

Electricité de France

**ETUDE ECOLOGIQUE
SITE DE GRAVELINES
RAPPORT FINAL**

VOLUME I

RAPPORT GENERAL



Centre National pour l'Exploitation des Océans

Unité Littoral

INSTITUT DE BIOLOGIE MARINE ET REGIONALE

DE WIMEREUX

UNIVERSITE DE LILLE

JUIN '76

A V A N T P R O P O S

La présente étude écologique du site de GRAVELINES liée au projet d'implantation d'une centrale nucléaire a été confiée par Electricité de France, Région Equipement Paris au Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO).

L'Unité "Littoral" du CNEXO, implantée au Centre Océanologique de Bretagne et chargée d'exécuter cette étude, s'est associée pour ce faire à l'Institut de Biologie Maritime et Régionale de WIMEREUX (Université de LILLE I). L'équipe de chercheurs et de techniciens mise en place dans ce laboratoire a été dirigée par A. RICHARD, maître de conférence à l'Université de LILLE, avec dynamisme et compétence.

- Responsable de l'étude : P. MARCHAND
- Chef de projet : A. ROMANA
- Conseillers scientifiques : L. LAUBIER, Chef du Département Scientifique du Centre Océanologique de Bretagne.

P. CHARDY, Chef de l'opération centrales nucléaires
au CNEXO, Département lutte contre la pollution marine.

PERSONNES AYANT PARTICIPE A CETTE ETUDE :

- | | |
|------------------------|------------------------|
| - ARNAL Olivier | CNEXO - Unité Littoral |
| - BOUGARD Martine | WIMEREUX* |
| - DEWARUMÉZ Jean-Marie | WIMEREUX |
| - DEWARUMÉZ Nicole | WIMEREUX |
| - GREGOIRE Alain | WIMEREUX |
| - LE FEVRE Geneviève | CNEXO - Unité Littoral |
| - MENU Dominique | WIMEREUX |
| - NICOULAUD Françoise | CNEXO - Unité Littoral |
| - RYCKAERT Mireille | WIMEREUX |
| - SOUPLÉT Arnaud | WIMEREUX |
| - TOULARASTEL France | CNEXO - Unité Littoral |
| - VALDELIEVRE Brigitte | CNEXO - Unité Littoral |

*Institut de Biologie Maritime et Régional de WIMEREUX (Université de LILLE)

S O M M A I R E

CHAPITRE I

INTRODUCTION GENERALE

I.A	GENERALITES.....	1
I.B	PRESENTATION DU SITE.....	2
	1. Géographie.....	2
	2. Choix de la localisation des stations.....	2
I.C	CLIMATOLOGIE - HYDROGRAPHIE.....	3
	1. Climatologie.....	3
	1.1 Caractères généraux.....	3
	1.2 Caractéristiques de la période étudiée.....	5
	2. Hydrographie.....	7
	2.1 Les marées.....	7
	2.2 Les courants.....	7
	2.3 Les apports d'eaux terrestres.....	8

CHAPITRE II

LE DOMAINE PELAGIQUE

II.A	INTRODUCTION.....	9
II.B	PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES.....	20
	1. Matériel et méthodes.....	20
	1.1 Transparence de l'eau.....	20
	1.2 Température.....	21
	1.3 Salinité.....	21
	1.4 Oxygène dissous.....	21
	1.5 pH.....	22
	1.6 Sels nutritifs.....	22
	1.7 Turbidité.....	29

- 2. Résultats..... 30
 - 2.1 Température..... 34
 - 2.2 Salinité..... 36
 - 2.3 Diagramme température-salinité..... 38
 - 2.4 Matières en suspension..... 38
 - 2.5 Transparence de l'eau..... 41
 - 2.6 Oxygène dissous..... 43
 - 2.7 pH..... 45
 - 2.8 Sels nutritifs..... 45

- II.C LE PHYTOPLANCTON..... 52
 - 1. Matériel et méthodes..... 52
 - 1.1 Mesure des pigments photosynthétiques..... 52
 - 1.2 Etude systématique du phytoplancton..... 54

 - 2. Résultats..... 55
 - 2.1 Pigments photosynthétiques..... 60
 - 2.2 Microplancton..... 65
 - 2.2.1 Etude des espèces principales de Diatomées..... 66
 - 2.2.2 Flagellés..... 72
 - 2.2.3 Chlorophycées..... 73
 - 2.2.4 Silicoflagellés..... 73
 - 2.2.5 Peridiniens..... 73
 - 2.2.6 Ciliés..... 73
 - 2.3 Nanoplancton..... 73

 - 3. Interprétations..... 74
 - 4. Conclusion..... 88

- II.D LA PRODUCTION PRIMAIRE 89
 - 1. Introduction 89
 - 2. Matériel et méthodes 90
 - 3. Résultats..... 99
 - 4. Discussion - conclusion 104

II. E	LE ZOOPLANCTON	105
1.	Introduction	105
2.	Méthodologie	107
2.1	Travail à la mer	107
2.2	Volume d'eau filtrée	108
2.3	Méthodes de conservation des échantillons	109
2.4	Dépouillement des échantillons de zooplancton	109
2.5	Mesures des biomasses	111
2.5.1	Mesure du poids sec	113
2.5.2	Poids des cendres et matières organiques	113
2.5.3	Dosage du carbone et de l'azote organique	114
3.	Résultats qualitatifs	114
3.1	Liste faunistique	114
3.2	Fréquence d'observation des espèces	121
4.	Evaluation de la production secondaire Distributions spatiales et variations saisonnières quantitative du zooplancton	124
4.1	Variations quantitatives des espèces - analyse des résultats de comptages	125
4.1.1	Le meroplancton	128
4.1.1.1	Les larves de Cirripèdes	128
4.1.1.2	Les Annélides :	129
	a) <i>Lanice</i>	129
	b) les Spionidés	131
	c) les autres larves	133
4.1.1.3	Larves de Mollusques	133
4.1.1.4	Larves d'Echinodermes	134
4.1.1.5	Larves de Bryozoaires	135
4.1.1.6	Les Cnidaires	135
4.1.1.7	Les larves de Cnidaires	141
4.1.1.8	Conclusion à propos du meroplancton	141
4.1.2	L'holoplancton	142
4.1.2.1	Les Copépodes	142
4.1.2.1.1	Pourcentages de Copépodes dans les échantillons	143
4.1.2.1.2	Variations saisonnières des espèces principales	144
	a) <i>Temora longicornis</i>	144
	b) <i>Centropages hamatus</i>	157

c) <i>Acartia clausi</i>	160
d) <i>Pseudocalanus minutus</i>	160
e) <i>Paracalanus parvus</i>	160
f) <i>Euterpina cutifrons</i>	161
4.1.2.1.3 Succession des espèces de Copépodes au cours du cycle annuel de Gravelines.....	163
4.1.2.1.4 Indice de diversité des Copépodes.....	166
4.1.2.2 Les Cladocères.....	171
4.1.2.3 Les Mysidacés.....	171
4.1.2.4 Les Appendiculaires <i>Oikopleura dioica</i>	173
4.1.2.5 <i>Sagitta setosa</i>	177
4.1.2.6 Les Sténaires <i>Pleurobrachia</i> et <i>Beroe</i>	178
4.1.3 Cycle annuel des principales espèces, leurs successions dans la chaîne trophique.....	178
4.1.4 Validité des résultats quantitatifs.....	178
4.2 Résultats des mesures de biomasses.....	186
4.2.1 Variations saisonnières de la biomasse sur le site.....	187
4.2.2 Répartition géographique de la biomasse.....	189
4.2.2.1 Cartes.....	189
4.2.2.2 Relations biomasse/salinité.....	190
5. Conclusion.....	191

CHAPITRE III

LE DOMAINE BENTHIQUE

III.A ZONE INTERTIDALE.....	194
1. Introduction.....	194
2. Méthodologie.....	196
2.1 Sur le terrain.....	196
2.2 Au laboratoire.....	197

2.2.1	Mesures physico-chimiques.....	202
2.2.2	Mesures pedologiques.....	202
2.2.3	Mesures biologiques.....	204
3.	Etude granulométrique.....	204
3.1	Caractéristiques granulométriques de chaque échantillon....	204
3.2	Caractéristiques granulométriques du sable proprement dit..	207
3.3	Conclusions.....	209
4.	Résultats.....	209
4.1	Analyse qualitative.....	209
4.1.1	Résultats faunistiques.....	209
4.1.2	Indice de présence.....	211
4.1.3	Dominance.....	213
4.1.4	Diversité.....	213
4.1.5	Similitude entre prélèvements.....	217
4.2	Analyse quantitative.....	220
4.2.1	Valeurs pondérales.....	220
4.2.2	Diversité.....	226
5.	Introduction à l'étude de quelques populations.....	227
6.	Discussion.....	232
7.	Conclusion.....	236
III.B	LA ZONE SUBTIDALE.....	238
1.	Introduction.....	238
2.	Méthodologie.....	238
2.1	Travail à la mer.....	239
2.1.1	Stations.....	239
2.1.2	Techniques de prélèvement.....	239
2.2	Travail en laboratoire.....	241
2.2.1	Tri de la faune.....	241
2.2.2	Etude des formes juvéniles.....	243
2.2.3	Granulométrie.....	244
2.2.4	Azote organique.....	245
3.	Etudes granulométriques.....	245
3.1	Prélèvements C.N.E.X.O.....	245
3.2	Prélèvements E.D.F.....	252
3.3	Comparaison des stations C.N.E.X.O. et E.D.F.....	252

4.	Résultats qualitatifs.....	258
4.1	Analyse de la macrofaune.....	258
4.1.1	Peuplements.....	258
4.1.2	Résultats enregistrés à quelques stations.....	260
4.1.3	Etude auto-écologique de quelques espèces.....	263
4.2	Analyse des formes juvéniles et des petites espèces.....	266
5.	Résultats quantitatifs.....	267
6.	Discussion des résultats.....	274
6.1	Importance relative des différents groupes zoologiques....	274
6.2	Coefficients de similitude.....	278
6.3	Indices de diversité.....	280
6.4	Analyses biométriques.....	290
6.4.1	Etude biométrique d' <i>Abra alba</i>	290
6.4.2	Etude biométrique de <i>Tellina fabula</i>	294
6.4.3	Etude biométrique d' <i>Ophiura texturata</i>	294
6.4.4	Etude biométrique de <i>Bathyporeia elegans</i>	294
7.	Conclusion.....	297

CHAPITRE IV

RESUME ET CONCLUSION GENERALE

IV.A	RESUME.....	298
IV.B	CONCLUSION GENERALE.....	307
IV.C	OBJECTIFS A POURSUIVRE.....	309

BIBLIOGRAPHIE

311

CHAPITRE I

INTRODUCTION GÉNÉRALE

A. SOUPLET

INTRODUCTION

I.A GENERALITES

L'installation des centrales nucléaires sur le littoral, est susceptible d'entraîner des modifications au niveau des différents écosystèmes atteints par les rejets du circuit de refroidissement. Dans le but d'évaluer de telles modifications, des études écologiques ont été entreprises sur les sites des futures centrales.

Ces études ont été scindées en trois parties :

- étude préliminaire à court terme pour permettre d'évaluer les caractéristiques écologiques générales, et la richesse faunistique et floristique du site. De telles études, entreprises sur plusieurs sites d'une même région, doivent permettre à EDF de décider du site définitif d'implantation d'une centrale. En ce qui concerne GRAVELINES, ce travail a été réalisé de juillet à décembre 1973.
- études de "références", destinées à établir un bilan écologique avant la mise en service de la centrale. Ces études plus complètes portent sur un cycle annuel. Elles servent de bases aux études suivantes :
- études de "contrôle" effectuées pendant le fonctionnement de la centrale.

Le présent rapport fait état des résultats obtenus lors des études de "références" réalisées sur le site de la centrale de GRAVELINES, pendant une période comprise entre septembre 1974 et décembre 1975.

Ces études portent sur les paramètres physico-chimiques et les productions primaire et secondaire pélagiques avec estimation qualitative et quantitative des espèces du phytoplancton et du zooplancton.

Des estimations qualitative et quantitative de la faune de l'estran et du benthos doivent permettre de dresser le bilan de la productivité secondaire de la zone.

Tous les prélèvements ont été effectués par l'équipe mise en place à WIMEREUX, ainsi que toutes les analyses, exceptées celles concernant la production secondaire pélagique, confiées aux zooplanctonologistes du Centre Océanologique de Bretagne.

Pour l'étude du site de GRAVELINES, la partie climatologique, hydrologique, courantologique a été assurée par A. SOUPLLET, la partie phytoplancton par M. BOUGARD, la partie production primaire par M. RYCKAERT, la partie est-tran par A. GREGOIRE et la partie subtidale par J.M. DEWARUMEZ.

I. 3 PRESENTATION DU SITE

1. Géographie

La région NORD-PAS DE CALAIS, fortement industrialisée a d'importantes exigences énergétiques. Aussi, la première centrale thermonucléaire à circuit de refroidissement par eau de mer fonctionnera sur le littoral du département du Nord entre CALAIS et DUNKERQUE (fig. 1). Sa construction s'intègre dans un ensemble de grands travaux concernant l'agrandissement vers l'Ouest du port de DUNKERQUE, avec l'installation d'un nouvel avant-port (fig. 2).

2. Choix de la localisation des stations

La limite spatiale des écosystèmes à étudier a été définie d'après l'évolution de la tâche thermique de rejet, analysée sur maquette au Laboratoire National Hydraulique de CHATOU (L.N.H).

Pour les prélèvements pélagiques et benthiques les stations se situent d'une part sur trois radiales divergentes à partir de la centrale : la première perpendiculaire à la côte, la deuxième dirigée vers l'Est et la troisième vers l'Ouest et d'autre part par une radiale parallèle à la côte. Quinze stations ont été ainsi localisées (fig. 2) en fonction des isothermes des rejets futurs. Les stations 2, 11 et 15 sont situées en dehors de la zone d'influence. L'ensemble des stations est compris dans un espace d'environ 3 milles nautiques vers le large et 20 milles nauti-

ques parallèlement à la côte. En ce qui concerne l'estran, deux des trois radiales de prélèvements ont été localisées en fonction des résultats obtenus sur la plage Est (jouxant la centrale) lors de l'étude préliminaire de 1973. Cette étude suffisamment complète a permis de ne retenir que deux radiales : l'une le long de la digue Est de l'Aa, l'autre près de la centrale. Une radiale dite de référence a été choisie sur la plage à l'Ouest de l'Aa et hors influence du rejet (fig. 2).

1.0 CLIMATOLOGIE - HYDROGRAPHIE

Les stations de prélèvements en mer sont situées près de la côte sur des lignes d'isobathes comprises entre 5 et 20 mètres. Elles enserrant une masse d'eau de faible volume et par conséquent de moindre inertie par rapport des masses d'eaux océaniques. Elles seront donc plus directement soumises aux variations des conditions climatiques telles que la température de l'air et la pluviosité. Ces dernières données couvrant la période étudiée ont été empruntées au "Bulletin climatologique" du PAS DE CALAIS.

Les variations de la force et de la direction du vent, et de l'état de la mer ont été enregistrées et fournies par la Station Météorologique de BOULOGNE SUR MER.

Les données hydrographiques proviennent de l'Annuaire Général des Côtes de FRANCE (Service Hydrographique de la Marine) avec comme port de référence DUNKERQUE pour les marées et CALAIS pour les courants.

Des analyses de courants sur maquette de l'avant port de DUNKERQUE (effectuées au L.N.H.) ont été aimablement fournies par les Services du Port autonome.

1. Climatologie

1.1 Caractères généraux

La région de GRAVELINES bénéficie d'un climat océanique tempéré. La température de l'air varie de façon sinusoidale, avec un maximum

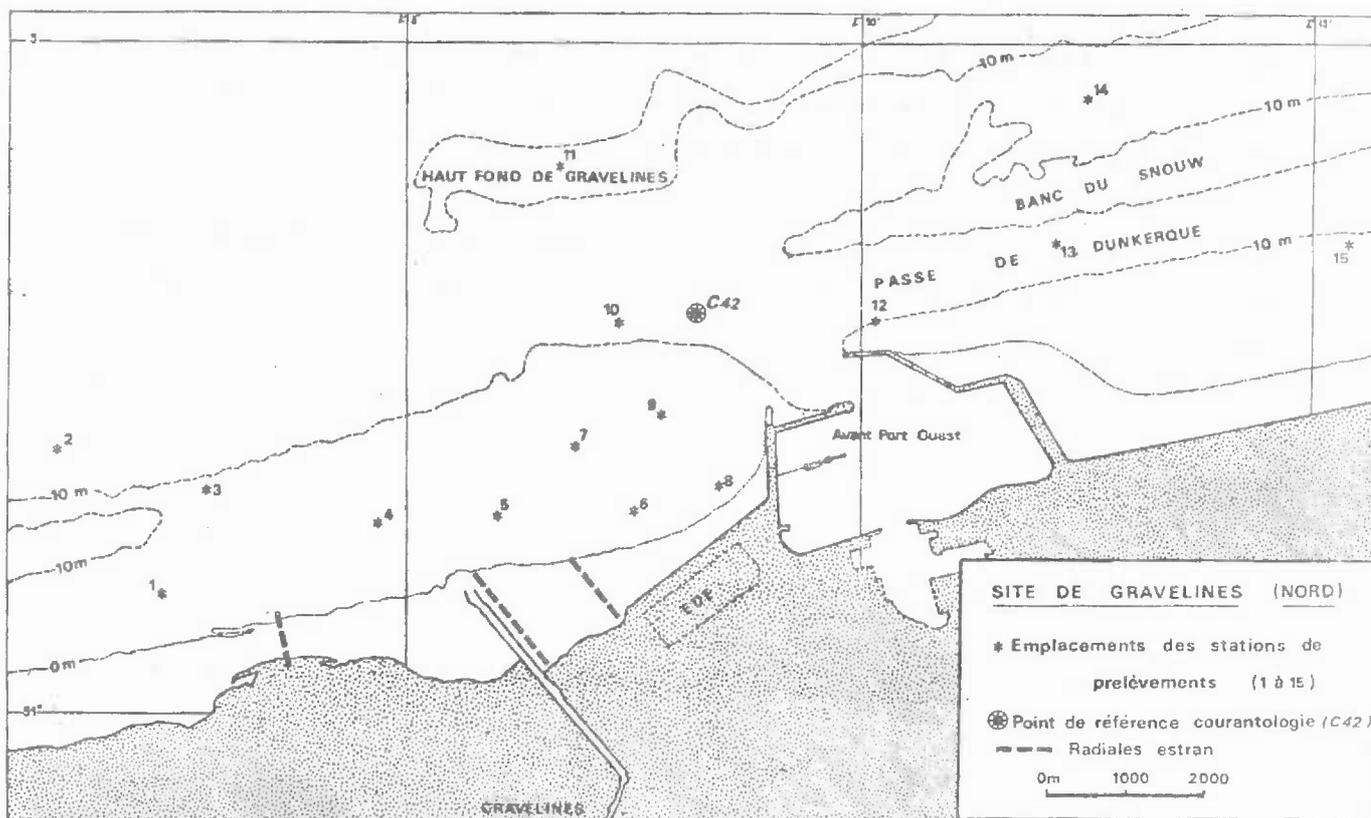
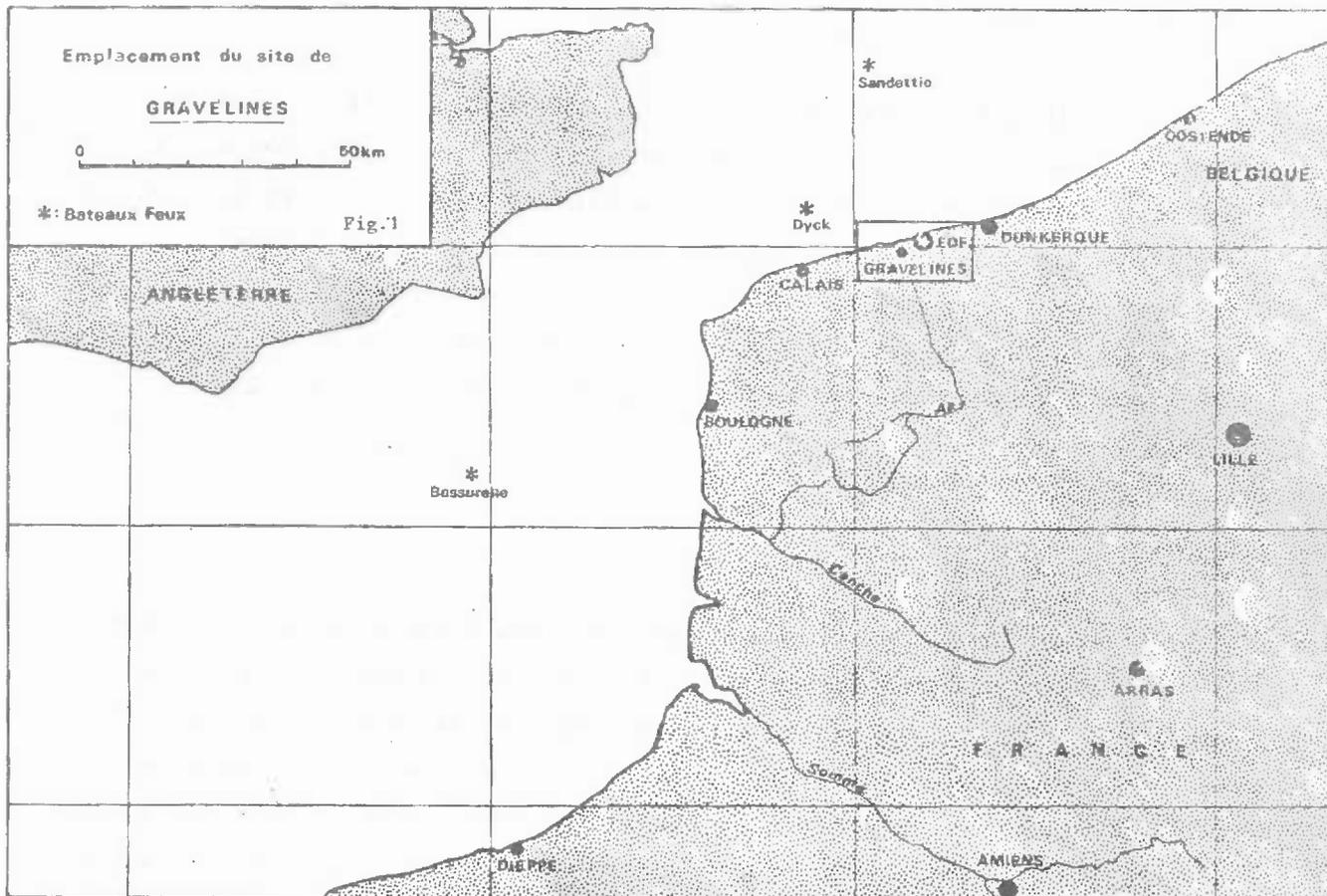


Fig. 2

moyen de 18°C en août et un minimum moyen de 2°C en février. La pluviosité moyenne mensuelle n'excède jamais 100 mm d'eau à OYE-PLAGE, village voisin de GRAVELINES (Bulletin Climatologique Départemental).

1.2 Caractéristiques de la période étudiée

La période allant de septembre 1974 à décembre 1975 et pendant laquelle s'est déroulée l'étude du site de GRAVELINES a présenté certaines caractéristiques météorologiques exceptionnelles qui font que cette année ne peut être vraiment considérée comme une année de référence.

Automne 1974 : Cette période a été caractérisée par des températures inférieures à la normale, des précipitations fortes et des vents forts d'une durée exceptionnelle.

Hiver 1975 : l'hiver a été doux avec des précipitations fortes, puis faibles, puis normales, et des vents très forts en janvier, s'affaiblissant ensuite.

Il est à noter que la période de vents forts s'est étendue de septembre 1974 à fin janvier 1975, ce qui a considérablement gêné la réalisation du programme.

Printemps 1975 : les températures ont été plus faibles que la normale, la pluviosité moyenne, et les vents généralement modérés de NE à W.

Été 1975 : cette période a été marquée par des températures très supérieures à la moyenne des dernières années. Les précipitations ont été faibles, voire nulles, en juillet et août, mais très fortes en septembre. Les vents étaient faibles, de direction variable.

Automne 1975 : Les températures ont été relativement faibles, les précipitations moyennes et les vents variables, faibles à modérés.

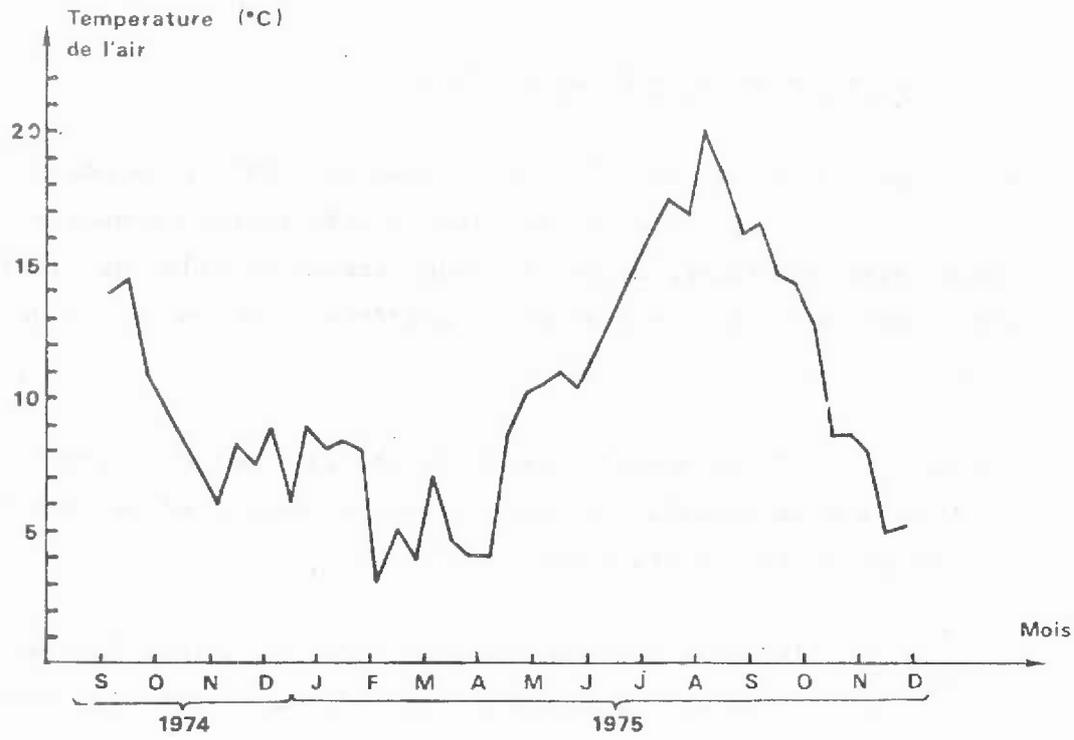
Les figures 3 et 4 résument les données de températures et de pluviosité pour l'ensemble de la période étudiée à OYE-PLAGE.

VARIATIONS DE LA TEMPERATURE MOYENNE PAR DECADE

Fig. 3

A OYE - PLAGE

(D'après les données du Bulletin Climatologique Départemental)

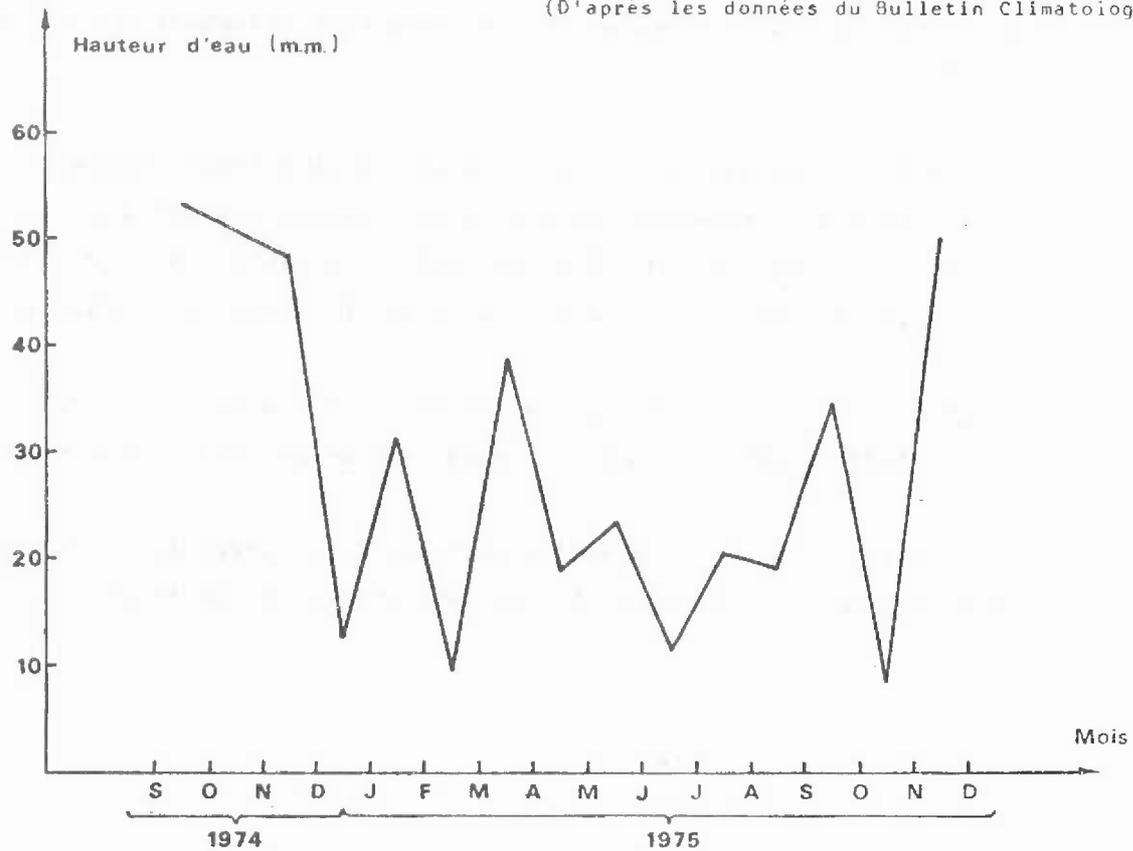


VARIATION DE LA PLUVIOSITE MOYENNE MENSUELLE

Fig. 4

A OYE - PLAGE

(D'après les données du Bulletin Climatologique Départemental)



2. Hydrographie

2.1 Marées

A DUNKERQUE la marée est de type semi-diurne. Ses caractéristiques sont les suivantes :

Type de marée	Coefficient	Côte de	
		Pleine mer	Basse mer
Vive-eau moyenne	95	5,80 m	0,50 m
Marée moyenne	70	5,50 m	0,90 m
Morte-eau moyenne	45	4,80 m	1,40 m

Quel que soit le coefficient de la marée, le montant est plus court que le baissant de près de deux heures. D'après l'annuaire des marées, à GRAVELINES, le marnage est supérieur à celui de DUNKERQUE de 0,20 m à 0,30 m, respectivement en morte-eau et en vive-eau, et la pleine mer est en avance de 10 minutes environ par rapport à DUNKERQUE.

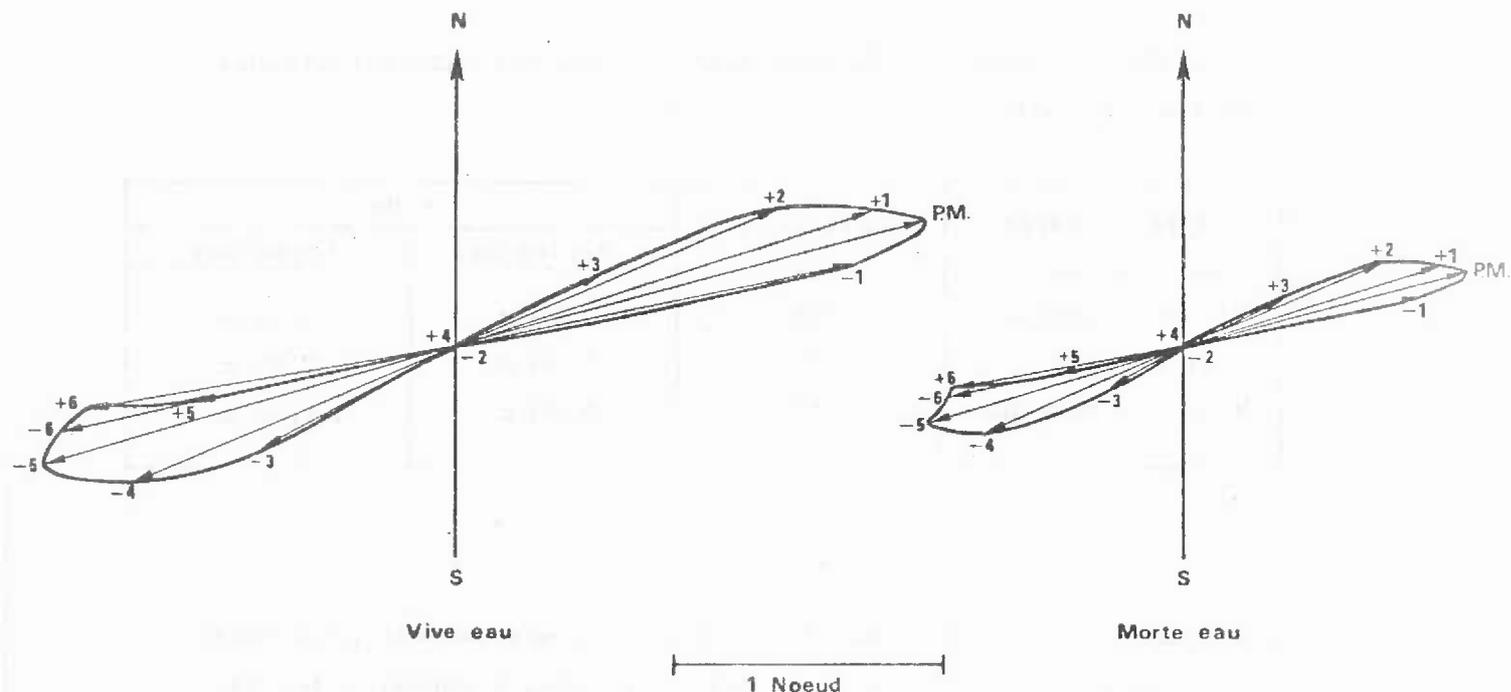
2.2 Les courants

Courant général : dans le PAS DE CALAIS, on rencontre un courant général, faible, portant au NE et atteignant la vitesse de 2,7 milles par jour environ. Toutefois à un point et à un instant donnés, la direction du courant est influencée par l'orientation du vent, dont il faut tenir compte pour connaître la direction et la vitesse réelles du courant, au moins en surface.

Courants de marée : dans la zone étudiée, les courants de marée sont alternatifs, de direction sensiblement parallèle à la côte. Pendant le flot, ils sont dirigés vers l'ENE (65 - 70°) alors qu'au jusant ils portent à l'WNW (255 - 260°) (fig. 5). Les mesures de courant

ROSE DES COURANTS DANS LA PASSE DE DUNKERQUE fig. 5

(D'après les données du Service Hydrographique de la Marine)



ont été effectuées au point C 42 de la figure 2. La construction du nouvel avant-port Ouest de DUNKERQUE a apporté des modifications locales dans les champs de courant. En marée de vive-eau moyenne (coefficient 95) on note la présence de turbulences et de tourbillons à l'entrée de l'avant-port et le long de la jetée Ouest. Ces phénomènes, atténués en marée de morte-eau (coefficient 45), affectent surtout la station 8 (fig. 2). Pendant le jusant, le vidage de l'avant-port amène les eaux portuaires aux stations 9 et 7 (étude des courants de marée sur les projets de l'avant-port).

2.3 Les apports d'eaux terrestres

En plus des eaux de ruissellement et de celles de la nappe phréatique, il faut noter l'apport d'eaux douces amenées par l'Aa. Le fleuve, canalisé et détourné depuis ST OMER, a un débit très irrégulier, modulé, à l'embouchure, par l'ouverture et la fermeture des écluses de GRAVELINES. Il est certain qu'après les inondations de l'AUDOMAROIS au printemps 1975 le débit accru de l'Aa a déterminé des variations exceptionnelles des paramètres physico-chimiques et biologiques des eaux côtières sur le site.

CHAPITRE II

LE DOMAINE PELAGIQUE

O. ARNAL : ZOOPLANCTON

M. BOUGARD : PHYTOPLANCTON + PARAMETRES
PHYSICO-CHIMIQUES

N. DEWARUMEZ : PARAMETRES PHYSICO-
CHIMIQUES

G. LE FEVRE : ZOOPLANCTON

G. NICOLAUD : ZOOPLANCTON

M. RYCKAERT : PRODUCTION PRIMAIRE

F. TOULARASTEL : ZOOPLANCTON

B. VALDELIEVRE : ZOOPLANCTON

LE DOMAINE PELAGIQUE

II.A INTRODUCTION

L'étude écologique du site de GRAVELINES a porté pour ce qui concerne la partie pelagos sur une période d'environ 14 mois. Les douze campagnes de prélèvements sont présentées dans le tableau 2 (volume II) qui mentionne la date prévue, la date effective, les stations prospectées et le nombre de niveaux étudiés. La fréquence des sorties est plus élevée au printemps.

Des retards administratifs dans la signature du contrat ont empêché le déroulement des premières campagnes aux dates prévues. La sortie n° I a eu lieu à bord du "PLUTEUS", bateau attaché à la Station Biologique de ROSCOFF, alors en mission en face de GRAVELINES. Faute de signature de la Convention de location du "DRAKKAR", à bord duquel furent effectués toutes les autres campagnes, la sortie n° II prévue le 20 octobre 1974 a dû être retardée. A cela sont venues s'ajouter les mauvaises conditions météorologiques* , reculant la sortie en mer au 17 novembre 1974.

Pour ces mêmes raisons météorologiques les sorties prévues le 1er décembre 1974, le 30 mars 1975 et le 20 octobre 1975 ont dû être annulées ; celle du 1er décembre 1974 a été reportée au 1er décembre 1975 (sortie n° XII). En ce qui concerne les autres sorties le programme n'a pas toujours pu être respecté et le nombre de stations a souvent dû être réduit. En février 1975 est venue s'ajouter la grève des marins, bloquant le port de CALAIS. Lors de la campagne V, le respect scrupuleux d'exécution du programme de prélèvements, qui limitait le laps de temps d'opération de - 2 h à + 2 h de part et d'autre de la pleine mer, est à l'origine du fait que seules 4 stations ont pu être échantillonnées. La reconsidération du programme et l'amélioration des techniques ont permis lorsque les conditions météorologiques étaient favorables de faire les prélèvements aux 15 stations en une seule journée (sorties VIII, IX et XI).

* Les prélèvements en mer sont difficiles quand la force du vent est supérieure à 4 à 5 degrés BEAUFORT ; les creux dépassent alors 1 m à 1,50 m.

La sortie XII a été réalisée à titre d'essai selon le nouveau protocole "drogue".

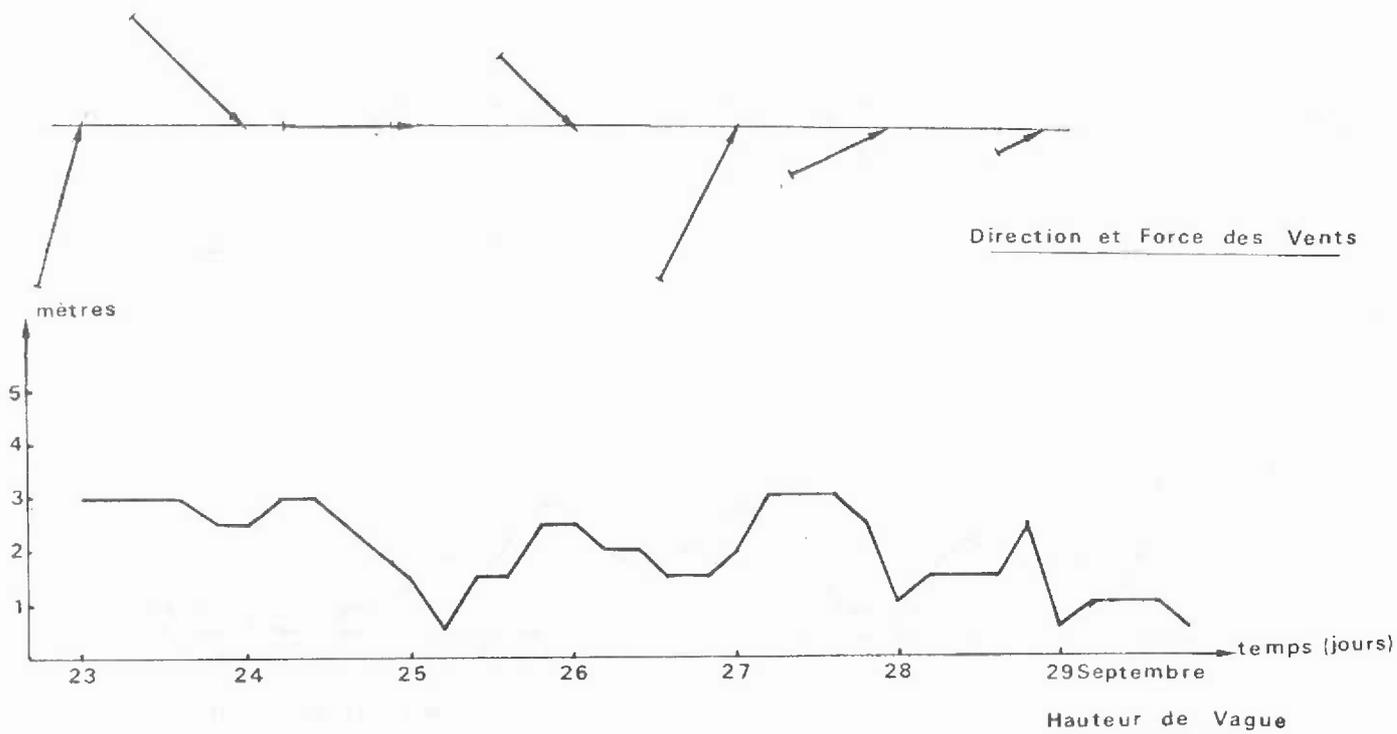
Les observations concernant la direction et la force du vent, ainsi que la hauteur de vague pendant la période de 6 jours précédant chacune des sorties sont présentées dans les figures 6 à 18 (observations faites au bateau-feux Sandettie). La présence du Cap GRIS-NEZ atténue les effets des vents de SSE dans le secteur étudié. Les périodes pendant lesquelles l'état de la mer permet d'effectuer les prélèvements sans dommage pour le matériel sont courtes ; il en résulte la nécessité de la disponibilité continue des chercheurs à partir de la date prévue. Les conditions météorologiques ont été favorables lors des sorties I - III - III bis - V - VI (9 mai) VIII - IX - X et XI*. Compte tenu de la courte durée du jour pendant les campagnes III et III bis, nous avons dû opérer sur 2 jours pour échantillonner toutes les stations.

Afin de déterminer les déplacements des masses d'eau pendant une sortie et les positions relatives des stations les unes par rapport aux autres pendant toute la durée des prélèvements, le mouvement du front d'eau a été évalué à partir de chaque point d'échantillonnage ; ceci a été fait pour les campagnes au cours desquelles nous avons pu réaliser le programme complet en une journée (fig. 19 à 23). Les stations sont placées sur les figures par rapport à 2 axes : l'un représentant les heures de prélèvements, l'autre la distance par rapport à la 1ère station étudiée dans la journée ; il n'est pas tenu compte de l'éloignement de la côte. Nous avons calculé la distance parcourue par le front d'eau entre 2 prélèvements, à partir de l'intervalle de temps par rapport à la pleine mer et de la vitesse du courant (le point de référence est le point 42 ($51^{\circ} 03'N - 2^{\circ} 08'E$) du Service Hydrographique de la Marine ; point C de la figure 2). La distance calculée est ajoutée à la position des stations déjà inventoriées. Les stations 6 et 8 sont exclues de ces figures car les courants sont à cet endroit des courants tourbillonnants causés par la présence de la digue Ouest de l'avant-port de DUNKERQUE.

*Le 6 octobre, le vent s'est levé pendant la journée, ce qui nous a empêché d'échantillonner les stations 1 et 7.

CAMPAGNE I (29 Septembre)

fig. 6



CAMPAGNE II (17 Novembre)

fig. 7

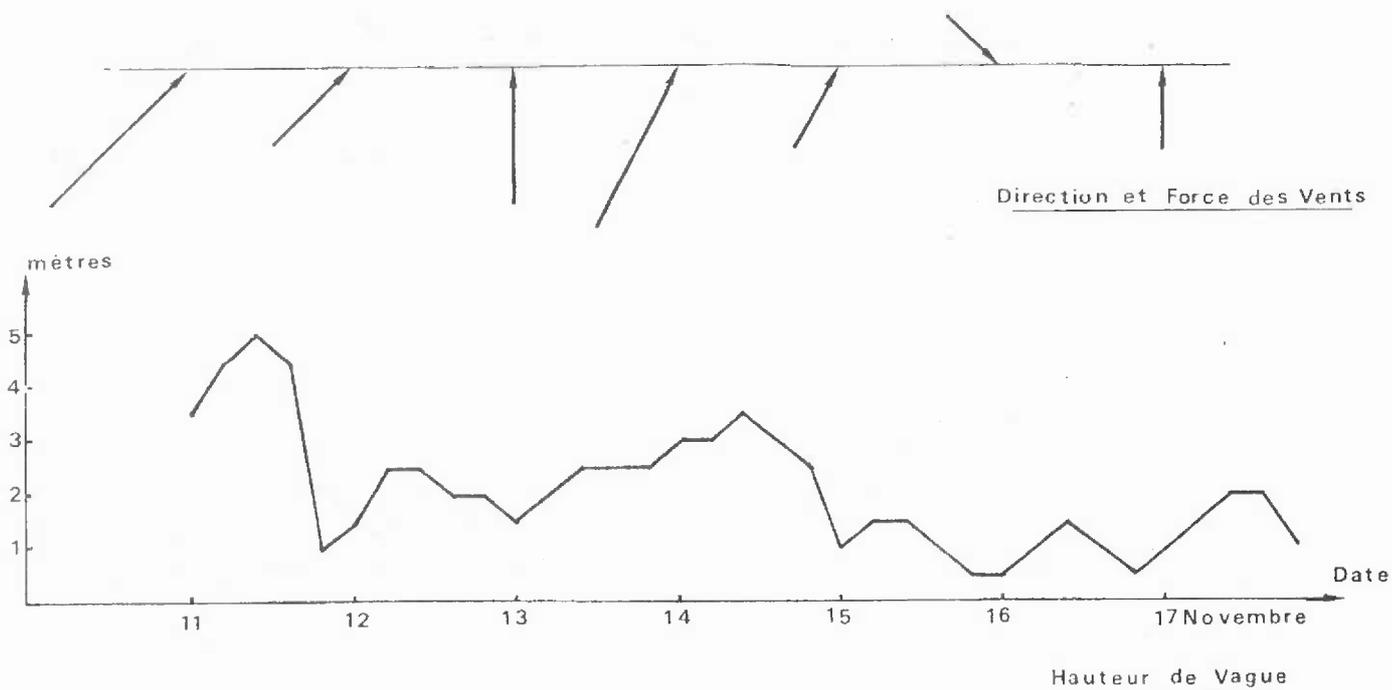


fig. 8

CAMPAGNE III (2 Février)

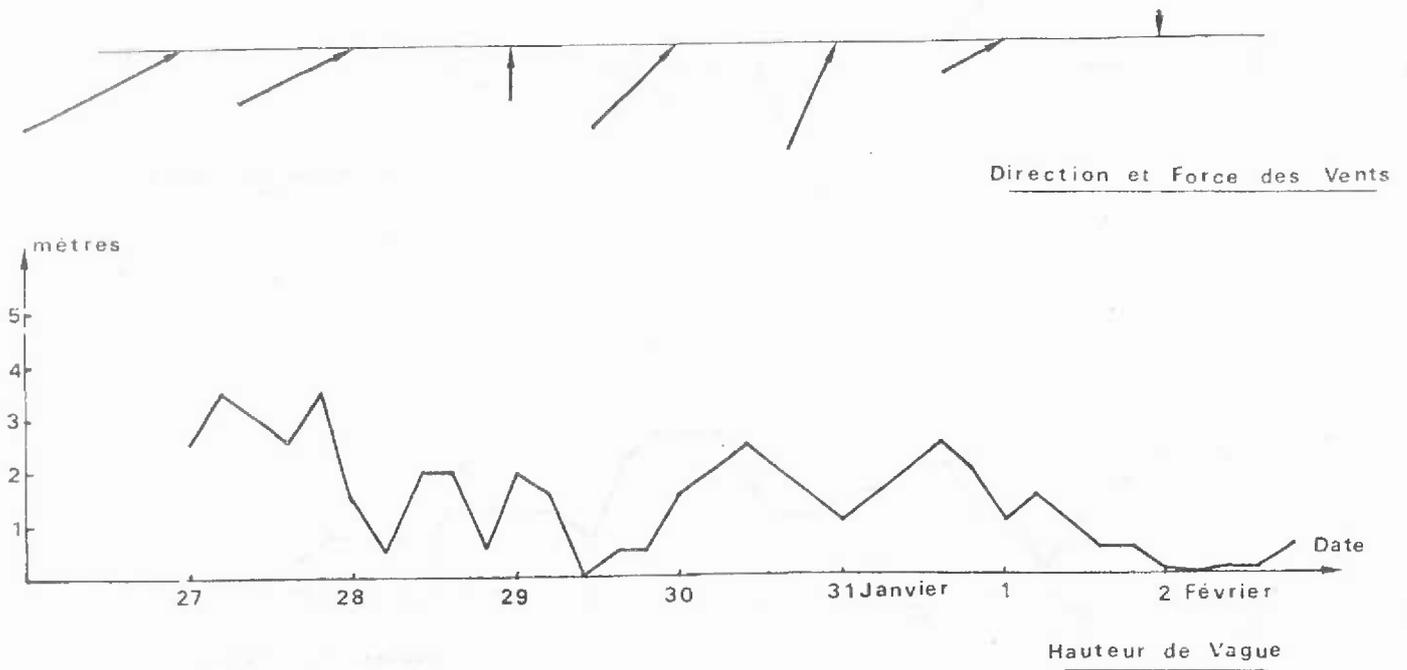


fig. 9

CAMPAGNE III bis (9 Février)

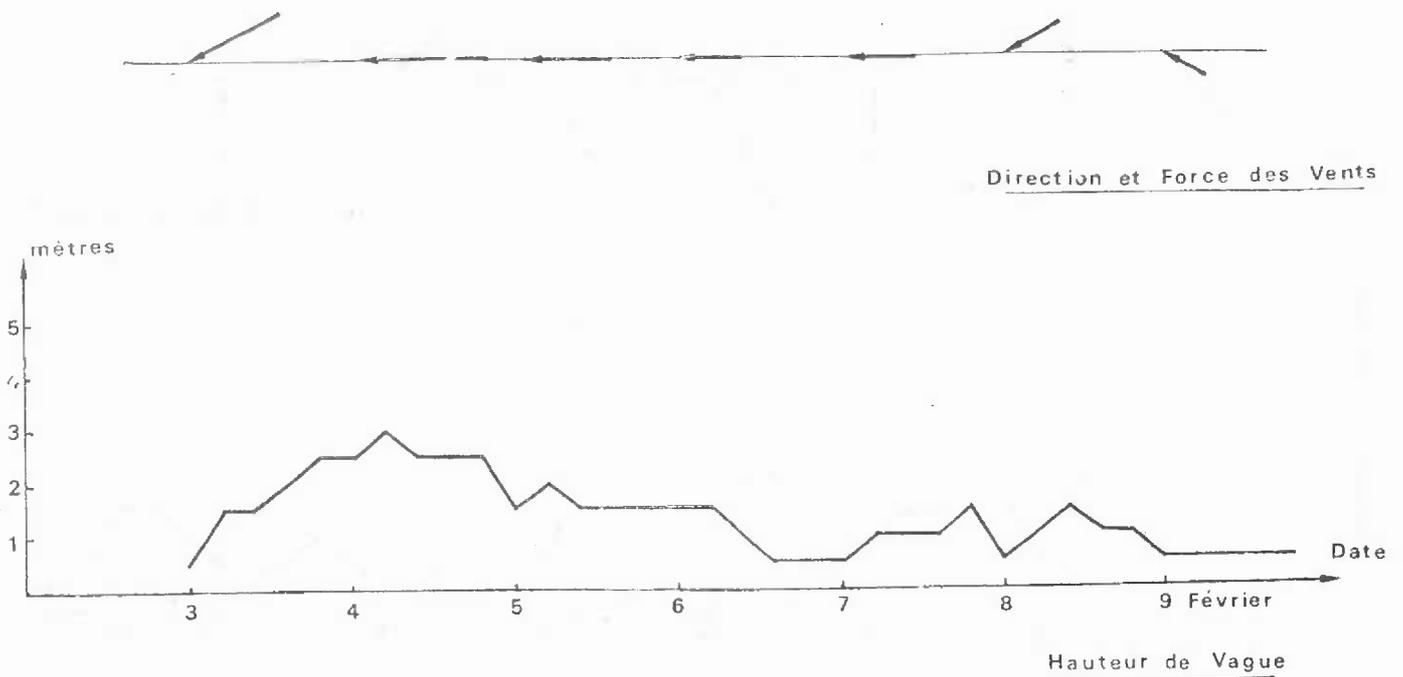
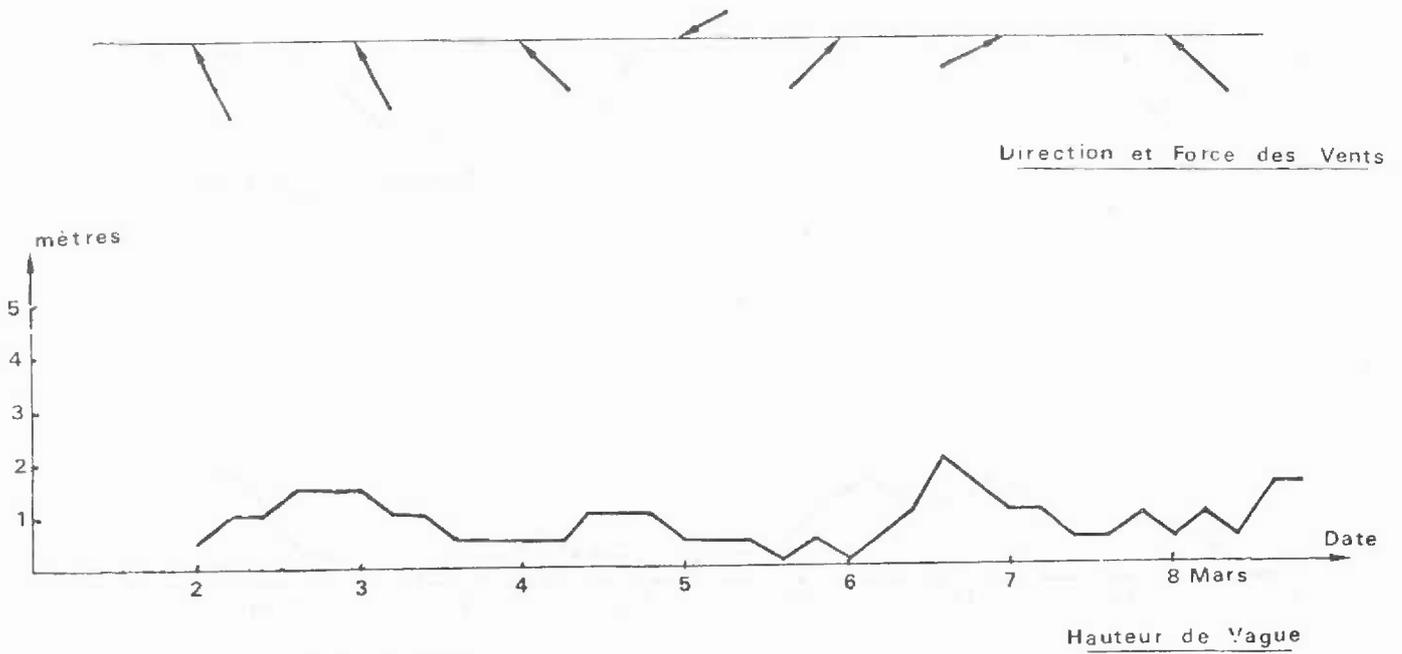
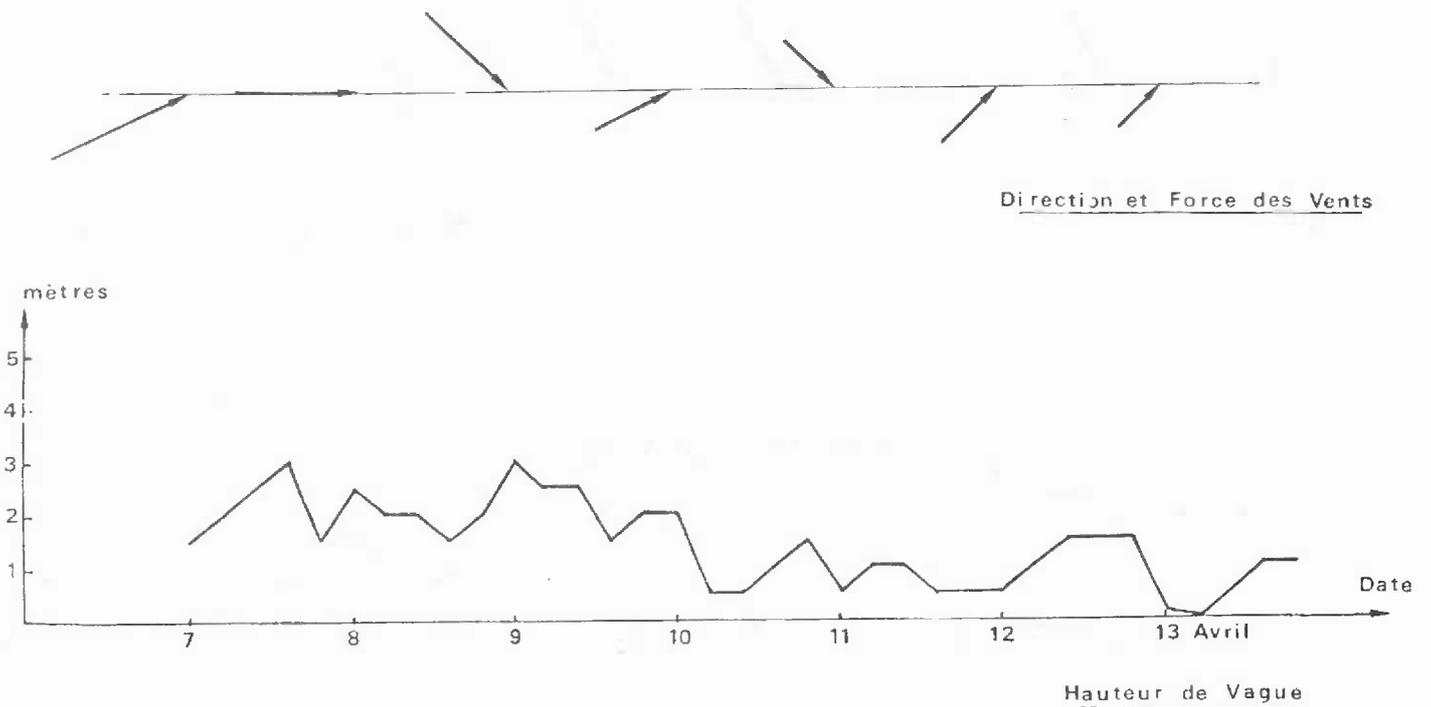


fig. 10



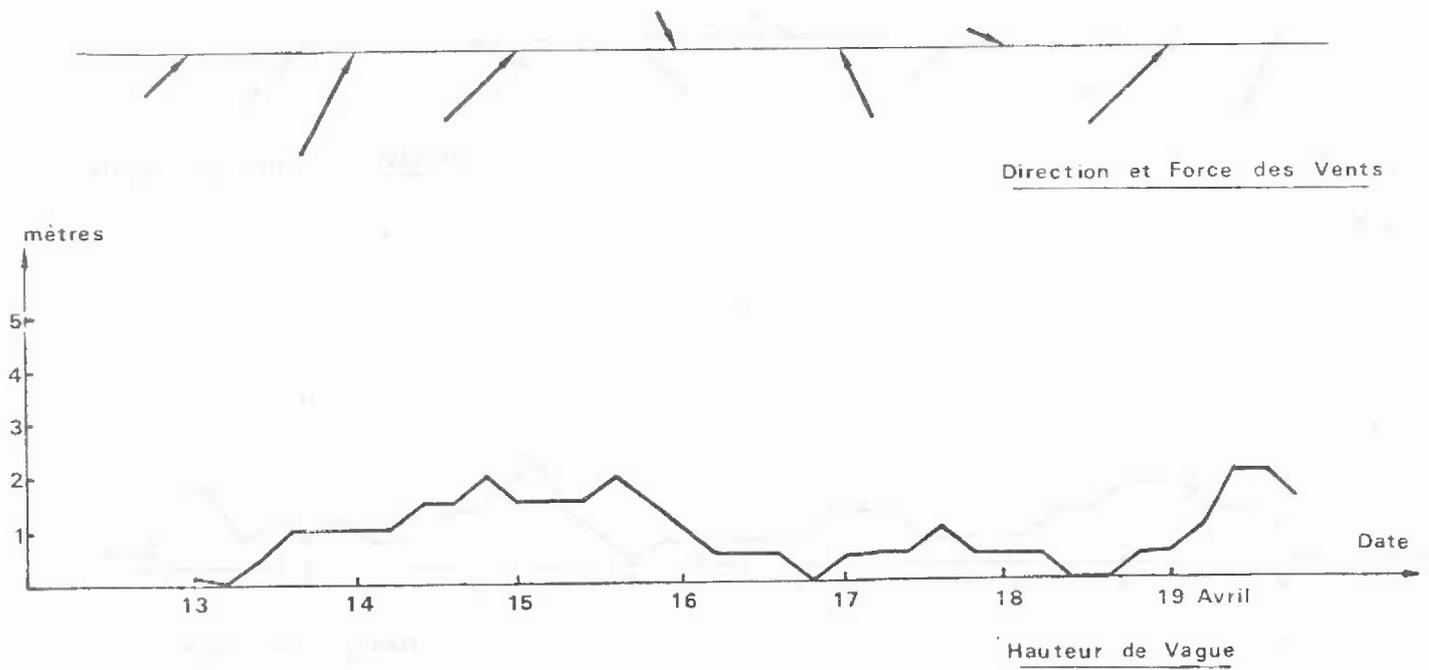
CAMPAGNE V (13 Avril)

fig. 11



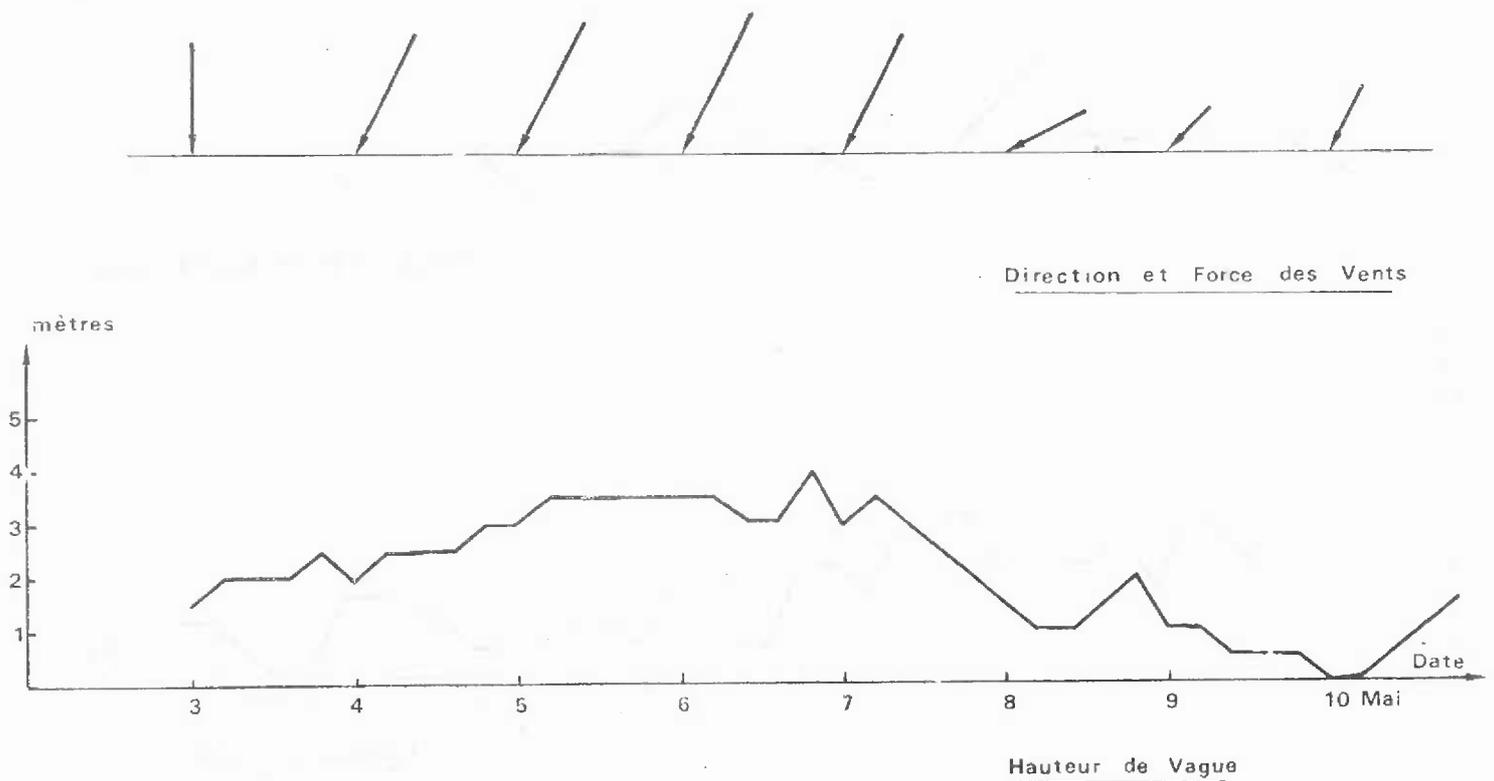
CAMPAGNE V bis (19 Avril)

fig. 12



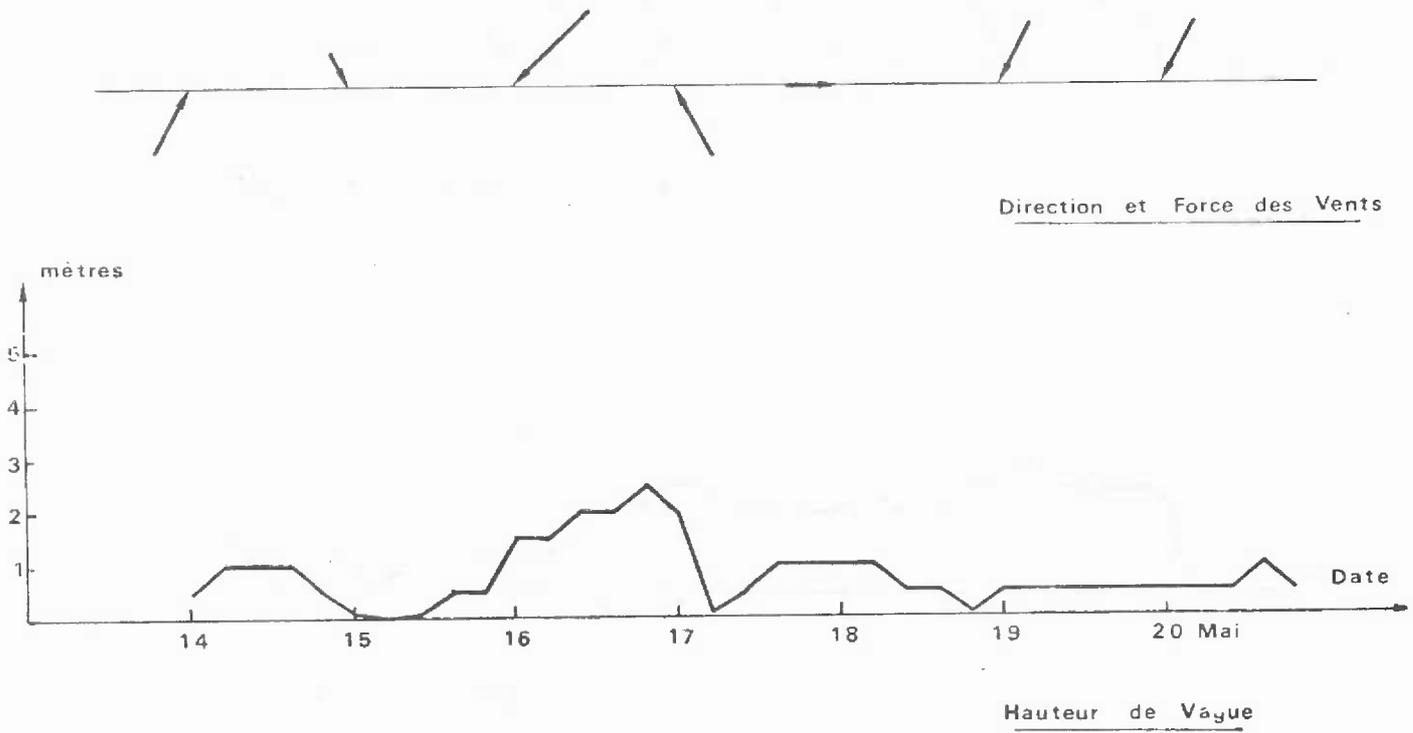
CAMPAGNE VI (10 Mai)

fig. 13



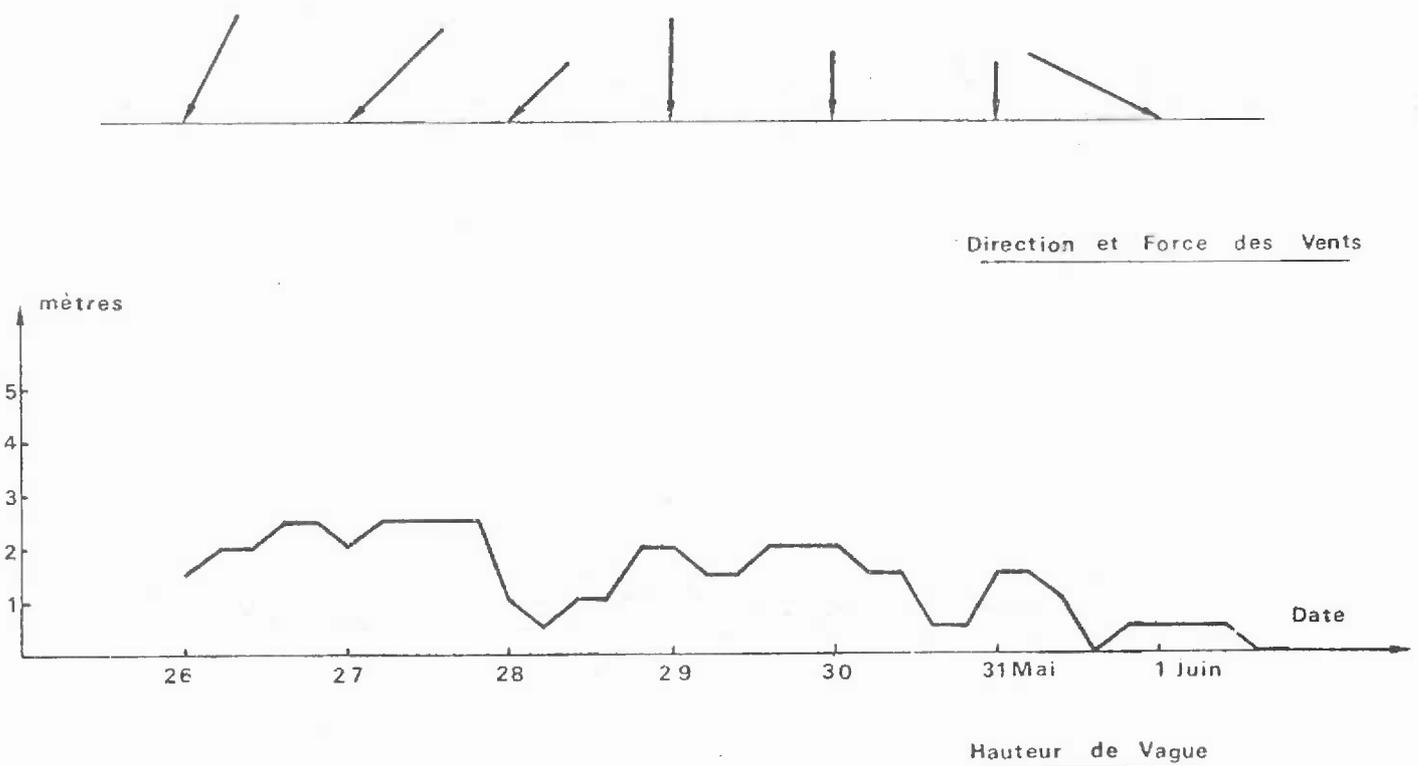
CAMPAGNE VII (20 Mai)

fig. 14



CAMPAGNE VIII (1 Juin)

fig. 15

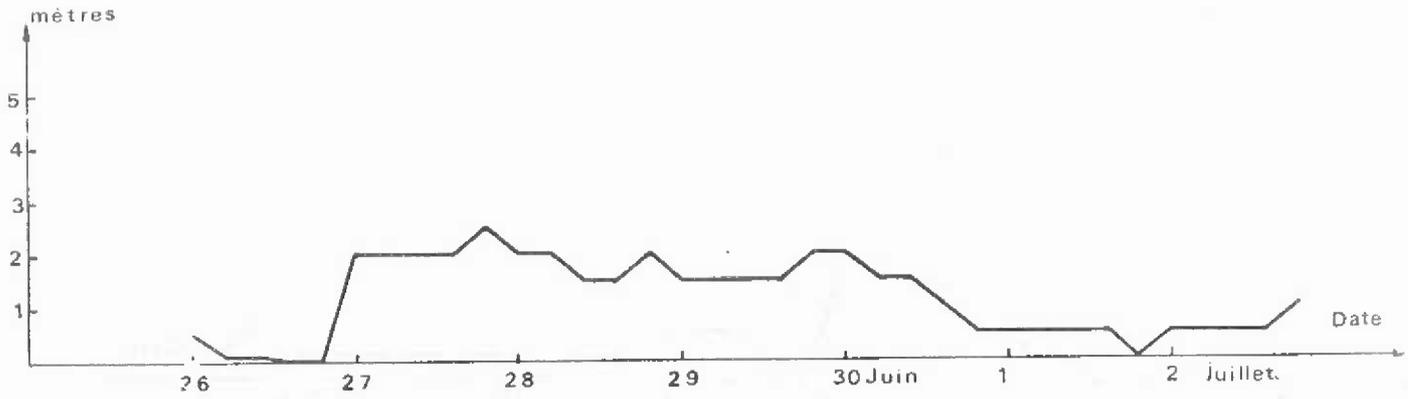


CAMPAGNE IX (2 Juillet)

Fig. 16



Direction et Force des Vents



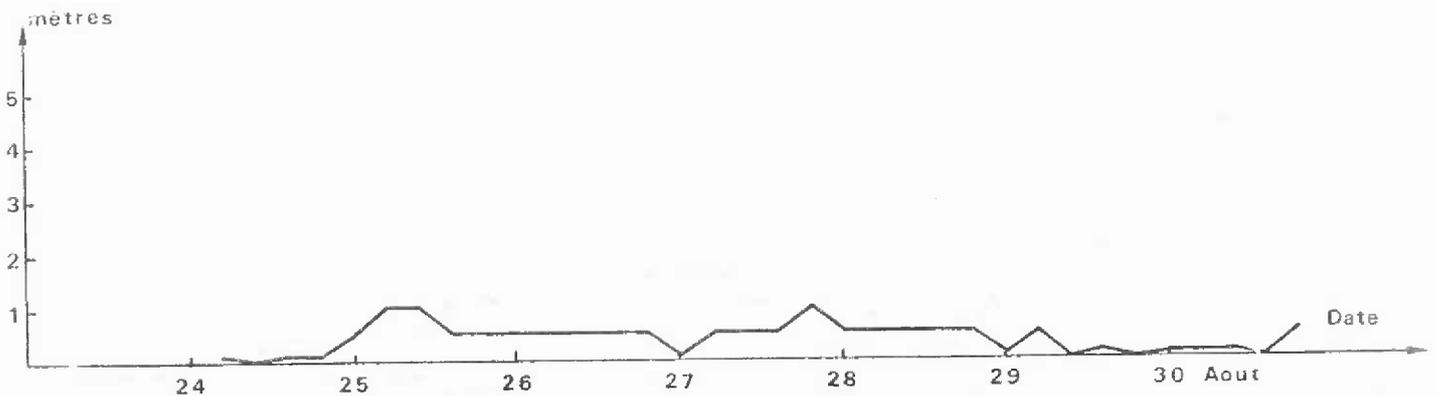
Hauteur de Vague

fig. 17

CAMPAGNE X (30 Aout)



Direction et Force des Vents

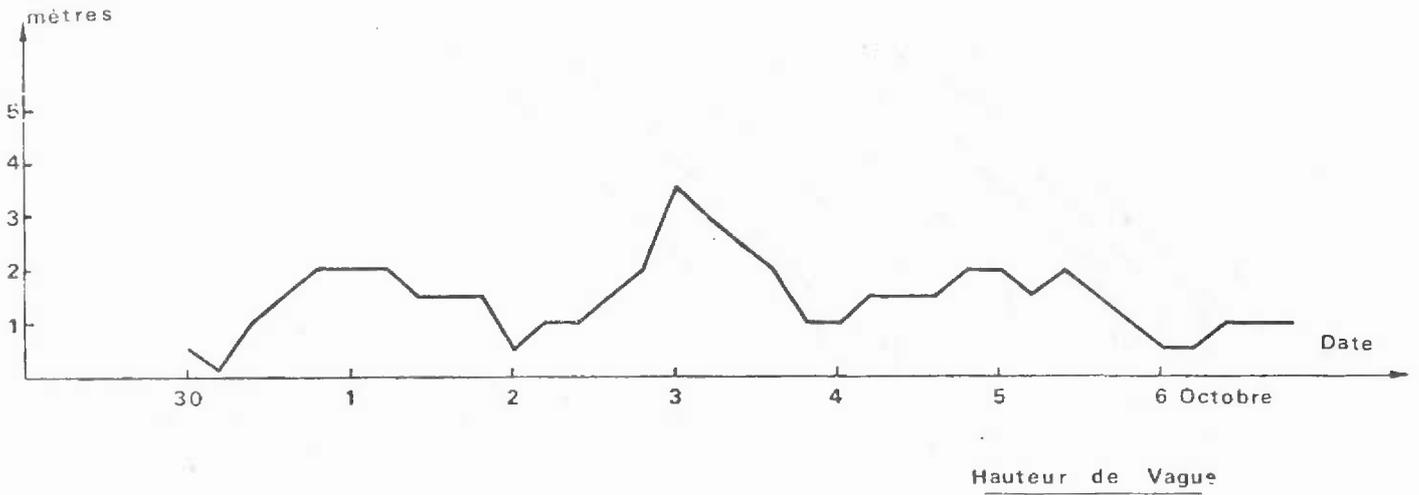
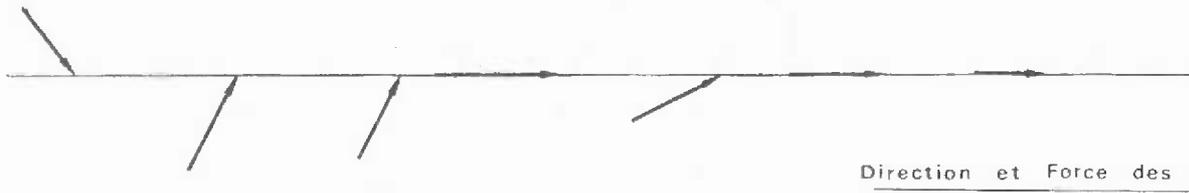
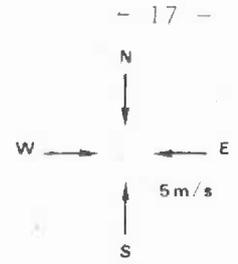


Hauteur de Vague

fig. 18

CAMPAGNE XI (6 Octobre)

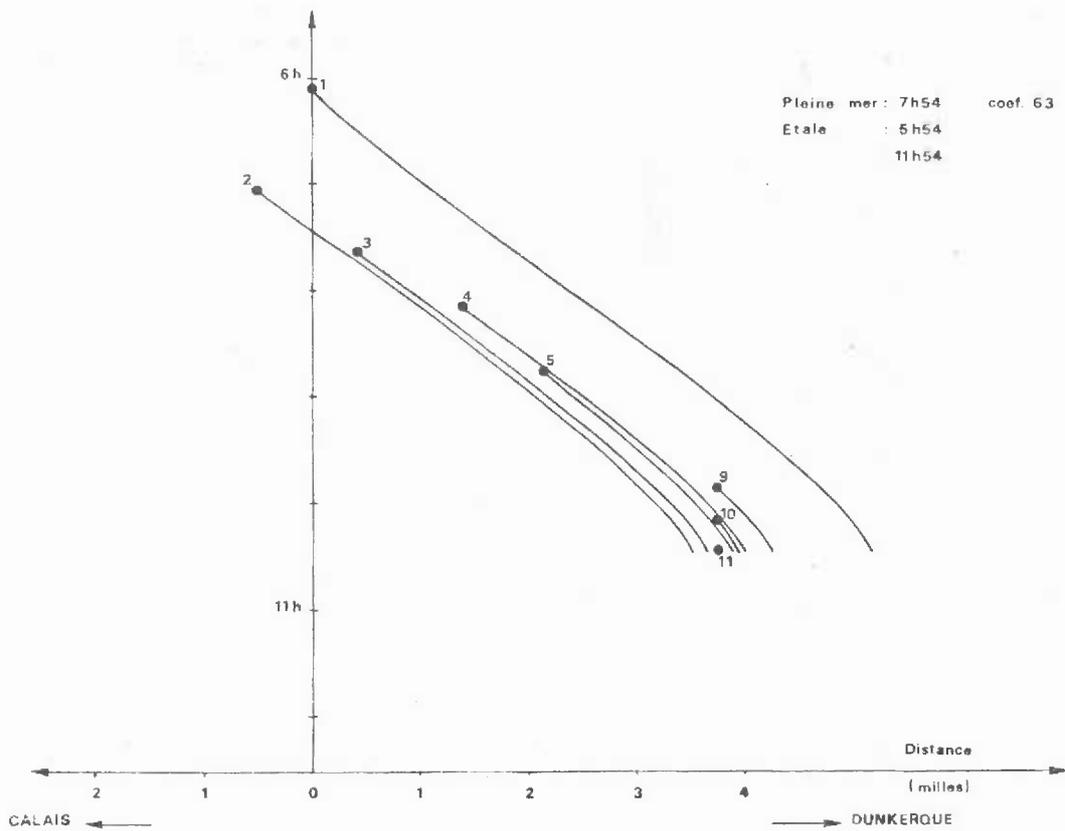
(Observations Sandettie)
(bateau feux)



POSITION DES STATIONS / MOUVEMENTS DE LA MASSE D'EAU

fig. 19

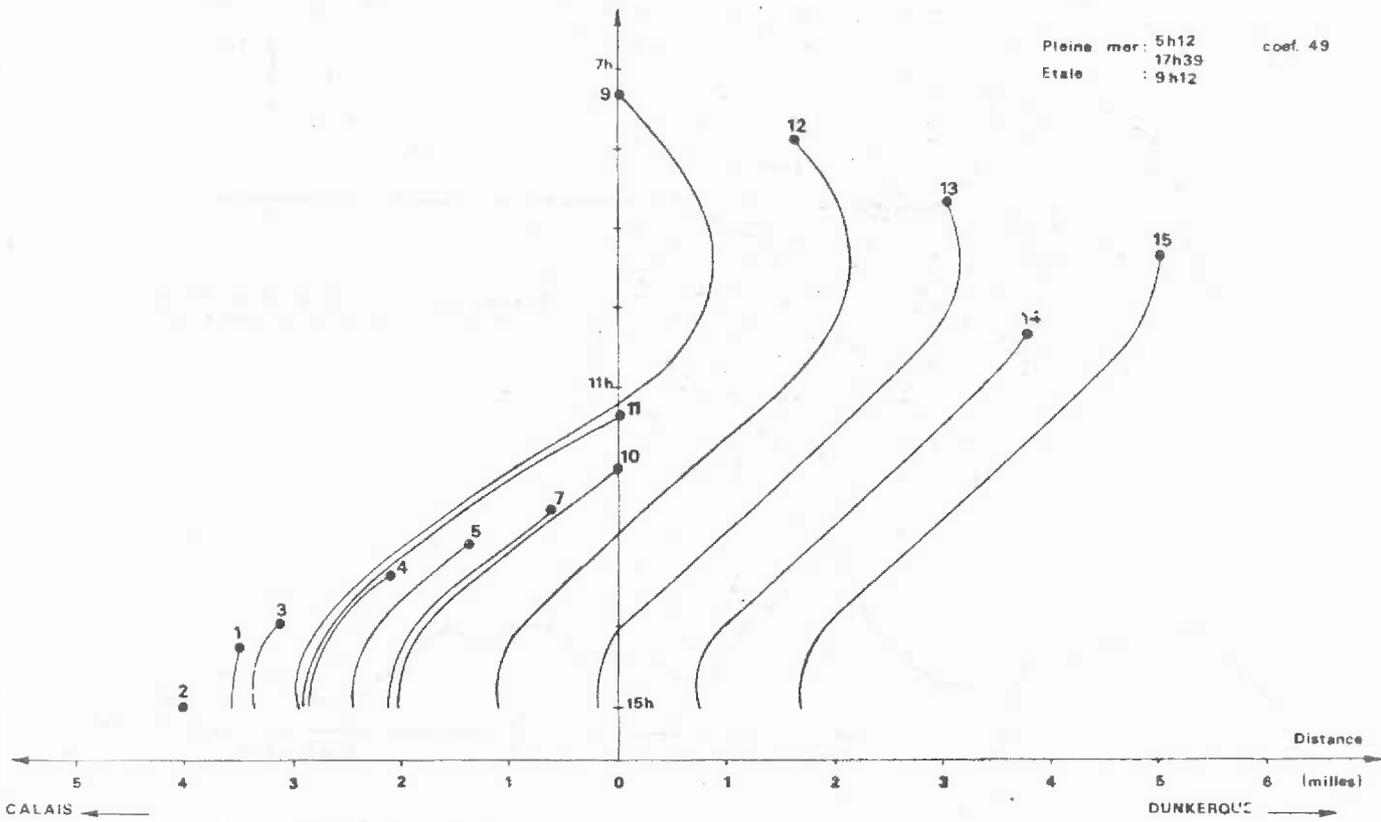
Campagne VII



POSITION DES STATIONS/ MOUVEMENTS DE LA MASSE D'EAU

fig. 20

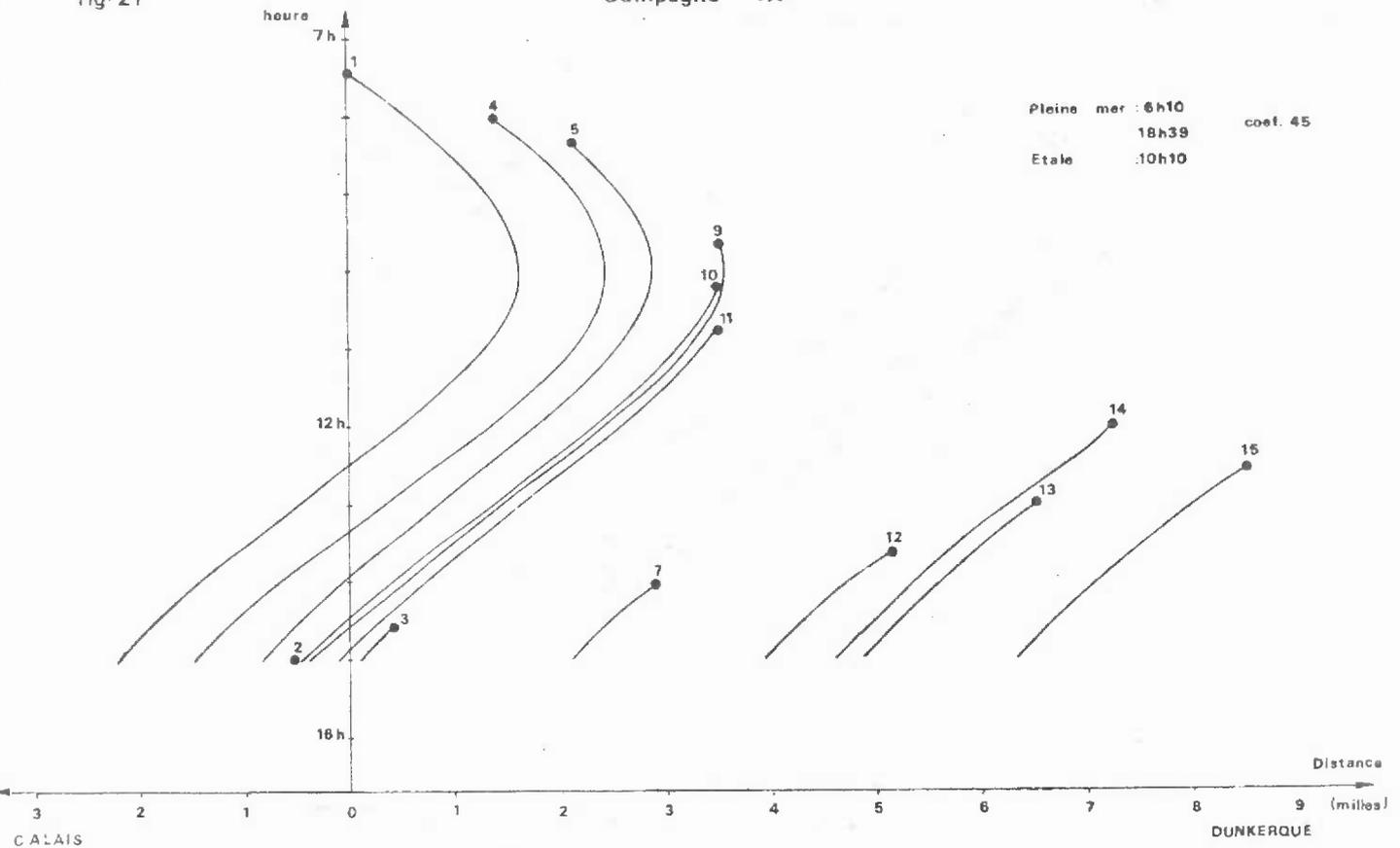
Campagne VIII



POSITION DES STATIONS/ MOUVEMENTS DE LA MASSE D'EAU

fig. 21

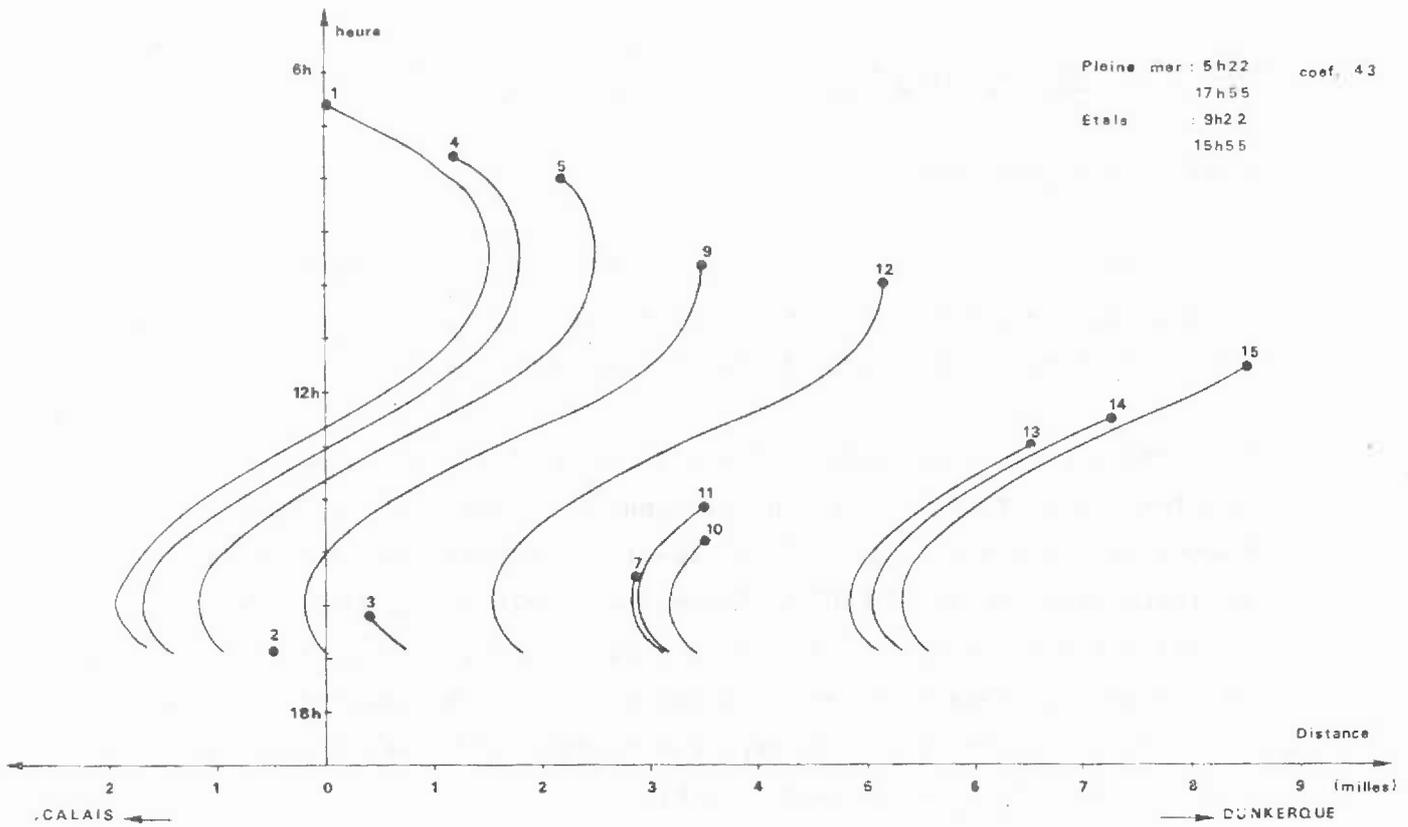
Campagne IX



POSITION DES STATIONS / MOUVEMENTS DE LA MASSE D'EAU

fig. 22

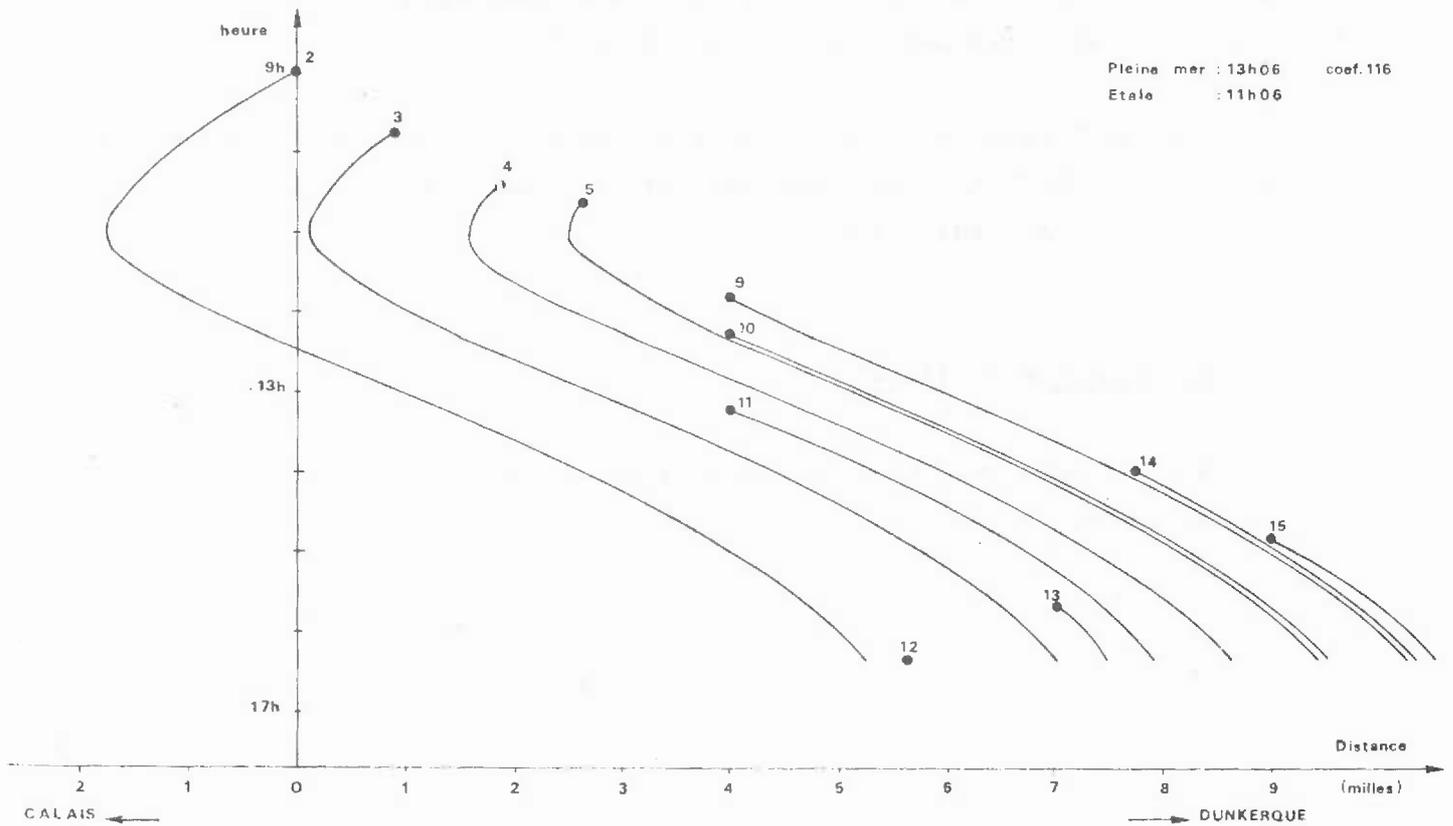
Campagne X



POSITION DES STATIONS / MOUVEMENTS DE LA MASSE D'EAU

fig. 23

Campagne XI



II.B PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

1. Matériel et méthodes

Les paramètres physico-chimiques ont été mesurés tous les 5 mètres à chaque station pendant les premières campagnes, puis à 0 m, 10 m et au niveau le plus proche du fond pendant les autres sorties.

Nous avons prélevé les échantillons d'eau à l'aide d'une pompe (fig. 24) aux faibles profondeurs ou, aux profondeurs supérieures à 10 m, avec une bouteille à clapets (fig. 25). Celle-ci a été réalisée à l'Institut de Biologie Maritime de WIMEREUX d'après le modèle de M. MONZIKOFF de l'Institut Océanographique de Paris (volume : 5 litres x 2). A partir de la campagne X, nous avons utilisé des bouteilles MECABOLIER (volume : 2 litres ; fig. 26 et 27) du type des bouteilles NANSEN ; nous les avons placées tous les 5 mètres sur le cable.

Pendant les toutes premières campagnes, nous avons fait les filtrations au Laboratoire en utilisant la trompe à vide. Ensuite l'utilisation à bord du bateau de colonnes en acier inoxydable, de contenance 1,5 litre, reliées à une bouteille d'air comprimé, ont permis la filtration sous pression à l'obscurité dès le prélèvement de l'eau. Ces colonnes ont été réalisées à partir d'unités de filtration GELMAN modifiées selon un modèle original conçu par RICHARD (fig. 28 et 29).

Des essais de mesures de plusieurs paramètres à l'aide d'une sonde MARTEK prêtée par l'EDF ont donné des résultats dont on ne peut considérer la valeur que comme indicative.

1.1 Transparence de l'eau

Nous l'avons mesurée au moyen du disque de Secchi avec une précision de 15 cm.

1.2 Température

Pendant les premières campagnes l'utilisation de la sonde BECKMAN a permis l'estimation de la température avec une précision théorique du 1/10e de °C ; après la campagne VIII elle a été mesurée avec un thermomètre au 1/10e de °C jusqu'à l'arrivée des bouteilles MECABOLIER équipées de thermomètres à renversement RICHTER et WIESE. La palanquée de bouteilles est laissée 10 minutes "in situ" afin de permettre la stabilisation de la température des thermomètres dont la précision est de quelques 1/100e de degrés C. Pour la lecture de la température nous avons utilisé une loupe NANSEN.

1.3 Salinité

Des essais de mesures "in situ" ont été faits avec une sonde BECKMAN (précision théorique 0,1 ‰) ; pendant les premières campagnes nous les avons couplé avec des mesures par dosages par la méthode de KNUDSEN ; puis le manque de fiabilité des valeurs données par la sonde a conduit à son abandon. La méthode de KNUDSEN est basée sur le dosage des chlorures par précipitation au nitrate d'argent * ; la précision est de 0,05 ‰. A partir de la campagne IX les échantillons conservés dans des cannettes en verre de 250 ml préalablement rincées avec de l'eau du prélèvement ont été envoyés au COB, où la salinité a été mesurée avec un salinomètre GUILDLINE (précision 0,005 ‰).

1.4 Oxygène dissous

L'eau destinée à la mesure du taux d'oxygène dissous est versée dans un flacon en verre à bouchon rodé (d'un volume d'environ 135 ml) grâce à un tuyau souple adapté sur le robinet inférieur de la bouteille ; on laisse déborder avant de reboucher le flacon en ayant soin de ne pas introduire d'air. Le dosage de l'oxygène a été réalisé selon la méthode de WINCKLER : on ajoute à l'eau de mer une solution de man-

* On déduit la valeur de la salinité à partir de celle de la chlorosité à l'aide des tables du NATIONAL INSTITUTE OF OCEANOGRAPHY OF GREAT BRITAIN AND UNESCO (1973).

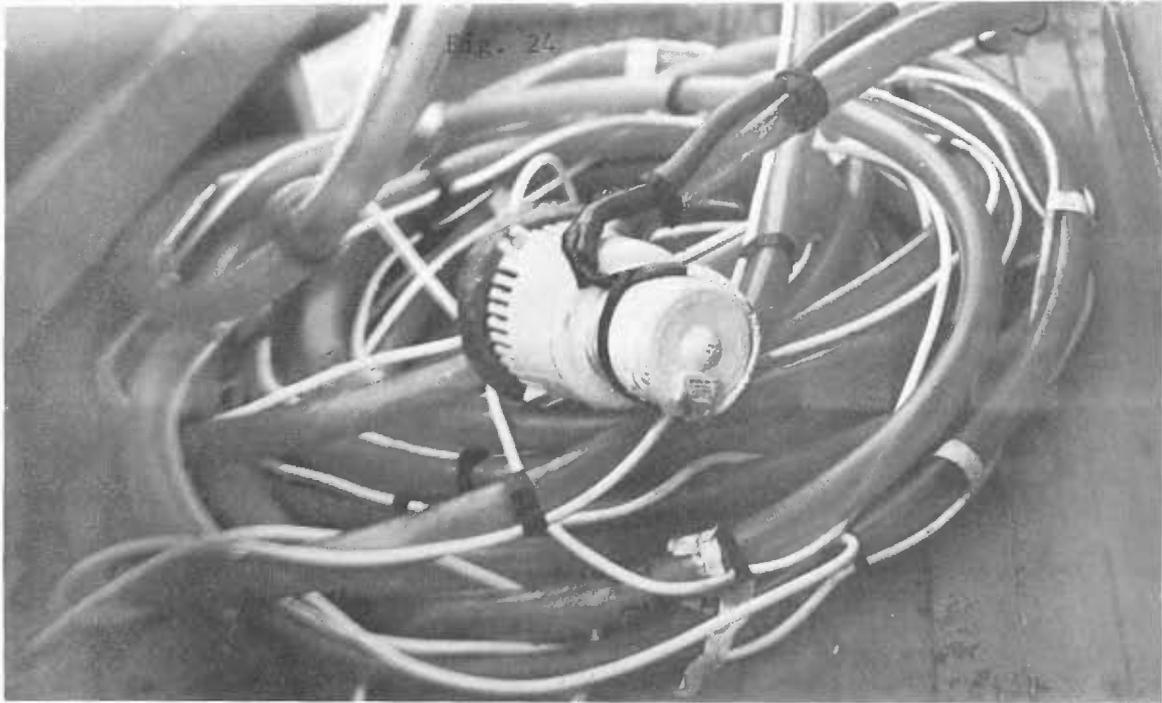
manganèse divalent, puis une base forte ; l'oxygène dissous oxyde une quantité équivalente de MnII en MnIII ou IV ; la solution est ensuite acidifiée en présence d'iodure, ce qui fait passer le manganèse à l'état divalent et libère l'iode qui est titré par le thiosulfate de sodium. Les deux réactifs ($MnSO_4$ et IK-KOH) sont introduits grâce à une pipette automatique (PIPETMAN GILSON), réglée à 1 ml ; le flacon soigneusement rebouché est bien agité pour homogénéiser le précipité, puis placé à l'obscurité ; 20 mn après la fixation on ajoute 1 ml d'acide qui dissout le précipité (2 ml si nécessaire). Les échantillons sont conservés à l'obscurité et à la chambre froide après le retour au laboratoire. Les résultats en ml/l sont exprimés en pourcentage de saturation. Pour cela une correction est apportée à chaque résultat : elle tient compte de la température et de la salinité, d'après les tables du NATIONAL INSTITUTE OF OCEANOGRAPHY OF GREAT BRITAIN AND UNESCO (1973).

1.5 pH

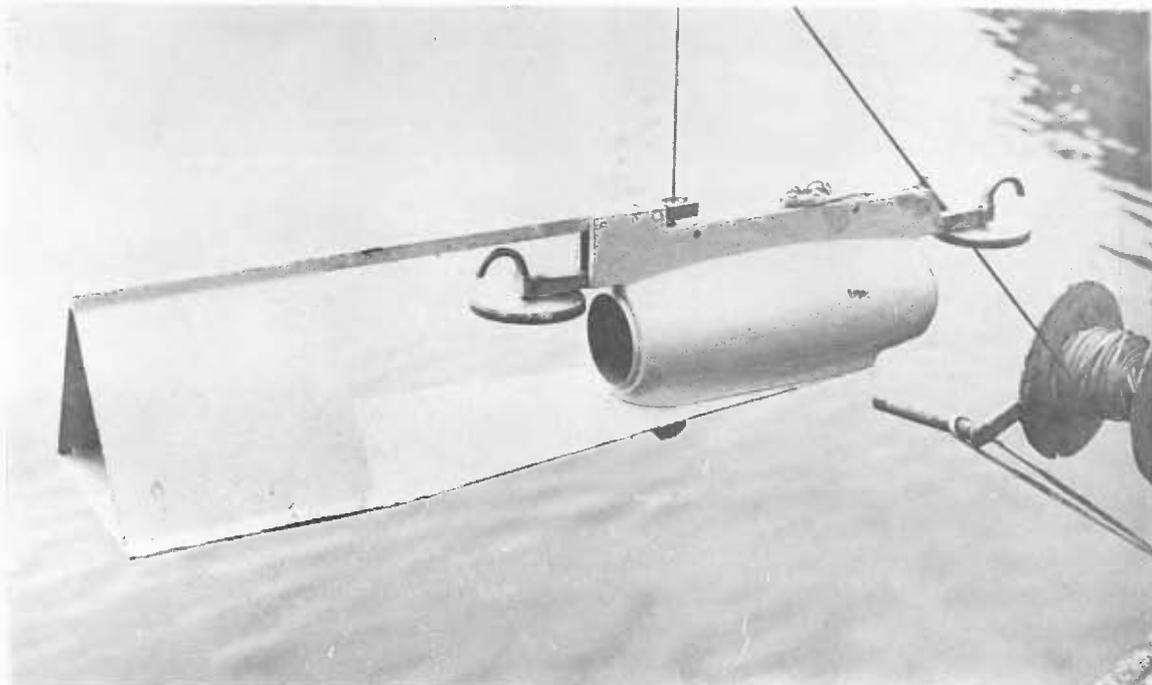
Il a été mesuré à bord au moyen d'un pH-mètre RADIOMETER (précision 5×10^{-2}), ce à partir de la campagne III.

1.6 Sels nutritifs

Les échantillons ont été filtrés à bord le plus rapidement possible sur filtre GELMAN $0,45\mu$ à partir de la campagne IV : ils ont été conservés dans 2 flacons en polyéthylène, rincés avec de l'eau filtrée du prélèvement, bien bouchés (l'un des échantillons était chloroformé), mis en glacière et congelés. Pendant les dernières campagnes le fonctionnement d'un congélateur à bord a permis de congeler immédiatement les échantillons. Les dosages des nitrites, nitrates, phosphates, silicates ont été effectués avec un autoanalyser II TECHNICON par méthode colorimétrique, à partir de la mi-mai, date de réception complète de l'appareil. Le fonctionnement du TECHNICON est automatique ; les dosa-



POMPE A PRELEVEMENTS



BOUTEILLE A CLAPETS HORIZONTALE

Fig. : 25 : BOUTEILLE A CLAPETS (d'après le modèle de Mr MONZIKOFF)



a : ouverte

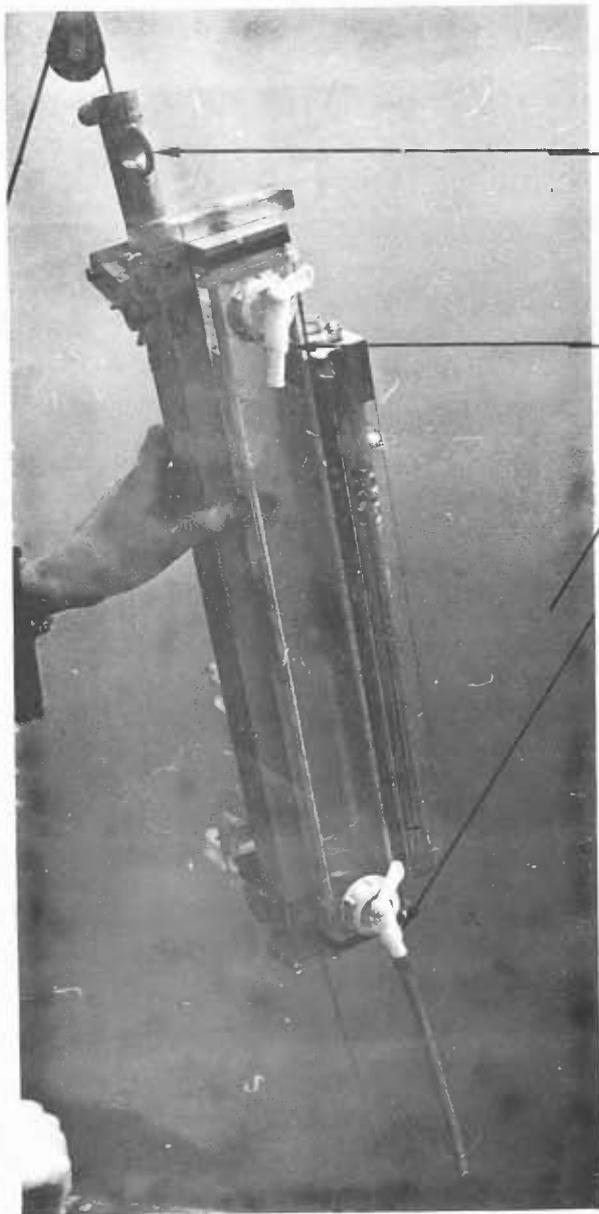
purge

robinet

b : fermée



Fig. : 26 : BOUTEILLE A CLAPETS MECABOLIER (type NANSEN)

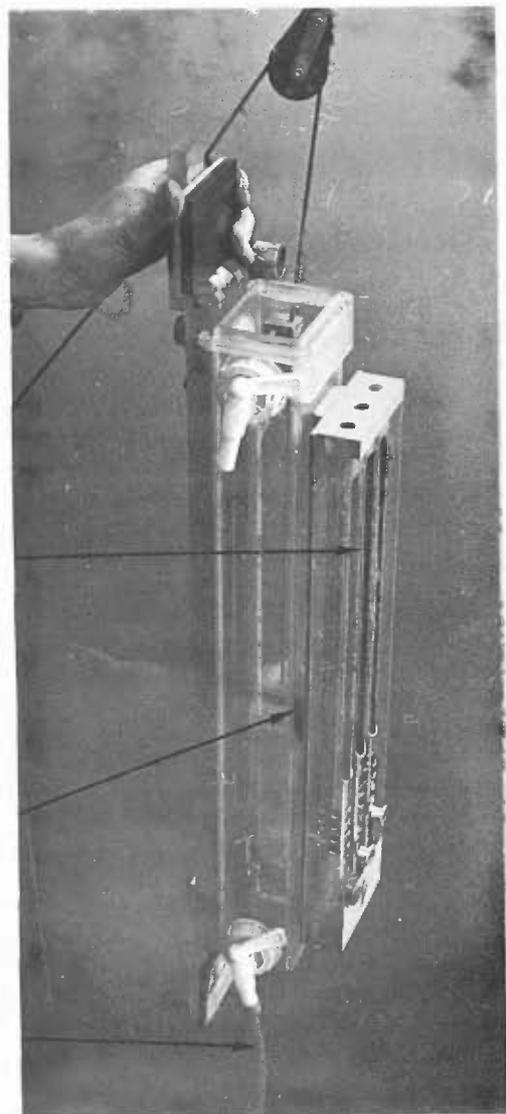


messenger

a : fermée

robinets

Compartiment destiné à recevoir
les thermomètres à renversement

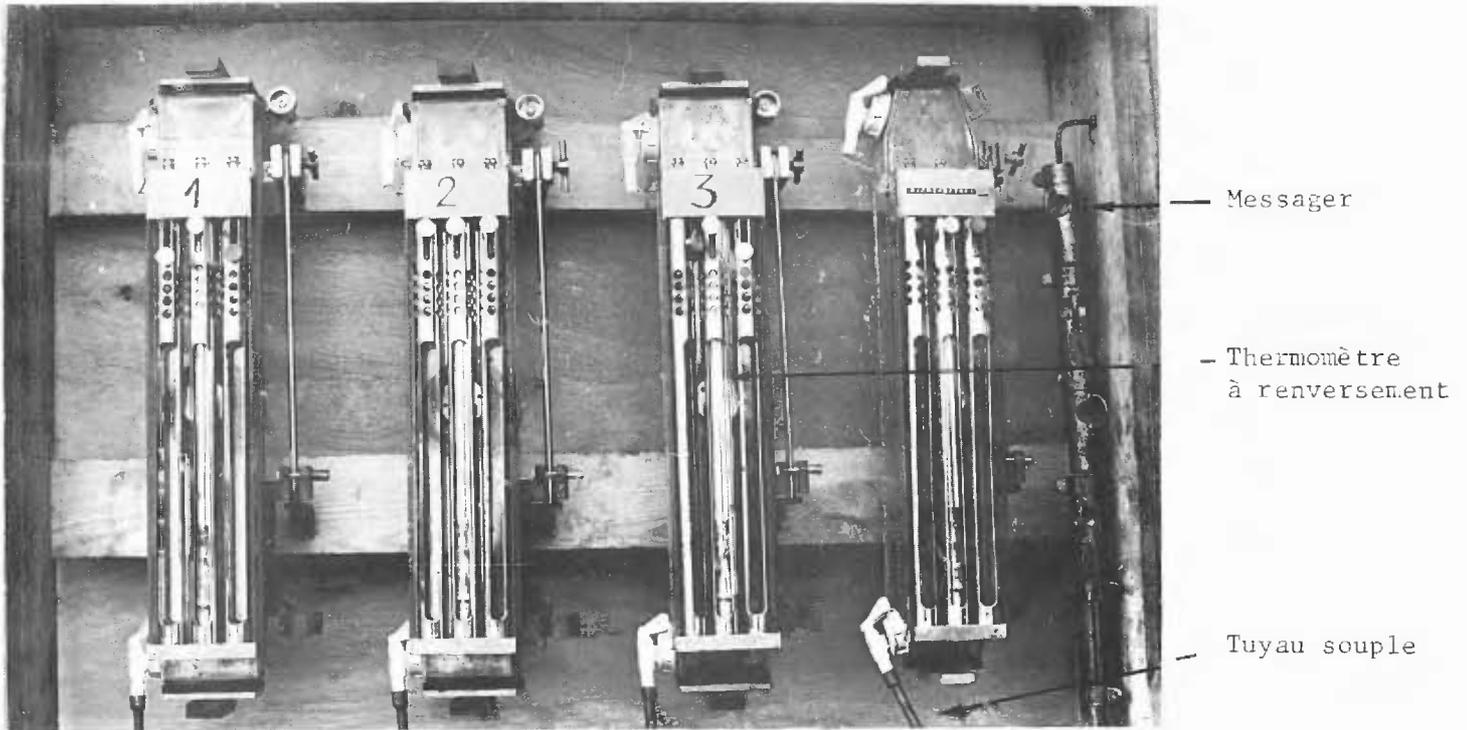


ressort

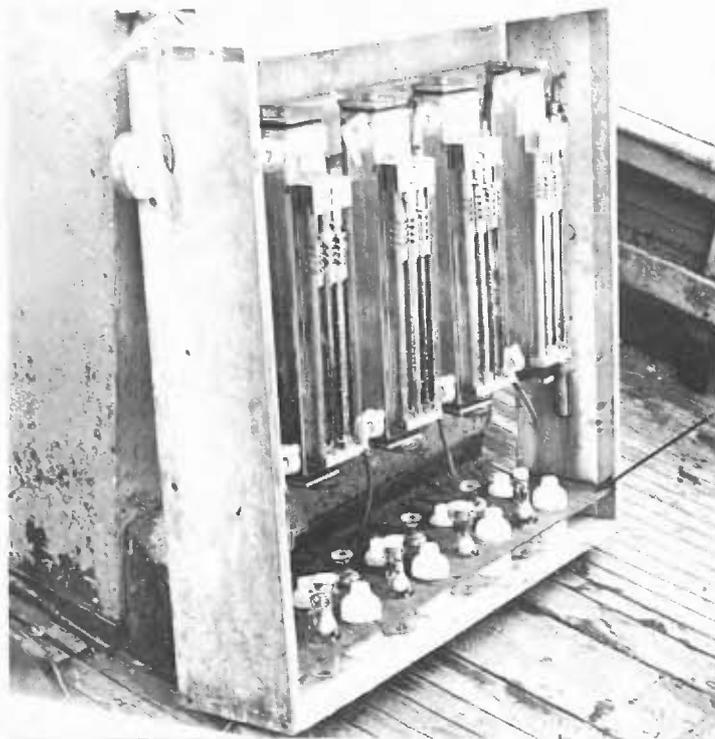
b : ouverte

Tuyau
souple

Fig. 27 : BOUTEILLES A CLAPETS MECABOLIER (type NANSEN) : PORTOIR



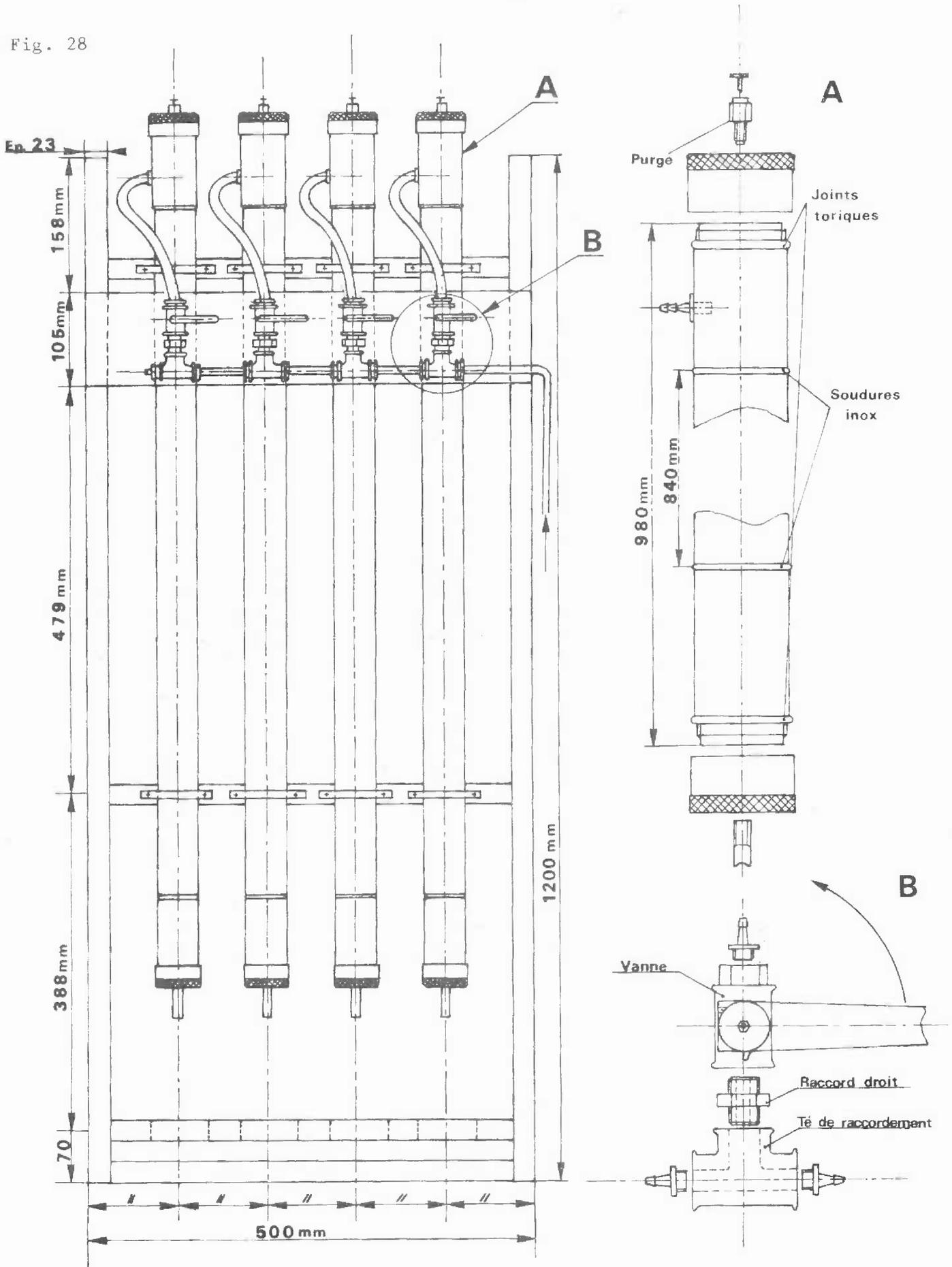
a : vue partielle



b : vue totale

COLONNES A FILTRATION

Fig. 28



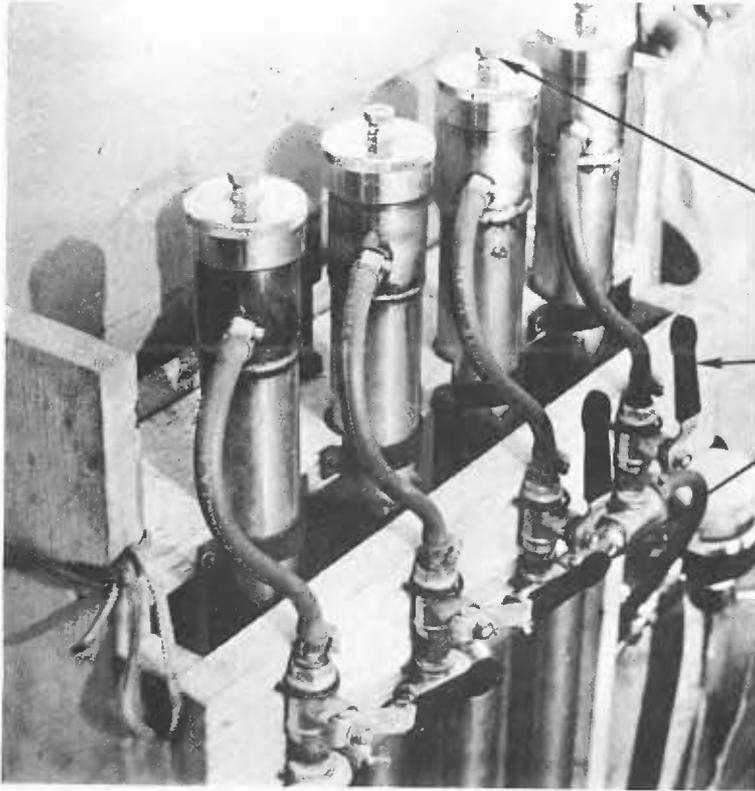


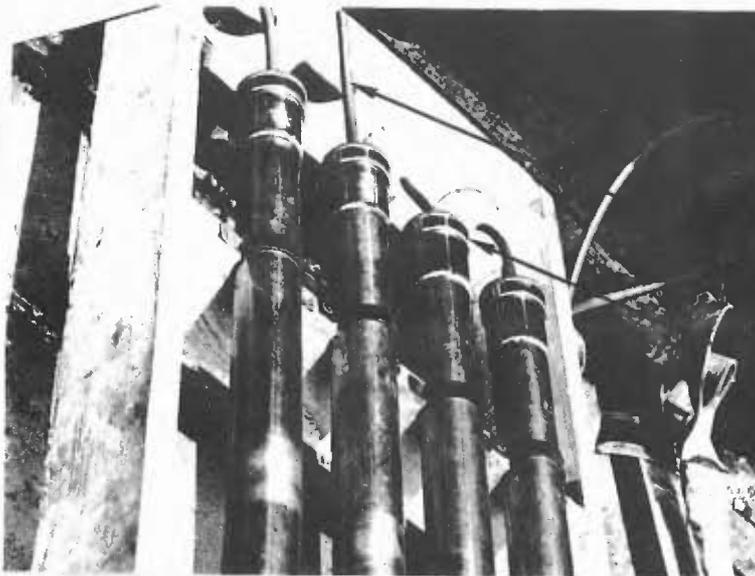
Fig. 29 : COLONNES A FILTRATION
(réalisée à partir d'unités GELMAN selon
le modèle conçu par RICHARD)

purge

robinets d'arrivée de l'air comprimé :
manette ouverte

manette fermée

a : partie supérieure



Support du filtre

tuyau souple

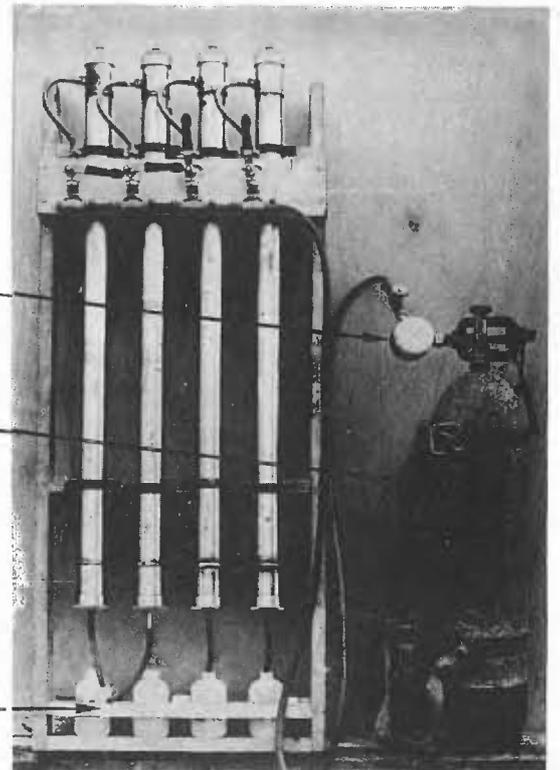
b : partie inférieure

c : Vue totale

Manomètre

Bouteille à
air comprimé

Support pour
le flaconnage



ges sont faits selon le principe du "flux continu"*. Les nitrites sont dosés colorimétriquement par diazotation avec la sulfamilamide et copulation du diazoïque obtenu selon la technique décrite par BENDXNEIDER et ROBINSON (1952).

Les nitrates sont réduits en nitrites par passage sur une colonne cadmium-cuive, puis on dose la quantité de nitrites. La méthode utilisée pour le dosage des phosphates est celle mise au point par MURPHY et RILEY (1962) : les ions PO_4^{3-} réagissent avec le molybdate d'ammonium en milieu acide pour former un complexe jaune, le phosphomolybdate d'ammonium ; par réduction de ce complexe par l'acide ascorbique on obtient une coloration bleue.

Pour les silicates la méthode adaptée à l'autoanalyser II est celle de GRASSHOF (1969) basée sur celle de MULLIN et RILEY (1955) : les silicates dissous dans l'eau de mer réagissent en milieu acide avec les ions molybdates pour former de l'acide silicomolybdique ; ce complexe jaune par réduction par un mélange de "metol" et de sulfite de sodium forme un bleu de molybdène.

Le dosage de l'ammoniac a été tenté, mais il manque de fiabilité : malgré toutes les précautions, l'air vicié par les gaz d'échappement du moteur fausse les résultats. Le dosage (la technique reprise est celle de SLAWYK modifiée) est basé sur le fait qu'en milieu alcalin l'ammoniac dissous réagit pour former une monochloramine qui, en présence de phénol et d'un excès d'hypochlorite donne lieu à la formation d'un bleu d'indonophenol.

1.7 Turbidité

L'estimation de la turbidité totale (turbidité minérale + turbidité

* La précision obtenue est de :

- 10^{-2} μ atg/l pour les nitrites
- 6×10^{-2} μ atg/l pour les nitrates
- 10^{-2} μ atg/l pour les phosphates
- 10^{-2} μ atg/l pour les silicates

organique) a été faite à partir d'échantillons d'un litre* récoltés au moyen d'une bouteille à clapets pour prélèvements horizontaux (fig. 24) ou au moyen d'une bouteille MECABOLIER à prélèvement vertical. L'eau est filtrée sur filtres GELMAN GA-6, de diamètre de pore 0,45 μ , pesés avant l'opération. Après le passage de chaque échantillon dans la colonne à filtration, celle-ci est rincée au formiate d'ammonium qui dissout le sel. Les filtres sont ensuite séchés à l'étuve à 105° C pendant 24 heures, puis pesés à nouveau. Afin d'éviter leur réhydratation ils sont placés à la sortie de l'étuve dans un dessiccateur sous vide et l'on met du silicagel dans la balance de précision à enceinte fermée ; la précision de la balance est du 1/100e mg. La quantité totale de matière organique et minérale (en mg/l) est donnée par la différence de poids du filtre avant et après la filtration, corrigée avec la différence de poids de filtres témoins avant et après passage à l'étuve.

