





**FICHE DOCUMENTAIRE**

<b>Numéro d'identification du rapport :</b> DEL/EC/PP/R.INT/00.07 <b>Diffusion :</b> libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte <input type="checkbox"/> interdite <input type="checkbox"/> <b>Validé par :</b> G. LEHOËRFF <b>Version du document :</b> définitive		<b>date de publication</b> mars 2000 <b>nombre de pages</b> 150 <b>bibliographie (Oui / Non)</b> <b>illustration(s) (Oui / Non)</b> <b>langue du rapport</b> français
<b>Titre et sous-titre du rapport :</b> Surveillance écologique et halieutique du site de Gravelines Année 1999 – Rapport annuel. <b>Titre traduit :</b> Ecological and fisheries monitoring of the Gravelines nuclear power plant		
<b>Auteur(s) principal(aux) :</b> LE FÈVRE - LEHOËRFF Geneviève DELESMONT Régis DEWARUMEZ Jean-Marie HITIER Benoist LUCZAK Christophe WOEHRLING Daniel	<b>Organisme / Direction / Service, laboratoire</b> IFREMER/DEL/EC/Brest Institut Pasteur Gravelines Station Marine de Wimereux IFREMER/DEL/Boulogne Station Marine de Wimereux IFREMER/DEL/Nantes	
<b>Collaborateur(s) :</b> LE GRAND Jacqueline D'ELBÉE Jean  DELESMONT Edith HEBERT Pascale COPPIN Franck MENU Dominique OLIVESI René	<b>Organisme / Direction / Service, laboratoire</b> IFREMER/DEL/EC/Brest Laboratoire d'analyses de prélèvements hydrobiologiques (LAPHY) Biarritz Institut Pasteur Gravelines IFREMER/DEL/Boulogne Station Marine de Wimereux Station Marine de Wimereux IFREMER/DEL/Boulogne	
<b>Travaux universitaires :</b> diplôme : _____ discipline : _____ établissement de soutenance : _____ année de soutenance : _____		
<b>Titre du contrat de recherche :</b> Surveillance de la Centrale Nucléaire de Gravelines <b>Organisme commanditaire :</b> nom développé, sigle, adresse Electricité de France (EDF)  <b>Organisme(s) réalisateur(s) :</b> nom(s) développé(s), sigle(s), adresse(s) IFREMER BREST / BOULOGNE / NANTES Institut Pasteur de Gravelines Station Marine de Wimereux Responsable scientifique : Geneviève Le Fèvre-Lehoërff		<b>n° de contrat IFREMER</b> S 64 T 7001 Avenant n°1
<b>Cadre de la recherche :</b> Surveillance des centrales nucléaires de bord de mer <b>Programme :</b> Impact des Grands Aménagements <b>Convention :</b> EDF / IFREMER <b>Projet :</b> Gravelines surveillance <b>Autres (préciser) :</b>  <b>Campagne océanographique :</b>		

**Résumé :**

Le présent rapport de surveillance de Gravelines est le 22<sup>ème</sup> rapport de surveillance du site nucléaire. La climatologie de l'année a été marquée par une température moyenne de l'air de 11.4° C et une pluviosité de 769 mm valeurs supérieures aux moyennes générales des années antérieures. Les températures de l'eau mesurées à la prise et au rejet de la centrale montrent une différence moyenne ou  $\Delta T = 8.35^\circ \text{C}$ . Les bromoformes halogénés formés par la chloration de l'eau présentent au rejet une concentration moyenne de 20.2 µg/litre. Le pourcentage d'eau recyclée dans la centrale est de 6.8 %. L'amplitude annuelle du cycle des vibrions au rejet est stable. *Vibrio alginolyticus* est toujours l'espèce principale, *V. cholerae* nag est la seconde espèce avec 13 %. La biomasse chlorophyllienne présente un maximum de 33 mg/m<sup>3</sup> en Avril correspondant au maximum de *Phaeocystis*. Plusieurs efflorescences de diatomées sont caractérisées par *Rhizosolenia delicatula* en Mars *Rhizosolenia spp.* et *Nitzschia* en Mai et *Chaetoceros* en Août. L'impact sur le phytoplancton n'est mesuré qu'au rejet en biomasse mais est détecté au contrôle pour la chlorophylle active. La succession saisonnière est normale pour les espèces zooplanctoniques. Le copépode parasite *Ergasilus* est bien présent à l'automne. L'impact de la centrale sur le zooplancton représente un déficit de 60 % sur la biomasse au rejet, les espèces les plus fragiles sont les organismes mous Chaetognathes, Noctiluques, Appendiculaires. L'année 1999 est précoce pour la reproduction du sprat et de la sole, les quantités d'œufs se situent dans la moyenne pour le site. Les peuplements intertidaux sont homogènes en 1999. Les populations euryhalines diminuent à l'ouest de l'estran. Les spionidés de l'estran évoluent avec disparition de *Spio martinensis* dans les hauts niveaux et réapparition de *Pigospio elegans*.

Dans la zone subtidale la zone éloignée de référence est typique du peuplement à *Abra alba* et riche en *Lanice conchilega* dont le recrutement a été fort en 1999.

A la station C le sédiment grossier progresse. Le peuplement est dominé par *Nephtys cirrosa*.

**Abstract :**

This is the 22<sup>th</sup> annual surveillance report concerning the Gravelines nuclear power plant. The climatology characteristics for 1999 are 11.4° C for air temperature and 769 mm for rainfall. The average  $\Delta T$  is 8.35° C measuring water temperature at the entrance and outfall of nuclear plant. Bromoform average value was 20.2 µg/l and the percentage of water recirculation was 6.8 %. Annual oscillation *Vibrio* was similar to that of previous years : *V. alginolyticus* is the main species and *V. cholerae* nag is the second (13 %). The maximum chlorophyll biomass was 33 mg/m<sup>3</sup> in April as a consequence of the *Phaeocystis* bloom. Some diatoms *maxima* appear with *Rhizosolenia delicatula* in March, *Rhizosolenia spp.* and *Nitzschia* in May and *Chaetoceros* in August. Zooplankton and Phytoplankton populations were equally affected as in previous years. *Ergasilus* parasitic copepod was abundant in autumn. Impact on zooplankton populations was 60 % for sum biomass and was not the same for all species, the highest deficit was shown for Chaetognatha, Noctiluca, Appendicularia. Sprat and sole eggs abundance showed early in 1999. Egg abundance showed average values.

Intertidal zone was homogeneous. Euryhaline species are less abundant in the western part. *Spio martinensis* disappears on the upon level of Petit Fort Philippe beach and *Pigospio elegans* appears again this year. In subtidal zone *Lanice conchilega* was very abundant in reference zone. In impacted station rough sand increases and the main species is *Nephtys cirrosa*.

**Mots-clés :**

Centrale nucléaire – Sud de la Mer du Nord – Hydrologie – Microbiologie – Pélagos - Benthos

**Keywords :**

Nuclear power plant – South of North Sea – Hydrology – Microbiology – Pelagos - Benthos

**Commentaire :**

## SOMMAIRE

Chapitre 1 – Présentation du site – Stratégie d'étude.....	1
Edith et Régis DELESMONT (1)	
Chapitre 2 - Climatologie - Hydrologie - Fonctionnement de la centrale .....	7
Présentation des campagnes pélagiques Edith et Régis DELESMONT	
Chapitre 3 - Etude de la chloration et Bactériologie.....	17
Edith et Régis DELESMONT	
Chapitre 4 - Phytoplancton et biomasse chlorophyllienne.....	43
Benoist HITIER (2), Pascale HEBERT (2) et René OLIVESI (2)	
Chapitre 5 - Dinoflagellés noctiluques et Zooplancton.....	61
Geneviève LE FÈVRE-LEHOËRFF (3), Jacqueline LE GRAND (3) et Jean D'ELBÉE (4)	
Chapitre 6 - Zooplancton halieutique.....	95
Daniel WOEHLING (5), Franck COPPIN (2) et Jean D'ELBÉE	
Chapitre 7 - Le domaine benthique intertidal.....	107
Jean-Marie DEWARUMEZ (6) et Dominique MENU (6)	
Chapitre 8 - Le domaine benthique subtidal.....	125
Jean-Marie DEWARUMEZ, Christophe LUCZAK (6) et Dominique MENU	
Résumé.....	147
Annexe bibliographique des rapports 1975 - 1999	

Mars 2000

Contrat : Accord Cadre S64T7001 avenant n° 1

La coordination des travaux est assurée par Geneviève LE FÈVRE-LEHOËRFF

- 
- (1) Institut Pasteur de Lille - Laboratoire de Gravelines
  - (2) IFREMER - Centre de Boulogne
  - (3) IFREMER - Centre de Brest
  - (4) Laboratoire d'analyses de prélèvements hydrobiologiques (LAPHY) Biarritz
  - (5) IFREMER - Centre de Nantes
  - (6) Station Marine de Wimereux



## **1. PRESENTATION DU SITE – STRATEGIE D'ETUDE**

Régis DELESMONT & Edith DELESMONT



### 1.1. RAPPEL SUR LE SITE

Le site de Gravelines est situé à l'ouest de la Mer du Nord, à proximité du Détroit du Pas de Calais. Cette situation, alliée à la faible profondeur des eaux, a pour conséquence un hydrodynamisme important.

L'onde de marée est du type semi-diurne avec une amplitude moyenne voisine de 4,5 m. Les courants de marée sont alternatifs et parallèles à la côte.

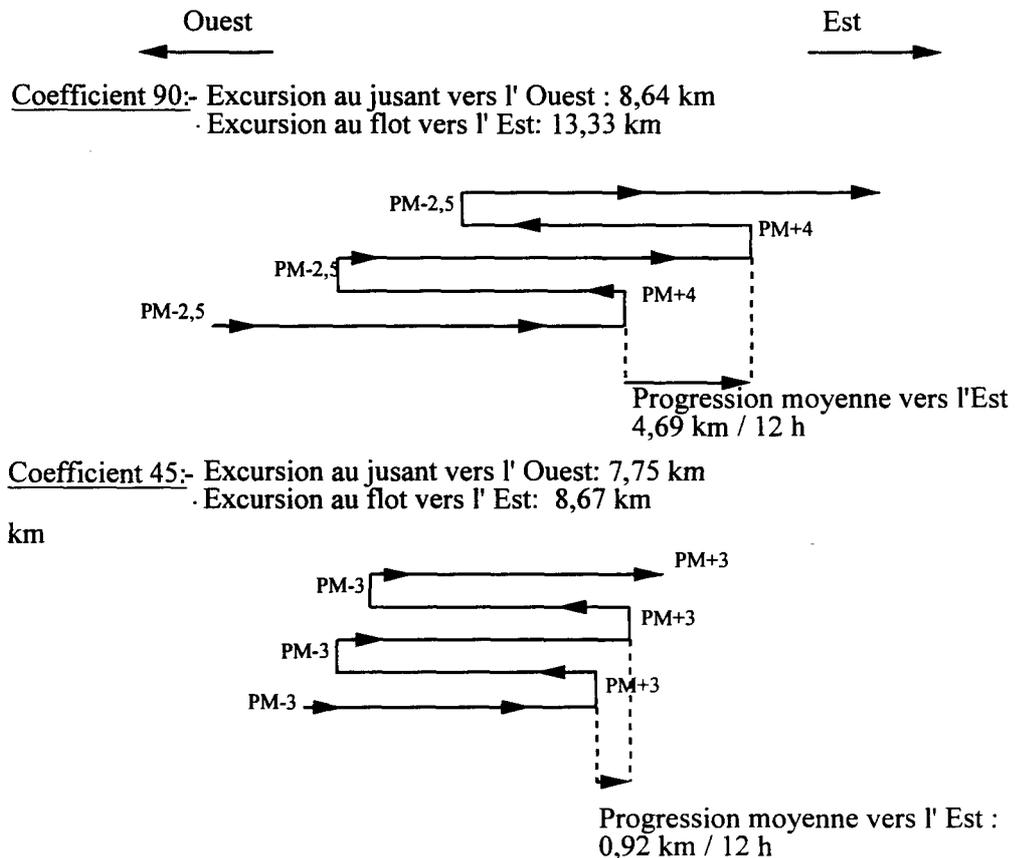


Fig. 1.1. Schéma des courants devant Dunkerque

### 1.2. HYDROGRAPHIE

L'apport d'eau continentale le plus proche est constitué par l'Aa, petit fleuve côtier qui draine l'arrière pays (région de Saint- Omer ) et la plaine maritime. En raison de la très faible altitude de cette plaine, les écoulements à la mer sont contrôlés par des écluses. Il en est de même pour les

deux autres exutoires de la région : Dunkerque (canal Exutoire ) et Calais (Canaux de Marck, de la Rivière Neuve et de St. Omer).

La Dérivation du Canal de Bourbourg est utilisée en période de crue pour évacuer des volumes d'eau importants par le Port Est de Dunkerque. Le Port Est communique avec l'Avant Port Ouest par le Canal des Dunes via une écluse.

Débits moyens estimés :

- Canal de Dunkerque : 4,6 m<sup>3</sup>/s
- Fleuve Aa : 7,5 m<sup>3</sup>/s
- Canaux de Calais : 3,0 m<sup>3</sup>/s
- Canal des Dunes : Pas d'estimation de débit disponible

L'influence de ces cours d'eau n'est pas actuellement sensible sur la qualité de l'eau de mer transitant dans la centrale. Les dessalures significatives observées sur le site (1 à 3 ‰ environ) ont lieu par temps sec quand le vent de nord-est établi sur de longues périodes modifie les courants et amène des eaux du large de la Belgique.

### 1.3. STRATEGIE D' ECHANTILLONNAGE

#### 1.3.1. Domaine pélagique

##### Surveillance des eaux de la Prise et du Rejet

La stratégie d'échantillonnage mise en place depuis 1989 a été reconduite sans modification dans les domaines pélagique et benthique.

Les quatre stations définies précédemment (Prise, Rejet, Contrôle dans le panache de rejet et Référence hors panache) sont étudiées simultanément dans deux situations annuelles différentes (printemps et fin d'été).

Des prélèvements hebdomadaires sont réalisés depuis les berges aux stations Prise et Rejet. Ils concernent la bactériologie (vibrions) et l'étude de la chloration. Le phytoplancton et le zooplancton sont également l'objet de mesures à la prise d'eau, en particulier lors des périodes de blooms.

La périodicité des divers prélèvements réalisés à la Prise d'eau est détaillée dans le tableau ci-après.

Paramètres	Janvier	Février Mars Avril	Mai	Juin Juillet Août	Septembre	Octobre Novembre Décembre
Température	Hebdo	Hebdo	Hebdo	Hebdo	Hebdo	Hebdo
Chlore	“	“	“	“	“	“
Halo formes	“	“	“	“	“	“
Vibrions	“	“	“	“	“	“
Chlorophylle	Mensuel	Hebdo	Hebdo	Hebdo	Hebdo	Mensuel
Phaéopigments	“	“	“	“	“	“
Noctiluques	-	-	Mensuel	Bi- mensuel	Mensuel	-

Tab.1.1 Stratégie de Prélèvements au point Prise d'eau

#### Milieu récepteur

Les deux campagnes de prélèvements en mer se sont déroulées avec le chalutier "JEAN XXIII".

Date	Pleine mer (T.U.)	Coef.	Prise	Rejet	Contrôle	Référence
18/03/99	13h13	105	12h15	10h45	10h10	11h10
22/09/99	09h41	55	12 h05	10h45	11h00	9h50

Tab 1.2. Dates et horaires des campagnes pélagiques

#### 1.3.2 Halieutique

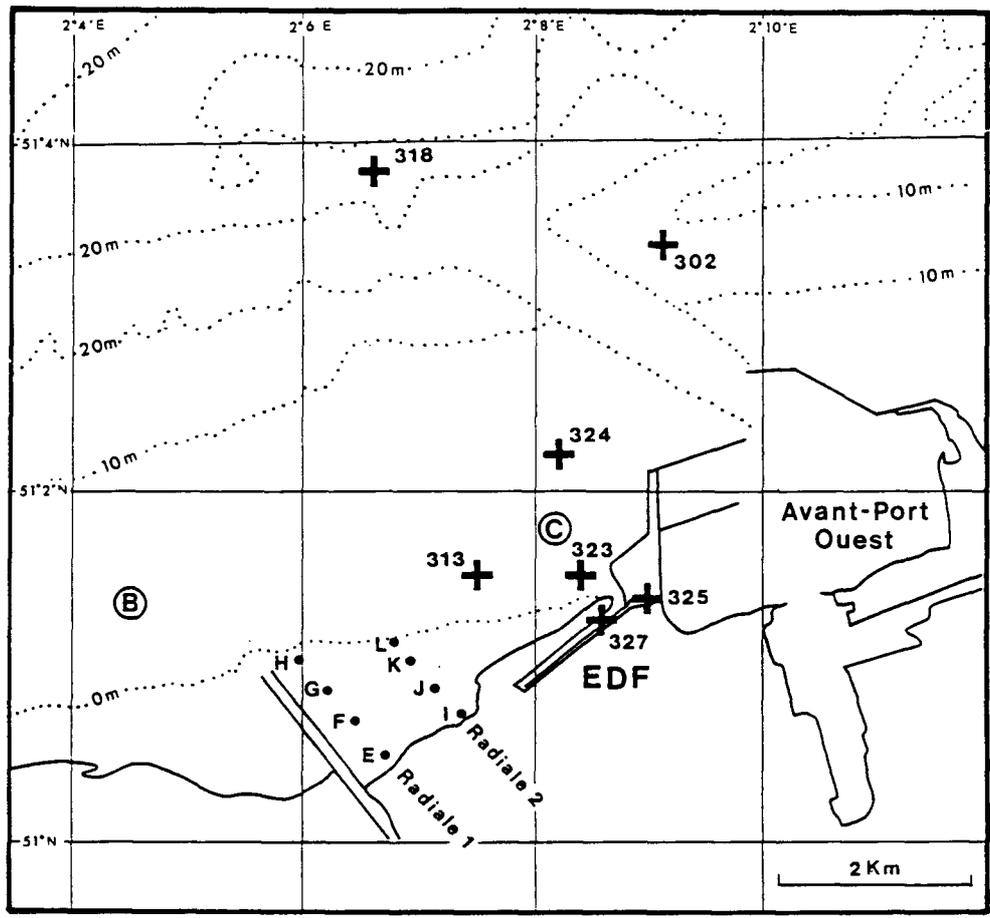
La surveillance du plancton halieutique comprend quatre campagnes :

- 1 campagne à trois stations en mer (10/05/99) selon un gradient côte-large du milieu récepteur.
- 3 campagnes de deux stations au canal d'amenée (21/4/99, 3/6/99 et 24/6/99).

#### 1.3.3 Domaine benthique

Zone intertidale : une campagne annuelle (3/7/99) comprenant deux radiales de 4 stations.

Zone subtidale : surveillance du peuplement à *Abra alba*. Campagnes subtidales de deux stations (21/1/99, 15/4/99, 10/6/99 et 2/9/99).



- +** Points domaine pélagique
- Points domaine subtidal
- Points benthos intertidal

Références des points du domaine pélagique

Point base Quadrige	Latitude Nord	Longitude Est	Ancien libellé (années précédentes et texte 1996)
302	51°03'40	2°09'10	Référence 02 = large (Ch. I à V)
313	51°01'50	2°07'50	Côte= Pt. 1 Halieutique (Ch. I)
318	51°03'80	2°06'60	Référence 18 = Pt. 3 Halieutique (Ch. VI)
323	51°01'50	2°08'40	Côtier (Ch. I à V)
324	51°02'20	2°08'20	Médian ou contrôle (Ch. I à IV)
325	51°01'38	2°09'10	Canal d'Amenée ou prise (Ch. I à V)
327	51°01'26	2°08'60	Canal de rejet (Ch. I à V)

Fig. 1. Points de prélèvements

## **2. CLIMATOLOGIE – HYDROLOGIE – FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE–PRESENTATION DES CAMPAGNES PELAGIQUES**

**Régis DELESMONT & Edith DELESMONT**



## 2.1 CLIMATOLOGIE

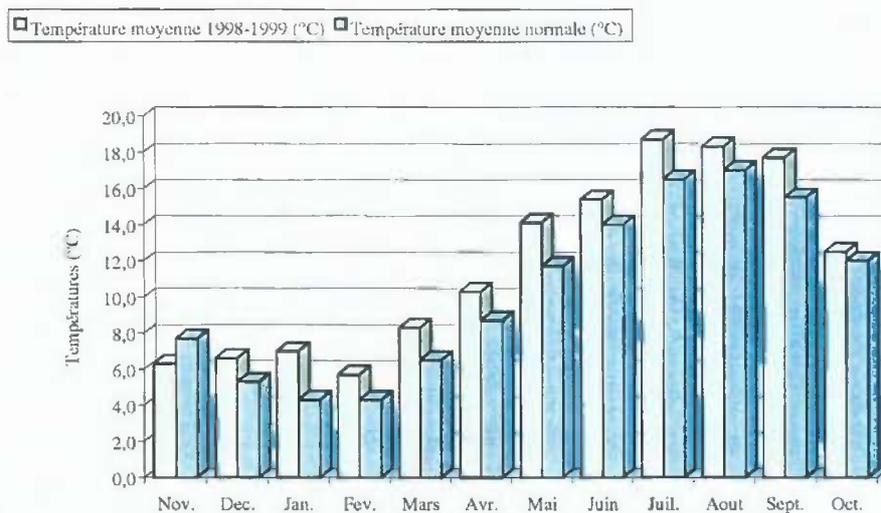


Fig.2.1 Températures mensuelles de l'air à Dunkerque (°C)



Fig.2.2. Précipitations mensuelles à Dunkerque (mm)

Durant la période 1998-1999 des températures plus élevées que la normale ont été relevées; la moyenne annuelle s'établit à 11,4°C soit 1,45°C au-dessus de la normale. La pluviosité globale est également supérieure à la normale avec 769 mm à comparer au 675 mm de valeur moyenne. Les précipitations excédentaires proviennent presque exclusivement des pluies des mois de juin et août.





Le transit de l'eau dans la centrale, calculé sur la base des prélèvements hebdomadaires réalisés, se traduit par un échauffement moyen de 8,35 °C qui est de l'ordre des valeurs enregistrées lors des dernières périodes d'étude.

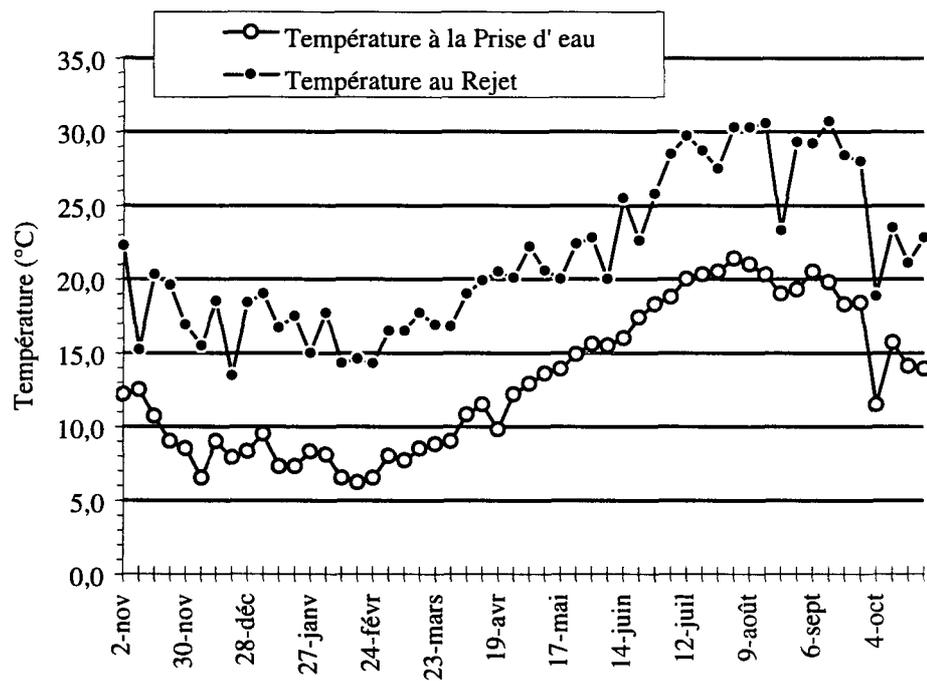


Fig.2.5. Température de l'eau de mer aux points Prise et Rejet

### 2.3.2. Sels nutritifs

En raison des apports en azote dus à l'aquaculture et afin de mieux expliciter les phénomènes phytoplanctoniques, des dosages d'azote ont été réalisés à la prise d'eau et au rejet en mer. Deux formes d'azote ont été mesurées : l'azote réduit ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) et l'azote oxydé ( $\text{tNO}_x$  représentant la somme des nitrates et nitrites).

L'azote oxydé principalement composé de nitrates voit son stock hivernal rapidement consommé dès mars par le phytoplancton. Du printemps à l'automne, les concentrations sont plus élevées au rejet qu'à la prise d'eau. En moyenne annuelle, un écart de 1.5  $\mu\text{mol/l}$  est observé.



### 2.3.3. Campagnes pélagiques

Les deux campagnes annuelles de prélèvement prévues ont été réalisées en mars et en septembre.

En raison des turbulences importantes régnant dans les canaux de prise et de rejet, leurs températures sont considérées comme homogènes sur toute la hauteur d'eau.

L'écoulement en surface du panache de rejet est observé au point de contrôle lors de la campagne de septembre.

En mars, le panache de rejet étant collé à la côte par le courant lors du prélèvement. La profondeur d'eau étant limitée à 3 mètres au point de contrôle, nous n'avons pas observé de stratification.

