NO_3$

$$\Delta N / \Delta Si = 2,0 / 1 \quad \text{si } N = NH_4 + NO_2 + NO_3$$

Dunkerque : $\Delta N / \Delta Si = 0,7 / 1$ si $N = NO_3$

$$\Delta N / \Delta Si = 0,9 / 1 \quad \text{si } N = NH_4 + NO_2 + NO_3$$

Ils sont plus faibles à Dunkerque . L'apport des silicates, par rapport à celui d'azote, est donc plus important qu'à Gravelines .

Le rapport entre les sels nutritifs déterminé par RICHARDS (1958, in CARMACK et AAGAARD, 1977), pour les eaux océaniques est $\Delta N / \Delta Si / \Delta P = 16 / 16 / 1$ ($N = NO_3$) . Le milieu de Dunkerque est proportionnellement plus riche en phosphates et en silicates, tandis que celui de Gravelines est proportionnellement plus riche en nitrates .

5 - Autres paramètres .

Polluants métalliques et organiques .

L'étude comparative des résultats obtenus à Dunkerque avec ceux de Gravelines ne peut être réalisée, par défaut d'information dans les études de projet ou surveillance écologique des sites nucléaires dont celui de Gravelines . Une comparaison peut cependant être effectuée entre les données de pollution apportées par les points de surveillance en Manche . Un examen comparatif rapide des niveaux atteints dans chacun des sites et des moyennes pour chacun des polluants, permet de considérer Brest comme non ou très peu pollué, et la Baie de Seine comme une zone très affectée par les polluants .

Fig. 58 : Relation Phosphates-Nitrates

(Janvier 1976)

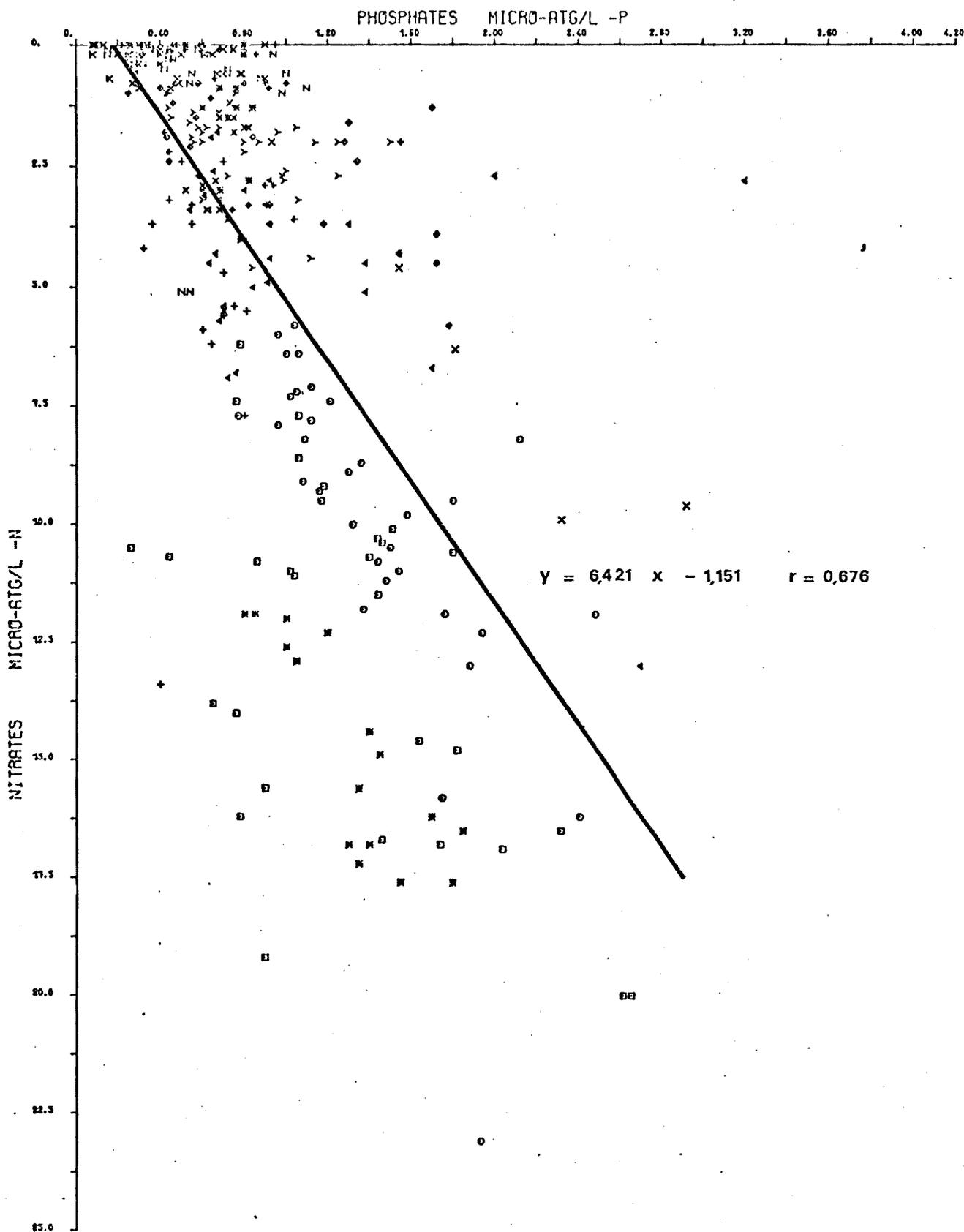


Fig. 59: Relation Phosphates-Azote total
(Janvier 1977)