2. Résultats

Les résultats concernant les paramètres physico-chimiques sont présentés dans les tableaux "paramètres hydrobiologiques" (volume II, tableaux 3 à 16) et dans quatre séries de figures (volume III).

Les variations de chaque paramètre au cours du temps sont indiquées dans les figures 30 à 32 ; la valeur moyenne de tous les niveaux de toutes les stations a été prise en compte pour chaque campagne.

Les figures 33, 34, 36 à 43 et 45 à 54 représentent pour chaque paramètre physico-chimiques les variations au cours du temps, d'une part à différentes profondeurs (0 m, 5 m et 10 m) et d'autre part, à cinq stations différentes (5 et 15 stations côtières, 10 station moyenne et 2 et 11 stations du large).

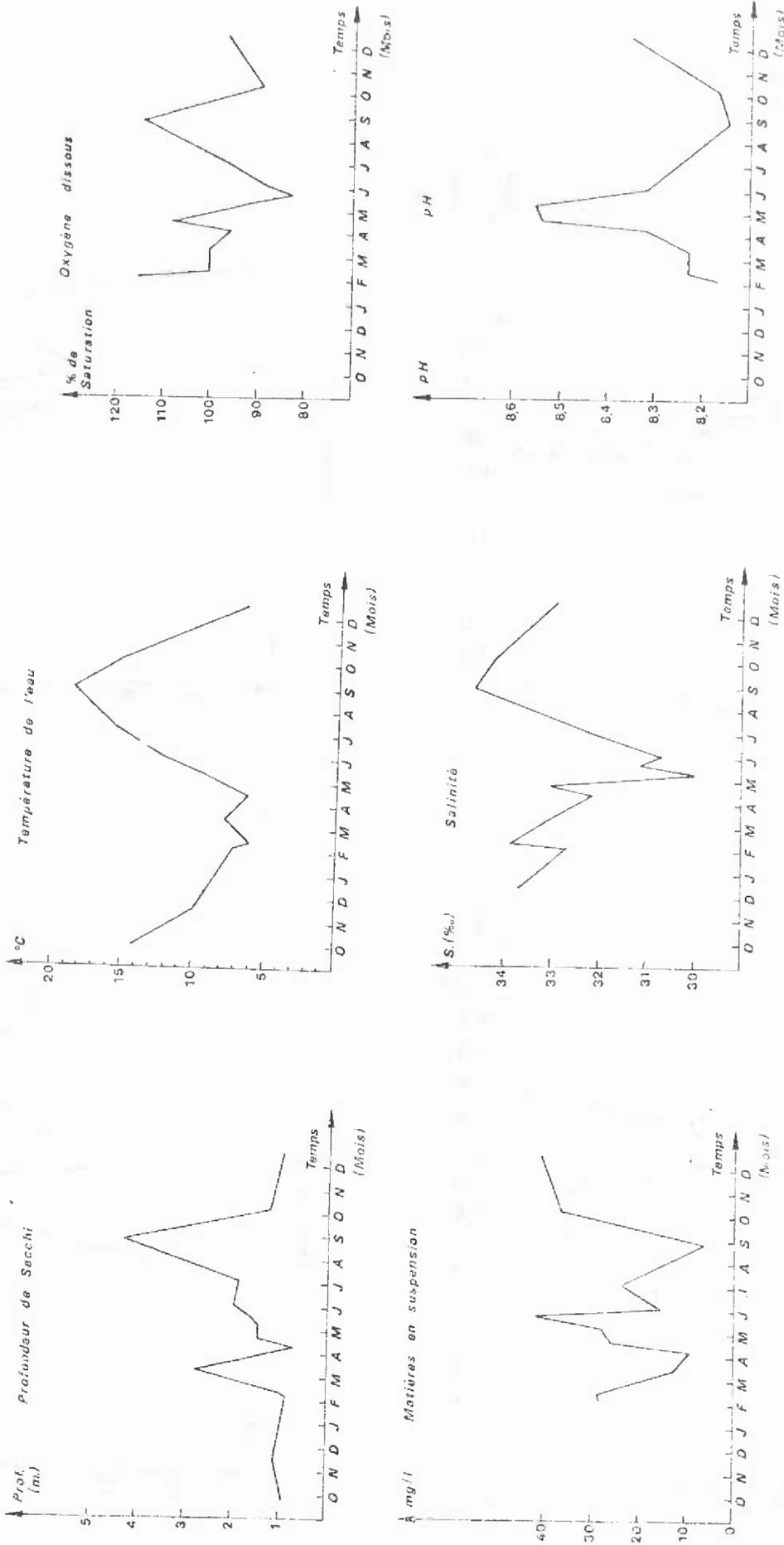
Les valeurs utilisées correspondent aux moyennes des valeurs obtenues d'une part à un même niveau pour toutes les stations d'une campagne, et à tous les niveaux pour chaque station étudiée d'autre part.

* Ces échantillons, stockés à la chambre froide dès le retour au laboratoire ont été filtrés le lendemain de chaque campagne.

Pendant les dernières sorties le nombre le plus élevé de filtration a permis de commencer l'étude de la turbidité dès le prélèvement de l'eau.

VARIATIONS DES PARAMETRES PHYSICO-CHEMIIQUES DANS LE TEMPS
(moyennes sur toutes les stations d'une campagne)

fig. 30



VARIATIONS QUANTITATIVES DES SELS NUTRITIFS DANS LE TEMPS

fig. 32

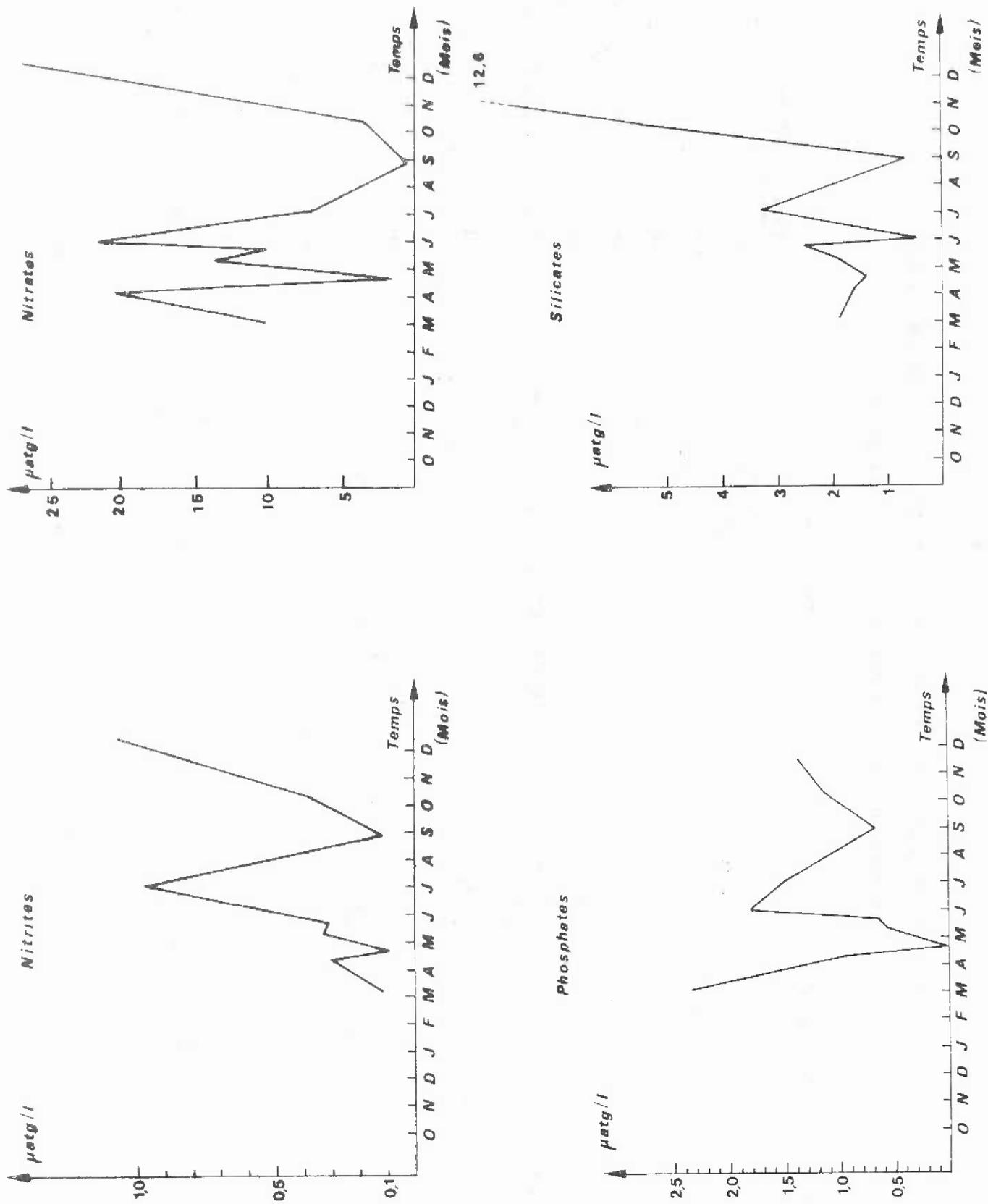
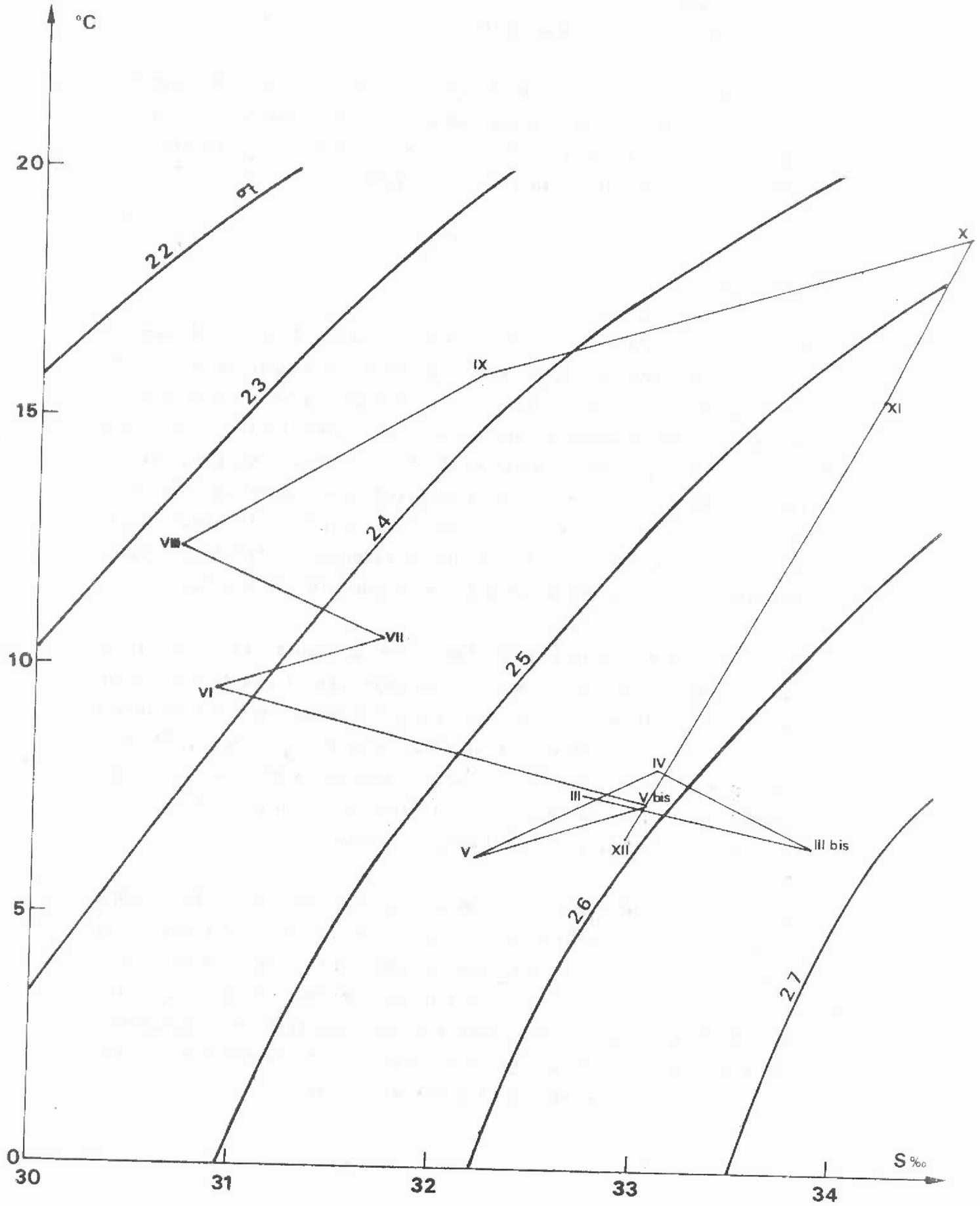


DIAGRAMME T.S. MOYEN

fig.31



La campagne XII n'a pas été retenue dans cette série de figures, le protocole expérimental et la localisation des stations ne correspondant pas à ceux des campagnes antérieures.

Les isoplèthes donnant la répartition spatiale des différents paramètres ont été tracés pour chaque campagne aux niveaux 0 m et 5 m ; (volume III) seul le niveau 0 m est représenté pour les campagnes X' et XI' destinées à l'étude de la production primaire.

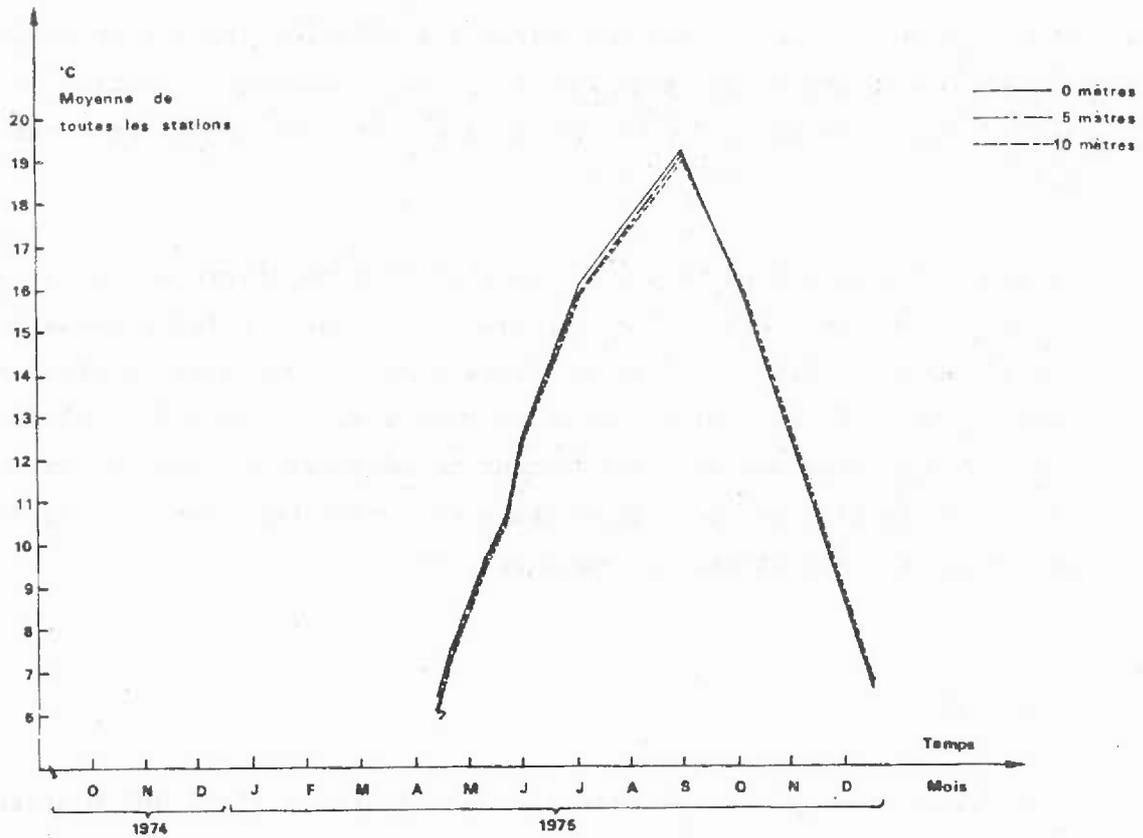
2.1 Température

Les variations de température dans le temps (fig. 3 et 30) suivent celles de l'air avec un certain décalage dans le temps. La courbe présente l'allure générale classique : minimum en février, maximum en août. Un deuxième minimum dû aux conditions climatologiques exceptionnelles a été enregistré à la mi-avril. L'eau de mer jouant un rôle de volant thermique, les variations d'amplitude sont moins importantes pour la température de l'eau que pour celle de l'air. La température maximale de l'eau est 19,30°C lors de la campagne X' tandis que la température minimale, notée lors de la campagne V est 6,00°C.

Les différences de températures d'un niveau à l'autre sont très faibles (fig. 33 ; on y a exclu les mesures peu précises et peu fiables relevées avec la sonde MARTEK lors des premières campagnes). Le maximum de différence observé entre 2 niveaux d'une même station est 0,4°C, elle est en général de 0 à 0,2°C. Il y a une homogénéisation verticale de la masse d'eau en déplacement due à la faible profondeur et aux courants importants présents dans la zone d'étude.

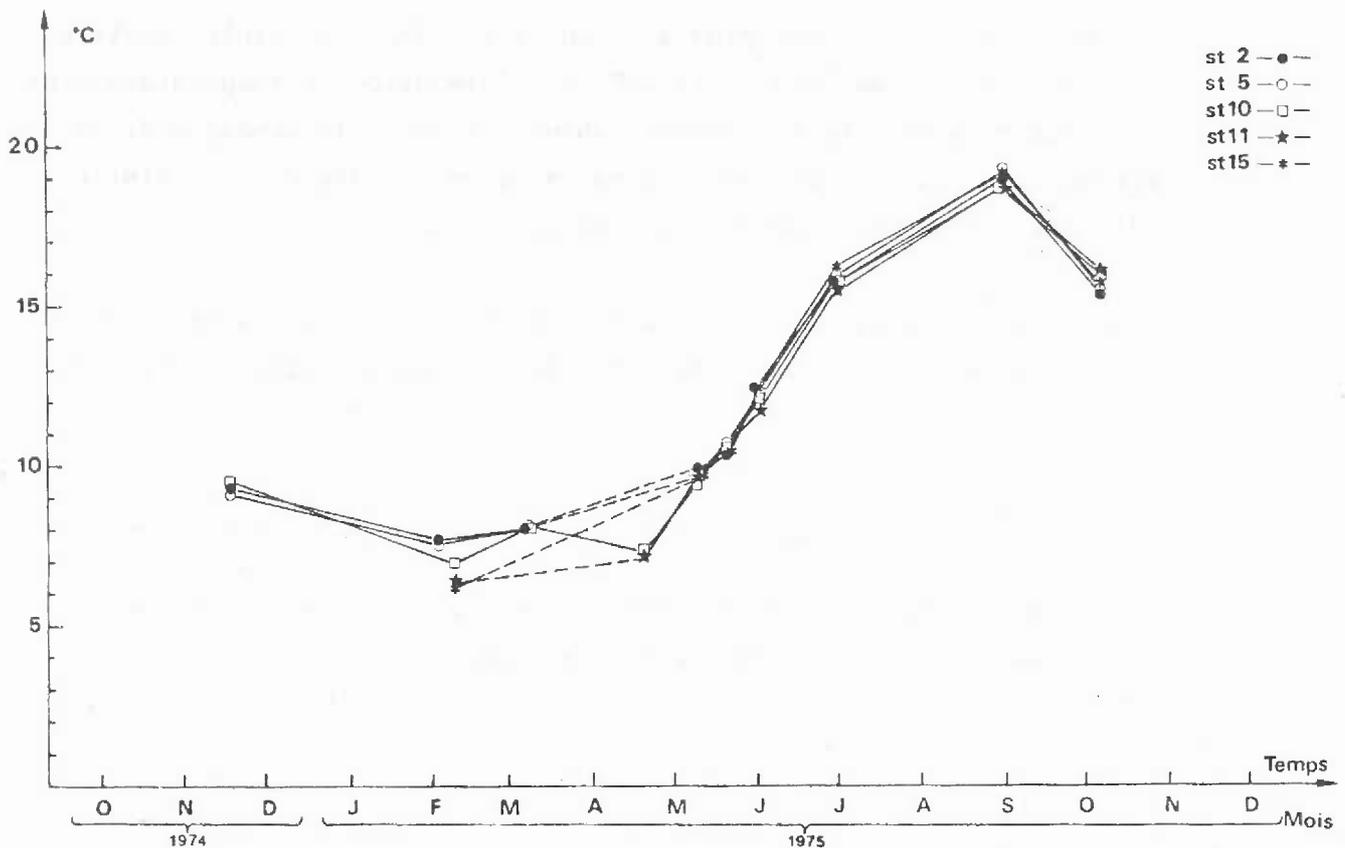
L'eau de surface, directement soumise aux fluctuations de la température de l'air et à l'action du vent présente au cours de l'année une plus grande amplitude de variation de température par rapport aux niveaux plus profonds. On constate généralement une diminution de la température de l'eau de la surface vers le fond pendant le printemps et au début de l'été, puis une augmentation de la température de la surface vers le fond à la fin de l'été et en automne.

Fig. 33



VARIATIONS DE LA TEMPERATURE DANS LE TEMPS
A 5 STATIONS

Fig. 34



On n'observe pas de variations thermiques très importantes en rapport avec la localisation des stations (fig. 34) ; cependant, celles-ci sont d'amplitude moins importante à la station 11, qu'aux stations 5 et 15.

Le tracé des isoplèthes indique une variation régulière de la température de la côte vers le large : diminution vers le large pendant l'été, augmentation en hiver ; l'eau du large présente une inertie plus importante du fait de la hauteur de la colonne d'eau et de l'éloignement de la côte. Les eaux douces qui viennent se mélanger aux eaux marines au niveau de la côte ont une température qui varie beaucoup, ce qui vient augmenter les variations des eaux côtières.

2.2 Salinité

Les fluctuations de la salinité au cours du temps (fig. 30) montrent un minimum au printemps* (valeur minimale : 30,24 ‰ pendant la campagne VI) et un maximum en été (valeur maximale : 34,77 ‰ pendant la campagne X). La diminution constatée dans le pic hivernal au cours de la campagne III est due aux fortes précipitations de la fin du mois de janvier ; l'apport important d'eau douce au niveau de l'Aa alors en crue se traduit par une dessalure très nette à son embouchure par rapport aux stations situées plus au large (fig. 35). La faible quantité de pluie des mois de juillet et août et l'élévation de température sont à l'origine du maximum de salinité observé lors de la campagne X. La reprise des pluies en septembre a entraîné une baisse de la salinité qui s'est fait sentir jusqu'en décembre.

Il y a peu de variations de salinité d'un niveau à l'autre (fig. 36). La différence maximale observée entre deux niveaux voisins d'une même

* Si l'on excepte les valeurs très basses des stations I et 4 de la campagne III et de la station 5 de la campagne IV.

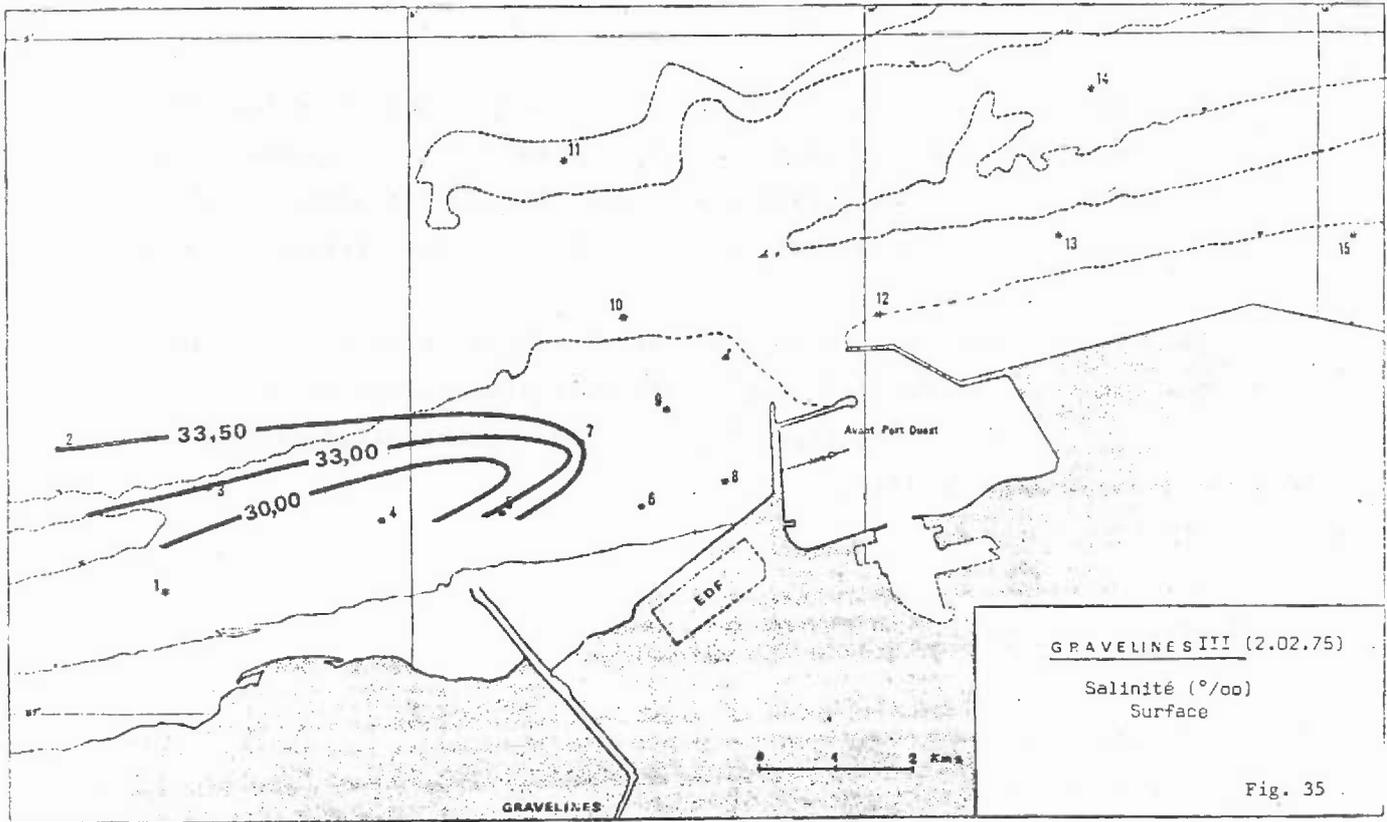
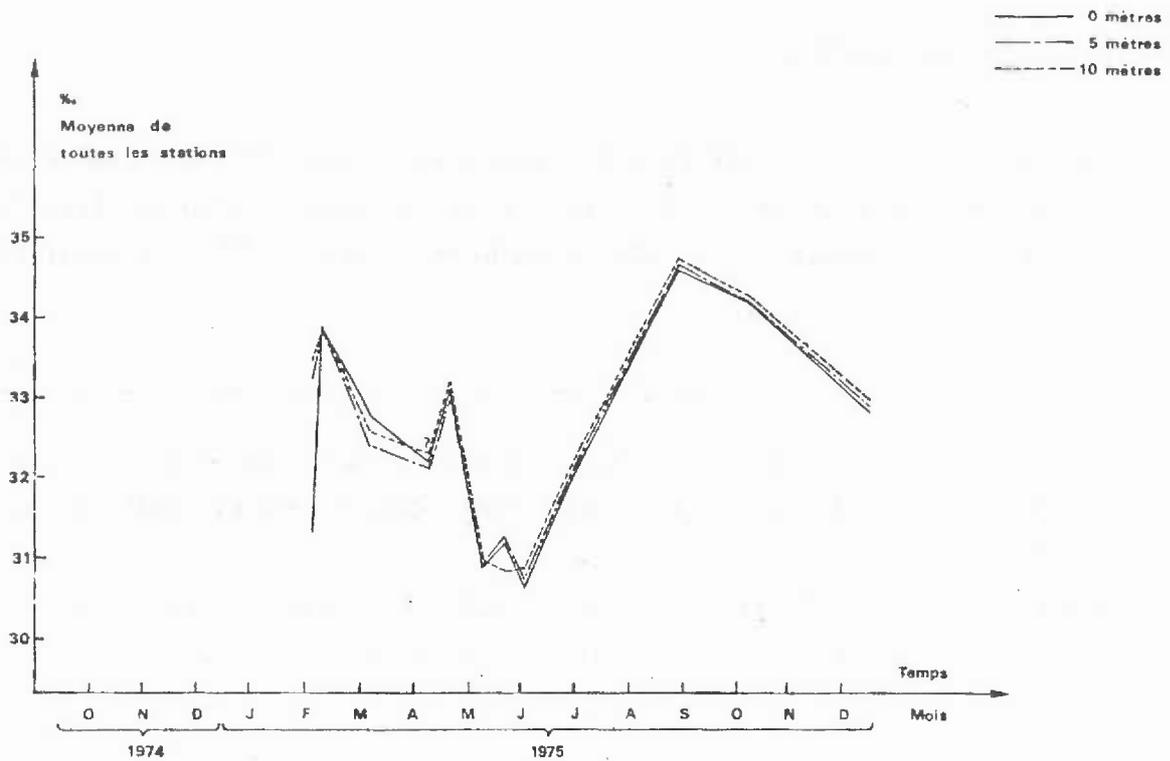


Fig. 36

VARIATIONS DE LA SALINITE DANS LE TEMPS



station est 0,76 ‰. Elle se situe en général entre 0 et 0,2 ‰, et présente un maximum en mars. La salinité est plus importante à 10 m qu'en surface : l'eau plus salée, donc plus dense, a tendance à s'enfoncer alors que l'eau de surface est diluée lors des précipitations.

Les isoplèthes montrent une augmentation de la salinité vers le large. La salinité à la station 11 (fig. 37) est la plus élevée tandis qu'elle est faible aux stations 5 et 15 ; elle est généralement minimale au voisinage de l'Aa.

2.3 Diagramme température - salinité

Les données concernant la température et la salinité ont permis d'établir le diagramme T.S. pour 5 stations (fig. 38) ainsi qu'un diagramme T.S. moyen (fig. 31) ; ce dernier a été tracé en tenant compte des valeurs moyennes de tous les niveaux de toutes les stations des campagnes. Il permet d'évaluer la densité de l'eau. Celle-ci est fonction de la température, de la salinité et de la pression ; la formule $\rho = \frac{\sigma_t}{1000} + 1$ permet de calculer la densité en g/cm^3 ; elle varie de 1,023 g/cm^3 en été à 1,027 g/cm^3 en hiver. Les variations de densité de l'eau sont à prendre en compte : elles peuvent expliquer la présence de certaines espèces de Diatomées pendant une période déterminée de l'étude.

2.4 Matières en suspension

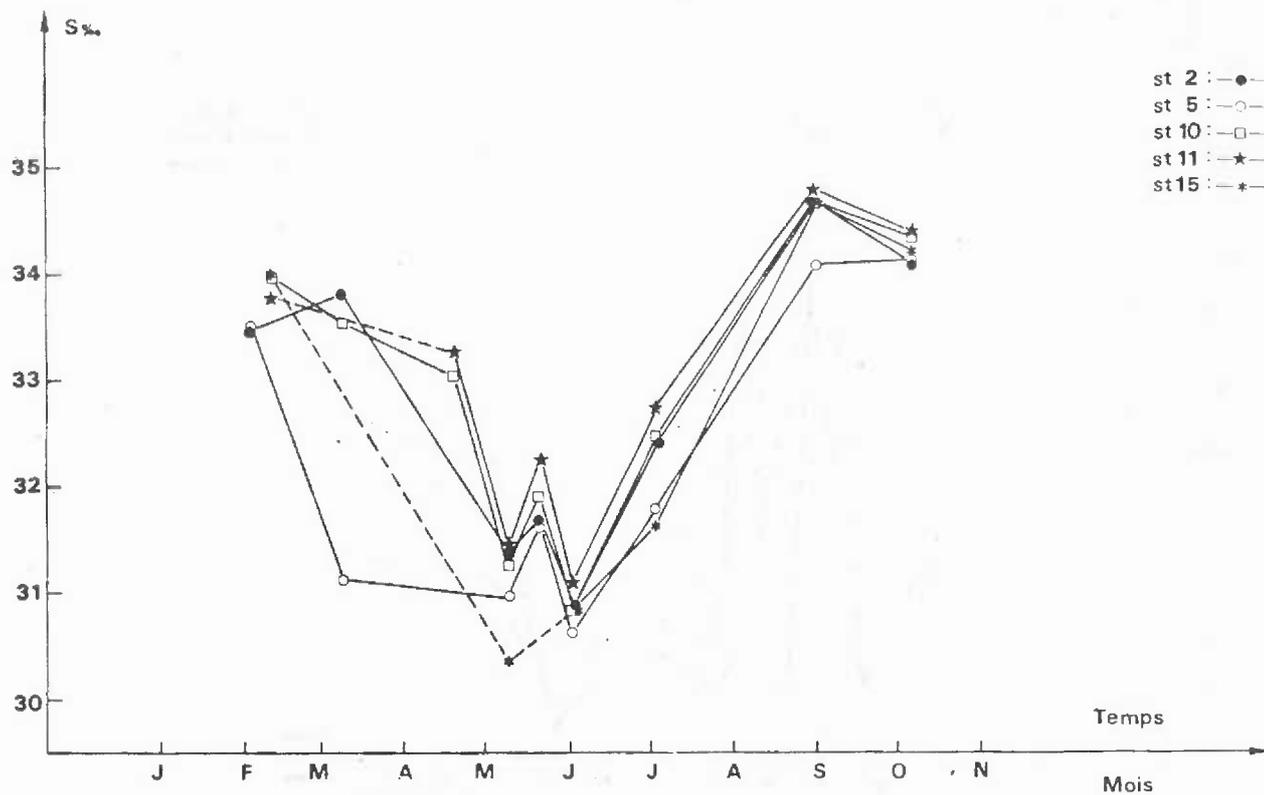
La quantité totale de matières en suspension (turbidité minérale + turbidité organique) présente 2 minima, l'un fin mars - début avril, l'autre fin août, et 2 maxima : fin mai et en hiver (fig. 30)** . La turbidité

* Le rapport entre σ_t et la température et la salinité a été établi par COX, R.A. et al (1970) (in TABLES OCEANOGRAPHIQUES INTERNATIONALES - 1973).

** La valeur maximale trouvée est 257 mg/l, lors de la campagne V ; la valeur minimale était 1 mg/l lors de la campagne VIII.

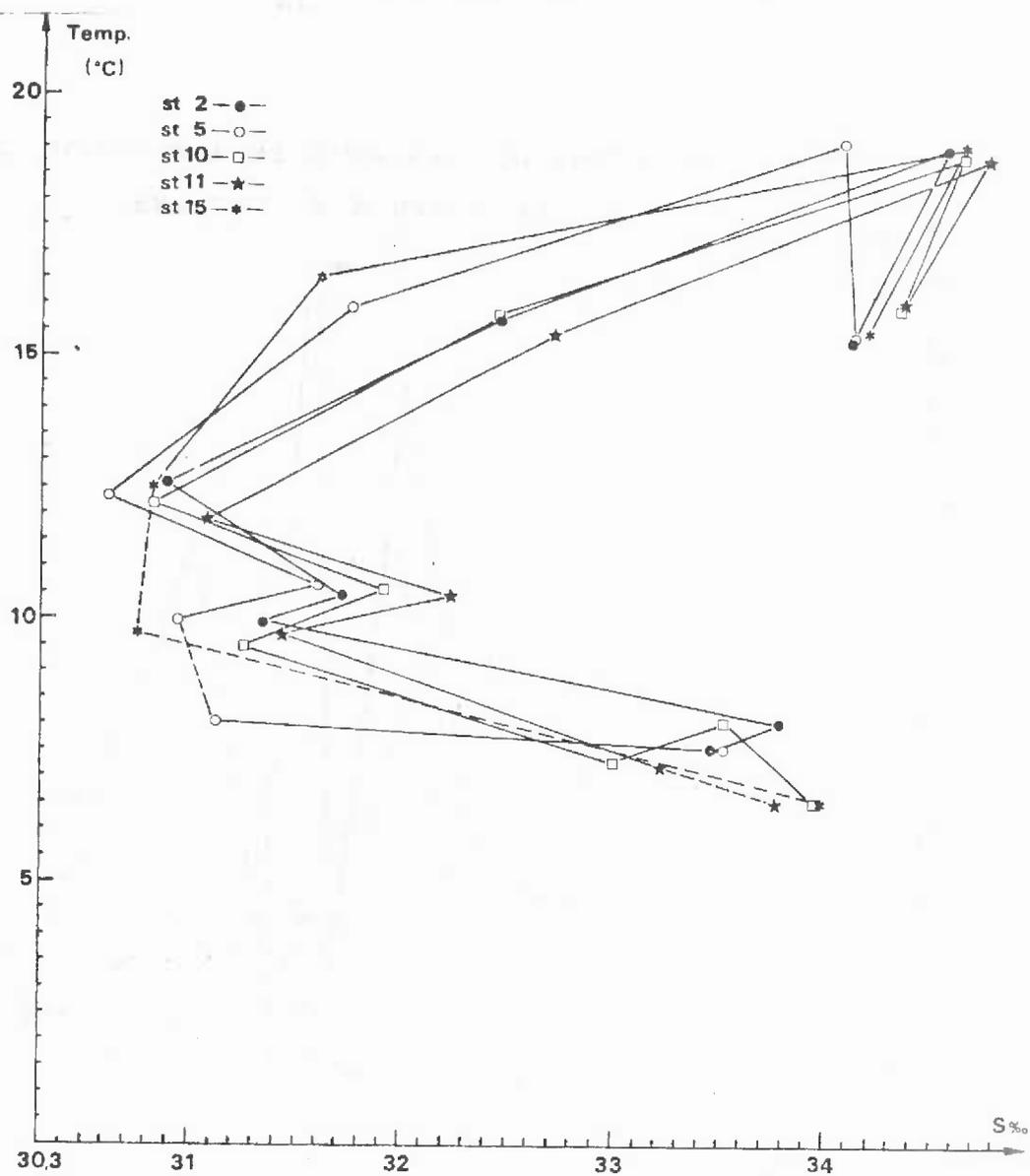
Fig. 37

TEMPS A 5 STATIONS



RAMME T.S. POUR 5 STATIONS

Fig. 38



VARIATIONS DES MATIERES EN SUSPENSION DANS LE TEMPS

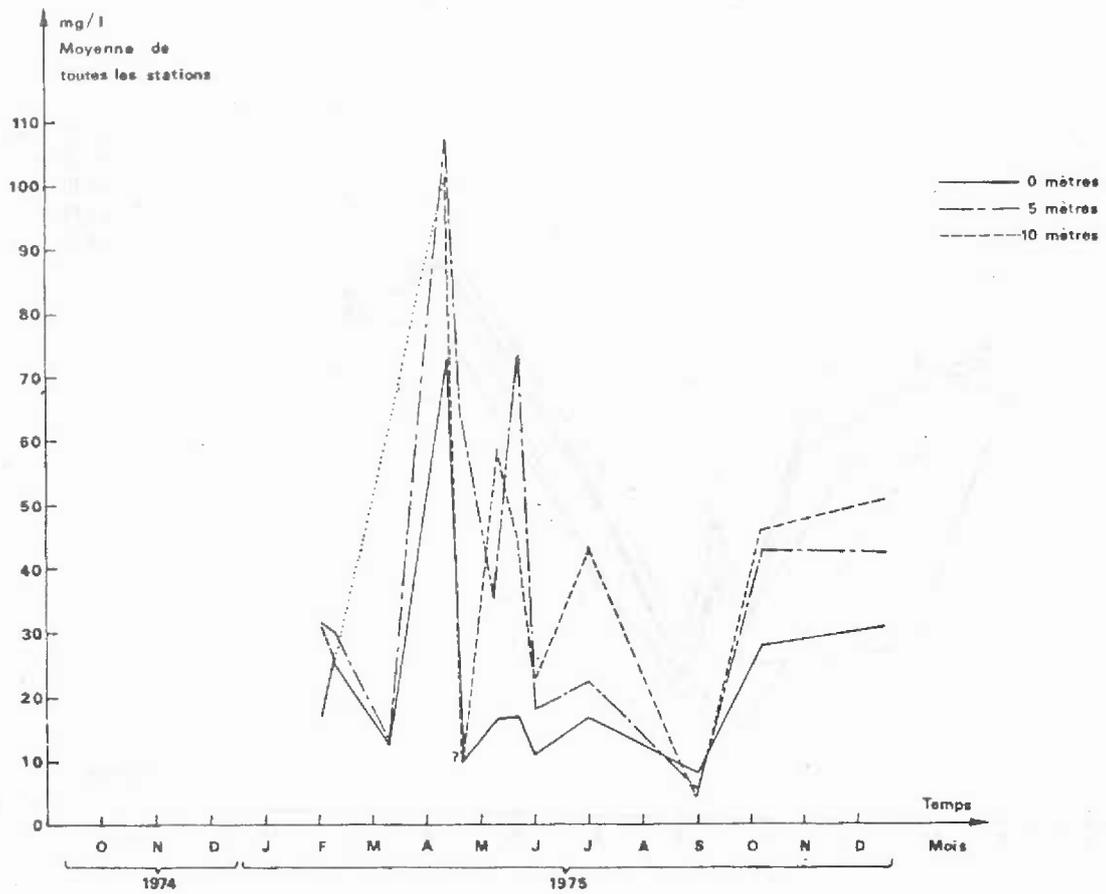
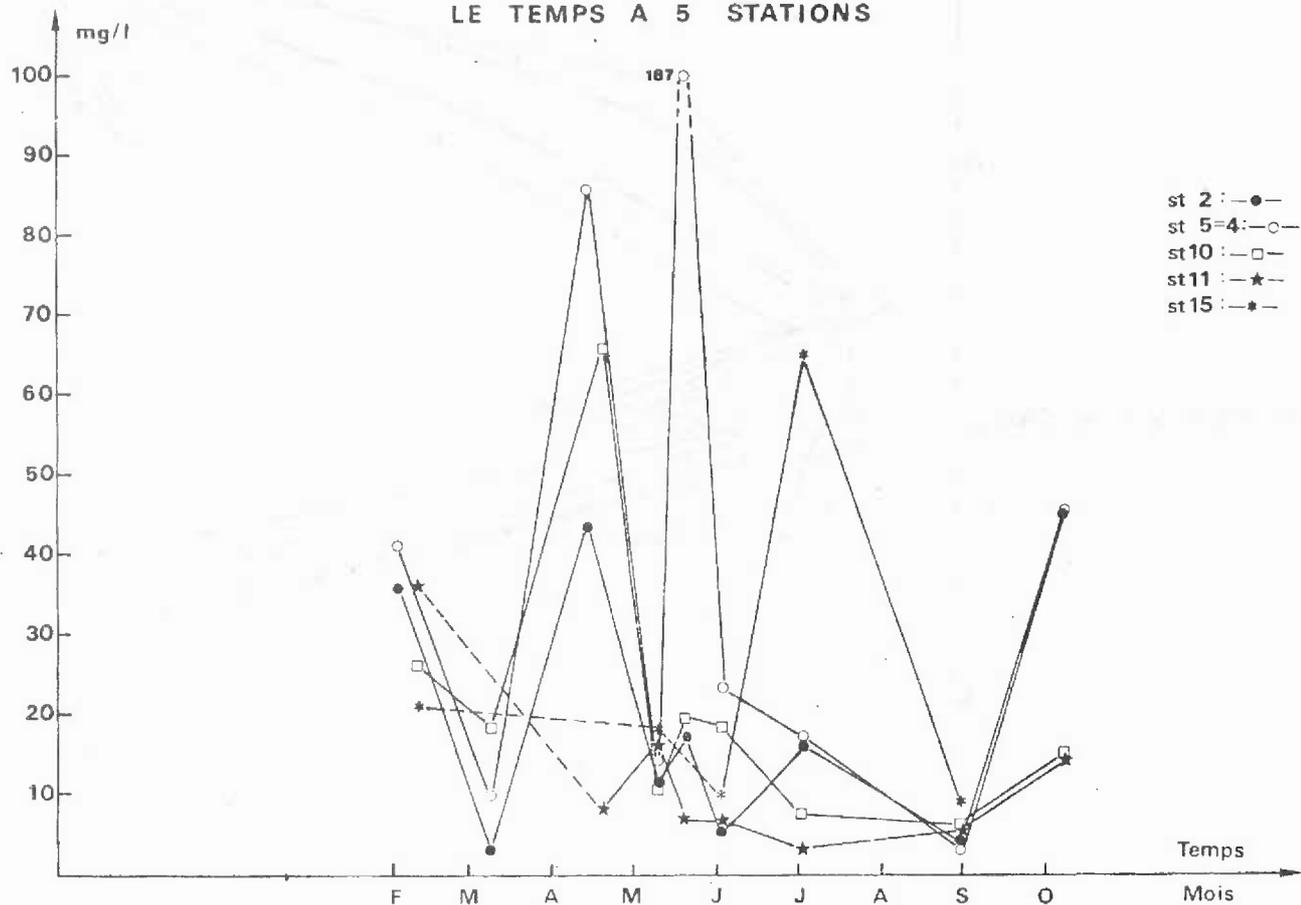


Fig. 40

VARIATIONS DES MATIERES EN SUSPENSION DANS LE TEMPS A 5 STATIONS



importante du début février est probablement liée aux fortes pluies de la 2e quinzaine de janvier qui ont entraîné une crue des cours d'eau à cette époque, amenant en mer une grande quantité de matériaux. La très forte pluviosité enregistrée le 16 mai 1975 (347 mm à OYE-PLAGE ; donnée du Bulletin Climatologique du PAS DE CALAIS) doit être à l'origine du maximum de turbidité du 20 mai 1975. La faible quantité de pluie des mois de juillet et août, ainsi que l'état de la mer, très calme pendant la période précédant la campagne du 30 août 1975 (fig. 17) expliquent la faible valeur notée ce jour-là.

Par contre, le pic important des valeurs de turbidité constaté début octobre doit être la conséquence à la fois des fortes précipitations de la fin septembre, des courants de marée importants (coefficient 116) et de l'agitation de la mer les quelques jours précédant la sortie (fig. 18).

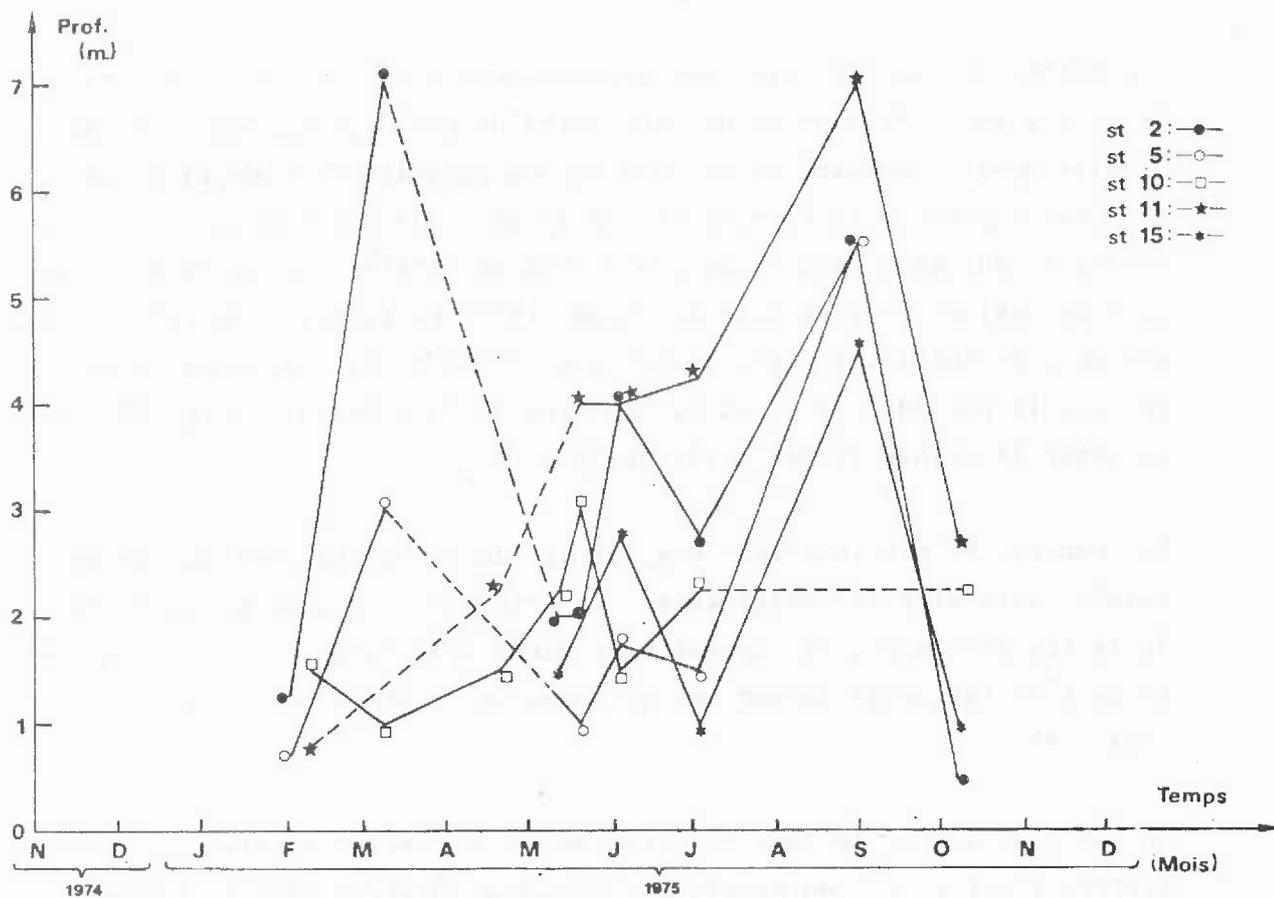
Au cours du temps, le taux de matières en suspension présente de plus grandes fluctuations au niveau des stations côtières plus turbides (station 5 et 15). Les stations du large sont généralement faiblement turbides (fig. 40).

Il existe donc un gradient de valeurs des matières en suspension de la côte vers le large (volume III). Le maximum se situe souvent à proximité de l'embouchure de l'Aa. La valeur très élevée constatée à la station 12 lors de la campagne VI doit être due aux travaux de la construction de l'avant-port de DUNKERQUE. On retrouve cette caractéristique au cours d'autres campagnes. Les travaux de dragage du chenal de l'avant-port de DUNKERQUE peuvent amener une grande quantité de matières en suspension aux stations 9 et 10 (cas de la campagne IV) (voir isoplèthes, volume III).

2.5 Transparence de l'eau

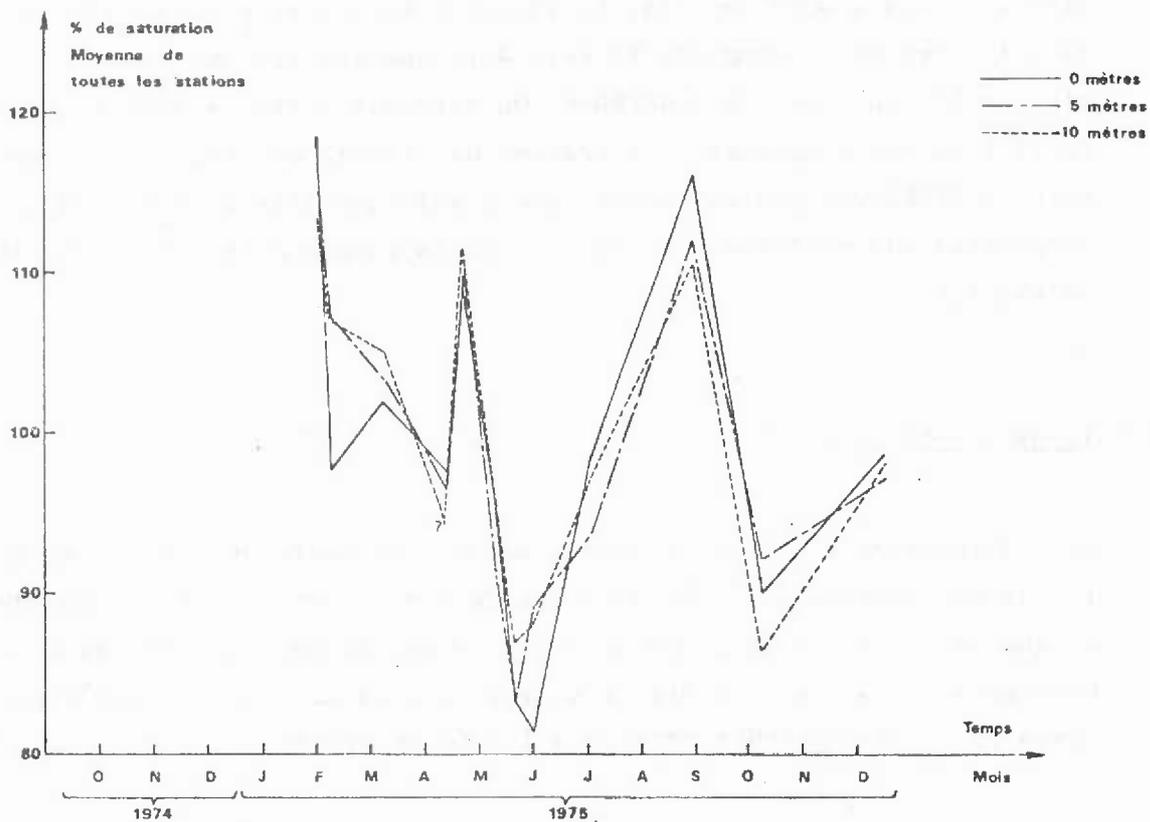
La transparence de l'eau est directement dépendante du contenu en matières en suspension. A une plus grande profondeur de disparition du disque de Secchi, correspond un taux minimal de matières en suspension. On observe ainsi un gradient de valeurs croissantes de la côte vers le large de la transparence mesurée à l'aide du disque de Secchi (fig. 41).

VARIATIONS DE LA PROFONDEUR DE SECCHI
DANS LE TEMPS A 5 STATIONS



VARIATIONS DE L'OXYGENE DISSOUS DANS LE TEMPS

Fig. 42



2.6 Oxygène dissous

Les variations du taux d'oxygène dissous (fig. 30) présentent la même allure générale que celles de la salinité : minimum en mai (85,4 % de saturation à la station 12, lors de la campagne VI) et maximum fin août (125,7 % de saturation à la station 5, lors de la campagne X). En février où la température de l'eau est minimale, on observe un taux d'oxygène important très supérieur à la saturation, la teneur en oxygène dissous diminue jusqu'en mai ; on observe cependant des valeurs plus élevées lors de la campagne V, puis elle augmente jusqu'à la fin août, diminue à nouveau et présente des valeurs qui augmentent en hiver.

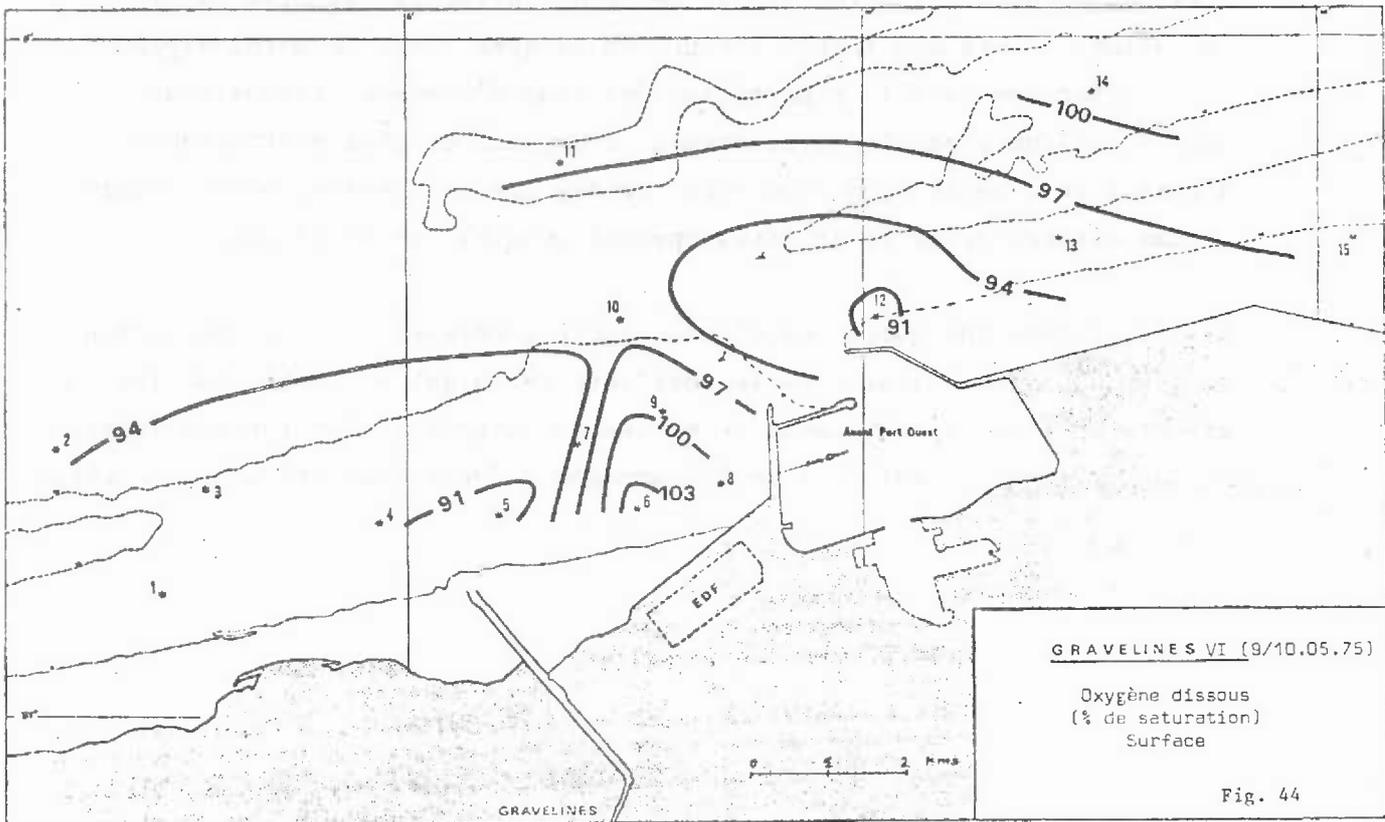
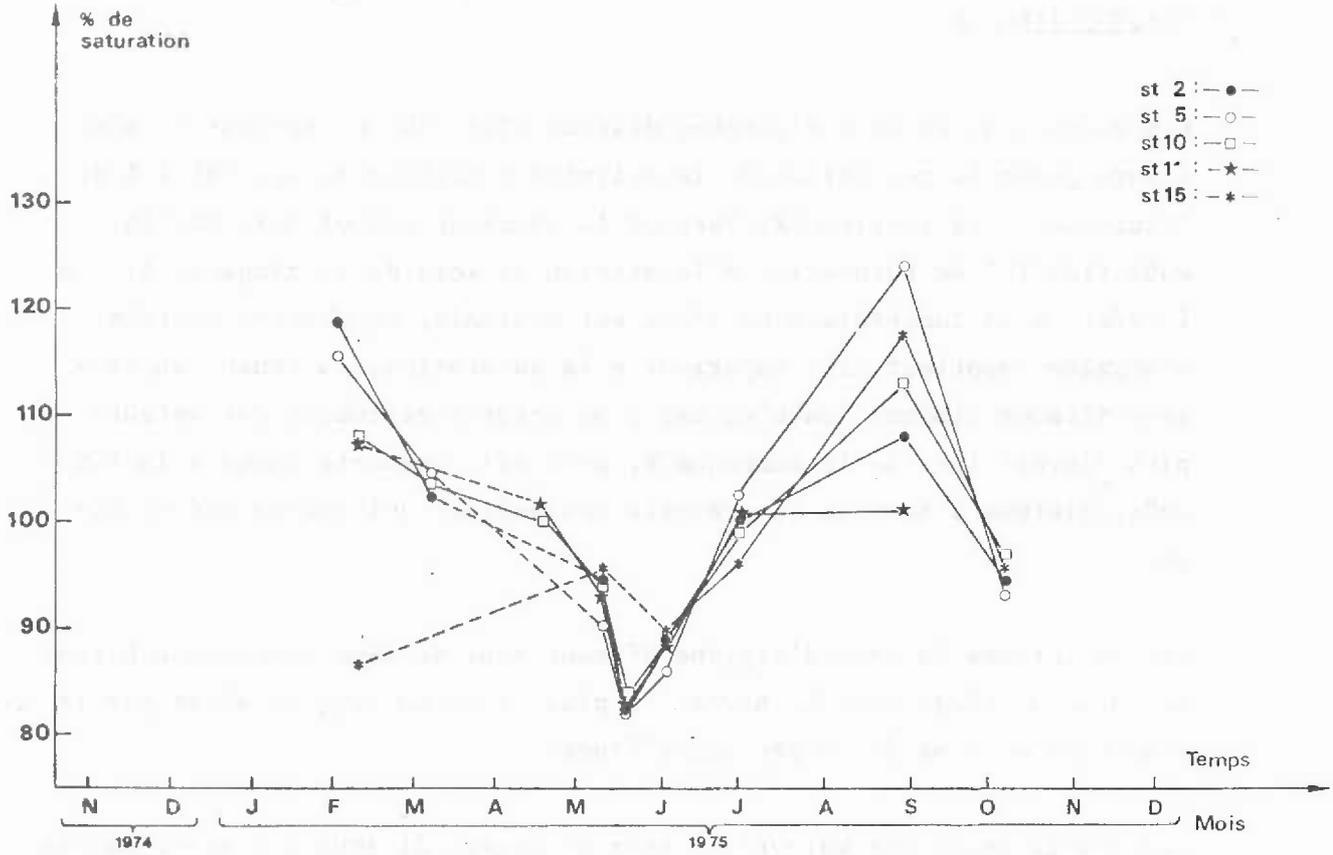
Les variations du taux d'oxygène dissous sont de même importance à tous les niveaux (fig. 42). Le niveau le plus riche en oxygène n'est pas le même tout au long de la période d'étude.

Les écarts entre les valeurs du taux d'oxygène dissous à 5 stations pendant une même campagne (fig. 43) augmentent quand le taux d'oxygène dissous augmente. Quand il dépasse la saturation, la station 5 est généralement la plus oxygénée ; dans le cas contraire, c'est elle qui l'est le moins. La station 11 est celle qui présente les plus faibles variations : lors des fortes teneurs en oxygène c'est la moins oxygénée. Ces variations dans la répartition des taux d'oxygène dissous peuvent s'expliquer par le développement d'organismes photosynthétiques libérant de l'oxygène, plus ou moins contré par la respiration des organismes hétérotrophes et le développement possible de bactéries.

Les isoplèthes indiquent que d'une manière générale il y a augmentation du taux d'oxygène dissous de la côte vers le large. Il semble que les apports de l'Aa appauvrissent le milieu en oxygène (pollution chimiques ou bactérienne ?) sauf lors de la campagne X (voir isoplèthes volume III).

VARIATIONS DU TAUX D'OXYGENE DISSOUS DANS LE TEMPS A 5 STATIONS

Fig. 43



2.7 pH

Les variations du pH dans le temps sont régulières (fig. 30). On observe les valeurs les plus faibles à la fin de l'hiver et à la fin de l'été ; les valeurs les plus élevées sont notées au printemps. La valeur maximale est 8,66 lors de la campagne V bis ; la valeur minimale 8,10 a été enregistrée lors des campagnes III, IV et X. D'après les expériences de KAIN et FOGG (1958 a et b, 1960) et BOUGIS (1974), les valeurs de pH observées à GRAVELINES n'ont pas d'influence sur la croissance du microplancton.

Les valeurs de pH varient peu d'un niveau à l'autre (fig. 45) (la variation maximale entre 2 niveaux a été notée lors de la campagne V bis : 0,28). Le niveau 5 m conserve une valeur inférieure au niveau 0 m, tandis que le niveau 10 m leur est supérieur ou inférieur.

On ne peut conclure à une variation régulière du pH suivant la disposition spatiale des stations (fig. 49 ; isoplèthes volume III).

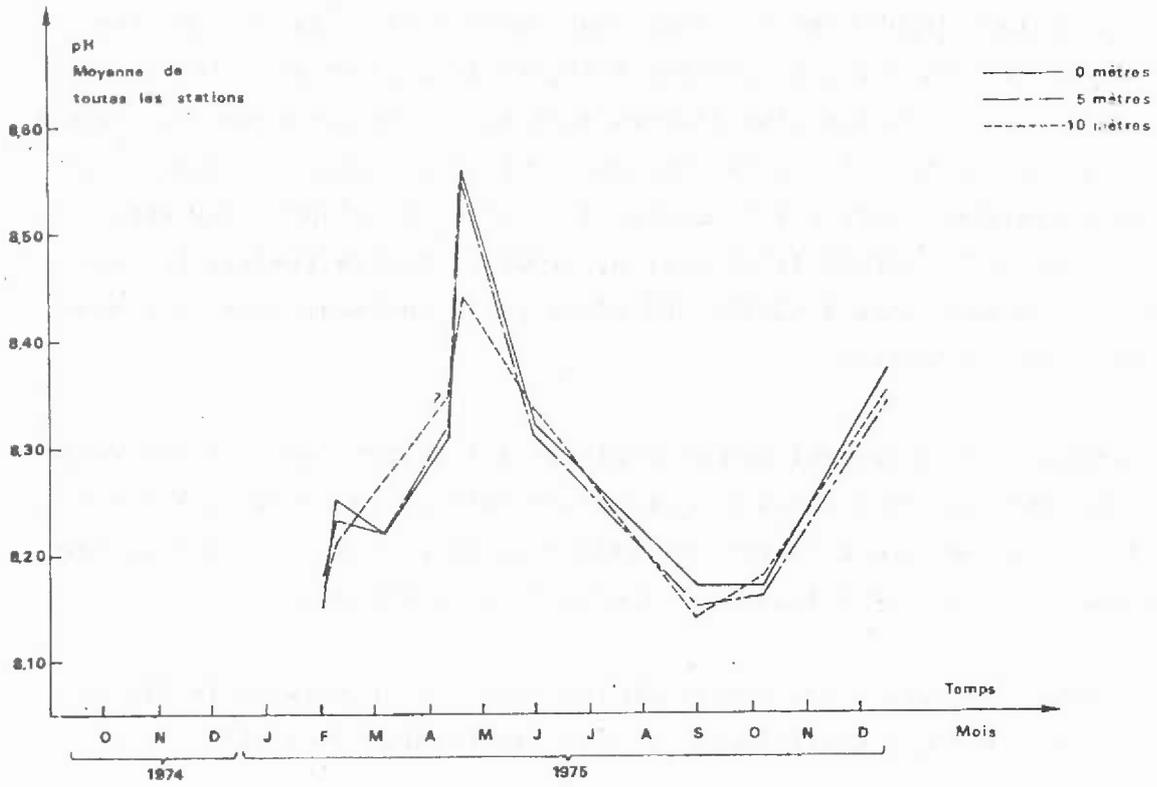
2.8 Sels nutritifs

Les variations annuelles des sels nutritifs en mers tempérées (au large) suivent le schéma suivant : maximum en hiver suivi d'une chute due à la consommation par les organismes autotrophes au printemps et en été ; le refroidissement de l'eau en automne provoque des mélanges verticaux entraînant la remontée d'eaux profondes riches en sels nutritifs (par dépôts d'excrétions, d'organismes morts et de régénération par les bactéries). Les régions côtières sont directement soumises aux apports continentaux qui assurent un approvisionnement plus ou moins continu en sels, dépendant de la pluviosité.

D'autre part, les eaux côtières influencées par des courants de marée importants sont régulièrement brassées, ce qui induit une remise en suspension constante des sels régénérés au niveau du substrat. Le cycle des sels nutritifs (nitrites, nitrates, phosphates, silicates) observé à GRAVELINES (fig. 32) de mars à décembre 1975 comprend une chute du taux des sels au printemps (avril) consécutive à la poussée printanière

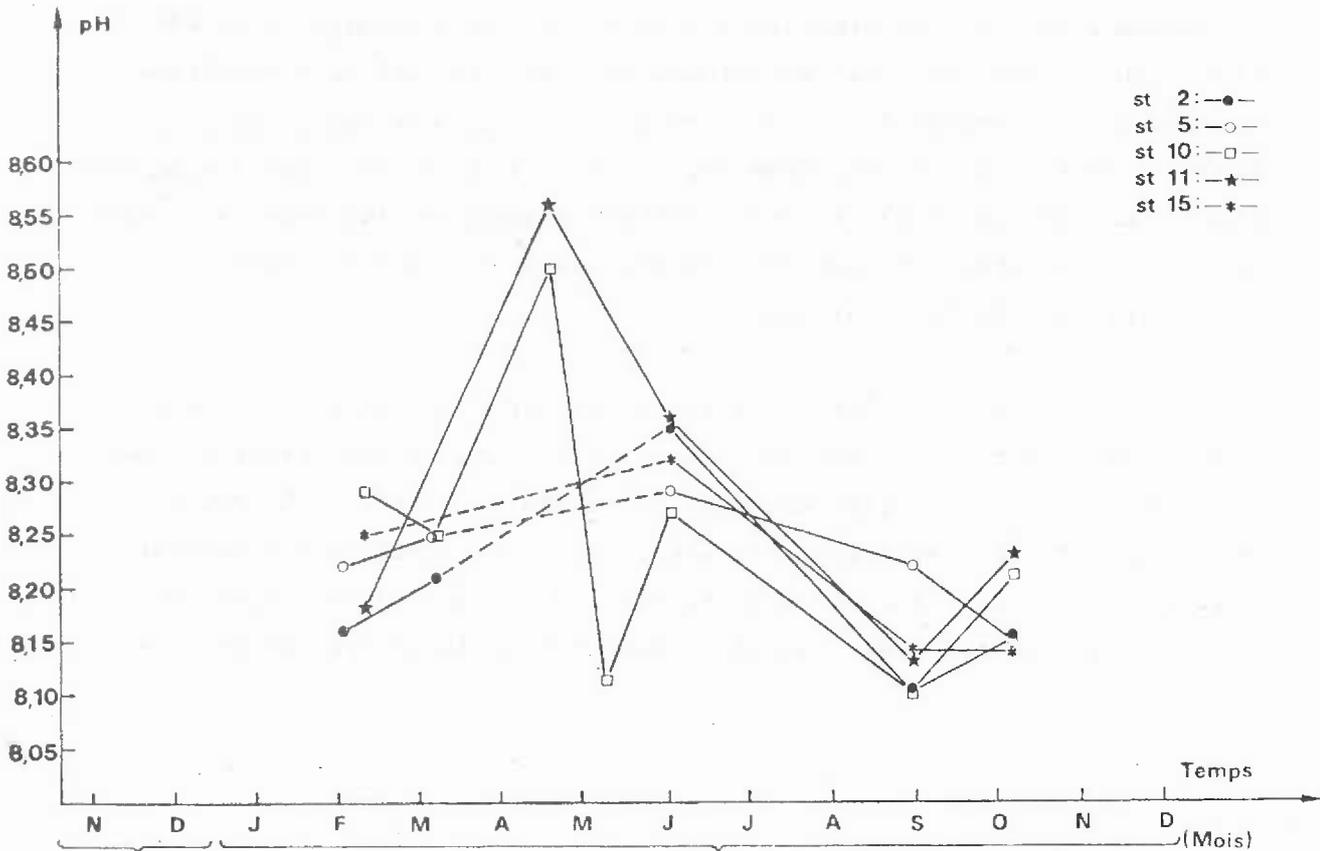
VARIATIONS DU pH DANS LE TEMPS

Fig. 45



VARIATIONS DU PH DANS LE TEMPS A 5 STATIONS

Fig. 46



du phytoplancton ; on note ensuite une reconstitution des stocks à la fin du printemps et au début de l'été (inexistante pour les silicates). Ce pic pourrait être dû à une pollution par les apports de l'Aa (pour cette même période : salinité faible, taux d'oxygène bas) non contrée, par le développement du phytoplancton peu représenté (consommé par les organismes hétérotrophes). Il est également possible que le nombre élevé de zooplanctons favorise le recyclage des sels nutritifs (excrétion, mortalité). Au faible contenu des eaux en sels nutritifs à la fin du mois d'août correspond une très importante population phytoplanctonique. Les précipitations abondantes de l'automne doivent être à l'origine du rapide renouvellement des réserves.

La teneur en sels nutritifs varie peu d'un niveau à l'autre (fig. 47, 49 51, 53), mais on constate généralement une diminution des sels de la surface vers le fond, plus nette pour les taux plus importants. L'étude de la répartition horizontale (fig. 48, 50, 52, 54) met en évidence la richesse des stations côtières par rapport aux stations du large.

Le tracé des isoplèthes fait apparaître une diminution des sels nutritifs de la côte vers le large (volume III). On observe parfois une quantité de silicates élevée à la station 12, sans doute due à la remise en suspension du sable lors des travaux de l'avant-port de DUNKERQUE. Les valeurs les plus importantes se situent souvent au voisinage de l'embouchure de l'Aa.

En effet, les eaux de l'Aa constituent une des sources principales d'apports de sels nutritifs. D'après l'AGUR (1973) une pollution importante est enregistrée de ST-OMER à WATTEN, due aux apports du bassin minier par le canal à grand gabarit ; le phénomène d'auto-épuration ne peut atténuer cette pollution. Un grand nombre d'industries agricoles et alimentaires sont installées le long du fleuve (conserveries et distilleries, entre autres) ; l'emploi important d'engrais est une source supplémentaire de sels nutritifs par suite du lessivage des terres cultivées. Il faut y ajouter l'apport des eaux d'égoûts. Près de l'embouchure de l'Aa sont implantées, à GRAVELINES, une conserverie alimentaire

VARIATIONS DES NITRITES DANS LE TEMPS

Fig. 47

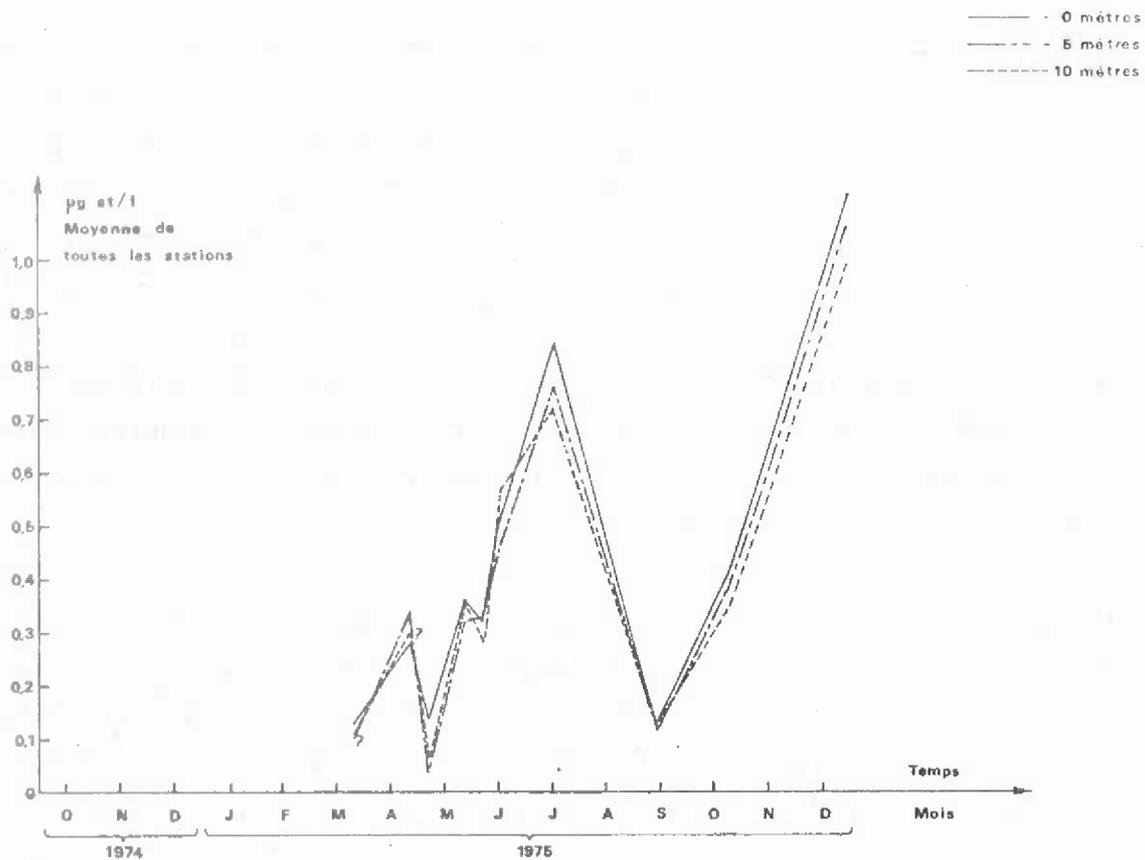


Fig. 48

VARIATIONS DES NITRITES DANS LE TEMPS A 5 STATIONS

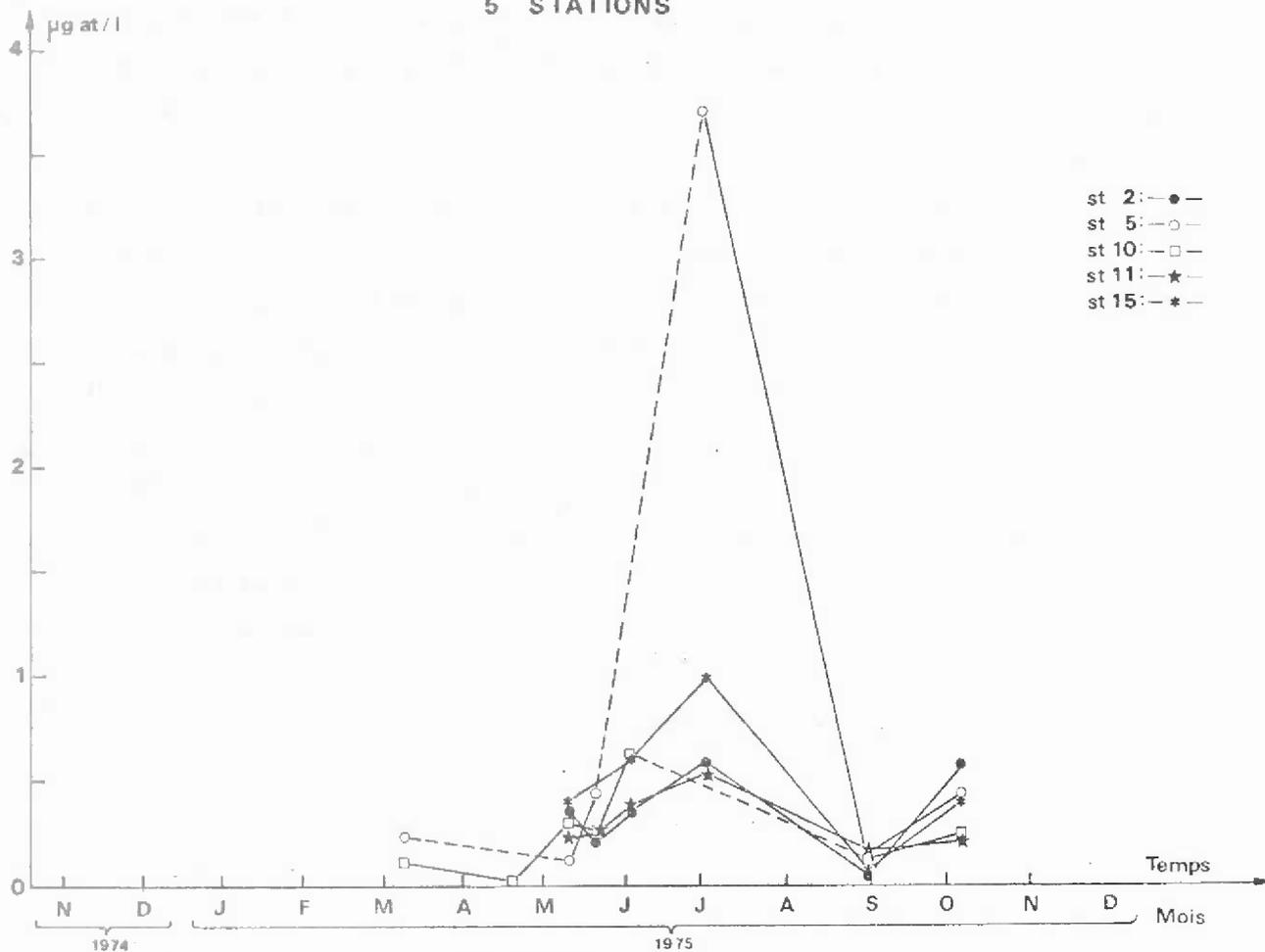
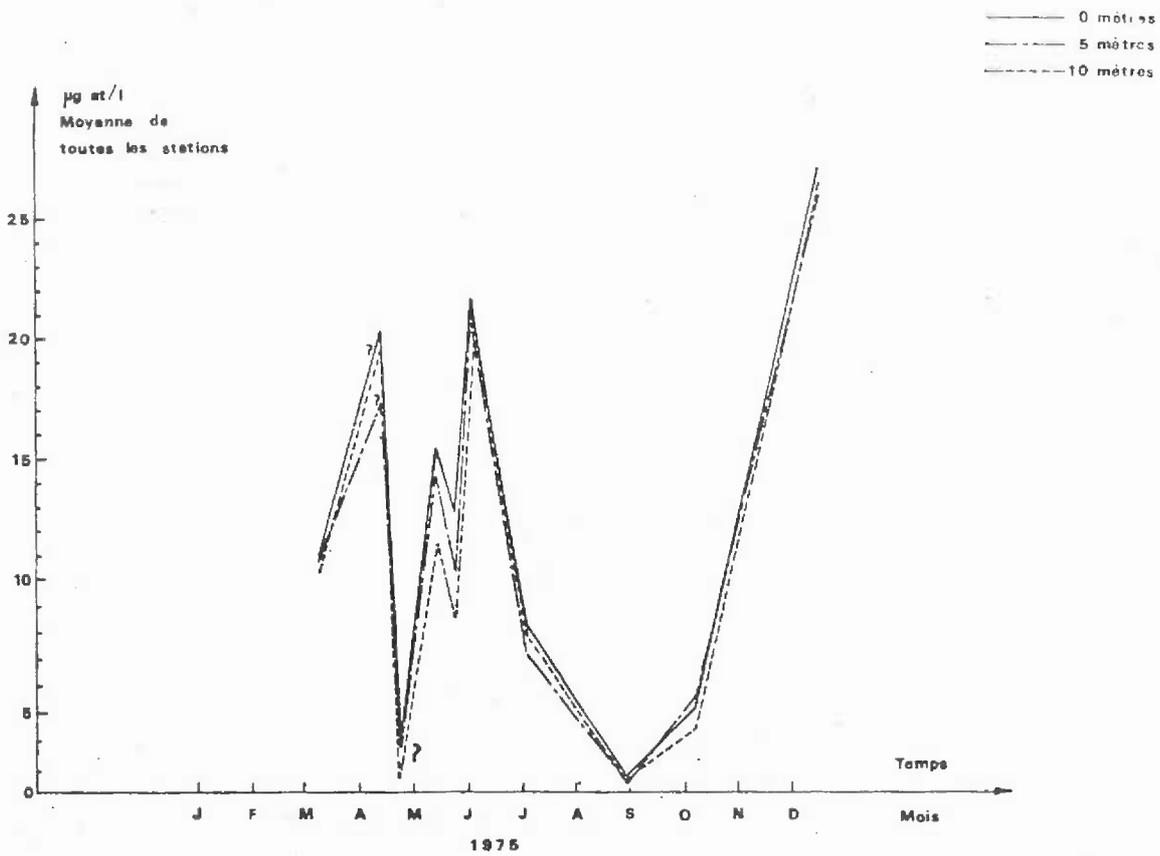
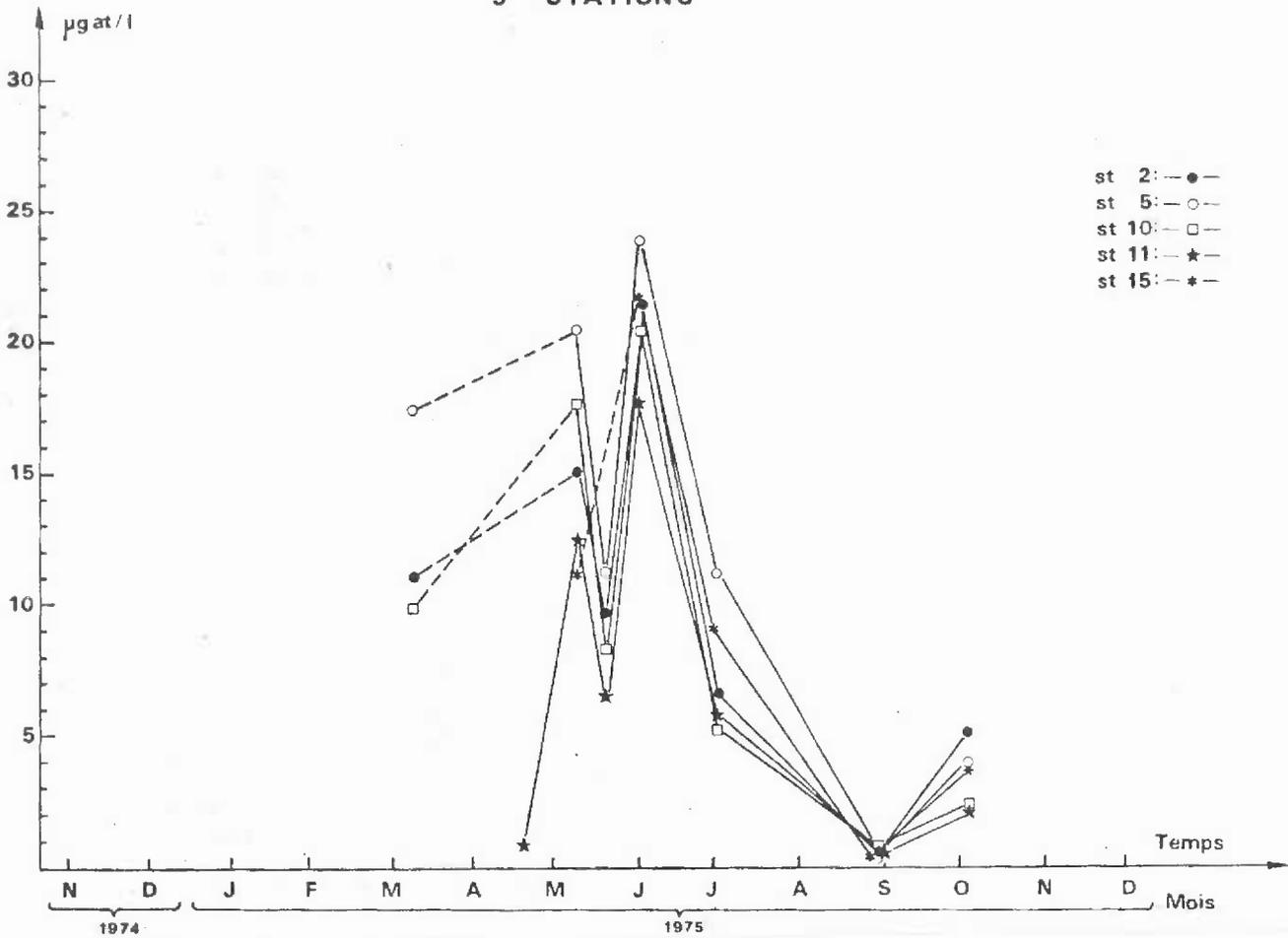


Fig. 49



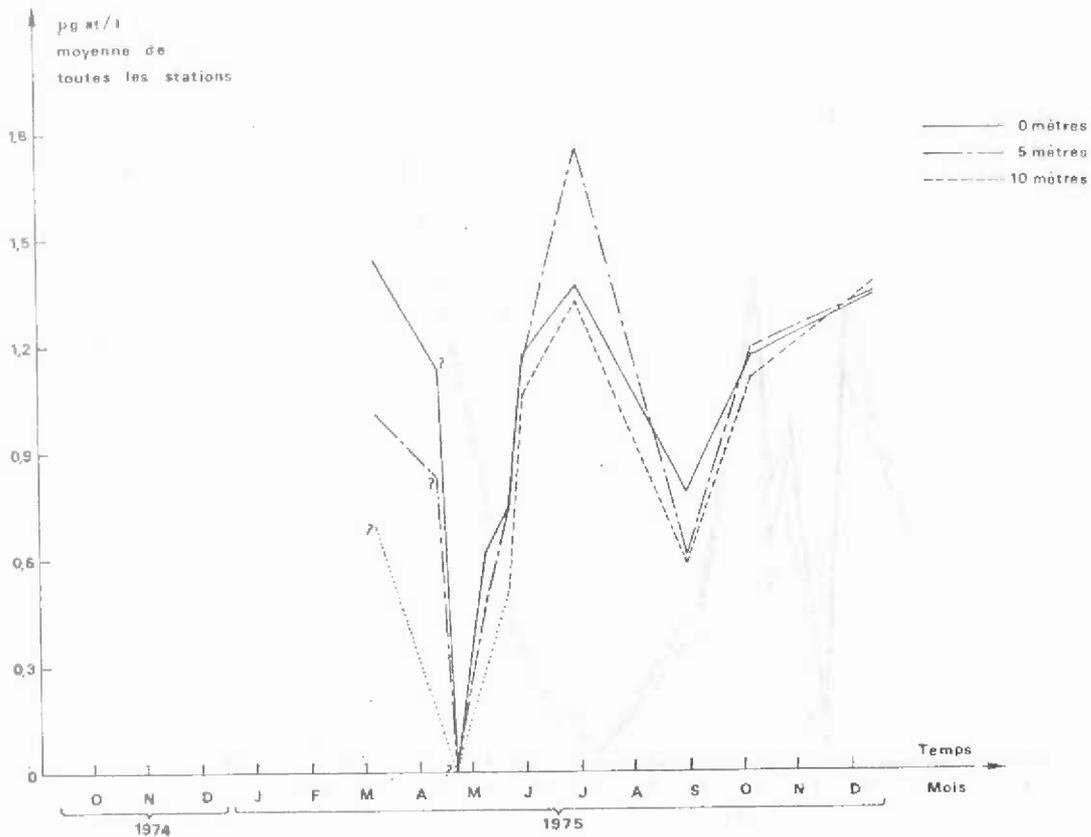
VARIATIONS DES NITRATES DANS LE TEMPS A
5 STATIONS

Fig. 50



VARIATIONS DES PHOSPHATES DANS LE TEMPS

Fig. 51



VARIATIONS DES PHOSPHATES DANS LE TEMPS A 5 STATIONS

Fig. 52

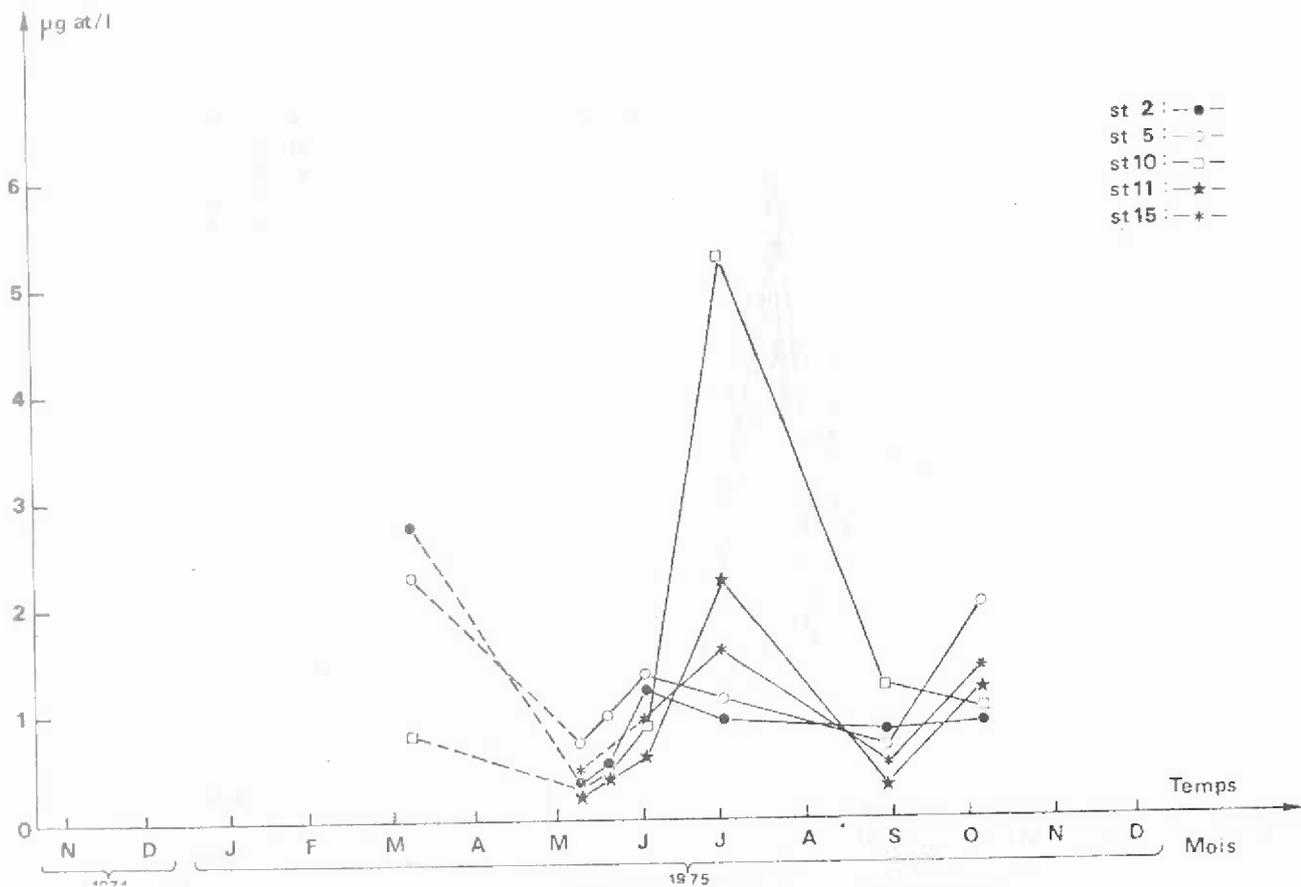
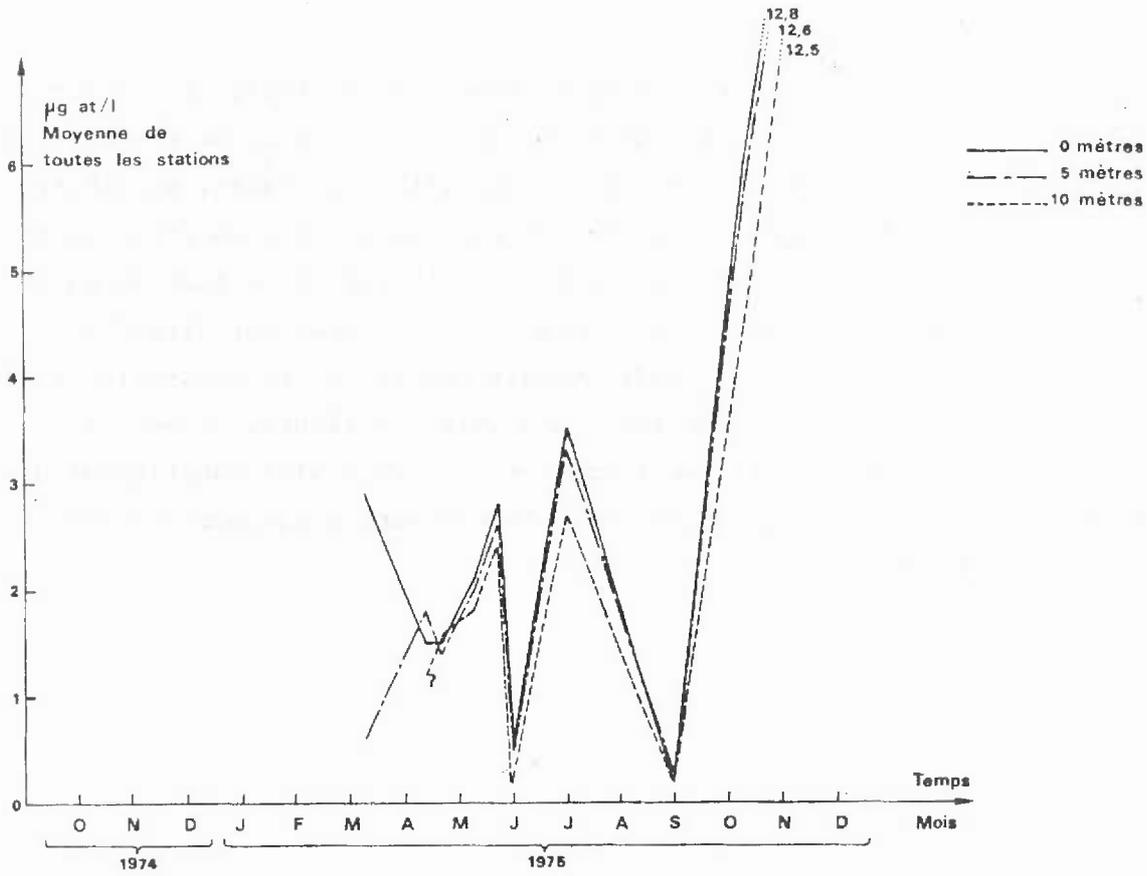
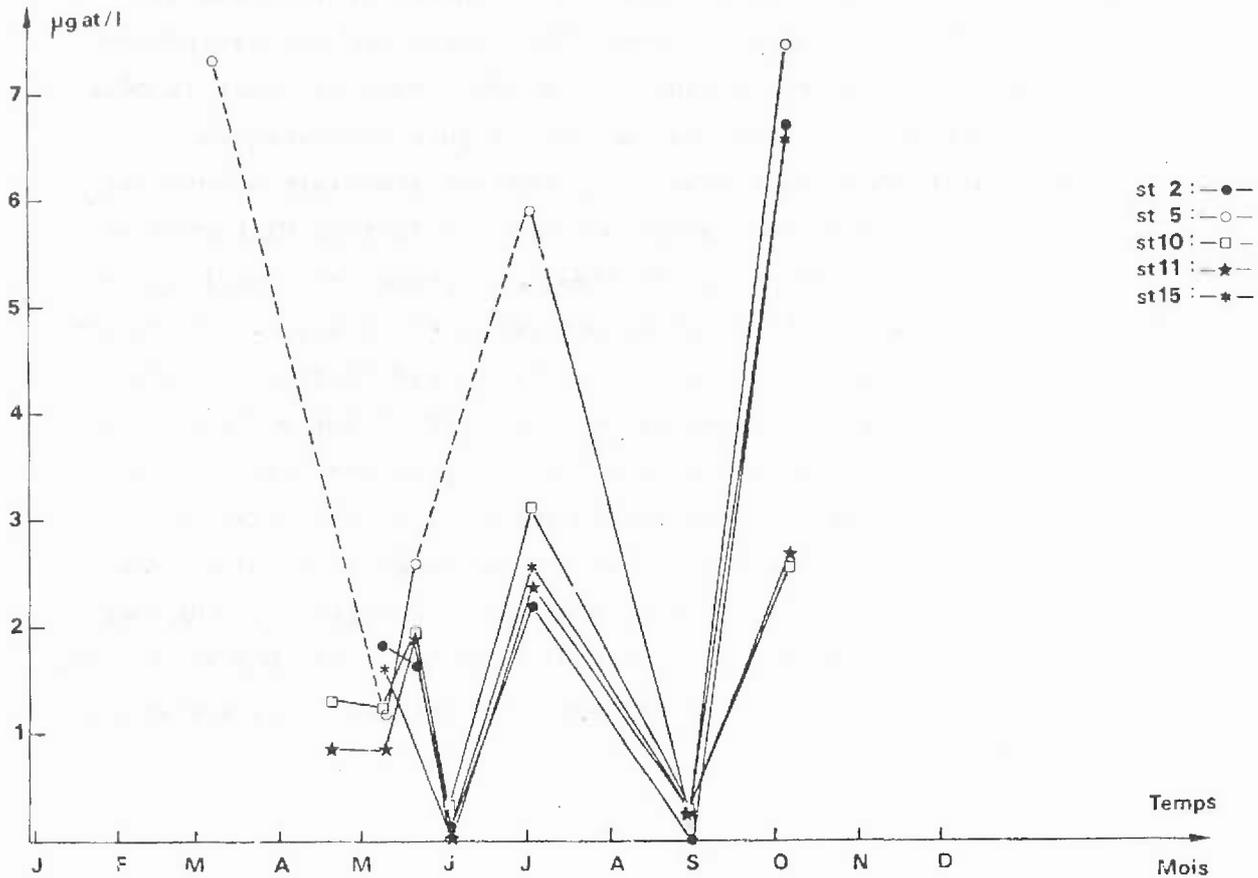


Fig. 53



VARIATIONS DES SILICATES DANS LE TEMPS A 5 STATIONS:

Fig. 54



et une cartonnerie, dont les eaux usées ne sont pas traitées, et qui rejettent 2 tonnes de matières organiques par jour. Il résulte de ces apports tout au long de l'Aa des teneurs élevées en nitrites, nitrates, phosphates (toujours d'après l'AGUR). On enregistre un taux de phosphates très important de $164 \mu \text{atg/l}$ dans le canal exutoire de DUNKERQUE ; le taux de phosphates y est élevé toute l'année. Le courant de flot dominant dirigé vers DUNKERQUE (fig. 5) apporte les résidus venant de CALAIS. Le sous-sol des régions traversées par l'Aa est constitué d'argile yprésienne, recouverte d'une série sableuse et schisteuse flandrienne ; ces sables constituent un apport non négligeable de silicates auxquels viennent s'ajouter les rejets des industries du verre.

II.C PHYTOPLANCTON

1. Matériel et méthodes

1.1 Mesures des pigments photosynthétiques

Chlorophylle

La méthode que nous avons employée est celle de RICHARDS et THOMPSON (1952), normalisée par les soins de l'UNESCO (1966). Nous avons prélevé les échantillons d'un litre à la bouteille à clapets, en même temps et selon la même méthode que ceux destinés à l'étude des paramètres physico-chimiques (cf. II.B1). Le dispositif utilisé pour la filtration immédiate à bord est le même que pour ces derniers. Nous avons préféré aux filtres MILLIPORE et GELMAN GN, les filtres GELMAN GA-6, prétraités, qui permettent une filtration meilleure et plus rapide. Le diamètre des pores est $0,45 \mu$. L'addition de Mg CO_3 , à raison de 10 mg/cm^2 de filtre, évite l'acidification de l'extrait et retarde la formation de phéophytine. Les filtres ont été congelés et conservés à l'obscurité jusqu'à l'extraction des pigments. Celle-ci se fait par addition d'acétone à 90 % pendant 18 heures à l'obscurité. Après centrifugation (7.000 tours/mn pendant 10 mn) le surnageant est placé dans une cuve (de trajet optique 1 cm), et étudié au spectrophotomètre JOBIN et YVON. L'absorption est mesurée aux longueurs d'ondes 663, 645, 630 et 430 nm, ainsi qu'à 750 nm ; cette dernière valeur permet de corriger l'erreur due à

la turbidité. Seule la teneur en "chlorophylle a" a été déterminée, à l'aide de l'équation de PARSONS et STRICKLAND (1963) :

$$\text{Chla } (\mu\text{g/l}) = 11,64 e_{663} - 2,16 e_{645} + 0,10 e_{630}$$

Pheopigments

Le dosage a été fait selon la méthode de LORENZEN (1967) ; filtration et extraction ont lieu comme précédemment ; l'absorption est mesurée à 663 et 750 nm, avant et après acidification du surnageant (2 gouttes d'Hcl à 50 %). La quantité de pheopigments est donnée par la formule :

$$r = \frac{[A \times K \times r(665a) - 665o] \times v}{V \times l}$$

dans laquelle,

A = coefficient d'extinction de la chlorophylle a = 11,0

K permet de ramener la réduction de r à la concentration initiale en chlorophylle = 2,43

665o = extinction avant acidification

v = volume d'acétone

V = volume d'eau de mer filtrée

l = trajet optique de la cuve

R = rapport maximum $\frac{665o}{665a} = 1,7$

Les calculs ont été faits à partir de 663o et 663a, au lieu de 665o et 665a.

Faute de temps, il n'a pas été possible de pratiquer un double échantillonnage pour les dosages de chlorophylle et de pheopigments, ce qui diminue la précision des mesures et la limite à 0,1 $\mu\text{g/l}$.

L'indice de diversité pigmentaire $\frac{e_{430}}{e_{663}}$ a été établi pour chaque échantillon, afin d'indiquer l'état physiologique de la population végétale. (MARGALEF, 1963).

1.2 Etude systématique du phytoplancton

Les prélèvements en vue de l'étude systématique du microplancton ont été réalisés à la bouteille à clapets, en même temps et selon la même méthodologie que ceux destinés aux mesures des paramètres physico-chimiques (cf. IIB) ; les échantillons ont été fixés au formol neutralisé à 10 %.

La technique que nous avons reprise pour le comptage et la détermination des espèces du microplancton est celle d'UTERMÖHL : l'eau à analyser est versée dans une cuve à sédimentation ; les organismes se déposent sur le fond et sont ensuite examinés au microscope à inversion.

Nous avons utilisé le plus couramment des cuves de 5, 10 et 25 cc, parfois 50 ou 100 cc. L'étude des deux premières campagnes a porté sur les individus situés le long de deux diamètres perpendiculaires du fond de la cuve ; pour les autres sorties, nous nous sommes limités à la détermination des organites déposés sur une surface de 1 cm^2 , et même, sur une portion de celle-ci lorsque la richesse de l'échantillon le nécessitait.

Pour cette analyse, nous nous sommes servi de deux types de microscopes à inversion : WILD et ZEISS. Les grossissements le plus souvent utilisés pour le microplancton étaient 280 x, pour le microscope WILD et 312 x pour le ZEISS ; le dénombrement du microplancton a été entrepris aux grossissements 700 x, avec l'appareil WILD et 500 x avec le ZEISS. A cause du peu de temps disponible, nous avons dû limiter l'analyse à une cuve par échantillon, ce qui diminue la précision de l'étude. En effet, la répartition des organites n'est pas égale dans tout l'échantillon, et les résultats concernant le contenu de plusieurs cuves peuvent différer de l'une à l'autre, pour un même prélèvement.

2. Résultats

Les résultats concernant les pigments photosynthétiques sont groupés avec ceux des paramètres physico-chimiques dans le volume II, tableaux 3 à 16. L'étude systématique du microplancton est présentée dans deux séries de tableaux (volume II) : la première rassemble toutes les espèces rencontrées ; la deuxième série se limite aux espèces principales. L'importance des espèces ou des genres est indiquée en nombre de cellules par 100 cc et en pourcentage de dominance par rapport à l'ensemble des individus du microplancton. Les *Phaeocystis sp.* n'ont pas été comptés dans le nombre total d'individus ; pour les campagnes V, V bis et VII, leur importance relative a été indiquée par des + dont le nombre correspond à la quantité estimée de cette espèce.

L'étude systématique du microplancton a porté sur tous les niveaux pour les campagnes IV, VIII et XI ; par suite du peu de temps disponible, l'analyse des autres sorties ne concerne que le niveau 5 m, qui semble être le plus représentatif. Lors des comptages du nanoplancton, nous avons été considérablement gênés par la forte turbidité des échantillons ; les valeurs indiquées dans les tableaux ne le sont donc qu'à titre indicatif. La liste alphabétique des espèces de microplancton rencontrées au cours de l'année d'étude est donnée pages 57, 58 et 59.

Les variations des pigments photosynthétiques et du phytoplancton au cours du temps sont présentées dans la figure 55 (moyennes de toutes les stations à tous les niveaux pour chaque campagne) ; dans les figures 56 et 58 (moyennes de toutes les stations pour chaque niveau et pour chaque sortie) ; dans les figures 57 et 59 (moyennes de tous les niveaux aux 5 stations retenues dans l'étude des paramètres physico-chimiques) et figure 60 (succession des espèces de Diatomées au cours du temps à 5 m : c'est le seul niveau qui ait fait l'objet d'une analyse systématique du microplancton à toutes les campagnes).

Les deux dernières séries de figures ne tiennent pas compte de la sortie XII : l'emplacement des points de prélèvement était différent de celui des campagnes précédentes.

VARIATIONS DE QUELQUES PARAMETRES BIOLOGIQUES

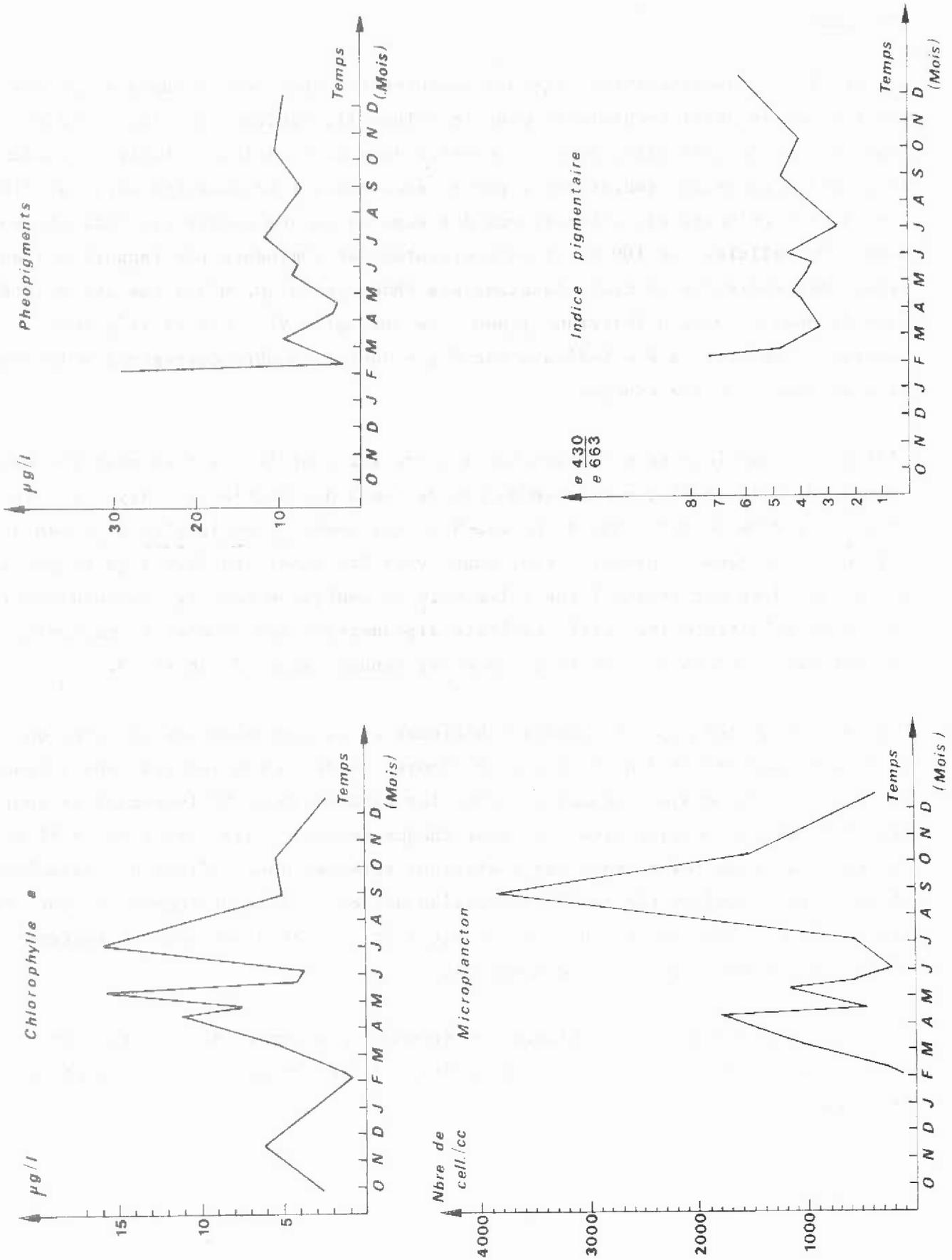


Fig. 55

LISTE DES ESPECES DE MICROPLANCTON RENCONTREES A GRAVELINES

DIATOMÉES (selon HENDEY, 1964)

<i>Actinocyclus octonarius</i>	<i>Chaetoceros curvisetum</i>
<i>Actinocyclus</i> sp.	<i>Chaetoceros danicum</i>
<i>Actinoptychus senarius</i>	<i>Chaetoceros debile</i>
<i>Actinoptychus splendens</i>	<i>Chaetoceros decipiens</i>
<i>Amphora commutata</i>	<i>Chaetoceros densum</i>
<i>Amphora ocellata</i>	<i>Chaetoceros diadema</i>
<i>Amphora</i> sp.	<i>Chaetoceros didymum</i>
<i>Asterionella bleakeleyi</i>	<i>Chaetoceros holsaticum</i>
<i>Asterionella japonica</i>	<i>Chaetoceros sociale</i>
<i>Asterionella kariana</i>	<i>Chaetoceros wighamii</i> (?)
<i>Aulacodiscus argus</i>	<i>Chaetoceros</i> sp.
<i>Bacillaria paradoxa</i>	<i>Cocconeis</i> sp.
<i>Bacteriastrum elongatum</i> (?)	<i>Coscinodiscus excentricus</i>
<i>Bacterosira fragilis</i>	<i>Coscinodiscus lineatus</i>
<i>Bellerochea malleus</i>	<i>Coscinodiscus nitidus</i>
<i>Biddulphia alternans</i>	<i>Coscinodiscus radiatus</i>
<i>Biddulphia aurita</i>	<i>Coscinodiscus</i> sp.
<i>Biddulphia granulata</i>	<i>Coscinosira polychorda</i>
<i>Biddulphia laevis</i>	<i>Cyclotella meneghiniana</i>
<i>Biddulphia mobiliensis</i>	<i>Cyclotella</i> sp.
<i>Biddulphia regia</i>	<i>Diploneis erabro</i>
<i>Biddulphia rhombus</i>	<i>Diploneis lineata</i>
<i>Biddulphia sinensis</i>	<i>Diploneis lineata</i>
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Diploneis</i> sp.
<i>Cerataulus smithii</i>	<i>Ditylum brightwellii</i>
<i>Chaetoceros affine</i>	<i>Eucampia groënlandica</i>
<i>Chaetoceros atlanticum</i>	<i>Eucampia zodiacus</i>
<i>Chaetoceros breve</i>	<i>Fragilaria</i> sp. (?)
<i>Chaetoceros constrictum</i>	<i>Guinardia flaccida</i>
<i>Chaetoceros contortum</i>	<i>Gyrosigma</i> sp.

Lauderia borealis
Lauderia glacialis
Leptocylindrus danicus
Leptocylindrus minimus
Melosira arenaria
Melosira roeseana
Melosira westii
Melosira sp.
Navicula apiculata
Navicula ergadensis
Navicula palpebralis
Navicula rhombica
Navicula tuscula
Navicula sp.
Nitzschia closterium
Nitzschia constricta
Nitzschia lorenziana
Nitzschia seriata
Nitzschia sigma
Paralia sulcata
Pinnularia ambigua
Pinnularia sp.
Plagiogramma sp. (?)
Pleurosigma affine
Pleurosigma angulatum
Pleurosigma marinum
Pleurosigma sp.
Podosira stelliger
Rhaphoneis amphiceros
Rhaphoneis surirella
Rhizosolenia delicatula
Rhizosolenia fragilissima
Rhizosolenia hebetata
Rhizosolenia setigera
Rhizosolenia shrubsolei
Rhizosolenia stolterfothii
Rhizosolenia styliformis

Shroderella schroderi
Skeletonema costatum
Stauroneis membranacea
Streptotheca tamesis
Synedra sp.
Thalassionema nitzschioides
Thalassiosira baltica
Thalassiosira condensata
Thalassiosira decipiens
Thalassiosira hyalina
Thalassiosira nana (?)
Thalassiosira nordenskioldii
Thalassiosira rotula (?)
Thalassiosira subtilis
Thalassiosira sp.
Triceratium favus

FLAGELLES

Phaeocystis sp.

CHLOROPHYCEES

Pediastrum sp.
Scenedesmus quadricauda
Trochiscia brachiolata
Trochiscia clevei
Synura uvella

SILICOFLAGELLES

Dictyocha speculum

PERIDINIENS

Dinophysis ovum
Glenodinium sp.
Gonyaulax polyedra
Gonyaulax sp.
Gymnodinium aeruginosum
Gymnodinium lohmanni
Gymnodinium splendens
Noctiluca scintillans
Oxytoxum gladiolus
Peridinium conicoïdes
Peridinium conicum
Peridinium crassipes
Peridinium excentricum
Peridinium ovatum
Peridinium palidum
Peridinium pellucidum (?)
Peridinium pentagonum
Peridinium sp.
Prorocentrum gracile
Prorocentrum micans
Prorocentrum rostratum
Prorocentrum sp.
Protoceratium sp.
Pyrocystis lunula

La distribution dans l'espace des pigments photosynthétiques est précisée dans la même série de figures que celle qui concerne les paramètres physico-chimiques (volume III) ; la répartition spatiale de quelques espèces de Diatomées est établie à partir des données en pourcentage de dominance (volume III).

L'évolution au cours de l'année des principales espèces de Diatomées est retracée dans la figure 85, en nombre de cellules par cc et en pourcentage de dominance.

2.1 Pigments photosynthétiques

Le taux de chlorophylle a présente 2 minima : l'un en février, l'autre fin mai, début juin, et 2 maxima printaniers, le second plus important que le premier (fig. 55). On n'observe les plus fortes valeurs estivales qu'au début de juillet. On retrouve en décembre le minimum hivernal. Les concentrations varient d'une valeur nulle (campagne III) à 48,84 $\mu\text{g}/\text{l}$ (campagne VI).

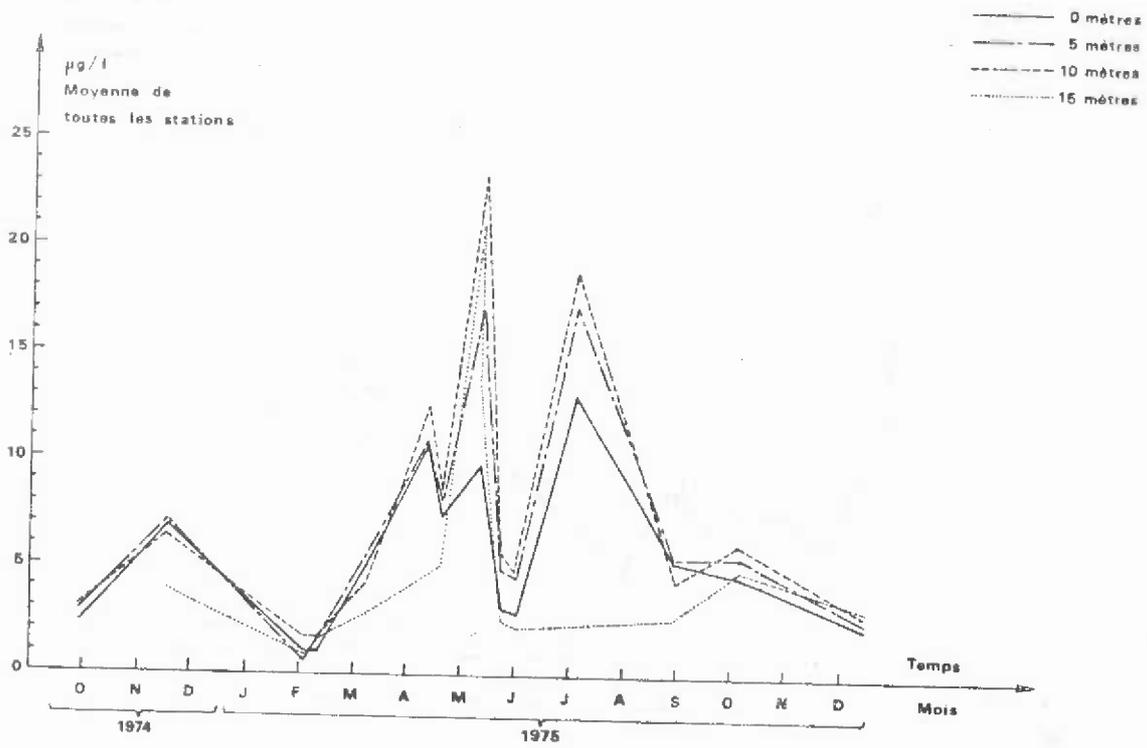
Les données concernant les pheopigments présentent des fluctuations paraissant essentiellement provoquées par l'incertitude liée à la manipulation. Il n'a donc pas paru utile d'en tenir compte.

L'indice pigmentaire $\frac{e_{430}}{e_{663}}$ est maximum en hiver, minimum en été (fig. 33) ; il fluctue entre 0 et 23.

Le niveau de surface est le plus pauvre en chlorophylle a, et en pheopigments (fig. 56). La teneur en chlorophylle a, plus élevée à 10 m qu'à 5 m (sauf lors des campagnes II, IV et X), est plus faible à 15 m. Il faut cependant noter que seules les stations dites du large, moins riches en chlorophylle, ont des fonds supérieurs à 10 m. Les valeurs à 15 m représentées sur la figure correspondent donc à une moyenne de stations du large et non de l'ensemble de la zone.

