

IFREMER
 Centre de BREST
 S.D.P.
 B.P. 70
 29280 PLOUZANE
 Tél. : 98.22.40.40
 Télex 940 627

DIRECTION ENVIRONNEMENT
 ET RECHERCHES OCEANIQUES

DEPARTEMENT ENVIRONNEMENT LITTORAL

<u>AUTEUR(S)</u> : Hydrologie : C. MAILLARD-QUISTOUDT, N. DEGROS, M.A. JANQUIN - Microbiologie : E. et R. DELESMONT - Phytoplancton : H. GROSSEL - Zooplancton et Noctiluques : G. LE FEVRE-LEHOERFF - Halieutique : D. WOEHLING, J. MARTIN, A. TETARD - Benthos : J.M. DEWARUMEZ, D. MENU.		CODE : N° DERO-88.17-EL
<u>TITRE</u> SURVEILLANCE ECOLOGIQUE ET HALIEUTIQUE DU SITE DE GRAVELINES (Novembre 1986 - Octobre 1987).		Date : Avril 1988 Tirage nb : 60 Nb pages : 156 Nb figures : Nb photos :
CONTRAT (intitulé) N° 8 C 70356		DIFFUSION Libre <input checked="" type="checkbox"/> Restreinte <input type="checkbox"/> Confidentielle <input type="checkbox"/>

<u>RESUME</u> La nouvelle stratégie mise en place au cours de la 9ème période de surveillance de Gravelines consiste à abandonner l'étude temporelle caractérisée par un grand nombre de campagnes pour privilégier les variations spatiales, pour trois situations annuelles printanière, estivale et automnale, afin de comparer l'ensemble des paramètres aux quatre stations entrée de centrale, rejet, point impacté à $\Delta T = + 3^{\circ}C$ et point de référence $\Delta T = 0^{\circ}C$ (hors impact). Les domaines d'études sont : la climatologie, le fonctionnement de la centrale, l'hydrologie, la microbiologie, le plancton, l'halieutique, le benthos. Dans tous les domaines l'effort est mis sur les estimations de déficit de biomasses au rejet d'une part et les compétitions intraspécifiques quand le milieu évolue d'autre part.
Mots-clés : Gravelines - Centrale nucléaire - Ecologie - Milieu marin.
Key words : Gravelines - Nuclear power plant - Ecology - Marine environment.



Ifremer Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer

LISTE DES AUTEURS REDACTEURS

Climatologie - Fonctionnement de la centrale - Hydrobiologie

Physico-chimie

Chantal MAILLARD-QUISTHOUDT (1) Nicole DEGROS (1)
Marie-Andrée JANQUIN (1) et Dominique MENU (1)

Microbiologie

Edith et Régis DELESMONT (2) et Jean-Marie DELATTRE (2)

Phytoplancton et production primaire

Hubert GROSSEL (3)

Noctiluques et zooplancton

Geneviève LE FEVRE-LEHOËRFF (4)

Halieutique

Daniel WOEHLING (5) Jocelyne MARTIN (5) et Alain TETARD (6)

Benthos intertidal

Jean-Marie DEWARUMEZ (1) et Dominique MENU (1)

Benthos subtidal

Jean-Luc BOURGAIN (1)

Contrat 8 C 70356

-
- (1) Station Marine de Wimereux
 - (2) Institut Pasteur de Lille
 - (3) IFREMER Boulogne
 - (4) IFREMER Brest
 - (5) IFREMER Nantes
 - (6) IFREMER Ouistreham.

I N T R O D U C T I O N

Le présent rapport de travail présente les résultats obtenus pour la période de novembre 1986 à octobre 1987 devant la centrale de Gravelines et correspond au 9ème rapport de surveillance.

La surveillance écologique du site consiste à observer, en liaison avec les variations naturelles et celles dues au fonctionnement de la centrale, le milieu physique et biologique. Nous nous sommes attachés à déceler les changements qui peuvent intervenir dans la qualité et la biomasse des écosystèmes.

Une nouvelle stratégie d'échantillonnage a débuté en septembre 1986. Elle consiste pour trois situations annuelles, printanière, estivale et automnale, à comparer les quatre stations, entrée de centrale, rejet, la zone impactée à $\Delta T = + 3^{\circ} \pm 1^{\circ}$ et la zone hors impact de référence.

Nous avons réuni les résultats concernant les différentes études biologiques : planctonique, halieutique et benthique. L'ensemble des travaux traite des domaines suivants :

- Climatologie et fonctionnement de la centrale.
- Hydrobiologie et paramètres physico-chimiques.
- Microbiologie.
- Phytoplancton et production primaire.
- Zooplancton.
- Halieutique.
- Benthos intertidal et subtidal.

Les différents laboratoires ayant contribué à ce travail sont les laboratoires IFREMER de Brest, Nantes, Ouistreham, Boulogne, la Station Marine de Wimereux et l'Institut Pasteur de Lille (laboratoire de Gravelines).

Les données concernant le fonctionnement de la centrale ont été communiquées par la Sous-unité Technique de Gravelines.

La responsabilité de mise en forme du rapport et la coordination a été assurée à Brest et confiée à Geneviève LE FEVRE-LEHOËRFF.

CHAPITRE I

CLIMATOLOGIE - FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE

Avec l'aide technique de :
Chantal MAILLARD-QUISTHOUDT
Nicole DEGROS
Marie-Andrée JANQUIN
Dominique MENU

CARACTERES GENERAUX DU SITE

I - BILAN CLIMATOLOGIQUE DU CYCLE ETUDIE

Le littoral Nord-Pas-de-Calais se caractérise par un climat océanique tempéré. Les masses d'eau côtières présentent une faible inertie vis-à-vis des variations climatiques. Nous avons représenté, figure I.1, deux paramètres représentatifs des conditions climatiques locales : température de l'air et précipitations, relevées au sémaphore de Dunkerque et fournies par la station météorologique de Dunkerque.

La température de l'air varie selon une courbe d'allure sinusoïdale, maximale en été ($> 19^{\circ}\text{C}$ en août) et minimale en hiver ($< - 5^{\circ}\text{C}$ en janvier) : la période hivernale a été rigoureuse et s'est prolongée jusque fin mars ; le réchauffement printanier a débuté dès le mois d'avril. En ce qui concerne les précipitations, le profil obtenu est en dents de scie, et permet de relever des périodes particulièrement pluvieuses : fin mars, mai, juin et septembre ; soit pour résumer, un printemps et un début d'automne, caractérisés par des précipitations abondantes. L'étude de la pluviosité présente un intérêt quant aux interprétations des variations éventuelles de la salinité et des apports telluriques. Les valeurs relevées cette année sont supérieures à celles obtenues l'année précédente.

II - LES APPORTS D'EAUX DESSALEES AU MILIEU MARIN

Le site de Gravelines est caractérisé par un certain nombre d'apports continentaux dont il ne faut pas négliger l'existence :

- les eaux de ruissellement,
- les résurgences de la nappe phréatique
- l'Aa.

Ce dernier est un fleuve côtier qui draine les eaux d'une partie de l'arrière pays et débouche à Grand-Fort-Philippe. Son débit retrace l'évolution climatologique de la région. Nous avons représenté sur la figure I.2 les débits approximatifs des rejets de l'Aa (exprimés en fonction du nombre de vannes ouvertes à l'écluse de Gravelines, données fournies par le service Maritime Nord du Port de Gravelines). Si l'on reporte les dates de campagnes sur le profil, on s'aperçoit que, mi-avril (le 16 exactement) les précipitations étaient peu abondantes, parallèlement le débit de l'Aa est en baisse, début juillet (le 1er), le

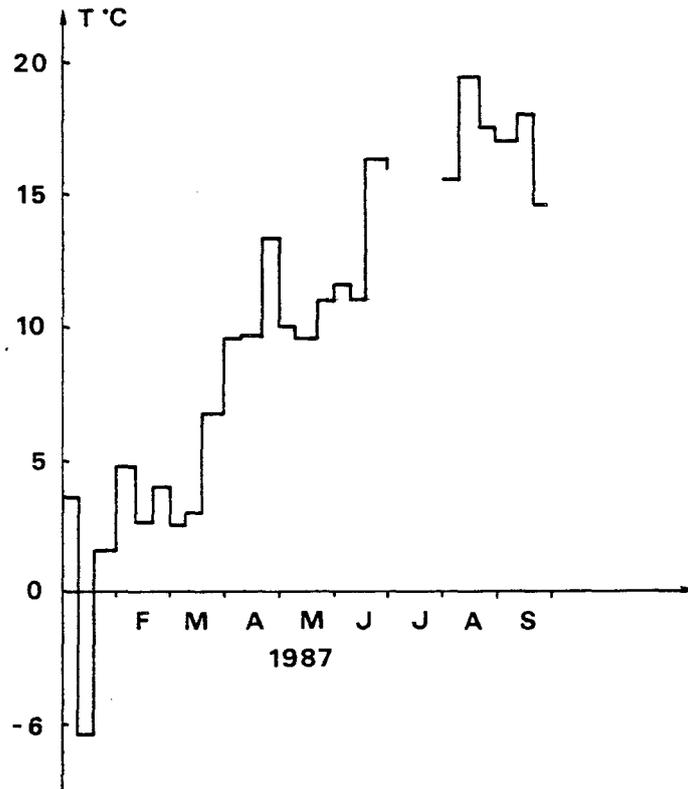


FIG.I1a : TEMPERATURES DE L'AIR RELEVÉES
AU SEMAPHORE DE DUNKERQUE
(moyenne par décade)

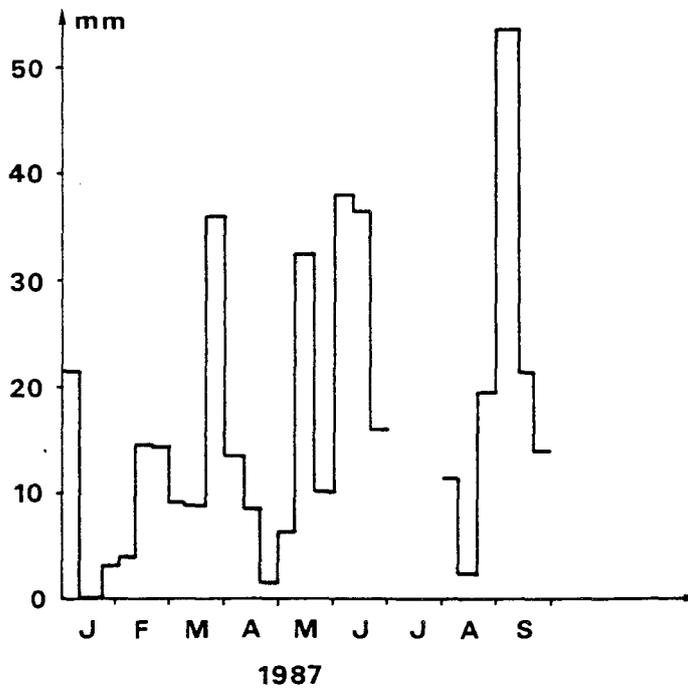
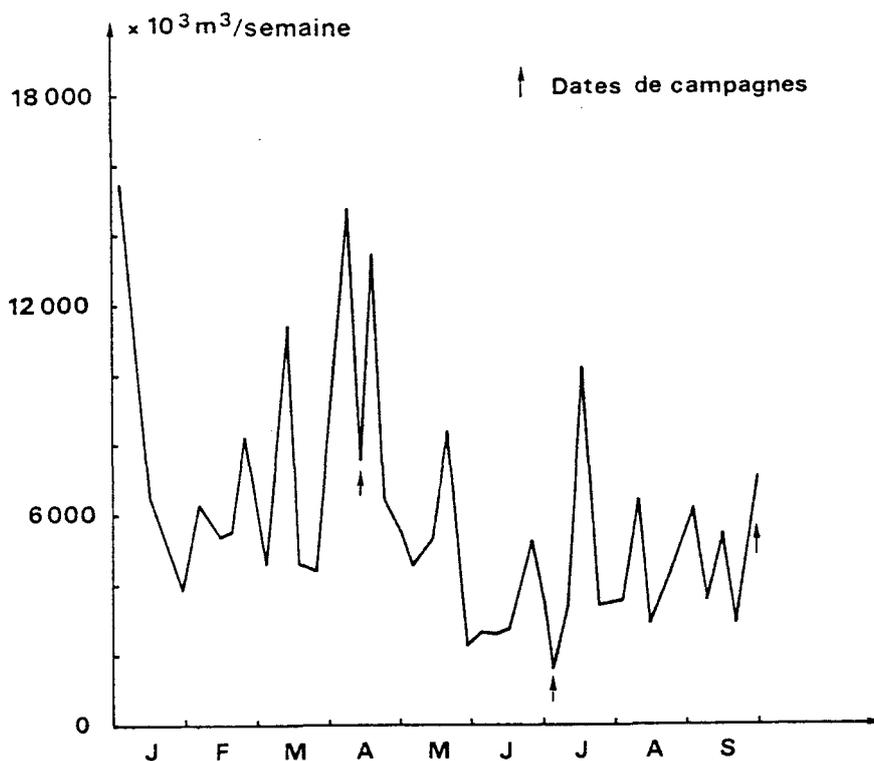
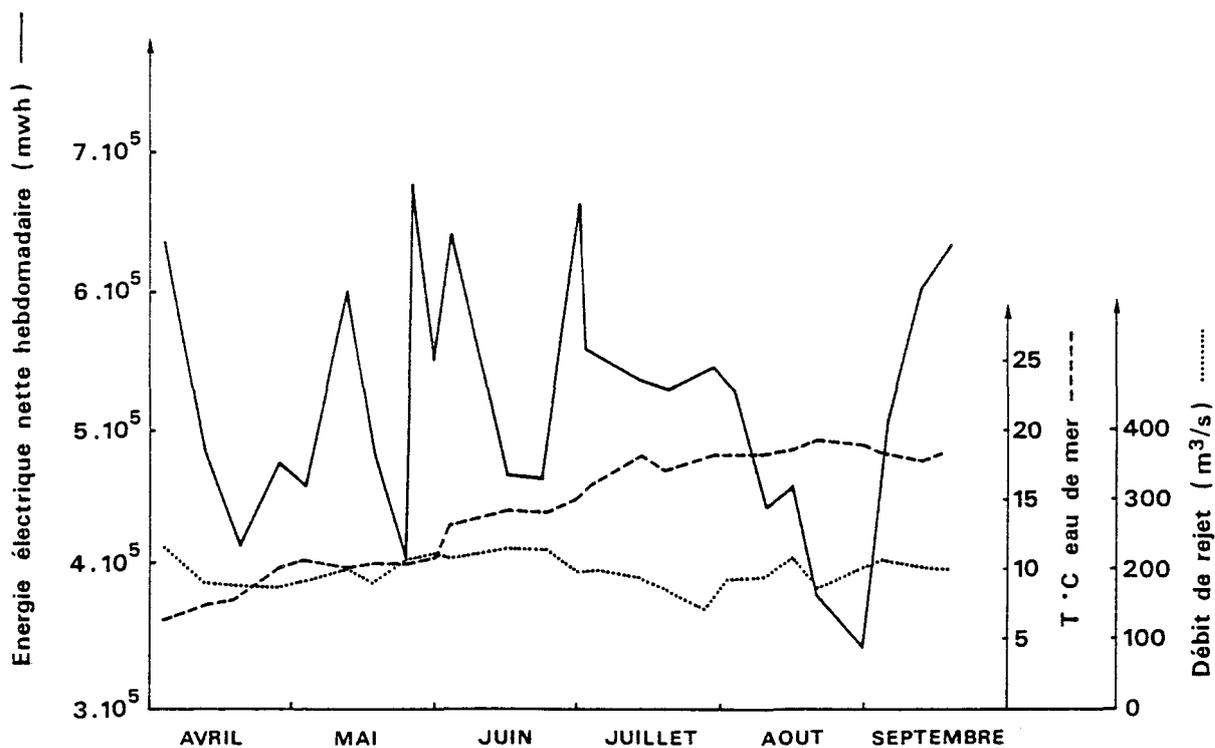


FIG.I1b : PRECIPITATIONS RELEVÉES
AU SEMAPHORE DE DUNKERQUE
(moyenne par décade)



FIGI 2 : DEBITS DES REJETS DE L'AA

(en fonction du nombre de vannes ouvertes
à l'écluse de Gravelines . débits hebdomadaires)



FIGI 3: ACTIVITE DE LA CENTRALE NUCLEAIRE DE GRAVELINES

débit est également peu élevé par contre, lors de la campagne du 23 septembre, le débit était supérieur, dû à des précipitations plus abondantes.

III - FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE NUCLEAIRE

L'activité de la centrale est en progression régulière depuis quelques années. La puissance hebdomadaire minimale délivrée était de :

1300 MW/h (soit 218 400 MWh) en 1984

2800 MW/h (soit 470 400 MWh) en 1985

2934 MW/h (soit 492 934 MWh) en 1986

et atteint en 1987, 343 226 MWh.

De même, la puissance hebdomadaire maximale est passée de :

3600 MW/h (soit 604 800 MWh) en 1984, à

5150 MW/h (soit 865 200 MWh) en 1985, puis

5576 MW/h (soit 936 869 MWh) en 1986

et atteint actuellement, 878 910 MWh en 1987.

La figure I.3 retrace l'activité de la centrale durant le cycle d'étude.

IV - HYDROGRAPHIE

La région Nord - Pas-de-Calais est soumise à une onde de marée de type semi-diurne, dissymétrique : le montant est plus court que le perdant d'environ deux heures, quel que soit le coefficient de marée.

Le marnage est légèrement plus important à Gravelines par rapport à Dunkerque : 0,20 m à 0,30 m suivant les conditions de morte-eau ou de vive-eau). La pleine mer arrive à Gravelines environ, 10 minutes avant Dunkerque. Les courants de marées sont alternatifs et parallèles à la côte (SHOM, 1968). Ce régime courantologique du Pas-de-Calais entraîne l'existence d'un courant général résiduel portant au N.E. dont la vitesse atteint 2,7 milles par jour. Mais la force et la direction des vents peuvent modifier le régime courantologique et même créer un courant portant dans la même direction que le vent à 30 ou 45° près.

Nous avons donc essayé de travailler en nous plaçant dans des conditions courantologiques identiques, soit, en fin de jusant.

CHAPITRE II

HYDROBIOLOGIE - PHYSICO-CHIMIE

Avec l'aide technique de :
Chantal MAILLARD-QUISTHOUDT
Nicole DEGROS
Marie-Andrée JANQUIN
Dominique MENU

HYDROBIOLOGIE

I - PRESENTATION DES CAMPAGNESI.1. Stratégie d'échantillonnage

Suite au dernier arrêté préfectoral, nous avons appliqué la stratégie d'échantillonnage, déjà mise en oeuvre lors de la dernière mission en 1986. Nous avons donc procédé ainsi :

- localisation : deux stations fixes géographiquement ("canal d'amenée" et "canal" de "rejet") et deux stations variables géographiquement, déterminées par la température (point "contrôle" pour $\Delta t = + 3$ à $+4^{\circ}\text{C}$ et point "référence" pour $\Delta t = 0^{\circ}\text{C}$).

- fréquence : trois campagnes par an (avril - mai-juin - septembre).

- paramètres : (voir matériels et méthodes).

I.2. Calendrier des campagnes

Le calendrier des missions figure ci-dessous

Date	Stations d'échantillonnage						Coefficient de marée	Heure de la P.M. (TU + 1)
	Contrôle		Référence		Canal amenée	Canal rejet		
	Heure	Prélèvement	Heure	Prélèvement				
16.4.87	11h50	0 m - 6 m	10h10	0 m - 10 m - 20 m	-	-	96	14 h 12
1.7.87	21h34	0 m - 7 m	20h15	0 m - 10 m - 20 m	17h30	18h45	60	15 h 59
23.9.87	10h00	0 m - 7 m	9h05	0 m - 7 m - 14 m	11h30	12h15	90	13 h 07

Comme le stipule l'arrêté préfectoral, trois campagnes ont été réalisées : avril, juillet et septembre.

I.3. Fonctionnement de la centrale lors des mesures

Le débit des pompes de refroidissement est en principe identique, constant et lié à la puissance moyenne de la centrale ; il doit traduire l'échauffement subi par l'eau du canal circulant dans le circuit de refroidissement.

Ci-dessous figure le régime de fonctionnement de la centrale les veilles et jours de campagnes :

Dates	Energie électrique -MW/h (moyenne)	Nombre de pompes du circuit de refroidissement en circulation	Nombre de tranches soumises à l'électrochloration
15.4.87	2800	9	0
16.4.87	2500	8 1/2	0
30.6.87	3400	10	5
1.7.87	2900	10	5
22.9.87	3800	11	5 1/2
23.9.87	3700	11	6

II - MATERIELS ET METHODES

Prélèvements, mesures et analyses sont effectués selon les techniques océanographiques exposées dans l'annexe technique (DEGROS, 1985) en respectant les spécificités techniques relatives à chaque paramètre hydrobiologique étudié.

Les campagnes de prélèvements sont effectuées à bord du N/O SEPIA II, les échantillons sont prélevés à l'aide de bouteilles de type Niskin et leur traitement est immédiat. Les prélèvements "à terre" sont possibles grâce à l'utilisation d'une camionnette.

Suivant la nouvelle stratégie, seuls quelques paramètres sont analysés :

- température
- salinité ("points contrôle" et "référence")
- oxygène dissous (point de "contrôle" prélèvement du fond)
- NH_4^+ , ($\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$)

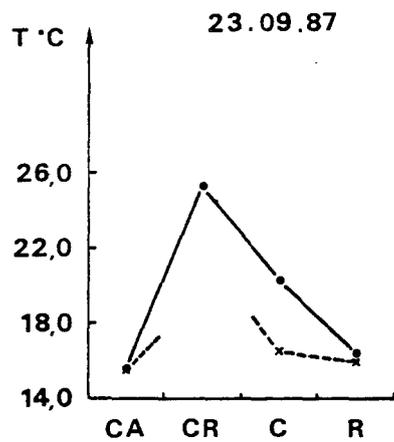
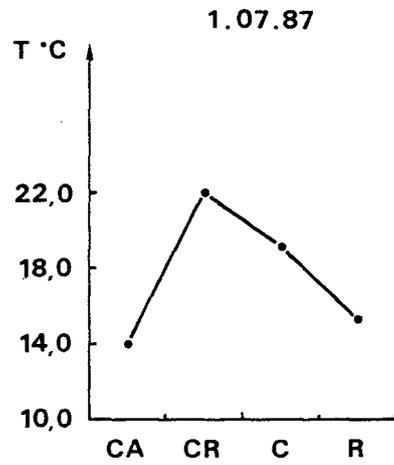
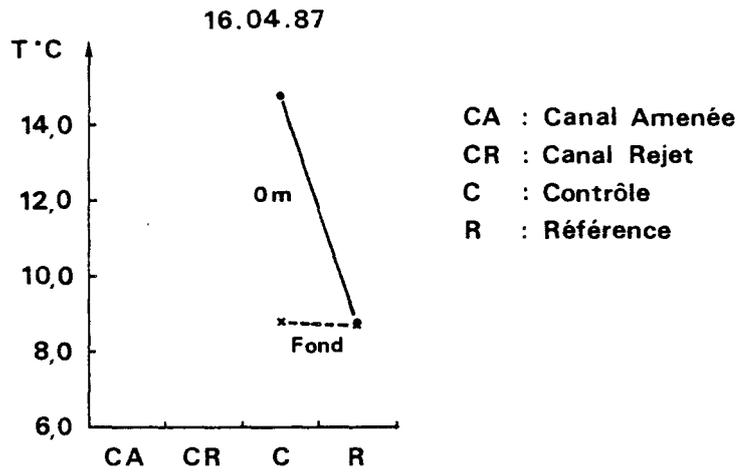


FIG.I4: VARIATIONS THERMIQUES SPATIALES PAR CAMPAGNE

III - VARIATIONS DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

III.1. La température

a. Les variations temporelles de la masse d'eau

Vu l'absence de suivi mensuel, il ne nous est pas possible d'étudier l'évolution naturelle de la masse d'eau au cours d'un cycle annuel.

Nos résultats figurent ci-dessous :

Dates	Stations	Niveaux	Températures
16.04.87	Référence	0 m	8,78°C
		- 10 m	8,77°C
		- 20 m (fond)	8,76°C
	Contrôle	0 m	14,80°C
- 6 m (fond)		8,87°C	
1.07.87	Référence	0 m	15,70°C
		- 10 m	-
		- 20 m (fond)	-
	Contrôle	0 m	19,50°C
		- 7 m (fond)	-
	Canal d'amenée	-	13,90°C
Canal de rejet	-	22,00°C	
23.09.87	Référence	0 m	16,24°C
		- 7 m	16,08°C
		- 14 m (fond)	16,18°C
	Contrôle	0 m	20,77°C
		- 7 m	16,74°C
	Canal d'amenée	-	15,60°C
Canal de rejet	-	25,50°C	

Ces résultats concordent avec ceux obtenus les années précédentes, soit un réchauffement printanier qui atteint son maximum thermique en fin d'été : 16,24°C en surface au mois de septembre au point dit de "référence". Si l'on compare ce résultat à celui obtenu à la même période en 1986, on s'aperçoit que la masse d'eau a subi un échauffement beaucoup plus marqué puisque nous n'avions que 14,98°C l'an dernier. Les variations temporelles de la température entre les mission 1 et 3 existent quelque soit la masse d'eau considérée ("référence", point "contrôle" au "canal d'amenée" et de "rejet").

b. Les variations thermiques spatiales lors de chaque campagne (Fig. I.4)

Les profils obtenus (Fig. I.4), retracent l'évolution d'une masse

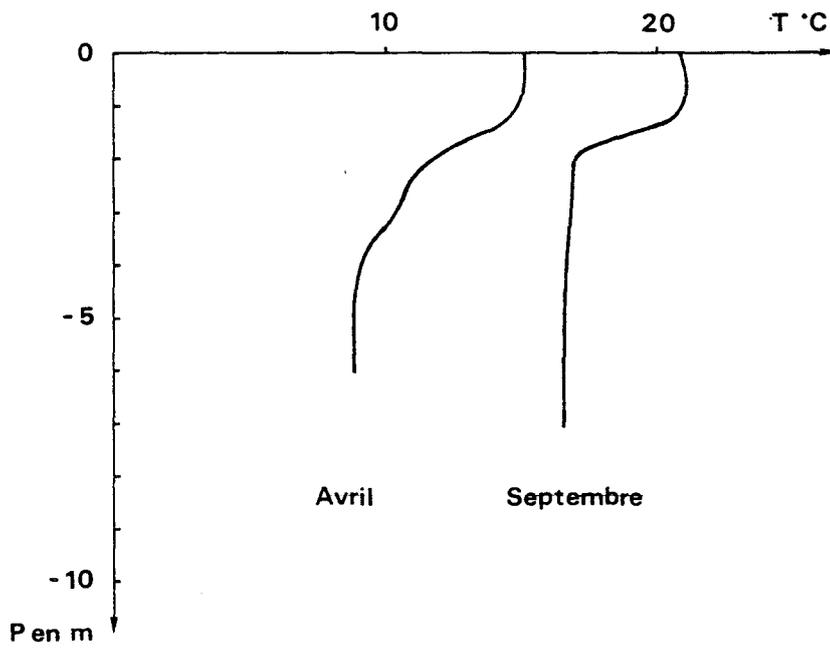


FIG.I5a : PROFILS THERMIQUES VERTICAUX :
POINT CONTROLE

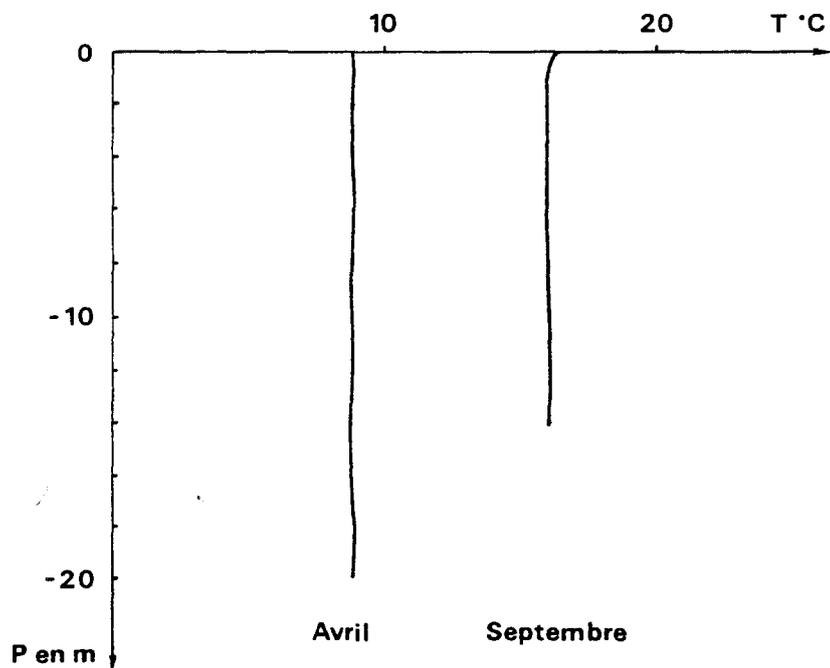


FIG.I5b : PROFILS THERMIQUES VERTICAUX :
POINT REFERENCE

d'eau depuis le "canal d'amenée", son passage par la centrale jusqu'au large (point "référence"), en passant par le "canal de rejet" et la station de "contrôle".

Quelle que soit la campagne, les eaux de surface se comportent de la même façon : on observe une élévation importante de la température au "canal de rejet" puis au fur et à mesure de la dilution dans le milieu marin, la température diminue et tend, au point "référence", à se rapprocher de celle relevée à la station "canal d'amenée".

Les valeurs observées dans la masse d'eau du fond sont proches par les deux stations de prélèvements situées en mer : ce qui nous amène à penser que seule la couche superficielle est affectée par le phénomène d'échauffement dû à l'activité de la centrale. Ces observations sont confirmées par les résultats présentés ci-dessous.

c. Etude des profils verticaux

Comme les années précédentes nous avons réalisé des profils verticaux à la sonde. Les profils obtenus sont d'allure semblable à ceux tracés les années précédentes : ils confirment l'existence d'une stratification thermique verticale laissant apparaître une microthermocline (Fig. I.5) au point de "contrôle". Seule la couche superficielle est affectée par l'échauffement provoqué par l'activité de la centrale (les deux premiers mètres de la colonne d'eau). Au point "référence", nous constatons l'homogénéité thermique de toute la colonne d'eau.

d. Etude des Δt "canal d'amenée" - "canal de rejet"

Conformément aux observations antérieures, l'impact de la centrale est très marqué au niveau du rejet lui-même puisque nous y avons relevé des variations de température particulièrement élevées :

$\Delta t = + 8,1^{\circ}\text{C}$ en juillet (surface)

$\Delta t = + 9,9^{\circ}\text{C}$ en septembre (surface)

Ces valeurs de Δt diminuent rapidement lorsque l'on s'éloigne du trait de côte [environ 3 ou 4°C au point de "contrôle" (station géographiquement variable à $\Delta t \approx 3^{\circ}\text{C}$), insignifiant au niveau du point de "référence"]

III.2. La salinité

Les résultats concernant la salinité figurent dans le tableau ci-dessous.

Dates	Niveaux	S ^{°/∞∞} point de référence	S ^{°/∞∞} point contrôle
16.04.87	surface	34,230 ‰	34,08
			34,08
	fond		34,11
			34,11
1.07.87	surface	34,070 ‰	33,37
			33,36
	fond		34,02
			34,03
23.09.87	surface	33,980 ‰	33,93
			33,92
	fond		33,93
			33,91

Il a déjà été montré lors d'études antérieures que les variations de salinité reflètent les changements météorologiques notamment dans la zone côtière, particulièrement influencée par la présence de l'Aa. Nos résultats font apparaître que le point de "référence" semble déjà moins influencé par les apports littoraux puisque les valeurs de salinité sont toujours supérieures à celles de la station de "contrôle" (en ce qui concerne les eaux superficielles). Néanmoins, elles reflètent les changements météorologiques : en avril, la salinité est élevée, 34,23 ‰ - (les précipitations sont en effet beaucoup plus abondantes). Un phénomène semblable s'observe pour la station côtière de "contrôle". On peut noter qu'en avril et juillet, la salinité est supérieure au fond au point "contrôle" mais diminue en septembre alors que la pluviosité est particulièrement importante (la dilution s'est opérée dans l'ensemble de la couche d'eau littorale).

III.3. La densité

Les calculs de densité figurent ci-dessous :

Dates	Niveaux	σ STP point "référence"	σ STP point "contrôle"
16.4.87	Surface	26,59	25,33
1.7.87	Surface	29,13	23,66
23.9.87	Surface	24,93	23,75

Les variations de σ STP sont fonction de deux facteurs température et salinité. L'année précédente, nous avons montré une décroissance des valeurs qui tend vers un minimum estival. Nous retrouvons ici ce même phénomène, rappelons que la température est le paramètre le plus fluctuant sur ce site. Nous pouvons mettre en évidence des densités plus faibles au point de "contrôle" par rapport au large, donc dans la zone affectée par le rejet de la centrale. Ceci confirme les observations précédentes.

III.4. L'oxygène dissous

L'oxygène dissous est un paramètre intéressant puisqu'il reflète l'activité biologique, malheureusement, le seul prélèvement de fond au point de "contrôle" prévu par l'arrêté de surveillance ne permet aucune comparaison.

Les valeurs obtenues sont les suivantes :

Dates	Quantité d'oxygène dissous
16.04.87	6,30 ml/l
1.07.87	4,99 ml/l
23.09.87	5,20 ml/l

Ces quelques résultats nous amènent à penser que le taux d'oxygène dissous est lié à l'activité biologique des populations phytoplanctoniques, abondantes en avril, qui régressent en été, pour réaugmenter en septembre lors du dernier bloom automnal.

Ainsi, la production d'oxygène résulte pour l'essentiel de la photosynthèse.

III.5. Les sels nutritifs dissous

Ici aussi, l'absence de prélèvements réguliers rend difficile l'interprétation des résultats. Les études antérieures ont montré une

régénération hivernale des stocks, qui s'épuisent brutalement au printemps lors de la reprise de l'activité biologique. Néanmoins, la zone littorale n'a jamais montré de carences, celle-ci étant considérée comme eutrophe, particulièrement enrichies par les apports continentaux.

L'ensemble des résultats figurent dans le tableau ci-dessous :

Dates	Stations	Niveaux	$\mu\text{atg.l}^{-1}$		
			NH_4^+	$\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$	
16.04.87	Référence	Surface	traces]	1,0]	2,0
			traces]	3,0]	
		Milieu	traces]	0,8]	0,95
			traces]	1,1]	
		Fond	traces]	1,1]	0,57
			traces]	0,4]	
	Contrôle	Surface	0,13]	2,1]	1,55
			0,10]	0,5]	
			0,06]	2,9]	
			0,06]	0,7]	
		Fond	traces]	1,1]	0,72
			traces]	0,5]	
1.07.87	Référence	Surface	0,34]	1,1]	0,75
			0,35]	0,4]	
		Milieu	traces]	0,5]	0,45
			traces]	0,4]	
		Fond	traces]	0,6]	0,60
			traces]	0,6]	
	Contrôle	Surface	0,98]	5,6]	5,37
			1,08]	4,8]	
			0,93]	5,4]	
			0,84]	5,7]	
		Fond	0,62]	2,3]	1,97
			0,69]	1,0]	
	Canal Amenée	-	0,68]	3,2]	0,85
			0,62]	1,4]	
			1,06]	0,4]	
			0,90]	1,3]	
	Canal rejet	-	0,64]	-]	1,05
			0,80]	-]	
0,91]			1,0]		
1,30]			1,1]		
			1,02]	-]	
			1,11]	-]	

23.09.87	Référence	Surface	0,37]0,46	4,0]4,85
			0,55		5,7	
		Milieu	0,51]0,51	5,1]5,1
			0,51		5,2	
		Fond	0,48]0,49	4,0]4,45
			0,51		4,9	
	Contrôle	Surface	1,89]1,88	5,0]5,02
			1,86		4,7	
			1,89		5,1	
			1,89		5,3	
		Fond	2,06]2,11	4,1]4,17
			2,13		4,2	
			2,17		4,3	
			2,10		4,1	
	Canal Amenée	-	2,13]2,05	2,3]2,37
			2,06		2,4	
1,96			2,4			
2,06			2,4			
Canal de rejet	-	1,96	]1,64	2,4	]2,37
		1,41		2,4		
		1,48		2,2		
		1,72		2,5		

On peut noter la quasi disparition des sels NH_4^+ du mois d'avril. Cette observation concorde avec les résultats déjà relevés l'année précédente. Cet épuisement brutal correspond au bloom phytoplanctonique printanier pendant lequel les cellules végétales consomment les sels dissous nécessaires à leur développement. Un début de reminéralisation est visible au mois de juillet où les valeurs augmentent quelle que soit la station de prélèvement, mais ceci est encore plus marqué au mois de septembre où l'on observe un véritable début de renouvellement du stock. L'année dernière nous avons mis en évidence une décroissance des teneurs en NH_4^+ avec l'éloignement par rapport au trait de côte : ce phénomène se confirme en 1987 puisque les teneurs relevées à la station de "référence" sont toujours inférieures à celles mesurées aux points côtiers tels que station "contrôle" ou "canal d'amenée" et "canal de rejet".

En ce qui concerne le stock de $(\text{NO}_2^+ + \text{NO}_3^-)$, il n'y a de véritable épuisement en avril. La station de "référence" présente d'ailleurs des

teneurs sensiblement plus élevées en avril qu'en juillet alors que l'inverse s'observe pour les autres points prélevés. Quant aux échantillons du mois de septembre, tous semblent bénéficier d'apports : c'est un début de régénération des stocks. Ceci nous amène à penser que la poussée planctonique automnale s'est produite antérieurement à la mission.

IV - CONCLUSION

Malgré le nombre restreint de prélèvements, l'ensemble des résultats montre que la zone du large, dite zone de "référence", n'est pas affectée par le rejet de la centrale nucléaire de Gravelines. Cette année, les apports continentaux ont une influence spatiale plus restreinte. Seuls, les points "canal de rejet" et "contrôle" sont directement soumis à l'influence du rejet et subissent donc des modifications physico-chimiques et biologiques.

Comme la stratégie de surveillance est axée sur une comparaison des paramètres hydrologiques essentiels entre l'entrée et la sortie, il devient très aléatoire d'évaluer l'impact réel de la centrale sur le milieu marin qui lui est proche.



CHAPITRE III

MICROBIOLOGIE

E. et R. DELESMONT
J.M. DELATRE

3 - 1 INTRODUCTION

La parution du nouvel arrêté préfectoral régissant la surveillance écologique de la centrale EDF de Gravelines (6 tranches de 900 MW) a entraîné des modifications dans la stratégie d'échantillonnage du compartiment bactériologique.

- . abandon du point "Digue"
- . prélèvement hebdomadaire aux points "Prise d'eau" et "canal de Rejet"
- . trois prélèvements aux points "Contrôle" et "Référence", lors des campagnes pélagiques
- . suppression des dénombrements de **E. coli**.

3 - 2 MATERIEL ET METHODES

Le matériel et les méthodes d'analyses sont inchangés par rapport aux études précédentes.

- Les paramètres étudiés sont les suivants:

- . température
- . dénombrement des germes totaux en épifluorescence
- . dénombrement des germes aérobies viables sur gélose 2216E de ZoBell
- . dénombrement à 37°C des vibrions halophiles et identifications
- . estimation de la production bactérienne par mesure du potentiel hétérotrophe (substrat : glucose)
- . dosage du "chlore" résiduel total (méthode à la DPD)
- . dosage des haloformes volatils.

- La "prise d'eau" est échantillonnée à la bouteille Van Dorn à partir du pont routier enjambant le canal de prise d'eau, derrière les masques écrémeurs, c'est à dire dans la zone où des turbulences importantes assurent une bonne représentativité.

- Le "canal de rejet" est échantillonné en subsurface au seau à partir de la rive Est du canal, à la limite de l'enceinte EDF.

- Les prélèvements aux points "prise" et "rejet" ont été réalisés à mi-marée (PM + 3 ou PM - 3) ce qui correspond à une situation moyenne quant à l'impact de la centrale sur les eaux de refroidissement:

- . A basse mer, la dose de chlore résiduel est maximale, ce qui permet de bien observer l'effet biocide du chlore. Par contre, les temps de séjour faibles dans le canal de rejet limitent les effets de prolifération bactérienne provoqués par l'élévation de température.

- . A marée haute, le temps de séjour dans le canal de rejet est plus grand, ce qui minimise la dose d'oxydant résiduel et favorise les phénomènes de multiplication bactérienne.

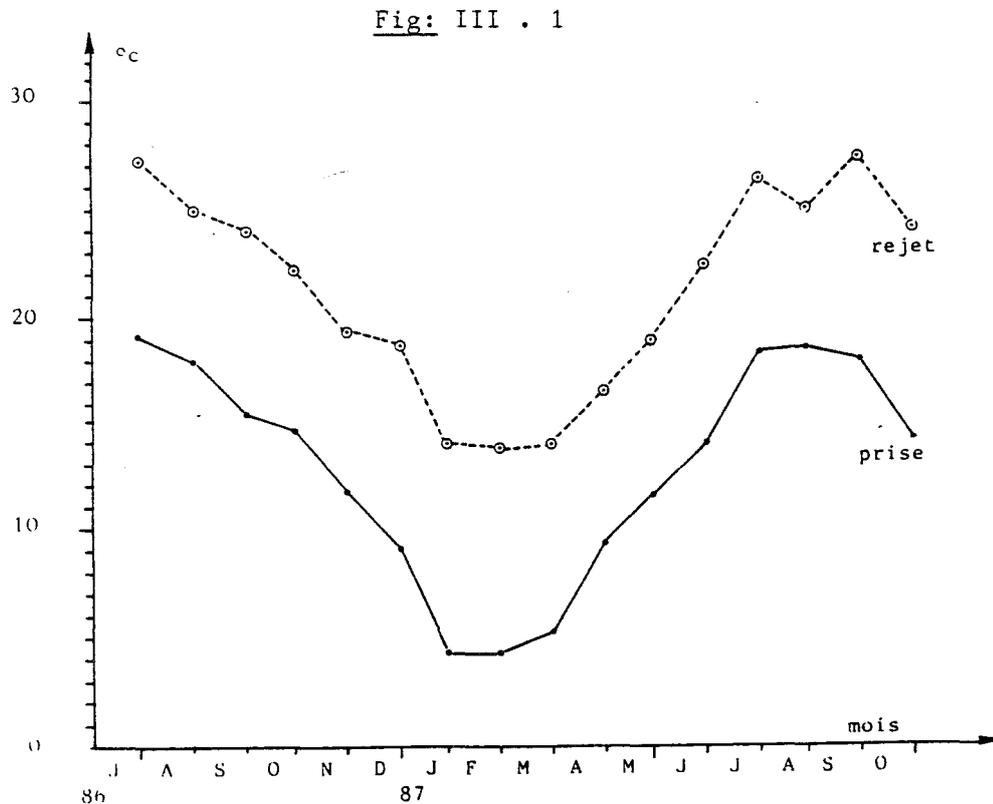
- Les points "Référence" et "Contrôle" définis en termes d'échauffement résiduel (contrôle $\Delta T = + 3$ à 4°C ; référence $\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$) sont prélevés en mer lors des campagnes communes avec l'hydrologie, le phytoplancton et le zooplancton.

3 - 3 RESULTATS

Ce rapport reprend les résultats de la surveillance modifiée à partir de juillet 1986 jusque octobre 1987.

3 - 3 - 1 Points prise d'eau et rejet.

3 - 3 - 1 - 1 Température



Température de l'eau de mer

Pour l'ensemble de la période, l'échauffement moyen de l'eau en transit dans la centrale est de $8,3^{\circ}\text{C}$. Les températures extrêmes relevées sont:

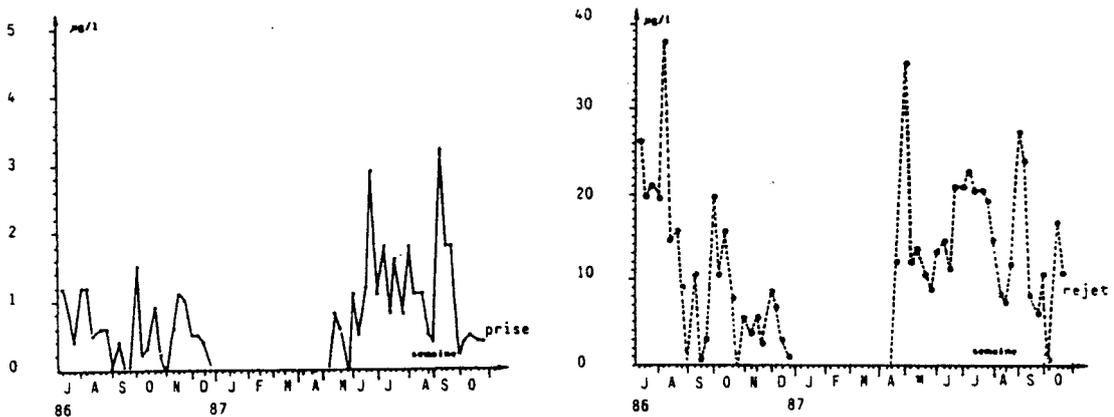
pour la prise d'eau: mini : $1,8^{\circ}\text{C}$ le 20/01/87
 maxi : $19,1^{\circ}\text{C}$ le 25/08/87

pour le rejet: mini : $12,0^{\circ}\text{C}$ le 20/01/87
 maxi : $29,0^{\circ}\text{C}$ le 23/09/87.

3 - 3 - 1 - 2 Chloration.

La chloration du circuit de refroidissement de la centrale est mise en service quand la température de l'eau à la prise dépasse 10 °C pour éviter les salissures dans les circuits (moules...). Le chlore injecté se transforme très rapidement en brome qui réagit plus lentement avec l'eau de mer. La consommation de l'oxydant conduit, pour partie, à la formation de dérivés stables : les haloformes. Le bromoforme est le plus abondant de ces haloformes. Sa présence sur le site témoigne de la mise en oeuvre de la chloration du circuit de refroidissement. En effet, s'il n'est pas possible de vérifier à posteriori la dose injectée, les dosages d'haloformes volatils permettent de confirmer que la chloration n'a été mise en service qu'à des températures supérieures à 10°C. L'arrêt de cette chloration a été de quatre mois : de fin décembre 1986 à fin avril 1987.

Fig: III . 2



Dosage du bromoforme - Prélèvements hebdomadaires.

- Au rejet, la quantité de bromoforme formé est en moyenne de 13 µg/l pour l'ensemble de la période de chloration. Les valeurs les plus élevées sont inférieures à 40 µg/l (37,9 µg/l le 05/09/86 et 35,2 µg/l le 04/05/87).

Deux autres composés ont été détectés en quantité plus faibles en présence de bromoforme :

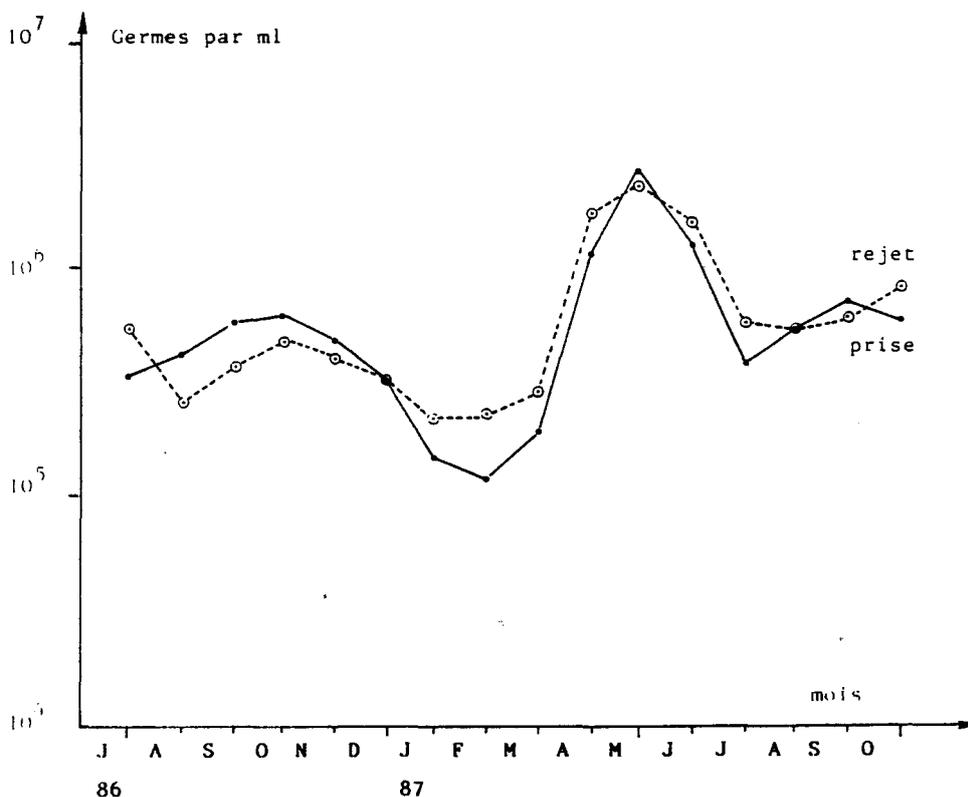
- . dichlorobromométhane (quantité maximale : 0,10 µg/l)
- . chlorodibromométhane (quantité maximale : 0,68 µg/l).

- A la prise d'eau le bromoforme est pratiquement le seul haloforme détecté en période de chloration. Le taux de recyclage de l'eau de refroidissement (calculé sur les séries où le bromoforme est retrouvé en quantité significative à la prise) est égal à 8 %.

- Les doses d'oxydant résiduel au rejet, exprimées en "chlore total" sont généralement faibles : la valeur moyenne pour l'ensemble des dosages en présence de bromoforme est de 0,03 mg/l. Cependant, des valeurs atteignant 0,1 mg/l sont atteintes en quelques occasions (0,12 mg/l le 08/12/86 ; 0,11 mg/l le 15/09/87).

3 - 3 - 1 - 3 Germes totaux en épifluorescence.

Fig: III . 3



Dénombrement des germes totaux en épifluorescence

Les quantités de germes, mesurés en épifluorescence, sont très voisines aux points prise et rejet, ce que traduisent les valeurs moyennes :

$$\text{Prise : } \log N = 5,67 \pm 0,37$$

$$\text{Rejet : } \log N = 5,70 \pm 0,33$$

et l'excellente corrélation entre les deux points :

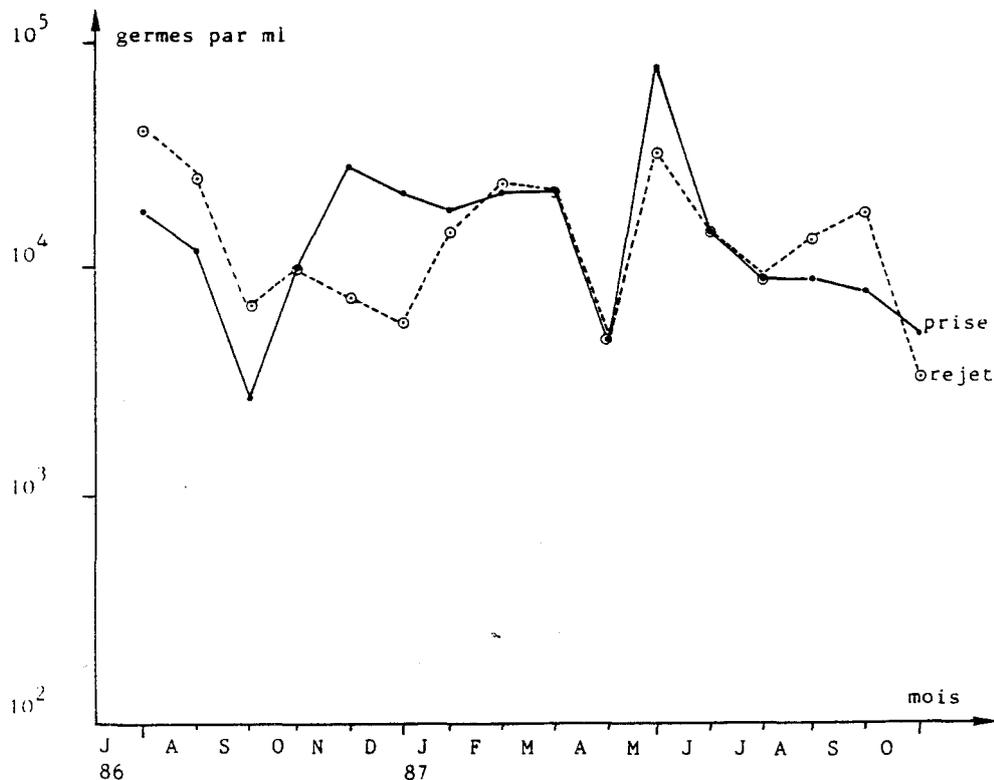
$$\log (N \text{ fluo rejet /ml }) = 1,305 + 0,776 \log (N \text{ fluo prise /ml })$$

$r = 0,874$; 67 valeurs.

Les plus grandes abondances sont notées principalement au printemps et dans une moindre mesure en automne, en relation probable avec les blooms phytoplanktoniques.

3 - 3 - 1 - 4 Germes viables.

Fig: III . 4



Dénombrement des germes aérobies viables sur gélose 2216E de ZoBell

Les germes aérobies viables (cultivés sur gelose 2216E de ZoBell à 20 °C) montrent des variations saisonnières de relativement faible amplitude. Le maximum d'abondance est noté en mai à la prise d'eau, à la même période que pour les germes totaux.