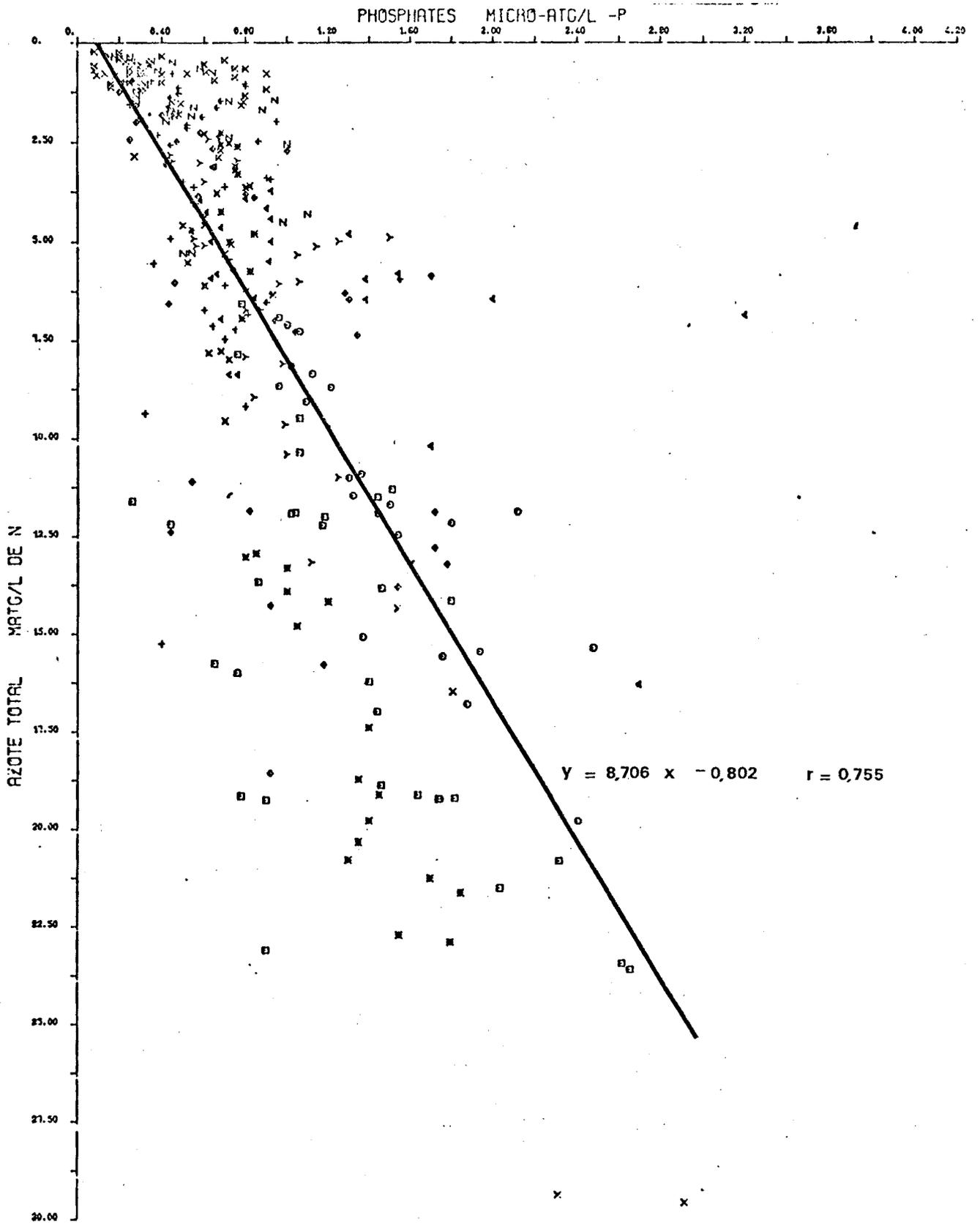


Fig. 60: Relation Silicates-Nitrates

(Janvier 1977)

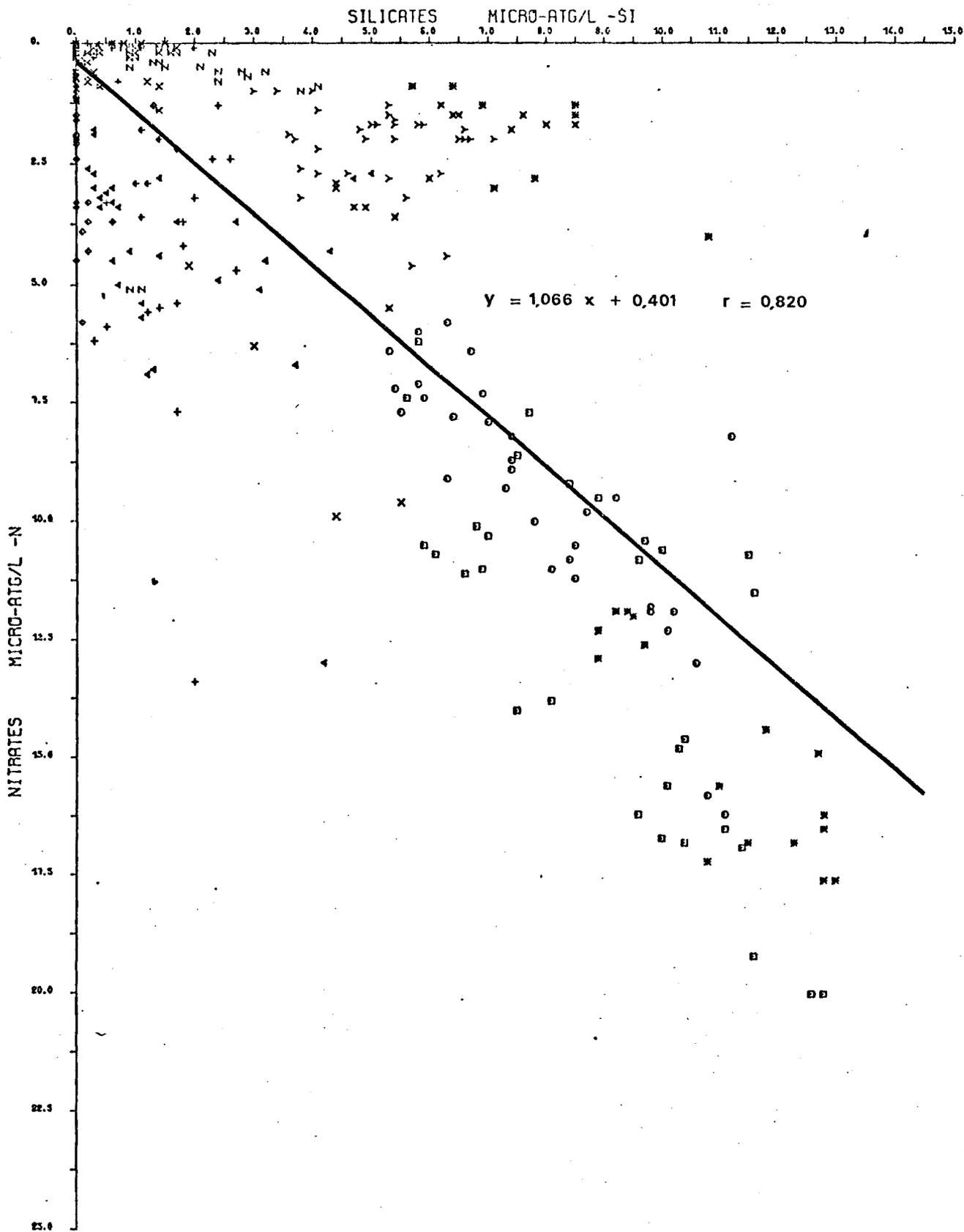
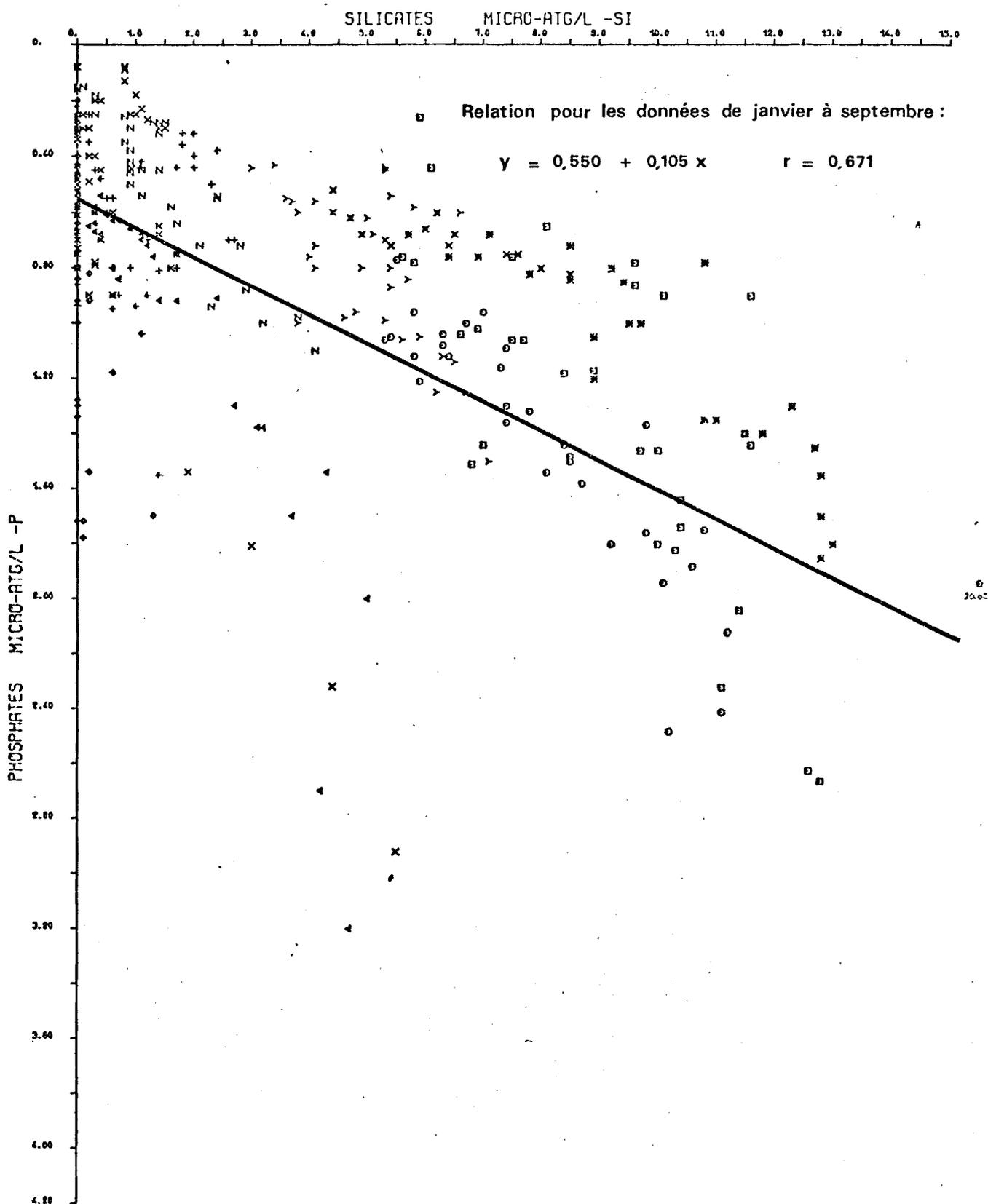