Le taux de chlorophylle a diminue de la côte (stations 5 et 15) vers le large (station 11) (fig. 57 et isoplèthes volume III). L'influence de l'Aa se fait sentir très nettement : pendant la plupart des campagnes, on trouve les teneurs maximales en chlorophylle a aux points 4 et 5, proches de l'estuaire ;

Fig. 56



VARIATIONS DE LA CHLOROPHYLLE a DANS LE TEMPS A 5 STATIONS

Fig. 57

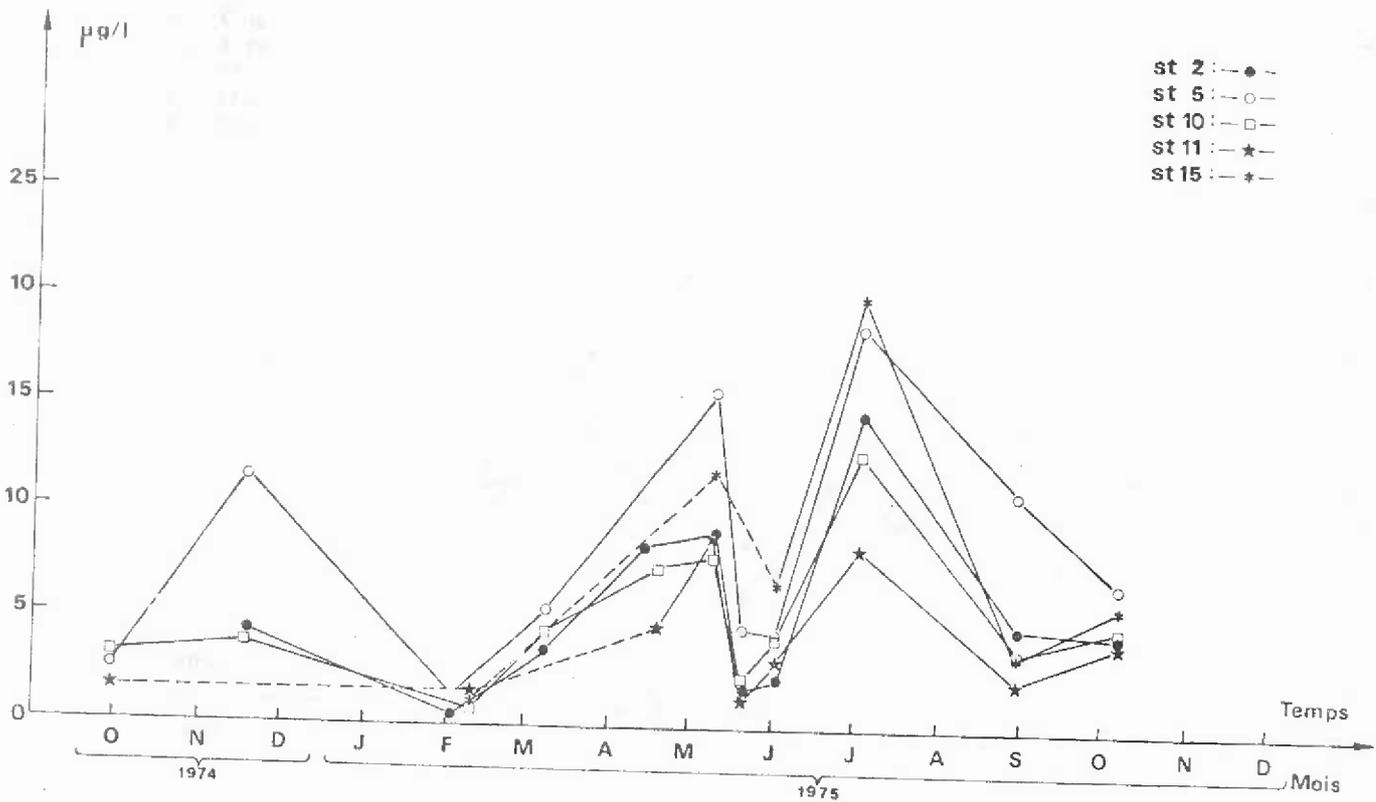
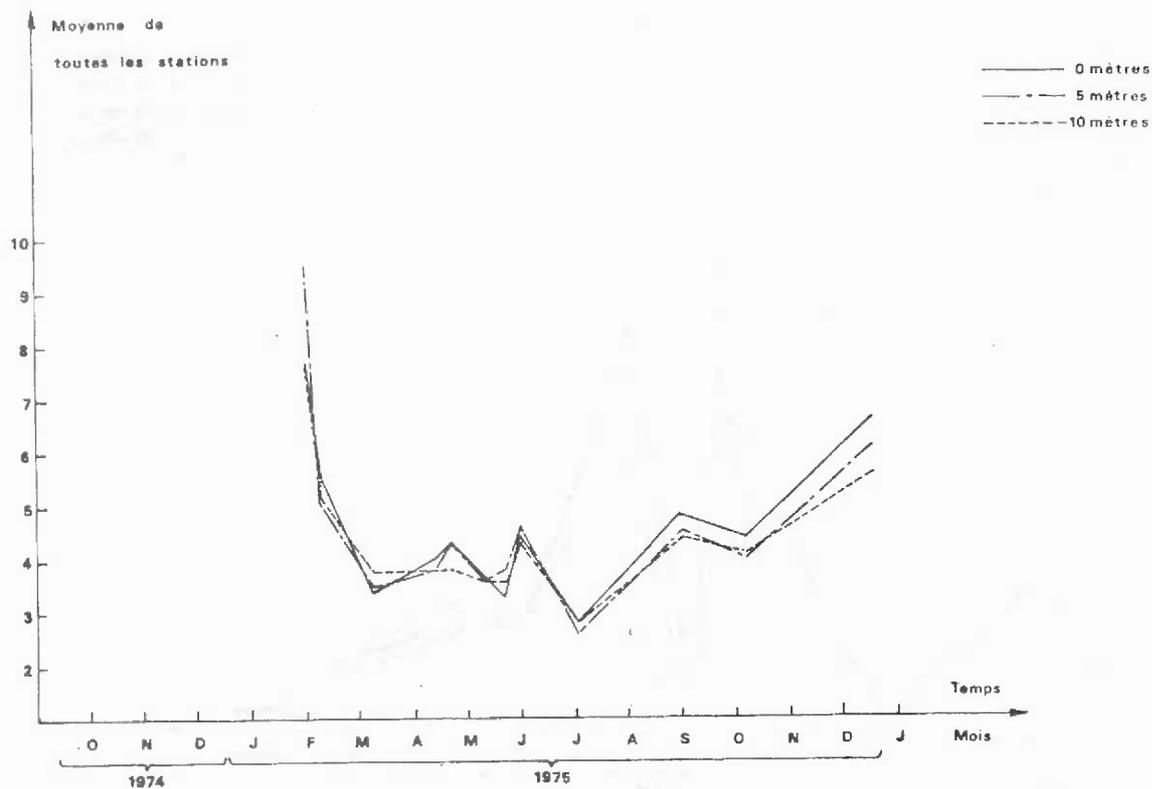
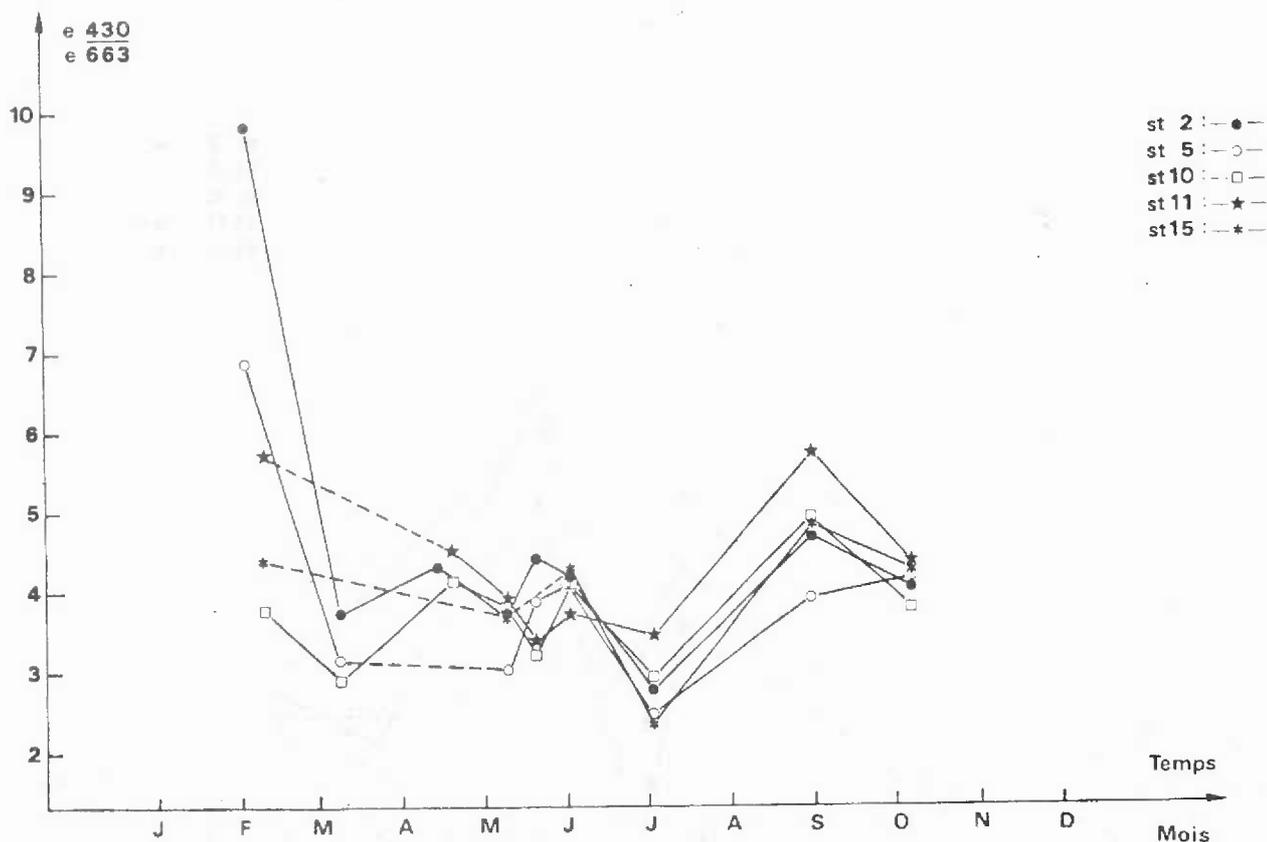


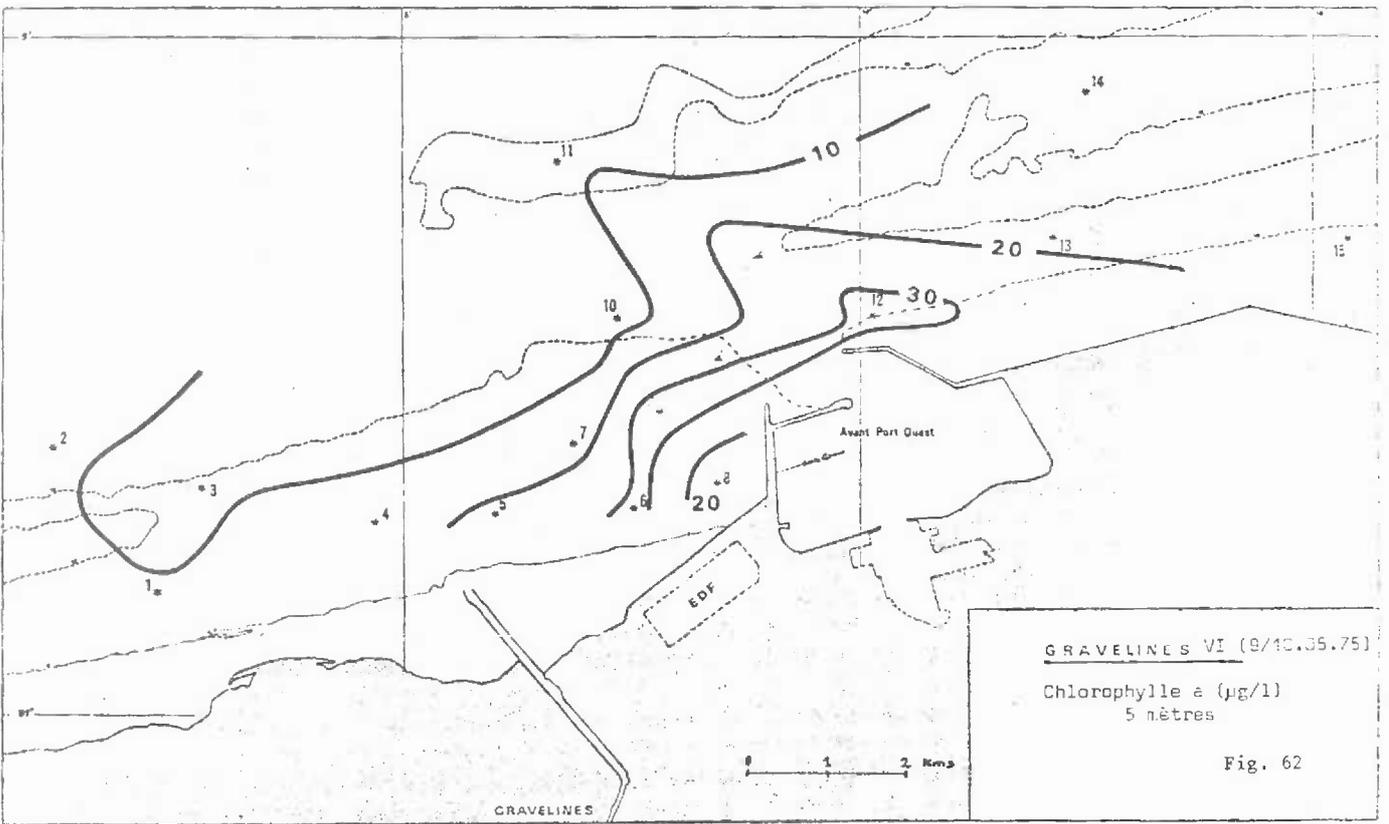
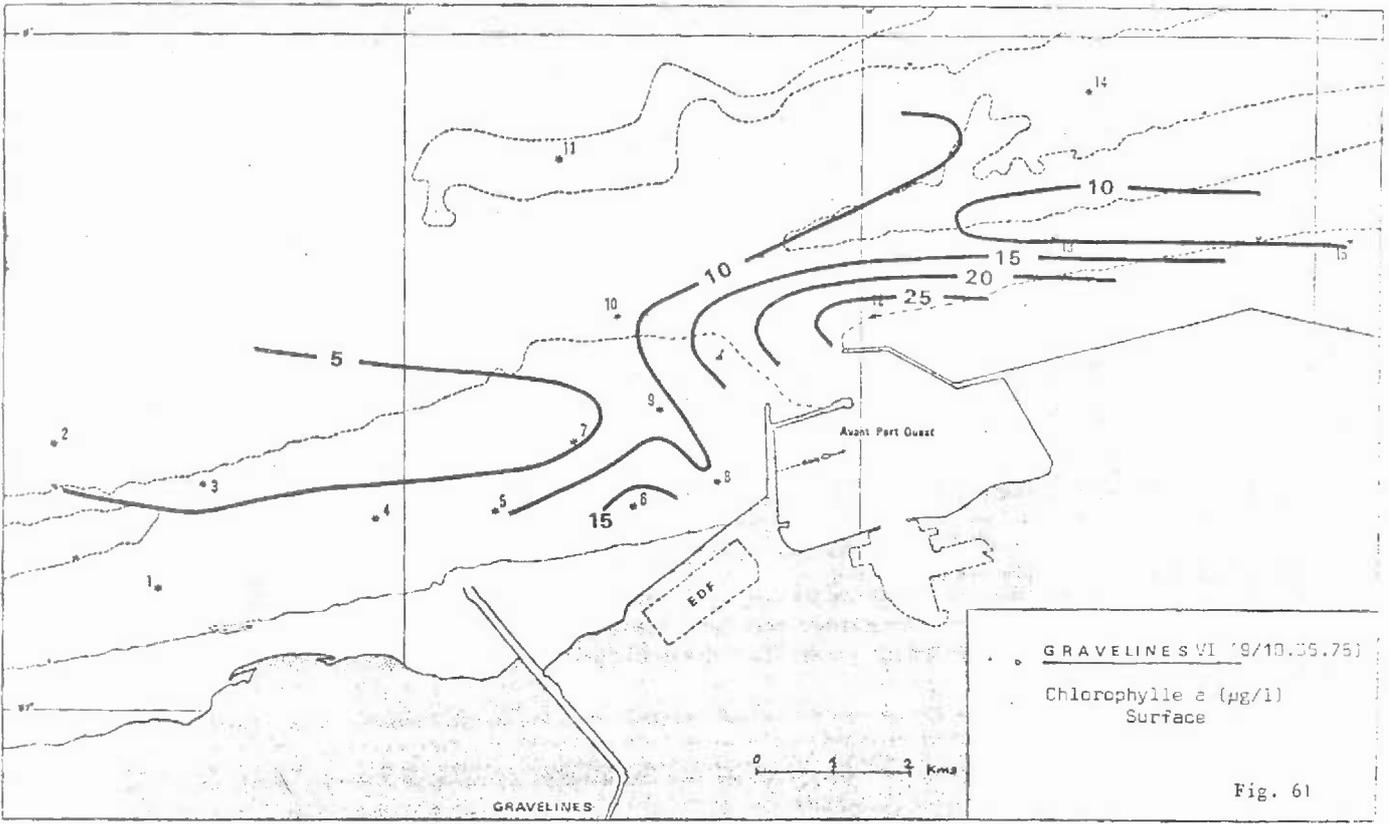
Fig. 58

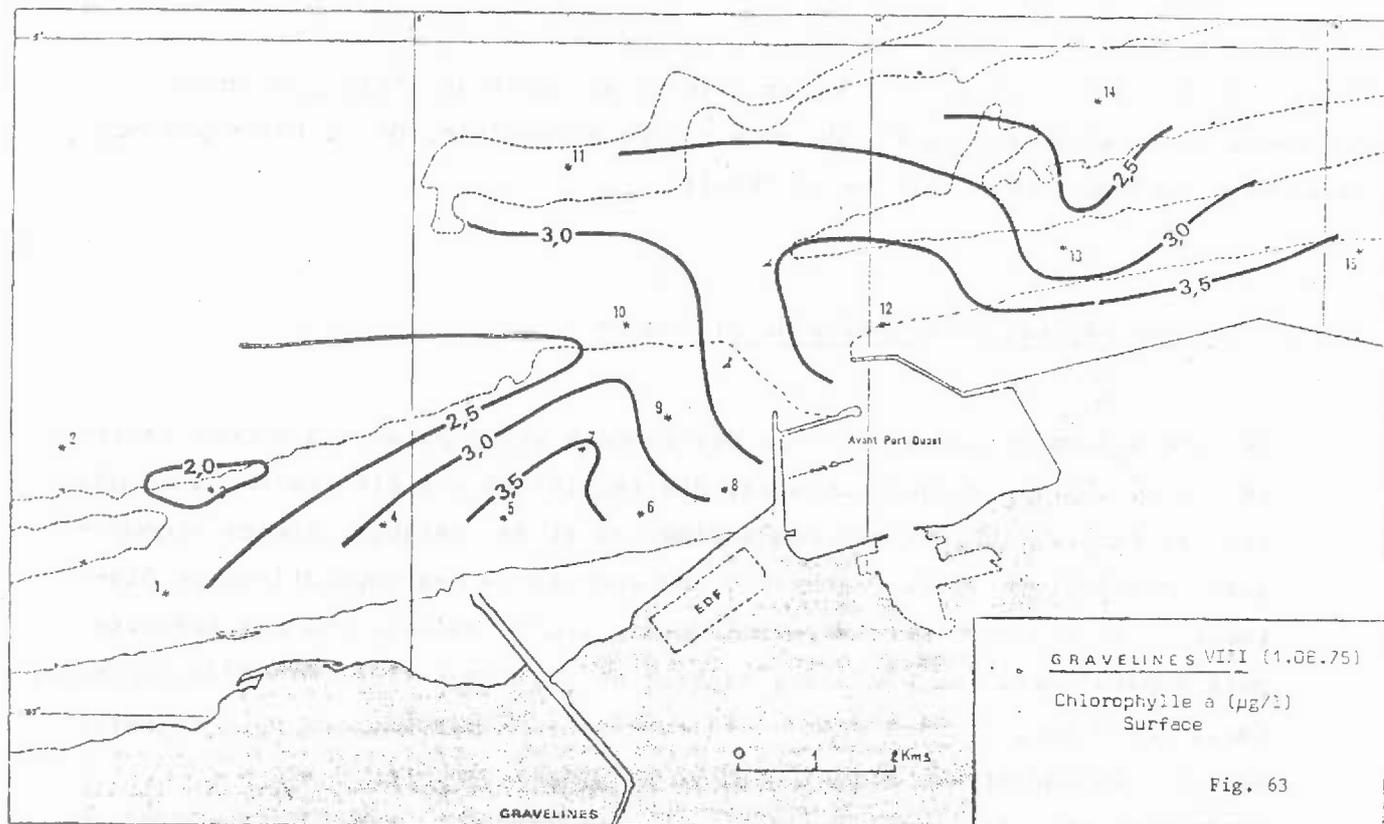


VARIATIONS DE L'INDICE PIGMENTAIRE DANS LE TEMPS A 5 STATIONS

Fig. 59







Le mélange des eaux marines et des eaux de l'Aa, riches en matières en suspension et en sels nutritifs, est à l'origine d'un apport nutritionnel important pour le phytoplancton.

Lors des campagnes VI et VIII, on observe à la station 12 une concentration élevée en chlorophylle a (fig. 61, 62 et 63) liée à la présence d'un fort pourcentage d'individus du genre *Fragilaria* (?). L'abondance de ces espèces côtières serait le témoin d'une turbidité importante, conséquence des travaux de l'avant-port de DUNKERQUE, qui remettent en suspension les particules déposées sur le fond.

2.2 Microplancton

Le microplancton est essentiellement composé de Diatomées ; on y trouve aussi quelques Chlorophycées, Silicoflagellés, Péridiniens et Ciliés.

Dans les variations du microplancton, en nombre de cellules par cc (fig. 55) nous n'avons pas tenu compte du nombre de cellules de *Phaeocystis* sp.. Après les faibles concentrations hivernales, la quantité de microplancton augmente au printemps

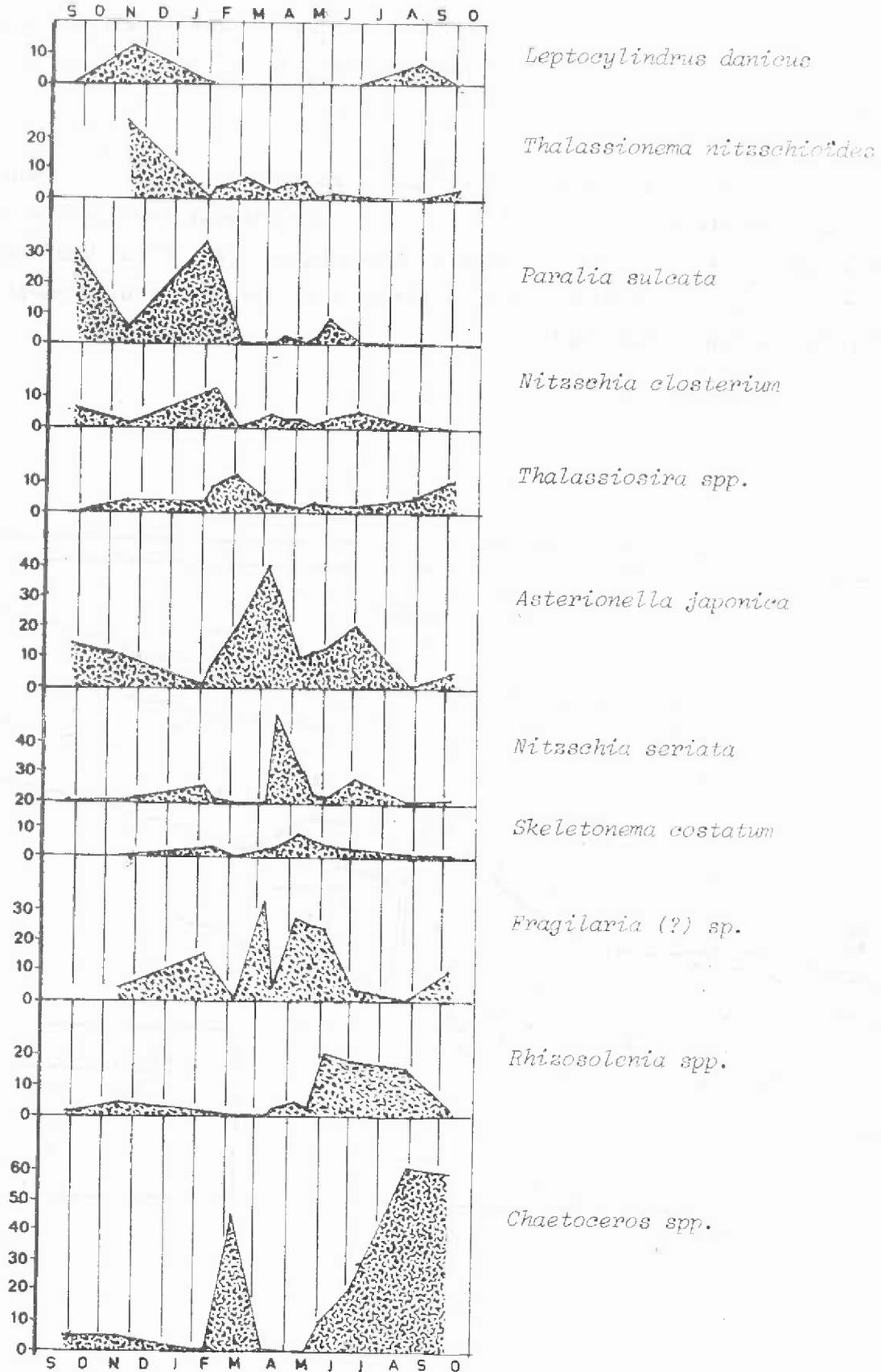
(début avril et début mai), puis diminue jusqu'au début de l'été ; on observe les quantités maximales à la fin du mois d'août (jusqu'à 8.100 cellules par cc) ; en automne, le nombre de cellules se réduit.

2.2.1 Etude des espèces principales de Diatomées

Les variations au cours du temps des espèces principales à 5 m sont reportées figure 64. A chaque campagne, des isoplèthes ont été tracées pour montrer la répartition des espèces dominantes et de quelques espèces accompagnatrices (volume III). On observe une succession des populations de Diatomées : en hiver, c'est essentiellement *Paralia sulcata* qui est présente puis apparaissent les premières espèces de printemps : *Asterionella japonica*, *Chaetoceros* sp., *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiosira* sp.. En avril-mai, correspondant au "bloom" printanier, on trouve *Asterionella japonica*, *Fragilaria* sp., qui sont les deux espèces dominantes, *Nitzschia closterium*, *Nitzschia seriata*, *Rhaphoneis amphiceros*, *Skeletonema costatum*, *Thalassionema nitzschioides*.

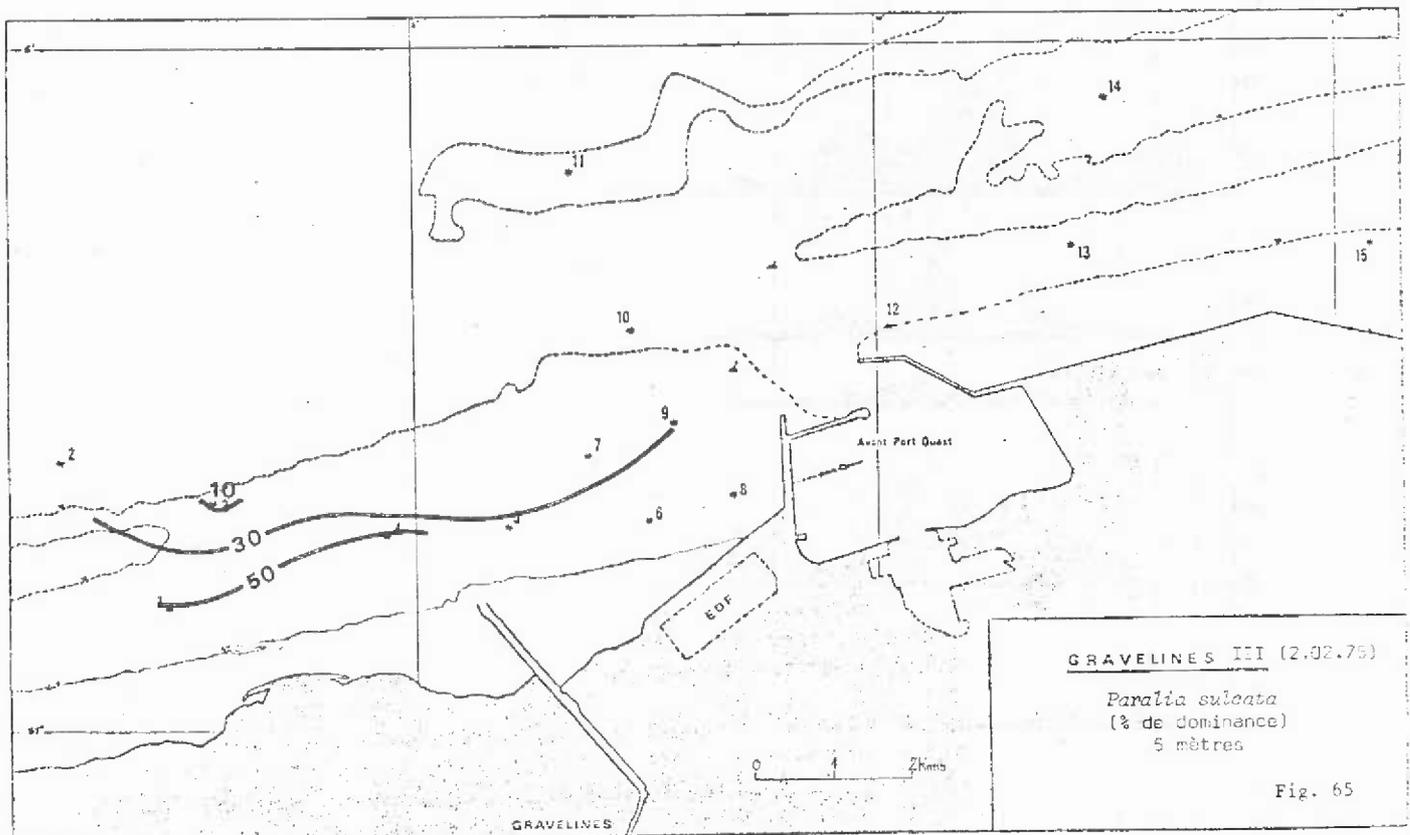
Début juin, tandis que les concentrations de la majorité des espèces sont minimales, apparaissent les *Rhizosolenia* sp.. Début juillet, il y a réapparition du genre *Chaetoceros*, apparition de *Rhizosolenia delicatula* ; les *Rhizosolenia setigera* sont à leur maximum ; *Asterionella japonica*, *Nitzschia closterium*, et *Nitzschia seriata* sont abondantes (*Asterionella japonica* *Chaetoceros* sp. dominant). Fin août, l'abondance du microplancton est due aux poussées de *Chaetoceros* sp., *Leptocylindrus danicus*, *Rhizosolenia delicatula*, *Rhizosolenia shruvsolei*, *Rhizosolenia stolterfothii* et *Thalassiosira* sp. (le genre *Chaetoceros* est alors dominant à plus de 50 %) ; à cette époque, *Asterionella japonica*, *Fragilaria* sp., *Nitzschia seriata*, *Paralia sulcata*, *Rhaphoneis amphiceros*, *Rhizosolenia setigera* et *Thalassionema nitzschioides* sont pratiquement absentes. En octobre, réapparaissent *Asterionella japonica*, *Fragilaria* sp., *Paralia sulcata*, *Rhaphoneis amphiceros* et *Thalassionema nitzschioides* ; *Chaetoceros* sp., *Skeletonema costatum*, *Thalassionema* sp. sont encore présentes, le genre *Chaetoceros* étant dominant.

Fig. 64 SUCCESSION DES PRINCIPALES ESPECES
 DE DIATOMÉES DANS LE TEMPS
 (pourcentage de dominance)



On remarque que certaines espèces sont présentes presque toute l'année : *Asterionella japonica*, le genre *Fragilaria*, *Nitzschia closterium*, *Nitzschia seriata*, *Paralia sulcata*, *Skeletonema costatum*. L'été est la période de floraison intense pour *Leptocylindrus danicus*, *Rhizosolenia delicatula*, *Rhizosolenia setigera*, *Rhizosolenia shrubsolei* et *Rhizosolenia stolterfothii*.

Paralia sulcata, dominante en hiver (107 cellules par cc, lors de la campagne III bis) est absente à la fin de l'été. Elle est faiblement représentée au large, mais abondante à la côte, spécialement au débouché de l'Aa. C'est une espèce benthique que l'on peut rencontrer dans le plancton côtier, particulièrement après les périodes de vent assez fort.



Le genre *Thalassiosira* est représenté par plusieurs espèces dont les individus sont normalement unis en chaînes. L'agitation des échantillons provoque leur dissociation, ce qui rend difficile leur détermination ; de plus, la position de ces espèces sur le fond de la cuve ne permet pas toujours leur identification. On observe les plus fortes concentrations le 8 mars, le 30 août et début octobre (maximum 833 cellules par cc lors de la campagne X). D'une manière générale, le maximum a lieu à la fin de l'été pour les stations côtières et en automne pour celles du large (isoplèthes, volume III). Cela pourrait être dû, le 6 octobre, à l'abondance du genre *Fragilaria* à préférendum côtier (volume III).

Plusieurs espèces ont été identifiées :

- *Thalassiosira baltica*, rare
- *Thalassiosira condensata*
- *Thalassiosira decipiens*
- *Thalassiosira nana* (?)
- *Thalassiosira nordenskioeldii*, espèce côtière responsable du maximum de printemps
- *Thalassiosira rotula* (?)
- *Thalassiosira subtilis*, en octobre (n'ayant pas été dénombrée dans tous les échantillons, elle n'a pas été prise en compte dans le nombre total de cellules de microplancton lors de la campagne X)
- *Thalassiosira decipiens* et *Thalassiosira rotula* (?) sont les plus abondantes

Skeletonema costatum, presque absente en mars, est abondante au milieu du printemps (194 cellules par cc lors de la campagne VI). Les variations selon les stations sont irrégulières. C'est une espèce côtière que l'on trouve à de fortes concentrations au voisinage de l'Aa (ex. : le 20 mai).

Le genre *Chaetoceros* est représenté par de nombreuses espèces généralement difficiles à identifier parce qu'elles sont de petite taille et ont perdu leurs épines. On observe un premier maximum en mars, puis un deuxième correspondant à des concentrations beaucoup plus importantes à la fin de l'été (les comptages ont atteint le nombre de 6.836 cellules par cc le 30 août). Ce genre est pratiquement absent à la fin du mois de mai. La majorité des espèces du genre *Chaetoceros* est côtière.

Cependant, lors des campagnes VIII et IX, elles dominent au large ; la présence d'autres espèces côtières abondantes à cette époque : *Fragilaria* sp. le 1er juin, *Rhizosolenia* sp. et *Asterionella japonica* le 2 juillet pourrait en être la cause. (voir isoplèthes, volume III). On remarque à nouveau l'antagonisme *Chaetoceros-Fragilaria* le 6 octobre (volume III).

Plusieurs espèces ont été déterminées

- *Chaetoceros affine*
- *Chaetoceros atlanticum*
- *Chaetoceros breve*, en février - mars
- *Chaetoceros constrictum*
- *Chaetoceros curvisetum*, côtière
- *Chaetoceros danicum*
- *Chaetoceros debile*, côtières, présente tout au long de l'étude
- *Chaetoceros decipiens*, fin mai
- *Chaetoceros densum*
- *Chaetoceros diadema*, on en a observé des spores en mars
- *Chaetoceros didymum*, fin août et octobre, côtière
- *Chaetoceros holsaticum*
- *Chaetoceros sociale*, abondante
- *Chaetoceros wighami* (?), rare

Leptocylindrus danicus, absente presque toute l'année est abondante à la fin de l'été (maximum : 638 cellules par cc lors de la campagne X'). C'est une espèce côtière.

Le genre *Rhizosolenia* est représenté par un faible nombre d'individus en hiver ; on observe une légère augmentation à la fin du printemps et au début de l'été. Le 2 juillet, la concentration de *Rhizosolenia setigera* est maximale ; il y a apparition de *Rhizosolenia delicatula* et *Rhizosolenia stolterfothii*.

La floraison de la fin août (jusqu'à 878 cellules par cc) est due à la grande quantité de *Rhizosolenia delicatula*, *Rhizosolenia shrubsolei* et *Rhizosolenia stolterfothii* (fig. 74 à 78). Les *Rhizosolenia* sp. sont des espèces côtières ; cependant, lors des campagnes VIII et X, le gradient de dominance s'inverse ; cela doit être la conséquence de la présence d'autres espèces côtières abondantes à la

même date : *Fragilaria* sp. le 1er juin, *Chaetoceros* sp. le 6 octobre (Isoplèthes, volume III).

D'autres espèces ont été déterminées ; on les rencontre plus rarement :

- *Rhizosolenia fragilissima*
- *Rhizosolenia hebetata*
- *Rhizosolenia styliformis*

Sous le nom de *Fragilaria* sp. on regroupe des espèces disposées en chaînes et qui n'ont pas été identifiées ; il semblerait qu'il y ait deux espèces différentes, présentant un minimum début mars, et à la fin de l'été (fig. 64). C'est une espèce côtière.

Rhaphoneis amphiceros, abondante au printemps et en automne (jusqu'à 90 cellules par cc lors de la campagne VI) est absente fin août. C'est une espèce essentiellement benthique dont l'importance diminue vers le large et croît vers le fond.

Les variations d'*Asterionella japonica*, espèce côtière, se traduisent par un premier maximum au printemps, puis un deuxième, de moindre importance, début juillet ; le nombre de cellules est faible fin août, et augmente à nouveau en automne (fig. 64).

On observe deux pics d'abondance de *Thalassionema nitzschioides*, l'un au printemps, l'autre en automne, et un minimum début juin ; cette Diatomée est absente fin août. C'est une espèce côtière.

Le genre *Nitzschia* est présent en grande quantité au printemps, puis de nouveau en été (fig. 64). *Nitzschia closterium* domine en été, *Nitzschia seriata* au printemps. Malgré son preferendum côtier, il arrive qu'il y ait augmentation du nombre de cellules vers le large ; cela pourrait être la conséquence de la présence d'autres espèces côtières abondantes à la même époque, ce qui est le cas lors des campagnes III, III bis, VI et VII pendant lesquelles les espèces antagonistes des *Nitzschia* sont *Paralia sulcata*, *Fragilaria* sp., et *Skeletonema costatum*, *Fragilaria* sp. et *Asterionella japonica*.

D'autres espèces ont été déterminées :

- *Nitzschia constricta*
- *Nitzschia lorenziana*
- *Nitzschia sigma*

Elles sont peu fréquentes.

Le genre *Navicula*, principalement benthique, comprend plusieurs espèces difficiles à déterminer, généralement de petite taille ; il est plus abondant en automne.

L'établissement du diagramme T.S. (fig. 31) a permis de calculer la densité de l'eau aux différentes époques de l'année. Pendant les mois d'été, où la densité est plus faible (elle est égale à $1,023 \text{ g/m}^3$ lors des campagnes VII et IX, à $1,024 \text{ g/cm}^3$ lors de la campagne X) il y a développement d'espèces mieux adaptées : *Chaetoceros* sp. possédant de longues épines et formant des chaînes ; *Leptocylindrus* sp. et *Rhizosolenia* sp. de grande taille, mais unies en chaînes et de forme allongée. Pendant les mois où la densité est plus forte, on observe plus d'espèces de forme circulaire et à frustule plus riche en silice, telles que des *Coscinodiscus* sp. et *Biddulphia* sp.

Les espèces le plus fréquemment rencontrées dans le milieu étudié sont des espèces côtières ; mais leurs concentrations sont parfois maximales au large ; on peut penser que la présence simultanée de plusieurs espèces particulièrement abondantes à la même époque entraîne un partage spécifique exclusif de la zone côtière, probablement provoqué par les courants marins.

2.2.2 Flagellés

Des poussées de *Phaeocystis* sp. ont été observées lors des campagnes V, V bis et IX ; ces flagellés unis par une gangue gélatineuse sont très nombreux : leur concentration atteint environ 80.000 cellules par cc lors de la sortie IX.

2.2.3 Chlorophycées

Les plus fréquentes sont *Scenedesmus quadricauda* et *Synura uvella*.

2.2.4 Silicoflagellés

Une seule espèce a été rencontrée : *Dietyocha speculum*.

2.2.5 Péridiniens

Ils sont présents en très petit nombre, tout au long de l'étude. Les principaux genres sont : *Gymnodinium*, *Peridinium* et *Prorocentrum*. On note une poussée des *Noctiluca scintillans* lors de la campagne VIII. Le genre *Gymnodinium*, en quantité plus importante lors de la campagne VI, paraît plus abondant au large.

2.5.6 Ciliés

Les Ciliés ont été dénombrés, mais non déterminés ; ils sont plus nombreux lors des campagnes VI et IX.

2.3 Nanoplancton

Il est difficile de dénombrer le nanoplancton par suite de la turbidité importante des échantillons. Une grande partie des individus qui le composent sont des flagellés, que nous n'avons pu déterminer. Une telle abondance de flagellés semble être un fait général en Manche [ATKINS (1945), KNIGHT-JONES et WALNE (1951), in GRALL (1972)] et en Mer du Nord [MOMMAERTS (1973 g), STEYAERT et VAN BEVEREN (1972), in JO PODAMO (1973)].

Le nombre de nanoplanctontes semble atteindre son maximum en mai.

Le nanoplancton constitue une part importante du phytoplancton, ce qu'a également observé MOMMAERTS (1973 a) ; d'après GRALL à ROSCOFF (1972) et JO PODAMO en Mer du Nord (1973), sa présence peut expliquer plus de 50 % de la production primaire totale.

3. Interprétations

Le milieu marin est caractérisé par des paramètres physico-chimiques dont les variations conditionnent la présence des populations planctoniques. Inversement, le plancton, par suite de son métabolisme, est à l'origine d'une modification du milieu. Les facteurs principalement touchés sont le taux d'oxygène dissous et la quantité de sels nutritifs.

L'étude systématique du phytoplancton définit la succession des espèces au cours du temps ; elle conduit à une estimation quantitative des populations en permettant de chiffrer le nombre de cellules pour un certain volume d'eau. La mesure du taux de chlorophylle a rend compte de la capacité de photosynthèse du phytoplancton. Cette formulation complète l'analyse systématique qui ne tient pas compte dans ses résultats de la taille des cellules ni de l'importance de leurs chloroplastes. La méthode d'évaluation de la production de matière organique par le phytoplancton (production primaire) fait l'objet d'un chapitre distinct.

L'étude systématique montre la présence de nombreuses espèces communes en Manche (GRALL, 1972) et en Mer du Nord (LOUIS A. et CLARYSSE R., 1971). Les teneurs en chlorophylle a dans la zone prospectée sont élevées par rapport à celles citées en Manche par LE FEVRE-LEHOERFF (1972), GRALL (1972) et HOUVENAGHEL (1975) ; elles sont proches de celles relevées en Mer du Nord par STEYAERT-PLANCKE et par VAN BEVEREN (1973).

La relation entre le taux de chlorophylle a et le nombre de cellules de microplancton est une relation logarithmique. Du diagramme de dispersion (fig. 66) tracé à partir des valeurs de ces paramètres, on dégage deux droites : l'une

d'elles a pour équation

$$y_1 = 1,386 \ln x - 4,527 \text{ (coefficient de corrélation } r = 0,674, \text{ la relation est significative à } 99 \%)$$

et correspond aux campagnes III, III bis, IV, VII, XI et XII (nous n'avons pas pris en compte les données de la sortie X qui semblent peu sûres). L'autre droite, d'équation

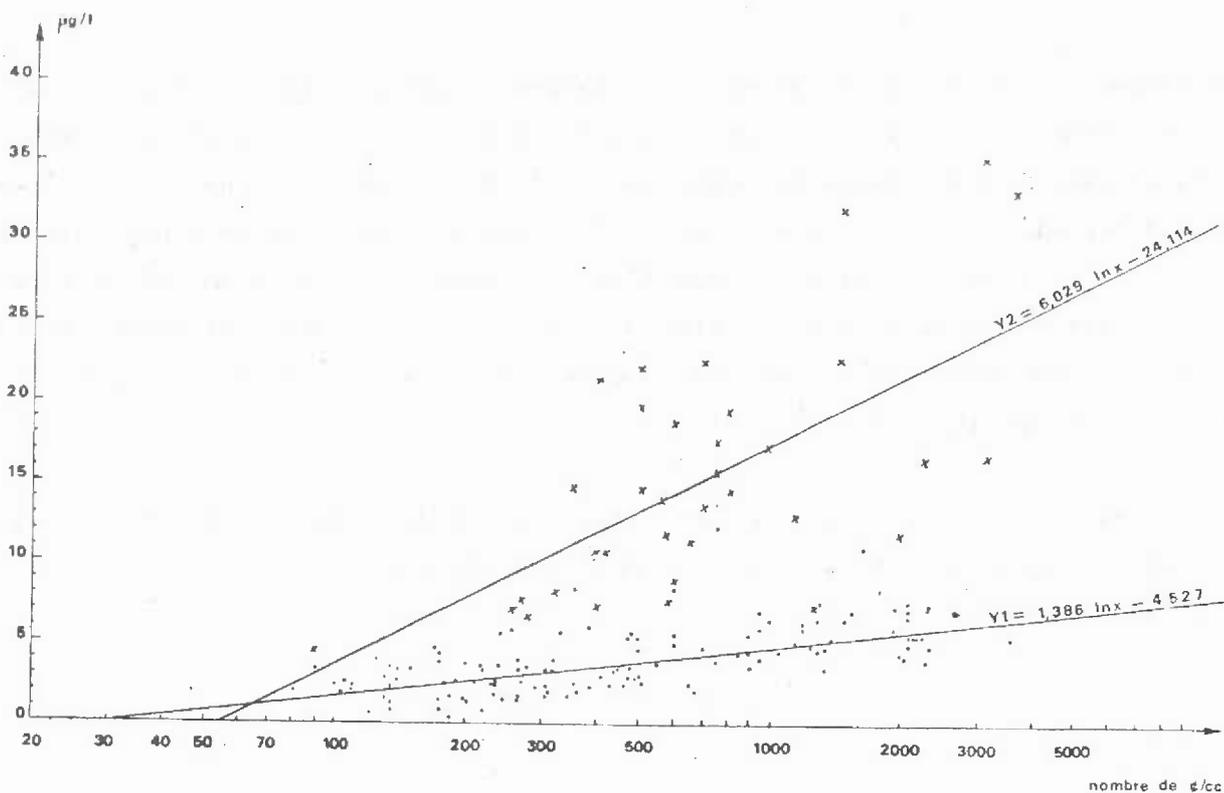
$$y_2 = 6,029 \ln x - 24,114 \text{ (} r = 0,633 \text{ ; relation significative à } 95 \%)$$

a été établie à partir des valeurs notées lors des campagnes V, V bis, VI et IX ; c'est à cette époque qu'ont eu lieu les poussées de *Phaeocystis sp.*, que nous n'avons pas compté dans le nombre de cellules de microplancton ; la présence de Flagellés explique qu'à une quantité de microplancton égale à celle des autres sorties, correspond un taux de chlorophylle a plus élevé et que la relation soit moins significative que la première. Le nombre de cellules de *Phaeocystis sp.* croît du 13 avril au 2 juillet, ce qui se retrouve dans les variations du taux de chlorophylle, au cours du temps (fig. 55).

RELATION TAUX DE CHLOROPHYLLE a — MICROPLANCTON

Fig. 66

Y1 : Campagnes : III, III bis, IV, VII, VIII, XI, XII. (•)
Y2 : Campagnes : V, V bis, VI, IX. (x)



L'importance quantitative des populations phytoplanctoniques est en partie conditionnée par la pénétration des rayons lumineux dans l'eau. La transparence de l'eau est liée au seston qu'elle contient. La relation profondeur de disparition du Secchi en fonction de la quantité de matières en suspension au cours de l'étude est une fonction log - log négative (fig. 66) ; la droite de régression tracée à partir des valeurs notées à tous les niveaux a pour équation :

$$\ln y = - 0,494 \ln x + 6,844 \quad (r = - 0,738)$$

qui a été établie à partir des valeurs relevées en surface :

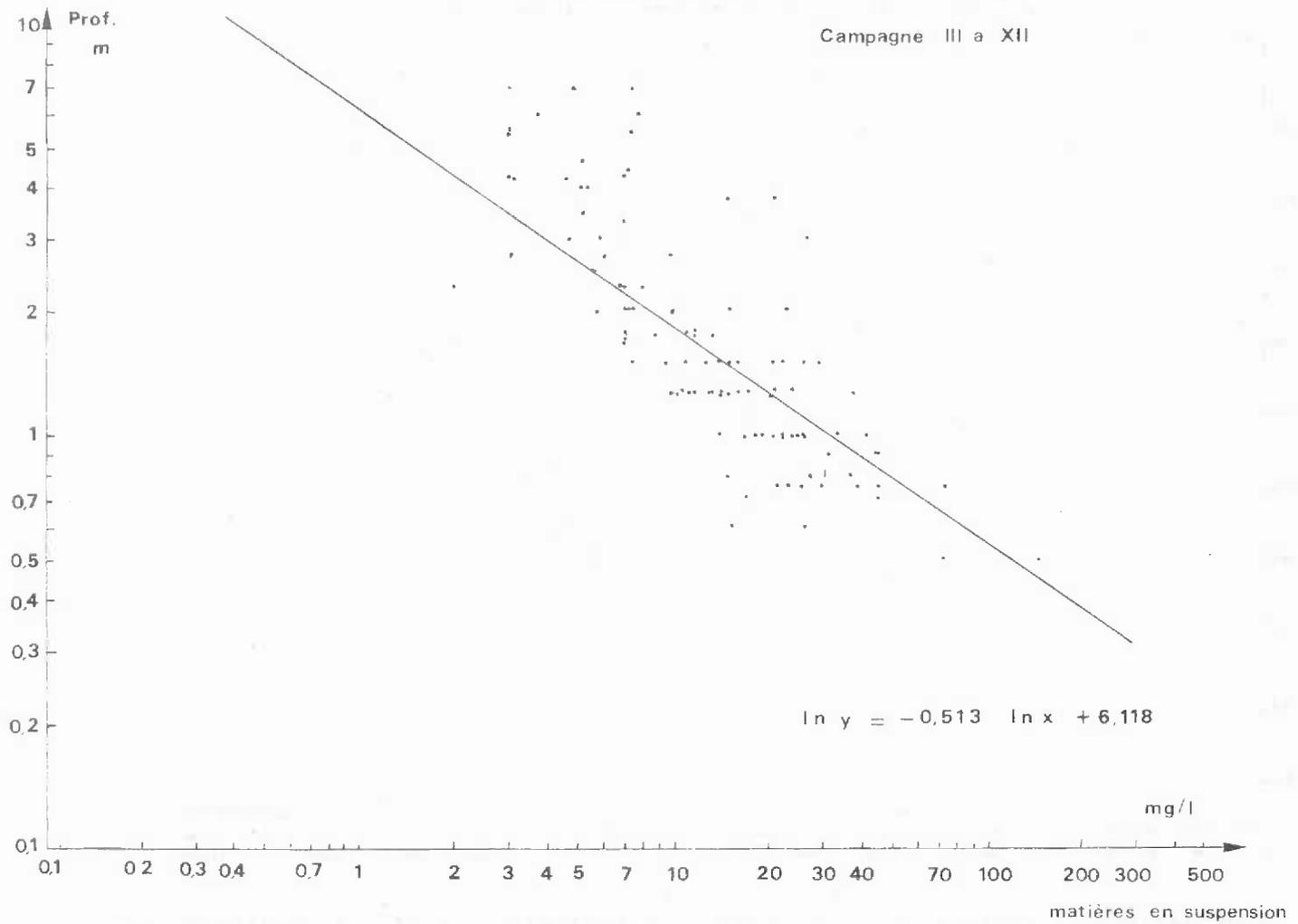
$$\ln y = - 0,513 \ln x + 6,118 \quad (r = - 0,72).$$

Les 2 relations sont significatives à 99 %. Les variations des matières en suspension ne suivent pas celles de la chlorophylle a (fig. 30 et 55) ; le phytoplancton n'est donc pas le seul responsable de la turbidité ; ce sont surtout des particules minérales ou organiques comme on peut l'observer sur le fond des cuves à sédimentation. L'origine de ces particules est variée : la faible hauteur de la couche d'eau fait que le fond est facilement remué par la houle ; les courants importants entretiennent un mouvement quasiment continu des masses d'eau et maintiennent les particules en suspension ; il faut y ajouter les apports dus aux travaux de l'avant-port de DUNKERQUE et les grandes quantités de matières organiques et minérales amenées par l'Aa.

Phytoplancton et turbidité entraînent un changement dans le taux d'oxygène dissous : le phytoplancton, grâce au processus de photosynthèse, produit de l'oxygène. La dégradation des matières organiques, l'activité bactérienne et la respiration des organismes du necton sont parmi les causes de sa consommation. Mais on n'observe pas de relation entre le taux d'oxygène dissous et la quantité de microplancton (diagramme de dispersion : fig. 68). L'influence du phytoplancton se fait peu sentir sur sa concentration qui est élevée (elle est souvent proche de la saturation, ou supérieure à celle-ci).

Lorsque la quantité de matières en suspension est faible (campagne X) et les populations de phytoplancton importantes, on note une oxygénation croissante de l'eau à partir des concentrations supérieures à 4.000 cellules par cc.

RELATION PROFONDEUR DE SECCHI—MATIERES EN SUSPENSION EN SURFACE



TOUS NIVEAUX

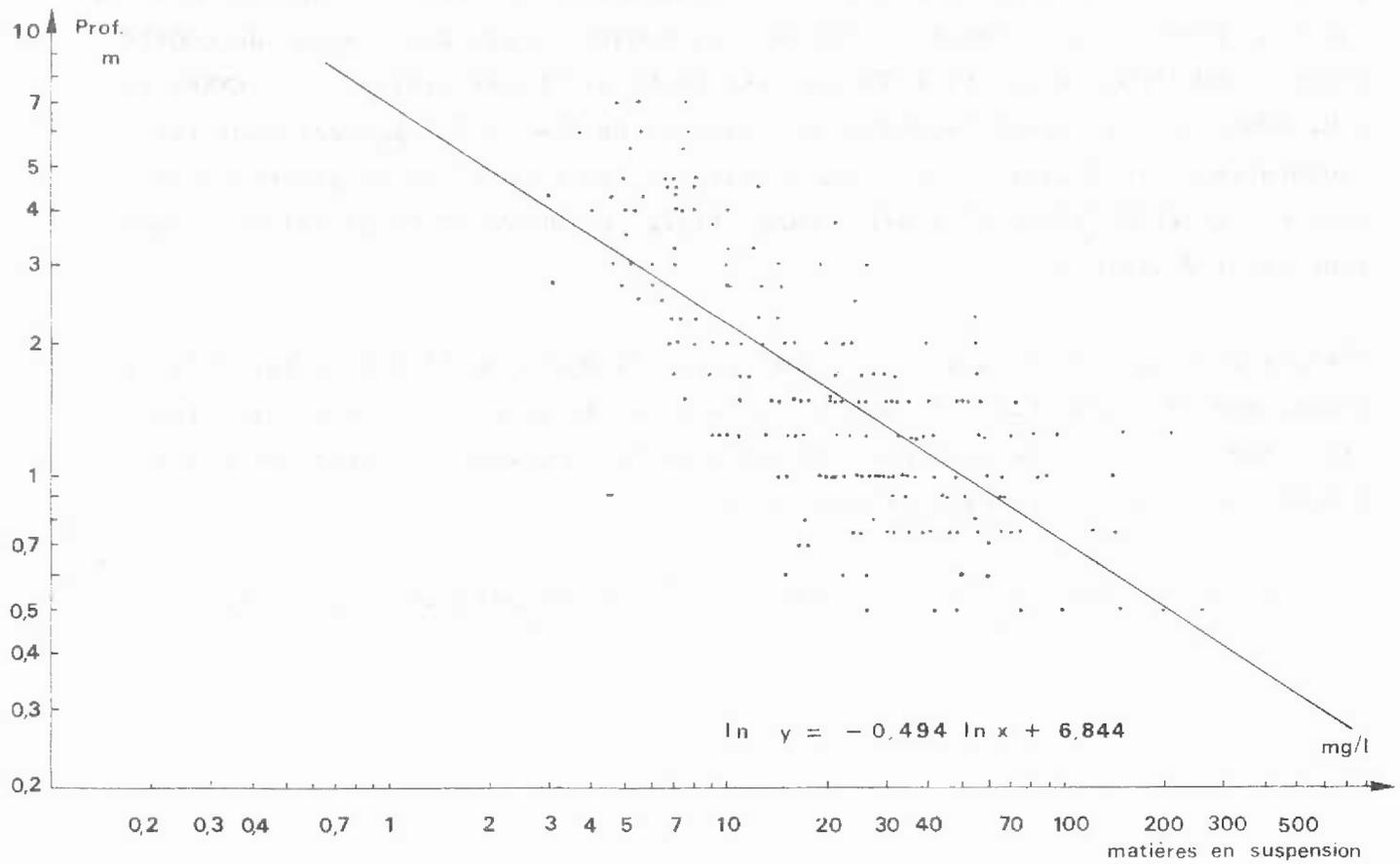
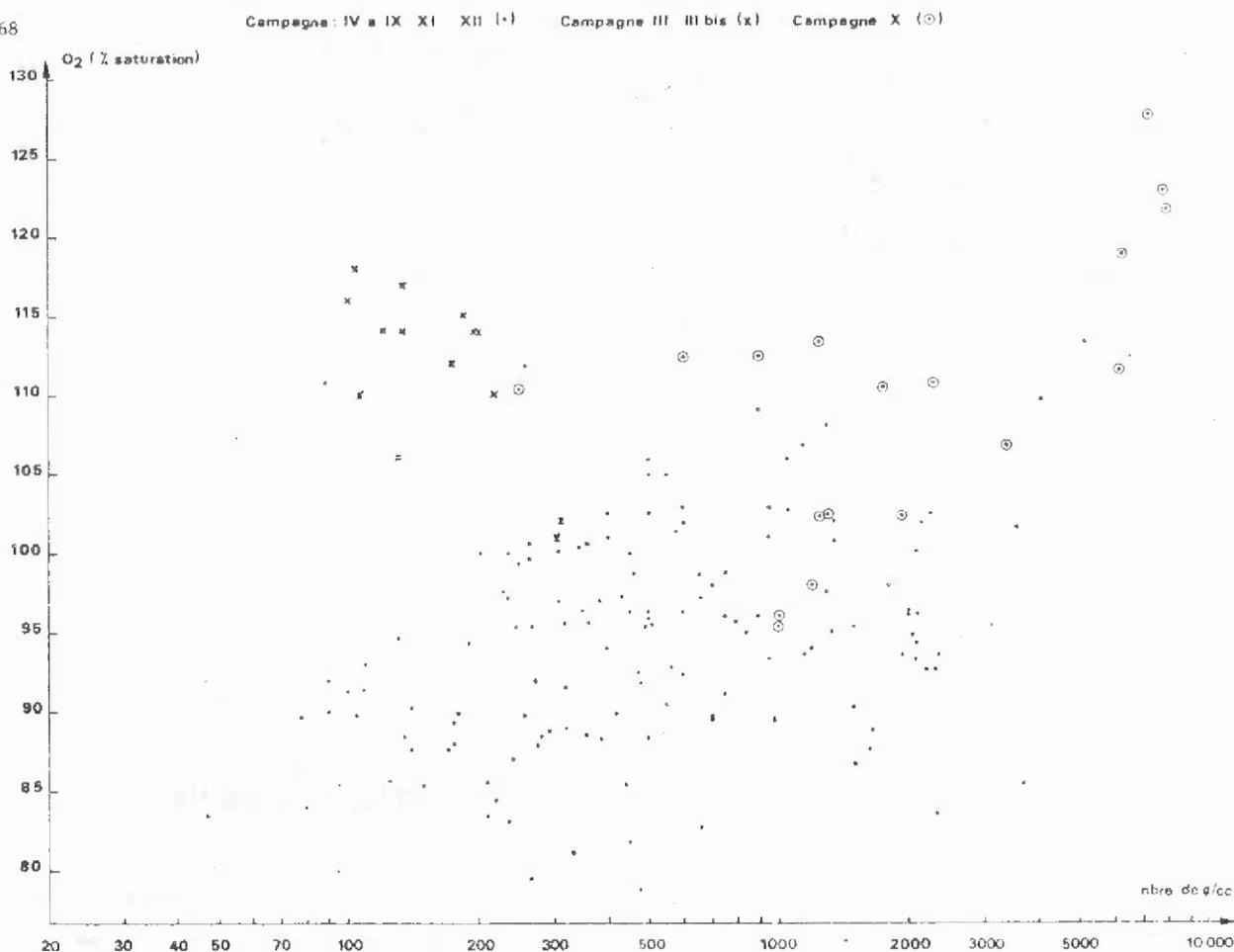


DIAGRAMME DE DISPERSION OXYGENE DISSOUS — MICROPLANCTON

Fig. 68



Pour assurer sa croissance et sa survie, le phytoplancton n'a pas seulement besoin d'énergie lumineuse. La présence des sels nutritifs dans l'eau lui est indispensable. Les teneurs en nitrates et phosphates sont élevées par rapport à celles que l'on trouve généralement en Manche : en tenant compte des travaux de COOPER (1938), ARMSTRONG et HARVEY (1950) et ARMSTRONG et BUTLER (1959p, J.B. SYKES et A.D. BONEY (1970) citent des valeurs maximales de 0,44 à 0,7 μ atg/l pour les phosphates et 10,5 μ atg/l pour les nitrates ; les teneurs en phosphates relevées par LE FEVRE-LEHOERFF (1972), GRALL (1972) et HOUVENAGHEL (1975) ne dépassent pas 1,2 μ atg/l.

D'après le diagramme de dispersion établi sur la durée de l'étude (fig. 69), il existe une relation entre le taux de nitrates et la quantité de microplankton (les *Phaeocystis sp.* ne sont pas comptés dans le nombre de cellules par cc) : l'équation de la droite de régression est :

$$y = 6,011 \ln x + 51,767 \quad (r = 0,633 ; \text{relation significative à } 99 \%).$$

Fig. 66

RELATION NITRATES — MICROPLANCTON

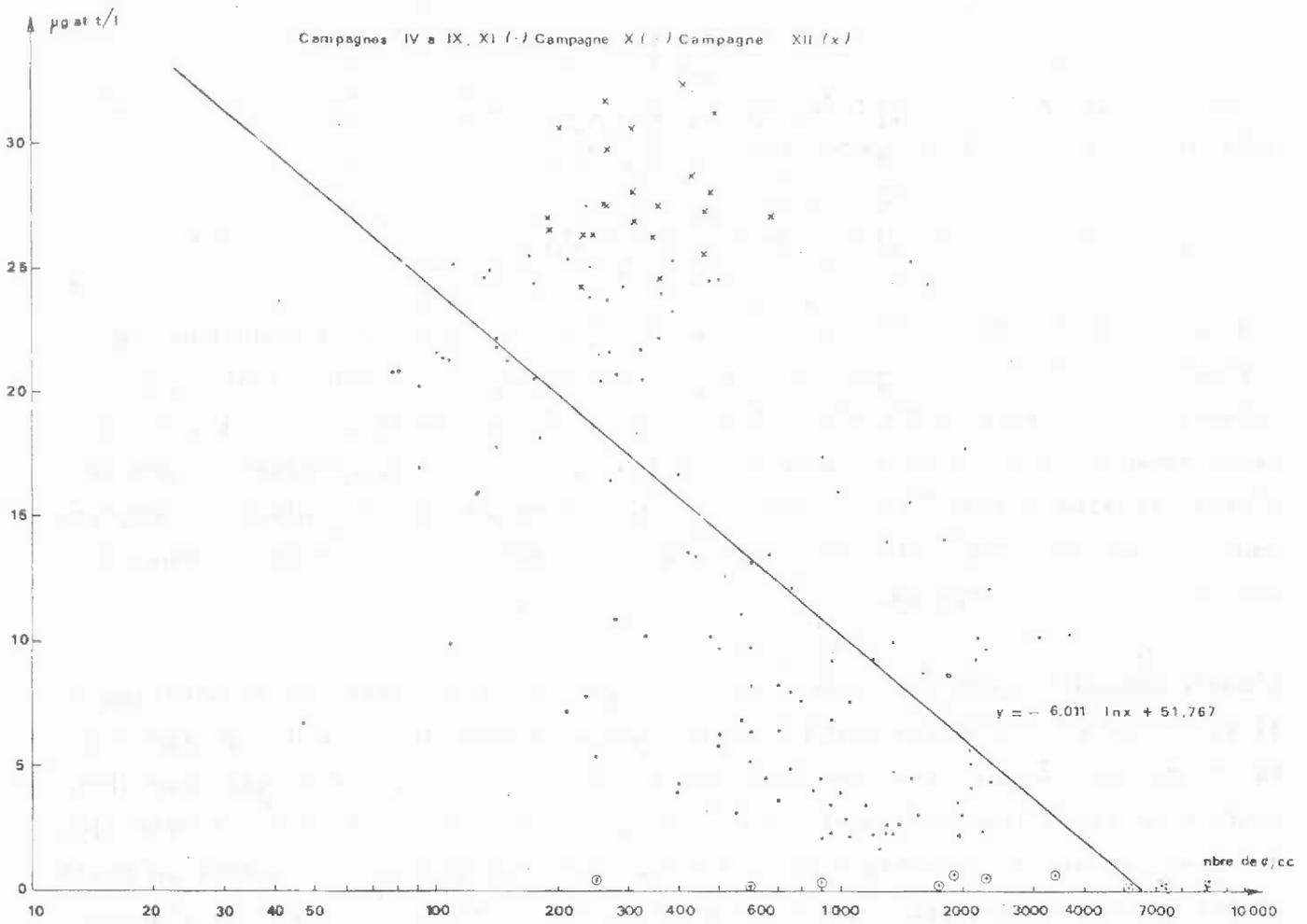
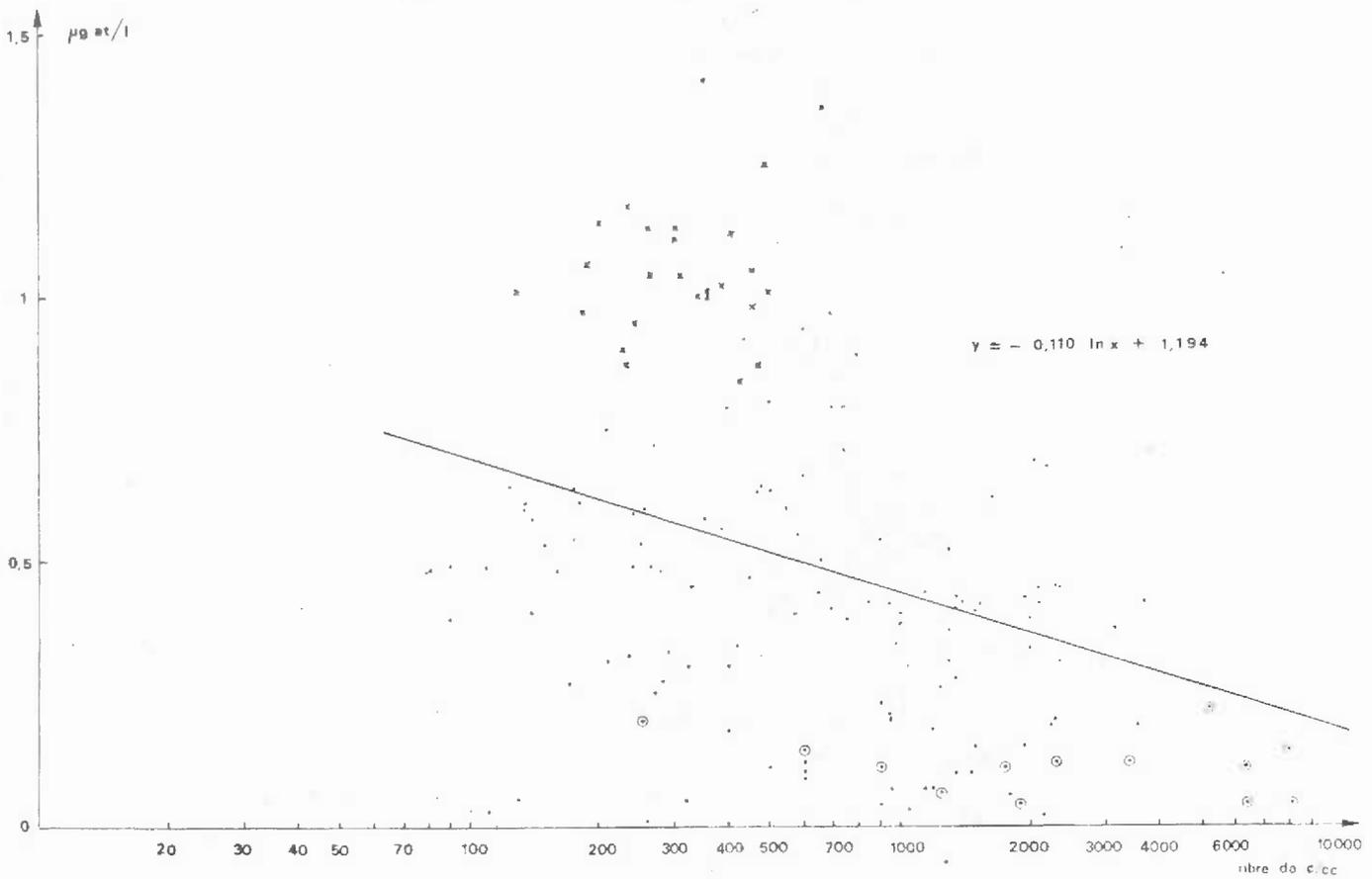


Fig. 70

RELATION NITRITES — MICROPLANCTON

Campagne IV à IX, XI (•) Campagne X (○) Campagne XII (x)



On observe une relation voisine pour les nitrites, mais elle n'est significative qu'à 95 % ; la droite de régression a pour équation :

$$y = - 0,110 \ln x + 1,194 \quad (r = - 0,346) \quad (\text{fig. 70}).$$

Les nitrates et nitrites diminuent donc quand la population phytoplanctonique augmente. A partir d'un nombre de cellules élevé (environ 7.000 cellules par cc, situation rencontrée le 30 août), les nitrates disparaissent du milieu ; les nitrites sont encore présents, mais en faible quantité. Les différentes formes de l'azote présentes dans l'eau de mer et assimilables par le phytoplancton comprennent : l'ammoniac NH_4^+ , qui par oxydation se transforme en un premier temps en nitrites, puis en nitrates.

L'azote ammoniacal est directement assimilé par les organismes photosynthétiques. Il est en général abondant sur les côtes (non dosé dans le cadre de ce travail). La transformation nitrites \rightarrow nitrates est rapide. Les nitrates sont plus abondants dans le milieu que les nitrites et sont probablement consommés en priorité. La teneur en nitrates semble être un facteur limitant pour la croissance du phytoplancton. Ceci expliquerait que les variations des nitrates au cours de l'année sont de plus grande ampleur que celles des nitrites (fig. 70 et 71).

Fig. 71

DIAGRAMME DE DISPERSION NITRITES — SALINITE

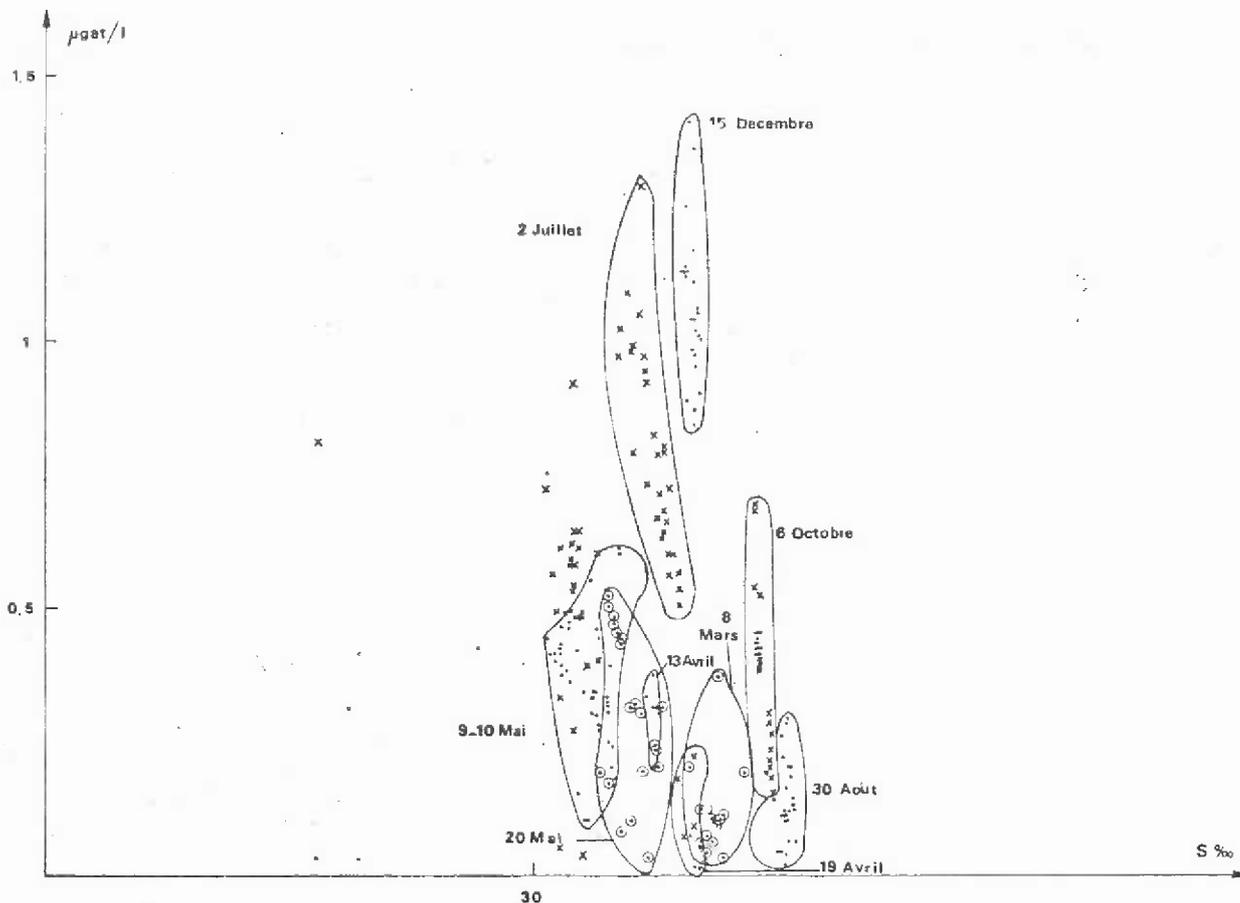


DIAGRAMME DE DISPERSION NITRATES - SALINITE

Fig. 72

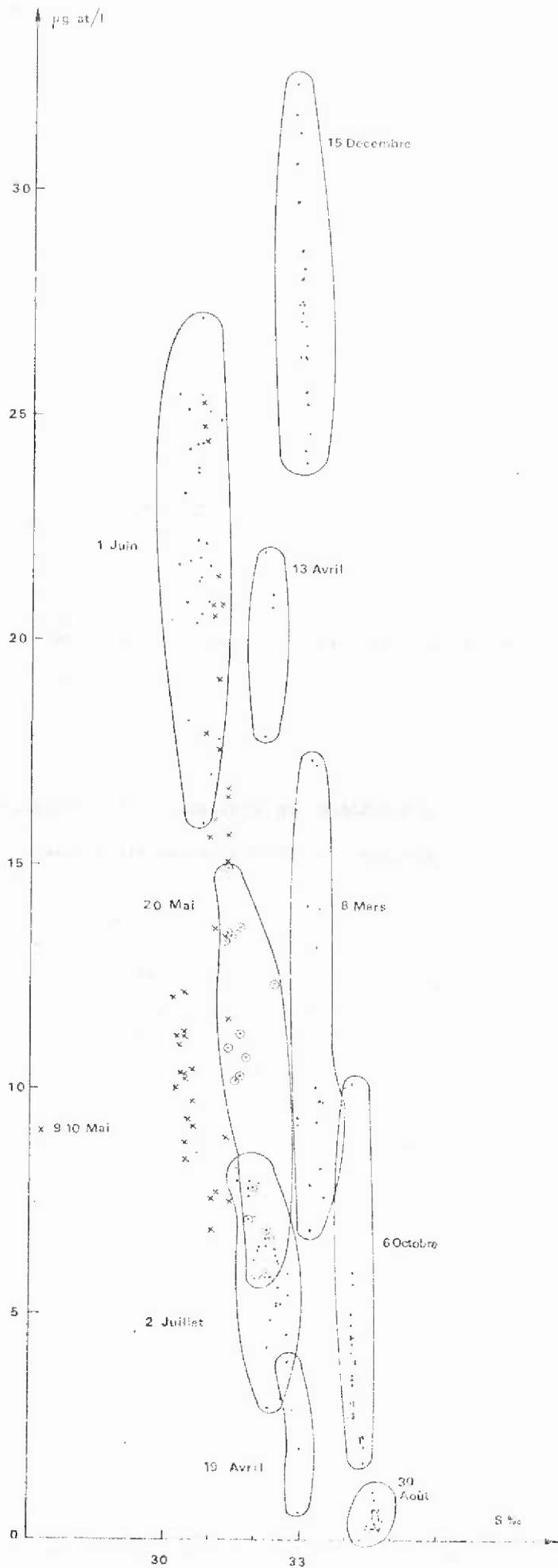


Fig. 73

Campagne IV a IX, XI (·) Campagne X (⊙) Campagne XII (x)

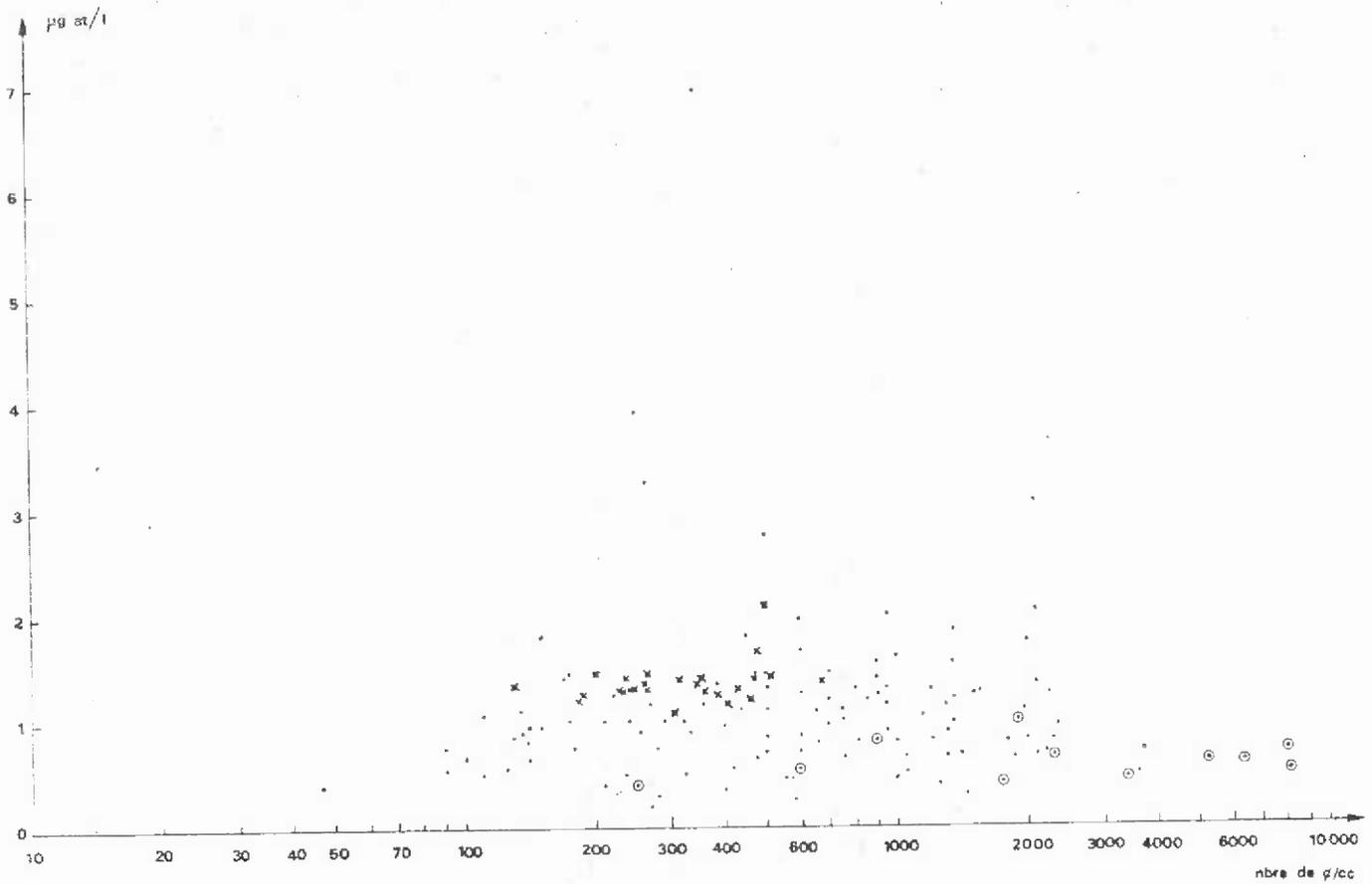


DIAGRAMME DE DISPERSION SILICATES—MICROPLANKTON

Fig. 74

Campagnes IV a IX, XI (·) Campagnes X (⊙) Campagne XII (x)

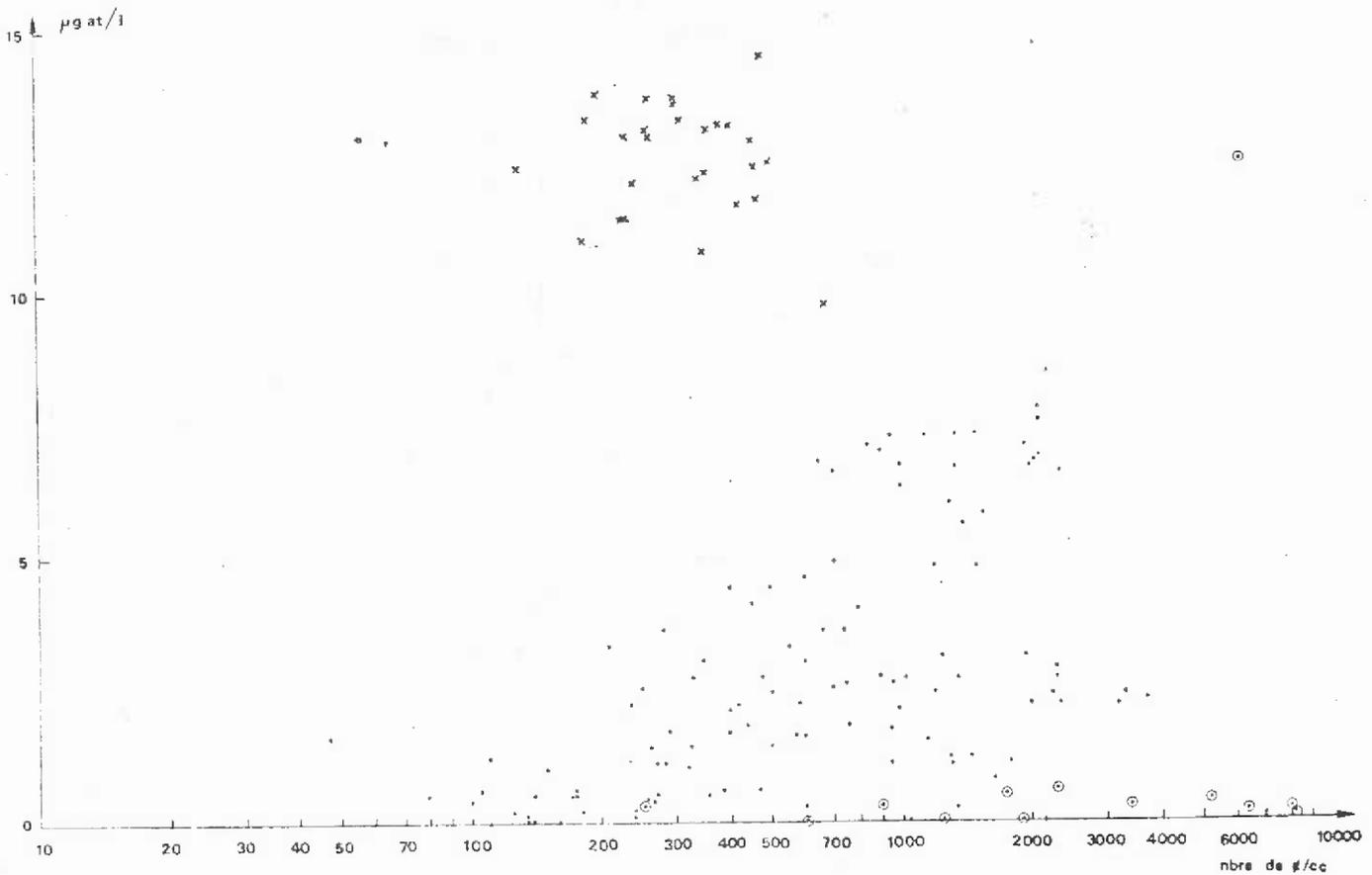


Fig. 75

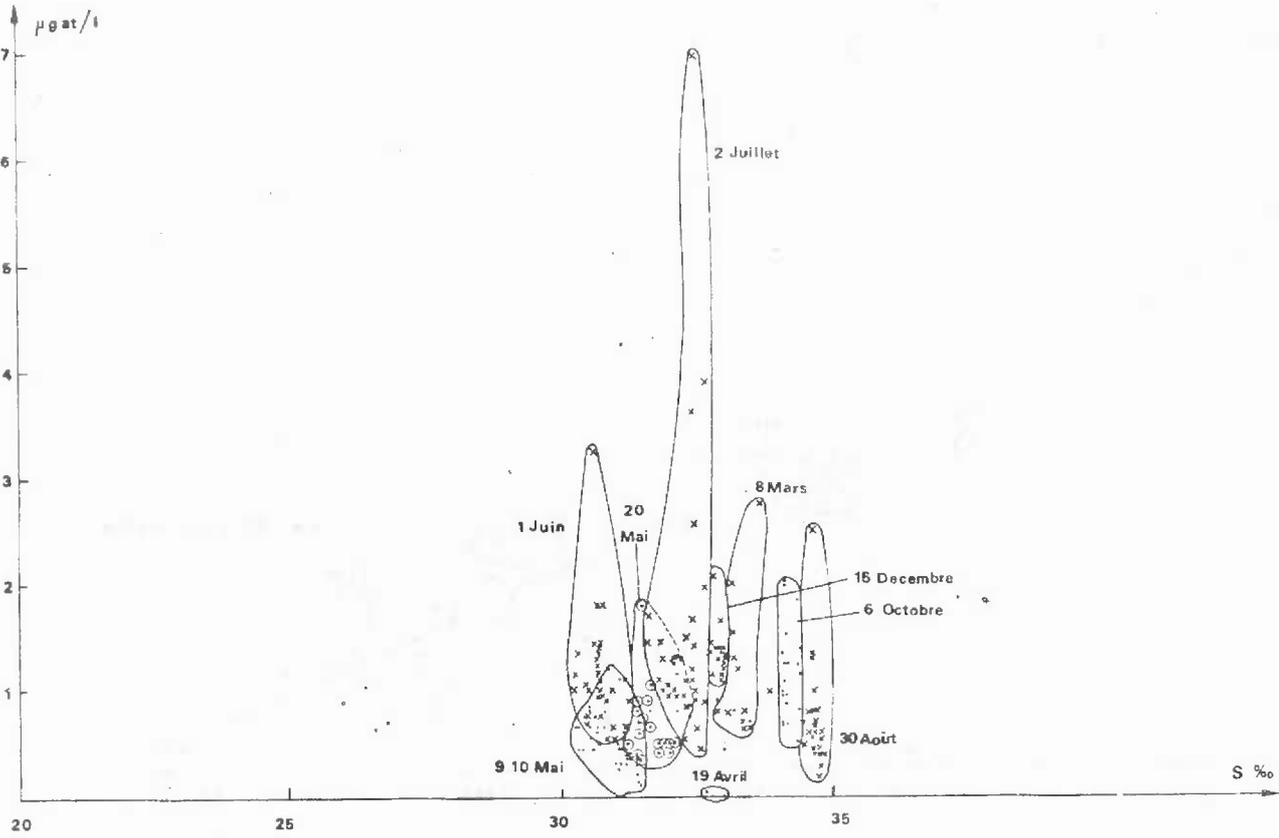
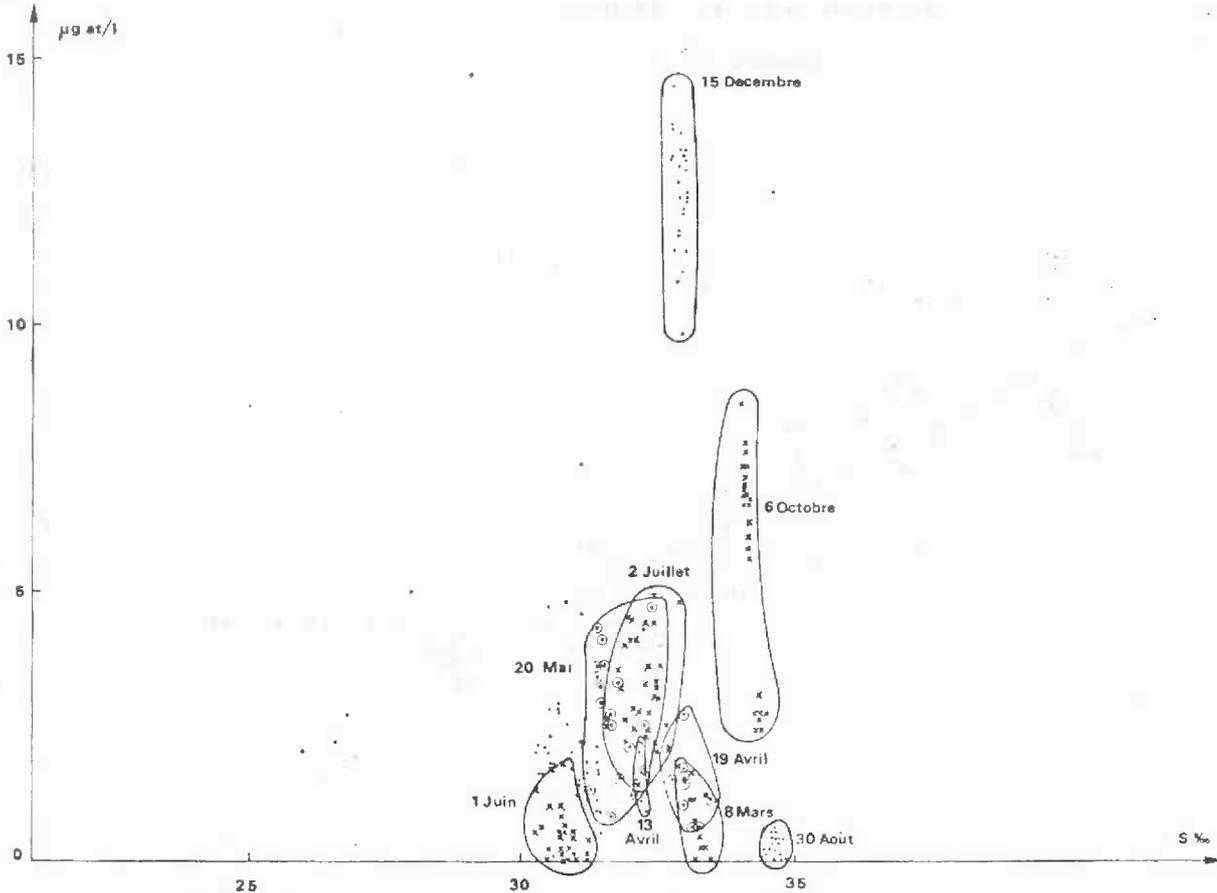


DIAGRAMME DE DISPERSION SILICATES—SALINITE

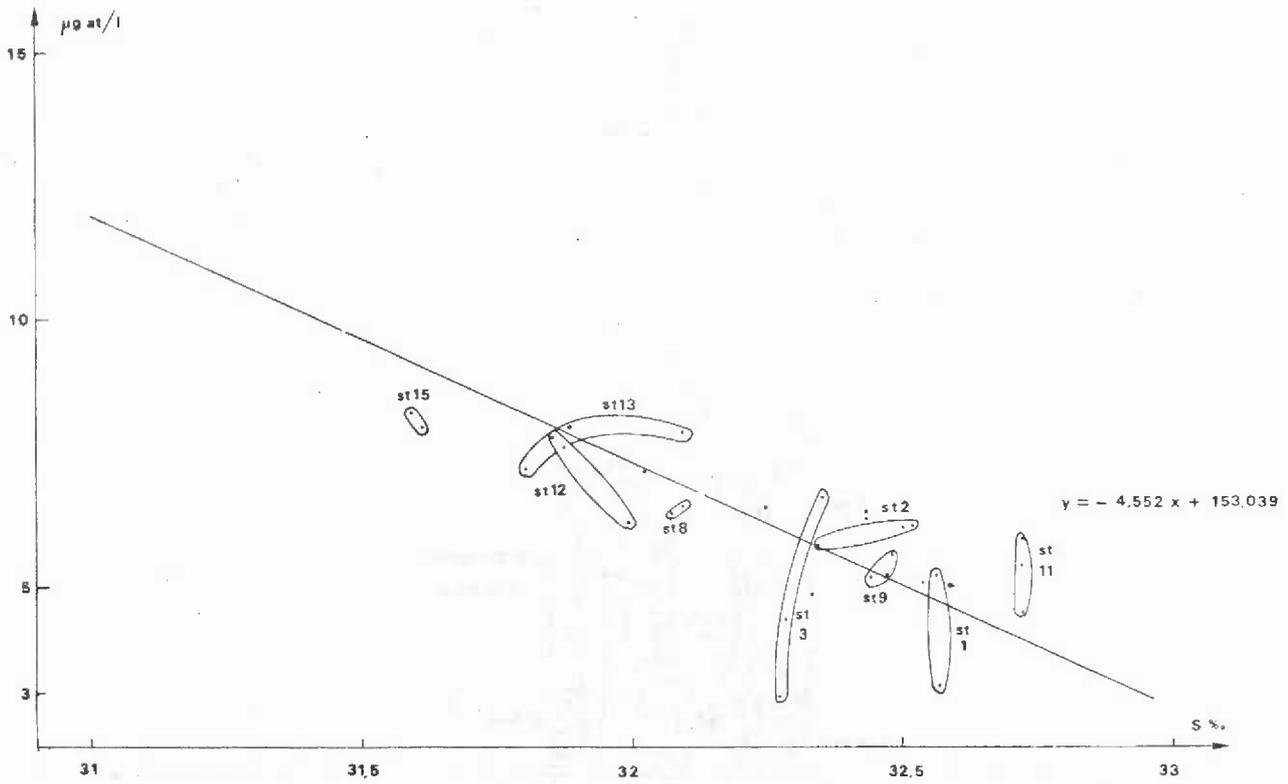
Fig. 76



RELATION NITRATES—SALINITE

Fig. 77

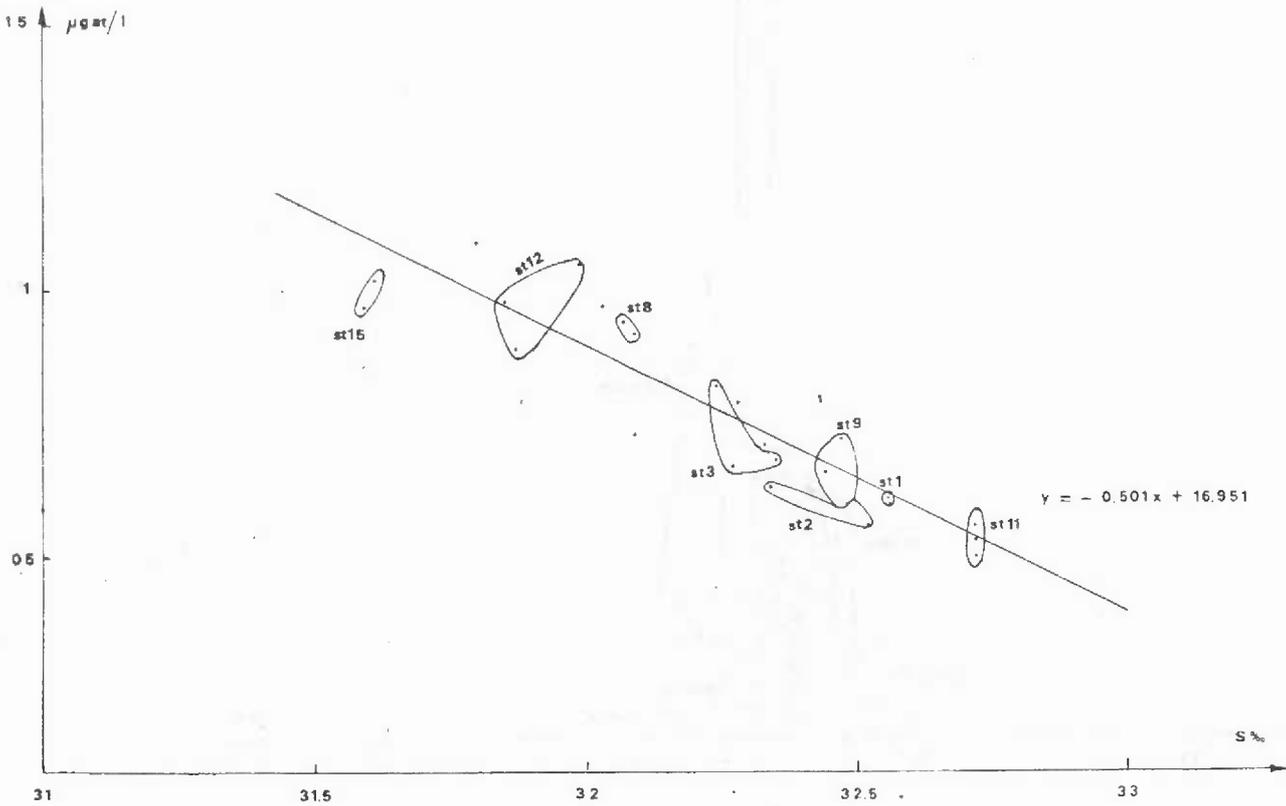
Campagne IX



RELATION NITRITES—SALINITE

Fig. 78

Campagne IX



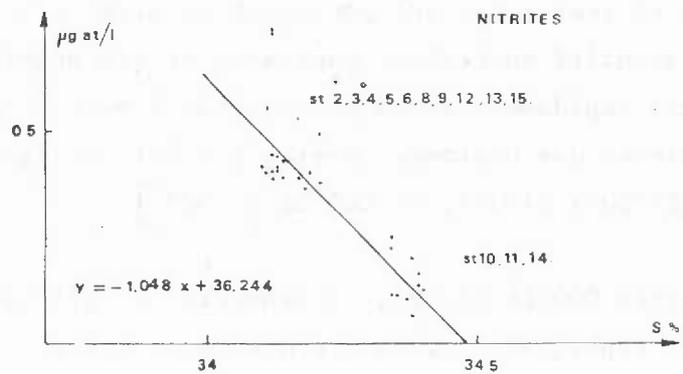
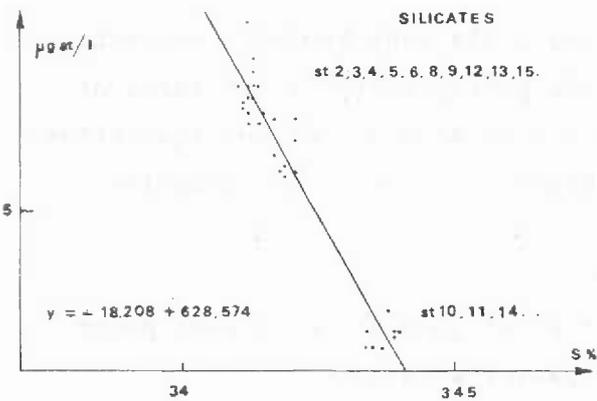
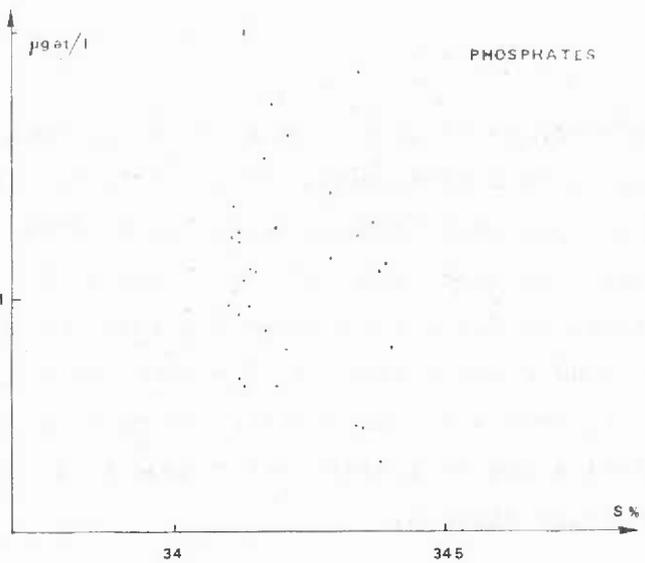
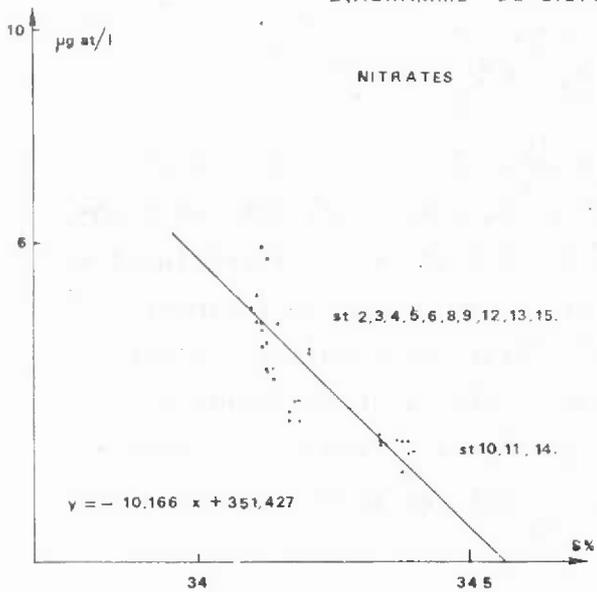
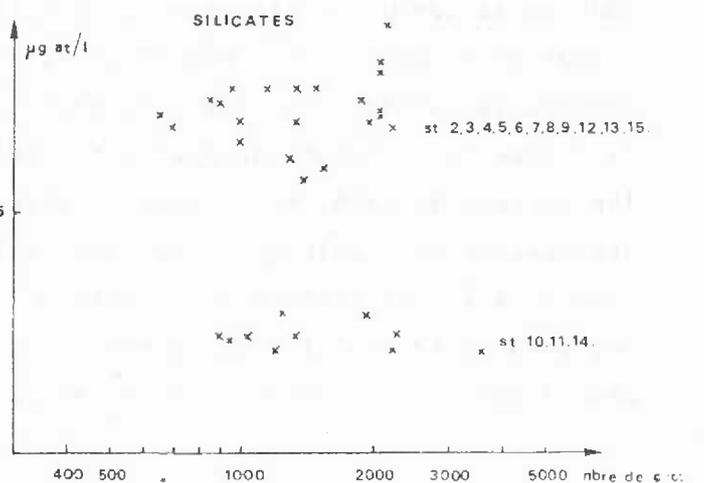
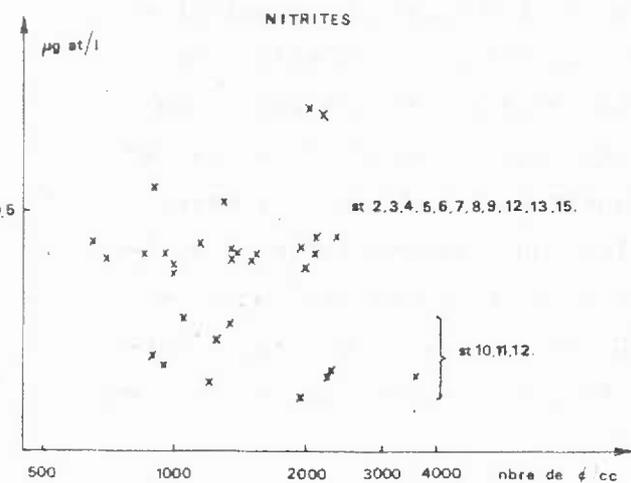
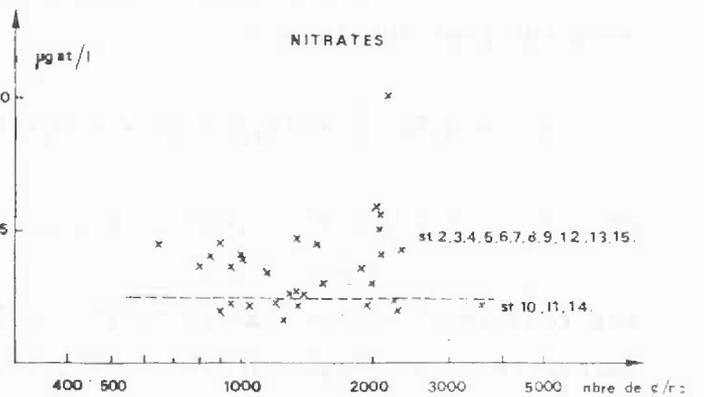
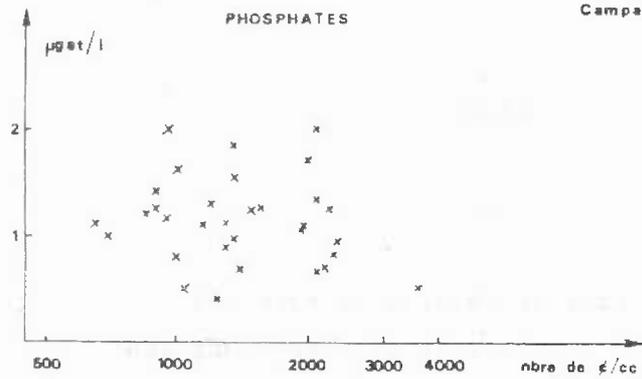


Fig. 80

DIAGRAMMES DE DISPERSION SELS NUTRITIFS — MICROPLANTON

Campagne XI



On n'observe pas de relation entre les taux de phosphates ou de silicates et la quantité de microplancton (fig. 73 et 74). Les phosphates sont présents en quantités à peu près constantes, toute l'année (fig. 75) ; leur présence continue est due aux apports de l'Aa et à leur recyclage rapide au niveau du sédiment. La régénération des phosphates serait une simple libération de matériel protéique, tandis que l'azote doit passer par un cycle à plusieurs étapes avant de se retrouver à l'état de nitrites puis de nitrates. L'interprétation du cycle de nitrification de l'azote est rendue difficile par défaut des valeurs concernant l'ammoniac dissous.

Les silicates varient peu, sauf en hiver (fig. 76) ; ils sont toujours présents en quantité suffisante pour assurer les besoins du phytoplancton ; ils seraient assez rapidement remis en solution à partir des grains de sable et des squelettes siliceux des Diatomées mortes par action dissolvante de l'eau de mer alcaline [STANBURY (1931), in COOPER (1938)].

D'après COOPER (1938), la pauvreté en silicates le 1er juin et le 30 août pourrait expliquer l'abondance d'espèces à frustule pauvre en silice.

Lors de la campagne IX on constate l'existence d'une relation entre les taux de nitrates ou de nitrites et la salinité (fig. 77 et 78) ; les droites de régression ont pour équation :

$$y = - 0,501 x + 16,951 \quad (r = - 0,826) \text{ pour les nitrites}$$

$$\text{et } y = - 4,552 x + 153,039 \quad (r = - 0,793) \text{ pour les nitrates.}$$

Ces relations rendent compte de l'existence du gradient côte/large pour ces paramètres : au large (station 11) les teneurs en nitrites et nitrates sont les plus faibles qu'à la côte (station 15) ; de ces corrélations linéaires on peut déduire la teneur en nitrites ou en nitrates d'un point quelconque de salinité connue et situé dans la zone d'étude. On remarque des relations du même type pendant la campagne XI (fig. 79) pour les nitrites, nitrates et silicates. On distingue deux groupes de stations : celles du large (stations 10, 11 et 14) et les autres, de caractéristiques côtières ; la transition côte/large est moins progressive que celle que l'on observe le 2 juillet. On retrouve cette répartition dans les diagrammes de dispersion des nitrates, nitrites et silicates en fonction de la quantité de microplancton (fig. 80) et dans celui du taux d'oxygène dissous en fonction de la température (fig. 81) ; l'abondance de matières en

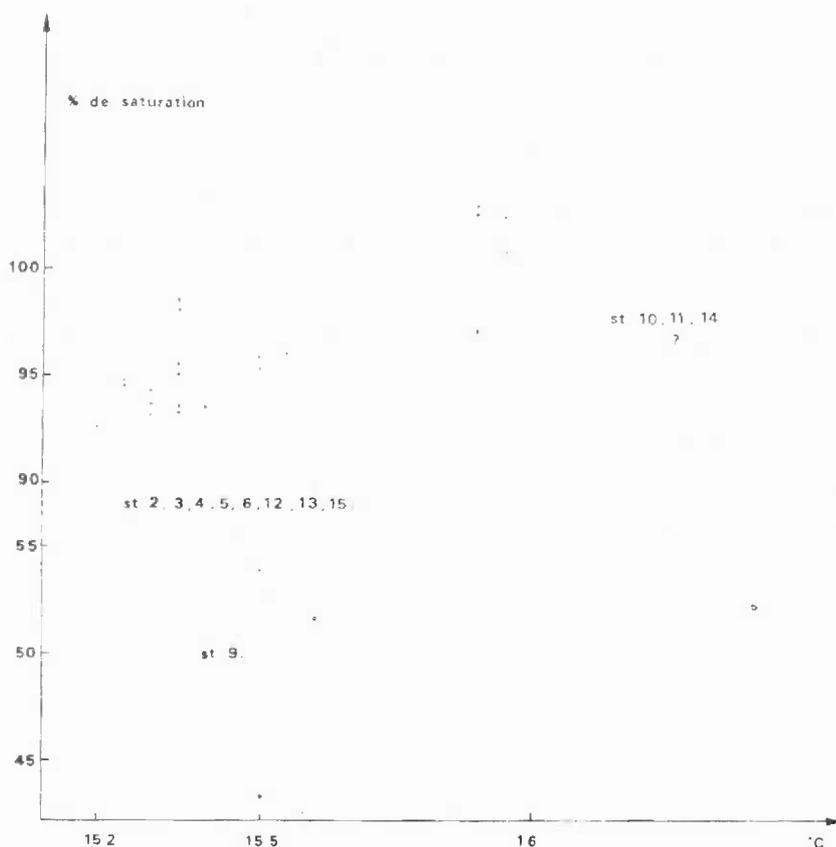
suspension peut être à l'origine de la faible quantité d'oxygène dissous de la station 9.

L'étude des paramètres physico-chimiques a montré l'existence d'un gradient côte/large pour la majorité d'entre eux. De leur interaction et des apports continentaux amenés par l'Aa résulte une plus grande abondance de la biomasse phytoplanctonique à la côte. Le gradient de chlorophylle a correspond à la situation généralement observée en Mer du Nord [HOUVENAGHEL, STEYAERT et VAN BEVEREN (1971) ; MOMMAERTS (1972)] .

DIAGRAMME DE DISPERSION OXYGENE DISSOUS - TEMPERATURE

Fig. 81

Campagne XI



4. Conclusion

L'étude écologique du site de GRAVELINES met en évidence l'existence d'un milieu assez riche : les teneurs en sels nutritifs y sont élevées, sans toutefois atteindre des taux correspondant à une pollution. Ceci permet la croissance d'une population phytoplanctonique importante ; l'abondance du phytoplancton se traduit par des taux de chlorophylle a élevés, spécialement au printemps et en été. Cependant, les nitrates constituent un facteur limitant pour la croissance de la population algale, quand les concentrations sont supérieures à 7.000 cellules par cc.

Suite à la faible hauteur d'eau et à son mouvement continu, le milieu présente une certaine homogénéité : les variations observées entre deux niveaux d'une même station sont faibles par rapport à celles qui existent entre deux stations voisines.

On retrouve à GRAVELINES, le gradient côte/large généralement observé en Manche et en Mer du Nord, pour presque tous les paramètres : salinité, transparence de l'eau et taux d'oxygène dissous augmentent de la côte vers le large, tandis que le gradient s'inverse pour les matières en suspension et les sels nutritifs ; la température diminue vers le large en été, et vers la côte en hiver. De l'interaction des paramètres physico-chimiques, et en particulier de la présence des gradients de sels nutritifs, résulte l'abondance de phytoplancton dans la zone côtière. Les stations 2, 11 et 14 présentent des caractéristiques du large ; les stations 4, 5, 6, 8, 12, 13 et 15 sont très influencées par la présence de la côte ; les autres stations sont intermédiaires : 1, 3, 7, 9 et 10 (7 et 9 à tendance plus côtières). Le milieu est très influencé par les apports de matières en suspension et de sels nutritifs de l'Aa, des travaux de l'avant-port de DUNKERQUE et du dragage du chenal de l'avant-port ; les apports de CALAIS se font peu sentir malgré le courant de flot dominant vers DUNKERQUE.

L'étude systématique du microplancton a permis d'établir la succession des populations au cours du temps ; certaines espèces, telles que *Asterionella japonica*, le genre *Fragilaria*, *Paralia sulcata*, *Skeletonema costatum*, sont présentes presque toute l'année ; elles peuvent servir d'espèces indicatrices de l'évolution du milieu. Cette étude a permis de définir l'état du milieu pendant une période d'environ 1 an ; on ne peut cependant la considérer comme un état de

référence, étant donné les conditions exceptionnelles de l'hiver 1974 et du printemps 1975, et la perturbation constante apportée au milieu par l'installation du port de DUNKERQUE-OUEST ; de plus, les caractéristiques physiques et chimiques, et donc les populations peuvent varier de façon importante d'une année à l'autre. Ce travail qui nous a conduit à dégager les caractéristiques essentielles du milieu demande à être poursuivi.

II.D PRODUCTION PRIMAIRE

1. Introduction

La méthode de mesure de production primaire pélagique utilisée suit le protocole décrit par J. BROUARDEL et E. RINCK (1963), méthode appliquée pour la première fois par STEEMANN-NIELSEN (1952) lors de l'expédition de la "Galathea".

Elle consiste à mesurer la quantité de carbone incorporé à la matière organique élaborée. Une quantité connue de carbone est ajoutée à l'échantillon sous forme $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$; après incubation à la lumière puis filtration de l'échantillon d'eau de mer contenant les organismes photosynthétiques, l'activité du carbone radioactif assimilé (donc retenu par les organismes) est mesurée et comparée à l'activité de la solution de NaHCO_3 introduite. Le résultat obtenu s'exprime soit par unité de volume ($\text{mgC}/\text{m}^3/\text{h}$), soit en intégrant, par unité de surface ($\text{mgC}/\text{m}^2/\text{h}$ ou $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{j}$).

Le programme du contrat prévoyait que chaque campagne de prélèvements et de mesures des paramètres hydrobiologiques s'accompagnerait de mesures de la productivité primaire par la méthode du carbone 14. Mais la présence abondante du microflagellé *Phaeocystis sp.*, colmatant rapidement les filtres, a rendu impossible les mesures de productivité avant le mois d'août. Aussi, les premières analyses ont été effectuées pendant la campagne X' (29 août 1975), les suivantes lors des campagnes XI' le 2 octobre 1975 et XII le 15 décembre 1975.

2. Matériel et méthodes

Des prélèvements d'eau de surface ont été effectués au seau, aux 15 stations lors des campagnes X' et XI' et à la bouteille Mécaboliér à 5 stations lors de la campagne XII (nouvelle méthodologie).

A chacun des flacons de verre à bouchon rodé (environ 135 ml) contenant les échantillons d'eaux de mer de surface, est ajouté un millilitre d'une solution de $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$. Pour cette inoculation, nous avons préféré la seringue stérile à usage unique à la seringue de verre à buté d'un emploi délicat à bord du bateau. Les solutions de carbonate de sodium radio-actif utilisées ont été fournies par M. BROUARDEL (dans le cadre d'un contrat CNEXO/M. BROUARDEL). Celles-ci étaient contenues dans des ampoules stériles soit de 30 ml et d'activité 5 $\mu\text{Ci/ml}$ (campagne X'), soit de 1 ml et d'activité 3 $\mu\text{Ci/ml}$ (campagne XI' et XII) ces dernières sont d'un emploi plus aisé sur un navire. Pour les mesures de productivité des eaux étudiées, une activité de 3 $\mu\text{Ci/ml}$ est suffisante (fig. 186).

Chaque prélèvement d'eau pour chacune des stations a été effectué en double exemplaire et mis dans des flacons à parois claires ; pour quelques stations seulement, un prélèvement supplémentaire a été placé dans un flacon à parois obscurcies. Ce dernier échantillon permet d'apprécier la quantité de carbone retenue par les organismes ou particules diverses indépendamment du phénomène de photosynthèse (bactéries, absorption, etc.). Les résultats obtenus à partir des flacons clairs donnent une idée de la production nette apparente d'une communauté.

Après inoculation, ces échantillons sont exposés à la lumière pendant quatre heures, puis filtrés. Plusieurs techniques d'incubation peuvent être utilisées :

- *in situ* : les échantillons inoculés contenus dans les flacons sont replacés au même niveau et sur le lieu de leur prélèvement, grâce à des lignes ou à des radeaux flottants. Cela permet de conserver au mieux les conditions naturelles pendant la durée de l'incubation. Cette technique ne peut être mise en oeuvre dans des zones côtières soumises à des courants de marée violents (telles GRAVELINES) qui sont par ailleurs sillonnées par les navires (passe du port de DUNKERQUE).

- *in situ* simulé : les échantillons sont placés dans les bacs d'incubation et à des conditions d'éclairement et de température les plus proches des conditions naturelles : bacs exposés à la lumière solaire, et maintenus à une température correspondant à celle du lieu de prélèvement des échantillons, par circulation d'eau.

Ces deux méthodes d'incubation permettent d'apprécier le taux de production d'une population obtenu dans les conditions réelles.

- le taux de production potentielle, qui correspondrait à un maximum de productivité atteint dans des conditions optimales d'éclairement peut être mesuré grâce à l'emploi d'incubateur en lumière artificielle, dans lequel une circulation d'eau assure le maintien d'une température déterminée.

Comme il était nécessaire d'inoculer et de mettre à incuber tous les échantillons (récoltés en surface à chacune des 15 stations) dans les mêmes conditions, il a été décidé d'effectuer les prélèvements dans un minimum de temps et de mettre en place des campagnes journalières d'estimation de production primaire distinctes de celles d'autres prélèvements.

Le protocole initialement prévu était d'inoculer et d'incuber les échantillons au laboratoire en lumière solaire et artificielle. Mais un laps de temps trop long pour la validité des mesures s'écoulait entre les premiers prélèvements et l'arrivée au laboratoire. Aussi, lors des campagnes X' et XI' les échantillons ont été inoculés et incubés à bord du navire (*in situ* simulé). Dès la fin de l'incubation, ils ont été transportés à l'obscurité, jusqu'au laboratoire où ils ont été filtrés. L'incubateur en lumière solaire utilisé, construit à l'Institut de Biologie de WIMEREUX selon les plans de M. BROUARDEL est un bac de 90,0 cm de long sur 22,5 cm de large et 20 cm de hauteur, scindé en quatre compartiments. Le matériau utilisé est du chlorure de Polyvinyle opaque de 5 mm d'épaisseur. Les flacons, couchés sont maintenus par des cales. Le seul incubateur en lumière artificielle disponible jusqu'au mois de novembre, conçu à l'Institut de Biologie de WIMEREUX selon le modèle de ceux de l'Institut Océanographique, était peu maniable et d'un emploi difficile sur le navire (fig. 82). D'autre part, le bateau ne possédant pas de source de courant 220 v, le fonctionnement d'un groupe électrogène à bord nécessitait des conditions météorologiques très favorables. Ces conditions se sont trouvées réalisées lors de la campagne XII, pendant laquelle, parallèlement à une incubation *in situ* simulé, un nouvel incubateur en lumière artificielle a été mis en service (fig. 84).

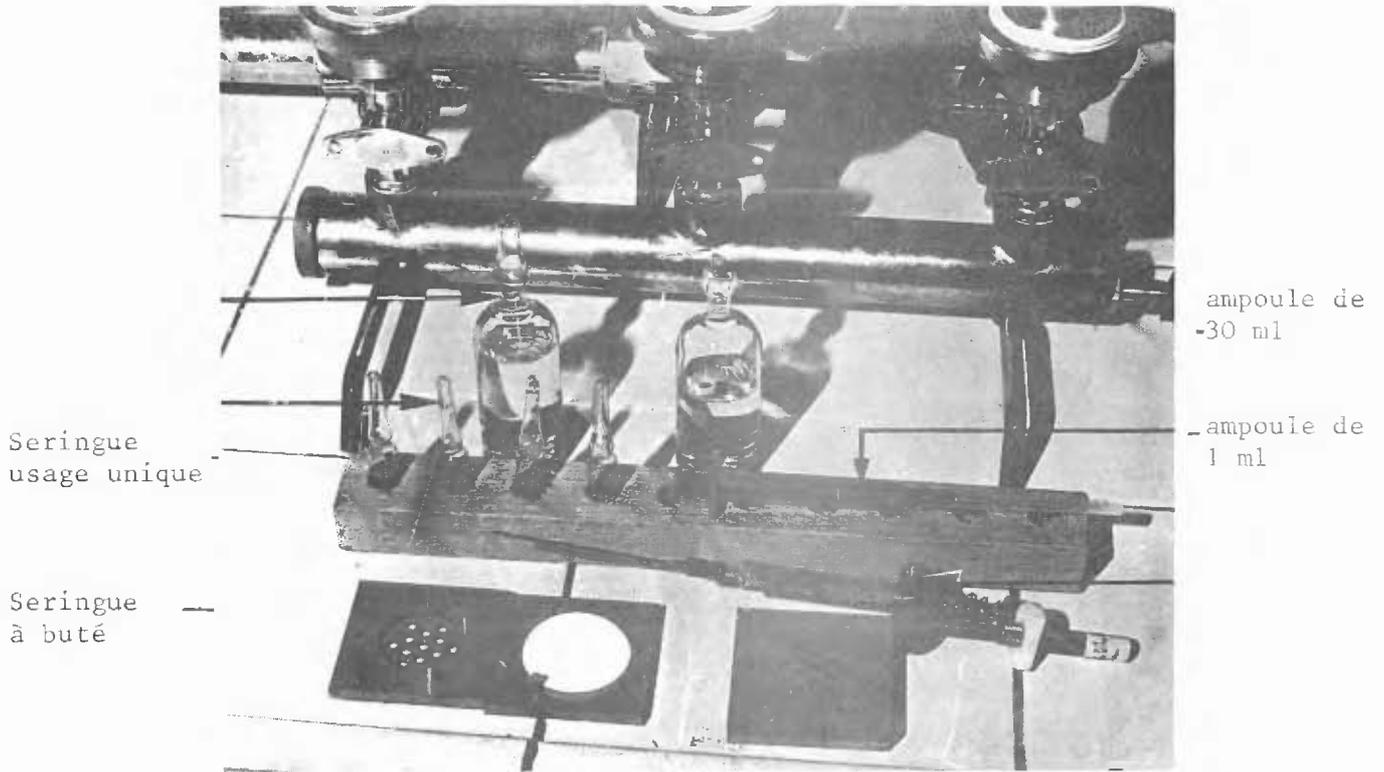


Fig.82 : Matériel d'inoculation

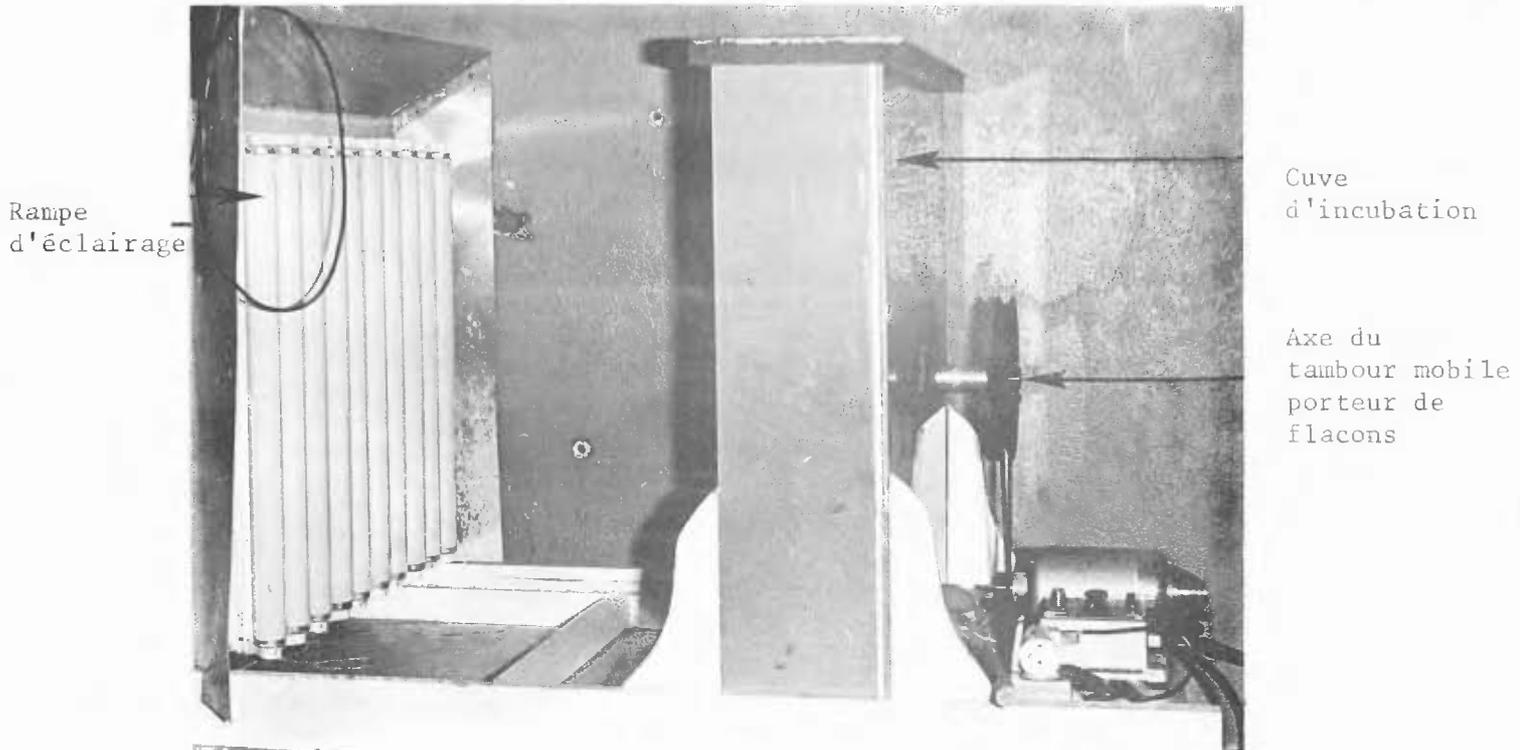
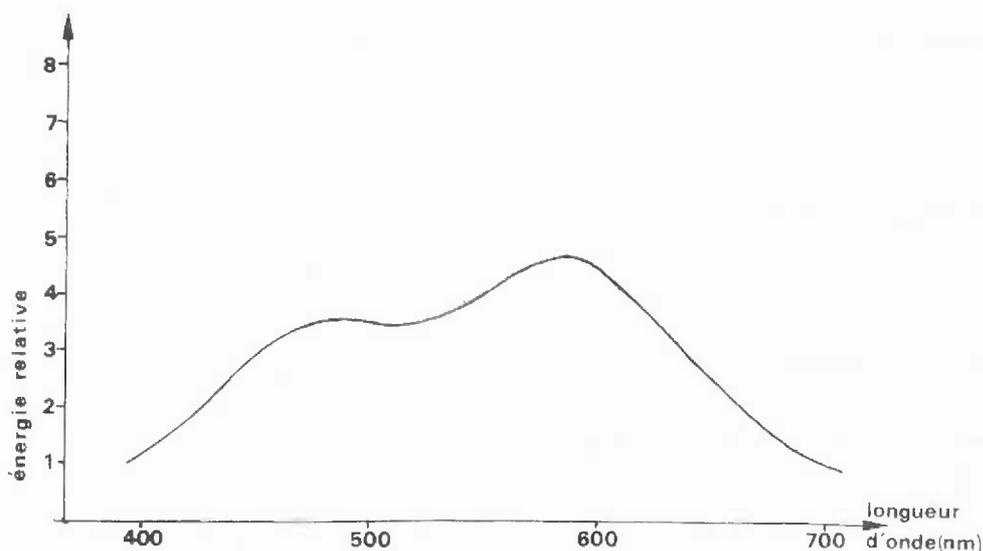


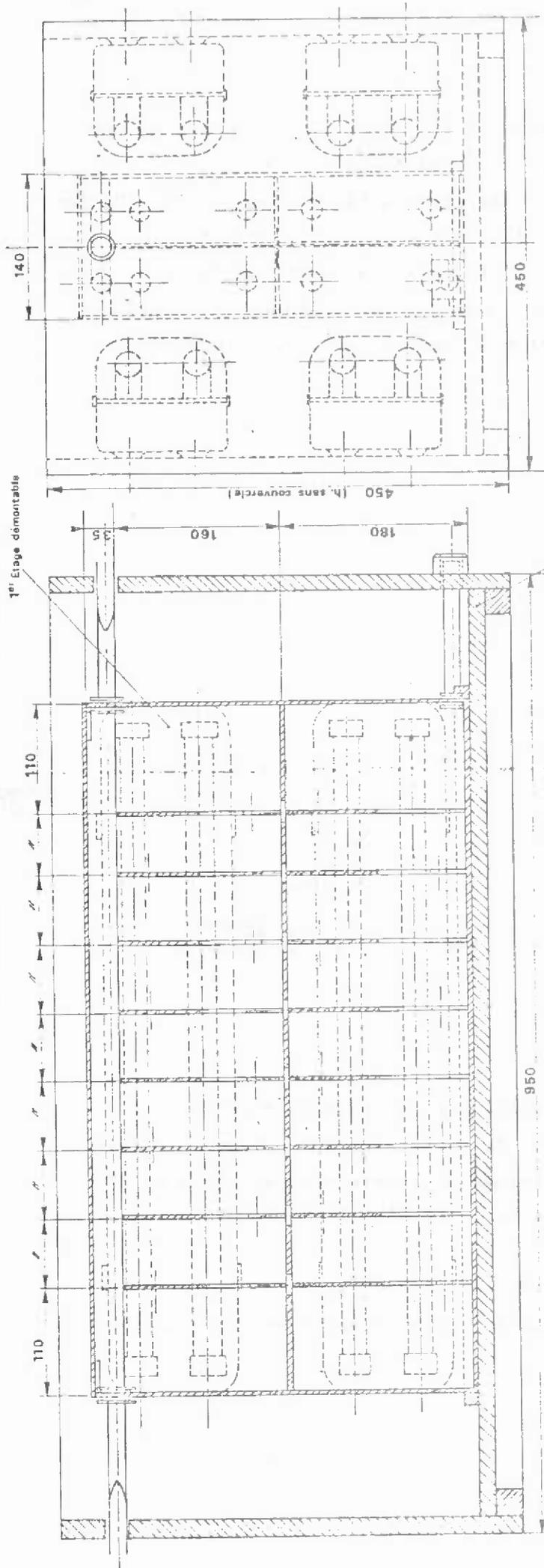
Fig.83 : Incubateur en lumière artificielle
modèle de l'Institut Océanographique

Cet incubateur a été fabriqué à l'IBMR WIMEREUX d'après un plan remanié du modèle utilisé par J.R. GRALL (fig. 83). Il est constitué d'un coffre de bois (contreplaqué) contenant un bac central de matière plastique transparente ("altuglass") pouvant recevoir 36 flacons (fig. 85). Une disposition originale de cuve permet en effet deux niveaux de flaconnage (fig. 86). La source de lumière latérale, provient de quatre paires de tubes fluorescents de 20 watts et de 830 lux d'intensité théorique. Le spectre d'émission de chaque tube (réf. "Claude" lumière du jour de Luxe est le suivant.



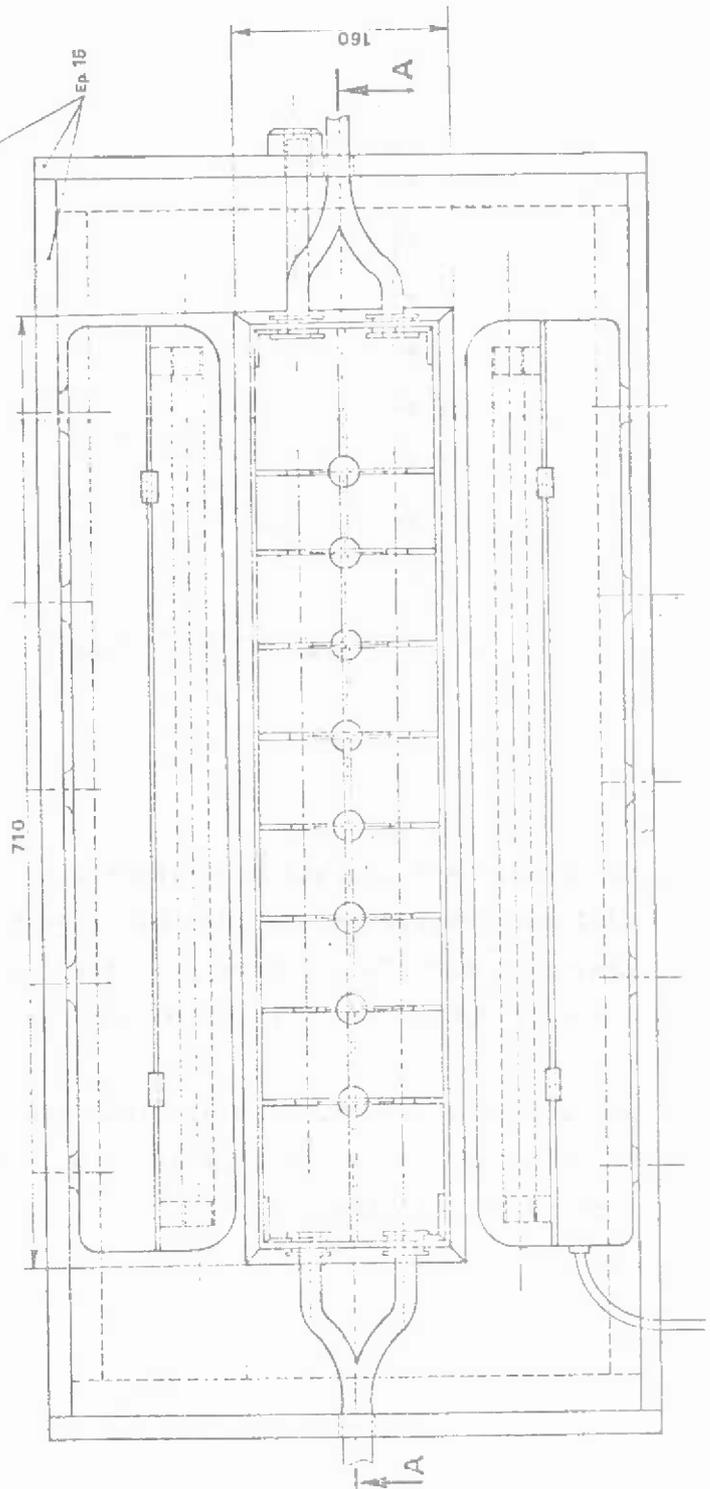
Ce spectre est probablement légèrement modifié par son passage à travers le diffuseur (méthacrylate) des blocs étanches de protection d'une part et l'"altuglass" du bac d'autre part. L'intensité lumineuse globale mesurée à l'aide d'un Luxmètre JOENS et à l'intérieur du bac central, est d'environ 15.000 Lux.

Après incubation, les échantillons sont filtrés sur membranes filtrantes ("LMR" de 35 mm de diamètre et 0,45 μ m d'ouverture de pores) rincées ensuite avec de l'eau de mer filtrée.