Les profils verticaux de températures observés lors de la seconde campagne pélagique sont les suivants :

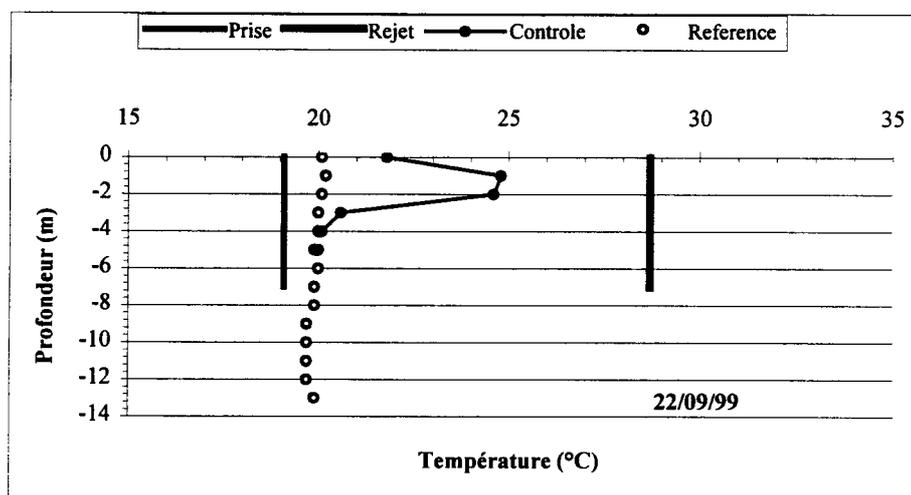


Fig.2.8. Profils de température lors de la seconde campagne de prélèvements en mer

Le point de référence a été prélevé au large en dehors de tout échauffement, de petites quantités de bromoforme sont cependant mesurées à ce point lors de la campagne de septembre. Le critère thermique n'est donc pas suffisant pour définir une référence d'eau non impactée par la centrale.

### Salinité :

Lors de la campagne de septembre, les déterminations de salinités réalisées mettent en évidence une grande homogénéité de l'ensemble de la zone d'étude. La différence entre les valeurs extrêmes mesurées est inférieure à 0,2 o/oo.

L'influence de l'embouchure de l'Aa, proche, ne devrait pas être visible dans les conditions de fin de jusant de cette campagne de prélèvement; le panache des eaux douces sortant de l'estuaire étant alors entraîné à l'ouest de la zone d'étude.

Date	Profondeur	Prise	Rejet	Contrôle	Référence	
22/09/99	Surface	34,65	34,66	34,66	34,70	
		34,63	34,66	34,65	34,72	
		34,65	34,66	34,65		
		34,66	34,66	34,66		
	Mi-profondeur				34,72	
					34,72	
	Fond				34,65	34,74
					34,65	
					34,64	
					34,69	

Tab 2.4. Salinités lors de la campagne pélagique de Septembre 1999



### **3. ETUDE DE LA CHLORATION ET BACTERIOLOGIE**

Régis DELESMONT & Edith DELESMONT





La persistance du bromoforme en mer permet également de chiffrer le pourcentage d'eau de refroidissement qui passe une seconde fois dans la centrale. La valeur calculée en 1998-1999 est de 6,8 % pour la période de chloration. Cette valeur est conforme aux valeurs habituelles qui variaient entre 3,5 et 7 % en relation probable avec la météorologie influençant la dispersion en mer du panache de rejet de la centrale.

Ce pourcentage a une grande importance sur le plan bactériologique car le recyclage de l'eau du rejet permet de sélectionner et de fixer sur le site des espèces bactériennes.

Le graphique 3.1 permet de visualiser la concentration en bromoforme au rejet en relation avec la température de l'eau à la prise d'eau.

Les deux autres composés formés et mis en évidence sont également bromés :

- chlorodibromométhane ( $\text{CHClBr}_2$ ): 5,7 % du total formé avec une concentration moyenne de 1,22  $\mu\text{g/l}$
- dichlorobromométhane ( $\text{CHCl}_2\text{Br}$ ) : 0,37 % du total formé avec une concentration moyenne de 0,08  $\mu\text{g/l}$

Les quantités relatives de ces composés sont liées entre elles par des relations linéaires:

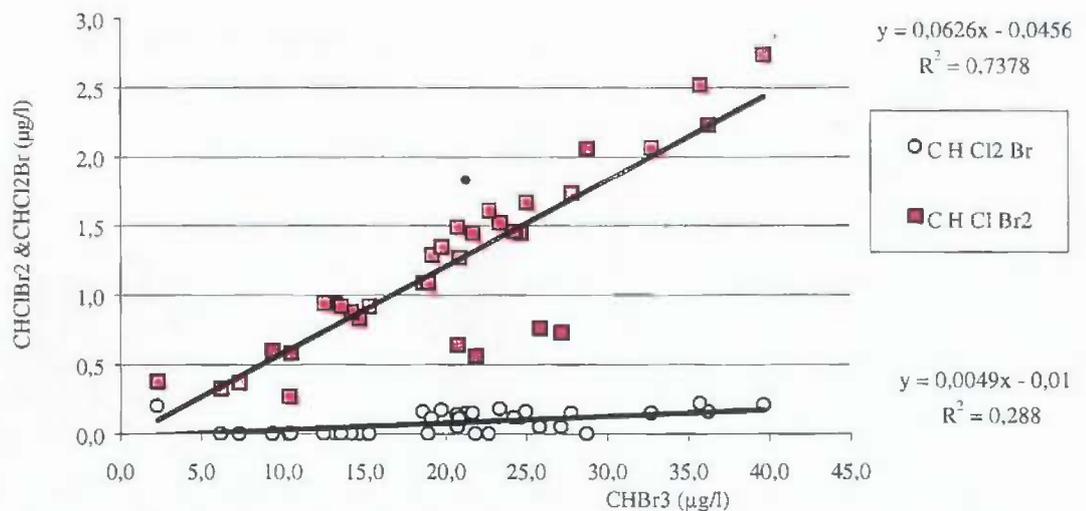


Fig.3.2..Relation entre deux espèces d'haloformes au rejet

Cette année pour la seconde fois, ont été entreprises des recherches de bromo-phénols, composés issus de la chloration de masse plus importante que les tri-halo-méthanés.

Les dosages ont été réalisés en chromatographie en phase gazeuse après dérivation. Contrairement à la période précédente où de faibles quantités de 2-4-6 tri bromo-phénol avaient été mesurées, aucun composé de cette famille n'a été détecté cette année.

Bromo-phénols (µg/l)	2-4-6-Bromo-phénol (µg/l)	2-4-Bromo-phénol (µg/l)	2-6-Bromo-phénol (µg/l)	2-Bromo-phénol (µg/l)	3-Bromo-phénol (µg/l)	4-Bromo-phénol (µg/l)
18/01/99	<0,01	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
01/02/99	<0,01	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
23/03/99	<0,01	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
12/04/99	<0,01	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
05/05/99	<0,01	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
01/06/99	<0,01	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
06/07/99	<0,01	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
13/09/99	<0,01	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
20/09/99	<0,01	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
04/10/99	<0,01	<0,05	<0,05	<1	<1	<1

Tab.3.1. Dosages de bromo-phénols au rejet

### 3.2. BACTERIOLOGIE

Depuis 1989, les études bactériologiques portent uniquement sur les vibrions. En effet, cette catégorie de bactéries marines est particulièrement sensible aux modifications du milieu apportées par la centrale et par d'importantes activités aquacoles sur le site même du rejet (production prévue : 2 000 tonnes/an).

Les mesures ne concernent que les vibrions capables de cultiver à 37 °C ; ces bactéries marines pouvant présenter des caractères pathogènes pour l'homme.

Dans le milieu marin, l'abondance des vibrions varie avec la température de l'eau : peu nombreux en hiver, leur plus grande population est observée en fin d'été.

A Gravelines, le transit de l'eau de mer dans la centrale (et les installations aquacoles) entraîne une importante multiplication des vibrions qui amplifie le cycle naturel d'abondance de ces bactéries.

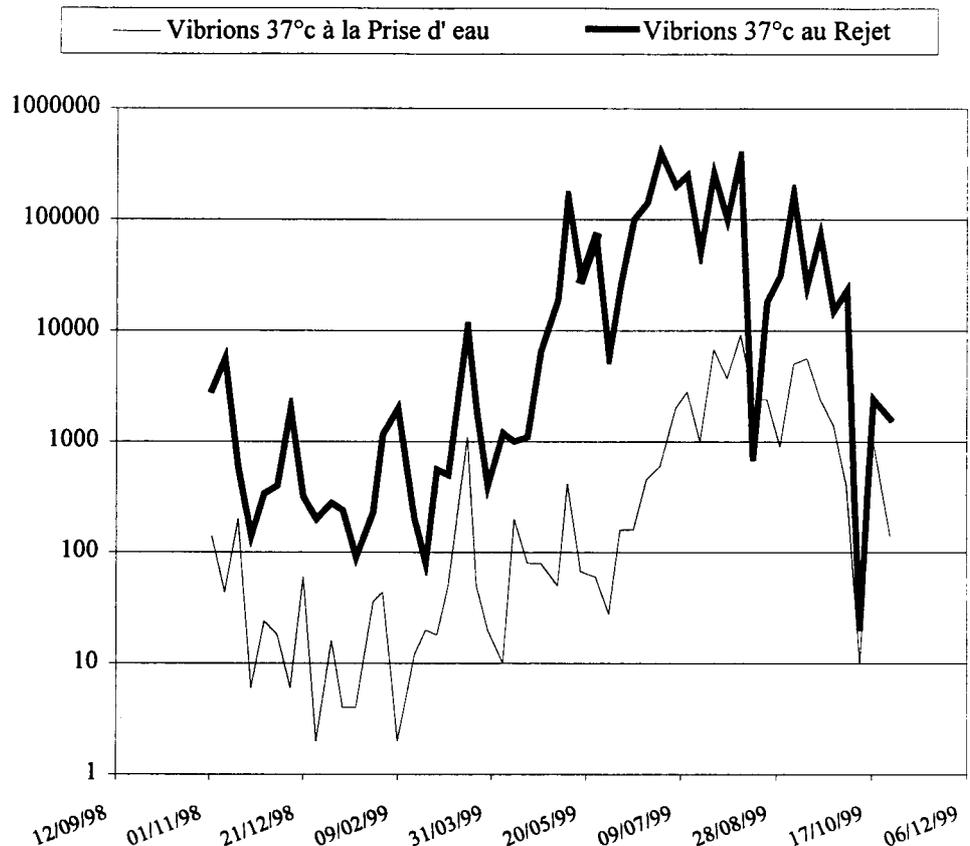


Fig.3.3. Abondance des vibrions cultivables à 37 °C- (Vibrions/l en échelle logarithmique)

En 1998-1999, leur nombre est, en moyenne géométrique annuelle, multiplié par 35 entre la Prise et le Rejet. Ce phénomène est de moins grande ampleur que lors des périodes précédentes en raison des concentrations importantes mesurées à la prise d'eau.

En effet, la concentration moyenne des vibrions à la prise d'eau est, cette année, de 128 par litre, ce qui est supérieur au maximum précédemment enregistré en 1995 (116 vibrions par litre). Le cycle annuel de l'abondance des vibrions à la prise d'eau conserve la même allure que lors des études d'avant projet mais avec des concentrations 10 fois supérieures.

La température de l'eau de mer est, depuis le début des études de surveillance, le facteur du milieu expliquant le mieux les concentrations en vibrions.

Un accroissement de la température de l'eau d'environ 5°C se traduit par une abondance en vibrions environ 10 fois plus grande. Pour l'ensemble des mesures réalisées à la prise d'eau et au rejet lors de ce cycle d'étude, les relations entre concentration en vibrions et température sont les suivantes :

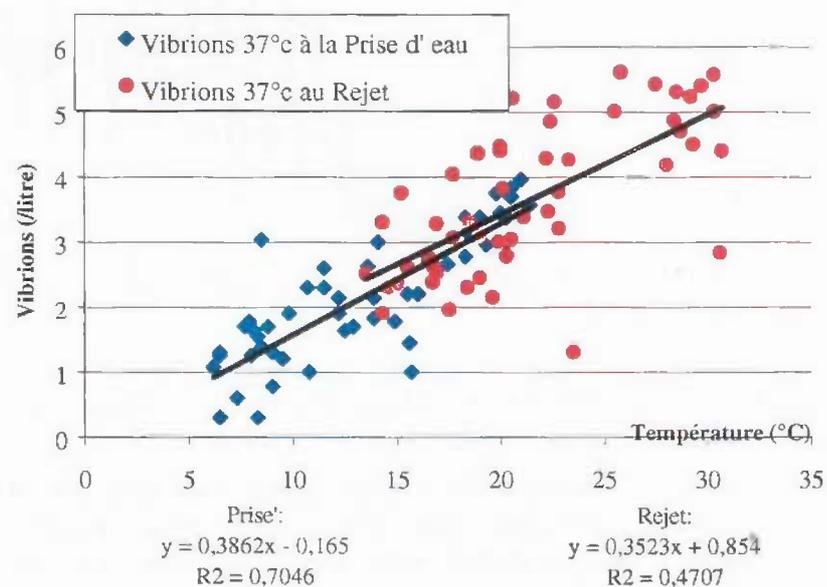


Fig.3.4. Relation entre température et concentration en vibrions aux points Prise et Rejet

En dépit de variations liées aux conditions climatiques, l'amplitude du cycle d'abondance des vibrions dans le rejet est relativement stable depuis la mise en service des six tranches de la centrale de Gravelines (cycle 1986).

Si les concentrations maximales observées semblent se stabiliser, l'amplitude des cycles annuels semble se réduire. La clémence des derniers hivers ou le développement de l'aquaculture pourraient être à l'origine de ce phénomène.

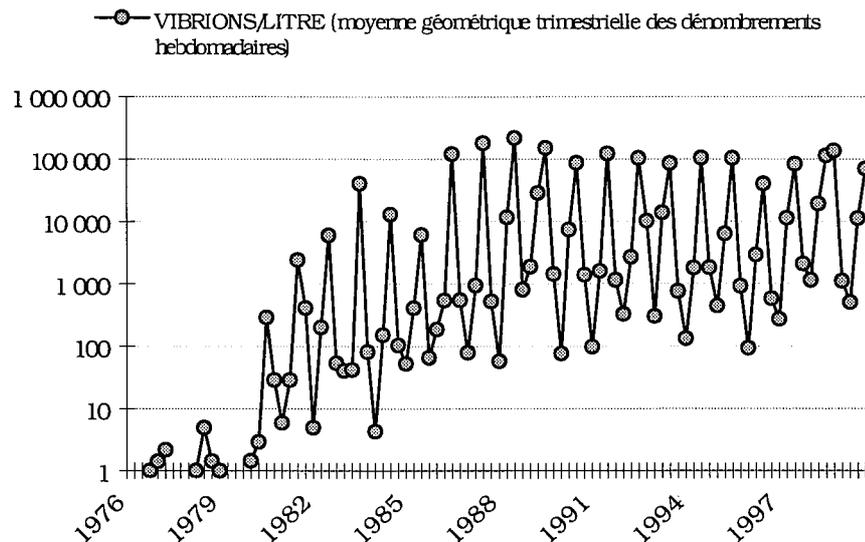


Fig.3.5. *Vibrions par litre : moyenne géométrique des abondances hebdomadaires de 1976 à 1999.*

Avant 1984, la quasi totalité de la flore des vibrions isolés sur le site était représentée par *Vibrio alginolyticus*. Parallèlement au développement de l'aquaculture sur le site, une diversité croissante des espèces de vibrions a été observée. Au rejet en 1998-1999, *Vibrio alginolyticus* reste l'espèce la plus souvent isolée malgré un pourcentage moyen d'isolement de 67,9 %.

*Vibrio Cholerae non agglutinable* est la seconde espèce par ordre d'importance avec un pourcentage d'isolement de 13,3 %.

Ce pourcentage d'isolement de *V. cholerae* Nag est en baisse par rapport à la période précédente : il est de l'ordre de la moyenne mesurée depuis 1989 soit 10,7 %. Les souches de *Vibrio cholerae* isolées sur le site ne sont pas agglutinables par les sérums anti-*Vibrio cholerae* O1 (Nag) et sont halophiles strictes, ce qui permet de les différencier a priori des souches pathogènes.

Les autres espèces mises en évidence en 1998-1999 sont : *Vibrio damsela*, *V. fluvialis*, *V. metschnikovii*, *V. mimicus*, *V. hollisae*, *V. vulnificus* et *V. parahaemolyticus*.

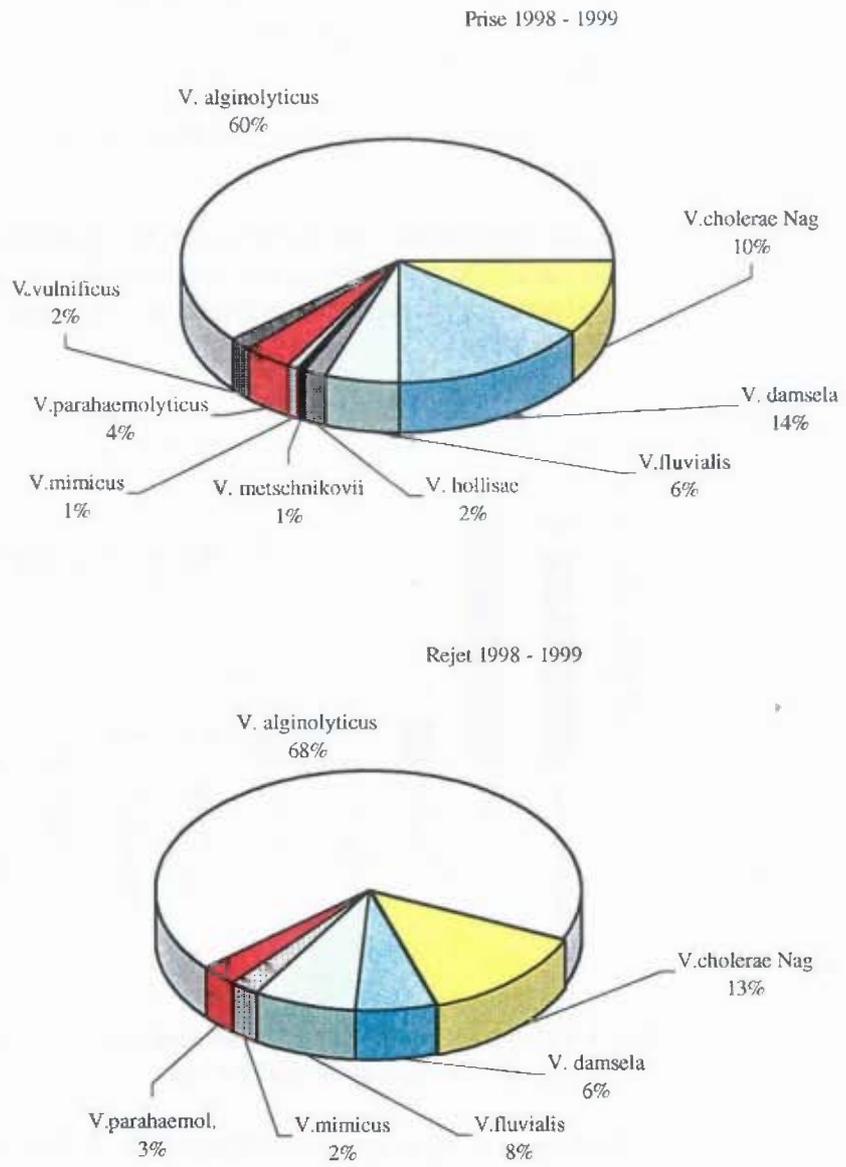


Fig.3.6 Pourcentages moyens d'isolement des diverses espèces de vibrions aux points Prise et Rejet

*Vibrio alginolyticus* reste l'espèce la plus adaptée aux conditions actuelles du site avec un facteur moyen de multiplication de 41 fois entre la prise et le rejet. *Vibrio cholerae* Nag, qui occupe depuis quelques années la seconde place par l'importance de sa multiplication sur le site, a cette année un facteur de multiplication de 6,7 fois.

La concentration moyenne en *Vibrio fluvialis* est multipliée par 4,6 durant le transit.

En ce qui concerne les espèces rares (présentes à des concentrations moyennes de l'ordre de une bactérie par litre), du fait du petit nombre d'identifications réalisées, lors des dénombrements, la multiplication observée est peu significative.

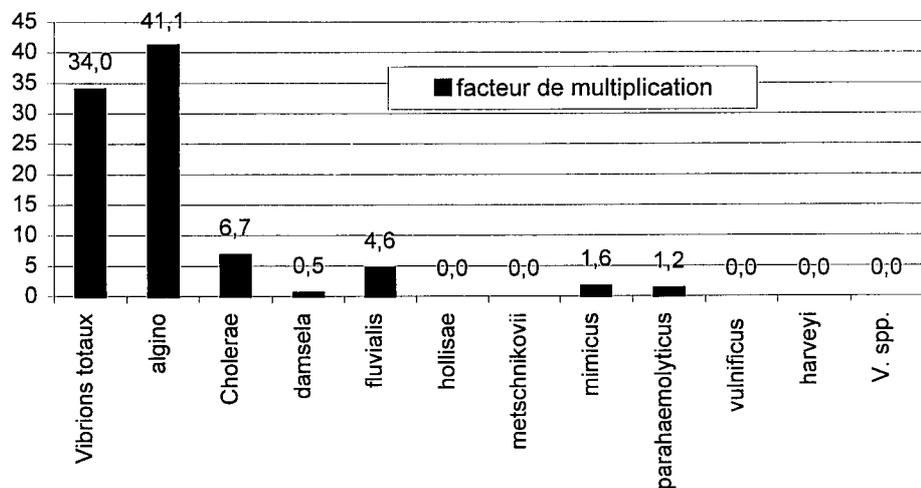


Fig.3.7 Rapport des concentrations moyennes des diverses espèces de vibrions entre les points Rejet et Prise.

La figure ci-après représente l'évolution de la composition des populations de vibrions dans le rejet depuis 1989. Le pourcentage d'isolement de *V. alginolyticus* exceptionnellement faible de la période précédents (56 %) retrouve une valeur plus conforme à celles observées depuis quelques années (68 %). Il en est de même pour le pourcentage de *V. cholerae* Nag (non 01) qui avait atteint 20 % en 1998-1999 et revient à 13 % (valeur 1993).

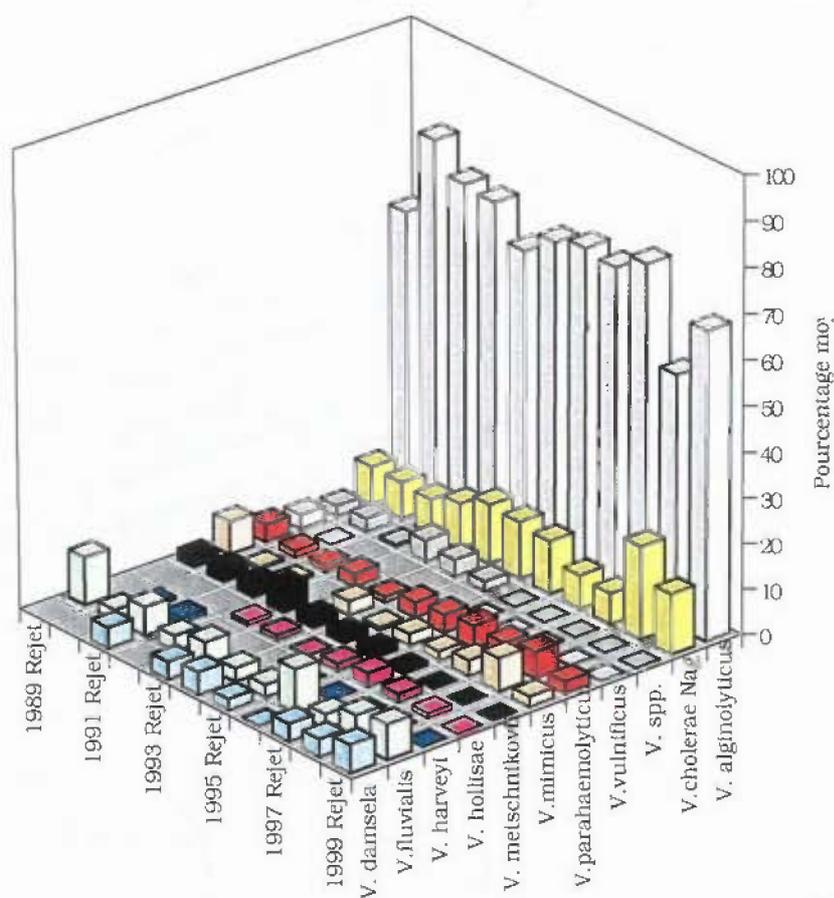


Fig.3.8. Evolution de l'abondance relative des diverses espèces de vibrions de 1989 à 1999 au rejet (moyennes trimestrielles des pourcentages d'abondances hebdomadaires)

### 3.3. AUTRES POINTS DE CONTROLE

#### 3.3.1. Influence de l'aquaculture

Depuis 1984, l'eau tiède produite par la centrale est utilisée pour alimenter des piscicultures en eau de mer. Une ferme expérimentale d'une capacité de

production de 80 tonnes par an a été remplacée en 1992 par des structures plus importantes d'une capacité de 1 000 t/an. Depuis septembre 1996, un nouvel arrêté préfectoral autorise la production de 2 000 tonnes de poissons/an sur le site.