La viabilité des bactéries semble peu affectée par la mise en service de la chloration, ce qui se traduit par des concentrations moyennes quasiment identiques entre la prise et le rejet.

$$\text{prise : } \log (N / \text{ml}) = 4,11 \pm 0,36$$

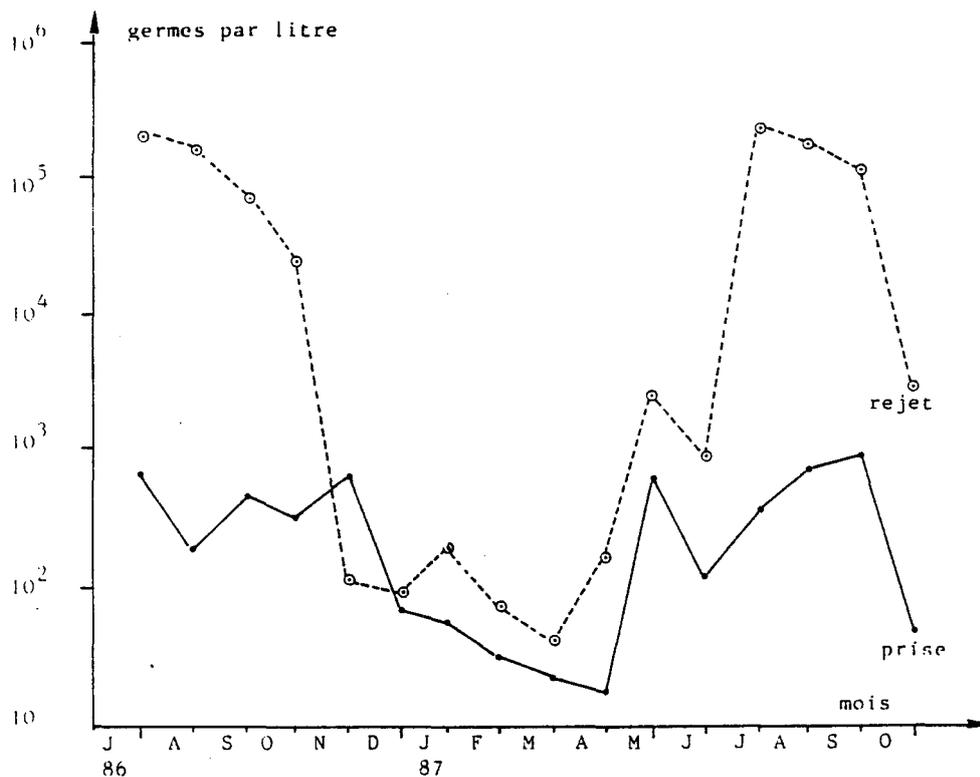
$$\text{rejet : } \log (N / \text{ml}) = 4,09 \pm 0,42$$

Une influence de la chloration est cependant perceptible en novembre et décembre 1986, période où l'on observe une perte de viabilité au cours du transit dans la centrale.

3 - 3 - 1 - 5 Vibrions halophiles (37 °C).

Des phénomènes de multiplication avaient été notés en toute saison au point "Digue" (1200 m du rejet) lors des études précédentes depuis la mise en service de la centrale EDF.

Fig: III . 5



Dénombrement des vibrions halophiles

Pour un cycle annuel, les concentrations moyennes s'établissent comme suit:

.rejet : $1,4 \cdot 10^3 / l$

.prise d'eau: $1,3 \cdot 10^2 / l$

A titre de comparaison, les concentrations moyennes suivantes avaient été mesurées au point "Digue":

. période de référence avant mise en service de la centrale (1976 - 1979) : 5 vibrions / l.

. point "Digue" en 1984 - 1985 : $3,0 \cdot 10^2$ vibrions / l.

Les concentrations à la prise d'eau sont plus élevées que celles notées sur le site lors de la période de référence ; il faut probablement évoquer l'influence du recyclage de l'eau pour expliquer ce phénomène.

L'accroissement du nombre de vibrions a été observé de façon importante (x 100 à x 1000) au point rejet, de juillet à octobre (en 1986 et 1987), malgré la chloration du rejet. En novembre 1986, et à degré moindre en décembre 1986, on observe plutôt une diminution du nombre de vibrions à rapprocher du déficit en germes viables observé à cette période.

Le reste de l'année, la température du rejet, trop basse, ralentit la croissance de ces bactéries : le facteur de multiplication est alors inférieur ou égal à 10. La croissance de ces bactéries se poursuit en mer, tant que subsiste un échauffement résiduel.

La relation entre nombre de vibrions et température est donc très forte comme l'attestent les relations suivantes :

$$\text{prise d'eau : } \log (\text{Vib} / 1) = 1,069 + 0,089 t (\text{ } ^\circ\text{C})$$

$$(r = 0,522 ; 66 \text{ valeurs})$$

$$\text{rejet : } \log (\text{Vib} / 1) = 1,883 + 0,258 t (\text{ } ^\circ\text{C})$$

$$(r = 0,775 ; 66 \text{ valeurs})$$

La relation obtenue au point "Digue" en 1984 - 1985 était du même type, avec une pente intermédiaire entre celles de ces deux relations:

$$\log (\text{Vib} / 1) = 0,705 + 0,129 t (\text{ } ^\circ\text{C})$$

$$(r = 0,605 ; 52 \text{ valeurs})$$

Bien que la majorité des souches soit du type **Vibrio alginolyticus**, **Vibrio parahaemolyticus** avait été isolé à plusieurs reprises durant les hivers 1984-85 et 1985-86. Des souches de ce type ont été mises en évidence à deux reprises au point rejet durant le second semestre 1987 en quantité significative :

$$\cdot 10^3 / 1 \text{ le } 31/07/87$$

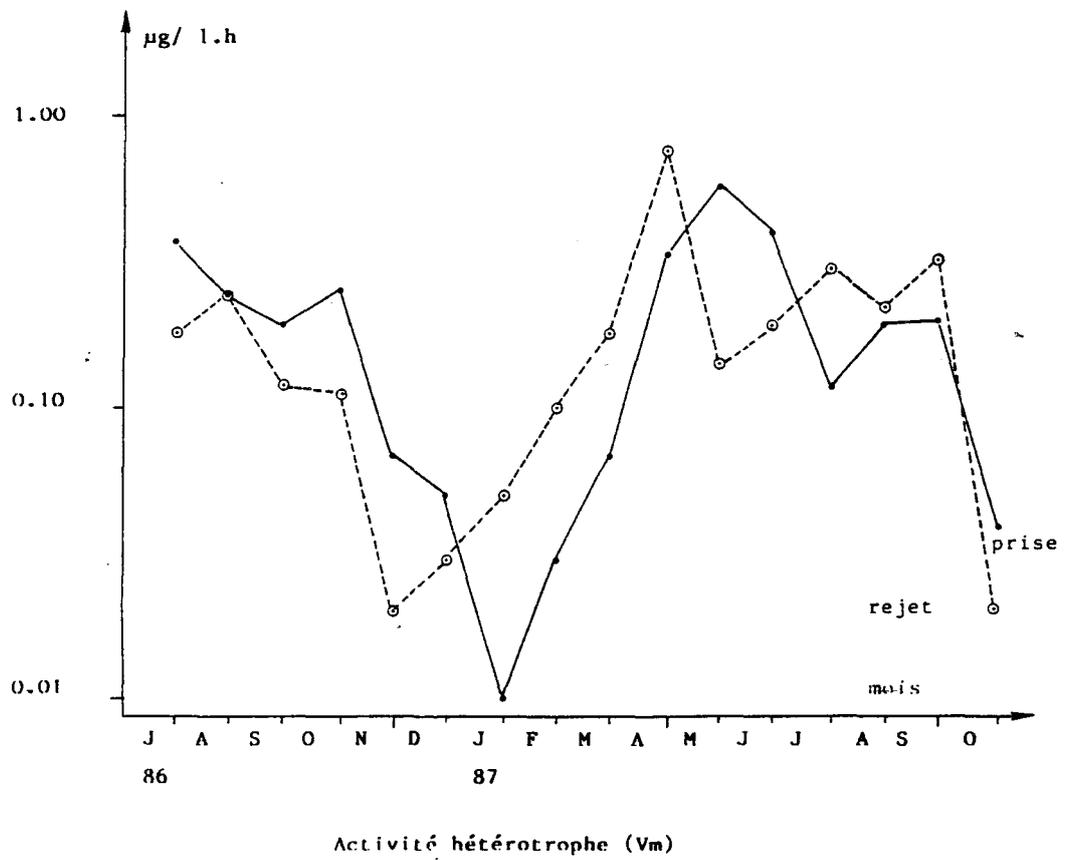
$$\cdot 10^4 / 1 \text{ le } 07/09/87$$

L'isolement de ces souches, auparavant très rares sur le site de Gravelines, semble devoir être mis en relation avec le développement des activités aquacoles sur le site.

L'importance numérique prise par ce groupe des **Vibrio** a aussi conduit à isoler au rejet en fin 1987 (le 24 novembre) et début 1988 (le 15 février) des souches possédant les caractères biochimiques de **Vibrio cholerae** et **Vibrio harveyi**.

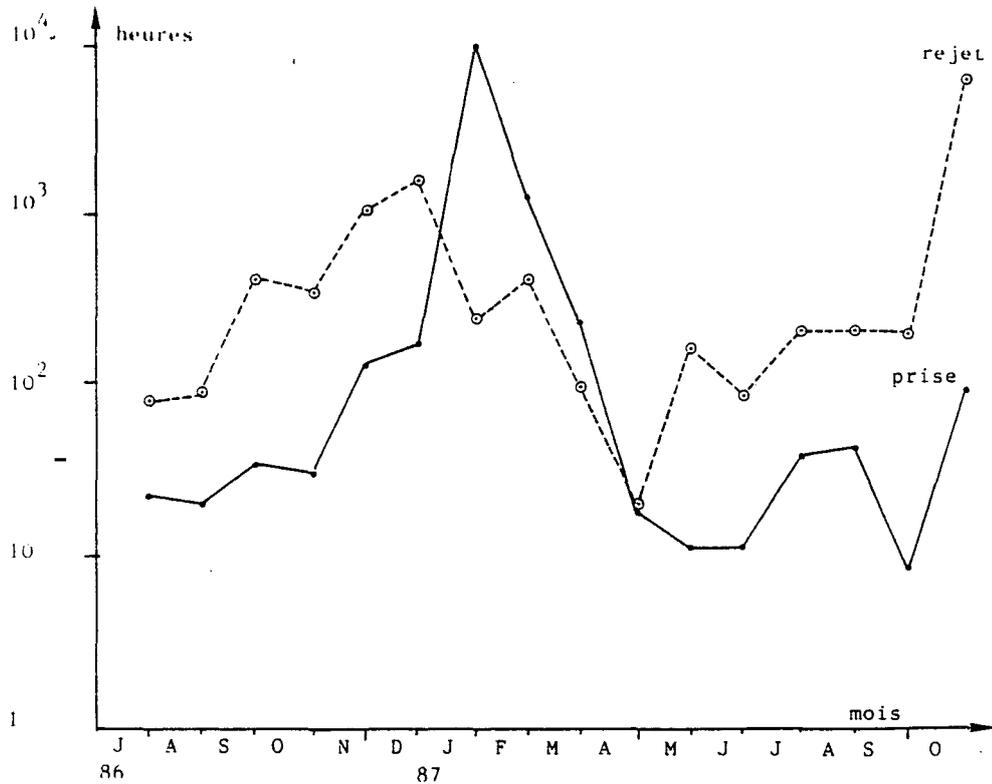
A l'avenir, il conviendra de continuer la surveillance de ce groupe de germes potentiellement pathogènes et très sensibles aux conditions de milieu créés sur le site par la centrale EDF et les activités aquacoles.

Fig: III . 6



3 - 3 - 1 - 6 Activité bactérienne.

Fig: III . 7



Temps de turn over (Bo)

Considérées de façon globale pour l'ensemble de la période, les activités moyennes sont de niveaux très proches à la prise d'eau et au rejet :

$$\begin{aligned} \text{prise d'eau : } \log Bo &= 1,81 \pm 0,86 \\ \log Vm &= 0,901 \pm 0,509 \end{aligned}$$

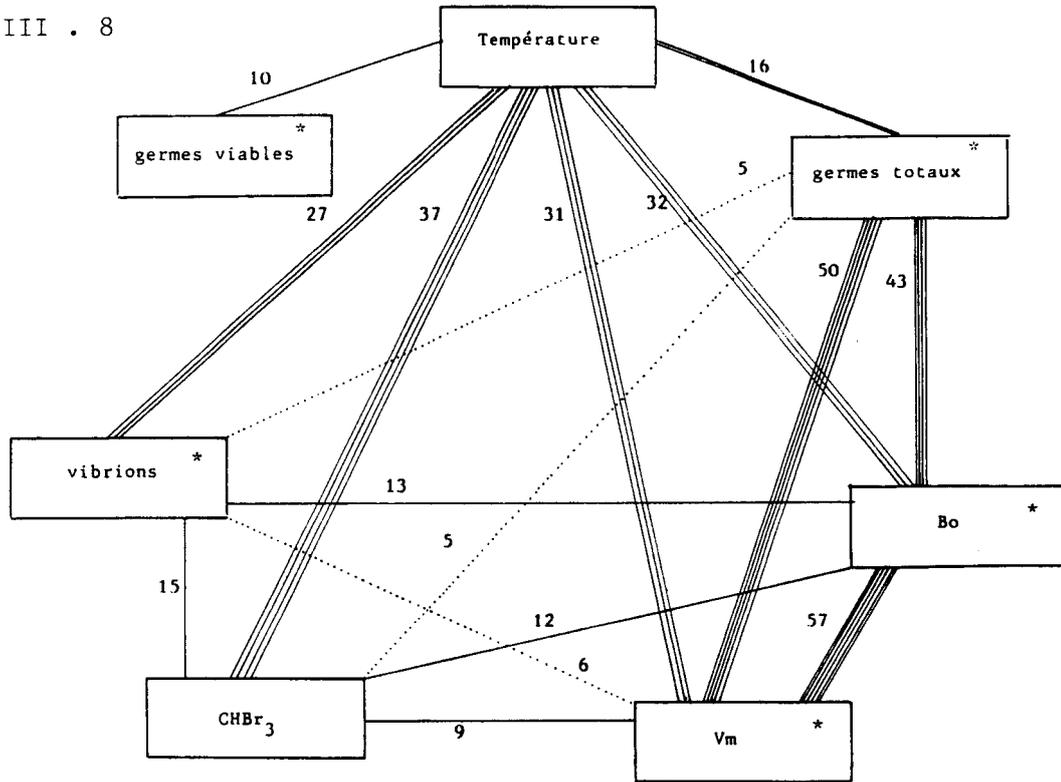
$$\begin{aligned} \text{rejet : } \log Bo &= 2,40 \pm 0,66 \\ \log Vm &= 0,919 \pm 0,616 \end{aligned}$$

Bo étant le temps nécessaire pour minéraliser le glucose naturellement présent dans l'eau de mer, Vm représente la vitesse maximale d'absorption de ce glucose (c'est à dire le "potentiel hétérotrophe").

Les activités bactériennes au rejet sont le résultats de l'action inhibitrice de l'oxydant résiduel et de l'action favorisante de l'échauffement.

En l'absence de chloration (de janvier à avril), l'activité bactérienne est plus grande au rejet qu'à la prise d'eau. C'est l'inverse qui se produit lorsque la chloration est en service ; on note d'ailleurs de nombreux blocages de l'activité bactérienne à cette période.

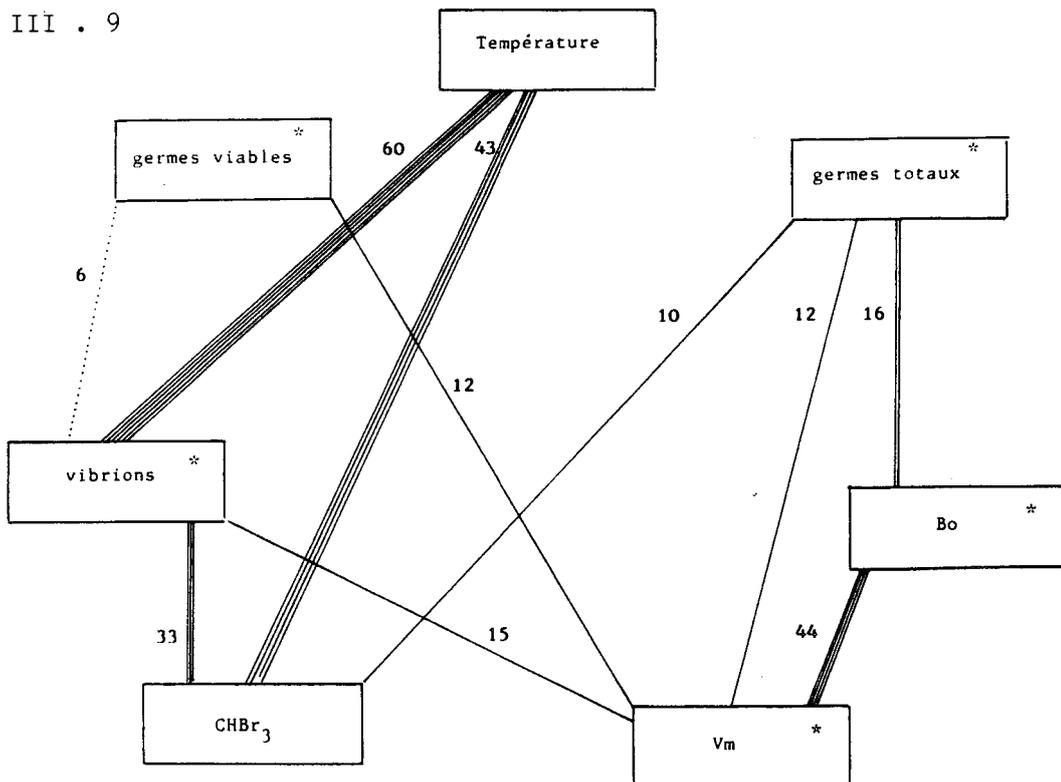
fig: III . 8



(* : log)

PRISE D'EAU: RELATIONS ENTRE PARAMETRES ; pourcentages de variations liées.

Fig: III . 9



(* : log)

REJET: RELATIONS ENTRE PARAMETRES ; pourcentages de variations liées.

3 - 3 - 1 - 7 Relations entre paramètres.

Les relations entre les divers paramètres de cette étude sont schématisées dans les figures ci-contre représentant les coefficients de détermination.

On note de fortes relations de la température sur tous les autres paramètres à la prise d'eau, alors que seules les relations température - vibrions et température - bromoforme sont conservées au rejet.

L'activité bactérienne est liée aux nombres de germes totaux et, pour le rejet uniquement, aux nombres de germes viables.

3 - 3 - 2 Points Contrôle et Référence.

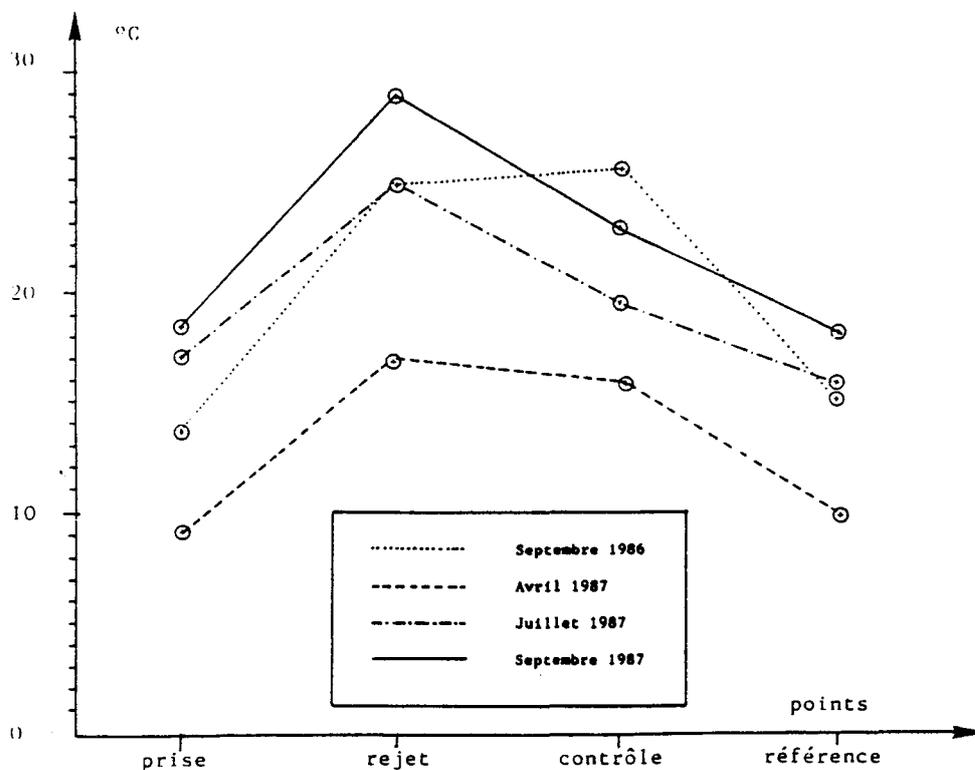
Ces deux points sont échantillonnés lors des campagnes en mer communes avec les compartiments hydrologie, phyto- et zooplancton.

Au même moment, les points prise et rejet sont prélevés de façon à avoir une vision de l'ensemble du circuit de l'eau de refroidissement

Les figures représentent, campagne par campagne, chaque paramètre aux quatre points mesurés.

3 - 3 - 2 - 1 Température et chloration.

Fig: III . 10

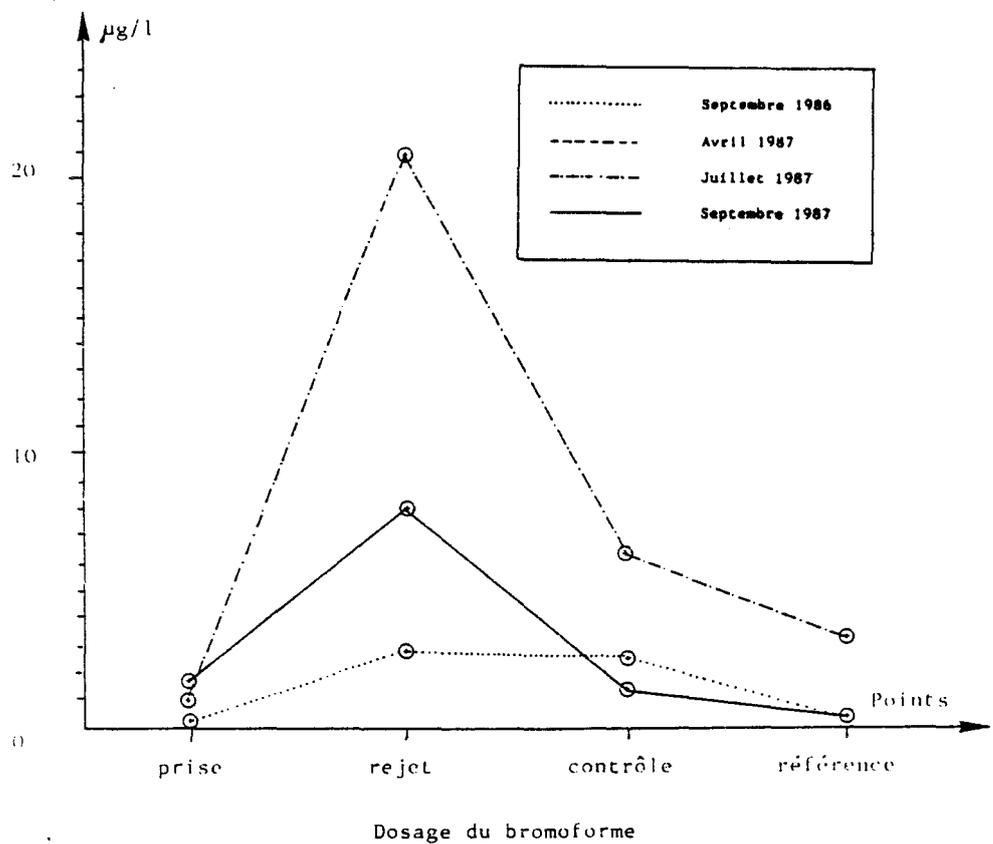


Température de l'eau de mer

ΔT date	Rejet	Contrôle	Référence
20/09/86	11.1	11.9	1.3
16/04/87	7.8	6.8	0.8
01/07/87	7.7	2.3	-1.5
23/09/87	10.4	4.2	-0.4

Tab: III . 1 Echauffement résiduel (°C)

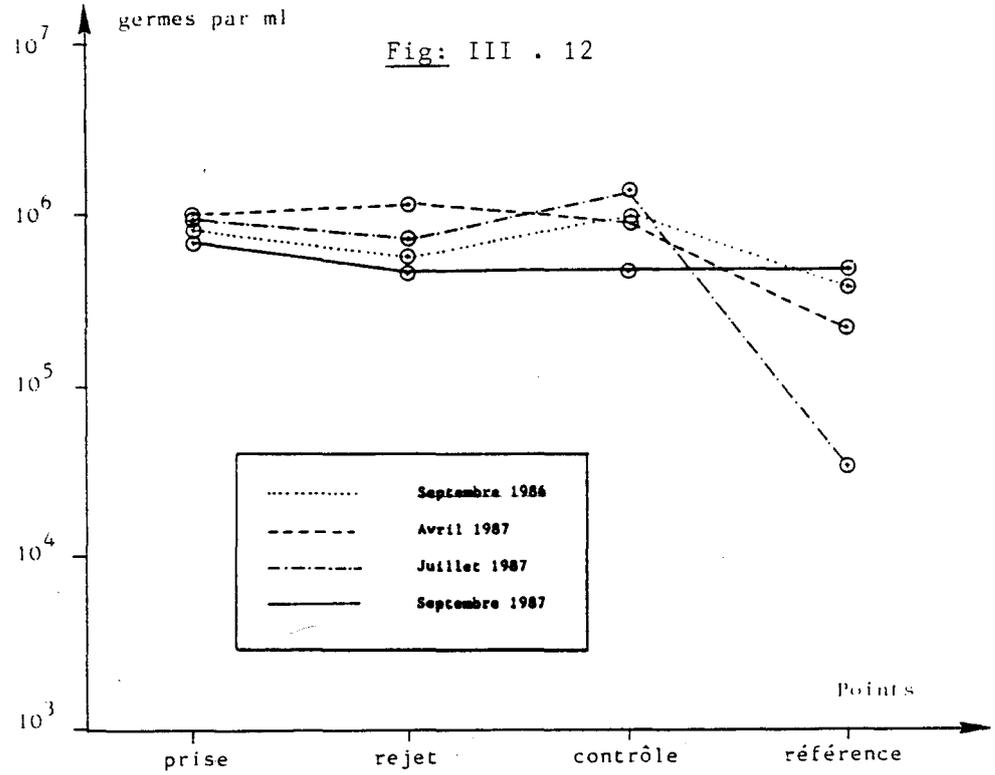
Fig: III . 11



La campagne d'avril 1987 n'a pas été représentée ci-dessus, car la chloration n'étant pas en service, le bromoforme n'a pas été retrouvé en mer.

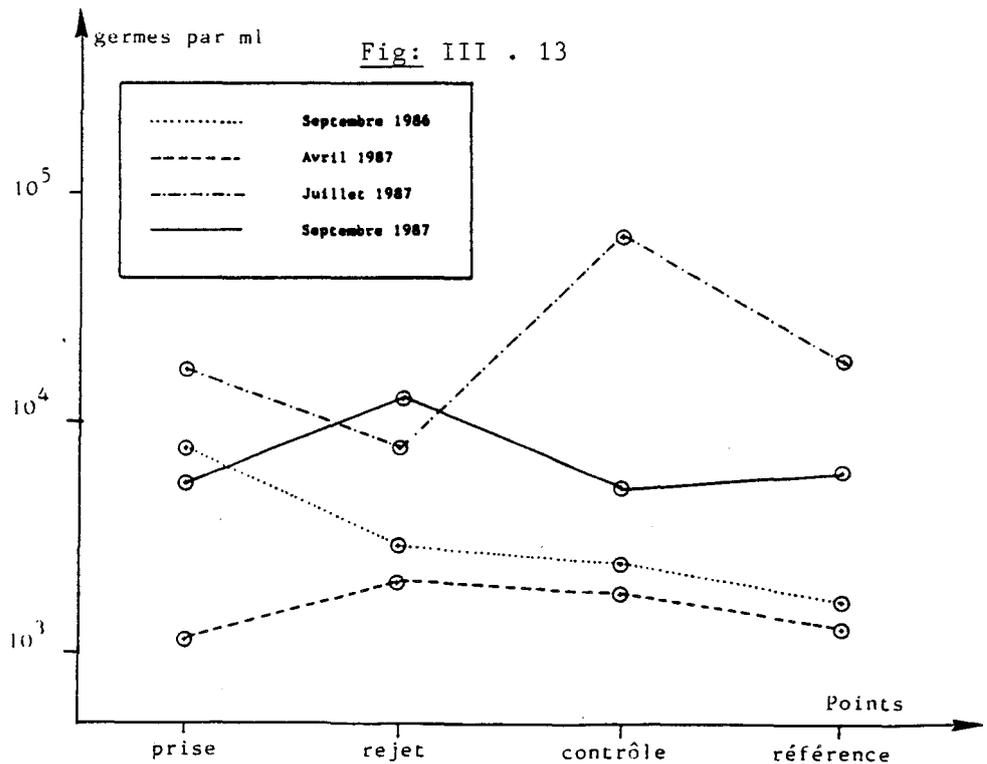
La dilution du bromoforme en mer est comparable à la dilution thermique. On note en particulier, que lors de la campagne de septembre 1986, le point contrôle a été échantillonné dans une eau à la température du rejet, ce qui se traduit également par une absence de dilution du bromoforme.

3 - 3 - 2 - 2 Microflore totale et viable.



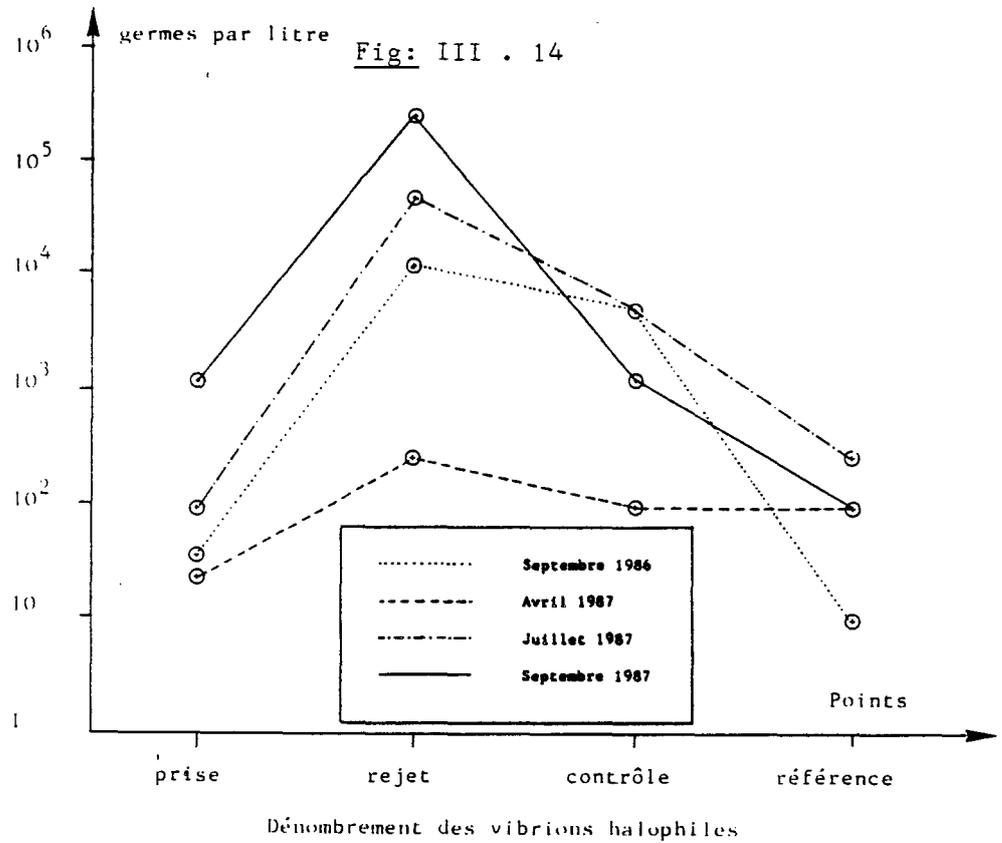
Dénombrement des germes totaux en épifluorescence.

Comme il avait été constaté lors des mesures hebdomadaires aux points prise et rejet, on note très peu de variations dans les nombres totaux de germes par transit dans la centrale. On peut signaler un important gradient côte-large en juillet 1987.



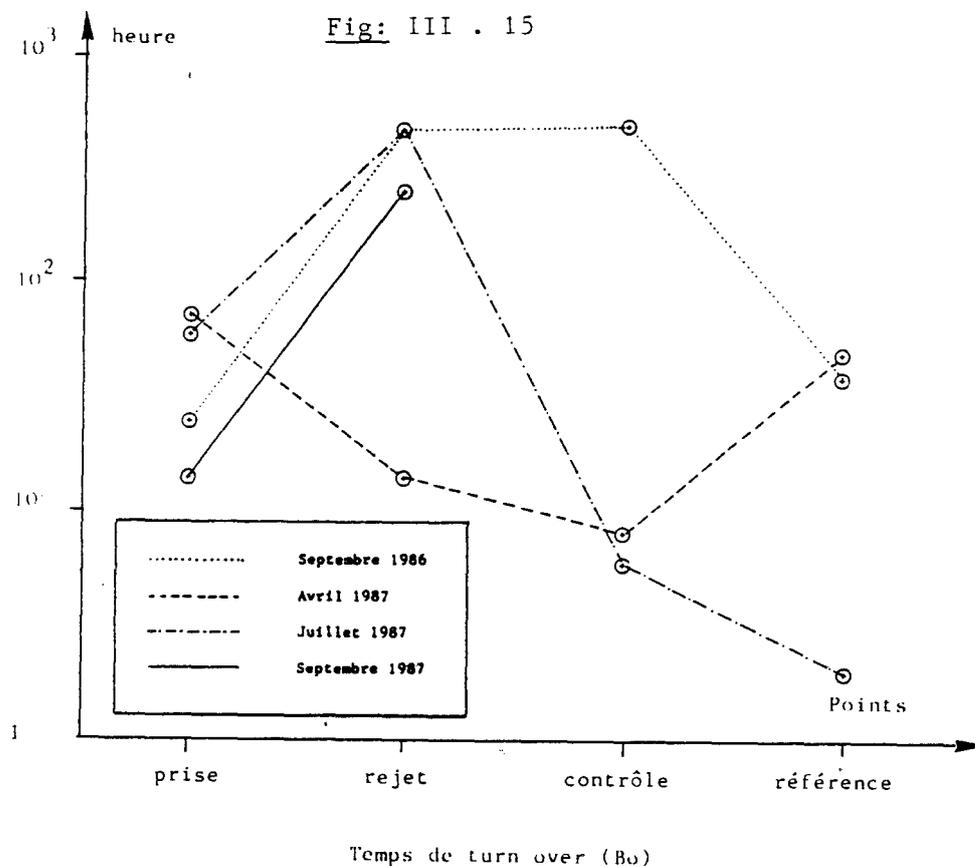
Dénombrement des germes aérobies viables sur gélose 2216E de ZoBell.

3 - 3 - 2 - 3 Vibrions halophiles (37°C).



Les vibrions halophiles profitent de l'échauffement en toutes saisons. Les concentrations les plus importantes sont notées au point rejet. Ensuite les concentrations diminuent rapidement dans le panache à l'exception de la campagne d'avril 1986, période de moindre abondance.

3 - 3 - 2 - 4 Activité bactérienne.



La campagne d'avril 1987, seule campagne réalisée en l'absence de chloration, se distingue des trois autres campagnes: on observe une accélération de l'activité bactérienne (baisse de Bo) par transit dans la centrale. Cette activité se conserve jusqu'au point contrôle marqué par un échauffement résiduel égal à 87% de celui du rejet. L'activité retrouve un niveau voisin de la prise au point référence.

Pour les trois autres campagnes, l'activité bactérienne est très ralentie par le transit dans la centrale. La récupération de l'activité est particulièrement importante en juillet.

3 - 4 CONCLUSION

Cette première étude réalisée suivant la nouvelle stratégie de prélèvement est marquée par l'abandon de la référence historique constituée par les résultats obtenus au point "Digue".

Il est maintenant possible de s'affranchir des variations annuelles du milieu, ce qui permet de mieux cerner l'impact de la centrale sur le milieu.

Les résultats acquis pendant cette étude sont en accord avec les études antérieures.

- . le "chlore résiduel", absent au point digue est retrouvé en quantité inférieure ou égale à 0,1 mg/l au rejet.

- . le bromoforme est un excellent traceur de la chloration.

- . l'activité bactérienne est très perturbée au rejet en période de chloration.

- . on n'observe pas de modification importante dans la microflore en épifluorescence ; mais le groupe des vibrions est très sensible aux modifications du milieu crée par la centrale. Une multiplication importante de ces germes est notée dans le rejet, principalement en saison chaude. Plusieurs espèces ont été mises en évidence: **Vibrio alginolyticus** en majorité, mais également **Vibrio parahaemolyticus**, **Vibrio cholerae** et **Vibrio harveyi**.

Ce groupe des vibrions, germes potentiellement pathogènes pour l'homme et les animaux aquatiques devra être suivi tout particulièrement dans les études futures.

ANNEXE

Date	Temp. (°C)	Fluo. (g/ml)	ZoBell (g/ml)	Vibrions (g/l)	Pot. hétérotrophe Vm (µg/lh)	Bo (heure)	Chlore (mg/l)	CHCl ₂ Br (µg/l)	CHClBr ₂ (µg/l)	CHBr ₃ (µg/l)
08.07.86	18°6	3.8 10 ⁵	9.0 10 ³	240	0.16	116	< 0.01	< 0.01	< 0.02	1.2
17.07.86	19°0	3.8 10 ⁵	2.0 10 ⁴	28	0.75	7	"	"	"	0.8
23.07.86	19°6	2.8 10 ⁵	2.4 10 ⁴	24 000	0.44	11	"	"	"	0.4
29.07.86	19°0	3.5 10 ⁵	2.2 10 ⁴	1100	0.35	32	"	"	"	1.2
05.08.86	18°0	7.2 10 ⁵	9.0 10 ³	240	0.45	23	"	"	"	1.2
12.08.86	18°2	6.0 10 ⁵	1.1 10 ⁴	460	0.15	33	"	"	"	0.5
19.08.86	18°0	2.3 10 ⁵	1.2 10 ⁴	150	0.30	8	"	"	"	0.6
26.08.86	17°6	3.1 10 ⁵	1.5 10 ⁴	93	0.16	28	"	"	"	0.6
02.09.86	16°4	3.3 10 ⁵	9.3 10 ³	240	0.21	29	"	"	"	< 0.2
09.09.86	16°8	5.2 10 ⁵	8.8 10 ³	460	0.17	64	"	"	"	0.4
16.09.86	14°4	6.7 10 ⁵	6.1 10 ³	2400	0.14	21	"	"	"	< 0.2
20.09.86	13°7	7.8 10 ⁵	7.8 10 ³	35	0.25	24	"	"	"	"
30.09.86	15°8	6.2 10 ⁵	7.0 10 ³	2400	0.22	49	"	"	"	1.5
07.10.86	15°8	7.3 10 ⁵	9.0 10 ³	150	0.34	13	"	"	"	0.2
14.10.86	15°6	8.7 10 ⁵	5.5 10 ⁴	200	0.19	8	"	"	"	0.3
21.10.86	14°1	5.2 10 ⁵	1.7 10 ⁴	1100	0.19	46	"	"	"	0.9
27.10.87	13°0	4.7 10 ⁵	1.3 10 ⁴	280	0.31	160	"	"	"	0.2
04.11.86	12°2	6.1 10 ⁵	5.1 10 ⁴	2400	0.09	28	"	"	"	< 0.2
10.11.86	12°0	3.7 10 ⁵	1.5 10 ⁴	150	0.07	112	"	"	"	0.6
17.11.86	11°8	3.6 10 ⁵	3.1 10 ⁴	240	0.06	369	"	"	"	1.1
24.11.86	11°0	6.0 10 ⁵	2.2 10 ⁴	2100	0.07	250	"	"	"	1.0
01.12.86	10°0	3.7 10 ⁵	2.9 10 ⁴	93	0.02	101	"	"	"	0.5
08.12.86	10°4	3.3 10 ⁵	2.9 10 ⁴	1100	0.05	211	"	"	"	0.5
16.12.86	08°8	2.7 10 ⁵	1.3 10 ⁴	23	0.08	187	"	"	"	0.4
22.12.86	08°1	3.4 10 ⁵	2.0 10 ⁴	15	0.14	190	"	"	"	< 0.2
29.12.86	08°9	3.5 10 ⁵	1.9 10 ⁴	43	0.03	222	"	"	"	"
05.01.87	07°8	2.4 10 ⁵	1.7 10 ⁴	93	< 0.01	> 10 ⁴	"	"	"	"
12.01.87	04°4	1.9 10 ⁵	1.7 10 ⁴	1100	"	"	"	"	"	"
20.01.87	01°8	1.3 10 ⁴	3.8 10 ³	93	"	"	"	"	"	"
27.01.87	03°1	8.4 10 ⁴	9.6 10 ³	1	"	"	"	"	"	"
03.02.87	03°0	1.1 10 ⁵	1.7 10 ⁴	150	0.02	865	"	"	"	"
10.02.87	05°8	1.4 10 ⁵	2.0 10 ⁴	93	< 0.01	807	"	"	"	"
16.02.87	04°8	1.2 10 ⁵	2.9 10 ⁴	15	0.09	282	"	"	"	"
23.02.87	03°6	1.0 10 ⁵	1.8 10 ⁴	4	0.03	1086	"	"	"	"
02.03.87	05°2	1.7 10 ⁵	2.0 10 ⁴	23	0.09	109	"	"	"	"
09.03.87	04°2	1.2 10 ⁵	5.0 10 ⁴	93	0.02	447	"	"	"	"
16.03.87	04°4	1.4 10 ⁵	2.0 10 ⁴	1	0.19	704	"	"	"	"
31.03.87	06°6	4.5 10 ⁵	1.6 10 ⁴	75	0.15	42	"	"	"	"
09.04.87	07°8	9.4 10 ⁵	1.9 10 ⁴	23	0.22	23	"	"	"	"
16.04.87	09°1	1.0 10 ⁶	1.1 10 ³	23	0.17	72	"	"	"	"
21.04.87	09°8	1.2 10 ⁶	4.6 10 ³	43	0.46	7	"	"	"	"
27.04.87	11°2	1.6 10 ⁶	5.5 10 ³	4	0.68	8	"	"	"	"
04.05.87	11°2	5.0 10 ⁶	3.6 10 ⁴	75	0.96	9	"	"	"	"
12.05.87	11°5	2.9 10 ⁶	1.6 10 ⁵	4600	0.90	5	"	"	"	0.8
19.05.87	12°0	1.8 10 ⁶	8.9 10 ⁴	4600	0.62	7	"	"	"	0.6
25.05.87	12°0	1.7 10 ⁶	5.8 10 ⁴	93	0.20	52	"	"	"	< 0.2
02.06.87	14°0	1.1 10 ⁶	1.3 10 ⁴	93	0.36	47	"	"	0.02	1.1
09.06.87	12°6	2.4 10 ⁵	1.2 10 ⁴	210	0.79	5	"	"	< 0.02	0.5
15.06.87	14°1	7.6 10 ⁵	1.9 10 ⁴	93	0.36	11	"	"	"	1.2
23.06.87	15°6	8.3 10 ⁵	1.4 10 ⁴	93	0.25	6	"	"	0.05	2.9
01.07.87	17°2	9.0 10 ⁵	1.7 10 ⁴	93	0.14	58	"	"	< 0.02	1.1
09.07.87	18°5	4.1 10 ⁵	4.5 10 ³	1100	0.16	66	"	"	0.05	1.8
15.07.87	18°7	6.9 10 ⁵	1.2 10 ⁴	240	0.18	11	"	"	< 0.02	0.8
20.07.87	18°6	1.9 10 ⁵	7.0 10 ³	1100	0.13	21	"	"	"	1.6
31.07.87	18°3	1.9 10 ⁵	9.3 10 ³	240	0.05	91	"	"	"	0.8
04.08.87	18°5	7.4 10 ⁵	6.5 10 ³	1100	0.21	13	"	"	0.05	1.8
10.08.87	18°1	5.9 10 ⁵	8.0 10 ³	93	0.18	187	"	"	< 0.02	1.1
18.08.87	19°0	4.6 10 ⁵	1.0 10 ⁴	1500	0.18	85	"	"	"	1.1
25.08.87	19°1	4.5 10 ⁵	1.1 10 ⁴	4600	0.25	24	"	"	"	0.5
31.08.87	17°9	4.4 10 ⁵	1.3 10 ⁴	240	0.15	28	"	"	"	0.4
07.09.87	18°7	1.1 10 ⁶	9.3 10 ³	2400	0.40	4	"	"	0.02	3.2
15.09.87	18°2	5.4 10 ⁵	1.3 10 ³	93	0.13	5	"	"	< 0.02	1.8
23.09.87	18°6	6.8 10 ⁵	5.5 10 ³	1100	0.15	14	"	"	"	1.8
29.09.87	16°3	6.7 10 ⁵	5.0 10 ³	2400	0.20	17	"	"	"	0.2
09.10.87	15°3	1.3 10 ⁶	1.5 10 ⁴	11	0.04	121	"	"	"	0.4
13.10.87	14°9	6.6 10 ⁵	6.0 10 ³	23	0.08	53	"	"	"	0.5
21.10.87	14°3	2.6 10 ⁵	3.3 10 ³	460	0.05	71	"	"	"	0.4
26.10.87	12°4	2.5 10 ⁵	2.1 10 ³	43	0.02	145	"	"	"	0.4

Tab: III.2

PRISE D'EAU : prélèvements hebdomadaires

Date	Temp. (°C)	Fluo. (g/ml)	ZoBell (g/ml)	Vibrions (g/l)	Pot. hétérotrophe Vm (µg/lh)	Bo (heure)	Chlore (mg/l)	CHCl ₂ Br (µg/l)	CHClBr ₂ (µg/l)	CHBr ₃ (µg/l)
08.07.86	26°8	5.2 10 ⁵	2.2 10 ⁴	460 000	1.06	64	< 0.01	< 0.01	< 0.02	26.1
17.07.86	27°8	5.5 10 ⁵	6.1 10 ⁴	28 000	< 0.01	78	"	"	"	19.7
27.07.86	27°2	4.2 10 ⁵	3.9 10 ⁴	240 000	0.89	60	"	"	"	20.9
29.07.86	26°8	7.5 10 ⁵	4.7 10 ⁴	460 000	0.10	132	"	"	"	19.3
05.08.86	25°2	4.9 10 ⁵	1.8 10 ⁴	240 000	0.11	178	"	"	"	37.9
12.08.86	25°0	3.7 10 ⁵	3.2 10 ⁴	460 000	1.18	35	"	"	0.34	14.6
19.08.86	25°2	1.8 10 ⁵	3.8 10 ⁴	110 000	0.29	95	0.04	"	0.47	15.6
26.08.86	24°6	1.4 10 ⁵	1.9 10 ⁴	46 000	0.09	119	0.01	"	0.22	9.1
02.09.86	23°3	2.9 10 ⁵	9.0 10 ³	46 000	0.09	898	0.07	-	-	-
09.09.86	23°2	2.5 10 ⁵	7.4 10 ³	150 000	0.05	475	0.06	< 0.01	0.31	10.4
16.09.86	24°4	4.4 10 ⁵	8.7 10 ³	460 000	0.10	133	0.01	"	< 0.02	0.5
20.09.86	24°8	5.7 10 ⁵	2.9 10 ³	11 000	0.51	459	0.05	"	0.09	2.8
30.09.86	24°4	3.7 10 ⁵	8.1 10 ³	46 000	0.13	482	0.03	0.10	0.62	19.7
07.10.86	24°4	5.6 10 ⁵	9.0 10 ³	240 000	0.59	238	0.02	< 0.01	0.34	10.4
14.10.86	23°2	6.4 10 ⁵	8.6 10 ³	24 000	0.14	464	0.01	0.08	0.43	15.6
21.10.86	21°5	3.4 10 ⁵	2.1 10 ⁴	24 000	0.08	177	0.02	< 0.01	0.25	7.8
27.10.86	19°9	4.3 10 ⁵	4.5 10 ³	2400	0.02	675	< 0.01	"	< 0.02	< 0.2
04.11.86	18°3	5.4 10 ⁵	1.6 10 ⁴	24 000	0.03	553	< 0.01	"	0.19	5.5
10.11.86	19°0	3.8 10 ⁵	9.0 10 ³	23	0.01	1351	0.07	"	0.12	3.6
17.11.86	19°4	3.5 10 ⁵	4.5 10 ³	3	-	-	0.07	"	0.12	5.5
24.11.86	20°8	3.4 10 ⁵	5.0 10 ³	110	0.03	1633	0.02	"	0.09	2.3
01.12.86	21°1	3.2 10 ⁵	1.8 10 ³	7	< 0.01	> 10 ⁴	< 0.01	"	0.28	8.5
08.12.86	20°3	2.8 10 ⁵	2.0 10 ³	23	"	"	0.12	"	0.31	6.8
16.12.86	18°8	3.1 10 ⁵	9.8 10 ³	93	0.05	373	0.02	"	0.06	3.0
22.12.86	16°4	3.7 10 ⁵	1.0 10 ⁴	460	0.18	177	< 0.01	"	< 0.02	0.9
29.12.86	17°0	3.8 10 ⁵	1.7 10 ⁴	1100	0.01	525	0.01	"	"	< 0.2
05.01.87	17°5	2.7 10 ⁵	2.3 10 ⁴	460	0.12	218	0.01	"	"	"
12.01.87	14°0	2.2 10 ⁵	7.0 10 ³	460	0.07	186	< 0.01	"	"	"
20.01.87	12°2	2.8 10 ⁵	1.7 10 ⁴	75	0.03	199	"	"	"	"
27.01.87	12°2	1.4 10 ⁵	1.3 10 ⁴	93	0.02	454	"	"	"	"
03.02.87	13°8	2.6 10 ⁵	1.3 10 ⁴	150	0.07	1990	"	"	"	"
10.02.87	15°1	1.9 10 ⁵	2.1 10 ⁴	460	0.03	192	"	"	"	"
16.02.87	13°2	2.8 10 ⁵	2.7 10 ⁴	43	0.17	117	"	"	"	"
23.02.87	13°2	1.9 10 ⁵	3.5 10 ⁴	9	0.32	711	"	"	"	"
02.03.87	13°8	2.8 10 ⁵	2.7 10 ⁴	43	0.13	3.99	"	"	"	"
09.03.87	14°0	1.9 10 ⁵	1.5 10 ⁴	75	0.25	46	"	"	"	"
16.03.87	11°4	1.7 10 ⁵	2.6 10 ⁴	23	0.17	130	"	"	"	"
24.03.87	15°6	3.1 10 ⁵	2.5 10 ⁴	110	0.15	82	"	"	"	"
31.03.87	15°2	5.9 10 ⁵	2.0 10 ⁴	15	0.22	39	"	"	"	"
09.04.87	13°8	1.4 10 ⁶	3.1 10 ⁴	43	1.10	57	"	"	"	"
16.04.87	16°9	1.9 10 ⁶	2.1 10 ³	240	0.51	14	"	"	"	"
21.04.87	16°2	1.7 10 ⁶	3.6 10 ³	460	0.70	13	"	"	"	"
27.04.87	19°2	1.9 10 ⁶	4.5 10 ³	150	0.85	17	0.03	"	0.24	12.0
04.05.87	17°8	3.1 10 ⁶	2.2 10 ⁵	1500	0.72	44	< 0.01	0.01	0.65	35.2
12.05.87	17°0	4.2 10 ⁶	1.4 10 ⁵	24 000	0.62	84	0.02	< 0.01	0.56	12.0
19.05.87	21°6	1.2 10 ⁶	4.4 10 ⁴	2000	0.04	215	< 0.01	"	0.68	13.6
25.05.87	19°3	1.5 10 ⁶	6.6 10 ³	460	0.02	883	"	"	0.34	10.5
02.06.87	22°8	1.5 10 ⁶	9.3 10 ³	23	0.07	162	0.05	"	0.26	8.7
09.06.87	20°6	2.2 10 ⁶	4.6 10 ⁴	4600	0.62	21	0.03	"	0.26	13.2
15.06.87	21°0	1.1 10 ⁶	2.8 10 ³	460	0.10	129	0.07	"	0.26	14.5
23.06.87	24°8	9.0 10 ⁵	2.4 10 ⁴	11 000	0.29	120	0.02	"	0.20	11.3
01.07.87	24°9	6.9 10 ⁵	8.0 10 ³	46 000	0.10	483	< 0.01	"	0.41	20.8
09.07.87	26°0	6.0 10 ⁵	5.3 10 ³	2 400 000	0.51	122	"	"	0.41	20.8
15.07.87	27°5	9.9 10 ⁵	7.7 10 ³	460 000	1.13	74	"	"	0.41	22.6
20.07.87	28°2	4.8 10 ⁵	1.1 10 ⁴	24 000	0.17	249	0.03	"	0.46	20.5
31.07.87	25°3	3.1 10 ⁵	1.6 10 ⁴	460 000	0.26	361	0.06	"	0.38	20.3
04.08.87	25°7	5.4 10 ⁵	1.3 10 ⁴	240 000	0.20	223	0.02	"	0.34	19.0
10.08.87	24°4	4.7 10 ⁵	1.7 10 ⁴	110 000	0.08	504	0.01	"	0.34	14.5
18.08.87	25°9	6.4 10 ⁵	1.7 10 ⁴	46 000	0.38	166	< 0.01	"	0.14	8.2
25.08.87	24°8	5.4 10 ⁵	1.9 10 ⁴	11 000 000	0.48	53	"	"	0.14	7.1
31.08.87	24°1	4.3 10 ⁵	6.0 10 ³	11 000	0.18	336	0.04	"	0.24	11.8
07.09.87	26°4	6.9 10 ⁵	1.3 10 ⁴	460 000	0.32	171	0.10	"	0.41	27.3
15.09.87	27°8	4.9 10 ⁵	1.9 10 ⁴	46 000	0.10	343	0.11	"	0.43	24.0
23.09.87	29°0	4.3 10 ⁵	1.3 10 ⁴	240 000	0.59	252	0.02	"	< 0.01	7.9
29.09.87	26°3	8.8 10 ⁵	2.3 10 ⁴	24 000	0.55	105	< 0.01	0.02	0.12	5.9
09.10.87	26°4	1.4 10 ⁶	7.0 10 ³	24 000	0.01	1529	0.01	0.04	0.27	10.4
13.10.87	23°8	8.9 10 ⁵	1.5 10 ⁴	24 000	0.09	> 10 ⁴	0.02	< 0.01	< 0.02	0.4
21.10.87	23°8	4.1 10 ⁵	1.1 10 ³	110	< 0.01	"	0.02	0.03	0.37	16.6
26.10.87	22°8	2.8 10 ⁵	9.0 10 ²	93	"	"	< 0.01	0.03	0.28	10.8