INCUBATEUR EN LUMIERE ARTIFICIELLE
pour l'étude de la production primaire

Fig. 84



Entrée d'eau Cuve centrale Diffuseur étanche Pince pour flacon Sortie d'eau

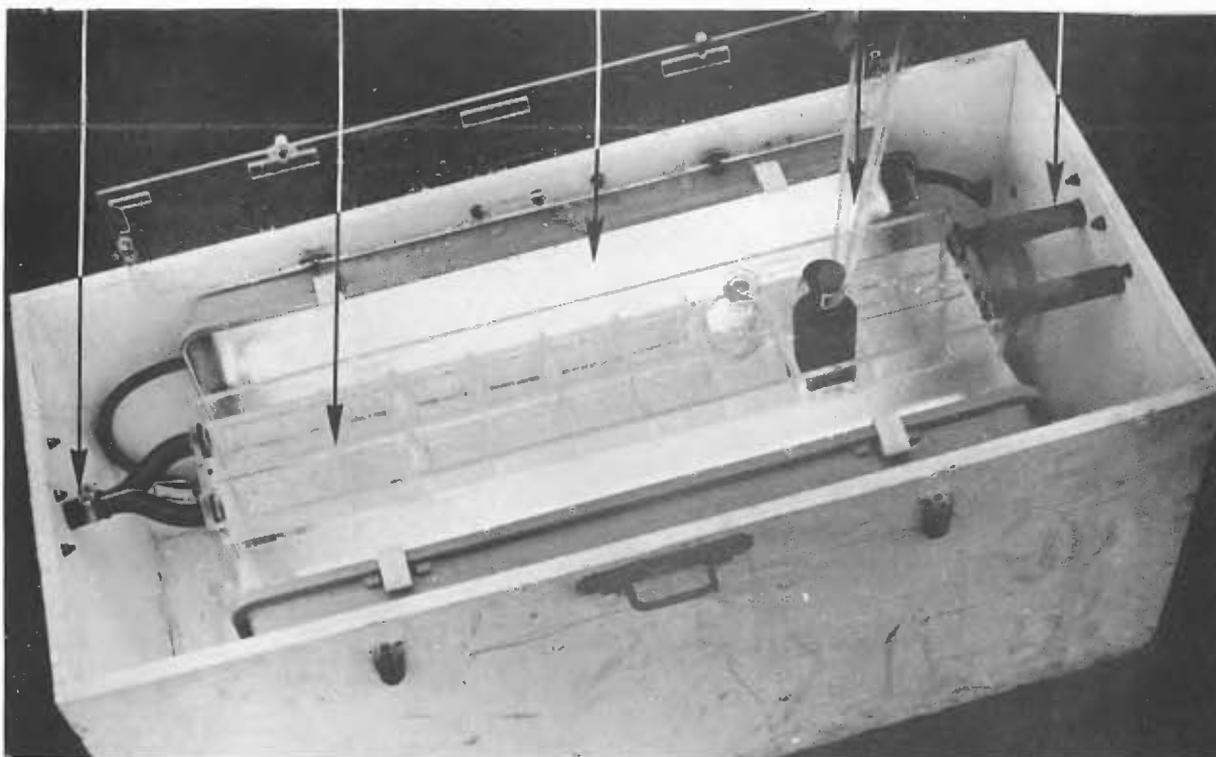


Fig.85 : Incubateur en lumière artificielle

Parois d'altuglass Flacon clair Flacon obscur



Fig.86 : Etage supérieur de la cuve centrale

Les rampes de filtration branchées sur une fiole sont reliées à une pompe à vide (Millipore) réglée pour une dépression de 0,5 atmosphère (fig. 87). Les filtres sont placés ensuite dans des serre-filtres puis séchés et conservés dans un dessiccateur à Silicagel. Les différents dispositifs utilisés à WIMEREUX sont conformes aux modèles originaux figurés par BROUARDEL et RINCK (1963).

Le comptage de l'activité des organismes retenus par les filtres a été effectué sur compteur "Tracerlab fenêtre mince" de l'Institut Océanographique* .

Les résultats, donnés en coups par minute sont ramenés en mgC/m^3 par la formule suivante :

- quantité de carbone assimilé pendant la durée de l'exposition =

$$\frac{b \times c}{a} \times \frac{12}{44} \times 10^3$$

a = activité totale introduite dans l'échantillon sous forme $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$

b = activité du phytoplancton retenu sur le filtre en coups/mn

c = quantité de CO_2 contenue dans l'échantillon, en ml/l

12 = poids moléculaire du carbone

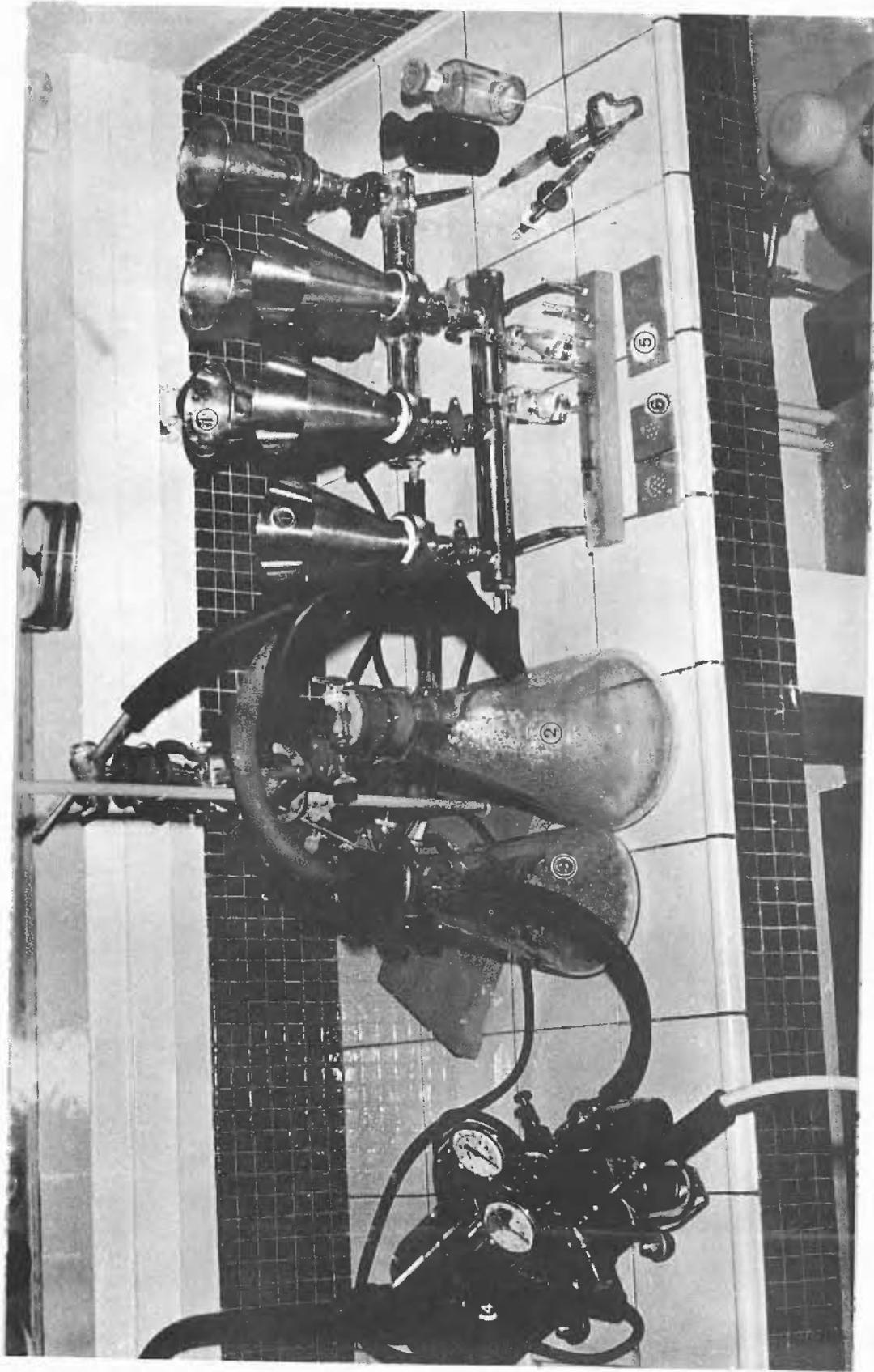
44 = poids moléculaire du CO_2

$\times 10^3$ = pour l'expression en m^3

La quantité de gaz carbonique contenue dans l'échantillon peut être mesurée directement par méthode chimique (appareil de VAN SLYKE - fig. 88) ou estimée à partir de la valeur du pH**

* Tous les comptages ont été effectués par Mme JOSEPH, technicienne à l'Institut Océanographique.

** Pour la région de GRAVELINES, des mesures effectuées par M. BROUARDEL donnent une valeur de l'ordre de 90 à 100 ml/l.

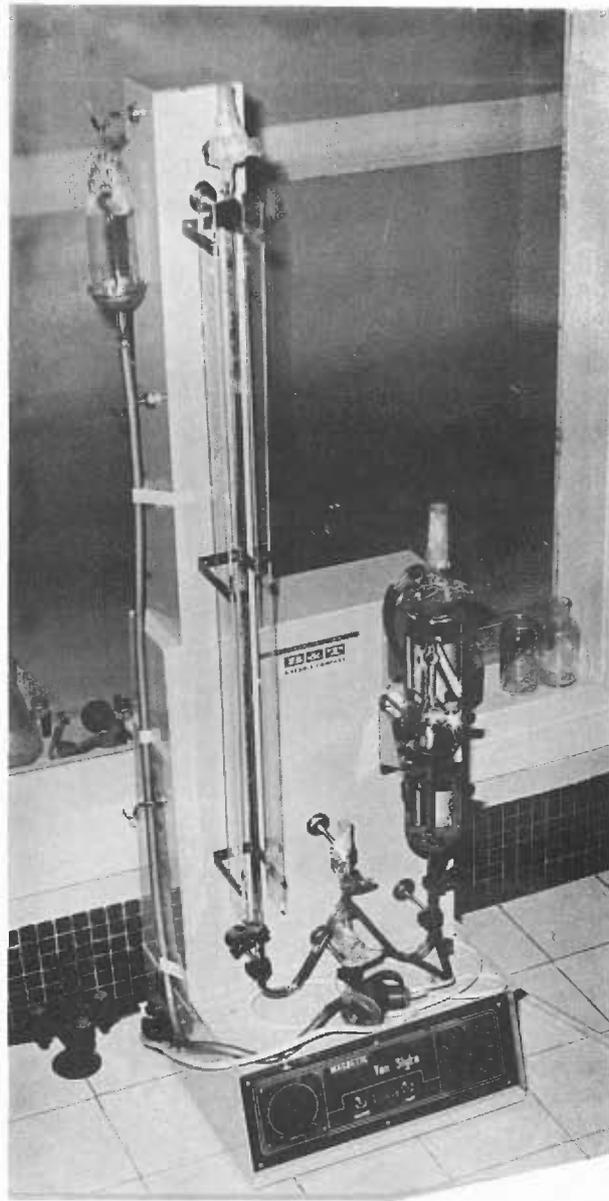


Dispositif de filtration

- (1) Rampes de filtration
- (2) Fiole à vide
- (3) Fiole à Silicagel

- (4) Pompe à vide "Millipore"
- (5) Filtre
- (6) Serres-filtre

Fig. 87



Appareil Van Slyke
(Mesure de CO_2)

Fig. 83

3. Résultats

Le 29 août 1975 des mesures de température, salinité oxygène dissous et transparence de l'eau ont accompagné les mesures de productivité aux quinze stations, complétées aux stations 4, 6, 10 et 11 par des mesures de turbidité, pigments et détermination de phytoplancton (incubation : de 10 h à 14 h). Les résultats figurent dans le volume II, tableaux 14, 26 bis et 37 bis.

Le 2 octobre, une mesure de la totalité des paramètres hydrobiologiques a été effectuée aux 15 stations. Cinq stations supplémentaires (numérotées de 16 à 20) ont été prospectées afin de compléter les données concernant la production primaire au large de la zone (incubation de 14 h 30 à 18 h 30) (volume II, tableaux 15, 27 et 38 bis).

Le taux de production primaire correspondant à chacune des stations représente la moyenne des valeurs obtenues sur chacun des deux exemplaires d'un échantillon (flacons claires). Le nombre accompagné de la lettre N indique la valeur obtenue à partir de l'échantillon contenu dans le flacon obscur.

La répartition horizontale des différents paramètres est exprimée par les isoplèthes du volume III.

Les résultats généraux de la campagne XII (15 décembre 1975) figurant dans un rapport spécial, seules les valeurs concernant la production primaire et la biomasse sont reprises dans le tableau suivant :

Station	Heure	Chlorophylle a mg/m ³	Production primaire mgC/m ³ /h	
			Lum. Nat.	Lum. Artif.
Côte	9 h 05	2,56	3,89	4,94
Moyen	9 h 30	2,90	2,57	5,99
Large	10 h 05	1,54	2,11	4,02
Moyen	10 h 50	2,42	3,33	6,13
Moyen	12 h 20	2,07	2,64	5,23

En représentant la biomasse par le taux de chlorophylle a on peut caractériser une population phytoplanctonique par son indice de productivité ou rapport Production/Biomasse (mgC/mg Chl./h). La production est généralement exprimée par la valeur à saturation lumineuse (production potentielle). Plus les conditions du milieu sont favorables au développement de la population (présence de sels nutritifs) et plus l'indice est élevé. Il est en général constant pour une campagne donnée. Cela semble se vérifier pour les trois campagnes de GRAVELINES, à la fois en lumière naturelle (campagnes X', XI' et XII) et en lumière artificielle (campagne XII).

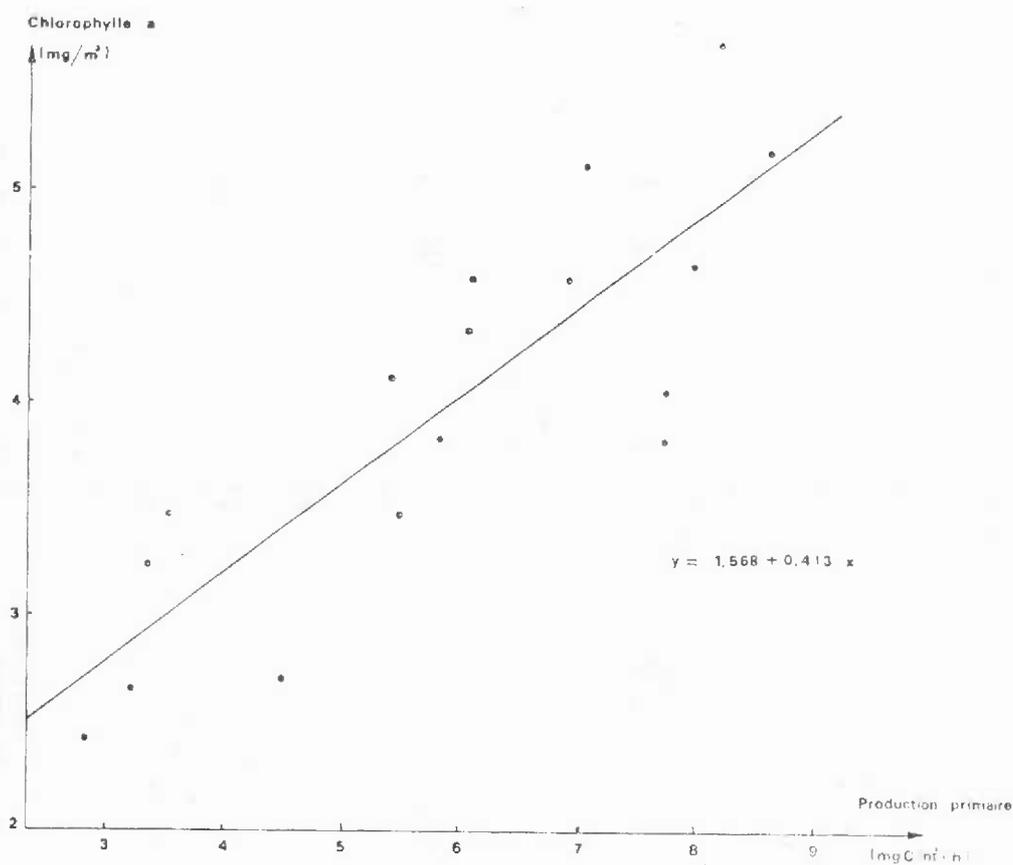
Pour la campagne X', l'indice varie de 3,14 (station 6) à 4,06 à la station 11. L'indice plus élevé de cette dernière pourrait s'expliquer par le fait qu'elle diffère des autres stations par la dominance spécifique de sa population phytoplanctonique. Celle-ci est caractérisée par une plus grande abondance de *Rhizosolenia* (43 %) par rapport aux trois autres stations (10 % environ) où le genre dominant (68 %) est *Chaetoceros*.

Les valeurs de l'indice de productivité de 1,0 à 1,9 obtenues lors de la campagne XI' sont environ 2 à 3 fois moins élevées que celles de la campagne X' (relation production-biomasse, fig. 89). Il faut voir dans cette différence d'une part une richesse moins grande de phytoplancton, et d'autre part l'influence de conditions différentes d'éclairement naturel. Le 29 août, le ciel était dégagé ; l'incubation a eu lieu aux heures de plus grande intensité lumineuse. Par contre, le 2 octobre le soleil était voilé et les échantillons ont incubé sous lumière déclinante.

Le plancton nettement plus pauvre et un ciel plus couvert sont sans doute la cause des indices de productivité (obtenus en lumière naturelle) peu élevés (de 0,9 à 1,5) de la campagne XII.

Les résultats de mesures de production potentielle donnent des indices de valeurs faibles (1,9 à 2,6) comparés à ceux obtenus par J.P. MOMMAERTS (1973) en Mer du Nord et pour les eaux côtières (3,8 en hiver, 5,4 en été).

Campagne XI (2-10-75)

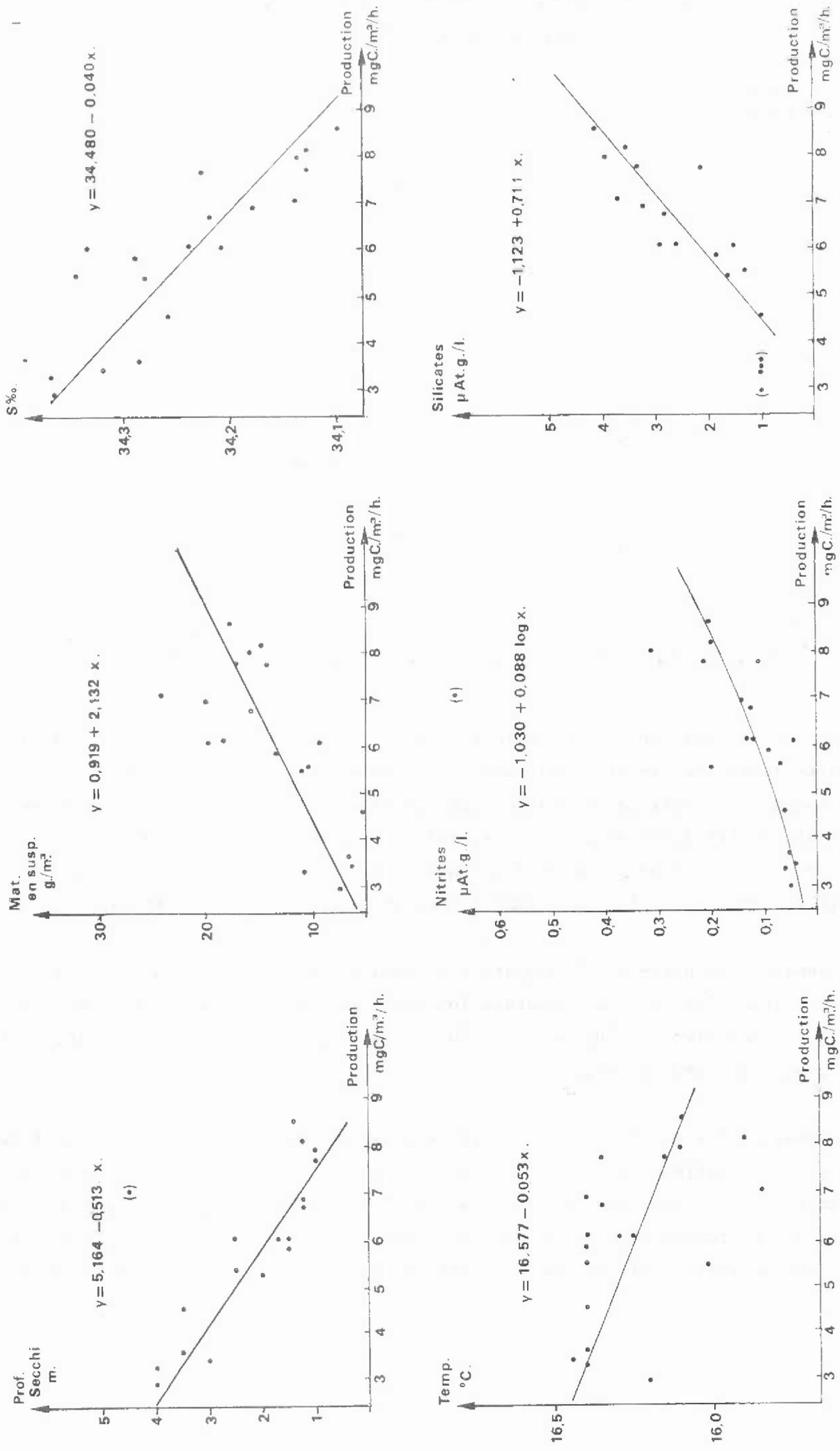


La production des populations algales augmente jusqu'à une certaine valeur d'intensité lumineuse (saturation) au-delà de laquelle le taux de production diminue (sursaturation). La saturation est atteinte pour une intensité lumineuse variable (entre 8.000 et 15.000 Lux) selon les populations phytoplanctoniques et les conditions ambiantes naturelles. Ainsi, une population hivernale aura un seuil de saturation plus bas comparé à celui d'une population estivale.

L'intensité lumineuse de l'incubateur en lumière artificielle employé est de l'ordre de 15.000 Lux. La sursaturation est donc largement atteinte pour des espèces hivernales, ce qui peut expliquer les faibles valeurs de l'indice de production de la campagne XII.

La campagne X' étant la plus complète du point de vue nombre de stations et mesures, des relations ont été établies entre la production organique et quelques paramètres (fig. 90). Les valeurs des coefficients de corrélation indiquent des relations hautement significatives, avec un coefficient de sécurité $> 99\%$ pour tous les paramètres excepté pour la température (coefficient de l'ordre de 95 %).

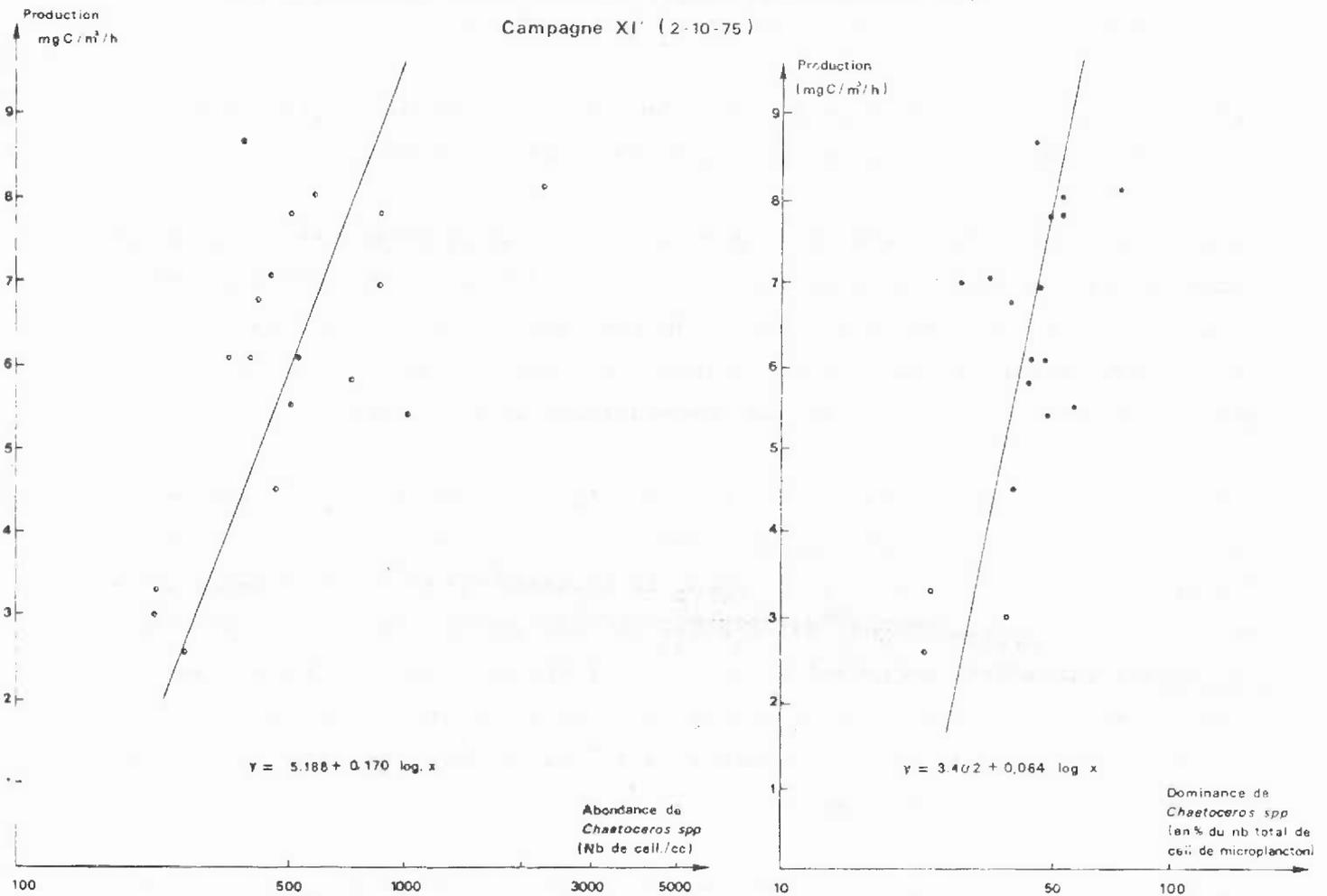
Fig. 90 : RELATIONS ENTRE LA PRODUCTION PRIMAIRE ET DIVERS PARAMETRES. Campagne XI'(2-10-75).



De telles relations indiquent une production primaire plus importante dans les eaux côtières turbides (Secchi, matières en suspension) peu salées et riches en nitrites et silicates.

D'une part, une relation hautement significative existe entre la production primaire et la présence de *Chaetoceros*, genre dominant à près de 50 % (fig. 91).

Fig. 91 RELATION PRODUCTION—PRÉSENCE DE *Chaetoceros spp*
Campagne XI' (2-10-75)



4. Discussion - conclusion

Il est difficile d'extrapoler sur un cycle, même saisonnier ces résultats fragmentaires de production. Leur signification n'est valable que pour caractériser une campagne donnée, d'autant plus que les conditions d'incubation (intensité lumineuse) n'ont pas été identiques.

La comparaison d'une campagne à l'autre, ou d'un site à l'autre peut se faire par des mesures de production potentielle en incubateur en lumière artificielle.

L'intensité lumineuse de l'incubateur actuellement employé devra être diminuée jusqu'à environ 8.000 Lux, pour éviter une sursaturation.

Les mesures de productivité potentielle peuvent être complétées par quelques mesures de productivité réelle et du flux lumineux effectuées en parallèle.

La production primaire s'évalue en général à plusieurs profondeurs d'intensité lumineuse déterminée (par exemple 100 %, 10 % et 1 % de l'intensité atteignant la surface de la mer) définies à l'aide de photomètres. De telles mesures permettent de déterminer la quantité de matière organique synthétisée par unité de surface pour les colonnes d'eau peu homogénéisées verticalement.

Dans le cas de la Mer du Nord, les travaux belges (MOMMAERTS, 1973) montrent une répartition sensiblement homogène des valeurs de production sur une même colonne d'eau et pour des eaux côtières. Le brassage vertical de la masse d'eau sur le site de GRAVELINES est matérialisé par des variations peu importantes des divers paramètres hydrobiologiques aux différents niveaux. On peut donc s'attendre à ce que les variations verticales de la production primaire soient du même ordre de grandeur, et un nombre limité de prélèvements verticaux peut suffire à l'évaluation de ce paramètre.

Pendant l'année 1975, le microflagellé *Phaeocystis* sp. a connu un développement important, autant spatial que temporel (voir chapitre phytoplancton). Chaque colonie est constituée de nombreuses cellules entourées d'une matière gélatineuse qui, sous l'effet de succion de la filtration colmate rapidement les pores des filtres et rend impossible la réalisation des mesures de production. D'autre part, en admettant que les filtrations puissent se faire, les comptages de l'activité

faussés par la présence des coques gélatineuses de *Phaeocystis*.

La solution la mieux adaptée à ce problème est d'employer la méthode de comptage par scintillation en milieu liquide. Cette technique permet d'utiliser une plus grande surface de filtration (d'où un colmatage moins rapide pour un volume d'eau identique) puisque les filtres sont ensuite calcinés.

Compte tenu de ces modifications et des remaniements apportés au protocole expérimental originellement prévu les résultats obtenus permettent de penser que les variations de productivité pourront être correctement appréciées sur un cycle annuel lors du programme de reconduction du site de GRAVELINES.

II.E LE ZOOPLANCTON

1. Introduction

Le contrat proposé par Electricité de France au CNEXO comprenait l'étude de la faune planctonique du site de GRAVELINES. Cette étude a été exécutée par l'Unité Littoral.

Le but que nous avons donc poursuivi de septembre 74 à décembre 75 a été de dresser l'inventaire qualitatif et quantitatif des individus du zooplancton rencontrés sur ce site.

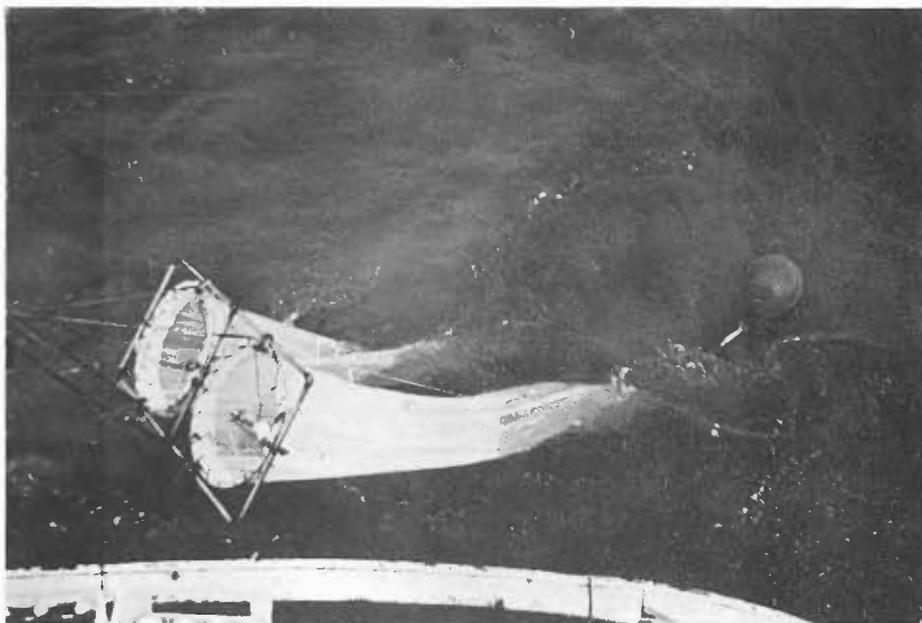
Nous avons également tenté de cerner les variations saisonnières et la répartition géographique de la biomasse totale, représentative de l'ensemble du zooplancton, des espèces les plus abondantes ou les plus fragiles.

Dans l'ensemble, cette étude a été entreprise dans le souci constant de servir de référence écologique, pour permettre de suivre ultérieurement l'impact éventuel des rejets d'eaux chaudes de la centrale nucléaire prévue.

FIG. 92



A. : Mise à l'eau de 2 filets WP₂ couplés



B. : Trait horizontal de 2 filets WP₂ couplés

2. Méthodologie

L'estimation de la production secondaire pélagique du site de GRAVELINES a été abordée par des méthodes différentes : comptages des individus, mesures de la biomasse, dosage du carbone et de l'azote organique des individus du plancton.

Ces méthodes ont été mises au point progressivement au cours des premiers mois. Des problèmes méthodologiques sont apparus et ont été résolus au cours de cette première année d'étude.

2.1 Travail à la mer

Le programme initial comportait un échantillonnage de plancton avec une périodicité mensuelle couvrant un réseau de 15 stations : 2 types de prélèvements étaient prévus :

- une récolte par traits horizontaux en surface et en profondeur, pour les stations dont la profondeur dépassait 8 mètres,
- une récolte par un seul trait bâlard oblique pour toutes les stations de profondeur inférieure à 8 mètres.

Dans les 2 cas, les prélèvements devaient être réalisés avec un filet WP₂ (vide de maille 200 μ , surface d'ouverture 1/4 m²) (fig. 92). Le programme comportait également un prélèvement au WP₂ modifié pour la récolte des formes juvéniles des principales espèces (vide de maille de filet 80 μ).

Le programme initial a subi des modifications successives, de février à avril, et, après mise au point, le prélèvement s'est effectué de la manière suivante :

- récolte par trait vertical aux 15 stations, ceci pour uniformiser le mode de prélèvement en tous les points par une méthode rapide,

- un trait horizontal de surface quand la profondeur dépasse une dizaine de mètres,
- un trait vertical, avec le filet de maille 80μ pour l'étude des Copépodes (stades juvéniles des Copépodes) et, par là, l'établissement des courbes de croissance et le rythme de reproduction des principales espèces,
- un triple échantillonnage au filet WP_2 200μ a donc été effectué pour la mesure des biomasses planctoniques, parallèlement au comptage et au dénombrement des organismes.

Campagnes de récolte de zooplancton

Les mauvaises conditions météorologiques n'ont pas toujours permis d'exécuter des sorties en mer avec une périodicité mensuelle (voir tableau des campagnes, volume II - tableau 2).

2.2 Volume d'eau filtrée

Lors de la première mission expérimentale, aucun volucompteur n'était monté sur le filet, nous n'avons pu déterminer exactement le volume d'eau filtré pendant le trait de pêche du filet. Cependant, un calcul permet d'estimer approximativement ce volume, en supposant le trait vertical (ce qui est souvent inexact, compte-tenu des vents et des courants, et de l'obliquité du câble par mauvais temps), sur une hauteur "h" connue par la mesure de la profondeur au sondeur ; l'ouverture du WP_2 présente une surface de $1/4\text{ m}^2$; le volume d'eau filtré sera estimé à $(1/4\text{ m}^2 \times h)\text{ m}^3$.

Les résultats sont donc rapportés à une unité de volume ou à une unité de surface de la zone considérée (m^2).

Les débit-mètres utilisés n'ont pas donné les satisfactions que l'on en attendait. Des imprécisions sont apparues quant à la mesure des volumes filtrés. C'est pourquoi, nous avons été amenés à effectuer des prélèvements verticaux qui convenaient mieux.

Si le volume filtré en un seul prélèvement vertical peut sembler insuffisant pour estimer la distribution des organismes vagiles et de grande taille, il est toujours possible de faire des "replicats" ou prélèvements successifs, ce qui permet en plus d'estimer la variabilité au niveau de l'échantillonnage. Nous y reviendrons à propos de l'expérience "drogue" menée à GRAVELINES, le 15 décembre 1975.

2.3 Méthodes de conservation des échantillons

- une première série d'échantillons formolée à 5 % est destinée aux comptages des espèces,
- une deuxième série est congelée et destinée à la mesure des biomasses, du carbone et de l'azote organique,
- enfin, le prélèvement spécial, destiné à la détermination des formes juvéniles est formolé.

2.4 Dépouillement des échantillons de zooplancton

Fractionnement

Les échantillons formolés, destinés au comptage sont divisés par la méthode de la "boîte de MOTODA" (MOTODA, 1959) et les fractions à compter, réparties dans des "cuves de DOLLFUS" sont observées à la loupe binoculaire.

Le comptage se fait selon la méthode préconisée par Serge FRONTIER, modifiée et simplifiée afin d'en réduire la durée.

a) Principe de la méthode de FRONTIER

Selon cet auteur (FRONTIER, 1972) on peut avoir une bonne estimation de l'abondance d'une espèce dans le milieu, si on a compté au moins 100 individus de cette espèce dans l'échantillon. On en déduit, par conséquent,

que la fraction $1/n$ comptée (correspondant à un volume d'eau filtré V quelconque mais connu) sera d'autant plus petite que l'espèce est plus abondante. Si on voulait appliquer scrupuleusement cette méthode, il faudrait, pour les espèces très rares, regarder en totalité des échantillons très grands (volume d'eau filtré très grand).

En fait, il faut trouver un compromis entre une évaluation extrêmement précise de l'abondance de toutes les espèces, et une évaluation très grossière de quelques espèces seulement.

La méthode adoptée est la suivante :

- pour quelques espèces (4 ou 5) la fraction comptée $1/n$ est très petite (estimée rapidement pour chaque échantillon), ce qui permet de compter au moins 100 individus de ces espèces,
- on effectue ensuite le comptage d'une fraction $\frac{x}{n}$ pour les autres espèces de l'échantillon (x étant souvent égal à 4,5 ou 6),
- enfin, un examen rapide, à l'oeil nu de la partie non comptée permet de repérer les espèces de grande taille et rares (alevins, Mysidacés, Caridés, Coelentérés), mais pouvant représenter une biomasse importante.

La méthode adoptée donne une bonne idée de l'ensemble de l'échantillon. Elle permet :

- de ne pas compter un trop grand nombre d'individus pour les espèces très abondantes,
- de compter un nombre suffisant d'individus pour les espèces moins abondantes,
- de ne pas négliger les espèces de grande taille et rares.

On perd peu d'information : uniquement celle qu'aurait apportée l'examen au binoculaire d'espèces petites et rares.

b) Difficultés relatives aux comptages et détermination

- les échantillons sont souvent très chargés en matière en suspension et en phytoplancton, ce qui rend l'observation malaisée. Il apparaît que certains planctontes sont détériorés et difficilement identifiables lorsque les critères de détermination sont basés sur l'anatomie, la coloration, etc.,
- certains individus sont déterminés au niveau de l'espèce, d'autres au niveau du genre, d'autres enfin de façon moins approfondie (familles, groupes, classes). Plusieurs raisons nous ont amenés à choisir la précision de ces déterminations : les connaissances actuelles ne permettent pas de déterminer certaines larves d'Annélides ; nous les déterminons au niveau du genre. Par ailleurs, des moyens plus fins (microscope électronique à balayage) seraient nécessaires pour déterminer les larves de bivalves, ce qui exige à la fois une étude longue et spécialisée.

Il n'est pas possible, au cours d'un comptage, de déterminer rapidement deux familles de Copépodes, les Pseudocalanidés et les Paracalanidés (fig. 93) comprenant plusieurs espèces d'écologie différente. La méthode utilisée dans ce cas est la suivante :

- comptage de l'ensemble des deux familles (total),
- prélèvement de 30 à 40 individus observés au microscope, avec détermination de la proportion de chaque espèce, de leur sex-ratio et du degré de maturité des femelles,
- on extrapole les résultats à l'ensemble des échantillons,
- au cours du comptage, nous avons noté les particularités concernant les individus ; par exemple : maturité génitale, degré de parasitisme, etc..

2.5 Mesures des biomasses

Les échantillons prélevés en vue de la mesure de la biomasse ont été congelés le plus rapidement possible. Certains mêmes ont pu être filtrés avant la congélation (campagne du 30 août et du 6 octobre 1975).

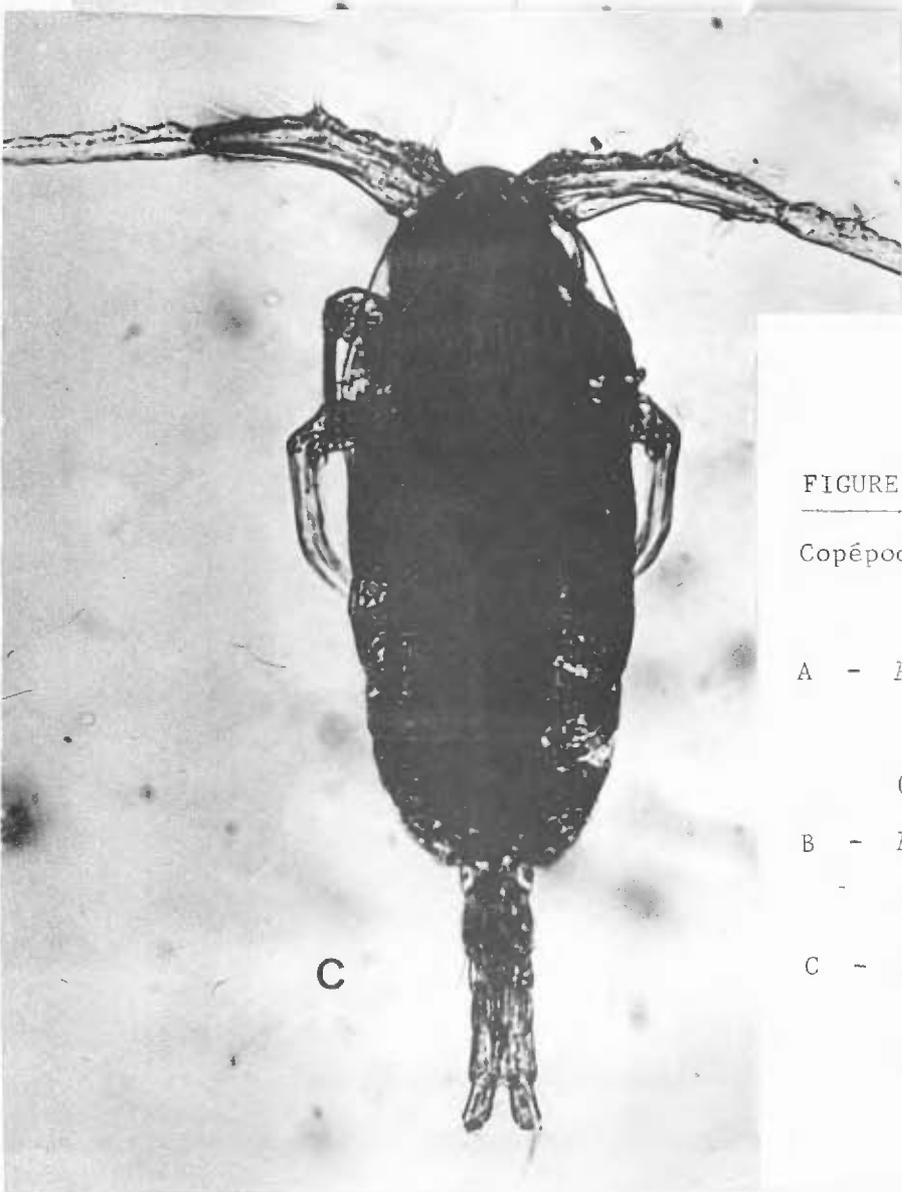
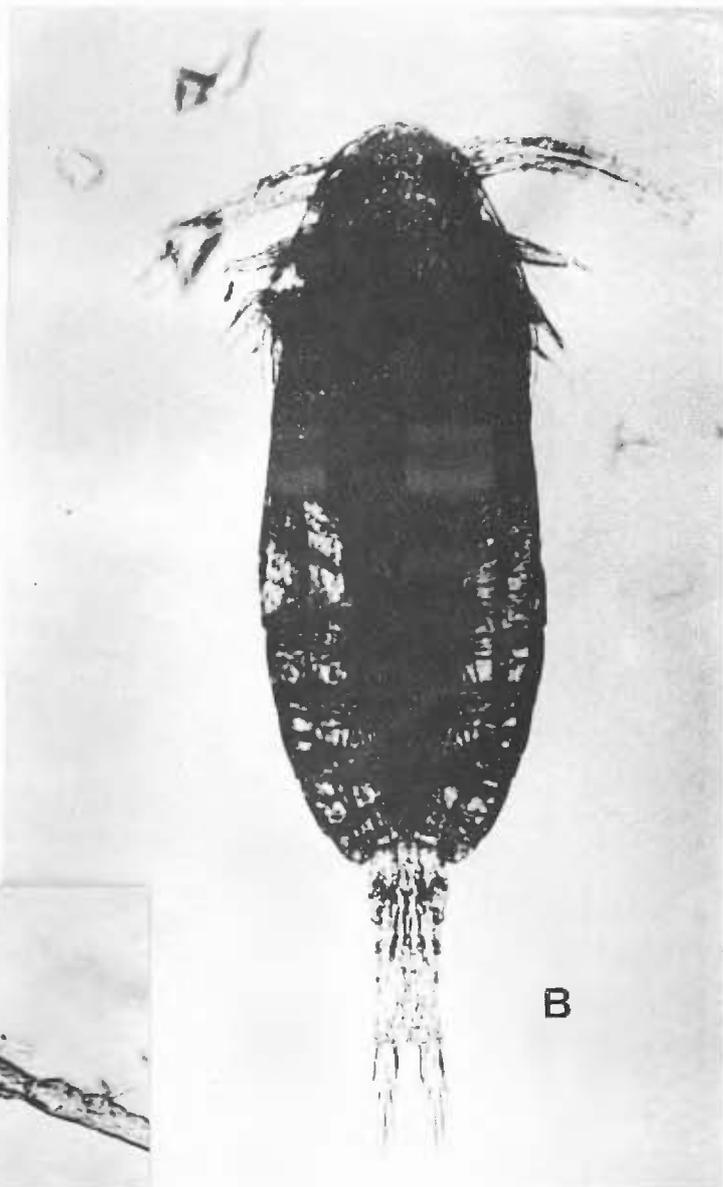
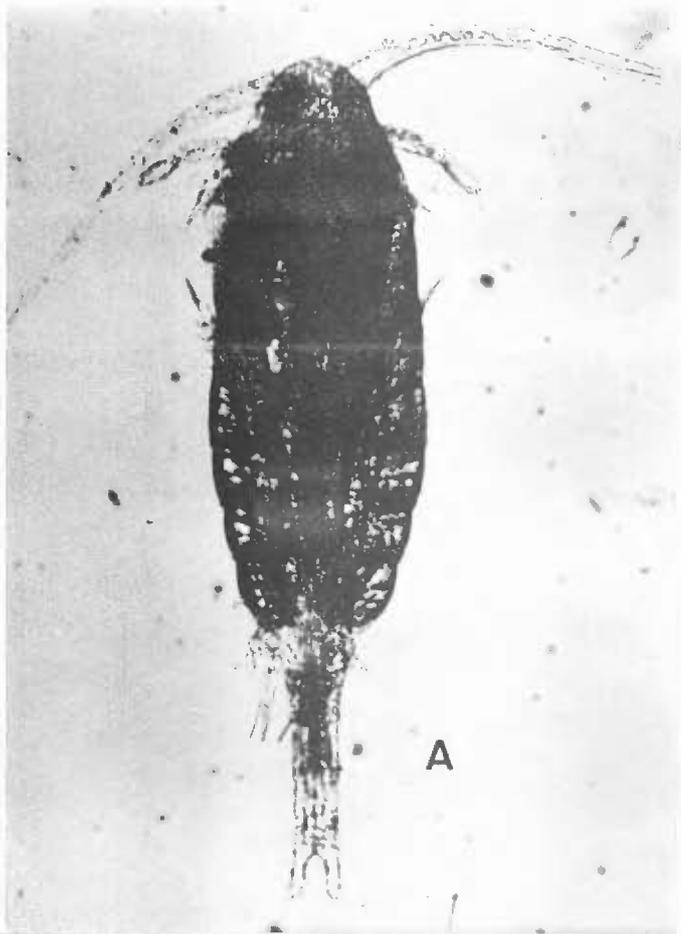


FIGURE 93

Copépodes *Paracalanidae* et *Pseudocalanidae*
(vus au microscope)

A - *Pseudocalanus minutus* ♀
(= *elongatus*)

(photo J. LE FEVRE)

B - *Paracalanus parvus* ♀

(photo J. LE FEVRE)

C - *Paracalanus parvus* ♂

(photo J. LE FEVRE)

2.5.1 Mesure du poids sec

Les échantillons sont filtrés sur des carrés de soie (vide de maille 100μ) préalablement lavés, séchés (48 h à 60°C) et pesés.

Après la filtration, les filtres porteurs de la matière retenue sont séchés dans des conditions standard (48 h à 60°C).

Ils sont ensuite refroidis au dessiccateur puis pesés. Le poids sec est déterminé par différence de ce poids et de celui du filtre précédemment obtenu.

Ayant constaté que les échantillons étaient très souvent chargés de matières en suspension et de phytoplancton, il est apparu que ce poids sec ne pouvait à lui seul rendre totalement compte de la biomasse zooplanctonique.

La mesure du poids de cendres nous a permis d'éliminer l'influence des matières inorganiques. Dans ce même but, nous avons d'autre part dosé le carbone et l'azote organique contenus dans ces mêmes échantillons.

Il faut remarquer que ces deux méthodes ne permettent pas d'éliminer l'influence du phytoplancton. Les valeurs obtenues représentent donc la biomasse du plancton total recueilli (zooplancton et phytoplancton).

C'est pourquoi, à partir de GRAVELINES IV nous avons modifié la méthode de prélèvement pour effectuer un double échantillonnage avec 2 filets WP_2 couplés sur un même cadre.

2.5.2 Poids des cendres et matières organiques

a) Poids des cendres

La matière sèche est séparée du filtre et disposée dans des creusets pré-pesés. Une pesée intermédiaire permet de déterminer le poids de matière sèche réellement déposée dans les creusets. Ceux-ci sont ensuite passés au four pour une incinération pendant 48 h, à 60°C . Pour éviter les projections de matières dans le four, la température est montée graduellement par paliers de 50° toutes les heures. Après refroidissement, les creusets sont pesés, ce qui permet de déterminer le poids des cendres.

b) Matière organique

La matière organique ayant été brûlée au cours de l'incinération, son poids sera déterminé par différence entre le poids sec et le poids de cendre.

2.5.3 Dosage du carbone et de l'azote organique

Après la mesure de leurs poids sec, les échantillons destinés à cette étude sont homogénéisés par broyage au mortier. Une fraction de ce broyage est prélevée pour l'analyse et pesée à l'électro-balance CAHN.

L'auto-analyseur du carbone et de l'azote (185 B Carbon-Hydrogen-Nitrogen Analyser "Hewlet Packard") utilise le principe de la chromatographie en phase gazeuse.

La fraction de l'échantillon à analyser est brûlée en présence d'un oxydant (Dioxyde de Manganèse) mis en excès. Un courant d'Helium entraîne les gaz libérés au cours de la combustion (CO_2 , NO_2 , H_2O).

L'appareil produit un spectre dont les aires, inscrites sous les pics sont proportionnelles aux quantités de carbone et d'azote dosées et les intègre lui-même. Il est donc nécessaire d'étalonner l'appareil avant tout dosage avec un produit organique connu (Cyclohexanone 2-4 dinitrophénylhydrazone).

3. Résultats quantitatifs

A partir de l'examen des échantillons récoltés au cours des 12 campagnes réalisées à GRAVELINES, nous avons établi une liste faunistique comprenant une centaine de taxons présents :

3.1. Liste faunistique

CNIDAIRES

Hydrozoaires

Sarsia eximia, Allmann
Sarsia prolifera, Forbes
Sarsia tubulosa, Sars

Sarsia gemmifera, Forbes
Ectopleura dimortieri, Van Beneden
Hybocodon prolifer, Agassiz
Actinula (larve)
Zanclaea sessilis, Gegenbaur
Kathkea octopunctata, Sars
Laodicea undulata, Forbes & Goodsir
Obelia sp.
Phialidium hemisphaericum, Leuckart
Eucheilota maculata, Hartlaub
Eirene viridula, Peron & Lesueur

Scyphozoaires

Ephyruia (larve)

Anthozoaires

Cerinula (larve)

CTENAIREs

Pleurobrachia pileus, Müller
Beroe cucumis, Fabricius

NEMERTES

Pilidium (larve)

CHAETOGNATHES

Sagitta setosa, Müller
Sagitta elegans, Verril

ANNELIDES (larves)

Aphroditidés

Harmothoe sp.

Phyllodocidés

Phyllodoce sp.

Syllidés

Autolytus sp.

Nereidés

-

Nephtydés

Nephtys sp.

Spionidés

Scolelepis ciliata, Keferstein
Scolelepis fuliginosa, Claparède
Nerine sp.
Spio sp.
Pigospio sp.
Spiophanes bombyx Claparède
Polydora ciliata, Johnston
Polydora coeca, Oersted
Polydora ligni, Webster
Polydora pulchra, Carazzi

Magélonidès *Magelona papillicornis*, Müller

Térébellidès *Lanice conchilega*, Pallas

Amphicténéidès *Lagis koreni*, Malmgren

CUMACES

CLADOCERES

Polyphénéidès
Daphnia sp.
Bosmina maritima, Müller (137 A)
Evadne nordmanni, Apstein
Podon intermedius, Lilljeborg
Podon leuckarti, Sars
Penilia avirostris, Dana

COPEPODES

Calanoïdes
Calanus helgolandicus, Claus
Mecynocera clausi, Thompson
Paracalanus parvus, Claus
Calocalanus sp.
Pseudocalanus elongatus, Boeck
Clausocalanus arcuicornis, Dana (137 B)
Stephos minor, Scott
Stephos sp.
Temora longicornis, Müller
Eurytemora hirundoïdes, Nordquist
Centropages hamatus, Lilljeborg
Centropages bradyi, Weeler
Isias clavipes, Breck
Pseudocyclops sp.
Parapontelia brevicornis, Lublock
Anomalocera patersoni, Templeton
Labidocera wollastoni, Lublock
Acartia clausi, Giesbrecht
Acartia discaudata, Giesbrecht

Cyclopoïdes
Oithona sp.
Euryte sp.

Harpacticoïdes
Oncaea sp.
Euterpina acutifrons, Dana
Corycaeus sp.
Altheuta sp.

CIRRIPEDES

Nauplius (larve)
Cypris (larve)

MYSIDACES

Gastrosaccus sanctus, Van Beneden
Gastrosaccus spinifer, Goës
Hemimysis lamornae, Couch
Schistomysis ornata, Norman
Schistomysis spiritus, Sars
Paramysis arenosa, Czerniasky
Mesopodopsis slabberi, Van Beneden

AMPHOPODES gammariens

-

DECAPODES (larves)

Caridés

Crangon crangon, Fabricius

Thalassinidés

Upogebia deltaura, Leach

Paguridés

Porcellanidés

Porcellana platycheles

Pisidia longicornis

Brachyoures

Ebalia sp.

Pinnotheres pisum

Maia squinado

Carcinus maenas

MOLLUSQUES

Pontes

Gastéropodes

Bivalves

PHRONIDIENS

BRYOZOAIRES

Cyphonautes (larves)

ECHINODERMES

Holothurides, larve "Auricularia"

Echinides, larve "Pluteus"

Stelléridés larve "Bipinnaria"

larve "Brachiolaria"

Ophiuridés larve "Ophiopluteus"

TUNICIERS	Appendiculaires	<i>Oikopleura dioica</i> , Fol
	Ascidies	larve tétard
TELEOSTEENS	Clupeidés	alevins
	Eugraulidés	alevins
	Ammodytidés	alevins
	Gobiidés	alevins
	Oeufs divers	

Distribution géographique de quelques espèces

Certaines espèces peuvent présenter un intérêt qualitatif même si elles sont négligeables du point de vue de leur biomasse et de leur densité dans le milieu. Cependant, citons quelques espèces holoplanctoniques qui reflètent les caractères hydrologiques du Sud de la Mer du Nord.

a) Présence de *Bosmina* Cladocère (crustacé pélagique)

Bosmina au mois de février 1975 (fig. 94 a). C'est un Cladocère couramment rencontré plus au Nord vers la Mer Baltique. Il est présent en même temps que *Daphnia*, au débouché de l'Aa et correspond aux eaux saumâtres et froides de février (27,4 ‰, 7,4°C).

Bosmina n'avait pas encore été signalé dans les inventaires de la zone côtière de GRAVELINES où l'espèce doit se reproduire, puisqu'une femelle embryonnée en très bon état a été récoltée.

b) Une autre addition à la liste faunistique de GRAVELINES : *Stephos minor*

Stephos minor ♂ et ♀ a été trouvé à GRAVELINES. L'espèce couramment trouvée semblait *Stephos scotti*. *Stephos minor* n'avait pas encore été signalé.

Bosmina et *Stephos minor* atteindraient probablement leur limite Sud de répartition à GRAVELINES en hiver (fig. 94 b).

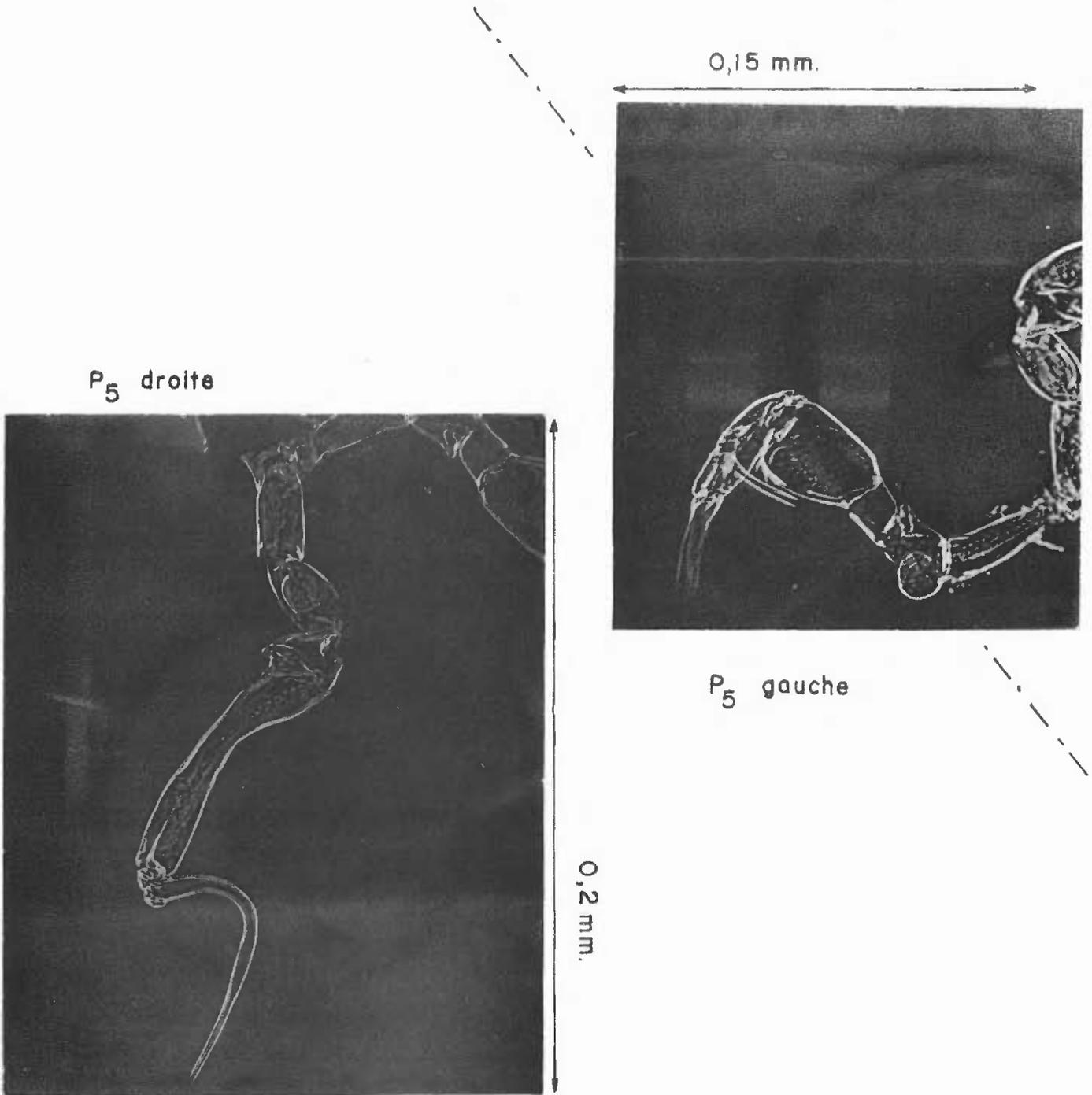


FIG. 94 B

Stephos minor P5 ♂ (vu au microscope)

(photo G. LE FEVRE-LEHOERFF)

c) Signalons deux Copépodes qui semblent atteindre au contraire leur limite Nord de distribution : *Mecynocera clausi* et *Isias clavipes*.

Mecynocera clausi : trouvé pour la première fois en 1969 par J. LE FEVRE en Manche, a été vu à GRAVELINES en septembre 1974 (t = 14°5).

De plus, citons un Copépode à large distribution géographique dont l'écologie est mal connue et qui semble lié aux eaux chaudes : *Isias clavipes* présent en Méditerranée (maximum en mai) a été trouvé en abondance dans l'estuaire de la rivière de MORLAIX en juillet (17°). A GRAVELINES, il est présent en été et atteint son maximum au mois d'août (t = 19°).

Ces espèces, si elles ne sont pas abondantes peuvent être le reflet de circulation d'eau à grande échelle, ce qui déborde largement le cadre de la petite zone côtière étudiée à GRAVELINES. Leur distribution semble bien en rapport avec les conditions hydrobiologiques et en particulier avec le facteur température.

Citons également la présence en juillet (15°7, 32,5 ‰) du Chaetognathe *Sagitta elegans*, pas encore signalé sur la côte de GRAVELINES.

La méduse *Eucheilota maculata*, forme nordique est présente en été à GRAVELINES. Elle est remplacée en Manche occidentale par le genre *Lovenella* de la même famille.

3.2 Fréquence d'observation des espèces

La fréquence relative des différentes espèces a été calculée pour l'ensemble des échantillons. La fréquence "f" est définie par le rapport :

$$f = \frac{\text{nombre d'échantillons où l'espèce est présente}}{\text{nombre total d'échantillons examinés}}$$

Les résultats sont donnés en pourcentage de fréquence.

Plusieurs groupes ou classes ont été définies :

1er groupe = espèces toujours présentes f = 100 %

2ème groupe 75 % \leftarrow f \leftarrow 100 %

3ème groupe 50 % \leftarrow f \leftarrow 75 %

4ème groupe 25 % \leftarrow f \leftarrow 50 %

5ème groupe 10 % \leftarrow f \leftarrow 25 %

6ème groupe 5 % \leftarrow f \leftarrow 10 %

Les espèces très rares ne figurent que dans la liste faunistique.

100 %	{	<i>Temora longicornis</i>	
		<i>Centropages hamatus</i>	
		<i>Acartia clausi</i>	
		Larves de Cirripèdes	
	}	<i>Oikopleura dioica</i>	
75	{	<i>Paracalanus parvus</i>	97 %
à		<i>Euterpina acutifrons</i>	94 %
100 %		<i>Lanice conchilega</i>	92 %
	}	Larves de Bivalves	78 %
50	{	<i>Pseudocalanus elongatus</i>	72 %
à		<i>Cyphonautes</i>	59 %
75 %		Larves d'Ophiures	58 %
		Cténaires	58 %
		Larves de Gastéropodes	55 %
		<i>Polydora ciliata</i>	52 %
	}	<i>Crangon crangon</i>	50 %

	(<i>Phyllodoce</i> sp.	49 %
		<i>Sagitta setosa</i>	48 %
		Larves Brachyoures	48 %
		<i>Nerine</i> sp.	46 %
25		<i>Spio</i> sp.	37 %
à		<i>Acartia discaudata</i>	37 %
50 %		<i>Harmothoe</i> sp.	33 %
		<i>Magelona papillicornis</i>	32 %
		<i>Spiophanes bombyx</i>	31 %
		Larves d'Etoiles de Mer	29 %
		<i>Schistomysis spiritus</i>	27 %
	(<i>Nephtys</i> sp.	23 %
		<i>Obelia</i> sp.	18 %
		<i>Scoelelepis ciliata</i>	18 %
		<i>Calanus helgolandicus</i>	18 %
10		Têtard d'Ascidie	17 %
à		<i>Euceilota maculata</i>	15 %
25 %		<i>Macropsis slabberi</i>	14 %
		<i>Schistomysis ornata</i>	12 %
		<i>Phialidium hemisphaericum</i>	11 %
		<i>Hybocodon prolifer</i>	10 %
		Larves de Porcellanidés	10 %
	(<i>Polydora coeca</i>	9 %
		<i>Polydora ligni</i>	7 %
		<i>Podon intermedius</i>	7 %
		<i>Podon leuckarti</i>	7 %
5		Larves d'Oursins	7 %
à		<i>Ectopleura dumortieri</i>	6 %
10 %		<i>Polydora pulchra</i>	6 %
		<i>Gastrosaccus spinifer</i>	6 %
		<i>Sarsia prolifera</i>	5 %
		<i>Bosmina maritima</i>	5 %
		Larves de Paguridés	5 %

4. Evaluation de la production secondaire - distributions spatiales et variations saisonnières quantitatives du zooplancton

Les résultats des 12 campagnes ont été remis sous forme de tableaux (volume II - tableaux 39 à 49, 51 à 65), utilisables facilement pour le traitement des données.

A chaque campagne et à chaque taxon déterminé correspondent :

- le nombre d'individus de chaque taxon déterminé pour 10 m^3 d'eau (volume II - tableaux 39 à 49),
- la biomasse totale en poids sec (mg/m^3), en poids de matière organique totale (mg/m^3) et en poids de carbone organique (volume II - tableaux 51 à 65).

L'étude des principales espèces a été entreprise dans le but de mettre en évidence pour chacune :

- les variations quantitatives saisonnières,
- la distribution géographique et les gradients d'abondance selon les conditions hydrologiques,
- les relations qui peuvent exister entre les espèces,
- les périodes de reproduction optimales et si possible leurs relations avec la température,
- enfin, ayant analysé les cycles saisonniers des principales espèces, nous avons synthétisé l'ensemble des cycles par un cycle général annuel en relation avec les conditions hydrologiques (température et salinité en particulier) de cette année de référence 1974 - 1975).
- les variations quantitatives des biomasses ont été comparées aux résultats donnés par les campagnes. La comparaison des différentes méthodes d'estimation de la production secondaire permet de tester la validité des résultats généraux.

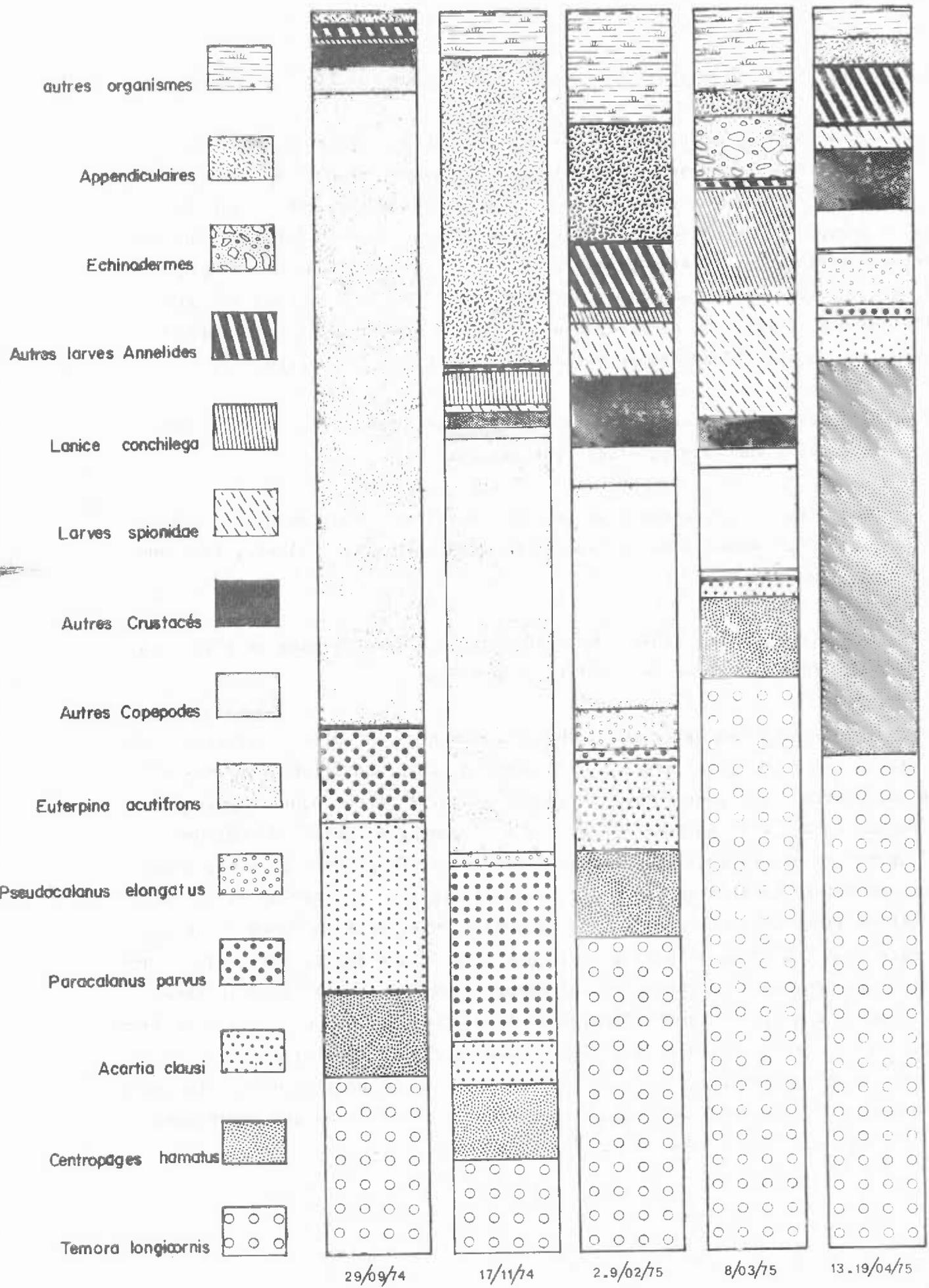
4.1 Variations quantitatives des espèces et analyse des résultats de comptages

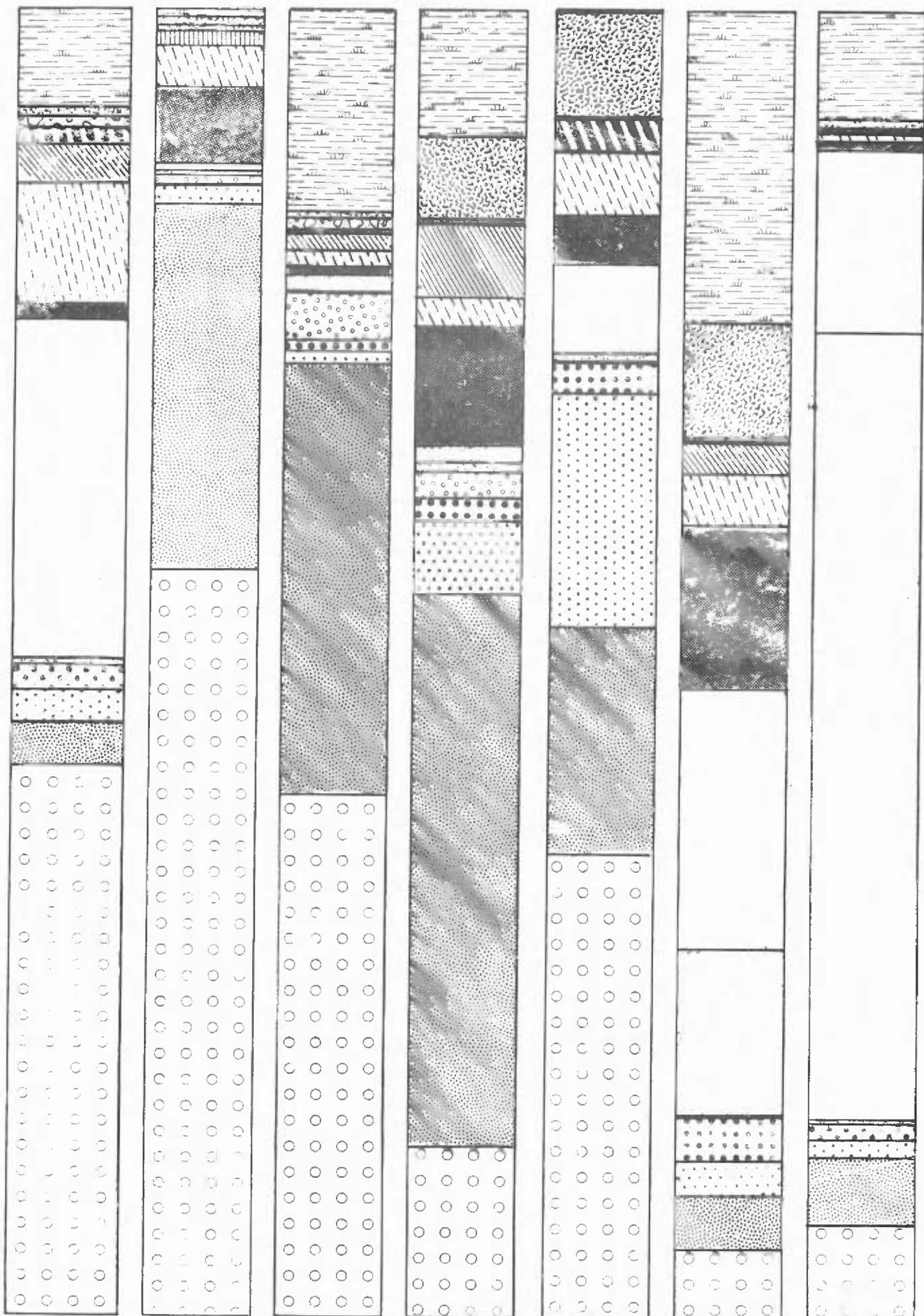
Nous avons donné précédemment le résultat des fréquences relatives basées sur la présence et l'absence des espèces. Un examen, même très rapide des différentes récoltes de zooplancton du site de GRAVELINES montre que certains groupes d'organismes ou espèces sont présents toute l'année. D'autres ont une période de présence privilégiée, liée aux conditions hydrologiques ou à la période de reproduction. Cet examen des fréquences, complété par l'abondance estimée rapidement par une cotation grossière (très abondante, abondante ou peu abondante) permet de distinguer plusieurs groupes :

- les espèces toujours présentes et très abondantes sont essentielles par la production annuelle qu'elles représentent,
- quelques espèces peu fréquentes peuvent avoir une grande abondance par périodes correspondant à un essaimage des larves (ex. les Balanes, les Annélides polychètes),
- d'autres espèces sont présentes toute l'année (caractérisant le site), mais avec une faible densité de population du milieu.

La dominance de certains taxons à chaque campagne a été mise en évidence par l'établissement de leurs pourcentages dans chaque échantillons. Une moyenne de ces pourcentages pour chaque taxon est calculée pour chaque campagne ; l'évolution de cette moyenne au cours des 12 campagnes permet d'indiquer l'importance des espèces au cours du cycle annuel (fig. 95). De plus, nous verrons ultérieurement qu'une grande variabilité peut exister au niveau de l'échantillonnage (voir résultat de la sortie expérimentale "drogue" de décembre à GRAVELINES). Il peut y avoir une incertitude sur la valeur du volume d'eau filtrée, mais la variation importante dans les mesures quantitatives du zooplancton vient essentiellement de la microdistribution du plancton lui-même et il n'est pas toujours facile de conclure à la significativité des différences quantitatives observées. Dans la zone que nous étudions, les forts courants et le brassage sont importants mais la répartition des organismes par taches ou "répartition agrégée" est la règle générale.

GRAVELINES (Fig. 95)





9.10/05/75

20/05/75

1/06/75

2/07/75

30/08/75

6/10/75

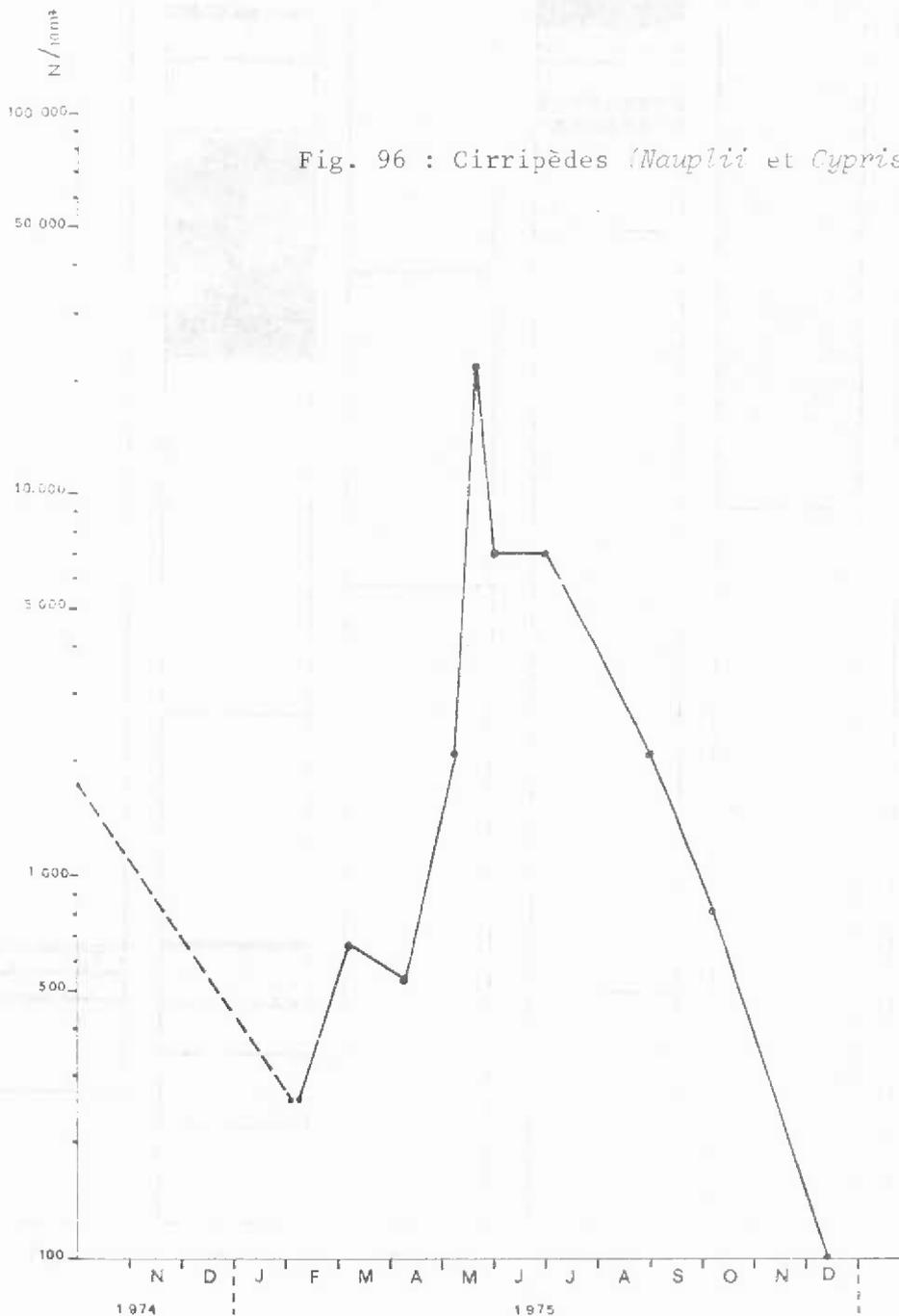
15/02/75

4.1.1 Le méroplancton

4.1.1.1 Larves de Cirripèdes (Balanes)

Les larves de Cirripèdes constituent un élément important du "fouling". Il faut en tenir compte dans la mesure où des surfaces dures, digues ou tuyaux peuvent être construites, ce qui peut représenter des problèmes techniques dans le cas particulier de prolifération de Balanes.

Plusieurs espèces différentes de Balanes ont leur maxima d'abondance à des époques différentes : *Balanus balanoides* émet ses larves en février et mars tandis que d'autres espèces sont responsables du pic d'été (fig. 96).



4.1.1.2. Larves d'Annélides

Les Annélides présentent une grande valeur alimentaire pour les Crustacés et les Poissons du fond.

On a dénombré 13 genres de larves d'Annélides dont 5 de la famille des Spionidés. La plupart de ces larves correspondent à des adultes vivant dans des zones sableuses, ce qui est le faciès prédominant dans la région de GRAVELINES, tant à la côte qu'au large. Il faut excepter les larves du genre *Polydora*, genre très important dont les adultes vivent dans des substrats durs. Une bonne part peut provenir des calcaires du Cap BLANC NEZ et des roches (argileuses) du GRIS NEZ. Les émissions de larves se font à la suite du réchauffement printanier, qui, de façon plus ou moins directe, agit sur la maturation sexuelle des adultes. Ceci est d'ailleurs valable pour la majeure partie du méroplancton.

La courbe représentative des variations saisonnières du nombre total des Annélides montre deux maxima : le premier en mars, l'autre plus fort à la fin du mois de mai. En fait, cette courbe suit le profil des variations de l'ensemble des larves de *Lanice* et de Spionidés réunies ; les larves des autres familles étant moins abondantes (Aphrodytidés, Néréidés, etc.).

Nous avons représenté sur la même figure les variations saisonnières du nombre total de larves d'Annélides et celles des larves de *Lanice* (fig. 97). Une autre figure détaillera les variations saisonnières de quelques larves de Spionidés les plus abondantes (fig. 98).

a) Lanice

Les larves de *Lanice* sont facilement reconnaissables ; logées dans un fourreau transparent ouvert aux extrémités, elle présente une bonne flottabilité, en même temps qu'une défense (relative) aux petits prédateurs. Ces larves sont bien adaptées à la vie planctonique et peuvent être disséminées très largement par les courants. Les adultes sont des Vers tubicoles qui peuplent tous les sables à tous les niveaux ; il s'agit d'une seule espèce pour ce genre : *L. conchilega*.

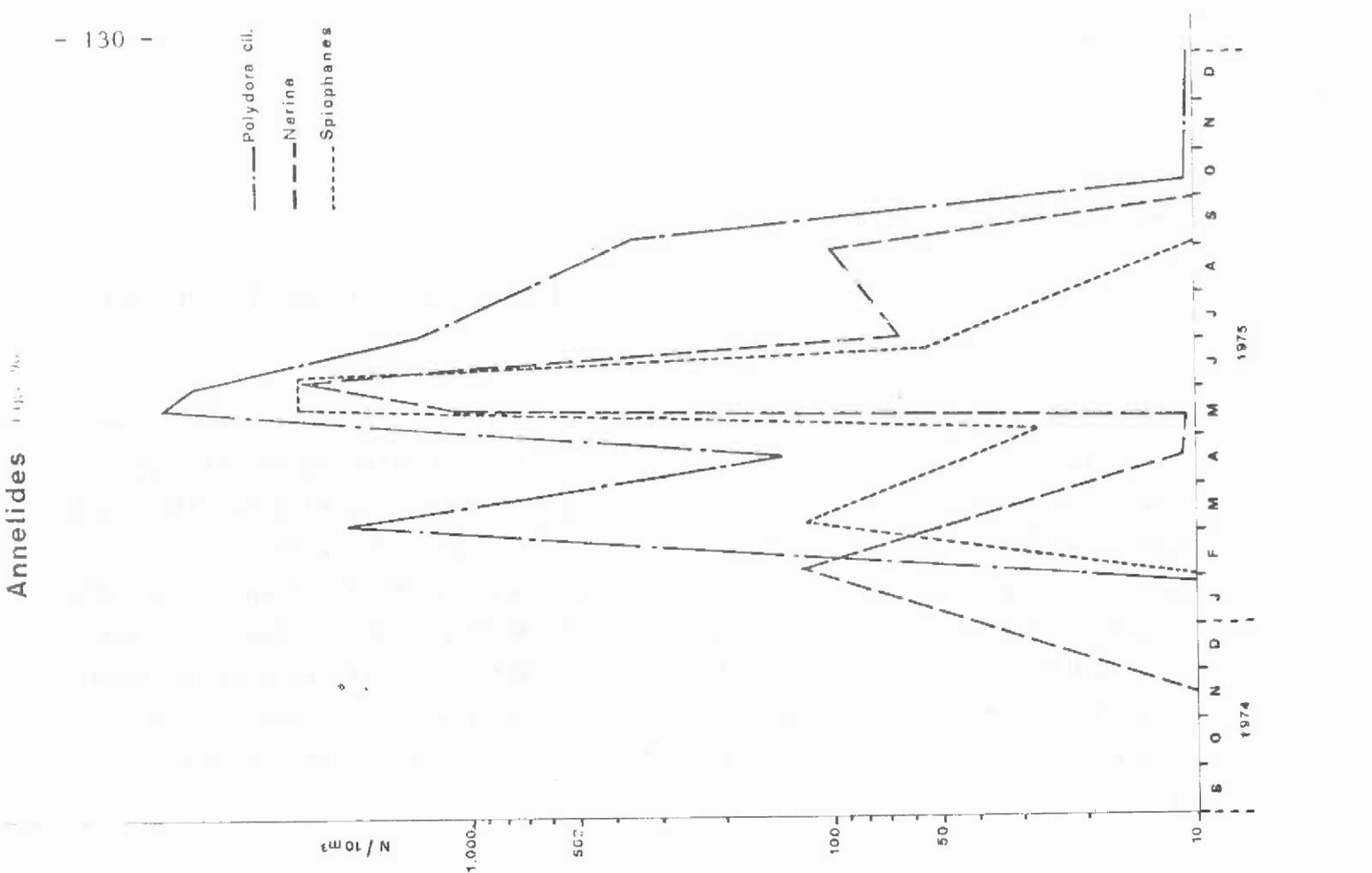
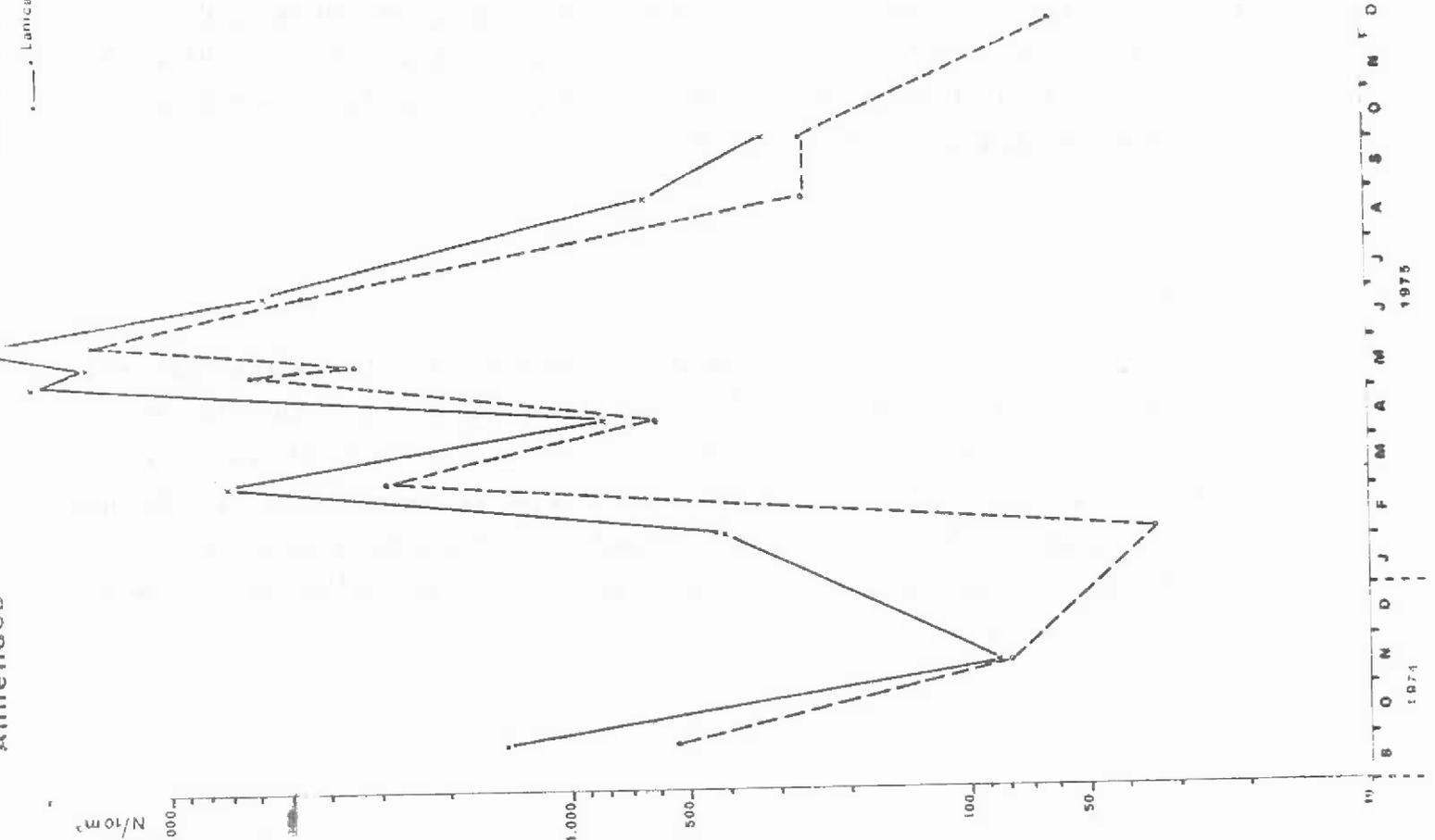
Annelides

Larvea conciliata

Annelides

19)

N/10m³



Les larves de *Lanice conchilega* sont bien représentées dans le plancton de GRAVELINES, avec une fréquence de 92 % dans les échantillons. On observe un premier pic d'abondance en mars, suivi de deux autres, l'un en mai, l'autre en juin. Les densités d'individus atteignent alors plus de 10.000/10 m³. On note une régression du nombre des larves à partir de l'été, mais durant l'automne et l'hiver, cette larve ne disparaît pas du milieu ; le minimum enregistré était de 60/10 m³ en février.

b) Les larves de Spionidés

Les larves de cette famille sont typiquement planctoniques, il s'agit de trochophores et de nectochètes armées de grandes soies qui leur assurent flottabilité et défense contre les petits prédateurs.

On a recensé à GRAVELINES des larves de Spionidés appartenant à 7 genres différents. Dans certains cas la détermination au niveau de l'espèce ne pose pas de difficultés.

- Polydora

Les larves de *Polydora* possèdent des chromatophores noirs (mélanine) très caractéristiques qui permettent un diagnostic de l'espèce malgré la conservation au formol. Nous avons différencié les larves de 4 espèces de *Polydora* soient : *P. ciliata*, *P. pulchra*, *P. caeca*, *P. ligni*. La plus abondante est l'espèce *P. ciliata* ; fréquente dans 52 % des échantillons, elle atteint des quantités importantes, soit 7.000 individus/10 m³ en mai lors du maximum d'abondance.

Outre un premier pic en mars, la courbe des variations saisonnières du nombre de ces larves montre une chute en avril, un très fort maximum en mai et une disparition progressive jusqu'en automne. A la différence des larves de *Lanice*, les larves de *Polydora* sont absentes en hiver.

La grande richesse en larves de *Polydora ciliata* correspond aux fortes densités d'adultes qui vivent dans les substrats durs ou les coquilles. Bien que

les rivages rocheux soient éloignés du site de GRAVELINES (GRIS NEZ, BLANC NEZ), on sait que les courants sont très forts et que le brassage de l'eau est important. Ainsi, on pourrait retrouver très loin des peuplements adultes les larves de *Polydora*.

- Nerine

Les larves de *Nerine* sont typiques et faciles à reconnaître, on ne peut cependant le rattacher qu'à un genre. Plusieurs larves de *Nerine* restent méconnues quant à l'espèce à laquelle elles appartiennent. De même, pour certaines espèces bien décrites au niveau des adultes, on n'a aucun document sur les stades larvaires (ces problèmes d'ordre systématique dépassent le cadre de ce travail).

On pense pouvoir rattacher les larves de *Nerine* aux trois espèces recensées dans la zone *N. foliosa*, *N. cirratulus*, *N. bonnieri*. Cette dernière, caractéristique de cette région de la Mer du Nord se trouve à sa limite Sud de répartition.

On observe l'apparition des larves de *Nerine* dès le mois de février, une chute a lieu en avril puis un fort maximum en juin ; ce profil est assez fréquent pour les individus méroplanctoniques. Dans les échantillons prélevés à une date donnée, on ne trouve que des larves d'un même stade : en février et mars il s'agit de trochophores très jeunes, en mai de nectochaetes déjà avancés. Le développement de larve de Spionidés se déroule en quelques semaines, elles cessent d'être planctoniques pour se fixer ; on ne peut attribuer à une ponte de mars des nectochètes de mai. Quoi qu'il en soit, les larves sont émises par "bloom" et une maille temporelle insuffisante laisse vraisemblablement des lacunes dans le cycle observé.

- Spiophanes

Cette larve, assez facile à déterminer (couleur des yeux, pigment jaune sur le pygidium) appartient à *Spiophanes bombyx* adulte, bien répandu dans les zones sableuses. Plus tardive que les précédentes, les larves n'apparaissent qu'en mai, sont abondantes en juillet, disparaissent en août.

c) Autres larves d'Annélides

Outre les larves citées ci-dessus, on trouve des larves de différents genres *Nephtys* et *Phyllodoce*, très printaniers, *Magelona* et *Spio* estivales. Les larves de *Spio* sont à rattacher à la seule espèce *S. filicornis*, abondant dans les sables à Ophiures des bancs de Flandres ; les adultes des trois autres genres sont bien représentés aussi dans les sables de la région. On connaît plus de cinq espèces de *Nephtys* et autant de *Phyllodoce*.

La plupart des larves d'Annélides sont des filtreurs de particules et des détritivores. Les Spionidés sont sans doute plus adaptés à l'ingérence de phytoplancton et les *Lanice* et les *Magelona* sont également carnassiers et peuvent en particulier absorber de grosses quantités de larves véligères, THORSON, (1946) cite dans les eaux danoises, une importante prédation des larves de bivalves due aux larves de *Magelona*.

Il est évident que les larves d'Annélides présentent d'abord un intérêt qualitatif comme étant le reflet d'une partie de la faune du fond, mais ont aussi une importance dans la chaîne alimentaire comme proies et comme prédateurs. Le bon développement des larves de vers assure le peuplement en adultes, lesquels représentent une part importante de la nourriture des divers poissons et crustacés.

4.1.1.3 Larves de Mollusques

Nous n'avons pas détaillé la détermination des larves véligères de Mollusques, mais séparé simplement celles de Bivalves et celles de Gastéropodes. Les larves de Bivalves sont fréquentes à 78 % et surtout nombreuses au printemps. On observe un premier pic d'abondance en mars et un second très important en été, le 2 juillet avec un maximum qui atteint plus de 7.000/10 m³. Ce chiffre est un chiffre moyen ; en fait, dans le détail on voit que l'abondance est très variable selon les différentes stations, elle a pu atteindre plus de 400.000 larves/10 m³ à la station 6. On observe, lors des maximums, une plus forte concentration près de la côte, et une dissémination vers le large. Les larves de Gastéropodes présentent

un maximum d'abondance en mai et une diminution du nombre en été. Les larves de Mollusques représentent une bonne part de la biomasse et sont une nourriture abondante pour beaucoup de larves (Annélides par exemple).

Dans la région on trouve beaucoup de Gastéropodes *Hydrobia*, mais les sables sont surtout très riches en bivalves et notamment en *Abra alba* (voir étude du benthos). Il existe aussi des Moulières près des digues.

N.B. : Les larves de Mollusques retiennent notre intérêt et seront étudiées de façon plus détaillée lors de la reconduction de GRAVELINES.

4.1.1.4 Larves d'Echinodermes

On trouve des larves d'Oursins, d'Ophiures et d'étoiles de mer ; ces dernières étant les plus nombreuses.

- larves d'étoiles de mer (Stellérides) : on les rencontre sous 2 formes différentes : les stades jeunes *Bipinnaria* et les plus âgées *Brachiolaria* jusqu'au printemps et en été. Le maximum (le 1er juin - 21.000/10 m³) correspond à des larves très avancées où l'étoile déjà formée est prête à coloniser le substrat.
- larves d'Ophiures : elles apparaissent en mai, abondent en juin et se maintiennent jusqu'en automne.
- larves d'Oursins et d'Holothuries : elles sont très rares dans nos échantillons.

On sait que étoiles de mer et Ophiures sont très largement représentées sur le littoral et les fonds, en outre, on sait que les bancs de sable du PAS DE CALAIS sont très peuplés en Ophiures et pourraient fournir une bonne part des contingents de larves.

4.1.1.5 Larves de Bryozoaires

Les larves de Bryozoaires fréquentes à 59 % dans nos échantillons ne sont jamais très abondantes. On peut rattacher ces larves au Bryzoaire le plus représenté dans la région : *Electra*.

La répartition dans l'espace de toutes ces catégories de larves du méroplancton montre une plus grande quantité à la côte et surtout dans la zone située entre la rivière et la digue, notamment aux stations 6 et 8.

4.1.1.6 Les Cnidaires

On a recensé des Hydroméduses et des larves de Cérianthaires.

Hydroméduses : on a déterminé 13 espèces de méduses d'Hydriaires ; certaines peuvent être issues de souches indigènes, d'autres peuvent être véhiculées à partir de régions lointaines.

Il faut noter que la correspondance entre ces individus et leurs Hydriaires de l'estran ou du benthos de la région peut être difficile. En effet, certains Hydriaires peuvent échapper à l'observation lors de récoltes suivant des radiales à l'estran, ou à partir de dragages, car ce sont parfois de minuscules polypes enfouis dans des éponges ou des coquilles.

De toutes façon, la région de plages et de fond sableux plus ou moins vaseux est peu propice aux Hydriaires à qui il ne reste que les digues ou les brise-lames pour s'implanter.

Les méduses les plus représentées dans le plancton de GRAVELINES lors de cette année sont en ordre d'abondance :

- . *Rathkea*
- . *Eucheilota*
- . *Hybocodon*
- . *Obelia*
- . *Ectopleura*

La figure 99 montre la courbe des variations saisonnières de l'ensemble des Cnidaires et détaille les variations saisonnières de 5 Hydroméduses. Cette courbe générale montre un pic en mars, exclusivement dû aux larves de Cérianthaires (voir ci-après), un second pic, le 10 mai dû à *Rathkea* et *Hybocodon*, puis une quantité notable jusqu'en automne (octobre). C'est à cette période que la diversité est la plus grande, on compte 8 espèces ; l'espèce *Eucheilota* est alors la plus représentée.

Hybocodon prolifer : cette espèce (fig. 102) nord-boréale est connue pour sa large répartition géographique. Elle s'étend jusqu'en Manche où elle atteint alors sa limite sud. Plusieurs séries d'études antérieures (KRAMP, 1927 ; AURICH, 1957 ; BODO, 1963) montrent pour cette espèce un comportement saisonnier très dépendant de la température bien typique, et presque identique, tant dans le Kattegat, qu'en Mer du Nord ou en Manche Occidentale. Soit, une apparition dès février, un pic très brutal au mois de mai et une disparition totale en été.

A GRAVELINES *Hybocodon* est présent dès l'hiver, le maximum d'individus est enregistré le 10 mai, puis on remarque une chute du nombre d'individus tout aussi spectaculaire que l'augmentation et une disparition totale en juin. Nous avons comparé la courbe des variations saisonnières d'*Hybocodon* avec la courbe des températures (fig. 100). On voit que la disparition de cette méduse correspond à la montée de la température, elle a lieu au moment où celle-ci passe de 10°C à 12°C, c'est-à-dire, en juin à GRAVELINES.

C'est presque la même courbe qui a été établie en 1963 à ROSCOFF (BODO, 1963) ; c'est là une espèce qui réagit directement aux conditions thermiques alors que la salinité ne semble pas beaucoup l'influencer. On peut dire d'après nos observations et diverses données de la bibliographie que si elle peut vivre dès 1° (AURICH, 1957) elle disparaît totalement au-delà de 14°.

On observe un léger gradient côte-large quant à la répartition de cette espèce, elle est plus abondante au large qu'à la côte. Il semble que peu de ces individus soient issus de souches indigènes. L'Hydrozoaire n'est pas recensé dans la région, et même s'il existe, et échappe certainement à l'observation (très petit, logé dans des éponges), on peut penser qu'il est peu abondant et que l'essentiel du contingent d'*Hybocodon* est issu de zones plus éloignées. Cette méduse, capable d'une intense multiplication par bourgeonnement peut occuper de grandes étendues pendant longtemps si les conditions de températures conviennent.

Fig. 99

Cnidaires

- total Cnidaires
- - - - Rathkea octopunctata
- · - · Hybocodon prolifer
- · - · Obélia sp.
- · - · Eucheilota maculata
- · - · Ectopleura dumortiei

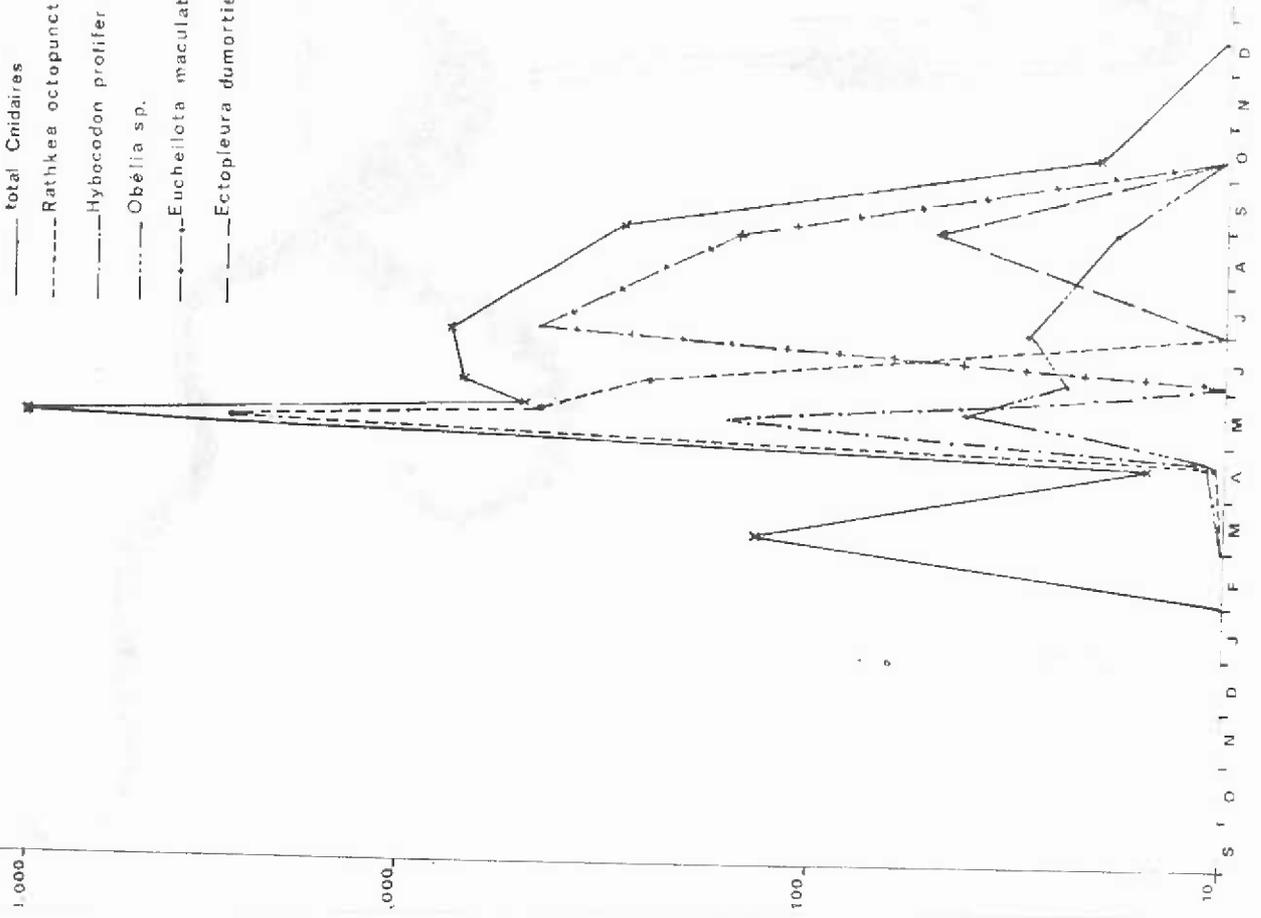
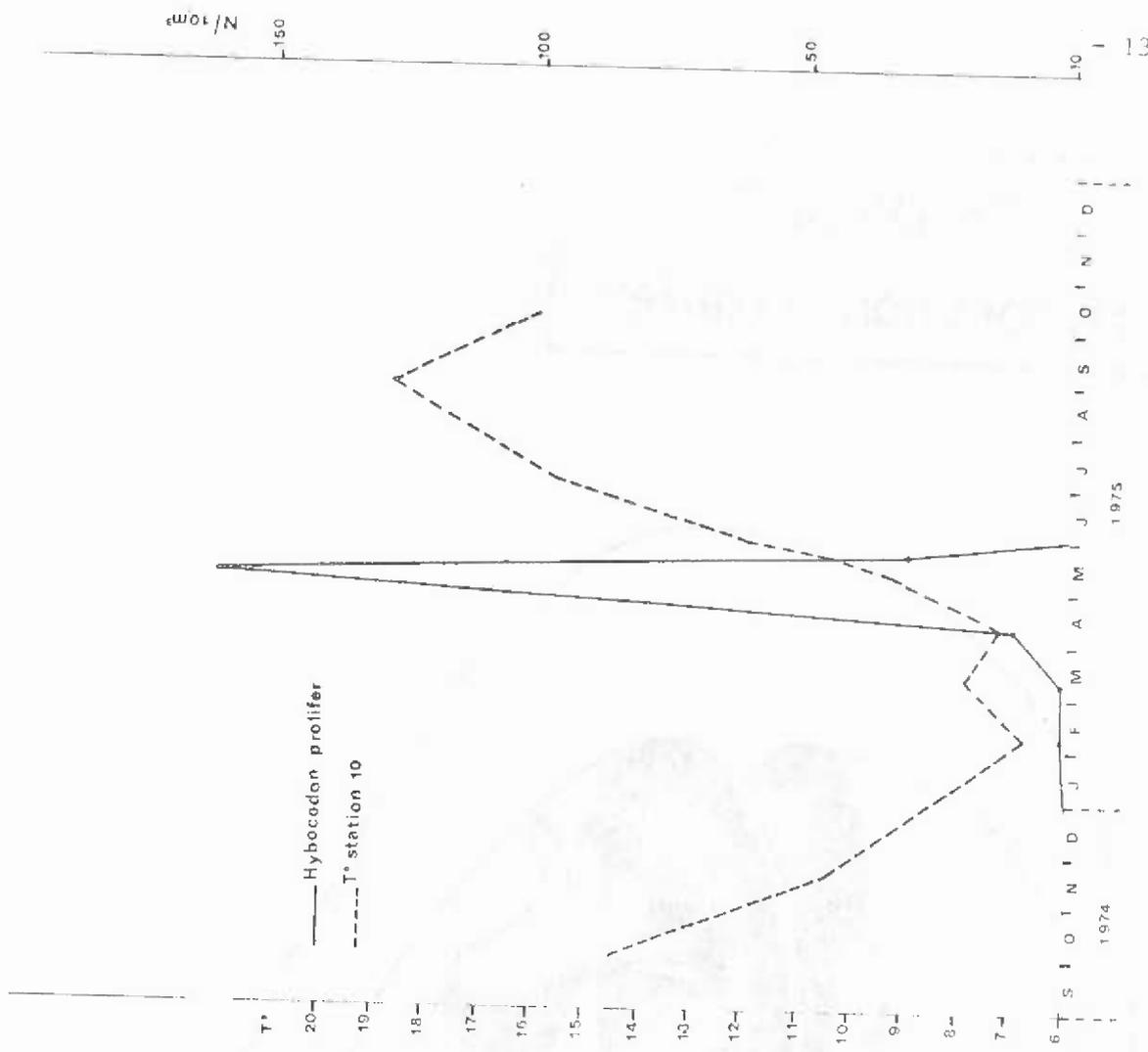


Fig. 100

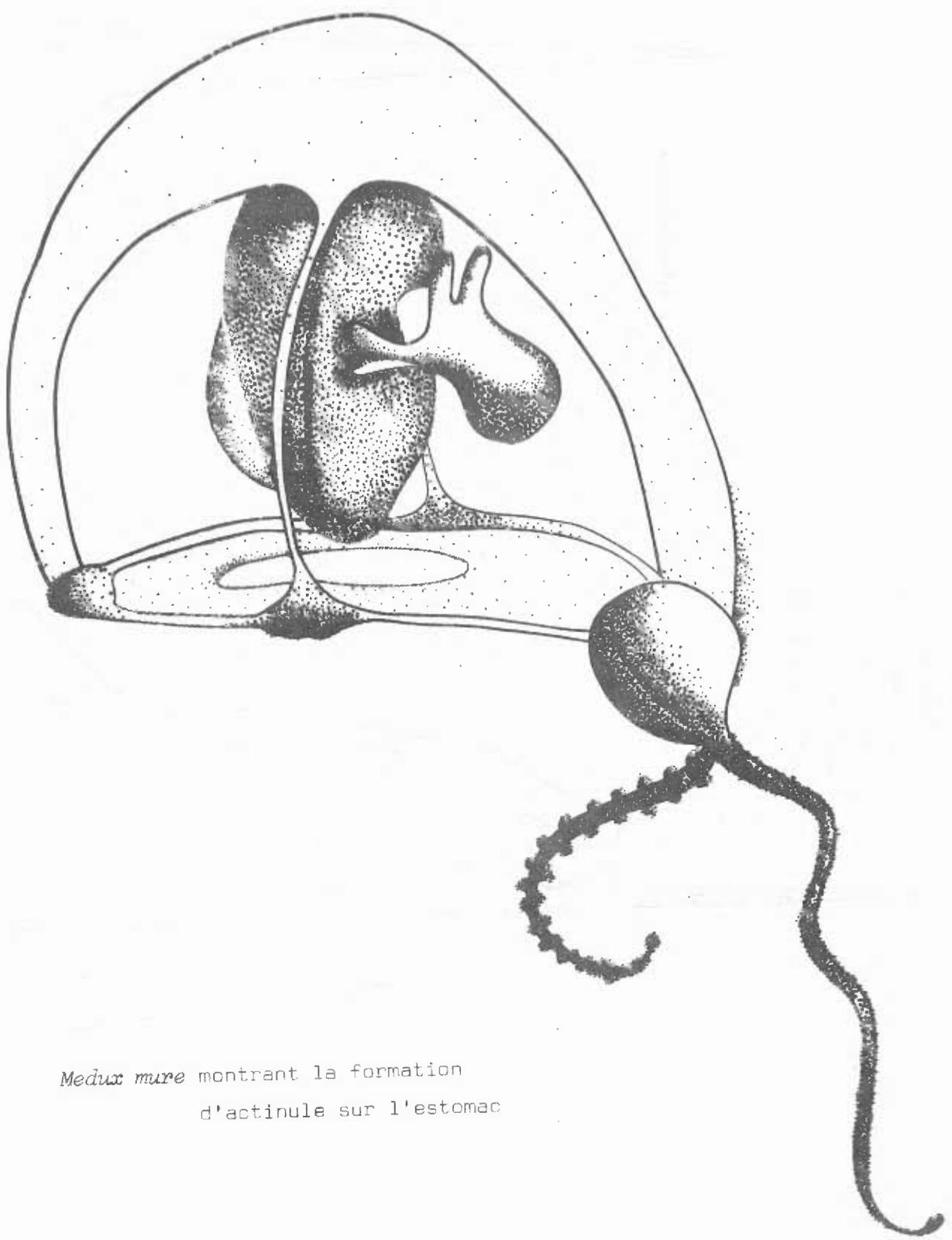
Cnidaires

- Hybocodon prolifer
- - - - T° station 10



CNIDAIRES
Hybocodon prolifer

Fig. 101



Medux mure montrant la formation
d'actinule sur l'estomac

2 mm.

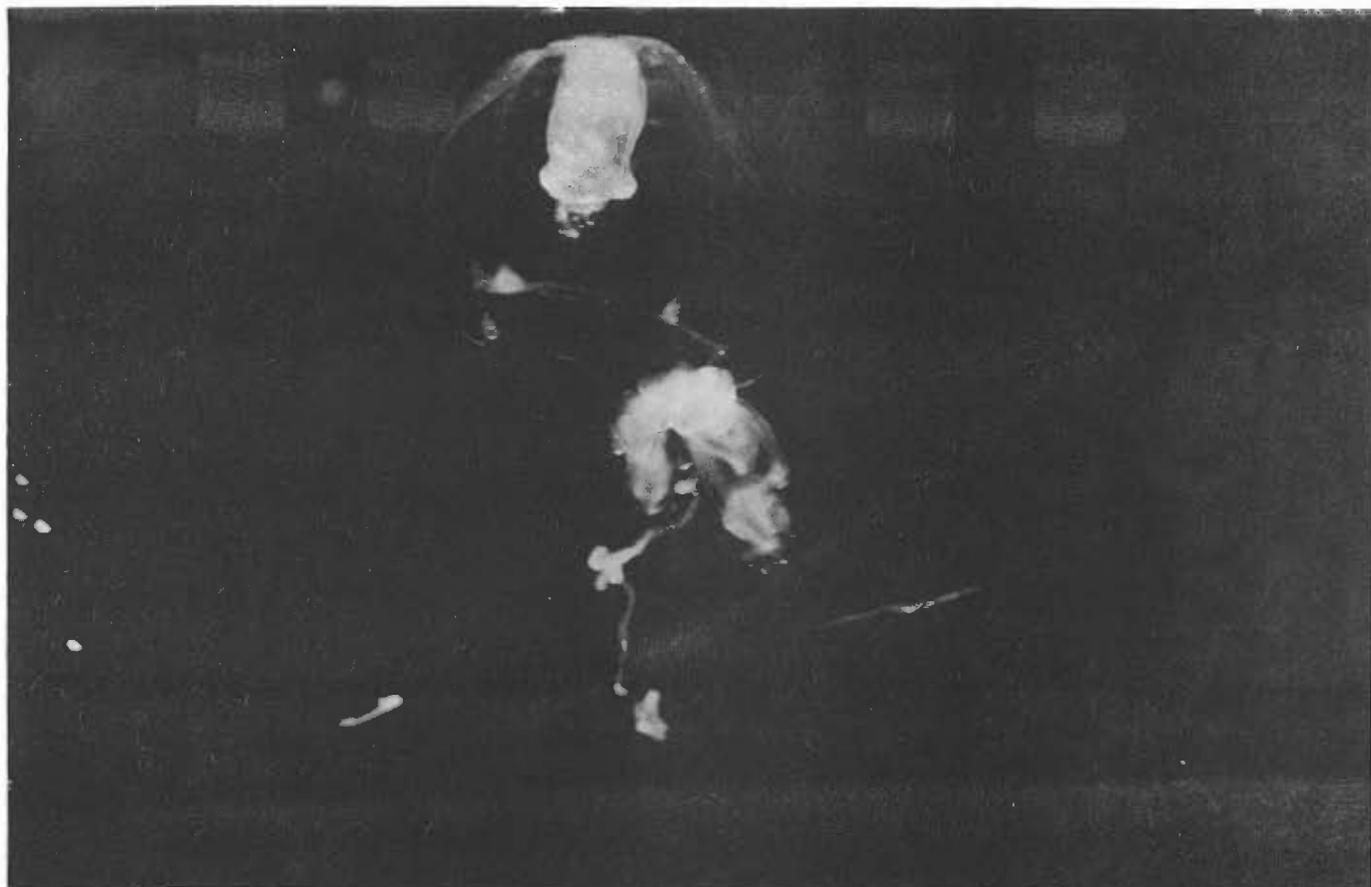


FIG. 102

Hybocodon prolifer (vu au binoculaire)

(photo G. LE FEVRE-LEHOERFF)

Rathkea octopunctata : il s'agit d'une très petite espèce côtière : fréquemment rencontrée dans les estuaires, elle supporte bien les variations de salinité. Le polype dont cette méduse est issue est particulièrement petit (sur les pierres ou les tubes des vers) et même peut échapper à l'observation à l'oeil nu. Bien que non recensé, nous pensons qu'il doit exister dans les blocs des brise-lames de la côte et au débouché de la rivière. Les méduses apparaissent au début de mai (pic de 3.000 individus/m³) et disparaissent en été.

Eucheilota maculata : méduse typiquement estivale, elle apparaît en juin et reste abondante en juillet et en août. Cette méduse peut atteindre une grande taille (1 cm de diamètre), mais il est certain qu'à cette taille, capable de nager activement, elle évite le filet WP₂.

Ectopleura dumortieri : alors que *Eucheilota* se rencontre dans des eaux de 12 à 19°, *Ectopleura*, elle, n'apparaît qu'en août à GRAVELINES, au moment où l'eau est la plus chaude et la salinité la plus élevée.

Obelia sp. et Phialidium hemisphaericum : ces deux méduses de la même famille sont les plus fréquentes (18 % et 11 %), mais restent toujours peu abondantes. Ceci est du à notre avis, pour une bonne part, à l'évitement du filet qui fait que l'on ne récolte que les formes juvéniles. D'autre part, il est vrai aussi que la faune de la région reste très pauvre en Hydraires. Ces deux méduses apparaissent au printemps et demeurent jusqu'en automne. Leur comportement saisonnier est à peu près le même dans la plupart des régions de la Manche et de la Mer du Nord elles sont très largement répandues et vraisemblablement assez indépendantes des conditions de milieu.

Phialidium hemisphaericum correspond au Polype *Clytia johnstoni* ; *Obelia sp.* aux trois espèces *O. longissima*, *O. dichotoma*, *O. geniculata*. On sait qu'aucun critère ne permet la différenciation spécifique de ces 3 souches.

Autres Hydroméduses : Outre ces 5 espèces principales, nous ne parlerons que de *Sarsia tubulosa* (les autres n'ont qu'un intérêt qualitatif, cf. liste faunistique).

Cette méduse est une espèce typiquement nordique, côtière, qui supporte bien la dessalure. Elle est présente jusqu'en Manche orientale, limite sud de sa répartition (RUSSEL, 1953).

Là aussi, on recueille très peu d'individus âgés (Evitement). On la trouve le 10 mai : 64/10 m³ à la station 2 et le 1er juin : 30/10 m³ à la station 11. C'est à ces dates que les salinités sont effectivement les plus basses (entre 30 et 31 ‰).

Le polype n'est pas connu dans le secteur et nous pensons que cette méduse, comme *Hybocodon* n'est pas indigène.

4.1.1.7 Les larves de Cnidaires

"*Cerimula*" : il s'agit de larves de Cérianthaires ; elles n'ont été observées qu'en mars et sont vraisemblablement issues des *Cerianthus lloydi* de la région, abondantes dans les zones sableuses.

"*Actinula*" : elles sont très rares. Stades larvaires typiques de la famille des Tubulariidés, elles peuvent être issues des méduses d'*Hybocodon* dont la maturation sexuelle a lieu en mai, ou de *Ectopleura*, mure en automne.

"*Ephyra*" : elles sont rares et sont vraisemblablement issues du Scyphozoaire *Aurelia* présent dans la région.

4.1.1.8 Conclusion à propos du méroplancton

On ne peut considérer avec la même optique le comportement saisonnier des individus méroplanctoniques et celui des animaux de l'holoplancton. En effet, larves diverses ou Hydroméduses sont émises dès le printemps, lors du premier réchauffement des eaux qui provoque la maturation sexuelle des divers animaux de la région. Une fois émises dans le milieu pélagique, elles se développent et survivent. Elles sont soumises aux conditions hydrologiques auxquelles elles ne sont pas liées comme le sont certains Copépodes, Chaetognathes ou Cténaïres.

Le cycle saisonnier du méroplancton suit souvent de très près celui de la température sous forme de pics successifs, depuis fin février jusqu'en automne, le maximum se situant fin mai. Rares sont les animaux qui se reproduisent entre septembre et février (*Scolecopsis fuliginosa*). Les Annélides sont les plus précoces (fin de l'hiver), ensuite, les Hydraires, Mollusques et Echinodermes se succèdent. Du point de vue spatial, pour l'ensemble du méroplancton, on note une plus forte densité à la côte et souvent une accumulation spectaculaire au point situé entre l'Aa et la digue.

4.1.2 l'holoplancton

Le plancton "permanent" ou holoplancton reflète bien l'évolution hydrologique et hydrodynamique de la région, zone de forts courants et soumise à une forte turbulence. Il n'a pas paru indispensable de distinguer la distribution verticale des organismes et leurs densités aux différents niveaux, la stratification de l'eau étant faible ou nulle dans les conditions actuelles. Cependant, si par suite d'un réchauffement artificiel des eaux cette stratification se développait il serait souhaitable alors d'envisager une étude plus fine par niveau. Pour l'instant au contraire nous nous sommes attachés à dégager :

- les caractères de la distribution horizontale des principales espèces et leurs liaisons avec les facteurs du milieu (températures, salinités, courants de marée) (volume III).
- les périodes de reproduction, les successions d'espèces au cours du cycle annuel, leur dominance et leur valeur alimentaire dans la série trophique du milieu étudié. Nous verrons successivement le rôle des Crustacés (Copépodes, Cladocères, Mysidacés) pélagiques, des Appendiculaires (*Oikopleura dioica*) et des Chaetognathes qui correspondent à des maillons différents de la chaîne alimentaire.

4.1.2.1 Les Copépodes

Ce sont les Crustacés holoplanctoniques de petite taille (200 μ à 1 cm) qui constituent le groupe le plus abondant du plancton recueilli. Leur nombre total peut atteindre, à GRAVELINES, jusqu'à 350.000 individus pour

10 m³ d'eau au mois de juin (moyenne sur toute la campagne) (fig. 121). C'est la principale source de protéines pour l'ichtyoplancton et les carnivores pélagiques en général. La très grande majorité des Copépodes côtiers rencontrés sont herbivores. Leur multiplication et la croissance des populations suivent les poussées phytoplanctoniques printanière et automnale (fig. 120 et 121). Les femelles des Copépodes peuvent porter leurs oeufs, c'est le cas de *Pseudocalanus*, *Oncaea* et *Euterpina*. Pour ces espèces nous avons noté le nombre de femelles ovigères. Au contraire, d'autres Copépodes ne portent pas leurs oeufs, mais les essaient. C'est le cas du Copépode très abondant à GRAVELINES : *Temora longicornis*. Pour cette espèce nous étudions la reproduction en notant les stades juvéniles ou "copépodites" et la proportion des différents stades (5 stades juvéniles, 1 stade adulte) dans les échantillons.

4.1.2.1.1 Pourcentages des Copépodes dans les échantillons

Pour chaque mission, le pourcentage moyen des Copépodes a été calculé, ainsi que le pourcentage de la somme des 6 espèces principales : *Temora longicornis*, *Centropages hamatus*, *Acartia clausi*, *Pseudocalanus minutus*, *Paracalanus parvus*, *Euterpina acutifrons*. Nous avons noté les résultats ci-dessous :

Dates	% de la somme des Copépodes	% de \sum_1^6 de 6 Copépodes
29/09/74	93,53	91,06
17/11/74	66,92	65,86
2+9/02/75	74,12	61,46
08/03/75	65,17	63,10
13+19/04/75	83,47	80,45
9+10/05/75	75,75	50,07
20/05/75	86,95	86,50
1/06/75	79,28	78,13
2/07/75	68,65	67,23
30/08/75	80,36	73,51
2/10/75	48,38	28,47
15/12/75	89,40	75,41

Nous constatons immédiatement que, à part quelques exceptions, la somme de 6 espèces représente une part importante du total. Le cycle saisonnier de ces 6 espèces a été suivi de septembre 74 à décembre 75.

4.1.2.1.2 Variations saisonnières des espèces principales

Six espèces de Copépodes ont été étudiées particulièrement et leurs variations saisonnières précisées (fig. 106 à 118). Ces 6 espèces peuvent représenter jusqu'à 90 % des récoltes, selon la saison. Ce sont :

- . *Temora longicornis*
- . *Centropages hamatus*
- . *Acartia clausi*
- . *Pseudocalanus minutus*
- . *Paracalanus parvus*
- . *Euterpina acutifrons*

a) *Temora longicornis* (fig. 103)

C'est une espèce dominante des zones néritiques tempérées froides. Le régime alimentaire est varié, *Temora longicornis* serait omnivore et sa nourriture se composerait de Diatomées et de petits Copépodes, d'après certains auteurs (LEBOUR, 1922). Cette espèce représente la fraction la plus importante d'un plancton d'été (fig. 104 à 105).

A GRAVELINES, il est supplanté en septembre 74 et novembre 74 par *Euterpina acutifrons*, mais sa dominance se manifeste à partir de février. Sa reproduction se poursuit pendant toute la période printanière. Le maximum d'abondance se produit en juin (fig. 104) et de février à juin *Temora* est le Copépode présentant le plus fort pourcentage dans les échantillons (en juin il peut atteindre des concentrations de 10^6 individus pour 10 m^3). Il reste toujours abondant jusqu'à l'automne, mais progressivement, dans la deuxième partie du cycle (juin - décembre), il peut se trouver supplanté par d'autres espèces.

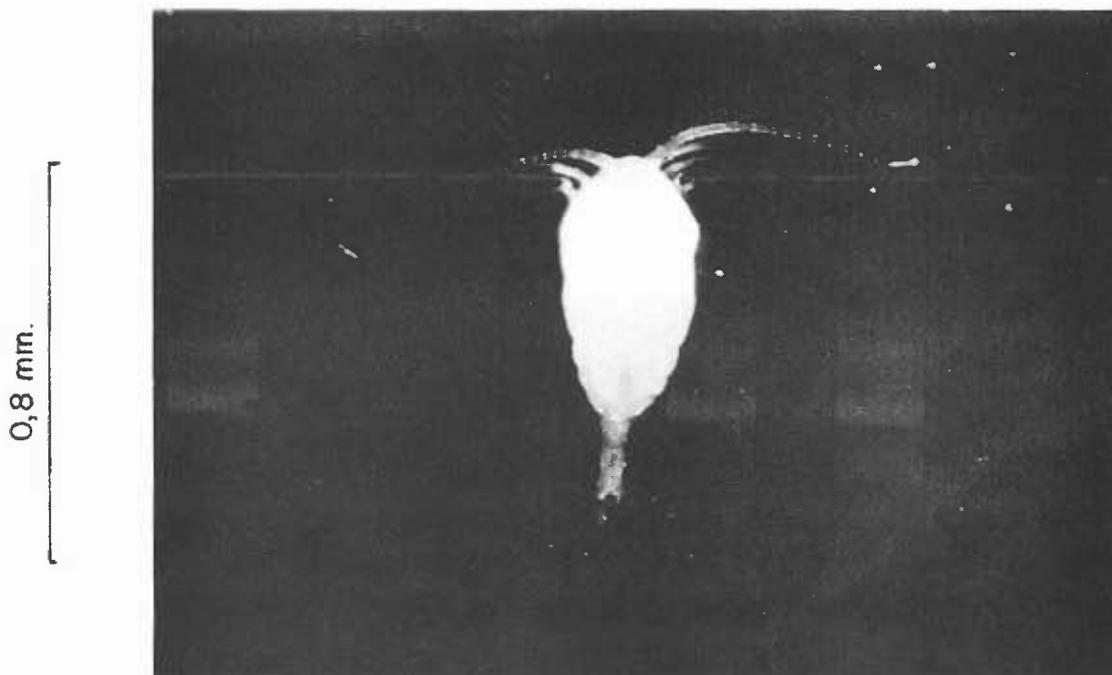


FIG. 103

Temora longicornis (vu au binoculaire)

(photo G. LE FEVRE-LEHOERFF)

Reproduction de *Temora longicornis*

Afin de déterminer avec précision les périodes de reproduction de *Temora* les Copépodites ont été triés et comptés.

La récolte des formes juvéniles a été effectuée avec un filet WP₂ dont la maille temporelle (80 μ) retenait les jeunes stades. Nous avons entrepris une estimation des stades larvaires de ce Copépode en prélevant dans chaque échantillon les 50 ou 100 premiers individus rencontrés au cours d'un comptage. Les proportions des stades larvaires ont été estimées sur ces spécimens, à savoir 5 stades larvaires C1 à C5 et un stade adulte C6 ♀ et C6 ♂ (CORKETT, 1965). Les résultats sont connus sous 2 formes :

- les proportions des stades copépodites dans les échantillons (fig. 106 et 107),
- le nombre par 10 m³ d'eau de ces mêmes stades.