Fig. 61 : Diagramme de dispersion

Silicates - Phosphates (Janvier 1977)



Les valeurs obtenues à Dunkerque se situent entre ces deux points de la Manche .

Un autre type d'analyse consiste à rechercher auprès de nos voisins Belges des informations . Dans le cadre du "projet mer", ceux-ci ont réalisé sur le littoral un suivi écologique très intéressant, à partir de 12 radiales perpendiculaires au rivage, dont la situation (fig.62), montre à l'évidence qu'une comparaison avec Dunkerque doit être développée . Les résultats récents (*), correspondant à la période analysée n'ont pu, cependant, être pris en compte dans ce rapport .

Enfin, on peut se référer à quelques études ponctuelles réalisées dans la zone, telles les mesures effectuées à Dunkerque (Extrait: tableau 3) par le CERBOM le 25 juillet 1975 (AUBERT et Coll, 1976 : fig.63), ou encore celles obtenues auprès de chercheurs lillois (RICHARD et Coll, 1978, sous presse), dont nous reprendrons une partie des résultats dans le tableau 4 .

En se référant aux éléments considérés comme toxiques, tels le Mercure, le Cadmium, on peut se demander en examinant les valeurs, si l'on ne doit pas prendre en compte l'incertitude de mesure pour les premières données . Il paraît en effet assez surprenant que la période 1975/début 1976 se caractérise par de fortes valeurs en polluants (particulièrement pour le mercure), tandis qu'ensuite ces teneurs sont, dans l'ensemble, notablement plus faibles .

1 - Cadmium . En examinant les valeurs recensées au point du RNO et en les comparant aux teneurs du littoral belge (400m de la ligne de rivage à B.M.), on doit noter à Dunkerque de fortes valeurs en Cadmium . La moyenne des résultats à Dunkerque (1,4ppb) est notablement plus élevée que la valeur maximale moyenne belge (Radiale 2 = 1,08ppb) . Les teneurs maximales 14,0ppb, si elles sont exactes, seraient inquiétantes . On retrouve au niveau du point 4 de Dunkerque des valeurs, certes plus faibles qu'à la côte, mais dont les teneurs maximales (5,5ppb) sont supérieures aux valeurs recensées en 1975 pour l'ensemble du littoral belge (3 et 6km : tableau 5) où est pourtant pris en compte l'apport de l'Escaut ! .

(*) - Des informations toutes récentes (21.XI.78), viennent d'être données à A.RICHARD par un Conseiller Scientifique du Ministère de la Santé Publique et de la Famille. Elles laissent augurer de fructueux échanges d'informations techniques dont l'utilisation réciproque devrait pouvoir profiter, en ce qui nous concerne, à l'interprétation des analyses RNO Dunkerque ultérieures et à l'exploitation des informations EURASEP, entre autres