Tab: III.3 CANAL DE REJET : prélèvements hebdomadaires

Tab: III . 4 PRISE D'EAU: Relations entre paramètres ($y = a + bx$; $r = \text{coef. corrélation}$)

X \ Y	temp.	Fluo. (log)	ZoBell (log)	Vibrions (log)	Vm (log)	Bo (log)	CHBr ₃
Temp.	1						
Fluo. (log)	a = 5.299 b = 0.028 r = 0.404	1					
ZoBell (log)	a = 4.409 b = 0.022 r = 0.317	a = 4.065 b = 0.011 r = 0.011	1				
Vibrions (log)	a = 1.069 b = 0.089 r = 0.522	a = -1.103 b = 0.587 r = 0.242	a = 1.088 b = 0.272 r = 0.110	1			
Vm (log)	a = 1.623 b = 0.056 r = 0.562	a = -6.539 b = 0.994 r = 0.708	a = -0.764 b = -0.034 r = 0.023	a = -1.232 b = 0.149 r = 0.256	1		
Bo (log)	a = 2.664 b = -0.075 r = 0.568	a = 8.380 b = -1.181 r = 0.652	a = 1.103 b = 0.130 r = 0.075	a = 2.240 b = -0.265 r = 0.365	a = 0.729 b = -1.118 r = 0.754	1	
CHBr ₃	a = -0.468 b = 0.082 r = 0.607	a = -1.901 b = 0.440 r = 0.230	a = 1.711 b = -0.273 r = 0.138	a = -0.087 b = 0.305 r = 0.386	a = 0.967 b = 0.416 r = 0.305	a = 1.284 b = -0.393 r = 0.350	1

Tab: III . 5 REJET: Relations entre paramètres ($y = a + bx$; $r = \text{coef. corrélation}$)

X \ Y	Temp.	Fluo. (log)	ZoBell (log)	Vibrions (log)	Vm (log)	Bo (log)	CHBr ₃
Temp.	1						
Fluo. (log)	a = 5.454 b = 0.012 r = 0.178	1					
ZoBell (log)	a = 4.204 b = -5.662 r = 0.066	a = 3.714 b = 0.065 r = 0.050	1				
Vibrions (log)	a = 1.889 b = 0.258 r = 0.775	a = -0.418 b = 0.702 r = 0.139	a = -0.211 b = 0.933 r = 0.239	1			
Vm (log)	a = 1.314 b = 0.018 r = 0.144	a = -4.787 b = 0.677 r = 0.349	a = -3.088 b = 0.529 r = 0.352	a = 1.456 b = 0.149 r = 0.386	1		
Bo (log)	a = 2.229 b = 2.252 r = 0.022	a = 5.774 b = -0.612 r = 0.395	a = 3.621 b = -0.324 r = 0.224	a = 2.402 b = -0.034 r = 0.107	a = 1.778 b = -0.586 r = 0.666	1	
CHBr ₃	a = -17.081 b = 1.260 r = 0.657	a = -41.882 b = 9.034 r = 0.312	a = 1.001 b = 2.151 r = 0.096	a = -2.236 b = 3.318 r = 0.576	a = 12.704 b = 3.302 r = 0.221	a = 15.832 b = -2.676 r = 0.142	1

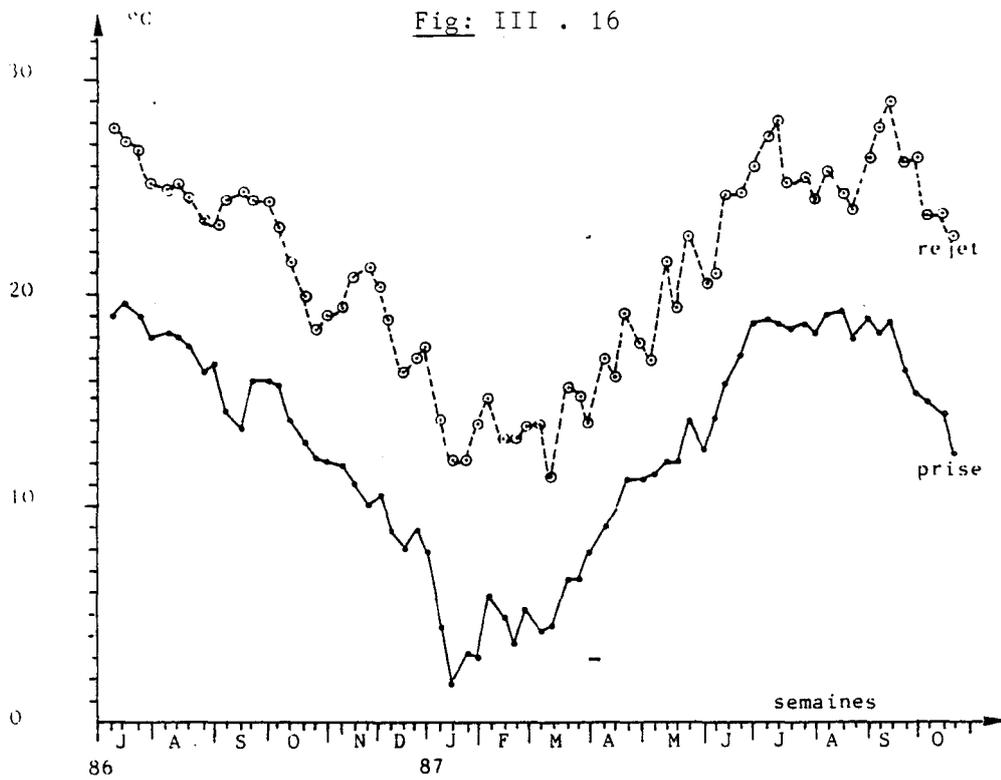
Tab: III.6 PRISE D'EAU ET REJET: Relations entre paramètres ($y = a + bx$; r = coef. corrélation)

PRISE REJET	Temp.	Fluo. (log)	ZoBell (log)	Vibrions (log)	Vm (log)	Bo (log)	CHBr ₃
Temp.	a = 9.454 b = 0.910 r = 0.959						
Fluo. (log)		a = 1.305 b = 0.776 r = 0.874					
ZoBell (log)			a = 1.780 b = 0.558 r = 0.472				
Vibrions (log)				a = 1.366 b = 0.996 r = 0.539			
Vm (log)					a = -0.394 b = 0.586 r = 0.479		
Bo (log)						a = 1.701 b = 0.352 r = 0.425	
CHBr ₃							a = 4.965 b = 7.917 r = 0.588

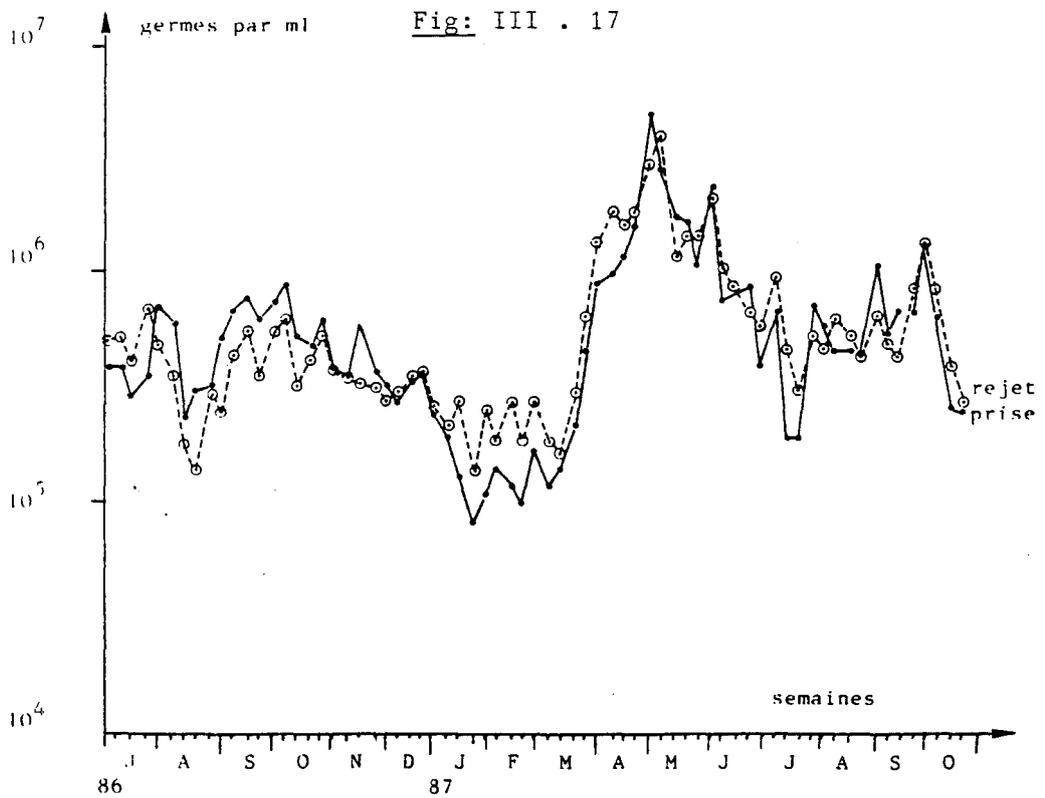
tab: III . 7

CAMPAGNES PELAGIQUES

Date	Temp.	Fluo.	ZoBell	Vibrions	Pot. hétérotrophe Vm	Bo	Chlore	CHCl ₂ Br	CHClBr ₂	CHBr ₃
Point	(°C)	(g/ml)	(g/ml)	(g/l)	(ug/lh)	(heure)	(mg/l)	(ug/l)	(ug/l)	(ug/l)
20.09.86										
Prise	13°7	7.8 10 ⁵	7.8 10 ³	35	0.25	24	< 0.01	< 0.01	< 0.02	< 0.2
Rejet	24°8	5.7 10 ⁵	2.9 10 ³	11 000	0.51	459	0.06	"	0.09	2.8
Contrôle	25°6	1.0 10 ⁵	2.5 10 ³	4600	0.03	513	< 0.01	"	0.12	2.5
Référence	15°0	3.7 10 ⁵	1.7 10 ³	9	0.15	39	"	"	< 0.02	< 0.2
16.04.87										
Prise	09°1	1.0 10 ⁶	1.1 10 ³	23	0.17	72	< 0.01	< 0.01	< 0.02	< 0.2
Rejet	16°9	1.1 10 ⁵	2.1 10 ³	240	0.51	14	"	"	"	"
Contrôle	15°9	8.5 10 ⁵	1.8 10 ³	93	0.29	8	"	"	"	"
Référence	09°9	2.1 10 ⁵	1.3 10 ³	93	0.14	50	"	"	"	"
01.07.87										
Prise	17°2	9.0 10 ⁵	1.7 10 ⁴	93	0.14	58	< 0.01	< 0.01	< 0.02	1.1
Rejet	24°9	6.9 10 ⁵	8.0 10 ⁴	46 000	0.10	483	"	"	0.41	20.8
Contrôle	19°5	1.3 10 ⁶	6.7 10 ⁴	4600	6	"	"	"	0.07	6.3
Référence	15°7	3.5 10 ⁴	1.9 10 ⁴	240	2.46	2	"	"	0.05	3.2
23.09.87										
Prise	18°6	6.8 10 ⁵	5.5 10 ³	1100	0.15	14	< 0.01	< 0.01	< 0.02	1.8
Rejet	29°0	4.3 10 ⁵	1.3 10 ³	240 000	0.59	252	0.05	"	"	7.9
Contrôle	22°8	4.8 10 ⁵	5.3 10 ³	1100	-	-	< 0.01	"	"	1.3
Référence	18°2	4.6 10 ⁵	6.5 10 ³	93	-	-	"	"	"	0.2

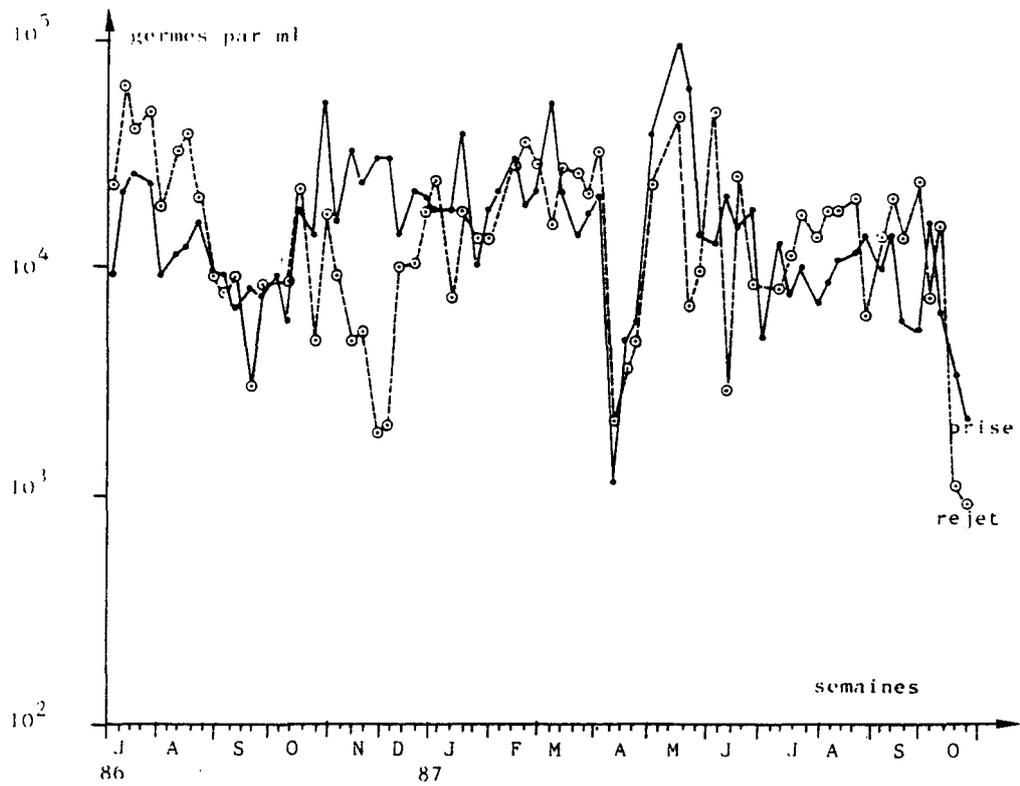


Température de l'eau de mer - prélèvements hebdomadaires.



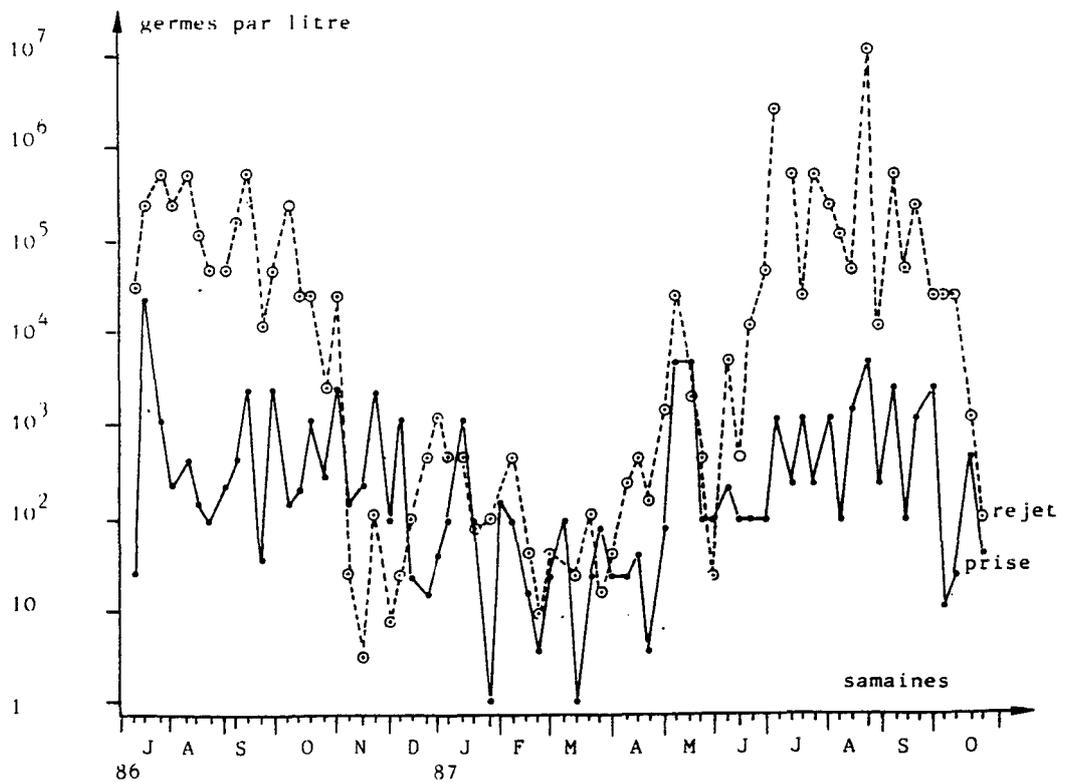
Dénombrement des germes totaux en épifluorescence - prélèvements hebdomadaires.

Fig: III . 18



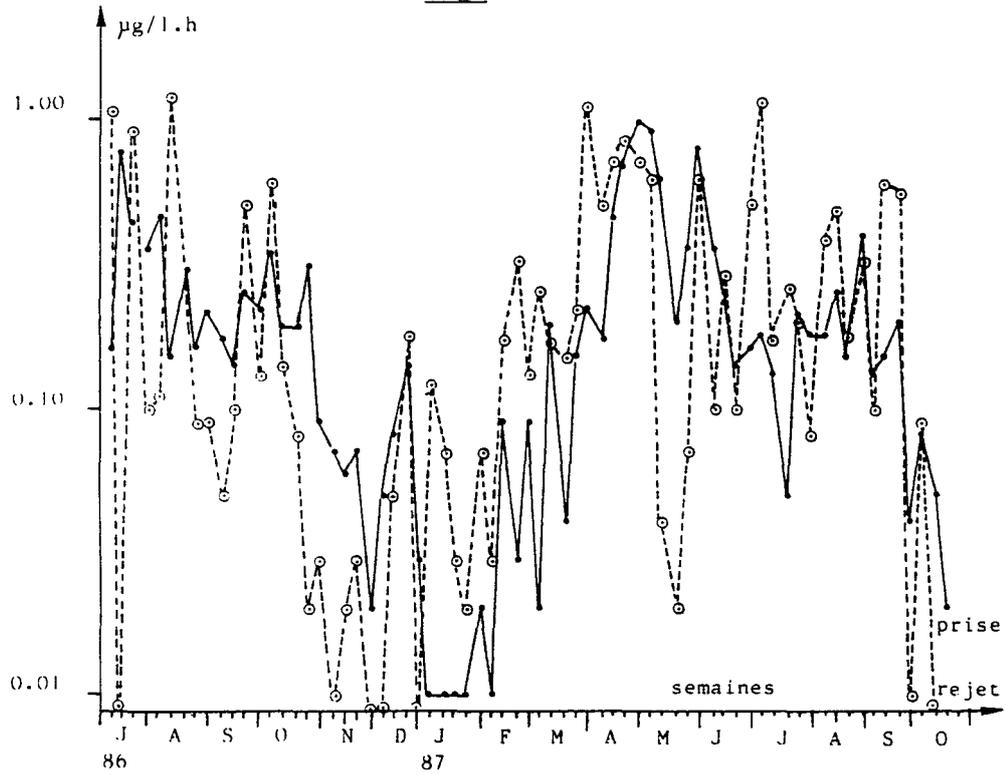
Dénombrement des germes aérobies viables sur gélose 2216E de ZoBell
- prélèvements hebdomadaires.

Fig: III . 19



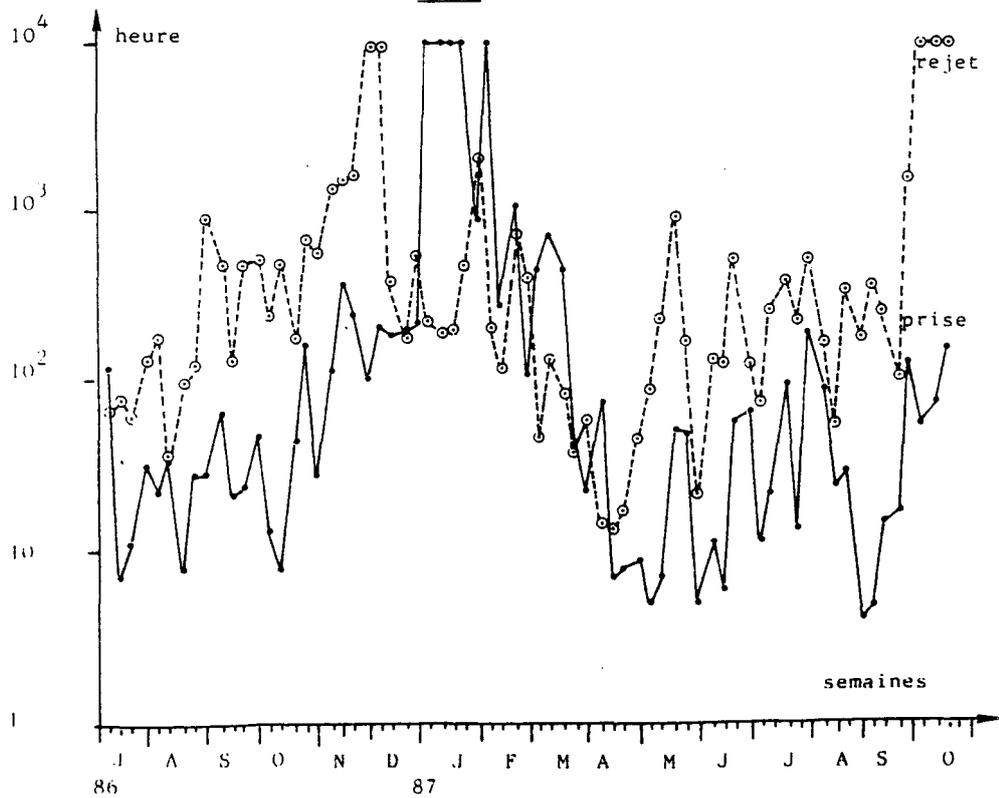
Dénombrement de vibrions halophiles - Prélèvements hebdomadaires.

Fig: III . 20



Activité hétérotrophe (Vm) - Prélèvements hebdomadaires.

Fig: III . 21



Temps de turn over (Bo) -prélèvements hebdomadaires.

CHAPITRE IV

PHYTOPLANCTON ET PRODUCTION PRIMAIRE

Hubert GROSSEL

Le tableau IV.1 résume l'essentiel des observations.

A. BIOMASSE CHLOROPHYLLIENNE.

Les trois campagnes effectuées l'ont été chacune à une période de forte productivité phytoplanctonique. Chacune semble être bien représentative d'une période particulière du cycle annuel :

Date	Période	Chlorophylle teneur moyenne	Valeur minimale	Valeur maximale
16 avril	poussée printénrière	17 mg/m ³	9.0 mg/m ³	21.3 mg/m ³
1er juillet	poussée estivale	8.6 mg/m ³	4.2 mg/m ³	11.4 mg/m ³
23 septembre	poussée automnale	7.0 mg/m ³	4.5 mg/m ³	11.4 mg/m ³

Ces valeurs, présentées en tableau IV.1, montrent que le minimum est toujours enregistré au canal de rejet, et que le maximum est souvent rencontré au point contrôle-fond.

B. POPULATIONS PHYTOPLANCOTNIQUES.

1. La campagne du 16 avril correspond à des populations représentatives d'une fin de pic printanier. Les teneurs en chlorophylle attestent d'un pic de forte intensité, mais les espèces rencontrées en général au début du printemps (mars-avril : Thalassiosira spp., Asterionella, Chaetoceros spp. ...) ne sont déjà plus, ou peu observées. La population présente le 16 avril est très largement dominée par Rhizosolenia delicatula, qui forme 70% à 90 % du microplancton présent, ainsi que par le nanoflagellé Phaeocystis, dont les densités atteignent 20.10⁶ cell./litre. Cette espèce semble d'ailleurs implantée depuis assez longtemps puisque l'on ne relève pas de colonies à l'examen au microscope, mais seulement quelques vestiges de colonies très dégradées. Les cellules sont donc dénombrées en tant que spores libres.

Gravelines 1987		Canal d'amenée	Canal de rejet	Contrôle 0 m	Contrôle fond	Référence 0 m	Référence fond
16.04.87	t°C	10.2 *	16.4 *	14.80	7.87	8.78	8.76
	Chl.a mg/m ³	14.23 *	8.97 *	15.84	21.11	20.33	21.34
	P. primaire mg C/m ³ /h	-	-	-	-	-	-
	P/B	-	-	-	-	-	-
	Phytoplancton Cell./cm ³	-	-	2200	4900	4800	2800
	Espèces dominantes ou remarquables	-	-	Phaeocystis Rhiz. del. (83 %)	Phaeocystis Rhiz. del. (83 %)	Phaeocystis Rhiz. del. (91 %)	Phaeocystis Rhiz. del. (70 %)
01.07.87	t°C	13.9	22.0	19.50	-	15.70	-
	Chl.a mg/m ³	8.20	4.21	10.79	11.41	9.02	8.16
	P. primaire mg C/m ³ /h	18.4	0.9	36.3	42.6	28.1	25.5
	P/B	2.2	0.2	3.4	3.7	3.1	3.1
	Phytoplancton Cell./cm ³	530	290	730	640	340	390
	Espèces dominantes ou remarquables	Rhiz. shr. (70 %) Nitz. ser.	Rhiz. shr. (63 %)	Aste. jap. Rhiz. shr. Nitz. ser. Scen. qua.	Rhiz. shr. (62 %) Nitz. ser.	Rhiz. shr. (56 %) Nitz. ser.	Rhiz. shr. (29 %) Rhiz. sto. Nitz. ser. Lept. dan. Cera. pel.
23.09.87	t°C	15.6	25.5	20.77	16.74	16.24	16.18
	Chl.a mg/m ³	6.58	4.95	6.88	11.42	7.57	4.47
	P. primaire mg C/m ³ /h	30	22	30	14	31	32
	P/B	4.6	4.4	4.4	1.2	4.1	7.2
	Phytoplancton Cell./cm ³	512	337	530	500	440	670
	Espèces dominantes ou remarquables	Lept. min. Rhiz. set. Bidd. sin. Dity. bri. Chae. eib. Thal.	Lept. min. Bidd. sin. Rhiz. set. Chae. com. Thal.	Chae. soc. Lept. min. Bidd. sin. Dity. bri. Thal.	Chae. soc. Lept. min. Dity. bri. Chae. eib.	Chae. soc. Dity. bri. Rhiz. set. Chae. spp.	Chae. soc. Dity. bri. Chae. com.

Tableau IV.1.

* Mesures réalisées par Institut Pasteur de Lille, chlorophylle selon Lorenzen.

La diversité microplanctonique (indice de diversité de Shannon) reflète bien la domination des Rhizosolenia delicatula (moyenne proche de 1).

2. La campagne du 1er juillet témoigne de l'arrivée des populations estivales. Les Rhizosolenia dominant, surtout Rh. shrubsolei. On constate à ce propos que cette espèce, formant 70 % du microplancton à l'entrée de la centrale (cellules toutes vivantes), est dénombrée dans le canal de rejet formant 72 % du microplancton présent, mais dont un tiers est formé de cellules mortes ou cassées lors du transit. Cette observation confirme donc ce qui a été observé les années antérieures.

On remarque lors de cette campagne l'influence sensible d'une dessalure vraisemblablement en provenance de l'Aa, au point contrôle en surface. Cette dessalure, déjà remarquée dans le tableau au paragraphe III.2, coïncide avec un enrichissement notable en sels azotés (tableau du paragraphe III.5). C'est l'occasion d'observer au microscope inversé des cellules phytoplanctoniques dulçaquicoles (Scenedesmus quadricauda, flagellés, centriques en chaînes) formant 18 % du microplancton présent, entrant ainsi dans le mélange avec les eaux du rejet de la centrale.

3. La campagne du 23 septembre atteste le retour d'espèces automnales. La diversité remonte à 3.4 (elle était à 2.3 en moyenne le 1er juillet), les espèces dominantes étant les Chaetoceros (Ch. sociale surtout) et Leptocylindrus minimus. Sont présentes de grosses diatomées telles que Biddulphia sinensis et Ditylum brightwellii.

C. IMPACT DU TRANSIT.

1. Impact sur la biomasse chlorophyllienne.

Cet impact se fait surtout ressentir dans le canal de rejet, où les teneurs en chlorophylle sont inférieures de 25 à 50 % à celles du canal d'amenée.

Sur le milieu récepteur, le déficit en chlorophylle est remarquable plus entre la surface et le fond au point contrôle qu'entre le point contrôle et le point référence (cf. tableau IV.1). A la stratification

thermique verticale au point contrôle correspond donc un gradient des teneurs en chlorophylle illustrant le déficit en surface. Celui-ci équivaut 5.3 mg/m^3 de chlorophylle en avril, est inférieur à 1 mg/m^3 le 1er juillet, et est de 4.5 mg/m^3 le 23 septembre. Rappelons que la campagne de juillet a vu un apport de cellules d'origine dulçaquicole au point contrôle en surface qui a certainement masqué en partie l'appréciation de l'impact par dilution de l'effluent de la centrale.

2. Impact sur la production primaire.

Deux expérimentations de productivité primaire sur les trois programmées ont pu être faites : le 1er juillet et le 23 septembre. Les résultats sont en tableau IV.1.

*** 1er juillet :**

On retrouve dans le canal de rejet l'expression de la destruction des Rhizosolenia shrubsolei décrite plus haut : à une teneur en chlorophylle deux fois moindre correspond une production primaire qui a chuté de 95 %, le rapport Production/Biomasse, témoin de l'état des cellules restantes, étant de l'ordre du 1/10e de celui des eaux entrantes.

Cette baisse de productivité n'est pas retrouvée au point contrôle soumis, on l'a vu, à l'influence des apports de l'Aa.

*** 23 septembre :**

L'impact du transit sur la production ne se ressent qu'au canal de rejet, avec une diminution d'environ 30 %. On note le résultat surprenant de l'échantillon contrôle-fond (non soumis à l'impact du rejet si l'on s'en tient à la température, au profil vertical thermique, et à la teneur en chlorophylle) qui révèle une chlorophylle très peu productive. En fin de compte, cette campagne de septembre n'a pas montré d'effet sensible significatif du rejet sur le milieu récepteur en ce qui concerne la productivité primaire.

D. CONCLUSION.

Les campagnes effectuées correspondent à trois phases représentatives du cycle saisonnier phytoplanctonique :

- 16 avril : poussée printanière
- 1er juillet : poussée estivale
- 23 septembre : poussée automnale.

Les espèces remarquables sont Rhizosolenia delicatula et Phaeocystis en avril, et Rhizosolenia shrubsolei en juillet. Les teneurs en chlorophylle rencontrées témoignent d'une année productive.

L'impact du transit se fait sentir essentiellement dans le canal de rejet.

La chlorophylle y est détruite à raison de 25 à 50 % de celle du canal d'amenée. C'est là que la production primaire est la plus impactée (chute de 95 % en juillet).

Le milieu récepteur (points contrôle et référence) ne présente pas, en 1987, de symptôme d'impact. Tout au plus le point contrôle en surface reflète-t-il un déficit par rapport au fond, mais seulement en ce qui concerne la chlorophylle, et exception faite du 1er juillet où un apport d'eau issue de l'Aa est venu contrarier cette observation d'impact.

CHAPITRE V

NOCTILUQUES ET ZOOPLANCTON

Geneviève LE FEVRE-LEHOËRFF

INTRODUCTION.

La période Novembre 1986 - Octobre 1987 correspond à la 9e étude de surveillance du site de Gravelines. L'échantillonnage, les prélèvements de zooplancton et des noctiluques, et le dépouillement des échantillons ont été décrits dans un rapport méthodologique publié séparément (G. LE FEVRE-LEHOËRFF, 1985).

Une nouvelle stratégie d'échantillonnage qui prévoit trois missions par an a été mise en place en septembre 1986 et poursuivie en 1987. Les points de prélèvements prévus sont au nombre de quatre :

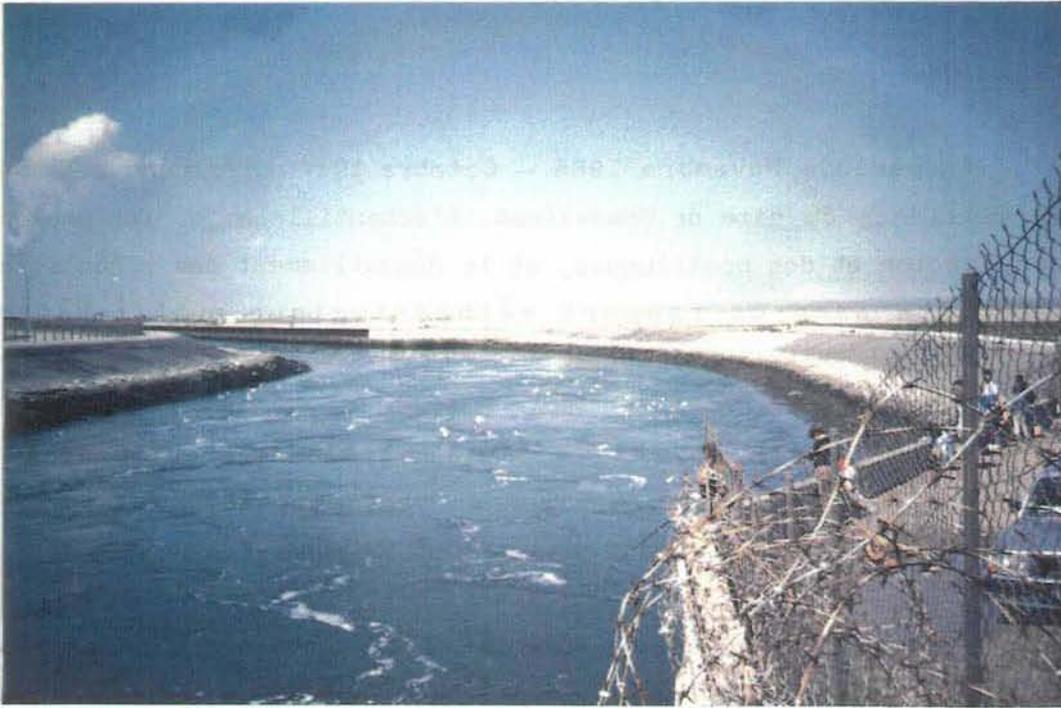
- un point de référence hors tache thermique à $\Delta T = 0^\circ$ au large.
- un point contrôle à $\Delta T = + 3^\circ \pm 1^\circ\text{C}$.
- un point dans le canal de rejet.
- un point dans le canal d'amenée.

RESULTATS.

Deux types d'organismes sont étudiés : les noctiluques dinoflagellés hétérotrophes et le zooplancton (essentiellement mesoplancton).

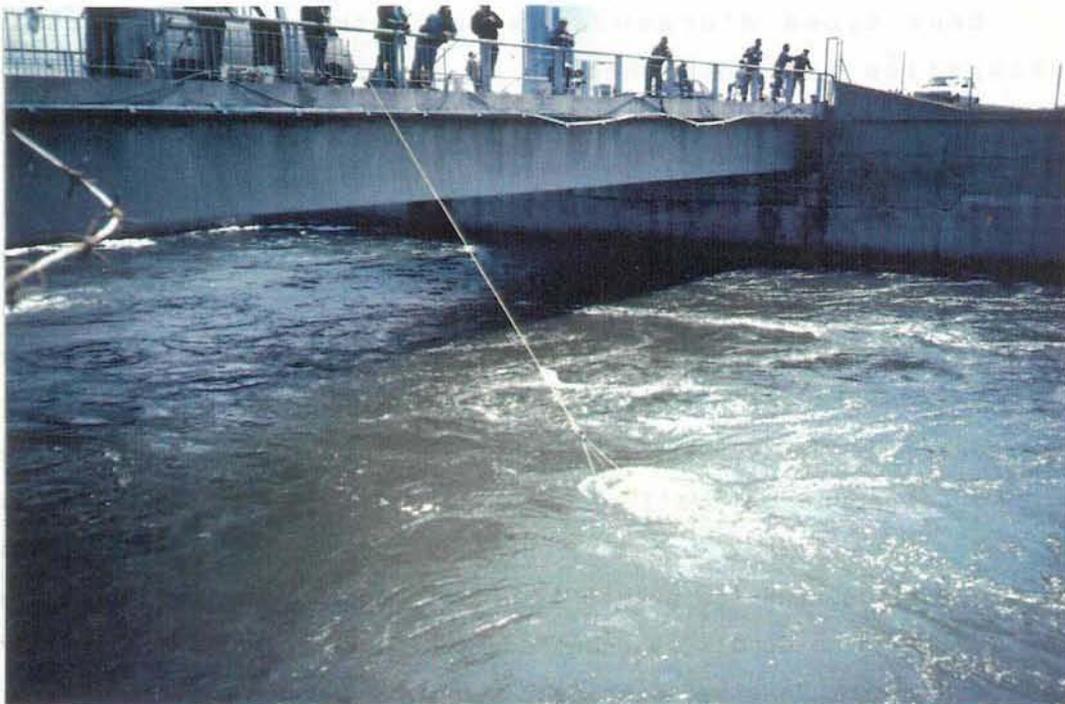
1. Les noctiluques.

L'année 1985 avait été marquée par une eau rouge à noctiluques en juillet (G. LE FEVRE-LEHOËRFF, 1986). En 1986 le phénomène ne s'est pas produit avec cette ampleur et des taches colorées de noctiluques ont été notées avec échouages sur les plages. En 1987, la mission de juillet nous a permis de faire une estimation qui montre des quantités plus importantes qu'en 1986. Nous avons représenté sur la figure V.I.a la variation saisonnière (moyenne de tous les points de prélèvements), des noctiluques de 1979 à 1987 c'est-à-dire depuis le début des années de surveillance du site. Les périodes de forte densité coïncident souvent avec les périodes d'ensoleillement et vent faible de secteur Nord-Est ce qui correspond à une situation relativement stable avec une stratification thermique superficielle. La comparaison des points de prise d'eau dans l'avant-port, le rejet et les



Cliché G. LE FEVRE-LEHOERFF.

Cliché 1 : L'eau de mer destinée à l'alimentation des circuits de refroidissement des 6 réacteurs est pompée dans l'avant-port ouest de Dunkerque. L'eau après être passée dans les écrémeurs est canalisée.



Cliché G. LE FEVRE-LEHOERFF.

Cliché 2 : La turbulence provoquée par le passage dans les écrémeurs perturbe la nage des poissons dans le canal. Les pêcheurs qui profitent de cette occasion stationnent sur le pont routier. C'est à ce même endroit que le point de prélèvement "canal d'entrée" se situe (hydrologie et zooplancton).



Clichés G. LE FEVRE-LEHOÉRF.

Clichés 3 et 4 : Prélèvements du zooplancton et des noctiluques dans le canal d'amenée avec un filet WP2 (200 μ vide maille) muni d'un débitmètre TSK permettant d'estimer le volume filtré en pêche.

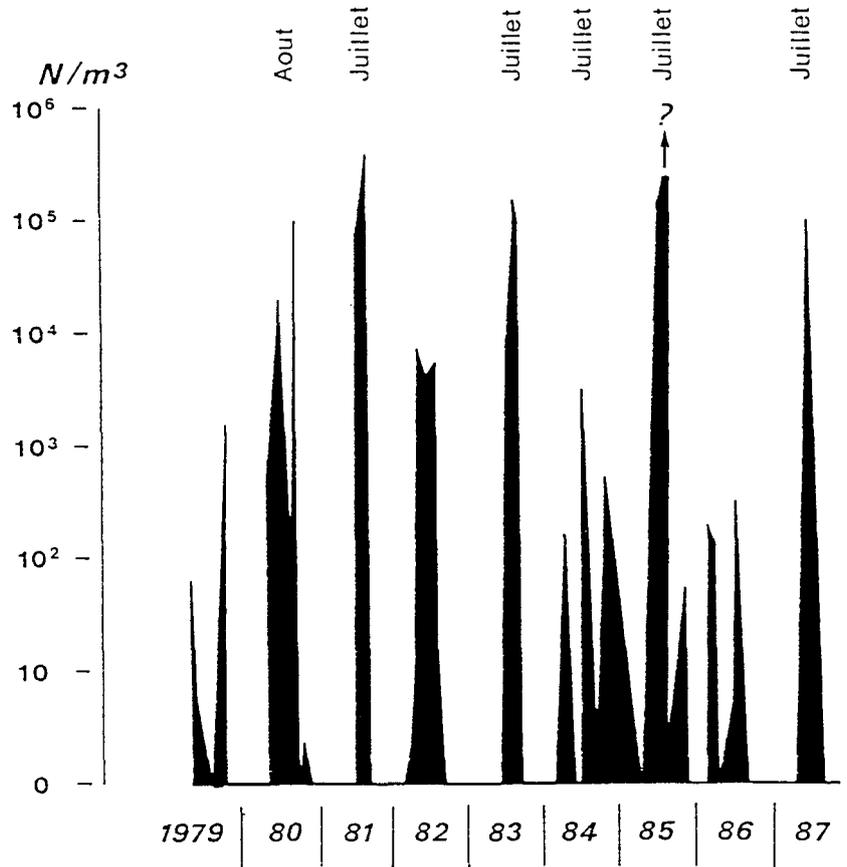


Fig V-I a: Variations saisonnières des noctiluques

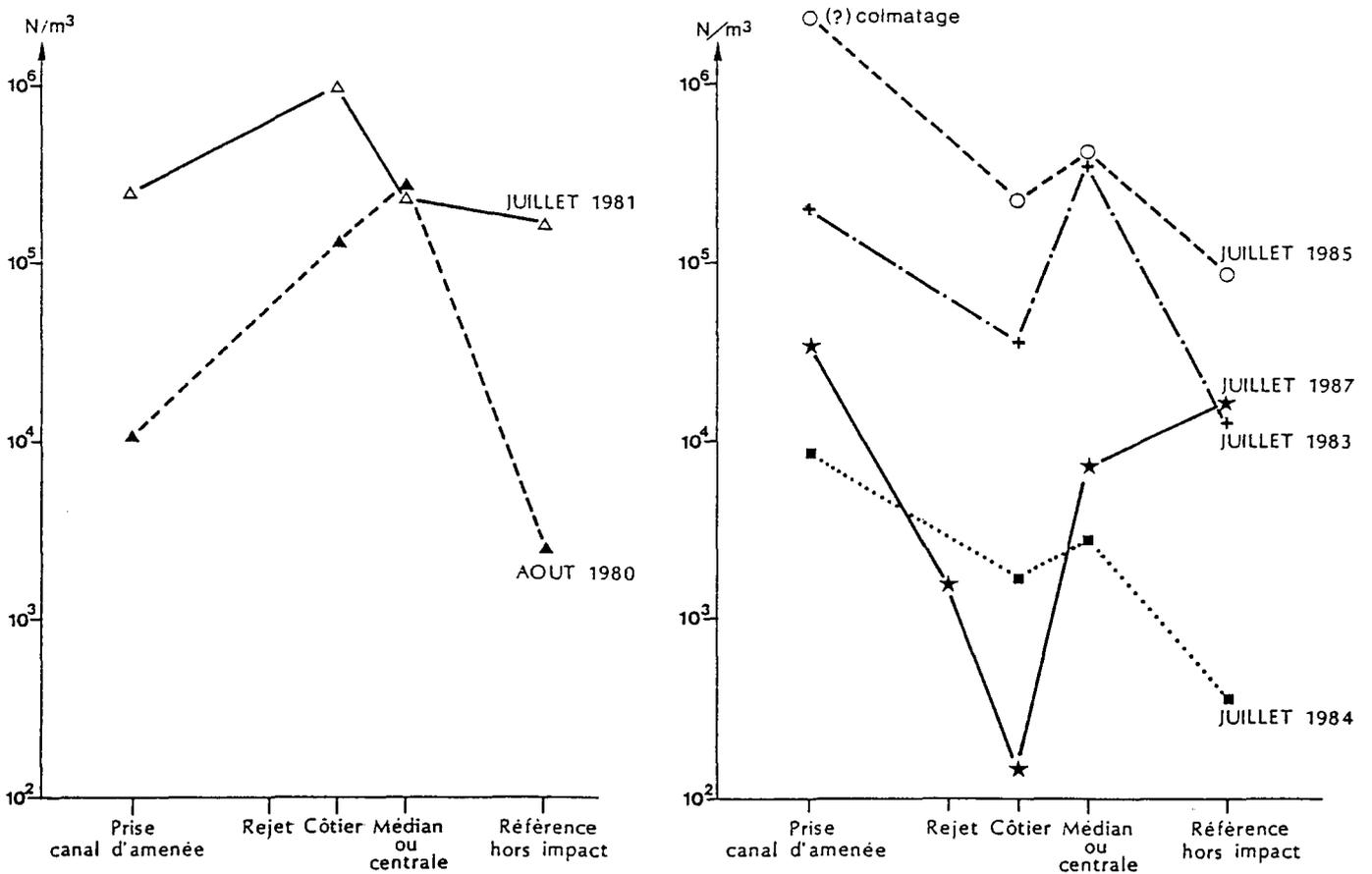


Fig V-I b: Variations spatiales des noctiluques

points à ΔT décroissant vers le large montre (fig. V.I.b) qu'il existait généralement une diminution de la côte vers le large tant que la centrale n'avait pas créé une tache thermique importante devant le rejet. Depuis 1983 nous observons systématiquement une différence entre la prise et le rejet, l'abondance des noctiluques est nettement déficitaire dans le rejet et il semble même que le déficit est maximal légèrement au-delà au niveau du point dit côtier qui semble refléter le mieux la mortalité immédiate par la circulation dans les circuits de la centrale et la mortalité légèrement différée également.

2. Le zooplancton.

2.1. Biomasse zooplanctonique, carbone et azote.

Les mesures de biomasse n'ont pu être faites en avril à cause de l'impossibilité de filtrer les prélèvements, les filtres étant rapidement colmatés par les Phaeocystis présentes en grande quantité à cette époque. Seules sont disponibles les données de juillet et septembre.

Dans la zone de référence hors impact, en juillet une biomasse de 60 mg/m^3 correspond à 19 mg de carbone et 4 mg d'azote. Ces résultats représentent des valeurs plus faibles que la moyenne calculée sur la période 1975-1986 pour la zone non impactée mais restent dans la fourchette des valeurs possibles normales. La moyenne en juillet des biomasses pour la période 1975-1986 est 182 mg/m^3 (avec $S = 121$) ce qui correspond à 28 mg/m^3 de carbone et 10 mg/m^3 d'azote.

En septembre la valeur de biomasse en zone non impactée est 108 mg/m^3 correspondant à 23 mg de carbone et 4.4 mg d'azote, valeurs légèrement supérieures aux moyennes calculées sur la même zone pour la période 1975-1986 mais se situent dans la gamme des valeurs normales.

Pour les deux missions disponibles les valeurs de biomasse, carbone et azote mesurées au rejet sont inférieures à celles mesurées au canal d'entrée (tableau V.1). Ce résultat est en accord avec une moindre abondance à la fois du nombre de noctiluques et du nombre d'individus de zooplancton en juillet mais la situation n'est pas reproductible en septembre.

Tableau V.1 : Biomasse zooplanctonique (mg/m^3), carbone (% et mg/m^3), azote (% et mg/m^3), rapport C/N, moyenne (M) et écart-type (S) des mesures répétées

Date	Point	Biomasse mg/m^3	% C	Poids C mg/m^3	% N	Poids N mg/m^3	C/N
01.07.87	Canal d'aménée	83.4	19.1	15.9	3.6	3.0	5.3
	Canal d'aménée	105.5	17.3	18.3	3.1	3.3	5.6
	M | S	94.4 | 15.6		17.1 | 1.7		3.2 | 0.2	5.5 | 0.2
	Rejet	59.8	17.5	10.5	3.2	1.9	5.5
	Côtier	26.9	20.6	5.5	3.7	0.9	5.6
	Côtier	75.3	11.0	8.3	1.4	1.1	8.1
	Côtier	139.5	7.5	10.5	1.2	1.7	6.0
	Côtier	101.5	10.0	10.2	1.0	1.0	9.9
	Côtier	58.9	15.0	8.8	2.6	1.5	5.7
	Côtier	92.1	12.0	11.1	2.2	2.0	5.4
	M | S	82.4 | 38.5		9.1 | 2.0		1.4 | 0.4	6.8 | 1.8
	Contrôle	30.5	25.9	7.9	5.2	1.6	5.0
	Contrôle	42.8	21.2	9.1	4.5	1.9	4.7
	Contrôle	37.3	35.8	13.4	7.9	5.0	4.5
	M | S	36.9 | 6.1		10.1 | 2.9		2.8 | 1.9	4.7 | 0.3
	Référence	37.3	36.7	13.7	8.6	3.2	4.3
	Référence	57.5	31.6	18.2	7.5	4.3	4.2
	Référence	82.6	25.2	20.8	5.6	4.6	4.5
	Référence	71.8	35.3	25.3	8.0	5.7	4.4
	Référence	53.2	33.2	17.7	7.8	4.1	4.2
Référence	57.6	35.8	20.6	8.0	4.6	4.5	
M | S	60.0 | 15.7		19.4 | 3.9		4.4 | 0.8	4.4 | 0.1	
23.09.87	Canal d'aménée	301.8	17.8	52.5	2.9	8.8	6.1
	Canal d'aménée	297.0	16.6	49.3	2.2	6.5	7.5
	Canal d'aménée	-	12.2	-	1.2	-	10.0
	M | S	299.4 | 3.4		50.9 | 2.3		7.7 | 1.6	7.9 | 2.0
	Rejet	105.0	15.9	16.7	2.6	2.7	6.1
	Rejet	121.3	14.2	17.2	2.3	2.8	6.1
	Rejet	60.6	19.8	12.0	3.5	2.1	5.6
	Rejet	88.9	17.8	15.8	3.1	2.8	5.7
	M | S	94.0 | 25.9		15.4 | 2.4		2.6 | 0.3	5.9 | 0.3
	Contrôle	115.5	18.4	21.3	3.5	4.0	5.2
	Contrôle	96.5	16.9	16.3	3.2	3.1	5.2
	Contrôle	99.9	17.0	17.0	3.2	3.2	5.3
	Contrôle	84.4	16.0	13.5	3.0	2.5	5.3
	Contrôle	108.6	18.0	19.5	3.4	3.7	5.2
	Contrôle	69.0	19.0	13.1	3.7	2.6	5.1
	M | S	95.7 | 16.9		16.8 | 3.2		3.2 | 0.6	5.2 | 0.1
	Référence	118.2	20.4	24.1	3.8	4.5	5.3
	Référence	108.4	20.4	22.1	3.9	4.2	5.3
	Référence	116.2	19.8	23.0	3.8	4.4	5.2
	Référence	111.9	19.6	21.9	3.8	4.3	5.2
Référence	90.3	22.8	20.6	4.5	4.1	5.0	
Référence	105.3	23.4	24.6	4.6	4.8	5.1	
M | S	108.4 | 10.1		22.7 | 1.5		4.4 | 0.3		

La méthode d'échantillonnage permet désormais d'avoir une meilleure estimation des biomasses à Gravelines, l'examen des résultats des 6 repliquats permet de mieux cerner la variabilité naturelle et de détecter les résultats aberrants. C'est évidemment dans le rejet et au point côtier soumis au courant de rejet que les mesures sont les plus dispersées et les plus difficiles à obtenir.

2.2. Les espèces zooplanctoniques (tableau V.2 et fig. V.2).

Pour les deux années de projet et les huit premières années de surveillance nous avons longuement décrit les cycles saisonniers des espèces à Gravelines, leur abondance, leur dominance et leur diversité.