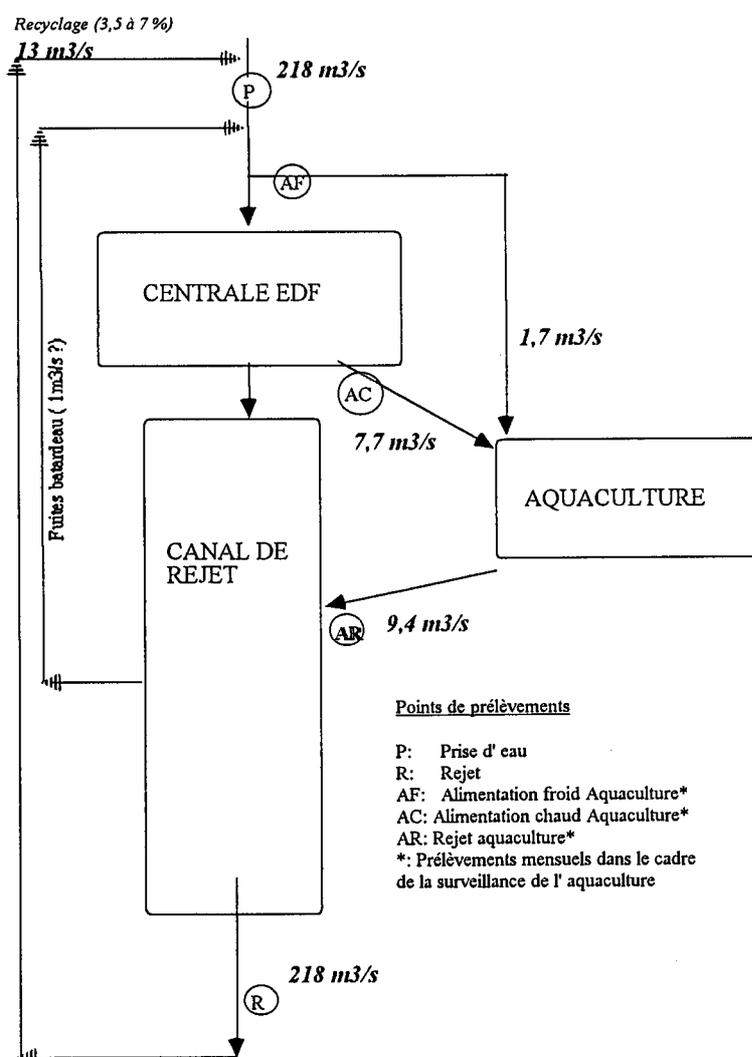


Fig.3.9 Schéma de la circulation de l'eau sur le site de Gravelines – Points de surveillance – 1999

Cette figure schématise la circulation de l'eau sur le site de Gravelines. Les fermes aquacoles sont alimentées en eau chaude à partir des déversoirs de tranches en tête du canal de rejet. Afin de maintenir les élevages à une température la plus proche possible de 25°C, de l'eau froide est pompée dans le canal de prise d'eau de mai à septembre. Le débit total utilisable est actuellement de l'ordre de 12 m<sup>3</sup>/s. Le rejet des eaux aquacoles se fait par un déversoir dans la partie amont du canal de rejet EDF. La quantité moyenne d'eau utilisée par l'aquaculture est cette année de 9,4 m<sup>3</sup>/s.

Une éclosérie marine utilise également le pompage des fermes aquacoles et rejette ses eaux dans le circuit de rejet commun ; le débit utilisé est faible, de l'ordre de 10 l/s.

Depuis le mois de mai 1992, les établissements aquacoles sont soumis à une surveillance mensuelle de leur rejet dans le cadre d'un arrêté préfectoral. Les mesures portent sur la pollution organique et incluent la recherche des vibrions selon la même méthodologie que celle adoptée pour la surveillance de la centrale électrique.

Afin d'apprécier l'influence de l'aquaculture sur le rejet de la centrale, les résultats obtenus dans le cadre de la surveillance aquacole pour la période de janvier à décembre 1999 ont été comparés à ceux de la surveillance de la centrale aux mêmes dates.

1999 - Concentrations mensuelles (Vibrions/litre)

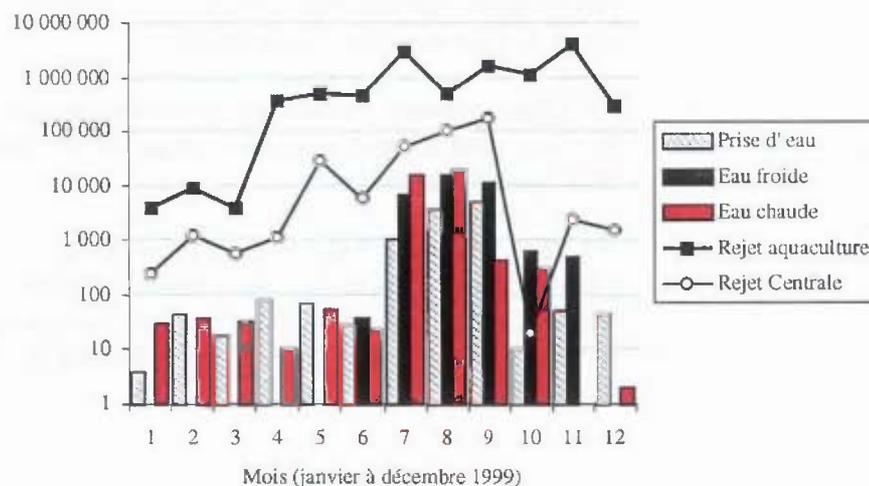


Fig.3.10 Concentrations moyennes des vibrions (Vibrions/litre-base mensuelle)

Les concentrations en vibrions dans le rejet aquacole sont toute l'année supérieures à celles du rejet en mer. En moyenne annuelle, les vibrions sont 8 fois plus abondants dans le rejet aquacole.

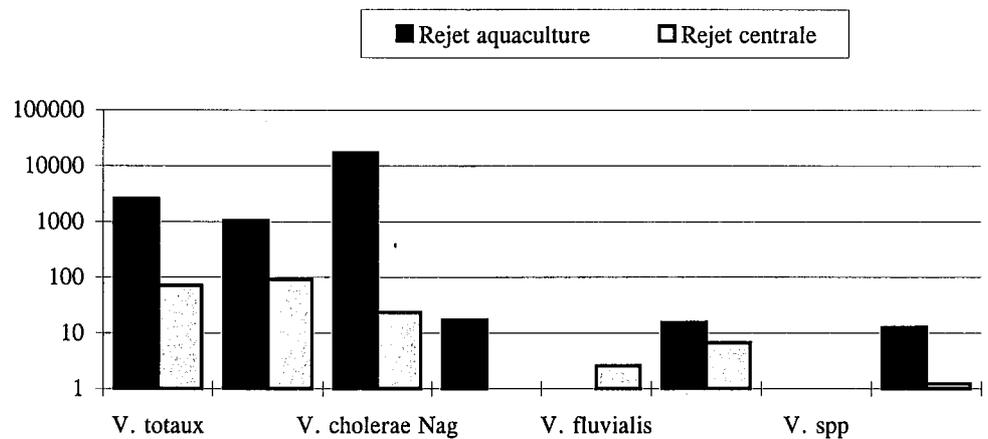


Fig.3.11. Facteurs de multiplication des vibrions (base de mesure mensuelle)

La chloration par EDF réduit nettement les concentrations en vibrions dans les déversoirs de tranches (point "eau chaude"). La multiplication des bactéries se produit dans l'eau échauffée dès que l'oxydant résiduel a disparu (extrémité du canal de rejet et bassins aquacoles).

La figure suivante représente les pourcentages des différentes espèces de vibrions dans le rejet aquacole comparés aux valeurs du rejet de la centrale prélevé aux mêmes dates.

Au rejet de la centrale et à la prise d'eau, les pourcentages calculés sont sensiblement différents de ceux mesurés avec les prélèvements hebdomadaires. La fiabilité des résultats est cependant plus faible compte tenu du plus petit nombre d'échantillons concernés (12 au lieu de 52).

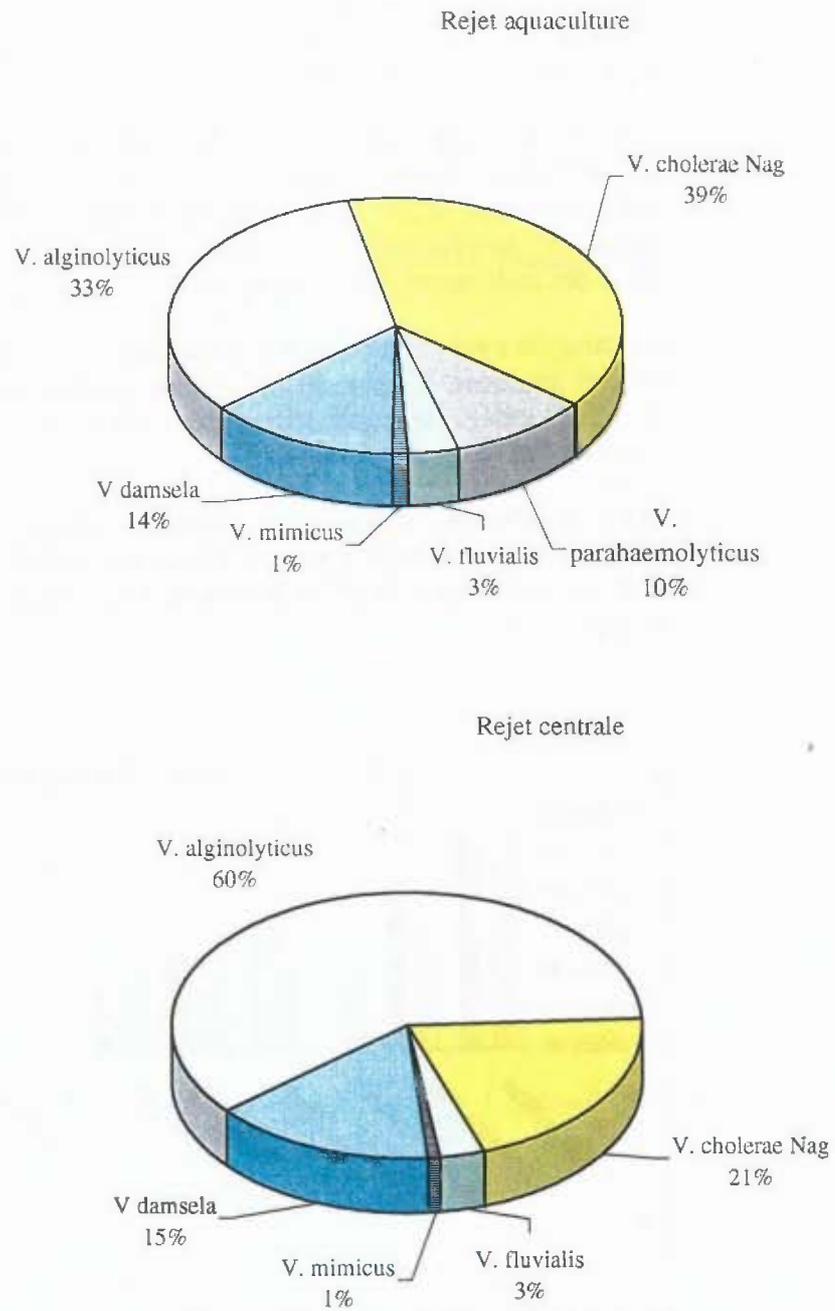


Fig.3.12. Pourcentages moyens des espèces de vibrions (contrôle mensuel)

Les espèces concernées par la multiplication dans les fermes aquacoles sont *Vibrio alginolyticus*, *V. cholerae* Nag, *V. parahaemolyticus* et *V. damsela*. Les concentrations moyennes de ces espèces sont beaucoup plus élevées dans le rejet aquacole qu'à l'extrémité du canal EDF.

Dans le rejet aquacole, *Vibrio alginolyticus* ne représente que 32 % des isollements de vibrions. *Vibrio cholerae* Nag est l'espèce la plus fréquemment isolée avec 38,9 % (32 % en 1996, 24 % en 1997, 47 % en 1998). Cette année encore, *V. parahaemolyticus* est bien représenté dans le rejet aquacole avec 10 % des isollements, valeur comparable à celle de 1998 (9 %).

Le canal de rejet de la centrale est alimenté par les déversoirs (eau chaude) et le rejet aquacole. Compte tenu des concentrations respectives en vibrions de ces alimentations, la grande majorité des vibrions ensemençant le canal de rejet provient de l'aquaculture.

Une estimation des flux moyens annuels de vibrions a été réalisée en utilisant les résultats de contrôle mensuel. En ce qui concerne les vibrions totaux, le flux émis par l'aquaculture est le tiers du flux total de vibrions sortant du canal de rejet.

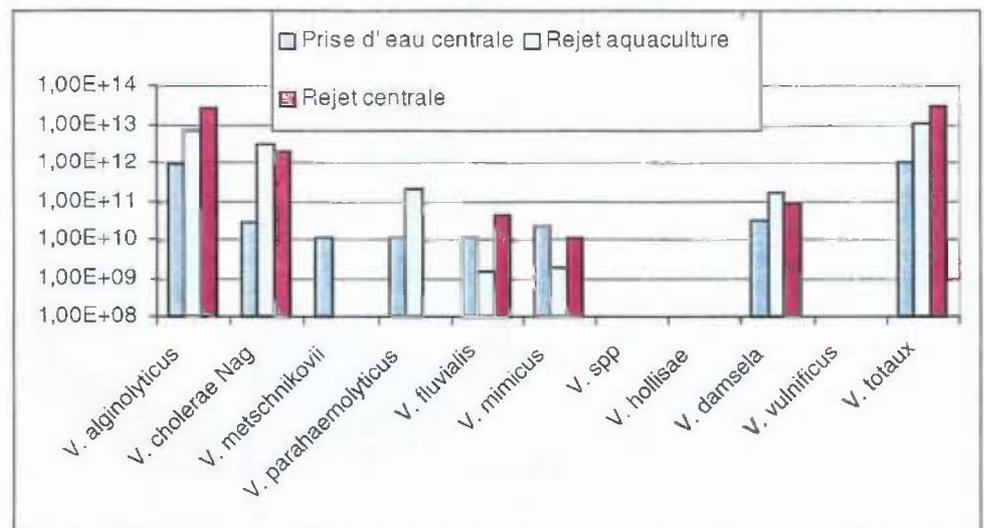


Fig.3.13 Flux en vibrions/24 heures(mesures mensuelles)

## 3.3.2. Campagnes pélagiques

		Température (°C)	Vibrions totaux (/l)	V. alginolyticus	V. cholerae Nag	V. damsela	V. fluvialis	V; parahaemolyticus	CHCl2Br (µg/l)	CHClBr2 (µg/l)	CHBr3 (µg/l)
18/03/99	Prise	8,5	1100	100			1000				
	Rejet	17,7	11000	7000			4000				
	Contrôle	20,9	12000	9000			3000				
	Référence	9,4	600	600							
22/09/99	Prise	19,1	2600	1600		1000				0,07	1,22
	Rejet	28,7	180	130	50				0,13	1,34	22,3
	Contrôle	24,9	320	60	260					0,77	14,6
	Référence	20,1	420	120	100			200		0,03	0,47

Tab.3.2. Campagnes pélagiques. Bactériologie et chloration

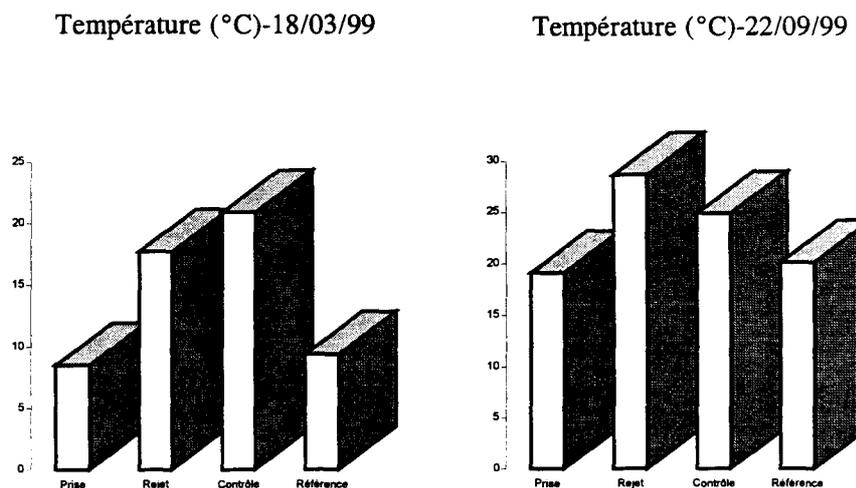
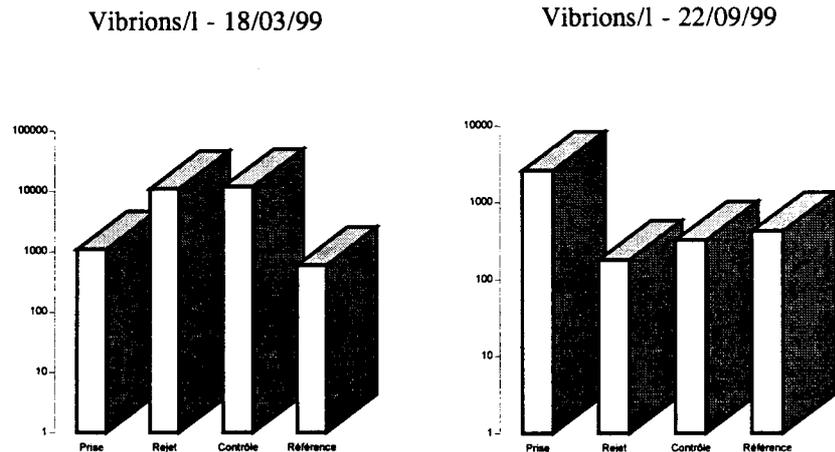


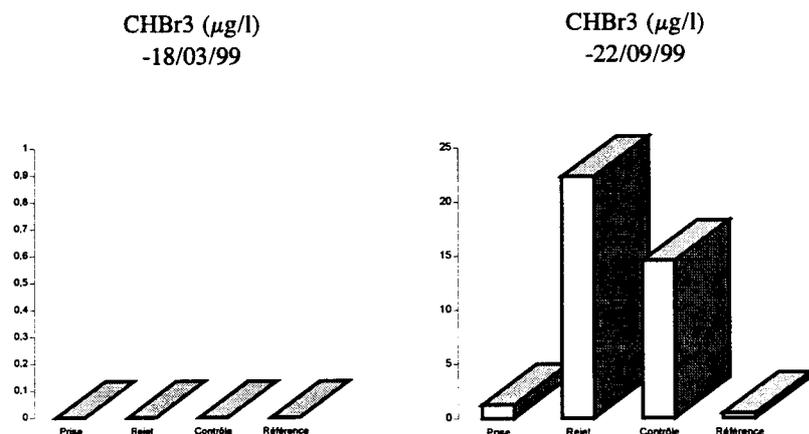
Fig.3.14. Campagnes pélagiques - Températures

On n'observe pratiquement aucune dilution du rejet en mer au point contrôle lors des deux campagnes. En effet, par temps calme, les eaux du rejet se mélangent peu et s'étalent sur l'eau de mer plus froide comme le montrent les figures ci-dessus représentant les températures de surface.



*Fig.3.15. Campagnes pélagiques – Vibrions*

Les vibrions sont en concentration plus importante au rejet et au point Contrôle que dans le milieu marin non concerné par le panache de rejet lors de la campagne de mars. En septembre, le prélèvement du point Rejet a été réalisé à partir du radeau situé en amont du point habituel. A cet endroit, le chlore résiduel est encore suffisant pour entraver la multiplication des vibrions. Les concentrations sont exceptionnellement plus faibles au contrôle qu'à la prise d'eau.



*Fig.3.16.. Campagnes pélagiques - Bromoforme*

En mars, la chloration n'est pas en service et le bromoforme n'est pas détecté sur le site. Lors de la campagne de septembre, il est mesurable sur l'ensemble de la zone d'étude.

### 3.3. CONCLUSION

Les résultats obtenus cette année précisent et confirment les modifications du milieu observées lors des dernières études de surveillance écologique du site de Gravelines.

La chloration de l'eau a été en service durant 8 des 12 mois de la période 1998-1999. Les composés chimiques formés sont essentiellement bromés. Le plus abondant est le bromoforme avec une concentration moyenne de 20,2 µg/l (94 % du total). Les dosages d'haloformes et, en particulier, du plus abondant d'entre eux, le bromoforme, permettent de mesurer l'étendue du panache de rejet et d'estimer le taux de recirculation de l'eau de refroidissement (6,8 % en 1998-1999). Le 2-4-6 bromo-phénol n'a pas été mis en évidence cette année, contrairement à l'année précédente.

Le passage de l'eau dans l'ensemble constitué par la centrale électrique et les installations aquacoles entraîne une multiplication importante du nombre des vibrions (35 fois en moyenne géométrique).

L'amplitude du cycle des vibrions dans le rejet est relativement stable depuis la mise en service des six tranches de la centrale de Gravelines (cycle 1986). Cependant les niveaux hivernaux semblent s'élever peut être en raison des hivers cléments ou du développement de l'aquaculture sur le site.

Avant 1984, la quasi totalité de la flore des vibrions isolés sur le site était représentée par *Vibrio alginolyticus*. Parallèlement au développement de l'aquaculture sur le site, une diversité croissante des espèces de vibrions a été observée. Cette diversité des espèces de vibrions est pleinement confirmée cette année. *Vibrio alginolyticus* qui était auparavant la seule espèce de vibron mise en évidence sur le site, reste l'espèce majoritaire dans le rejet de la centrale avec 68 % des isollements. Le rôle important de l'aquaculture dans les modifications de la microflore bactérienne est mis en évidence par la mesure de son rejet dans le canal de la centrale.

*Vibrio cholerae* Nag est la seconde espèce par ordre d'importance avec un pourcentage de 13 %. Ce pourcentage d'isolement de *V. cholerae* Nag est plus faible qu'en 1997-1998 où il avait atteint 20 %. Les souches de *Vibrio cholerae* isolées sur le site ne sont pas agglutinables par les sérums anti-*Vibrio cholerae* O1 (Nag) et sont depuis trois ans halophiles strictes, ce qui permet de les distinguer des souches épidémiques. (En ce qui concerne *Vibrio cholerae*, il convient de rappeler que cette espèce comprend environ 140 sérotypes et que

seulement deux de ces sérotypes présentent un risque sanitaire important. Ces deux sérotypes n'ont jamais été mis en évidence sur le site de Gravelines).

Les autres espèces mises en évidence sur le site en 1998-1999 sont : *Vibrio damsela*, *V. mimicus*, *V. hollisae*, *V. vulnificus*, *V. parahaemolyticus*, *V. metschnikovii* et *V. fluvialis*.

## **ANNEXES**

**Régis DELESMONT & Edith DELESMONT**



Date	Puissance moyenne (MWh)	Débit (m3/sec.)	Echauffement calculé (°C)	Echauffement mesuré (°C)
02/11/98	4876	236,0	9,9	10,1
09/11/98	4971	245,0	9,7	2,7
16/11/98	5234	245,0	10,2	9,6
23/11/98	4894	244,0	9,6	10,6
30/11/98	5128	245,0	10,0	8,4
07/12/98	5053	242,0	10,0	9,0
14/12/98	5068	230,0	10,5	9,5
21/12/98	5066	245,0	9,9	5,6
28/12/98	3666	245,0	7,1	10,1
05/01/99	4676	239,0	9,3	9,5
11/01/99	4074	218,0	8,9	9,4
18/01/99	4218	204,0	9,9	10,2
27/01/99	4232	204,0	9,9	6,7
01/02/99	4182	204,0	9,8	9,6
09/02/99	4186	204,0	9,8	7,8
18/02/99	3105	210,0	7,1	8,4
24/02/99	3430	201,0	8,2	7,8
02/03/99	2556	204,0	6,0	8,5
08/03/99	3909	204,0	9,2	8,8
18/03/99	4149	231,0	8,6	9,2
23/03/99	4095	225,0	8,7	8,1
29/03/99	3851	230,0	8,0	7,8
06/04/99	3597	232,0	7,4	8,2
12/04/99	4792	245,0	9,3	8,4
19/04/99	4682	239,0	9,4	10,7
26/04/99	4037	205,0	9,4	7,9
05/05/99	3816	204,0	8,9	9,3
10/05/99	3094	204,0	7,2	7,0
17/05/99	3008	204,0	7,0	6,1
25/05/99	3045	225,0	6,5	7,5
01/06/99	2334	178,0	6,3	7,2
07/06/99	3095	198,0	7,5	4,5
14/06/99	3984	204,0	9,3	9,5
21/06/99	3984	204,0	9,3	5,2
28/06/99	3847	204,0	9,0	7,5
06/07/99	4029	204,0	9,4	9,7
12/07/99	3633	204,0	8,5	9,7
19/07/99	4266	235,0	8,7	8,4
26/07/99	4159	244,0	8,1	7,0
02/08/99	4874	244,0	9,5	8,9
09/08/99	4748	244,0	9,3	9,3
16/08/99	4279	238,0	8,6	10,3
23/08/99	3317	220,0	7,2	4,3
30/08/99	3273	175,0	8,9	10,0
06/09/99	3104	160,0	9,3	8,7
13/09/99	3195	163,0	9,4	10,9
20/09/99	3071	163,0	9,0	10,1
27/09/99	3248	183,0	8,5	9,6
04/10/99	3328	221,0	7,2	7,4
11/10/99	3552	230,0	7,4	7,8
18/10/99	4185	241,0	8,3	7,0
27/10/99	3945	241,0	7,8	8,9

Tab.3.A.1 Fonctionnement de la centrale

Date	Température	Vibrions 37°c	V. alginolyticus	V. cholerae Nag	V. damsela	V. fluvialis	V. harveyi	V. hollisae	V. metschnikovii	V. mimicus	V. parahaemolyticus	V. vulnificus	V. spp.
02/11/98	12,2	140	43	54	43								
09/11/98	12,5	44	32		12								
16/11/98	10,7	200	60	50	40							50	
23/11/98	9,0	6	6										
30/11/98	8,5	24	24										
07/12/98	6,5	18	16		2								
14/12/98	9,0	6	6										
21/12/98	7,9	60	20	20	20								
28/12/98	8,3	2	2										
05/01/99	9,5	16	16										
11/01/99	7,3	4	4										
18/01/99	7,3	4	2		2								
27/01/99	8,3	36	28								8		
01/02/99	8,1	44	14			10					20		
09/02/99	6,5	2	2										
18/02/99	6,2	12	2					10					
24/02/99	6,5	20			12	8							
02/03/99	8,0	18	12		6								
08/03/99	7,7	50	20			30							
18/03/99	8,5	1 100	100			1 000							
23/03/99	8,8	50	50										
29/03/99	9,0	20	20										
06/04/99	10,8	10	10										
12/04/99	11,5	200	200										
19/04/99	9,8	80	80										
26/04/99	12,2	80	5		10	65							
05/05/99	12,9	50	5	15								30	
10/05/99	13,6	420	60	300	60								
17/05/99	13,9	67	7	47							13		
25/05/99	14,9	60	40	20									
01/06/99	15,6	28	12	8	8								
07/06/99	15,5	160	10		150								
14/06/99	16,0	160	40	70	40						10		
21/06/99	17,4	460	280		160					20			
28/06/99	18,3	600	600										
06/07/99	18,8	2 000	100	200	1 200	100				200	200		
12/07/99	20,0	2 800	1 900		600				200		100		
19/07/99	20,3	1 000	800						200				
26/07/99	20,5	6 800	6 800										
02/08/99	21,4	3 700	2 500							1 200			
09/08/99	21,0	9 200	5 200		4 000								
16/08/99	20,3	2 400	1 200	800							400		
23/08/99	19,0	2 400	2 100		300								
30/08/99	19,3	900	900										
06/09/99	20,5	5 000	3 600		1 400								
13/09/99	19,8	5 600	2 600	2 000							1 000		
20/09/99	18,3	2 400	1 300		1 100								
27/09/99	18,4	1 400	400		600						400		
04/10/99	11,5	400	240		160								
11/10/99	15,7	10	10										
18/10/99	14,1	1 000	1 000										
27/10/99	13,9	140	20	100							20		