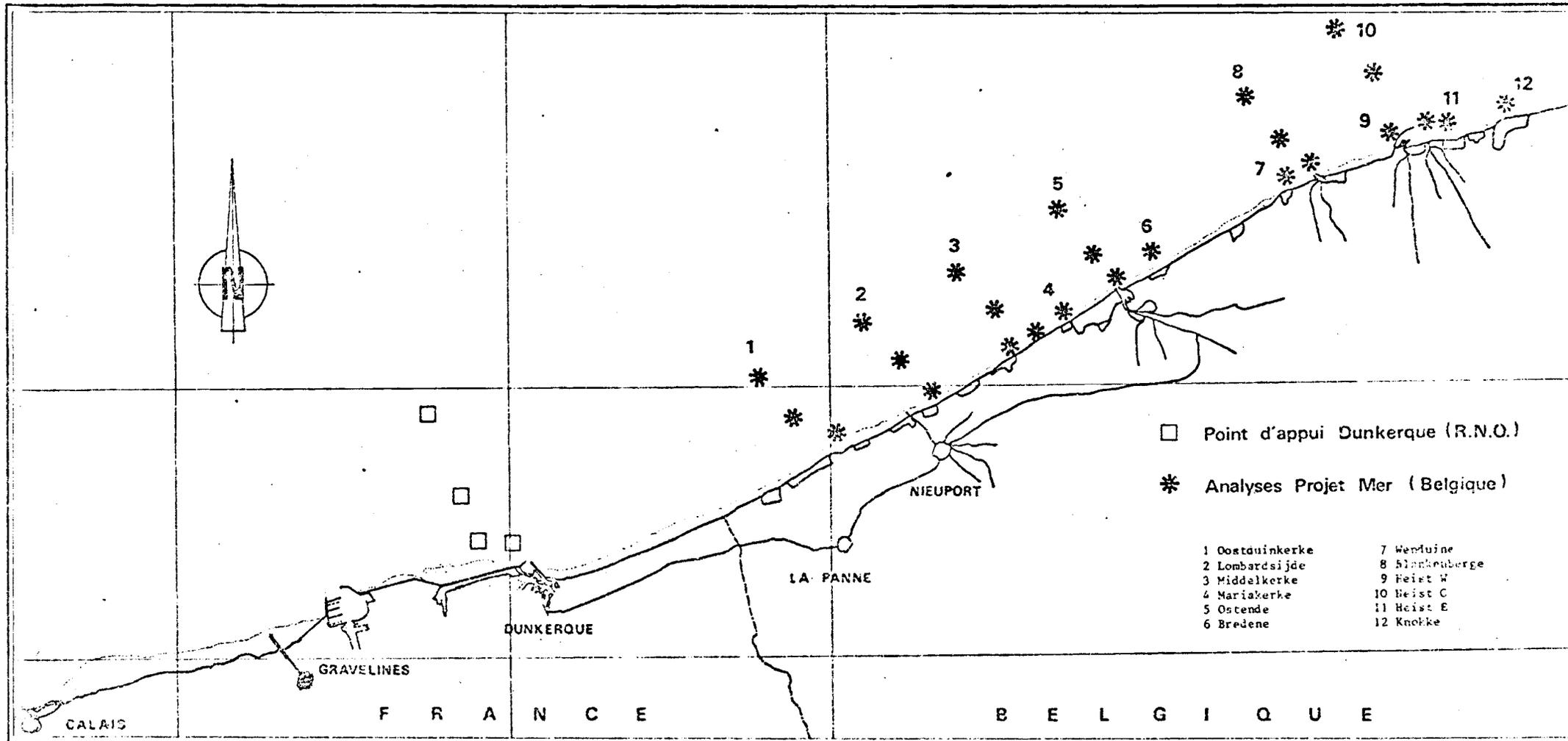


Fig. 62 : SITUATION DES STATIONS D'ETUDE DES POLLUTIONS

Tableau 3 - Teneurs en polluants métalliques dans la zone de Dunkerque le 25.07.75 (d'après AUBERT et Coll, 1976 Tome IV Diffusion des polluants en mer : Manche et Mer du Nord)

(valeurs en ppb - Stations indiquées fig.63)

S T A T I O N S

Métal	1	2	3	4	5	6	7	8
Cd	1,7	0	1,5	0	1	1	0	0
Cr	50	51	40	40	35	50	30	40
Cu	370	350	70	80	0	33	30	70
Fe	50	50	60	40	0	100	0	110
Mn	39	27	9	0	40	0	37	20
Pb	10	9	0	8	5	0	9	4

Fig. 63 : Situation des stations de prélèvements à Dunkerque le 25.07.75 (Aubert et coll.,1976)

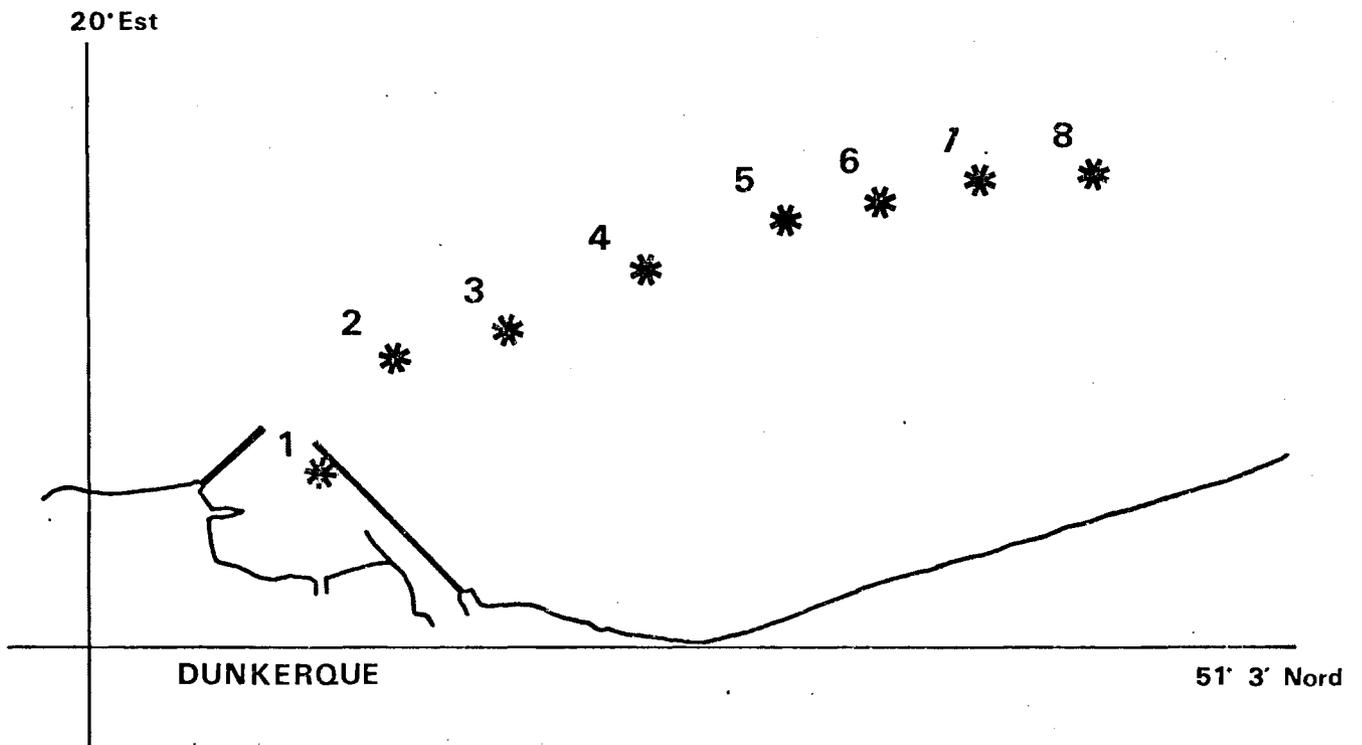


Tableau 4 - Teneurs en polluants des eaux littorales de la Mer du Nord.

Eléments polluants	Port de Calais (1)	Zone de Calais (2)	Dunkerque R.N.O. (3)	Port de Dunkerque (4)	Littoral Belge		
					Radiale (5) 1	Radiale (6) 2	Littoral Belge (7)
	m : <u>m</u> : M	m : <u>m</u> : M	m : <u>m</u> : M	U	<u>m</u>	<u>m</u>	m : <u>m</u> : M
Cd	0 : <u>1,7</u> : 3	: : 0,8	0,40 : <u>1,4</u> : 14,0	1,7	<u>0,63</u>	<u>1,08</u>	0,17 : <u>0,56</u> : 1,08
Cr	: <u>44</u> :	: : 1,5	: / :	50	/	/	: / :
Cu	: <u>77</u> :	: : 85	0,5 : <u>4,87</u> : 20	370	<u>9</u>	<u>11</u>	9 : <u>12</u> : 18
Fe	: <u>64</u> :	: : 710	1 : <u>57</u> : 400	50	<u>253</u>	<u>354</u>	253 : <u>420</u> : 616
Hg	: < :	: : 0,160	0,005 : <u>0,11</u> : 1	<	<u>0,14</u>	<u>0,03</u>	0,05 : <u>0,12</u> : 0,23
Pb	22 : <u>38</u> : 45	: : 8	0,3 : <u>3,5</u> : 30	10	<u>7</u>	<u>13</u>	7 : <u>14</u> : 19
Ti	: / :	: : 101	: / :	/	/	/	: / :
Zn	: / :	: : 9	3 : <u>40,5</u> : 160	/	<u>42</u>	<u>57</u>	40 : <u>59</u> : 85
Hydrocarbures	: / :	: / :	0 : <u>0,92</u> : 20	/	/	/	: / :

(Valeurs exprimées en ppb ou µg/l) m = valeur minimale ; m = moyenne ; M = valeur maximale ; U = une seule analyse ; / = absence d'analyses ; < = inférieur au seuil de détection.