Pour l'année 1987, nous considérons trois situations printanière, estivale et automnale et nous comparons les points entrée de centrale avec les points à la sortie de la centrale depuis le rejet jusqu'au point de référence hors impact.

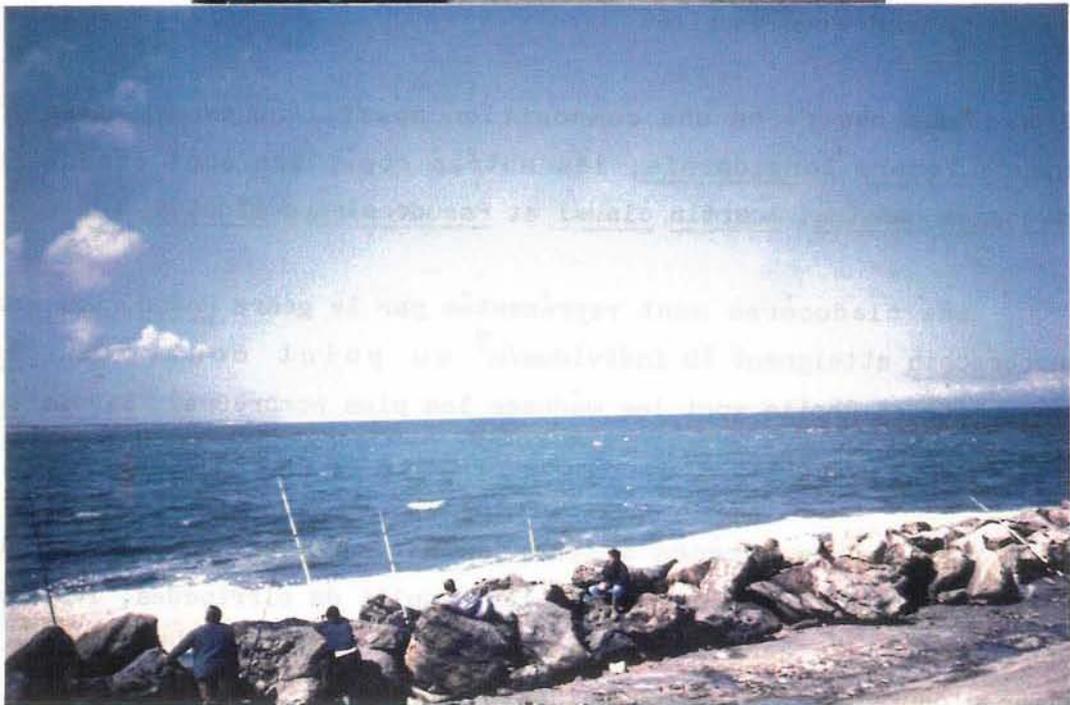
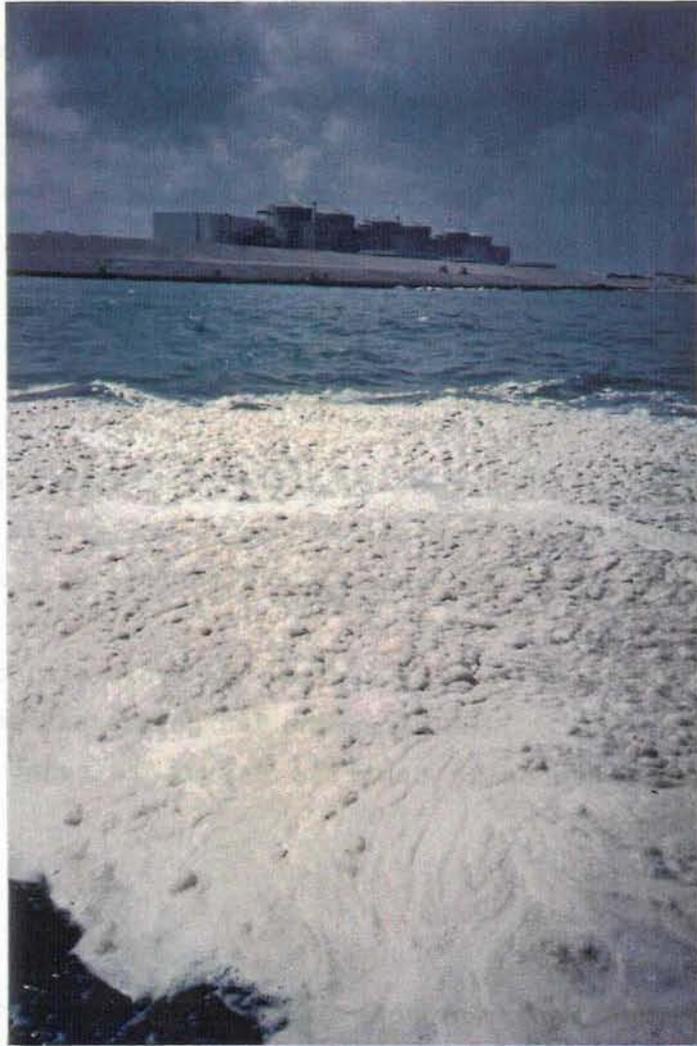
* Avril :

Deux points seulement ont été échantillonnés et aucune structure spatiale ne peut être décrite.

Nous observons une composition spécifique normale avec prédominance de Temora longicornis, les autres copépodes sont essentiellement Centropages hamatus, Acartia clausi et Pseudocalanus minutus.

Les cladocères sont représentés par le genre Podon. Les ctenaires Pleurobrachia atteignent 18 individus/m³ au point contrôle. Ratkea octopundata et Obelia sont les méduses les plus nombreuses. Sarsia tubulosa espèce boréale est présente.

Les autres espèces intéressantes à signaler à cette époque sont les larves d'espèces benthiques, les nauplii de cirripèdes, les larves de l'annélide Lanice sont présentes dès le printemps. C'est la période du maximum d'oeufs de téléostéens qui atteignent des densités de 10 à 15/m³.



Clichés G. LE FEVRE-LEHOËRFF.

Gravelines 12 Juin 1987.

La mousse formée par les Pleurobrachia pileus (cténaire) mélangés à des Phaeocystis en décomposition s'accumule à la sortie du canal de rejet. L'ensemble du plancton, mort depuis quelques secondes, sortant du circuit de refroidissement de la centrale alimente les bars et les mulets qui viennent se nourrir dans le canal de rejet. Les oiseaux de mer y viennent nombreux attirés par les poissons. Les pêcheurs à la ligne de la région sont également bénéficiaires.

Les dépôts de mousse de Pleurobrachia ou de Phaeocystis s'accumulent par temps calme à la limite du front hydrologique en limite du panache thermique. On voit sur la dernière photo ci-dessous la limite externe du panache. Au premier plan on observe les eaux sortant de la centrale longeant la digue et se dirigeant vers le Nord-Est avec la marée montante. Au deuxième plan on aperçoit le panache résiduel correspondant à la marée descendante précédente. (Clichés G. LE FEVRE-LEHOËRFF - 12.06.87).



Cliché G. LE FEVRE-LEHOËRFF.

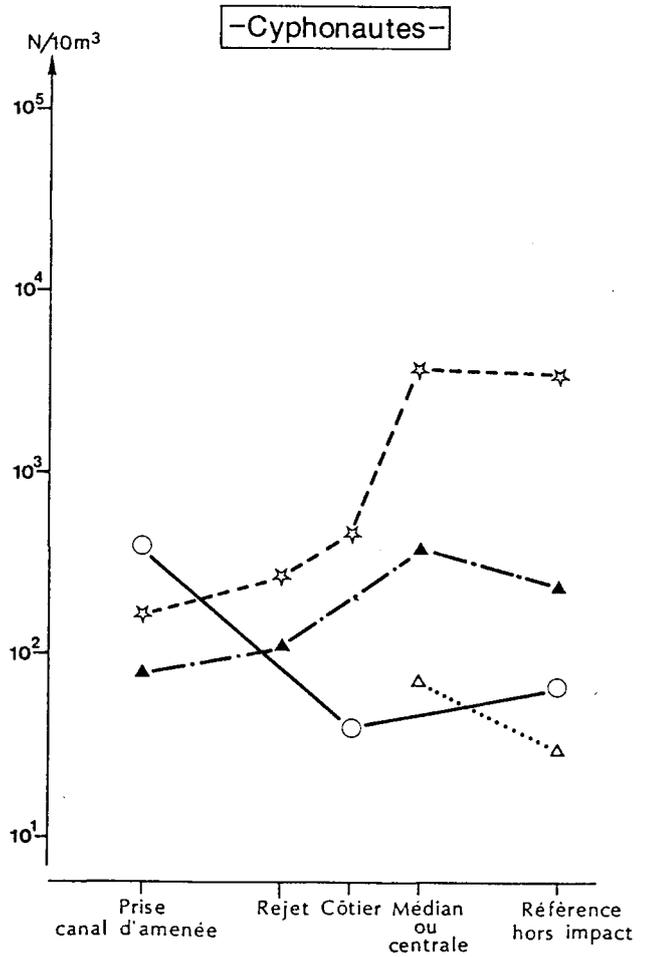
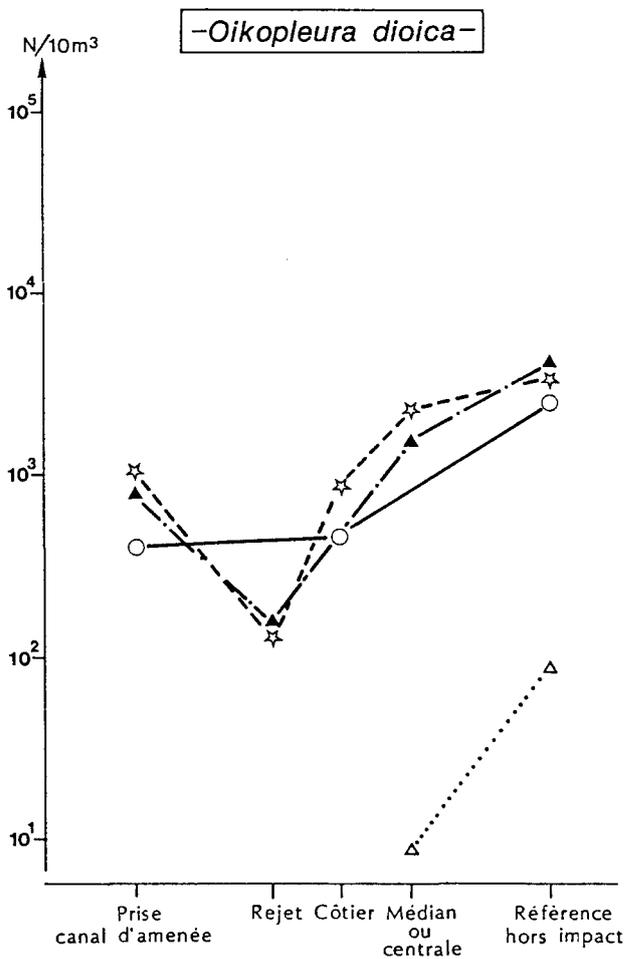
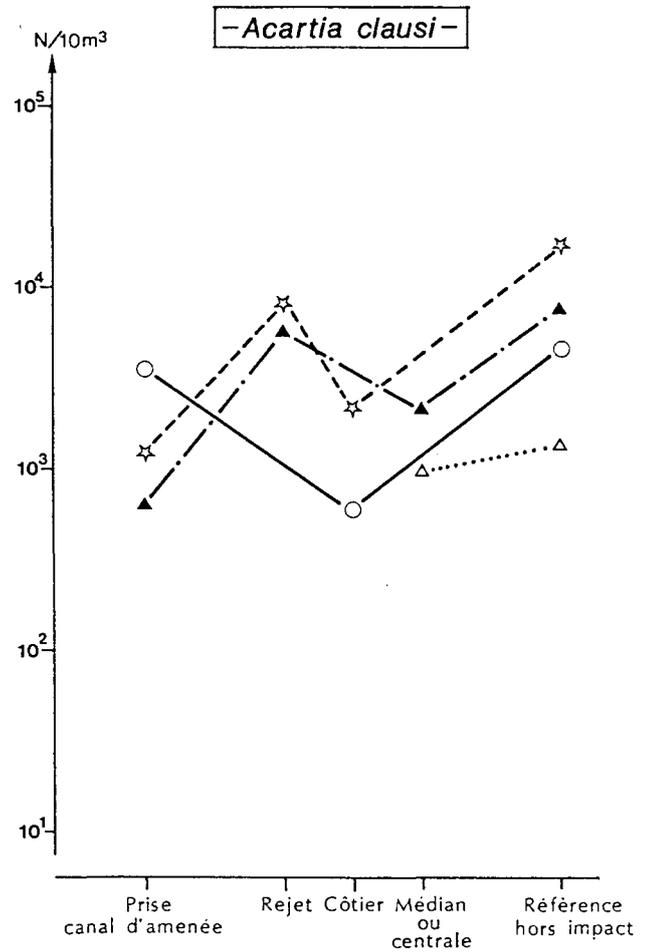
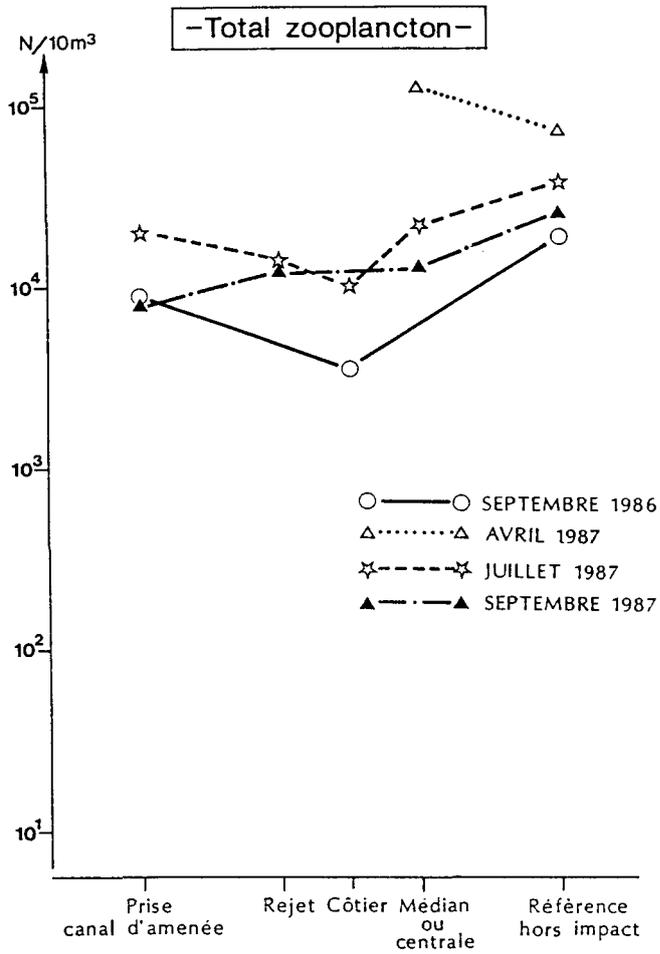


Fig. V.2 : Répartitions spatiales du zooplancton total, Acartia clausi, Oikopleura dioica et les larves cyphonautes.

*** Juillet :**

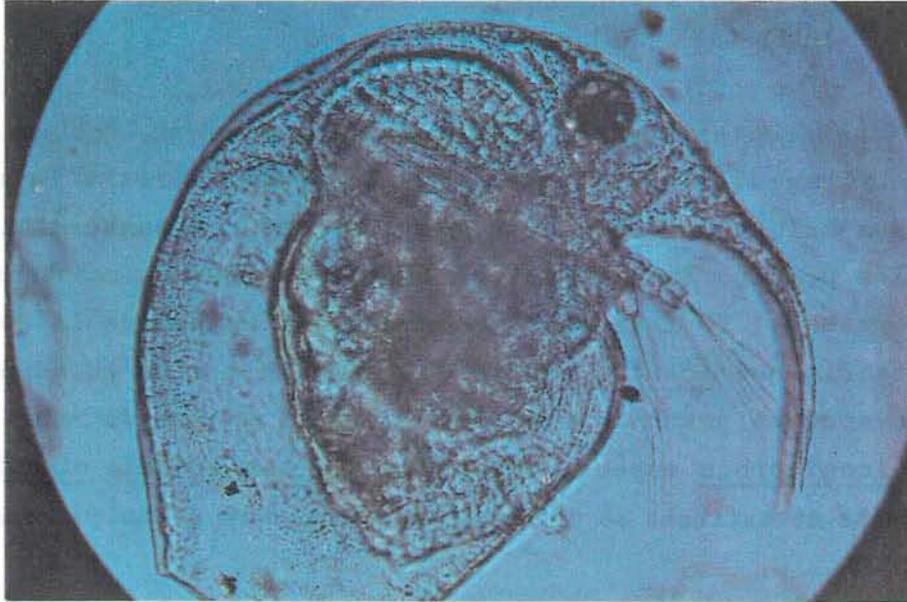
Le zooplancton est nettement moins abondant, éclipsé par le bloom des dinoflagellés noctiluques. Les copépodes forment la majorité des individus mais nous avons noté que l'espèce dominante était différente selon les points. En particulier il est curieux de constater que Temora longicornis est 10 fois plus abondante à l'entrée de la centrale qu'au rejet tandis que Acartia clausi est deux fois plus abondante au rejet. Serions-nous en présence d'un effet immédiat néfaste du rejet échauffé sur Temora longicornis espèce boréale tandis que Acartia clausi espèce plus thermophile et estivale se maintiendrait bien dans l'eau du rejet ?

Les observations d'inversion de dominance sont parfois plus faciles à observer dans le plancton que des observations de déficit toujours plus difficiles à estimer, tandis qu'une dominance est le reflet d'une compétition interspécifique au stress commun. Cette mortalité supposée importante de Temora longicornis au rejet serait peut être confirmée par des récoltes anormales et importantes de Temora longicornis dans le benthos (J.M. DEWARUMEZ, Chapitre Benthos de ce même rapport).

En juillet, d'autres groupes montrent une abondance intéressante, les cladocères Bosmina sont particulièrement abondants au point côtier ($26/m^3$). Les larves des annélides Magelona papillicornis sont présentes avec 10 indiv./m^3 sans doute en relation avec l'augmentation signalée dans la population benthique. Notons encore les grandes quantités de Cyphonautes, larves des Bryozoaires qui peuvent constituer avec les moules et les cirripèdes les éléments du fouling sur les ouvrages. Les appendiculaires Oikopleura dioica et Fritillaria pellucida sont des organismes fragiles et, comme pour les années précédentes, on observe une forte diminution de l'abondance entre la prise et le rejet.

*** Septembre :**

Le plancton total présente une abondance voisine de celle de juillet. Les espèces dominantes sont essentiellement Euterpina acutifrons et Acartia clausi qui ont une abondance notable dans le rejet. Les larves sont représentées par les larves d'annélides Lanice et les spionidae, les Ophioplutei et les jeunes ophiures.



Les cladocères sont des espèces qui prolifèrent bien dans les eaux très côtières. Bosmina est une espèce bien développée dans les eaux boréales de faible salinité.



Larves nauplii de cirripèdes.

Tableau V.2 : N/10 m³ Zooplancton et Noctiluques - Gravelines 1987.

	16 Avril		1er Juillet					23 Septembre			
	Contrôle	Référence	Amenée	Rejet	Côtier	Contrôle	Référence	Amenée	Rejet	Contrôle	Référence
Sarsia eximia								13			
Sarsia tubulosa		6									
Ratkea octopunctata	267	86									
Obelia		143			20	18		14			
Phialidium								13			
Phialella quadrata		2						13			
Total leptomeduses	833	143									
Autres cnidaires	22				20			53			
Pleurobrachia	178	21				7		6		42	94
Sagitta spp.		2						147	39	225	848
Aphroditidae	22	29						12			24
Spionidae	133	257	800	359	340	345	252	1 160	267	600	518
Nephtys sp.						18		28	19	200	94
Lanice conchilega		143	329	28	60	273	168	853	533	600	
Magelona papillicornis			94	28		91	84			33	94
Autres annélides											
Podon		143									
Bosmina					260	18					
Calanus helgolandicus		2						13			94
Paracalanus parvus							28	400	190	167	3 388
Pseudocalanus minutus	1 000	2 829	282	14	60	1	365				
Temora longicornis	119 267	61 543	13 600	4 455	4 360	13 491	14 793	400	438	1 300	4 941
Centropages hamatus	17 200	1 000	1 859	1 076	980	618	1 207	227	438	833	918
Isias clavipes							28				
Acartia clausi	1 067	1 400	1 929	7 807	2 160	1 018	16 533	653	5 733	2 333	7 035
Euterpina acutifrons			23					2 080	5 809	3 733	847
Oncaea										1 667	94
Autres copépodes			47					214	206	367	471
Nauplii cirripèdes	1 933	1 057	212		160	55	28	80	76	333	141
Cypris de cirripèdes	667	2 457	23	55	620	145		67	152		24
Gastrosaccus							4				23
Cumacés	67	6				18	4				71
Amphipodes gammariens				14							
Caridae	45	6		14			2		16	33	
Zoe de brachyours	8			27	20	54	4				
Gastéropodes	22	47				18		67	65	67	
Lamellibranches		86								33	
L. cyphonautes		29	165	276	480	3 836	3 425	80	114	400	212
L. Ophiopluteus et jeunes ophiures						36	1	333		200	424
Oikopleura dioica	8	86	1 059	109	820	2 145	3 146	787	152	1 567	3 976
Fritillaria pellucida				15	40		82				
Têtards d'Ascidie					20						
Téléostéens	108	157			120	127	24				
Alevins de Téléostéens	8	2					4				
Reste individus							1				
Total zooplancton	142 355	71 492	20 469	14 277	10 540	22 326	40 190	7 713	14 247	14 733	24 331
Dinoflagellés noctiluques	0	0	317 311	15 921	1 451	65 142	147 248	0	0	0	0

La comparaison de la prise et du rejet montre un effet destructeur sur les chaetognathes Sagitta, les copépodes Paracalanus et les appendiculaires Oikopleura dioica.

CONCLUSION.

La nouvelle stratégie mise en place avec comparaison des points pour trois situations annuelles permet de mieux cerner l'impact sur les populations. On peut regretter toutefois que de nombreux repliquats ne soient pas effectués pour les déterminations spécifiques comme ils le sont pour les biomasses car nos comparaisons se basent sur très peu d'échantillons, les différences de réactions entre les espèces semblent tout de même confirmer certaines observations antérieures, en particulier l'impact destructeur du rejet sur les appendiculaires.

L'aspiration sur les grilles des organismes mous comme les Pleurobrachia, Chaetognathes ou méduses peut être dangereux en diminuant le débit d'eau dans le circuit de refroidissement mais de très nombreux organismes beaucoup plus petits traversent ces grilles et subissent l'impact thermique, mécanique et chloré ensuite. Le déficit total et la mortalité totale doivent tenir compte des deux phénomènes.

BIBLIOGRAPHIE.

G. LE FEVRE-LEHOÉRF, 1985.

Techniques utilisées pour l'étude du zooplancton sur les sites des centrales nucléaires des côtes françaises de Manche et Atlantique. IFREMER-Centre de Brest, 24 p. (version en français, version en anglais).

G. LE FEVRE-LEHOÉRF, 1986.

Noctiluques et zooplancton. Etude de surveillance n° 7 du site de Gravelines (novembre 1984 - octobre 1985). pp. 74-105. Rapport DERO-EL IFREMER pour EDF.

CHAPITRE VI

HALIEUTIQUE

D. WOEHLING et J. MARTIN
(Centre de Nantes)
A. TETARD
(Station de Ouistreham)

INTRODUCTION

Le site de Gravelines, par ses caractères physiques, hydrobiologiques et halieutiques, se rattache principalement à une famille de secteurs côtiers relevant du contexte biogéographique plus général du bassin du sud de la Mer du Nord et dans une moindre mesure, du couloir de la Manche. Le biotope est en continuité avec le littoral belge avec lequel il partage ses traits essentiels : dominance des substrats sablo-vaseux, faible pente des fonds, abondance des hauts-fonds proches de la côte, faible profondeur générale, hydrodynamisme important.

Les principales caractéristiques physico-chimiques des masses d'eau au droit du site, du fait de l'importance des courants, découlent en grande partie d'événements hydrobiologiques affectant un secteur plus vaste, notamment une large frange côtière rassemblant des biotopes voisins qui présentent une faible inertie devant les facteurs climatiques et les apports d'origine tellurique importants et irréguliers en provenance notamment et surtout au printemps, des grands estuaires des côtes belges et hollandaises.

Par l'ensemble de ses caractéristiques écologiques le site s'inscrit dans une famille d'aires de nutrition, frayères et nurseries côtières.

Les études précédentes ont permis de mettre en évidence puis de confirmer la part importante que représentent poissons plats, gadidés et crevette grise, à la fois dans les peuplements planctoniques (oeufs et/ou larves) et dans l'inventaire des ressources halieutiques.

Ainsi, progressivement, l'accent a été mis sur quelques espèces principales ; s'agissant de la macrofaune halieutique, une estimation quantitative des juvéniles de poissons est réalisée, et ceci pour deux raisons :

- biologique : les juvéniles de poissons, en particulier ceux de poissons plats, devant passer les deux ou trois premières années de leur vie dans les eaux côtières, seront probablement plus sensibles à l'influence de la tache thermique que les adultes doués d'une plus grande mobilité.
- halieutique : cette nourricerie est à la base du recrutement sur des zones de pêche situées plus au large ; l'influence positive, nulle ou négative que pourra avoir l'échauffement des eaux sur les juvéniles se répercutera donc au niveau de la pêche.

Associée à ces observations sur les poissons, une étude quantitative de la crevette grise est également assurée.

Au niveau des peuplements planctoniques, une "espèce cible" a été retenue : la sole, en raison à la fois de son importance halieutique et de l'abondance relative de ses oeufs et larves au sein du plancton.

Parallèlement, on réalise un suivi des larves de gadidés et des autres poissons plats, ainsi que des larves des principaux crustacés décapodes comme la crevette grise, le tourteau ou l'étrille.

METHODOLOGIE

1. Etude planctonique

Le matériel et les méthodes utilisés sur le terrain et au laboratoire sont identiques à ceux employés au cours des phases précédentes de l'étude du site de Gravelines ainsi que sur les autres sites d'implantation de centrales nucléaires. On en trouvera une description détaillée dans les rapports d'étude afférents, notamment dans le rapport de projet du site de Gravelines (ISTPM, 1981). Nous n'en rappellerons ici que les points essentiels ou particuliers concernant l'année 1987.

L'échantillonnage des stades planctoniques dans le canal d'aménée, introduit en 1985, a été reconduit cette année. Bien que biaisé par une mauvaise estimation des volumes filtrés (instabilité du filet dans la veine d'eau, variabilité des courants), il permet de disposer d'une meilleure couverture temporelle et de confirmer les gradients côte-large.

Des études antérieures ont montré que la chronologie des phénomènes biologiques dans le canal était identique à celle du milieu extérieur, les particularités dans les paramètres physiques dans l'avant-port et le canal (par exemple légère surélévation thermique d'environ 1° au printemps) et le taux relativement rapide du renouvellement des eaux de l'avant-port n'étant pas de nature à induire des perturbations notables dans les cycles biologiques des espèces zooplanctoniques (notamment, on n'observe pas d'avance dans le cycle de reproduction de la sole). Par ailleurs, les densités reflètent celles du milieu extérieur, cela a été observé pour les oeufs de sole et c'est également le cas pour les espèces dont les stades planctoniques sont produits dans l'ensemble du secteur.

Il demeure cependant que l'estimation des densités d'organismes dans le canal de prise est entachée d'erreurs (voir plus haut) ; ainsi les données du canal, utilisables du point de vue chronologique, demeurent délicates pour les densités.

L'échantillonnage des points sur le site, par la méthode des repliquats, introduit en 1984, a été reconduit en 1987 étant donné qu'il était intéressant de corroborer les résultats précédents et que la diminution des volumes filtrés corrélative de l'abandon des paliers ne semble pas avoir une grande incidence sur l'estimation des effectifs.

1.1. Localisation des points de mesure

L'échantillonnage du zooplancton a été réalisé aux deux points retenus pour l'étude de surveillance, un point côtier situé dans le panache de rejet et un point au large hors influence, ainsi qu'à l'entrée du canal d'aménée, au niveau du point enjambant le canal : point 6 auprès de la rive gauche, point 7 au centre du canal.

Afin de disposer d'une meilleure estimation des densités en dehors du panache ainsi que pour affiner les gradients horizontaux, les prélèvements au point médian ont été réintroduits en 1986.

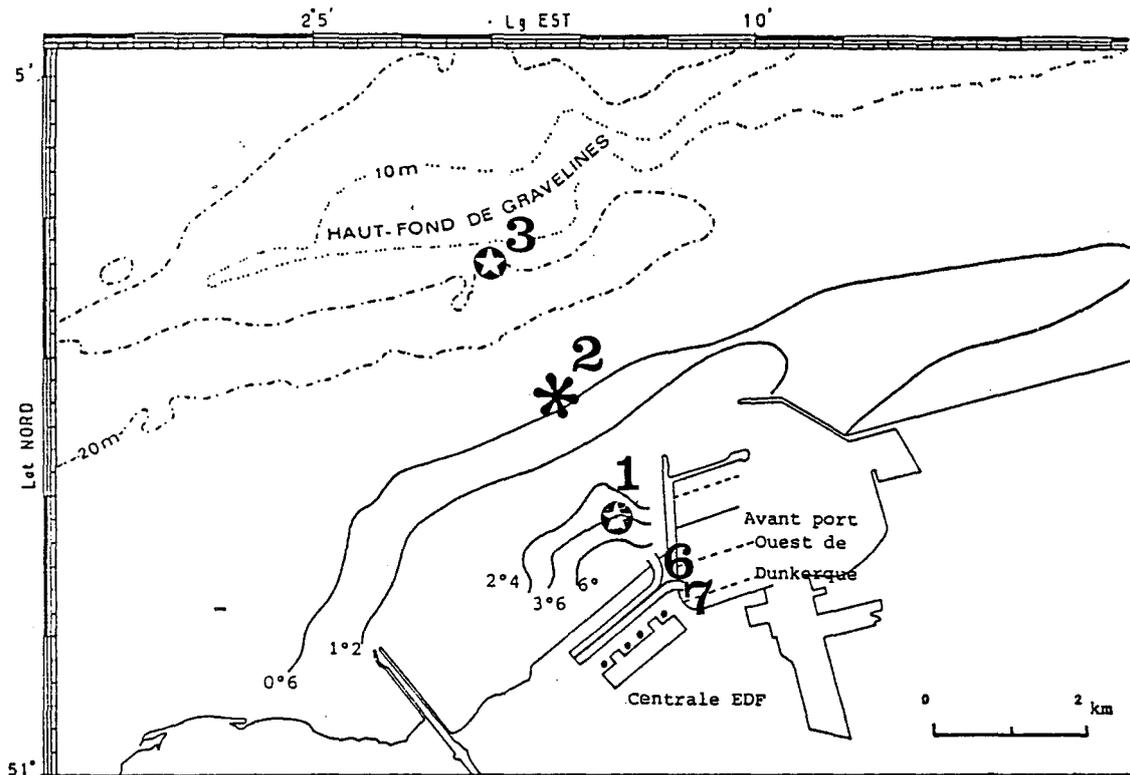


Fig. VI. 1. - Localisation des points de prélèvements de zooplancton au cours de l'année 1987.

L'uniformisation de la codification des points de mesure depuis le début des études nous amène à adopter la numérotation en vigueur au cours de l'étude de projet : points 1, 2 et 3 pour côte, médian et large. Le tableau suivant résume le recalage ainsi opéré :

	1975 à 1977 (étude de projet)	1978 à 1985 (surveillance)	1986 et 1987
Point côtier	1	0	1
Point médian	2	1	2
Point large	3	2	3

Tableau VI. 1.

1. 2. Mesure des paramètres hydrologiques

Les points situés sur le site font l'objet, de surcroît, d'un relevé hydrologique succinct (température et salinité).

A chaque station (correspondant à un trait de zooplancton), deux paramètres sont mesurés : température de l'eau et salinité. Les relevés sont faits à deux niveaux : sub-surface et voisinage du fond sauf pour la salinité (1 seul niveau : surface).

Le relevé est fait à l'aide d'une sonde EIL modèle 5004 (fabriquée par Kent Industrial Measurements).

1.3. Chronologie des campagnes

Sept campagnes avaient été programmées et ont eu lieu effectivement entre avril et juillet, afin de recouvrir entièrement la période de reproduction de la sole.

On dénombre 4 campagnes "lourdes" de 5 points (3 en mer et 2 points dans le canal d'aménée) et 3 "légères" (les 2 points du canal).

Date	N° Campagne	Points échantillonnés
14 avril	130	1-2-3-6-7
27 avril	131	6-7
11 mai	132	1-2-3-6-7
26 mai	133	6-7
11 juin	134	1-2-3-6-7
23 juin	135	6-7
02 juillet	136	1-2-3-6-7

Tableau VI. 2.

Les échantillons en provenance des points 1-2-3 ont été dépouillés en priorité.

1.4. Echantillonnage du plancton

1.4.1. Méthode d'échantillonnage

Les pêches de zooplancton sont effectuées à l'échantillonneur Bongo grand modèle. Pour les points 1, 2 et 3, il est composé de deux filets cylindro-coniques de 3 m de long, 61 cm de diamètre d'ouverture et 500 μ m de maille. Chaque point fait l'objet de deux repliquats successifs.

La pêche se fait en trait oblique sans palier depuis le fond jusqu' en surface à la vitesse de 2 noeuds environ ($1. \text{ m s}^{-1}$). La durée est ainsi fonction de la sonde.

Pour les points 6 et 7 , on utilise l' échantillonneur Bongo simplifié ne comportant qu' une seule ouverture, qui a été utilisé lors des études expérimentales in situ (WOEHLING, 1983).

L' absence de dépresseur pour l' échantillonneur simplifié occasionne une fréquente remontée du filet qui filtre ainsi, par moment, sur les 2/3 ou la moitié de son diamètre d' ouverture. Cela, joint aux irrégularités dans l' intensité des courants (selon la position du filet dans le canal) et au taux de colmatage différent, surtout lors de la période de présence de noctiluques, rend délicate l' estimation des volumes filtrés et, par voie de conséquence, celle des densités d' organismes dans le canal.

Après chaque trait, les filets sont rincés à l' eau de mer afin de rassembler les planctontes dans les collecteurs ; le contenu de chaque collecteur est recueilli dans des bocaux de 2 litres.

1.4.2. Conservation des échantillons

Les échantillons sont fixés à bord à l' aide de la solution décrite par MASTAIL et BATTAGLIA (1978) légèrement modifiée (ces modifications sont indiquées par BIGOT (1979). Ce liquide conservateur est réalisé à base de formol (solution saturée de formaldéhyde à 36 % environ en masse) neutralisé et dilué à 3 % en volume dans de l' eau de mer additionnée d' agents anti-oxydants et complexants.

1.4.3. Dépouillement des échantillons

L' échantillon est fractionné à la cuve Motoda (MOTODA, 1959) qui permet d' en réaliser des bipartitions successives. Pour un taxon donné, le dénombrement, réalisé sur cuve de Dollfuss est jugé satisfaisant si la fraction examinée contient environ une centaine d' individus (FRONTIER, 1972). Les oeufs et larves de poissons sont comptés sur la moitié ou la totalité du prélèvement.

Pour les oeufs de poissons, nous avons distingué deux stades principaux dans l' embryogénèse en regroupant les stades décrits par MANSUETTY et HARDY et cités dans JOSSI et al., 1975 : axe embryonnaire non visible (stade 1) et embryon visible (stade 2).

1.5. Saisie, stockage et traitement des données

Les données brutes sont saisies sur micro-ordinateur : les effectifs de zooplancton sont ramenés à l' unité de volume filtré (10 m^3). Les résultats sont ensuite archivés au Bureau National des Données Océanologiques (BNDO) du centre IFREMER de Brest.

2. Etude de la macrofaune halieutique

2.1. Echantillonnage

Depuis 1986, l'échantillonnage de la macrofaune halieutique a été considérablement allégé. En 1987, une seule campagne a été réalisée au mois de septembre et seule la zone subtidale a été prospectée selon la méthodologie antérieure.

L'abandon provisoire de la campagne de printemps se justifie par le fait qu'à cette période de l'année les juvéniles de poissons plats (groupe 0), qui nous intéressent tout particulièrement dans cette étude, n'apparaissent encore que très peu dans les captures au chalut à perche, le pré-recrutement n'étant pas encore achevé.

Pour ce qui est des pêches à pied, elles n'ont pas été maintenues en raison de la très grosse variabilité des résultats.

Les chalutages d'une durée de 15 minutes (vitesse de traine : 3 à 4 noeuds) sont parallèles à la côte et répartis sur un secteur limité à l'est par le nouvel avant-port de Dunkerque, à l'ouest par Calais et vers le large par le chenal d'accès au port de Dunkerque. L'engin de pêche utilisé est un chalut à perche de 3 m dont le maillage est de 20 mm de maille étirée (CP3).

2.2. Chronologie

Le 15 septembre, 18 traits de chalut à perche 3 m ont été réalisés sur le secteur.

Les positions de ces différents prélèvements sont présentées sur la figure VI.2.

2.3. Expression des résultats

Pour chaque trait de chalut, toutes les espèces de poissons, céphalopodes et crustacés ont été déterminées et ont donné lieu aux opérations suivantes :

- dénombrement des individus, soit sur l'ensemble des captures (poissons), soit à partir d'un échantillon (crevette grise).
- mensurations pour les espèces principales, soit sur l'ensemble des captures, soit sur un échantillon.
- pesées globales pour chaque espèce. Dans le cas des poissons plats les poids sont déterminés à l'aide de clés taille-poids, établies à partir des résultats des années précédentes.
- des prélèvements d'otolithes ont été effectués pour la détermination de l'âge des poissons plats (plie, sole, limande).

Un bref rappel de la structure de ces pièces et de la terminologie que nous utiliserons dans les résultats pour la notion d'âge paraît souhaitable.

Les otolithes sont des pièces calcaires faisant partie de l'oreille interne des téléostéens. Elles participent au maintien du tonus musculaire et à la réception des stimuli externes.

Le centre de l'otolithe est opaque, des dépôts se forment autour de ce noyau dès les premiers mois de la vie du poisson et jusqu'à la fin de l'automne ou le début de l'hiver. Des matériaux hyalins se déposent alors pendant toute la période hivernale et jusqu'au début du printemps.

Les dépôts alternent suivant le rythme des saisons et la croissance du poisson. Les zones opaques correspondent aux périodes estivales à croissance rapide et les zones hyalines aux ralentissements hivernaux.

Entre la naissance et le premier ralentissement de croissance (1er janvier par hypothèse), le poisson appartient au groupe 0. A partir de la reprise de croissance, le poisson entre dans le groupe 1. A l'occasion de chaque nouvelle saison hivernale, il passe dans le groupe supérieur.

Pour l'exploitation des données, les deux types suivants d'analyses ont été retenus.

2.3.1. Calcul des densités par trait

Ce type de traitement des données permet une visualisation de la répartition et de l'abondance des différentes espèces sur le secteur d'étude.

Pour chaque espèce rencontrée dans un chalutage et pour chacun des groupes d'âge, lorsque ceux-ci ont pu être déterminés, une densité en nombre d'individus pour 1 000 m² est calculée.

2.3.2. Calcul des densités moyenne par zone

Les densités par trait, en raison de la variabilité des valeurs, ne fournissent pas des indices d'abondance permettant de comparer sur le plan quantitatif les différentes campagnes ou les différentes années entre elles.

Pour résoudre ce problème de comparaison, mais également pour différencier les secteurs soumis à l'influence de la tache thermique due au rejet de la centrale, nous avons eu recours au découpage de l'aire de prospection en plusieurs zones. Trois zones ont été retenues en tenant compte à la fois de la tache thermique et de l'écologie des juvéniles de poissons plats dont les répartitions spatiales sont en relation avec la bathymétrie (fig. VI.3).

La méthode de calcul à laquelle nous avons recourue est employée en échantillonnage stratifié et consiste en particulier à estimer les paramètres suivants pour chaque zone :

- densité moyenne par 1 000 m²

$$d = \frac{\sum P_i \cdot 1\,000}{\sum S_i}$$

P_i = nombre d'individus observés dans chaque trait.

S_i = surface balayée par chaque trait (m²).

La surface de chaque zone a été estimée par planimétrie.

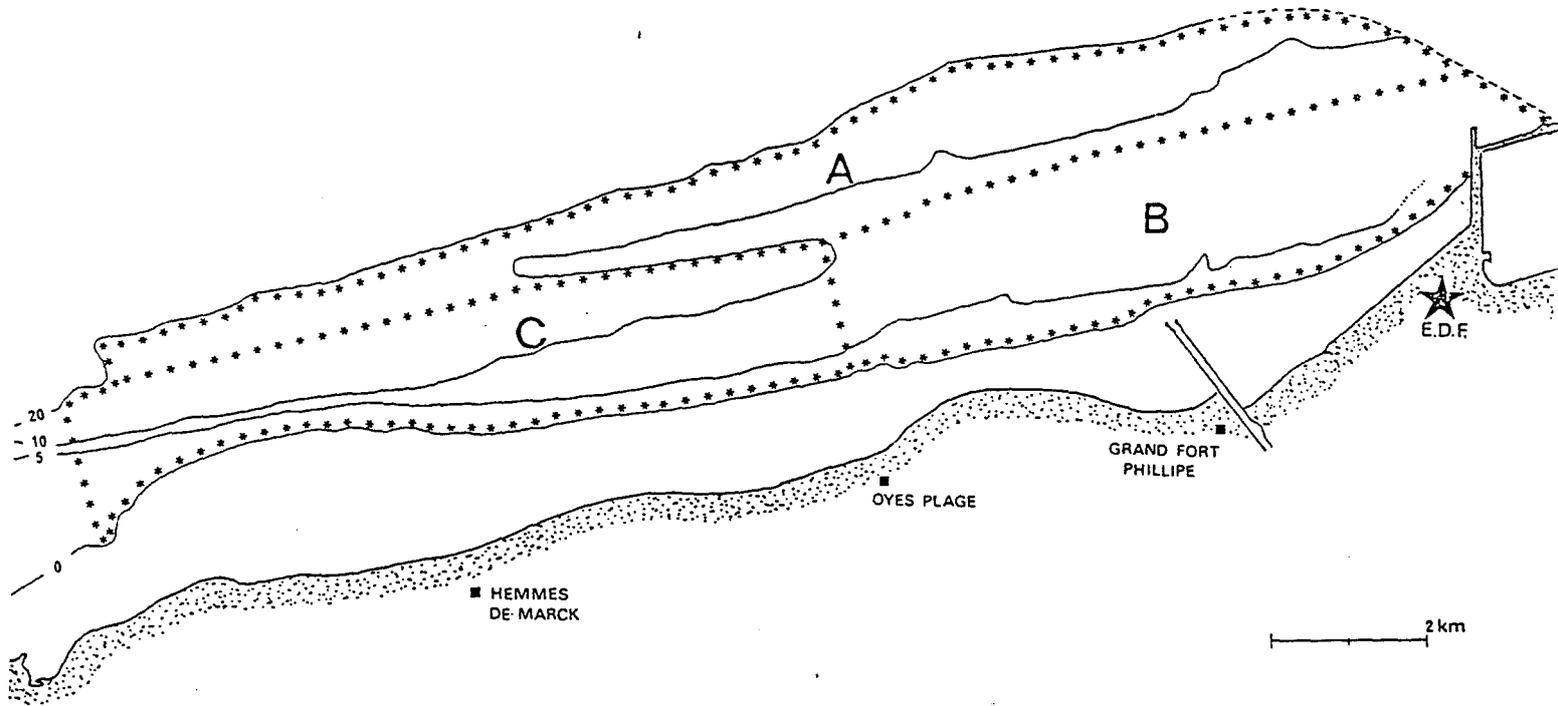


Fig. VI. 3. - Zones définies pour les estimations d'abondance (secteur subtidal).

- nombre d'individus présents sur la zone :

$$n = \frac{S \cdot \sum P_i}{\sum S_i}$$

S = surface de la zone (m²).

- variance de l'estimation du nombre d'individus :

$$V(n) = \frac{S^2 \cdot x \cdot V(p)}{(\sum S_i)^2}$$

x = nombre de traits effectués sur la zone.

V(p) = variance de la prise par trait.

- indice de précision :

$$i = \frac{\sqrt{V(n)}}{n} \text{ exprimé en \%}$$

2.3.3. Calcul des densités moyennes et production sur l'ensemble du secteur d'étude

Comme indice de la production d'ensemble des différentes zones nous avons utilisé les formules suivantes :

- densité moyenne par 1 000 m₂ :

$$d = \frac{\sum n_j \times 1\,000}{\sum S_j}$$

n_j = nombre d'individus estimés pour la zone j.

S_j = surface de la zone (m₂)

- nombre d'individus présents sur l'ensemble du secteur d'étude :

$$N = \sum n_j$$

- variance sur l'estimation du nombre d'individus :

$$V(N) = \sum V(n)_j$$

V(n)_j = variance sur l'estimation du nombre d'individus présents sur la zone j

- indice de précision :

$$I = \frac{\sqrt{V(N)}}{N} \text{ exprimé en \%}$$

Les densités et les estimations de production obtenues par ces méthodes de calcul ne doivent pas être considérées comme des valeurs absolues mais plutôt comme des indices d'abondance (annexe).

RESULTATS

1. Poissons plats

L'étude de surveillance est principalement orientée vers les espèces de poissons plats les mieux représentées sur le site en particulier sous leurs formes juvéniles. Ce sont la plie (*Pleuronectes platessa*), la sole (*Solea vulgaris*) et la limande (*Limanda limanda*).

Hormis celles-ci, trois autres espèces de plats sont présentes sur le site, mais leurs effectifs demeurent très réduits. Il s'agit de la barbue (*Scophthalmus rhombus*), du turbot (*Psetta maxima*) et du flet (*Platichthys flesus*).

1.1. La sole [*Solea vulgaris* (QUENSEL)]

La sole constitue la principale espèce-cible à Gravelines et fait l'objet d'une attention particulière ; notamment les observations sont centrées sur la période de reproduction de l'espèce.

SOLE Total Oeufs Moyennes annuelles

Tous points, toutes campagnes

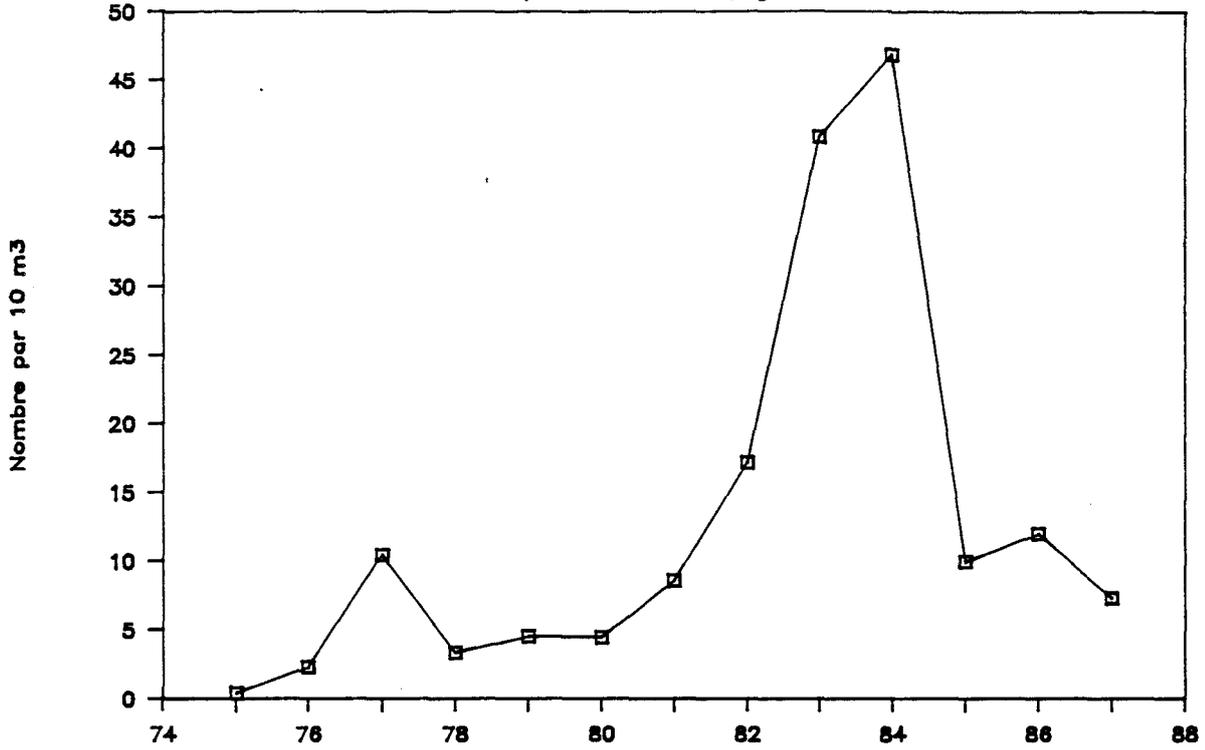


Fig. VI.4.

SOLE Total oeufs

1975-87

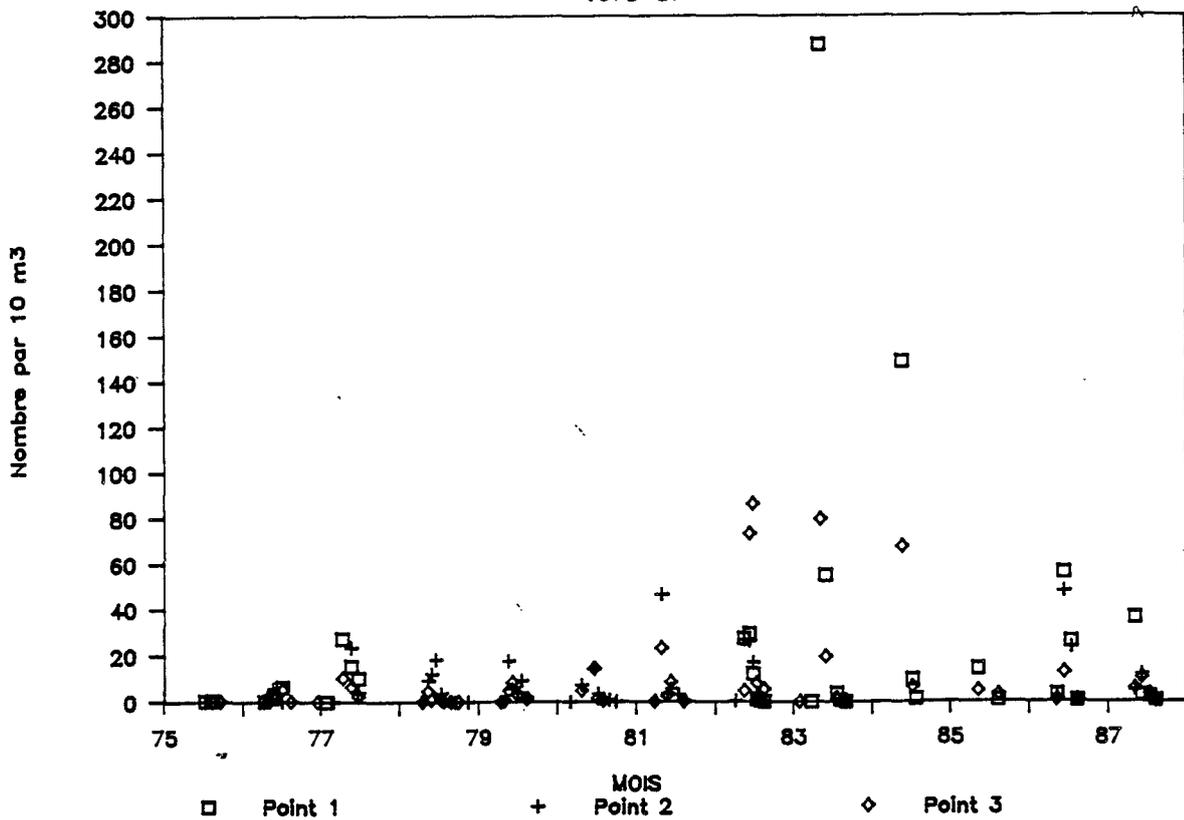


Fig. VI.5.