Tab.3.A 2 Bactériologie -mesures hebdomadaires à la Prise d'eau

Date	Température	Vibrions 37°c	V. alginolyticus	V. cholerae Nag	V. damsela	V. fluvialis	V. harveyi	V. hollisae	V. metschnikovii	V. mimicus	V. parahaemolyticus	V. vulnificus	V. spp.
02/11/98	22,3	2 900	2 800	100									
09/11/98	15,2	5 600	1 600	2 000		2 000							
16/11/98	20,3	600	320		80	200							
23/11/98	19,6	140	140										
30/11/98	16,9	340	340										
07/12/98	15,5	400	340		60								
14/12/98	18,5	2 000	1 600								400		
21/12/98	13,5	320	200	120									
28/12/98	18,4	200	200										
05/01/99	19,0	280	80	200									
11/01/99	16,7	240	40		200								
18/01/99	17,5	90	10		40	40							
27/01/99	15,0	230	230										
01/02/99	17,7	1 160	540		620								
09/02/99	14,3	2 000	1 300			700							
18/02/99	14,6	200	200										
24/02/99	14,3	80	80										
02/03/99	16,5	560	560										
08/03/99	16,5	500	300			200							
18/03/99	17,7	11 000	7 000			4 000							
23/03/99	16,9	1 900	1 900										
29/03/99	16,8	400	400										
06/04/99	19,0	1 200	200			1 000							
12/04/99	19,9	1 000	1 000										
19/04/99	20,5	1 100	1 100										
26/04/99	20,1	6 600	3 600			3 000							
05/05/99	22,2	19 000	1 000	6 000	6 000	5 000					1 000		
10/05/99	20,6	160 000	80 000		30 000						50 000		
17/05/99	20,0	29 000	19 000	10 000									
25/05/99	22,4	70 000	10 000	60 000									
01/06/99	22,8	5 800	2 400	2 400		1 000							
07/06/99	20,0	25 000	20 000	5 000									
14/06/99	25,5	100 000	70 000							30 000			
21/06/99	22,6	140 000	50 000	90 000									
28/06/99	25,8	400 000	200 000		200 000								
06/07/99	28,5	200 000	20 000							180 000			
12/07/99	29,7	250 000	250 000										
19/07/99	28,7	50 000	30 000	20 000									
26/07/99	27,5	260 000	260 000										
02/08/99	30,3	100 000	100 000										
09/08/99	30,3	370 000	370 000										
16/08/99	30,6	680	480	200									
23/08/99	23,3	18 000	18 000										
30/08/99	29,3	31 000	17 000	10 000	4 000								
06/09/99	29,2	170 000	130 000	40 000									
13/09/99	30,7	25 000	5 000	10 000							10 000		
20/09/99	28,4	73 000	73 000										
27/09/99	28,0	15 000	12 000								3 000		
04/10/99	18,9	23 000	19 000	4 000									
11/10/99	23,5	20	20										
18/10/99	21,1	2 400	1 800								600		
27/10/99	22,8	1 600	300	1 300									

Tab.3.A.3 Bactériologie - mesures hebdomadaires au rejet

Date Seuils	PRISE				REJET		
	Chlore tot. 0,03 mg/l	C H Cl <sub>2</sub> Br 0,02 µg/l	C H Cl Br <sub>2</sub> 0,02 µg/l	C H Br <sub>3</sub> 0,05 µg/l	C H Cl <sub>2</sub> Br 0,02 µg/l	C H Cl Br <sub>2</sub> 0,02 µg/l	C H Br <sub>3</sub> 0,05 µg/l
02/11/98				1,7	0,05	0,73	27,1
09/11/98			0,03	2,3	0,05	0,76	25,8
16/11/98	0,03		0,04	2,4		0,56	21,8
23/11/98	0,03		0,04	2,3	0,05	0,64	20,7
30/11/98				0,8		0,27	10,4
07/12/98							
14/12/98							
21/12/98							
28/12/98							
05/01/99							
11/01/99							
18/01/99							
27/01/99							
01/02/99							
09/02/99							
18/02/99							
24/02/99							
02/03/99							
08/03/99							
18/03/99							
23/03/99				0,1			
29/03/99				0,3			
06/04/99	"0,17"		0,05	1,0	0,20	0,38	2,3
12/04/99			0,06	1,1	0,16	1,09	18,6
19/04/99			0,06	1,2		0,58	10,5
26/04/99			0,05	1,1	0,18	1,52	23,3
05/05/99				0,5		1,61	22,6
10/05/99			0,10	1,8		0,83	14,7
17/05/99			0,04	0,7		0,94	13,2
25/05/99	0,03		0,18	3,1		2,06	28,7
01/06/99	0,06		0,07	1,2	0,15	1,83	21,2
07/06/99			0,08	1,1		0,94	12,5
14/06/99	0,05		0,07	0,7	0,14	1,49	20,7
21/06/99			0,14	2,3		0,88	14,2
28/06/99			0,12	1,9		0,60	9,4
06/07/99			0,08	1,2		0,92	15,3
12/07/99			0,05	0,7	0,16	2,23	36,2
19/07/99	0,04		0,06	1,2	0,12	1,45	24,6
26/07/99			0,05	1,0		1,09	18,9
02/08/99	0,06		0,07	1,4	0,21	2,74	39,6
09/08/99	0,04		0,12	2,2	0,12	1,46	24,2
16/08/99	0,07		0,11	1,9	0,16	1,67	25,0
23/08/99	0,07		0,06	1,1	0,15	1,45	21,7
30/08/99	0,09		0,08	1,1	0,22	2,52	35,7
06/09/99	0,05		0,07	1,2	0,15	2,07	32,7
13/09/99	0,06		0,09	1,6	0,15	1,74	27,8
20/09/99	0,05		0,07	1,3	0,11	1,27	20,8
27/09/99	0,07		0,08	1,4		0,37	7,3
04/10/99			0,06	1,1	0,11	1,29	19,1
11/10/99	0,07		0,03	0,4		0,33	6,2
18/10/99			0,07	1,3		0,92	13,6
27/10/99	0,08		0,06	1,1	0,17	1,35	19,7

Tab.3.A.4.. Chlore résiduel et haloformes

## **4. PHYTOPLANCTON ET BIOMASSE CHLOROPHYLLIENNE**

**Benoist HITIER, Pascale HEBERT & René OLIVESI**



#### 4.1. INTRODUCTION

La surveillance du phytoplancton et de la biomasse chlorophyllienne du site de Gravelines a deux objectifs.

- Un prélèvement d'eau hebdomadaire au canal d'amenée qui est destiné à observer les variations de la biomasse chlorophyllienne et à dénombrer les espèces du phytoplancton tout au long de l'année. Il permet de comparer les années. Il situe chronologiquement les deux campagnes de prélèvements hydrologiques par rapport aux pics de chlorophylle et à l'efflorescence de *Phaeocystis*, espèce planctonique responsable d'eaux turbides et d'écumes particulièrement visibles dans le panache de rejet de la centrale.
- Des prélèvements de chlorophylle et de phytoplancton sont effectués au cours des deux campagnes hydrologiques du 18 mars et du 22 septembre. Celles-ci ont pour objet de comparer trois stations (amenée, rejet et contrôle) à un point de référence situé en dehors de l'impact du rejet de la centrale.

#### 4.2. RÉSULTATS

##### 4.2.1. Surveillance hebdomadaire au canal d'amenée.

###### 4.2.1.1. Biomasse chlorophyllienne.

Le tableau 4.3 rassemble les résultats de biomasse chlorophyllienne et de pourcentage de chlorophylle active.

La figure 4.1 présente graphiquement l'évolution de la chlorophylle au cours de la période d'étude.

La biomasse chlorophyllienne donne une idée de la quantité de phytoplancton présente dans l'eau.

Les valeurs restent inférieures à  $2 \text{ mg/m}^3$  jusqu'au 9 février. Elles augmentent d'abord lentement puis franchement à partir du 23 mars. Elles sont supérieures à  $28 \text{ mg/m}^3$  pendant les trois premières semaines d'avril avec le maximum annuel relevé le 12 ( $33 \text{ mg/m}^3$ ). Elles chutent ensuite rapidement pour atteindre un minimum le 21 juin ( $1,6 \text{ mg/m}^3$ ) malgré deux épisodes où les teneurs remontent franchement (les 10-17 mai [ $15 \text{ mg/m}^3$ ] et le 14 juin [ $8 \text{ mg/m}^3$ ]). Elles augmentent pendant l'été passant par un maximum le 26 juillet ( $19 \text{ mg/m}^3$ ) puis les teneurs diminuent régulièrement pour se situer à des valeurs courantes en automne.

Cette année, le maximum de chlorophylle est de  $33 \text{ mg/m}^3$ , comparable aux teneurs observées au cours des printemps 1993 et 1995 où elles avaient atteint  $35 \text{ mg/m}^3$ . En 1992, 1994, 1997, et 1998 les biomasses maximales se situaient autour de  $20 \text{ mg/m}^3$ .

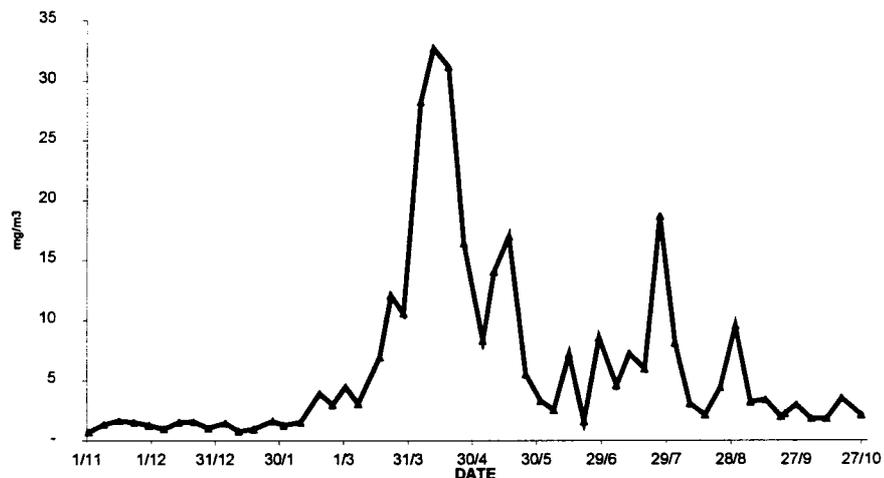


Fig. 4. 1. Biomasse chlorophyllienne

#### 4.2.1.2. Le pourcentage de chlorophylle active

La figure 4.2 présente le pourcentage de chlorophylle active.

Ce pourcentage donne des indications sur l'état physiologique des cellules, et la composition du plancton.

En début de période, il passe par un pic le 23 novembre (98). Il est voisin de 50 en décembre et en janvier et augmente progressivement jusqu'à la mi-avril (88 le 12 avril). Il redescend légèrement ensuite. Le 21 juin ce pourcentage passe par un creux brutal (18 %); le minimum annuel ( $1,8 \text{ mg/m}^3$ ) de biomasse chlorophyllienne est aussi observé ce jour là bien que le nombre de diatomées par litre soit de 100 000. Pendant la première partie de l'été, les variations du pourcentage de chlorophylle active sont importantes (environ 15 % autour d'une valeur moyenne de 70 %). Il décroît régulièrement de 87 % à 65 % entre le 23 août et le 11 octobre et remonte brutalement en fin de période.

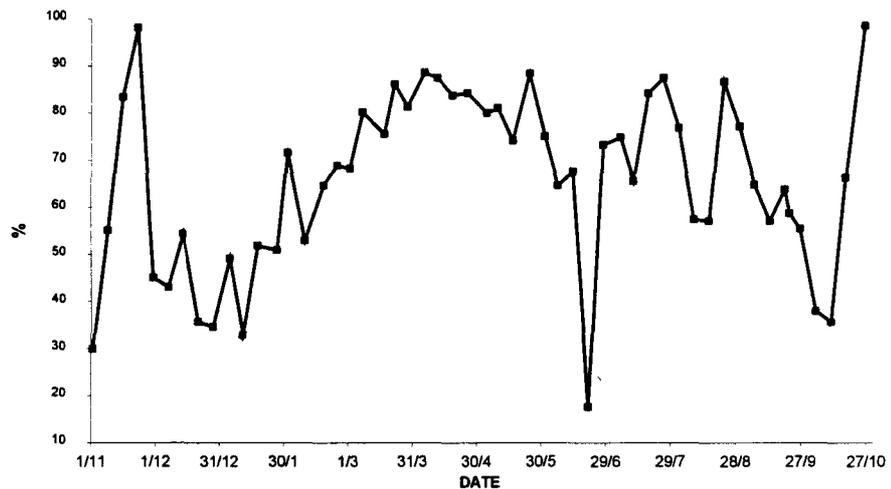


Fig. 4. 2. Pourcentage de chlorophylle active

#### 4.2.1.3. Succession des espèces planctoniques.

*Phaeocystis*, espèce coloniale parfois très abondante, est responsable d'écumes et d'eaux très turbides particulièrement visibles dans le canal de rejet de la centrale. Comme on peut le voir dans le tableau 4.1 et la figure 4.6, il y a deux pics successifs correspondant à des pics de biomasse chlorophyllienne. *Phaeocystis* a été observé sans interruption du 23 mars au 17 avril. Le premier pic dure pendant tout le mois d'avril. Après une chute brutale, on note un nouveau pic à 25 millions de cellules le 10 mai.

Comme on peut le voir sur le tableau 4.2, on observe plus de 100 000 cellules de diatomées par litre pendant la moitié de l'année (25 semaines). Sur la figure 4.5 les courbes représentant la biomasse chlorophyllienne d'une part et la somme des diatomées d'autre part sont relativement similaires à l'exception de la période où *Phaeocystis* est présent. Cette espèce cohabite avec un nombre important de *Chaetoceros*, puis de *Rhizosolenia* et finalement de *Nitzschia*. Le 19 avril on compte 520 000 diatomées et 31 millions de cellules de *Phaeocystis*. Après la période où *Phaeocystis* est présent les pics de chlorophylle correspondent à des pics de diatomées comme le montrent les figures 4.3 et 4.4.

La classe des dinophycées (figure 4.6) est présente en petites quantités pendant presque toute l'année. Elle est observée avec plus de 1 000 cellules par litre au printemps et en été à l'exception de la période comprise entre le 26 avril et le 17 mai.

Date	nombre de cellules par litre
23 mars	1 million
29 mars	2 millions
6 avril	22 millions
12 avril	20 millions
19 avril	31 millions
26 avril	18 millions
5 mai	5 millions
10 mai	25 millions
17 mai	3 millions

Tab. 4. 1. Quantité de *Phaeocystis*

Date	Nombre de diatomées (cellules par litre)	espèce(s) dominante(s)
18 février	305 000	<i>Fragilaria, Thalassionema et Nitzschia</i>
2 mars	313 000	<i>Fragilaria et Nitzschia</i>
8 mars	128 000	<i>Fragilaria</i>
18 mars	764 000	<i>Chaetoceros, Fragilaria, Rhizosolenia Thalassionema</i>
23 mars	339 000	<i>Chaetoceros, Fragilaria et Rhizosolenia</i>
29 mars	304 000	<i>Rhizosolenia delicatula, Chaetoceros et Biddulphia</i>
6 avril	427 000	<i>Rhizosolenia delicatula</i>
12 avril	300 000	<i>Rhizosolenia delicatula</i>
19 avril	520 000	<i>Rhizosolenia et Nitzschia</i>
26 avril	307 000	<i>Nitzschia et Rhizosolenia delicatula</i>
5 mai	116 000	<i>Rhizosolenia delicatula</i>
10 mai	141 000	<i>Pseudonitzschia</i>
17 mai	334 000	<i>Pseudonitzschia</i>
25 mai	278 000	<i>Rhizosolenia delicatula</i>
1 juin	324 000	<i>Nitzschia seriata et Rhizosolenia delicatula</i>
7 juin	146 000	<i>Rhizosolenia delicatula et shrubsolei</i>
14 juin	236 000	<i>Rhizosolenia delicatula et shrubsolei</i>
21 juin	100 000	<i>Rhizosolenia shrubsolei, Nitzschia seriata, Lauderia</i>
28 juin	357 000	<i>Chaetoceros, Rhizosolenia, Skeletonema, Thalassiosira</i>
12 juillet	115 000	<i>Rhizosolenia delicatula et Leptocylindrus</i>
19 juillet	183 000	<i>Rhizosolenia shrubsolei</i>
26 juillet	503 000	<i>Leptocylindrus et Rhizosolenia shrubsolei</i>
2 août	333 000	<i>Rhizosolenia shrubsolei et Skeletonema</i>
9 août	148 000	<i>Rhizosolenia shrubsolei et Leptocylindrus</i>
30 août	418 000	<i>Chaetoceros, Leptocylindrus, Skeletonema, Stauroneis</i>