Fig. 104

Nombre total d'individus

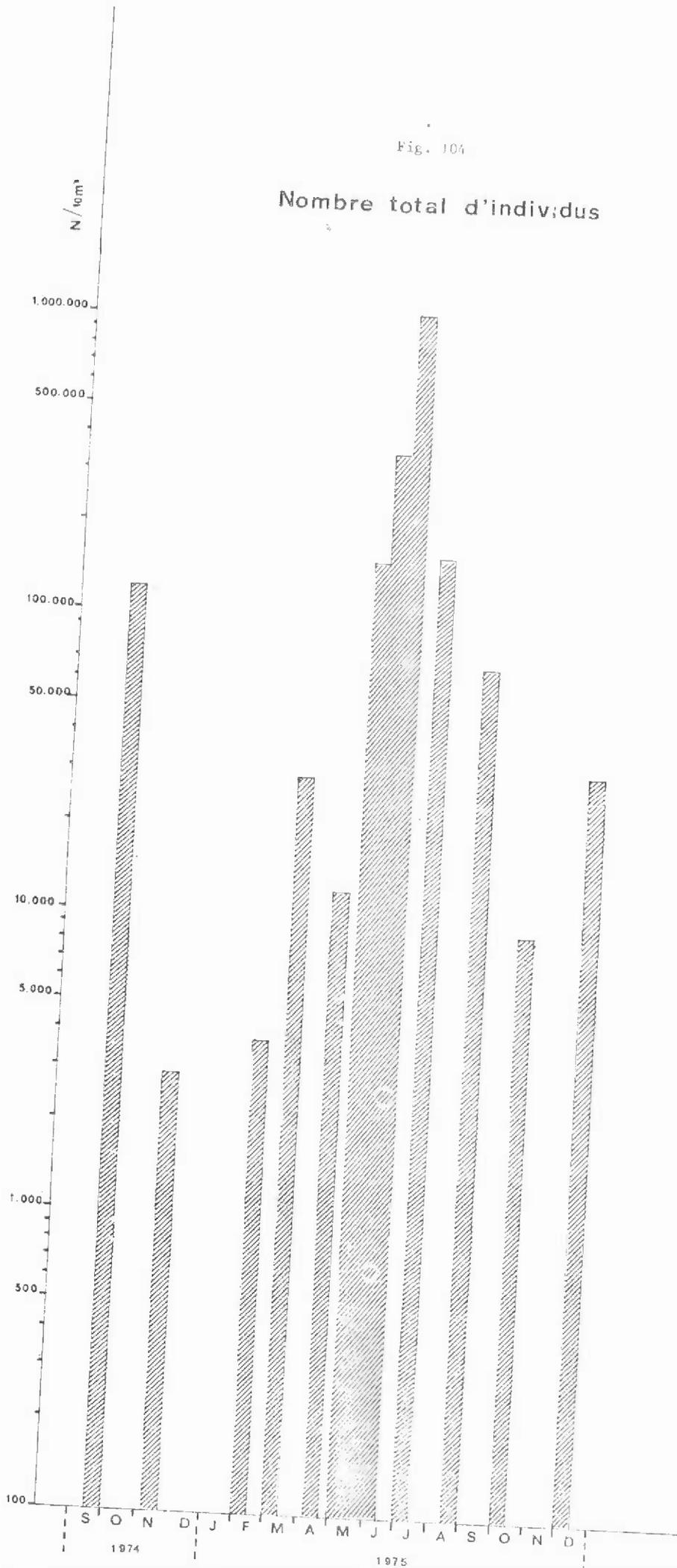
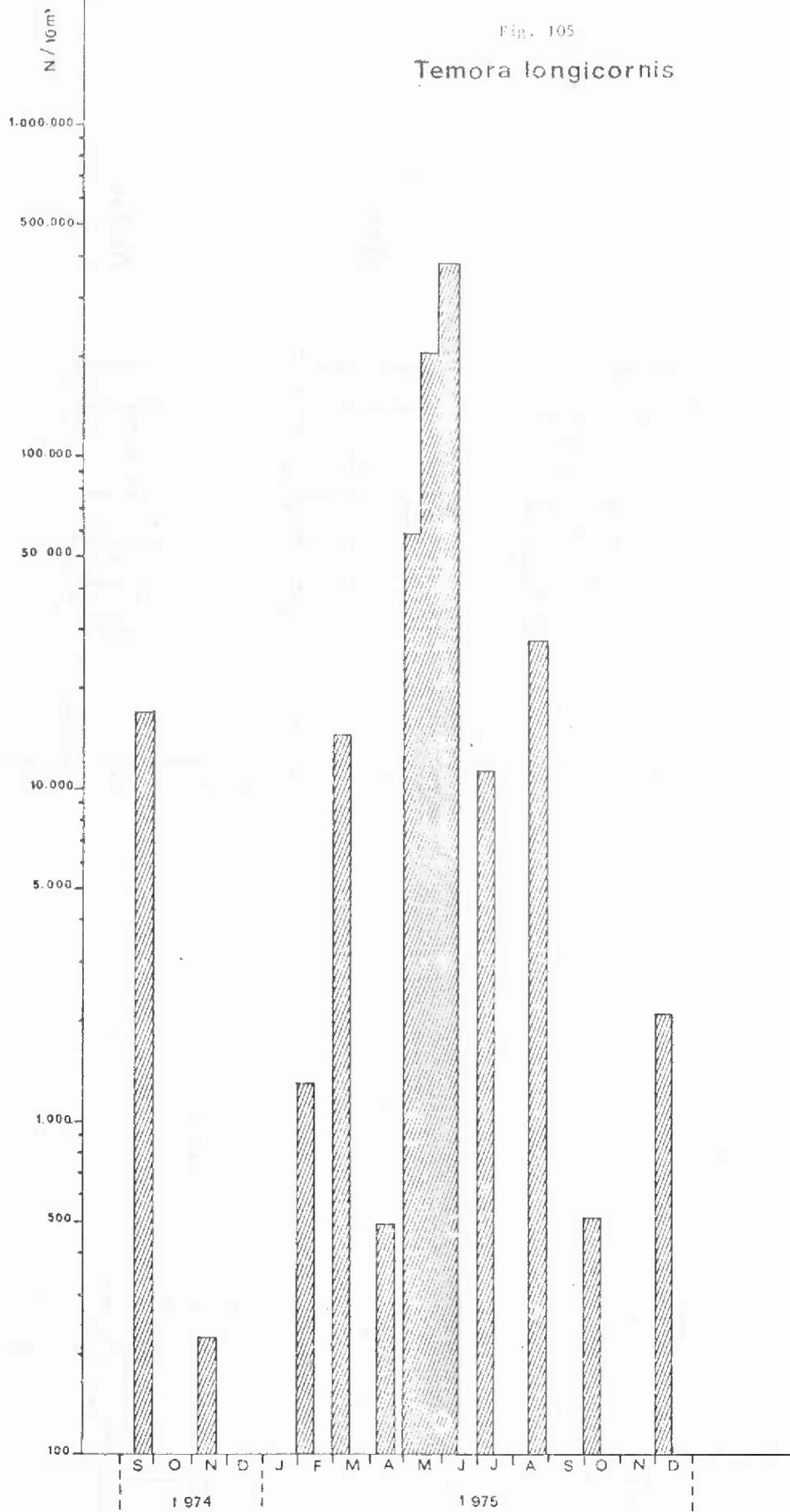


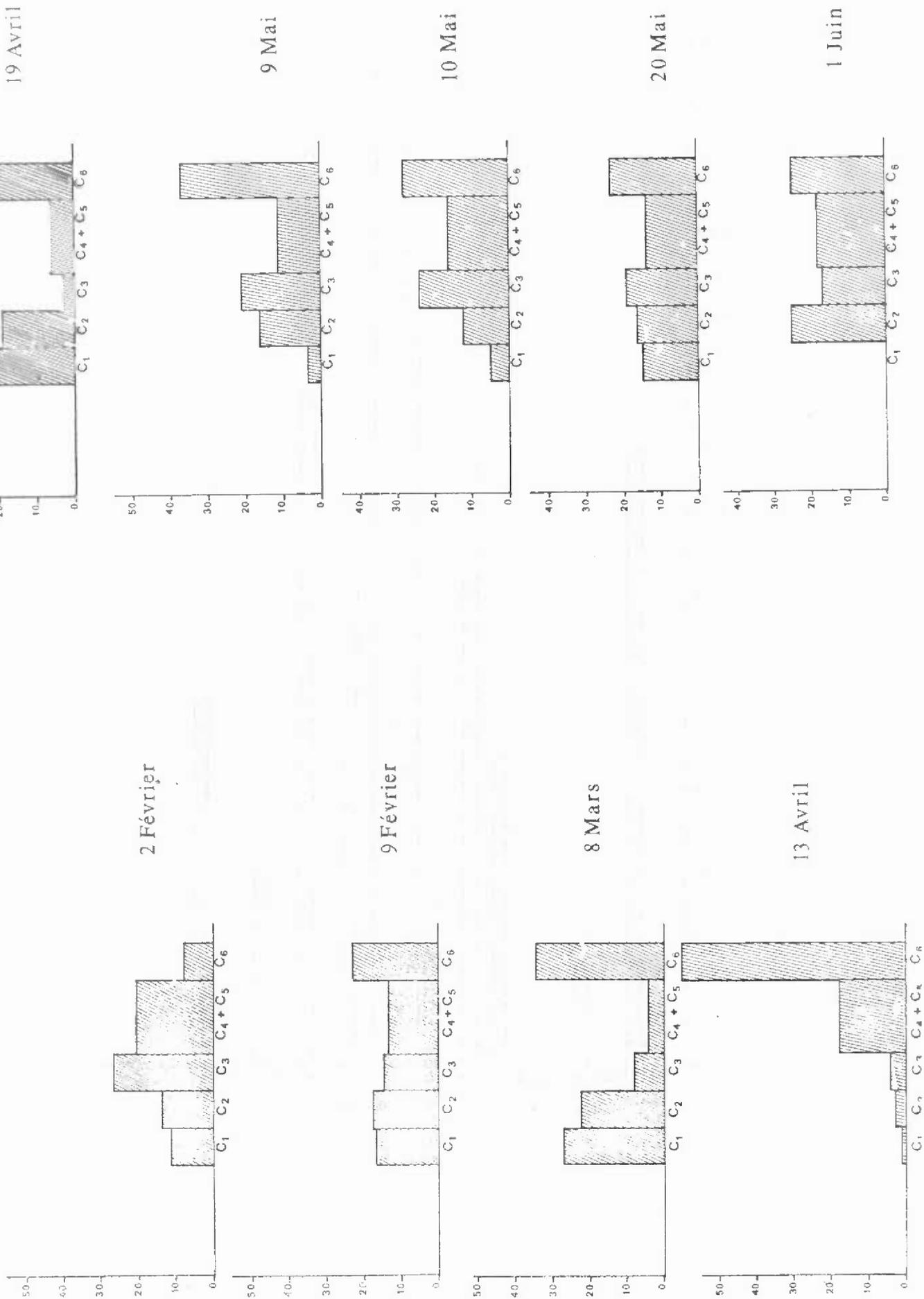
Fig. 105

Temora longicornis



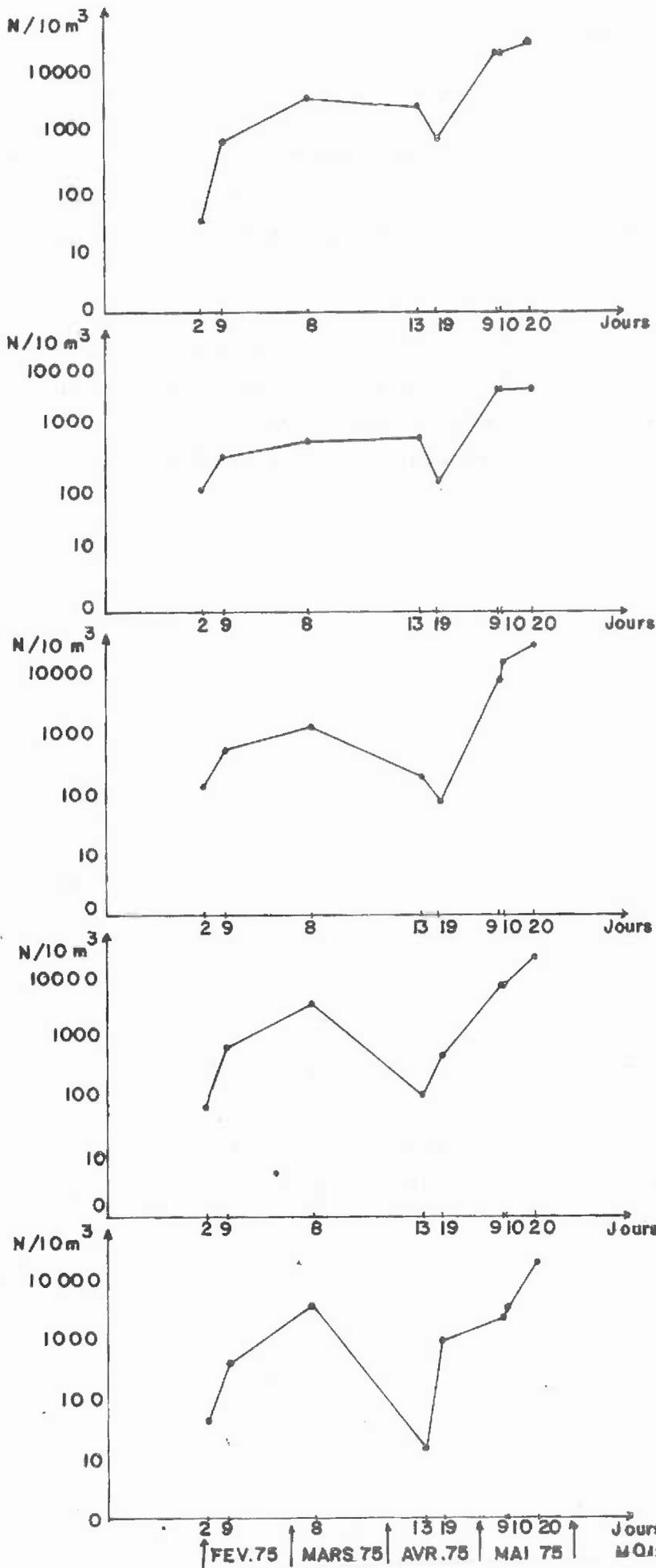
Temora longicornis Fig. 106
 Pourcentage des différents copepodites
 (moyenne par mission)

Fig. 107



TEMORA longicornis

N = nombre d'individus



C₆

$$\frac{C_4 + C_5}{2}$$

C₃

C₂

C₁

Nous avons distingué plusieurs classes de tailles : C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , + C_5 , C_6 ♀ et C_6 ♂, c'est-à-dire que nous avons ici totalisé les stades C_4 et C_5 pour des raisons pratiques.

Les cycles de reproduction ont été bien suivis de février à juin 75, mais il n'a pas été possible de compléter une estimation du nombre total de générations pour l'année 1975. La maille temporelle d'échantillonnage a été beaucoup trop lâche après la mission du 1er juin.

Le plus souvent, les 15 points du site n'ont pas été échantillonnés dans la même journée. Aussi, nous avons mis à profit ce qui était un inconvénient pour établir la distribution horizontale de l'espèce et nous avons distingué les mailles temporelles suivantes correspondant chacune à une "mission" :

- 1° les échantillons du 2 février
- 2° les échantillons du 9 février
- 3° les échantillons du 8 mars
- 4° les échantillons du 13 avril
- 5° les échantillons du 19 avril
- 6° les échantillons du 9 mai
- 7° les échantillons du 10 mai
- 8° les échantillons du 20 mai
- 9° les échantillons du 1er juin

Quelques résultats sont disponibles pour cette période

Variations saisonnières

Nous avons représenté pour chaque mission la répartition moyenne (moyenne de tous les prélèvements aux différentes stations) des stades C_1 à C_6 . On observe (fig. 106) que le 2 février la classe C_3 est la plus abondante et une évolution au cours des mois avec augmentation des stades adultes jusqu'au 13 avril (tableau A).

STADES COPEPODITES DE *TEMORA LONGICORNIS* (% moyen par mission)

Copépodites Mission	C ₁ 1 classe	C ₂ 1 classe	C ₃ 1 classe	C ₄ + C ₅ 2 classes	$\frac{C_4 + C_5}{2}$	C ₆ ♂	C ₆ ♀	C ₆ total 1 classe
2 février	11.58	13.36	26.25	41.34	20.67	4.41	3.06	7.47
9 février	16.92	17.90	14.81	26.85	13.43	9.63	10.89	23.52
8 mars	27.26	22.36	8.24	8.33	4.17	13.98	19.83	33.81
13 avril	0.65	2.13	2.75	35.15	17.57	22.45	36.86	59.31
19 avril	35.82	18.98	3.19	12.68	6.34	2.46	26.89	29.35
9 mai	3.62	16.36	20.69	21.96	10.98	13.96	23.41	37.37
10 mai	4.60	11.77	23.90	23.00	16.00	9.91	17.84	27.75
20 mai	14.90	15.65	19.10	27.44	13.72			22.73
1er juin	0	25.00	16.67	35.42	17.71	6.25	18.75	25.00

Tableau A

Puis, entre le 13 et le 19 avril nous voyons apparaître une très grande quantité de jeunes stades C_1 . Le 13 avril la proportion des femelles adultes dans les échantillons et plus généralement des stades C_6 (moyenne 59,31 %) est très élevée. Cette période correspond à une période de ponte. Les deux missions (13 et 19 avril) ont permis de mettre cette reproduction en évidence.

Pour les missions des 9 et 10 mai, deux stocks de femelles mures ont été remarqués. Le premier stock est constitué de femelles mures de grande taille, le deuxième, de femelles mures de petite taille. Nous interprétons cette simultanéité comme suit : les femelles qui ont passé l'hiver et sont nées en automne ont pondu fin janvier et ont produit les C_1 de février. Elles pondent pour la deuxième fois début mai, tandis que les femelles nées de la ponte fin janvier pondent pour la première fois début mai. Les femelles ayant grandi pendant l'hiver (1er stock) sont les grandes femelles tandis que celles nées fin janvier qui ont grandi au printemps sont plus petites (croissance accélérée par élévation de température).

Nous avons représenté sur la figure 108 les variations annuelles du nombre des différents stades (exprimé en nombre par 10 m^3). Nous remarquons le décalage des courbes des différents stades.

Répartition des différents stades selon les stations (fig. 109 à 113)

Pour chaque mission la proportion des différents stades a été calculée en plusieurs stations. L'interprétation des histogrammes n'est pas simple et les différents stades entre les points ne sont pas toujours interprétables, quelques remarques cependant peuvent être faites :

- le 2 février les stations sont équivalentes et le maximum de stades C_3 se note en tous les points,
- le 8 mars les stations semblent équivalentes et une homogénéité se dégage sur toute la zone où la station est inverse de celle du 2 février, les stades C_6 et C_1 formant 2 maxima.

Fig. 110

8 mars 1975

B 9 février 1975

Fig. 109

A 2 février 1975

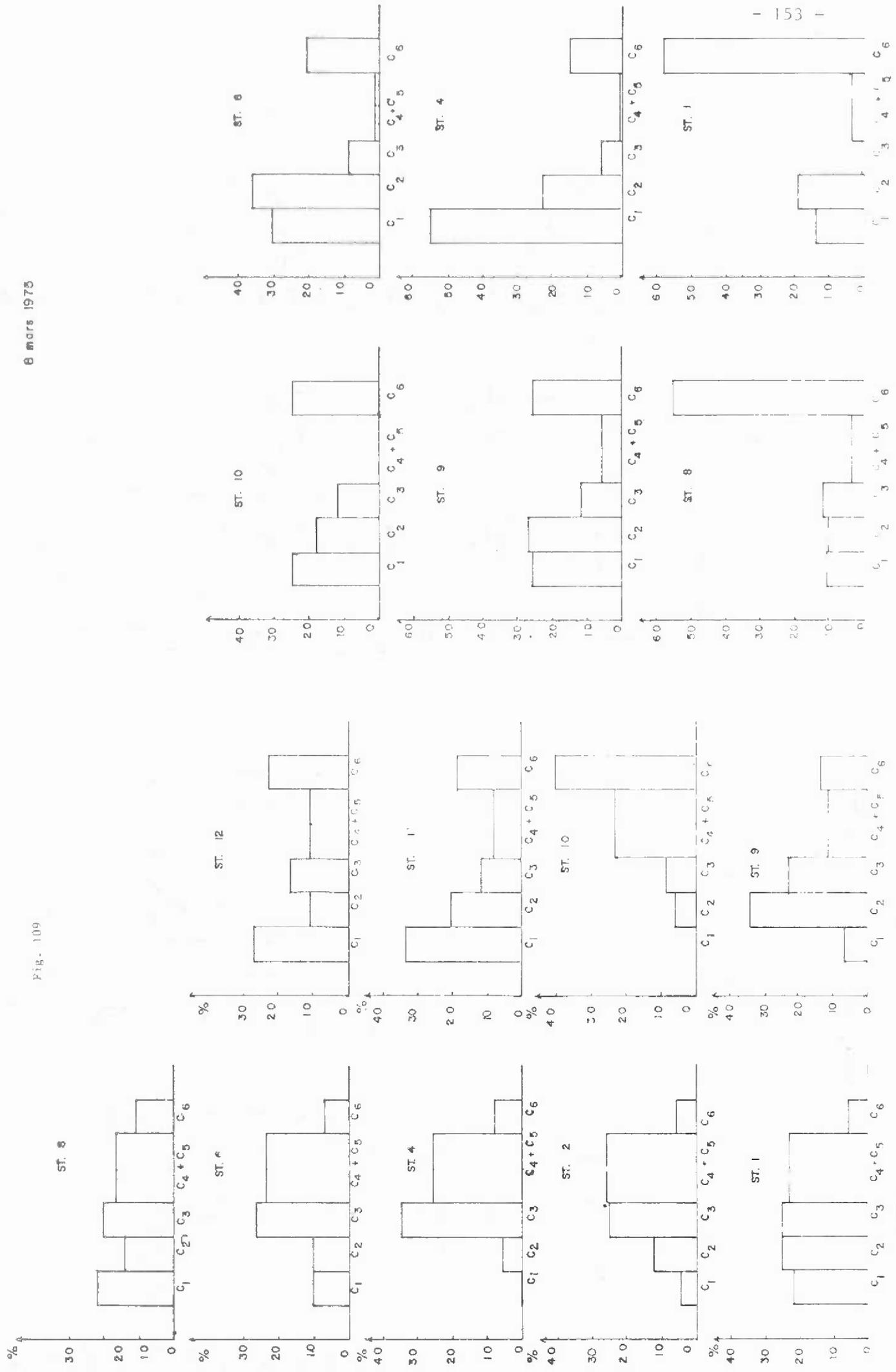
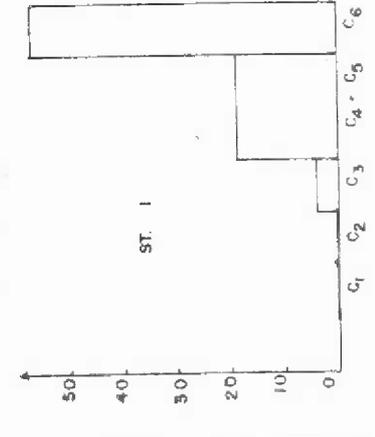
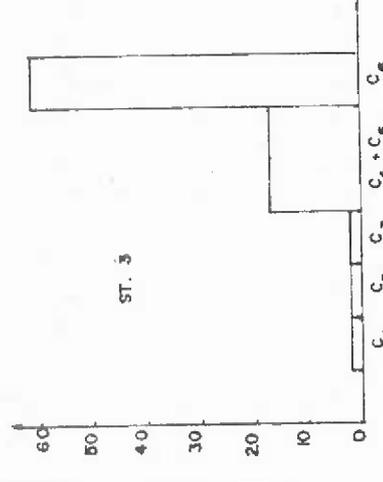
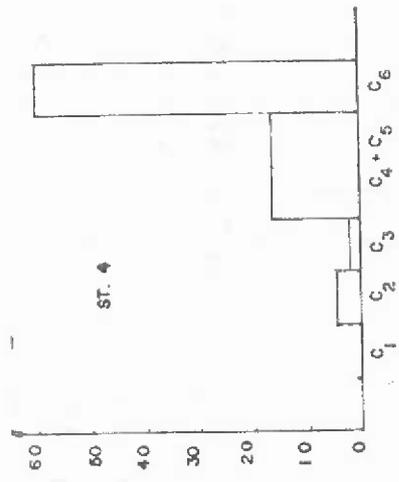


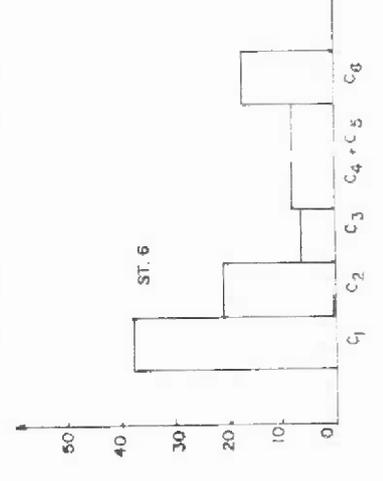
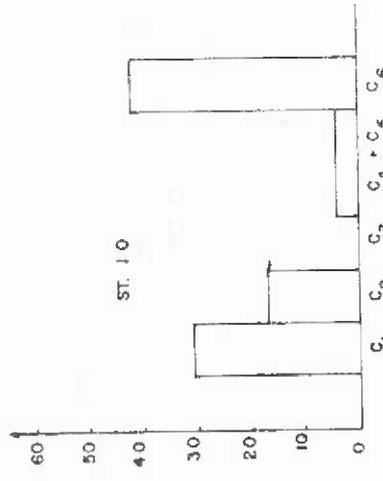
Fig. 112

Fig. 111

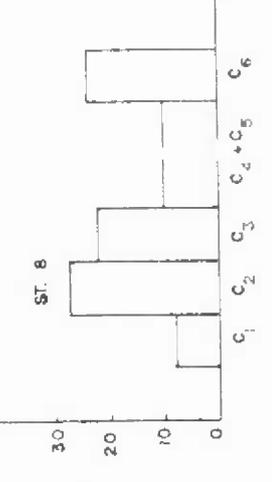
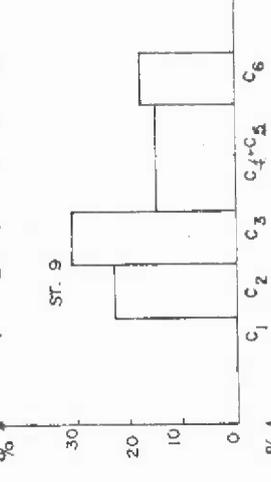
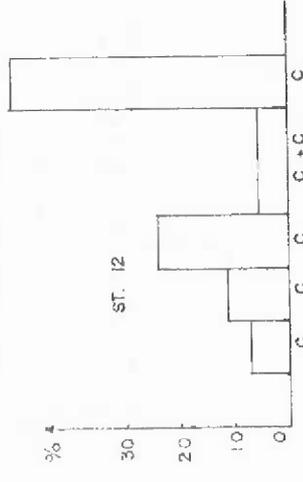
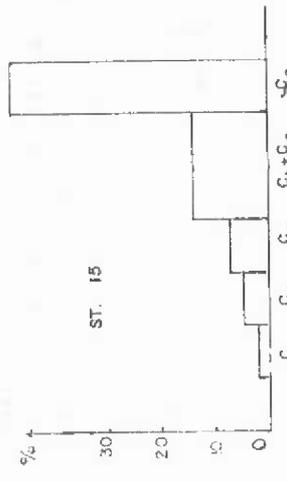
A 13 avril 1975



B 19 avril 1975



A 9 mai 1975



B 10 mai 1975

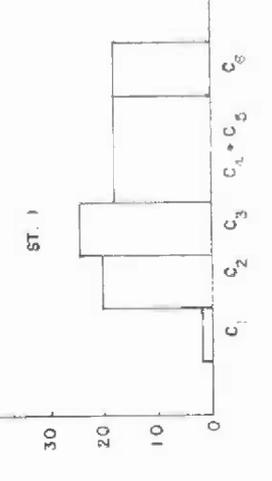
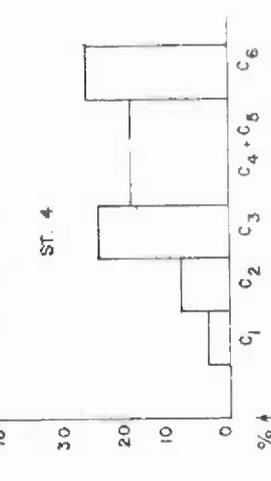
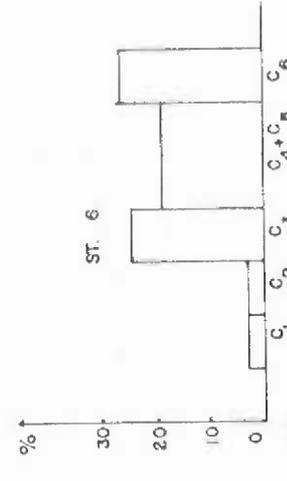
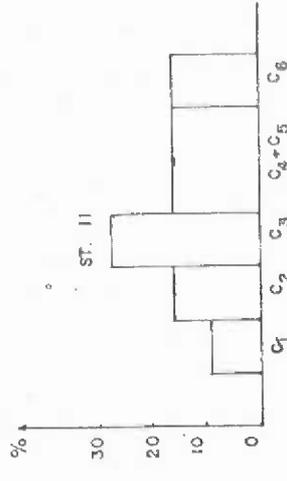
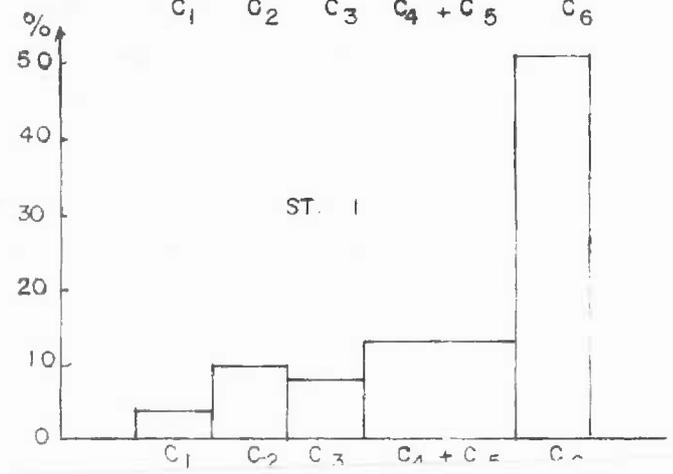
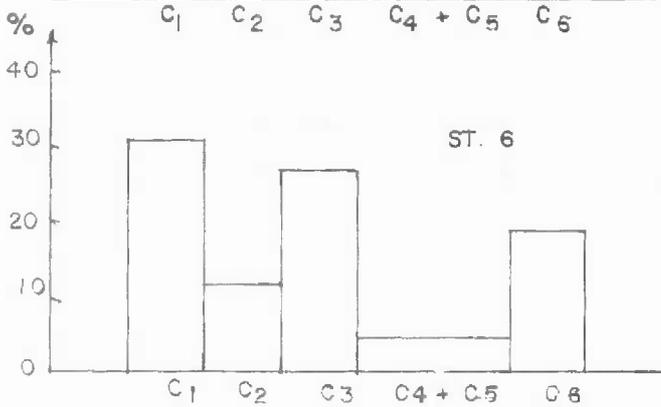
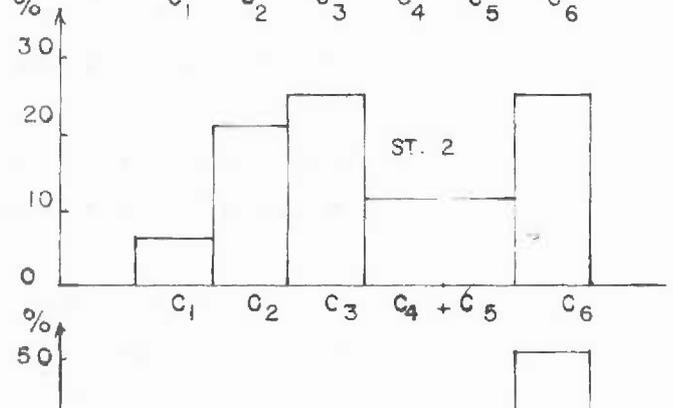
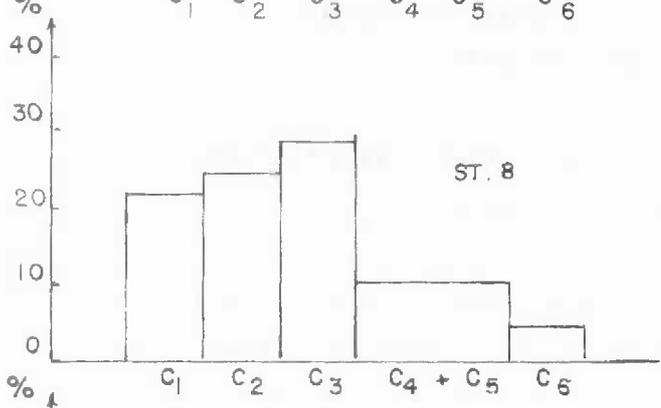
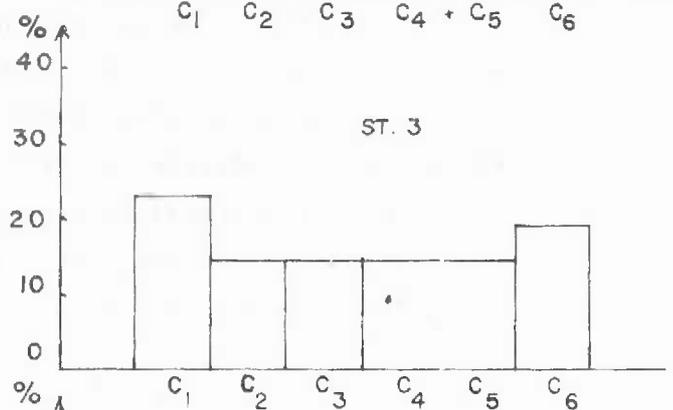
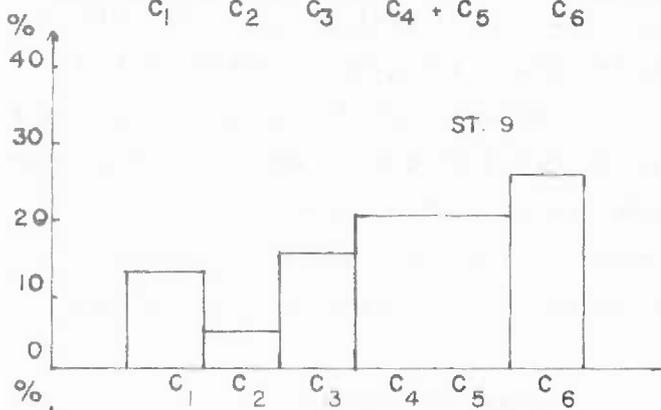
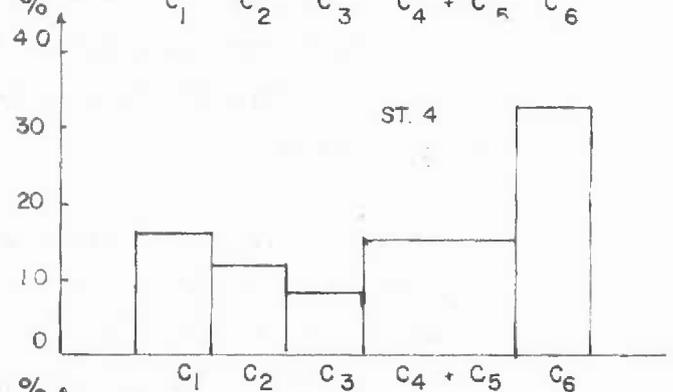
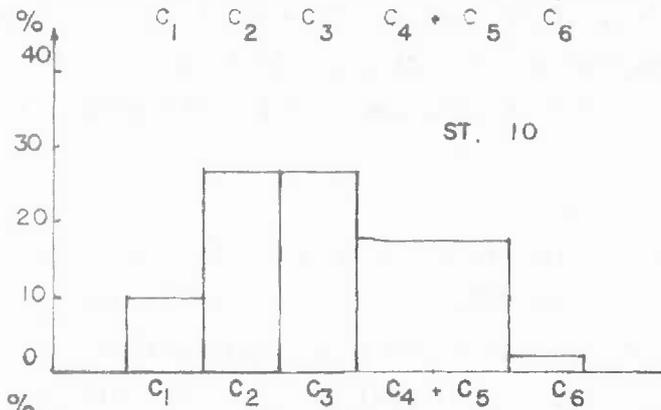
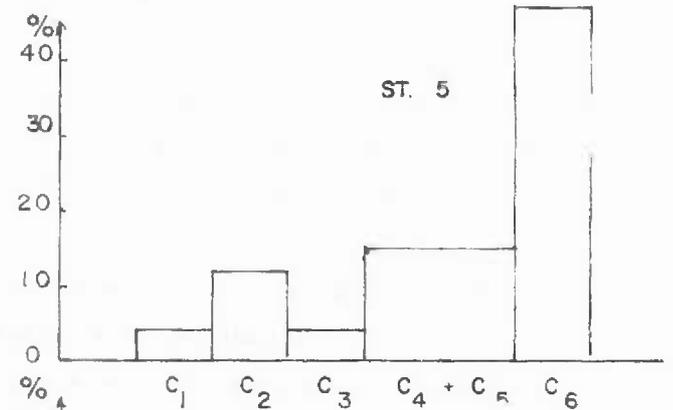
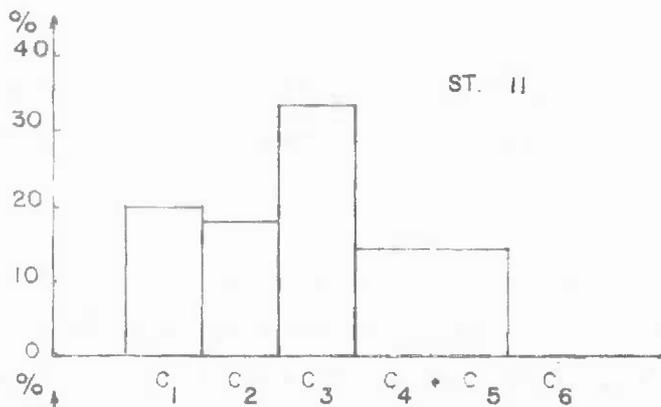


Fig. 113

20 mai 1975



- le 13 avril les stations sont équivalentes avec un maximum de femelles ovigères, le 19 avril il y a uniformité sur toute la zone avec apparition des C₁.
- on note les 9 et 10 mai que les stations du large (12 et 15) sont plus riches en femelles mures et en C₆ tandis que les stades plus jeunes (C₂ et C₃) sont abondants à la côte.

La répartition pour la mission du 20 mai est très difficile à interpréter. Plusieurs générations se développent et la station qui présente le plus de femelles adultes se trouve en 1 (minimum de S ‰ et maximum de chlorophylle a), ce qui est contraire aux observations des missions précédentes. Des exigences trophiques (richesse en phytoplancton) jouent peut être un rôle dans la distribution des femelles ovigères.

Il est difficile de connaître pour cette première année d'étude le nombre exact de générations de *Temora longicornis* à GRAVELINES. Des études antérieures faites en Manche (DIGBY, 1951 ; RAZOULS, 1963) donnent quelques indications : il y aurait environ 5 générations par an en Manche occidentale. Cependant, rien ne nous permet de conclure de la même manière pour la région de GRAVELINES où *Temora* est beaucoup plus abondant qu'en Manche occidentale. Nous pensons qu'à GRAVELINES les périodes de reproduction de ces différentes générations se chevauchent au printemps. La génération née fin janvier pondrait en mai, celle d'avril en juillet tandis que les Copépodes nés en mai pondraient en août. De plus, les femelles nées en automne pondraient pour la deuxième fois en mai.

Afin d'entreprendre une dynamique de populations approfondie de *Temora longicornis* dans un suivi de plusieurs années, il sera nécessaire :

- de récolter les stades juvéniles avec une fréquence de prélèvement de l'ordre de la semaine ou au moins toutes les quinzaines,
- de resserrer la maille temporelle, tout spécialement dans la période février-juin (avec un décalage de plus ou moins un mois selon les années), période qui représente la période de croissance rapide des populations de *Temora*,
- de compléter l'étude de la fréquence des différents Copépodites par des mesures des individus de chaque génération et de suivre l'évolution des longueurs

suivant les températures des différentes saisons. Les mesures retenues sont :

- . la longueur du céphalothorax - L - et sa largeur - l -
- . la longueur du telson - T - et sa largeur - t -

Nous calculerons pour l'ensemble des individus les biovolumes et leurs correspondances en poids.

Distribution géographique

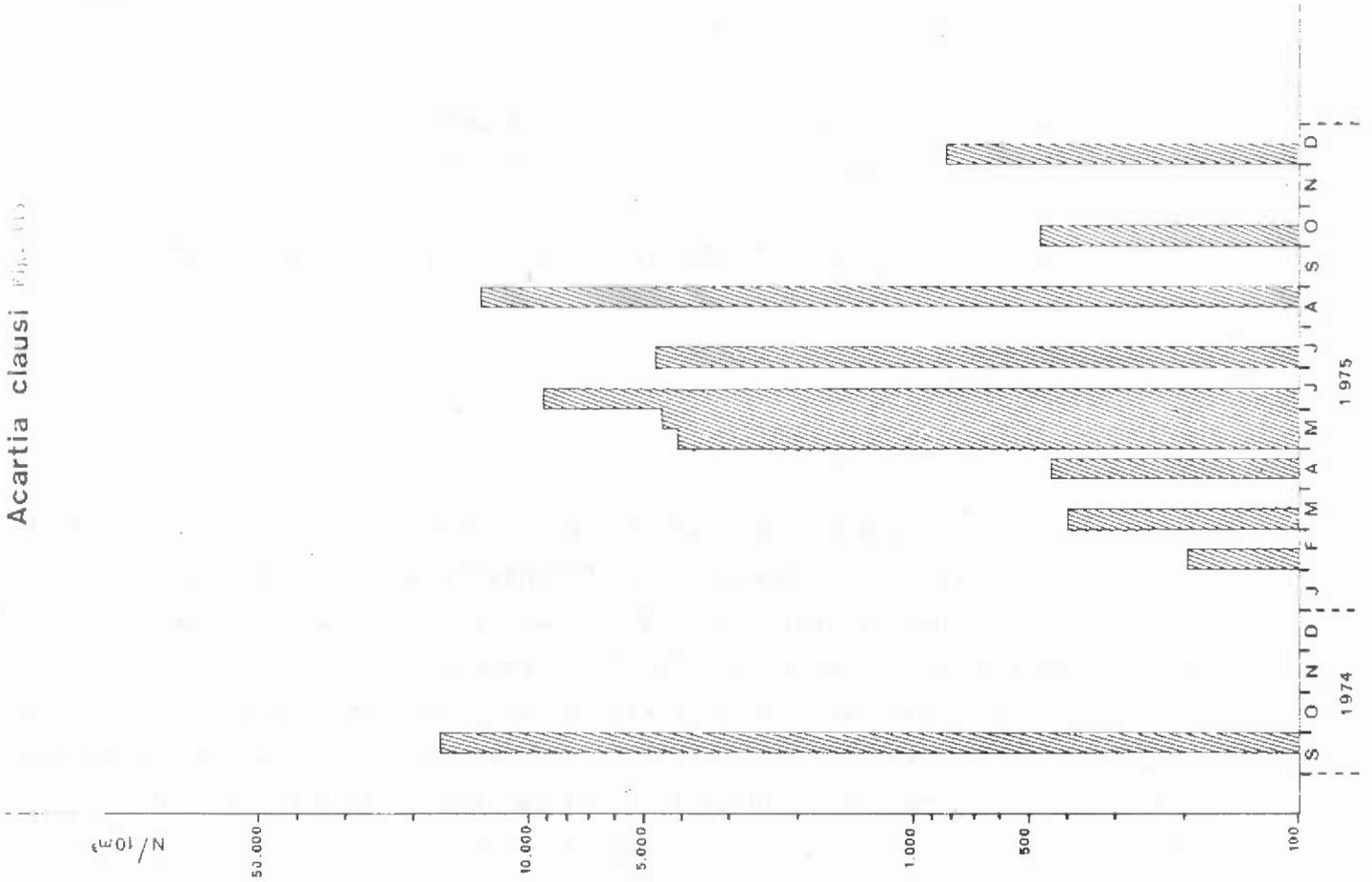
Temora longicornis présente une distribution horizontale (cf. volume III) difficilement interprétable à chaque mission. Cependant, le plus souvent, cette espèce évite le débouché immédiat de l'Aa et les très faibles salinités. Il est plus abondant aux stations éloignées de la côte (stations 11 et 14). *Temora longicornis* par son importance quantitative doit être mieux suivi dans les années à venir, ses affinités boréales lui font atteindre à GRAVELINES les densités qui ne sont pas rencontrées en Manche occidentale où il est supplanté par deux autres Copépodes néritiques communs : *Acartia clausi* et *Centropages hamatus*.

b) *Centropages hamatus*

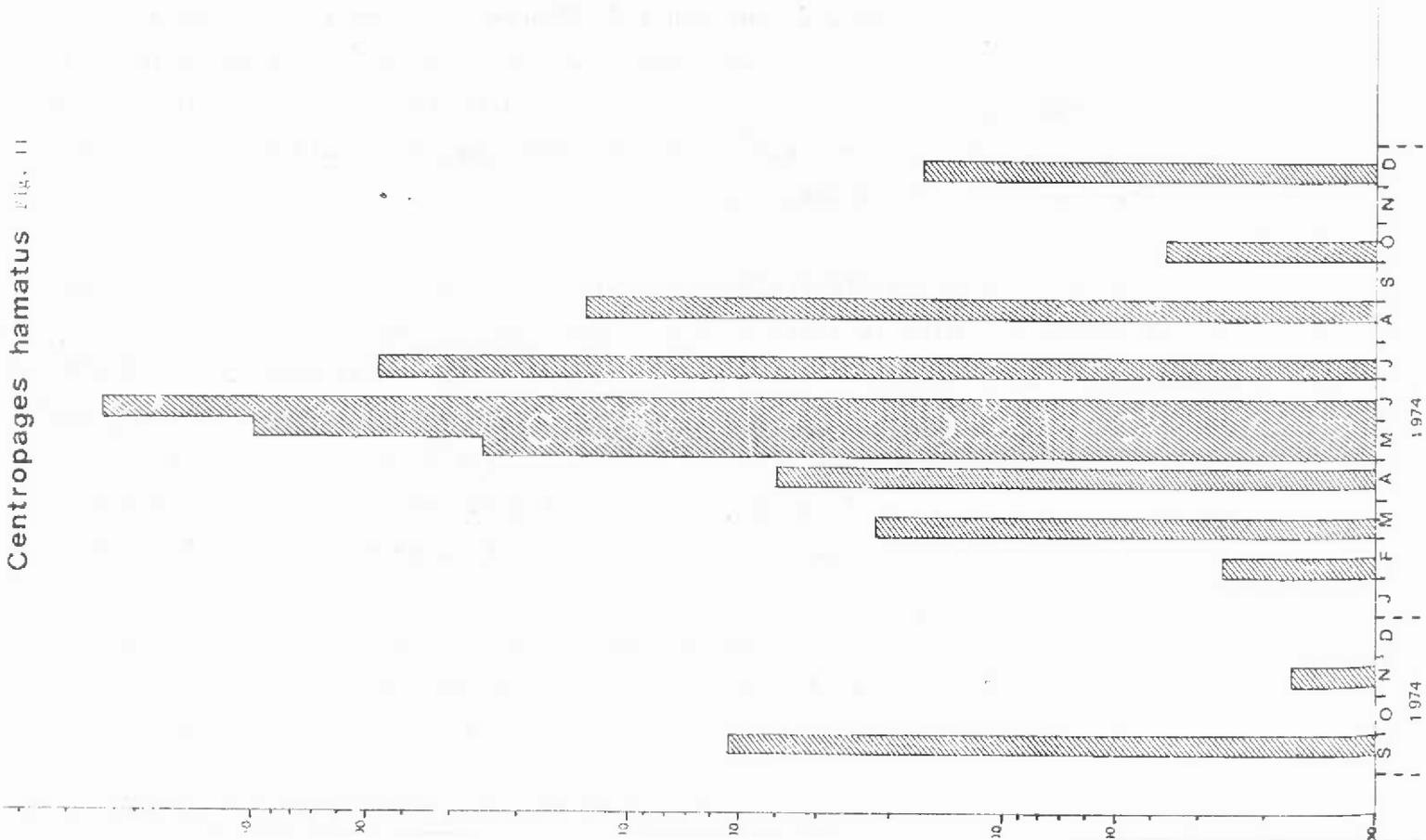
C'est une espèce très commune dans toute la Manche. Aux environs de ROSCOFF *Centropages hamatus* et *Temora longicornis* ont des abondances sensiblement équivalentes (RAZOULS, 1963). *Centropages* supporte bien les milieux dessalés des bassins et des baies de la Manche et de l'Atlantique. A GRAVELINES, cette espèce supporte bien les faibles salinités.

Son abondance moyenne a été représentée sur la figure 114. Nous constatons que son abondance maximale se situe en juin comme *Temora longicornis*. Cependant, l'examen des proportions moyennes des 2 Copépodes appelle la remarque suivante : tandis que *Temora* présente le plus fort pourcentage dans les échantillons jusqu'en juin, *Centropages* dépasse *Temora* en juillet, époque où *Centropages* est le Copépode dominant 43,84 % des échantillons tandis que *Temora* ne présente plus que 13,09 %. Une bonne corrélation existe entre les 2 espèces. Le coefficient de corrélation "r" a été calculé avec 137 doubles valeurs de *Temora* et *Centropages* pour l'ensemble de l'année, on obtient un coefficient "r" : + 0,68 (significatif au seuil de sécurité de 99 %). Les corrélations partielles ont été calculées pour chaque mission, "r" étant plus ou moins élevé selon les saisons.

Acartia clausi Fig. 10

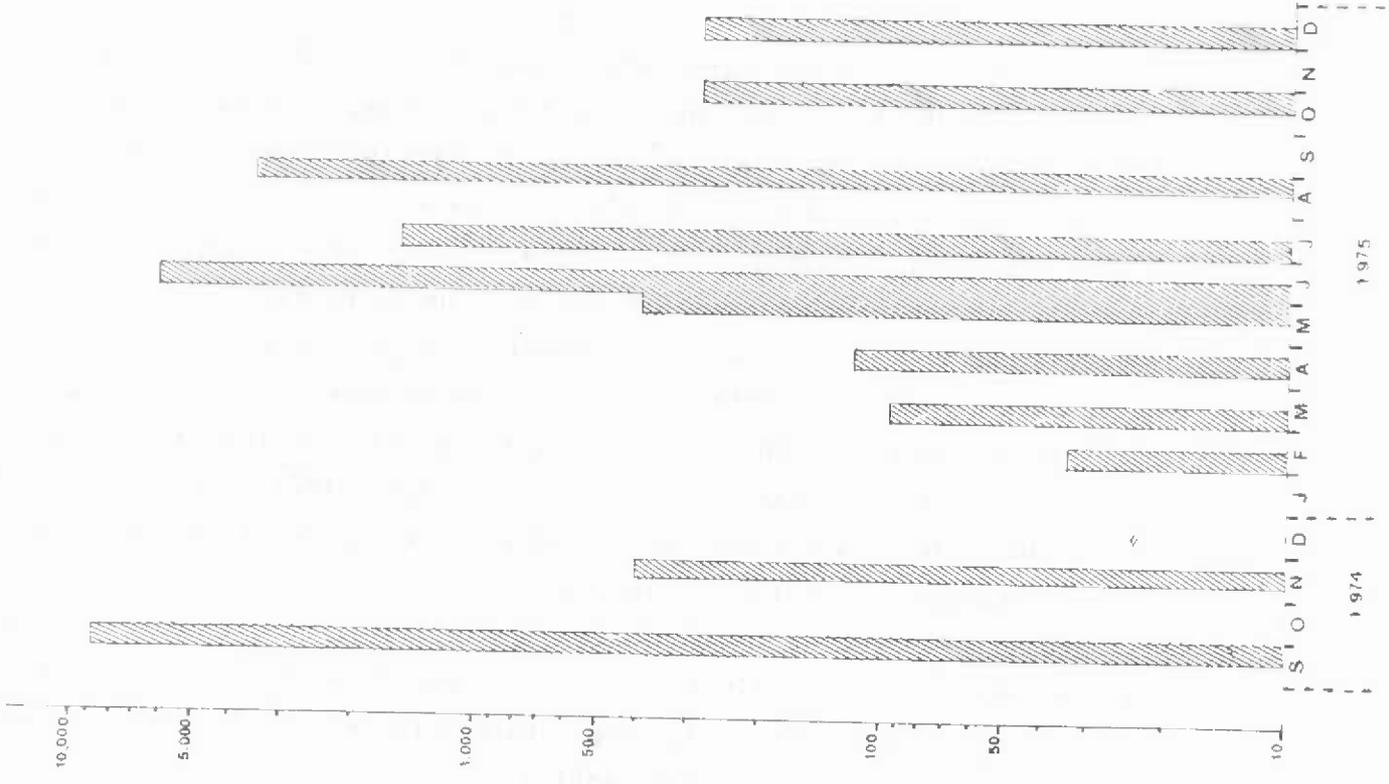


Centropages hamatus Fig. 11



Paracalanus Parvus

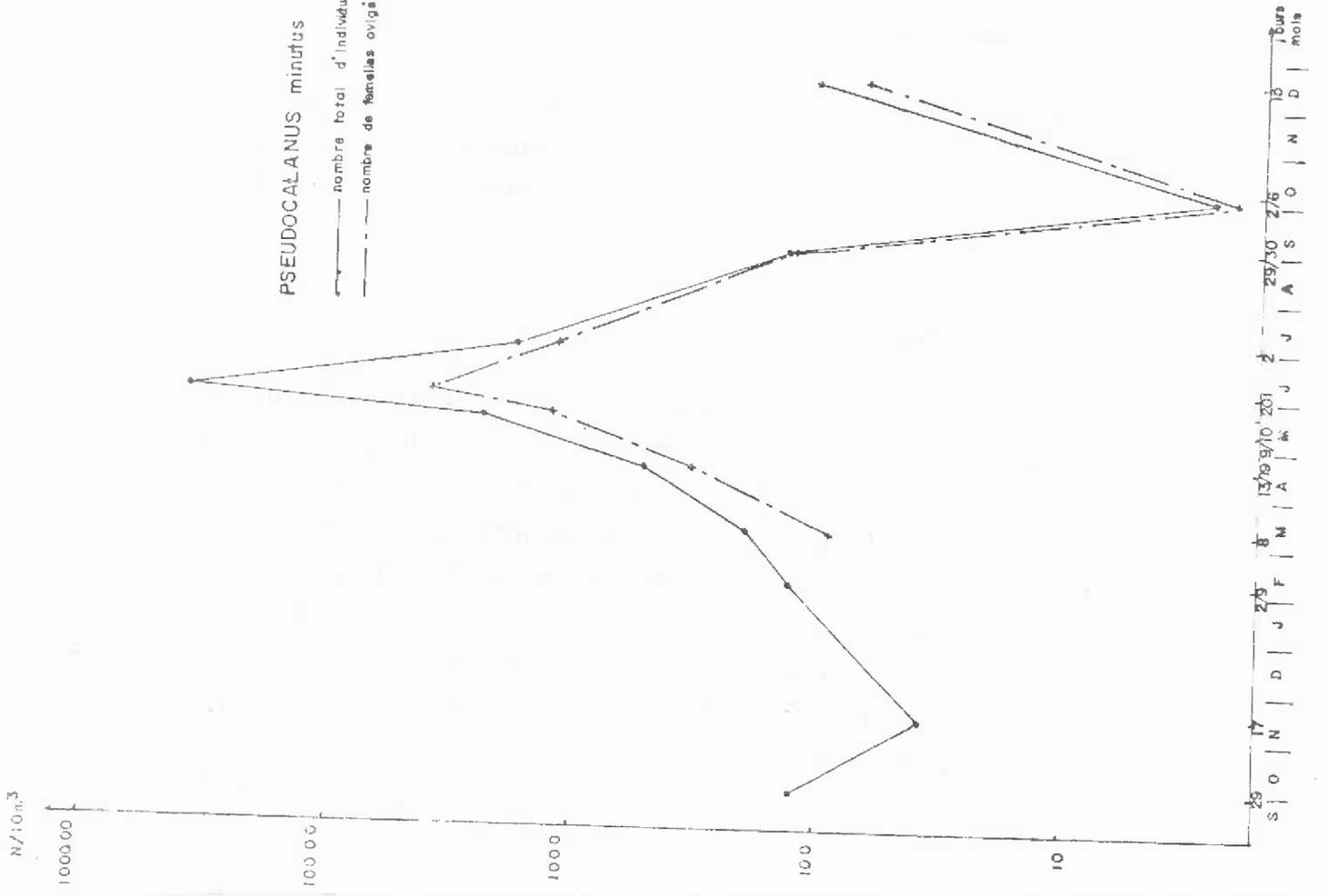
N/10m³



DIAPYLOMELLA

PSEUDOCALANUS minutus

— nombre total d'individus
 - - - nombre de femelles ovigères



c) Acartia clausi (fig. 115)

C'est une espèce cosmopolite à distribution mondiale, essentielle dans le plancton néritique de la Manche. Sa nutrition se fait à partir de Diatomés. D'après RAZOULS (1965) il y aurait 4 générations par an à ROSCOFF. Cette espèce serait capable d'après JEFFRIES (1967) de se reproduire aussi bien dans les estuaires qu'en mer ; elle est toujours bien représentée toute l'année à GRAVELINES. Cette espèce présente deux maxima, l'un en septembre 74 et l'autre en mai 75. Les missions (très éloignées dans le temps) du 30 août et du 6 octobre 75 n'ont sans doute pas permis d'observer le 2ème maximum (automnal) des Copépodes herbivores, d'une façon générale. Cette espèce à large répartition mondiale a été étudiée dans des milieux côtiers divers et les ouvrages traitant de son écologie sont nombreux. De plus, des expériences de laboratoire ont été menées sur *Acartia clausi* : en particulier par G. GONZALEZ (1974). Cet auteur étudie les tolérances de l'espèce aux fortes températures et détermine la température critique maximale (C.T.M.) et la température létale supérieure (U.L.T.). Ces températures dépendent de la température d'acclimatation préalable. On remarque pour une température d'acclimatation variant de 5°C à 20°C, la température critique varie de 22°C à 25°C et la température létale de 28°C à 33°C, températures atteintes pendant la période estivale dans les circuits de refroidissements de la centrale.

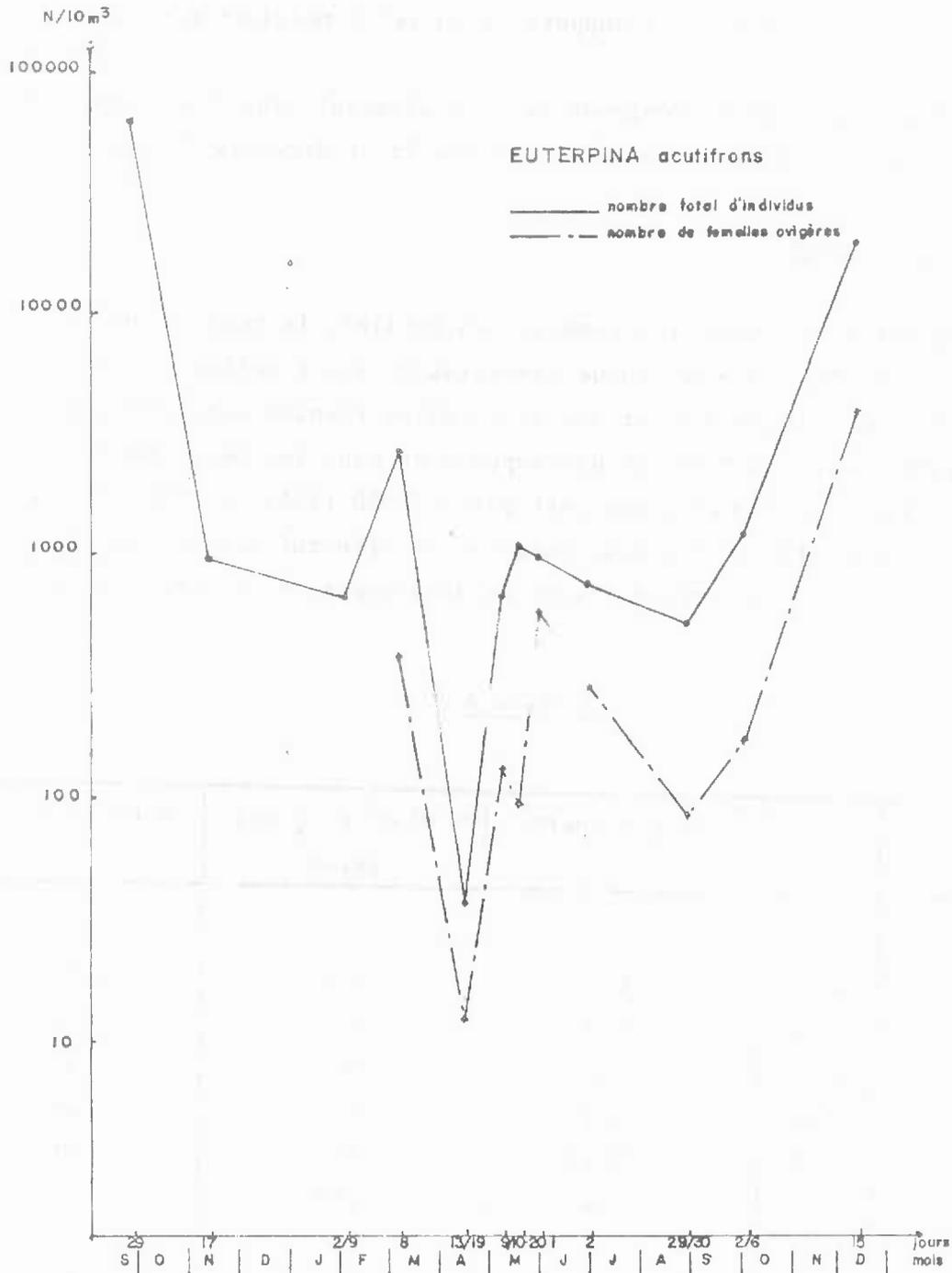
d) Pseudocalanus minutus

Son maximum d'abondance est printanier et son évolution suit de près celle d'*Acartia clausi*. Le nombre de femelles ovigères a été déterminé dans les récoltes, le maximum d'oeufs est visible au printemps (fig. 116).

e) Paracalanus parvus (fig. 117)

Bien que certaines difficultés se rencontrent pour distinguer au comptage les Paracainidae et les Pseudocalanidae (voir méthodologie), les espèces ont été distinguées n'ayant pas la même écologie. On voit en effet *Paracalanus* remplacer *Pseudocalanus* à la fin de l'été et en automne jusque l'hiver. *Pseudocalanus*, présente une situation différente dans le cycle trophique. *Pseudocalanus* est une espèce printanière herbivore tandis que *Paracalanus* est un Copépode plus ou moins détritivore qui prospère bien en fin de cycle annuel à l'automne, au moment où abonde également un autre groupe : les carnivores *Sagitta setosa* : *Paracalanus* est une espèce beaucoup plus côtière que *Pseudocalanus minutus* correspondant à un stade plus avancé de l'écosystème côtier (G. LE FEVRE-LEHOERFF, 1972).

GRAVELINES Fig. 118



f) Euterpina acutifrons

C'est un Copépode peu nageur (Harpacticoïde à courtes antennes) qui présente une importance considérable à la fin de l'été et se maintient avec abondance pendant l'automne ; la diminution se produit vers le milieu de l'hiver (fig. 118).

Il présente une distribution géographique vaste et son cycle de développement a été étudié en Mer Méditerranée et en Angleterre. Le régime alimentaire de l'espèce est varié et elle supporte bien les conditions d'élevage.

A GRAVELINES, c'est le Copépode le plus abondant dans les échantillons de septembre 1974 (51 %), novembre 74, octobre 75 et décembre 75 (60 %).

Cycle saisonnier

Sa période de reproduction commence en juillet, la température de l'eau est alors 15,90 °C. A cette époque apparaissent les femelles ovigères (tableau B). On peut comparer ces conditions avec celles régnant dans d'autres localités géographiques. *Euterpina* se développe bien dans les mers chaudes ou tempérées. Son cycle a été étudié d'une part par BERNARD (1963) en Méditerranée, d'autre part par HAQ (1972). Ces deux auteurs ont effectué des élevages et étudié la reproduction et la durée du temps de développement en fonction de la tempéra-

TABLEAU A

Date	T°	% de ♀ ovigères	N/10 m ³ de ♀ ovigères	N Euter/10 m ³
8.03.75	8°00	16.3	424	2 605
13+19.04.75	6°96	3.7	1	35
9+10.05.75	9°57	0	0	657
20.05.75	10°53	0.85	9	1 081
1.06.75	12°38	0.33	3	961
2.07.75	15°90	14.4	107	746
30.08.75	19°02	2.0	10	498
6.10.75	15°51	3.9	45	1 170
15.12.75	6°60	19.7	3 673	18 629

Euterpina acutifrons

% de ♀ ovigères dans les échantillons

et N/10 m³ de ♀ ovigères

ture. HAQ prélevait ses individus à l'aide d'une pompe avec une périodicité variant entre 8 jours et 14 jours. Les élevages en laboratoire ont montré que *Euterpina* commençait à pondre quand la température s'élevait au dessus de 15 ou 16° et cessait en dessous de 8°. De plus, les élevages ont également montré (HAQ, 1972) que le maximum de ponte observé se produit quand la température croit jusqu'à 25°. Mais, au delà de 30° la température serait létale pour les embryons. Le temps d'une génération serait d'après les auteurs cités précédemment de 9 jours à 25° et de 53 jours à 10°. *Euterpina acutifrons* est une espèce qu'il est important de suivre sur le site de GRAVELINES durant les prochaines années, compte-tenu de son abondance pour la période allant de la fin été jusqu'au début de l'hiver.

Répartition horizontale (cf. volume III)

Euterpina acutifrons est particulièrement bien représentée près de la digue où semble se produire une zone d'accumulation de détritits (et aussi de phytoplancton), du fait des mouvements d'eau qui entraînent ces particules entre l'Aa et la digue, d'où formation d'une zone privilégiée de nourriture.

4.1.2.1.3 Succession des espèces de Copépodes au cours du cycle annuel à GRAVELINES

A la fin de l'été ou au début de l'automne on observe l'augmentation du nombre de Copépodes plus ou moins détritivores et carnivores, correspondant à la fin du cycle trophique. Les 2 Copépodes observés à GRAVELINES qui représentent le mieux ce stade trophique sont :

- d'une part les *Paracalanus parvus*
- d'autre part *Euterpina acutifrons*

A l'automne également, se développe une nouvelle poussée de Copépodes herbivores tels que *Acartia clausi*.

Pendant l'automne sont essentiellement représentés les détritivores (ex. *Paracalanus*) et le Copépode omnivore *Euterpina acutifrons*.

L'hiver est marqué par l'abondance d'*Euterpina acutifrons* qui représente le Copépode le plus abondant.

A la fin de l'hiver (février) *Euterpina acutifrons* se trouve supplanté par *Temora longicornis* qui commence à se multiplier activement.

Le printemps (mai) se caractérise par la croissance des populations d'herbivores ; tous croissent rapidement :

- *Temora longicornis*
- *Acartia clausi*
- *Centropages hamatus*

A la fin du printemps, *Temora longicornis* domine par sa grande abondance, mais est suivi de très près par *Centropages hamatus*. *Temora longicornis* atteint son maximum d'abondance en juin ainsi que *Centropages hamatus*.

Au mois de juillet, *Centropages hamatus* reste très abondant tandis que *Temora longicornis* diminue rapidement et *Centropages hamatus* est le Copépode le plus abondant en juillet.

Les pourcentages des 6 Copépodes principaux (% dans l'échantillonnage total) ont été calculés pour les 12 campagnes. Les 6 espèces sont classées ci-dessous par ordre d'importance décroissante, ce qui montre bien la succession trophique décrite :

<u>Septembre 74</u>	1) <i>Euterpina acutifrons</i>	51,28 %
	2) <i>Temora longicornis</i>	14,10 %
	3) <i>Acartia clausi</i>	13,95 %
	4) <i>Paracalanus parvus</i>	7,34 %
	5) <i>Centropages hamatus</i>	4,29 %
	6) <i>Pseudocalanus minutus</i>	0,10 %
<u>Novembre 74</u>	1) <i>Euterpina acutifrons</i>	33,33 %
	2) <i>Paracalanus parvus</i>	14,17 %
	3) <i>Temora longicornis</i>	7,57 %
	4) <i>Centropages hamatus</i>	6,02 %
	5) <i>Acartia clausi</i>	3,53 %
	6) <i>Pseudocalanus minutus</i>	1,27 %

<u>Février 75</u>	1) <i>Temora longicornis</i>	25,93 %
	2) <i>Euterpina acutifrons</i>	17,80 %
	3) <i>Centropages hamatus</i>	7,05 %
	4) <i>Acartia clausi</i>	6,30 %
	5) <i>Pseudocalanus minutus</i>	3,44 %
	6) <i>Paracalanus parvus</i>	0,94 %
 <u>Mars 75</u>	1) <i>Temora longicornis</i>	46,18 %
	2) <i>Euterpina acutifrons</i>	8,27 %
	3) <i>Centropages hamatus</i>	6,48 %
	4) <i>Acartia clausi</i>	1,26 %
	5) <i>Pseudocalanus minutus</i>	0,61 %
	6) <i>Paracalanus parvus</i>	0,30 %
 <u>13 et 19 avril 75</u>	1) <i>Temora longicornis</i>	39,84 %
	2) <i>Centropages hamatus</i>	31,65 %
	3) <i>Pseudocalanus minutus</i>	4,08 %
	4) <i>Acartia clausi</i>	3,58 %
	5) <i>Paracalanus parvus</i>	0,99 %
	6) <i>Euterpina acutifrons</i>	0,31 %
 <u>9 et 10 mai 75</u>	1) <i>Temora longicornis</i>	41,72 %
	2) <i>Centropages hamatus</i>	3,35 %
	3) <i>Acartia clausi</i>	2,64 %
	4) <i>Paracalanus parvus</i>	
et	5) + <i>Pseudocalanus minutus</i>	1,94 %
	6) <i>Euterpina acutifrons</i>	0,42 %
 <u>20 mai 75</u>	1) <i>Temora longicornis</i>	56,57 %
	2) <i>Centropages hamatus</i>	27,69 %
	3) <i>Acartia clausi</i>	1,24 %
	4) <i>Pseudocalanus minutus</i>	0,59 %
	5) <i>Euterpina acutifrons</i>	0,30 %
	6) <i>Paracalanus parvus</i>	0,11 %
 <u>1er juin 75</u>	1) <i>Temora longicornis</i>	39,70 %
	2) <i>Centropages hamatus</i>	32,97 %
	3) <i>Pseudocalanus minutus</i>	3,82 %
	4) <i>Acartia clausi</i>	0,94 %
	5) <i>Paracalanus parvus</i>	0,60 %
	6) <i>Euterpina acutifrons</i>	0,10 %

2 juillet 75

1) <i>Centropages hamatus</i>	43,84 %
2) <i>Temora longicornis</i>	13,09 %
3) <i>Acartia clausi</i>	5,41 %
4) <i>Pseudocalanus minutus</i>	2,07 %
5) <i>Paracalanus parvus</i>	1,95 %
6) <i>Euterpina acutifrons</i>	0,87 %

30 août 75

1) <i>Temora longicornis</i>	35,31 %
2) <i>Acartia clausi</i>	17,83 %
3) <i>Centropages hamatus</i>	17,18 %
4) <i>Paracalanus parvus</i>	2,40 %
5) <i>Euterpina acutifrons</i>	0,60 %
6) <i>Pseudocalanus parvus</i>	0,19 %

6 octobre 75

1) <i>Euterpina acutifrons</i>	12,56 %
2) <i>Temora longicornis</i>	5,52 %
3) <i>Centropages hamatus</i>	4,17 %
4) <i>Paracalanus parvus</i>	3,37 %
5) <i>Acartia clausi</i>	2,84 %
6) <i>Pseudocalanus minutus</i>	0,01 %

15 décembre 75

1) <i>Euterpina acutifrons</i>	59,90 %
2) <i>Temora longicornis</i>	7,43 %
3) <i>Centropages hamatus</i>	5,22 %
4) <i>Acartia clausi</i>	1,31 %
5) <i>Paracalanus parvus</i>	1,21 %
6) <i>Pseudocalanus minutus</i>	0,34 %

4.1.2.1.4 Indice de diversité des Copépodes

L'indice de diversité des Copépodes a été calculé pour 140 échantillons de plancton. Nous avons adopté la formule de SHANNON (SHANNON, 1948) :

$$I = - \sum_{i=1}^{i=s} \frac{ni}{N} \log_2 \frac{ni}{N}$$

où ni sont les effectifs des espèces, N l'effectif total. La formule prenant en compte les fréquences relatives $\frac{ni}{N}$ des espèces caractérise une population dont on a extrait un échantillon aléatoire et donne une diversité de la population.

Résultats

Ils sont rassemblés sous forme de tableau (volume II, tableau 50). La figure 119 montre la variation annuelle de \bar{I} , \bar{I} moyen étant calculé à chaque mission.

Il apparaît que l'indice est faible pour la région toute l'année. C'est une zone de forts courants où doit exister une instabilité des populations. La structure hydrologique montre une stratification peu marquée sauf peut être en été où s'établissent des gradients thermiques.

Dates	T°C moyenne	chl a ($\mu\text{g}/\text{l}$) moyenne	N copépodes/ 10 m ³ (moyenne)	I diversité copépodes (moyenne en bits)
20/09/74	14°	2.76	113.410	1.84
17/11/74	9°21	7.05	1.911	1.65
2 + 9/02/75	7°00	1.14	2.760	2.14
8/03/75	8°00	5.43	52.050	1.49
3 + 19/04/75	6°96	9.75	10.207	1.73
9 + 10/05/75	9°57	17.85	117.845	1.43
20/05/75	10°53	4.29	311.146	1.33
1/06/75	12°38	3.87	76.534	1.27
2/07/75	15°90	14.21	58.683	1.45
30/08/75	19°02	5.65	57.368	2.03
6/10/75	15°51	5.21	4.473	2.27
15/12/75	6°60	2.54	29.073	1.51

Les populations de zooplancton sont peu variées et nous avons pu calculer un indice de diversité pour la totalité des taxons. Mais le niveau de détermination étant différent d'un taxon à l'autre, il y aurait eu trop d'hétérogénéité et nous nous sommes limités au groupe des Copépodes.

Les figures 119 à 122 montrent les variations (moyennes par mission) annuelles de la température, la chlorophylle, le nombre total de Copépodes et l'indice de diversité des Copépodes.

Nous constatons :

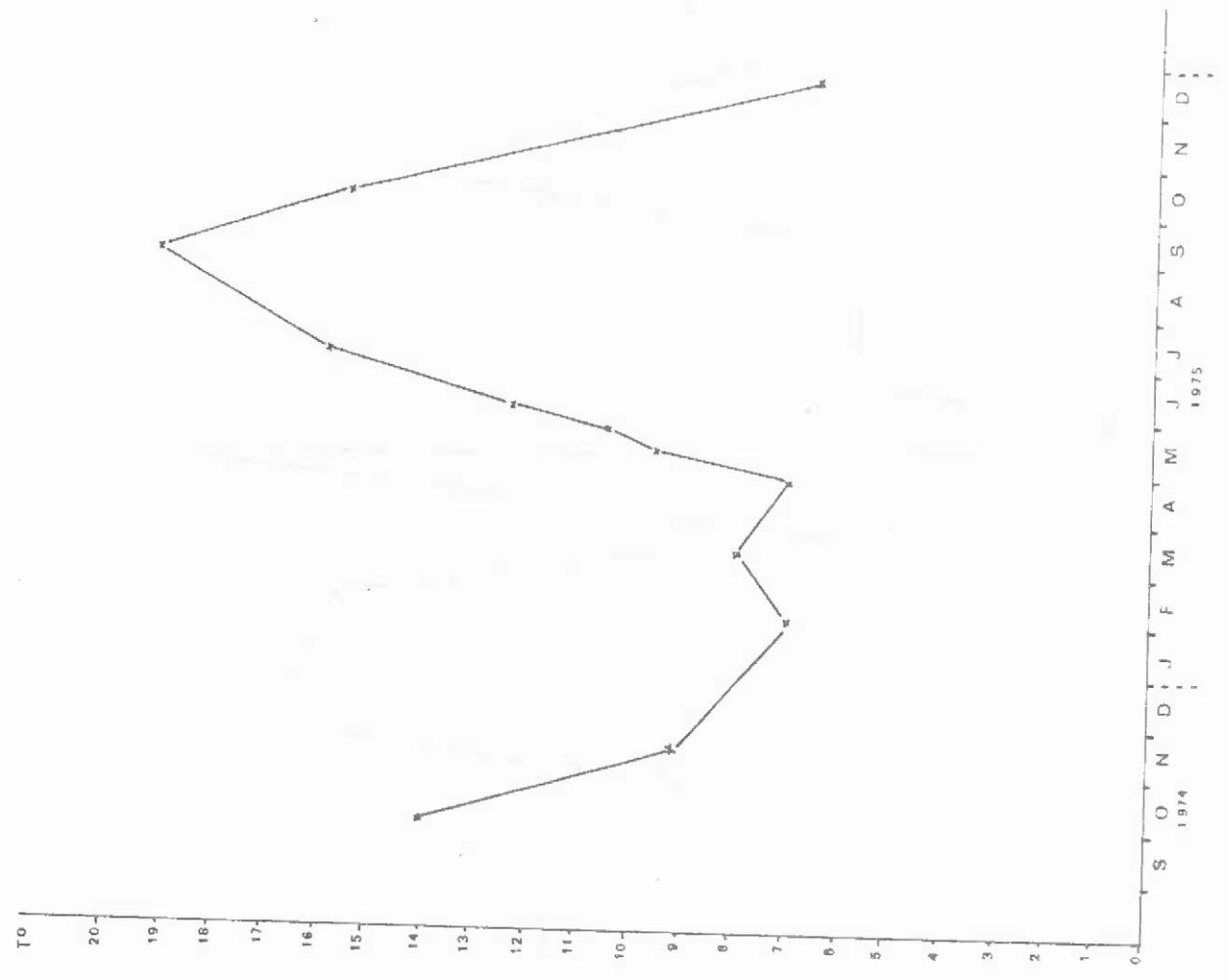
- a) un décalage dans le temps entre les pics d'abondance de la chlorophylle et des Copépodes pour la période printanière et estivale. Ceci correspond au temps de croissance des Copépodes herbivores ; ce décalage est d'environ 1 mois ;
- b) nous constatons au contraire que les 2 pics automne-hiver des Copépodes correspondent aux valeurs faibles de chlorophylle, c'est la période d'abondance des Copépodes détritivores (ou carnivores) ;
- c) parallèlement, nous voyons que l'indice de diversité est très fluctuant : les minima correspondent au maximum de *Temora* en juin et au maximum de *Euterpina* en fin d'automne : 2 Copépodes dominant, ces 2 maxima correspondent aux développements de plusieurs espèces en concurrence (au printemps et en automne).

CONCLUSION

Les Copépodes constituent sur le site étudié une fraction essentielle de la biomasse zooplanctonique. Ils forment une source importante de nourriture protéinée pour les poissons et les carnivores en général. Nous avons noté une prépondérance de deux espèces qui n'occupent pas la même place dans le cycle trophique : *Temora longicornis* abondant dans la première phase de l'année (printemps - été) est essentiellement herbivore (accessoirement carnivore). Son abondance croît à partir de la fin de l'hiver ($t^{\circ} = 6$ à 7°) corrélativement à la poussée phytoplanctonique printanière. Au contraire, *Euterpina acutifrons*

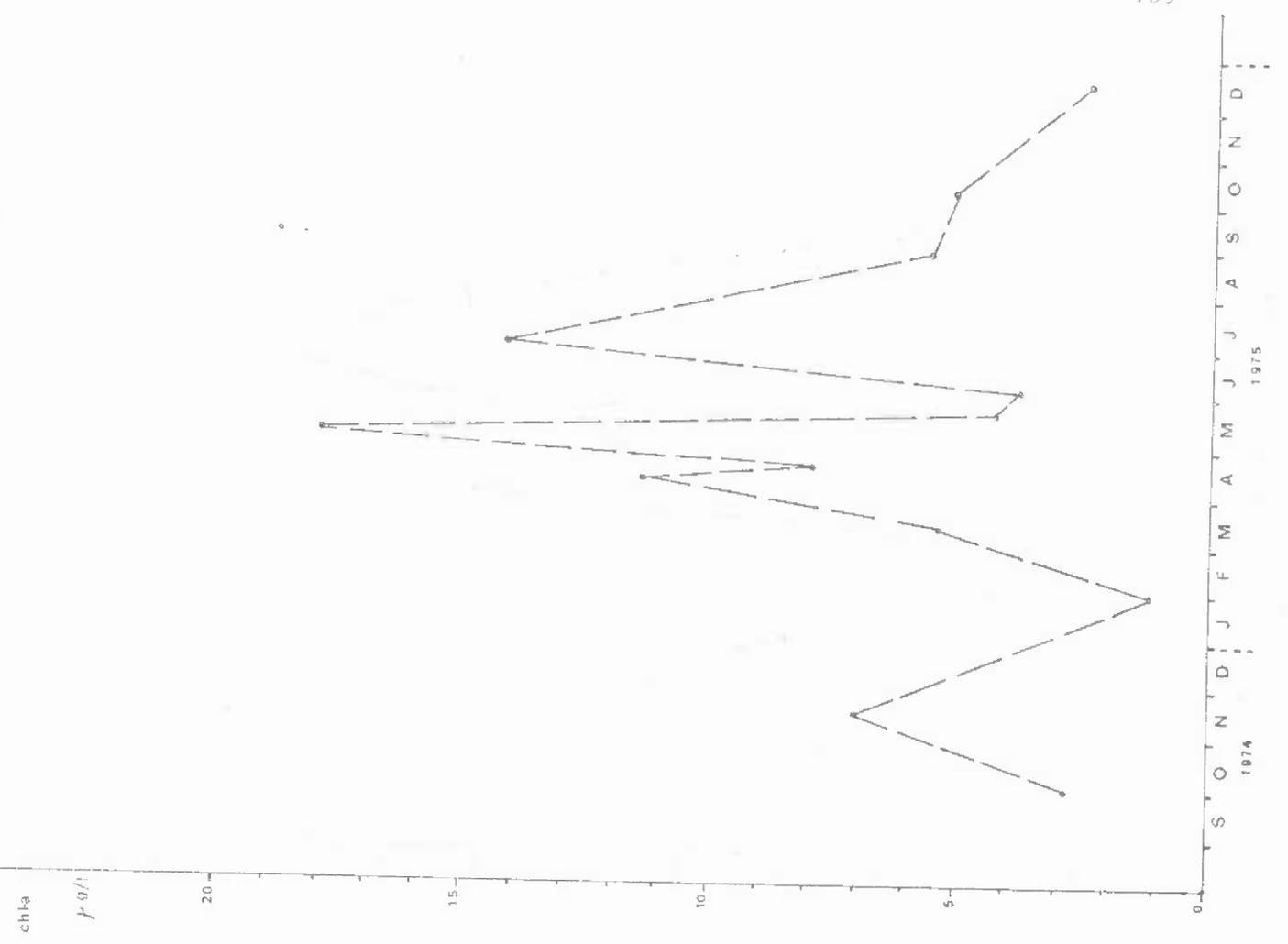
Gravelines

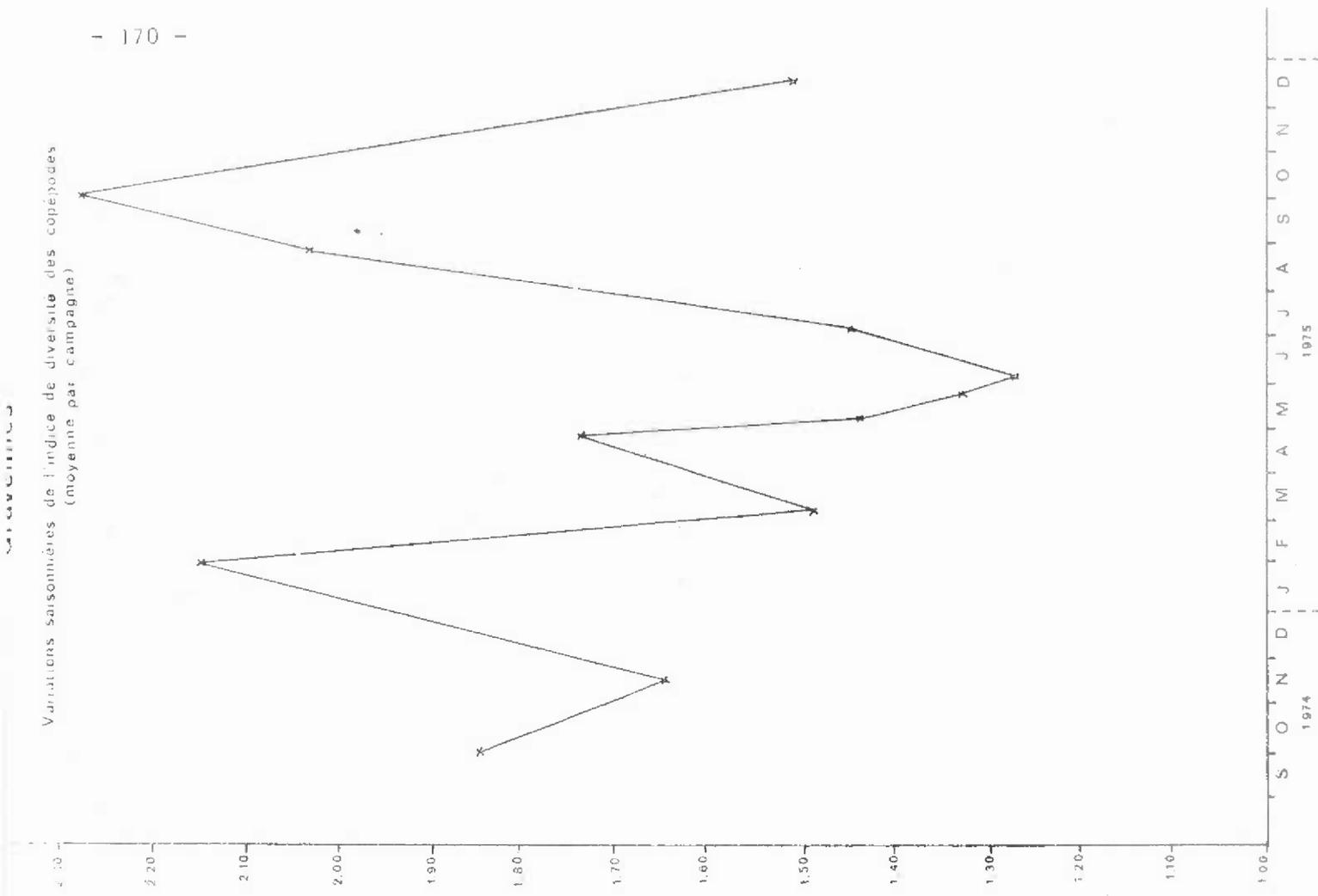
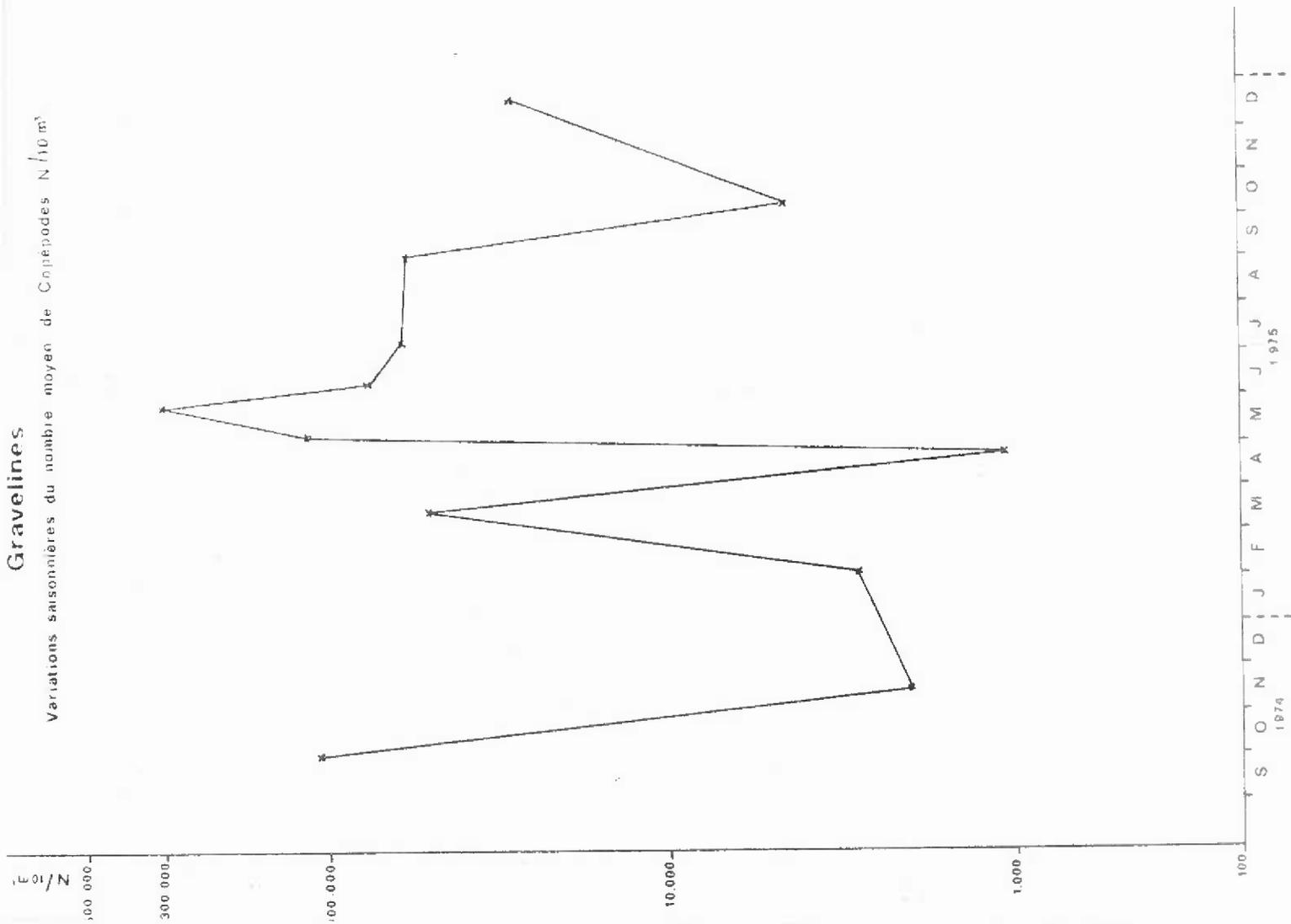
Variations saisonnières de la température moyenne T₀



Gravelines

Variations saisonnières de la concentration moyenne en chlorophylle a (µg/l)





est le principal Copépode de la deuxième phase de l'année (automne - hiver). Il est essentiellement détritivore et carnivore. Il caractérise un stade de maturité avancé dans le cycle des populations de zooplancton.

La faible diversité observée est le signe d'un équilibre fragile dans l'écosystème. La forte amplitude thermique qui a caractérisé l'année 75 (moyenne des températures en août : 19°) a pu jouer comme principal facteur physique. Plus généralement, dans les conditions hydrologiques "extrêmes" la diversité est toujours faible et l'équilibre instable. L'hydrodynamisme et les forts courants de la région doivent être également des facteurs d'instabilité.

On peut remarquer également que nous devons dans l'avenir suivre avec une entière attention les espèces qui présentent une grande sensibilité à la température. Les températures léthales des Copépodes se situant en général aux alentours de 30°C (expériences sur *Acartia clausi*, *Temora longicornis*).

4.1.2.2 Les Cladocères

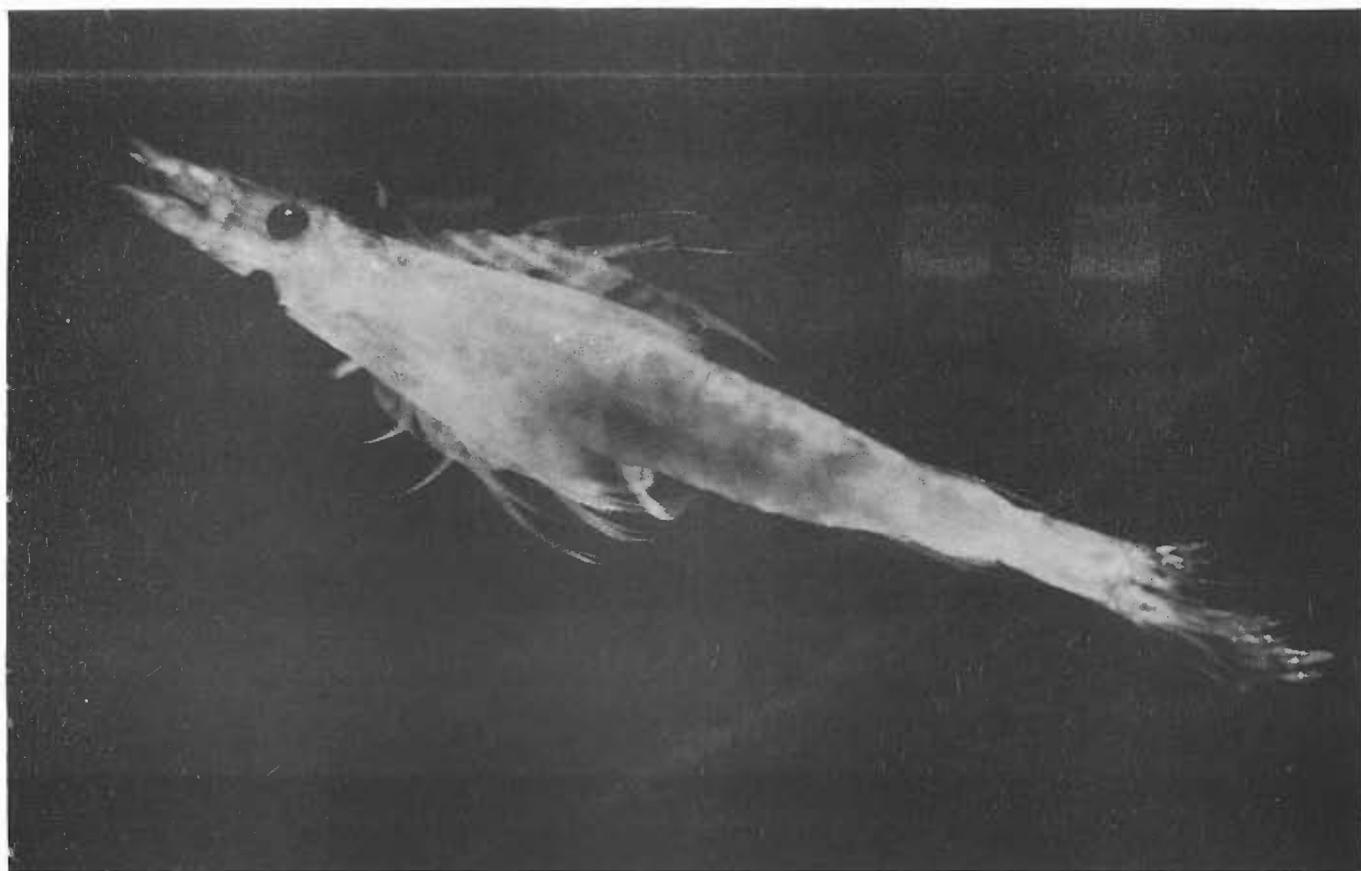
Crustacés holoplanctoniques, les Cladocères forment un groupe où se rencontrent de nombreuses formes d'eau douce (Daphnies). A GRAVELINES, les Cladocères les plus fréquemment rencontrés sont les deux genres *Podon* et *Evadne*, genres néritiques communs. Ce sont des espèces euryhalines et eurythermes qui peuvent se développer en abondance en été et prolifèrent bien dans la couche d'eau superficielle. *Evadne* est un mangeur de particules mais ne filtre pas sa nourriture : il la coupe. Cette espèce peut atteindre des densités élevées dans les eaux des baies. Nous ne l'avons pas vu en quantité appréciable à GRAVELINES. Les Cladocères incubent leurs embryons.

Un Cladocère d'origine boréale, *Bosmina* (fig. 94 A) a été trouvée à GRAVELINES en hiver).

4.1.2.3 Les Mysidacés

Peu nombreuses comparativement à d'autres organismes, les Mysidacés peuvent présenter une biomasse importante dans les récoltes à cause de leur grande taille. Elles constituent sur les fonds côtiers une nourriture importante pour les poissons et particulièrement pour les poissons plats des fonds sableux (plis). Ses

15 mm.



- FIG. 123 -

Gastrosaccus spinifer (vu au binoculaire)

Photo G. LE FEVRE-LEHOERFF

principales espèces rencontrées sont *Gastrosaccus spinifer* (fig. 123), *Schistomysis spiritus*, *Schistomysis ornata* et *Mesopodopsis slabberi*.

Schistomysis spiritus est l'espèce la plus abondante trouvée dans le plancton de GRAVELINES. Elle semble se répartir sur toute la zone étudiée. Cependant, un maximum d'abondance est noté vers le point du large aux environs de la station 11. Les femelles portent leurs embryons. Le maximum d'abondance de femelles embryonnées se situe en février.

Une autre espèce, *Schistomysis ornata* est moins abondante, mais semble présenter la même répartition que l'espèce précédente.

Enfin, *Mesopodopsis slabberi* est plus rare. C'est une espèce à large répartition géographique très euryhaline, fréquente dans les estuaires et souvent trouvée sur fonds sableux envasés.

Les Mysidacés se nourrissent essentiellement de fines particules et constituent une source importante de protéines pour les carnivores. *Mesopodopsis slabberri* a été trouvé dans les estomacs de poissons tel que le hareng, en Mer du Nord (KRAMP, 1913).

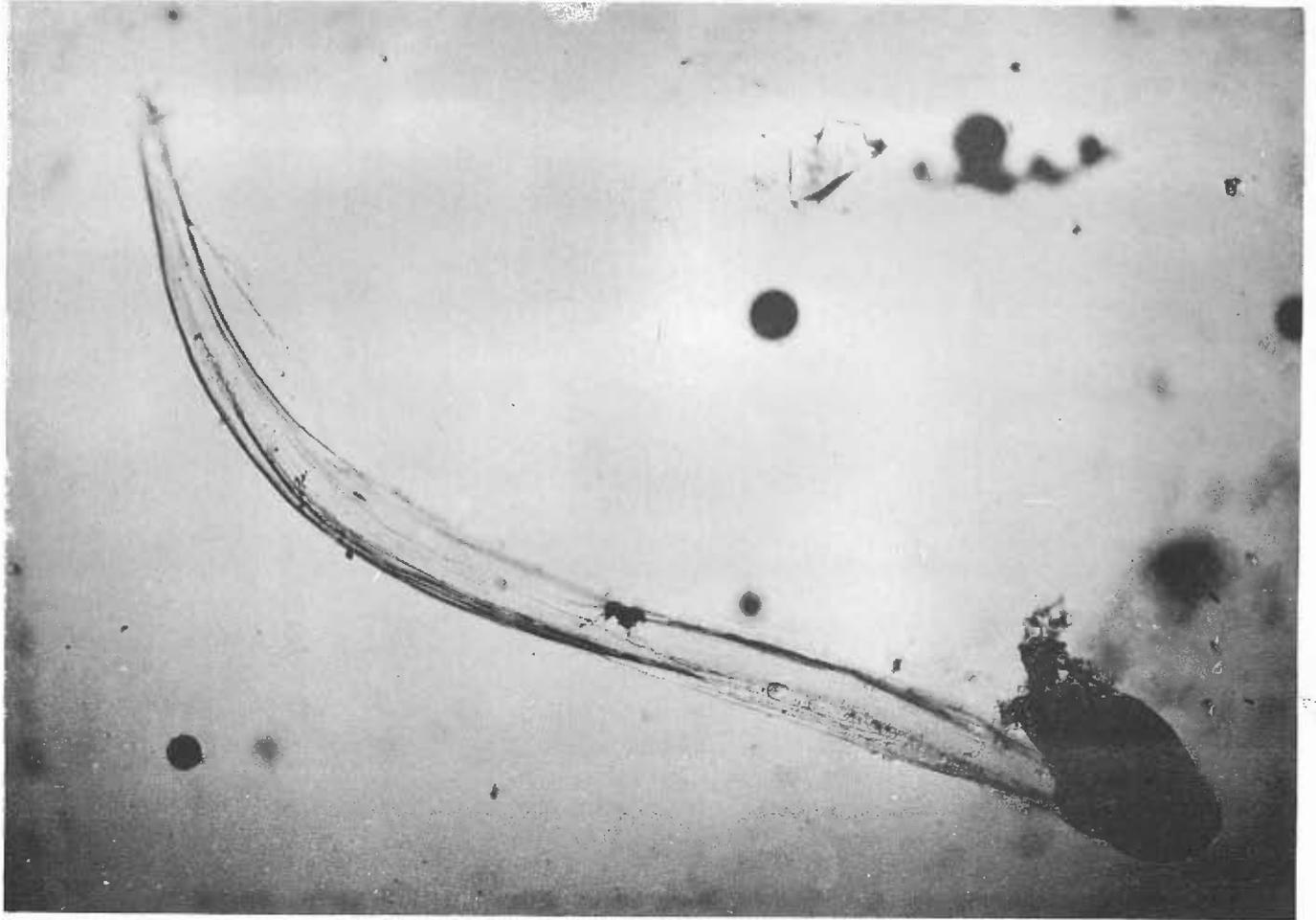
4.1.2.4 Les Appendiculaires *Oikopleura dioica* (fig. 124)

Oikopleura dioica est une des deux espèces rencontrées en Manche et Mer du Nord. Elle est présente à GRAVELINES avec une fréquence de 100 %. C'est une espèce caractéristique des eaux côtières tièdes riches en particules organiques. Capable de supporter une gamme de salinité étendue de 11,4 ‰ à 36,7 ‰. (DEEVEY, 1952), cette espèce semble très liée quant à son cycle saisonnier et son abondance à la température. La figure 125 montre la relation étroite de ses variations quantitatives avec la température.

Le coefficient de corrélation entre les 2 variables

$$y = \text{Nombre d'individus}/10 \text{ m}^3 \text{ d'eau}$$

et $x = \text{Température moyenne par campagne}$



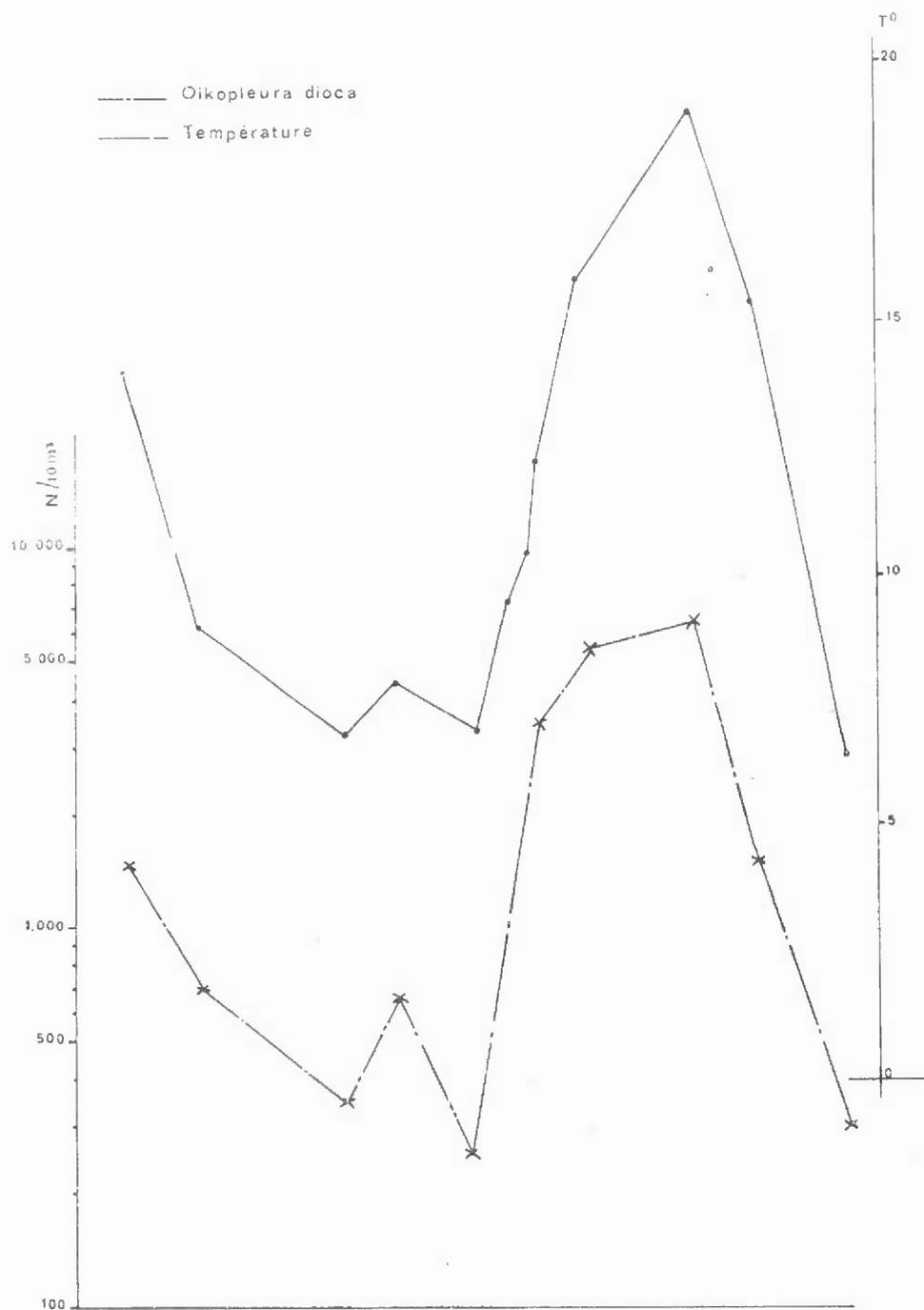
- FIG. 124 -

Oikopleura dioica (vu au binoculaire)

Photo J. LE FEVRE

a été calculé : on trouve $r = + 0,80$ pour la période de septembre 74 - décembre 75 (r est significatif au seuil de sécurité de 99 %). *Oikopleura* est un filtreur important et constitue comme les Mysidacés une masse de nourriture non négligeable pour les poissons (WYATT, 1974). Cette espèce dont l'abondance est liée à la variation de température est une espèce à étudier de façon suivie si la température des eaux de la région change (cf. volume III, cartes 32 à 40).

Appendiculaire FIG. 11





12 mm.

- FIG. 126 -

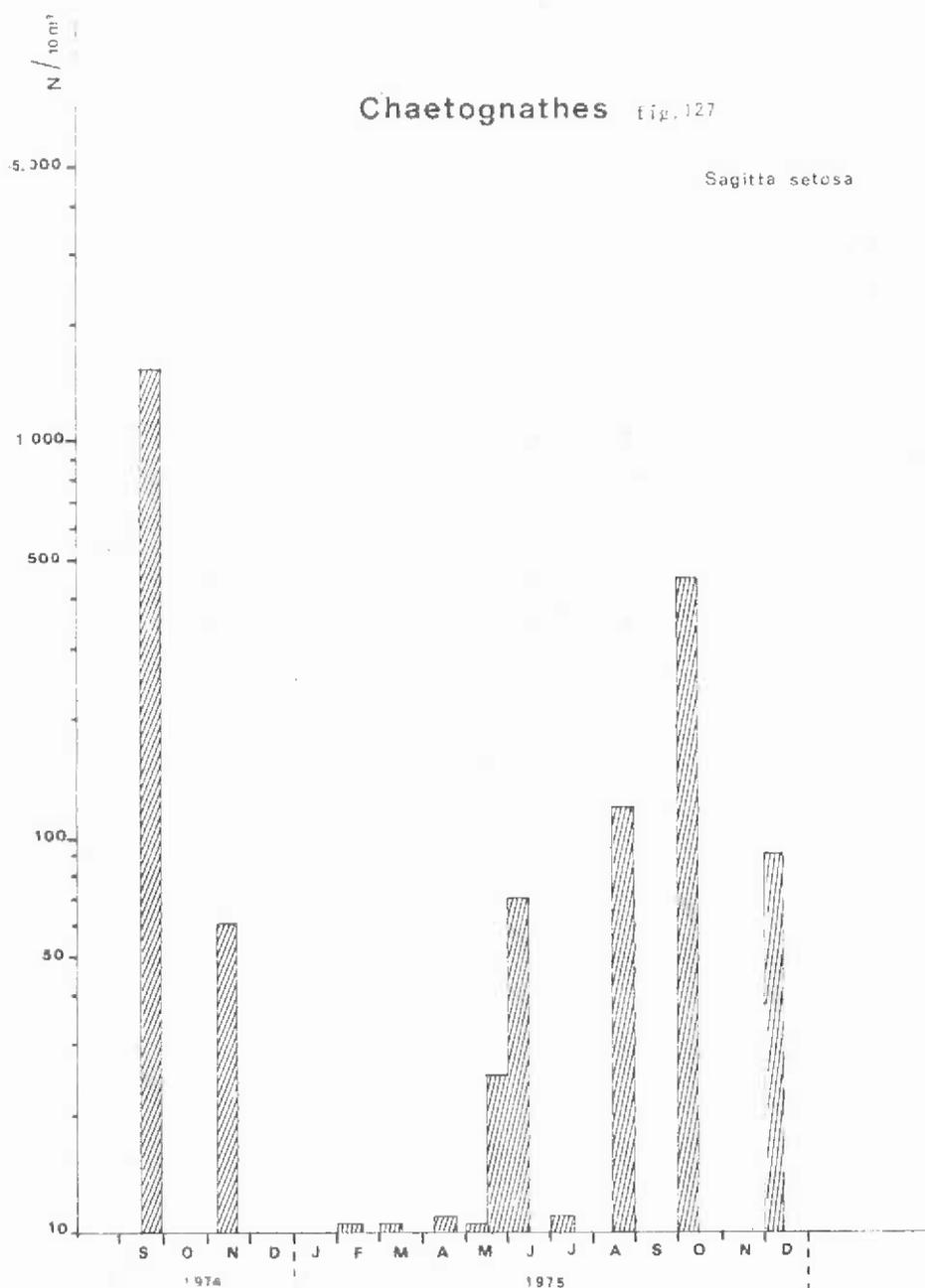
Sagitta setosa (vu au binoculaire)

Photo G. LE FEVRE-LEHOERFF

4.1.2.5 Sagitta setosa

Les carnivores les mieux représentés dans la zone côtière de GRAVELINES sont les Chaetognathes (constitués en presque totalité par *Sagitta setosa*) (fig. 126), les Cténaïres, les Méduses et les Alevins.

Sagitta setosa représente un carnivore particulièrement abondant pendant l'automne (septembre à décembre) (fig. 127). Dans les régions très côtières on trouve beaucoup de jeunes et il n'est pas exclu que les pontes se fassent près de la côte où l'on trouve beaucoup d'immatures. *Sagitta* se situe dans la chaîne trophique aux mêmes époques que *Paracalanus* et *Euterpina acutifrons*.



4.1.2.6 Les Cténaïres *Pleurobrachia* et *Beroe*

Tandis que *Sagitta setosa* est le carnivore caractéristique de l'automne et de l'hiver, les Cténaïres constituent les carnivores du printemps (fig. 128). Deux espèces (*Pleurobrachia pileus* et *Beroe cucumis*) sont présentes. Ce sont des espèces d'eaux côtières froides. La figure 129 montre les variations saisonnières de l'une et de l'autre espèce et également des juvéniles de *Beroe*. Un pic très élevé se note à la campagne du 20 mai où les juvéniles de *Beroe* atteignent une abondance de 8.000 pour 10 m³ d'eau. Le deuxième pic observé en été correspond aux adultes de *Beroe*.

Nous n'avons pas observé le moment d'apparition des juvéniles de *Pleurobrachia*.

Les Cténaïres représentent donc les principaux carnivores de printemps et d'été, avec les méduses dont nous avons parlé plus haut, tandis que les Chaetognathes prennent le relai et se présentent comme les prédateurs les plus importants du mésoplancton, en automne et en hiver.

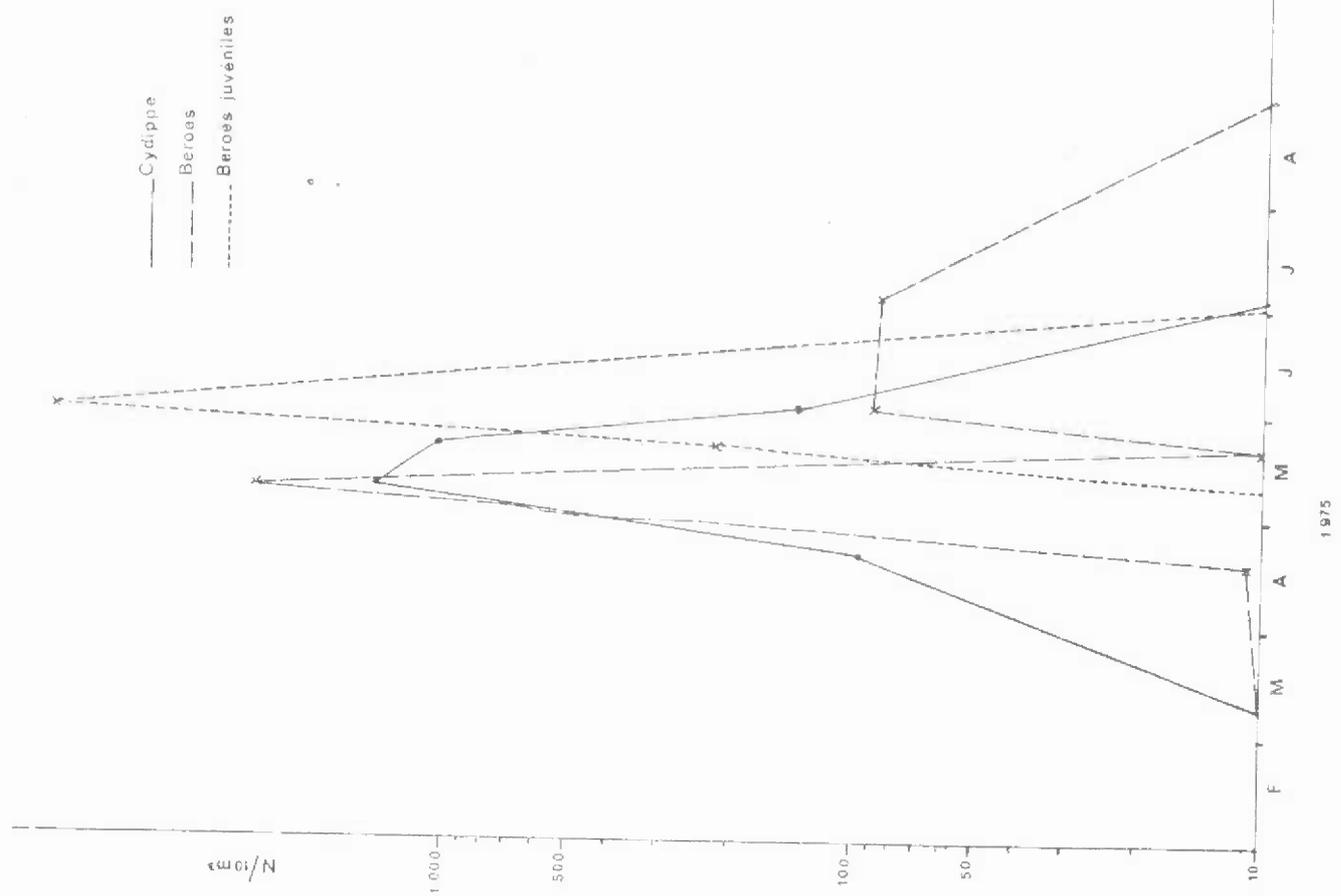
4.1.3 Cycle annuel des principales espèces, leur succession dans la chaîne trophique

Nous avons résumé dans un schéma d'ensemble le cycle trophique du plancton observé à GRAVELINES. Nous avons simplifié volontairement, en ne faisant apparaître que les espèces dont l'abondance maximale a été bien mise en évidence. On voit apparaître la succession des espèces en relation avec les conditions de température et les relations trophiques qui peuvent exister entre elles. Ces espèces représentent les niveaux souvent herbivores, filtreurs, omnivores, carnivores (fig. 130).

4.1.4 Validité des résultats quantitatifs

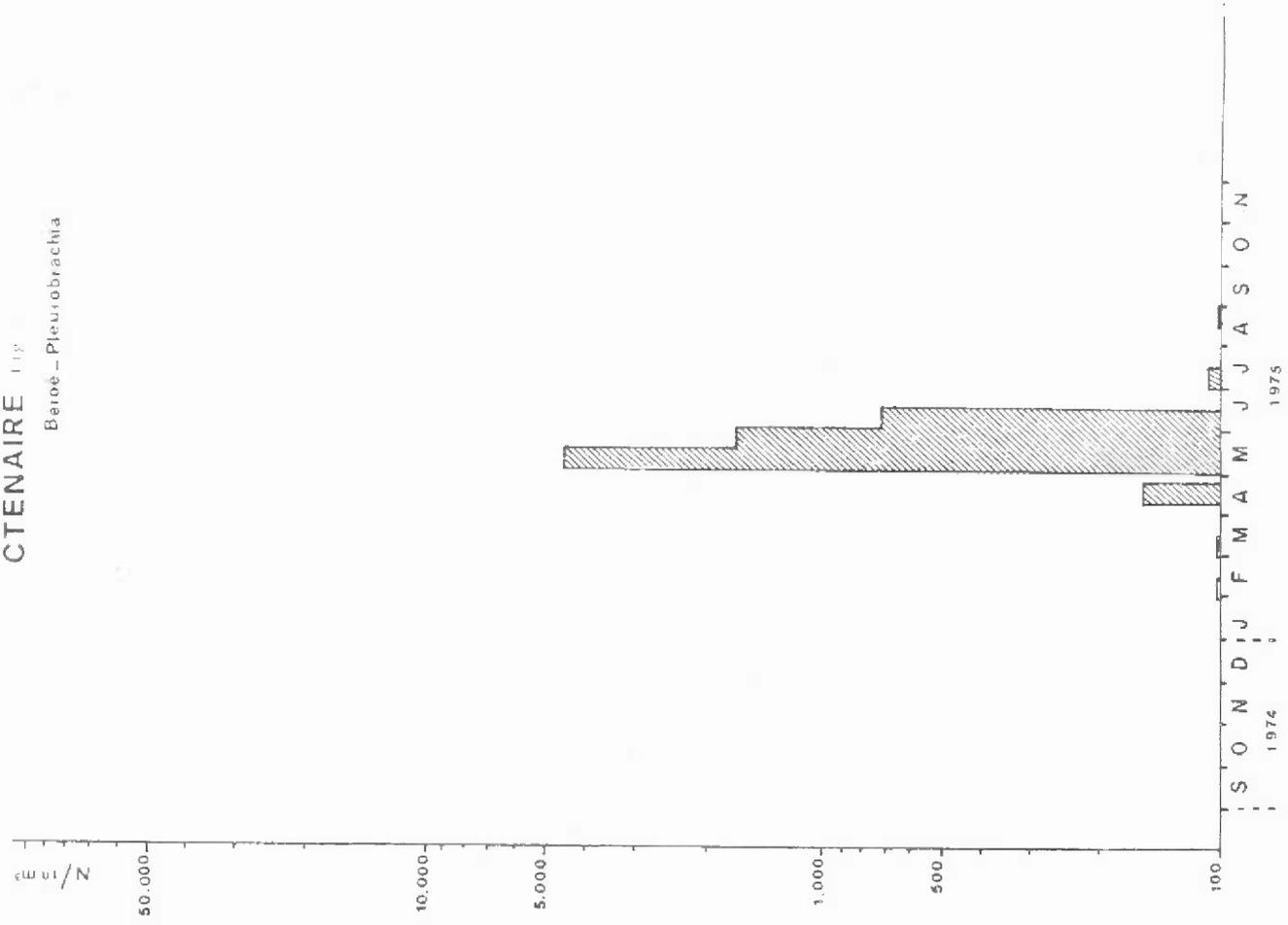
Il est apparu, au cours du dépouillement des échantillons d'assez grandes variations quantitatives pour une même espèce au cours des campagnes différentes,

Cténaires

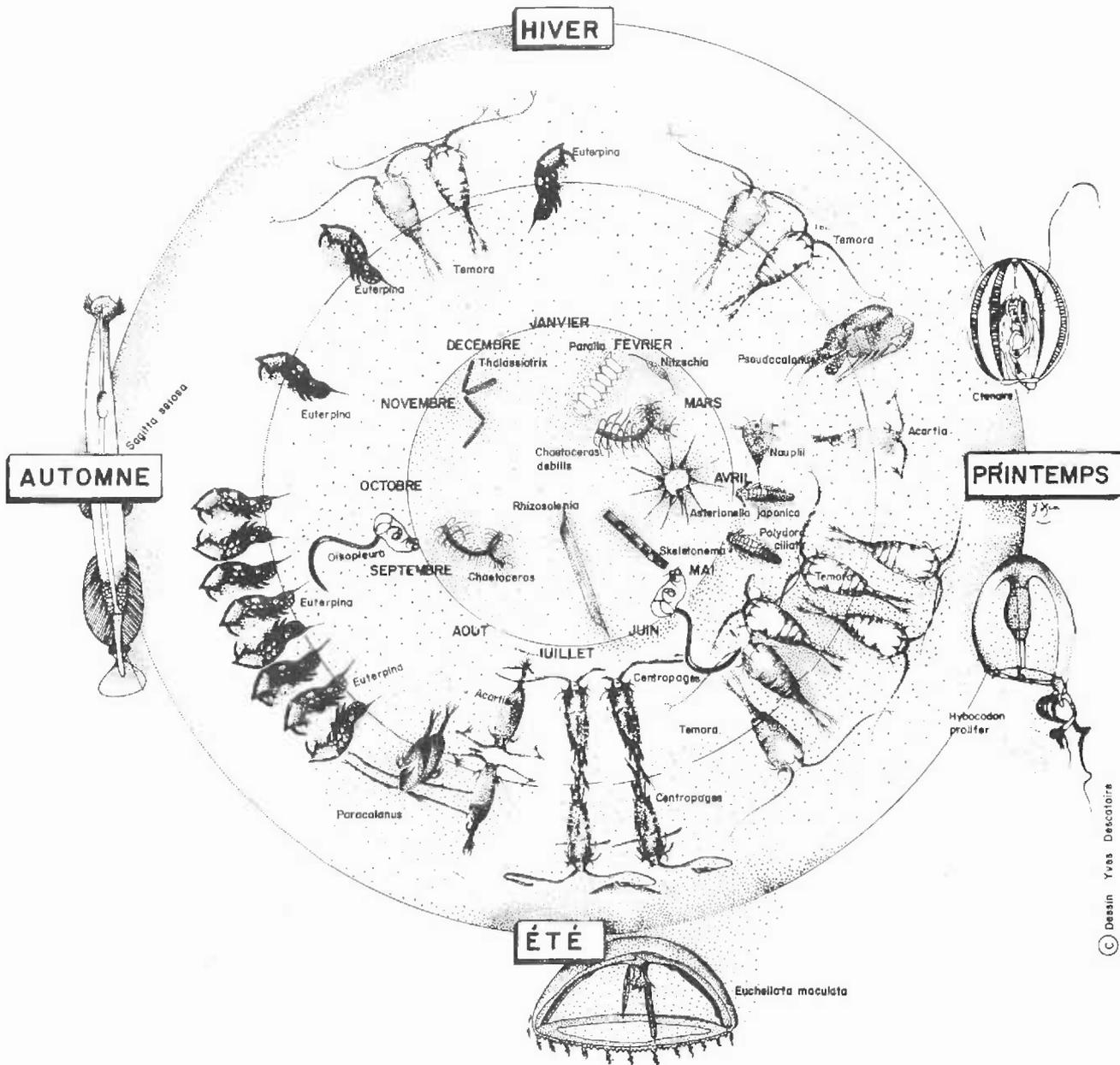


CTENAIRE

Beroë - Pleurobrachia



Cycle saisonnier faisant apparaître la succession des principales espèces du zooplancton, présentes sur le site de GRAVELINES



© Desain Yves Descatoire

soit au cours d'une même campagne entre 2 stations. Dans ce cas, on peut se poser la question suivante : quand est-il raisonnable de conclure à une différence significative entre deux échantillons ?

Nous avons conclu :

1° que les différences quantitatives entre deux prélèvements ne sont pas toujours significativement différentes au cours d'une même mission en deux stations différentes ;

2° qu'au contraire, la variation de la moyenne des prélèvements par mission était significative, d'où notre méthode d'exploitation des données appliquée aux échantillons de zooplancton :

- nous avons utilisé avec beaucoup de précautions les résultats indiquant les distributions horizontales des organismes dans le milieu,
- au contraire, nous avons représenté les variations saisonnières des principales espèces en effectuant une moyenne des données par mission.

Il serait indispensable pour compléter cette étude de fournir pour chaque espèce, non seulement la moyenne, mais de plus les écarts à la moyenne pour chaque station.

Au cours de la campagne du mois de décembre, nous avons eu cependant l'occasion de tester la variabilité dans l'échantillonnage par la comparaison de deux séries de données quantitatives du plancton : les résultats quantitatifs des espèces aux différents points (radiale côte/large) et des données obtenues par prélèvements successifs ou "replicat".

Nous avons essayé de répondre aux questions suivantes :

1° peut-on distinguer des différences quantitatives significatives du zooplancton entre la côte et le large (gradient côte-large) ?

- 2° les variations qui se produisent en un point fixe au cours d'un cycle de marée sont-elles significativement différentes de celles qui sont constatées entre deux points ?
- 3° les différences observées entre 3 échantillons prélevés au même point en un court laps de temps sont-elles supérieures ou équivalentes aux différences observées entre deux stations ?

Les figures 131 et 132 montrent les variations quantitatives de différentes espèces :

- 1° sur une radiale ABC côte-large effectuée à pleine mer (1 heure) et sur la même radiale côte-large effectuée à l'étale de courant,
- 2° en un point fixe au cours d'un cycle de marée entre la pleine mer moins 1 heure, et la basse mer moins 1 heure.

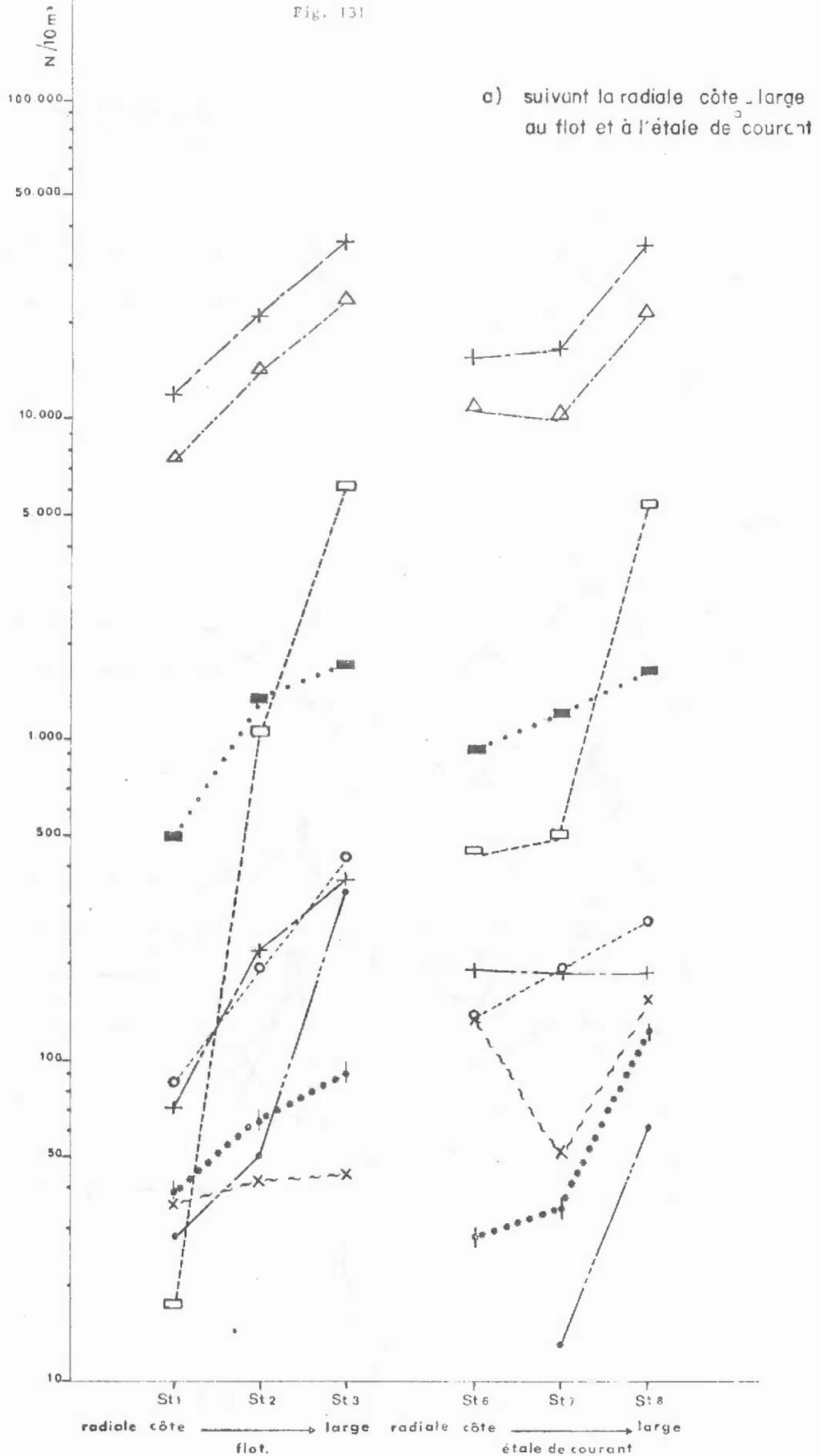
Chaque point est la moyenne de 3 mesures ou "replicats" (prélèvements répétés).

Résultats obtenus

- 1° on observe que l'ensemble des organismes présente au moment de la radiale de haute mer un gradient côte-large qui est plus fort que celui observé au moment de l'étale de courant de jusant. Ce gradient est particulièrement net pour un Copépode tel que *Temora longicornis* et aussi pour *Centropages hamatus*, *Sagitta setosa* etc.
- 2° les variations d'abondance sont importantes au point fixe pendant le cycle de marée. On observe un minimum au moment de l'étale de courant de jusant et deux maxima à mi-jusant et après l'étale de courant.
- 3° la variabilité au niveau de l'échantillonnage a été étudiée et l'hétérogénéité testée. On a constaté que pour l'espèce la plus abondante, *Euterpina acutifrons* (60.000 individus pour 10 m³) les différences entre les échantillons d'une même station peuvent être du même ordre de grandeur que celles observées entre deux stations.