SOLE Total oeufs

Point 1

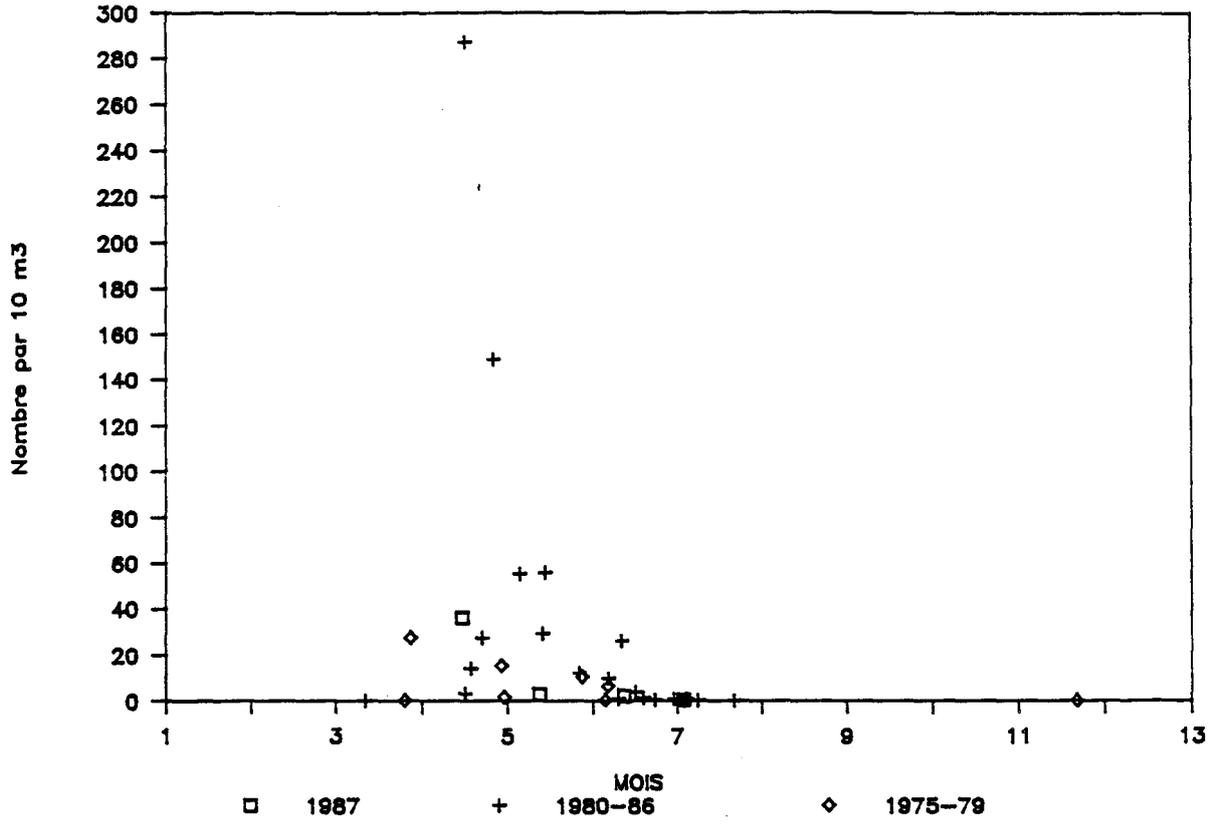


Fig. VI.6.

GRAVELINES OEUFs DE SOLE

Total oeufs au point 2

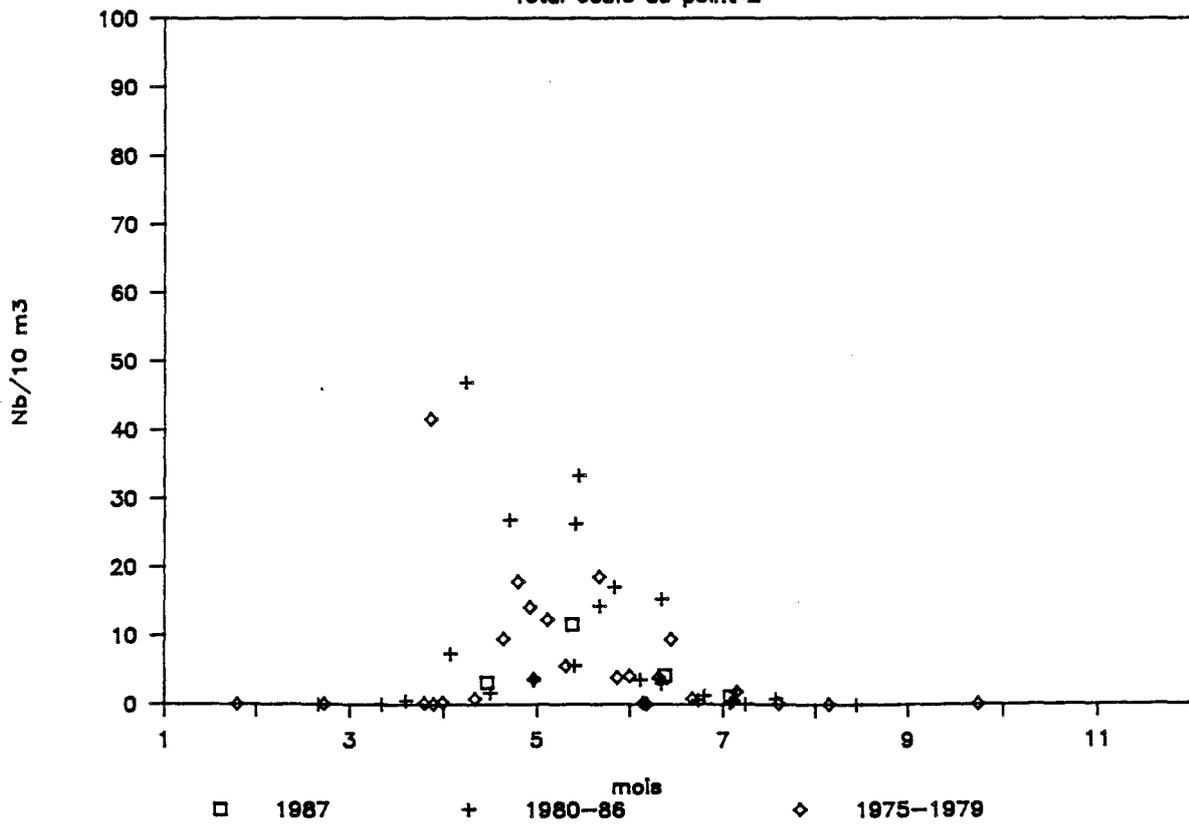


Fig. VI.7.

Le secteur est inclus dans la fraction méridionale de la vaste frayère-nurserie de Mer du Nord qui en occupe le tiers inférieur avec un gradient d'abondance en direction du Pas-de-Calais et vers la côte. Le site ne se trouve qu'à quelques dizaines de km en moyenne de l'épicentre de la frayère tel qu'il a été mis en évidence au cours de campagnes internationales à grande échelle. Selon la nature et l'intensité des courants une partie variable des oeufs transite au droit de la centrale ; à ces effectifs s'ajoute le produit de pontes s'effectuant au droit, principalement sur les hauts-fonds du voisinage.

Dans ce secteur, la ponte a lieu d'avril à juillet avec un pic oscillant entre mi-avril et mi-mai. Les pics de larves, plus tardifs, ont lieu surtout en juin, le début de ce mois constituant la période principale d'éclosion. Il s'en suit que la majorité des larves arrive en métamorphose au début de l'été. Les juvéniles benthiques sont rencontrés tout au long de l'été sur des fonds très côtiers. Au cours de l'automne, ils migrent vers des fonds plus importants corrélativement à la diminution de la température de l'eau.

1.1.1. Oeufs et larves

Les densités d'oeufs sont de l'ordre de grandeur habituel pour le site. Le retour aux effectifs de la première période d'étude (avant 1982), amorcé en 1985, se confirme (fig. VI.4 et VI.5). Le caractère progressif de ces variations d'effectifs et le fait que tous les points y contribuent laissent à penser qu'il s'agit bien essentiellement du reflet de grandes fluctuations pluriannuelles intéressant un secteur plus vaste et non d'un artefact d'échantillonnage.

Notamment, les effectifs exceptionnels de 1983 et 1984, se reflètent au point du large. L'hypothèse séduisante d'une incidence de la centrale dans l'augmentation locale des pontes enregistrée depuis 1980, année de sa mise en service, doit ainsi plutôt être écartée, d'autant plus qu'on revient aux effectifs antérieurs, y compris au point côtier, situé dans le panache de rejet (fig. VI-6).

Enfin, ces fluctuations importantes dans les pontes ne se répercutent pas sur les effectifs de larves.

Des études précédentes ont montré qu'effectivement, les densités de larves étaient davantage déterminées par la date que par l'importance de la ponte, le recrutement se faisant principalement à partir des pontes de mai, lorsque la survie des larves est meilleure en liaison avec des températures et des conditions trophiques optimales. C'est pour cette raison que les années à ponte tardive sont souvent plus productives que les autres. En cela, l'année 1987 reste une année moyenne : les pontes, malgré un hiver froid, n'ayant pas été grandement retardées, le niveau des effectifs est comparable à celui de 1986.

D'une manière générale, on n'enregistre pas à Gravelines de grandes variations dans les densités de larves, les fluctuations de la ponte étant largement amorties, au niveau des larves, par les mécanismes du recrutement.

Si enfin l'échauffement dû à la centrale avait pour effet d'avancer la date d'une partie des pontes, il est plus que probable qu'elles seraient vouées à un mauvais recrutement compte-tenu de sa précocité.

GRAVELINES OEUFS DE SOLE

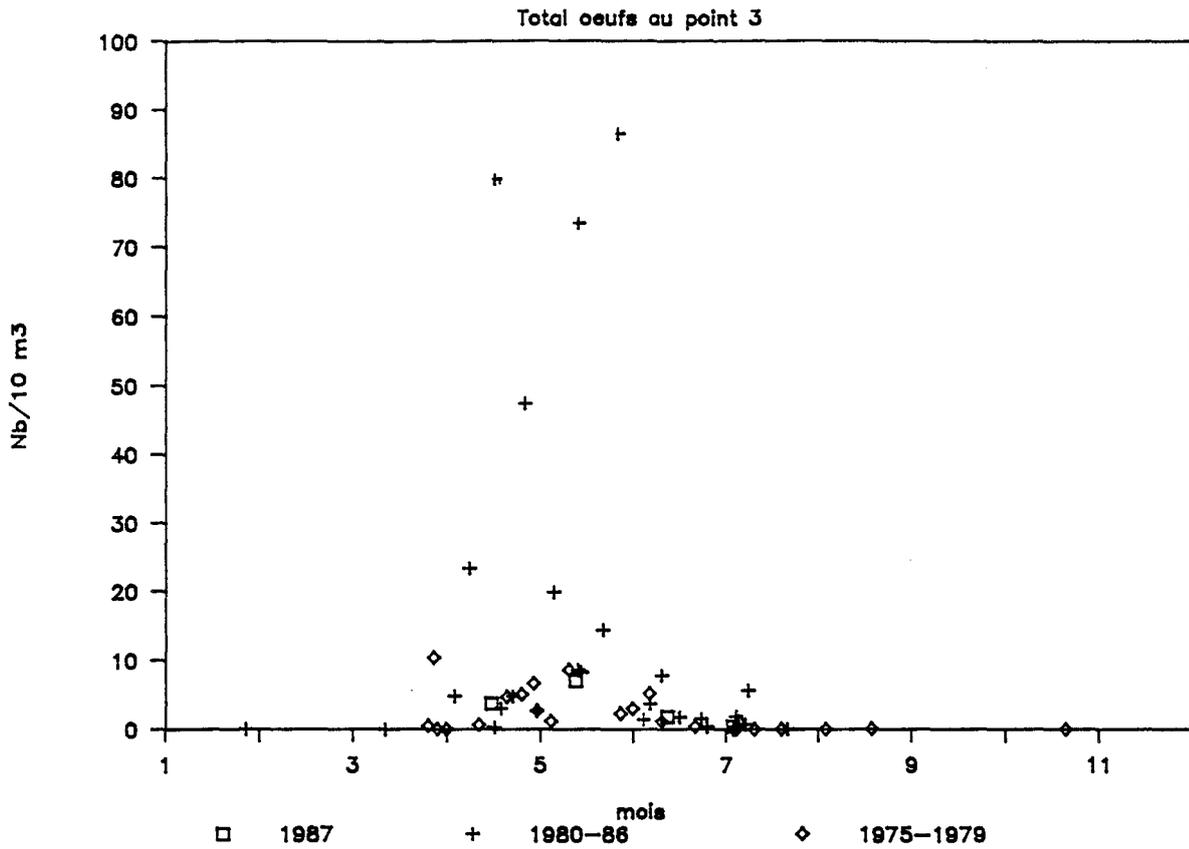


Fig. VI.8.

N° Mis	N° Pt	N° Rep	Oe Tot	Oe. St1	Oe. St2	Larves	
130	1	1	7.16	0.27	7.43	0.00	
		2	55.98	2.37	58.36	0.00	
	2	1	3.06	0.59	3.65	0.12	
		2	2.74	0.12	2.86	0.00	
	3	1	3.65	0.09	3.74	0.00	
		2	3.79	0.13	3.91	0.00	
132	1	1	2.39	0.00	2.39	0.48	
		2	0.50	0.30	0.80	0.00	
	2	1	9.47	2.27	11.73	1.08	
		3	1	3.54	2.97	6.51	2.47
	3	2	5.59	1.95	7.54	2.19	
		1	1	0.90	0.56	1.46	0.21
134	2	2	0.78	0.78	1.56	0.16	
		2	2.45	1.80	4.24	0.33	
	3	1	1.67	0.80	2.48	0.74	
		2	0.35	0.84	1.20	0.91	
	136	1	1	0.18	0.18	0.36	0.00
			2	0.17	0.26	0.44	0.00
2		1	0.64	0.52	1.16	0.00	
		2	0.80	0.35	1.16	0.00	
3		1	0.18	0.28	0.46	0.14	
		2	0.05	0.09	0.14	0.05	

Tableau VI. 3. - Densité d'oeufs et de larves de soles par 10 m³

SOLE Total Larves Moyennes annuelles

Tous points, toutes campagnes

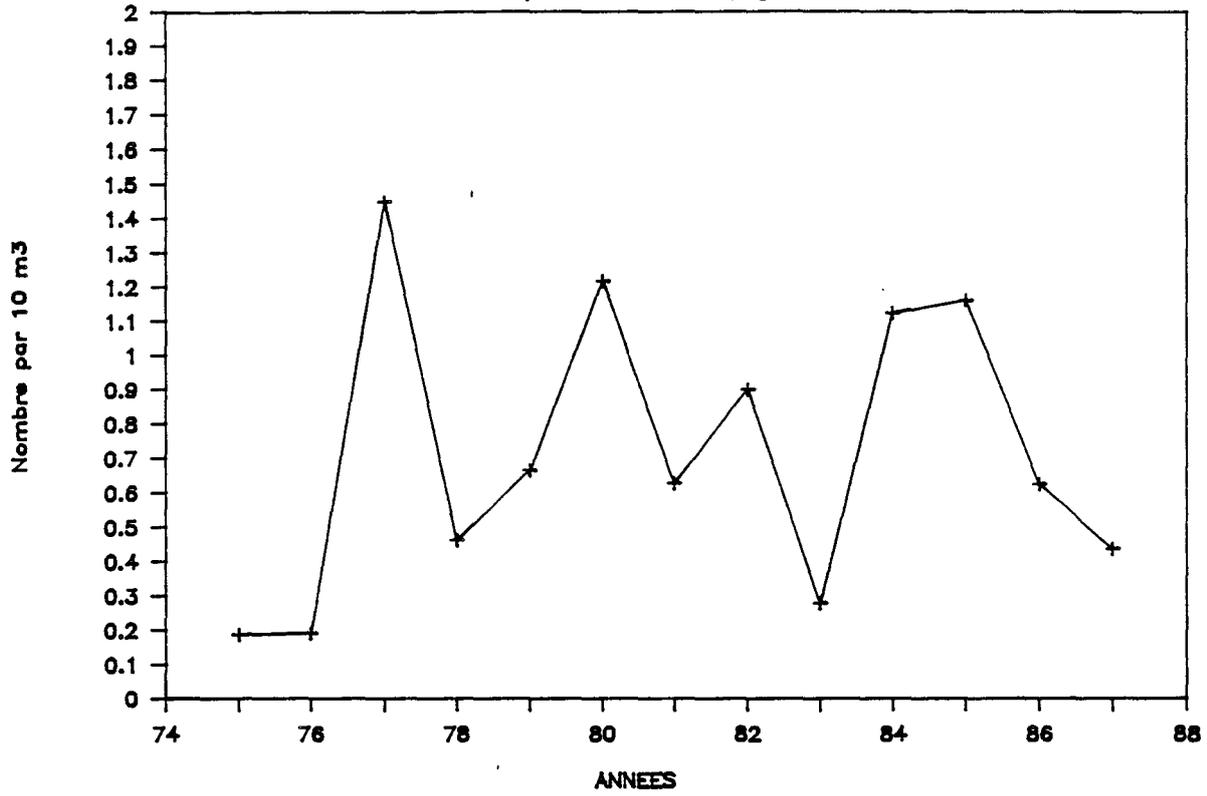


Fig. VI.9

SOLE Total Larves

1975-1987

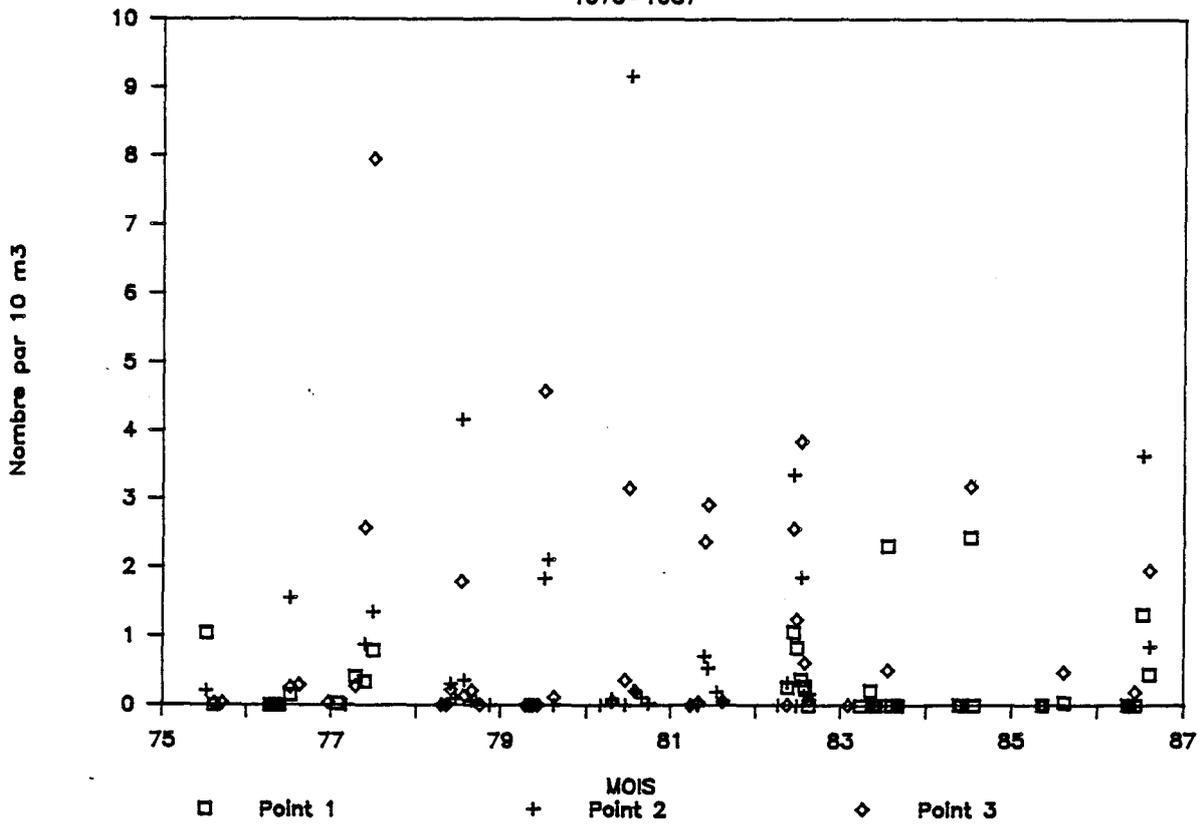


Fig. VI.10.

1.1.2. Juvéniles

* Groupe 0 :

Les résultats obtenus au cours des chalutages mettent en évidence une faible abondance du groupe 0 avec 1.78 ind./1 000 m² (tableau VI.4).

* Groupe 1 :

L'importance de ce groupe d'âge est très faible avec 0.10 ind./1 000 m².

* Groupes 2 et supérieurs :

Un seul individu du groupe 2 a été capturé.

1.2. La plie (*Pleuronectes platessa*)

Cette espèce se reproduit en période hivernale, de décembre à mars, sur des frayères situées au milieu de la Manche et de la Mer du Nord. Ce comportement explique l'absence d'œufs et de larves dans les pêches planctoniques. A la suite d'une migration vers la côte, les juvéniles se concentrent dans les eaux peu profondes. Ces zones turbides correspondent à des nourriceries.

* Groupe 0 :

Les juvéniles de ce groupe se cantonnent dans des eaux dépassant très rarement quelques mètres. Les poissons suivent de façon synchrone le flot et le jusant en utilisant les courants de marée comme moyen de transport. Ils peuvent ainsi effectuer des déplacements pouvant atteindre plusieurs kilomètres (KUIPERS, 1973 ; HARDEN-JONES, 1980). Pendant ces migrations, les jeunes plies se nourrissent d'invertébrés benthiques vivant dans le sable (GIBSON, 1980).

En raison d'une part de la répartition bathymétrique très marquée de cette espèce (la taille des individus augmentant avec la profondeur d'eau) et d'autre part de la période de reproduction, les plus fortes densités du groupe 0 étaient classiquement observées dans les prélèvements à pied du début de l'été.

En automne, les juvéniles se répartissent de façon plus homogène sur l'ensemble du secteur d'étude et l'on observe une légère diminution des densités de la zone intertidale au profit de la zone subtidale. Les individus de plus grande taille, arrivés précocement au cours de l'été, colonisent peu à peu les secteurs profonds situés plus au large.

L'indice d'abondance de ce groupe est de 2.42 ind./1 000 m² (tableau VI.4).

* Groupe 1 :

Il représente globalement 0.43 ind./1 000 m² pour l'ensemble du secteur d'étude.

	Nb de traits	Sole		Plie		Limande		Crevette grise (mm)		
		Gr0	Gr1	Gr0	Gr1	Gr0	Gr1	<44	45-56	>56
Juin 1977	18	0.01	2.63	1.17	2.57	0.08	0.35	19	9	5
		100%	34%	53%	37%	57%	22%	19%	22%	37%
Juin 1978	13	0.01	0.14	0.53	0.92	-	0.32	84	14	3
		100%	35%	41%	49%	-	64%	33%	19%	16%
Juin 1979	19	-	0.05	0.24	1.25	0.07	1.83	31	16	3
		-	100%	45%	47%	61%	37%	23%	21%	33%
Juil 1980	18	2.34	3.89	0.34	4.16	1.09	2.45	103	23	14
		46%	38%	59%	45%	47%	37%	31%	34%	38%
Juil 1981	18	0.25	0.44	2.92	0.36	0.33	1.68	245	24	6
		46%	47%	54%	31%	35%	41%	57%	30%	23%
juin 1982	18	1.07	0.27	0.39	1.46	1.86	6.70	38	4	2
		92%	54%	86%	36%	65%	26%	72%	24%	32%
Juin 1983	18	0.29	1.56	4.21	1.24	2.03	2.49	120	33	12
		59%	24%	45%	20%	40%	31%	23%	27%	26%
Juil 1984	16	0.01	2.24	1.01	2.35	0.14	1.95	60	13	4
		100%	32%	62%	45%	68%	63%	28%	29%	22%
Juil 1985	18	0.02	0.09	1.86	0.35	0.42	0.68	28	21	3
		100%	39%	40%	25%	42%	38%	35%	37%	42%
Sep 1977	18	1.71	0.48	0.74	0.88	2.04	0.37	25	23	1
		22%	33%	47%	14%	16%	24%	15%	16%	21%
Sep 1978	18	3.72	0.01	1.84	0.68	3.14	0.10	67	56	2
		30%	100%	37%	34%	25%	34%	16%	11%	23%
Sep 1979	18	19.97	-	3.01	0.41	2.19	0.51	135	115	5
		60%	-	68%	39%	44%	29%	25%	19%	31%
Sep 1980	18	24.40	3.24	0.43	1.02	2.90	1.01	103	58	8
		19%	21%	53%	26%	33%	33%	13%	17%	26%
Sep 1981	18	0.23	0.54	4.74	0.25	11.16	3.98	70	36	2
		31%	41%	31%	62%	30%	81%	22%	24%	34%
Sep 1982	18	1.27	0.05	1.43	0.40	18.01	5.08	75	36	1
		29%	60%	36%	29%	43%	28%	33%	26%	26%
Sep 1983	18	16.73	2.55	10.81	0.46	24.72	2.02	249	157	7
		27%	12%	29%	27%	16%	24%	22%	16%	20%
Sep 1984	20	1.62	0.32	1.94	1.67	5.49	0.92	141	87	4
		22%	35%	32%	65%	23%	18%	30%	21%	31%
Oct 1985	18	12.84	0.04	4.09	0.18	5.27	0.40	266	86	20
		27%	100%	22%	69%	35%	38%	34%	22%	19%
Sep 1986	16	1.46	0.72	4.76	0.78	4.00	0.86	43	33	1
		22%	34%	33%	29%	36%	21%	23%	21%	29%
Sep 1987	18	1.78	0.10	2.42	0.43	9.17	0.17	94	32	1
		63%	34%	39%	38%	39%	68%	34%	37%	27%

Tabl.VI.4. -Gravelines zone subtidale :
densités moyennes (nbre / 1000 m2) calculées
sur l'ensemble du secteur de 1977 à 1987.
(l'indice de précision est indiqué)

* Groupes 2 et supérieurs :

Les captures sont classiquement très faibles (0.08 ind./1 000 m²).

1.3. La limande (*Limanda limanda*, L.)

Très commune en Mer du Nord, elle fréquente les fonds sableux et coquilliers où elle côtoie la plie. Le frai a lieu dans l'ensemble de l'aire de répartition de l'espèce, un peu vers le large cependant. La limande se reproduit surtout de février à avril, sensiblement à la même époque que la sole.

1.3.1. Oeufs et larves

Concernant le domaine planctonique, les observations portent uniquement sur les larves, les oeufs pouvant être confondus aux premiers stades avec ceux d'autres espèces, notamment le flet dont la période de reproduction chevauche en partie celle de la limande.

Les densités (tabl. VI-5) sont dans l'ensemble inférieures à celles de 1986, mais d'un ordre de grandeur normal pour le site (fig. VI.11.).

N° Mis	N° Pt	N° Rep	Larves
130	1	1	0.18
		2	0.12
132	2	2	0.03
		1	0.10
134	3	2	0.08
		1	0.19
		2	0.07

Tableau VI. 5.

LIMANDE Larves

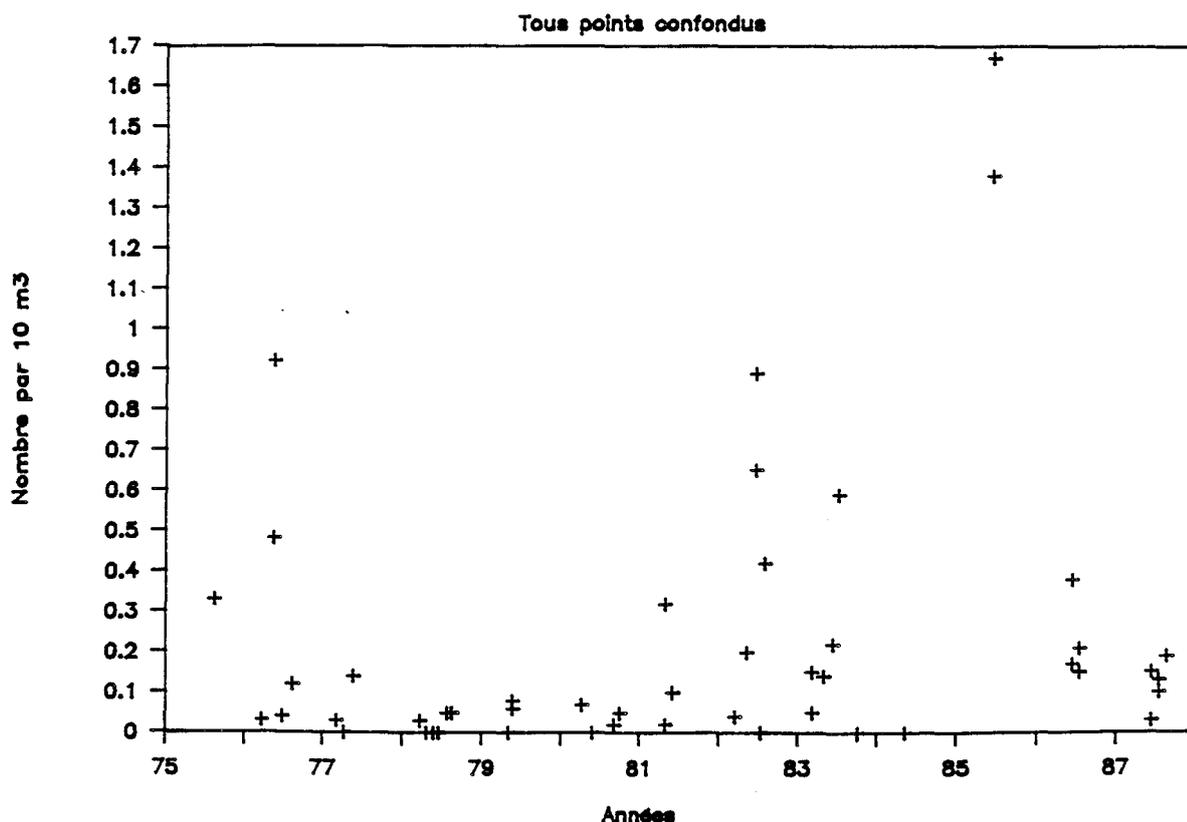


Fig. VI.11.

1.3.2. Juvéniles

* Groupe 0 :

Les jeunes limandes, ayant un comportement d'évitement vis-à-vis de la zone de balancement des marées, ne fréquentent que les eaux plus profondes.

Cette année, l'abondance a été d'un bon niveau : 9.17 ind./1 000 m² (tableau VI.4).

* Groupe 1 :

Par contre, avec 0.17 ind./1 000 m², ce groupe est très faible.

* Groupes 2 et supérieurs :

Seule la capture d'un individu d'un groupe supérieur ou égal à 2 est à signaler.

2. Autres espèces de poissons

2.1. Le merlan (*Merlangus merlangus*)

Cette espèce démersale côtière marquant une préférence pour les fonds meubles à faible profondeur (25 -100 m) est très commune dans le secteur de Gravelines et fait l'objet d'une exploitation commerciale importante.

Les adultes se rapprochent des côtes en hiver pour le frai qui a lieu dans toute l'aire de répartition de l'espèce, principalement les secteurs à fond plat à l'exclusion des zones de salinité inférieure à 32 ‰. La période de ponte s'étend de mi-janvier à juillet selon la latitude.

2.1.1. Oeufs et larves

A Gravelines, les larves de merlan, bien que sporadiques, sont présentes chaque année, de février à juillet avec une légère dominance d'avril à juin. Les densités, en général inférieures à 1, atteignent exceptionnellement 2 à 4 par 10 m³.

L'identification des oeufs, toujours délicate, en raison de leur ressemblance avec ceux des autres gadidés, voire quasi impossible au stade non embryonné, a été délaissée au cours de cette année, compte tenu également de leur présence sporadique lors des années précédentes.

L'identification des larves, en revanche, est fiable et constitue un indice reproductible de la présence de l'espèce. Les densités en 1987, (tabl. VI-6) sont d'un ordre de grandeur normal. Mais, dans la série des données récoltées depuis 1975, elles se situent parmi les plus faibles (fig. VI-12).

84
MERLAN Larves

Tous points confondus

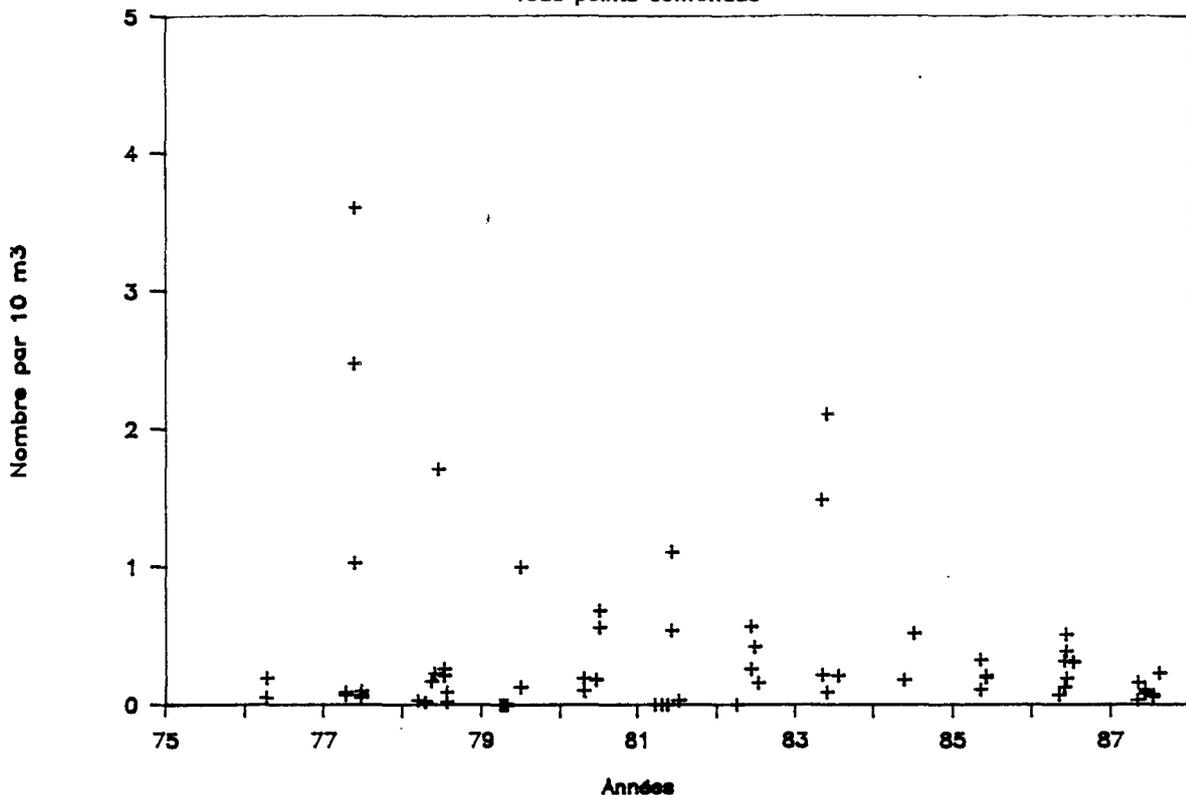


Fig. VI.12

N° Mis	N° Pt	N° Rep	Larves
130	2	2	0.03
	3	1	0.24
		2	0.09
132	2	1	0.10
	3	2	0.08
134	1	1	0.07
	3	1	0.06
136		1	0.23

Tableau VI.6

2. 1. 2. Juvéniles

Le groupe 0 constitue la totalité des captures avec 5.86 ind. /1 000 m².

2. 2. Le tacaud

La ponte du tacaud s'échelonne en Manche de janvier à juillet, avec une intensité maximale au début du printemps dans la zone côtière.

2. 2. 1. Oeufs et larves

Les oeufs et larves de tacaud sont présents régulièrement sur le site, l'espèce frayant dans l'ensemble de son aire de répartition.

Cependant, du fait de leur caractère sporadique (densités souvent inférieures à 1 par 10 m³ et irrégulières), de la difficulté d'identification des oeufs de l'espèce, surtout aux premiers stades, joints à l'intérêt halieutique réduit de cette espèce, nous ne la suivons plus au niveau planctonique depuis 1985.

2. 2. 2. Juvéniles

Comme pour le merlan, c'est habituellement le groupe 0 qui représente la majorité des captures avec 1.15 ind./1 000 m².

2. 3. Le sprat

Le sprat ne fait pas l'objet d'une exploitation commerciale dans le secteur de Gravelines, bien que l'abondance de cette espèce, au voisinage du site, au moment de la reproduction soit loin d'être négligeable, compte tenu de l'importance du frai.

2. 3. 1. Oeufs et larves

La période de ponte est assez étendue, mais atteint son apogée toujours aux environs de la même époque, entre mi-mai et mi-juin, avec des décalages liés aux températures hivernales. Les densités maximales oscillent entre 40 et 200 oeufs par 10 m³. Les densités de larves, plus faibles, sont de l'ordre de la dizaine par 10 m³.

En 1987, cette espèce n'a pas été suivie.

2. 3. 2. Juvéniles

La majorité des captures de cette espèce s'effectuait lors des pêches à pied. Quelques individus ont cependant été capturés au chalut à perche cette année (0.03 ind./1 000 m²).

2. 4. Le hareng (*Clupea harengus*, L.)

La ponte du hareng, en Manche, a lieu en décembre et les juvéniles portent donc le nom de groupe 1 dès le mois de janvier. Leur présence sur le site est observée depuis juillet 1981.

Les captures ne concernent que le groupe 1 avec 1.24 ind./1 000 m².

2. 5. Le bar (*Dicentrarchus labrax*, L.)

Comme pour le sprat, l'abandon des pêches à pied se traduit par une absence de captures pour cette espèce.

Des juvéniles d'espèces autres que celles citées précédemment et retenues pour l'étude de surveillance sont présentes dans nos prélèvements (annexe). Elles sont pêchées en faibles quantités et les résultats obtenus ne permettent pas de faire une quelconque interprétation.

3. Les crustacés : la crevette grise (*Crangon crangon*, L.)

Cette espèce présente une croissance très rapide et un turn-over important.

3.1. Larves et post-larves

Les résultats de cette année reproduisent tout à fait ceux observés en 1986 tant sur le plan des densités que des dates d'abondance maximale. Les densités de larves sont les plus faibles relevées depuis le début des études (densité maximale 6,5 par 10 m^3 encore inférieure à celle notée l'an passé : 18 par 10 m^3). La plupart des larves récoltées sont au stade 5.

Le gradient d'abondance côte large observé généralement pour les larves est net si l'on exclut le stade 5. Ces larves présentent, en effet, une abondance plus importante au point 2 en 1986, abondantes surtout en 1 et 2. Les postlarves montrent toujours une abondance supérieure vers la côte maximum au point 1 mi-avril, au point 2 mi-mai.

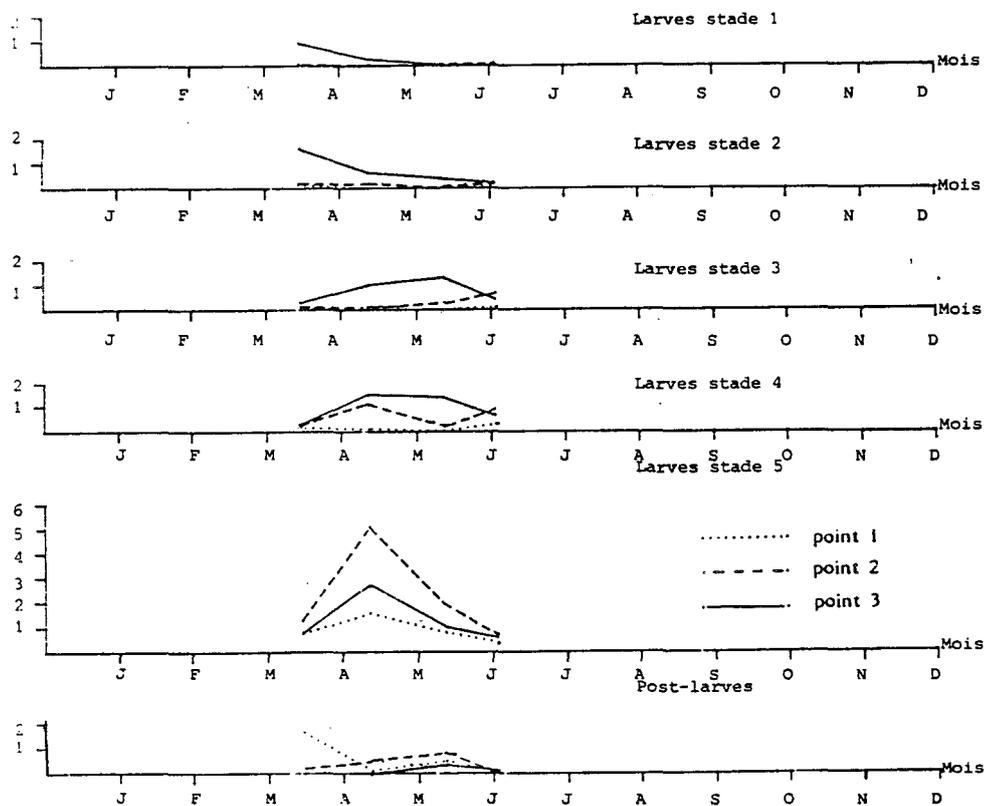


Fig. VI. 13. - Densité (en nombre par 10 m^3) des larves et post-larves de crevette grise *Crangon crangon* en 1987

3.2. Juvéniles et adultes

Les densités observées au cours des chalutages à l'automne 1987, globalement plus importantes qu'en 1986, sont pourtant encore faibles par rapport à celles de la série historique automnale (tableau VI. 4).

CONCLUSION

Aucun phénomène important ni exceptionnel n'est enregistré en 1987.

La tendance au retour au niveau de base pour les oeufs de sole se confirme. L'hypothèse d'une incidence de la centrale peut probablement être écartée ; les particularités observées depuis la mise en service doivent être attribuées à des fluctuations naturelles.

Qualitativement, en 1987 aucune modification sensible n'a été constatée quant à la répartition spatiale des juvéniles de poissons et de la crevette grise au niveau subtidal. Les populations se répartissent toujours sur la frange la plus littorale avec une préférence plus ou moins marquée soit pour l'Est, soit pour l'Ouest du secteur d'étude selon les espèces. De même, les inversions de gradients de répartition, lorsqu'elles sont observées, doivent être considérées comme des phénomènes aléatoires.

Quantitativement, ainsi que nous avons pu le constater depuis 1977, les variations annuelles du niveau du pré-recrutement sont très importantes sur cette zone. Bien que rien ne permette, pour le moment, d'exclure une influence du rejet, il est probable que les fluctuations enregistrées en 1987 soient dues à des causes naturelles, biologiques et hydroclimatiques.

En ce qui concerne les juvéniles de poissons plats et la crevette grise, l'année 1987 ne présente pas de fait marquant. Les abondances observées sont faibles sauf pour le groupe 0 de limande.

La répartition spatiale des individus ne semble pas montrer, a priori, de particularité par rapport aux années antérieures.

BIBLIOGRAPHIE

- BIGOT, J. L., 1979.
 Identification des zoés de tourteau (*Cancer pagurus* L.) et d'étrille (*Macropipus puber* L.). Comparaison avec d'autres zoés de morphologie très voisine. Cons. Int. Explor. Mer, Comité de l'Océanographie biologique, L : 17.
- FRONTIER, S., 1972.
 Calcul de l'erreur sur un comptage du zooplancton. J. exp. mar. Biol. Ecol., 8 : 121-132.
- GIBSON, R. N., 1980.
 The intertidal movements and distribution of young fish on a sandy beach with special reference to the plaice (*Pleuronectes platessa* L.). J. exp. mar. Biol. Ecol., 12 : 79-102.
- HARDEN JONES, F. R., 1980.
 The migration of plaice in relation to the environment. Iclarm confé. Procced, Manila (Philippines), 1980, 5 : 383-396.
- JOSSI, J. W., R. R. MARAK et H. PETERSEN, 1975.
 At sea data collection and laboratory procedures. Marmap survey I manual, Marmap Programm Office National Marine Fisheries Service édit., Washington.
- KUIPERS, B., 1973.
 On the tidal migration of young plaice (*Pleuronectes platessa*). Neth. J. of Sea Research, 6 (3) : 376-388.
- KUIPERS, B., 1975.
 On the efficiency of a two-metre beam trawl for juvenile plaice (*Pleuronectes platessa*). Neth. J. of Sea Research, 9 (1) : 69-85.
- MASTAIL, M. et A. BATTAGLIA, 1978.
 Amélioration de la conservation des pigments du zooplancton. Cons. int. Explor. Mer, Comité de l'Océanographie biologique, L : 20.
- MOTODA, S., 1959.
 Devices of simple plankton apparatus. Mem. Fac. Fish. Hokkido Univ., 7 : 73-94.
- WOEHLING, D., 1983.
 Etude expérimentale de l'impact de la centrale de Gravelines (Nord) sur les oeufs et larves de sole (1982-1983). Rapport ISTEPM.

A N N E X E

Juveniles

Abondances par zones

CODES DES ESPECES

ANMO TOB	.....	Equille	.....	<i>Ammodytes tobianus</i>
CALM LYR	.....	Dragonnnet	.....	<i>Callionymus lyra</i>
CLUP HAR	.....	Hareng	.....	<i>Clupea harengus</i>
CRAG CRA	.....	Crevette grise	.....	<i>Crangon crangon</i>
DICE LAB	.....	Bar	.....	<i>Dicentrarchus labrax</i>
GOBD	.....	Gobies	.....	<i>Gobiidae</i>
GYMA SEM	.....	Equille	.....	<i>Gymnammodytes semisquamatus</i>
LIMO LIM	.....	Limande	.....	<i>Limanda limanda</i>
MERN MER	.....	Merlan	.....	<i>Merlangius merlangus</i>
PLAT FLE	.....	Flet	.....	<i>Platichthys flesus</i>
PLEC PLA	.....	Plie	.....	<i>Pleuronectes platessa</i>
PSET MAX	.....	Turbot	.....	<i>Psetta maxima</i>
SCOH RHO	.....	Barbue	.....	<i>Scophthalmus rhombus</i>
SOLE VUL	.....	Sole	.....	<i>Solea vulgaris</i>
SPRA SPR	.....	Sprat	.....	<i>Sprattus sprattus</i>
TRIG LUC	.....	Grondin perlon	.....	<i>Trigla lucerna</i>
TRIS LUS	.....	Tacaud	.....	<i>Trisopterus luscus</i>

SIGNIFICATION DES CODES UTILISES DANS LES TABLEAUX

GENRE ESP se reporter à la liste des codes espèces.

	{	TOT : capture totale	
		COM : fraction commerciale des captures	
		GO : groupe d'âge 0	
CAT		<	G1 : groupe d'âge 1
			G2 : groupe d'âge 2
			G1PLUS : groupes d'âge >1
			G2PLUS : groupes d'âge >2
		G3PLUS : groupes d'âge >3	

NB estimation de la production de la zone.
(nombre d'individus)

ECTYPE écart type sur cette estimation.

IPREC indice de précision.

DENSITE nombre d'individus par 1000 m².

	{	STRATES A , B et C <	{	participation de chacune de ces strates (%) à la production globale estimée; par espèce et par catégorie.		
PCENT		<				
	{	STRATE TOT <	{	G <	{	participation (%) des différents groupes d'âge à la production totale estimée de l'espèce.
				COM <		{

STRATE A

GENRE	ESPECE	GROUPE	NB	ECTYPE	IPREC	NB/1000m2	PCENT
CLUP	HAR	TOT	16885	5508	32.62	0.96	28.2
CLUP	HAR	GR1	16885	5508	32.62	0.96	28.2
MERN	MER	TOT	29165	7732	26.51	1.66	10.3
MERN	MER	GRO	29165	7732	26.51	1.66	10.3
TRIS	LUS	TOT	3070	2238	72.89	0.17	5.5
TRIS	LUS	GRO	3070	2238	72.89	0.17	5.5
AMMO	TOB	TOT	768	768	100.00	0.04	100.0
AMMO	TOB	COM	768	768	100.00	0.04	100.0
AMMO	TOB	GR1+	768	768	100.00	0.04	100.0
CALM	LYR	TOT	11513	2102	18.26	0.65	10.5
GOBD		TOT	5373	3760	69.99	0.30	4.1
PLEC	PLA	TOT	4605	2820	61.24	0.26	3.2
PLEC	PLA	COM	768	768	100.00	0.04	16.5
PLEC	PLA	GRO	768	768	100.00	0.04	0.7
PLEC	PLA	GR1	2303	1535	66.67	0.13	11.0
PLEC	PLA	GR2	1535	1535	100.00	0.09	42.4
LIMD	LIM	TOT	7675	4025	52.44	0.44	1.7
LIMD	LIM	GRO	7675	4025	52.44	0.44	1.7
SOLE	VUL	TOT	2303	1535	66.67	0.13	2.5
SOLE	VUL	GRO	2303	1535	66.67	0.13	2.7
CRAG	CRA	TOT	153502	23248	15.15	8.71	2.5
CRAG	CRA	COM	152734	23197	15.19	8.67	2.6
CRAG	CRA	GRO	768	768	100.00	0.04	0.3
CRAG	CRA	GR1	98241	15089	15.36	5.58	2.3
CRAG	CRA	GR2	49121	11538	23.49	2.79	3.1
CRAG	CRA	GR3+	5373	2872	53.45	0.30	9.6

STRATE B

GENRE	ESPECE	GROUPE	NB	ECTYPE	IPREC	NB/1000m2	PCENT
CLUP	HAR	TOT	31658	9476	29.93	1.94	52.8
CLUP	HAR	GR1	31658	9476	29.93	1.94	52.8
SPRA	SPR	TOT	597	597	100.00	0.04	37.5
SPRA	SPR	GR1+	597	597	100.00	0.04	37.5
MERN	MER	TOT	87805	21993	25.05	5.38	30.9
MERN	MER	GR0	87805	21993	25.05	5.38	30.9
TRIS	LUS	TOT	17322	8233	47.53	1.06	31.1
TRIS	LUS	GR0	17322	8233	47.53	1.06	31.1
TRIG	LUC	TOT	1195	1195	100.00	0.07	54.6
CALM	LYR	TOT	44798	19176	42.81	2.75	40.7
GOBD		TOT	40617	12567	30.94	2.49	30.7
SCOH	RHO	TOT	1195	1195	100.00	0.07	100.0
SCOH	RHO	GR0	1195	1195	100.00	0.07	100.0
PLEC	PLA	TOT	60926	27476	45.10	3.73	42.7
PLEC	PLA	COM	2389	1792	75.00	0.15	51.4
PLEC	PLA	GR0	49577	25011	50.45	3.04	42.2
PLEC	PLA	GR1	10154	4549	44.80	0.62	48.6
PLEC	PLA	GR2	597	597	100.00	0.04	16.5
PLEC	PLA	GR3+	597	597	100.00	0.04	100.0
LIMD	LIM	TOT	231160	100401	43.43	14.17	51.0
LIMD	LIM	COM	2389	2389	100.00	0.15	70.6
LIMD	LIM	GR0	227576	99653	43.79	13.95	51.2
LIMD	LIM	GR1	2389	1792	75.00	0.15	28.6
LIMD	LIM	GR2	1195	1195	100.00	0.07	100.0
SOLE	VUL	TOT	12544	4652	37.09	0.77	13.6
SOLE	VUL	COM	597	597	100.00	0.04	100.0
SOLE	VUL	GR0	8362	3762	44.99	0.51	9.7
SOLE	VUL	GR1	3584	1422	39.67	0.22	70.6
SOLE	VUL	GR2	597	597	100.00	0.04	100.0
CRAG	CRA	TOT	3047488	1245415	40.87	186.82	49.1
CRAG	CRA	COM	2801395	1125902	40.19	171.73	47.4
CRAG	CRA	GR0	246690	149365	60.55	15.12	84.6
CRAG	CRA	GR1	2320558	982850	42.35	142.26	54.2
CRAG	CRA	GR2	451568	180080	39.88	27.68	28.7
CRAG	CRA	GR3+	28671	11078	38.64	1.76	51.3

STRATE C

GENRE	ESPECE	GROUPE	NB	ECTYPE	IPREC	NB/1000m2	PCENT
CLUP	HAR	TOT	11435	5523	48.30	0.79	19.1
CLUP	HAR	GR1	11435	5523	48.30	0.79	19.1
SPRA	SPR	TOT	994	629	63.25	0.07	62.5
SPRA	SPR	GR1+	994	629	63.25	0.07	62.5
GADU	MOR	TOT	10938	8319	76.06	0.75	100.0
GADU	MOR	GRO	10938	8319	76.06	0.75	100.0
MERN	MER	TOT	167054	60565	36.25	11.51	58.8
MERN	MER	GRO	167054	60565	36.25	11.51	58.8
TRIS	LUS	TOT	35300	22711	64.34	2.43	63.4
TRIS	LUS	GRO	35300	22711	64.34	2.43	63.4
TRIG	LUC	TOT	994	994	100.00	0.07	45.4
TRIG	LUC	GRO	994	994	100.00	0.07	100.0
CALM	LYR	TOT	53696	29641	55.20	3.70	48.8
GOBD		TOT	86510	53129	61.41	5.96	65.3
PLEC	PLA	TOT	77063	45473	59.01	5.31	54.0
PLEC	PLA	COM	1492	1492	100.00	0.10	32.1
PLEC	PLA	GRO	67120	38208	56.93	4.63	57.1
PLEC	PLA	GR1	8452	6371	75.38	0.58	40.4
PLEC	PLA	GR2	1492	1492	100.00	0.10	41.2
LIMD	LIM	TOT	214783	145570	67.78	14.80	47.3
LIMD	LIM	COM	994	629	63.25	0.07	29.4
LIMD	LIM	GRO	208817	140772	67.41	14.39	47.0
LIMD	LIM	GR1	5966	5392	90.37	0.41	71.4
SOLE	VUL	TOT	77063	55196	71.62	5.31	83.8
SOLE	VUL	GRO	75572	54205	71.73	5.21	87.6
SOLE	VUL	GR1	1492	1019	68.31	0.10	29.4
CRAG	CRA	TOT	2999506	1665722	55.53	206.74	48.4
CRAG	CRA	COM	2954263	1635117	55.35	203.62	50.0
CRAG	CRA	GRO	44249	30445	68.80	3.05	15.2
CRAG	CRA	GR1	1860460	1083414	58.23	128.23	43.5
CRAG	CRA	GR2	1071430	545327	50.90	73.85	68.2
CRAG	CRA	GR3+	21876	9517	43.50	1.51	39.1

STRATE TOT

GENRE	ESPECE	GROUPE	NB	ECTYPE	IPREC	NB/1000m2	PCENT
CLUP	HAR	TOT	59978	12273	20.46	1.24	
CLUP	HAR	GR1	59978	12273	20.46	1.24	100.0
SPRA	SPR	TOT	1592	867	54.49	0.03	
SPRA	SPR	GR1+	1592	867	54.49	0.03	100.0
GADU	MOR	TOT	10938	8319	76.06	0.23	
GADU	MOR	GRO	10938	8319	76.06	0.23	100.0
MERN	MER	TOT	284024	64897	22.85	5.86	
MERN	MER	GRO	284024	64897	22.85	5.86	100.0
TRIS	LUS	TOT	55692	24261	43.56	1.15	
TRIS	LUS	GRO	55692	24261	43.56	1.15	100.0
TRIG	LUC	TOT	2189	1554	71.01	0.05	
TRIG	LUC	GRO	994	994	100.00	0.02	45.4
AMMO	TOB	TOT	768	768	100.00	0.02	
AMMO	TOB	COM	768	768	100.00	0.02	100.0
AMMO	TOB	GR1+	768	768	100.00	0.02	100.0
CALM	LYR	TOT	110007	35366	32.15	2.27	
GOBD		TOT	132500	54725	41.30	2.74	
SCOH	RHO	TOT	1195	1195	100.00	0.02	
SCOH	RHO	GRO	1195	1195	100.00	0.02	100.0
PLEC	PLA	TOT	142594	53204	37.31	2.94	
PLEC	PLA	COM	4648	2455	52.81	0.10	3.3
PLEC	PLA	GRO	117464	45673	38.88	2.42	82.4
PLEC	PLA	GR1	20909	7977	38.15	0.43	14.7
PLEC	PLA	GR2	3624	2222	61.32	0.07	2.5
PLEC	PLA	GR3+	597	597	100.00	0.01	0.4
LIMD	LIM	TOT	453618	176882	38.99	9.36	
LIMD	LIM	COM	3384	2471	73.02	0.07	0.7
LIMD	LIM	GRO	444068	172521	38.85	9.17	97.9
LIMD	LIM	GR1	8355	5682	68.00	0.17	1.8
LIMD	LIM	GR2	1195	1195	100.00	0.02	0.3
SOLE	VUL	TOT	91909	55413	60.29	1.90	
SOLE	VUL	COM	597	597	100.00	0.01	0.6
SOLE	VUL	GRO	86237	54357	63.03	1.78	93.8
SOLE	VUL	GR1	5075	1749	34.47	0.10	5.5
SOLE	VUL	GR2	597	597	100.00	0.01	0.6
CRAG	CRA	TOT	6200496	2079959	33.55	128.00	
CRAG	CRA	COM	5908392	1985397	33.60	121.97	95.3
CRAG	CRA	GRO	291707	152438	52.26	6.02	4.7
CRAG	CRA	GR1	4279259	1462876	34.19	88.34	69.0
CRAG	CRA	GR2	1572118	574407	36.54	32.45	25.4
CRAG	CRA	GR3+	55920	14885	26.62	1.15	0.9

CHAPITRE VII

BENTHOS INTERTIDAL

Jean-Marie DEWARUMEZ
Dominique MENU

CHAPITRE VII : LE BENTHOS INTERTIDAL

VII.1. INTRODUCTION

L'organisation bionomique de l'estran de Petit-Fort-Philippe est particulièrement sensible à certains facteurs physiques et physicochimiques. C'est ce qu'ont prouvé les études menées régulièrement depuis 1973 (DEWARUMEZ et GREGOIRE, 1973 ; GREGOIRE, 1976 a et b ; SOUPLET, 1978 ; DEWARUMEZ, 1980, 1982 a et b, 1984, 1985, 1986, 1987 ; CANUT, 1982).