Tab. 4. 2. Dates où le nombre de cellules par litre dépasse 100 000

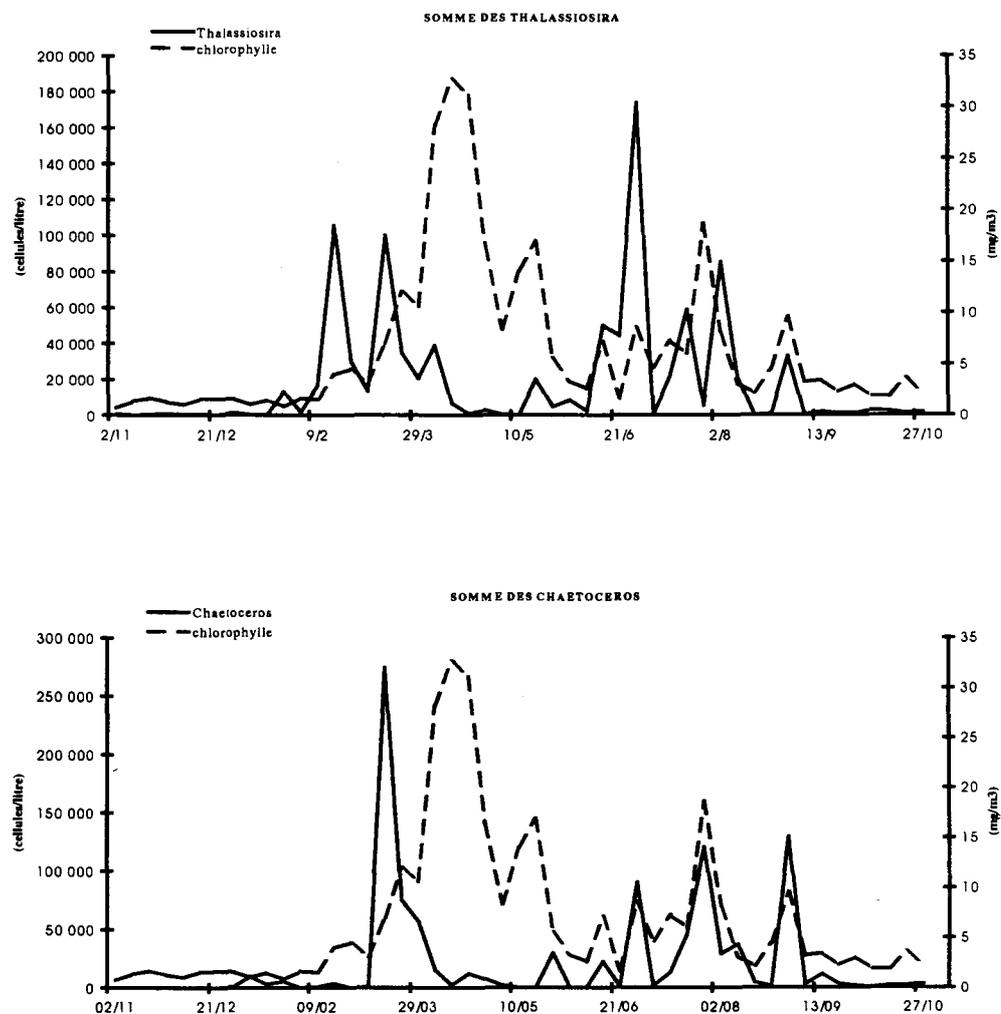


Fig. 4. 3. Biomasse chlorophyllienne et succession d'espèces phytoplanctoniques

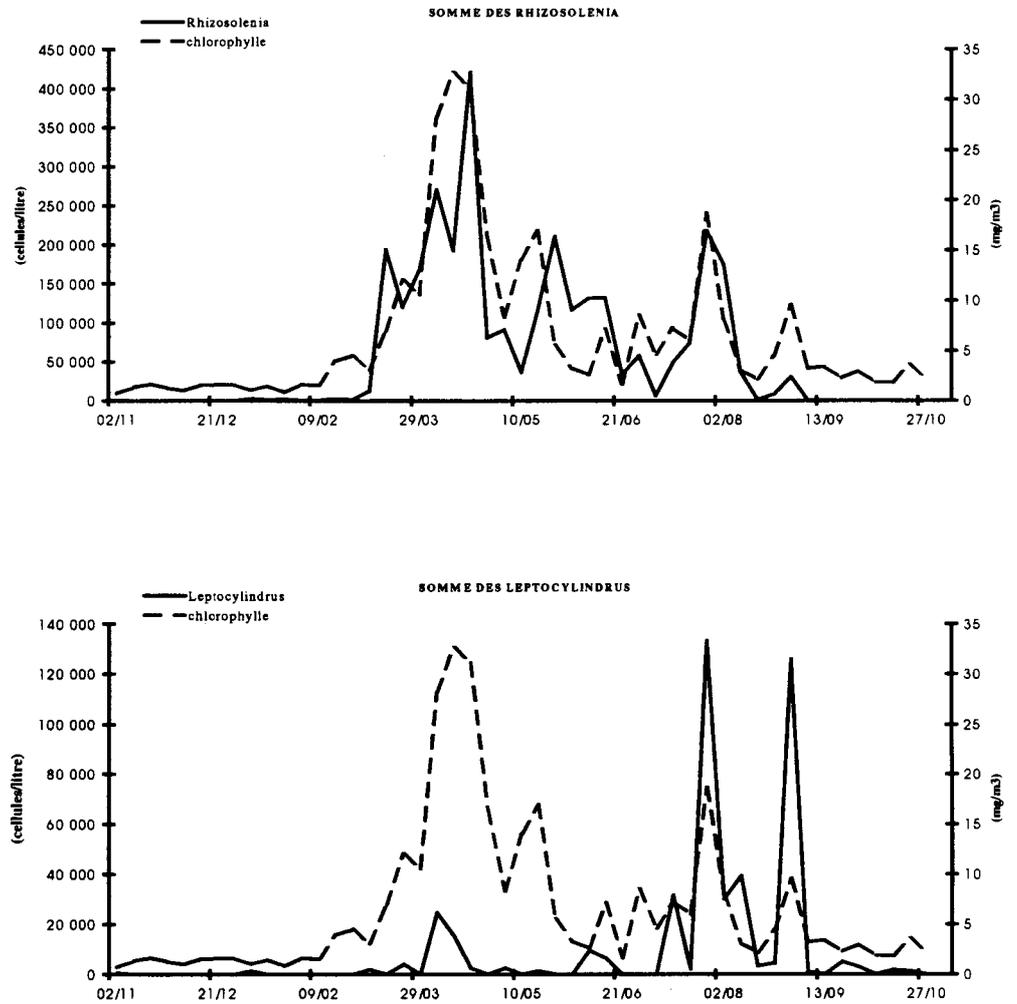


Fig. 4. 4. Biomasse chlorophyllienne et succession d'espèces phytoplanctoniques

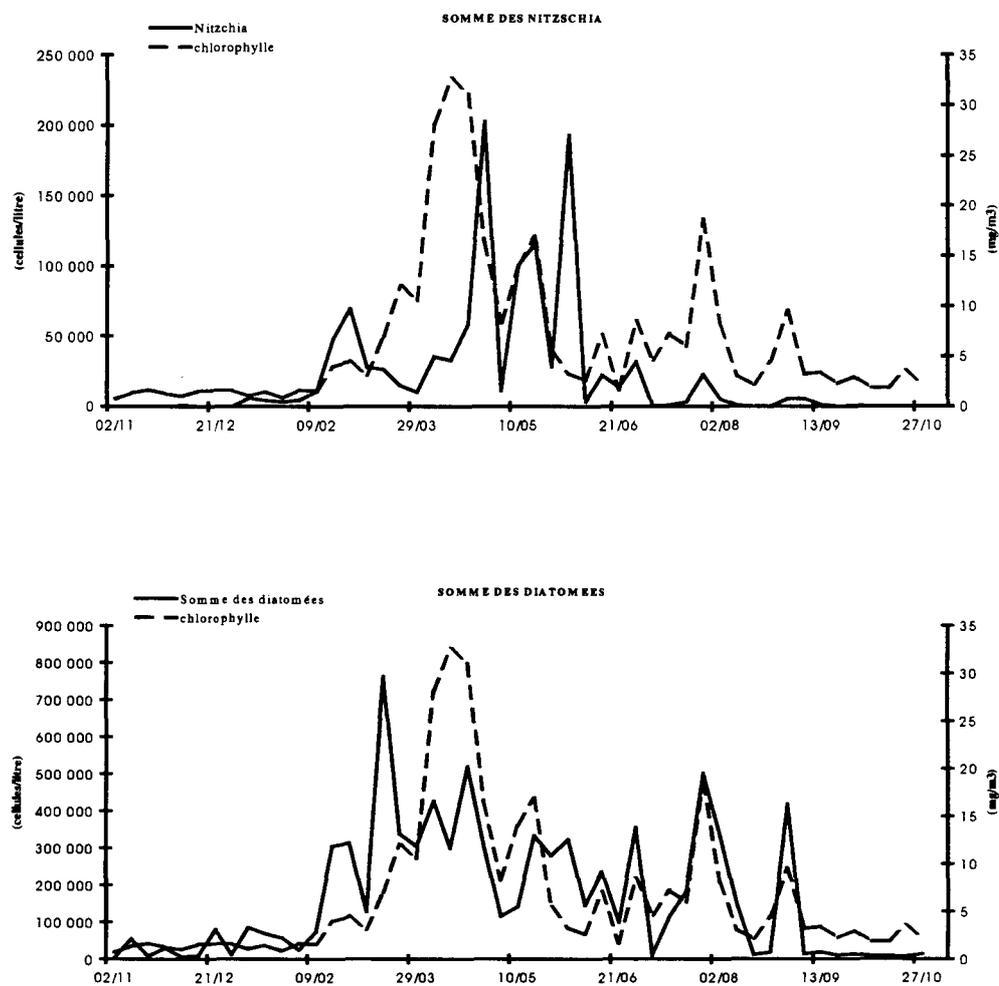


Fig. 4. 5. Biomasse chlorophyllienne et succession d'espèces phytoplanctoniques

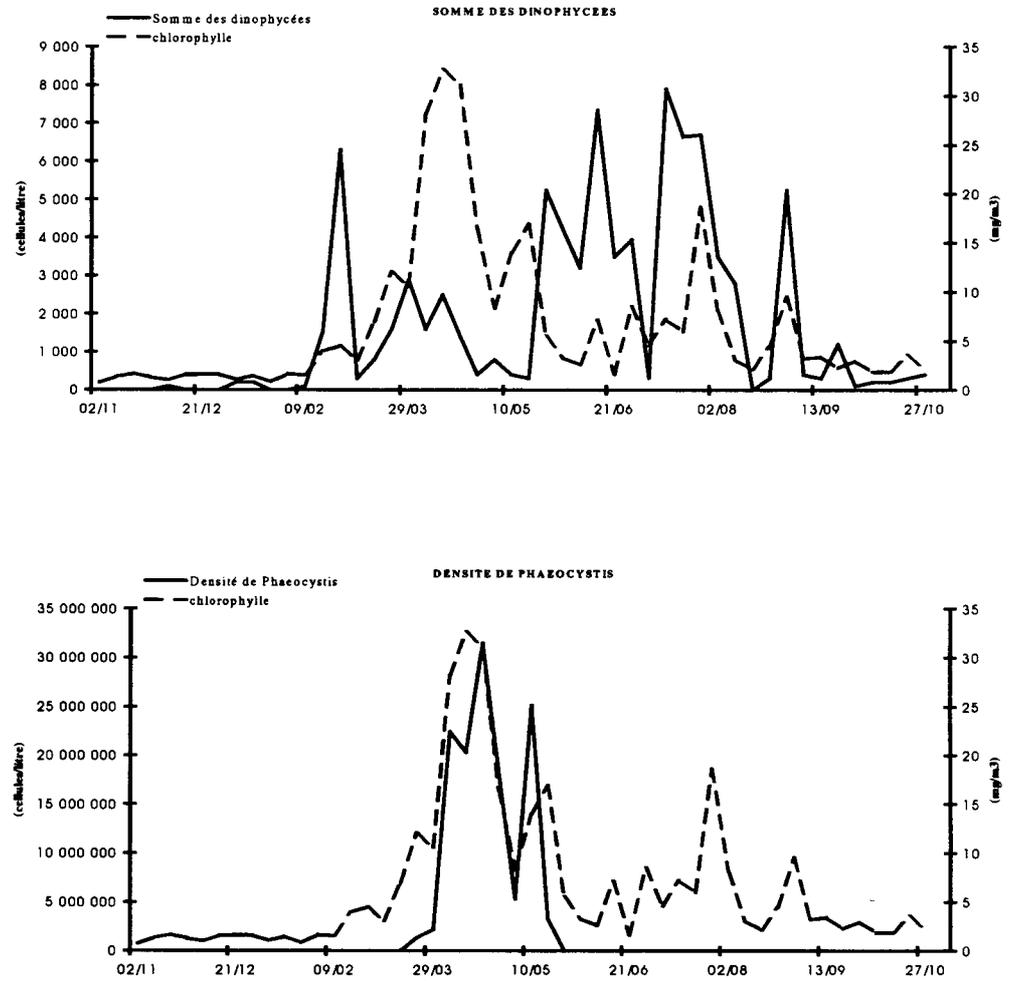


Fig. 4. 6. Biomasse chlorophyllienne et succession d'espèces phytoplanctoniques

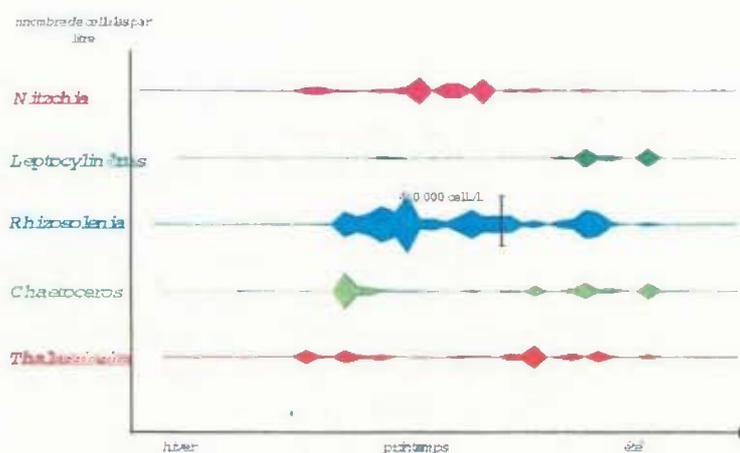


Fig. 4. 7. Densité de quelques genres phytoplanctoniques

#### 4.2.2. Impact de la centrale : campagnes du 18 mars et du 22 septembre

Des prélèvements hydrologiques ont été effectués au cours de deux campagnes. Les figures 4.1 et 4.2 permettent de les situer sur les courbes d'évolution annuelle représentant la biomasse chlorophyllienne d'une part, et sur celle montrant le pourcentage de chlorophylle active d'autre part. Ce paramètre montre l'état physiologique des pigments chlorophylliens. Ces deux campagnes ont pour but de comparer trois stations à un point de référence situé en dehors de la tache thermique créée par le rejet de la centrale.

La campagne du 18 mars se situe juste avant l'apparition de *Phaeocystis*, au début de la période où la biomasse chlorophyllienne est en forte croissance et quatre semaines avant le premier pic. Ce jour-là, le pourcentage de chlorophylle active est assez élevé avec une valeur de 75 %.

La campagne automnale s'est déroulée alors que la biomasse chlorophyllienne est déjà au niveau des valeurs automnales et hivernales. A cette période le pourcentage de chlorophylle active a une valeur moyenne (58 %).

#### 4.2.2.1. Biomasse chlorophyllienne

Sur la figure 4.8 est représentée sur un même graphique la biomasse chlorophyllienne des échantillons d'eau aux différentes stations de prélèvement pour les deux campagnes.

Le 18 mars, l'impact important de la centrale constaté au rejet (18 %) est négligeable à la station « contrôle » (5 %). Le gradient côte large est bien visible ; la différence est de 38 % entre le canal d'amenée et la station référence surface. On ne constate pas d'écart important entre les différents niveaux de prélèvement tant à la station « contrôle » qu'à la station « référence »

Le 22 septembre, au contraire, le gradient côte large est peu marqué. La masse d'eau est homogène à la station « référence » alors que la stratification est bien visible à la station « contrôle » ; ce que confirme les températures observées ce jour là. L'impact de la centrale sur la masse d'eau est bien marqué au regard du déficit en chlorophylle du canal de rejet par rapport au canal d'amenée. Mais cet impact reste limité car la biomasse à la station contrôle est comparable à celle au canal d'amenée.

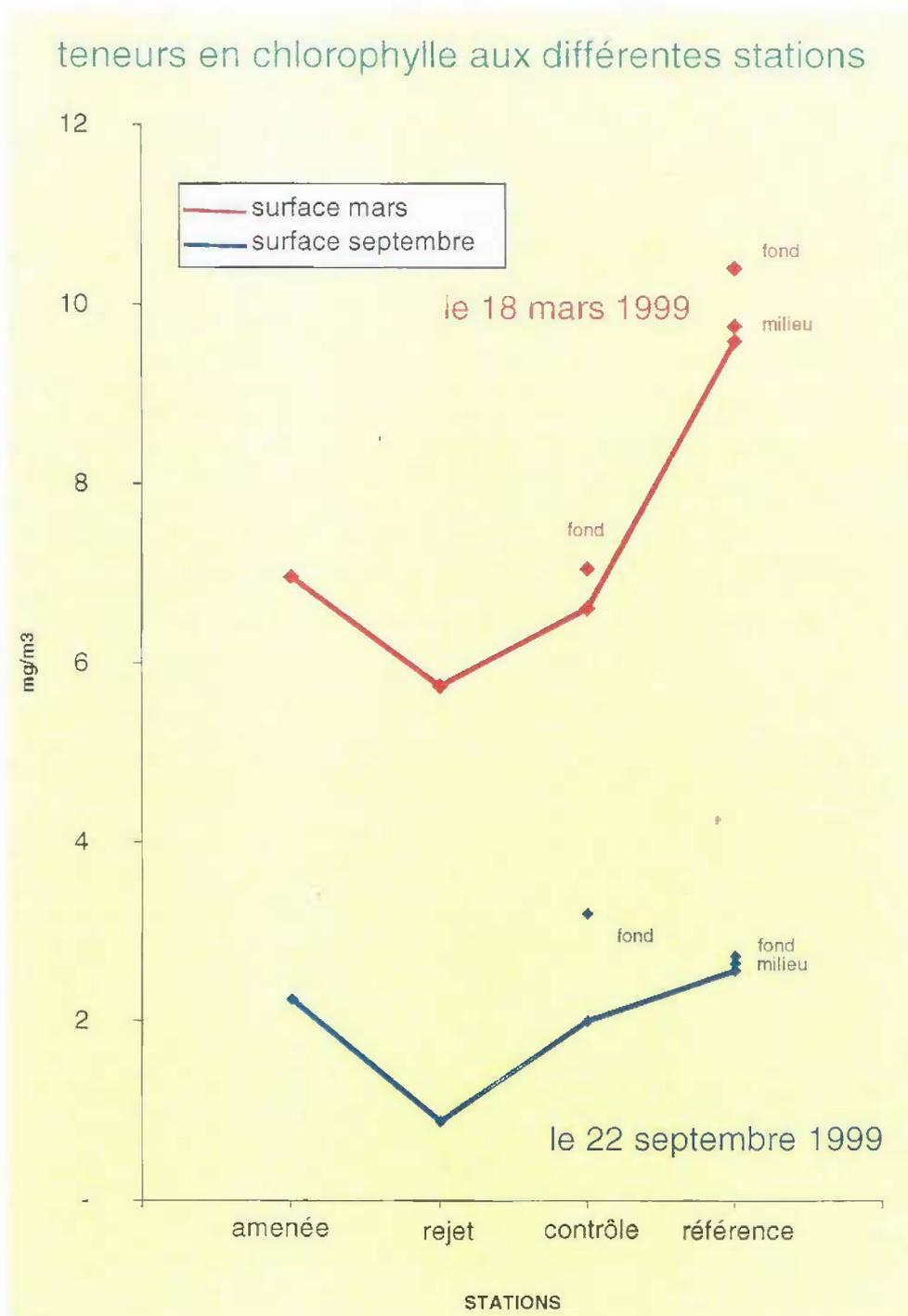


Fig. 4. 8. Impact de la centrale sur la biomasse chlorophyllienne

#### 4.2.2.2. Pourcentage de chlorophylle active

La figure 4.8 présente les différents pourcentages de chlorophylle active aux stations lors des deux campagnes de prélèvement.

A la campagne de printemps, la chlorophylle est altérée en passant dans la centrale. Le pourcentage de chlorophylle active passe de 76 à 67 % soit une différence de 9 %. La chlorophylle continue à se dégrader entre le canal de rejet et le point de contrôle, en surface. En revanche, le pourcentage est élevé (82 %) à la station référence, surface. A cette station, le gradient surface fond est très important (14 %).

Le 22 septembre, le passage de la masse d'eau dans la centrale dégrade la chlorophylle. En revanche, le pourcentage de chlorophylle active au niveau de la station contrôle est proche de celui au canal d'amenée. Ce pourcentage est plus élevé au large qu'à la côte (+8 % entre la station référence et le canal d'amenée).

La centrale a une grande influence sur la qualité de la biomasse phytoplanctonique au niveau du point Rejet, alors que cette qualité est peu affectée à la station contrôle (à l'exception du 18 mars 1999).

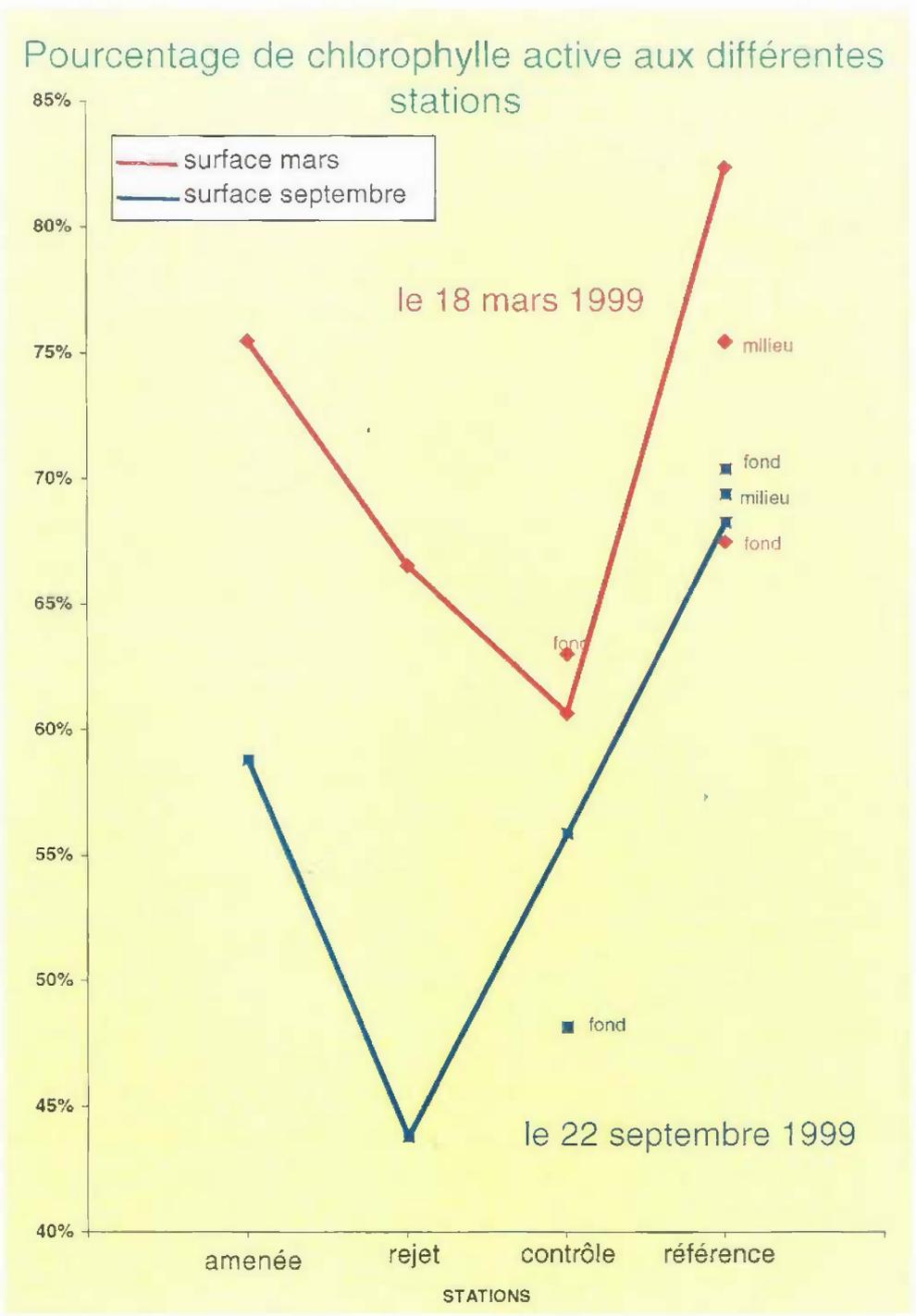


Fig. 4. 9. Impact de la centrale sur le pourcentage de chlorophylle active

#### 4.3. CONCLUSION

Cette année, le maximum de chlorophylle est de  $33 \text{ mg/m}^3$ , comparable aux teneurs observées au cours des printemps 1993 et 1995 où elles avaient atteint  $35 \text{ mg/m}^3$ . En 1992, 1994, 1997, 1998 les biomasses maximales se situaient autour de  $20 \text{ mg/m}^3$ .

La campagne de printemps a été effectuée au début de la période de forte augmentation de la biomasse chlorophyllienne. Celle de l'automne s'est déroulée alors que les teneurs en chlorophylle étaient redescendues à des valeurs hivernales.

Lors des deux campagnes de prélèvement, la teneur en chlorophylle à la station contrôle est comparable à celle relevée au canal d'amenée. Ceci montre les limites spatiales de l'impact après le passage des masses d'eau dans la centrale. On constate par ailleurs un gradient côte - large croissant très important au printemps comme le montre la différence de biomasse entre le canal d'amenée et la station de référence. La stratification des masses d'eau est bien visible au large au printemps tant au niveau de la biomasse que du pourcentage de chlorophylle active.

Date station	CHLOROPHYLLE (mg/m <sup>3</sup> )	% CHLOROPHYLLE ACTIVE
07/10/98	3.3	76.21
14/10/98	2.42	78.32
19/10/98	2.04	76.12
02/11/98	0.71	29.96
09/11/98	1.34	55.14
16/11/98	1.66	83.42
23/11/98	1.53	98.08
30/11/98	1.28	45.07
07/12/98	0.99	43.04
14/12/98	1.55	54.39
21/12/98	1.6	35.71
28/12/98	1.04	34.67
05/01/99	1.47	49.16
11/01/99	0.8	32.92
18/01/99	0.97	51.87
27/01/99	1.64	50.93
01/02/99	1.28	71.51
09/02/99	1.53	52.94
18/02/99	3.94	64.70
24/02/99	2.99	68.89
02/03/99	4.49	68.24
08/03/99	3.07	80.16
18/03/99	6.97	75.51
23/03/99	12.05	86.13
29/03/99	10.57	81.25
06/04/99	28.2	88.54
12/04/99	32.67	87.40
19/04/99	31.12	83.75
26/04/99	16.38	84.26
05/05/99	8.31	79.98
10/05/99	14.02	81.09
17/05/99	16.96	74.16
25/05/99	5.55	88.38
01/06/99	3.31	75.06
07/06/99	2.56	64.65
14/06/99	7.17	67.64
21/06/99	1.6	17.54
28/06/99	8.54	73.24
06/07/99	4.59	74.88
12/07/99	7.26	65.64
19/07/99	5.98	84.23
26/07/99	18.65	87.44
02/08/99	8.12	76.82
09/08/99	3.1	57.51
16/08/99	2.14	57.22
23/08/99	4.43	86.69
30/08/99	9.54	77.18
06/09/99	3.2	64.91
13/09/99	3.42	57.19
20/09/99	2.02	63.92
22/09/99	2.24	58.79
27/09/99	2.99	55.58
04/10/99	1.83	38.05
11/10/99	1.83	35.67
18/10/99	3.56	66.42
27/10/99	2.14	98.62

Tab. 4. 3. Biomasse chlorophyllienne et pourcentage de chlorophylle active

	station	Teneur en chlorophylle
18 mars 1999	canal d'aménée	6.97
	rejet	5.75
	contrôle surface	6.62
	contrôle fond	7.06
	référence surface	9.60
	référence milieu	10.41
	référence fond	9.77
22 septembre 1999	canal d'aménée	2.24
	rejet	0.88
	contrôle surface	2.00
	contrôle fond	3.20
	référence surface	2.56
	référence milieu	2.72
	référence fond	2.64

Tab. 4. 4. Biomasse chlorophyllienne ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

	station	Pourcentages de chlorophylle
18 mars 1999	canal d'aménée	75.51
	rejet	65.55
	contrôle surface	60.68
	contrôle fond	63.04
	référence surface	82.40
	référence milieu	75.49
	référence fond	67.52
22 septembre 1999	canal d'aménée	58.79
	rejet	43.78
	contrôle surface	55.87
	contrôle fond	48.12
	référence surface	68.27
	référence milieu	69.39
	référence fond	70.40

Tab. 4. 5. pourcentage de chlorophylle active

---

## **5 DINOFLAGELLES NOCTILUQUES ET ZOOPLANCTON**

**Geneviève LE FÈVRE – LEHOËRFF**

**Jacqueline LE GRAND**

**Jean D'ELBÉE**



## 5.1. METHODOLOGIE

Les missions annuelles, destinées à évaluer l'impact par la comparaison spatiale des prélèvements selon un axe côte-large, ont été réalisées le 18 mars 1999 pour la mission printanière et le 22 septembre pour la mission d'automne. Les variations saisonnières du milieu non impacté sont estimées par la surveillance au canal d'entrée de la centrale. Les prélèvements de zooplancton au point entrée sont réalisés selon une périodicité d'un prélèvement par mois. Les résultats obtenus peuvent s'appuyer sur les données de chlorophylle et température mesurées selon une périodicité hebdomadaire.

La surveillance permet de suivre l'évolution du plancton au canal d'entrée, en relation avec les conditions météorologiques générales de l'année. On détecte ainsi, l'arrivée à date variable des blooms de *Phaeocystis*, de noctiluques ou de *Pleurobrachia*. Ces organismes risquent de produire des colmatages au moment du maximum d'abondance avec des conséquences différentes selon l'espèce.

Au moment où les maxima de *Phaeocystis* (de fin mars à mai selon les années) ou les noctiluques (variable également) se produisent, il y a risque de colmatage des engins de prélèvements, les filets à plancton WP2 de vide de maille 200 µm en particulier. Les conséquences sont d'une part une mauvaise évaluation quantitative des abondances spécifiques et des biomasses (refoulement et évitement à l'entrée du filet) et d'autre part une évaluation erronée de certains paramètres. Un exemple est celui des biomasses totales (poids sec) et composition en carbone et azote de la récolte si le mélange zooplanctonique et *Phaeocystis* est très important.

Le colmatage est tout autre quand il s'agit de la prolifération des cténaïres *Pleurobrachia* ou *Beroe* ; au printemps les individus adultes sont de taille suffisante pour provoquer le colmatage des grilles des tambours de filtration d'eau à l'entrée du circuit de refroidissement des condenseurs. Ceci pose un problème d'ordre technique sérieux pour le fonctionnement et la sécurité de la centrale. Quand l'arrivée est trop massive la circulation d'eau peut être impossible et conduire à l'arrêt d'une ou plusieurs tranches.

## 5.2. RESULTATS

### 5.2.1 Surveillance au canal d'entrée

#### Biomasses (Poids secs) Carbone et Azote (fig. 5.1, 5.2)

Les poids secs présentent pendant le cycle 1998-1999 des oscillations plus nombreuses que l'année précédente. Les fortes valeurs sont enregistrées en janvier, mars, mai et juillet (tous les deux mois) ce qui ne correspond pas aux fluctuations de la chlorophylle, ceci est expliqué plus loin par la composition du zooplancton. La période de production zooplanctonique la plus forte se situe entre le 18 mars et le 19 mai. Les % de carbone et % d'azote sont forts dès le début mars (24 % et 6 %). Le poids de carbone et d'azote présentent leur maximum les 18 mars (12 mg C / m<sup>3</sup>), 19 mai (14 mg C / m<sup>3</sup>) et 16 juillet (18 mg C / m<sup>3</sup>).

#### Les espèces (fig. 5.3 à fig. 5.9)

Les dinoflagellés noctiluques (fig. 5.3) sont responsables du maximum des biomasses du 16 juillet avec des valeurs de carbone et d'azote très fortes PC = 18 mg / m<sup>3</sup>, PN = 3.3 mg / m<sup>3</sup>. Les noctiluques sont plus abondants qu'en 1998 avec 10<sup>5</sup> cellules / m<sup>3</sup> mais n'ont pas atteint les valeurs qui sont parfois responsables des eaux rouges, soit, 10<sup>9</sup> cellules / m<sup>3</sup>.

Les larves les plus précoces sont les larves de cirripèdes (fig. 5.7) stades *nauplii*, le 24 février avec 200 individus / m<sup>3</sup>. L'espèce responsable est probablement *Balanus balanoides*.

Les larves d'annélides (fig. 5.3) sont maximales le 18 mars (300 / m<sup>3</sup>) et en particulier les larves de *Lanice conchilega* (60 / m<sup>3</sup>).

Entre mars et mai les pontes de poissons représentent 2 à 4 œufs / m<sup>3</sup> (fig. 5.8).

Les stages âgés *Cypris* de Cirripèdes montrent un maximum le 18 mars (avec 20 individus / m<sup>3</sup>).

Les brachyours pondent entre mars et mai avec des abondances de 5 à 7 *Zoe* / m<sup>3</sup> (fig. 5.7).

Les copépodes atteignent leur maximum le 19 mai ce qui est principalement dû au copépode *Temora longicornis* (6120 / m<sup>3</sup>).

Les successions des copépodes au cours des saisons sont normalement observées en 1999 (fig. 5.5). A chaque saison une espèce domine correspondant au *preferendum* thermique. La diversité est plus forte en automne. *Pseudocalanus*, espèce boréale résiste le mieux au froid (février), *Temora longicornis* est l'espèce dominante du printemps suivi de *Acartia clausi* en été puis de *Euterpina acutifrons* en automne. En 1999 *Ergasilus* copépode parasite a été déterminé (fig. 5.4). De nombreux cyclopoïdes sont présents également à l'automne. Le suivi de copépodes parasites à l'automne est intéressant car c'est une période de forte dégradation du milieu et le matériel nutritif insuffisant peut favoriser d'autres modes de nutrition que celle dépendant du phytoplancton.