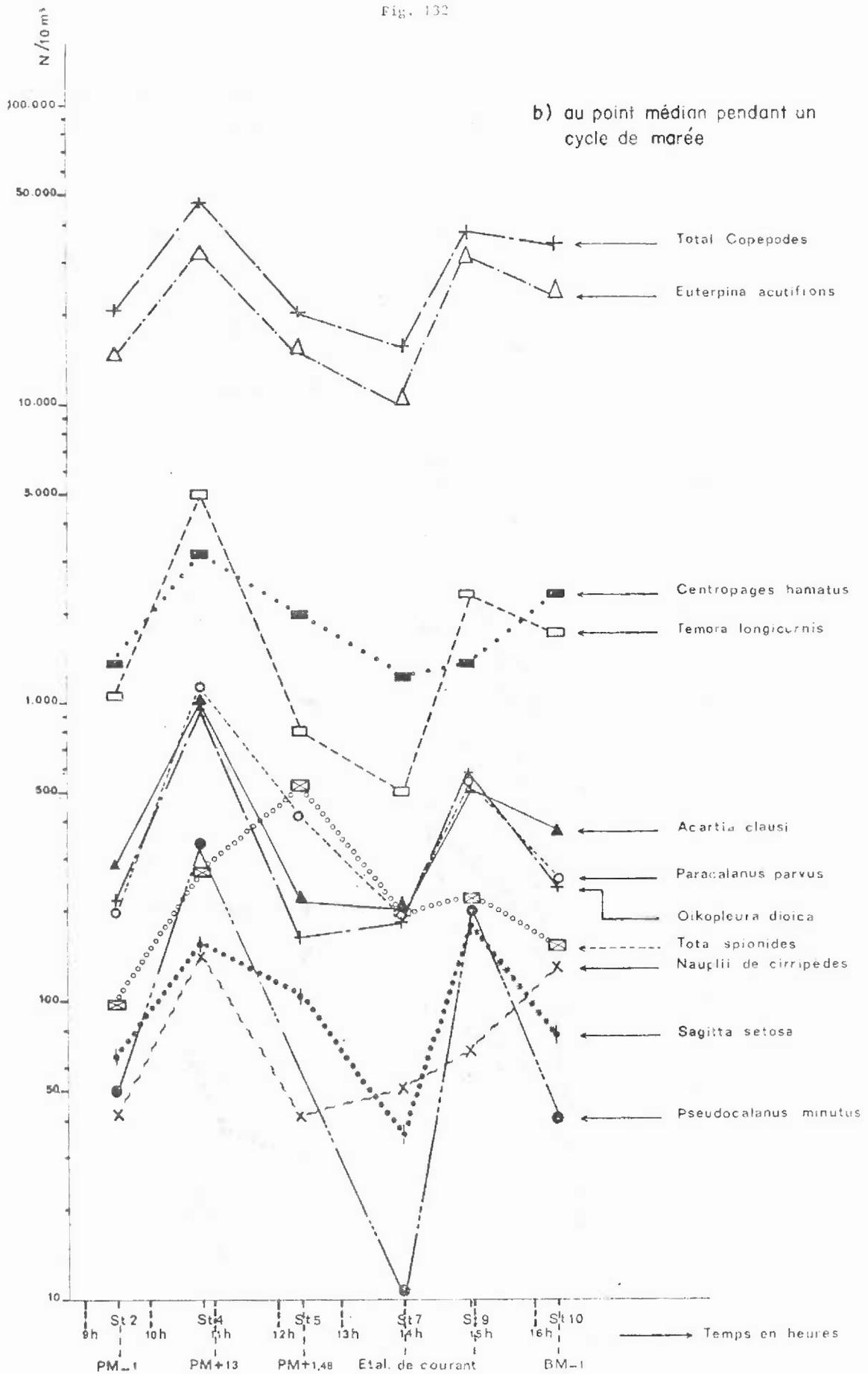
VARIATIONS QUANTITATIVES DE CERTAINS TAXONS

Fig. 131



VARIATIONS QUANTITATIVES DE CERTAINS TAXONS

Fig. 132



Le calcul d'analyse de variance appliquée à cette espèce a été fait après transformation des valeurs en $\log(N + 1)$. Cette transformation permet aux données de satisfaire approximativement les hypothèses de l'analyse de la variance sur lesquelles repose la plupart des traitements statistiques usuels. L'analyse de variance a été entreprise après calcul du coefficient de FISHER (S^2/m). On constate une surdispersion.

Les trois sources primaires de variations sont :

- les points (P) de la radiale : 3 points
- la marée (M) 2 situations : haute mer et jusant
- les "replicats" (R) 3 échantillons par stations

On en déduit les résultats :

- aucune des sources envisagées ne donne une variation significativement supérieure au bruit de fond,
- aucune d'entre elles ne donne une variation significativement supérieure à celle qui résulte des seuls "replicat".

La faible précision au niveau de l'échantillonnage est liée au faible volume d'eau filtré (WIEBE, 1972-1973). Cependant, sur le site de GRAVELINES, il n'est guère possible de filtrer en une seule pêche au WP^2 200 μ un grand volume d'eau, car le filet est colmaté par le phytoplancton. La solution est sans doute de faire un nombre suffisant de "replicat" pour faire confiance à la moyenne des mesures d'une série.

Autres causes d'incertitudes sur les valeurs quantitatives

La méthode d'échantillonnage par prélèvements au WP_2 s'est avérée convenir pour la récolte des petites formes du zooplancton. Certains groupes très vagiles sont malheureusement mal représentés et évitent le filet. On perd ainsi beaucoup d'information sur l'abondance simultanée des herbivores (bien recueillis ici) et des carnivores plus vagiles. D'autres études, menées à GRAVELINES par l'I.S.T.P.M. permettent de combler les lacunes que nous observons

dans notre estimation des carnivores (gros alevins de Poissons par exemple) dans la mesure où les filets "Bongo" prélèvent mieux les formes plus grandes avec un filet de maille supérieure (filet qui perd par contre les petits Copépodes). La collecte de toutes les catégories d'organismes devrait être envisagée dans la mesure du possible, simultanément pour mieux comprendre les interactions des différents éléments d'une même chaîne trophique.

4.2 Résultats des mesures de la biomasse

L'ensemble des valeurs de poids sec, matières organiques, carbone et azote organiques est résumé dans des tableaux (volume II, tableaux 51 à 65).

Nous pouvons observer que pour chaque échantillon les teneurs en carbone et en azote varient dans le même sens. Ceci est confirmé par le rapport C/N qui reste relativement constant pour les échantillons d'une même campagne.

Ce rapport ne varie toutefois pas de façon significative d'une campagne à une autre. Il ne peut donc les caractériser.

Le cas de la campagne du 6 octobre est particulier : nous obtenons des teneurs de carbone et d'azote faibles et un rapport C/N plus variable, témoignant d'un échantillon "sale".

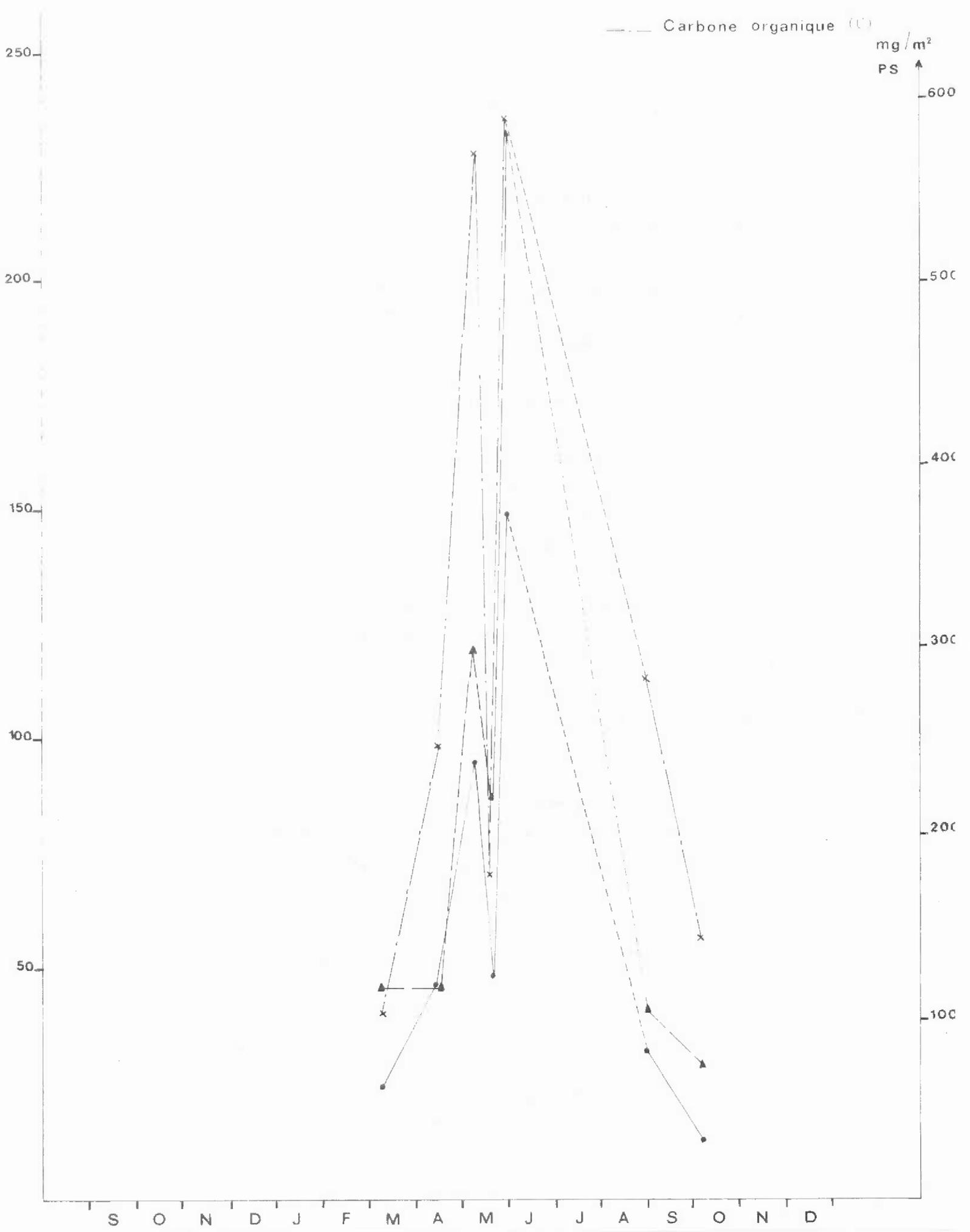
4.2.1 Variations saisonnières de la biomasse sur le site

Nous avons tracé les courbes des variations saisonnières de la biomasse totale, en utilisant les moyennes du poids sec, de la matière organique, du carbone et de l'azote organiques calculées pour chacune des campagnes (fig. 133).

N.B. Le carbone et l'azote ayant des variations saisonnières rigoureusement parallèles, nous ne retiendrons désormais, pour simplifier, que les seules valeurs du carbone.

FIG. 133

— Poids sec (P.S.)
— Matière organique (M.O.)
- - - Carbone organique (C)



Les courbes présentent de grandes similitudes et font toutes apparaître pour la période analysée :

- une augmentation de la biomasse planctonique totale au début du mois de mai suivie d'une diminution à la fin de ce mois.
- une très forte augmentation au 1er juin, suivie d'une baisse non détaillée à partir du 1er juin, aucune analyse n'ayant pu être faite pendant la période du 1er juin au 30 août.
- une biomasse d'hiver relativement faible.

Le carbone et la matière organiques varient de façon homogène, tandis que le poids sec ne rend pas compte des mêmes amplitudes de variations. Il est probable que la présence de matières inorganiques observées par ailleurs dans les échantillons, affecte la précision de ce dernier paramètre.

Le nombre total d'individus reflétant la biomasse de zooplancton, il nous a paru intéressant de comparer ses variations saisonnières (fig. 104) avec celles de la biomasse totale.

Nous pouvons constater qu'elles varient de façon voisine, sur la période étudiée.

Ainsi, au 1er juin, nous observons une augmentation de la biomasse dont le pic correspond à une forte augmentation de la population du zooplancton mais aussi à une poussée phytoplanctonique ; en effet, nous remarquons à cette époque une élévation du taux de la chlorophylle.

La baisse enregistrée le 20 mai pourrait correspondre à l'utilisation trophique par les herbivores du zooplancton des cellules du phytoplancton ; ceci semble être confirmé par la chute, à cette date, de la quantité de chlorophylle mesurée.

De toutes les méthodes utilisées pour la détermination de la biomasse, il ressort que celle basée sur le dosage du carbone ou de l'azote organique paraît

intéressante pour deux raisons :

- les résultats qu'elle donne sont cohérents, plus précis et confirmés par ceux obtenus par la détermination du poids de matières organiques,
- c'est une méthode de dosage qui a l'avantage d'être rapide.

4.2.2 Répartition géographique de la biomasse du zooplancton

4.2.2.1 Cartes

Nous avons voulu étudier la répartition géographique sur une carte du site de GRAVELINES, de la matière organique et du carbone organique mesurés (volume III). Pour chacune des campagnes, nous avons constaté des répartitions identiques de ces 2 paramètres, ce qui donne une bonne idée de la répartition de la biomasse planctonique totale sur le site.

La comparaison avec la répartition du nombre total d'individus observés au comptage, nous permet de dégager la part de la biomasse du zooplancton

Il apparaît que le nombre total d'individus et la biomasse totale sont distribués de la même façon sur le site. Ceci suggère que la biomasse que nous avons mesurée est représentative de l'abondance du zooplancton. Toutefois, pour la campagne du 20 mai, subsiste une incohérence pouvant être expliquée par une poussée du phytoplancton (cf. variations saisonnières) ou/et éventuellement, par l'absence de courant pendant cette campagne.

D'une façon générale, les méthodes utilisées s'accordent à montrer qu'il existe un gradient d'abondance côte-large, et deux zones particulières situées au débouché de l'Aa, et à l'Ouest de la digue.

Pour toutes les campagnes réalisées avec un courant de flot dominant, nous trouvons un maximum au large, et un minimum côtier, particulièrement marqué au débouché de l'Aa.

Il semble que ce gradient d'abondance s'inverse, lorsque le courant est nul (étale) ou même au jusant. Particulièrement dans ce cas, on peut observer qu'à l'Ouest de la digue se trouve une lentille d'abondance particulièrement forte du zooplancton (station 9).

Il reste cependant difficile de conclure plus avant, étant donné le nombre limité de campagnes qui ont été réalisées. Dans ce sens, il demeure souhaitable de réaliser d'autres prélèvements complémentaires, qui nous permettront de mieux apprécier la répartition de la biomasse et ses variations.

4.2.2.2 Relation biomasse/salinité

La salinité étant un facteur écologique important, nous avons étudié les relations entre sa répartition géographique et celle de la biomasse totale.

Pour les trois campagnes des 8 mars, 30 août et 6 octobre, les salinités et la biomasse totale ont des répartitions analogues ; il existe un gradient côte/large caractérisé par :

- une biomasse totale faible à la côte, particulièrement au débouché de l'Aa, correspondant à une salinité faible (influence de dessalure) ;
- une biomasse plus élevée au large, coexistant avec des salinités plus fortes.

Cependant, pour les campagnes du 20 mai et plus particulièrement celles des 9-10 mai et 1er juin, nous pouvons observer au contraire, une biomasse importante en zone côtière et particulièrement au débouché de l'Aa, tandis qu'elle est plus faible au large.

Or, à ces dates, la courbe des variations saisonnières montre une forte augmentation de la biomasse résultant d'une poussée phytoplanctonique (9-10 mai) et zooplanctonique (1er juin).

Il est probable que les individus du plancton se reproduisent préférentiellement à la côte, là où les teneurs en sels nutritifs sont les plus importantes ; cela expliquerait l'abondance côtière marquée.

5. Conclusion

Durant cette année, nous avons pu étudier le zooplancton et le caractériser. Il apparaît que la production secondaire pélagique, dont l'estimation a été entreprise par plusieurs méthodes d'approche peut être très élevée.

Le poids sec des échantillons de zooplancton ne peut être utilisé seul sur le site de GRAVELINES, pour caractériser la biomasse. Ce fait est dû à la présence de particules non vivantes et de phytoplancton, en suspension. C'est pourquoi, dès mars 1975, nous avons envisagé, afin d'éliminer ces sources d'erreurs, une méthode basée sur plusieurs techniques menées de front, à savoir la mesure de la matière organique d'une part et le dosage du carbone et de l'azote organique d'autre part.

Les différents résultats sont comparés à ceux obtenus par comptages, mais cette comparaison n'a pu être faite que pour la période de mars à octobre.

On recueille des résultats permettant de dégager 2 pics d'abondance du plancton qui ont lieu aux dates suivantes :

- le 1er : les 9 et 10 mai ; ce pic correspond à une poussée de phytoplancton,
- le 2ème : le 1er juin est attribuable au zooplancton et en particulier aux Copépodes (pontes).

Si la masse planctonique est élevée, même en hiver, nous constatons qu'elle dépend d'un petit nombre d'espèces, à savoir : *Temora longicornis*, *Euterpina acutifrons*, *Acartia clausi*, *Centropages hamatus*, *Oikopleura dioica*, *Polydora ciliata*, *Lanice conchilega*, *Sagitta setosa*, mais aussi des Mysidacées et des Alevins, qui, même en faible quantité, ont un poids élevé.

La diversité du milieu est faible, ce qui caractérise les zones froides, mais témoigne d'une certaine fragilité de l'écosystème. Les forts courants qui règnent sur le site, le brassage des eaux et les perturbations causées par la digue, amènent une instabilité dans l'établissement des populations.

Avec toutes les réserves que cela suggère, nous avons tout de même synthétisé un cycle annuel basé sur les relations trophiques interspécifiques. Les phases prin-

pales sont les suivantes :

- La fin de l'été et le début de la période automnale se caractérisent par un pic de Copépodes herbivores, rapidement supplantés par les détritivores : Copépode *Paracalanus* et Appendiculaire *Oikopleura dioica*.
- A la fin de l'automne on a observé l'arrivée massive des carnivores Chaetognathes *Sagitta setosa* et la production du Copépode omnivore *Euterpina acutifrons*.
- L'hiver (décembre - février) se caractérise par la présence de détritivores (Mysidacés, Copépode *Euterpina*) et carnivores (Alevins de Clupéidés).
- Le début de la période printanière correspond à l'apparition du principal Copépode d'origine boréale *Temora longicornis*.
- Au printemps et essentiellement en mai et juin, tous les herbivores et les filtreurs présentent une abondance considérable (Copépode, *Polydora*). Les principaux carnivores du printemps sont les Cténaïres.
- La phase estivale est marquée par une chute dans la production des Copépodes, due à l'arrivée des Méduses carnivores. A la fin de l'été se situe le démarrage de la production des détritivores et la fin du cycle trophique.

L'étude de la répartition géographique des espèces sur le site a été tentée : des difficultés sont apparues quant à l'interprétation des résultats pour plusieurs raisons :

- campagnes incomplètes dues aux conditions météorologiques,
- pour une même campagne, les stations sont nécessairement réalisées dans des conditions de courants de marée différents.

On a cependant mis en évidence une zonation du site, faisant apparaître :

- la zone influencée par le débouché de l'Aa (salinités faibles), pauvre en mésoplancton. Cependant, certaines espèces sont bien représentées : *Acartia discaudata* (Copépode de dessalure), *Mesopodopsis slabberi* (Mysidacé), les Alevins de Pleuronectidés.

- La zone Ouest de la digue : on y constate fréquemment une accumulation d'organismes particulièrement pendant le jusant et même l'étale.
- Une zone plus au large, caractérisée par la richesse de l'holoplancton et une plus grande diversité.

Pour mieux définir la distribution spatiale du zooplancton, il semble nécessaire de limiter le temps écoulé entre les différents prélèvements et de les situer dans un intervalle de temps centré sur l'étale de courant.

De même, il apparaît indispensable de resserrer la maille temporelle et de la fixer à une quinzaine. Il devrait être ainsi possible de définir avec plus de précision la répartition et le renouvellement des espèces sur le site.

III.A LA ZONE INTERTIDALE

1. Introduction

L'estran étudié est divisé en deux parties par l'Aa, petite rivière qui se jette dans la Mer du Nord au niveau de GRAVELINES.

Selon le programme proposé, 3 radiales ont été prospectées et réparties de la façon suivante (fig. 134) :

- L'une (radiale A) est située à l'Ouest de l'Aa dans une zone pratiquement hors influence de la centrale, où l'estran s'étend sur une longueur de 500 m. Cette zone n'avait pas encore fait l'objet de prospection.
- Les deux autres (B et C) sont situées à l'Est de l'Aa dans une partie de l'estran déjà étudiée en 1973 lors de l'étude préliminaire.

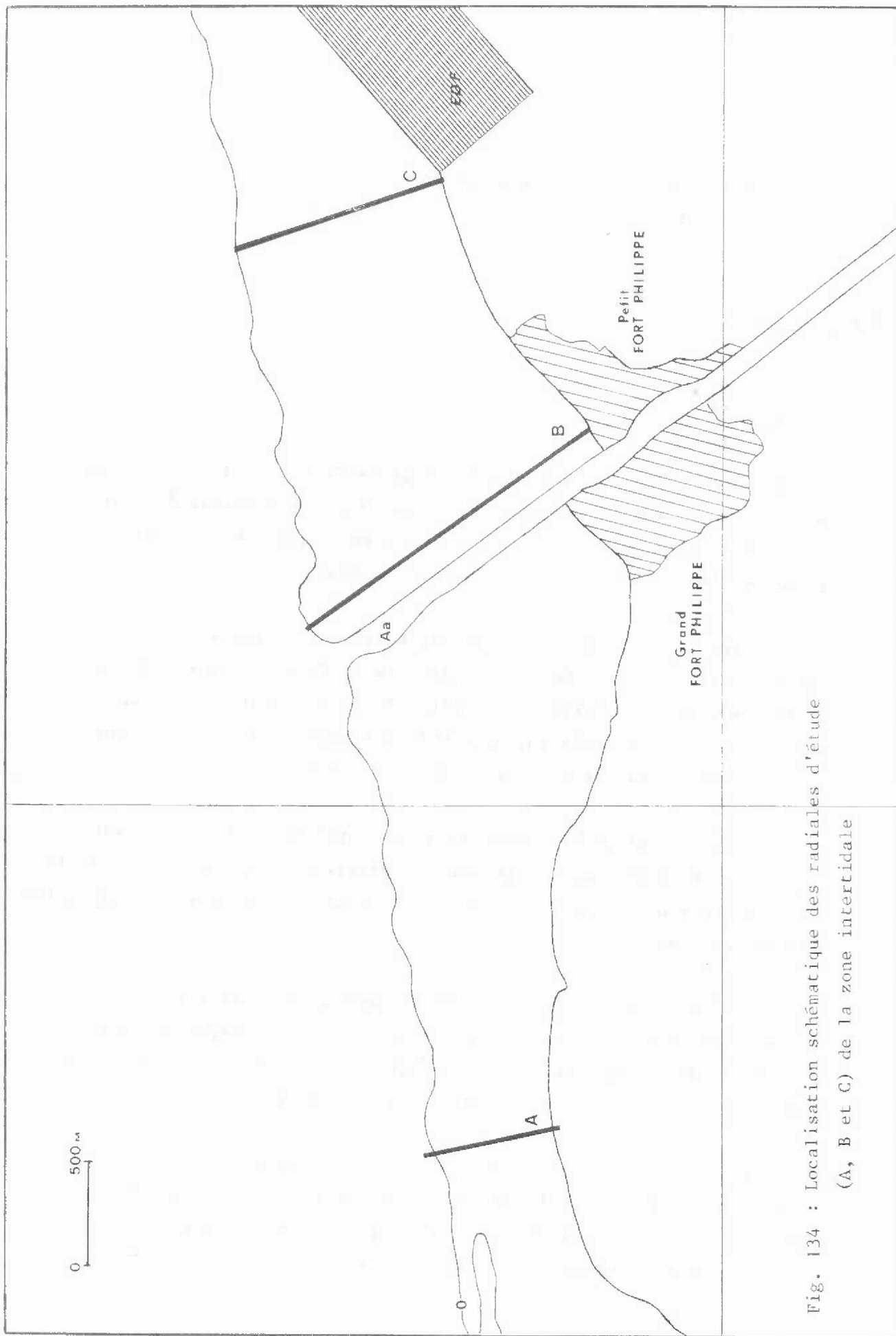


Fig. 134 : Localisation schématique des radiales d'étude
(A, B et C) de la zone intertidale

- . La radiale B est parallèle au chenal de l'Aa sur une longueur supérieure à 1,5 km.
- . La radiale C, plus à l'Est se situe en face de la bulle chaude, au voisinage de la centrale où la plage n'excède pas 1 km de long.

2. Méthodologie

2.1 Sur le terrain

Le choix des radiales a été guidé sur le terrain par la présence de repères stables dans la zone dunaire et par l'accès possible du fourgon, en particulier pour les radiales A et C tandis que pour la radiale B, la digue de l'Aa a fourni un repère visuel commode.

Pour la localisation de la radiale A, sise dans la plage Ouest non encore explorée dans le cadre de l'étude antérieure EDF, il a été effectué une série préliminaire d'examens quantitatifs et qualitatifs de faune portant sur 7 tracés. La radiale qui a fourni la biomasse la plus conséquente et la plus représentative de la zone a été retenue.

De même dans la plage Est, deux radiales supplémentaires localisées entre B et C (hors programme) ont permis de surveiller l'évolution de la plage par comparaison avec les résultats obtenus en 1973 lors de l'étude antérieure du site.

Afin de mieux suivre l'évolution de la zone intertidale, les campagnes d'estran ont été effectuées tous les mois, tout en respectant pour chacune des radiales une périodicité d'étude de 2 mois. Le calendrier de ces campagnes figure dans le tableau 71 (volume II).

Les dates de sorties ont été choisies de façon à pouvoir profiter des plus forts coefficients de marée. Il faut signaler cependant les problèmes qu'ont posé les exécutions simultanées des prélèvements pour GRAVELINES et PALUEL : ceux-ci ne nous ont pas permis de bénéficier à chaque

campagne des meilleurs coefficients. D'autre part, chaque prélèvement n'a pu être fait en suivant le retrait de la mer.

La technique utilisée durant la reconnaissance préliminaire a été poursuivie : trois prélèvements situés à trois niveaux différents de la plage ont été réalisés. Les niveaux bas sont compris entre 0,5 m et 2,50 m ; les niveaux moyens choisis entre 2,50 m et 4,50 m et enfin les stations de hauts niveaux situés à des côtes comprises entre 4,50 m et 5,60 m par rapport au zéro théorique.

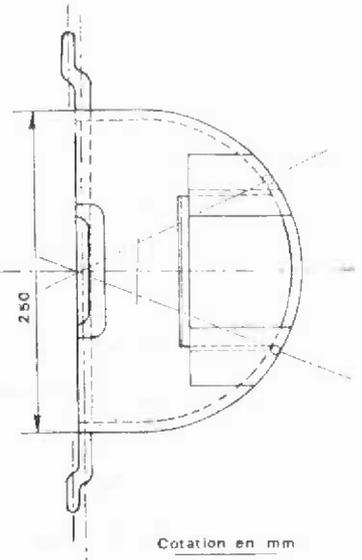
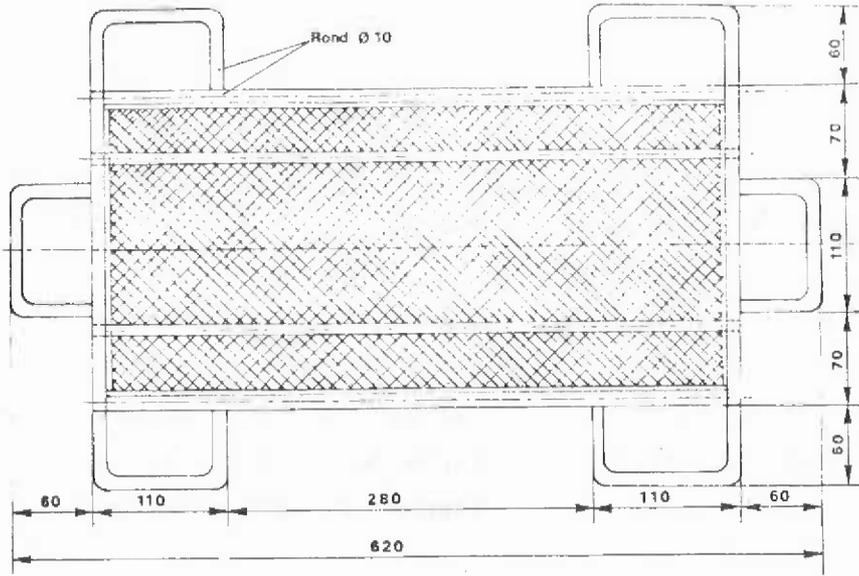
Un prélèvement consiste en une prise de sable sur une surface de un quart de mètre carré (délimitée par un cadre métallique carré de 0,50 m de côté) jusqu'à 0,30 m de profondeur (fig. 139), soit un volume de 75 l. Le contenu des seaux recevant le sédiment est tamisé dans l'eau de mer grâce à des tamis spéciaux inspirés du modèle de DAVANT et SALVAT (1961) (modifié GLACON) (fig. 135). Ces tamis possèdent des vides de mailles de 1 mm. Le refus de chacun d'entre eux, plus ou moins volumineux selon la qualité de sable, est recueilli dans des sacs plastiques et les animaux qui y sont contenus sont fixés par du formol salé (concentration de 8%) en vue de la détermination au laboratoire.

Lors du prélèvement, l'eau interstitielle est recueillie dans des flacons de polyéthylène hermétiquement bouchés pour dosages ultérieurs au laboratoire. A chaque prise d'eau on ne peut éviter cependant une erreur due au mélange avec l'eau présente en surface.

A chaque station, un échantillon de sable est prélevé avec un carrotier (dont le modèle est présenté à la figure 136) qui permet une prise de sédiment jusqu'à une profondeur de 20 cm. Cet échantillon est destiné à être envoyé au COB, pour évaluation des fluctuations annuelles des formes juvéniles et de la méiofaune avec mesure du taux d'azote organique. Un second échantillon de même type a été prélevé en octobre-novembre afin de pouvoir réaliser une analyse granulométrique.

2.2 Au laboratoire

Les mesures physico-chimiques, pédologiques et biologiques sont réalisées au laboratoire.

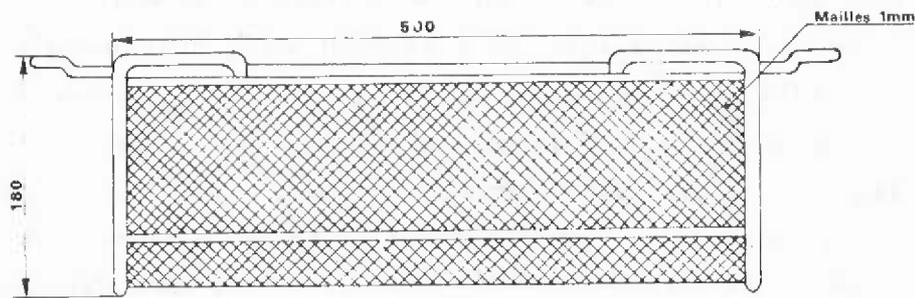


Cotation en mm

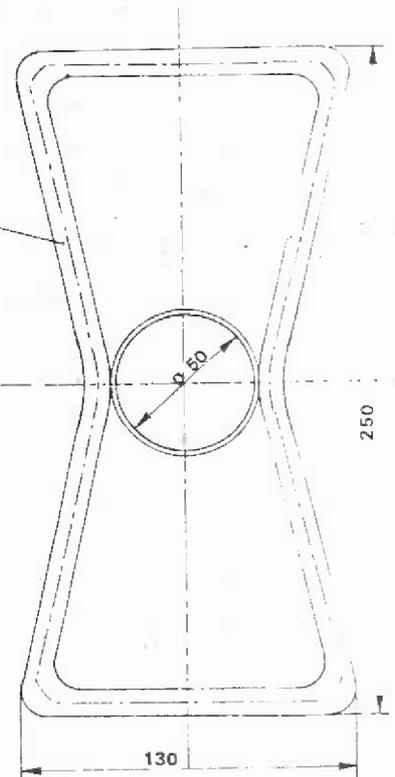
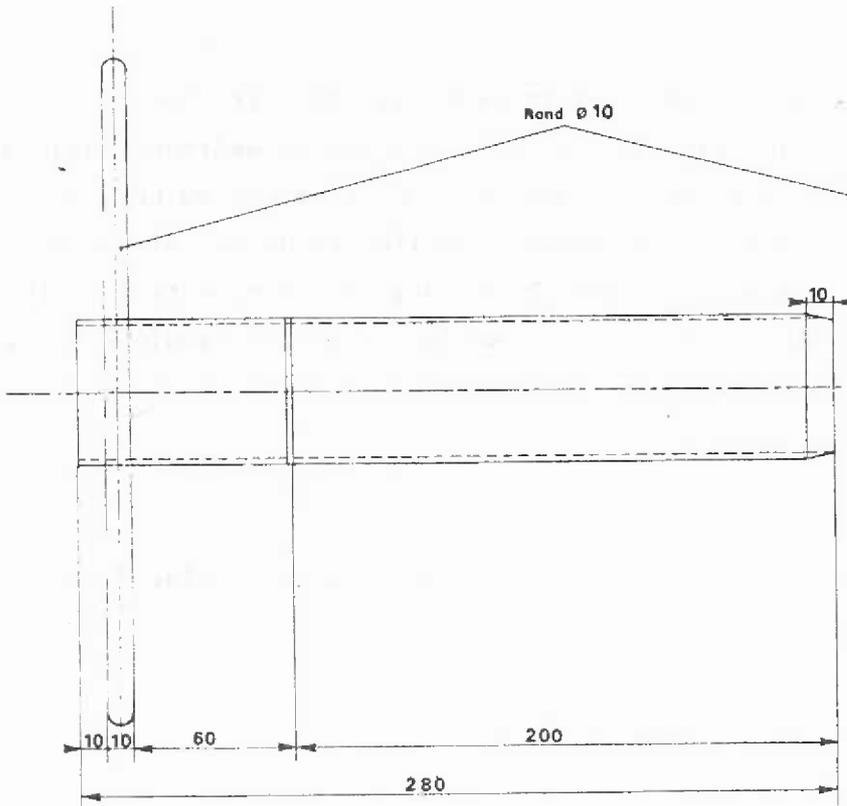
Tamjs Type DAVANT-SALVAT 1961

Modifié GLAÇON

Fig. 135



Carottier



Cotation en mm

Fig. 136

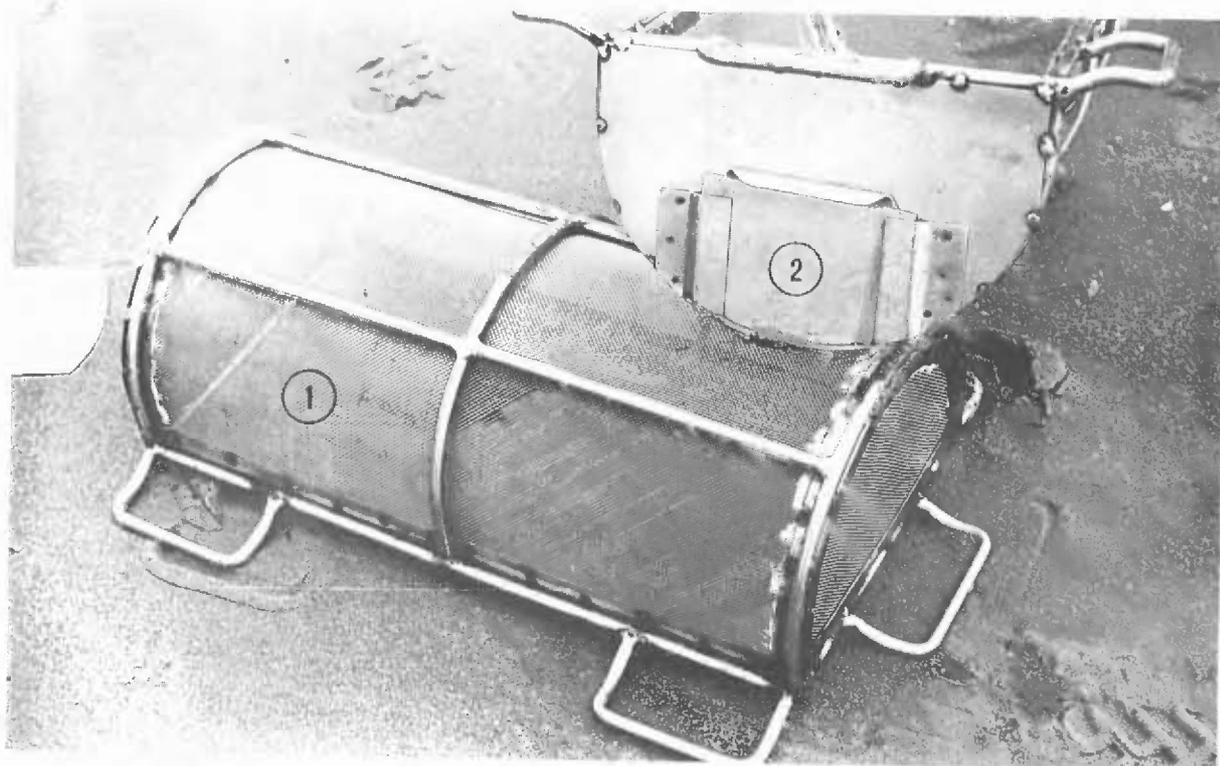


Fig. 137 : Tamis type DAVANT-SALVAT (1961) modifié GLAÇON
(1) Toile en acier inoxydable : vide de mailles de 1 mm
(2) Porte latérale par où l'on recueille le refus de tamis.



Fig. 138 : Matériel nécessaire à chaque prélèvement



Fig. 139 : Prélèvement de sable effectué sur une surface de $1/4 \text{ m}^2$, jusqu'à 0,30 m de profondeur



Fig. 140 : Tamisage du sédiment dans l'eau de mer

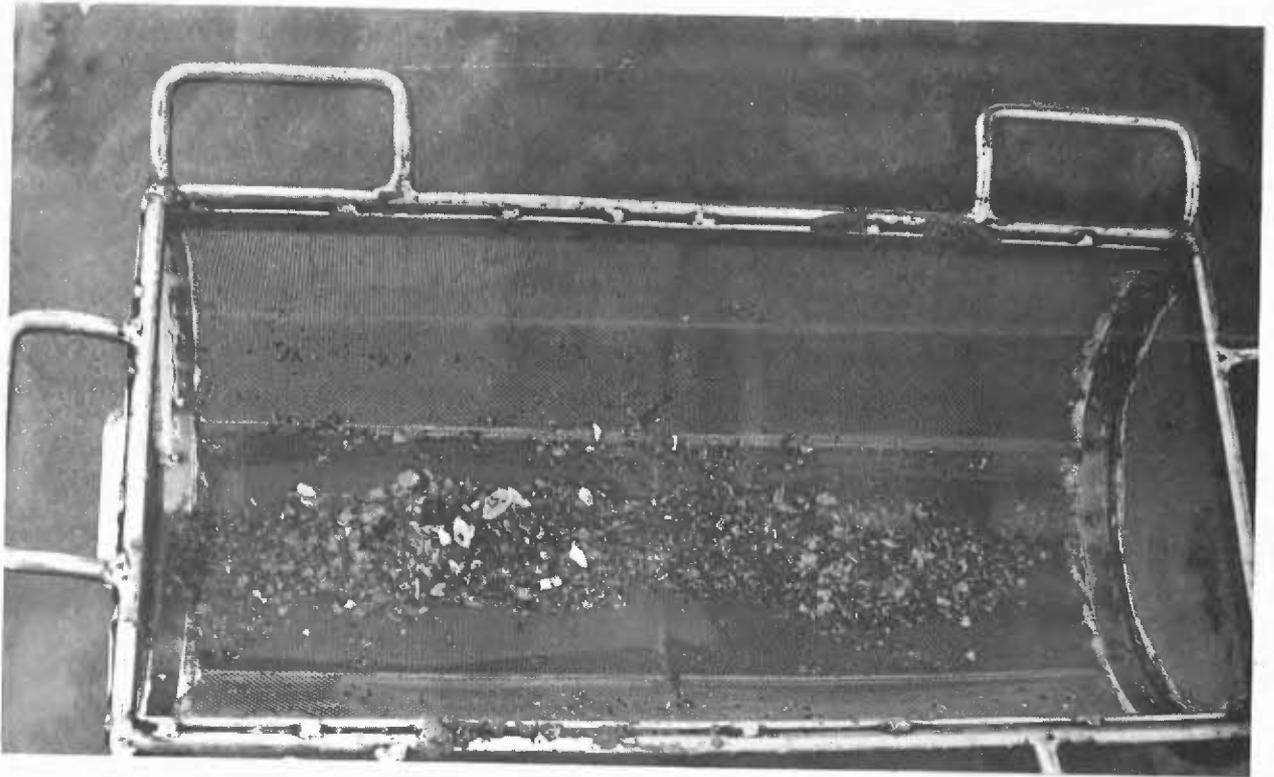


Fig. 141 : Refus de tamis contenant la faune qui sera extraite au laboratoire



Fig. 142 : Le refus de tamis est recueilli, il sera ensuite formolé

2.2.1 Mesures physico-chimiques

Quelques mesures de salinité de l'eau interstitielle ont été réalisées par titration au nitrate d'argent : ce dosage qui donne la chlorosité (Clv) permet grâce à la formule de THOMPSON et VAN CLEVE :

$$Cl^{\circ}/\text{‰} = 0,008 + 0,9998 Clv - 0,001228 Clv^2$$

de calculer la chloronité. La salinité (S°/‰) est déterminée par l'intermédiaire de la table de KNUDSEN :

$$S^{\circ}/\text{‰} = 0,03 + 1,805 Cl^{\circ}/\text{‰}$$

Parmi les résultats obtenus, quelques valeurs ont été retenues et sont citées comme référence dans le texte.

2.2.2 Mesures pédologiques

Elles consistent ici en une étude granulométrique réalisée avec une tamiseuse ROTO-LAB (fig. 143-144-145) contenant des tamis de haut en bas dans un ordre décroissant de vides de mailles variant de 2 mm à 0,04 mm selon une progression géométrique (normes AFNOR).

Avant d'être tamisé, le sédiment soigneusement lavé est séché dans une étuve à 110° pendant 24 heures.

La masse du sédiment analysé est d'environ 120 g. Après un temps de tamisage de 10 à 20 minutes les refus de tamis sont recueillis et pesés à 0,001 g près. Les résultats sont exprimés en pourcentage de sable par rapport à la masse totale de sable (S) proprement dit : celle-ci étant égale à la différence entre la masse totale de l'échantillon (E) et la masse des refus des tamis supérieurs (G) (graviers-Coquilles) et inférieurs (P) (Poudre). Ainsi $S = E - (G + P)$.

Les résultats de ces analyses sont exprimés par des courbes pondérales cumulatives directes qui permettent par l'intermédiaire du calcul de TRASK de donner une formulation mathématique du classement du sable.



Colonne de tamis

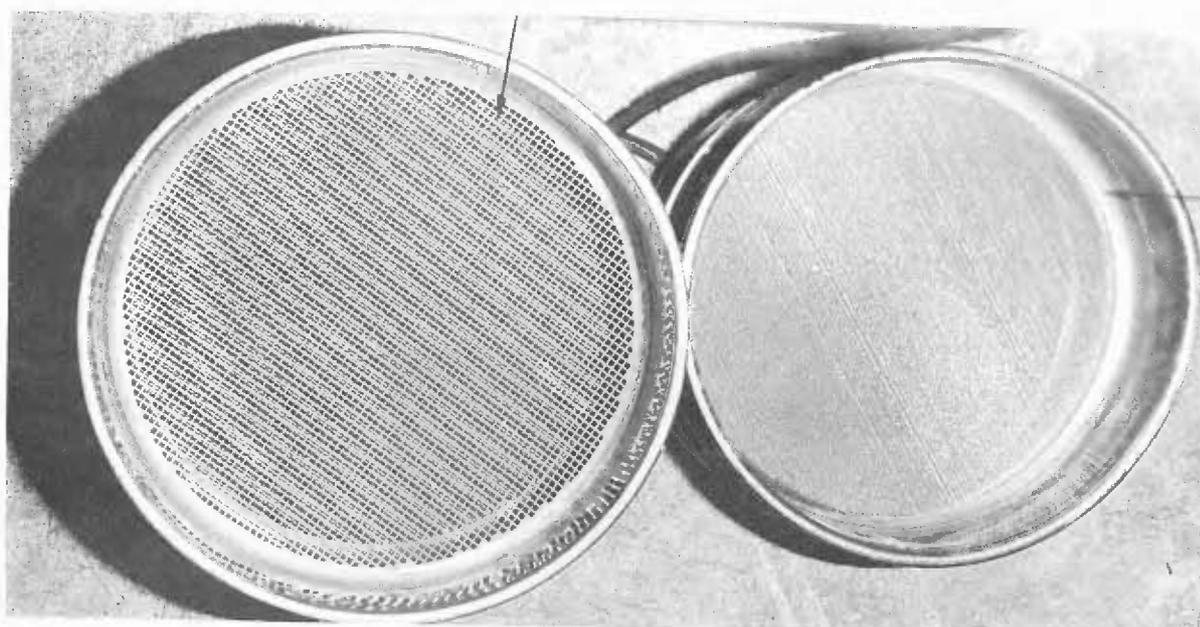
Fig. 144 : Tamis vue latérale



Bloc moteur

Fig. 143 : Tamiseuse "Roto-Lab"

$\varnothing = 2 \text{ mm.}$



$\varnothing = 0,1 \text{ mm.}$

Fig. 145 : Tamis vue de dessus

2.2.3 Mesures biologiques

Dans un premier temps il s'agit de réaliser l'extraction de la faune contenue dans chaque prélèvement. Pour cela, nous avons employé la technique de flottaison : l'échantillon est délayé dans une cuvette avec de l'eau de mer, ainsi les animaux qui y sont contenus flottent et peuvent être récupérés à l'aide d'une fine toile (mailles inférieures ou égales à 1 mm) sur laquelle on verse le surnageant. Cette opération est répétée plusieurs fois de façon à extraire la totalité des animaux. La faune ainsi obtenue est conservée dans du formol salé (concentration de 8 %) jusqu'au moment de la détermination. Dans un second temps, les animaux une fois déterminés et dénombrés sont placés dans un bain d'acide chlorhydrique à 10 %, puis séchés dans une étuve à 110° pendant 24 h, avant d'être pesés. Dans la mesure du possible, mensurations et calculs de sex-ratio des espèces les plus importantes ont été réalisés.

3. Etude granulométrique

Une étude granulométrique a été réalisée aux 3 niveaux de prélèvements pour chacune des radiales ; étude correspondant à la sortie d'octobre-novembre.

Les courbes cumulatives pondérales directes réalisées pour chaque radiale sont présentées dans les figures 146 et 147.

3.1 Caractéristiques granulométriques de chaque échantillon

Radiale A - Haut niveau :

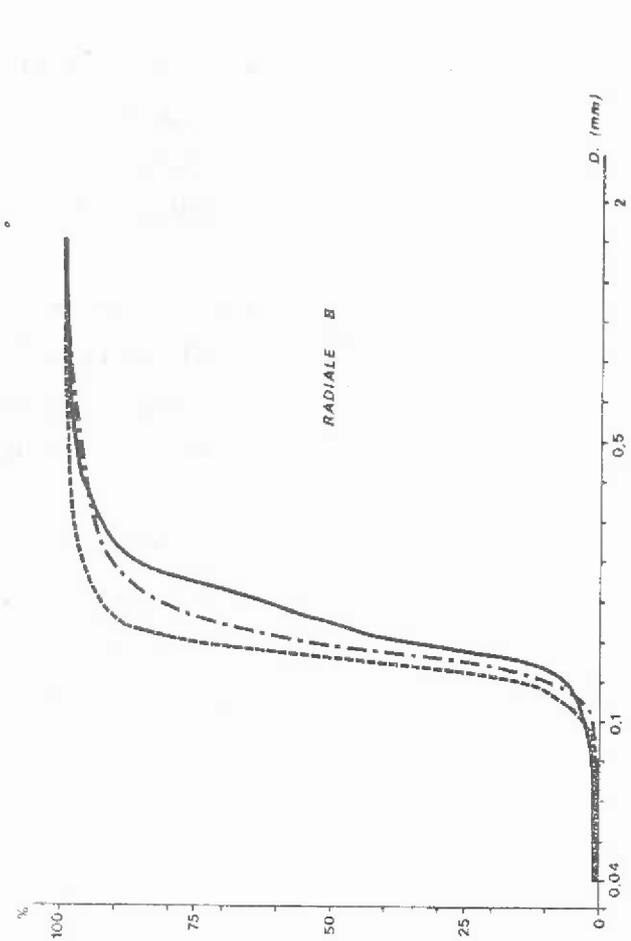
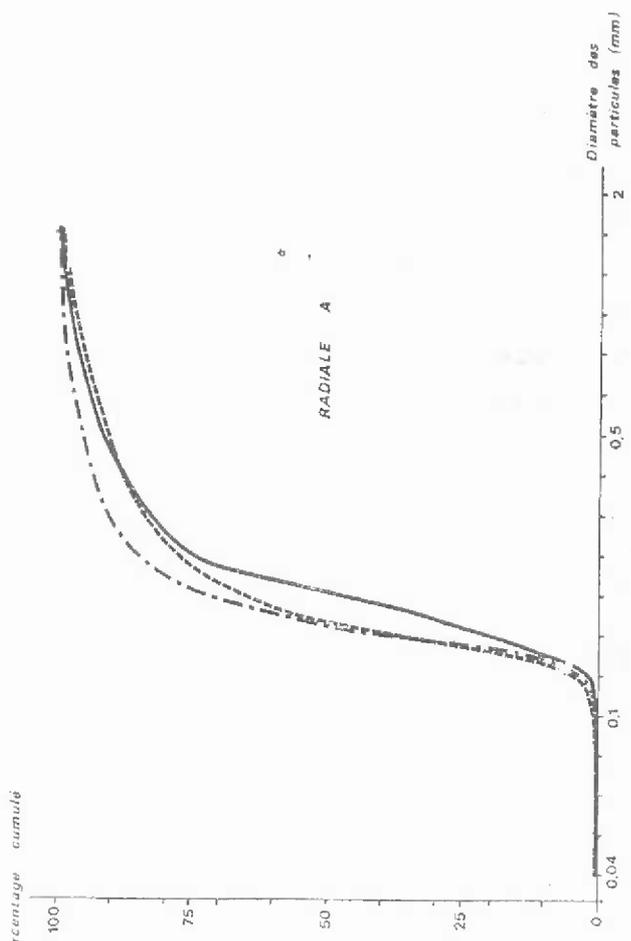
- . proportion des éléments > 2 mm : 2,09 %
- . proportion des éléments < 40 μ : 0
- . proportion du sable proprement dit (2000 - 40 μ) : 97,91 %

Radiale A - Moyen niveau :

- . éléments > 2 mm : 2,50 %
- . éléments < 40 μ : 0,003 %
- . sable : 97,49 %

Fig. 146

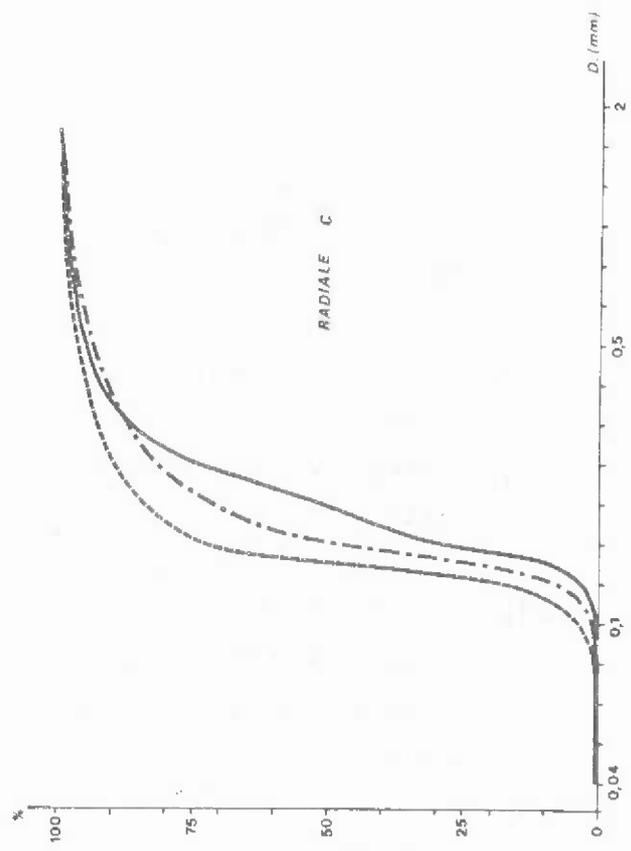
Pourcentage cumulé



niveaux bas (.....), moyen (---), haut (—)

Fig. 147

ETUDE GRANULOMETRIQUE DE L'ESTRAN
courbes cumulatives pondérales directes



niveaux bas (.....), moyen (---), haut (—)

Radiale A - Bas niveau :

- . éléments > 2 mm : 2,64 %
- . éléments < 40 μ : 0,001 %
- . sable : 97,35 %

Radiale B - Haut niveau :

- . éléments > 2 mm : 2,12 %
- . éléments < 40 μ : 0,38 %
- . sable : 97,50 %

Radiale B - Moyen niveau :

- . éléments > 2 mm : 0,43 %
- . éléments < 40 μ : 0,01 %
- . sable : 99,56 %

Radiale B - Bas niveau :

- . éléments > 2 mm : 0,29 %
- . éléments < 40 μ : 0,01 %
- . sable : 99,70 %

Radiale C - Haut niveau :

- . éléments > 2 mm : 6,04 %
- . éléments < 40 μ : 0,15 %
- . sable : 93,81 %

Radiale C - Moyen niveau :

- . éléments > 2 mm : 1,02 %
- . éléments < 40 μ : 0,005 %
- . sable : 98,96 %

Radiale C - Bas niveau :

- . éléments > 2 mm : 1,33 %
- . éléments < 40 μ : 0
- . sable : 98,67 %

3.2 Caractéristiques granulométriques du sable proprement dit

Ces caractéristiques (médiane et quartiles) sont déduites de la courbe cumulative et permettent de calculer divers coefficients définis pour mesurer l'étalement de la courbe.

La médiane (Md) est le diamètre égal ou supérieur à celui de la moitié pondérale des grains, soit 50 % de l'échantillon analysé.

Le premier quartile (Q1) est le diamètre égal ou supérieur à celui de 25 % des grains.

Le troisième quartile (Q3) est le diamètre égal ou supérieur à celui de 75 % des grains.

Nous avons retenu pour cette étude, le coefficient de dispersion ($Q_g =$ rapport du 3ème quartile au 1er soit $\frac{Q_3}{Q_1}$) et l'indice de TRASK, $So = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$: cet indice croît en sens inverse de la perfection du triage du sédiment.

Radiale A : Haut niveau

Q1 = 0,166 mm (1er quartile)

Md = 0,205 mm (Médiane)

Q3 = 0,250 mm (3ème quartile)

Coefficient de dispersion $Q_g = \frac{Q_3}{Q_1} = 1,51$

Indice de Trask : $So = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}} = 1,23$

Valeur du classement selon TRASK : sable très bien classé

Radiale A : Moyen niveau

Q1 = 0,144

Md = 0,171

Q3 = 0,210

Coefficient de dispersion $Q_g = 1,46$

Indice de Trask : $So = 1,20$

Valeur du classement selon TRASK : sable très bien classé

Radiale A : Bas niveau

Q1 = 0,146

Md = 0,176

Q3 = 0,235

Coefficient de dispersion $Q_g = 1,61$

Indice de Trask : $So = 1,27$

Valeur du classement : sable très bien classé

Radiale B : Haut niveau

$$Q1 = 0,146$$

$$Md = 0,178$$

$$Q3 = 0,225$$

$$Qg = 1,54$$

$$So = 1,24$$

Valeur du classement : sable très bien classé

Radiale B : Moyen niveau

$$Q1 = 0,139$$

$$Md = 0,157$$

$$Q3 = 0,188$$

$$Qg = 1,35$$

$$So = 1,16$$

Valeur du classement : sable très bien classé

Radiale B : Bas niveau

$$Q1 = 0,132$$

$$Md = 0,146$$

$$Q3 = 0,157$$

$$Qg = 1,19$$

$$So = 1,09$$

Valeur du classement : sable très bien classé

Radiale C : Haut niveau

$$Q1 = 0,155$$

$$Md = 0,184$$

$$Q3 = 0,248$$

$$Qg = 1,60$$

$$So = 1,26$$

Valeur du classement : sable très bien classé

Radiale C : Moyen niveau

$$Q1 = 0,139$$

$$Md = 0,160$$

$$Q3 = 0,215$$

$$Qg = 1,55$$

$$So = 1,24$$

Valeur du classement : sable très bien classé

Radiale C : Bas niveau

Q1 = 0,132

Md = 0,146

Q3 = 0,168

Qg = 1,27

So = 1,12

Valeur du classement : sable très bien classé.

3.3 Conclusion

Nous avons, quel que soit le niveau considéré, un sable très bien classé (selon TRASK) ; avec des particules en majorité plus grosses en hauts niveaux (la valeur de la médiane décroît généralement des hauts vers les bas niveaux).

Ces résultats sont dans l'ensemble semblables à ceux obtenus lors de l'étude préliminaire, ils caractérisent un sédiment typiquement d'estran.

Nous avons observé un sable relativement propre à la radiale A et vaseux aux niveaux supérieurs des radiales B et C.

4. Résultats

4.1 Analyse qualitative

4.1.1 Résultats faunistiques

La liste des espèces présentes dans chaque niveau des 3 radiales ainsi que leur abondance est donnée dans le volume II (72 à 77). Dans ces tableaux figurent toutes les espèces rencontrées sur l'estran y compris les espèces trouvées parmi les radiales supplémentaires. La liste des espèces trouvées avec les 3 radiales A, B, C figure dans le volume II (78 à 82) (biomasse - dominance par espèce).

Sur les trois radiales étudiées, 37 espèces ont été répertoriées* dont 14 espèces d'Annélides, 5 espèces de Mollusques et 17 d'Arthropodes, parmi ces derniers, notons 15 espèces de Crustacés. Quelques individus du groupe des Némertes ont été également trouvés. Certains Nématodes sans être déterminés ont été dénombrés, cependant, les résultats obtenus concernent les plus gros individus du groupe (taille inférieure à 2 mm) et ne sont donc pas représentatifs d'un peuplement principalement méiobenthique.

Spécifiquement, les Arthropodes (Crustacés-Insectes) et les Annélides sont le mieux représentés, les Mollusques l'étant beaucoup moins ; ainsi ont été trouvées :

- à la radiale A :

- . 12 espèces d'Arthropodes (Crustacés)
- . 11 espèces d'Annélides
- . 1 espèce de Mollusques

- à la radiale B :

- . 14 espèces d'Arthropodes
- . 8 espèces d'Annélides
- . 2 espèces de Mollusques
- . 1 représentant des Némertes

- à la radiale C :

- . 14 espèces d'Arthropodes
- . 11 espèces d'Annélides
- . 4 espèces de Mollusques

Par rapport à la première étude écologique de ce site (rapport préliminaire, 1973), il faut noter l'apparition d'une espèce nouvelle : *Paraonis fulgens* plus abondante à l'Ouest de l'Aa. Selon AMOUROUX (1974) cette espèce d'Annélide paraît caractéristique des sables fins propres. Il semble qu'il en soit ainsi aux niveaux moyens de la radiale A où a été trouvé le plus grand nombre d'exemplaires de *Paraonis fulgens*, cependant cette espèce est présente également en zone moyenne du tracé A, or cette zone est plutôt vaseuse.

*L'espèce *Anmodytes tobianus* (poisson téléostéen) n'étant pas directement liée à l'estran n'a pas été prise en considération dans cette étude.

4.1.2 Indice de présence

Parmi toutes les espèces rencontrées sur l'estran, certaines sont rencontrées plus ou moins fréquemment dans chaque prélèvement. L'indice de présence de chacune d'entre elles nous permet de donner la liste des espèces que l'on rencontre le plus souvent quel que soit le niveau de prélèvement. Cet indice (I_p) est calculé en tenant compte de tous les niveaux de prélèvement sur la totalité de l'estran.

$$I_p = \frac{\text{nombre de relevés contenant l'espèce considérée}}{\text{nombre total de prélèvement effectués}}$$

<i>Nerine cirratulus</i>	: 0,86
<i>Eurydice pulchra</i>	: 0,51
<i>Nephtys cirrosa</i>	: 0,48
<i>Haustorius arenarius</i>	: 0,40

Etant donné la façon dont il est calculé, ce coefficient ne peut mettre en évidence que des espèces ayant une répartition assez vaste.

Ainsi, les espèces dont l'indice est supérieur à 0,5 (*Nerine cirratulus* et *Eurydice pulchra*) sont présentes à n'importe quel niveau de l'estran (fig. 148 et 149) ; ce sont les seules espèces dites constantes, de la zone intertidale. *Nephtys cirrosa* qui est pratiquement constante en bas niveaux à un indice 0,5 car elle est totalement absente des hauts niveaux (fig. 148) et peu représentée dans les niveaux moyens.

Les espèces ayant une répartition plus restreinte passent inaperçues, en particulier *Eurydice affinis* et *B. pilosa* sont abondants dans les hauts de plage et totalement absents en bas niveaux (fig. 149).

De même les genres *Hydrobia* et *Corophium*, dont l'installation est liée à la présence d'un milieu saumâtre (localisé ici aux alentours de l'Aa) ont un indice de présence faible.

Fig. 148

REPARTITION DE QUELQUES ESPECES
D'ANNELIDES EN FONCTION
DU NIVEAU MAREGRAPHIQUE

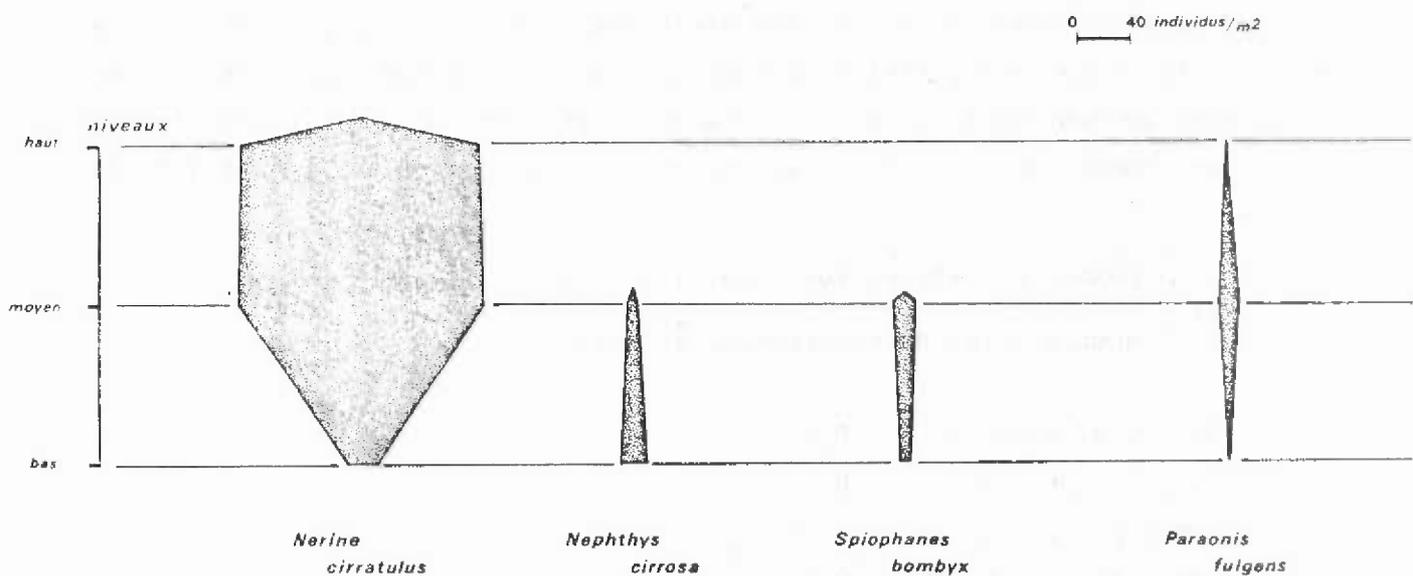
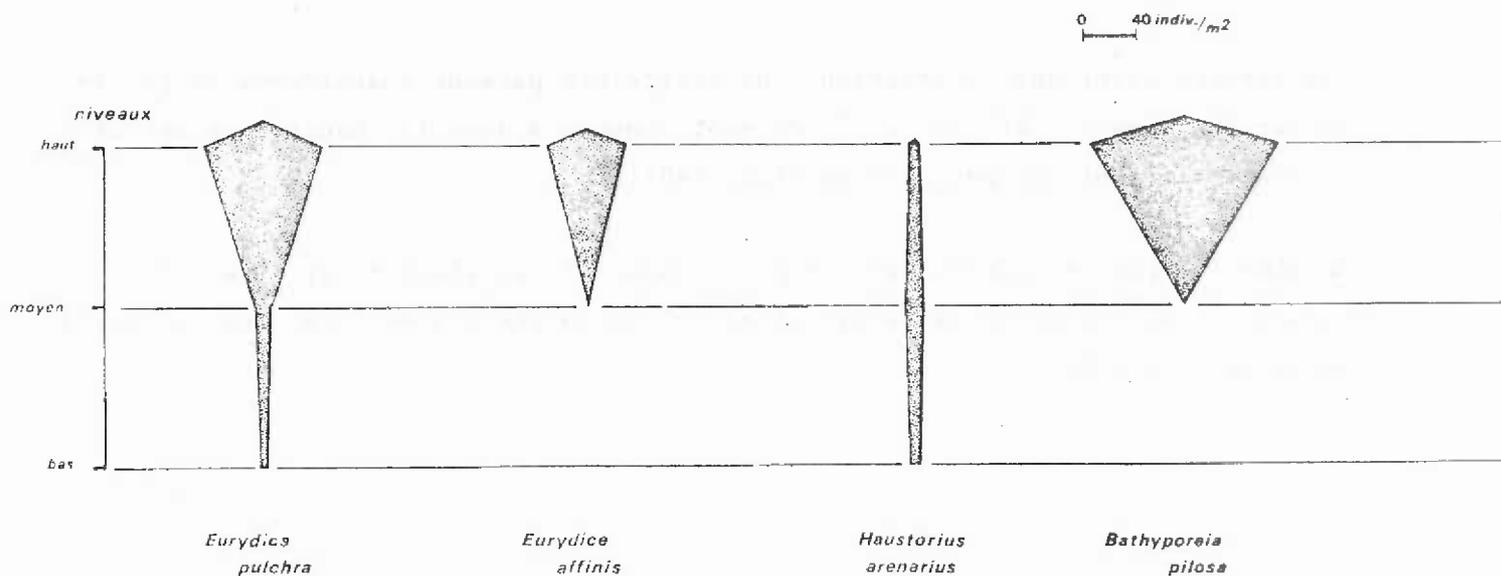


Fig. 149

REPARTITION DE QUELQUES ESPECES
DE CRUSTACES EN FONCTION
DU NIVEAU MAREGRAPHIQUE.



4.1.3 Dominance

Le tableau 78 indique la dominance de chaque espèce, calculée de la façon suivante pour un prélèvement donné :

$$D = \frac{\text{nombre d'individus de l'espèce considérée}}{\text{nombre total d'individus dans le prélèvement}} \times 100$$

Cette valeur est exprimée en pourcentage par rapport au nombre total d'individus.

La dominance moyenne des espèces principales est représentée sur la figure 150. Quelle que soit la radiale, *Nerine cirratulus* est toujours dominante, en particulier à la radiale A. Nous sommes donc en présence d'une espèce fréquente et représentée par un grand nombre d'individus. *Nephtys cirrosa* l'est également dans les 3 radiales. En ce qui concerne les autres espèces, on observe des variations plus ou moins importantes de leur dominance : celle d'*Eurydice pulchra* et d'*Haustorius arenarius* varie peu dans les 3 radiales alors que celle de *Bathyporeia pilosa* et *Eurydice affinis*, espèces de hauts niveaux est maximale à la radiale C.

Le Mollusque Gastéropode *Hydrobia ulvae* est mieux représenté à la radiale B qu'à la radiale C. Il est absent à la radiale A.

4.1.4 Diversité

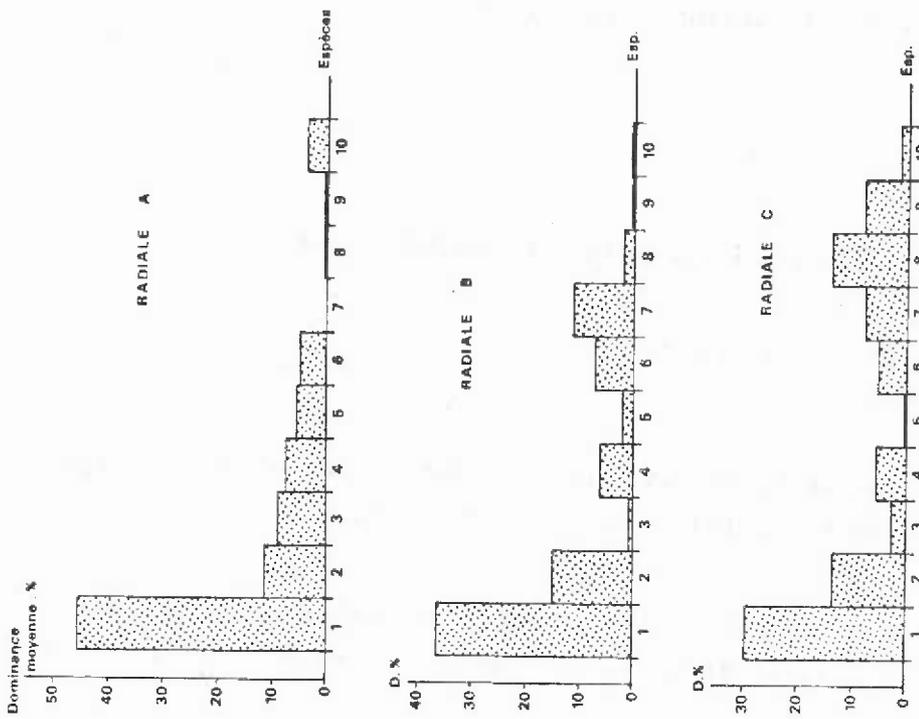
L'indice de diversité choisi est celui de SHANNON (1948) :

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i$$

On obtient la valeur de P_i en divisant le nombre d'individus appartenant à l'espèce i par le nombre d'individus de tout l'échantillon.

Deux types d'indices ont été calculés : l'un en utilisant comme unité l'individu (H) ; l'autre l'unité de masse (H') dans ce dernier cas on obtient la va-

DOMINANCE MOYENNE DES ESPECES PRINCIPALES

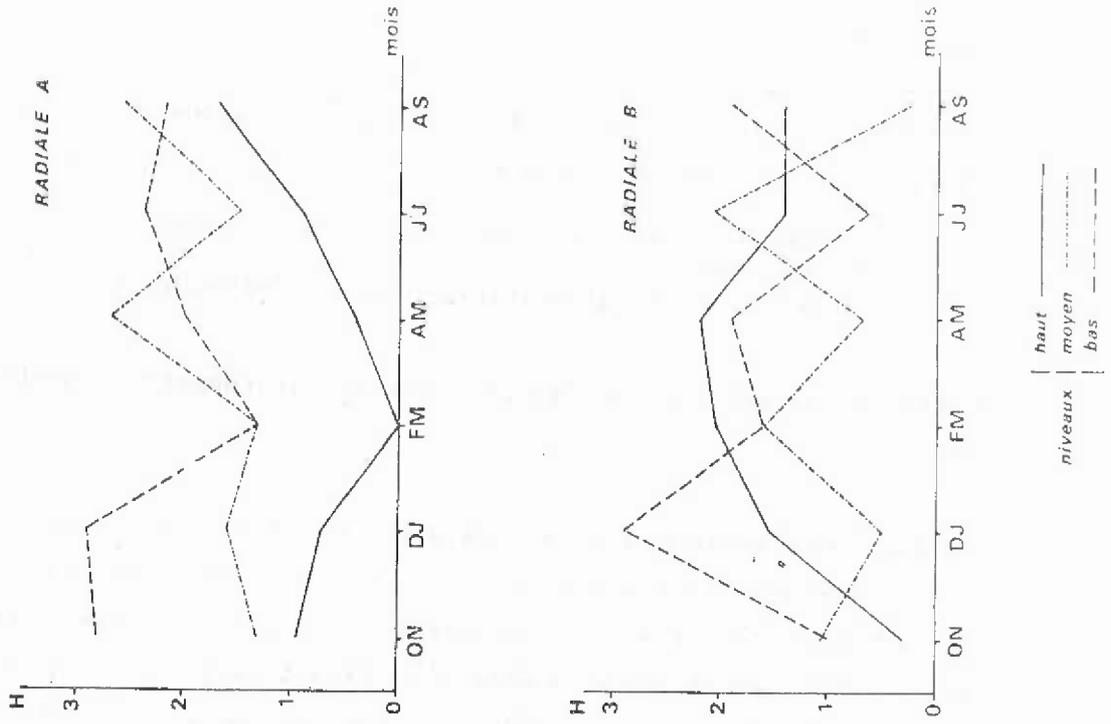


1. *Nerine cirratulus*
2. *Nephtys cirrosa*
3. *Spiophanes bombyx*
4. *Neustorius arenarius*
5. *Paraonis fulgens*
6. *Eurydice pulchra*
7. *Hydrobia ulvae*
8. *Bathyporeia pilosa*
9. *Eurydice affinis*
10. *Bathyporeia sarsi*

Fig. 151

VARIATIONS DE L'INDICE DE DIVERSITE (H) AU COURS DE L'ANNEE

Indice H calculé à partir du nombre d'individus



leur de P_i en divisant le poids sec de l'espèce i par le poids sec de tout l'échantillon.

Dans le tableau 79 figurent les valeurs d'indice de diversité de chaque prélèvement.

Pour chaque radiale les changements de valeurs de H au cours de l'année sont très variables :

- à la radiale A, toutes les valeurs concernant le haut de l'estran sont inférieures à celles trouvées pour les niveaux bas et moyens (fig. 151 en haut). Peu d'espèces sont en effet représentées à ce niveau et il n'y a guère que *Nerine cirratulus* qui soit régulièrement représentée par un nombre important d'individus.

Les bas niveaux sont en moyenne plus diversifiés que les moyens. Nous avons donc ici une diversité qui varie régulièrement en fonction de la côte marégraphique : l'indice augmente des hauts niveaux vers les zones inférieures de l'estran : ces variations sont représentées sur la figure 152 (bas) (chaque valeur de H portée en ordonnées est la moyenne obtenue à partir de chaque niveau au cours de l'année d'étude).

- la radiale C nous donne des résultats peu différents, les variations de l'indice de diversité avec le niveau de prélèvement sont semblables à celles observées à l'Ouest de l'Aa (fig. 152 en bas). Les hauts niveaux sont malgré tout plus diversifiés en C. On y trouve des espèces caractéristiques comme *Bathyporeia pilosa* et *Eurydice affinis* qui sont généralement représentées par un grand nombre d'individus.

Les zones inférieures sont assez semblables entre elles et leur diversité varie de façon identique (fig. 152 en haut).

- Le tracé B possède à l'inverse des 2 autres des hauts niveaux plus diversifiés (fig. 151 en bas). Leur indice de diversité varie au cours de l'année de façon semblable aux niveaux élevés en C (exception faite du prélèvement de février-mars).

Fig. 152

VARIATIONS DE L'INDICE DE DIVERSITE (H)
 au cours de l'année (en heure)
 en fonction du niveau marégraphique (en bas)

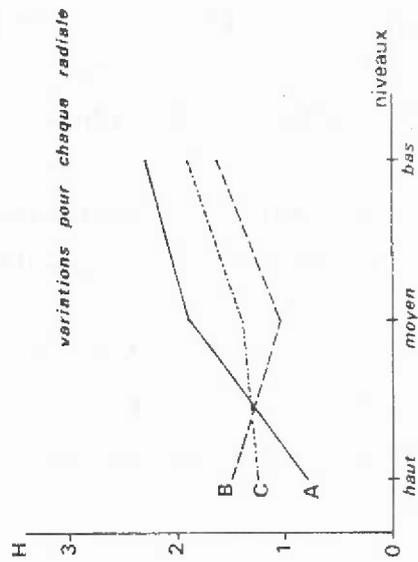
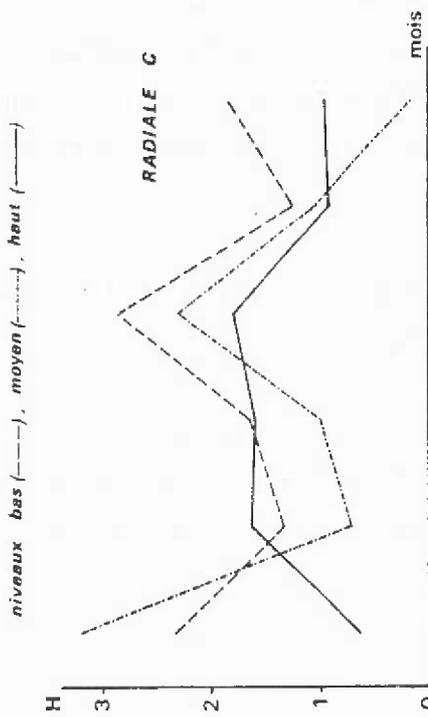
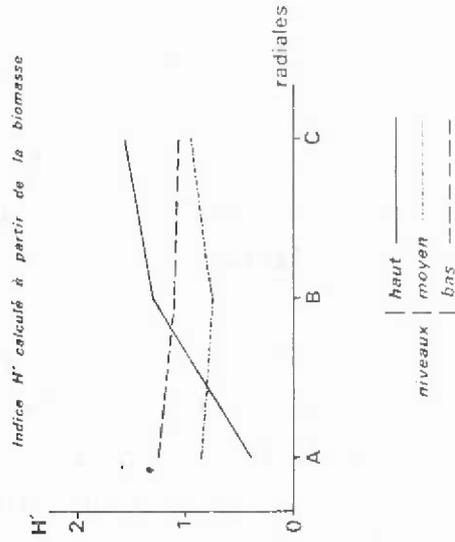
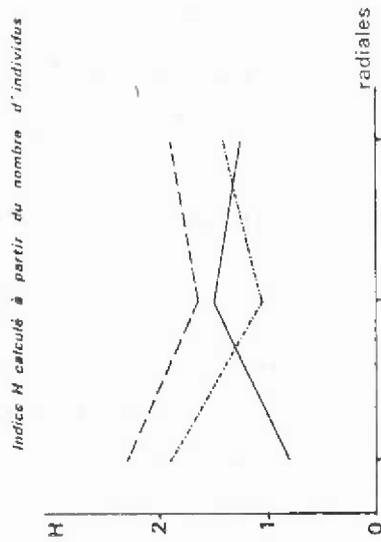


Fig. 153

VARIATIONS DE L'INDICE DE DIVERSITE
 A CHAQUE NIVEAU DE PRELEVEMENT



En ces lieux de prélèvements nous trouvons en effet une faune diversifiée dont l'installation est en relation avec la composition physico-chimique du milieu. La présence de vase et une salinité relativement faible (parfois inférieure à 20 ‰) expliquent en particulier l'abondance d'*Hydrobia ulvae*, *Cardium edule* et *Corophium arenarium*. Cette faune variée propre aux milieux saumâtre est beaucoup plus abondante en B qu'en C.

4.1.5 Similitude entre prélèvements

Pour calculer l'affinité entre différents relevés, les bionomistes utilisent de préférence des coefficients appelés "coefficients de similitude" (BOUDOURESQUE, 1970). Le coefficient employé ici est celui de SORENSEN (1948) :

$$Spq = \frac{2 Npq}{Npp + Nqq}$$

(Npq est le nombre d'espèces présentes à la fois dans les prélèvements p et q ; Npp le nombre d'espèces présentes dans le prélèvement p ; Nqq le nombre d'espèces présentes dans le prélèvement q).

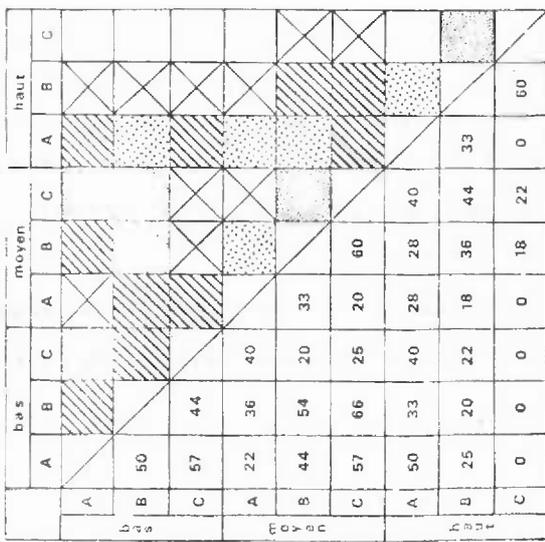
Chaque coefficient est exprimé en pourcentage (Spq x 100). La valeur de chacun d'entre eux figure dans la partie inférieure gauche des matrices carrées réalisées pour chaque campagne de prélèvements (fig. 154, 155 et 156). La partie supérieure droite de chaque matrice a été utilisée pour matérialiser par des teintes de plus en plus foncées, l'importance des similitudes entre prélèvements pris deux à deux.

Il est à noter que pour calculer chaque coefficient, nous avons tenu compte des espèces indéterminées. L'erreur qui pourrait être ainsi introduite étant négligeable bien qu'elle agisse toujours dans le même sens (BOUDOURESQUE, 1970).

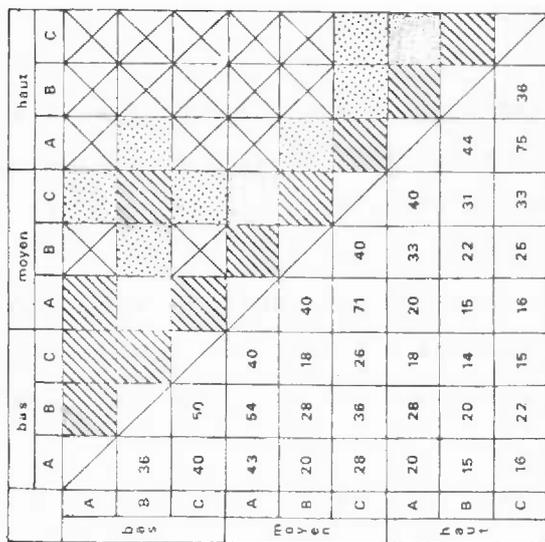
La figure 157 représente le diagramme réalisé à partir des moyennes de chacune des valeurs obtenues au cours de l'année. On remarque une similitude logique entre chaque niveau marégraphique semblable.

Les hauts niveaux représentent un milieu particulier différent du reste ; on y rencontre des espèces caractéristiques (*B. pilosa*, *E. affinis*, Talitridae) qui

Fig. 154

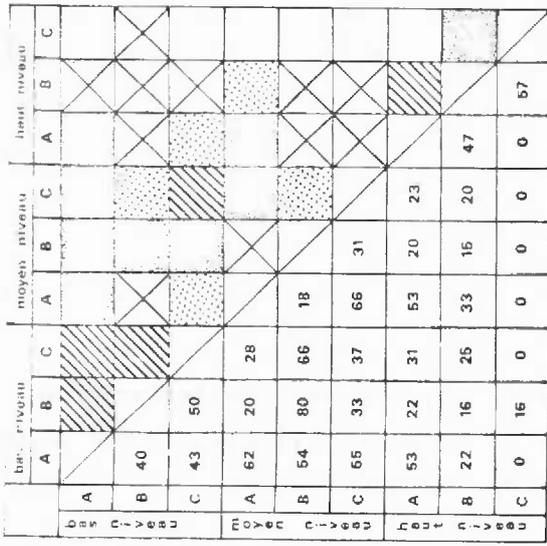


FEV. -- MARS

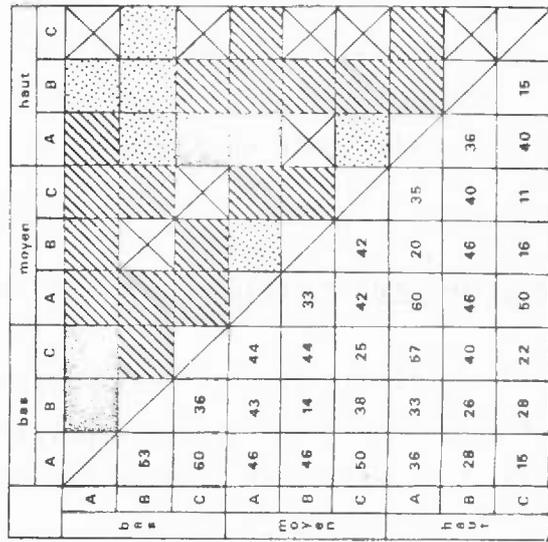


AVRIL -- MAI

Fig. 155

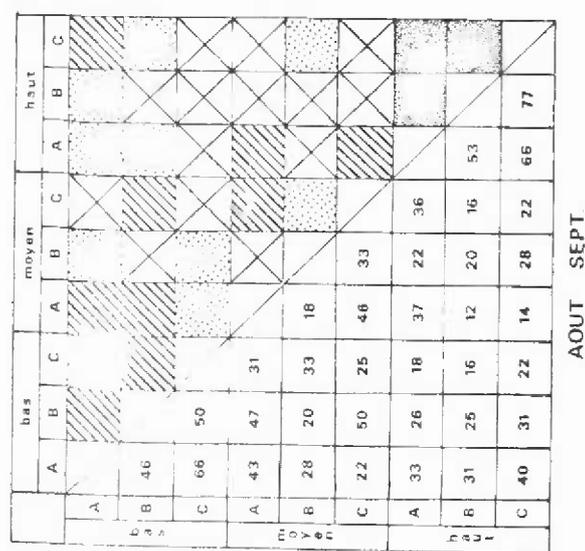
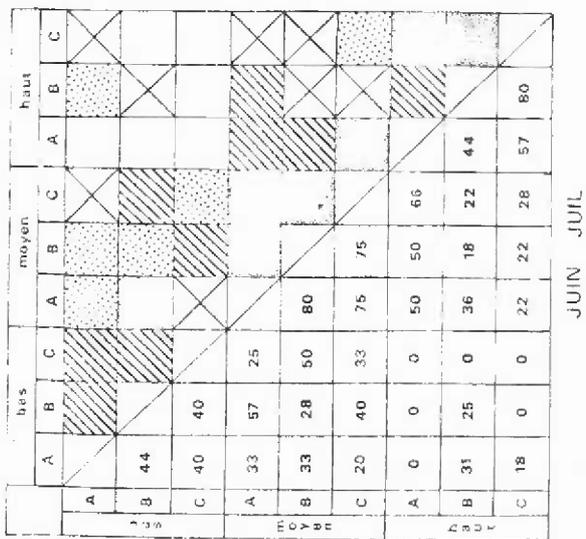


OCT. -- NOV.

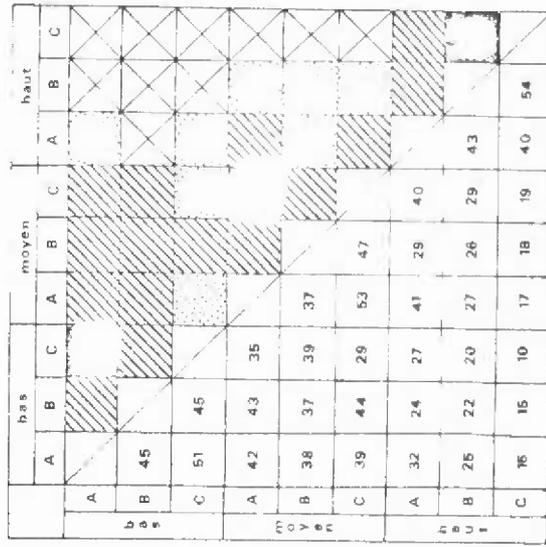


DEC. -- JANV.

Fig. 10



MATRICES CARREES DES COEFFICIENTS DE SIMILITUDE DE SØRENSEN



disparaissent rapidement dès que le niveau cotidal diminue.

Un tel diagramme montre également qu'il existe une similitude entre niveaux contigus, cependant les moyens niveaux sont beaucoup plus semblables aux bas niveaux qu'ils ne le sont aux niveaux plus élevés.

4.2 Analyse quantitative

4.2.1 Valeurs pondérales

La biomasse de chaque espèce, en pourcentage par rapport à la biomasse totale figure dans le tableau 82 (volume II).

L'évaluation de la biomasse par niveau, rapportée ensuite au m^2 par radiale (poids sec décalcifié en g) est présentée dans les tableaux 80 et 81 (volume II).

Les moyennes annuelles de la biomasse totale pour chaque radiale sont les suivantes :

Bas niveaux : A : 0,561 g/m^2
 B : 0,370 g/m^2
 C : 0,872 g/m^2

Moyens niveaux :

A : 1,834 g/m^2
 B : 1,04 g/m^2
 C : 1,136 g/m^2

Hauts niveaux :

A : 1,667 g/m^2
 B : 2,988 g/m^2
 C : 0,296 g/m^2

Chaque moyenne rapportée au m^2 par radiale nous donne les valeurs suivantes :

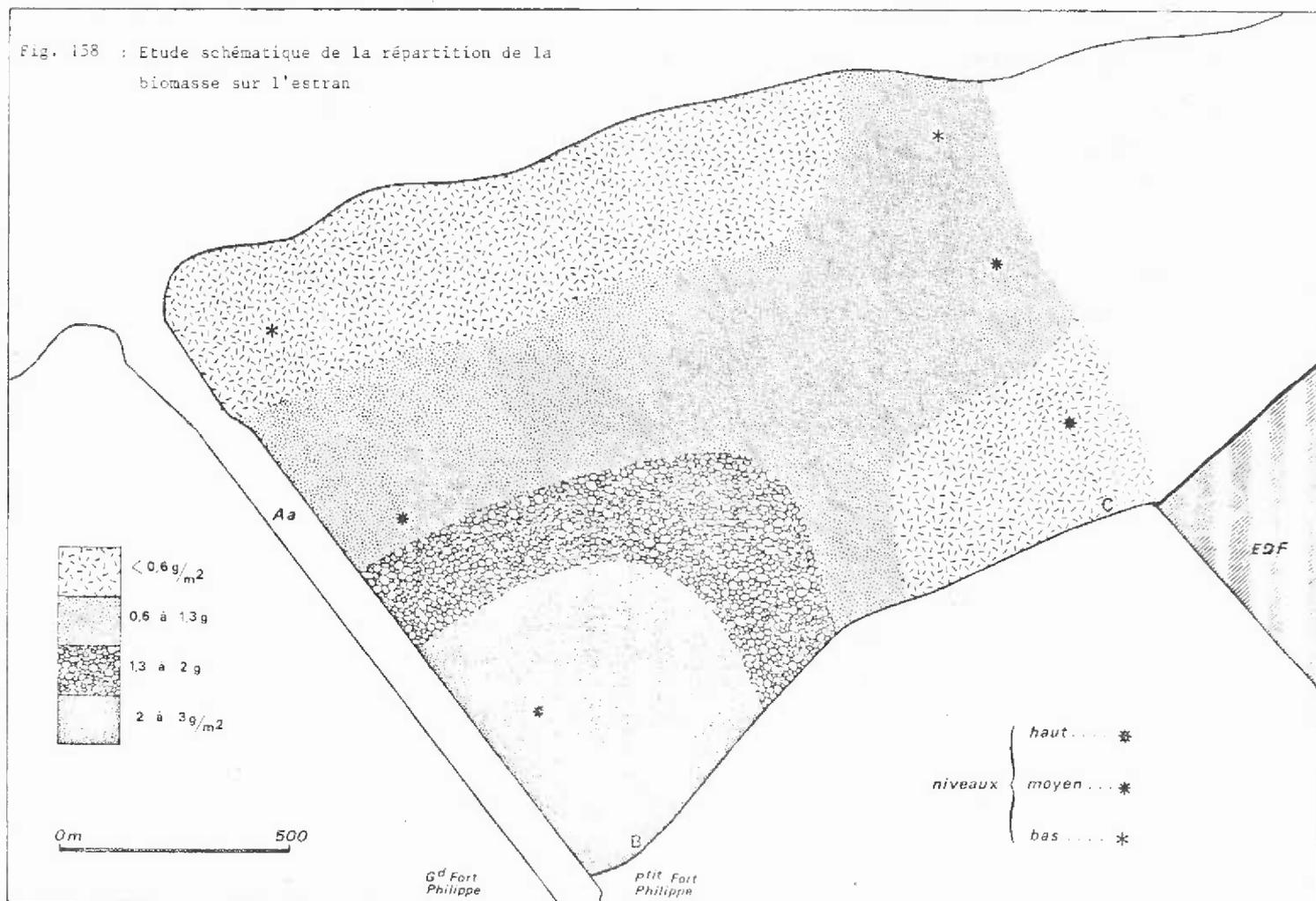
A : 1,354 g/m^2

B : 1,466 g/m^2

C : 0,768 g/m^2

Ces résultats nous montrent que la radiale B, située près de l'Aa, possède de hauts niveaux riches entraînant une moyenne supérieure à celle des 2 autres tracés.

La figure 158 schématise la répartition de la biomasse sur la plage Est (par rapport à l'Aa) : les hauts niveaux riches au voisinage de l'Aa, s'appauvrissent vers l'Est et la partie inférieure de l'estran est plus riche au niveau de la radiale C. Cette répartition est peu différente de celle qui fut décrite lors de l'étude préliminaire.



En étudiant la répartition de la biomasse par espèce (volume II, tableau 82) on s'aperçoit que 4 espèces principales (*Eurydice pulchra*, *Nerine cirratulus*, *Nephtys cirrosa*, *Haustorius arenarius*) constituent la majeure partie de la biomasse : l'importance pondérale de chacune d'entre elles est schématisée dans les figures 209 à 211 (représentation en pourcentage de la biomasse totale : un demi-cercle équivaut à 50 %). Pour chaque radiale, ces 4 espèces forment plus de 50 % de la biomasse totale (moyenne annuelle). A chaque période de prélèvements, quel que soit le tracé considéré, *Nerine cirratulus* représente une biomasse souvent élevée, celle-ci relativement moins importante au niveau de la radiale B, atteint son maximum en A où *Nerine cirratulus* réalise à elle-seule plus de 50 % de la biomasse totale (moyenne annuelle).

Nephtys cirrosa est la seconde espèce apportant une masse importante, minimum à la radiale B (13,26 % en moyenne) et maximum en C (19 %).

L'importance de la représentation pondérale de ces 2 espèces d'Annélides est donc semblable à celle de leur représentation numérique décrite précédemment (fig. 161).

En ce qui concerne les 2 espèces de Crustacés que sont *Eurydice pulchra* (Iso-pode) et *Haustorius arenarius* (Amphipode), c'est cette dernière qui constitue la biomasse la plus importante en relation avec son importance numérique (principalement à la radiale B).

Biomasse moyenne représentée par chaque groupe zoologique (pourcentage par rapport à la biomasse totale) :

- radiale A :
 - . Annélides : 87,55 %
 - . Arthropodes : 7,15 %
 - . Mollusques : 1,30 %

- radiale B :
 - . Annélides : 45,75 %
 - . Mollusques : 35,32 %
 - . Arthropodes : 16,00 %

- radiale C :
 - . Annélides : 56,93 %
 - . Arthropodes : 35,05 %
 - . Mollusques : 7,45 %

Fig. 159

RADIALE A

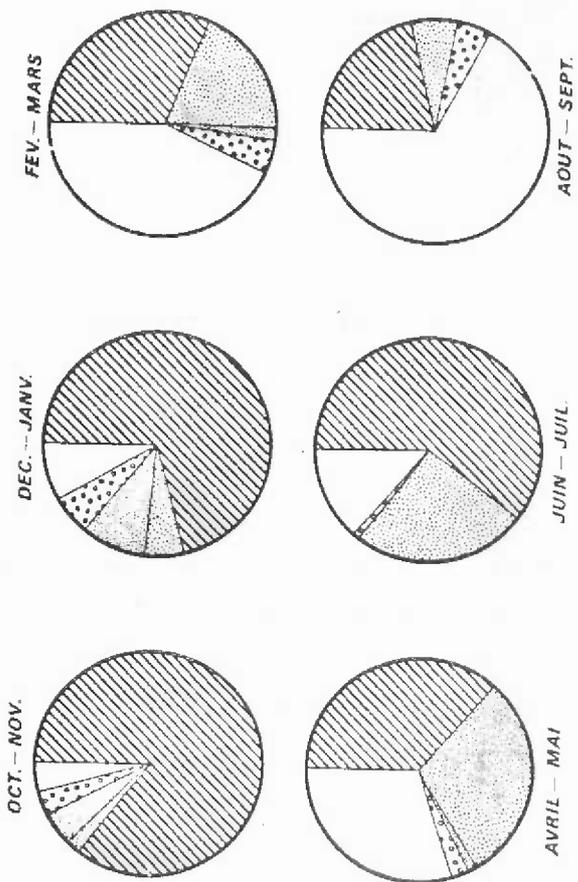
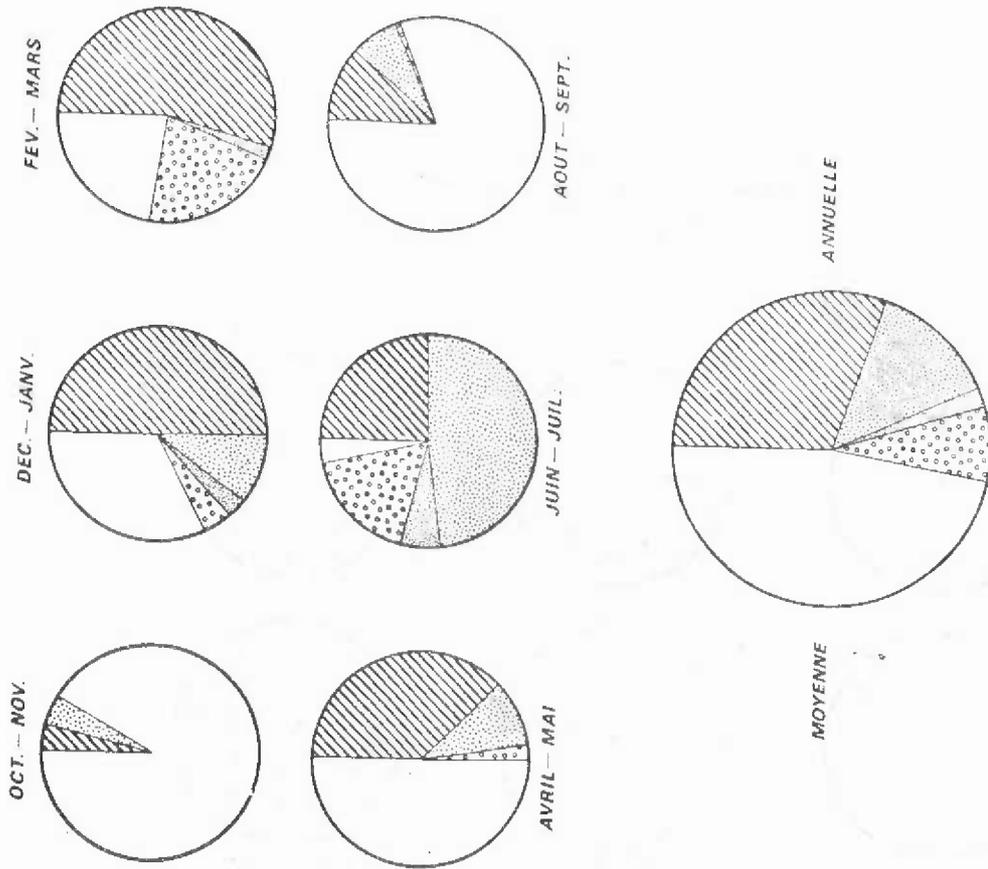


Fig. 160

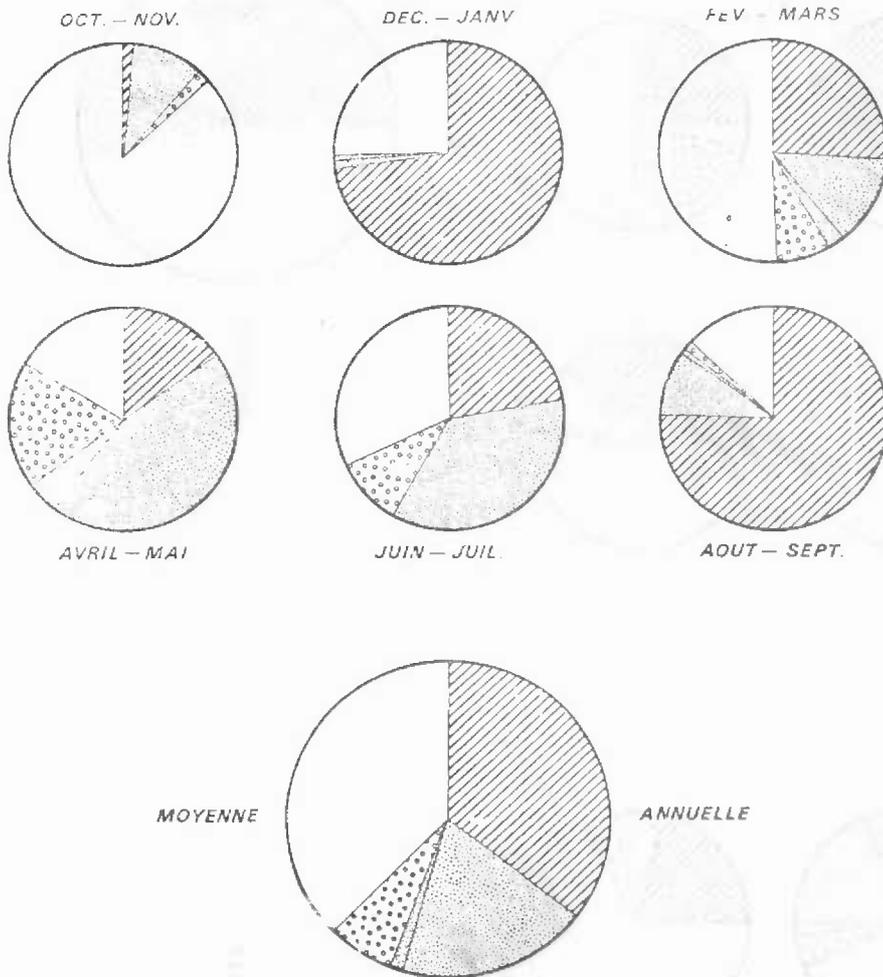
RADIALE B



IMPORTANCE PONDERALE DE 4 ESPECES COMMUNES
(en pourcentage par rapport à la biomasse totale)

RADIALE C

FIG. 164



Ces résultats sont matérialisés dans les figures 162 à 164 par des portions de cercle de grandeur proportionnelle à la biomasse représentée : un demi-cercle représente 50 %.

Chaque groupe a une importance pondérale proportionnelle à son importance numérique, ainsi les Annélides sont prédominants dans chaque radiale, notamment en A (fig. 162) où ils constituent plus de 87 % de la biomasse totale (moyenne annuelle). En B (fig. 163), les Mollusques sont mieux représentés qu dans les autres radiales, il en est de même pour les Arthropodes en C (fig. 164) où une grande partie de la biomasse (plus un tiers) est due au Décapode *Porommus laipes*.

Fig. 163

RADIALE B

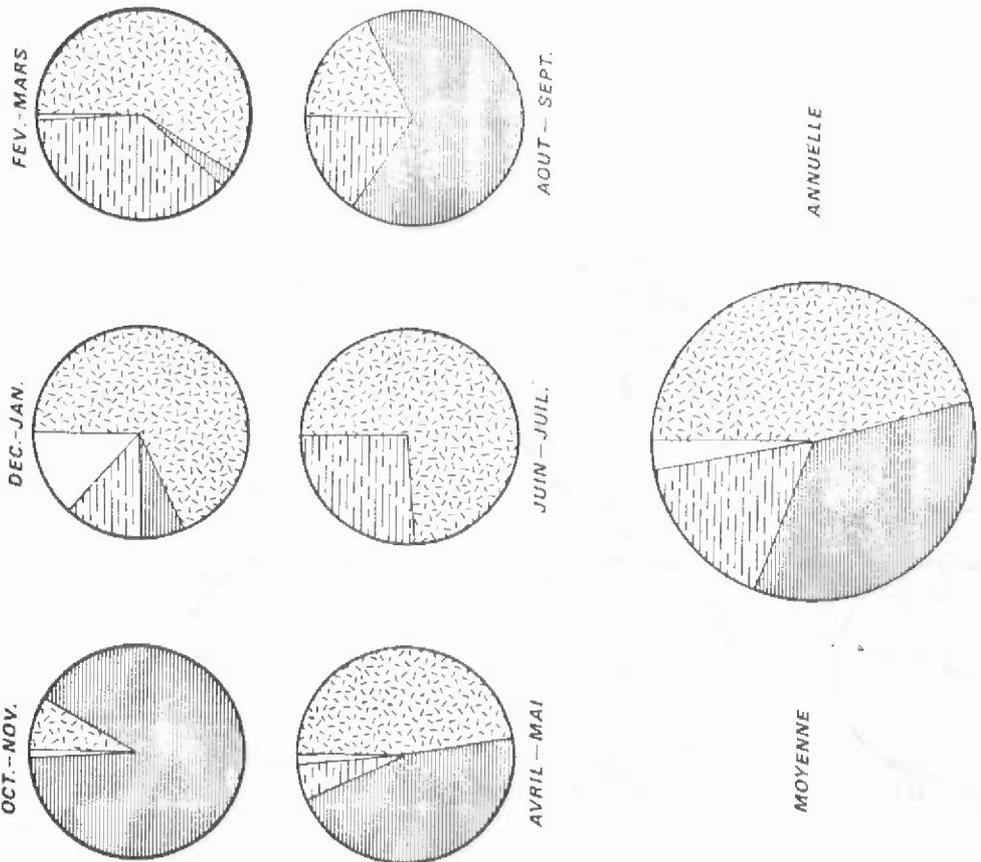
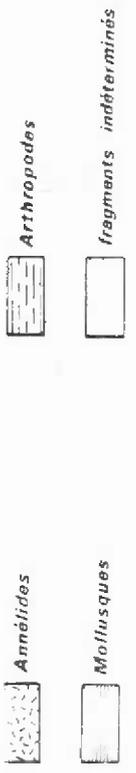
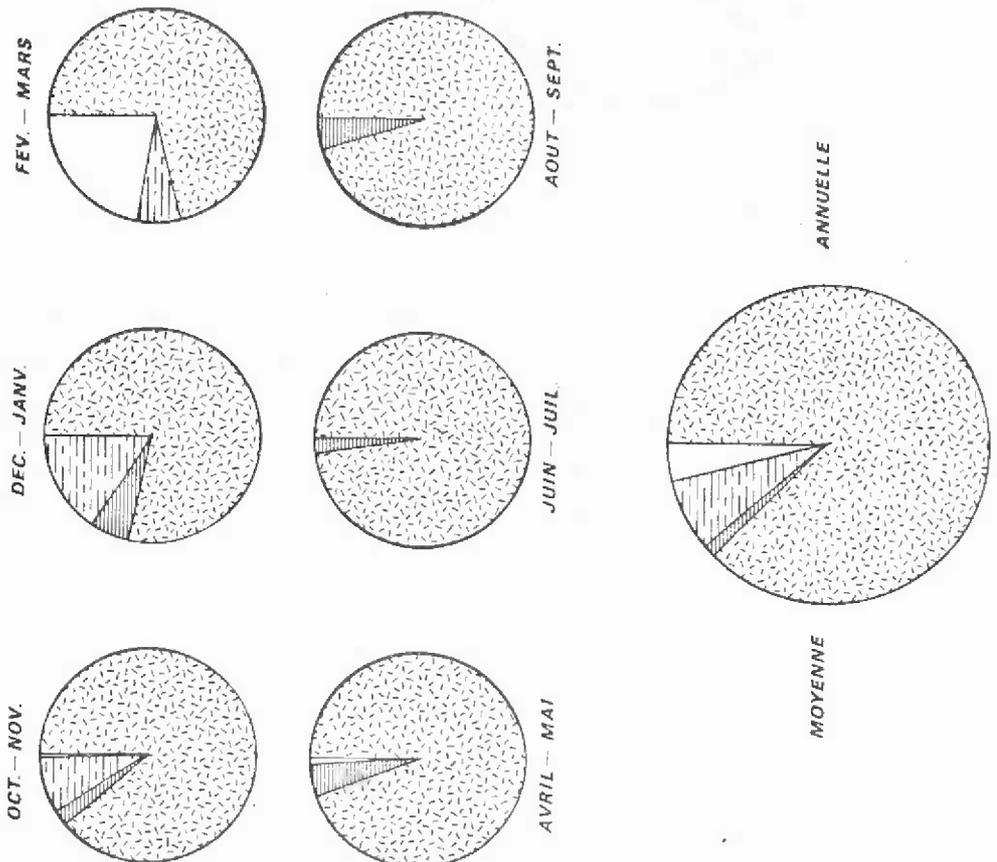


Fig. 162

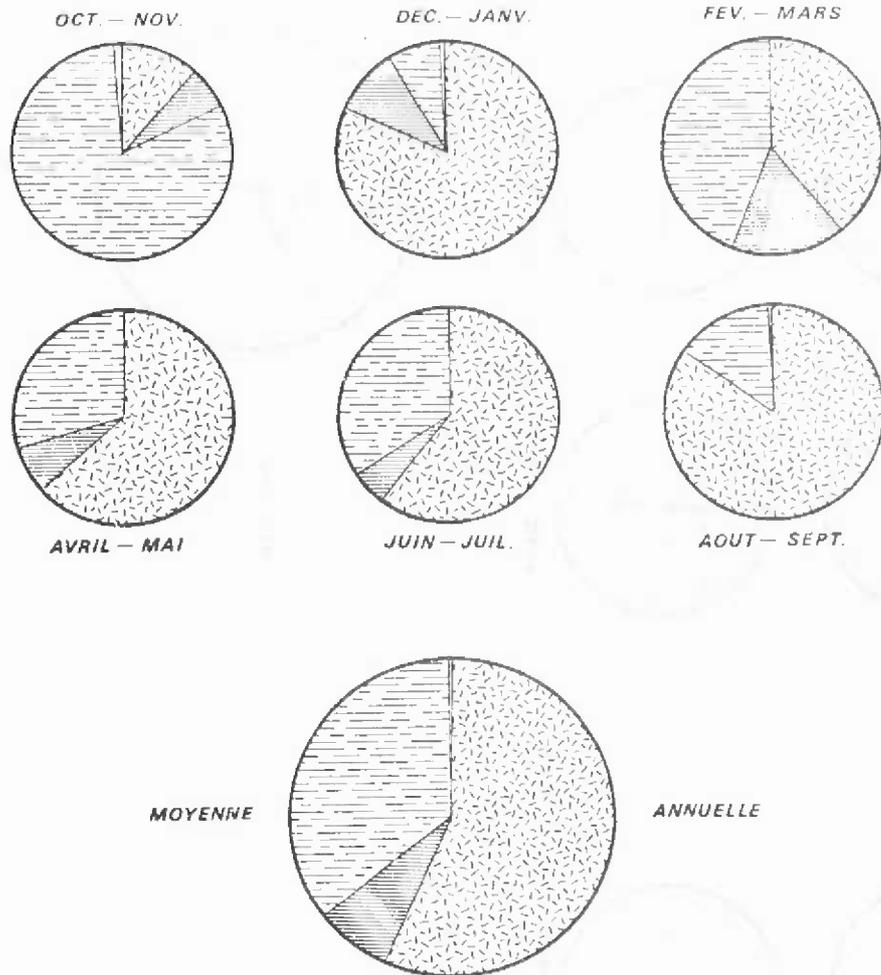
RADIALE A



BIOMASSE DE CHAQUE GROUPE ZOOLOGIQUE
(en pourcentage par rapport à la biomasse totale)

RADIALE C

Fig. 164



4.2.2 Diversité

Comme nous l'avons précisé précédemment, l'unité de masse a été également choisie pour calculer l'indice de diversité selon la formule de SHANNON. Cet indice (H') nous permet d'apprécier la façon dont la biomasse est représentée, à savoir si celle-ci est apportée en proportion égale par plusieurs espèces ou si elle n'est en majorité apportée que par un nombre restreint d'espèces (cas où l'on aura un faible indice).

Ainsi à la radiale A, la biomasse des hauts niveaux est principalement apportée par *Nerine cirratulus*, car l'indice H' reste faible au cours de l'année (toujours inférieur à 1) et témoigne d'une biomasse peu diversifiée (fig. 165 en haut). Cette diversité augmente régulièrement vers les bas niveaux (fig. 166 en bas). Nous avons donc pour le tracé A une évolution régulière en fonction de la côte marégraphique. Ce résultat est semblable à celui obtenu avec le nombre d'individus. A la radiale B, la biomasse des hauts niveaux est la mieux répartie entre espèces, cela se traduit par un indice H' supérieur à celui des niveaux inférieurs (fig. 165 bas) ; les prélèvements moyens sont les moins diversifiés en poids sec. Les variations de H' sont semblables à celle de H (indice calculé à partir du nombre d'individus).

C'est en C que les hauts niveaux sont les plus diversifiés (fig. 166 en haut) (l'indice H' n'est jamais inférieur à 1,22) et les bas niveaux les moins diversifiés en biomasse (fig. 166 en bas). Rappelons que c'est en cette même radiale que les hauts niveaux sont les plus pauvres en biomasse (moyenne annuelle de $0,29 \text{ g/m}^2$) et que le bas de l'estran est le plus riche (moyenne de $0,87 \text{ g/m}^2$). Ces résultats nous démontrent que les espèces récoltées en haut de l'estran (essentiellement des Amphipodes), bien que souvent représentées par un nombre important d'individus constituent chacune une faible biomasse. Au contraire, parmi les espèces récoltées dans les bas niveaux, deux d'entre elles (*Nephtys cirrosa*, *Portunus latipes*) réalisent la majorité d'une biomasse relativement importante.

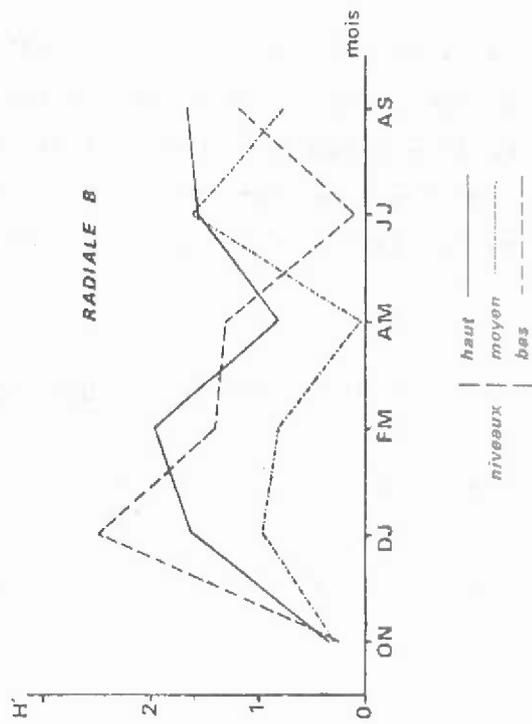
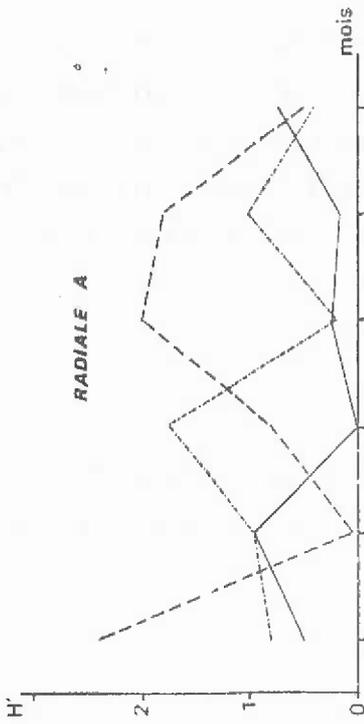
La figure 165 (en bas) représente les variations de l'indice H' à chaque niveau de prélèvement ; elle nous permet de comparer les niveaux homologues de chaque radiale : les bas niveaux sont assez semblables entre eux, il en est de même pour les zones moyennes ; par contre, la partie supérieure de l'estran en A, par sa faible diversité est très différente des 2 autres (en B et C).

5. Introduction à l'étude de quelques populations

Cette analyse n'est qu'une ébauche d'étude biométrique qui pourra être approfondie en ayant des lots d'individus plus importants, récoltés à des périodes plus rapprochées dans le temps (1 mois au minimum).

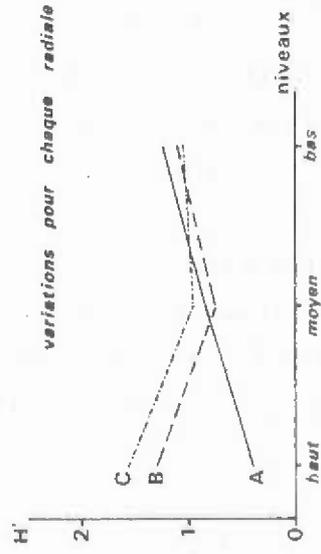
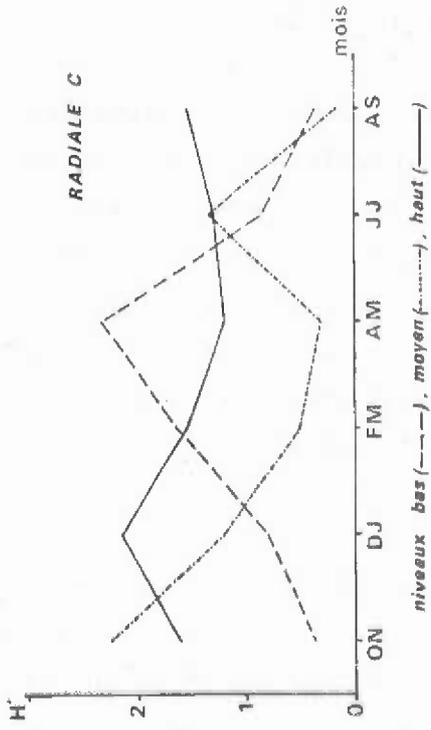
VARIATIONS DE L'INDICE DE DIVERSITE (H)
AU COURS DE L'ANNEE

Indice H' calculé à partir de la biomasse



VARIATIONS DE L'INDICE DE DIVERSITE (H)

au cours de l'année (en hauteur)
en fonction du niveau marégraphique (en bas)



Quatre populations ont été étudiées : *Eurydice pulchra*, *Bathyporeia pilosa*, *Corophium arenarium*, *Haustorius*. Pour chacune de ces espèces, la longueur de chaque individu a été mesurée (schéma 1 ; longueur calculée de la base des antennes à l'extrémité du telson). Les valeurs obtenues ont été regroupées en différentes classes de taille.

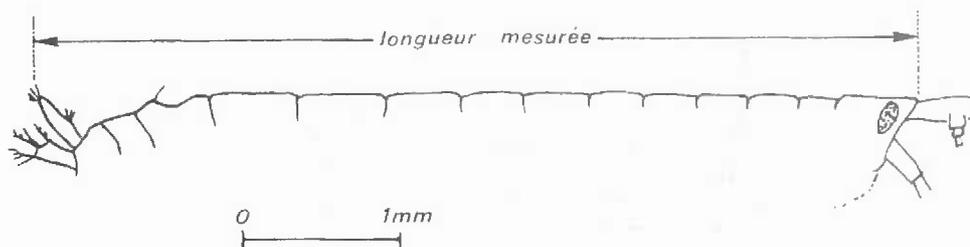


Schéma 1

Les résultats sont présentés sous forme d'histogrammes (fig. 167 à 170). la mesure du possible, un histogramme a été réalisé à chaque mois de prélèvement.

Afin de pouvoir réaliser cette étude, nous avons, pour chacune des espèces, regroupé tous les individus sans tenir compte du lieu de prélèvement. Cela est possible compte tenu de l'homogénéité de la zone.

Chez *Eurydice pulchra*, les histogrammes de fréquences de tailles (fig. 217) semblent indiquer la présence majeure de 2 générations. JONES (1970) a obtenu dans le Sud du Pays de GALLES, des résultats montrant que le cycle de vie de cette espèce peut durer 2 ans ou plus, et lui attribue une période de reproduction s'étendant d'avril jusqu'en août. SALVAT (1966) souligne l'importance du facteur température dans le déclenchement de cette période. A GRAVELINES, le plus grand nombre d'individus a été récolté en novembre.

En ce qui concerne *Corophium arenarium* (fig. 168) le plus grand nombre d'individus a été trouvé en septembre ; certains points complémentaires nous ont

Fig. 168

EVOLUTION DE LA POPULATION DE *Corophium arenarium*

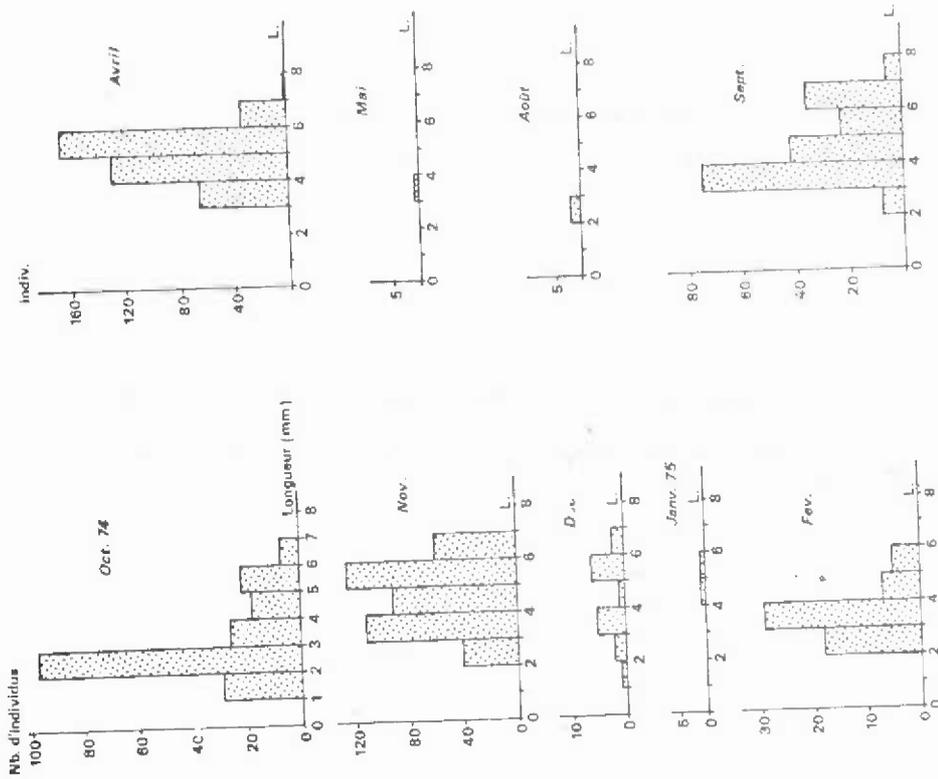


Fig. 167

EVOLUTION DE LA POPULATION DE *Eurydice pulchra*

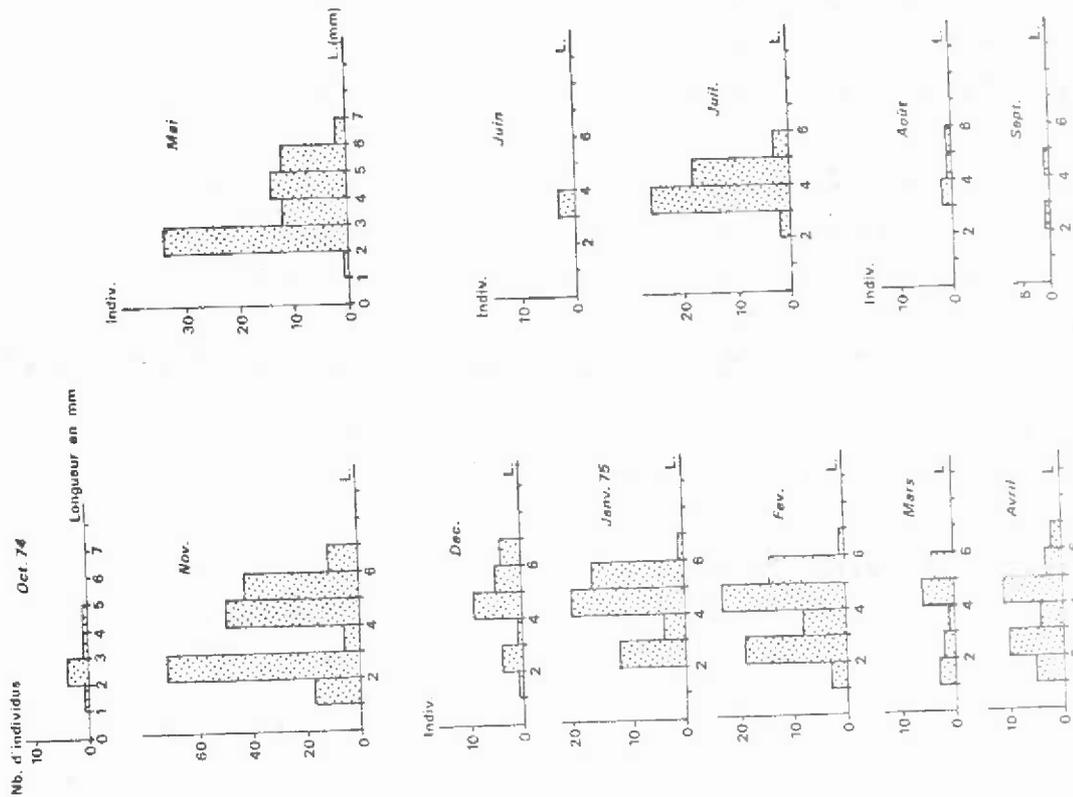


Fig. 169
EVOLUTION DE LA POPULATION DE *Bathyporeia pilosa*

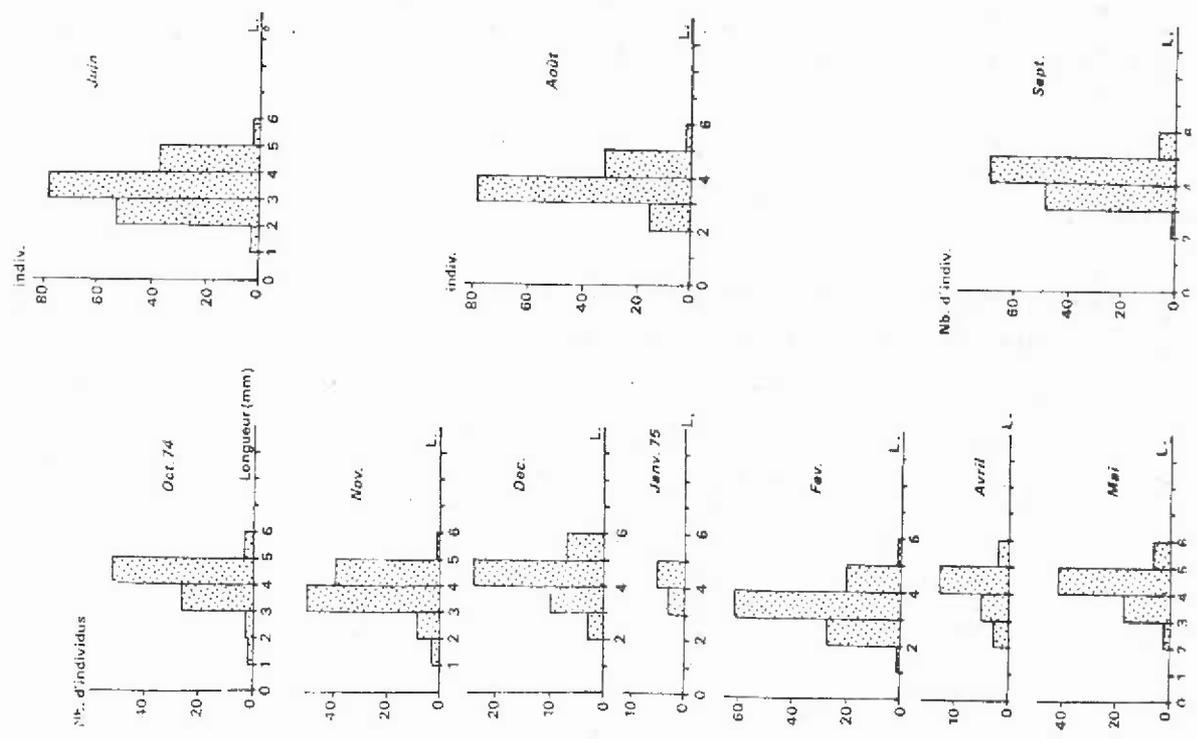
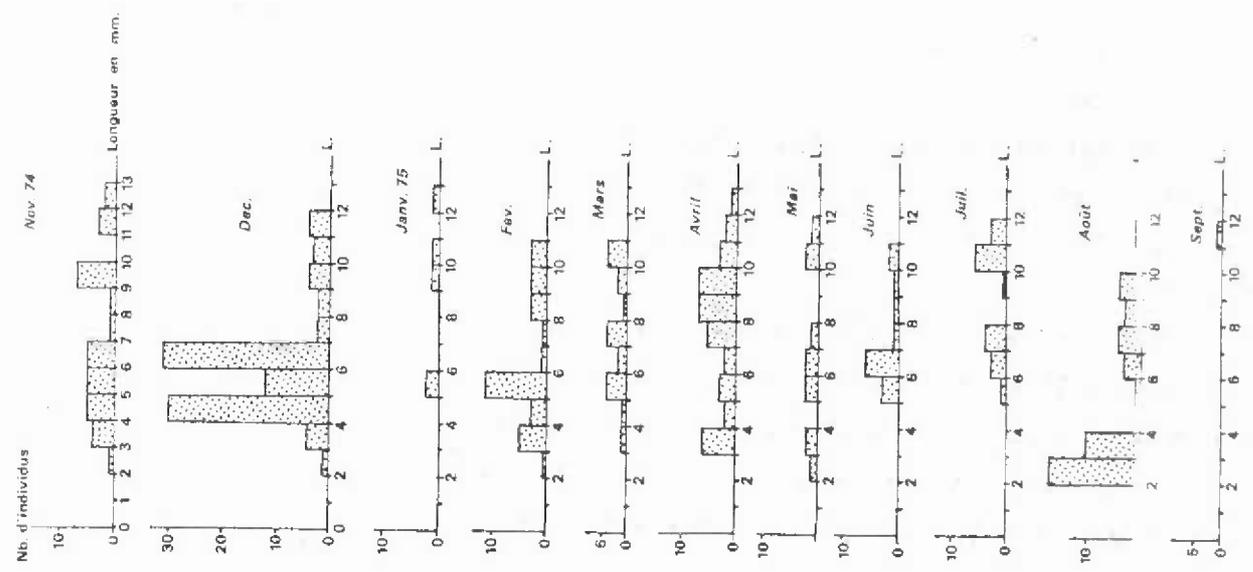


Fig. 170

EVOLUTION DE LA POPULATION DE *Haustorius arenarius*



indiqué également une abondance assez forte de cette espèce en avril (à l'Ouest de l'Aa et à l'Est entre les radiales B et C). Parmi ces individus, les mâles sont généralement en nombre inférieur à celui des femelles, nous trouvons en effet un sex-ratio en moyenne égal à 0,78 (78 mâles pour 100 femelles). Il est à noter que 34 % des femelles étaient gravides en avril et 23 % en septembre.