(1) Prélèvements du 24.07.75 : station 1, 2, 3. Réf. AUBERT et Coll., 1976.

(2) D'après nos relevés 1975/1976 aux abords du port de Calais (Calais-Feu de Walde).

(3) Relevés au point 1 de Nov. 1975 à Sept. 1976. R.N.O.

(4) Prélèvement du 25.07.75 (station 1) Réf. AUBERT et Coll., 1976.

(5) Radiale 1 : Oostduinkerke

(6) Radiale 2 : Lombardsijde

(7) Relevés sur les 12 radiales du littoral

} Relevés 1972/75 à 400 m du rivage BM. Réf. BOUQUIAUX et HERMAN, 1978.

Tableau 5 - Pollution de l'eau du littoral belge .

(Les teneurs des Phénols sont exprimées en mg/l, celles des métaux en µg/l ou ppb) .

Les valeurs obtenues à 400m de la ligne de rivage portent sur des prélèvements effectués de 1972 à 1975 . Celles de 3 et 6 km se rapportent à l'année 1975, à chaque station, la valeur soulignée est encadrée par les valeurs minimales et maximales .

Stations de prélèvement	Phénols	Cd	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
400m	0,01 <u>0,017</u> 0,03	0,17 <u>0,56</u> 1,08	9 <u>12</u> 18	253 <u>420</u> 616	0,05 <u>0,12</u> 0,23	61 <u>89</u> 126	0,8 <u>1,7</u> 3	7 <u>14</u> 19	40 <u>59</u> 85
3km	0,008 <u>0,02</u> 0,03	0,1 <u>0,50</u> 1,7	3 <u>9</u> 30	183 <u>464</u> 1383	0,007 <u>0,38</u> 1,76	38 <u>63</u> 125	<0,5 <u>1,7</u> 4	<1 <u>3,5</u> 11	28 <u>37</u> 48
6km	0,009 <u>0,01</u> 0,012	<0,1 <u>0,54</u> 1,3	2 <u>6</u> 6	193 <u>388</u> 823	0,07 <u>0,018</u> 0,37	22 <u>44</u> 82	<0,5 <u>2,3</u> 4	1,2 <u>2,4</u> 3,5	29 <u>41</u> 53

d'après J.BOUQUIAUX et P.HERMAN in Projet Mer vol.6 p68/69

2 - Cuivre . Ce métal semble être un polluant dont les valeurs (tableau 4) semblent caractériser les rejets portuaires de la zone dont ceux de Dunkerque (370ppb) . La moyenne de concentration est assez élevée . La comparaison des valeurs des teneurs aux points 1 et 4 montre quelquefois une distribution de ce métal en solution qui va à l'encontre du gradient de dilution côte-large, en particulier pour la période printanière (avril-mai-juin- 76 et mars-mai 77) . Sur les côtes de Belgique, un tel phénomène (tableau 5) peut s'observer également dans quelques cas, particulièrement quand les apports de l'Escaut sont amenés sur le littoral Est (3km), par le courant sud-ouest côtier .

3 - Fer . Le dosage du fer ne représente pas de difficulté particulière, on ne peut mettre en doute les valeurs élevées signalées pour ce métal (respectivement 400 et 100ppb pour les points 1 et 4) . Les rejets industriels de la zone de Calais, usine Tioxide (tableau 6), peuvent à eux seuls expliquer la moyenne élevée de l'ensemble de la zone de Dunkerque . A ces apports de fer, par le courant de marée résiduel, se rajoutent les rejets polluants des industries belges. On peut observer ainsi à partir des teneurs RNO, puis celles des radiales 1,2,etc., des valeurs moyennes qui ne cessent d'augmenter jusqu'au large de Blankenberge .

4 - Plomb . Les valeurs signalées pour le plomb à Dunkerque sont, sauf exception (30ppb au point 1 et le même jour 6ppb au point 4), des valeurs de concentration assez faibles . La valeur de la moyenne est notablement plus basse (3,5ppb) que celles signalées pour toute la côte belge (tableau 5) où encore pour d'autres points du littoral français .

5 - Zinc . Le zinc par contre paraît, être comme le cuivre déjà signalé, un des éléments polluants dont les valeurs risquent de poser des problèmes dans la zone de Dunkerque . Il est en particulier inquiétant de noter des valeurs presque aussi élevées au large (Point 4 :moyenne 43ppb,maxi.=150ppb), qu'à la côte (tableau 4 : 40,5 et 160ppb). Ces teneurs sont très fortes si on les compare au littoral belge . Une étude particulière du littoral oriental de la Manche paraît nécessaire pour préciser les sources d'apports de ce métal . On sait que cet élément vital pour la majorité des organismes risque, par des voies d'entrées métaboliques naturelles, d'être particulièrement dangereux .

6 - Métaux divers . Quelques éléments (tableau 6), dont le Titane ou encore le Vanadium ou le Manganèse, rejetés en grande quantité sur le littoral, mériteraient d'être analysés sinon régulièrement, du moins trois ou quatre fois dans l'année pour permettre de situer les niveaux de pollution actuels . Il est bien certain en effet, qu'en la matière, la nocivité d'un élément n'est reconnue que lorsqu'une maladie caractéristique atteint les populations animale ou humaine (tel le Mercure ou le Cadmium) . Nul ne peut prévoir les effets dans le milieu marin que pourront donner le Manganèse (*), le Nickel (*), le Titane ou le Vanadium, partout

(*) Le Manganèse et le Nickel sont suivis régulièrement sur le littoral belge (tableau 5) . Une étude sur les sédiments pourrait également servir comme référence .

Estimation des rejets polluants sur le littoral français de la Mer du Nord en 1976.

(D'après MERTENS J.-L. et F. PRUDHON - Rapport SECADU, 1976).

Zones de rejets (Fig. 1)	Estimation des débits moyens (m ³ /jour) Oct. 76	Charges journalières (Estimation des moyennes en Kg/jour)										
		Hydrocarbures totaux	Phénols	Pesticides organochlorés	Métaux							
					Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Ti	Va	Zn
Port de Calais + Rejets industriels	449 503 + 6 909	458,2	16,5	0,06	274	6,4	27014	396	71	1767	1539	313
Port de Gravelines (Aa)	357 671	403	9	0,02	0	0,1	66	8	5	—	—	11
Port de Dunkerque	300 647	644	3,5	0,02	17,7	9,8	123	54	263	—	—	103
TOTAUX (rejets moyens journaliers)	1 114 730	1 505	29	0,1	292	16,3	27203	458	339	*1767	*1539	427

* Ces valeurs ne tiennent compte que des rejets industriels de la Zone de Calais.

signalés d'une manière nette dans les apports au milieu littoral de la Mer du Nord .

- Autres polluants, dont les hydrocarbures .