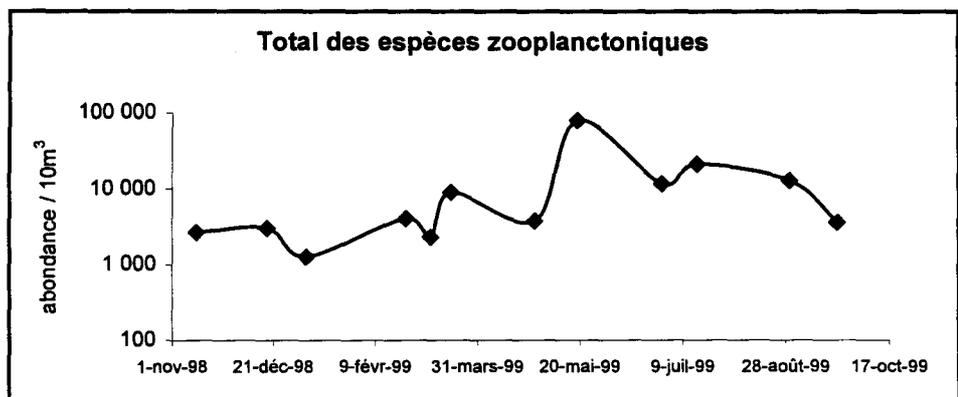
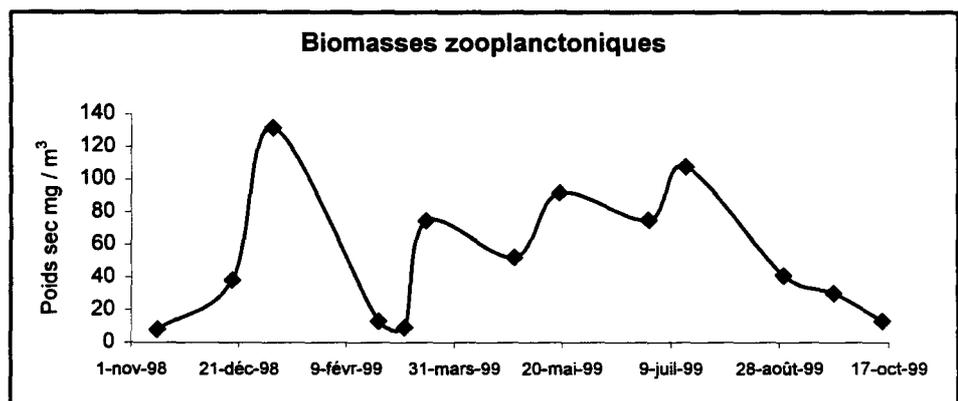
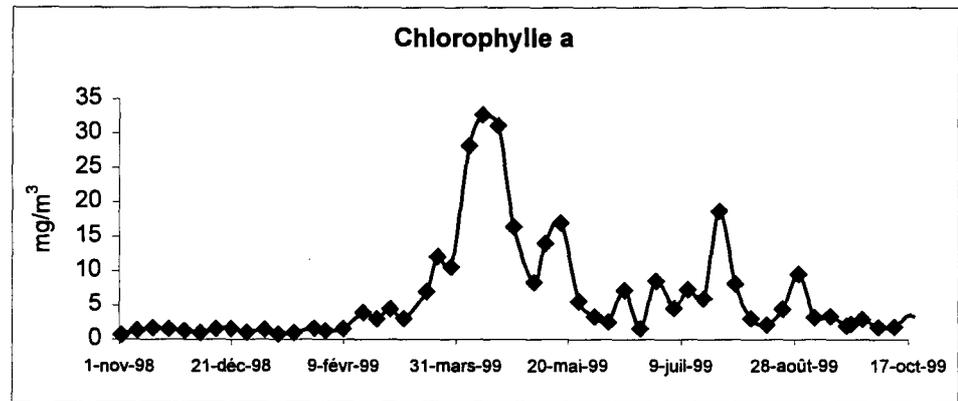


Fig. 5.1. : Variations saisonnières au canal d'amenée

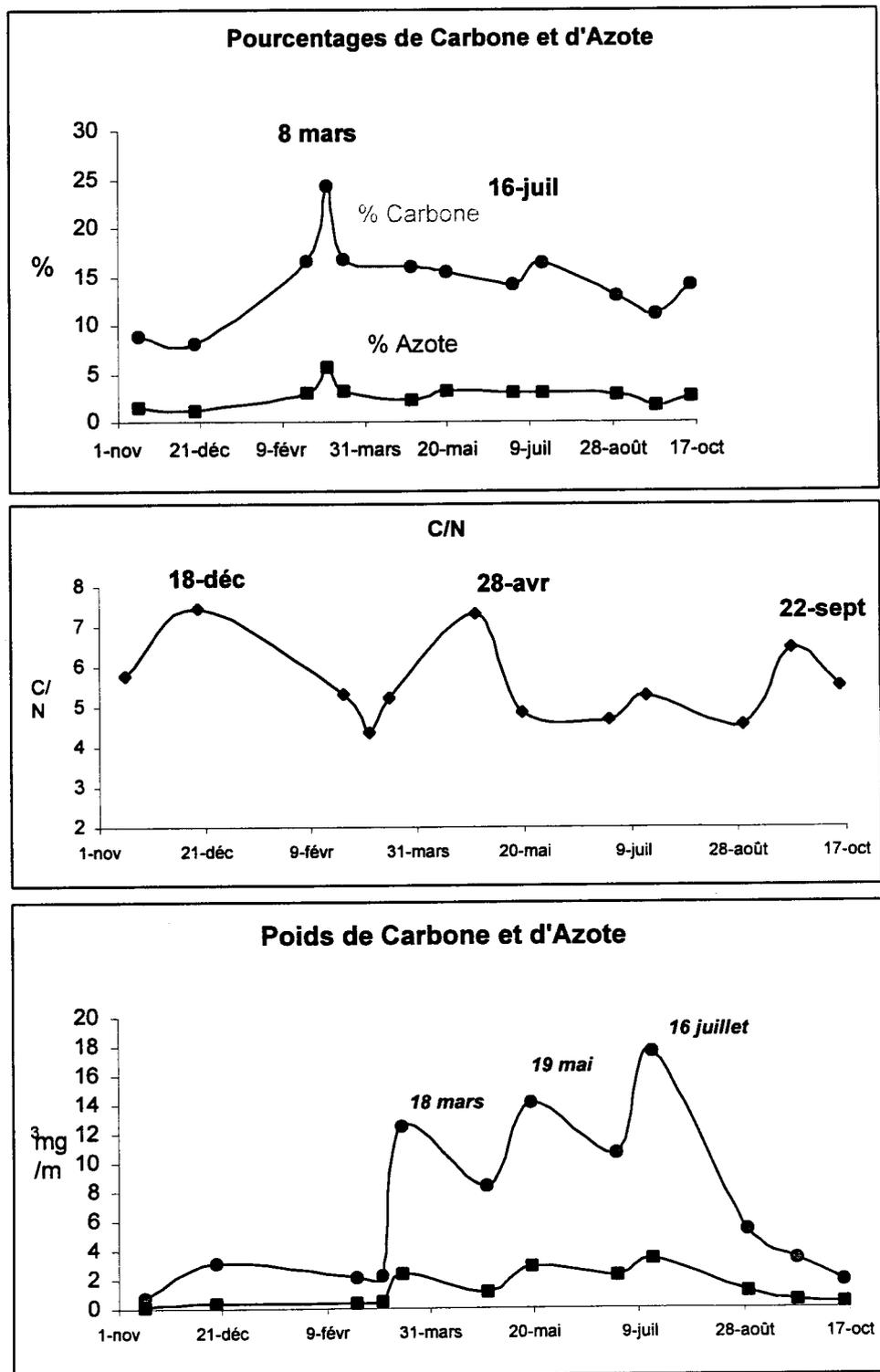


Fig. 5.2. : Variations saisonnières au canal d'aménée

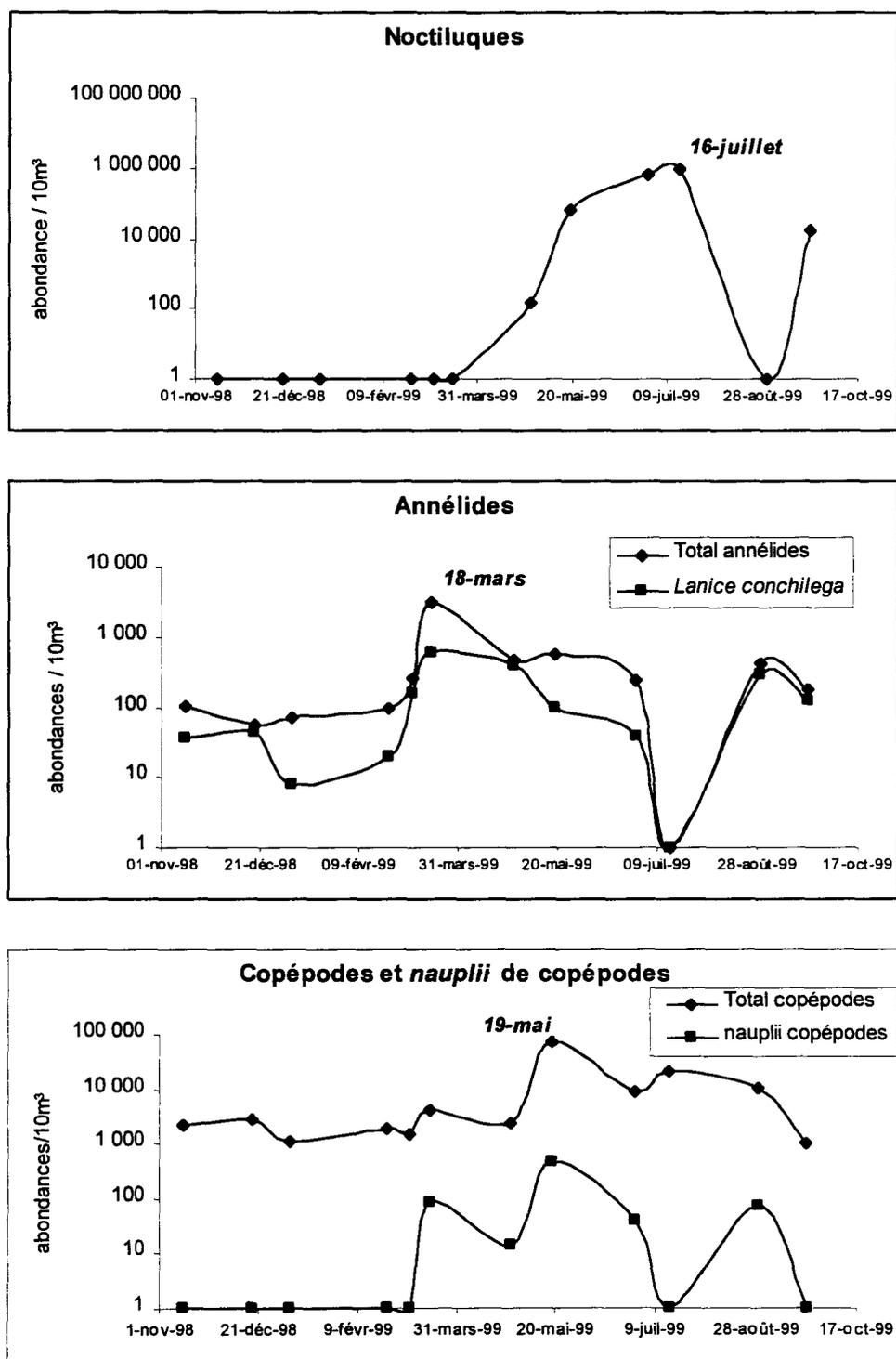


Fig. 5.3. : Variations saisonnières au canal d'aménée

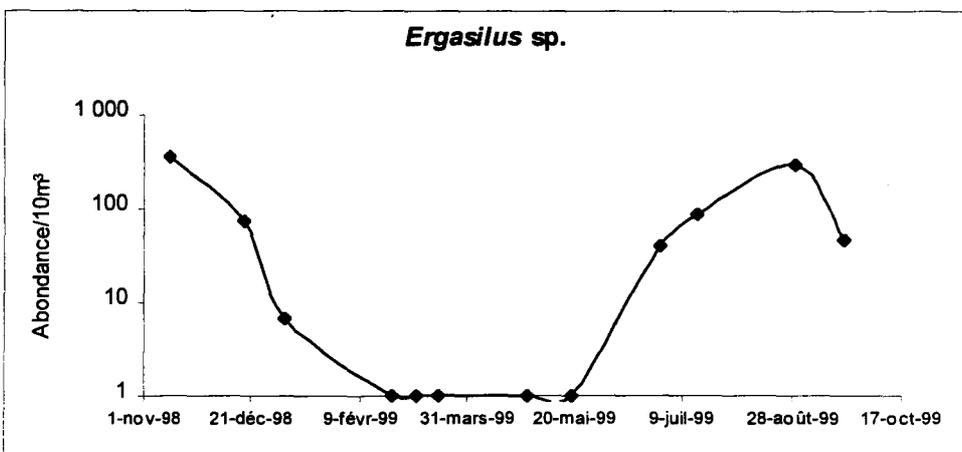
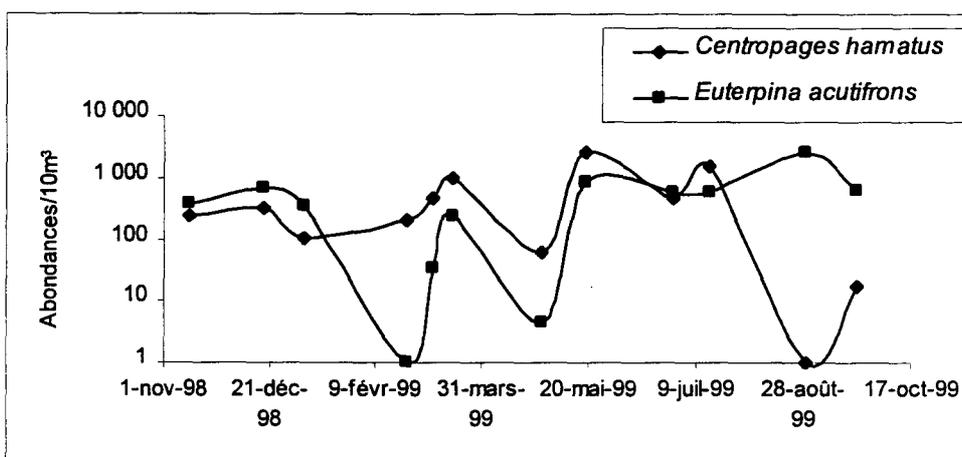
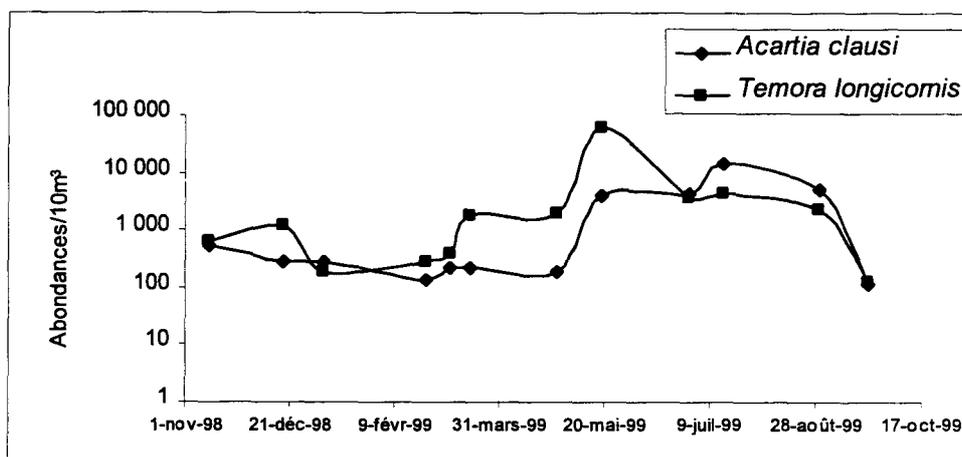


Fig. 5.4. : Variations saisonnières au canal d'amenée

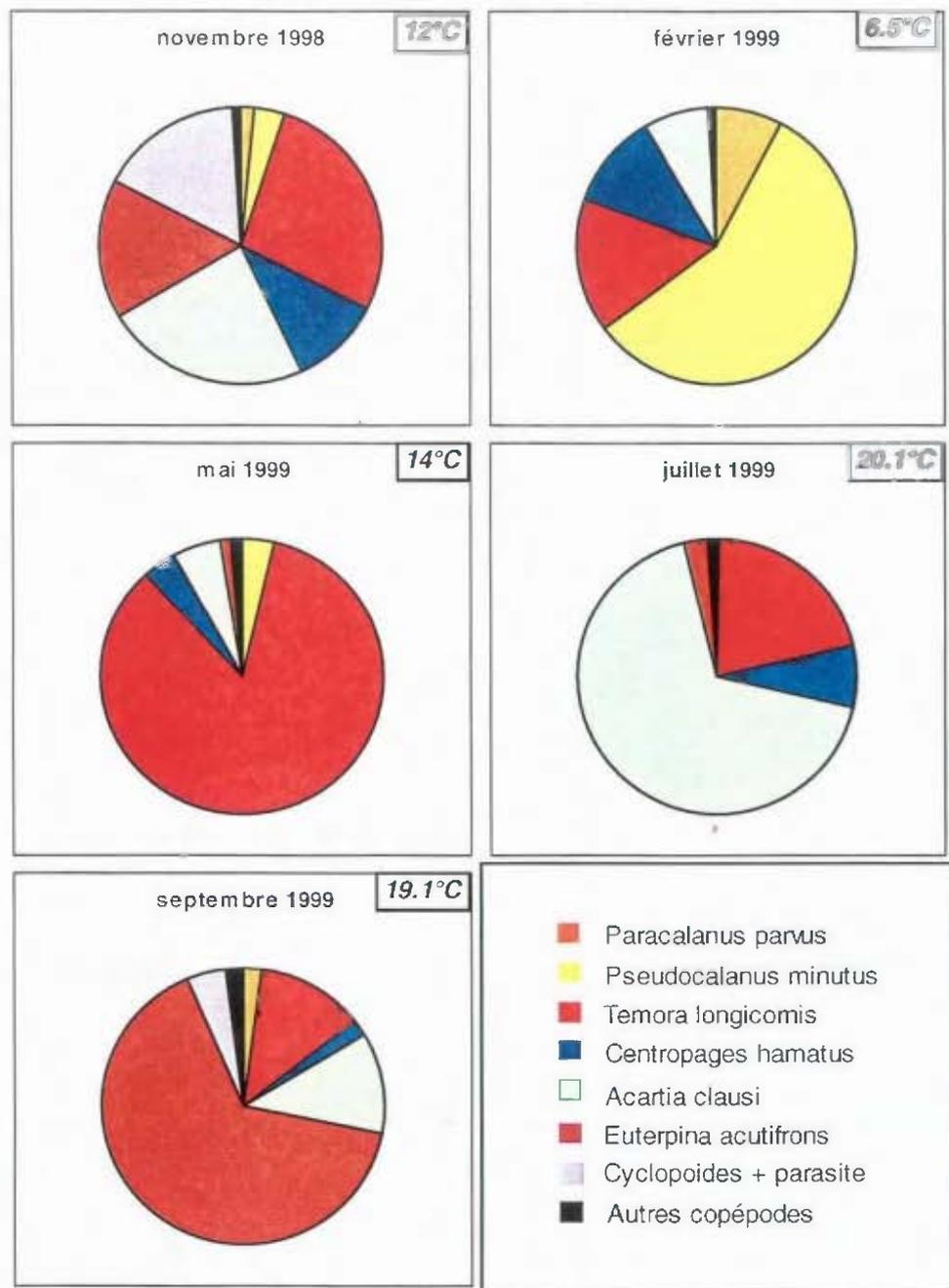


Fig. 5.5. : Variations saisonnières des différentes espèces de copépodes (%) et température de l'eau au canal d'amenée. 5 exemples

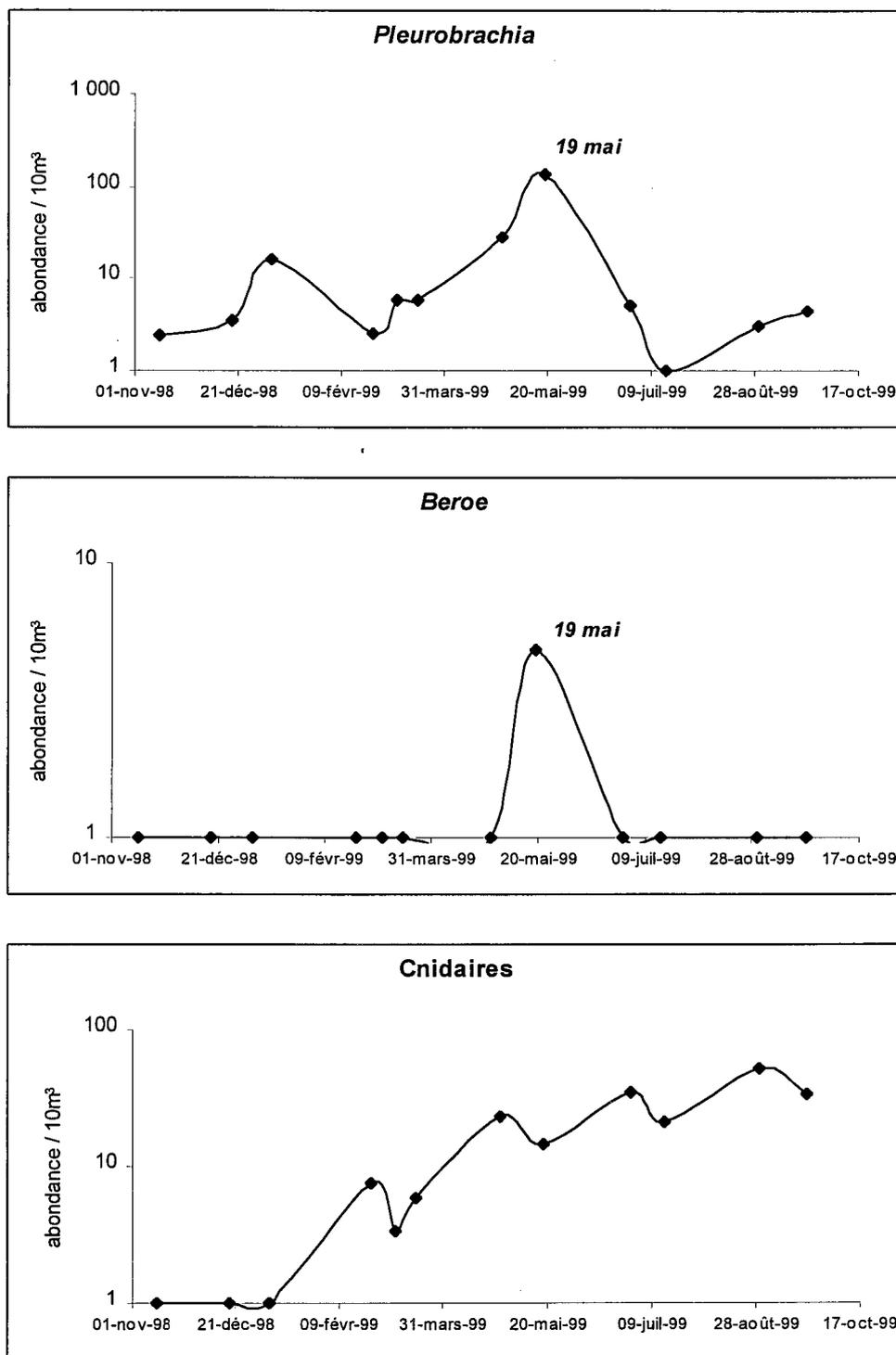


Fig. 5.6. : Variations saisonnières au canal d'amenée

Il est important de savoir si l'augmentation de copépodes parasites dans le milieu est en rapport avec l'augmentation de matière organique au rejet en en liaison directe ou indirecte avec l'activité aquacole.

Les cténaires *Pleurobrachia* et *Beroe* montrent leur maximum de façon identique à l'année précédente avec des valeurs faibles qui ne sont pas dangereuses pour le fonctionnement de la centrale (risque de colmatage des grilles).

Le comportement des méduses (fig. 5.6) n'est pas classique en 1999, le cycle n'est pas montré le maintien d'abondance tardive dans la saison. Ce point sera revu l'année prochaine afin de savoir s'il y a eu une modification en relation avec un été particulier (phénomène isolé) ou si la population de cnidaires est en cours de modification plus durable.

Les autres espèces présentent des variations conformes à celles des années précédentes.

Certains groupes ne sont pas étudiés au niveau de détermination de l'espèce, ce qui diminue la pertinence de l'interprétation. C'est le cas pour les ophiures et les cirripèdes, et nous nous référons pour ces groupes à la composition benthique. Deux *maxima* sont notés pour les cirripèdes chaque année. Au mois de février l'espèce dominante correspond à la ponte de *Balanus balanoides*. En septembre c'est la ponte de *Elminius*. Pour les ophiures les *maxima* se produisent en mai et début septembre. En 1999 le maximum de larves correspond à 380 / m<sup>3</sup> en mai.

Les espèces holoplanctoniques dont les cycles sont régulièrement suivis sont les herbivores appendiculaires *Oikopleura dioica*, le maximum du 18 mars au 19 mai (250 / m<sup>3</sup>) apparaît en période de bloom phytoplanctonique (fig. 5.9).

Les carnivores amphipodes montrent un pic exceptionnel fin juin avec 215 / m<sup>3</sup> tandis que les Chaetognathes *Sagitta* présentent un cycle moyen normal avec un maximum habituel de la fin d'été à l'automne (fig. 5.9).

En résumé, l'évolution annuelle 1999 a montré une forte reproduction des dinoflagellés noctiluques en juillet, période classique de grande abondance sans toutefois atteindre des valeurs responsables d'une eau rouge.