Chez *Bathyporeia pilosa* (fig. 169) la proportion sexuelle moyenne obtenue est de 28 mâles pour 100 femelles. FISH et PREECE (1970) ont défini chez cet Amphipode, un pic de reproduction au printemps et en automne. En ce qui nous concerne, nous avons, tout au long de l'année, observé en nombre plus ou moins important, la présence de femelles gravides dans chaque échantillon contenant cette espèce.

Enfin, *Haustorius arenarius* a été trouvée en abondance au cours du mois d'août à la radiale A (hauts niveaux) où 33 individus au quart de mètre carré ont été récoltés. Parmi ceux-ci une majorité de jeunes individus (entre 2 et 4 mm de longueur) était présente. L'évolution de la population de cette espèce (fig. 170) semble indiquer une domination des jeunes individus (2 à 6 mm) durant les mois d'août à février. Les plus grands exemplaires dont la longueur peut atteindre 13 mm, dominent ensuite jusqu'en juillet, date à laquelle 17 individus (sur 18 récoltés) ont une longueur comprise entre 6 et 12 mm.

Il est regrettable que chacune de ces espèces soit chaque mois peu représentée. En effet, le nombre d'individus souvent trop faible ou nul pendant certains mois, rend toute interprétation hasardeuse. Néanmoins, les résultats obtenus représenteront une référence utile pour une future étude plus axée sur la biométrie.

6. Discussion

Cette étude nous a permis de mettre en évidence une macrofaune relativement variée : 37 espèces ont été répertoriées sur les trois radiales étudiées ; d'autres ont été trouvées au niveau des tracés supplémentaires, elles sont en général rares et peu abondantes. Cette faune appartient essentiellement à 3 groupes : Annélides, Arthropodes et Mollusques.

- Les Annélides parmi lesquelles 2 espèces dominant particulièrement (*Nerine cirratulus* et *Nephtys cirrosa*), constituent le groupe le plus important :

- *Nerine cirratulus* : très fréquente et abondante constitue la majeure partie de la biomasse totale. On trouve cette espèce à tout niveau de la zone de balancement des marées, cependant elle affectionne plus particulièrement les deux tiers supérieurs de l'estran (fig. 148). Selon RETIERE (1967) *Nerine cirratulus* préfère le bas de la zone de rétention d'eau et la zone de résurgence. Néanmoins, comme le souligne DIVE (1969) à propos d'une étude du littoral boulonnais "l'observation constante de jeunes exemplaires à tous les niveaux cotidaux de l'estran est l'indice d'une répartition plus étendue et d'un habitat différent pour les petits individus".

Le fait de trouver cette espèce soit en compagnie d'autres caractéristiques des milieux saumâtres telles *Hydrobia ulvae*, *Corophium arenarium* (radiale B dont les hauts niveaux ont parfois une salinité inférieure à 28 ‰), soit à des niveaux dont la salinité varie de 32,24 à 32,85 ‰ (niveaux supérieurs de la radiale A), prouve que nous avons à faire à une espèce euryhaline.

De même, la présence de *Nerine cirratulus* à la fois dans un sable fin propre (niveaux supérieurs de la radiale A), et dans un milieu relativement vaseux (radiale B - hauts niveaux) montre que cette espèce n'a pas d'exigence strictes envers la composition granulométrique du substrat. Cette Annélide s'étant révélée très fragile (supportant mal le tamisage ou s'autotomisant fréquemment à la suite du traitement au formol), aucune étude biométrique n'a pu être réalisée à son sujet. Il conviendra d'utiliser des classes pondérales pour de telles espèces.

- *Nephtys cirrosa* : tout en étant moins représentée que *Nerine cirratulus* se rencontre assez régulièrement sur la plage. Cette espèce est trouvée à partir de la zone moyenne de l'estran jusqu'aux bas niveaux (fig. 148). Le plus grand nombre d'exemplaires a été récolté à la radiale A. Le fait de trouver également *Nephtys cirrosa* en dragages nous indique que cette espèce possède des limites d'habitat assez vastes.

Ces 2 polychètes que nous venons de citer représentent la majeure partie de la biomasse apportée par les Annélides.

- le second groupe bien représenté sur la plage, est celui des Arthropodes. Il forme une biomasse assez faible par rapport au nombre d'espèces représentées.

- . *Eurydice pulchra* (Isopode) et *Haustorius arenarius* (Amphipode) : ce sont les deux espèces les plus fréquentes. La première a été récoltée à tous les niveaux de l'estran. SALVAT (1962) attribue à *Eurydice pulchra* une situation écologique plus basse qu'à *Eurydice affinis* ; à GRAVELINES nous l'avons trouvée fréquemment en hauts niveaux (fig. 149) cependant elle est moins représentée dans les prélèvements contenant un nombre plus important d'*Eurydice affinis*.
- . *Haustorius arenarius* : a été rencontré également à tous les niveaux de la zone intertidale, il est malgré tout plus fréquent dans les deux tiers inférieurs de l'estran, une importante teneur en eaux du sédiment étant indispensable à sa locomotion (SALVAT, 1962).
- . *Bathyporeia pilosa* (Amphipode) : est l'Amphipode le plus abondant les hauts niveaux de l'estran situé à l'Est de l'Aa. Sa présence et son abondance sont en relation étroite avec la salinité du milieu. Cette espèce est caractéristique d'une zone de dessalure qui s'étend de la radiale B vers la radiale C ; elle est plus abondante près de l'Aa et de ce fait, indicatrice d'un apport d'eau douce qui décroît de B en C.
- . *Corophium volutator* : ne semble pas avoir les mêmes tolérances que *Corophium arenarium*. on le trouve à la radiale B en faible abondance.

Mc LUSKY et DONALD S. (1970) ont défini pour cette espèce un préférendum de salinité variant de 10 à 30 ‰. Mais, la salinité n'agit pas seule sur l'abondance de ces *Corophium*, la qualité du sédiment est aussi un facteur

important. Il semble ainsi que *Corophium volutator* soit par rapport à *Corophium* plus abondant dans un sédiment plus vaseux, nous avons en effet trouvé au mois d'avril 5780 *Corophium volutator* au quart de mètre carré dans une zone plus vaseuse qu'en B, située à l'Ouest de l'Aa, près du chenal.

Les résultats obtenus par MEADOWS (1964) au sujet de la sélection du substrat par *Corophium* sont en accord avec nos observations. Cet auteur en conclut que *Corophium arenarium* est moins exigeant dans son choix du substrat que *Corophium volutator*. Entre plusieurs sables vaseux, ce dernier choisit la vase constituée des particules les plus fines tandis que *Corophium arenarium* semble indifférent.

- Les Mollusques sont peu représentés sur la plage, cependant, compte-tenu de cette faible représentation, leur biomasse est relativement importante.

- . *Hydrobia ulvae* : est l'espèce la plus rencontrée sur l'estran, caractéristique des zones dessalées, elle a été trouvée principalement en B.

Les autres représentants de ce groupe sont peu fréquents et ne sont pas rencontrés régulièrement sur la plage.

- . *Cardium edule* : fait partie avec *Hydrobia* d'une faune propre aux milieux saumâtres. Peu d'individus ont été récoltés aux niveaux moyens et hauts de la radiale B.
- . *Abra alba* : n'a jamais été rencontré sur l'estran que durant les deux premières campagnes (octobre à janvier aux radiales A et C).

Les différentes valeurs de l'indice de diversité obtenues au cours de l'année pour chaque campagne, montrent que toute cette faune n'est pas répartie de façon homogène sur l'estran. En particulier, *Hydrobia ulvae*, *Corophium volutator*, *Corophium arenarium* ont une répartition en taches. Un prélèvement unique sur un quart de mètre carré étant réalisé pour chaque station, un relevé peut être fort différent d'un autre du fait qu'il est obtenu à l'intérieur ou en dehors d'une tache. Cette distribution rend donc difficile toute interprétation de l'évolution de ces populations au cours de l'année.

Si l'on s'en tient aux résultats, l'analyse qualitative nous indique que *Nerine cirratulus* est plus abondante d'octobre à janvier (655 individus sur les 3 radiales en octobre-novembre et 402 en décembre-janvier), puis son effectif diminue pendant les campagnes suivantes de février à juillet (le nombre d'individus décroît de 136 en février-mars à 71 en juin-juillet) avant d'augmenter à nouveau en août-septembre (301 individus).

De même, en ce qui concerne *Eurydice pulchra*, le plus grand nombre d'individus a été récolté d'octobre à janvier.

D'une façon générale, nous avons vu que la radiale B a la biomasse la plus importante ; la plus faible a été obtenue en C.

Les diagrammes concernant les coefficients de similitude nous ont montré que du point de vue spécifique, les niveaux homologues de chaque radiale sont semblables entre eux, cela met en évidence l'importance du facteur niveau marégraphique dans la répartition de chaque espèce, la nature du milieu intervient ensuite sur l'abondance de chacune d'entre elles.

7. Conclusion

La prospection des trois radiales A, B et C nous a permis de mettre en évidence les espèces les plus importantes de la zone intertidale.

La macrofaune est répartie sur l'estran en plusieurs zones possédant chacune un peuplement particulier :

- Les hauts niveaux hébergent le plus souvent l'association *Eurydice affinis*, *Bathyporeia pilosa*. On y trouve également *Nerine cirratulus* et *Eurydice pulchra*.
- Les moyens niveaux représentent la zone où l'on trouve le plus grand nombre d'individus de *Nerine cirratulus*. Ces niveaux renferment également *Eurydice pulchra*, *Bathyporeia sarsi*, *Haustorius arenarius*.
- Enfin, les bas niveaux abritent des espèces telles que *Nephtys cirrosa*, *Arenicola marina*, *Portunus latipes*. On y rencontre aussi *Haustorius arenarius*.

Dans cette distribution, c'est le niveau cotidal qui intervient. Une espèce peut être présente dans les différentes zones de l'estran, néanmoins elle a nécessairement un préférendum pour un habitat particulier où résident des conditions optimales favorables à son meilleur développement. Parmi ces conditions, notons en particulier :

- La nature physico-chimique du substrat : granulométrie, porosité du sédiment, nature chimique de l'eau interstitielle (salinité, pH) interviennent dans la répartition de la faune.
- La teneur en eau du sédiment qui est un facteur important pour le déplacement de certaines espèces.
- L'intensité de la dessiccation du milieu pendant l'émergence.

En conséquence, la répartition de la faune sur l'estran dépendra également de la topographie du terrain variable en fonction des conditions météorologiques.

En se référant à l'étude préliminaire de 1973 nous avons pu dresser une carte représentant schématiquement la répartition de la biomasse sur l'estran situé à l'Est de l'Aa. Cette rivière constitue un apport d'eau douce contribuant à l'installation d'un peuplement particulier composé d'espèces telles que *Nerine diversicolor*, *Notomastus lateralis*, *Codium edule*, *Hydrobia ulvae*, *Corophium arenarium* et *Corophium volutator*.

L'influence de l'Aa est nette et s'atténue progressivement vers la rivièrè ; un apport constant en matières organiques enrichit de façon notable les zones situées au voisinage du chenal, et favorise l'installation d'une faune abondante répartie en taches plus ou moins importantes. Cette faune variée propre aux milieux saumâtres est également présente à l'Ouest de l'Aa où des prélèvements supplémentaires* nous ont permis de rencontrer près du chenal, un

* Ces prélèvements supplémentaires permettront la réalisation d'une carte de répartition de biomasse sur l'estran Ouest. Cette carte sera présentée avec d'autres résultats faunistiques complémentaires dans un rapport faisant objet de mémoire universitaire.

peuplement important de *Corophium volutator* et *Corophium arenarium* réparti dans de vastes lentilles de vase. L'importance de ces tâches peut varier considérablement entre deux campagnes de prélèvements. Associé à ces Amphipodes, le Mollusque *Hydrobia ulvae* est également présent en grande quantité. Ce gastéropode, visible à la surface du sédiment possède une répartition très hétérogène.

La richesse de l'estran est donc principalement conditionnée par la présence de l'Aa et si une prochaine étude plus axée sur la biométrie est entreprise, il sera fort intéressant de suivre l'évolution de certaines populations comme celles de *Corophium* ou *Hydrobia* qui sont très représentatives des zones les plus riches de la plage. D'autre part, en ce qui concerne *Nerine cirratus* (Annélide), espèce la mieux représentée dans l'estran, il apparaît nécessaire de trouver à son sujet (compte-tenu des problèmes de mensuration), une méthode permettant de suivre l'évolution de la population.

III.B LA ZONE SUBTIDALE

1. Introduction

Le but de l'étude entreprise est de définir un état écologique de référence au cours d'une année d'observations sur la faune benthique profonde.

Six campagnes de prélèvements ont pu avoir lieu (tableau 83, volume II).

Les conditions météorologiques et le jumelage avec les sorties "Hydro" ont quelque peu compromis l'exécution normale des prélèvements (deux campagnes incomplètes et manque de prélèvements estivaux).

2. Méthodologie

Je distinguerai ici deux parties :

- le travail à la mer
- le travail en laboratoire

2.1 Travail à la mer

2.1.1 Stations

Les stations ont été repérées à l'aide du "Navigator Decca" dont la précision (50 à 100 m) est meilleure pour les stations un peu éloignées de la côte que celle du repérage grâce à des alignements.

Le "Navigator Decca" est excellent dans cette zone où les intersections des hyperboles rouges et vertes forment un grand angle.

La côte plate et sans amer rendait difficile la recherche d'alignements.

2.1.2 Techniques de prélèvements

Toutes les campagnes ont été réalisées à la charge "Rallier du Baty" modifiée (fig. 171).

Des essais à la benne SMITH Mc INTYRE (fig. 172) ont été effectués (4 sorties en mer) mais sont restés vains. Il semble cependant que la solution des problèmes posés par les mécanismes de la benne soit en vue et permette son utilisation dans des sédiments aux sables fins bien classés.

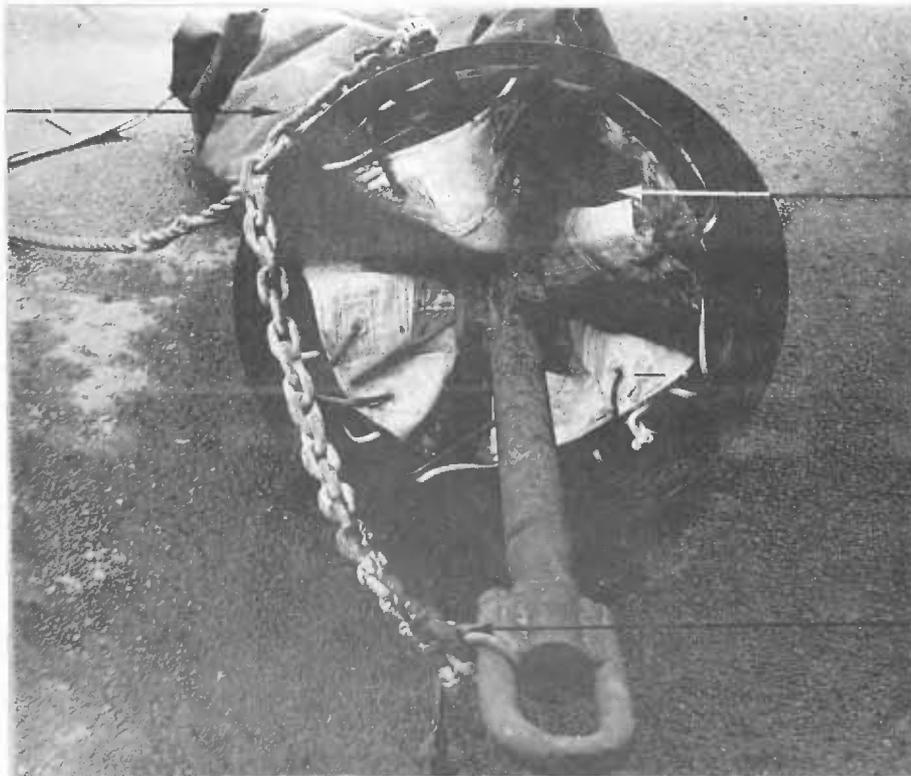
Les prélèvements consistent en une prise de 30 l de sédiment.

De ce sédiment sont extraits à l'aide d'un carottier (fig. 136) deux échantillons :

- 1 pour l'étude des formes juvéniles,
- 1 pour l'étude granulométrique et le dosage de l'azote organique.

Le reste du sédiment est ensuite tamisé sous jet d'eau de mer. Au cours des 4 premières campagnes, le tamisage a eu lieu dans des tamis type DAVANT SALVAT (1961) modifié GLACON (fig. 137). Ce tamis aux dimensions plus réduites que le modèle DAVANT SALVAT est utilisable par une seule personne. Lors des deux dernières campagnes le tamisage a eu lieu sur une table de

Tablier
externe



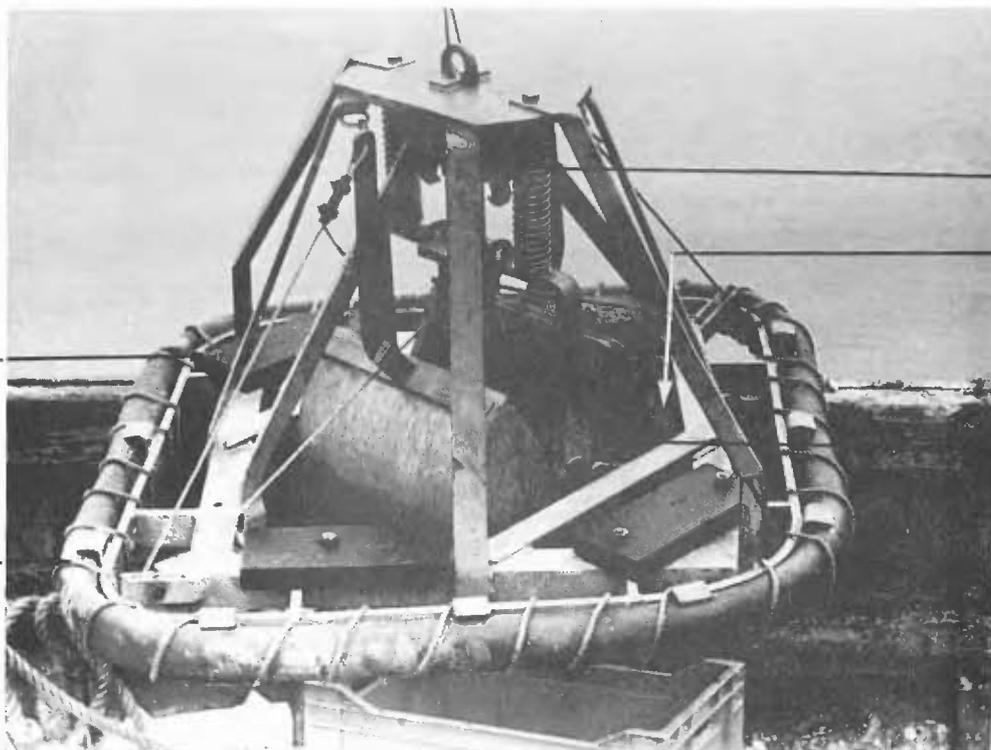
Sac interne

Bout cassant

Fig. 171 : Drague "Rallier du Baty modifiée"

Lest

Boudin de
protection



Ressort

palpeur

Mâchoire

Fig. 172 : Benne "Smith Mac Intyre"

tri (fig. 173). La table, inspirée de celles du Pluteus II se compose de 3 étages :

- le tamis supérieur est constitué par 1 tôle galvanisée, perforée à 1 cm,
- le tamis médian est perforé à 2 mm (après galvanisation les perforations sont réduites à 1 mm),
- le tamis inférieur est perforé à 1 mm (0,5 après galvanisation).

Les tamis sont articulés de manière à permettre l'élimination des résidus de triage (quand le tri a pu être fait à bord) ; le tamis inférieur est solidaire du plat bord (fig. 174).

Quand le refus de tamis est trop important pour être trié ou quand la partie vivante est plus importante que la partie non vivante, le refus de tamis est fixé au formol 8 % à bord dans un double sac plastique avec la référence du prélèvement.

Le refus de tamis trié est rejeté à la mer après évaluation du volume. Les animaux sont recueillis dans un pilulier avec la référence du prélèvement et fixés au formol salé à 8 %.

Les prélèvements servant à l'étude des formes juvéniles sont également fixés au formol.

2.2 Travail au laboratoire

2.2.1 Tri de la faune

Quand le tri n'a pas pu être fait à bord, il s'effectue au laboratoire.

Le tri se fait par la méthode de flottaison et d'agitation : une fraction du refus de tamis à trier est dispersée et agitée soigneusement dans l'eau de mer. L'eau est vidée sur une toile de nylon de 200 μ . L'opération est répétée plusieurs fois. Les animaux sont ramassés à la pince et recueillis dans un pilulier



Fig. 173 : Table de tri



Fig. 174 : Elimination du refus de tamis

contenant du formol salé à 8 %. Lorsqu'aucun animal ne remonte après l'agitation, on vérifie rapidement si le refus de tamis ne recèle plus d'animaux (en général, des Lamellibranches).

En fin de tri, le volume du refus de tamis est mesuré.

Après les déterminations, des mesures biométriques ont été réalisées quand cela a été possible.

Les Mollusques sont mesurés à l'aide d'un pied à coulisse pour les grands individus et au micromètre oculaire pour les petits individus (à 0,05 mm près).

Les Crustacés sont mesurés sur papier millimétré (à 0,25 mm près).

Les Ophiures sont mesurées au pied à coulisse (à 0,25 mm près).

Quand toutes les mesures sont terminées, les animaux sont passés dans un bain d'acide chlorhydrique à 10 % jusqu'à décalcification complète.

Le bain d'acide peut être renouvelé éventuellement.

Le matériel biologique est ensuite rincé abondamment à l'eau distillée sur une toile de nylon de 200 μ , séchés au papier filtre puis passés à l'étuve à 110° pendant une durée variant de 18 à 24 h selon les espèces.

Après dessiccation, les animaux sont pesés au 1/10 de mg près.

Les fragments indéterminés subissent le même traitement.

2.2.2 Etude des formes juvéniles

Le prélèvement devant servir à cette étude est d'abord tamisé sur maille de 1 mm, ceci afin d'éliminer les grands individus et une bonne partie de sédiment. Ce qui n'a pas été retenu par le tamis est tamisé sur une toile nylon de 500 μ de vide de maille.

Les individus contenus dans le refus de tamis sont triés par la technique de flottaison.

Lors des deux dernières campagnes la méthodologie a été différente :

L'existence d'un tamis nous a permis dans un certain nombre de cas de tamiser complètement le sédiment. L'inconvénient de cette méthode est que les animaux habitués à se déplacer dans le sable peuvent évidemment passer activement à travers les trous de 1 mm du tamis médian et être récoltés ainsi dans le tamis inférieur.

2.2.3 Granulométrie

Les échantillons sont d'abord rincés soigneusement à l'eau douce, ceci afin de dessaler le sédiment et ainsi empêcher la formation d'aggrégats de sable et de grains de sel.

Quand le rinçage est terminé, l'eau est éliminée le plus possible par le siphonage et le sable est séché à l'étuve à 110° pendant 24 h dans une cuvette émaillée.

Quand le sable est sec une fraction d'environ 100 g est prélevée, c'est cet échantillon qui sera tamisé.

La tamiseuse utilisée est une "Roto-Lab" fabriquée par les Etablissements CHAUVIN de GRENOBLE. Elle est constituée d'un bloc moteur et d'une série de tamis. Les tamis utilisés ont un vide de maille allant de 2 mm à 40 μ en suivant une progression géométrique de base 1 et de raison $10 \sqrt{10}$ (Normes AFNOR), 18 tamis ont été utilisés (fig. 143, 144 et 145).

Le temps de tamisage varie selon les tamis :

- 6 mn pour les 6 premiers tamis (2 mm \longrightarrow 0,63 mm)
- 12 mn pour les 6 suivants (0,50 mm \longrightarrow 0,16 mm)
- 18 mn pour les 6 derniers (0,125 mm \longrightarrow 0,04 mm)

Après le tamisage, le refus de chaque tamis est recueilli dans des boîtes de pétri tarées. Les boîtes de pétri sont ensuite pesées au mg.

2.2.4 Azote organique

Les échantillons prélevés pour le dosage de l'azote organique sont congelés dès le retour au laboratoire et expédiés au COB en vue de leur analyse.

3. Etudes granulométriques

3.1 Prélèvements CNEXO : campagne de décembre 1975 (fig. 175 à 184)

Deux types de courbes ont été choisis pour la représentation graphique des résultats :

- histogrammes des fréquences pondérales
- courbes cumulatives pondérales directes

Ces dernières permettent le calcul de nombreux paramètres dont :

- la médiane (Md) : correspond à la valeur du vide de maille qui laisse passer la moitié pondérale des grains,
- les 1er et 3ème quartiles (Q.1 et Q.3) qui correspondent à la valeur du vide de maille qui laisse passer 25 % et 75 % de la masse des grains,

- l'écart interquartile géométrique : $So = \sqrt{\frac{Q.3}{Q.1}}$

C'est l'indice de TRASK (1938) = Sorting coefficient ; il indique la perfection du triage, le classement du sédiment.

D'après les valeurs de l'indice de TRASK on peut déterminer le classement du sable :

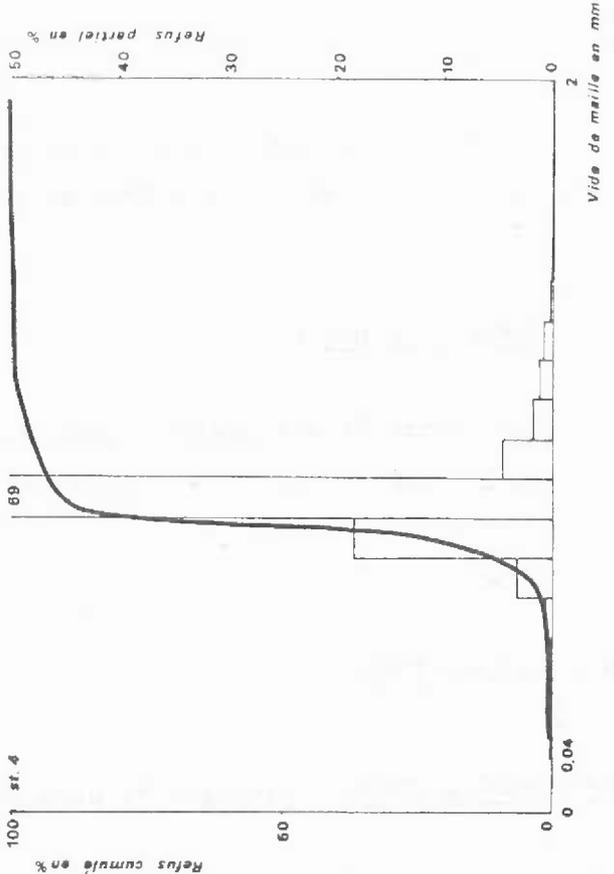
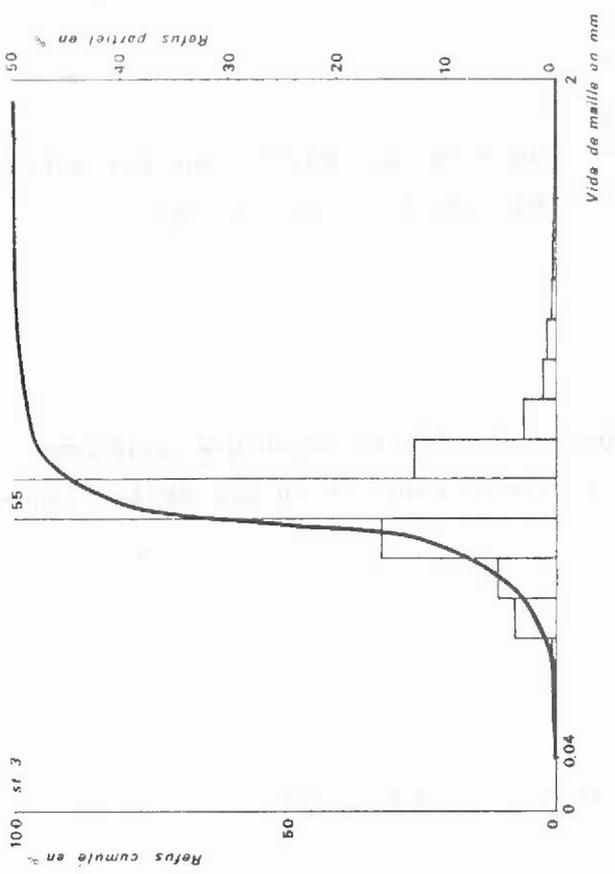
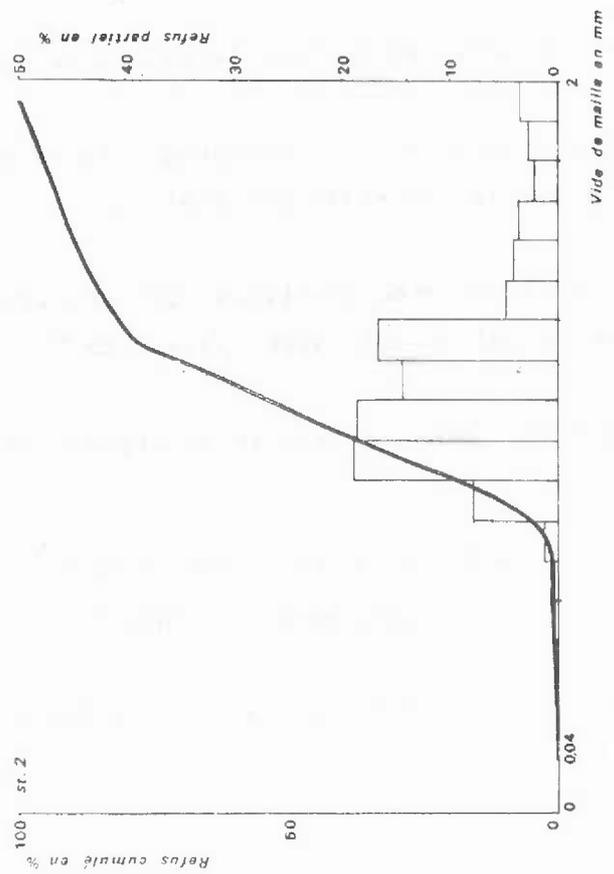
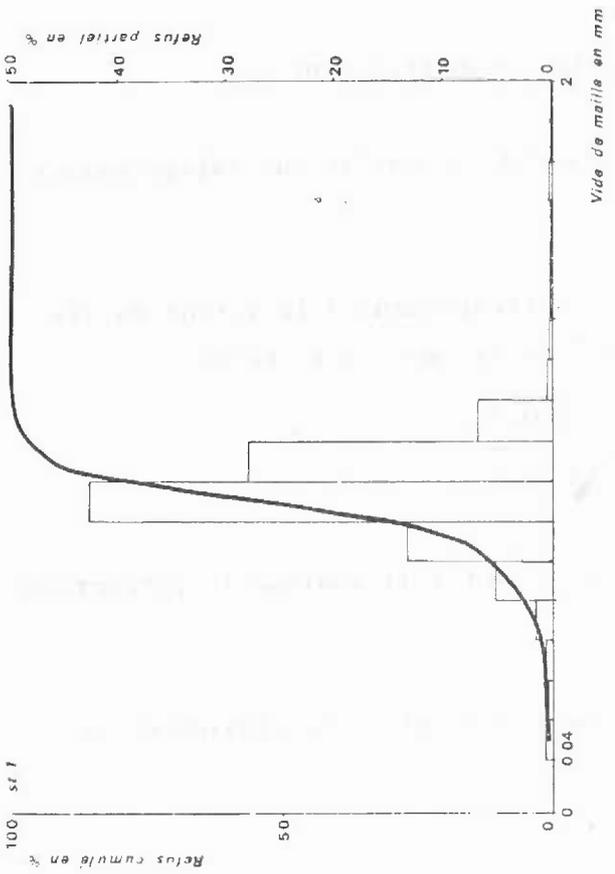


Fig. 175

Fig. 176

ETUDE GRANULOMETRIQUE DES SEDIMENTS PROFONDS.
(campagne Décembre 1975)

- Histogrammes de fréquences pondérales.
- Courbes cumulatives directes des fréquences pondérales.

Fig. 178

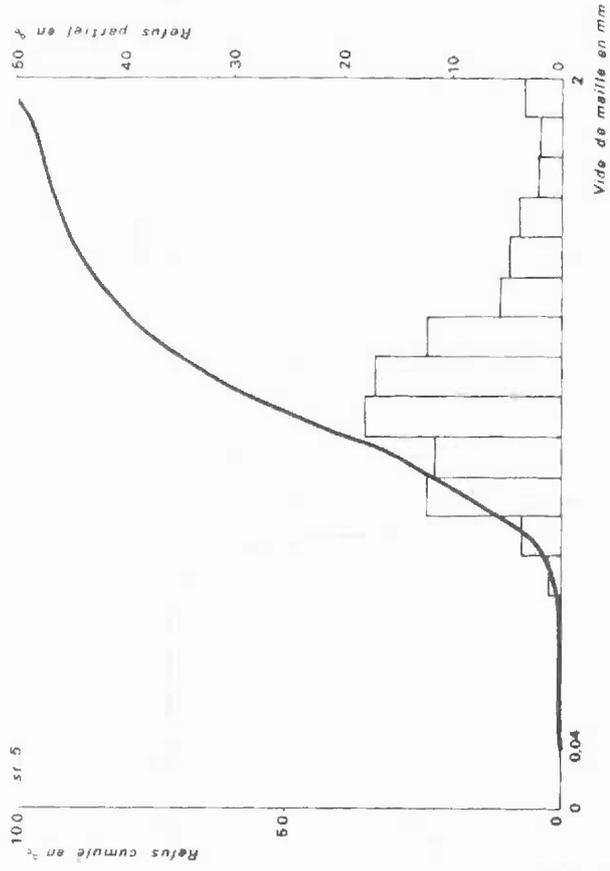


Fig. 177

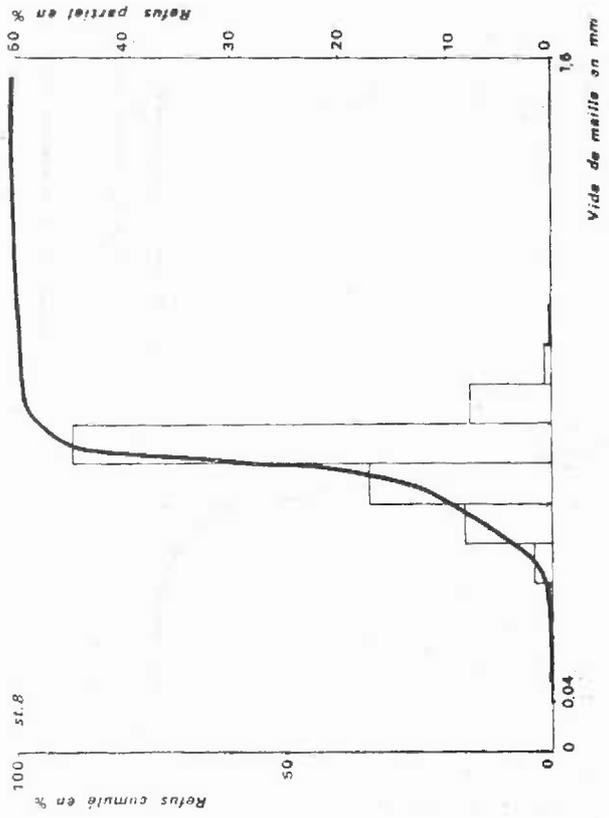
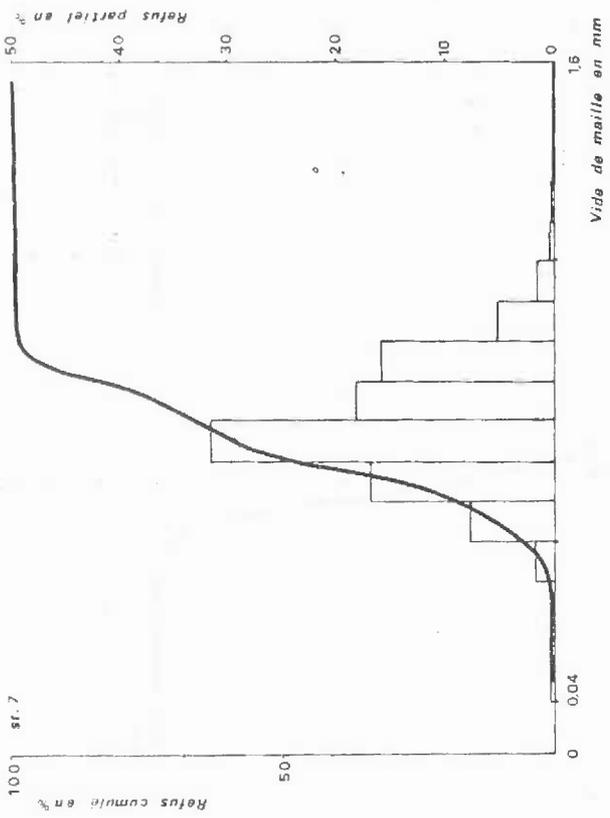


Fig. 180

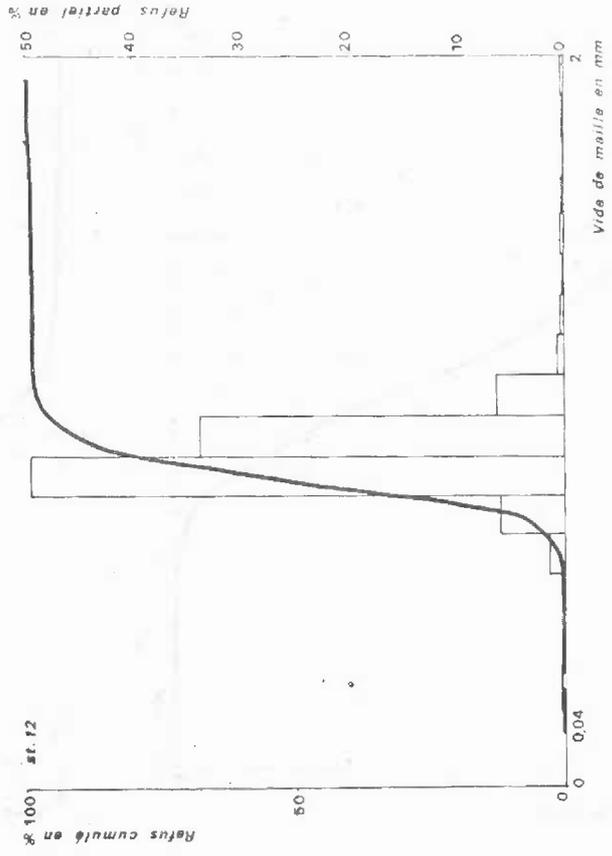
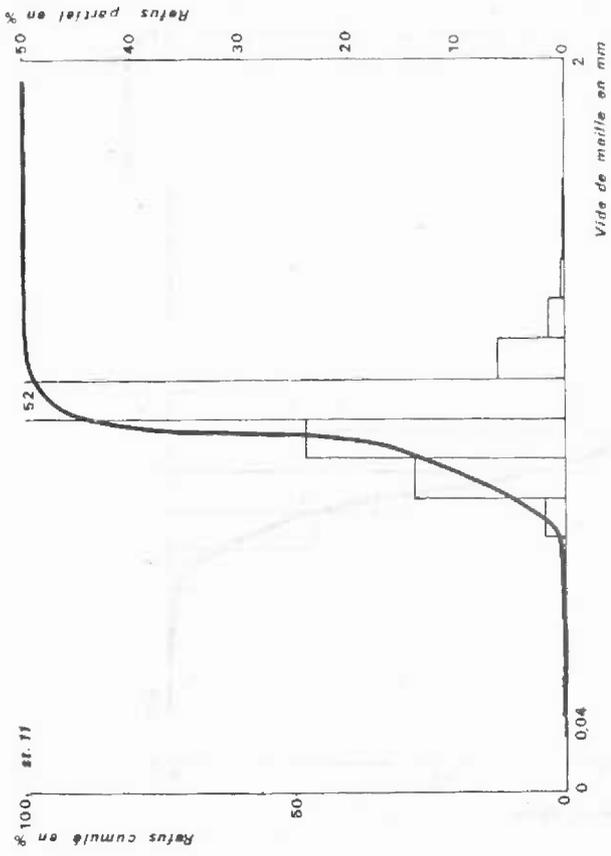


Fig. 179

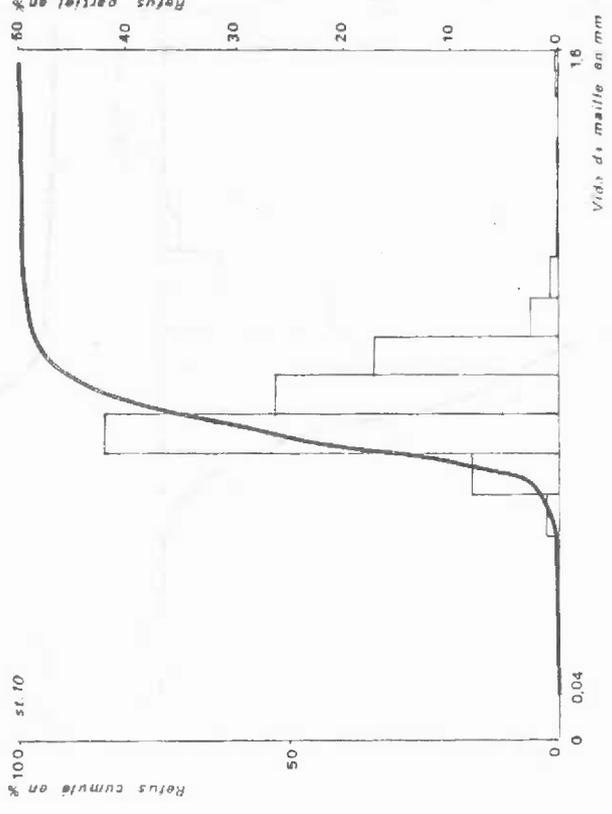
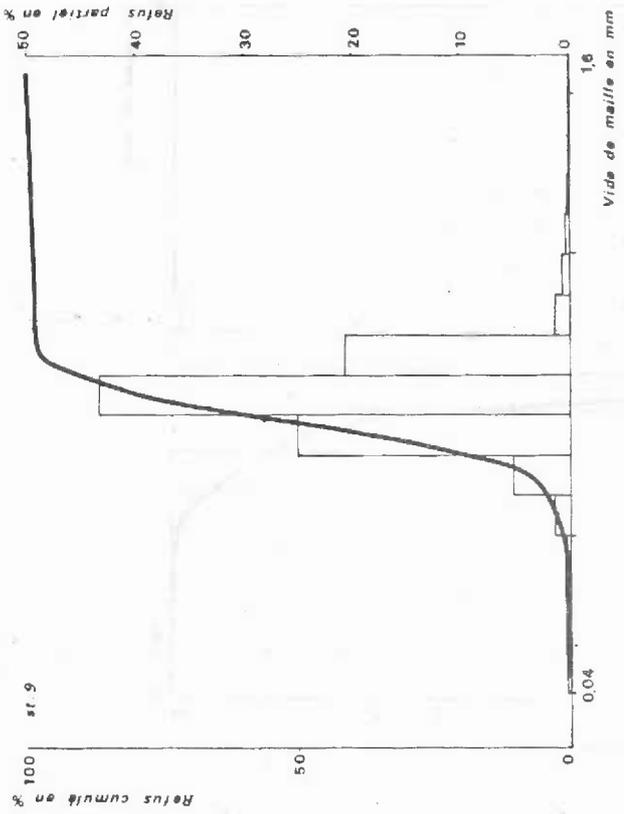


Fig. 182

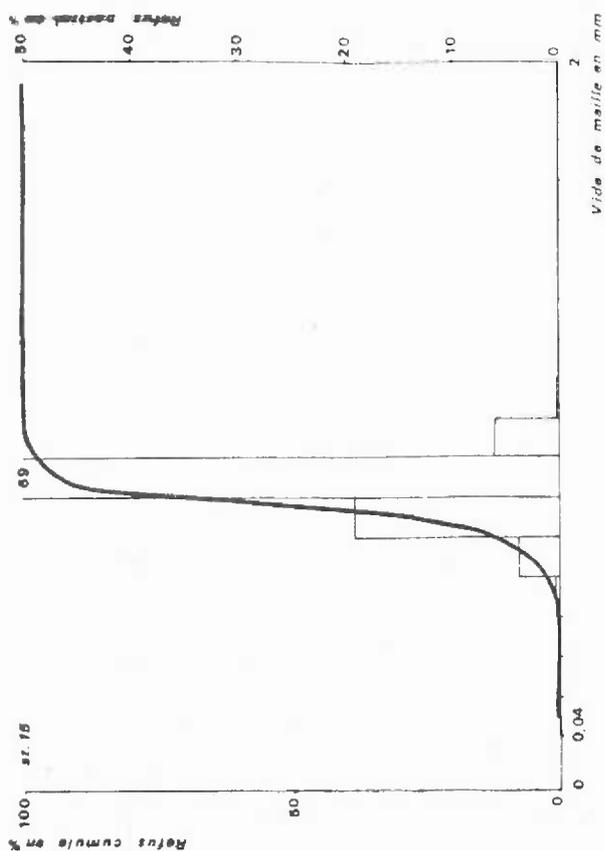


Fig. 181

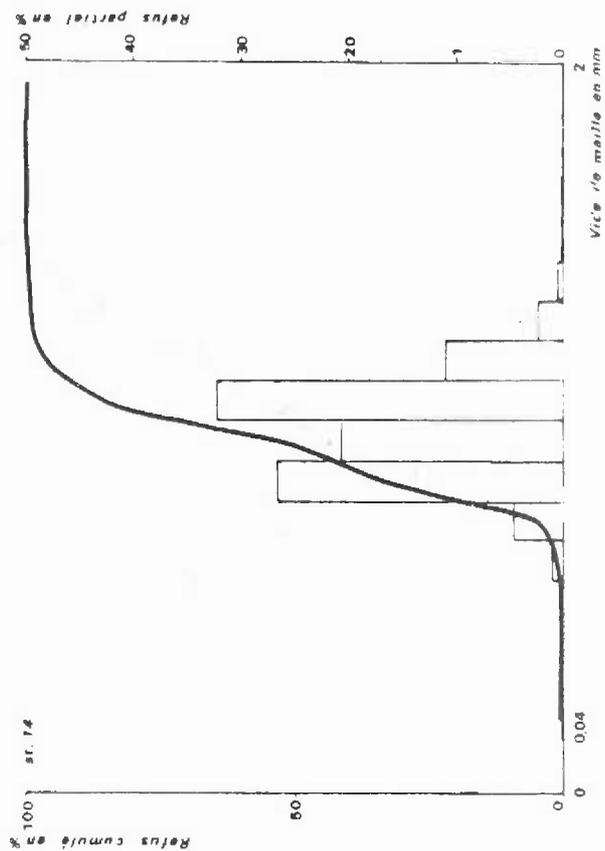
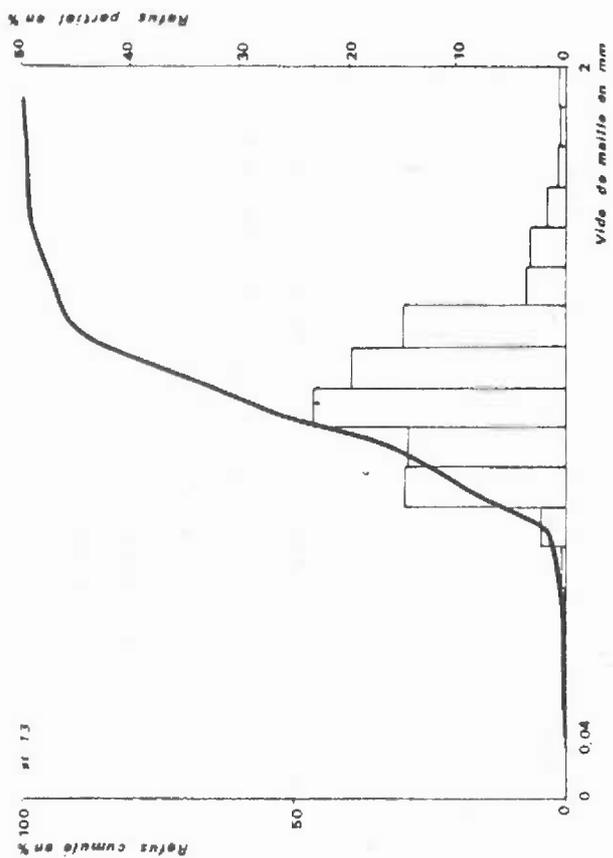
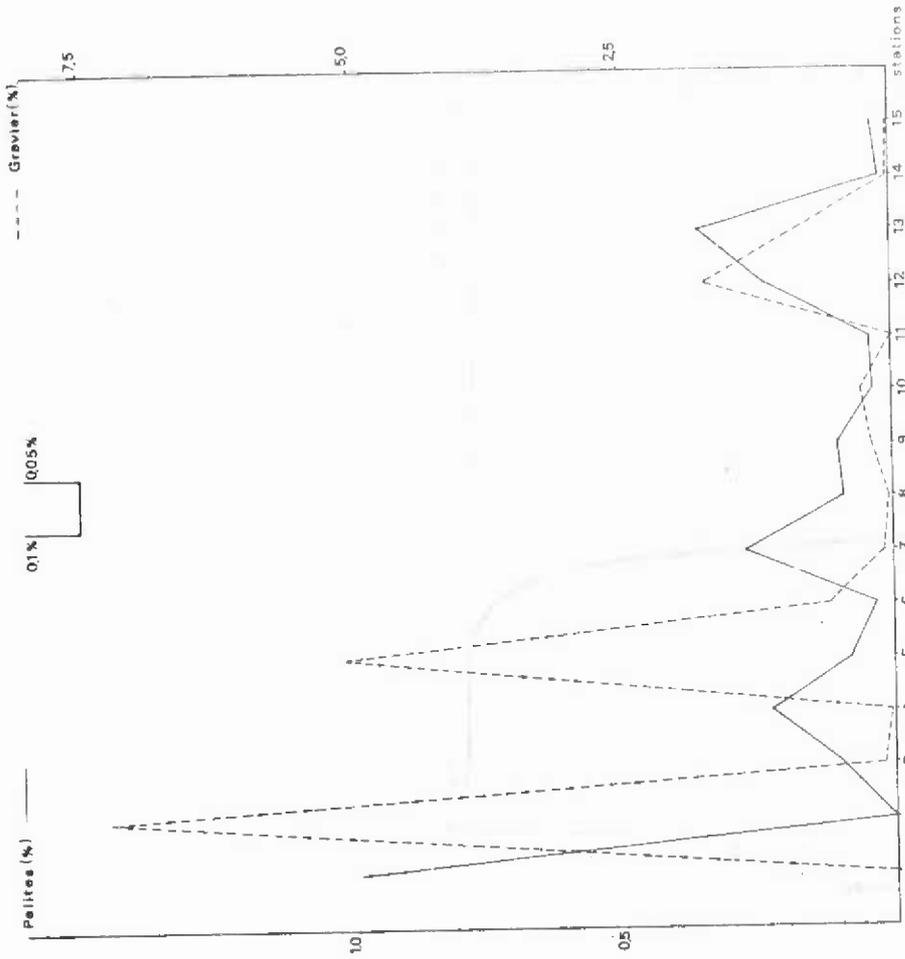


Fig. 184



TENEUR EN GRAVIER ET EN PELITES (en % du poids de l'échantillon)
DES ECHANTILLONS DE SEDIMENT.

(Campagne de Décembre 1975.)

Fig. 183

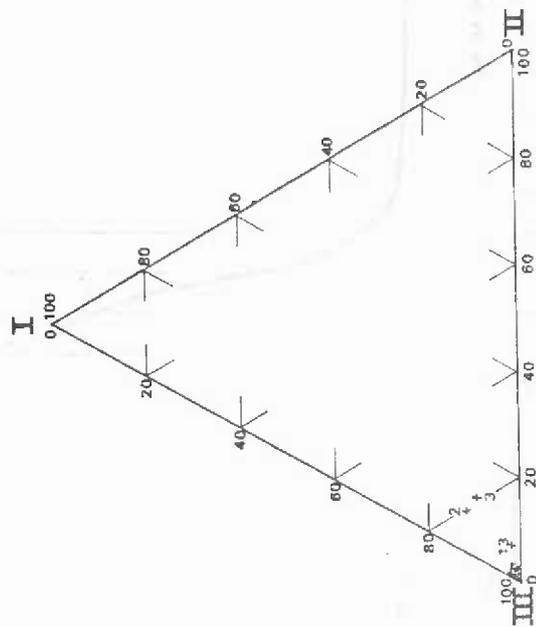


DIAGRAMME TERNAIRE DES TROIS CATEGORIES DE SABLE (Campagne Décembre 1975).

- I : Sable grossier (1 à 2 mm.).
- II : Sable moyen (0,5 à 1 mm.).
- III : Sable fin (0,04 à 0,5 mm.).

- $1 < So < 1,5$: sédiment très bien classé
- $1,5 < So < 2,5$: sédiment bien classé
- $2,5 < So < 4$: sédiment faiblement classé
- $4 < So$: sédiment très mal classé

Il faut noter que le calcul de l'indice de TRASK varie selon les auteurs (TOULEMONT, 1971). Nous avons finalement adopté la figure que donne GRIFFITH (1967) c'est-à-dire :

$$So = \sqrt{\frac{Q.3}{Q.1}}$$

On peut classer le sédiment en plusieurs catégories :

- graviers : diamètre de 2 cm à 2 mm
- sables grossiers : diamètre de 2 mm à 1 mm
- sables moyens : diamètre de 0,5 mm à 0,1 mm
- sables fins : diamètre de 0,1 mm à 0,04 mm
- pélites : diamètre inférieur à 0,04 mm

Lors de la campagne de décembre, tous les sédiments récoltés étaient très bien classés : les indices de TRASK variaient de 1,07 à 1,46. Par contre, au niveau des médianes des différences apparaissent, quoique la figure 183 nous montre bien l'homogénéité des différents sédiments récoltés.

Les sédiments des stations 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12 et 15 ont des médianes comprises entre 0,147 et 0,190 mm (caractéristiques des sables fins).

L'échantillon de sédiment prélevé à la station 5 possède le sédiment le moins bien classé : $So = 1,456$ et sa médiane est de 0,297 mm.

Ces calculs ne tiennent compte que du sable (fraction comprise entre 0,04 et 2 mm) ; aussi ne se rend on pas compte de l'importance de la teneur en gravier (supérieure à 2 mm) et en pélites (inférieure à 0,04 mm) (fig. 184). Il apparaît sur cette figure que la présence abondante et simultanée de graviers et de pélites est rare. Elle n'existe qu'à la station 12 où la vase provient du substrat en place et les graviers des apports de la digue.

3.2 Prélèvements EDF (fig. 185 à 192)

D'après des documents EDF (étude avant-port Ouest de DUNKERQUE, 1971), il est possible de définir un état granulométrique du fond avant que les travaux du nouvel avant-port ne soient commencés. Les stations se répartissent selon trois radiales et deux points proches de stations CNEEXO (fig. 193).

La première radiale est située en face du "GROS-BANC" à l'Ouest du chenal de l'Aa, la deuxième est située en face du site EDF et la troisième au delà de la station 12 CNEEXO.

La première radiale, constituée de 3 points s'échelonnant de 0 à 10 m met en évidence une stabilité de la médiane dans la zone de profondeur inférieure à 10 m.

La 2ème radiale met en évidence une stabilité de la médiane pour les stations D à G qui sont comparables aux stations de la première radiale. La station H a une médiane supérieure à celle de G mais peut être classée dans la catégorie des sables fins. Par contre, la station I (médiane 0,9) possède un sédiment mal classé, la courbe cumulative est très étalée. Cela pourrait être dû à un transport important à cet endroit.

La même succession se produit le long de la 3ème radiale.

On observe en N un sédiment mal classé montrant qu'un transport existe à cet endroit.

On observe en O un sédiment très bien classé avec une classe modale située dans les sables fins.

3.3 Comparaison des stations CNEEXO et EDF

Si on compare les stations EDF et CNEEXO proches (D-6 ; E-9 ; N-13 et O,15) on s'aperçoit que les évolutions sont différentes.

Le sédiment prélevé à la station 6 a acquis un meilleur classement, mais la

Fig. 186

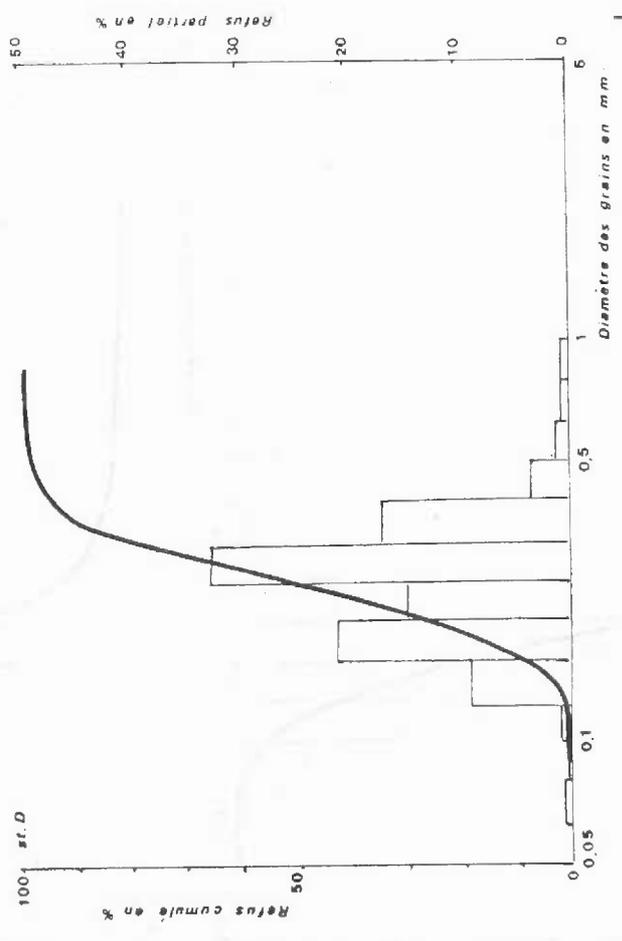
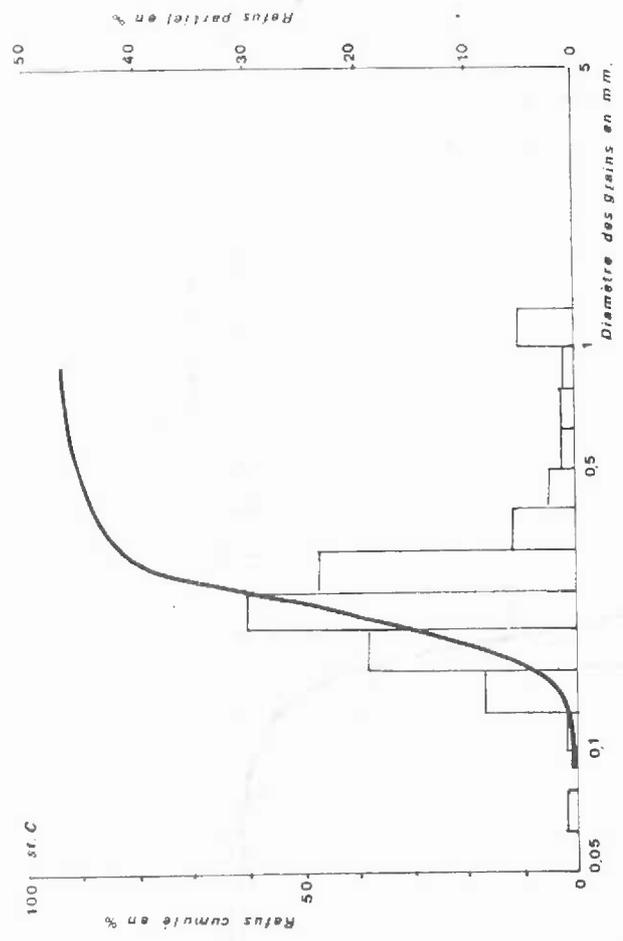
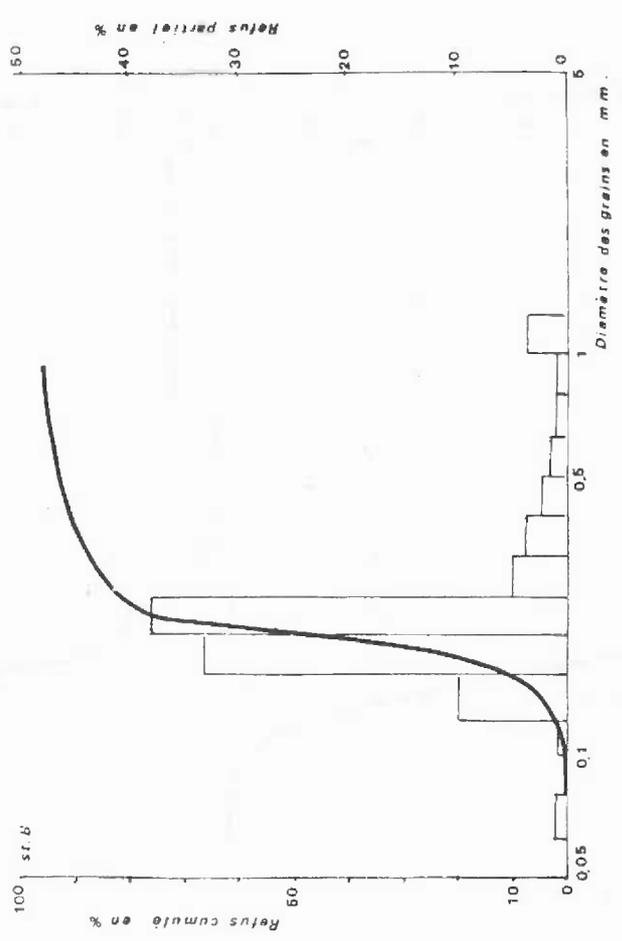
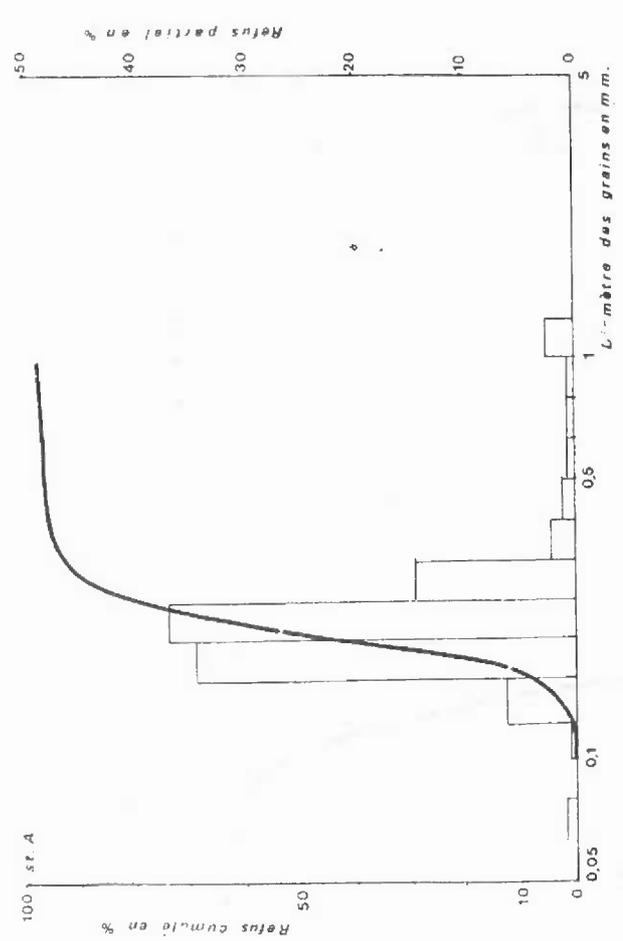


Fig. 185



ETUDE GRANULOMETRIQUE DES SEDIMENTS PROFONDS.
 (D'après E.D.F. Etude Av. P. Ouest de DUNKERQUE 1971.)

- Histogramme de fréquences pondérales.
 - Courbes cumulatives directes de fréquences pondérales.

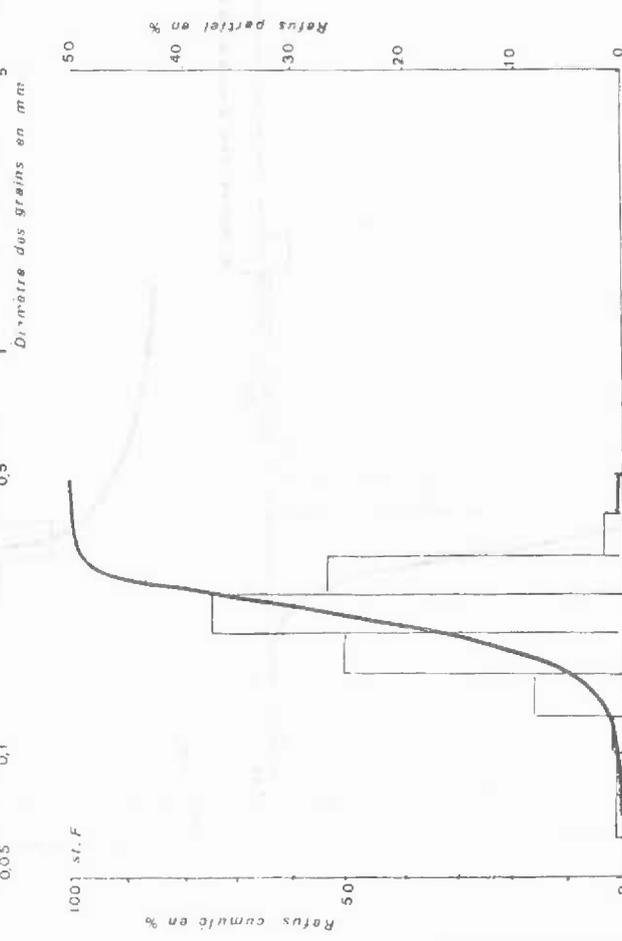
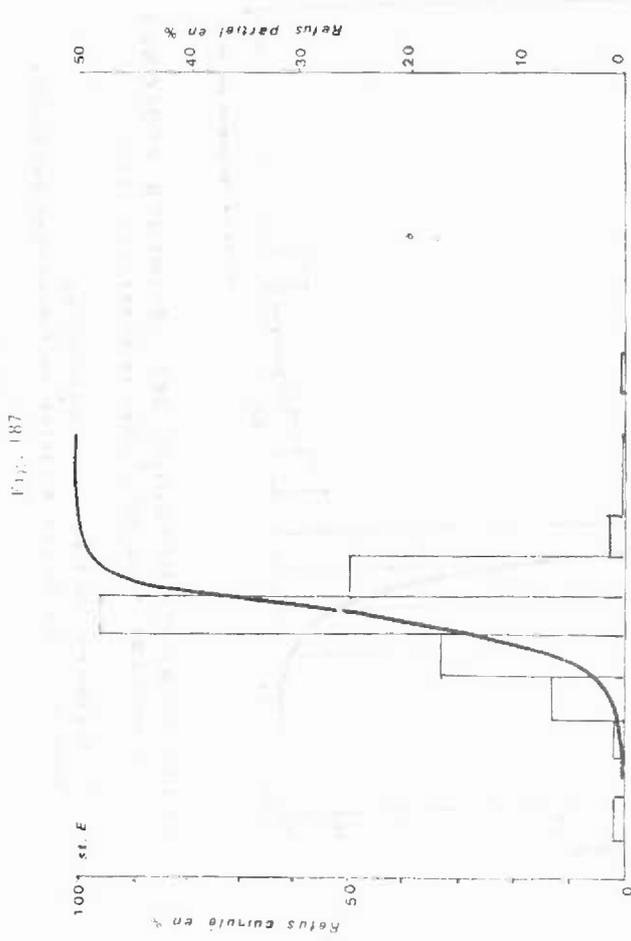
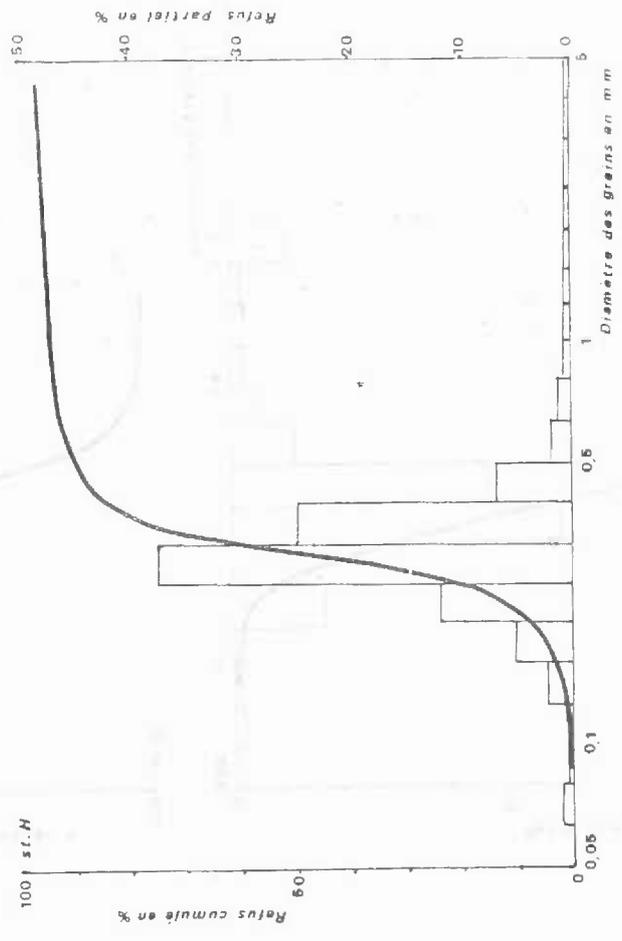
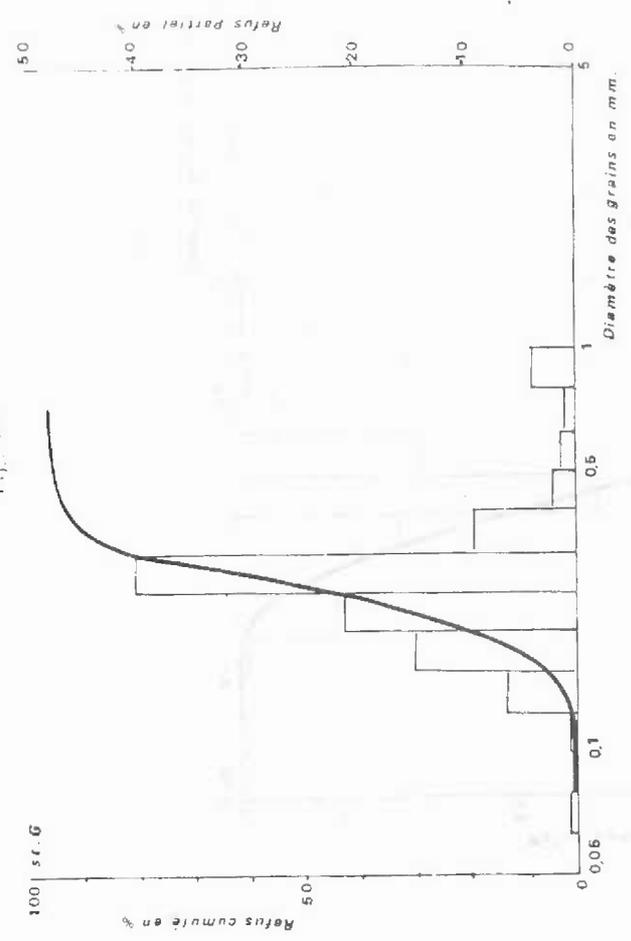


Fig. 185

Fig. 187

Fig. 190

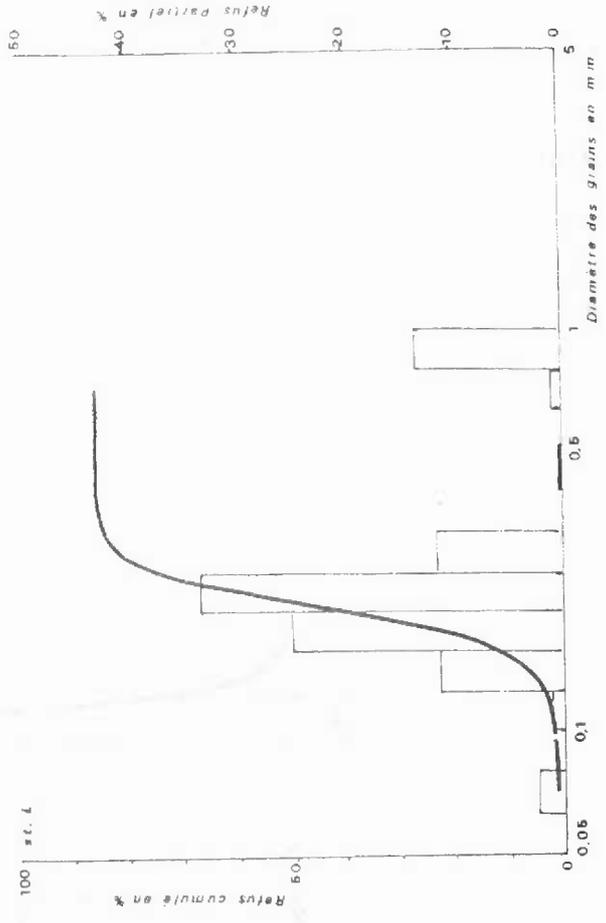
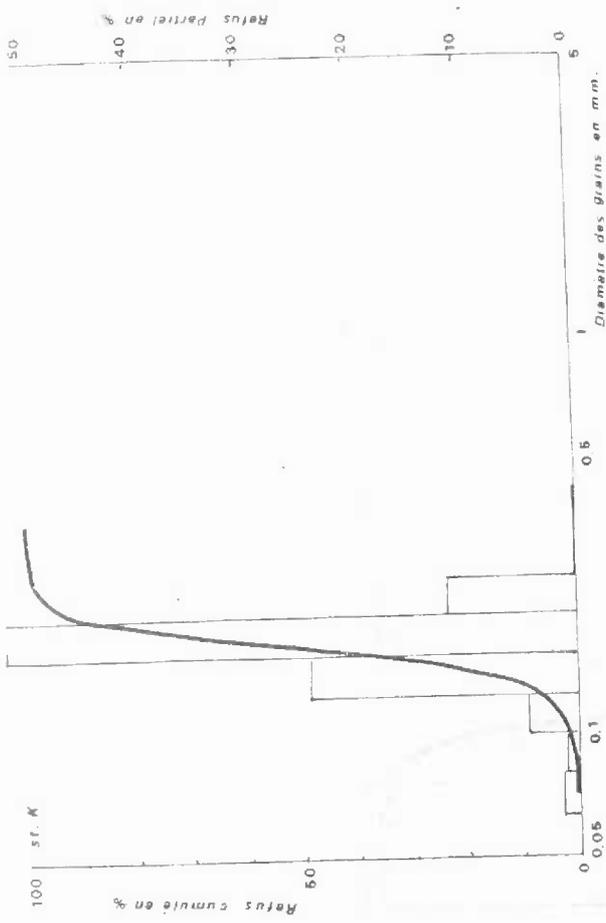


Fig. 189

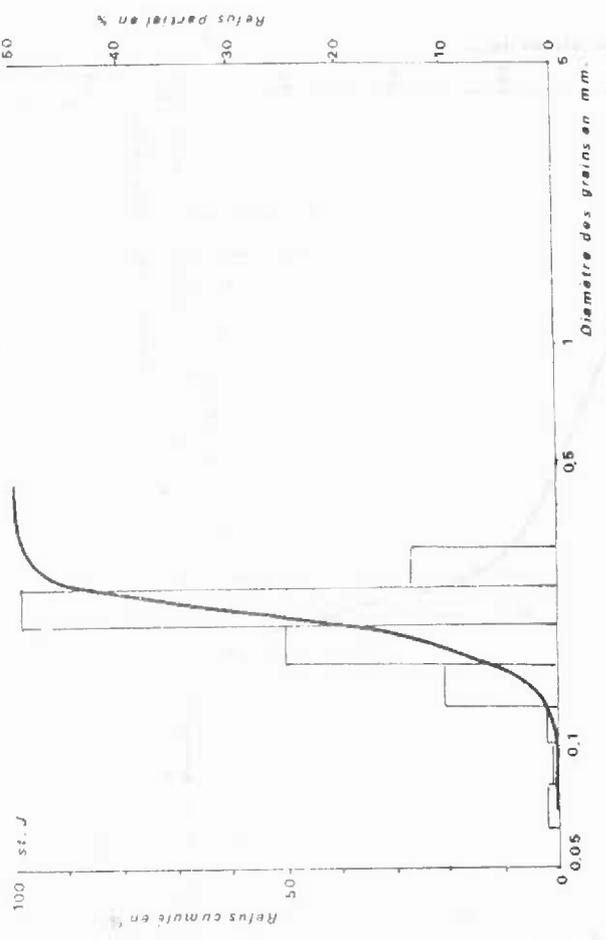
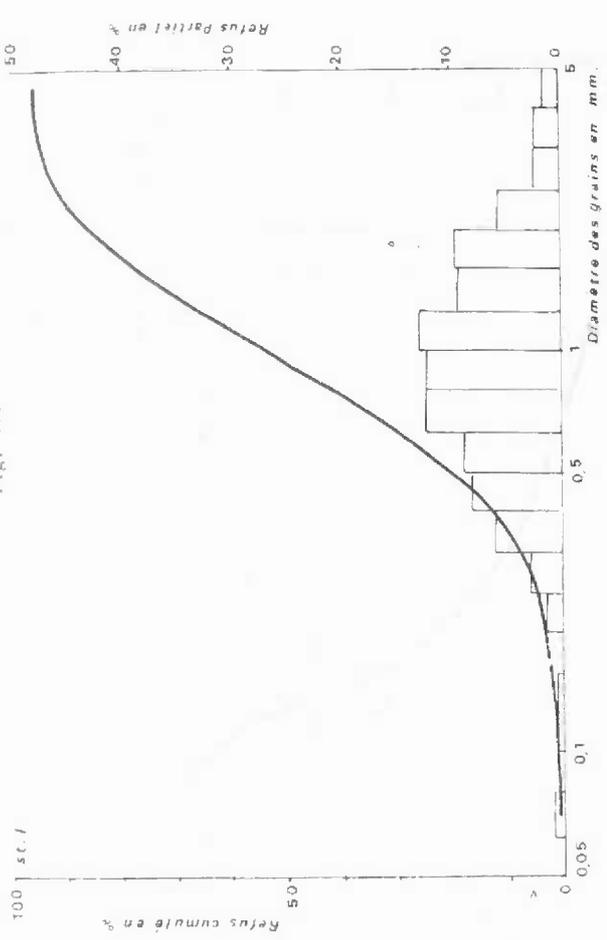


Fig. 192

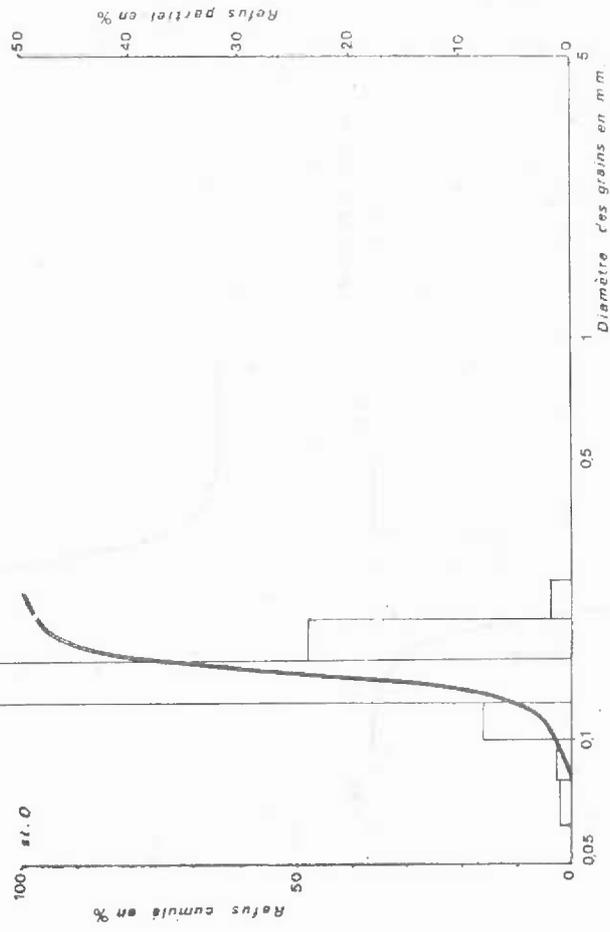
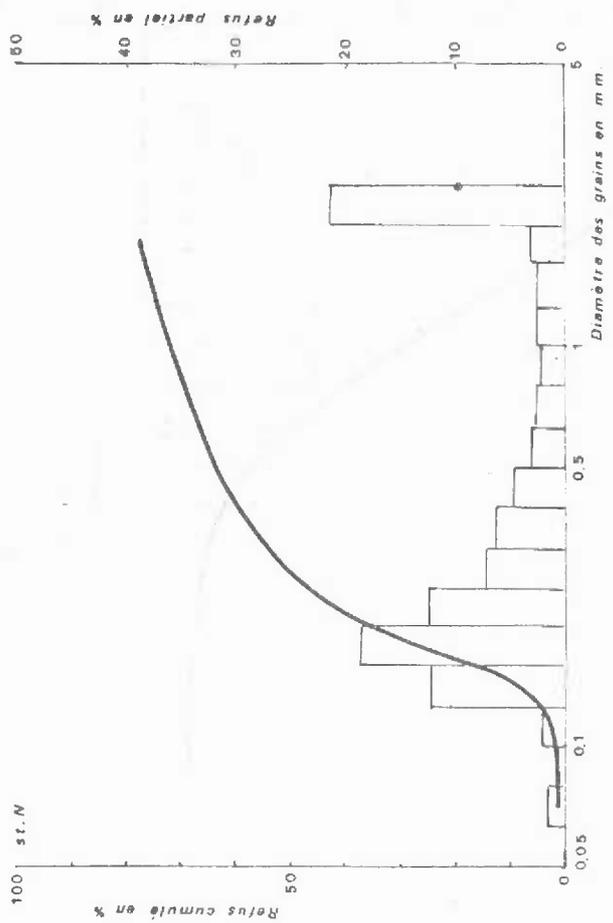
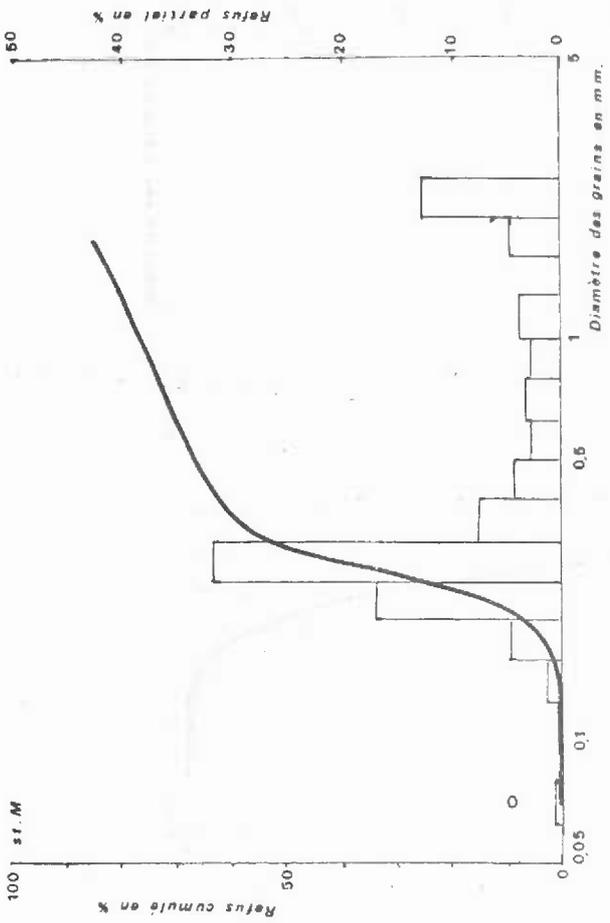


Fig. 191



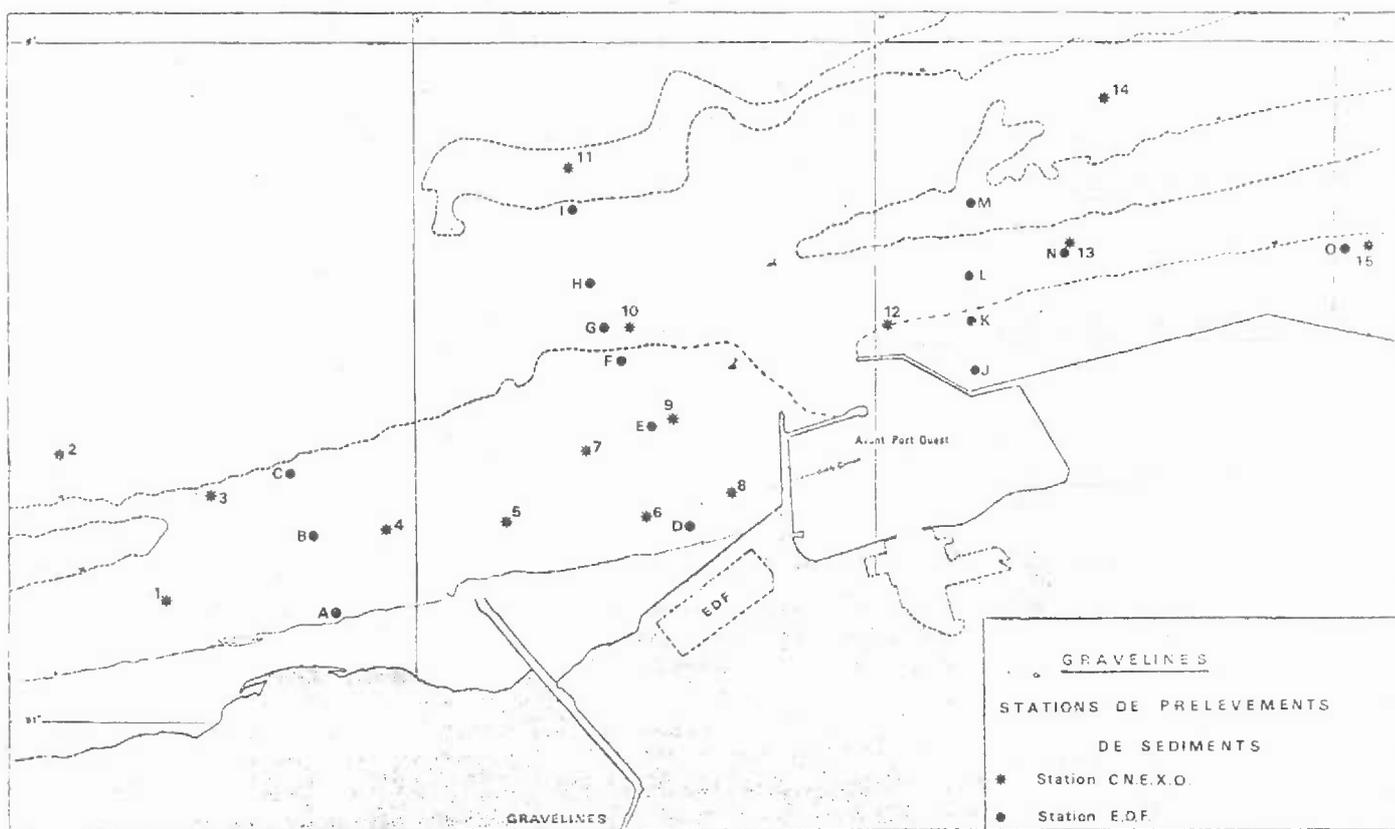


Fig. 193

classe modale n'a pas changée.

Le classement du sédiment prélevé à la station 9 n'a pas changé, mais le mode s'est déplacé vers les éléments plus gros, peut être à cause des courants qui doivent se faire sentir à cet endroit (le courant circulaire à l'abri de la digue doit y rencontrer les courants de marée parallèles à la côte (fig. 5).

A la station 10 le sédiment n'a pas changé : le fait d'être situé dans la passe de l'Ouest où existent de forts courants a certainement fait qu'elle retrouve rapidement sa position d'équilibre.

A la station 13 le sédiment a été remanié. Par rapport à la station N la courbe cumulative est moins inclinée, le mode est mieux construit et il s'est installé dans des sédiments plus grossiers.

Le sédiment de la station 15 possède toujours le même classement, mais là aussi, la classe modale s'est déplacée vers les éléments plus gros.

4. Résultats qualitatifs

4.1 Analyse de la macrofaune

4.1.1 Peuplements

L'examen des cartes de répartition des populations (fig. 194 et 195) montre l'existence de deux ensembles :

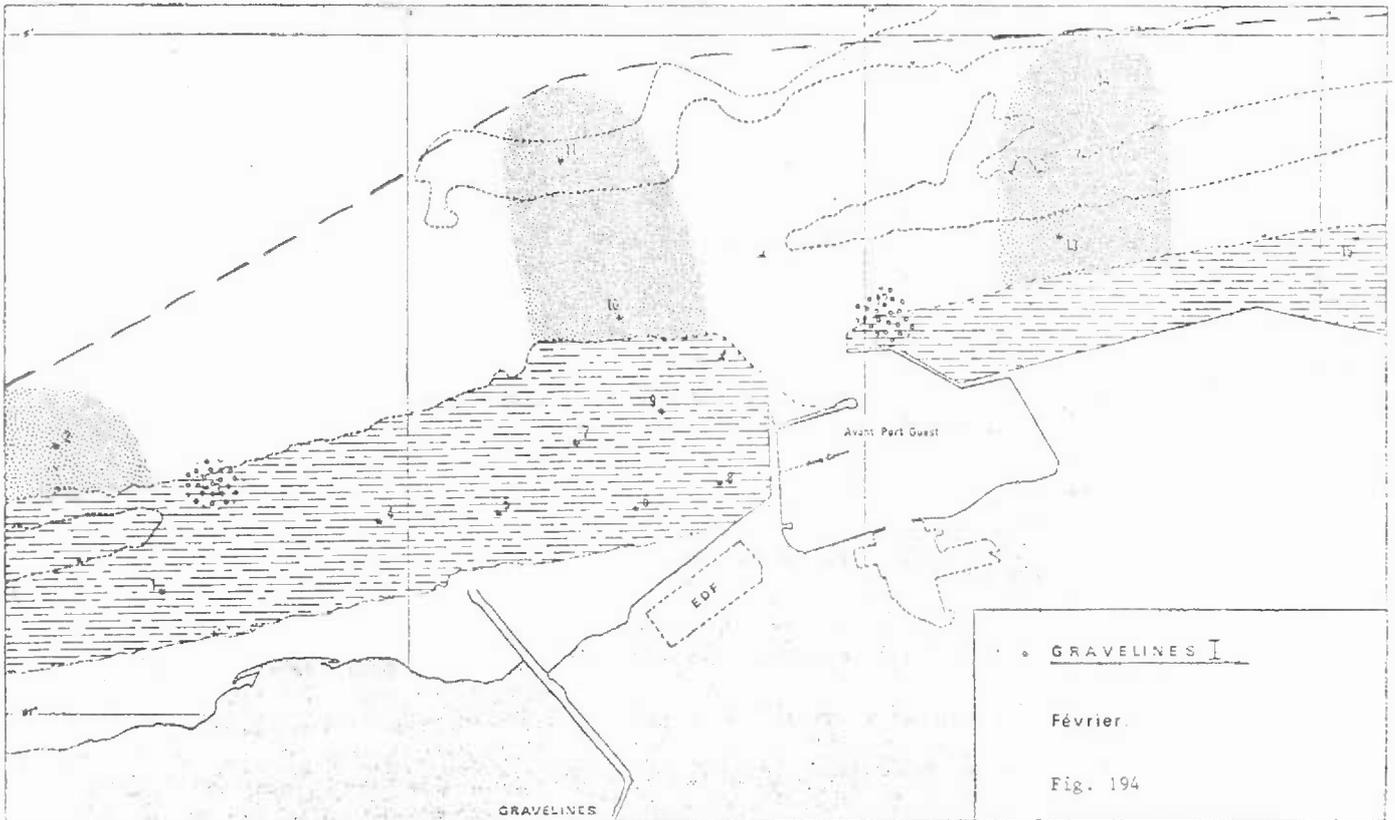
- la communauté des sables fins, plus ou moins envasés, à *Abra alba* (WOOD) occupait au cours des quatre premières campagnes la zone située au-dessus de l'isobathe - 10 m. Cette communauté correspond aux fonds à *Corbula gibba* et *Abra alba* de CABIOCH (1968), au "Boreal Offshore muddy sand association" de JONES (1950), aux aspects sablo-vaseux de la "E.c.-V.g. community" de FORD (1923) et à la "Abra Community" de PETERSEN (1918).

- la communauté à *Abra alba* est caractérisée par les espèces suivantes :

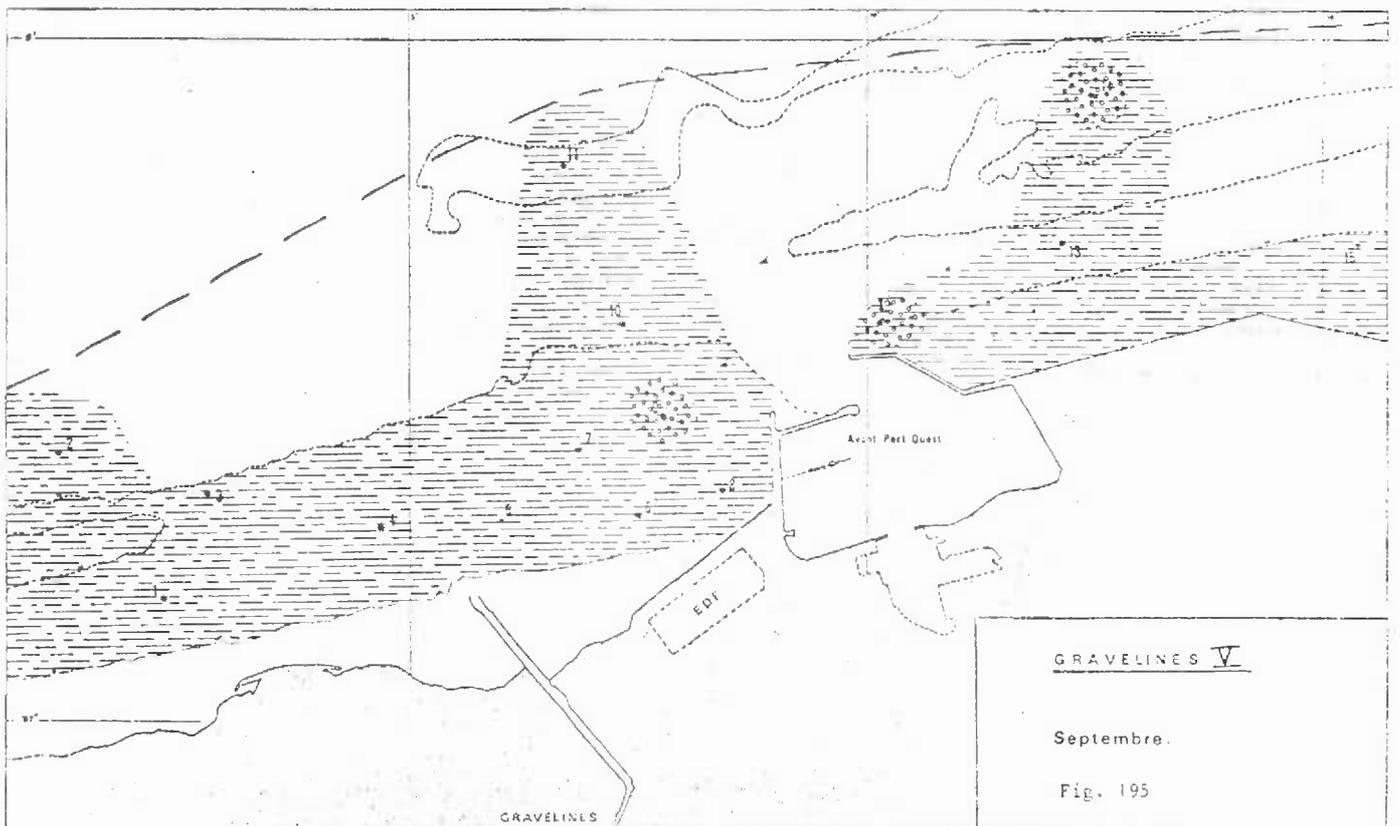
- . *Phyllodoce mucosa* OERSTED et *P. groenlandica* OERSTED,
- . *Nephtys hombergii* SAVIGNY,
- . *Notomastus latericeus* SARS,
- . *Lanice conchilega* (PALLAS),
- . *Spiophanes bombyx* (CLAPAREDE),
- . *Abra alba* (WOOD) et *Tellina fabula* GMELIN.

Au cours des deux dernières campagnes, les espèces caractéristiques de cette communauté ont été trouvées à toutes les stations. CABIOCH (1961) signalait l'instabilité de la communauté à *Abra alba* en raison de la courte durée de vie des individus et des variations dans sa composition quantitative.

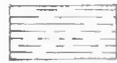
Le peuplement des sables moyens à fins, propres, à *Spisula ovalis* (SOWERBY) *S. elliptica* (BROWN) et *Ophelia borealis* (QUATREFAGES) pourrait n'être qu'une



Voir légende page suivante



CARTES DE REPARTITION DES PEUPELEMENTS BENTHIQUES.



Communauté à *Abra alba*.



Peuplement des sables moyens à fins propres.



Faune sessile.

étape vers la communauté à *Amphioxus lanceolatus* (PALLAS) qui existe au large du site (DEWARUMEZ et GREGOIRE, 1973). La communauté à *Amphioxus lanceolatus* est équivalente à la communauté à *Venus fasciata* de CABIOCH (1968) et au "Boreal Offshore gravel association" de JONES (1950).

Au cours des 4 premières campagnes, ce peuplement se retrouvait régulièrement au delà de l'isobathe - 10 m. Il semble qu'un enrichissement en vase se soit produit avant les deux dernières campagnes et que la communauté à *Abra alba* ait pu la supplanter en gagnant vers le large (comme elle est une communauté d'eaux peu profondes, il conviendra dans l'étude ultérieure, de s'attacher à surveiller ces communautés biocénétiques).

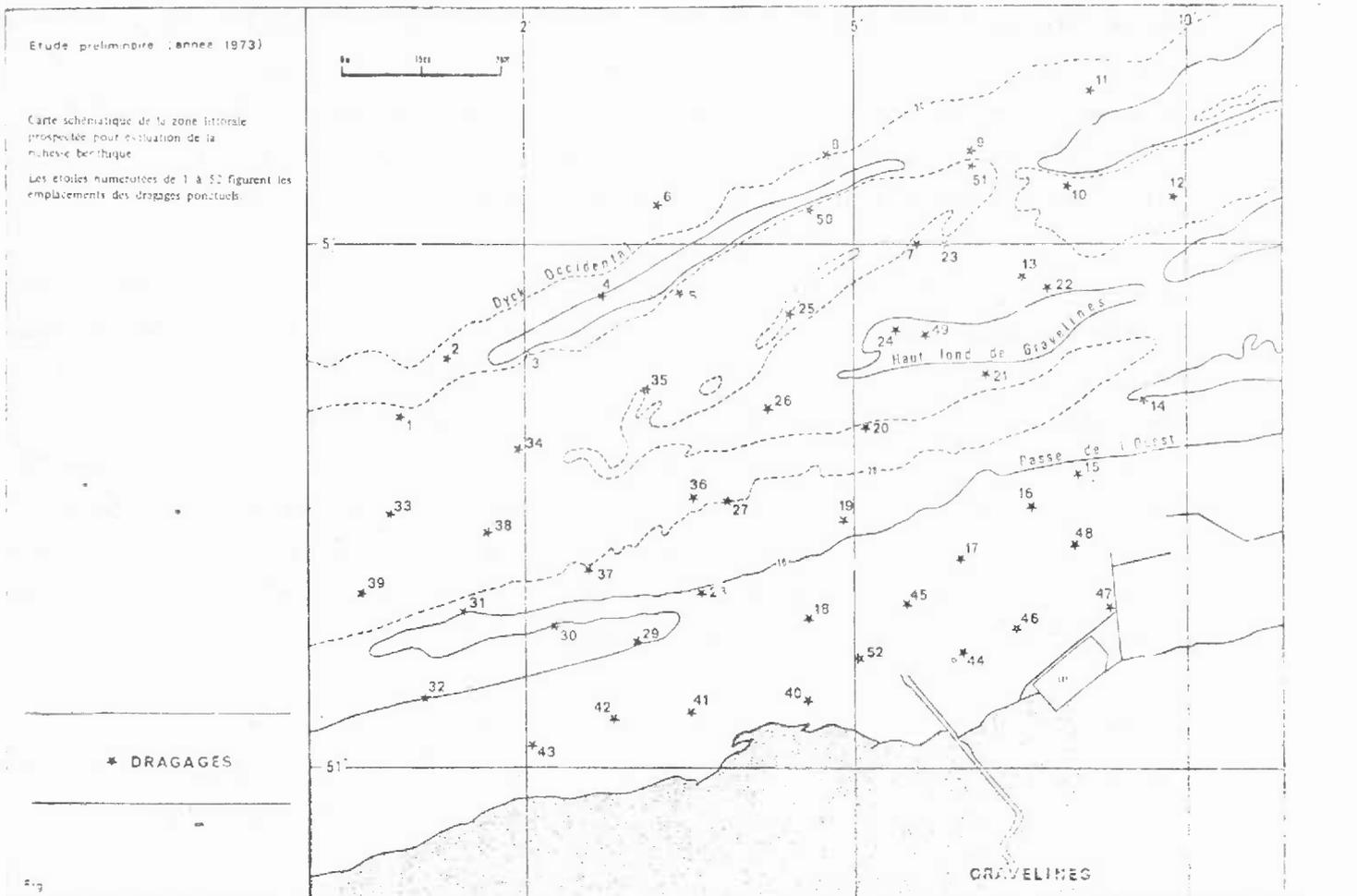
4.1.2 Résultats enregistrés à quelques stations

Parmi les 15 stations, il faut signaler certaines qui sont remarquables par les résultats qui y ont été enregistrés.

La station 2, située légèrement au-delà de l'isobathe - 10 à une faune correspondant tantôt à la communauté *Abra*, tantôt au peuplement des sables moyens à fins propres, tantôt à un ensemble des deux.

La station 3, située en deçà de l'isobathe - 10, présentait lors de la campagne de février, un aspect que l'on n'a jamais retrouvé au cours des autres campagnes. La faune sessile y était très importante en nombre et en biomasse (Sagartiidae : 12,85 g, cf. tableau 95, volume II). On notait la présence de galets à *Fenestella* (LINNE). Le sédiment était constitué par des galets, la fraction supérieure à 2 mm était très importante, le refus de tamis supérieur à 1 mm était de 19 litres. Ce résultat semble difficile à expliquer car, au cours de l'étude préliminaire, il n'avait pas été trouvé à cet endroit (station 28, fig. 196) un tel sédiment. Une erreur de positionnement (la sonde corrigée était de 24 m, cf. tableau 99, volume II) n'est pas à exclure.

Fig. 196



La station 9, bien que située bien en deçà de l'isobathe - 10, il n'a été trouvée à cet endroit qu'un seul *Abra alba* en 6 campagnes quoique les espèces accompagnatrices y soient trouvées par intermittance en même temps que des espèces d'épifaune sessile et vagile de substrats plus durs. Les variations observées à cet endroit sembleraient être dues à la proximité de la jetée Ouest et surtout de l'entrée du nouvel avant port. Les résultats quantitatifs obtenus à cette station ont toujours été faibles (cf. résultats quantitatifs).

La station 10 a un comportement similaire à la station 2.

La station 12 se situe à la limite de l'isobathe - 10. La présence d'une épave, la proximité de la jetée (en cours de construction dans le nouvel avant port Ouest de DUNKERQUE) nous ont obligé à déplacer cette station. Les résultats qui y ont été enregistrés mettent en évidence un sable fin vaseux contenant les espèces caractéristiques de la communauté à *Abra alba*, des individus du peuplement des sables moyens à fins, propres (plus rares) et de l'épifaune sessile et vagile de fonds rocheux. On peut supposer que cette station appartient bien à la communauté à *Abra alba* et que l'épifaune sessile et vagile des fonds rocheux se situe sur des apports de blocs rocheux destinés à la construction de la digue.

La station 15, lors de la campagne de septembre, la drague a remonté 30 l d'une vase molle noire dans laquelle on a trouvé près de 4000 *Abra alba* (cf. tableau 88). La richesse de ce prélèvement (4361 individus pour 25 espèces et une biomasse de 24,3 g : tableaux 88 et 94) nous ont décidé à chercher à connaître l'extension de ce type de sédiment. Nous avons procédé, lors de la campagne de décembre, à trois prélèvements dans cette zone. A l'emplacement de la station 15 la drague a remonté un sable fin légèrement vaseux. La drague a ensuite été replongée deux fois à 1/10 d'hyperbole (\approx 200 m) de part et d'autre de ce point. A chaque fois, la drague a remonté le même type de sédiment.

La vue des résultats globaux (variation du nombre d'espèces) et du résultat observé lors du prélèvement à la station 15 semblent prouver l'existence au sein de la communauté à *Abra* de lentilles où la richesse est plus importante. Cette existence avait été sous entendue lors de l'étude préliminaire à cause de la richesse très importante du point 45 (fig. 196). Cette richesse avait été imputée aux rejets de l'Aa du fait de la position de ce point (face au chenal de Port Fort Philippe). Il semble maintenant que l'influence de l'Aa (enrichis-

sement en vase) se fasse sentir non seulement autour du chenal mais assez loin de part et d'autre de son embouchure. Les dragages dans l'avant port apportent également de la vase. L'étude des documents prêtés par le Port Autonome de DUNKERQUE (EDF, études et recherches : Avant port Ouest de DUNKERQUE, 1971) sur l'étude de la dynamique des tâches (fig. 198) nous montre les mouvements d'étalement des tâches de sédiments.

Aux cinq points d'immersion de sédiment marqué (fig. 197) l'étalement des dépôts a lieu suivant un axe préférentiel WSW-ENE donc parallèle à la côte (ce qui vérifie l'ellipse des courants fig. 5) avec une dispersion latérale très faible.

L'étalement est très important dès les premiers jours de l'immersion et plus important vers l'Est que vers l'Ouest (fig. 198).

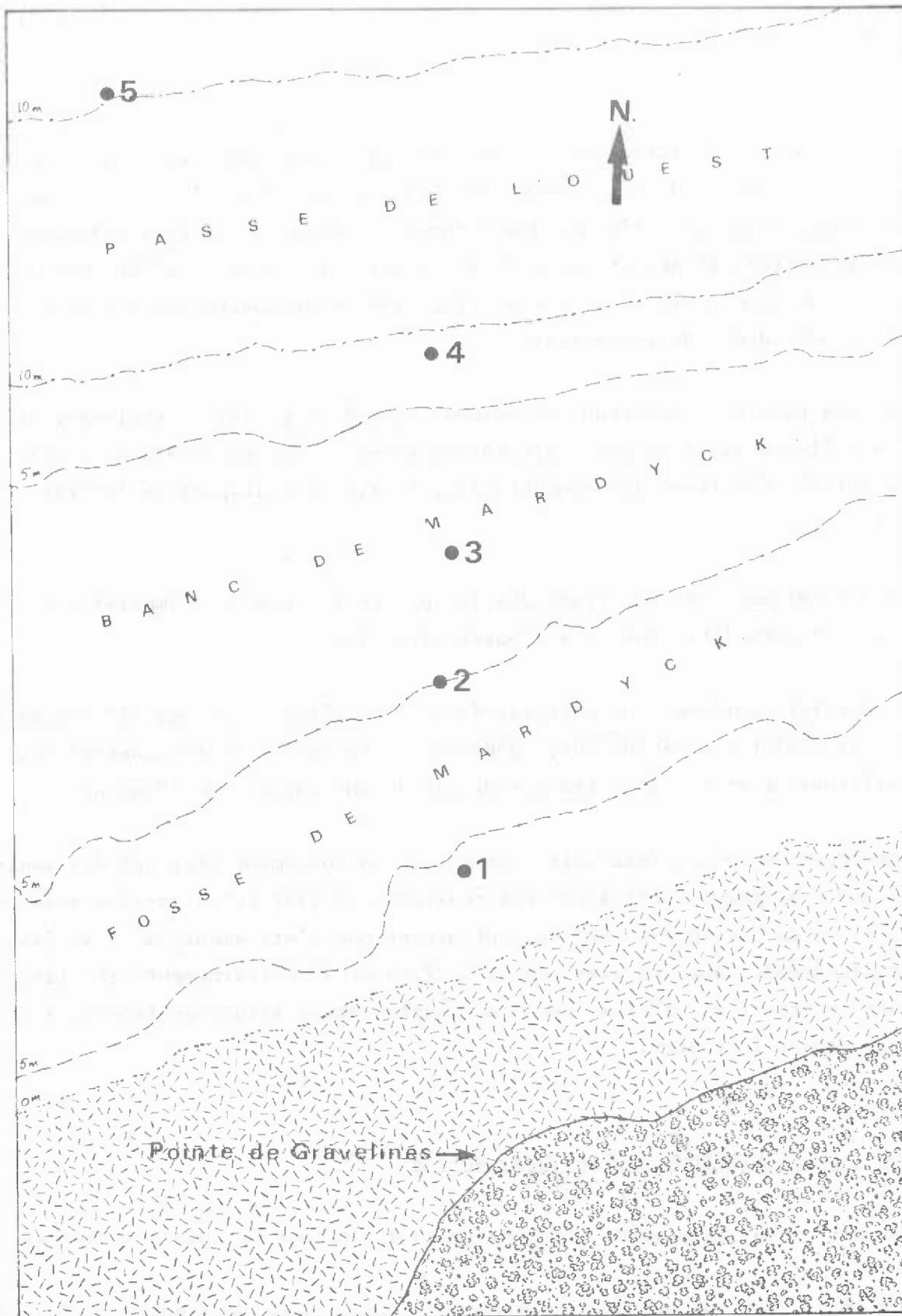
Ce résultat confirme ceux enregistrés sur les côtes belges et allemandes (JEAGER, 1971 et STRIDE and CARTWRIGHT, 1958) qui déduisent de leurs observations que 4 millions de m³ de sable traversent par an une largeur de 40 miles.

L'observation de ces résultats montre donc un mouvement très net des sédiments. Quoique ces études (EDF) aient été réalisées en 1967 (c'est-à-dire avant l'installation de la digue Ouest) on peut penser que l'étalement, s'il se fait de façon différente pour les stations 5, 6, 7, 8 et 9 (certainement circulaire) demeure important et qu'ainsi les fonds sablo-vaseux situés en face du site sont relativement instables.

4.1.3 Etude auto écologique de quelques espèces

Nous aborderons maintenant une étude auto écologique de quelques espèces.

En premier lieu, nous nous intéresserons à *Abra alba*. Dans notre région, elle serait plutôt littorale. MUUS (1973) la trouve à des profondeurs plus importantes dans l'Øresund. C'est une espèce vasicole tolérante (PICARD in GUILLE, 1971). GLEMAREC (in GUILLE, 1971) estime qu'elle est "assez indifférente au triage granulométrique à la seule condition que le sédiment soit un tant soit peu envasé". Il a effectivement été trouvé des *Abra alba* dans des sables fins envasés, dans de la vase pure et dans du sédiment hétérogène envasé. Lors de dragages effectués dans une zone voisine, il a été récolté des *Abra alba* dans

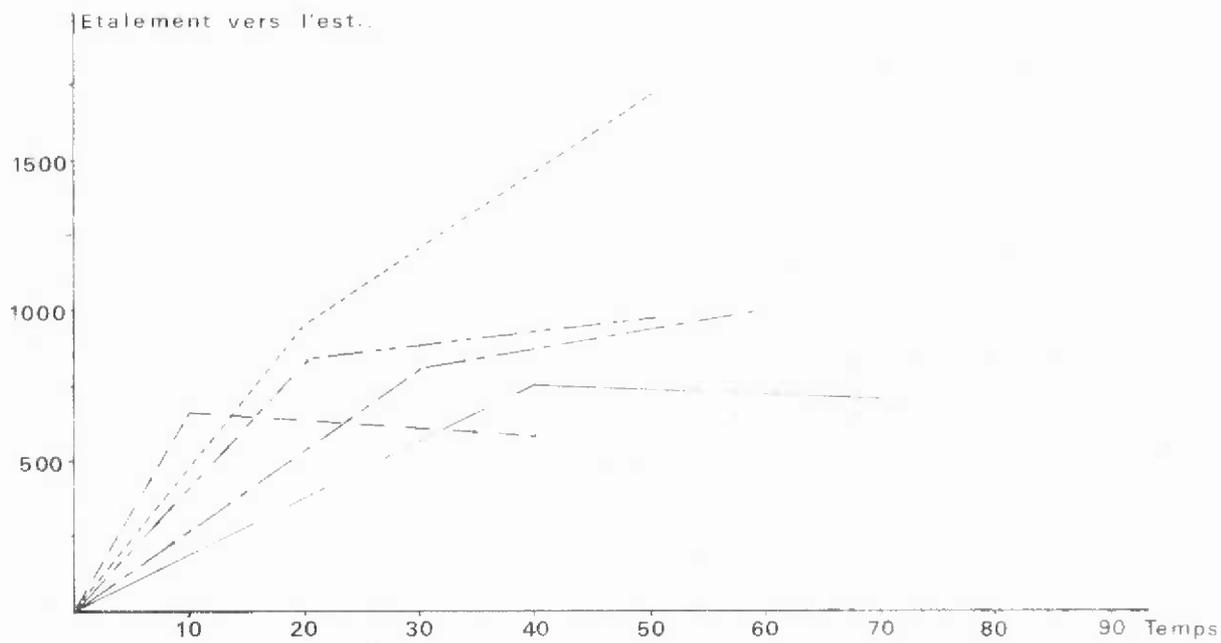


Echelle: 1/20 000.

Fig. 197

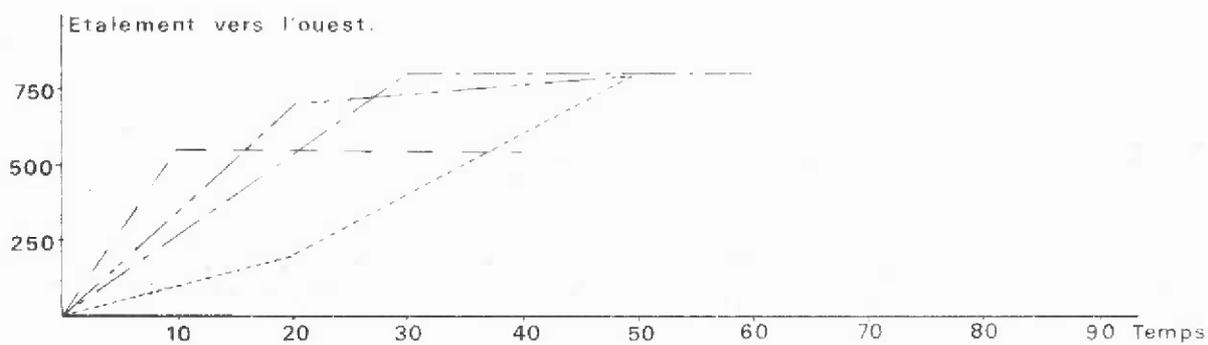
SITUATION DES POINTS D'IMMERSION.

(D'après E D F. Etude Av^t. Pt. Ouest de DUNKERQUE 1971)



250 m.
10 jours.

- 5
- 4
- 3
- 2
- 1



ETALEMENT DES TRACEURS RADIOACTIFS :

COURBES 50 COUPS.

(D'après E.D.F.: Etude Av^t. P^t. Ouest de DUNKERQUE 1971.)

un sédiment grossier (fraction supérieure à 2 mm très importante, très nombreux galets supérieurs à 2 cm) mais envasé (SMIEGELSKI : communication personnelle ; contrat ADRINORD, Institut de Biologie de WIMEREUX, à paraître). Son principal intérêt est qu'elle entre dans la chaîne alimentaire par les poissons plats. Les jeunes individus d'*Abra alba* constituent en effet la nourriture essentielle des filets (*Platichthys flesus* : LINNE) (RICHARD : communication personnelle).

Une autre espèce importante est *Nephtys hombergii*. GUILLE (1971) signalait que *Nephtys hombergii* était présente de la côte au large, mais plus abondante dans le sable vaseux. Dans le cadre de notre étude, elle a été trouvée beaucoup plus rarement aux stations du "large" (10, 11 et 14) qu'aux stations "côtières", peut être est-ce dû à la différence d'envasement.

Phyllodoce mucosa semble être une espèce plus tolérante et a été récoltée plusieurs fois à chaque station, accompagnée parfois de *P. groenlandica*.

Tellina fabula semble également apprécier les sédiments envasés. Il est à signaler que lors de l'étude des formes juvéniles, il n'a pas été trouvé de jeunes *T. fabula* mais exclusivement des *T. tenuis*. La différenciation spécifique (stries obliques sur la valve droite de *T. fabula*) existe déjà chez des individus de petite taille : nous l'avons observée. Les formes juvéniles de *T. tenuis* se fixeraient en zone profonde avant de gagner la zone intertidale (étage infralittoral) où s'observent les individus adultes.

4.2 Analyse des formes juvéniles et des petites espèces (tableaux 117 à 122, volume II)

Cette étude n'a pas apporté les résultats escomptés. De nombreux prélèvements n'ont recélé aucune forme juvénile.

Le groupe le plus souvent représenté est celui des Nématodes.

Le nombre important d'individus récoltés lors des deux dernières campagnes est dû à l'utilisation des tables de tri. Des individus pouvant passer activement au travers des mailles de 1 mm nous avons ainsi retrouvé des espèces bien représentées dans le tamis moyen (ex. : *Spio filicornis* QF MULLER).

La présence abondante de *Tellina tenuis* DA COSTA lors de ces analyses, alors que *T. fabula* est mieux représentée en benthos profond, montre que le milieu profond peut être une étape entre la vie planctonique et la vie benthique intertidale.

5. Résultats quantitatifs

Il faut signaler que les prélèvements ont tous été effectués à la drague et que l'analyse est hasardeuse. On peut cependant supposer que la drague travaille de la même façon dans des sédiments de même nature. Les échantillons de sédiments sont suffisamment semblables (fig. 183) pour qu'une approche quantitative puisse être réalisée. Un autre ennui étant la possibilité pour l'épifaune vagile de se sauver ou d'être refoulée (crevettes, lançons) et pour l'endofaune de s'enfoncer (couteaux, oursins).

La répartition des stations (prévues en réalité pour des études de pélagos et d'hydrologie) nous a conduit à des extrapolations qui sont évidemment sujettes à caution. L'extrapolation n'a pas été poussée au point d'établir une continuité entre des stations distantes de plus de 6 km (2 et 11 ; 11 et 14). Il est difficile de concevoir que la faune se répartisse régulièrement et qu'il existe une continuité entre deux stations éloignées mais dont les faunes ont une biomasse comparable, sans tenir compte des variations de niveau.

Force nous a été de nous inspirer de la technique des isoplèthes pour l'élaboration des cartes de répartition de la biomasse.

Malgré les réserves qui peuvent y être apportées, il ressort de l'observation des cartes de répartition de la biomasse (fig. 199 à 205) plusieurs résultats intéressants.

Observons d'abord les résultats campagne par campagne en dégagant les points principaux :

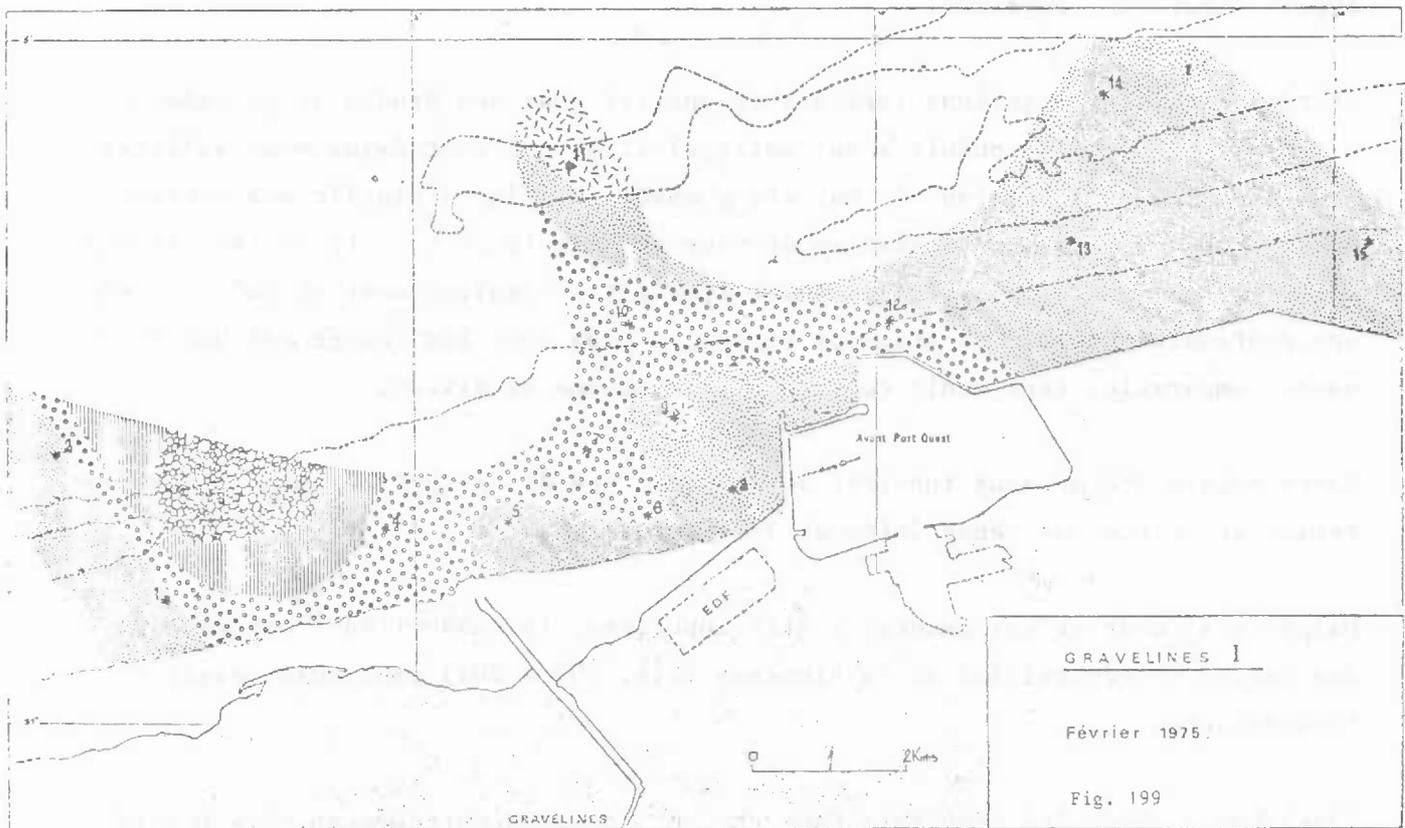
- Voyons les résultats de la campagne de février (carte 199). Le prélèvement à la station 3 a donné les résultats suivants : biomasse 19,5 g/30 l de sédi-

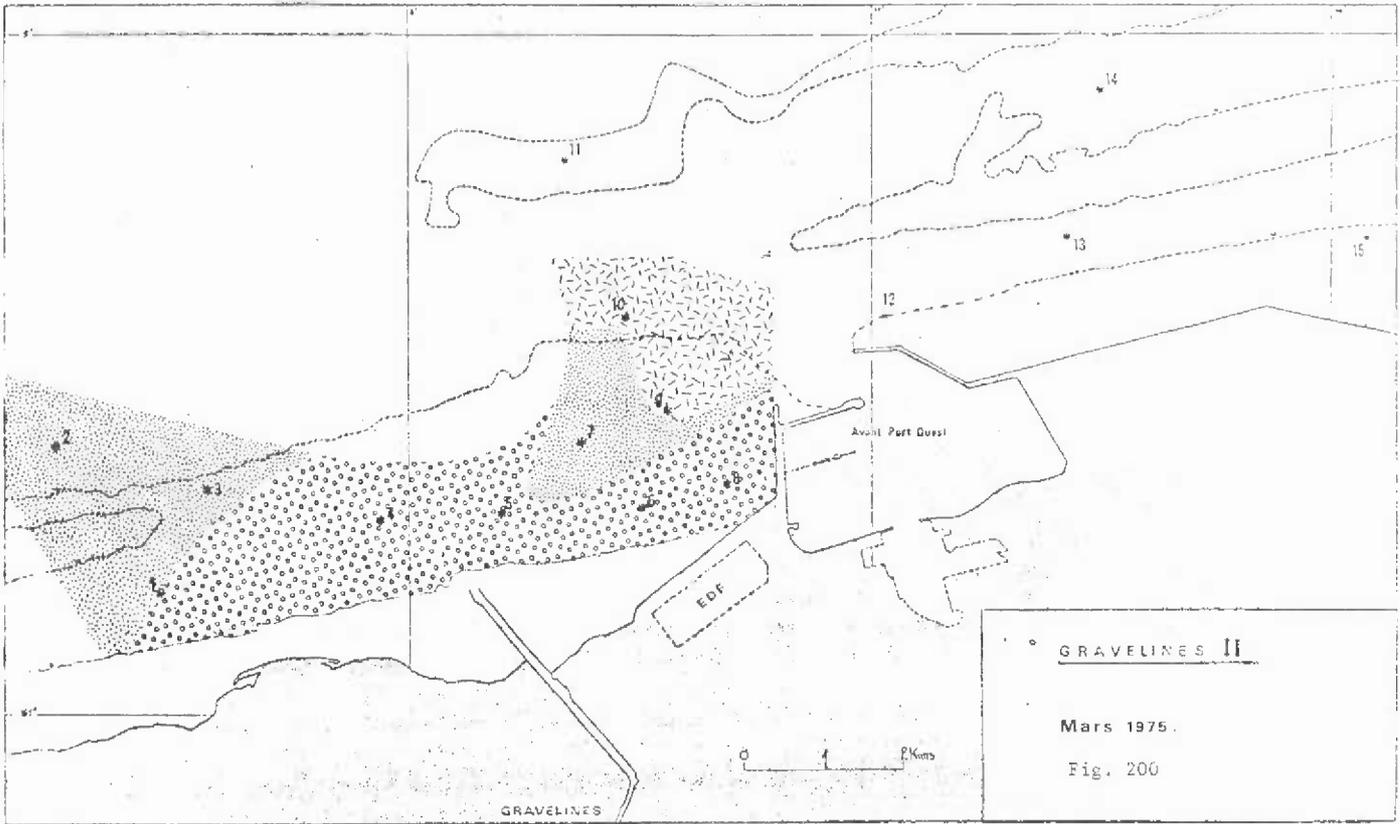
ment. La biomasse très importante est due à la présence des Sagartiidae (12,9 g et 66 % de la biomasse) et d'un buccin (5,2 g et 27,5 %) autrement dit près de 94 % de la biomasse est réalisée par 2 espèces (tableaux 95 et 103, volume II). Nous avons déjà parlé du problème posé par cette station. Trois dragages ont donné des résultats très faibles (St. 5 : 0,06 g ; St. 9 : 0,04 g ; St. 11, 0,02 g).

On verra que la station 9 s'est toujours signalée par sa faible biomasse.

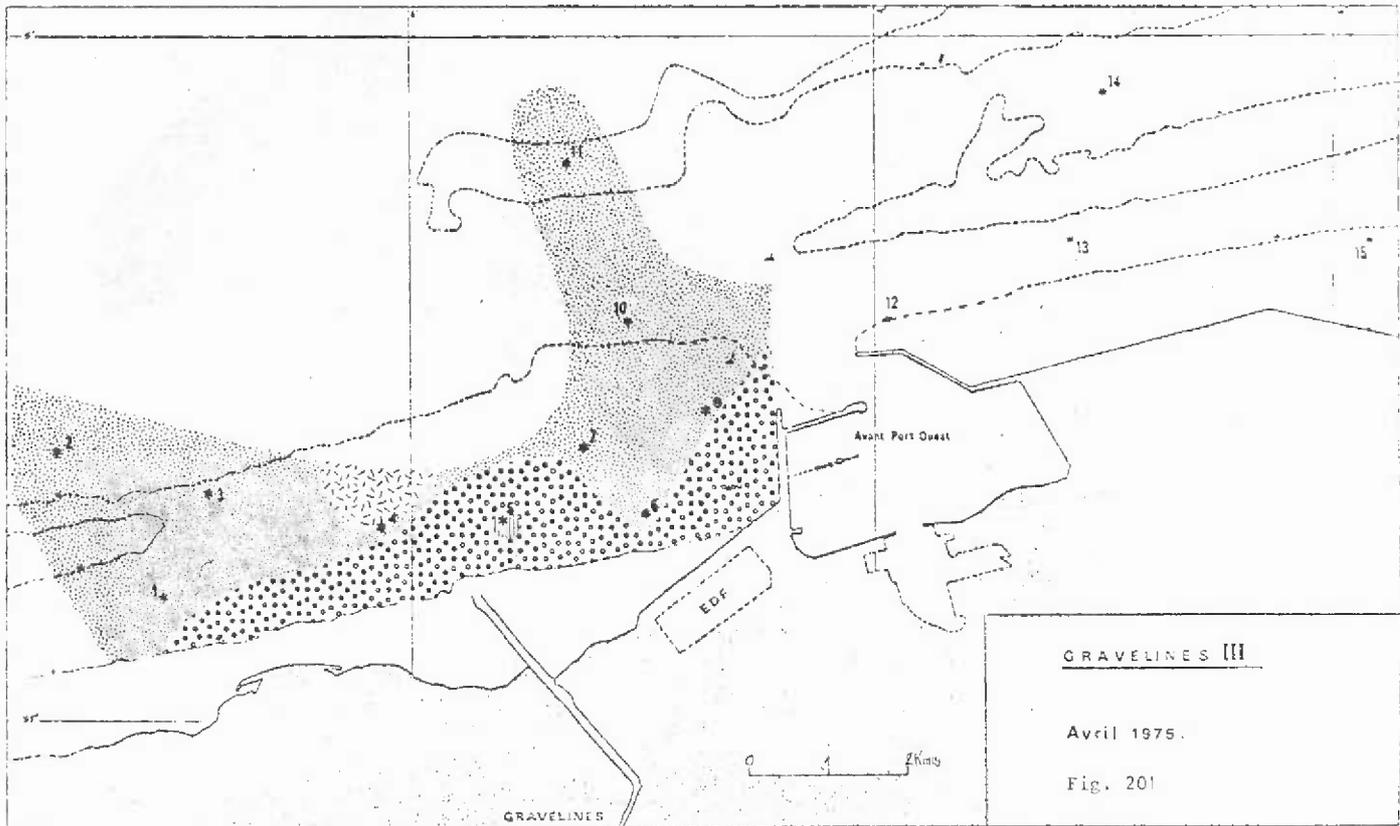
Une zone pauvre regroupe les stations 1, 2, 8, 13, 14 et 15.