Dans le cadre de cette analyse succincte, il paraît difficile d'étudier les autres polluants organiques tant les fluctuations des valeurs paraissent aléatoires .

Un point pourtant mérite d'être souligné : les teneurs en hydrocarbures du littoral de la Mer du Nord sont inquiétantes . La moyenne de 2,36ppb obtenue au point 4 qui traduirait une pollution très inquiétante de la zone est à reprendre en éliminant la valeur de 50ppb de mars 76 qui fausse l'appréciation . Les eaux côtières ont des valeurs plus faibles (0,92 en moyenne, 20ppb comme valeur maximale enregistrée) . Ces teneurs qui signalent un danger de pollution latente (le courant de marée résiduel amène en effet tous les rejets de la Manche), sont à prendre en compte. Dunkerque, comparé à d'autres zones du littoral français pourtant nanties d'industries pétrochimiques (embouchures de la Gironde, du Rhône,...), est pollué par les hydrocarbures . Les analyses du SECADU (rapport 1976), renforcent d'ailleurs notre inquiétude puisque les rejets d'hydrocarbures paraissent en augmentation en 1976, par rapport à 1975, tandis que la diminution des autres polluants rend compte des efforts entrepris par l'Agence de l'Eau Artois-Picardie .

En conclusion, il semble que les teneurs en Cadmium (si elles sont exactes), en Cuivre, Zinc et hydrocarbures, soient à surveiller . Des analyses, à fréquence moindre, des concentrations en Chrome, Manganèse, Nickel, Titane et Vanadium, paraissent nécessaires si le R.N.O. veut répondre à sa vocation d'observation de la qualité du milieu marin .

CONCLUSION -

Le milieu marin de Dunkerque présente, comme celui de Gravelines situé un peu plus au sud, les caractéristiques d'une zone côtière largement soumise aux influences continentales. L'influence du climat tempéré se traduit au niveau de l'éclairement, de la température et des arrivées d'eau douce, ces dernières dépendant des précipitations. Les fleuves et canaux traversent des régions urbanisées, industrialisées et cultivées : les eaux douces fluviales amènent donc dans le milieu une grande quantité de sels nutritifs dissous et contribuent ainsi à son eutrophisation.

Les variations des différents facteurs du milieu sont difficiles à interpréter dans le détail : la masse d'eau étudiée à un moment précis est une masse d'eau en transit. Des prélèvements réalisés à des dates différentes concernent des masses d'eau fluctuantes. De plus, c'est un milieu ouvert où les échanges avec l'extérieur (milieu benthique, atmosphère, continent), sont difficilement estimables avec précision avec les données que nous possédons.

La température de l'eau présente un maximum en août et un minimum en janvier. C'est une mer tempérée froide. La différence entre les températures extrêmes est plus élevée en 1976 (3°C-20°C) qu'en 1977 (5°C-18°C). La salinité se situe toujours en dessous de 35‰. On remarque des périodes de dessalure pouvant atteindre 31‰ au moment des crues ou par vent de nord-est. La transparence de l'eau est faible dans ce milieu où les particules sont constamment remises en suspension par les mouvements de l'eau : la profondeur de disparition du disque de Secchi y atteint rarement 8 mètres. La turbidité est essentiellement détritique ; les matières organiques semblent y tenir une grande place ; du moins en surface. p^H et oxygène dissous montrent de fortes valeurs au moment du bloom phytoplanctonique ; le p^H atteint alors 8,3. Le milieu est bien oxygéné ; le taux d'oxygène dépasse souvent les 100% de saturation au printemps et en été. En automne et en hiver, la décomposition de nombreuses particules d'origines diverses et l'absence de phytoplancton sont à l'origine de plus faibles teneurs en oxygène et d'une baisse du p^H . Les taux de sels nutritifs sont plus élevés qu'en Manche mais n'atteignent pas les fortes valeurs relevées au voisinage de certains estuaires, comme la Baie de Seine. Les normes définies par ELSKENS (1971), correspondant à un état non pollué et non limitant pour la croissance des populations, sont souvent dépassées. Nitrates et silicates constituent des facteurs limitant pour la croissance du phytoplancton, ce qui n'est pas le cas des phosphates. Les taux de sels nutritifs, élevés en hiver, diminuent rapidement au printemps quand le phytoplancton se développe à nouveau. Par rapport aux eaux océaniques, les eaux de Dunkerque sont proportionnellement plus riches en phosphates et en silicates qu'en nitrates.

L'agitation continuelle de l'eau due aux courants et aux vents parfois violents assure le brassage de la masse d'eau, d'autant plus facilement que celle-ci est peu profonde. La couche d'eau est donc très homogène sur le plan vertical. La différence entre les valeurs des paramètres, aux différents niveaux d'une même station, sont généralement faibles par rapport à celles que l'on observe entre deux stations. D'autre part, les écarts entre deux stations au cours d'une même campagne sont souvent inférieurs à ceux qui existent entre deux campagnes. Sur le plan horizontal, les différences entre les stations au cours d'une même campagne, résultent de la présence du gradient côte-large, conséquence de la dilution des eaux douces en mer et de la présence du continent : salinité, densité, transparence de l'eau, p^H , augmentent vers le large ; tandis que turbidité et sels nutritifs diminuent. En période de forte production phytoplanctonique, le gradient d'oxygène dissous peut s'inverser. Celui de température varie selon la saison : l'eau est plus chaude à la côte en été, au large en hiver.

Le site de Dunkerque présente les mêmes caractéristiques que celui de Gravelines. Nous avons cependant remarqué quelques différences : le p^H est plus faible à Dunkerque ; les phosphates et silicates y sont un peu plus abondants ; les nitrates et silicates semblent avoir un rôle limitant de la croissance phytoplanctonique beaucoup plus marqué qu'à Gravelines.

Les valeurs élevées en Cadmium, Cuivre, Zinc et hydrocarbures doivent également être signalées. Il faut en particulier souligner pour ces polluants que les eaux du large sont affectées. Enfin, sans connaître les raisons du choix de position de la radiale de Dunkerque, on doit remarquer que les stations d'étude de Dunkerque se situent à l'ouest de la sortie de l'avant-port est. Comme le courant résiduel est dirigé vers le nord-est, les eaux de l'avant-port ont donc tendance à se déplacer vers le nord-est plutôt que vers la radiale. Par contre, le courant amène sur la radiale des eaux qui ont transité par Gravelines. Il n'est donc pas étonnant que les caractéristiques du milieu marin soient les mêmes sur la radiale de Dunkerque qu'à Gravelines. Un déplacement du point 2 par exemple, dont l'apport d'information à la compréhension de l'écosystème est négligeable compte tenu de sa position très proche du point 1, paraîtrait souhaitable. Un emplacement au N.E. de la sortie de l'avant-port (cf. station 2, fig. 63), traduirait de manière plus évidente l'impact des rejets portuaires de Dunkerque sur l'environnement marin.

Annexe I -

Les diagrammes de dispersion ont été établis selon deux procédés :

- 1) à partir des données par station, sur toute la durée de l'étude .
- 2) à partir des données par mois, sur une période d'un an (la date inscrite sur la figure est celle des premières mesures prises en compte pour établir le diagramme).

1)	:	station 1	représenté	par	le	signe	⊖
		"	2	"	"	"	Δ
		"	3	"	"	"	+
		"	4	"	"	"	×

Annexe II - Liste des figures .