La production phytoplanctonique printanière est responsable de l'abondance des copépodes et appendiculaires pendant la période mars à mai.

On observe quelques populations de carnivores en 1999 qui ont des abondances peu classiques, c'est le cas des amphipodes fin juin et des hydroméduses en été et automne sans diminution habituelle.

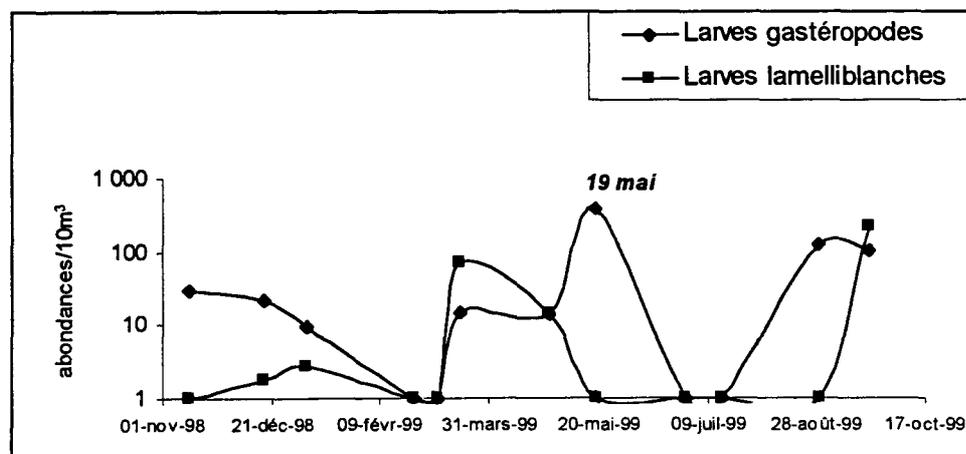
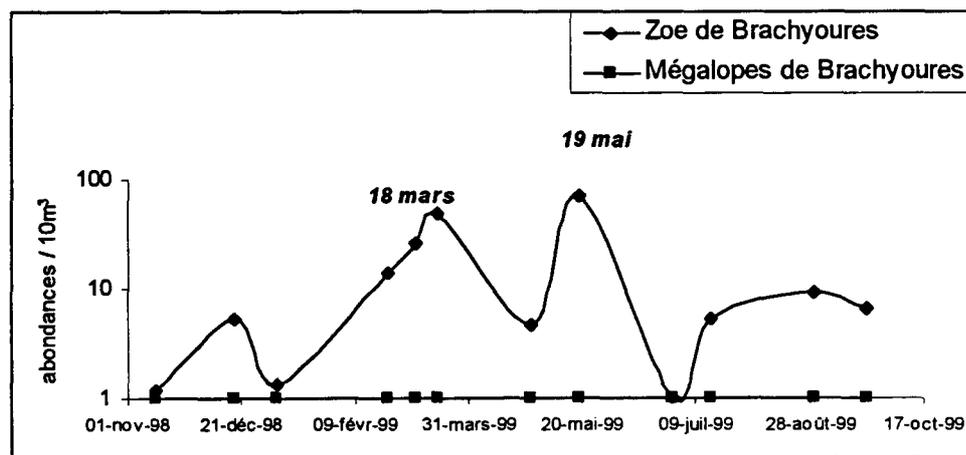
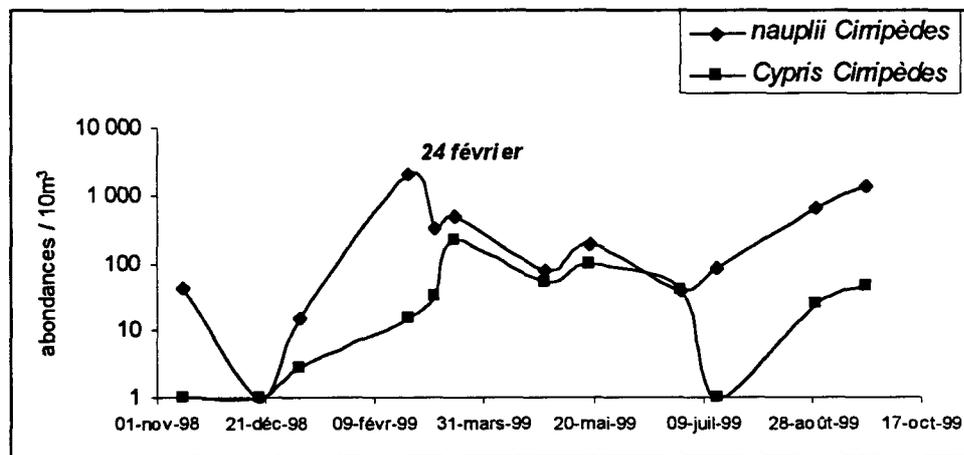


Fig. 5.7. : Variations saisonnières au canal d'entrée

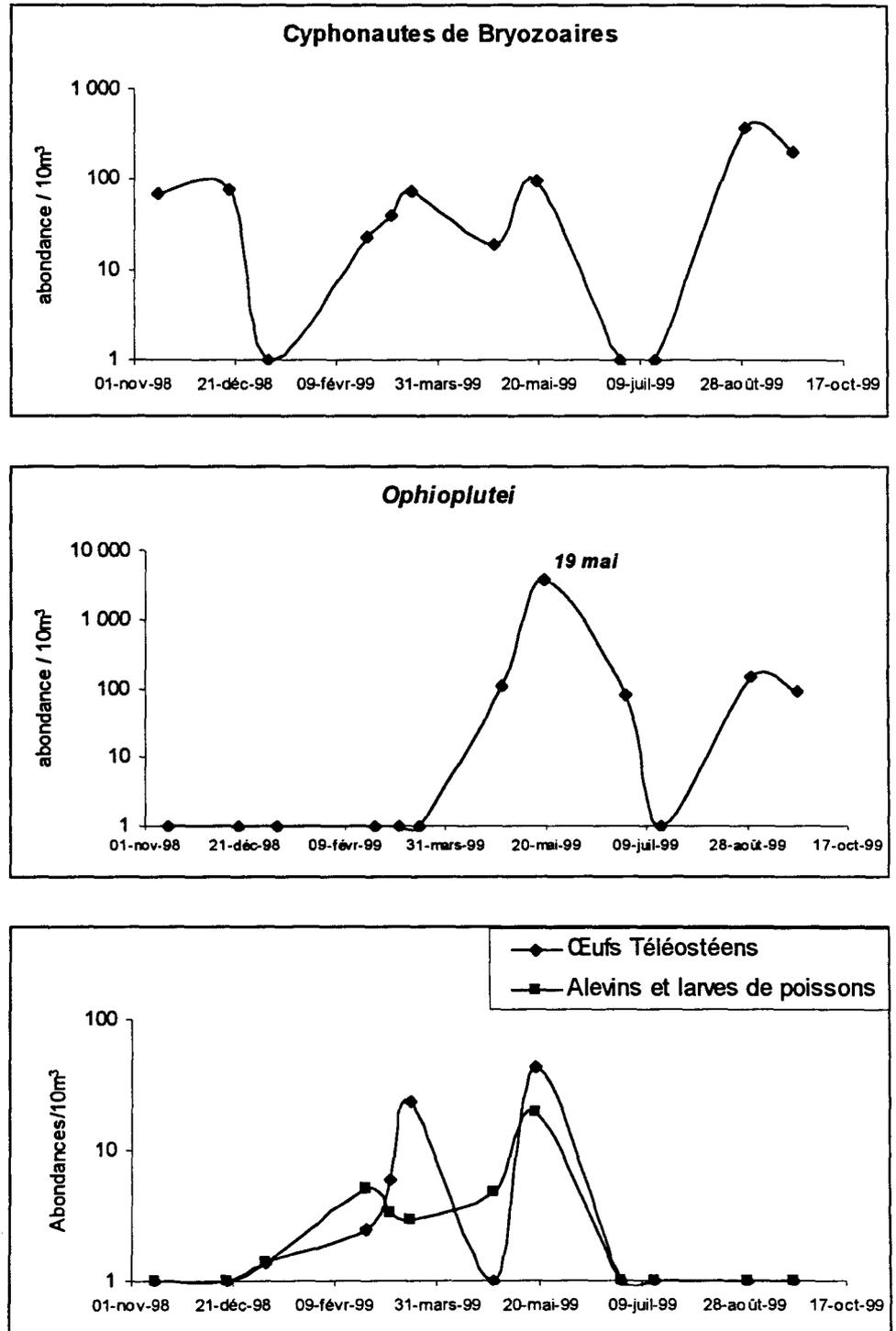


Fig. 5.8. : Variations saisonnières au canal d'entrée

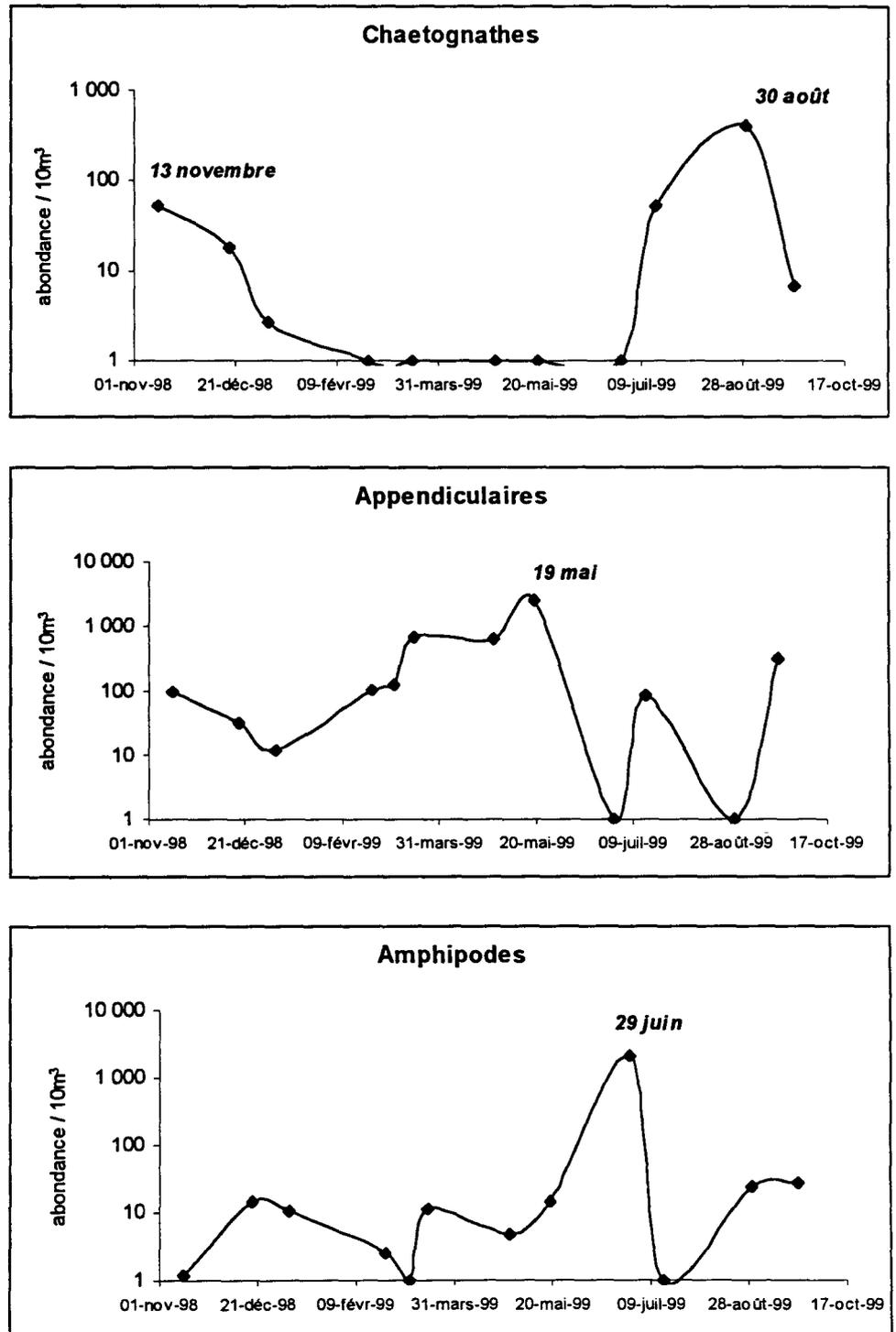


Fig. 5.9. : Variation saisonnière au canal d'entrée

### 5.2.2 Impact de la centrale sur le milieu récepteur (fig. 5.10. à 5.17.)

L'impact de la centrale est estimé dans le milieu récepteur au cours de 2 missions annuelles, l'une printanière, l'autre en début d'automne. En 1999 les deux missions ont été effectuées les 18 mars et 22 septembre.

#### Biomasses - Carbone et Azote

Le déficit est exprimé en pourcentage. Calculé sur le poids sec total le déficit entre l'entrée et le rejet de la centrale est estimé à 40 % de la biomasse le 18 mars tandis qu'il est très faible le 22 septembre. Calculé en poids de carbone le déficit est de 33 % et de 30 % en poids d'azote en mars.

#### Impact sur les espèces

Comme les années précédentes le déficit se manifeste soit au rejet soit dans la tache thermique au point dit de contrôle.

Les dinoflagellés noctiluques présentent un déficit de 100 % dans le rejet.

Le zooplancton montre un déficit de 62 % au rejet le 18 mars, tandis qu'il est de 57 % au contrôle le 22 septembre. Comme les années précédentes on observe l'impact fort sur des organismes mous. En plus des noctiluques l'impact est de 100 % sur les cténares au rejet et 100 % au rejet en septembre sur les cnidaires et les chaetognathes. Les copépodes *Temora longicornis*, *Acartia clausi*, *Paracalanus parvus* présentent un déficit au point de contrôle en septembre. Le copépode parasite *Ergasilus* est au contraire plus abondant au rejet qu'à l'entrée. On peut penser que même s'il subit un impact de transit, son développement est stimulé dans le rejet. On peut penser à la stimulation par les rejets de la ferme aquacole et la quantité de matière organique dans le rejet. Une étude plus approfondie de la physiologie de ce copépode est intéressante à poursuivre.

Les appendiculaires *Oikopleura dioica*, sont des organismes filtreurs de phytoplancton d'une extrême fragilité, ainsi que nous l'avons déjà observé les années précédentes et l'impact dans le rejet est toujours très fort, avec 98 % au rejet en mars et 100 % en septembre (fig. 5.15).

Les larves de crabes et d'ophiures présentent un déficit de 100 % en septembre (fig. 5.17).

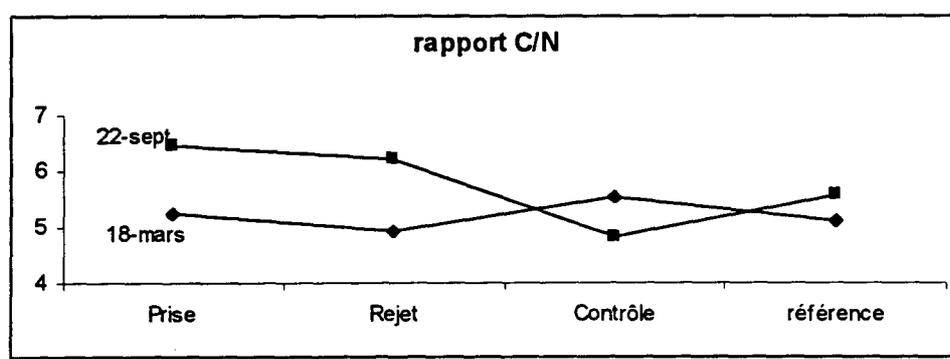
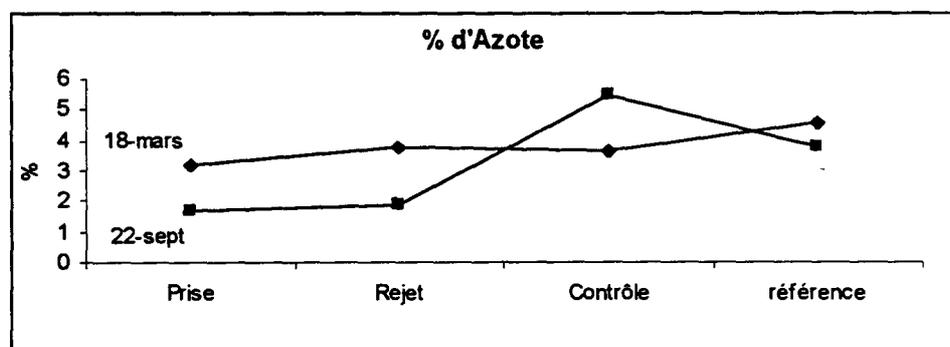
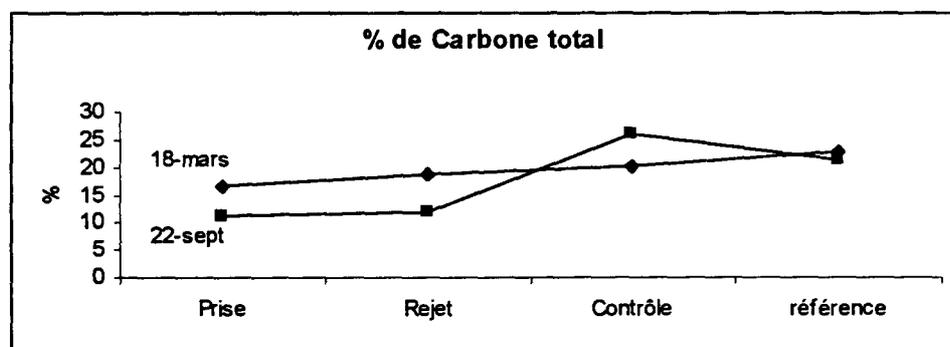
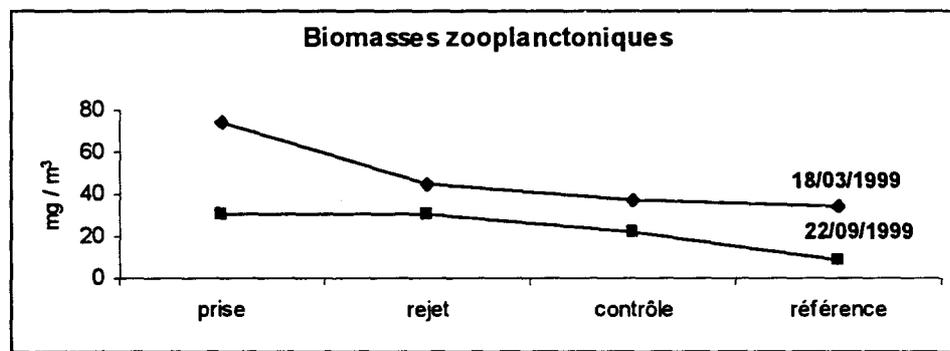


Fig. 5.10.: Variations spatiales

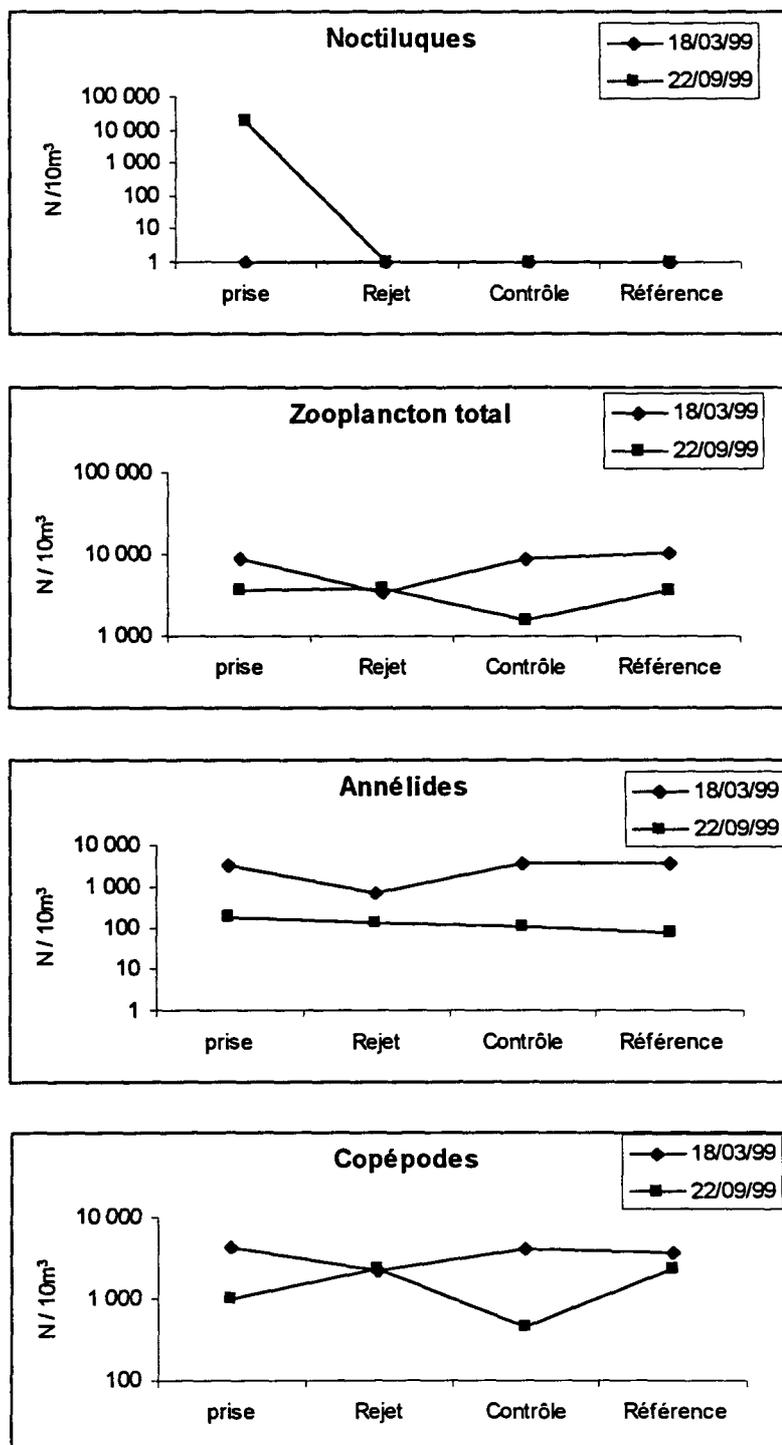


Fig. 5.11. : Variations spatiales

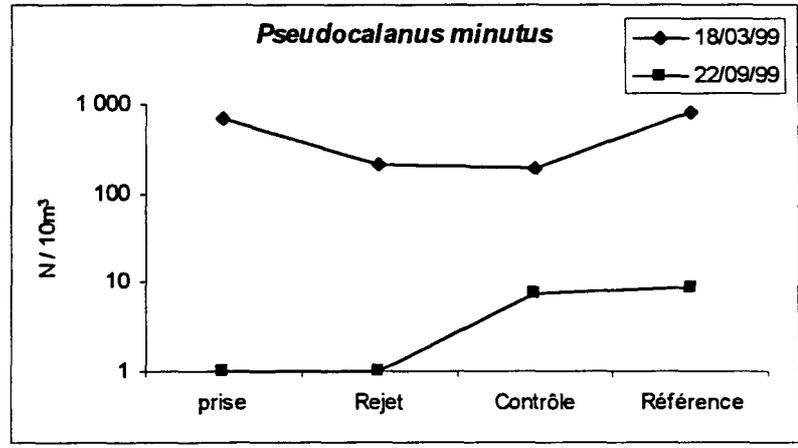
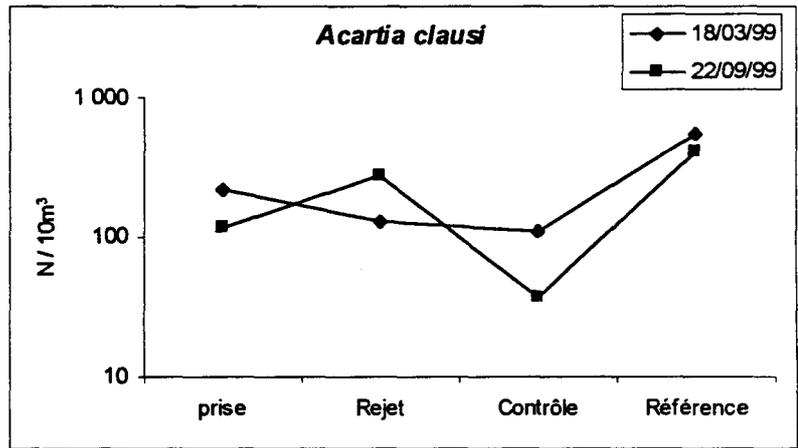
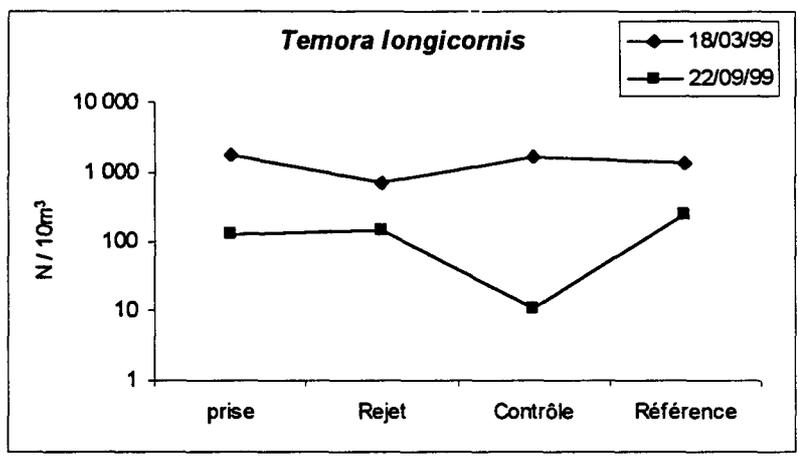