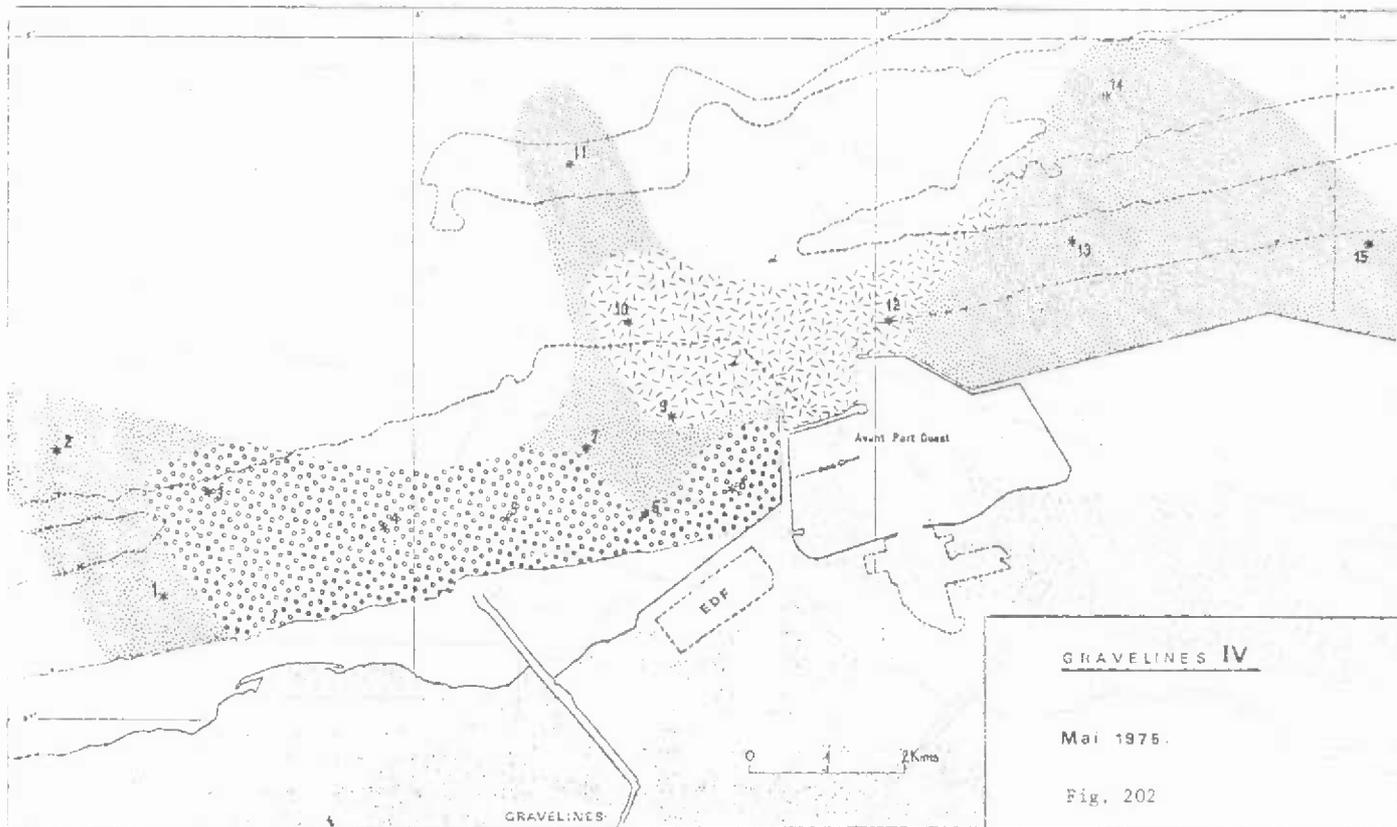
Une zone riche regroupe les stations 4, 6, 10 et 12.



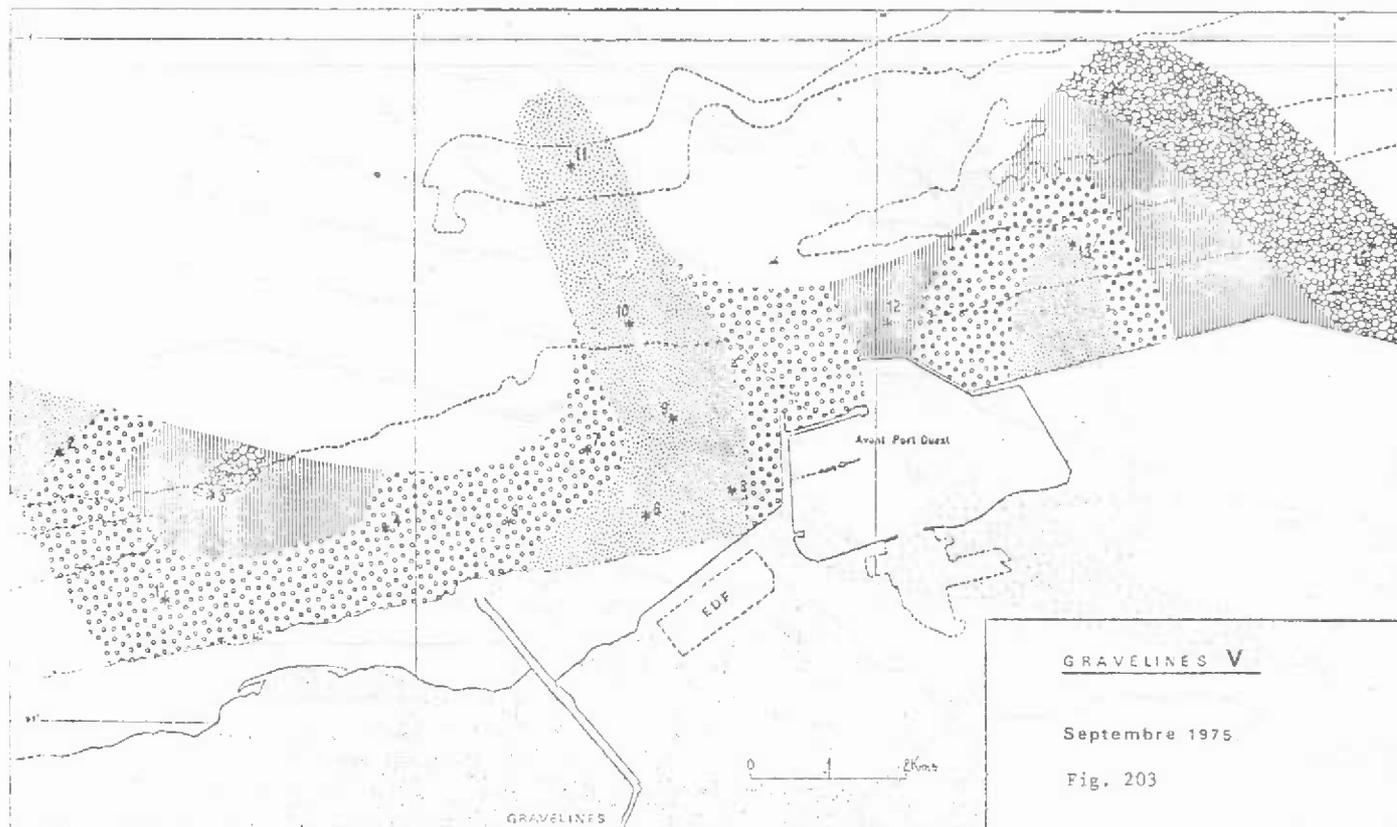


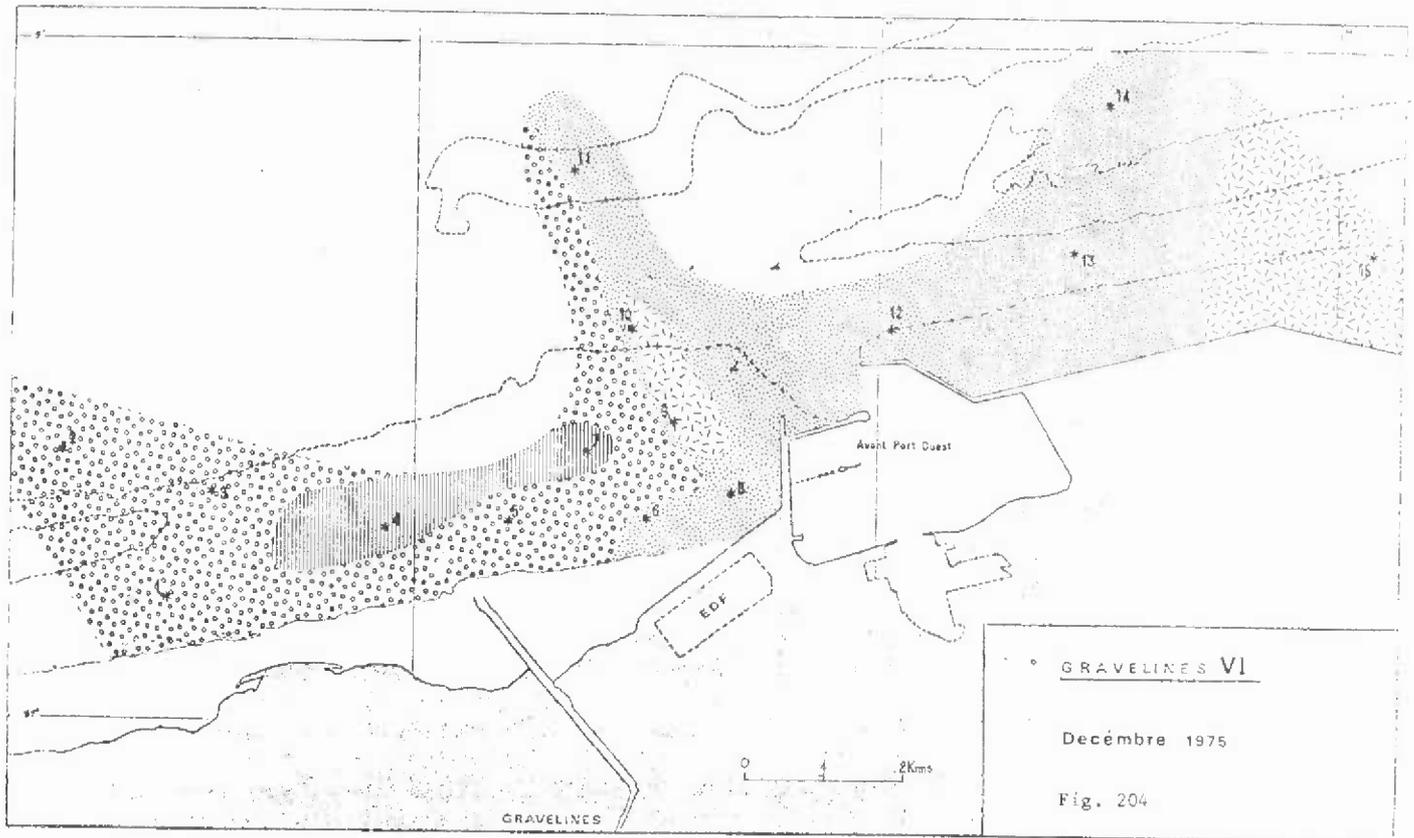
Voir légende page 272



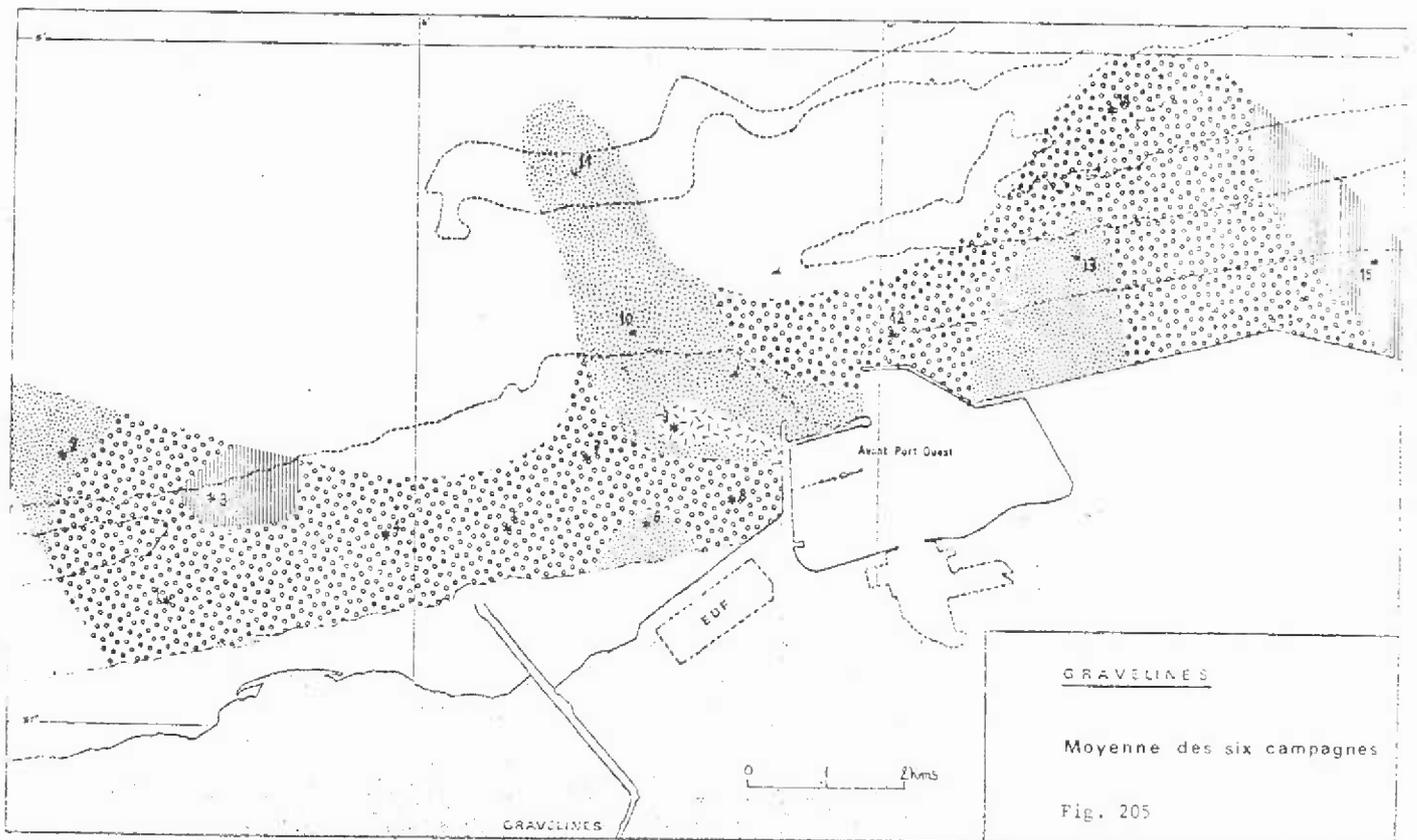


Voir légende page 272





Voir légende page 272



CARTES SCHEMATIQUES DE REPARTITION DE LA BIOMASSE
AU COURS DES DIFFERENTES CAMPAGNES.



ZONE TRÈS PAUVRE

Biomasse inférieure à 0,1g/30l de sédiment



ZONE PAUVRE

Biomasse comprise entre 0,1 et 1g/30l de sédiment



ZONE MOYENNEMENT RICHE

Biomasse comprise entre 1 et 5g/30l de sédiment



ZONE RICHE

Biomasse comprise entre 5 et 10g/30l de sédiment



ZONE TRÈS RICHE

Biomasse supérieure à 10g/30l de sédiment

- au cours de la campagne de mars (fig. 200) la station 3 a donné un résultat similaire à celui de la station 2 (0,14 g contre 0,29 g) (volume II, tableau

A la station 9 on a obtenu un résultat équivalent à celui enregistré en février (volume II, tableau 95).

- Lors de la campagne d'avril (fig. 201) : résultats similaires, avec une tache plus riche en 5 (présence d'*Abra alba*) (volume II, tableaux 96 et 102).

Le dragage à la station 9 a donné un résultat supérieur à celui de mars (0,11 g).

- En mai : peu de changement (fig. 202).

A la station 9 on obtenait une biomasse de 0,98 g (volume II, tableau 98).

- En septembre (fig. 203) le dragage à la station 3 donnait une biomasse de 11,6 g (volume II, tableau 99). Cette fois, pas de Sagartiidae en cause, mais *Abra alba*, *Nephtys hombergii* et *Ophiura texturata* (volume II, tableau 93) représentant près de 10 g à elles trois.

La station 14 semble être une station très riche, mais il faut signaler la présence d'un buccin qui représente 96,2 % de la biomasse totale, soit 9,8 g (volume II, tableaux 99 et 114).

Il est arrivé parfois au cours de cette étude qu'un individu de grande taille soit capturé dans un prélèvement pauvre masquant ainsi sa pauvreté.

La station 15 (volume II, tableaux 99 et 115) a une biomasse totale de 24,3 g dont 16,9 g d'*Abra alba* (soit près de 70 % de la biomasse totale). Cela prouve l'importance que cette espèce peut prendre dans des conditions optimales.

- Au cours de la campagne de décembre (fig. 204) à la station 9, on a encore obtenu une biomasse inférieure à 0,1 g (volume II, tableau 100).

A la station 15, le sédiment récolté était un sable fin légèrement vaseux. La biomasse était de 0,08 g.

- La carte des valeurs moyennes de biomasse enregistrées à chaque station au cours des six campagnes (fig. 205) et l'ensemble des observations quantitatives, permettent de faire apparaître certains éléments.

- il semble d'abord qu'en deçà de l'isobathe - 10 m la faune soit quantitativement plus abondante, si l'on excepte les stations 6 et 9. La pauvreté de

ces stations peut être expliquée. Pour la station 9, la raison peut être sa position à l'entrée de l'avant port. En ce qui concerne la station 6, très proche de la zone gagnée sur l'estran destinée à la centrale, il semble que les bouleversements résultant de cet aménagement (rejets d'eau de dragues suceuses, implantation de palplanches, etc.) soient la cause directe de la pauvreté biologique interdisant momentanément toute implantation de formes benthiques.

- Au delà de l'isobathe - 10 m les stations 10 et 11 en bordure du chenal ont subi l'influence des nombreux dragages effectués pour le creusement et l'entretien du chenal.

La station 11 n'est pas placée, comme l'indique la carte, sur le haut fond de GRAVELINES, car la sonde corrigée de ce point, n'a jamais été inférieure à 14 m (volume II, tableaux 84 à 88).

On peut supposer que, du fait des travaux dans le chenal, le haut fond s'est déplacé vers le large.

Il semblerait que les travaux de dragages du chenal ayant cessé, on tende maintenant vers une situation d'équilibre avec un peuplement qui s'installe progressivement.

6. Discussion des résultats

6.1 Importance relative des différents groupes zoologiques

Si l'on observe maintenant l'importance relative des différents groupes sur les figures 206 et 207, on s'aperçoit que les deux groupes les plus importants sont les Mollusques et les Annélides Polychètes.

Si au point de vue biomasse, les résultats sont constants (fig. 206) en ce qui concerne ces deux groupes, la figure 207 met en évidence la "poussée" des *Abra alba* en septembre et en décembre. On verra plus loin que si la "poussée" ne se fait pas sentir au niveau de la biomasse, c'est parce que la majorité des *Abra alba* récoltées étaient de jeunes individus.

Fig. 207

20%

1 2 3 4 5 6



Coelentérés



Polychètes



Mollusques



Crustacés



Echinodermes

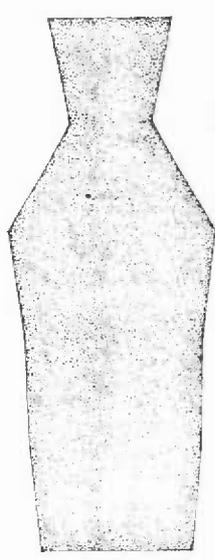
Fig. 206

20%

1 2 3 4 5 6



Coelentérés



Polychètes



Mollusques



Crustacés



Echinodermes

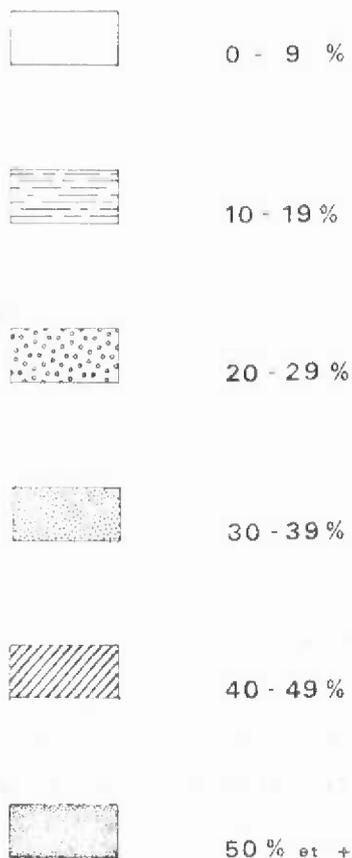
IMPORTANCE RELATIVE DES DIFFERENTS GROUPES ZOOLOGIQUES
 AU COURS DES 6 CAMPAGNES.
 (en % de la biomasse)

IMPORTANCE RELATIVE DES DIFFERENTS GROUPES ZOOLOGIQUES
 AU COURS DES 6 CAMPAGNES.
 (en % du nombre d'individus)

Fig. 208



IMPORTANCE PONDERALE RELATIVE
DES DIFFERENTS GROUPES ZOOLOGIQUES.



Les Coelentérés sont assez faiblement représentés, sauf en février (à cause de la station 3) tant au point de vue nombre d'espèces, qu'au point de vue de la biomasse.

Les Crustacés et les Echinodermes sont faiblement représentés, mais de façon constante, parfois la présence d'un gros crabe ou d'une grosse Ophiure, fait augmenter la biomasse.

L'importance des Annélides et des Mollusques est également mise en évidence par les figures 208 et 209. Ces figures mettent aussi en valeur l'importance d'*Abra alba* au point de vue quantitatif. D'autres groupes ou espèces voient leur importance révélée (Phyllodocidae, Nephthyidae et *Notomastus latericeus*).

6.2 Coefficients de similitude

L'affinité entre deux prélèvements peut être mise en évidence par l'établissement des matrices carrées des coefficients de similitude de SOERENSEN (1948). Ces matrices sont établies grâce à un indice tenant compte de la présence ou de l'absence des espèces :

$$S_{pq} = \frac{2 N_{pq}}{N_{pp} + N_{qq}}$$

- où :
- N_{pq} est le nombre d'espèces présentes à la fois dans les prélèvements p et q,
 - N_{pp} est le nombre d'espèces présentes dans le prélèvement p,
 - N_{qq} est le nombre d'espèces présentes dans le prélèvement q.

Les valeurs indiquées sur les figures expriment des pourcentages.

Comme GUILLE (1970), nous avons choisi comme valeur pour laquelle deux prélèvements peuvent être considérés comme similaires, la valeur de 50 %. On peut estimer qu'à partir d'un coefficient égal à 40 % entre deux prélèvements, ceux-ci se ressemblent suffisamment pour être assimilés à deux échantillons d'un même ensemble.

BOUDOURESQUE (1970) a choisi des valeurs supérieures (70 %) pour son étude sur les peuplements benthiques sciaphiles.

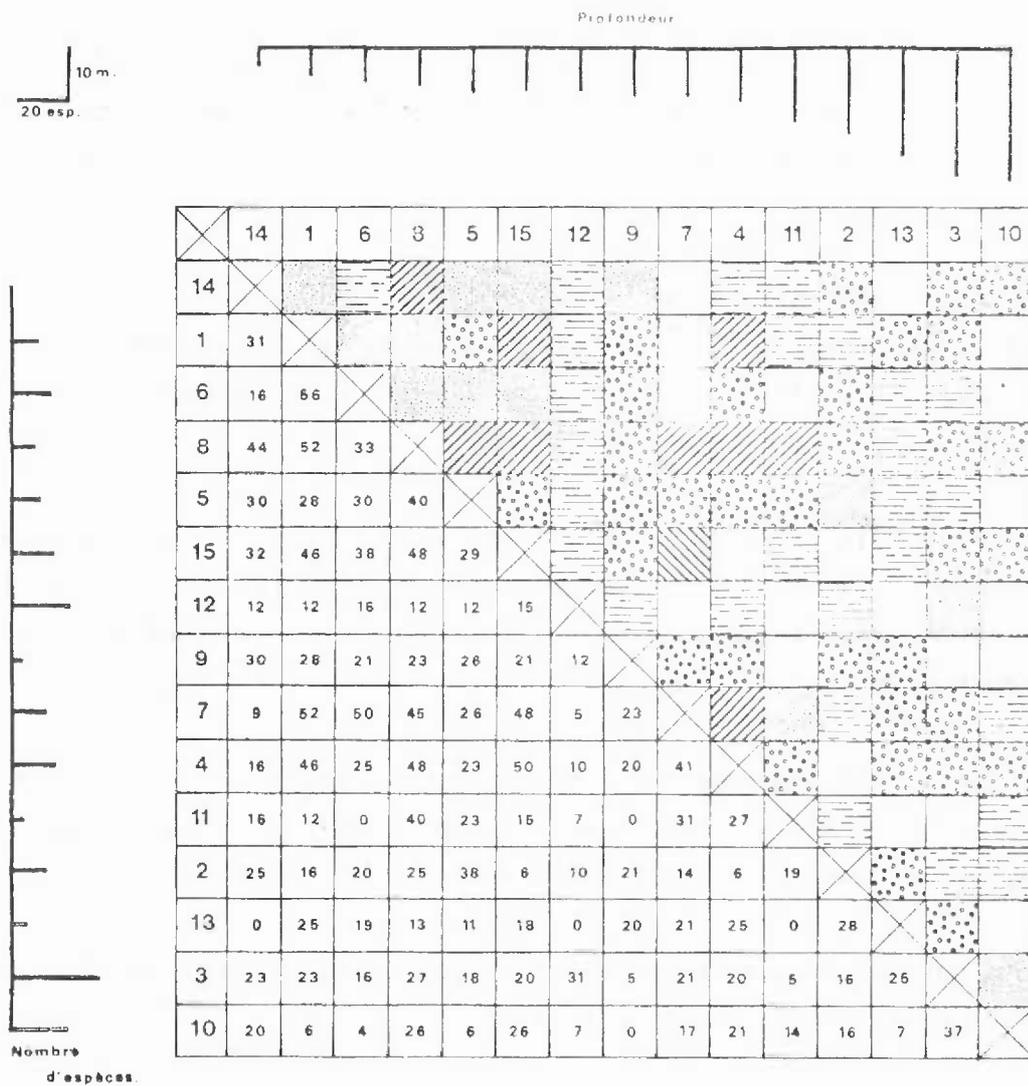
Une matrice carrée a été établie pour chaque campagne. La moyenne des valeurs obtenues pour chaque couple de stations a permis d'élaborer une matrice moyenne.

L'étude de la figure 210 (campagne de février) nous montre l'originalité d'un certain nombre de stations :

- stations 2, 10, 11, 13 et 14 : toutes situées au deçà de l'isobathe - 10,
- station 5 : située en deçà de l'isobathe - 10 m,
- et les stations 3, 9 et 12.

Les stations 10, 11 et 13 se trouvent dans le chenal ou à proximité.

Fig. 210



FEVRIER.

En ce qui concerne les stations 3, 9 et 12 nous avons déjà insisté sur leur originalité au cours de cette campagne et des autres (cf. chapîtres précédents).

Quand aux autres stations, si elles n'ont pas une similitude parfaite, au moins, ne sont elles pas très différentes.

- En ce qui concerne la campagne de mars (211) la matrice carrée met en évidence l'homogénéité des stations 3 et 8 et l'originalité des stations 2, 9 et 10.

- La campagne d'avril a donné des résultats différents (fig. 212) : il semble qu'au cours de cette campagne, il n'y ait eu que très peu de similitude entre les différents prélèvements. On peut quand même noter une continuité dans les résultats : ce sont les très faibles valeurs calculées pour la station 9. On enregistre un résultat équivalent pour la station 11.
- En mai, les résultats font apparaître une homogénéisation du milieu (fig. 213). Les résultats sont comparables à ceux enregistrés en mars. Les résultats enregistrés aux stations 2, 10, 11, 13 et 14 permettent de mettre en évidence la discrimination opérée par l'isobathe - 10 m.
- En septembre (fig. 214) près de la moitié des coefficients calculés sont supérieurs à 40 % et les 3/4 à 30 %. Les résultats enregistrés aux différentes stations sont donc relativement homogènes ; mais on peut quand même isoler 4 stations moins similaires aux autres : les stations 8, 9, 10 et 13.
- En décembre (fig. 215) deux stations ont donné des résultats très faibles ou quasiment nuls. Les stations n'ayant aucun point commun avec les autres, pas plus qu'entre elles, sont les stations 10 et 11.
- Les résultats obtenus sont moins probants qu'en septembre, mais du même ordre : une similitude existe encore entre les stations côtières.
- La moyenne annuelle (fig. 216) atténue la disparité des résultats mais respecte l'idée générale. Cette figure montre bien la particularité des stations 9, 10, 11, 13 et 14 non similaires aux autres et l'homogénéité des stations côtières (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12 et 15).

6.3 Indices de diversité

Pour mettre en évidence la diversité des différents échantillons, il a été choisi l'indice de SHANNON-WEAVER (1948).

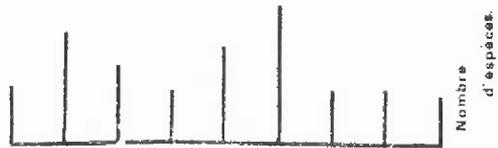
MARGALEF (1974) estime que c'est cette expression qui offre le plus d'avantages.

Profondeur



9	9	4	6	7	5	8	3	10	2
4	37	66	45	40	54	64	50	45	61
6	38	66	45	40	54	64	50	45	61
7	47	45	40	54	64	50	45	61	32
5	34	51	54	64	50	45	61	32	19
8	31	76	50	45	61	32	19	50	50
3	66	57	48	50	55	32	19	50	21
10	47	19	24	40	35	19	26	21	31
2	40	40	16	42	29	26	21	31	31

MARS.

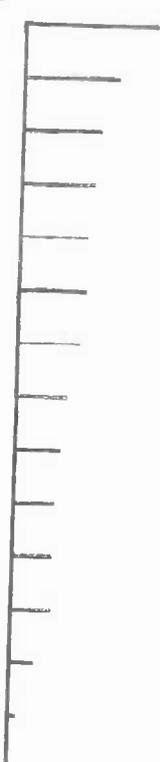


AVRIL.

1	1	9	4	6	7	5	8	3	11	2
9	16	44	18	25	28	34	37	34	62	61
4	26	44	18	25	28	34	37	34	62	61
6	0	25	18	25	28	34	37	34	62	61
7	22	0	13	28	34	37	34	62	61	18
5	7	8	16	34	37	34	62	61	18	13
8	17	0	10	31	34	62	61	18	13	13
3	27	0	22	22	36	38	61	18	13	13
11	22	16	0	0	0	7	17	18	13	13
2	53	22	33	0	40	16	10	31	13	13

Fig. 213

Profondeur.



6	8	13	15	4	5	1	12	9	3	7	2	10	14	11																																																																																					
6	8	13	15	4	5	1	12	9	3	7	2	10	14	11																																																																																					
6	73	53	42	22	17	13	4	31	26	22	63	5	28	22	26	48	50																																																																																		
1	47	50	33	18	41	32	1	12	31	25	22	55	50	56	34	9	42	33	28	35	38	29	39	51	3	21	22	9	51	79	51	27	48	22	7	41	36	27	48	73	52	45	52	36	56	2	48	40	40	58	68	58	40	57	16	60	60	10	4	38	42	10	35	20	40	22	28	25	33	42	14	27	22	12	38	48	44	35	40	38	47	47	51	25	11	37	32	29	29	36	40	27	36	47	41	47	52	41	28



Nombre d'espèces.

SEPTEMBRE

Fig. 214

Profondeur.



8	5	6	15	1	7	9	4	3	12	2	10	14	13	11																																																																																																							
8	5	6	15	1	7	9	4	3	12	2	10	14	13	11																																																																																																							
8	61	36	32	39	45	32	22	37	30	7	41	52	43	35	9	13	24	0	22	16	26	4	57	61	33	29	21	51	15	3	66	56	29	45	32	42	17	61	12	20	25	28	11	33	40	40	23	34	2	28	35	0	16	11	28	62	16	41	37	10	14	12	30	11	36	14	0	16	18	22	0	14	42	30	42	14	18	21	0	18	12	10	42	6	14	42	30	42	13	23	10	21	26	23	30	28	19	21	28	28	26	31	11	35	36	21	17	11	30	0	32	28	28	9	0	21	0



Nombre d'espèces.

MAI.

Fig. 216

Profondeur



10 m.
10 esp.

8	6	4	5	9	15	7	12	14	3	13	10	2	11
8	43	1	36	36	4	41	35	36	5	48	36	27	27
9	23	23	25	27	25	9	31	36	31	28	35	31	7
15	31	36	31	28	35	31	7	39	42	39	42	23	43
12	24	30	26	29	30	30	32	12	24	30	26	29	30
14	29	17	25	21	26	32	29	21	28	14	29	17	25
3	39	29	34	47	44	23	40	41	34	25	3	39	29
13	22	31	25	23	19	18	17	23	21	17	20	13	11
10	19	22	20	20	16	15	9	20	13	11	26	12	10
2	24	16	29	29	33	32	24	31	28	31	34	30	20
11	24	11	16	19	23	12	19	21	17	29	22	7	17

MOYENNE ANNUELLE

Nombre d'espèces

Fig. 215

Profondeur



10 m.
Desp.

8	6	9	4	7	10	14	5	1	11	3	12	15	13	2
8	40	9	36	14	4	32	42	8	7	38	41	10	62	10
10	0	0	0	0	9	0	10	0	19	0	14	16	16	19
14	16	28	18	16	11	9	5	45	40	28	45	38	11	9
1	33	44	26	59	42	0	25	47	1	33	44	26	59	42
11	0	0	40	0	0	54	9	8	11	0	0	0	54	9
3	40	42	33	47	41	0	16	51	65	8	3	40	42	33
12	40	46	22	34	31	0	20	30	27	0	26	12	40	46
15	30	37	50	30	36	0	30	26	32	16	46	54	15	30
13	13	33	0	28	16	0	26	32	22	0	28	30	12	13
2	20	17	31	12	6	12	20	33	25	21	36	11	19	28

DECEMBRE

Nombre d'espèces

NIELL (1974) l'utilise également. Cet indice a pour formule :

$$H = - \sum P_i \log_2 P_i \quad \left(\sum P_i = 1 \right)$$

P_i étant la probabilité pour qu'un individu pris au hasard dans l'échantillon appartienne à l'espèce i .

$$P_i = \frac{n_i}{n}$$

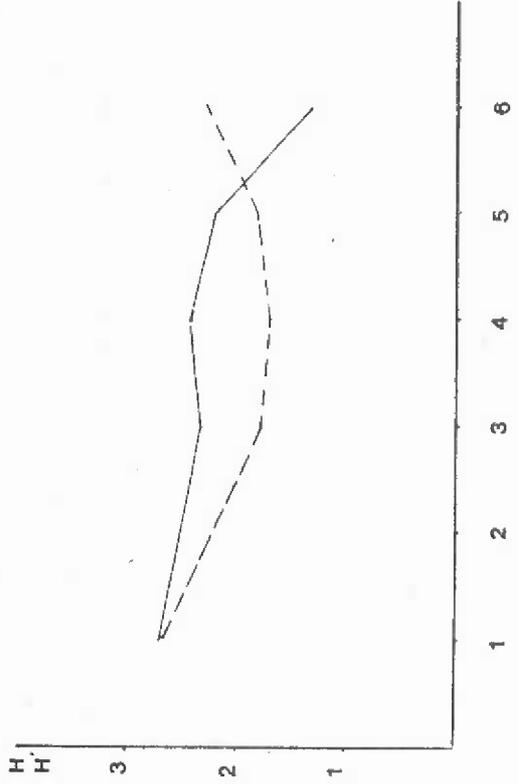
avec n_i = le nombre d'individus appartenant à l'espèce i .
 n = le nombre total d'individus.

Il existe une application de cette formule pour le calcul à partir des biomasses. Il suffit de remplacer le nombre d'individus par leur biomasse et on obtient un indice de diversité calculé à partir des biomasses (H').

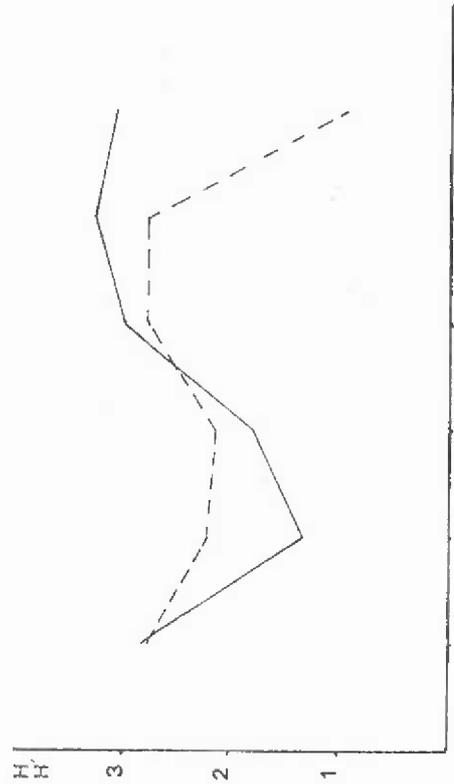
L'observation des graphiques (fig. 217 à 224), résultat de ces calculs (tableau 79) nous montre une variation assez anarchique des indices de laquelle il est possible de mettre à jour plusieurs enseignements.

- Pour la station 1 (fig. 217) les indices semblent être relativement constants (sauf en décembre avec une valeur approximative de 2,25 (H) et de 2 (H')). La station 1 a semble-t-il peu évolué.
- Les valeurs de la station 2 (fig. 217) varient d'une manière importante en mars et en avril. Ceci est dû, en mars comme en avril, à la présence de petits individus en grand nombre (*Bathyporeia elegans* et *Nephtys cirrosa*). La forte diminution de H et la faible de H' , s'expliquent ainsi par le grand nombre d'individus et la biomasse relativement faible en résultant.
- La station 3 (fig. 218) présente des résultats très intéressants. Les valeurs des indices sont à peu près constantes (3 pour H et 2 H') et relativement fortes. Cela montre que sa position près de l'isobathe - 10 m lui fait bénéficier de ce que l'on pourrait appeler un effet de lisière. C'est à cette station qu'on a enregistré le plus grand nombre d'espèces.

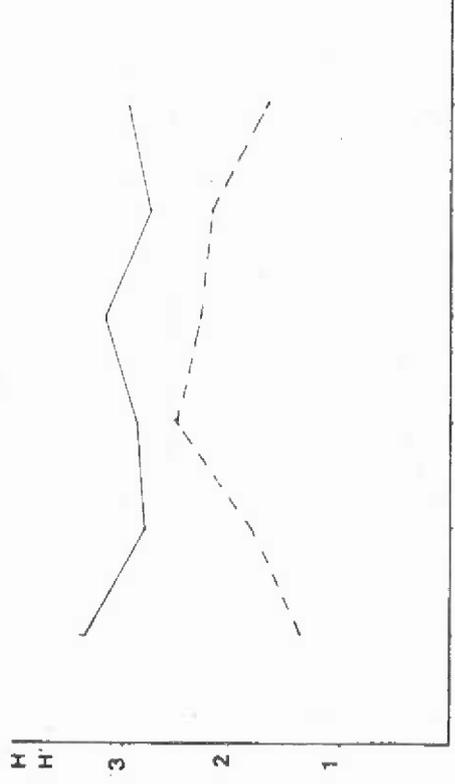
Station 1



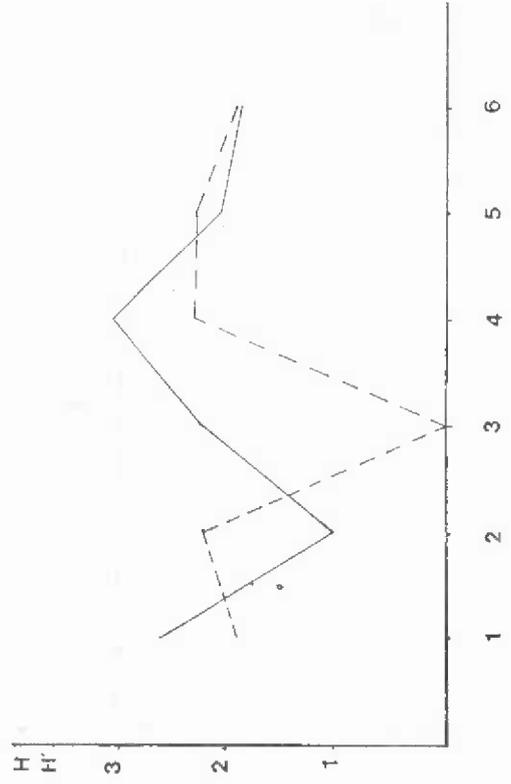
Station 2



Station 3



Station 4



VARIATION DE L'INDICE DE DIVERSITE

A CHAQUE STATION AU COURS DES SIX CAMPAGNES.

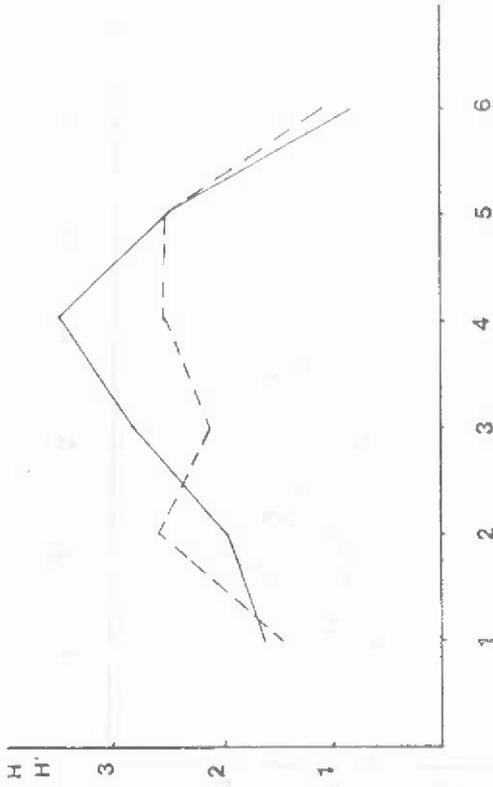
— H (—): Indice calculé à partir du nombre d'espèces.
 - - H' (- -): Indice calculé à partir de la biomasse.

Fig. 218

Fig. 217

Fig. 220

Station 7



Station 8

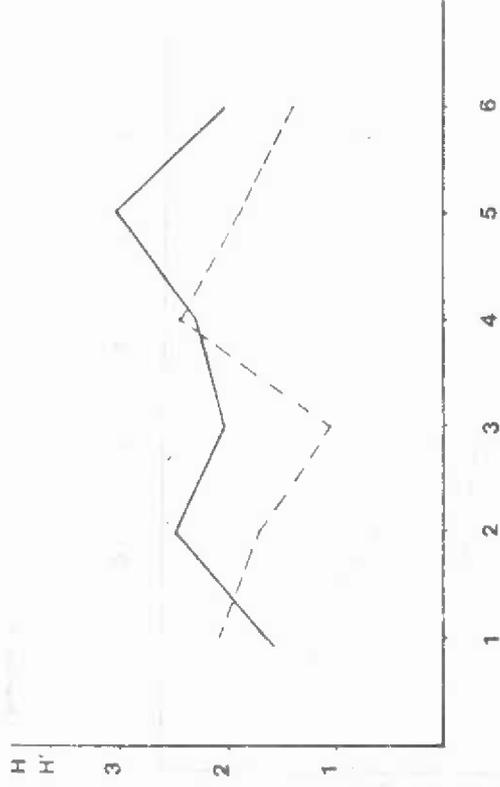
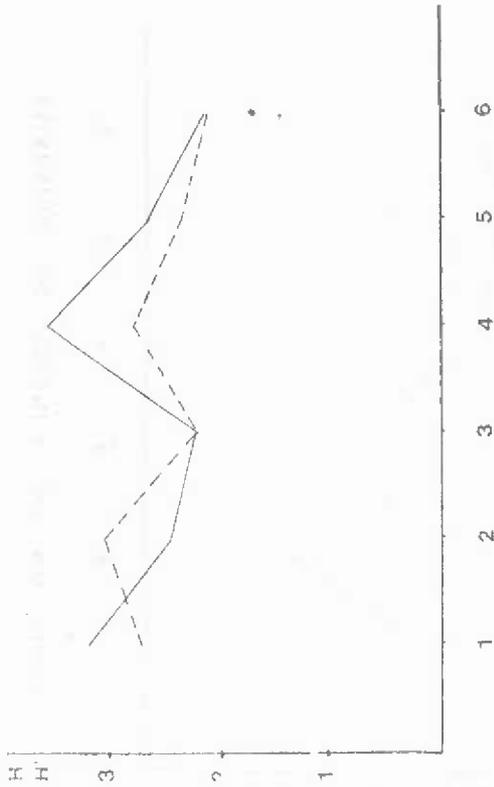


Fig. 219

Station 5



Station 6

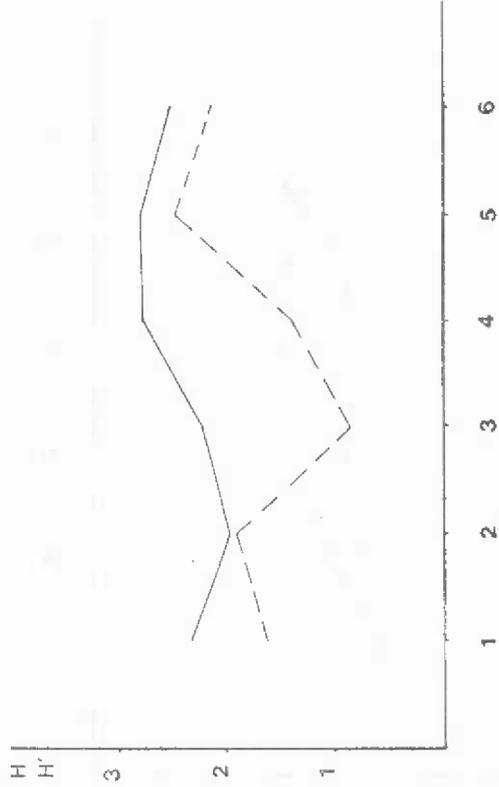


Fig. 222

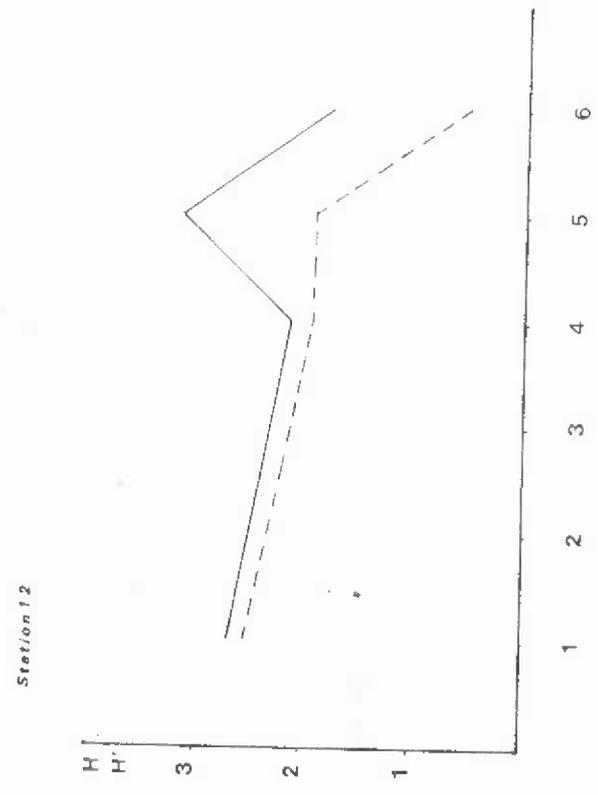
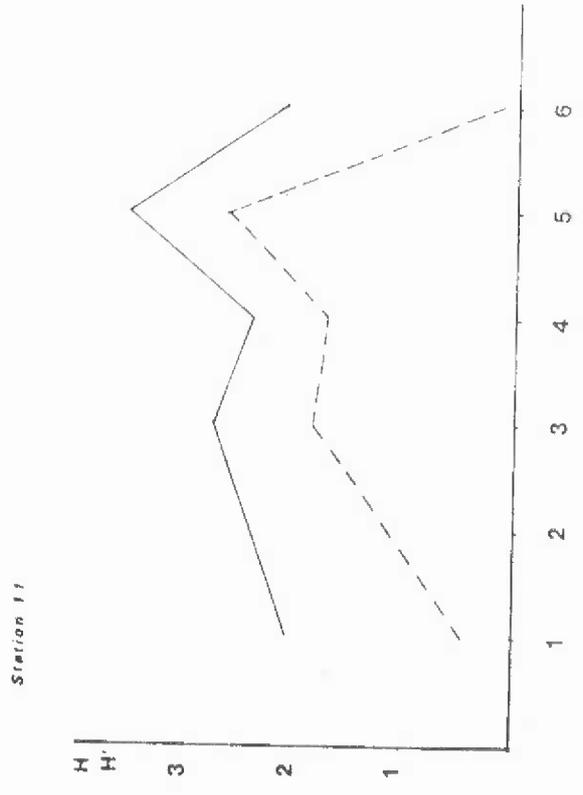


Fig. 221

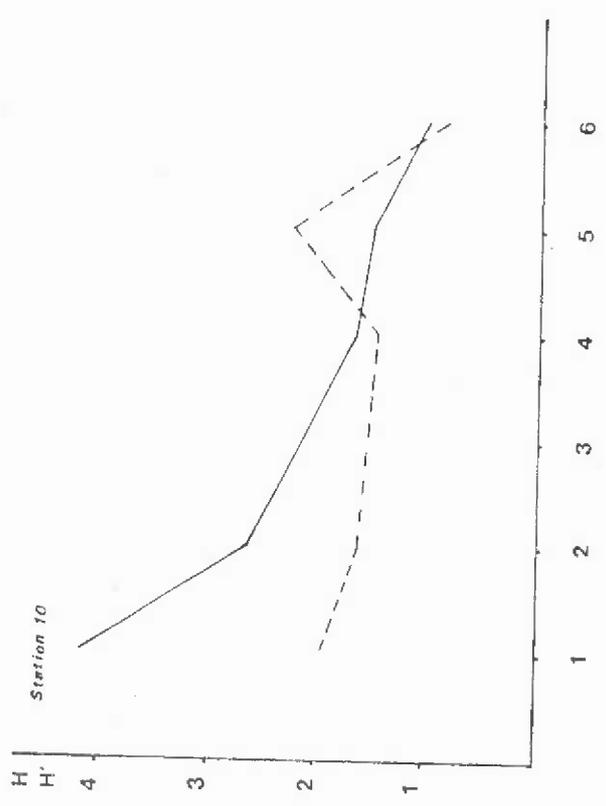
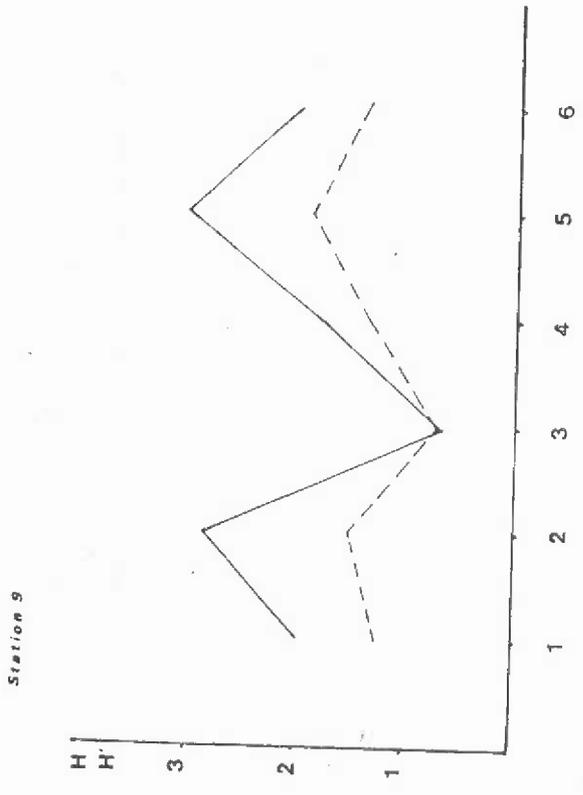


Fig. 223

Station 13

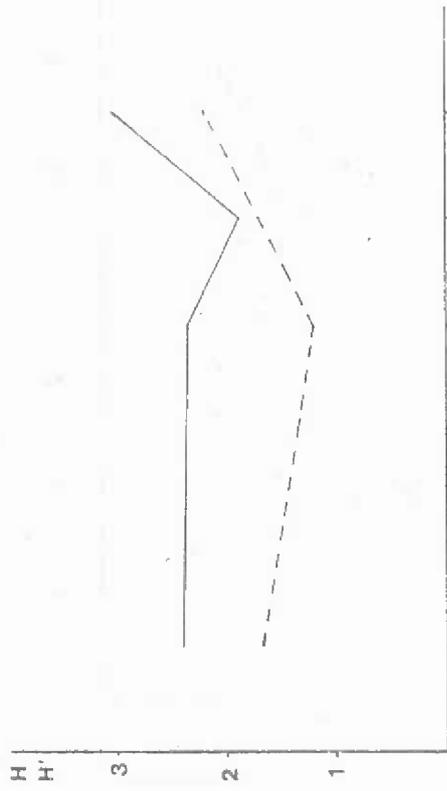
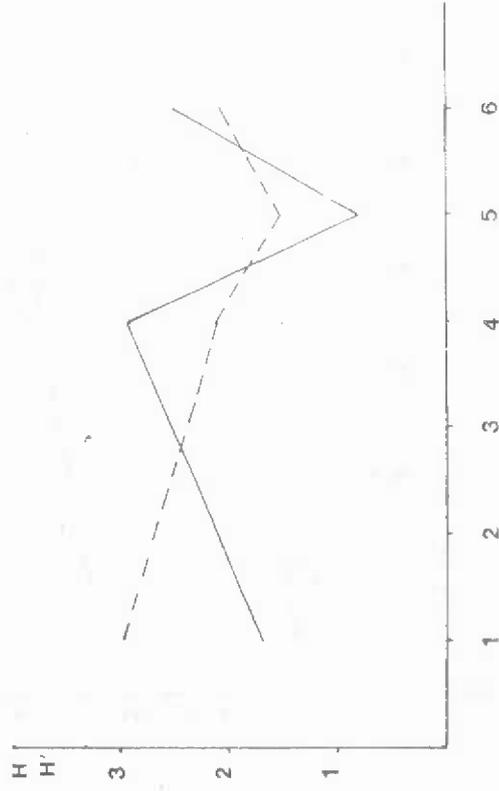
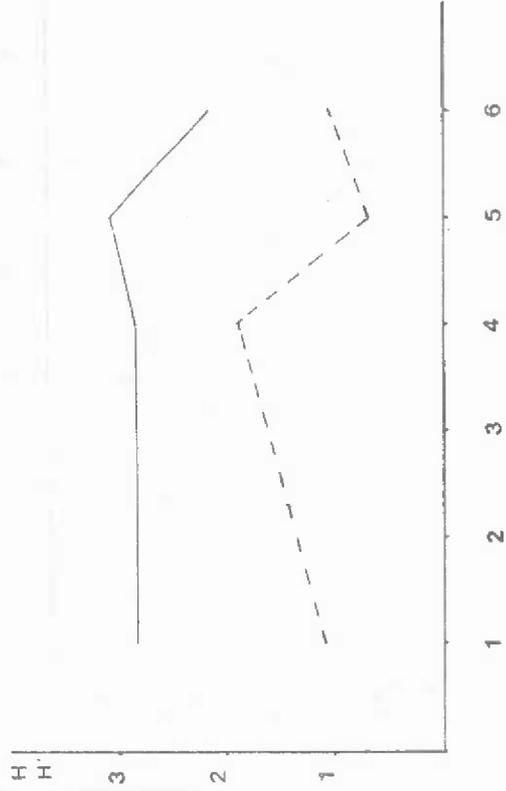


Fig. 224

Station 15



Station 14



- La station 4 (fig. 218) présente aussi des variations importantes. En février, la diminution de H et l'augmentation de H' sont dues à une augmentation du nombre d'espèces avec une répartition plus équitable de la biomasse entre les différentes espèces.
- La station 5 (fig. 219) présente aussi des variations, mais faibles. Les valeurs obtenues sont assez fortes (2,7 pour H et 2,5 pour H') peut être est-ce dû à l'Aa.
- La station 6 (fig. 219) présente comme la station 3 une abondante régularité. La figure montre même une légère augmentation de la valeur de H.
- La station 7 (fig. 220) présente des variations très importantes avec un indice très fort en mai (3,3).
- La station 8 (fig. 220) présente des variations, mais semble montrer une augmentation continue de la valeur H.
- La station 9 (fig. 221) se signale une fois de plus par son originalité. La figure présente une variation de l'indice en dents de scie. Les courbes H et H' ont des évolutions parallèles.
- La station 10 (fig. 221) est aussi particulière. On observe une chute continue de l'indice H qui débute à 4 pour s'achever à 1.
- Les stations 11 et 12 (fig. 222) ont également des indices qui varient beaucoup mais se signalent par le parallélisme presque parfaits de leurs courbes.
- Les stations 13 et 14 (fig. 223) présentent des valeurs d'indice à peu près constantes.
- La station 15 (fig. 224) se signale par sa valeur de l'indice de septembre. Il n'est pas étonnant de trouver un indice (H) aussi bas, car sur un nombre total d'individus de 4300, on trouve 3850 *Abra alba*. C'est vrai également pour la biomasse.

- Il semblerait que l'on puisse scinder la zone étudiée en plusieurs parties :

. Une zone stable qui n'est pas affectée par les travaux de l'avant-port (comprenant les stations 1, 3, 13 et 14). On peut y adjoindre également la station 2, en dépit des variations importantes de mars et d'avril.

. Une zone en pleine évolution où l'on peut distinguer deux ensembles :

+ Une zone où le peuplement s'appauvrit (l'indice de diversité diminue) et où des espèces plus tolérantes et mieux adaptées s'installent (station 10, 11 et 12).

+ Une autre zone où le peuplement semble se diversifier (stations 5, 6 et 8). La station 6 est certainement sous l'influence des travaux signalés plus haut (campagne de décembre, analyse quantitative) car la valeur d'indice croît légèrement.

6.4 Analyses biométriques

Le fait que peu d'espèces aient pu être mesurées en quantité suffisante au cours des 6 campagnes, a considérablement réduit les possibilités d'études biométriques. Ce type d'étude a pu être réalisé pour les espèces suivantes :

- . *Abra alba*
- . *Tellina fabula*
- . *Ophiura albida*
- . *Bathyporeia elegans*

Aucune Annélide n'a pu être étudiée du fait que peu nombreuses étaient celles qui n'avaient pas été abimées par la drague ou qui ne s'étaient pas autotomisées au cours du tamisage ou de la fixation.

6.4.1 Etude biométrique d'*Abra alba* (fig. 224, 225 et 226)

Abra alba est une espèce très intéressante pour les études biométriques. Elle est suffisamment solide pour résister à la drague et au tamisage et

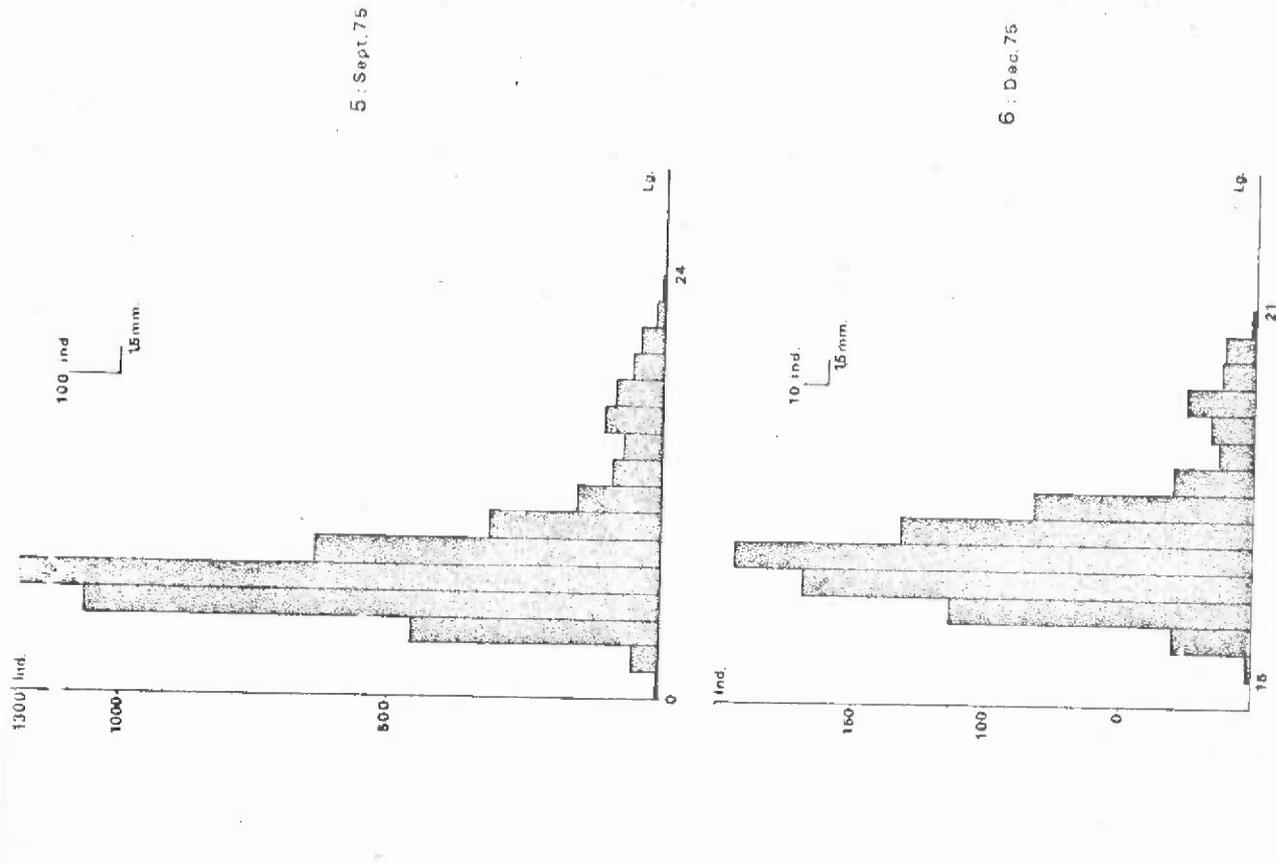
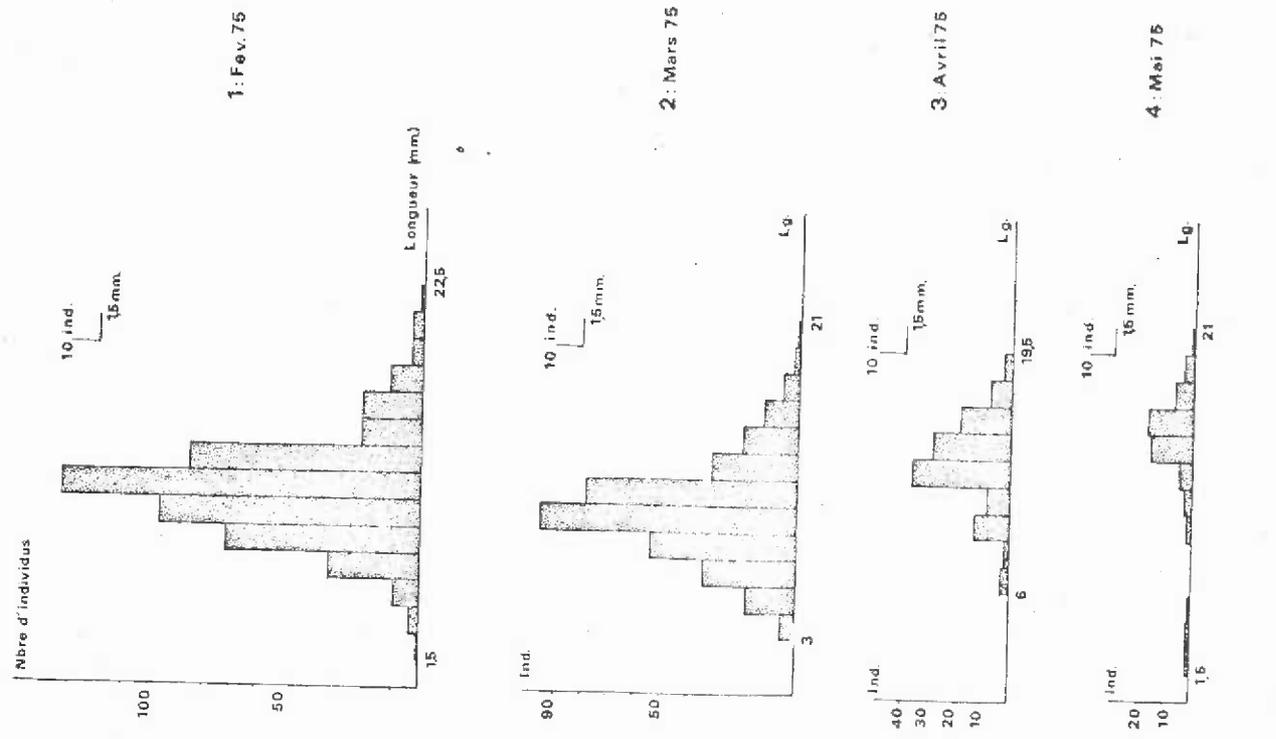
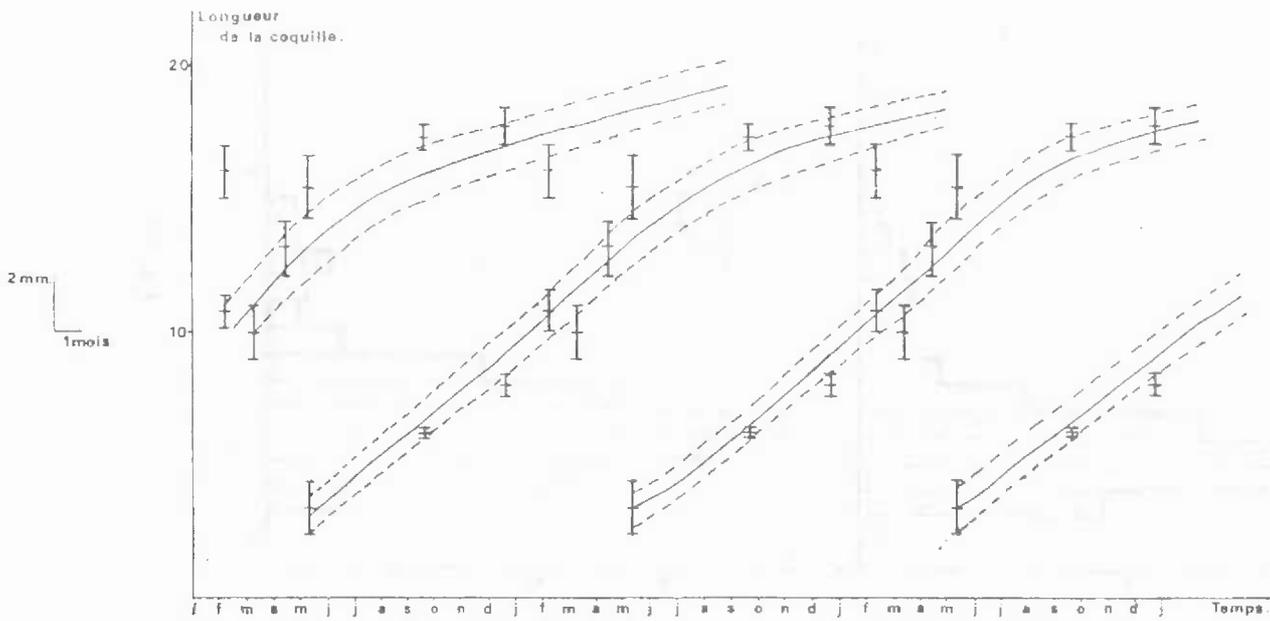


Fig. 276



ETUDE BIOMETRIQUE D' *Abra alba* : HISTOGRAMMES DES FREQUENCES DE TAILLE.

Fig. 225



ETUDE BIOMETRIQUE D' *Abra alba* :
COURBE DE CROISSANCE.

Fig. 227

peut être mesurée commodément. Il est toutefois à signaler que des individus de grande taille ont été récoltés écrasés, ce qui atténue les résultats obtenus pour les individus les plus âgés.

L'observation des figures 225 et 226 nous montre l'évolution de la population :

- février : courbe bimodale, classes modales : 10,5 - 12 mm
15 - 16 mm
- mars : courbe unimodale, classe modale : 9 - 10,5 mm
- avril : courbe unimodale, classe modale : 12 - 13,5 mm
- mai : courbe bimodale, classes modales : 3 - 4,5 mm
15 - 15,5 mm

- septembre : courbe bimodale, classes modales : 6 - 7,5 mm
15 - 16,5 mm
- décembre : courbe bimodale, classes modales : 7,5 - 9 mm
16,5 - 18 mm

Les histogrammes prouvent qu'il n'existe qu'une génération par an, que la fixation des larves commence en mai. ANSEL (1974) estime que la fixation s'effectue en juillet - août à PLYMOUTH.

MUUS (1973) met en évidence une génération annuelle, mais la fixation dans l'Øresund s'effectue plus tard (septembre - octobre).

L'observation de la figure 227 montre bien l'existence d'une seule génération par an. Cette courbe a été obtenue en extrapolant sur trois cycles les valeurs obtenues en un an. La difficulté de faire passer une seule courbe par tous les écarts-types semblerait prouver que chez *Abra alba* deux périodes de ponte ont lieu au printemps : la première aurait lieu début mars, la seconde début avril. ANSEL (1974) a observé des pontes en mars et en avril. La période semblerait plus longue dans les eaux plus chaudes de PLYMOUTH. Quant à la durée de vie de cette espèce, les avis sont partagés : PETERSEN (1918) a trouvé une longévité de 2 ans ; pour ANSEL (1974) la majorité des individus récoltés étaient dans leur 3ème année et les individus de près de 2,5 cm étaient dans leur 4ème année. Nos résultats sembleraient confirmer ceux obtenus par ANSEL.

La température semble avoir un impact important sur la durée de vie d'*Abra alba*.

Si la longévité semble être réduite dans les eaux danoises, d'autres paramètres que la température interviennent certainement. On sait en effet que chez les Mollusques (Lamellibranches : WEYMOUTH, 1931, Cephalopodes : RICHARD, 1971) une corrélation négative très nette relie la durée de vie et la température.

En résumé, chez *Abra alba* : on observe une génération par an, une ponte en deux fois au printemps, une fixation qui commence en mai, une durée de vie de 3 ans, certains individus pouvant atteindre 4 ans.

6.4.2 Etude biométrique de *Tellina fabula* (fig. 228)

En dépit du faible nombre d'individus récoltés au cours des trois premières campagnes, l'étude biométrique de *Tellina fabula* semble donner des résultats intéressants :

- chez cette espèce, on observe également une génération par an,
- la fixation semble se produire en mai,
- la durée de vie semble être de trois ans. La croissance est plus lente que chez *Abra alba* bien que l'on arrive à des tailles équivalentes pour des individus très âgés.

6.4.3 Etude biométrique de *Ophiura texturata* (fig. 229)

Cette espèce n'a pas été récoltée en février et en avril. L'observation des histogrammes de fréquences de taille montre immédiatement l'existence de deux générations par an : une printanière et une automnale.

La génération printanière apparaît sur les histogrammes en septembre, la génération automnale en mars.

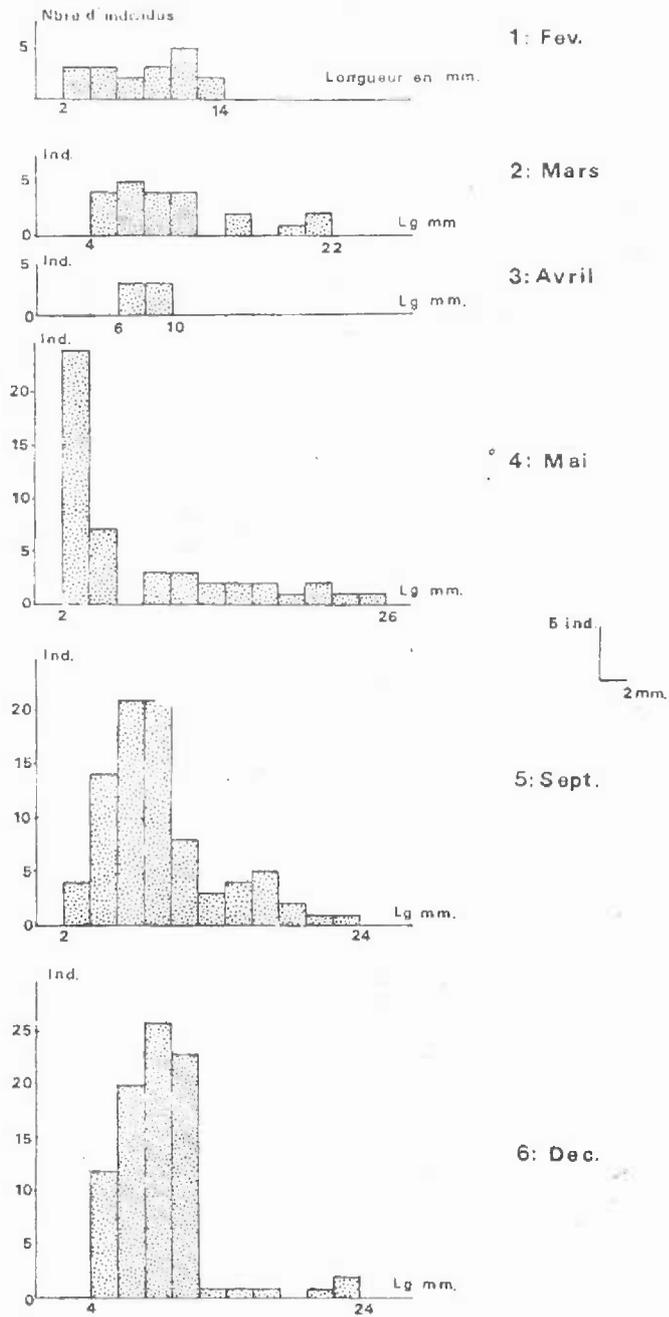
Pourtant, il a été affirmé que, dans la région de BOULOGNE SUR MER, les Ophioplutei caractérisent un plancton automnal (HECQ, 1971 ; BRYLINSKI, 1975), bien que BRYLINSKI (1975) ait enregistré une apparition fugace d'Ophioplutei en mai.

6.4.5 Etude biométrique de *Bathyporeia elegans* (fig. 230)

Le genre *Bathyporeia* est remarquable par le fait que les différentes espèces appartenant à ce genre se répartissent régulièrement en fonction du niveau bathymétrique, aussi bien en milieu intertidal que profond.

Les espèces rencontrées dans le benthos profond, sont par ordre de profondeur croissante : *B. pelagica* (BATE), *B. elegans* (WATKIN), *B. guilliamsoniana* (BATE).

Chez *B. elegans*, l'observation des histogrammes de fréquences de taille prouve qu'il y a apparition de deux générations par année. Le nombre d'oeufs et d'em-



ETUDE BIOMETRIQUE DE *Tellina fabula* :
HISTOGRAMMES DES FREQUENCES DE TAILLE.

Fig. 228

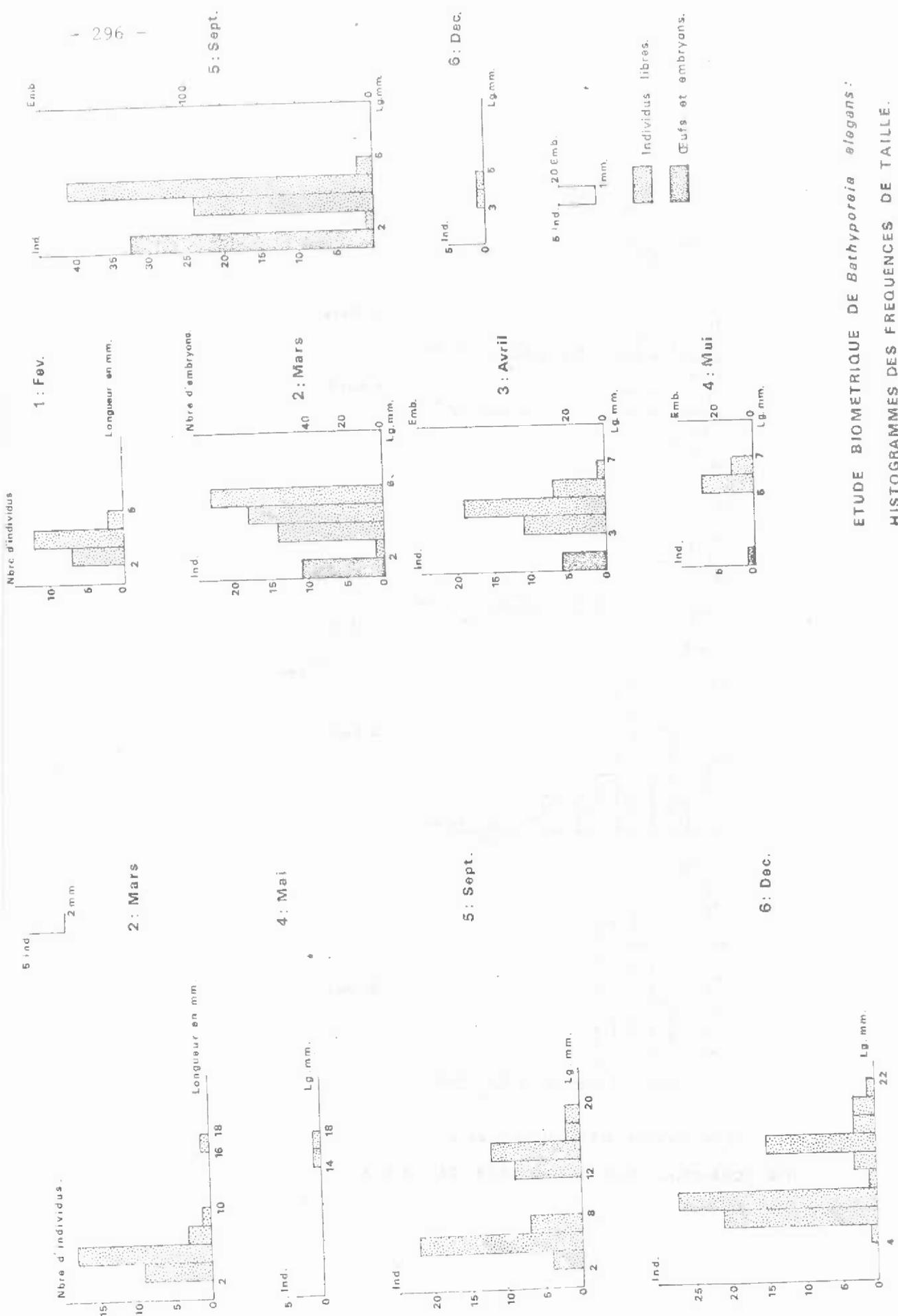
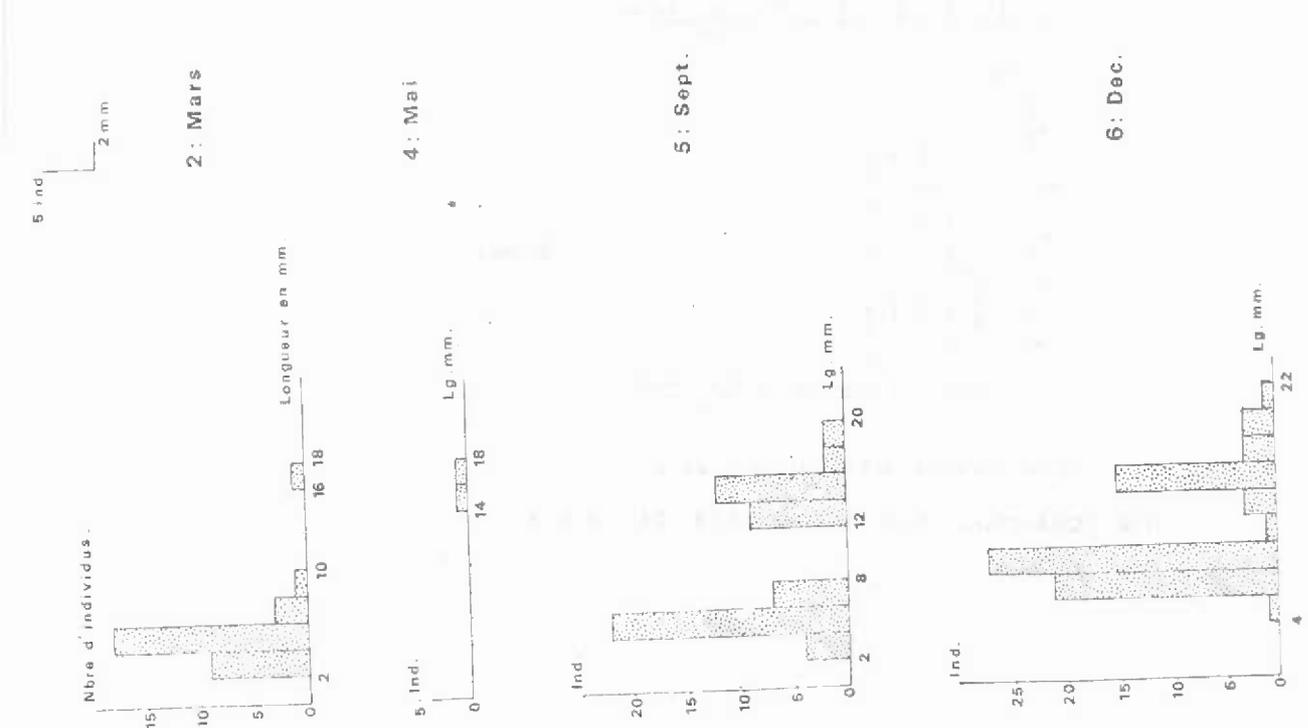


Fig. 230

**ETUDE BIOMETRIQUE DE *Bathyporeia elegans*:
 HISTOGRAMMES DES FREQUENCES DE TAILLE.**



**ETUDE BIOMETRIQUE D' *Ophiura texturata*:
 HISTOGRAMMES DES FREQUENCES DE TAILLE.**

Fig. 229

bryons reporté sur les histogrammes montrent nettement les deux périodes de ponte, une en mars-avril et une en septembre. Ceci rejoint les observations de FISH et PREECE (1970) qui chez *B. pilosa* (LINDSTROM) et *B. pelagica* ont observé les mêmes résultats.

B. elegans a une durée de vie de 1 an.

7. CONCLUSION

Nous pouvons tirer plusieurs enseignements de cette étude. D'abord, qu'une discrimination (relative) entre deux zones séparées par l'isobathe - 10 m qui existait au début de l'étude semble s'estomper et permettre l'établissement de nouvelles populations. On tend vers une homogénéisation de la zone étudiée.

Il faut ensuite signaler la présence de lentilles de sable plus vaseux et plus riche qui existent et se déplacent. Ces lentilles recèlent parfois une richesse très importante (station 15, septembre 75).

Enfin, au point de vue spécifique, une espèce semble jouer un très grand rôle. C'est *Abra alba*. Ce Mollusque vit dans des sédiments vaseux et se nourrit de fines particules (HUGUES, 1975).

On sait qu'il existe des échanges entre l'eau et les sédiments. Des auteurs ont signalé que certaines pollutions se transmettaient très rapidement de l'eau aux sédiments (AMIARD-TRIQUET, 1974 : radioactivité). La vase intercepte tous les types de polluants en raison de la présence de complexes organiques aptes à fixer de nombreux atomes (métalliques ou non). Il en est de même pour les polluants radioactifs (RANFRO, 1973). *Abra*, comme tous les "Filters-Feeders" pourra accumuler les polluants contenus dans la vase. RANFRO (1973) trouve un effet synergique entre une pollution par des sels ferriques et une pollution par Zn 65 (radioactif) chez la palourde. La présence éventuelle et simultanée de plusieurs polluants pourrait provoquer une fixation très rapide des polluants qui se concentreront plus rapidement dans les animaux. *Abra alba* pourrait être un témoin intéressant de l'évolution des pollutions dans les sédiments. C'est pourquoi une étude plus complète de sa dynamique s'impose. Cette espèce offre en plus l'intérêt d'être présente à la station 15 qui est théoriquement située hors de la zone d'influence des pollutions possibles et où des témoins pourraient être trouvés en grand nombre.

A. RESUME

LE DOMAINE PÉLAGIQUE

L'étude a porté sur 14 mois, au cours de 12 campagnes ; les 15 stations ont été prospectées dans la journée, lors des campagnes VIII, IX, X et XI. Les prélèvements ont été faits à 0 m, 5 m, 10 m et au niveau le plus près du fond, à la bouteille à clapets ; les filtrations ont été faites le plus possible à bord, à l'obscurité, sous pression. Des essais de mesure des paramètres physicochimiques ont été faits à l'aide de sondes.

TEMPERATURE

elle présente un minimum en février ($6,00^{\circ}\text{C}$) et un maximum en août ($19,30^{\circ}\text{C}$) ; la différence de température maximale observée entre 2 niveaux voisins est $0,4^{\circ}\text{C}$ les variations sont plus importantes en surface et à la côte. Il existe un gradient côte-large : la température diminue vers la côte en hiver ; c'est le contraire en été.

SALINITE

Elle est en relation avec la température et surtout la pluviosité. Le maximum a lieu en été ($34,775 \text{ ‰}$), le minimum au printemps ($30,24 \text{ ‰}$) ; on note une différence entre 2 niveaux voisins qui est toujours inférieure à $0,76 \text{ ‰}$, le niveau 10 m étant le plus salé. La salinité diminue vers la côte, spécialement au niveau de l'Aa.

Ces deux paramètres ont permis d'établir un diagramme T.S. d'après lequel la densité de l'eau varie de $1,023 \text{ g/cm}^3$ à $1,027 \text{ g/cm}^3$.

MATIERES EN SUSPENSION

Elles montrent une relation avec la pluviosité. Le minimum a lieu fin mars - début avril et fin août (de plus, le 30 août la mer était très calme), le maximum fin mai et en hiver. La turbidité augmente vers le fond et vers la côte ; elle est plus importante au voisinage de l'Aa et de la digue.

CHAPITRE IV

RÉSUMÉ ET
CONCLUSION GENERALE

La transparence de l'eau (profondeur de disparition du disque de Secchi) est essentiellement liée à la quantité de matières en suspension à 5 m. Le phytoplancton n'est pas le seul responsable de la turbidité.

OXYGENE DISSOUS

Le taux d'oxygène dissous varie selon les niveaux ; les écarts sont plus importants à la côte qu'au large. Le minimum a été observé en mai (85,4 % de saturation), le maximum en août (125,7 % de saturation). L'eau du large est plus oxygénée. La quantité d'oxygène dépasse ou approche souvent la saturation. Il n'y a pas de relation entre la quantité de microplanctons et le taux d'oxygène, sauf pour les concentrations très importantes (cas du 30 août).

p^H

Il est toujours supérieur à 8 et varie de 8,10 (minimum en hiver et à la fin de l'été) à 8,66 (maximum au printemps). La différence maximale entre 2 niveaux est de 0,28. Ces variations du pH ne doivent pas avoir d'influence sur la croissance du phytoplancton (KAIN et FOGG - 1958 a et b 1960).

SELS NUTRITIFS

Ils présentent un maximum fin hiver et un minimum fin août. Les valeurs extrêmes sont :

- pour les nitrites : de 0,01 μ atg/l à 1,41 natg/l
- pour les nitrates : de 0,10 μ atg/l à 32,38 natg/l
- pour les phosphates : de 0 μ atg/l à 3,03 natg/l
- pour les silicates : de 0 μ atg/l à 14,50 natg/l

Les teneurs varient peu d'un niveau à l'autre ; elles augmentent vers le fond et vers la côte. L'Aa constitue une source importante de sels nutritifs : conserveries et distilleries tout au long de son parcours, lessivage des terres cultivées, égouts, amènent d'importantes quantités de nitrites, nitrates, phosphates. Il traverse des couches de sable et de schistes, d'où un apport de silicates, auquel vient s'ajouter ceux issus de la remise en suspension du sable par les tra-

vauX de l'avant port. Les nitrates et nitrites diminuent quand la quantité de microplancton augmente ; les nitrates semblent être un facteur limitant pour la croissance du phytoplancton, pour des concentrations de cellules élevées. On n'observe pas de relation entre les phosphates et silicates et microplancton.

PIGMENTS PHOTOSYNTHETIQUES

La chlorophylle a suit les variations du microplancton : maxima au printemps et à la fin de l'été, minimum hivernal (valeurs extrêmes : 0 $\mu\text{g/l}$ à 48,84 $\mu\text{g/l}$). La chute enregistrée le 19 avril est la conséquence de la baisse de température à cette époque. Les *Phaeocystis* sp. non comptés dans le nombre total de cellules du microplancton, sont à l'origine de quantités importantes de chlorophylle a lors des campagnes V - V bis - VI et IX. Le taux de chlorophylle a est plus important à 10 m et diminue de la côte vers le large.

Les pheopigments, plus importants l'hiver, présentent leur maximum lors du pic printanier de chlorophylle a (les valeurs extrêmes sont 0 et 61,48 $\mu\text{g/l}$). L'indice pigmentaire minimum en hiver, minimum en été varie de 0 à 23.

MICROPLANCTON

Essentiellement composé de Diatomées, il comprend aussi quelques Chlorophycées, Silicoflagellés, Peridiniens et Ciliés. Le nombre de cellules est maximum en été (8 100 cellules / cc à la fin août).

Certaines espèces sont présentes presque toute l'année : *Asterionella japonica*, *Fragilaria* sp., *Mitsuchia closterium*, *Nitzschia seriata*, *Paralia sulcata*, *Skeletonema costatum*. D'autres présentent une importante floraison en été : *Leptocyndrus danicus*, *Rhizosolenia delicatula*, *Rhizosolenia setigera*, *Rhizosolenia sirubseia*, *Rhizosolenia stolterfothii*.

Les espèces rencontrées sont essentiellement des espèces côtières dont les plus importantes sont : *Asterionella japonica*, *Fragilaria* sp., *Paralia sulcata*, *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros* sp., *Thalassiosira* sp., *Rhizosolenia* sp., *Nitzschia* sp.

Le diagramme T.S. qui indique la densité de l'eau, permet d'expliquer la présence d'espèces différentes au cours de l'étude : en été la densité est faible, on rencontre des espèces à frustule, pauvre en silice, associées en chaînes, dont la flottabilité est meilleure : *Chaetoceros* sp., *Rhizosolenia* sp. En hiver, où la densité est plus élevée, ce sont des espèces circulaires et à paroi plus riche en silice.

NANOPLANCTON

Il a été dénombré, mais non déterminé ; les valeurs ne sont qu'indicatives, suite à la forte turbidité des échantillons ; surtout composé de Flagellés, constitue une grande part du phytoplancton, mais intervient dans moins de 50 % de la production (GRALL - 1972 ; JO PODAMO - 1973).

PRODUCTION PRIMAIRE

La méthode de mesure suit le protocole de BROUARDEL et RINCK (1963). Les prélèvements d'eau ont été faits en surface. Seules les dernières campagnes ont pu faire l'objet de cette étude, suite à la présence des *Pheocystis* sp.. Lors des premières sorties, l'incubation a été faite selon deux techniques : "in situ" simulée (bacs à circulation d'eau sur le pont du navire) ou en lumière artificielle qui donne le taux de production potentielle (conditions optimales d'éclairément ; circulation d'eau). On caractérise une population phytoplanctonique par son indice de productivité au rapport : Production/Biomasse (mg C/mg chl a/h). La production est généralement exprimée par la valeur à saturation lumineuse. Plus les conditions du milieu sont favorables au développement de la population, plus l'indice est élevé ; il est généralement constant pour une campagne donnée :

- campagne X' : 3,14 à 4,06 (ciel dégagé, incubation en milieu de journée)
- campagne XI' : 0,50 à 0,80 (soleil voilé, incubation en fin de journée)
- campagne XII : 0,40 à 0,60 (ciel couvert, plancton plus pauvre)

La production primaire est plus importante à la côte : eaux peu salées, riches en matières en suspension et en sels nutritifs.

ZOOPLANCTON

La présente étude dresse un état de référence du zooplancton dans la région de GRAVELINES. Les échantillons observés correspondent à 12 campagnes effectuées entre le 30 septembre 74 et le 15 décembre 75.

Au cours de ces campagnes, les prélèvements ont été réalisés avec des filets à plancton type filet WP₂ (filet international de vide de maille 200 ~~M~~).

Des traits verticaux ont été effectués pour chacune des 15 stations choisies de part et d'autre du point de rejet de la future centrale.

Les prélèvements ont été réalisés pour :

- le dénombrement des différents groupes d'individus du zooplancton,
- l'étude de dynamique de certaines populations,
- la détermination de la biomasse.

On constate que le zooplancton de la région de GRAVELINES présente une diversité faible. Les Crustacés sont prédominants, en particulier les Copépodes (70 % en moyenne de l'effectif total). On trouve par ailleurs des larves d'Annélides, de Mollusques, de Chaetognathes, de Méduses, et des Appendiculaires en quantité notable.

D'un point de vue général, la biomasse représentative de l'ensemble du zooplancton se répartit sur le site, selon un gradient côte/large caractérisé par :

- une abondance faible au débouché de la rivière Aa,
- une abondance plus forte au large ainsi qu'à l'Ouest de la digue de l'avant-port de DUNKERQUE.

Cependant, la distribution géographique de principales espèces constituant cette biomasse dépend :

- de leurs affinités plus ou moins côtières,
- de leur cycle annuel de reproduction.

Par exemple : les Copépodes les plus abondants *Temora* et *Euterpina* présentent à la fois des distributions géographiques opposées et des cycles en alternances.

La courbe représentative des variations saisonnières de la biomasse animale montre un minimum hivernal, et une augmentation printanière avec un maximum en juin.

On a pu mettre en évidence des relations entre le cycle et l'état physiologique de certaines espèces et la température (ex. : *Oikopleura*, *Hybocodon*, *Euterpina*).

La variation d'abondance d'*Oikopleura* suit directement la variation de la température. *Hybocodon* disparaît lorsque la température dépasse 14°. Quant à *Euterpina*, il pond lorsque la température dépasse 16°. D'une manière générale, il semblerait que les Copépodes ne puissent survivre aux températures supérieures à 30°.

Sur le site nous avons pu schématiser un cycle de successions basés sur les relations trophiques interespaces.

La poussée phytoplanctonique printanière est suivie un mois après, par l'augmentation des herbivores (larves d'Annélides, Copépodes), puis par les carnivores d'été (Cténaires et Méduses). A la deuxième poussée phytoplanctonique de la fin de l'été succède également l'augmentation d'herbivores, puis de détritivores et de carnivores qui subsisteront tout l'hiver.

LE DOMAINE BENTHIQUE

ZONE INTERTIDALE

Trois radiales ont été réalisées sur l'estran : une à l'Est de l'Aa, les 2 autres à l'Ouest. Les prélèvements ont été réalisés tous les 2 mois, à 3 niveaux différents de chacun des tracés.

Nous avons récolté 37 espèces de macrofaune, appartenant aux trois groupes :

- Annélides
- Mollusques
- Arthropodes

- . Pour les Annélides, 2 espèces dominent : *Nerine cirratulus* et *Nephtys cirrosa*. Ils représentent la majeure partie de la biomasse.
- . Chez les Mollusques, peu d'espèces sont présentes. Seul *Hydrobia ulvae* (Gastéropode) est rencontré en abondance dans les zones de dessalure engendrées par l'Aa.
- . Parmi les Arthropodes, les espèces principales trouvées sur l'estran sont : *Eurydice pulchra* (Isopode), *Bathyporeia pilosa*, *Haustorius arenarius* et *Corophium arenarium* (Amphipodes).

La biomasse moyenne enregistrée au cours de l'année est maximale à la radiale située au voisinage de l'Aa, et minimale au voisinage de la centrale.

L'abondance de *Nerine cirratulus*, et l'influence de l'Aa contribuant à l'installation d'une faune caractéristique des milieux saumâtres (en particulier *Corophium*, *Hydrobia*) sont les faits essentiels qui se dégagent de cette étude.

D'autre part, nous avons mis en évidence l'importance du niveau marégraphique dans la répartition de la faune.

ZONE SUBTIDALE

Six campagnes de prélèvements ont pu avoir lieu en ce qui concerne le benthos subtidal. Elles ont été réalisées à l'aide de la drague "Rallier du Baty" modifiée. Le volume du sédiment analysé était de 30 l.

L'utilisation de la drague a rendu difficile l'interprétation quantitative des résultats (exprimés en g. de poids sec décalcifié par 30 l. de sédiment).

La répartition des stations (prévues initialement pour des prélèvements de pélagos) nous a aussi gênés dans l'établissement des cartes de répartition.

Les résultats qualitatifs montrent qu'une discrimination entre deux ensembles faunistiques existait au début de l'étude. Ces deux ensembles étaient :

- la communauté des sables fins, plus ou moins envasés à *Abra alba* (située en-deça de l'isobathe - 10 m)
- le peuplement des sables moyens à fin à *Ophelia borealis*, *Spisula elliptica* et *ovalis* (situé au-delà de l'isobathe - 10 m).

Cette discrimination semble s'être estompée au cours des deux dernières campagnes. Cette atténuation est certainement due à un envasement progressif de la zone étudiée au cours des derniers mois. Cela semblerait prouver une tendance à une situation d'équilibre, avec un peuplement qui s'installe progressivement.

Du point de vue quantitatif, une discrimination peut être également réalisée par l'isobathe - 10 m., la faune étant quantitativement plus riche en-deça de cette limite.

Les groupes les plus abondamment représentés en nombre d'individus et en biomasse, sont les Annélides polychètes (avec *Nephtys hombergii* et *Phyllodoce mucosa* et les Mollusques lamelibranches (avec *Abra alba* et *Tellina Fabula*). Le calcul des coefficients de similitude de SOERENSEN nous a permis de confirmer l'appartenance des différentes stations aux deux peuplements.

L'étude des indices de diversité permet de scinder la zone étudiée en plusieurs parties :

- une zone stable non affectée par les travaux (stations 1, 2, 3, 13 et 14),
- une zone en pleine évolution où l'on peut distinguer deux ensembles :
 - . une zone dont le peuplement s'appauvrit (stations 10, 11 et 12)
 - . une zone où le peuplement semble se diversifier (stations 5, 6 et 8).

Pour des études ultérieures, il serait intéressant d'avoir recours à une méthodologie différente. D'abord, il faudrait dresser une cartographie des fonds plus complète, avec un maillage plus serré.

Il serait également intéressant de prospecter davantage le niveau 0, où les formes juvéniles se rencontrent préférentiellement, et afin de faire la "jonction" avec l'estran.

Il serait aussi souhaitable de connaître mieux la dynamique de certaines espèces telles que : *Abra alba* (surtout), *Nephtys hombergii* et *Bathyporeia elegans* (par exemple). Ceci permettrait de mettre en évidence l'impact thermique qui ne manquera pas de se faire sentir à ce niveau-là (accélération de la croissance, diminution de la longévité, décalage des périodes de ponte, etc.).

B. CONCLUSION GENERALE

L'ensemble des résultats acquis au cours de cette étude permet de mettre en évidence les caractéristiques principales du site de GRAVELINES.

En particulier, on peut retenir les faits suivants :

- a) En ce qui concerne l'hydrobiologie, et les populations planctoniques, on constate :
- une homogénéité verticale des masses d'eaux résultant de leur brassage continu par les courants de marée ; les différences entre stations sont effectivement supérieures aux différences entre niveaux.
 - un gradient côte-large des populations phytoplanctoniques : le minimum se situant au large, et le maximum au voisinage de l'embouchure de l'Aa.
 - un gradient côte-large des populations zooplanctoniques : deux tendances se distinguent en fonction des affinités des espèces.
 - . *Temora longicornis*, *Eucheilota maculata* (méduse) et Cténaires ayant leur maximum au large.
 - . *Euterpina acutifrons*, *Oikopleura dioica*, *Rathkea octopunctata* (méduse) les larves d'Annélides et de Bivalves, ayant leur maximum à la côte.
 - la biomasse globale zooplanctonique présente un minimum à la côte, surtout à la proximité de l'embouchure de l'Aa, et une abondance relative au large. On note également une zone d'abondance relative le long de la digue de l'avant-port de DUNKERQUE.
 - une chute en avril 1975 de la production primaire et une diminution concomitante de la biomasse planctonique (on passe de 15.000 à 500 individus par 10 m³), dues à la vague de froid du mois de mars 1975 (du 8 au 13 avril)

On retiendra également que :

- les espèces *Nerine bonnieri* (Annélide polychète), *Eucheilota* sp. et *Sarsia tubulosa* (méduses) se trouvent à leur limite Sud,

- les espèces *Mecynocera clausi* et *Isias clavipes* (Copépodes) se trouvent par contre, à leur limite Nord.
- les espèces *Bosmina* sp., Cladocère de la Baltique n'est présent à GRAVELINES qu'au mois de février.

En d'autres termes, l'échauffement des eaux, par la centrale, pourrait avoir pour conséquences d'une part, la disparition des espèces en limite Sud, et, d'autre part, l'extension des populations en limite Nord.

b) En ce qui concerne la zone intertidale, on constate :

- l'omniprésence de l'Annélide polychète *Nerine cirratulus*,
- la diversification de la faune aux alentours de l'embouchure de l'Aa.

c) En ce qui concerne la zone subtidale, on constate :

- l'existence d'une communauté des sables fins plus ou moins envasés à *Abra alba*, dans la frange côtière (de 0 à - 10 m.)
- l'existence d'un peuplement des sables moyens à fins, à *Ophelia borealis*, *Spisula elliptica*, et *Spisula ovalis* au-delà de - 10 m.
- un envasement progressif de cette dernière zone et son évolution vers la communauté à *Abra alba*.

C. OBJECTIFS A POURSUIVRE

A la lumière de cette étude, il nous semblerait intéressant, lors de la re-conduction de l'étude de projet de GRAVELINES, de suivre en priorité le cycle des espèces suivantes :

- pour le zooplancton :

- . les Copépodes *Témora longicornis*, *Euterpina acutifrons*,
Centropages hamatus,
- . le Chaetognathe : *Sagitta setosa*,
- . la méduse *Hybocodon octopunctata*, en raison de sa sensibilité à la température,
- . et les larves de Bivalves et d'Annélides, de manière à établir la relation avec les adultes benthiques.

- pour le benthos de l'estran : (zone intertidale)

- . l'Annélide polychète : *Nerine cirratulus*, mais les critères biométriques sont à définir, car, le plus souvent, les individus sont endommagés lors du tamisage.
- . le Gastéropode : *Hydrobia ulvae*.
- . les Crustacés amphipodes : *Corophium volutata* et *C. arenarium*, mais il faut remarquer que ces deux espèces, ainsi que *Hydrobia* sont plutôt caractéristiques des milieux saumâtres que de l'estran.

- pour le benthos des fonds côtiers (zone subtidale)

- . le Bivalve *Abra alba*, très répandu dans la région, ce qui permettrait d'établir des comparaisons lors de la mise en marche de la centrale,

- . l'Annélide polychète *Nephtys hombergii* (posant les mêmes problèmes quant aux critères biométriques que *Nerine serratus*).
- . le Crustacé amphipode *Bathyporeia elegans*.

Enfin, une station dans l'Aa serait utile pour faire la part de la dilution dans les phénomènes hydrobiologiques.

BIBLIOGRAPHIE GENERALE

BIBLIOGRAPHIE

- AGUR, 1973. Pollution des milieux aquatiques, région de Dunkerque. 1ère partie, 163.
- AMIARD, J. C., 1973. Etude expérimentale de l'accumulation de l'antimoine 125 par divers groupes d'organismes marins. Serv. Doc. C.E.A., rapport C.E.A. R. 4530 : 10 p. et 3 pl.
- AMIARD-TRIQUET, C., 1974. Etude expérimentale de la contamination par le Cerium 144 et le Fer 59 d'un sédiment à *Arenicola marina* (L.) (Annélide polychète). *Cah. Biol. Mar.* XV.: 483-494.
- AMOUREUX, J.M., 1974. Sur la présence de *Paraonis fulgeus* (Levinsen), (Annélides polychète sédentaire) dans la région de Banyuls-sur-Mer. *Vie et Milieu*, XXIV (2 B) 423-424.
- ANNUAIRES DES MAREES, 1974-1975. Service hydrographique et océanographique de la Marine, Paris.
- ANON, 1966. Determination of photosynthetic pigments in sea-water. Monogr. Oceanogr. Methodol. UNESCO, 69 p.
- ANON, 1973. Tables océanographiques internationales, Vol. 2. National Institute of oceanography of Great Britain, Wormley, England et UNESCO, Paris 7ème, France ISBN. 92-3. 001044-8. Optichrome Limited, Woking, Surrey, England : 141 p.
- ANRAKU MASATERU, 1964. Influence of the Cape Cod canal on the hydrography and on the copepods in Buzzards bay and Cape Cod bay, Massachusetts. I, Hydrography and distribution of copepods. *Limnol. Oceanog.* 9 (1) 46-60.
- ANRAKU MASATERU, 1964. Influence of the Cape Cod canal on the hydrography and on the copepods in Buzzards bay and Cape Cod bay. Massachusetts. II, Respiration and feeding. *Limnol. Oceanog.* 9 (2) 195-206.
- ANSEL, A.D., 1974. Seasonal changes in biochemical composition of the bivalve *Abra alba* from the Clyde sea area. *Scott. Mar. Biol. Ass.* 25 : 13-20.
- AURICH, H., 1957. Verbreitung der Medusen und Actinulae von *Ectopleura dumortieri* und *Hybocodon prolifer* in der Südlichen Nordsee. *Helgoland Wiss. Meeres*, 6 : 207-227.
- BERNARD, M., 1963. Le cycle vital en laboratoire d'un copépode pélagique de Méditerranée, *Euterpina acutifrons*. *Claus. Pelagos Bull. Inst. Océanog.* Alger, 1 : 35-48.
- BERNER, A., 1962. Feeding and respiration in the copepod *Temora longicornis* (Müller) *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 42 : 625-640.
- BODO, F., 1963. Variations saisonnières du zooplancton de la région de Roscoff. (Thèse 3ème cycle. Univ. Paris).

- BONNEFILLE, R., J.P. LEPETIT et J. LEROY, 1969. Nouvel avant-port de Dunkerque : étude des courants de marée, étude de différents projets d'avant-port sur le modèle d'ensemble. Rapport 6, Annexe EDF. Direction des études et recherches. Laboratoire national d'hydraulique.
- BONNEFILLE, R., J.P. LEPETIT, M. GRAFF et J. LEROY, 1971. Nouvel avant-port de Dunkerque. Mesures en nature. E.D.F. Direction des études et recherches. Rapport n° 3 : 35 p. et 153 pl.
- BOUDOURESQUE, 1970. Recherche sur les concepts de biocénose et de continuum au niveau de peuplement benthique sciaphiles. *Vie et Milieu* XXI (1 B): 103-136.
- BOUGIS, P., 1974. Ecologie du plancton marin. I, le phytoplancton. Masson et Cie, Ed. Paris VIème : 196 p.
- BOUVIER, E.L., 1940. Faune de France n° 37. Décapodes marcheurs. P. Lechevalier Ed. Paris : 404 p.
- BRANDT, K. et C. APSTEIN, 1908. Nordisches plankton. Botanischer teil. Kiel und Leipzig, Verla von Lipsius et Tischer. 33 p.
- BROUARDEL, J. 1971. Production primaire et fixation à l'obscurité mesurées par la méthode du ^{14}C , en Méditerranée à proximité de Monaco. *Vie et Milieu* 22 (2) sér. B : 247-256.
- BROUARDEL, J., et E. RINCK, 1963. Mesure de la production organique en Méditerranée dans les parages de Monaco, à l'aide du ^{14}C . *Ann. Inst. Oceanog.* 40 (2) : 109-164.
- BRYLINSKI, J.M., 1975. Etude du zooplancton marin de la région de Boulogne-sur-Mer. D.E.A., Sc. Nat. Lille : 90 p.
- BULLETINS CLIMATOLOGIQUES. Département du Pas-de-Calais. n° 67 (juillet 1974) à 83 (novembre 1975).
- CABIOCH, L., 1961. Etude de la répartition des peuplements benthiques au large de Roscoff. *Cah. Biol. Mar.* II (1) : 1-40.
- CABIOCH, L., 1968. Contribution à la connaissance des peuplements benthiques de la Manche Occidentale. *Cah. Biol. Mar.* 5 (Sup.).
- CARPENTER, E.J., et *al.*, 1974. Survival of copepods passing through a nuclear power station on northeastern long island sound, U.S.A., *Marine Biology* 24 (1) : 49-55.
- CHEVREUX, E., et L. FAGE, 1925. Faune de France n° 9. Amphipodes. Librairie de la Fac. Sc. Ed., Paris : 488 p.
- CLEVE-EULER, A., 1955. Die Diatomeen von Schweden und Finnland Kunge. Svenska Vetenskapsakademiens. Hand Lingar. Fjärde Serien. Band 5 n° 4 : 1-232. Figures et légendes des figures : 219-239.
- COOPER, L.H.N. Chemical constituents of biological importance in the English channel, November, 1930 to January, 1932. Part.I, phosphate, silicate, nitrate, nitrite, ammoniac. 677-728.

- CORKETT, C.J., 1965. The copepodid stages of *Temora longicornis*. O.F. Müller 1792. (*Copepoda*) *Crustaceana* 12, 261-273.
- COURANTS DE MAREE DANS LA MANCHE ET SUR LES COTES FRANÇAISES DE L'ATLANTIQUE. 1968. Service Hydrographique de la Marine. Paris
- CRAWFORD, G.I., 1937. A review of the amphipode Genus *Corophium* with note on the British species. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 21 (2) : 589-630.
- CRISP, D.J., 1962. The planktonic stages of the Cirripedia *Balanus balanoides* (L) and *Balanus balanus* (-L.) for north temperature waters. *Crustaceana*. Vol. 3 n° 3 : 207-221.
- CRUPP, E.E., 1950. Marine plankton Diatoms of the west coast of the North America. Bull. of the Scripps Inst. of Oceanograph. Technical series. Vol. I : 1-238.
- DAVANT, P. et B. SALVAT, 1961. Recherches écologiques sur la macrofaune intercotidale du bassin d'Arcachon. I, le milieu physique. *Vie et Milieu*, XII (3): 405-471.
- DEEVEY, G.B., 1952. Quantity and composition of the zooplankton of Block Island. Sound, 1949. *Bull. Bingh. oceanogr. coll.*, 13 : 120-164.
- DEWARUMEZ, J.M. et A. GREGOIRE, 1973. Etude de la zone de balancement des marées in : Etude écologique du site de Gravelines. Rapport préliminaire. Institut de biologie marine et régionale de Wimereux. Contrat E.D.F. n° F.41.D.52 service GECTN : 53-77.
- DIGBY, P.S.B., 1950. The biology of the small planktonic copepods of Plymouth. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 29 : 393-438.
- DIVE, D., 1970. Contribution à l'étude de la macrofaune des sédiments meubles du littoral boulonnais. DEA. Sc. Nat. Lille. 88 p. + 8 pl.
- FAGE, L., 1923. Faune de France 54 Cumacés. P. Lechevalier, Ed. Paris : 136 p.
- FAUVEL, P., 1923. Faune de France n° 5. Polychètes errantes. P. Lechevalier, Ed. Paris : 488 p.
- FAUVEL, P., 1927. Faune de France n° 16. Polychètes sédentaires. P. Lechevalier Ed. Paris : 494 p.
- FISH, J.D., 1975. Development, hatching and brood size in *Bathyporeia pelagica* and *B. pilosa* (Crustacea Amphipoda). *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 55 (2):357-368.
- FISH, J.D., et G.S. PREECE, 1970. Annual reproductive patterns of *Bathyporeia pilosa* and *B. pelagica* (- Crustacea : Amphipoda). *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 50 (2) : 475-488.
- FISH, SUSAN, 1970. The biology of *Eurydice pulchra* (Crustacea : Isopoda). *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 50 (3) : 753-768.
- FORD, 1923. Animals communities of the Level Sea bottom in the waters adjacent to Plymouth. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 13 : 164-224.
- FRIEDRICH, H., 1940. Polycheta in Grimpe und Wagler : Tier welt der nord und ost see (6). *Akademische verlag*. Leipzig. 200 p.
- FRONTIER, S., 1972. Calcul de l'erreur sur un comptage de zooplankton. *J. exp. mar. Biol. Ecol.* 8 : 121-132.

- FRONTIER, S., 1973. Etude statistique de la dispersion du zooplancton. *J. exp. mar. Biol. Ecol.* Vol. 12 : 229-262.
- GIORDANI SOIKA, A., 1955. Ethologie, écologie, systématique et biogéographie des Eurydice (Isop., Cirolanides). *Vie et Milieu*, VI (1) : 38-52.
- GLAÇON, R., 1975. Faune et flore du littoral du Pas-de-Calais et de la Manche Orientale. *Ed. Inst. Biol. Mar. Wimereux*. 46 p.
- GLEMAREC, M., 1964. Bionomie benthique de la partie orientale du golfe du Morbihan. *Cah. biol. Mar.* V (2) : 33-96.
- GLEMAREC, M., 1965. La faune benthique dans la partie méridionale du massif Armoricain (étude préliminaire). *Cah. biol. Mar.* I (5) : 51-66.
- GLEMAREC, M., 1968. Distinction des deux Mactridae des côtes atlantiques européennes. *Spisula solida* - (Linne) *Spisula ovalis* - (Sowerby). *Cah. biol. Mar.* IX 2 : 167-174.
- GONZALEZ, J.G., 1974. Critical thermal maxima and upper lethal temperatures for the calanoid copepods *Acartia tonsa* and *clausi*. *Marine Biology* 27 : 219-223.
- GRALL, J.R., 1972. Recherches quantitatives sur la production primaire du phytoplancton dans les parages de Roscoff. Thèse de Doc. d'Etat ès Sc. Nat. Paris VIème. CNRS A.O. 6556.: 261 p.
- GRAN, H.H., et E.C. ANGST, 1930. Plankton Diatoms of Puget Sound. *Pub. Puget Sound Biol. Sta.* Vol. 7 : 417-516.
- GRIFFITH, J.C., 1967. Scientific method in analysis of sediment. *Ed. Mac. Grans Hill.* : 510 p.
- GUERIN, J.P., 1970. Etude expérimentale de l'établissement d'un peuplement de substrat meuble à partir de larves méroplantoniques. *Cah. biol. Mar.* XI (2) : 167-186.
- GUILLE, A., 1970. Bionomie benthique de la côte catalane française. II. Les communautés de la macrofaune. *Vie et Milieu*. XXI.B (1) : 149-280.
- GUILLE, A., 1971 (a). Bionomie benthique de la côte catalane française. IV. Densités, biomasses et variations saisonnières de la macrofaune. *Vie et Milieu*. XXII (1) : 93-158.
- GUILLE, A., 1971 (b). Bionomie benthique de la côte catalane française. VI. Données autoécologiques (macrofaune). *Vie et Milieu*, ser. B. XXII (3 B) : 469-528.
- GUILLE, A. et J. SOYER, 1968. La faune benthique des substrats meubles de Banyuls-sur-Mer. Premières données qualitatives et quantitatives. *Vie et Milieu*. XIX (2 B) : 323-359.
- HAMBURGER, Cl. et VON BUDDENBROCK-HEIDELBERG, 1929. Nordische ciliata. Nordisches plankton. Zoologischer teil VII. Protozoa (XIII) Verlag von Lipsius et Tischer. Kiel et Leipzig.: 152 p.
- HANNERZ, L., 1956. Larval development of Polychaete families of Spionidae, Diomidae and Poecilochaetidae in Gullmar Fjord. Sweden, *Zoologiska Bidrag. Uppsala*, Bd 31 : 1-200.

- HAQ, S.M., 1972. Breeding of *Euterpina acutifrons* a harpacticoid copepod with special reference to dimorphic males. *Marine Biology*. 15 : 221-235.
- HECQ, J.H., 1971. Recherches sur le cycle annuel du zooplancton à Boulogne-sur-Mer Mémoire de Lic. Sc. Zool. Univers. de Liège : 71 p.
- HENDEY, N.I., 1964. An introductory account of the smaller algae of British coastal waters. Part. V. Bacillasiophyceae (Diatoms) *Fish. Invest.* Lond. Ser. 4 p. 1-45.
- HOUVENAGHEL, G.T., 1975. Contribution à la connaissance de la distribution des sels nutritifs en baie de Morlaix (Finistère, France). Mise en évidence du rôle des algues benthiques. *Hydrologia*. Vol. 47 (1) : 13-29.
- HOUVENAGHEL, G., J. STEYAERT et C. VAN BEVEREN, 1971. First trophic level. Analysis of photosynthetic pigments and phytoplankton. Modèle mathématique. Rapport de synthèse I. Prog. nation. sur l'environnement physique et bibl. Pollution des eaux. Projet mer. : 151-161.
- HUGHES, T.G., 1975. The sorting of food particles by *Abra* sp. (Bivalvia : tellinacea) *J. exp. Mar. Biol. ecol.* 20 : 137-156.
- INGLE, R.W., 1963. *Corophium multisetosum* stock a crustacean Amphipod new to Great Britain, with notes on the distribution of *C. volutator* (Pallas) and *Corophium arenarium* (CRAWFORD). *Annals and Magazines of Nat. Hist.* 13 (6) : 449-460.
- JEFFRIES, H.P., 1967. Saturation of estuarine zooplankton by congeneric associates In G.H. Lauff (Ed) Estuaries, *Am. Ass. Adv. Sci.* 83 : 500-508.
- JEAGER, P., 1971. Charriage de fond in modèle mathématique. Rapport de synthèse (I) Projet mer. ETABETYP. Liège : 4 p.
- JONES, D.A., 1970. Population densities and breeding in *Eurydice pulchra* and *Eurydice affinis* in Britain. *J. Mar. biol. Ass. U.K.* 50 (3) : 635-655.
- JONES, N.S., 1950. Marine bottom community. *Biol. Rev.* 25 (3) : 283-313.
- JO PODAMO, 1973. Aspects of dynamic biology in the southerne Bight of the North Sea and the sluice Dock at Ostend. Mathematical model, Annual Report III Chp. VI-I Belgian national R-D. Programm of the environment. Water sea project : 170 p.
- KENCHINGTON, R.A., 1970. An investigation of the detritus in Menai Straits plankton sampler. *J. Mar. biol. Ass. U.K.* Vol. 50 (2) : 489-498.
- KING, P.E., 1974. British sea spiders. Synopses of the british fauna. 5. Academic press London. : 68 p.
- KOEHLER, R. , 1921. Faune de France 1. Echinodermes. Paris : 210 p.
- KRAMP; P.L., 1927. The hydromedusae of the Atlantic Ocean and adjacent waters. Dana report n° 46.
- LEBOUR, M., 1919. The food of post-larval fish. II (1918). *J. Mar. biol. Ass. U.K.* Vol. 12 : 22-47.

- LE FEVRE, J. 1971. Evaluation des caractéristiques d'emploi d'un échantillonneur de plancton haute vitesse - suivie d'application à l'étude du zooplancton de la pointe de Bretagne. Thèse 3ème Cycle. Univ. Paris VI. 179 p.
- LE FEVRE-LEHOERFF, G., 1972. Populations planctoniques d'un estuaire à marée : la rivière de Morlaix - leurs relations avec les conditions hydrologiques. Thèse de 3e cycle, Univ. Paris VI : 212 p.
- LE FEVRE-LEHOERFF, G. 1974. Variabilité de l'indice de diversité spécifique des copépodes dans un estuaire à marée (baie de Morlaix). Sa signification écologique. Ann. Inst. Océanog. Paris 50 : 59-66.
- LORENZEN, C.J., 1967. Détermination des phéopigments. Limnology and oceanography Vol. 12 n°2.
- LOUIS, A., et R. CLARYSSE, 1971. Contribution à la connaissance du phytoplancton de l'Atlantique Nord-Est et de la Mer du Nord. *Biologisk Jaarboek. Dodonaea*. t. 39 : 261-337.
- Mc KUSKY, DONALD, S. 1970. Salinity preference in *Corophium volutator*. *J. Mar. biol. Ass. U.K.* 50 (3) : 747-752.
- MARGALEF, R. 1974. Ecologia. Ed. Omega Barcelona : 951 p.
- MASSE, H., 1968. Sur la productivité des peuplements marins benthiques. *Cib. biol. mar.* IX : 363-372.
- MASSUTI, M. et R. MARGALEF, 1950. Introducción al estudio del plancton marino. Consejo sup. de Invest. científicas secc. *Biól. Mar. Barcelona* : 182 p.
- MEADOWS, P.S., 1964. Substrate selection by *Corophium* species : the particle size of substrate. *J. of animal ecology*. 33 (3) : 387-394.
- MOMMAERTS, J.P., 1973. The relative importance of nanoplankton in the North Sea. Primary production. *Br. phycol.* I. 8 : 13-20.
- MOMMAERTS, J.P., 1973. On primary production in the South Bight of the North Sea. *Br. phycol. J.* 8 : 217-231.
- MOTODA, S., 1959. Devices of sample plankton apparatus. *Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 7 : 73-94.
- MUUS, K., 1973. Settling, growth and mortality of young bivalves in the presund. *Ophelia* 12 : 79-116.
- NAYLOR, E., 1972. British marine Isopods. Synopses of the British fauna. 2 : 86 p. Academic Press London and New York.
- NIELL, X., 1974. Les applications de l'indice de Shannon à l'étude de la végétation intertidale. *Soc. phycol. France.* 19 : 238-254.
- BERG, M., 1906. Die Metarmorphose der Plankton Copepoden der kieler Bucht. *Wiss. Meeresuntersuch. Kiel* 9 : 37-103 pls 1.7.
- PERAGALLO, H. et M., 1897-1908. Diatomées marines de France et des districts maritimes voisins. Atlas M.J. Tempère, Grez-sur-Loing (S. et M.) 137 pl.

- PERRIER, R., 1964. Faune de France 2. Arachnides et crustacés. Libr. Delagrave. Ed. Paris : 220 p.
- PERRIER, R., 1964. Faune de France 10. Vertébrés. Libr. Delagrave, Ed. Paris 214 p.
- PETERSEN, J., 1918. The sea bottom and its production of fish good. *Rep. Dan. Biol. Stat.* 25 : 1-62.
- PRENANT, M., 1963. Etudes écologiques sur les sables intercotidaux. II. Distribution des granulométries sur les plages bretonnes exposées au large. *Cah. biol. mar.* IV (4) : 353-397.
- PRENANT, M., et G. BOBIN, 1956 . Faune de France. 60. Bryozoaires (1ère partie) Paris : 398 p.
- PRENANT, M., et G. BOBIN, 1966. Faune de France. 68. Bryozoaires (2ème partie) Partie : 468 p.
- RAZOULS, C., 1963. Etude qualitative et quantitative des copépodes planctoniques côtiers de Roscoff. Thèse 3ème Cycle. Fac. Sc. Paris : 63 p.
- RAZOULS, C., 1972. Estimation de la production secondaire (copépodes pélagiques) dans une province médi erranéenne (golfe du Lion). Thèse de Doct. d'Etat Univ. Paris VI. : 301 p.
- RENFRO, W.C., 1973. La radioactivité dans les chaînes alimentaires marines. *Bull. Ag. Int. de l'En. atom.* 15 (4) : 37-40.
- RETIERE, C., 1967. Place du spionidien *Nerine cirratulus* (Delle chiaje) dans les sables médiolittoraux de la plage de Lancieux (Côtes-du-Nord). Interactions alimentaires des différentes espèces du groupement annélidien. *Bull. soc. Sc. Bretagne* XLII (1-2) : 39-48.
- RETIERE, C., 1975. Distribution des peuplements benthiques des fonds meubles du golfe normanno-breton. Note C.R. Ac. Sc. Paris 280 p : 697-699.
- RICHARD, A., 1971. Contribution à l'étude expérimentale de la croissance et de la maturation sexuelle de *Sepia officinalis* L. (Mollusque cephelopode). Thèse Doct. Et. Univer. Sc. Tech. Lille : 305 p.
- RUSSELL, F.S., 1953. The medusae of the British Isles. University Press of Cambridge.
- SALVAT, B., 1962. Faune des sédiments meubles intertidaux du bassin d'Arcachon. Systématique et écologie. *Cah. biol. Mar.* 3 (3) : 219-244.
- SALVAT, B., 1966. *Eurydice pulchra* (Leach 1815), *Eurydice affinis* (Hansen 1905). Isopodes cirrolanidae. Taxonomie, éthologie, écologie, répartition verticale et cycle reproducteur. *Act. Soc. Linn. Bordeaux.* 103 (A) : 1-77.
- SAUNDERS, R.P. and D.A. GLENN, 1969. Diatoms. Memoirs of the Hourglass cruises. Vol. I. Part. III. Marine Research Laboratory, Depart. of Nat. Ress. Florida.
- SHANNON, C.E., 1948. A mathematical theory of communication. *Bull. Syst. Techn.* J. 27 : 379-423.

- STEEMANN, NIELSEN, E., 1952. The use of radioactive carbon for measuring organic production in the sea. *J. Cons. Intern. Explor. mer.* 18 (2).
- STEEMAN, NIELSEN et E. AABYE JENSEN, 1957. Primary oceanic production. The autotrophic production of organic matter in the oceans. *Gaetea report.* 1 49-136.
- STEINDINGER, K.A. et J. WILLIAMS, 1970. Dinoflagellates. *Memoirs of the Hourglass cruises. Marine Research Laboratory. Depart. of Nat. Ress. Florida. Vol. II.* 206 p. 45 pl.
- STEPHENSON, K., 1940. Amphipoda in GRIMPE und WAGLER Tier welt der Nord und Ost see. 10. *Akademische Verlag.* Leipzig : 188 p.
- STEYAERT-PLANCKE, J. et C. LANCELOT-VAN BEVEREN, 1973. Study of photosynthetic pigments, particulate organic matter and phytoplankton within the area delimited by the mathematical model North Sea. *Math. mod. Annual report III. Chp. VII.* 1 Belgium national R.D. program on the environment water sea project : 46 p.
- STOCK, J.H., 1952. Some notes on the taxonomy, the distribution and the ecology of four species of the Amphipod genus *Corophium* (Crustacea, Malacostracea). *Zool. Mus. Amsterdam* 21.
- STRIDE and CARTWRIGHT, 1958. The dock and Harbour Authority, 447. XXXVIII : 323-324.
- SYKES, I.B. et A.D. BONEY, 1970. Seasonal variations in inorganic phytoplankton nutrients in the inshore waters of Cardigan Bay. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* Vol. 50 (3) : 819-828.
- TATTERSALL, W.M. and O.S., 1951. The british Mysidacea. Ray Society Ed. London 460 p.
- TEBBLE, N., 1966. British bivalves Seashells. Ed. British Museum : 212 p.
- THORSON, G., 1946. Reproduction and larval development of danish marine bottom invertebrates. *Medd. fra. Komm. Havund. Ser. Plankton* Vol. 4 n° 1.
- TOULEMONT, A., 1972. Influence de la nature granulométrique des sédiments sur les structures benthiques (baie de Douarnenez et d'Audierne - Ouest Finistère) . *Cah. biol. Mar.* XIII (1) : 91-136.
- TREGUER, P. et P. LE CORRE, 1974. Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer (utilisation de l'autoanalyser II. Technicon). Laborat. Ocean. chim. Univ. Bret. Occ., Brest.
- TRIQUET, C., 1970. Premières observations sur la contamination par le Cs 137. chez l'annélide polychète. *Arenicola marina* (L.) (Note). *Compte-rendu Soc. Biol.* 164 (7) : 3 p.
- TURQUIER, Y., 1965. A propos des *Corophium* (Crustacea, Amphipoda) des côtes françaises de la Manche. *Bull. Soc. Linnéene Norm.* 10 (6) : 133-139.
- URRY, D.L., 1965. Observations on the relationship between the food and survival of *Pseudocalanus elongatus* in the laboratory. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 45 : 49-58.
- VAN HEURCK, H., 1896. A treatise on the Diatomaceae. W. Wesley and Son, London, 558 p 35 pl.

- WEYMOUTH et *al.*, 1931. Latitude and relative growth in the razor clam *siliqua patula*. *J. exp. biol.* 8 : 228-249.
- WIEBE, P.H., 1972. A field investigation of the relationship between length of tow, size of net and sampling error. *J. Cons. Inter. explor. mer.* 34, n° 2 : 268-275.
- WIEBE, P.H. et W.R. HOLLAND, 1968. Plankton patchiness : effects on repeated net tows. *Limnol. oceanogr.* 13 : 315-321.
- WYATT, T., 1974. The biology of *Oikopleura dioica* and *Fritillaria borealis* in the Southern Bight. *Marine Biology* 22, 137.
- ZARIQUIEY-ALVAREZ, 1968. Crustaceos decapodos ibericos. Investigacion pesquera 32 510 p. Barcelona.