Deux facteurs, surtout, régissent la structure bionomique de cette plage :

- un facteur "courantologie locale" : les axes de courants généraux sur site peuvent être modifiés par des phénomènes locaux. Ces perturbations provoquent alors des altérations de la structure sédimentologique et notamment la teneur en pélites du sédiment. Elles permettent ainsi l'implantation ou la disparition des peuplements de sédiments envasés.

- un facteur "dessalure", engendré par l'Aa et les eaux de ruissellement provenant de la nappe phréatique, favorise l'implantation d'espèces euryhalines et en conséquence l'extension des peuplements de type estuarien.

Depuis 1985, toutefois, il semble qu'un autre facteur écologique puisse jouer un rôle non négligeable dans la répartition des espèces sur la plage. Il s'agit de la température. L'impact thermique de la centrale commence à se faire sentir au niveau de la répartition d'espèces à écologie semblable mais à préférences thermiques différents comme *Pygospio elegans* et *Spio filicornis*.

En raison des importants aménagements locaux effectués depuis 1973, la plage de Petit-Fort-Philippe a subi d'importantes mutations. La circulation des masses d'eaux a été modifiée par la construction des digues de l'avant-port de Dunkerque et la circulation de l'eau de refroidissement de la centrale. Il en a résulté d'importantes modifications bionomiques et sédimentologiques qui ont été longuement évoquées lors des précédents rapports. Ces modifications intéressent avant tout l'extension du peuplement des espèces vasicoles et d'eaux saumâtres.

Si de 1973 à 1979, l'évolution dans le sens de l'augmentation de la

surface occupée par les peuplements de type estuarien était due sans conteste à l'action des digues de l'avant-port, depuis 1979, l'évolution inverse n'est imputable qu'à la circulation d'eau de refroidissement de la centrale. Cette diminution de l'envasement a conduit à la formation de placages de vase maintenue en place par les *Corophium arenarium*. Les plaques ont régulièrement régressé en superficie et sont devenues totalement azoïques.

Dans la partie est de l'estran des modifications morphologiques ont été occasionnées également par le fonctionnement de la centrale. Une grande dune hydraulique installée à mi-estran, rendue instable par le rejet d'eau de la centrale a éclaté en 1981 en un complexe de dunes et de bâches qui tend, depuis, à progresser vers l'ouest.

Enfin, la population de coques, après un essor important entre 1981 et 1983 connaît une période de forte régression.

VII.2. Méthodologie

La méthodologie utilisée reste la même (cf annexe technique). 8 stations ont été prospectées sur les deux radiales à quatre niveaux le 2 juin 1987.

VII.3. Résultats

3.1. Composition bionomique

34 taxons ont été recensés. Ils se répartissent comme suit :

- 1 Nemerte
- 1 Nématode
- 1 Chaetognathe
- 1 Oligochète
- 10 Polychètes : 4 Errantes
6 Sédentaires
- 3 Mollusques 1 Gastéropode
2 Bivalves
- 16 Crustacés 2 Cumacés
3 Isopodes
8 Amphipodes
3 Décapodes
- 1 Insecte

Ces résultats sont du même ordre que ceux enregistrés lors des études précédentes. *Corophium volutator* ne fait plus partie des espèces récoltées sur l'estran.

Par contre on note la récolte en grande densité d'un nématode : *Enoplius brevis* caractéristique des eaux dessalées et d'espèces à affinités subtidales en bas niveau.

3.2. Résultats globaux (tableau VII.1, 2, 3 ; fig. VII.1 à 6)

3.2.1. Radiale 1

3.2.1.1. Station E

Depuis 1985, il n'est plus possible de distinguer les aspects envasés caractéristiques de la station surnuméraire de très haut niveau (E').

Les placages de vase ont complètement disparu et le sédiment semble extérieurement parfaitement homogène.

Le sédiment est constitué en grande partie de sable moyen, la teneur en pélites est inférieure à celle enregistrée lors de l'étude précédente. Elle est voisine des valeurs trouvées en 1984.

Station	1983		1984			1985		1986	1987
	E'	E	E envasé	E'	E	E plaques de vase	E typique	E	E
Pelites (%)	9,39	2,03	9,91	2,73	1,57	9,20	0,57	3,92	1,22
Sable fin (%)	43,26	28,52	47,40	15,04	18,90	51,15	40,66	34,39	25,08
Sable moyen (%)	45,45	49,04	41,35	77,12	69,57	36,23	54,97	57,35	68,93

Au niveau spécifique on note la presque complète disparition de *Corophium arenarium* : 76 individus par m² contre 5716 en 1986. La densité d'*Hydrobia ulvae* chute également d'une manière importante 952/m² contre 7124 en 1986. En 1984 la densité était de 11412/m². Soit une diminution de 87%. Ces modifications auraient pu être attribuées à une modification de la teneur en pélites, comme en 1984, mais il semble bien qu'il faille aller rechercher une autre explication, d'autant que ces altérations, ne sont évidentes que dans la partie ouest de l'estran.

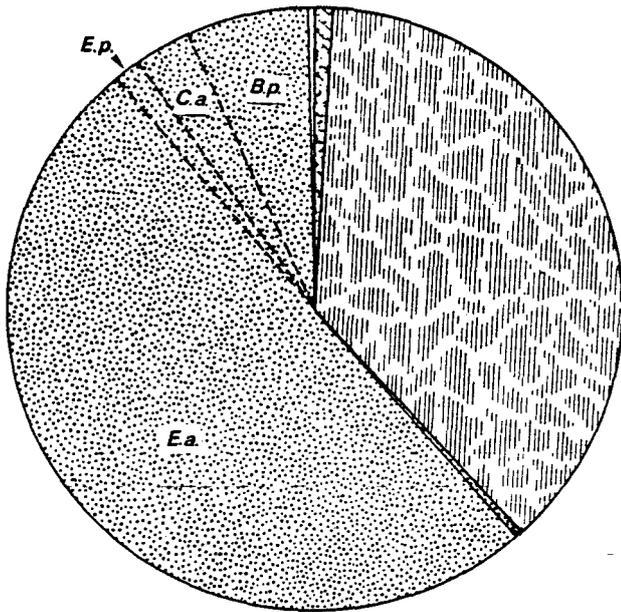
Sur l'autre radiale rien de semblable ne se passe.

LEGENDE DES FIGURES VII. 1 A 4

	Oligochètes
	Annélides
	Hydrobia
	Bivalves
	Crustacés
	Divers

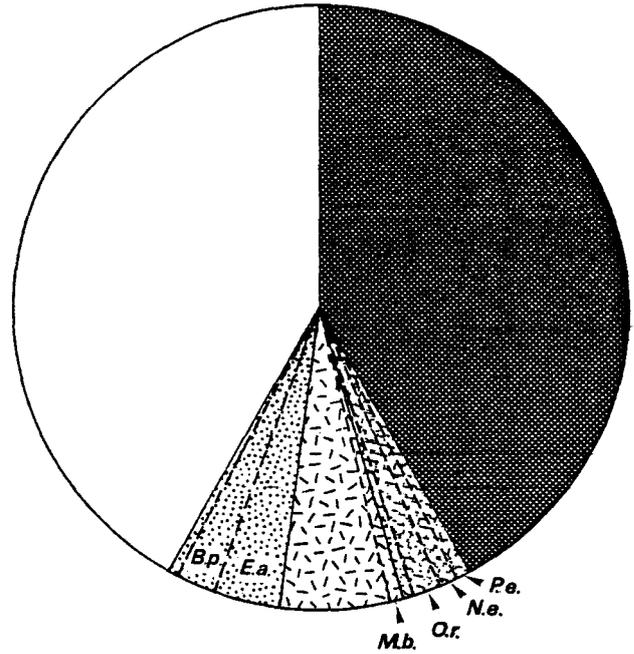
B.pe	: Bathyporeia pelagica
B.pi	: Bathyporeia pilosa
B.s.	: Bathyporeia sarsi
C.a.	: Corophium arenarium
C.c.	: Crangon crangon
E.a.	: Eurydice affinis
E.p.	: Eurydice pulchra
H.a.	: Haustorius arenarius
M.b.	: Macoma balthica
N.ci.	: Nephtys cirrosa
N.d.	: Nereis diversicolor
Ne.c.	: Nerine cirratulus
Nema	: Nematodes
O.r.	: Ophelia rathkei
P.b.	: Pagurus bernhardus
P.e.	: Pygospio elegans
P.l.	: Portumnus latipes

STATION E



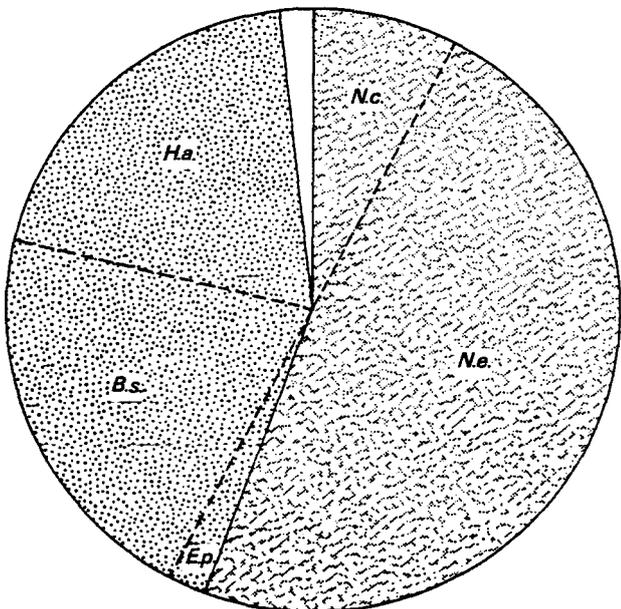
N = 2 548 ind./m²

STATION F



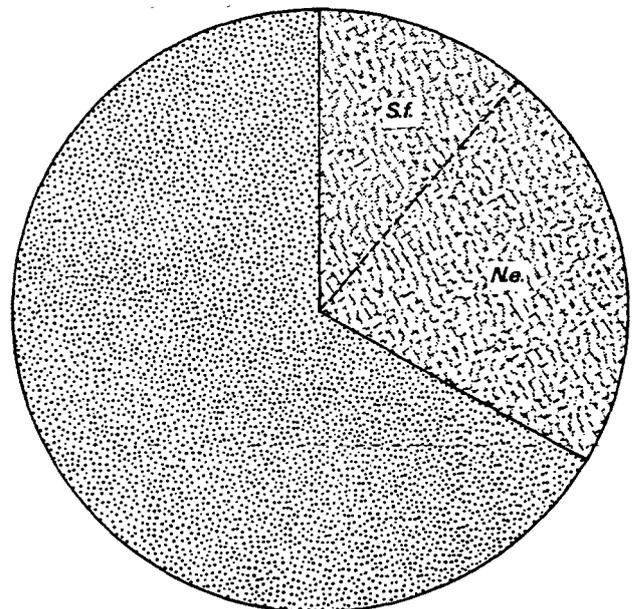
N = 5 852 ind./m²

STATION G



N = 208 ind./m²

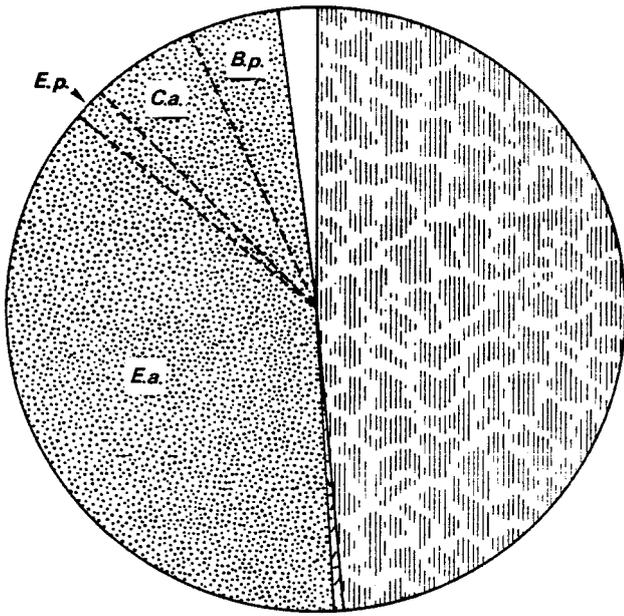
STATION G



N = 44 ind./m²

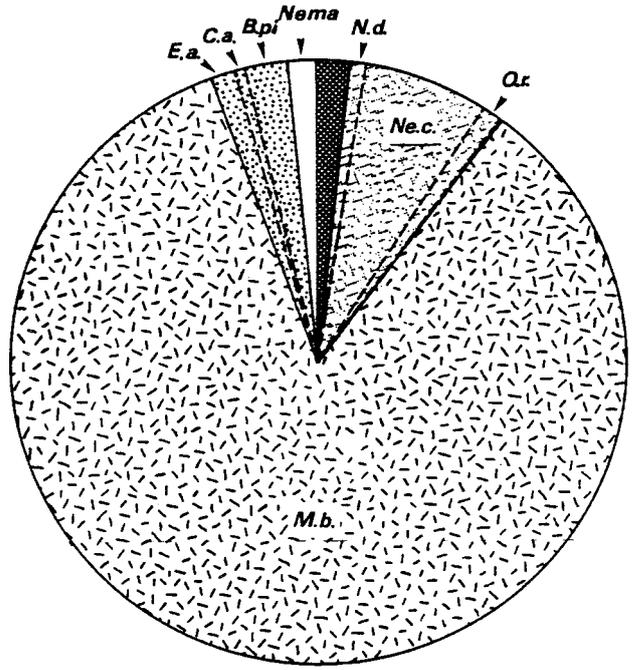
TABLEAU VII.1 : RADIALE I. IMPORTANCE RELATIVE DES DIFFERENTS GROUPES ZOOLOGIQUES (nombre d'individus)

STATION E



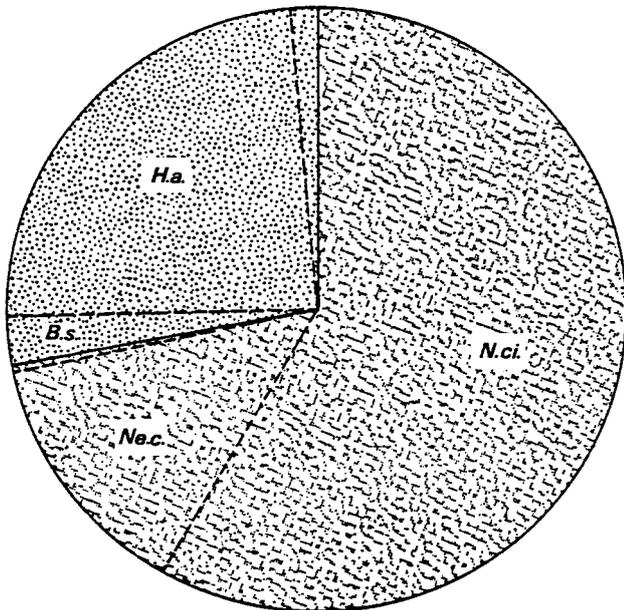
B = 1,519 g/m²

STATION F



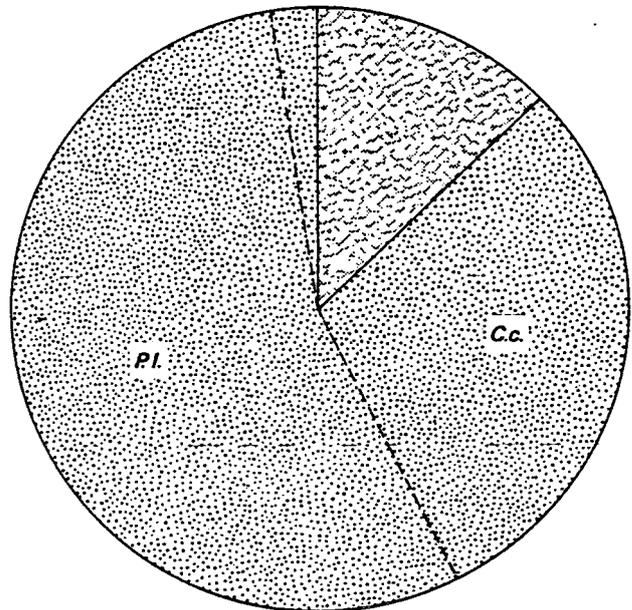
B = 2,119 g/m²

STATION G



B = 0,827 g/m²

STATION H



B = 0,158 g/m²

TABLEAU VII . 2 : RADIALE I . IMPORTANCE RELATIVE DES DIFFERENTS GROUPES ZOOLOGIQUES (biomasse)

Il faut mettre en cause ici une pollution littorale qui a provoqué la mort de nombreux invertébrés infralittoraux et poissons (mulets, bars) au cours de l'hiver et dont les conséquences se font encore sentir en fin de printemps.

L'origine de cette pollution qui a touché tout l'infralittoral du Feu de Walde à l'Aa n'est pas encore connue ; mais il semble toutefois que l'on puisse proposer une explication plausible qui mettrait en cause plusieurs facteurs.

Cette pollution est survenue pendant une période de forts vents de Nord-Est accompagnés d'un froid intense. Ces forts vents de Nord-Est ont pu provoquer à la fois une dérive de jusant accrue des masses d'eau en provenance de la centrale et un blocage des rejets de Tioxyde pendant la dérive de flot. Cette action combinée a pu ainsi diminuer la dilution et augmenter le temps de résidence de ces masses d'eau dans la zone touchée. A ce phénomène peut s'ajouter également une pollution directe par des apports toxiques pendant cette période de tempêtes, des cargos étant arrivés à Dunkerque en ayant signalé des pertes de cargaison.

A ces problèmes s'ajoutent pour les peuplements des hauts niveaux de l'estran l'impact direct du froid par l'action du vent et la formation d'une "banquise" sur les hauts de plage de la région.

	1978	1979	1980	1981		1982		1983		1984			1985	1986	1987
	E	E	E	E	E'	E	E'	E	E'	E	E'1	E'2	E	E	
Hydrobia ulvae	2892	8740	8	216	9768	0	7588	300	14632	11412	5560	560	11956	7124	952
Spio filicornis	0	0	0	0	0	0	36	8	32	48	40	240	12	60	0
Pygospio elegans	0	144	0	624	32	0	0	0	0	0	0	0	0	1460	20
Eurydice affinis	0	100	64	4	4	0	44	68	40	144	16	0	564	84	1280
Corophium volutator	16	208	108	0	92	8	0	8	32	0	0	40	0	0	0
Corophium arenarium	172	852	1888	0	948	68	2316	220	2624	52	560	166	1336	5716	76

E'1 = aspects propres ; E'2 = aspects envasés

Les populations de *Pygospio elegans* et *Spio filicornis* régressent également.

Par contre en ce qui concerne *Eurydice affinis*, la population de cette espèce s'est accrue d'une manière importante mais il faut toutefois signaler qu'elle est composée à 85% de juvéniles de 3 mm.

Il résulte de ces modifications une diminution considérable de la biomasse : 1,519 g/m² en 1987 contre 13,402 g/m² en 1986 soit près de 89% !

Ainsi donc la pollution hivernale a provoqué un déficit considérable de la biomasse, un tel déficit n'avait jamais pu être mis en évidence malgré les fluctuations importantes bien que "normales" en haut d'estran des conditions du milieu, telles que la granulométrie et la dessalure, d'une année sur l'autre.

3.2.1.2. Station F

A cette station les espèces euryhalines dominent toujours bien que les densités soient, pour toutes les espèces récoltées, en baisse plus ou moins importante selon les cas. Ce qui semble confirmer l'influence néfaste de la pollution hivernale.

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
<i>Nereis diversicolor</i>	32	80	0	0	32	432	88	116	44	16
<i>Spio filicornis</i>	0	0	0	0	0	112	80	1324	236	0
<i>Pygospio elegans</i>	0	52	0	236	0	0	0	0	1460	40
<i>Ophelia rathkei</i>	0	132	12	248	124	152	1100	68	8	100
<i>Hydrobia ulvae</i>	4324	0	8	0	0	4	0	0	216	0
<i>Cerastoderma edule</i>	0	92	48	320	114	152	36	4	16	0
<i>Macoma balthica</i>	0	40	0	32	44	472	32	200	92	40
<i>Corophium arenarium</i>	36	0	56	0	4	12	0	12	36	16
Oligochètes	0	0	0	0	0	324	336	820	3360	2452

Mais le résultat le plus spectaculaire concerne la récolte de Nématodes caractéristiques d'eaux dessalées : *Enoplius brevis* en quantité très importante. Etant donnée la taille de cette espèce : 5 à 6 mm x 0,1 mm. Il est certain que la population a été sous-évaluée. La population de coques semble avoir disparu, il n'a pas été possible de récolter le moindre individu à vue dans la zone précédemment occupée par

cette population. La population de *Macoma balthica* régresse également. Mais comme il l'a déjà été signalé, cette population est sujette à des variations importantes d'une année sur l'autre. Cette population semble constituée d'individus de 2 ans ; le rendement du recrutement 1986, a donc été mauvais.

La population de *Pygospio elegans* régresse considérablement et la population *Spio filicornis* a complètement disparu, cela confirme les résultats enregistrés à la station E.

Il résulte de ces modifications bionomiques une chute très importante de la biomasse : 77%, de 6,6 g/m² en 1986 à 1,1 g/m² en 1987. Là aussi la pollution hivernale doit être mise en cause.

3.2.1.3. Station G

Contrairement aux années précédentes, on ne note plus de tendance marquée à la dessalure. Ceci apparaît clairement à la lecture du tableau suivant qui met en parallèle les espèces euryhalines (*) et les espèces caractéristiques du niveau marégraphique (-).

Espèces	1986	1987
* Enchytraeidae sp.	21,6 %	0 %
* Ophelia rathkei	33,2 %	0 %
* Spio filicornis	5,4 %	0 %
+ Nerine cirratulus	28,6 %	46,2 %
- Nephtys cirrosa	0,8 %	7,7 %
- Haustorius arenarius	0 %	19,2 %
- Bathyporeia sarsi	5,8 %	21,2 %

Les espèces les plus caractéristiques du niveau marégraphique dans la région (selon SALVAT, 1967) sont beaucoup plus abondantes qu'en 1986 : elles représentent 94,3% des individus contre 35% en 1986. Par contre les espèces dont on connaît les préférences euryhalines ont totalement disparu.

2.1.4. Station H

Cette station au relief très tourmenté est caractérisée par une

grande pauvreté en individus et en biomasse.

3.2.2. Radiale II

Le complexe de dunes et de bâches installé dans la partie est de l'estran qui avait progressé vers l'ouest en 1986 continue sa progression. Il se déforme légèrement : la dune située le plus bas sur l'estran progresse davantage que les autres et n'est qu'à 3-400 m des jetées de l'Aa. Les autres dunes progressent moins. Le complexe devient moins marqué : dunes moins hautes et bâches moins profondes. Les bâches continuent toutefois à piéger les vases.

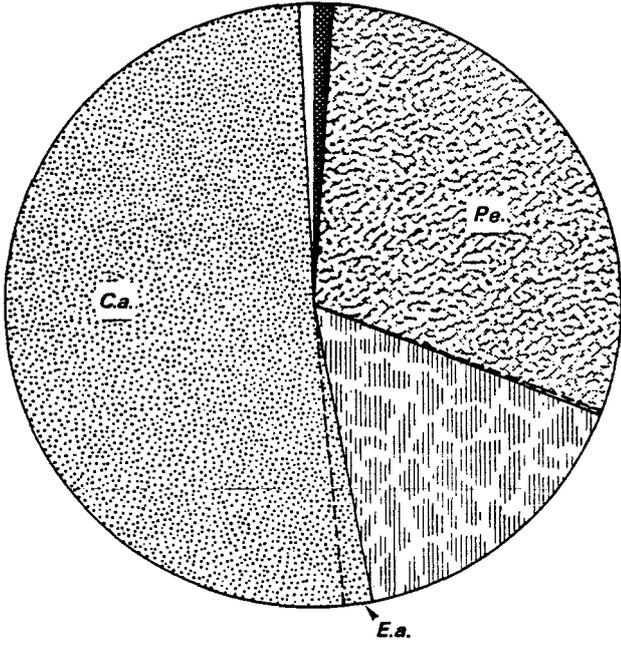
3.2.2.1. Station I

Cette année, comme en 1986, on note une modification de la tendance évolutive des communautés benthiques établies à la station I. Tout semble passer comme si les conditions du milieu (courant, salinité, granulométrie...) n'exerçaient pas une pression stable sur les peuplements implantés à cette station. Cela oblige les différentes espèces à réagir en fonction de leurs possibilités adaptatives vis-à-vis des-dites conditions, ceci permet à telle ou telle espèce de dominer au sein du peuplement. Ainsi entre 1986 et 1987 seule la population de Corophium arenarium évolue dans le même sens qu'entre 1985 et 1986 (380 md/m² en 1985, 1304 en 1986 et 2512 en 1987).

Densité/m ²	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Oligochètes	0	0	0	0	12	4	8	84	88	40
Pygospio elegans	0	72	132	108	0	0	664	1448	2004	1472
Hydrobia ulvae	196	0	12	9168	8596	452	1464	1684	100	800
Corophium arenarium	220	5280	6476	60	704	2068	400	380	1304	2512
Corophium volutator	16	596	108	4	20	0	0	0	0	0
Bathyporeia pilosa	524	124	196	48	192	108	4448	40	1680	8
Eurydice affinis	204	16	4	4	24	0	284	4	272	68

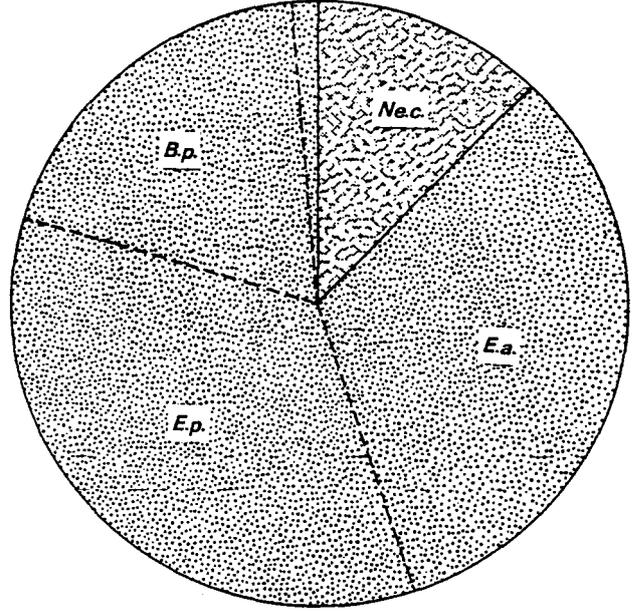
La densité de population de *Pygospio elegans* est équivalente à celle enregistrée en 1985. Cette population se maintient donc à un bon niveau,

STATION I



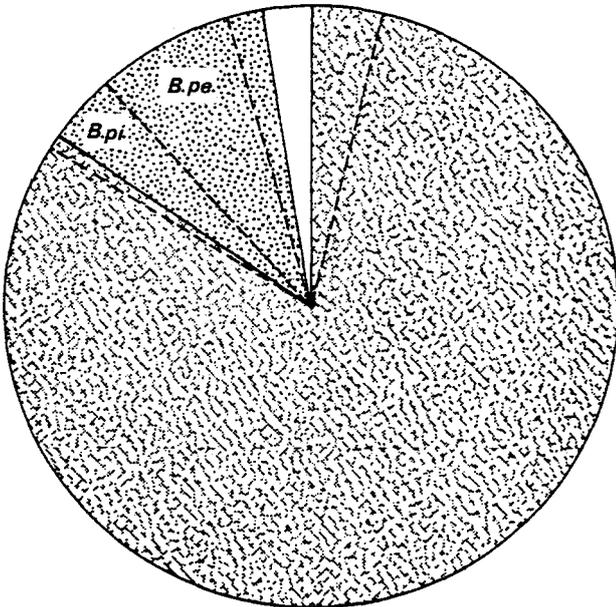
$N = 4\,932 \text{ ind./m}^2$

STATION J



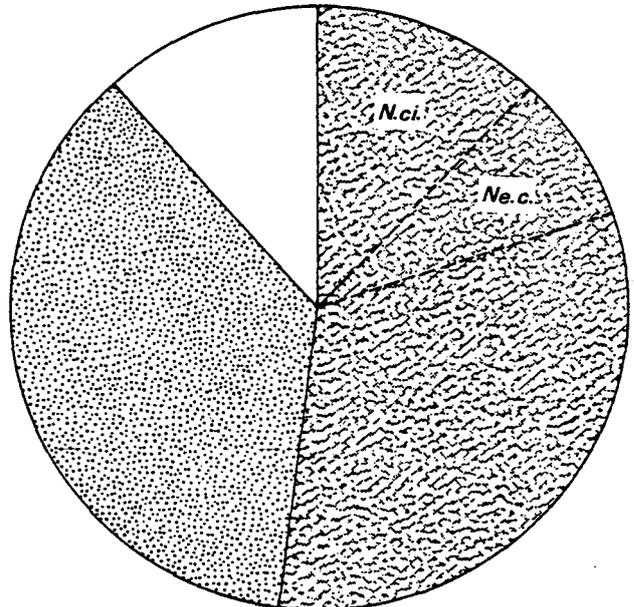
$N = 1\,384 \text{ ind./m}^2$

STATION K



$N = 324 \text{ ind./m}^2$

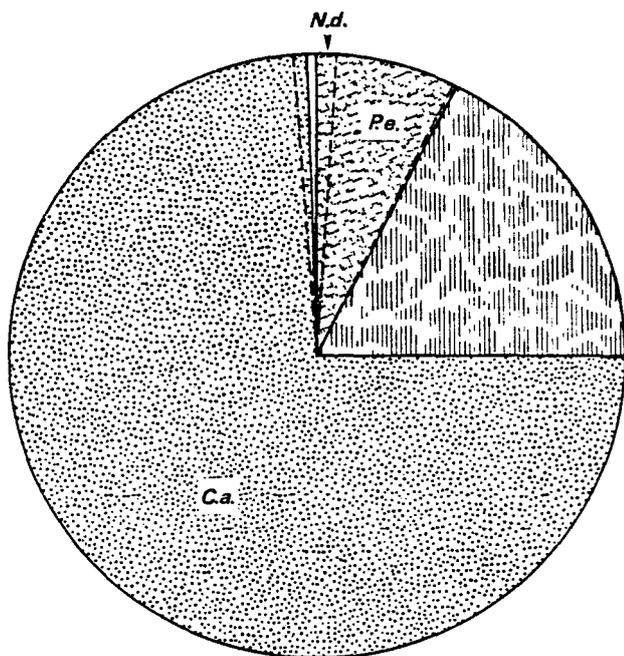
STATION L



$N = 100 \text{ ind./m}^2$

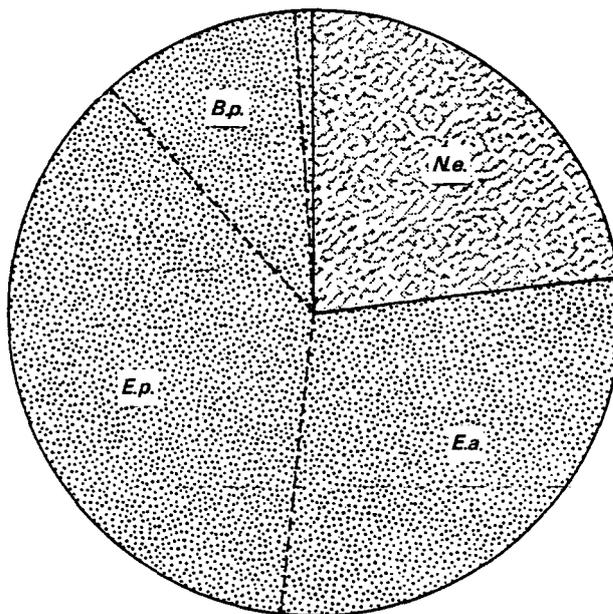
TABLEAU VII.3 : RADIALE II . IMPORTANCE RELATIVE DES DIFFERENTS GROUPES ZOOLOGIQUES (nombre d'individus)

STATION I



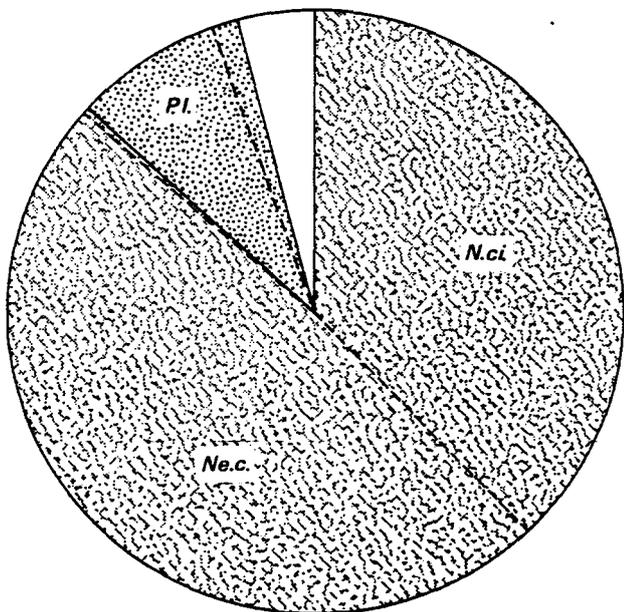
$B = 2,443 \text{ g/m}^2$

STATION J



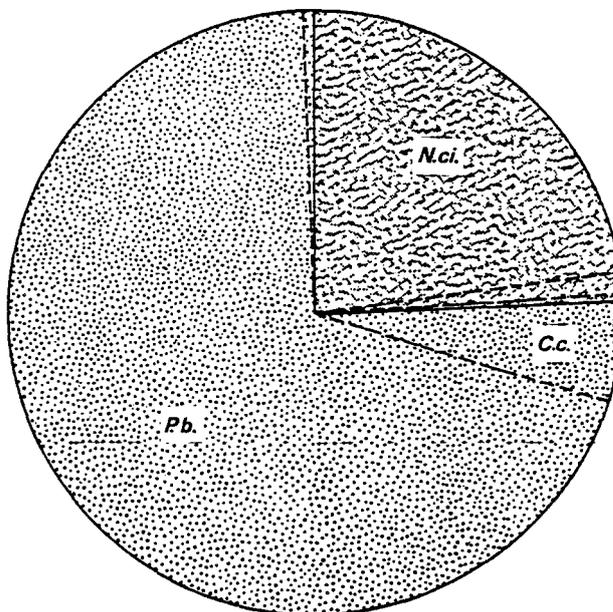
$B = 1,493 \text{ g/m}^2$

STATION K



$B = 0,819 \text{ g/m}^2$

STATION L



$B = 0,610 \text{ g/m}^2$

TABLEAU VII.4 : RADIALE II . IMPORTANCE RELATIVE DES DIFFERENTS GROUPES ZOOLOGIQUES (biomasse)

nous évoquerons plus précisément le cas de cette population dans un autre paragraphe.

La population de *Bathyporeia pilosa* chute considérablement. La population de cette espèce est sujette à des variations de densité en dents de scie à cette station depuis 1983. Donc en fait depuis que l'impact de la circulation d'eau s'est manifesté de manière très nette dans les hauts niveaux de la partie ouest de l'estran. Cette évolution peut être comparée à la teneur en pélites du sédiment :

Résultats en %	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Pélites	2,20	7,39	0,13	1,10	0,88	1,22
Sables fins	30,97	36,99	17,63	40,22	36,19	25,08
Sables moyens	53,25	51,78	77,34	54,18	58,14	68,93

En effet, si l'on observe les évolutions de *Bathyporeia pilosa* et de la teneur en pélites, on s'aperçoit qu'elles sont en opposition.

	1983		1984		1985		1986		1987
Pélites (% pondéraux)	7,39	↘	0,13	↗	1,10	↘	0,88	↗	1,22
<i>B. pilosa</i> (densité/m ²)	108	↗	4448	↘	40	↗	1680	↘	8

La différence faible entre les teneurs en pélites du sédiment entre 1985 et 1986 (0,2%) semble néanmoins suffisante pour permettre l'installation de la population. Ceci semblerait signifier que la limite supérieure d'envasement du sédiment pour l'implantation de *B. pilosa* est voisine de 0,9%. Cette tendance à fuir les sédiments fortement envasés est confirmée par les études antérieures à 1983.

Ainsi donc depuis 1983 la déstabilisation sédimentologique des hauts niveaux (avec une tendance très forte au dégraissage) due aux modifications de circulation de l'eau sur l'estran peut se jumeler avec des variations transitoires de la teneur en pélites pour favoriser ou non l'implantation d'une population de *Bathyporeia pilosa*. Ces oscillations transitoires et de faible amplitude de la teneur en pélites ont lieu autour de la limite de tolérance à l'envasement de cette espèce. Ce

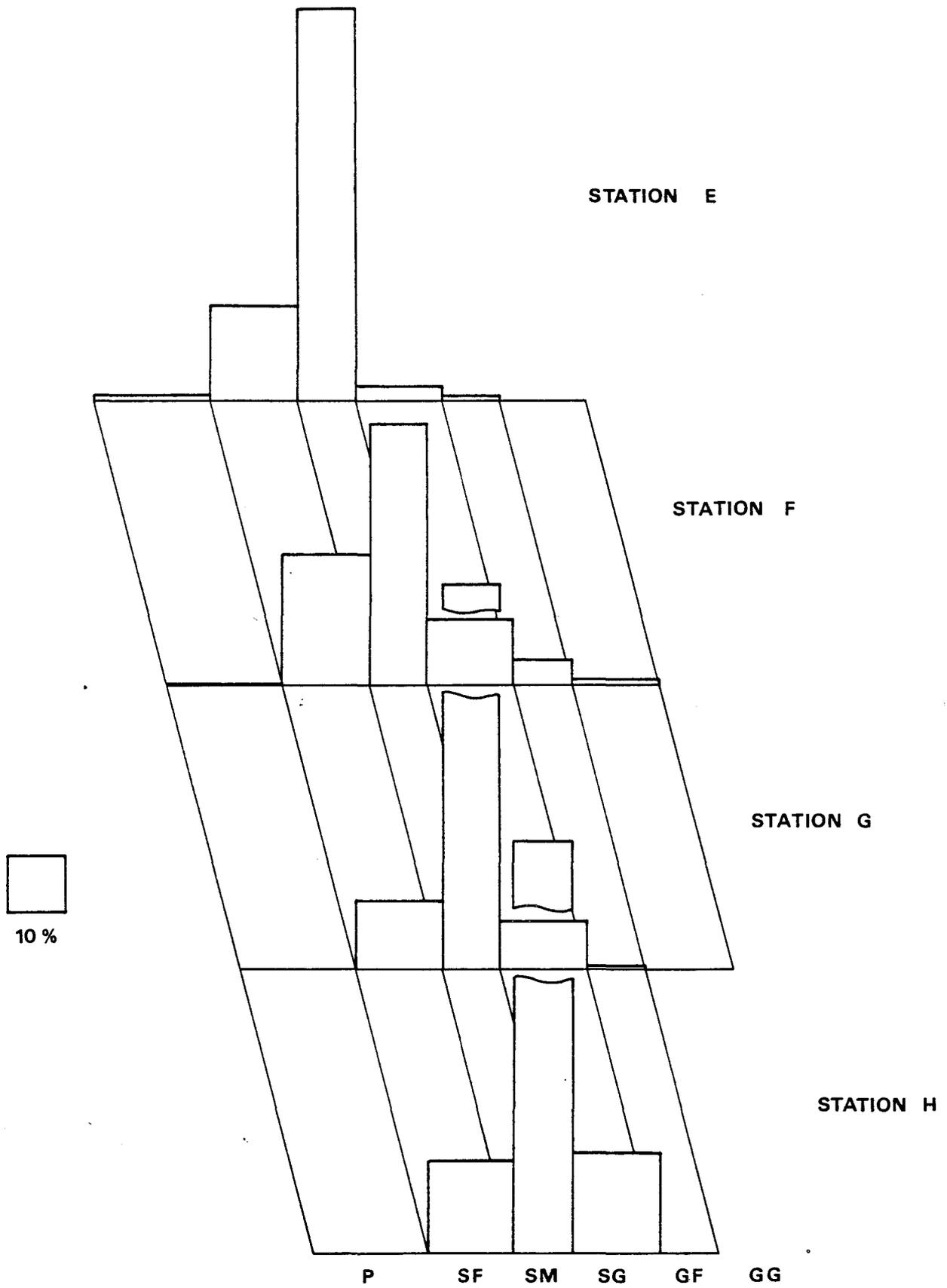


FIG. VII . 5 : RADIALE I . CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES
DU SEDIMENT

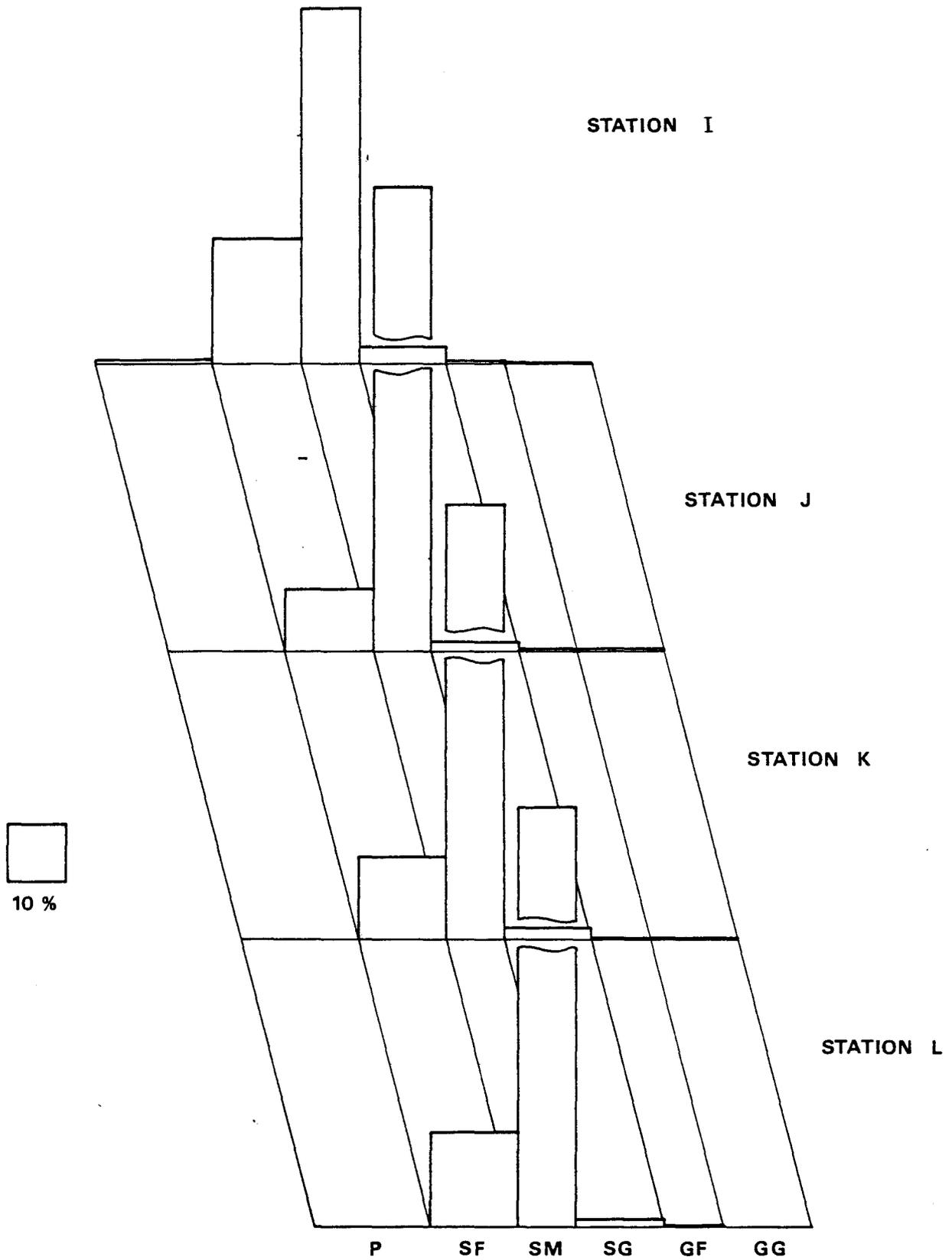


FIG. VII . 6 : RADIALE II . CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES
DU SEDIMENT

phénomène confirme dans une large mesure l'hypothèse de l'instabilité accrue en hauts niveaux des conditions écologiques ambiantes.

2.2.2. Station J

Les résultats ne montrent pas d'évolution notable à cette station depuis 1986. On peut toutefois signaler un bon recrutement des crustacés péricarides et notamment d'*Eurydice pulchra*, il est vrai représenté par près de 80% de très jeunes individus.

Densité/m ²	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
<i>Eurydice affinis</i>	84	44	152	4	16	20	796	60	200	452
<i>Eurydice pulchra</i>	8	0	32	24	36	28	60	4	8	480
<i>Bathyporeia pilosa</i>	180	368	84	0	12	72	296	28	272	276

Enfin à cette station on note, ainsi qu'aux 2 autres stations inférieures de cette radiale, la récolte de *Temora longicornis* (50 individus dans le cas présent) nous reviendrons plus loin sur le cas de ces récoltes inhabituelles.

2.2.3. Stations K et L

A ces deux stations on ne note pas d'évolution tant au point de vue densité des populations qu'au niveau de la biomasse pour ce qui est des espèces habituellement récoltées. Ce sont deux stations "pauvres" typiques du niveau marégraphique c'est-à-dire à grand nombre d'espèces généralement faiblement représentées.

Mais, comme à la station J, de très nombreux individus de *Temora longicornis* (10 000 à la station K et 300 à la station L) ont été récoltés.

4. Evolution de l'estran

4.1. Evolution des niveaux supérieurs de l'estran

4.1.1. Cas de la granulométrie (Fig. VII.7)

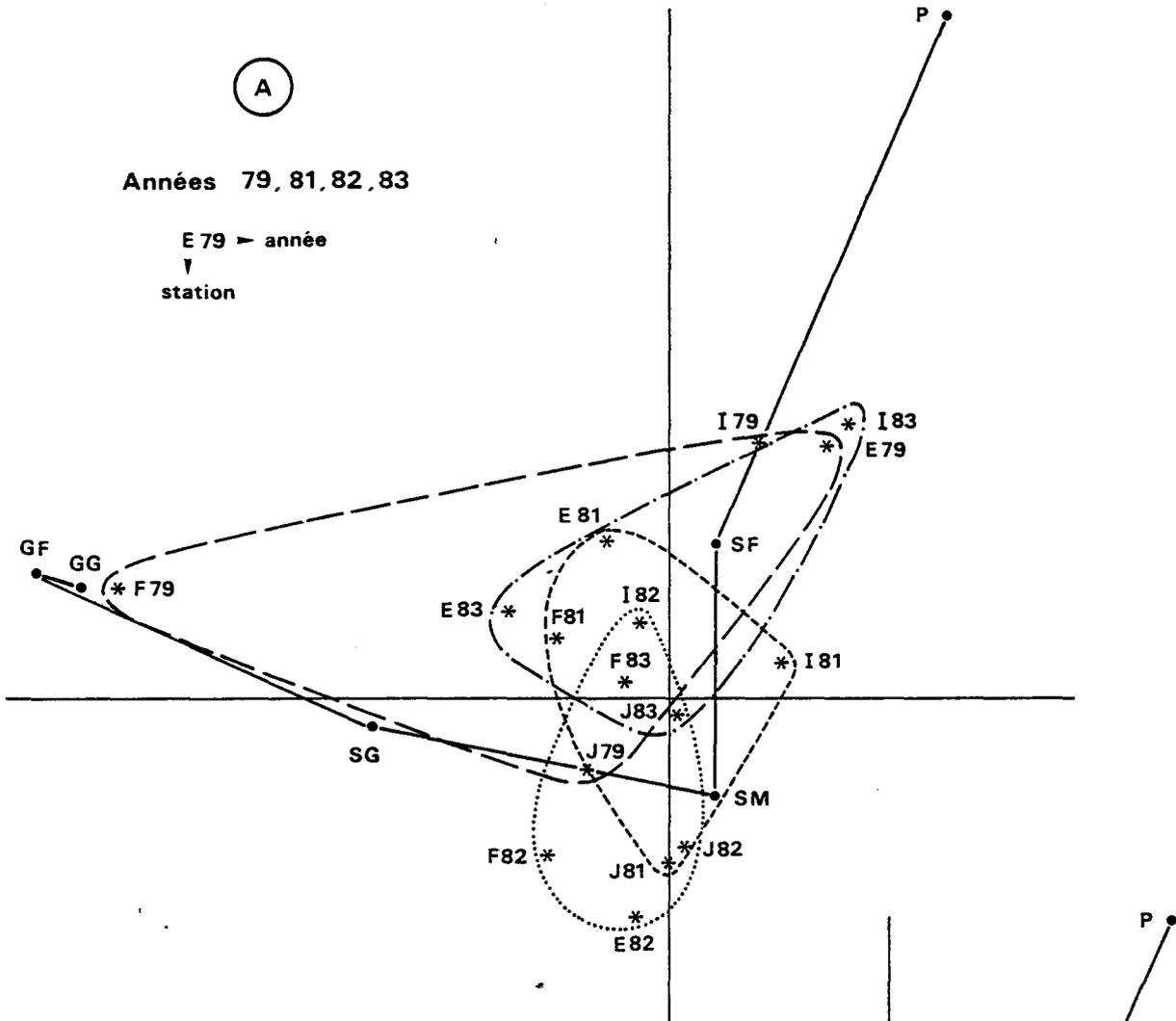
Une analyse factorielle des correspondances a été réalisée sur les données de la granulométrie des quatre stations supérieures de l'estran de 1979 à 1987.