- p. 3 Fig. 1 - Site de Dunkerque : Situation des stations de prélèvements .
- p. 5 Fig. 2 - Température et précipitations moyennes par décade à Oye-Plage .
- p. 7 Fig. 3 - Arrivées d'eau douce dans l'avant-port est de Dunkerque .
- p. 9 Fig. 4 - Rejets estimés de l'Aa et sortie d'eau au niveau du canal exutoire .
- p.11 Fig. 5 - Variations de température Stations 1 et 2 .
- p.12 Fig. 6 - Variations de température Stations 3 et 4 .
- p.14 Fig. 7 - Gradients de température et salinité .
- p.15 Fig. 8 - Distribution de la température à Gravelines le 30.08.1975 en surface .
- p.17 Fig. 9 - Variations de la salinité Stations 1 et 2 .
- p.18 Fig.10 - Variations de la salinité Stations 3 et 4 .
- p.21 Fig.11 - Circulation générale dans le sud de la Mer du Nord . (d'après NIHOUL et RONDAY 1976) .
- p.23 Fig.12 - Courant de dérive du au vent - hypothèse du 15.12.75.
- p.25 Fig.13 - Courant de dérive du au vent - hypothèse du 26.05.77.
- p.26 Fig.14 - Variations de la salinité à la station digue . (Gravelines 1976-1977) .
- p.28 Fig.15 - Diagrammes Température-Salinité (4.11.75 au 25.10.76)
- p.29 Fig.16 - Diagrammes Température-Salinité (3.11.76 au 26.9.77)
- p.30 Fig.17 - Diagramme Température-Salinité (Gravelines-Dunkerque) (M,L,C, - 1,2,3)
- p.31 Fig.18 - Variations de la densité Stations 1 et 2 .
- p.32 Fig.19 - Variations de la densité Stations 3 et 4 .
- p.35 Fig.20 - Profondeur de disparition du disque de Secchi .
- p.36 Fig.21 - Variations de la turbidité Stations 1 et 2 .
- p.37 Fig.22 - Variations de la turbidité Stations 3 et 4 .
- p.39 Fig.23 - Diagramme de dispersion Chlorophylle-Matières en suspension (juillet 1977) .
- p.40 Fig.24 - Diagramme de dispersion Chlorophylle-Matières en suspension totales à Gravelines (février 1975) .
- p.41 Fig.25 - Relation Matières en suspension totales-Carbone organique particulaire, en surface (janvier 1977) .
 $y = 0,016 x + 0,318$ $r = 0,667$
- p.42 Fig.26 - Diagramme de dispersion Chlorophylle-Carbone organique particulaire (juillet 1977) .
- p.44 Fig.27 - Variations du p^H (moyenne par campagne) à Dunkerque et Gravelines .

- p.45 Fig.28 - Variations du p^H Stations 1 et 2 .
- p.46 Fig.29 - Variations du p^H Stations 3 et 4 .
- p.48 Fig.30 - Variations de l'oxygène dissous (moyenne par campagne) .
- p.49 Fig.31 - Diagramme de dispersion Chlorophylle-Oxygène (juin 1977) .
- p.50 Fig.32 - Diagramme de dispersion Chlorophylle-Oxygène à Gravelines (février 1975) .
- p.52 Fig.33 - Relation Oxygène-Phosphates (janvier 1976) .
 $y = -0,054 x + 6,510$ $r = -0,608$
- p.53 Fig.34 - Relation Ammoniac-Oxygène (janvier 1976) .
 $y = -1,470 x + 105,180$ $r = -0,556$
- p.54 Fig.35 - Relation Silicates-Oxygène (janvier 1976) .
 $y = -0,925 x + 105,723$ $r = -0,631$
- p.55 Fig.36 - Diagramme de dispersion p^H -Nitrates (janvier 1977) .
- p.56 Fig.37 - Relation p^H -Oxygène (janvier 1976) .
 $y = 35,11 x - 180,70$ $r = 0,581$
- p.58 Fig.38 - Variations de l'oxygène dissous (moyenne par campagne) à Dunkerque et Gravelines .
- p.62 Fig.39 - Variations comparées des concentrations en Ammoniac à Dunkerque et Gravelines .
- p.63 Fig.40 - Variations comparées des concentrations en Nitrites à Dunkerque et Gravelines .
- p.64 Fig.41 - Variations comparées des concentrations en Nitrates à Dunkerque et Gravelines .
- p.65 Fig.42 - Variations comparées des concentrations en Phosphates à Dunkerque et Gravelines .
- p.66 Fig.43 - Variations comparées des concentrations en Silicates à Dunkerque et Gravelines .
- p.70 Fig.44 - Variations des Sulfates Stations 1 et 2 .
- p.71 Fig.45 - Variations des Sulfates Stations 3 et 4 .
- p.72 Fig.46 - Variations de l'Ammoniac à Dunkerque aux quatre stations du réseau .
- p.73 Fig.47 - Variations des Nitrites à Dunkerque aux quatre stations du réseau .
- p.74 Fig.48 - Variations des Nitrates à Dunkerque aux quatre stations du réseau .
- p.75 Fig.49 - Variations des Phosphates à Dunkerque aux quatre stations du réseau .
- p.76 Fig.50 - Variations des Silicates à Dunkerque aux quatre stations du réseau .
- p.77 Fig.51 - Relation entre la concentration des sels nutritifs et la distance à la côte durant les mois d'hiver .
- p.78 Fig.52 - Diagramme de dispersion Silicates-Nitrates (novembre 1975) .

- p.79 Fig.53 - Diagramme de dispersion Silicates-Phosphates .
(novembre 1975) .
- p.80 Fig.54 - Diagramme de dispersion Phosphates-Nitrates .
(novembre 1975) .
- p.81 Fig.55 - Diagramme de dispersion Silicates-Nitrates à
Gravelines (mars 1975) .
- p.82 Fig.56 - Diagramme de dispersion Silicates-Phosphates à
Gravelines (mars 1975) .
- p.83 Fig.57 - Diagramme de dispersion Phosphates-Nitrates à
Gravelines (mars 1975) .
- p.85 Fig.58 - Relation Phosphates-Nitrates (janvier 1976) .
 $y = 6,421 x - 1,151$ $r = 0,676$
- p.86 Fig.59 - Relation Phosphates-Azote total (janvier 1977) .
 $y = 8,706 x - 0,802$ $r = 0,755$
- p.87 Fig.60 - Relation Silicates-Nitrates (janvier 1977) .
 $y = 1,066 x + 0,401$ $r = 0,820$
- p.88 Fig.61 - Diagramme de dispersion Silicates-Phosphates
(janvier 1977)
relation pour les données de janvier à septembre :
 $y = 0,550 + 0,105 x$ $r = 0,671$
- p.90 Fig.62 - Situation des stations d'étude de pollutions .
- p.92 Fig.63 - Situation des stations de prélèvements à Dunkerque
le 25.07.1975 (AUBERT et Coll,1976) .

BIBLIOGRAPHIE

- AGUR, 1973 - Pollution des milieux aquatiques . Région de Dunkerque - Ière partie . pp.160 .
- ANONYME, 1968 - Courants de marée dans la Manche et sur les côtes françaises de l'Atlantique. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine . Paris - pp.287 - cartes 39 .
- ANONYME, 1975-1976-1977 - Bulletin Climatologique - Département du Pas-de-Calais . n°81 à 105 (septembre 1975 à septembre 1977) .
- ANONYME, 1975-1976-1977 - Bulletin Météorologique pour les régions côtières et le Détroit du Pas-de-Calais . Stations météorologique de Boulogne-sur-Mer .
- ANONYME, 1977 - Rapport annuel CNEXO . pp.80 .
- 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. (1974) 54, pp.895-914 .
- ARNAL O., BOUGARD M., DEWARUMEZ J.M., DEWARUMEZ N., GREGOIRE A., LE FEVRE G., MENU D., NICOLAUD F., RYCKAERT M., SOUPLLET A., TOULARASTEL F., VALDELIEVRE B. 1976 - Etude écologique: Site de Gravelines . Rapport final - EdF-CNEXO-IBMRW.
- ARNAL O., BOUGARD M., DEWARUMEZ N., LE FEVRE G., MENU D., NICOLAUD F., SOUPLLET A., TOULARASTEL F., VALDELIEVRE B. 1977. Etude écologique du site de Gravelines - 2ème cycle . EdF-CNEXO-IBMRW .
- AUBERT M., J.AUBERT, J.PI.BREITTMAYER, L.PETIT et D.PUEL . 1976 - Etude générale de la diffusion des polluants en mer . Tome IV - Diffusion des polluants en mer : Manche et Mer du Nord (1975) .
- BARY B.McK. 1963 - Temperature, Salinity and Plankton in the Eastern North Atlantic and Coastal waters of Britain, 1957 . I : The characterisation and distribution of surface waters . J.Fish.Res.Bd.Canada - 20(3). pp.789-826 .
- BERLAND B., BONIN D., MAESTRINI S. 1974 - Etude expérimentale de l'influence des facteurs nutritionnels sur la production du phytoplancton de la Méditerranée . Thèse Univ.Aix-Marseille II CNRS. A.O.9401 - pp.239.fig.42.
- BLANC F., LEVEAU M. et SZEKIELDA K.H. 1969 - Effets eutrophiques au débouché d'un grand fleuve (Grand Rhône) . Marine Biology, vol.3, n°3, pp.233-242 .
- BOUGARD M. 1978 - Etude bibliographique sur le phytoflagellé *Phaeocystis*. pp.37 . IBMRW- Université des Sciences et Techniques de Lille .
- BOUQUIAUX J. et P.HERMAN . 1978 - Niveaux de pollution du réseau hydrographique et de la zone côtière belges . in Inventaire des polluants . Programme National de Recherche et de développement Environnement Eau Projet "Mer" - Rapport final - vol.6 .

- BRYLINSKI J.M. 1978 - Hydrologie du Port de Dunkerque .
in Contrat EdF/Université de Lille I n°16.286 E₃₁D₉₉.
Service A.RICHARD .
- BUREAU NATIONAL DE L'INFORMATION SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE .
1974 - Pollution de la mer due aux rejets d'eaux usées
urbaines et industrielles : Etude technique de synthèse
pp.36 - Association française pour l'étude des eaux
Paris .
- CARMACK E.C., AAGAARD K. 1977 - A note on volumetric conside-
rations of upwelling in the Benguela current .
Est.Coast.Mar.Sc., 5 .
- ELSKENS I. 1971 - Nutrients et paramètres biologiques associés.
Annual Report I.-chp.III-1 pp.96.122-Math.mod.Progr.
Nat.sur l'envir.phys.et biol. - Projet Mer .
é.t.a.b.é.t.y p.Liège .
- HARVEY H.W. 1940 - Nitrogen and phosphorus required for the
growth of phytoplankton . J.mar.Biol.Ass.U.K.
vol.XXIV, n°1, pp.115-183 .
- KHALANSKI P. 1976 - Influence du fonctionnement d'une centrale
thermique sur la production primaire planctonique du
Port de Dunkerque . Journées de la thermo-écologie,
EdF-C.O.B. 15-16 nov.1976, pp.101-144, fig.26 .
- MERTENS J.L., PRUDHON F. 1976 - Pollution du littoral Calais-
Gravelines-Dunkerque . Estimation des apports tellu-
riques au milieu marin . IRCHA-SECADU . 51p .
- NIHOUL C.J., RONDAY F.C. 1976 - Modèles hydrodynamiques .
in Projet Mer - Rapport final -vol.3-pp.270 . Pro-
gramme national de recherche et de développement,
Environnement, Eau . é.t.a.b.é.t.y.p. Liège .
- PERES J.M. 1961 - Océanographie biologique et biologie
marine I - La vie benthique . P.U.F.1961 Paris pp.541.
- PERES J.M. et DEVEZE L. 1963 - Océanographie biologique et
biologie marine II - La vie pélagique . P.U.F. 1963
Paris pp.514 .
- PODAMO J. 1973 - Aspects of dynamic biology in the Southern
Bight of the North Sea and the Sluice Dock of Ostend .
Math.mod.Annual report III-chp.VI-I. Belgian national
R.D.Program on the environment-water sea project.pp170.
- PORT AUTONOME DE DUNKERQUE 1978 - Interprétation des mesures
du Réseau National d'Observation de la Qualité du Milieu
Marin -1975/1976 . Rapport provisoire C.I.P.L.I.N.O.R.
- RESEAU NATIONAL D'OBSERVATION DE LA QUALITE DU MILIEU MARIN
1975 - Recueil des observations . Baie de Seine Juin
1974-Décembre 1975 . pp.157 . Ministère de la Qualité
de la Vie - Environnement - Centre National pour l'Ex-
ploitation des Océans .
- RESEAU NATIONAL D'OBSERVATION DE LA QUALITE DU MILIEU MARIN
1976 - Recueil des observations . Campagnes 1976.pp.258
Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie -
Centre National pour l'Exploitation des Océans .

- RESEAU NATIONAL D'OBSERVATION DE LA QUALITE DU MILIEU MARIN
1977 - Bulletins trimestriels n°5,6,7,8 . Ministère
de l'Environnement et du Cadre de Vie - Centre National
pour l'Exploitation des Océans .
- RICHARD A., A.SOUPLET, J.M.DEWARUMEZ et B.VANDORPE 1978 .
Le littoral de la Mer du Nord : Les problèmes d'envi-
ronnement liés à l'industrialisation et aux aménage-
ments portuaires -sous presse- Colloque Franco-Japo-
nais de Géographie-Dunkerque 6 Octobre 1978 .
- RICHARDS F.A. 1965 - Dissolved gases other than carbon
dioxide . in :Chemical Oceanography 1-by RILEY et
SKIRROW, Academic Press . pp.197-225, fig.2 .
- SEGBARTH-ORBAN R. 1975 - Quelques données sur les variations
saisonnnières du plancton et sur les caractéristiques
hydrologiques en Mer du Nord, au large d'Ostende et
de Newport . Période 1969-1971 . Ann.Soc.Roy.Zool.
Belgique, T.105, fasc.1-2, pp.193-227, fig.24 .
- SYKES I.B. et BONEY A.D. 1970 - Seasonal variations in inor-
ganic phytoplankton nutrients in the inshore waters
of cardigan Bay . J.mar.Biol.Ass.U.K. vol.50(3) .
pp.819-828 .