Cette analyse met en évidence le caractère erratique du comportement de la station F depuis 1979. Cette irrégularité qui décale, parfois

(A)

Années 79, 81, 82, 83

E 79 ► année
 ▼ station



(B)

Années 84, 85, 86, 87

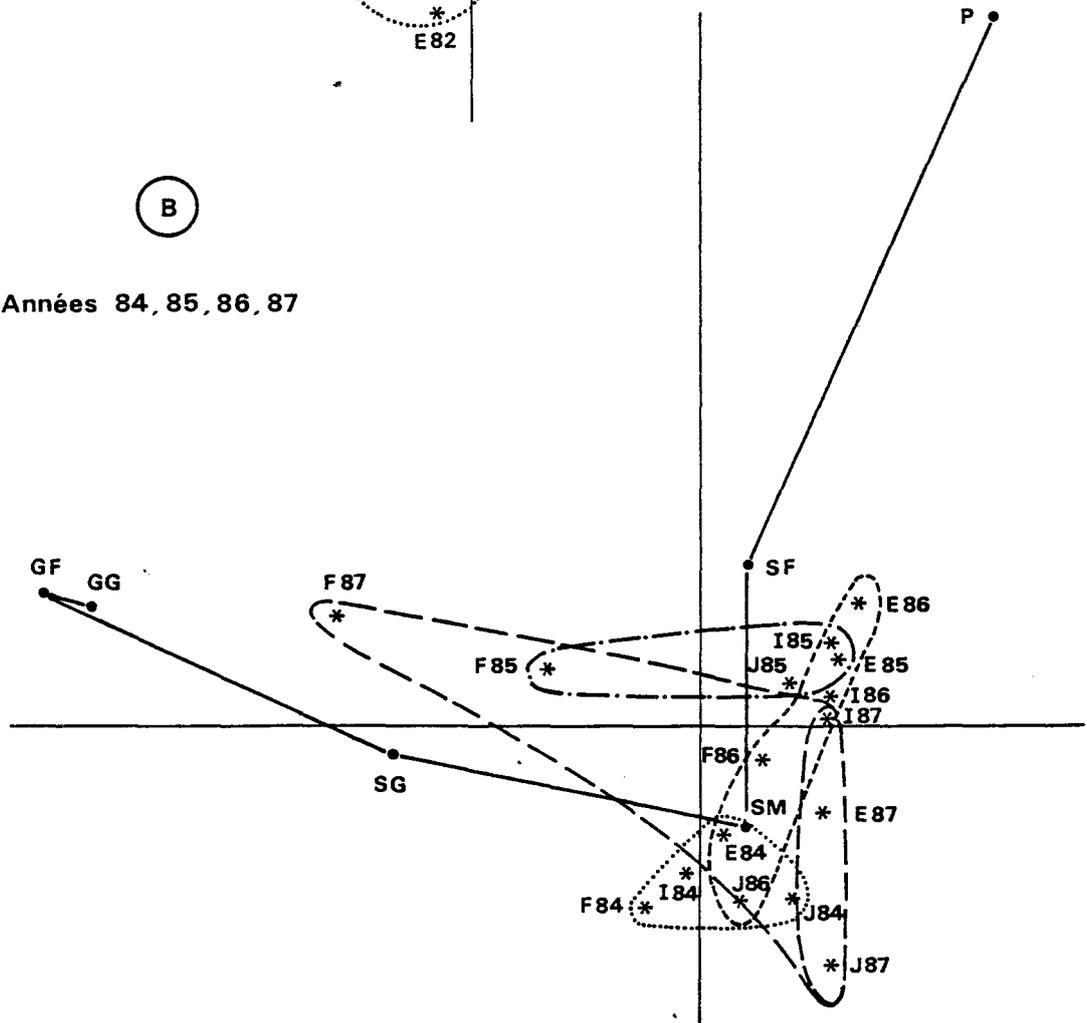


Fig. VII.7 : EVOLUTION DU SEDIMENT AUX 4 STATIONS SUPERIEURES DE L'ESTRAN.

fortement, les points-stations F vers les graviers fins et grossiers est due à la présence de nombreuses coquilles, entières ou moulues, de coques vestiges des populations denses que la plage a hébergées pendant plusieurs années. L'échantillonnage peut être mis en cause pour le prélèvement à cette station.

Les stations E et I ont une tendance marquée à l'affinement (sable fin et pélites). Le sédiment de la station J est constitué de sable moyen et ne semble pas évoluer beaucoup pendant la période considérée.

Mais le résultat le plus intéressant est la confirmation de l'homogénéisation des conditions de sédimentation sur la partie supérieure de l'estran. On note une dispersion de moins en moins importante des points stations depuis 1979 ; si l'on excepte la station F en fonction des remarques faites plus haut. La circulation de l'eau de la centrale provoque donc une homogénéisation des sédiments de la partie supérieure de l'estran ; le sédiment des hauts niveaux étant toutefois plus envasé que celui des moyens niveaux. La teneur en pélites n'est pas constante, elle oscille d'une année à l'autre autour de 1 % aux stations E et I, ce qui permet des modifications bionomiques importantes qui ne remettent toutefois pas en cause la structure fondamentale des peuplements.

4.1.2. Cas de la partie ouest (fig. VII.8)

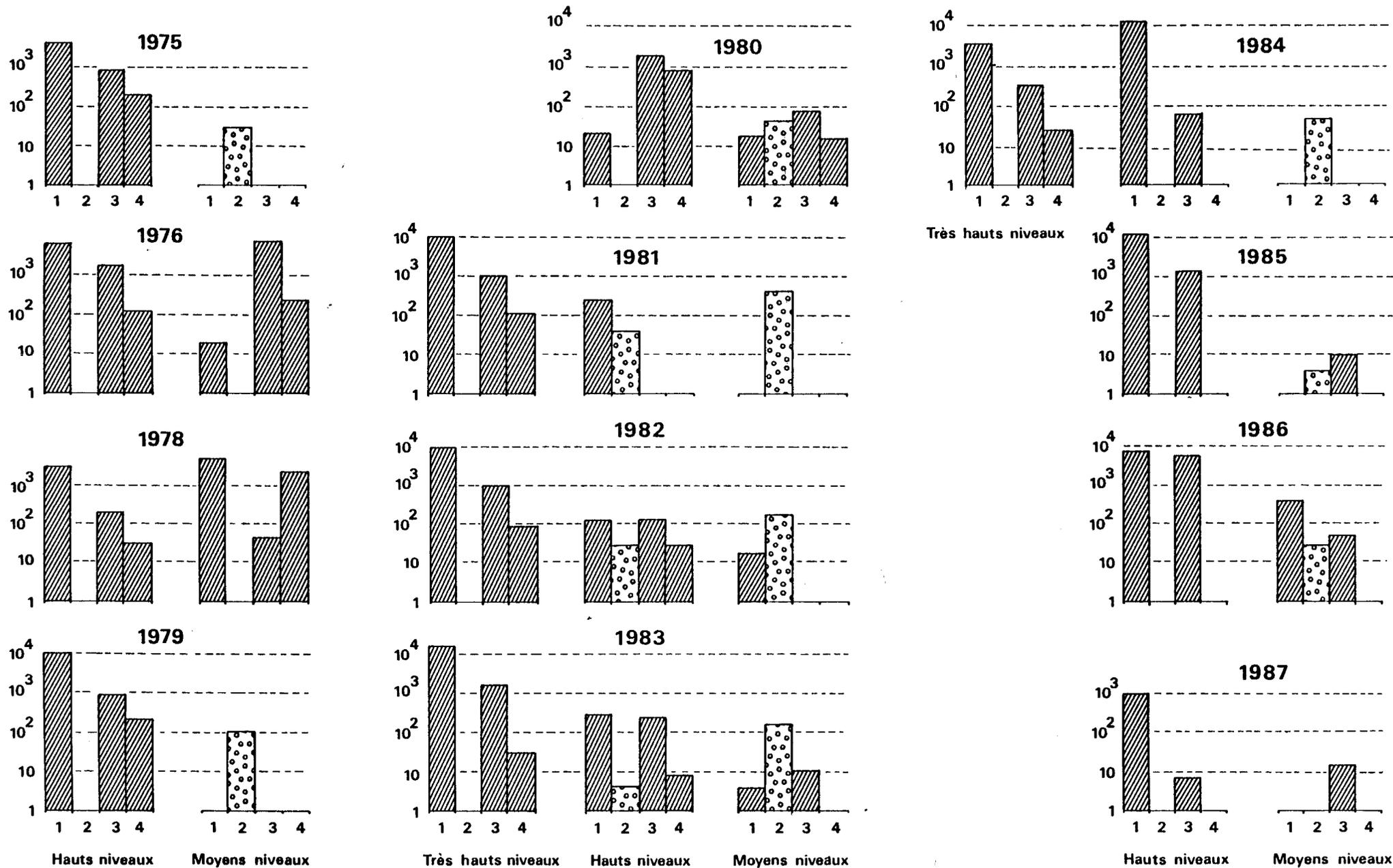
Cette partie de l'estran est celle qui a le plus évolué depuis le début des études. Le suivi des densités respectives de quatre espèces ayant joué un grand rôle dans cette évolution rend parfaitement compte de ces modifications.

La disparition de *Corophium volutator* est une fois de plus confirmée. Ceci est à relier avec la modification de la structure granulométrique du sédiment et à l'arrangement des particules fines au sein du sédiment. Les pélites sont intimement mêlées au sédiment et non déposées en surface.

Les populations de *Corophium arenarium* et d'*Hydrobia ulvae* sont également fragilisées. La population de coques semble avoir totalement disparu.

4.1.3. Cas de *Spio filicornis* et *Pygospio elegans*

Ces deux espèces ont des preferences thermiques différents. *Spio*



1: *Hydrobia ulvae* - 2: *Cardium edule* - 3: *Corophium arenarium* - 4: *Corophium volutator*

FIG. VII . 8 : EVOLUTIONS RESPECTIVES DES DENSITES DES ESPECES VASICOLES  ET NON VASICOLES 

filicornis est une espèce plus nordique et à période de reproduction plus précoce que *Pygospio elegans*.

Depuis 1983 on observe des changements dans l'évolution des aires d'implantations respectives des populations de ces deux espèces.

Densité/m ²	Station	1983	1984	1985	1986	1987	
<i>Spio filicornis</i>	E	8	48	12	60	0	Ouest
	F	112	80	1324	236	0	
	I	12	12	0	0	0	Est
	J	20	0	0	0	0	
<i>Pygospio elegans</i>	E	0	0	0	1460	20	Ouest
	F	0	0	0	636	40	
	I	0	664	1448	2004	1472	Est
	J	0	0	136	236	80	

On assiste cette année partiellement à la poursuite de ce qui s'est passé en 1986, c'est à dire la régression de la population de *Spio filicornis* et on peut estimer que cette espèce a totalement disparu de l'estran, un seul individu a été récolté à la station H. La population de *Pygospio* semble chuter à l'ouest de l'estran. Ceci ne peut être relié qu'avec les phénomènes décrits plus haut (pollution + froid) qui semblent avoir plus particulièrement touché sur l'estran de Petit-Fort-Philippe, les peuplements de la partie ouest. La population de *Pygospio* se maintient à un niveau équivalent à celui de 1985 à l'est de la zone d'étude. Ces deux espèces permettent de visualiser deux phénomènes : l'impact de la centrale et l'action de la pollution hivernale.

Il ne faut pas perdre de vue toutefois que les populations de *Pygospio elegans* n'atteignent pas les densités maximum rencontrées dans la région. Cette espèce connue pour ses tendances agrégatives peut vivre en population pouvant atteindre 100 000 individus/m² (GEMEL, 1986 ; DESPREZ et coll., 1986).

4.1.4. Evolution de la biomasse

Les modifications bionomiques et nous l'avons souvent montré lors des études antérieures provoquent des évolutions importantes de la

biomasse des peuplements qu'elles affectent.

Depuis 1974 la biomasse se révèle un excellent indicateur de ce qui se passe sur l'estran.

Année	1974- 1975	1976- 1977	1978- 1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Station											
E'	-	-	-	-	8,444	6,176	12,008	4,463	-	-	-
E	2,988	6,361	4,386	2,278	0,814	2,215	1,812	7,164	9,010	13,402	1,519
F	1,650	3,367	11,161	6,994	10,294	9,370	52,984	6,281	5,790	6,670	2,119
G	1,040	0,876	1,142	0,688	1,781	0,754	0,971	0,508	1,506	1,256	0,827
H	0,370	0,285	0,160	0,283	0,374	3,221	0,859	0,274	0,180	0,237	0,158
I	0,934	-	2,080	2,420	6,286	5,916	2,534	2,953	2,076	2,068	2,443
J	0,662	-	1,804	0,216	0,421	0,548	0,120	0,577	0,240	0,403	1,493
K	0,662	-	1,510	2,803	0,398	0,529	1,596	0,919	0,463	0,734	0,819
L	0,291	-	0,117	0,206	0,580	1,030	11,888	0,260	0,446	0,426	0,610
Moyenne estran	1,134	-	2,795	1,986	3,266	3,307	9,419	2,367	2,464	3,150	1,249

Cette année le fait marquant c'est la chute considérable de la biomasse à l'ouest de l'estran donc à proximité de l'Aa, alors qu'à l'est la biomasse se maintient au niveau des résultats antérieurs. Cette chute est de 89% par exemple à la station E et de 80% sur l'ensemble de la radiale. Sur l'ensemble de l'estran la chute représente 60% de la biomasse totale. La pollution a donc provoqué une chute considérable de la biomasse dans la partie ouest de l'estran.

4.1.5. Cas de *Temora longicornis*

Un phénomène curieux dont il est difficile de savoir s'il est à considérer comme simplement anecdotique s'est produit cette année. Des individus de *Temora longicornis* ont été récoltés dans ou sur le sédiment aux stations H, J, K et L. A la station K on peut même estimer à plus de 10 000 le nombre d'individus récoltés. A cette même station si *Temora* représentait une importante majorité d'individus récoltés d'autres espèces étaient néanmoins présentes : *Centropages hamatus*, *Pseudocalanus elongatus*, *Cycloprina littoralis* et des larves de *Polydora ciliata*, *Balanus crenatus* et *Lanice conchilega**

* Je remercie J.M. BRYLINSKI qui a bien voulu déterminer ces espèces.

Etant donnée la taille du tamis utilisé on peut supposer que les densités réelles de *Temora* déposées sur l'estran étaient beaucoup plus importantes. Il est impossible d'attribuer ces animaux à un tamisage dans une bêche dont l'eau aurait contenu une quantité très importante de ces espèces (ce qui, en soi, aurait été déjà un phénomène curieux) dans la mesure où les deux stations inférieures (K et L) ont été tamisées à la mer et les deux stations supérieures (I et J) dans la bêche située le plus haut sur l'estran.

Les individus récoltés étaient en bon état physique extérieur : les antennes n'étaient pas brisées mais il est impossible de dire si les animaux étaient vivants au moment de leur récolte.

5. Conclusion

L'étude 1987 met en évidence une fragilisation des populations animales de l'estran. Les peuplements vivent sur un sédiment rendu instable dans le temps surtout au niveau des teneurs en pélites qui oscillent pour certaines espèces autour d'un maximum de tolérance.

Le facteur courantologique et notamment celui généré par la circulation de l'eau de refroidissement régit l'organisation bionomique de l'estran tout au moins dans sa partie supérieure. Toutefois tel ou tel facteur :

- envasement par augmentation des apports de l'Aa
- dessalure
- qualité de l'eau (pollution)
- effet thermique (chaleur due à la centrale et froid hivernal) à caractère permanent ou temporaire peut faire basculer les caractéristiques bionomiques des peuplements d'espèces vasicoles et d'eau saumâtre dans un sens "vasicole" ou dans un sens "estuarien" (eau saumâtre) sans pour cela détruire l'identité du peuplement. Ceci explique les oscillations mises en évidence dans les variations de densités de certaines espèces.

La récolte de *Temora longicornis* est difficilement explicable et ne peut être imputée à la centrale.

BIBLIOGRAPHIE

- CANUT, 1982 - Essai d'aquaculture de coques. Rapport de fin d'études, I.U.T. Tours, Hygiène de l'Environnement, 52 p.
- DESPREZ M., DUCROTOY J.P. et M. LEMOINE, 1986 - L'exploitation des ressources naturelles de l'estuaire de la Somme. Bilan du recrutement estival 1985 de coques *Cerastoderma edule* et impact sur le stock. Rapport IFREMER - Conseil Régional de Picardie, 50 p.
- DEWARUMEZ J.M. et A. GREGOIRE, 1973 - Etude des peuplements intertidaux. In "Etude écologique du site de Gravelines. Rapport préliminaire. Inst. Biol. Mar. et Région. de Wimereux, 30-52.
- DEWARUMEZ J.M., 1980 à 1987 - Le domaine benthique intertidal. In "Etude écologique du site de Gravelines" Surveillance 1 à 7. IFREMER/SMW pour E.D.F.
- DEWARUMEZ J.M., 1982b - Exemple d'impact sur le milieu intertidal de la Mer du Nord : le complexe "Avant-port ouest de Dunkerque-Centrale Nucléaire de Gravelines". Poster présenté au 17e EMBS, Brest.
- DEWARUMEZ J.M., 1983b - Evolution de populations de mollusques intertidaux en relation avec des modifications sédimentologiques sur le littoral de la Mer du Nord. Haliotis, 13, 3-12.
- G.E.M.E.L., 1986 - Etude comparative de trois estuaires de la Manche : Baie de Veys, Estuaire de la Seine, Baie de Somme. In La Baie de Seine (GRECO-MANCHE) - IFREMER, Actes de Colloques, n° 4 : 521-522.
- GREGOIRE A., 1976 - Etude de la macrofaune intertidale de la région de Gravelines (Nord). DEA Univ. Sci. et Techn. de Lille, 111 p.
- SALVAT B., 1967 - La macrofaune carcinologique endogée des sédiments meubles intertidaux (Tanaidacés, Isopodes et Amphipodes). Ethologie, Bionomie et cycle biologique. Thèse doctorat d'état. Paris, 275 p.

SOUPLET A., 1978 - Le domaine benthique. In "Etude écologique du site de Gravelines". Projet II (1976-1977), CNEXO/IBMRW pour EDF.

TABLEAU VII.1 : GRAVELINES ESTRAN RADIALE I - RESULTATS BRUTS
(NOMBRE D'INDIVIDUS ET BIOMASSE PAR 1/4 M²)

	E		F		G		H	
	Ind.	Biom. mg	Ind.	Biom. mg	Ind.	Biom. mg	Ind.	Biom. mg
Nemertes					1	3,4		
Enoplus brevis			610	6,1				
Chaetognathes								
Enchytraeidae			613	8,9				
Harmothoe lunulata								
Eteone longa			1	0,1	1	0,1		
Nereis diversicolor			4	4,4				
Nephtys cirrosa					4	120,8		
Spio filicornis							3	0,1
Pygospio elegans	5	0,1	10	0,4				
Polydora sp (1)								
Nerine cirratulus	1	0,7	12	35,1	24	27,7	3	5,0
Ophelia rathkei			25	3,0				
Lanice conchilega (1)								
Hydrobia ulvae	238	185,2						
Macoma balthica	1	1,2	10	46,7				
Mysella bidentata			90	0,1				
Temora longicornis (2)							2	
Diastylis bradyi							1	0,3
Cumopsis goodsiri								
Paragnathia formica								
Eurydice affinis	320	140,7	50	7,1				
Eurydice pulchra	9	6,2	2	0,6	1	0,3		
Corophium arenarium	19	20,8	4	2,4				
Atylus swammerdami							1	0,2
Stenula rubrovittata							1	0,4
Urothoe brevicornis								
Bathyporeia pelagica								
Bathyporeia pilosa	42	18,4	31	12,6				
Bathyporeia sarsi					11	5,5		
Haustorius arenarius					10	49,0		
Crangon crangon							1	11,8
Pagurus bernhardus								
Portumnus latipes							1	21,8
Diptères	2	6,4	1	0,2				
Total (sauf Temora)	637	379,7	1463	529,7	52	206,8	11	39,6
Diversité	1,637	1,719	1,913	1,036	2,060	1,589	2,845	1,552
Régularité	0,52	0,54	0,50	0,27	0,73	0,57	0,95	0,55

(1) : post larves

(2) : estimation

TABLEAU VII.2 : GRAVELINES ESTRAN RADIALE II - RESULTATS BRUTS
(NOMBRE D'INDIVIDUS ET BIOMASSE PAR 1/4 M²)

	I		J		K		L	
	Ind.	Biom. mg	Ind.	Biom. mg	Ind.	Biom. mg	Ind.	Biom. mg
Nemertes					2	8,3		
Enoplus brevis							3	0,1
Chaetognathes								
Enchytraeidae	10	0,2						
Harmothoe lunulata					1	0,1	2	0,2
Eteone longa					1	0,1		
Nereis diversicolor	2	5,8						
Nephtys cirrosa					3	77,4	3	34,9
Spio filicornis								
Pygospio elegans	368	39,0	20	0,8				
Polydora sp (1)							3	0,1
Nerine cirratulus			42	86,7	65	100,1	2	1,8
Ophelia rathkei								
Lanice conchilega (1)							3	0,1
Hydrobia ulvae	200	106,0						
Macoma balthica								
Mysella bidentata								
Temora longicornis (2)			50	-	10000	-	300	-
Diastylis bradyi					1	0,2		
Cumopsis goodsiri							1	0,2
Paragnathia formica	1	0,1						
Eurydice affinis	17	4,3	113	107,5			1	0,2
Eurydice pulchra			120	136,8	1	0,3	2	0,6
Corophium arenarium	628	450,7						
Atylus swammerdami							2	0,2
Stenula cubrovittata	1	0,1						
Urothoe brevicornis								
Bathyporeia pelagica					3	0,9		
Bathyporeia pilosa	2	0,5	69	39,9	1	0,2		
Bathyporeia sarsi								
Haustorius arenarius								
Crangon crangon			2	2,3	2	0,9	2	8,1
Pagurus bernhardus							1	106,0
Portumnus latipes					1	16,3		
Diptères	4	4,0						
Total (sauf Temora)	1233	610,7	366	374,0	81	204,8	25	152,5
Diversité	1,657	1,193	2,133	1,945	1,340	1,626	3,483	1,255
Régularité	0,50	0,36	0,83	0,75	0,39	0,47	0,97	0,35

(1) : post larves

(2) : estimation

TABLEAU VII.3 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU SEDIMENT AUX
HUIT STATIONS INTERTIDALES (% PONDERAUX)

	E	F	G	H	I	J	K	L
Graviers grossiers	0,19	4,21	0,10	0	0,11	0,44	0,09	0,02
Graviers fins	0,82	8,27	0,88	0,17	0,22	0,24	0,13	0,14
Sables grossiers	3,76	17,28	12,93	2,68	4,35	2,84	2,99	1,98
Sables moyens	68,93	40,10	67,53	72,59	60,16	80,35	75,48	73,05
Sables fins	25,08	29,47	18,55	24,54	33,98	16,10	21,29	24,75
Pélites	1,22	0,67	0,01	0,02	1,18	0,03	0,02	0,06
Poids total échantillon (g)	274,69	330,79	336,33	308,82	458,86	337,54	416,71	376,05

CHAPITRE VIII

BENTHOS SUBTIDAL

Jean-Luc BOURGAIN

VIII - BENTHOS SUBTIDAL

INTRODUCTION

Le milieu benthique subtidal du site de Gravelines est constitué de trois peuplements :

- le peuplement de l'hétérogène envasé.
- le peuplement à *Abra alba*.
- le peuplement à *Ophebia borealis*.

Ces trois peuplements ont fait l'objet de nombreuses études (DEWARUMEZ et GREGOIRE, 1973 ; CABIOCH et GLACON, 1975 ; DEWARUMEZ, 1976a et b ; SOUPLET et al., 1980 ; SOUPLET et DEWARUMEZ, 1980).

En ces trois peuplements, quatre stations sont étudiées régulièrement depuis 1976 (SOUPLET, 1978 ; DEWARUMEZ, 1979 à 1986 ; BOURGAIN, 1987) ce, afin d'observer les évolutions naturelles des peuplements et d'évaluer l'impact sur le benthos, de la circulation d'eau de la centrale.

- La station A est située au sein du peuplement de l'hétérogène envasé, peuplement qui montre une grande stabilité bionomique. Très diversifié, ce peuplement présente une biomasse moyenne de 28 grammes par m².

- La station B située à l'embouchure de l'Aa est typique du peuplement à *Abra alba*. Ce peuplement très stable est fortement productif. La biomasse varie de 10 à 50 g/m². Ces variations sont dues à des recrutements très importants d'espèces caractéristiques du peuplement telles que *Abra alba*, *Lanice conchilega* ou *Peccinaria koreni*.

- La station C faisait à l'origine partie du peuplement à *Abra alba*. Située en face du canal de rejet, elle s'est appauvrie, subissant l'impact de la circulation d'eau de la centrale. L'appauvrissement se traduit par une disparition des espèces préférant les milieux envasés et l'apparition d'espèces sabulicoles (DEWARUMEZ, 1979 à 1986 ; BOURGAIN, 1987).

- La station D est située au large, dans le peuplement à *Ophebia borealis*. Ce peuplement caractérisé par des espèces vivant dans un sédiment sableux a subi depuis deux ans une altération probablement due aux rejets de vases portuaires de l'avant-port ouest de Dunkerque. Cette altération s'est traduite en 1985 par un léger envasement et un

recrutement important de *Magelona papiliicornis* ; en 1986, si il n'y avait pas envasement, *Magelona papiliicornis* était toujours très présente (58,4 % du nombre total d'individus). *Magelona papiliicornis* est connue comme espèce indicatrice de l'apport de fer (BOILLY et RICHARD, 1978) ; les vases portuaires étant riches en métaux, la pollution due aux rejets de dragage est fortement probable.

METHODOLOGIE

La campagne de prélèvement a été effectuée le 3 juillet 1987 à bord du SEPIA II, navire océanographique de la Station Marine de Wimereux. La méthodologie reste telle qu'elle est présentée dans l'annexe technique (DEWARUMEZ, 1985).

RESULTATS DE L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE

L'ensemble des résultats de cette analyse est présenté sur le tableau VIII.1 et la figure VIII.1.

L'analyse granulométrique des sédiments de chacune des quatre stations échantillonnées ne montre pas d'importantes variations dans les fractions granulométriques par rapport à l'année précédente.

Cependant, dans la fraction péltique, on note de légères fluctuations par rapport à 1986. Ainsi, à la station A, l'envasement est plus faible cette année (0,96 % de l'échantillon total contre 2,59 % en 1986).

A la station B par contre, l'envasement est plus important cette année.

A la station C, alors que généralement le sédiment est un sable fin à moyen, cette année il faut noter un envasement qui, s'il est très faible (0,55 % de l'échantillon total), peut cependant avoir un impact sur les communautés benthiques.

A la station D, il y a tout, comme en 1985, envasement du sédiment composé à plus de 90% par un sable moyen.

L'analyse granulométrique montre donc un désenvasement du peuplement de l'hétérogène envasé, un envasement semble-t-il naturel du peuplement à *Abra alba* et un envasement du peuplement à *Ophelia borealis* probablement dû en partie aux rejets de dragage tout au moins dans le secteur de prélèvement.

TABLEAU VIII.1 : CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES DU SEDIMENT
 AUX QUATRE STATIONS SUBTIDALES
 (% PONDERAL DE L'ECHANTILLON TOTAL)

	STATION A	STATION B	STATION C	STATION D
Pélites	0,96	2,21	0,55	0,16
Sables fins	5,49	46,72	27,44	5,85
Sables moyens	39,31	30,03	71,35	93,70
Sables grossiers	11,29	0,88	0,22	0,24
Graviers fins	15,02	0,16	0,24	0,05
Graviers grossiers	27,93	0	0	0

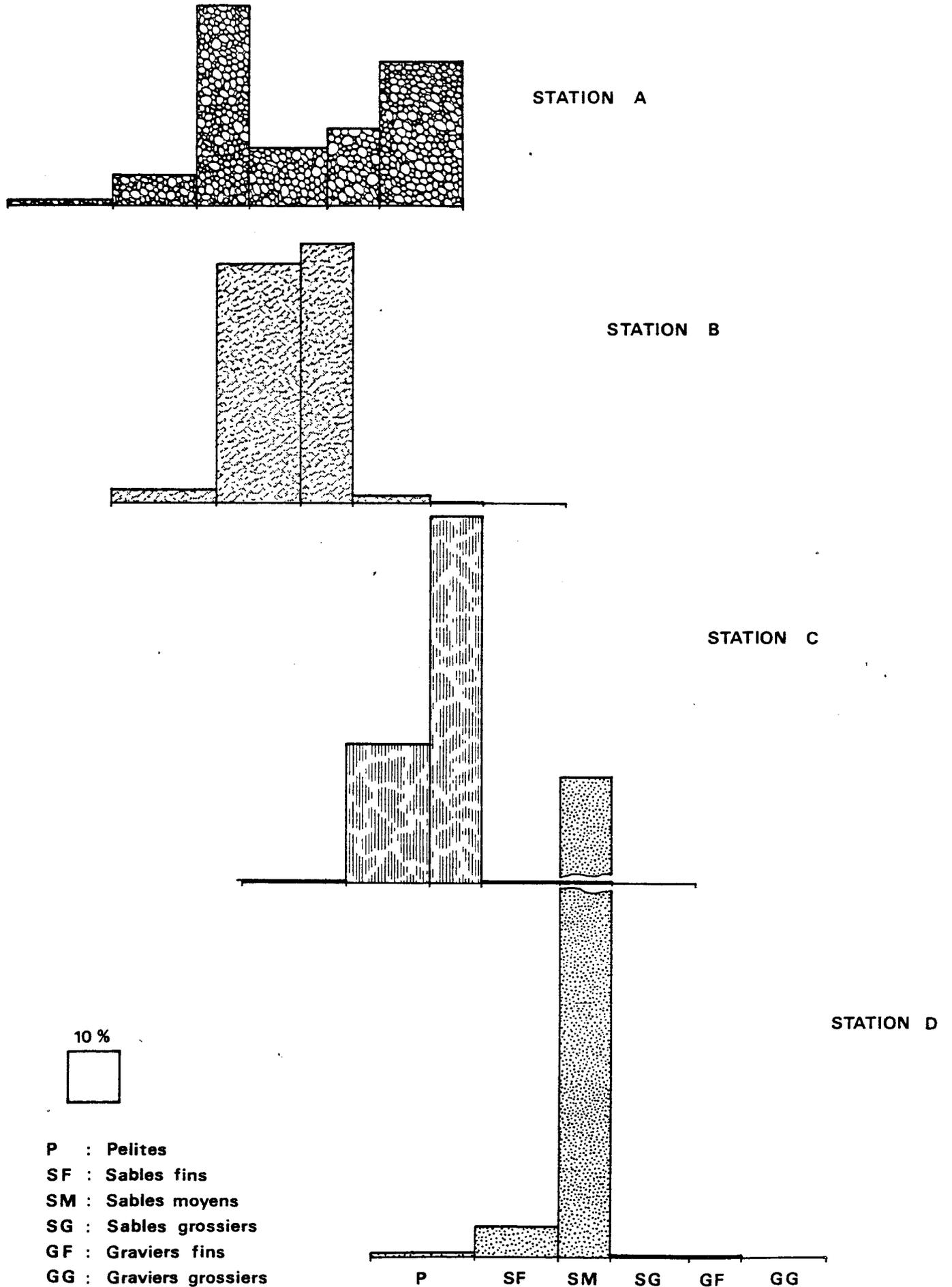


FIG. VIII .1 : CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES DU SEDIMENT
 AUX QUATRE STATIONS

TABLEAU VIII.2 : RESULTATS BRUTS - NOMBRE D'INDIVIDUS PAR M²

ESPECES	STATION A	STATION B	STATION C	STATION D
<i>Cerianthus lloydi</i>	17			
<i>Edwardsia</i> sp.	14			
<i>Sagartia troglodytes</i>	10	3	2	
Nematode sp.		1		2
<i>Nemertes</i> sp.	2		1	2
<i>Scoloplos armiger</i>	1	23	7	31
<i>Nerine cirratulus</i>			9	376
<i>Spio filicornis</i>	84	4	70	
<i>Spiophanes bombyx</i>	6107	6250	941	2575
<i>Aonides oxycephala</i>	73			
<i>Polydora pulchra</i>			3	
<i>Megalora papillicornis</i>		87	306	695
<i>Cirratulus cirratus</i>	6			
<i>Chaetozone setosa</i>	4	2		29
<i>Notomastus latericeus</i>	26			
<i>Capitella capitata</i>		12	338	
<i>Micronaldane ornithochaeta</i>	54			
<i>Ophelia borealis</i>	75			
<i>Anatides mucosa</i>	9	738	5	27
<i>Anatides groenlandica</i>	5			1
<i>Eulalia viridis</i>	13			
<i>Eumida sanguinea</i>	2	35		
<i>Eteone longa</i>	5	8	3	
<i>Levinseni squamatus</i>	1			
<i>Gattyana cirrosa</i>	20		2	
<i>Harmothoe impar</i>		1		
<i>Harmothoe lunulata</i>	3	1		
<i>Lagisca extenuata</i>	1			1
<i>Sigalion malthildae</i>		1		
<i>Pholoe minuta</i>	92	21	1	
<i>Syllis gracilis</i>	2		3	
<i>Eunereis longissima</i>		4	1	
<i>Glycinde nordmanni</i>	1			
<i>Nephtys longosetosa</i>				9
<i>Nephtys caeca</i>			1	1
<i>Nephtys cirrosa</i>	4			15
<i>Nephtys hombergii</i>	4	138	5	1
<i>Nephtys</i> sp. (juv.)	12		1	93
<i>Owenia fusiformis</i>	1	14		
<i>Pectinaria koreni</i>	192	255	1313	
<i>Panice conchilega</i>	890	5200	969	1
<i>Pomatoceros triqueter</i>	1			
<i>Golfingia elongata</i>	2			
<i>Natica alderi</i>	9			
<i>Doris</i> sp.	2			
<i>Arca lactea</i>	1			
<i>Glycymeris glycymeris</i>	2			
<i>Montacuta ferruginosa</i>				2
<i>Mysella bidentata</i>	88	89	6	8
<i>Spisula elliptica</i>	40			
<i>Macoma balthica</i>		3528	166	3
<i>Tellina fabula</i>		313	38	10
<i>Abra alba</i>		15		1
<i>Ensis arcuatus</i>	2	15	11	
<i>Mya truncata</i>	761	82		
Cephalopode (<i>Sepia</i> juv.)				2
<i>Aleyonidium gelatinosum</i>	19			
<i>Balanus crenatus</i>	PRESENT			
<i>Orchomene nana</i>	12			
<i>Ampelisca brevicornis</i>	15			
<i>Amphiochus manudeus</i>	3			
<i>Stenothoe marina</i>	11			
<i>Melita obtusata</i>	24			
<i>Bathyporeia elegans</i>			1	24
<i>Bathyporeia guilliamsoniana</i>	2			15
<i>Bathyporeia pilosa</i>				3
<i>Urothoe brevicornis</i>				1
<i>Urothoe elegans</i>	2		5	
<i>Urothoe poseidonis</i>		42	155	21
<i>Megaloropus agilis</i>				42
<i>Ampelisca bispinosa</i>	1			2
<i>Atylus swammerdami</i>	12	28	372	3
<i>Gammaropsis maculata</i>	5			
<i>Macropropodus maculatus</i>	8	29	10	
<i>Photis langicaudata</i>	24			
<i>Corophium sextonae</i>	7		1	1
<i>Massa tannorata</i>				
<i>Caprella linearis</i>		2	2	
<i>Corbua linearis</i>			1	
<i>Parasinelobus chevreuxi</i>			33	
<i>Vanthamsonia cristata</i>	9			
<i>Pseudocuma longicornis</i>	5		34	72
<i>Diastylis rathkei</i>		9	341	9
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	1			
<i>Schistomysis spiritus</i>	1			
<i>Pandalina brevisrostris</i>	1			
<i>Crangon crangon</i>		3	7	1
<i>Pagurus bernhardus</i>	14			1
<i>Liocarcinus pusillus</i>	1			
<i>Liocarcinus holsatus</i>	1	7		
<i>Asterias rubens</i>	7	2	1	
<i>Acrocnida brachiata</i>	2			
<i>Ophira</i> sp. (juv.)	38	1	5	2
<i>Echinocypris pusillus</i>	5			
<i>Echinocardium cordatum</i>	2		120	41
<i>Molgula citrina</i>	9			
<i>Callionymus lyra</i>	1			1
Nombre total d'espèces	71	35	39	39
Nombre total d'individus	8880	17163	5294	4228

TABLEAU VIII.3 : RESULTATS BRUTS - BIOMASSE EN G PAR M²

ESPECES	STATION A	STATION B	STATION C	STATION D
Cerianthus lloydi	0.64117			
Edwardsia sp.	0.01479			
Sagartia troglodytes	0.59478	0.20046	0.02579	
Nematode sp.		0.01031		0.00815
Nemertes sp.	0.00300		0.03164	0.02400
Scoloplos armiger	0.00645	0.02251	0.00268	0.02839
Nerine cirratulus			0.00084	0.27841
Spio filicornis	0.04962	0.00075	0.00116	
Spiophanes bombyx	4.53235	3.78787	0.59850	1.64000
Aouides oxycephala	0.04051			
Polydora pulchra			0.00028	
Nagelona papiliicornis		0.07081	0.18365	0.86438
Cirratulus cirratus	0.00646			
Chaetozone setosa	0.00553	0.00348		0.03768
Notomastus latericeus	0.17341			
Capitella capitata		0.00304	0.01928	
Micromaldane ornithochaeta	0.06438			
Ophele borealis	0.05325			
Anaitides mucosa	0.03325	0.21741	0.00100	0.01253
Anaitides groenlandica	0.03663			0.03358
Eulalia viridis	0.00621			
Emida sanguinea	0.00389	0.02245		
Eteone longa	0.00329	0.00171	0.00045	
Lepidonotus squamatus	0.00062			
Gattyana cirrosa	0.03300		0.00162	
Harmothoe impar		0.00053		
Harmothoe lunulata	0.00098	0.00032		
Lagisca extenuata	0.00068			0.00979
Sigalion malthidae		0.01969		
Pholoe minuta	0.03169	0.00302	0.00065	
Syllis gracilis	0.00088		0.00156	
Ennereis longissima		0.40228	0.00010	
Glycinde nordmanni	0.00700			
Nephtys longosetosa				0.07738
Nephtys caeca			0.0003	0.00782
Nephtys cirrosa	0.00192			0.15129
Nephtys hombergii	0.00319	1.08262	0.59868	0.02194
Nephtys sp. (juv.)	0.00212		0.00010	0.02400
Owenia fusiformis	0.00051	0.22668		
Pectinaria koreni	0.27300	0.32579	0.41740	
Lanice conchilega	3.42385	13.40307	0.33708	0.00012
Pomatoceros triqueter	0.00129			
Golfingia elongata	0.09229			
Natica alderi	0.11121			
Doris sp.	0.00238			
Arca lactea	0.00040			
Glycymeris glycymeris	0.00015			
Montacuta ferruginosa				0.00033
Nysella bidentata	0.00677	0.07245	0.00034	0.00213
Spisula elliptica	0.50646			
Macoma balthica		0.36691	0.40523	0.00010
Tellina fabula		9.72355	0.06015	0.01272
Abra alba		0.72513		0.00078
Ensis arcuatus	0.00178	0.01293	0.01453	
Mya truncata	0.22728	0.05283		
Cephalopode (Sepia juv.)				0.00152
Alcyonidium gelatinosum	0.09333			
Balanus crenatus	0.64771			
Orchomene nana	0.00094			
Ampelisca brevicornis	0.00038			
Amphilocheus manudaeus	0.00040			
Stenothoe marina	0.00090			
Melita obtusata	0.00274			
Bathyporeia elegans			0.00019	0.00375
Bathyporeia guilliamsoniana	0.00035			0.00220
Bathyporeia pilosa				0.00018
Urothoe brevicornis				0.00012
Urothoe elegans	0.00041		0.00084	
Urothoe poseidonis		0.02115	0.05622	0.00217
Megaloropus agilis				0.00369
Amphurus hispidus	0.00010			0.00056
Atylus swammerdami	0.00140	0.00351	0.06823	0.00010
Gammaropsis maculata	0.00033			
Macroprotopus maculatus	0.00126	0.00212	0.00120	
Photis langicaudata	0.00225			
Corophium sextonae	0.0033		0.00010	
Jassa marmorata				0.00010
Cappella linearis		0.00035	0.00017	
Idothea linearis			0.01595	
Parasinelobus chevreuxi			0.00176	
Anthroposia cristata	0.00379			
Pseudocuma longicornis	0.00050		0.00154	0.00487
Diatylis rathkei		0.00964	0.48142	0.00806
Gastrosaccus spinifer	0.00044			
Schistomysis spiritus	0.00025			
Pandalina brevirostris	0.00142			
Orangon orangon		0.00129	0.00972	0.00065
Pagurus bernhardus	1.19289			0.00010
Liocarcinus pusillus	0.00099			
Liocarcinus holzatus	1.02717	0.03117		
Asterias rubens	0.00653	0.00079	0.00065	
Acronida brachiata	0.00010			
Ophiura sp. (juv.)	0.00428	0.00005	0.00005	0.00010
Echinocyamus pusillus	0.00693			
Echinocardium cordatum	0.00040		0.04543	1.05090
Valgula citrina	0.13309			
Callinectes lyra	0.00200			0.00071
TOTAL	14.06779	30.82864	3.60357	4.36733

RESULTAT DE L'ANALYSE BIONOMIQUE

Les tableaux VIII.2 et VIII.3 ainsi que les figures VIII.2 et VIII.3 présentent les résultats de l'analyse bionomique.

96 espèces ont été recensées, ce sont :

- 3 Cnidaires
- 1 Nématode (sp.)
- 1 Nemerte (sp.)
- 36 Annélides polychètes
- 1 Siponcle
- 13 Mollusques
- 1 Bryozoaire
- 33 Crustacés
- 5 Echinodermes
- 1 Tunicier
- 1 Poisson.

STATION A (Tableau VIII.4)

Le peuplement de l'hétérogène envasé est très diversifié : 71 espèces ont été récoltées à la station A pour un total de 8880 individus.

L'espèce la plus abondante est *Spiophanes bombyx* qui a fortement recruté cette année (6107 individus/m²). D'autres espèces sont également très abondantes. Ce sont *Lanice conchilega*, *Mya truncata* et *Pectinaria koreni*. Ce sont, pour la plupart, de jeunes individus comme en témoignent les biomasses.

Les espèces typiques du peuplement, *Sagartia troglodytes*, *Stenelais bca* et *Abra ziba*, espèces typiques de sédiments envasés sont peu représentées pour la première et absentes pour les deux autres, phénomène déjà amorcé en 1986. Par contre, *Mephys cirrosa* est présente comme l'année précédente et l'on observe l'apparition de *Ophelia borealis* (75 ind./m²).

L'apparition d'espèces sabulicoles et la disparition d'espèces à tendances vasicoles est à mettre en relation avec la baisse du taux de pélites.

Malgré ce phénomène, la station A reste d'une grande stabilité bionomique.

La biomasse est de 14.1 g/m². De par l'abondance de *Spiophanes*

TABLEAU VIII.4 : ABONDANCE DES ESPECES PRINCIPALES DE LA STATION A

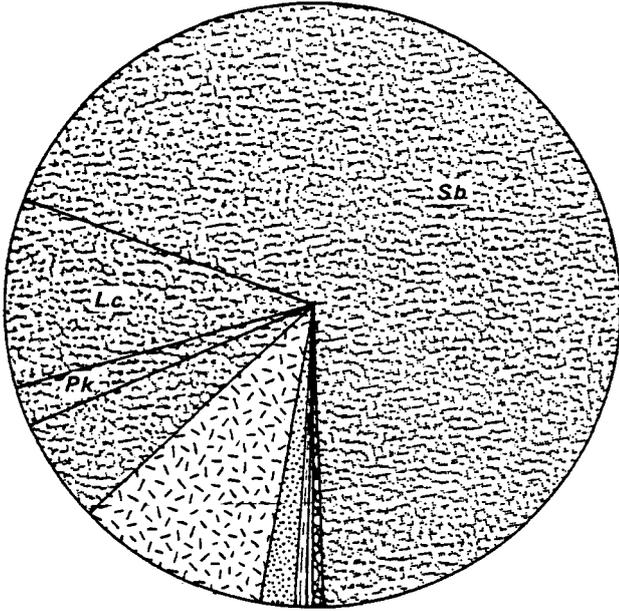
D = Densité, m ² B = Biomasse g/m ²		1982		1983		1984		1985		1986		1987	
		Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%
Sagartia troglodytes	D	12,1	41,3	196	22,8	88	18,0	291	27,5	174	29,4	10	0,11
	B	8,4	48,4	18,1	47,1	6,3	70,5	4,0	18,5	15,4	64,9	0,59	4,2
Cerianthus lloydii	D	14	4,8	10	1,2	1	0,2	4	0,4	99	16,7	17	0,19
	B	0,5	0,6	0,6	1,7	0,03	0,4	0,1	0,5	1,3	5,6	0,64	4,55
Stenelais boa	D	20	6,8	44	5,1	7	1,4	98	9,3	15	2,5	0	0
	B	0,5	3,0	2,8	7,2	0,2	1,8	3,1	14,2	0,4	1,8	0	0
Spiophanes bombyx	D	27	9,2	6	1,4	96	19,7	54	5,1	14	2,3	6107	68,77
	B	0,06	≃	0,003	≃	0,03	0,4	0,01	0,1	0,02	0,1	4,53	32,2
Lagis koreni	D	2	0,7	18	2,1	1	0,2	8	0,8	0	0	192	2,16
	B	0,1	0,6	0,6	0,2	0,04	0,5	0,4	2,0	0	0	0,27	1,9
Sabella pavonina	D	0	0	0	0	0	0	172	16,3	7	1,1	0	0
	B	0	0	0	0	0	0	3,9	17,8	0,07	0,3	0	0
Alva alba	D	0	2,7	28	3,3	11	2,9	90	8,5	1	0,1	0	0
	B	0,1	0,7	0,9	0,2	0,3	3,0	2,4	11,0	0,003	0,01	0	0

LEGENDES DES FIGURES VIII 2 ET VIII 3

Cnidaires	
Annélides	
Mollusques	
Crustacés	
Echinodermes	
Divers	

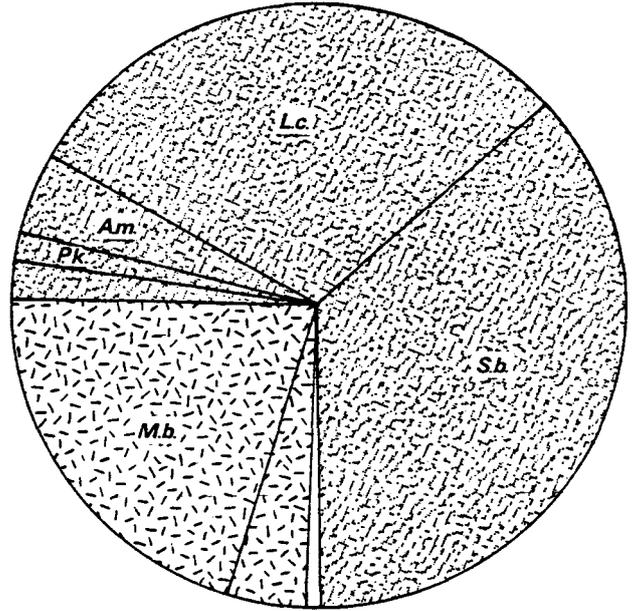
A.m : Anaitides mucosa	M.p : Magelona papillicornis
A.s : Atylus swammerdami	N.b : Nerine bonnieri
C.l : Cerianthus lloydi	N.h : Nephtys hombergii
D.r : Diastylis rathkei	P.k : Pectinaria koreni
E.c : Echinocardium cordatum	S.b : Spiophanes bombyx
L.c : Lanice conchilega	S.t : Sagartia troglodytes
M.b : Macoma balthica	T.f : Tellina fabula

STATION A



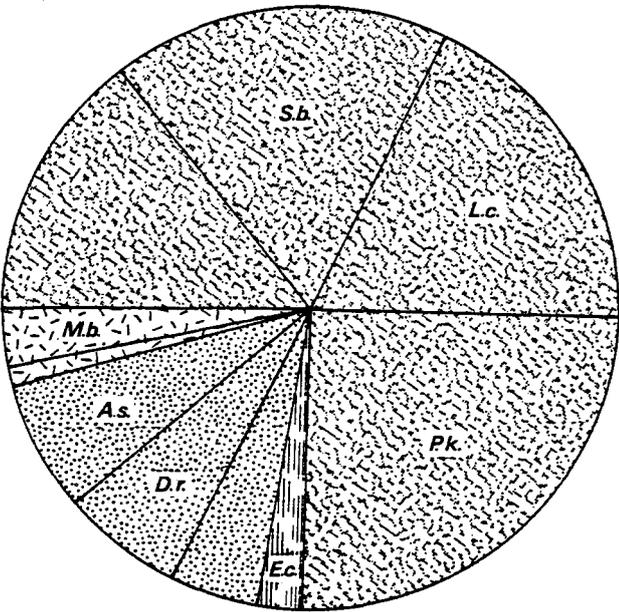
N = 8 880

STATION B



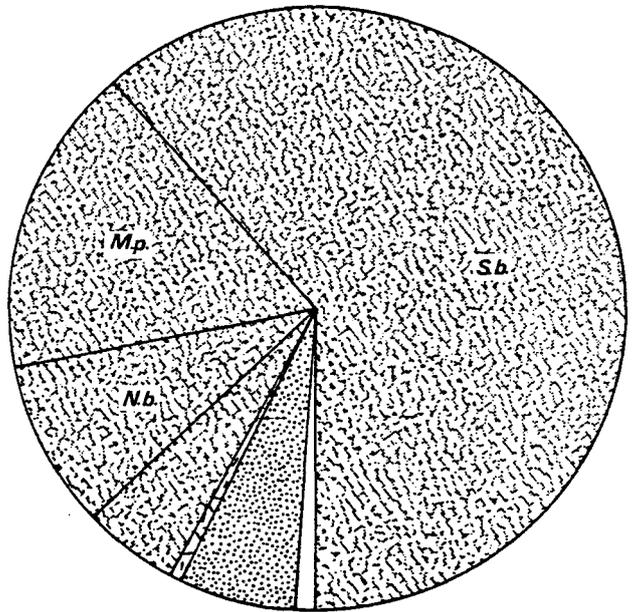
N = 17 163

STATION C



N = 5 294

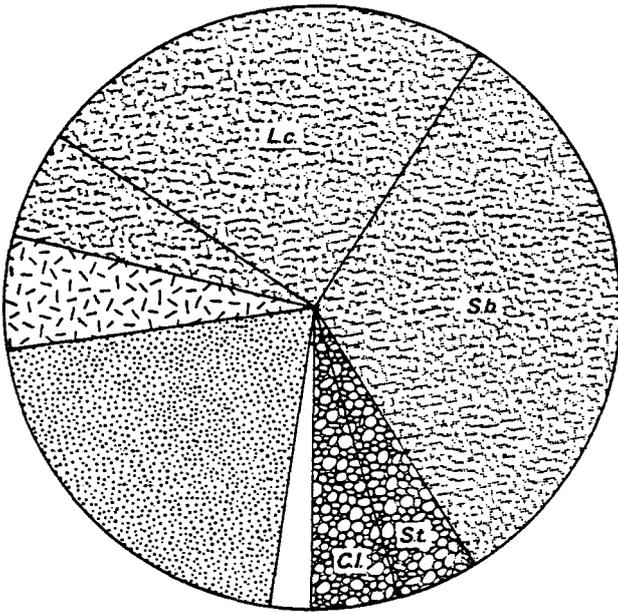
STATION D



N = 4 228

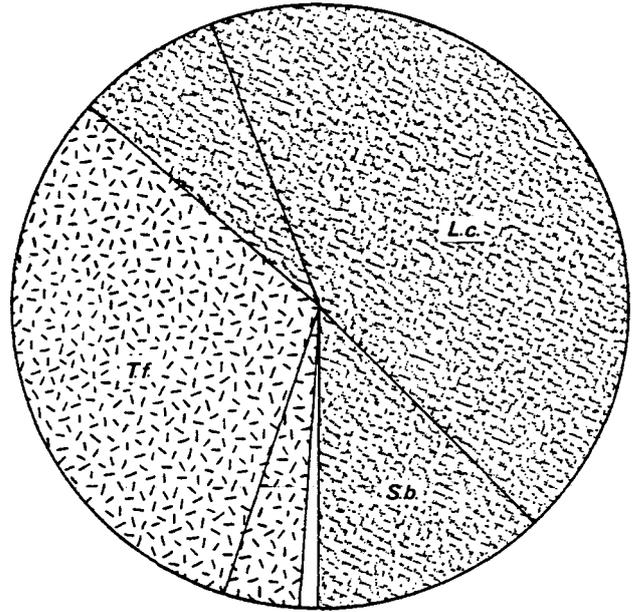
FIG. VIII . 2 : ABONDANCE RELATIVE DES DIFFERENTS GROUPES ZOOLOGIQUES (Nombre d'individus)

STATION A



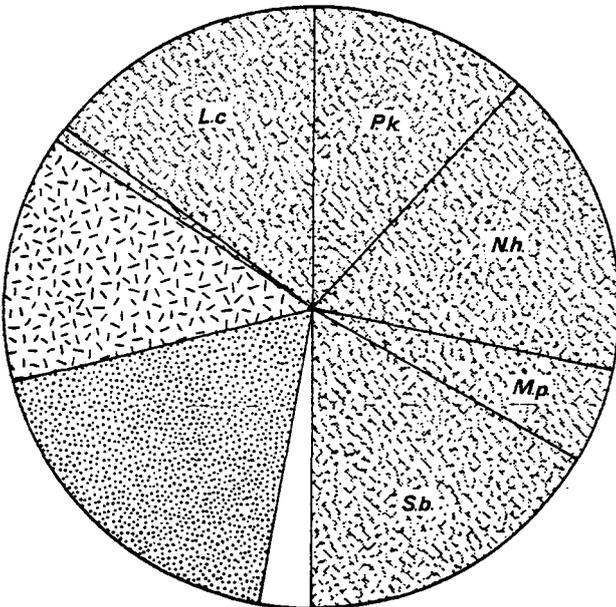
$B = 14,1 \text{ g/m}^2$

STATION B



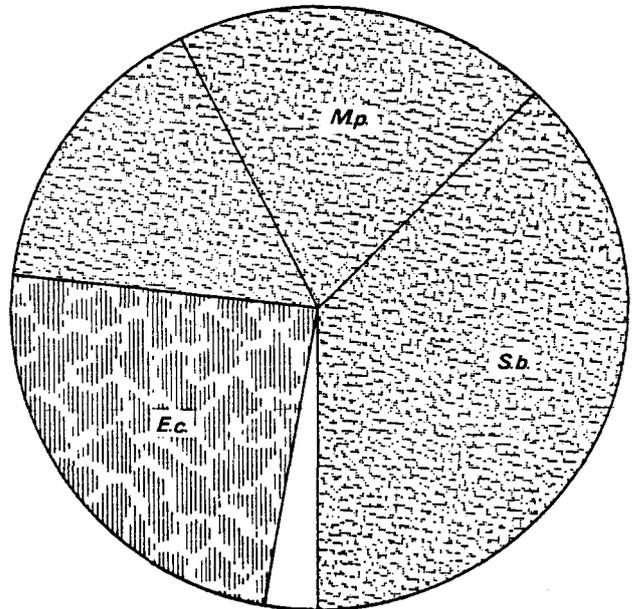
$B = 30,8 \text{ g/m}^2$

STATION C



$B = 3,6 \text{ g/m}^2$

STATION D



$B = 4,7 \text{ g/m}^2$

FIG. VIII.3 : ABONDANCE RELATIVE DES DIFFERENTS GROUPES ZOOLOGIQUES (Biomasse)

bombyx, l'indice de Shannon ainsi que l'équitabilité sont plus faibles que généralement ($H = 1.978$; $E = 0,32$).

Les densités de *Spiophanes bombyx*, *Lanice conchilega*, *Nya truncata* et *Pectinaria koreni* (39,5 % du nombre total d'individus) confèrent au diagramme rang-fréquence (Fig. VIII.4) une allure différente de celle observée les années précédentes. L'allure du diagramme se rapproche de celle d'un peuplement juvénile. Cette modification est à relier avec la réussite du recrutement cette année.

STATION B (Tableau VIII.5)

Le peuplement à *Abra alba* est sujet comme l'ont montré les études antérieures à des recrutements importants d'espèces telles que *Lanice conchilega*, *Pectinaria koreni*, *Tellina fabula* ou *Abra alba*.

Cette année, étant donné que la campagne de prélèvement a été effectuée en juillet, c'est-à-dire pendant la période principale de recrutement, on observe d'importants recrutements de *Spiophanes bombyx* (6250 ind/m²), *Lanice conchilega* (5200 ind/m²), *Macoma balthica* (3528 ind/m²). D'autres espèces sont également fortement représentées : ce sont *Anatides mucosa* (738 ind/m²), *Tellina fabula* (513 ind/m²), *Pectinaria koreni* (255 ind./m²).

Toutes ces espèces sont caractéristiques du peuplement à *Abra alba*. Par contre *Abra alba* est mal représenté (15 ind/m²). Cette faible densité est à corréliser avec les résultats observés en 1986, année pendant laquelle la population d'*Abra alba* n'a cessé de chuter, baisse accentuée par l'échec du recrutement (BOURGAIX, 1987).

35 espèces ont été récoltées pour un total de 17163 individus et une biomasse de 30,8 g/m².

La diversité est moyenne ($H = 2.292$; $E = 0,45$).

L'allure du diagramme rang-fréquence est modifiée par rapport aux années précédentes du fait des importants recrutements observés (Fig. VIII.5). De par les fortes densités de *Spiophanes bombyx*, *Lanice conchilega*, *Macoma balthica*, la fréquence relative des autres espèces se trouve diminuée, provoquant un décalage du diagramme. Tout comme à la station A, cette modification rend compte du recrutement.

STATION C (Tableau VIII.6)

Jusqu'à présent, on avait noté en la station C une importante

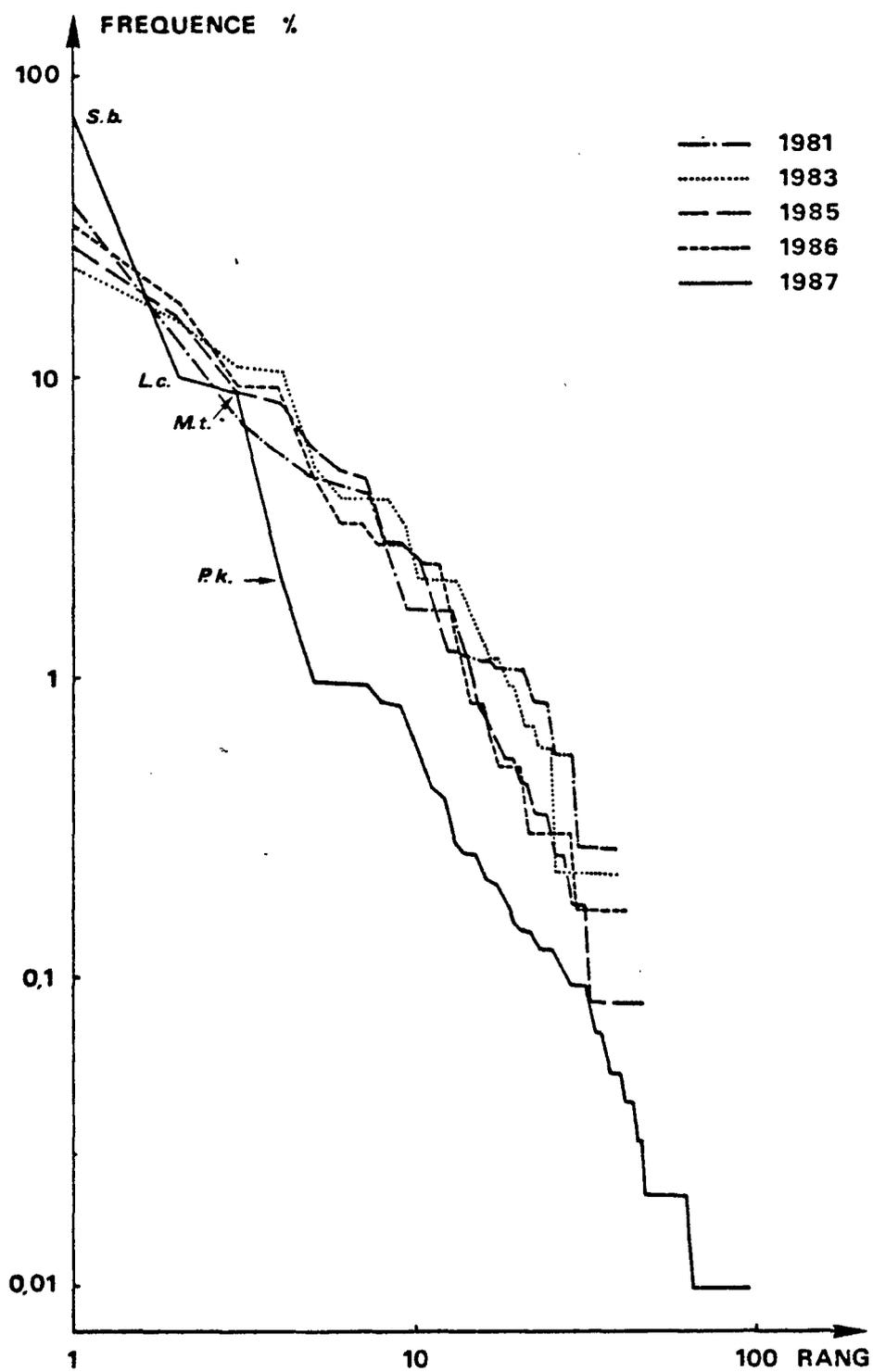


FIG. VIII . 4 : EVOLUTION DES DIAGRAMMES RANG - FREQUENCE
A LA STATION A DEPUIS 1981

TABLEAU VIII.5 : ABONDANCE DES ESPECES PRINCIPALES A LA STATION B

D = Densité/m ² B = Biomasse g/m ²		1982		1983		1984		1985		1986		1987	
		Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%
Sagartia troglodytes	D	25	0,9	9	0,6	33	0,5	21	1,1	38	2,2	3	0,02
	B	4,32	17,2	2,80	24,1	9,48	17,9	9,23	38,4	1,64	8,4	0,20	0,65
Nephtys hombergii	D	61	2,3	64	4,2	13,1	2,0	97	5,2	60	3,5	138	0,80
	B	0,24	1,0	1,00	10,6	3,17	6,0	1,06	4,4	1,61	8,3	1,08	3,50
Spiophanes bombyx	D	97	3,7	138	9,1	22,82	34,5	31	1,7	633	37,8	6250	36,41
	B	0,03	0,1	0,05	0,4	0,66	1,2	0,01	0,01	0,48	2,1	3,79	12,29
Lanice conchilega	D	274	10,3	28	1,8	2486	37,6	779	4,4	7	0,4	5200	30,30
	B	0,56	4,8	4,34	8,2	2,26	9,4	0,13	0,6			13,4	43,46
Lagis koreni	D	10	0,4	2	0,1	4	0,1	77	4,1	94	5,6	255	1,48
	B	0,19	0,8	0,13	1,1	0,05	0,1	0,21	0,9	6,50	33,4	0,32	1,04
Tellina fabula	D	41	1,5	209	13,8	292	4,4	238	12,6	100	5,9	513	3,00
	B	0,38	1,5	0,66	5,6	1,64	3,1	5,07	21,1	4,46	22,9	9,72	31,53
Abra alba	D	1020	38,4	77	5,1	8,11	12,3	37	2,0	13	0,7	15	0,09
	B	14,09	56,1	3,46	29,7	29,37	55,4	1,12	4,7	0,54	2,7	0,72	2,33
Ophiura texturata	D	4	0,2	11	0,7	4	0,1	17	0,9	5	0,2	0	0
	B	0,07	0,3	0,74	6,4	0,08	0,2	1,21	5,0	0,01	0,05	0	0

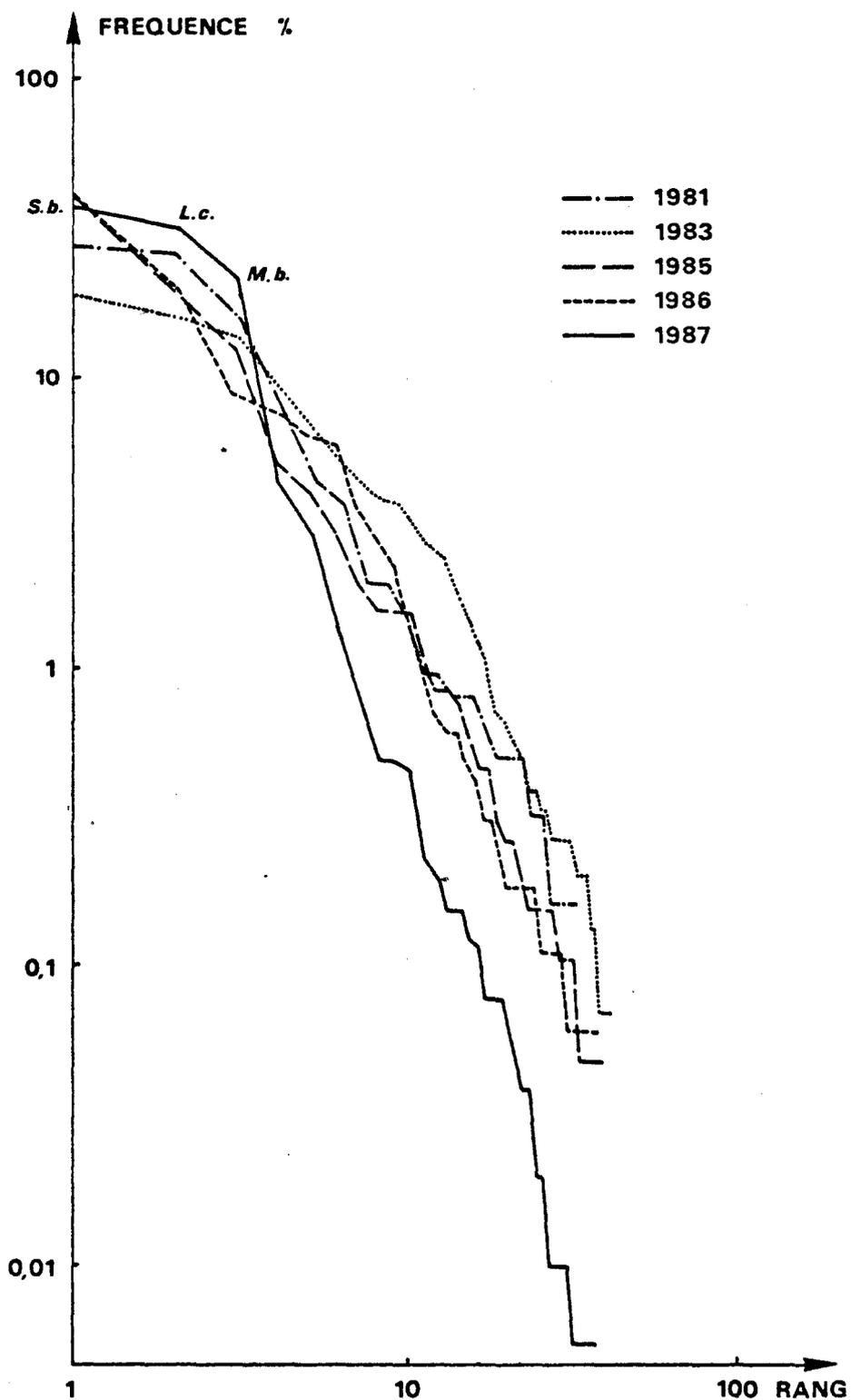


FIG. VIII . 5 : EVOLUTION DES DIAGRAMMES RANG - FREQUENCE
A LA STATION B DEPUIS 1981

TABLEAU VIII.6 : ABONDANCE DES ESPECES PRINCIPALES A LA STATION C

D = Densité/m ² B = Biomasse g/m ²		1982		1983		1984		1985		1986		1987	
		Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%
Nephtys cirrosa	D	28	2,6	35	29,9	69	16,1	38	38	23	44	0	0
	B	0,12	33	0,20	30,7	0,16	32,0	0,28	37,2	0,20	23	0	0
Nephtys hombergii	D	6	1,5	3	2,3	0	0	0	0	0	0	5	0,09
	B	0,42	11,5	0,05	7,9	0	0	0	0	0	0	0,60	16,66
Spiophanes bombyx	D	536	50,2	3	2,3	243	56,8	1	1	3	5,7	941	17,77
	B	0,21	5,7	0,01	0,3	0,06	11,1	ε	ε	0,01	1,8	0,60	16,66
Tellina fabula	D	16	1,5	2	1,5	5	1,2	0	0	0	0	38	0,72
	B	0,10	2,8	0,8	0,1	0,01	1,0	0	0	0	0	0,06	1,66
Bathyporeia elegans	D	0	0	0	0	35	8,2	0	0	2	3,8	1	0,02
	B	0	0	0	0	0,01	1,2	0	0	0,004	0,5	0,0002	0,003

TABLEAU VIII.7 : COMPARAISON DES EFFECTIFS DES PRINCIPALES
ESPECES VASICOLES AUX STATIONS B ET C

ESPECES	DATES	STATION B	STATION C
Anaitides mucosa	Septembre 1979	41	0
	Mai 1980	4	0
	Mai 1981	3	72
	Mai 1982	697	25
	Juin 1983	34	0
	Juillet 1984	14	0
	Juillet 1985	17	0
	Mai 1986	3	0
	Juillet 1987	738	5
Spiophanes bombyx	Septembre 1979	1	1
	Mai 1980	2	1
	Mai 1981	5	12
	Mai 1982	97	536
	Juin 1983	138	3
	Juillet 1984	2 282	243
	Juillet 1985	31	1
	Mai 1986	633	3
	Juillet 1987	6 250	941
Lanice conchilega	Mai 1980	60 000	800
	Mai 1981	1 000	100
	Mai 1982	20 000	7 000
	Juin 1983	15 000	10
	Juillet 1984	2 486	243
	Juillet 1985	779	0
	Mai 1986	7	0
	Juillet 1987	5 200	969
Lagis koreni	Septembre 1979	354	82
	Mai 1980	228	4
	Mai 1981	27	3
	Mai 1982	10	0
	Juin 1983	2	0
	Juillet 1984	4	0
	Juillet 1985	77	0
	Mai 1986	94	0
	Juillet 1987	255	1313
Abra alba	Septembre 1979	77	0
	Mai 1980	64	0
	Mai 1981	100	9
	Mai 1982	1 020	26
	Juin 1983	77	1
	Juillet 1984	811	0
	Juillet 1985	37	0
	Mai 1986	13	0
	Juillet 1987	15	0
Tellina fabula	Septembre 1979	328	9
	Mai 1980	453	22
	Mai 1981	167	69
	Mai 1982	41	16
	Juin 1983	209	2
	Juillet 1984	292	5
	Juillet 1985	238	0
	Mai 1986	100	0
	Juillet 1987	513	38

TABLEAU VIII.8 : ABONDANCE DES ESPECES PRINCIPALES A LA STATION D

		1982		1983		1984		1985		1986		1987	
		Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%	Valeurs	%
D = Densité/m ² B = Biomasse g/m ²													
Nephtys cirrosa	D	14	11,5	27	26,7	56	11,8	70	5,3	27	3,35	15	0,35
	B	0,09	23,4	0,14	13,3	0,23	22,5	0,65	30,5	0,41	19,2	0,15	3,46
Ophelia borealis	D	0	0	1	1,0	0	0	1	0,1	0	0	0	0
	B	0	0	0,50	0,1	0	0	0,04	1,9	0	0	0	0
Spiophanes bombyx	D	2	1,6	6	5,9	223	46,9	117	8,8	13	1,6	2575	60,9
	B	0,001	0,1	0,004	0,4	0,04	4,4	0,12	5,6	0,01	0,5	1,64	37,6
Magelona papillicornis	D	4	3,3	8	7,9	0	0	992	74,7	470	58,4	695	16,43
	B	0,01	3,0	0,01	0,9	0	0	0,13	0,01	0,69	32,4	0,36	13,8
Bathyporeia elegans	D	30	24,6	4	4,0	17,2	58	58	4,4	127	15,7	24	0,57
	B	0,01	3,0	0,003	0,3	2,2	0,13	0,13	6,1	0,11	5,17	0,004	0,09

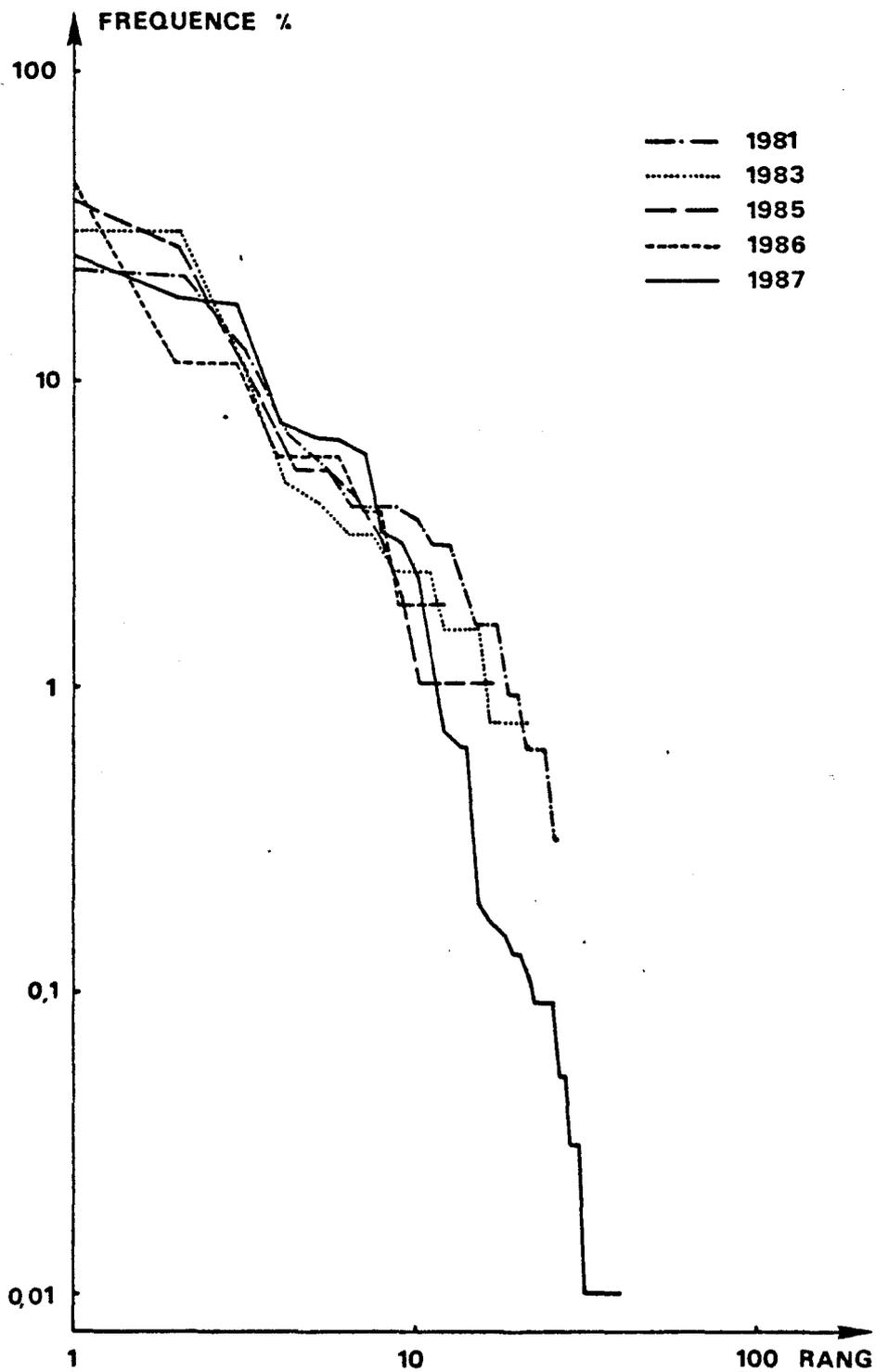


FIG. VIII . 6 : EVOLUTION DES DIAGRAMMES RANG - FREQUENCE
A LA STATION C DEPUIS 1981

altération du peuplement.

Cette année, au profit d'un léger envasement, se sont installées en grand nombre des espèces telles que *Lanice conchilega*, *Pectinaria koreni*, *Spiophanes bombyx*, *Anatides mucosa* ou *Tellina fabula*.

Cependant, proportionnellement aux densités observées pour ces mêmes espèces, mis à part *Pectinaria koreni*, en la station B cette année, et en comparant avec les densités observées à la même époque 1984, on ne peut conclure à un retour à une situation typique de peuplement à *Abrs alba*. Comme en témoigne la biomasse, tous les individus récoltés, pour ces espèces abondantes, sont de jeunes individus.

Certaines espèces vasicoles se sont installées de façon plus importante à la station C qu'à la station B. C'est le cas de *Pectinaria koreni*, *Urothoe poseldonis*, *Alyus swammerdami*. A la station B, l'"occupation" du sédiment par *Lanice conchilega*, *Spiophanes bombyx* et *Tellina fabula* est telle que les espèces recrutant plus tardivement ont peu de place pour s'installer. Par contre à la station C, leur densité est plus faible ; on remarque également que nombre de *Lanice conchilega* sont de jeunes individus alors qu'à la station B, les tubes ont une taille plus importante. Cet ensemble d'éléments laisse la possibilité à d'autres espèces sédentaires telle que *Pectinaria koreni* de recruter de façon plus importante.

Certaines espèces préférant un sédiment moins envasé voire propre, régressent cette année. C'est le cas de *Nephtys cirrosa* qui a totalement disparu.

Enfin, on notera un important recrutement de *Echinocardium cordatum* (120 ind/m²), et l'apparition de *Parasinelobus chevreuxi*, Tanaidacé qui n'avait jamais été observé dans la région.

Le diagramme rang-fréquence de la station C présente une allure semblable à celle observée précédemment (Fig. VIII.6). La diversité est forte (H = 3.246, E = 0.61). La densité totale est forte du fait du recrutement (5294 ind/m²) mais la biomasse reste faible (3,6 g/m²) la majorité des individus récoltés étant jeunes.

STATION D (Tableau VIII.8)

La station D est typique du peuplement à *Ophelia borealis*.

39 espèces ont été recensées pour un total de 4228 individus dont 2575 *Spiophanes bombyx*.

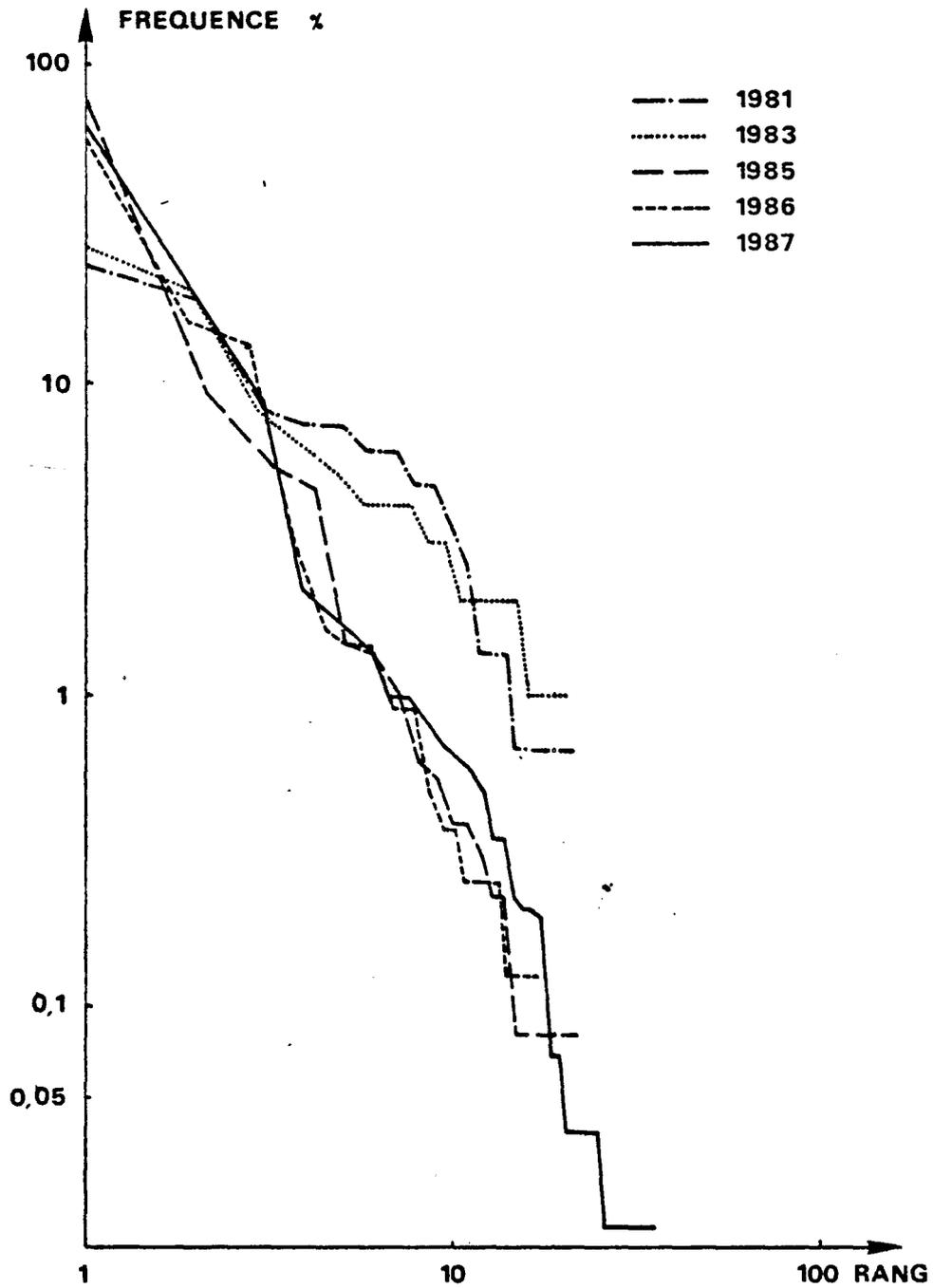


FIG. VIII .7 : EVOLUTION DES DIAGRAMMES RANG-FREQUENCE
A LA STATION D DEPUIS 1981

Les espèces typiques du peuplement, mis à part *Ophelia borealis* qui a presque totalement disparu depuis 1981, sont toujours présentes. On note néanmoins une baisse de leur densité par rapport à 1986 : on compte 13 *Nephtys cirrosa* par m² et 24 *Bathyporeia elegans* par m².

Des espèces typiques de sédiments envasés sont présentes : *Tellina fabula*, *Trochus poseidonis* ainsi que *Magelona papillicornis*.

Au profit de l'envasement dû aux rejets de dragage, cette dernière trouve en cet endroit les conditions favorables à son développement, depuis 1985. Alors qu'auparavant, *Magelona papillicornis* était rare, sa densité varie depuis 1985 entre 470 ind/m² en 1986 et 992 ind/m² en 1985, 695 ind/m² cette année. Ces variations sont probablement dues aux fluctuations dans les apports de vase portuaire. Il faut s'attendre dans les années à venir à observer de telles variations.

Il apparaît que *Magelona papillicornis* est une espèce indicatrice de pollution des sédiments par les métaux comme le montrent d'autres études (BOILLY et RICHARD, 1978 ; BOURGAIN et al., 1985). La pollution due à l'apport de fines se fait ressentir sur le peuplement par l'apparition d'espèces vasicoles beaucoup plus tardivement, ici deux ans après l'installation importante de *Magelona papillicornis*.

La diversité est faible ($H = 2.074$; $E = 0.39$) comme en 1986 et la biomasse (4,4 g/m²) est légèrement plus forte que celle observée en 1986.

Le diagramme rang-fréquence présente une allure comparable à celle observée en 1985 et 1986 (Fig. VIII.7).

Jusqu'en 1984, le diagramme rang-fréquence présentait une allure typique de peuplement mature. L'abondance de *Magelona papillicornis* a provoqué à partir de 1985, une transformation notable de l'allure du diagramme, signe d'un déséquilibre.

ETUDE DES POPULATIONS D'ABRA ALBA ET DE TELLINA FABULA

Abra alba et *Tellina fabula* sont les deux bivalves caractéristiques du peuplement à *Abra alba*. Leurs populations sont suivies de façon régulière depuis 1976 (Fig. VIII.8 et VIII.10).

1) ABRA ALBA (Fig. VIII.9)

Depuis la fin 1984, la population d'*Abra alba* n'a cessé de régresser, passant de plus de 1000 individus par m² pendant l'été 1984 à 38 individus par m² en décembre 1986.

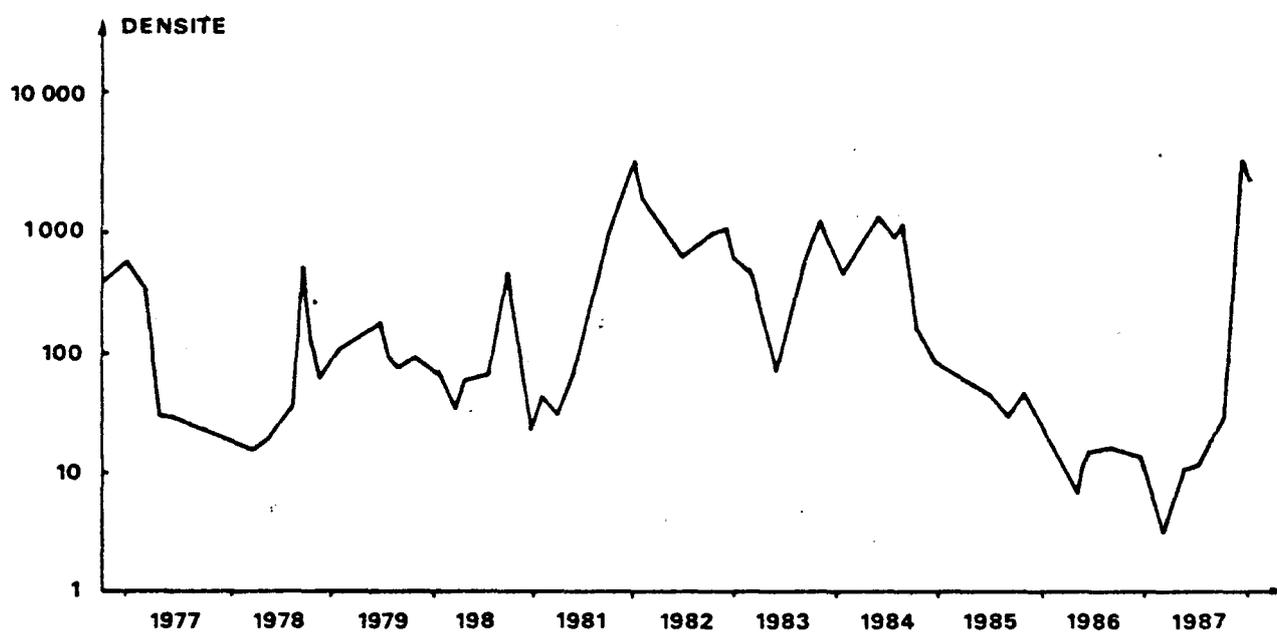


FIG. VIII . 8 : VARIATION DE DENSITE DE LA POPULATION D'*Abra alba*
DEPUIS 1977

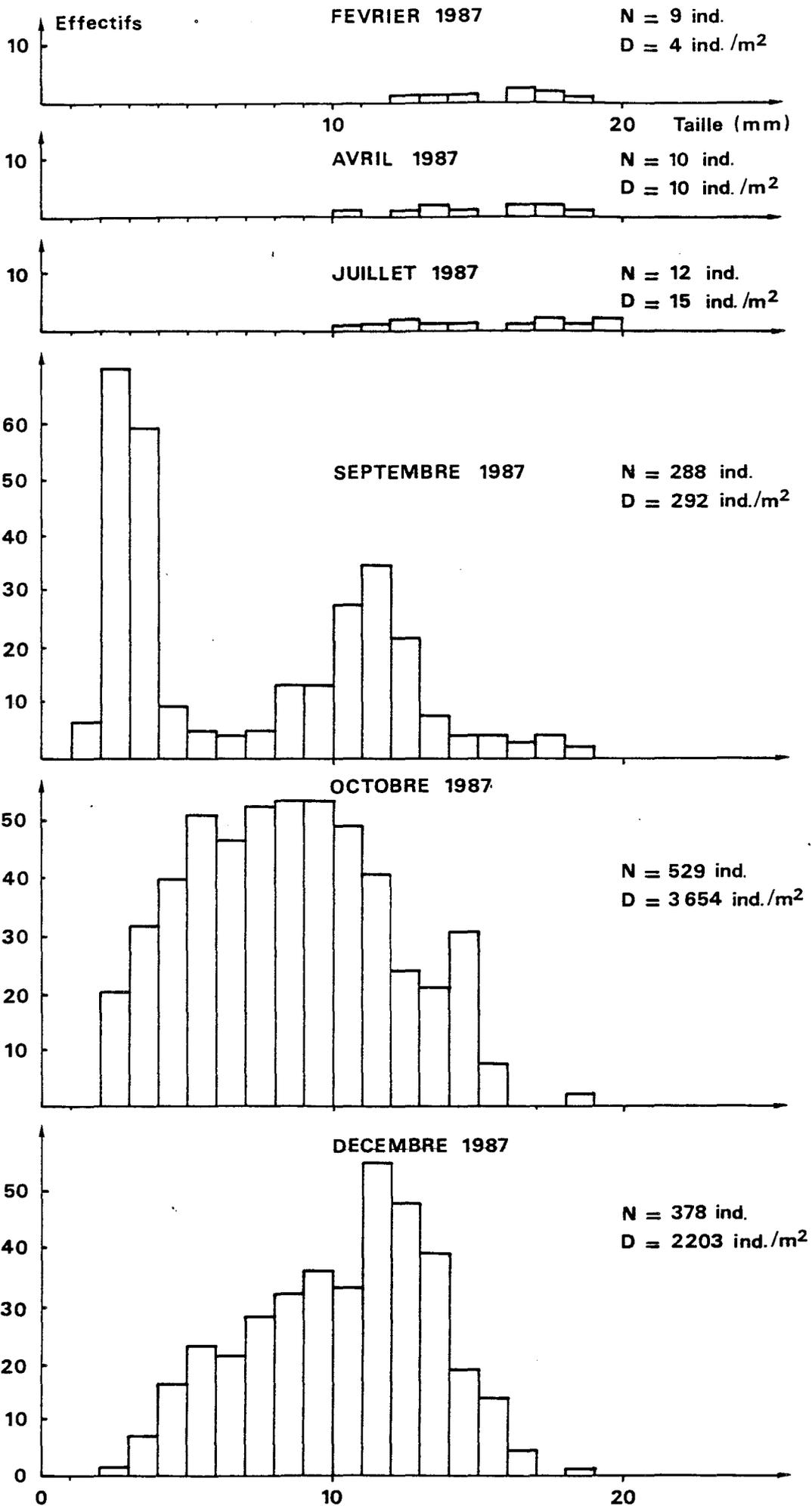


FIG. VIII .9 : *Abra alba* - HISTOGRAMMES DES FREQUENCES DE TAILLE

L'analyse avait laissé prévoir une régression plus importante encore pendant les premiers mois de 1987. Cette prévision se trouve confirmée. Les densités jusqu'en juillet restant très faibles.

Cette pauvreté de la population d'*Abra alba* ne permet pas une analyse des histogrammes. Tout comme en 1986, nous concluons à un maintien de la population par la présence de quelques individus issus des cohortes des années précédentes.

Pendant l'été 1987, deux phénomènes interviennent :

- le recrutement estival d'*Abra alba*
- une arrivée massive d'individus issus des cohortes des années précédentes.

En septembre, on observe deux pics sur l'histogramme. Le premier, contenant des individus mesurant entre 1 et 6 mm correspond à la cohorte de cette année et représente 51 % de la population. Le second correspond aux cohortes des années précédentes. S'il est impossible de dire sans erreur que la cohorte de 1987 est autochtone, on ne peut, pour les cohortes plus anciennes, conclure qu'à une arrivée d'individus par déplacements volontaires ou non.

Comme de nombreux auteurs l'ont montré (EAGLE, 1975 ; RACHOR, 1980 ; DEWARUMEZ et al., 1985), *Abra alba* est une espèce opportuniste dont les populations fluctuent de façon importante.

Ainsi, en juillet, on ne comptait que quelques individus par m² ; en septembre, on en compte 292/m². En octobre, la densité a encore augmenté (3654 ind/m²). L'histogramme présente alors une allure unimodale, l'ensemble des cohortes étant fondues en un seul pic. L'augmentation de la densité entre octobre et septembre, du fait de la forme de l'histogramme, s'explique par une arrivée plus massive encore que pendant l'été d'individus âgés de un, deux ans, issus de populations extérieures.

Abra alba, après n'avoir cessé de régresser pendant plus de deux ans, a reconstitué sa population en quelques mois.

2) TELLINA FABULA (Fig. VIII.11)

Si le recrutement d'*Abra alba* fut un échec en 1986, il en avait été tout autrement pour *Tellina fabula*. Elle est toujours présente jusqu'en septembre avec une densité variant de 124 ind/m² en février à 513 ind/m² en juillet.

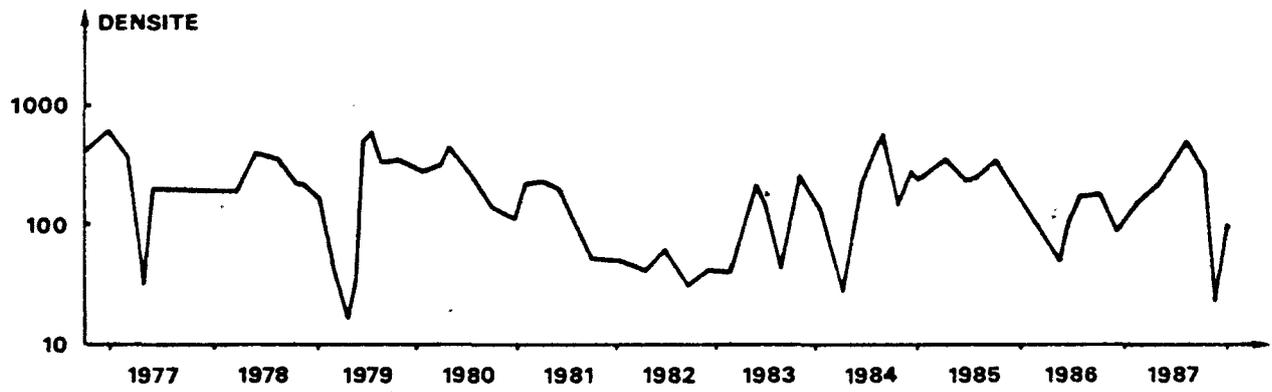


FIG. VIII .10 : VARIATION DE DENSITE DE LA POPULATION DE *Telina fabula*
DEPUIS 1977

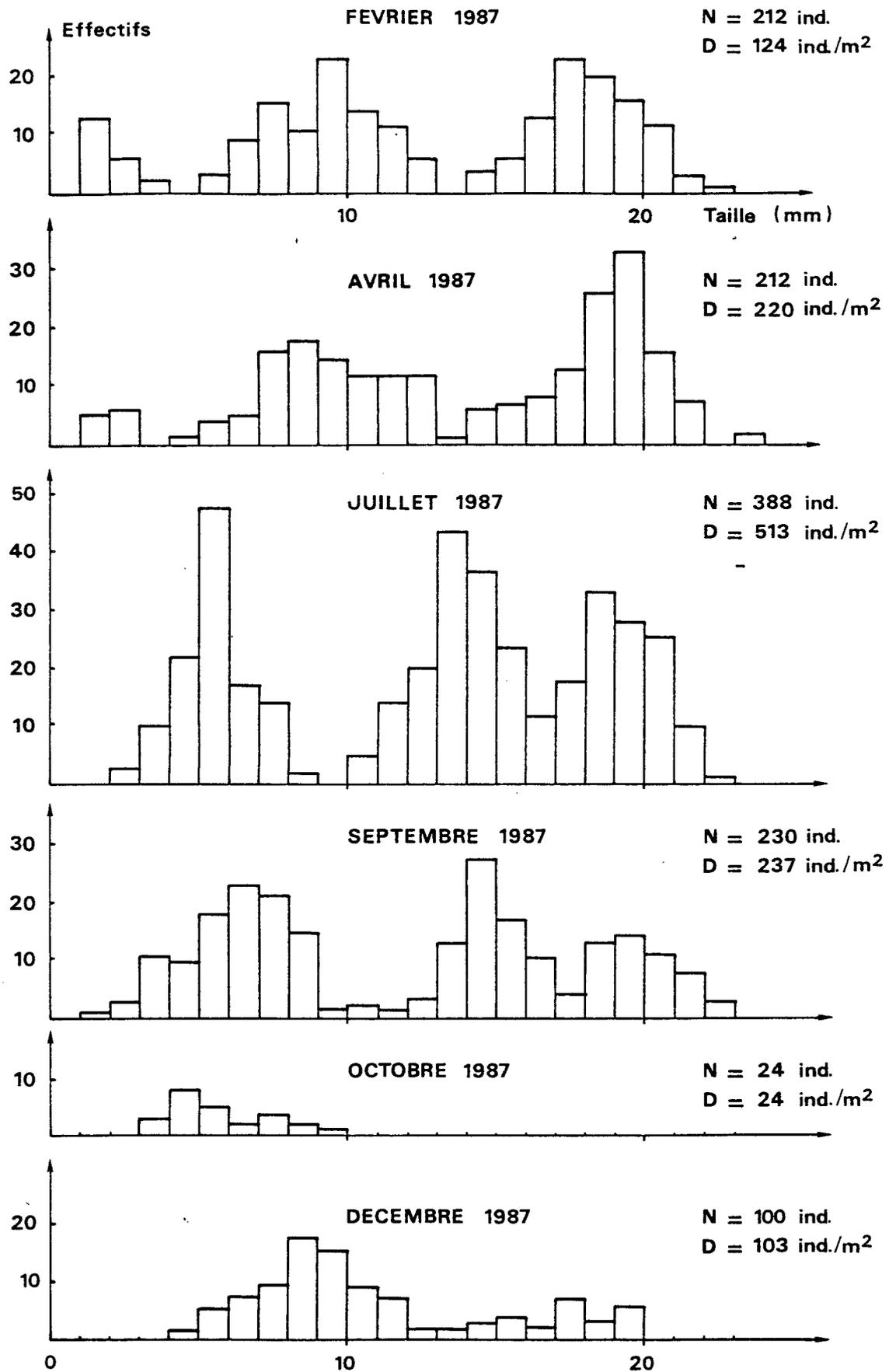


FIG. VIII . 11 : *Telina fabula* - HISTOGRAMMES DES FREQUENCES DE TAILLE

En octobre, la population chute de façon très importante. On ne compte plus que 24 ind./m². Cette chute est probablement à mettre en relation avec les fortes densités d'*Abra alba* observées. *Tellina fabula* est évincée du peuplement par *Abra alba*.

Un fait important apparaît en février. Sur l'histogramme de fréquences de taille, on observe trois pics.

Le premier pic correspond à de très jeunes individus de taille inférieure à 4 mm. Le second pic correspond à la cohorte issue du recrutement de 1986. Le troisième pic correspond aux cohortes plus anciennes.

Il apparaît donc que dès février, *Tellina fabula* recrute. Si ce recrutement est faible (10 % de la population), il n'en est pas moins étrange. On retrouve cette cohorte en avril ; en juillet, elle représente 29 % de la population. Le recrutement semble s'être poursuivi jusqu'à la fin du printemps.

Depuis que le peuplement à *Abra alba* est suivi de façon très régulière, il n'avait jamais été observé un tel phénomène. Depuis 1976, l'analyse des histogrammes de fréquence de taille a toujours montré que la ponte, chez *Tellina fabula* avait lieu au printemps : le pic correspondant aux jeunes individus apparaissait vers la fin juin ou le début juillet. Des auteurs tel que MUCS (1973), ont observé le même phénomène en d'autres lieux. La ponte de cette année apparaît donc comme une anomalie.

La ponte est généralement sous l'influence de facteurs externes tels que la photopériode, la température, la qualité de l'eau pour les organismes aquatiques. Une modification de ce facteur déclenche le processus. Peut-être faut-il mettre en relation cette ponte précoce avec le stress résultant de l'action d'un facteur inconnu qui provoqua une mortalité importante des organismes benthiques et de certains poissons sur le littoral entre Calais et Dunkerque en janvier 1987.

CONCLUSION

L'étude du benthos subtidal du site de Gravelines en 1987 a mis en évidence plusieurs phénomènes qui affectent les trois peuplements étudiés.

a) Le peuplement de l'hétérogène envasé subit les effets d'un léger désenvasement. Les espèces typiques du peuplement ont disparu au profit

d'espèces sabulicoles. Cependant, ce peuplement reste très diversifié.

b) Dans les peuplements à *Abra alba* et à *Ophelia borealis*, on note au contraire un envasement. Dans le premier peuplement, cet envasement est probablement d'origine naturelle ; dans le second, il est dû aux rejets de dragage. Ces rejets sont à l'origine de la présence de *Magelona papillicornis* comme en 1985 et 1986.

c) Le recrutement de cette année fut dans les trois peuplements de grande amplitude. *Spiophanes bombyx*, *Pectinaria Koreni*, *Lanice conchilega*, *Macoma balthica*, *Mya truncata* présentent de fortes densités.

d) Les diagrammes rang-fréquence, du fait de la dominance d'une ou deux espèces n'ont pas l'allure habituelle du diagramme de chacune des quatre stations. L'indice de diversité baisse du fait de ces importants recrutements.

e) La station C, située face au canal de rejet semble moins affectée qu'auparavant. L'envasement aidant, quelques espèces vasicoles ont recruté. Cependant, on ne peut conclure cette année à un retour au peuplement typique à *Abra alba*.

f) La biomasse à la station A est plus faible que l'année précédente, diminution due à la raréfaction de *Sagartia troglodytes*. La station B est toujours très productive. Aux stations C et D, on note une légère augmentation de la biomasse.

g) La population d'*Abra alba*, après deux années pauvres, redevient dominante au sein du peuplement à *Abra alba*. Elle remplace pendant le second semestre, la population de *Tellina fabula* qui, à partir de février a recruté de façon anormale.

BIBLIOGRAPHIE

BOILLY B. et RICHARD A., 1978 - Accumulation du fer chez une annélide polychète : Magelona papillicornis O.F. MULLER. C.R. Acad. Sc. Paris, T. 286, 4 p.

BOURGAIN J.L., DEWEZ S., RICHARD A. ET BECK C., 1985 - Effets de rejets de vases portuaires sur les sédiments et les peuplements benthiques au large de Boulogne-sur-mer. S.M.W. Convention Nord-Pas-de-Calais/IFREMER. Service Maritime du Port de Boulogne-sur-mer, 91 p.

BOURGAIN J.L., 1987 - Le domaine benthique. In "Surveillance écologique et halieutique. Site de Gravelines. Novembre 1985. Octobre 1986" CNEXO/SMW pour EDF.

CABIOCH L. et GLACON R., 1975 - Etude des peuplements benthiques en Manche orientale de la Baie de Somme au Pas-de-Calais. C.R. Acad. Sci., Paris, 280 (D) : 491-494.

DEWARUMEZ J.M., 1973 - Etude des peuplements benthiques littoraux. In : Etude écologique du site de Gravelines. Rapport préliminaire. Inst. Biol. Marit. et Region. de Wimereux : 53-77

DEWARUMEZ J.M., 1976a - Le domaine benthique. In : "Etude écologique du site de Gravelines". Projet 1er cycle (1975). CNEXO/IBMRW pour EDF : 238-287.

DEWARUMEZ J.M., 1976b - Etude du macrobenthos subtidal de la région de Gravelines (Nord). DEA Univ. Sci. et Techn., Université de Lille I, 164 p.

DEWARUMEZ J.M., 1979 - Etude biologique d'Abra alba (WOOD) (Mollusque lamelibranche) du littoral de la Mer du Nord. Thèse de Spécialité. Univ. Sci. et Techn. de Lille, 139 p., 23 annexes.

DEWARUMEZ J.M., 1980 - Le domaine benthique. In : "Etude écologique du site de Gravelines". Surveillance 1 (1978-1979). CNEXO/IBMRW pour EDF : 76-100.

DEWARUMEZ J.M., 1982a - Le domaine benthique. In : "Etude écologique du site de Gravelines". Surveillance 2 (1979-1980). CNEXO/SMW pour EDF : 197-254.

DEWARUMEZ J.M., 1982b - Le domaine benthique. In : "Etude écologique du site de Gravelines". Surveillance 3 (1980-1981). CNEXO/SMW pour EDF : VI.1-VI.23 et VI.1-VII.24.

DEWARUMEZ J.M., 1983 - Le domaine benthique. In : "Etude écologique du site de Gravelines". Surveillance 4 (1981-1982). CNEXO/SMW pour EDF : VI.1-VI.24 et VII.1-VII.33.

DEWARUMEZ J.M., 1984 - Le domaine benthique. In : "Etude écologique du site de Gravelines". Surveillance 5 (1982-1983). CNEXO/SMW pour EDF : VI.1-VI.27 et VII.1-VII.28.

DEWARUMEZ J.M., 1985 - Le domaine benthique. In : "Etude écologique du site de Gravelines". Surveillance 6 (1983-1984). CNEXO/SMW pour EDF : VI.1-VI.29 et VII.1-VII.31.

DEWARUMEZ J.M., 1986 - Le domaine benthique. In : "Etude écologique du site de Gravelines". Surveillance 7 (1984-1985). CNEXO/SMW pour EDF.

DEWARUMEZ J.M., QUISTHOUDT C. et RICHARD A., 1986 - Suivi pluriannuel du peuplement à Abra alba dans la partie méridionale de la Mer du Nord (Région de Dunkerque - France). Hydrobiologia.

EAGLE R.A., 1975 - Natural fluctuation in a soft bottom benthic community. J. mar. biol. Ass. U.K., 55 : 867-878.

GREGOIRE A., 1978 - Etude des peuplements intertidaux. In : "Etude Ecologique du site de Gravelines". Rapport préliminaire. Inst. Biol. et

Region. de Wimereux, 30-32.

MUUS K., 1973 - Settling growth and mortality of young bivalves in the Oresund. Ophelia, 12 : -116.

RACHOR E., 1980 - The Inner German Bight an ecological sensitive area as indicative area, as indicated by the bottom fauna. Helgol. Meeresunters., 33 : 522-530.

SOUPLET A., 1978 - Le domaine benthique. IN : "Etude écologique du site de Gravelines". Projet II (1976-1977). CNEXO/IBM RW pour EDF.

SOUPLET A. ET J.M. DEWARUMEZ, 1980 - Les peuplements benthiques du littoral de la région de Dunkerque. Cah. Biol. Mar., 21 : 23-29.

SOUPLET A., GLACON R., DEWARUMEZ J.M. et SMIGIELSKI F., 1980 - Distribution des peuplements benthiques littoraux en Mer du Nord, du Cap Blanc 'Nez à la frontière de Belgique. C.R. Acad. Sci. Paris, Ser. 'D, 290 : 627-630.