Fig. 5.12. : Variation spatiales

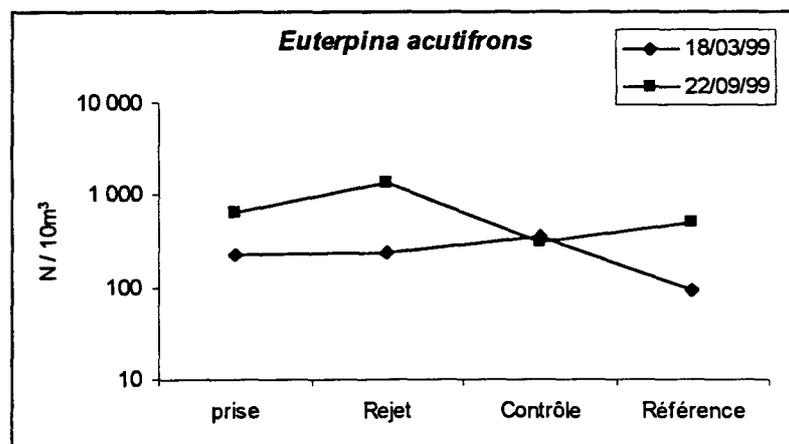
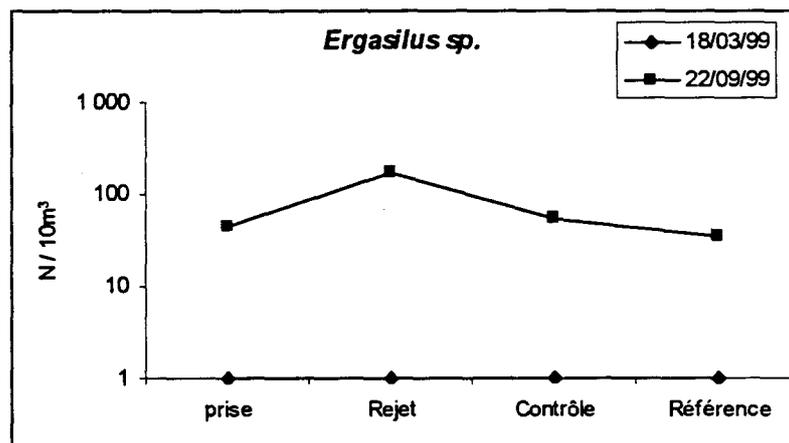
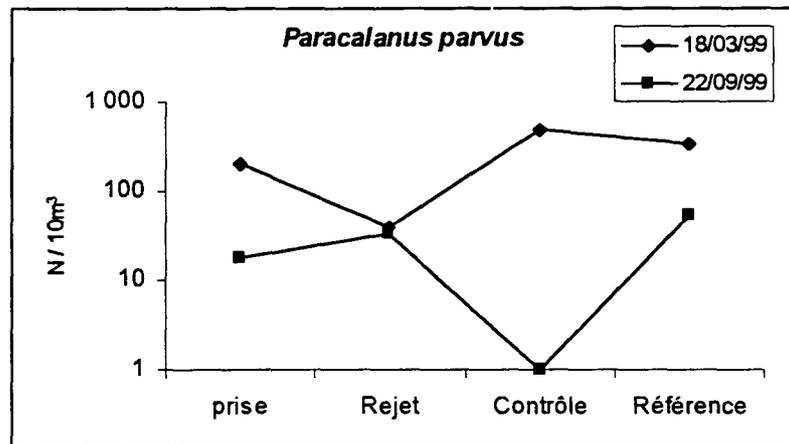


Fig. 5.13. : Variations spatiales

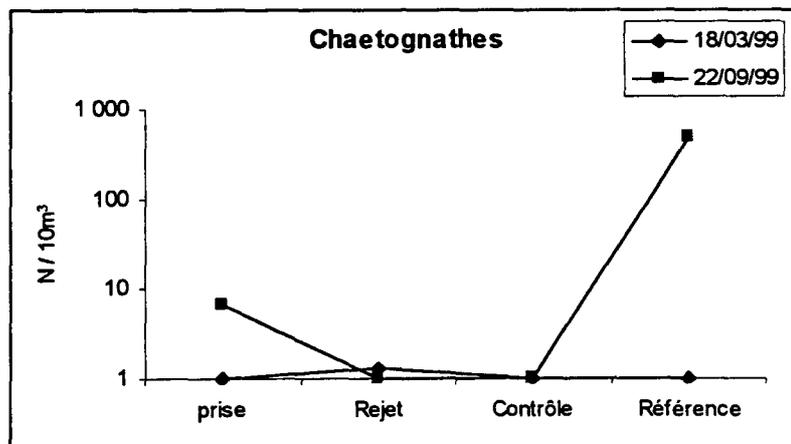
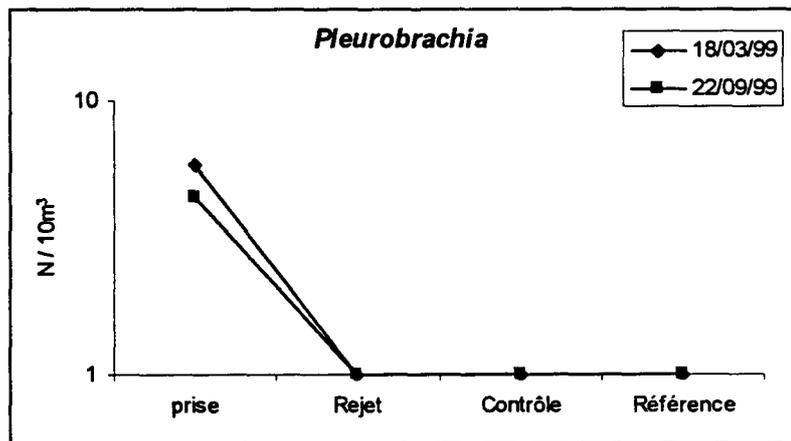
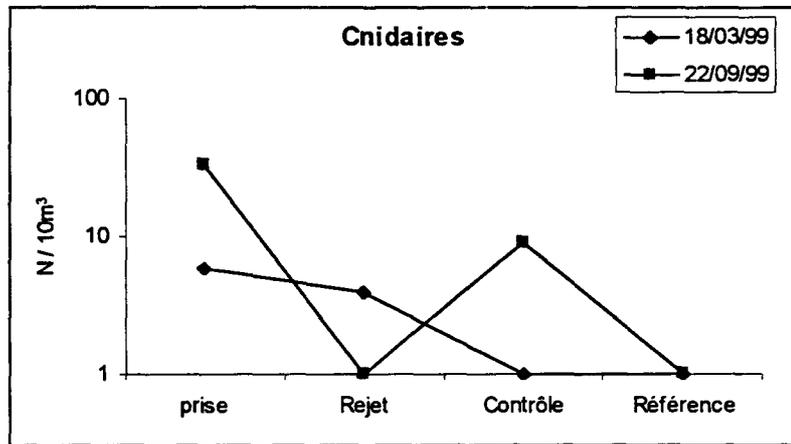


Fig. 5.14. : Variations spatiales

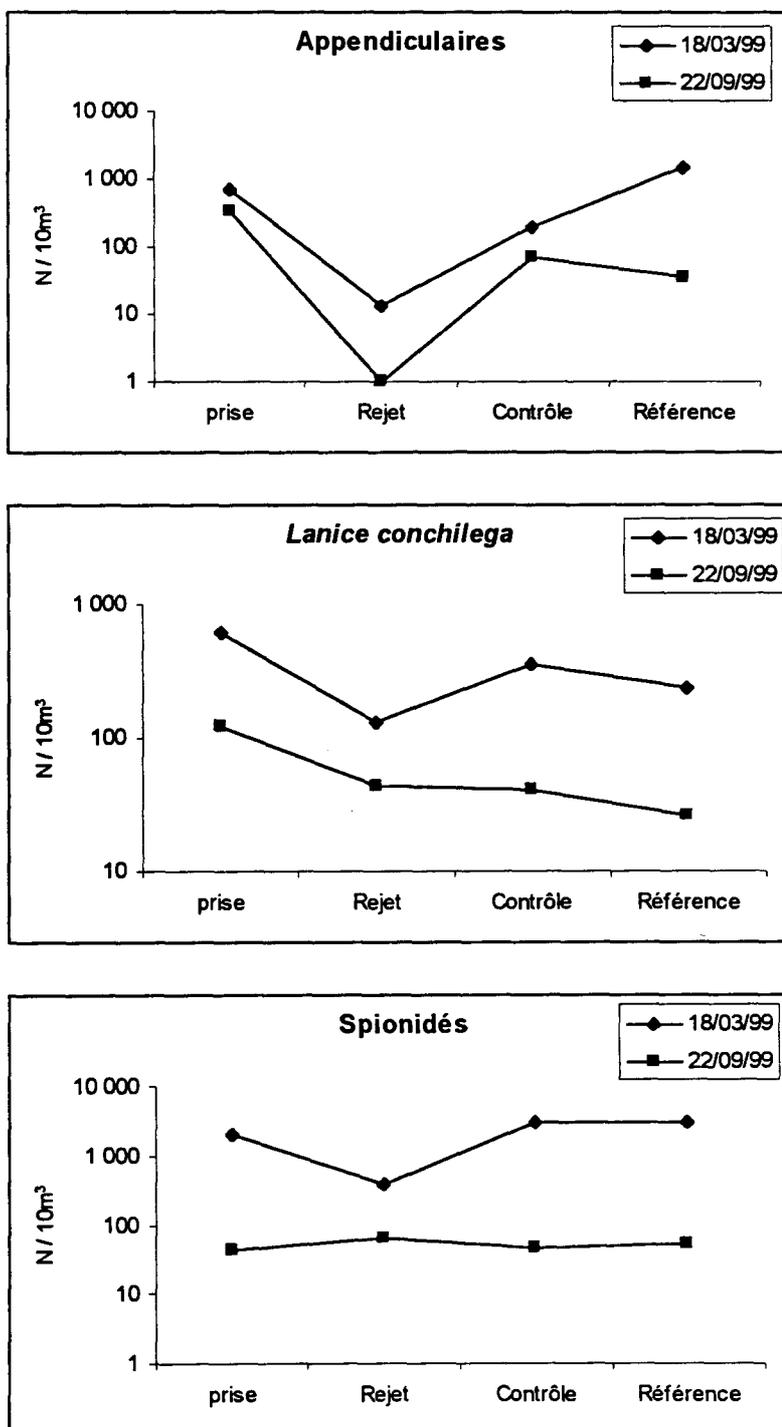


Fig. 5.15. : Variations spatiales

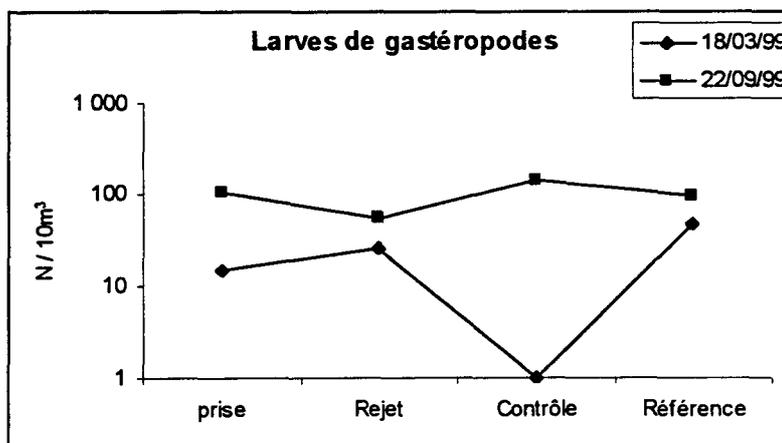
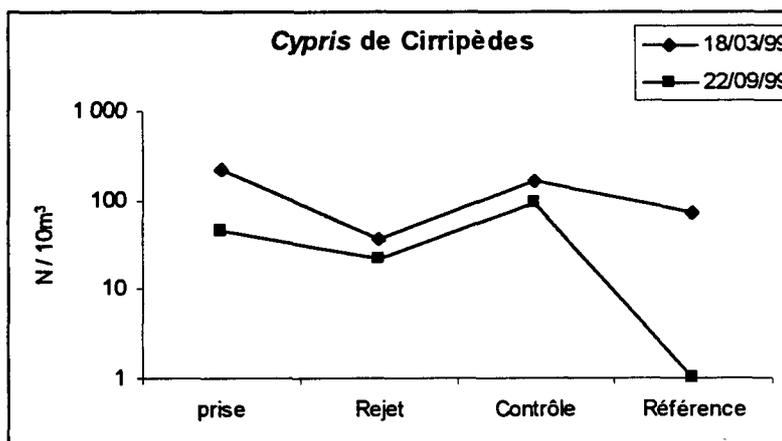
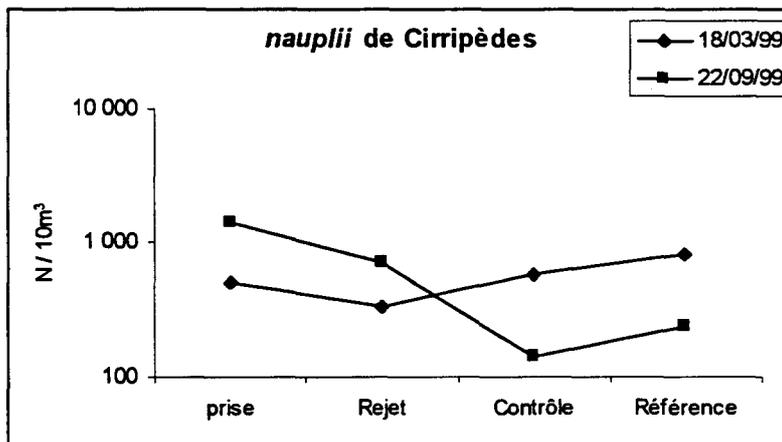


Fig. 5.16. : Variations spatiales

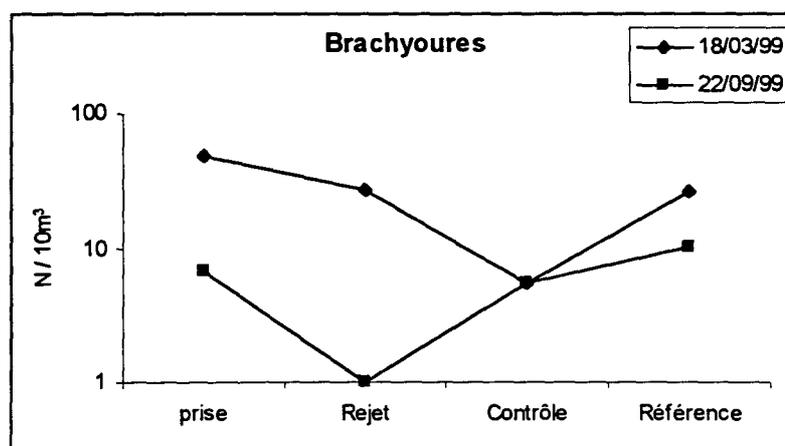
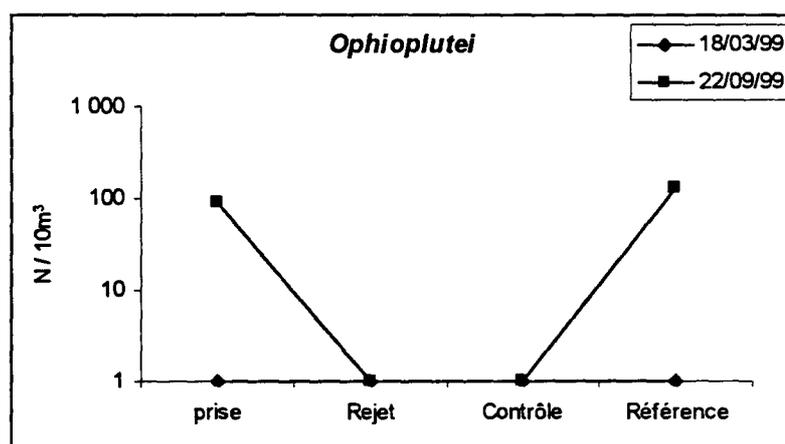
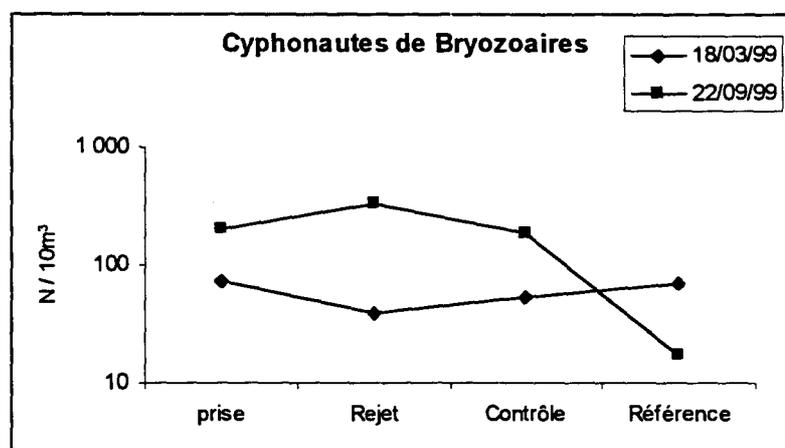


Fig. 5.17. : Variations spatiales

### 5 . 3 . CONCLUSION

Les premières observations de l'année 1999 confirment le cycle annuel des espèces sur Gravelines. Les *maxima* de biomasses de mars et mai sont liées à la production de zooplancton tandis que les fortes biomasses du mois de juillet sont dues aux dinoflagellés. Les espèces présentent une succession saisonnière normale. Le copépode parasite abondant à l'automne depuis quelques années a été déterminé et correspond au genre *Ergasilus*. Cette espèce présentant des phases juvéniles pélagiques libres nous recueillons dans le zooplancton uniquement ces stades et il sera intéressant à l'avenir d'approfondir l'ensemble des phases de vie du parasite, en déterminant les différents hôtes possibles du copépode adulte et son rythme de reproduction. Un lien avec l'activité aquacole doit être fait afin de déterminer si la ferme aquacole n'est pas un lieu de prolifération de cette espèce.

L'impact de la centrale se manifeste soit au niveau du canal de rejet soit un peu plus loin dans la tache thermique au point contrôle. L'impact reste du même ordre de grandeur que pour les années précédentes et est parfois non mesurable sur certaines espèces moins fragiles que d'autres. On voit bien ici l'intérêt de mener en parallèle de mesures de paramètres globaux (type biomasses) et d'espèces variées ayant des affinités et des comportements différents selon la saison et leurs variations annuelles d'abondance.

Date	Point numéro	Poids sec (mg/m <sup>3</sup> )	Moyenne Poids sec	Ecart type Poids sec
13/11/98	325	8,1		
18/12/98	325	38,3		
06/01/99	325	131,7		
24/02/99	325	13,2		
08/03/99	325	9,3		
18/03/99	325	75,1	74,6	24,8
	325	89,0		
	325	68,5		
	325	98,8		
	325	87,2		
	325	28,9		
28/04/99	325	52,3		
19/05/99	325	91,7		
29/06/99	325	75,1		
16/07/99	325	107,7		
30/08/99	325	41,0		
22/09/99	325	31,7	30,3	7,7
	325	25,1		
	325	31,6		
	325	20,0		
	325	42,9		
	325	30,3		
14/10/99	325	13,2		

Tableau 5.1. : Variations saisonnières du poids sec au canal d'amenée

Date	Point numéro	Poids sec (mg/m <sup>3</sup> )	Moyenne Poids sec	Ecart type Poids sec
18/03/99	327	32,7	44,4	12,6
	327	41,0		
	327	41,3		
	327	44,8		
	327	37,8		
	327	68,8		
18/03/99	324	16,9	37,3	19,4
	324	25,3		
	324	22,3		
	324	63,2		
	324	58,0		
	324	38,0		
18/03/99	302	71,6	34,1	22,8
	302	48,2		
	302	29,6		
	302	30,5		
	302	15,4		
	302	9,5		
22/09/99	327	46,4	30,2	15,0
	327	24,9		
	327	48,7		
	327	31,9		
	327	13,1		
	327	16,3		
22/09/99	324	11,8	22,1	11,3
	324	41,5		
	324	18,4		
	324	13,6		
	324	29,2		
	324	18,1		
22/09/99	302	5,2	8,7	2,0
	302	10,1		
	302	8,0		
	302	10,7		
	302	8,9		
	302	9,1		

Tableau 5.1. : Variations saisonnières du poids sec au canal d'amenée (suite)

Date	n° point	% C	% C Moy.	% N	% N Moy.	C / N	C / N Moy.	poids C mg/m <sup>3</sup>	poids C mg/m <sup>3</sup> Moy.	poids N mg/m <sup>3</sup>	poids N mg/m <sup>3</sup> Moy.
13/11/98	325	8,81	8,81	1,53	1,53	5,76	5,76	0,71	0,71	0,12	0,12
18/12/98	325	8,14	8,14	1,09	1,09	7,47	7,47	3,12	3,12	0,42	0,42
06/01/99	325	données aberrantes									
24/02/99	325	16,52	16,52	3,1	3,10	5,33	5,33	2,19	2,19	0,41	0,41
08/03/99	325	24,41	24,41	5,59	5,59	4,37	4,37	2,26	2,26	0,52	0,52
18/03/99	325	16,3	16,76	3,09	3,21	5,28	5,24	12,24	12,45	2,32	2,38
	325	16,67		3,23		5,16		14,84		2,88	
	325	16,17		3,11		5,20		11,08		2,13	
	325	15,12		2,74		5,52		14,94		2,71	
	325	19,12		3,82		5,01		16,67		3,33	
	325	17,15		3,25		5,28		4,95		0,94	
28/04/99	325	16,04	16,04	2,19	2,19	7,32	7,32	8,39	8,39	1,15	1,15
19/05/99	325	15,44	15,44	3,16	3,16	4,89	4,89	14,16	14,16	2,90	2,90
29/06/99	325	14,17	14,17	3,04	3,04	4,66	4,66	10,64	10,64	2,28	2,28
16/07/99	325	16,36	16,36	3,09	3,09	5,29	5,29	17,62	17,62	3,33	3,33
30/08/99	325	12,97	12,97	2,85	2,85	4,55	4,55	5,32	5,32	1,17	1,17
22/09/99	325	10,51	11,14	1,52	1,73	6,91	6,47	3,33	3,41	0,48	0,52
	325	10,9		1,77		6,16		2,73		0,44	
	325	10,67		1,65		6,47		3,37		0,52	
	325	10,2		1,66		6,14		2,04		0,33	
	325	12,14		1,77		6,86		5,21		0,76	
	325	12,39		1,98		6,26		3,75		0,60	
14/10/99	325	14,07	14,07	2,55	2,55	5,52	5,52	1,86	1,86	0,34	0,34
18/03/99	327	18,55	18,74	3,85	3,80	4,82	4,94	6,07	8,30	1,26	1,67
	327	18,27		3,65		5,01		7,48		1,50	
	327	19,09		3,98		4,80		7,89		1,65	
	327	18,85		3,78		4,99		8,44		1,69	
	327	19,4		4,03		4,81		7,32		1,52	
	327	18,28		3,52		5,19		12,57		2,42	
18/03/99	324	23,69	20,36	4,22	3,65	5,61	5,55	4,00	7,42	0,71	1,28
	324	22,43		4,09		5,48		5,67		1,03	
	324	24,05		4,76		5,05		5,36		1,06	
	324	23,93		3,6		6,65		15,11		2,27	
	324	18,46		3,15		5,86		10,71		1,83	
	324	9,62		2,07		4,65		3,66		0,79	
18/03/99	302	16,5	22,85	2,96	4,54	5,57	5,11	11,81	6,80	2,12	1,30
	302	16,02		3,04		5,27		7,73		1,47	
	302	22,88		4,39		5,21		6,77		1,30	
	302	23,99		4,74		5,06		7,31		1,44	
	302	28,73		5,94		4,84		4,43		0,92	
	302	29		6,14		4,72		2,74		0,58	
22/09/99	327	10,99	11,75	1,7	1,89	6,46	6,23	5,10	3,53	0,79	0,57
	327	11,51		1,92		5,99		2,87		0,48	
	327	12,26		1,95		6,29		5,97		0,95	
	327	11,26		1,91		5,90		3,60		0,61	
	327	10,66		1,72		6,20		1,40		0,23	
	327	13,84		2,12		6,53		2,26		0,35	
22/09/99	302	27,9	25,90	6,51	5,45	4,29	4,81	1,45	2,22	0,34	0,47
	302	27,11		6,24		4,34		2,75		0,63	
	302	31,15		4,7		6,63		2,49		0,38	
	302	25,14		5,56		4,52		2,69		0,60	
	302	24		5,21		4,61		2,14		0,46	
	302	20,07		4,49		4,47		1,82		0,41	
22/09/99	324	20,99	21,15	4,06	3,79	5,17	5,58	2,48	4,72	0,48	0,84
	324	22,57		3,96		5,70		9,37		1,64	
	324	20,78		3,81		5,45		3,82		0,70	
	324	21,92		3,72		5,89		2,99		0,51	
	324	21,03		3,73		5,64		6,13		1,09	
	324	19,6		3,48		5,63		3,54		0,63	

Tableau 5.2. : % de carbone et d'azote. Poids de carbone et d'azote

SITE	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES
STATION	325	325	325	325	325	325
DATE	13/11/98	18/12/98	06/01/99	24/02/99	08/03/99	18/03/99
Volume filtré (m3)	8,41	5,6	7,36	8,03	12,04	3,43
Nature des résultats	N/10 m3					
Obelia sp.	0	0	0	0	0	0
Hybocodon prolifer	0	0	0	0	0	0
Eucheilota maculata	0	0	0	0	0	0
Clytia hemispherica	0	0	0	0	0	0
Cnidaires ND	0	0	0	7	3	6
TOTAL CNIDAIRES	0	0	0	7	3	6
Pleurobrachia pileus	2	4	16	2	6	6
Beroe sp.	0	0	0	0	0	0
TOTAL CTENAIRES	2	4	16	2	6	6
TOTAL CHAETOGNATHES	52	18	3	0	1	0
Lanice conchilega	36	43	8	20	163	612
Spionidae	48	11	41	60	70	2 070
Annélides ND	18	2	23	20	27	496
TOTAL ANNELIDES	101	55	72	100	259	3 178
Daphnia sp.	0	0	0	0	0	0
Bosmina sp	0	0	0	0	0	0
Podon sp.	0	0	0	0	0	0
Evadne sp.	0	0	0	0	0	0
TOTAL CLADOCERES	0	0	0	0	0	0
Nauplii Cirripèdes	42	0	15	2 017	324	510
Cypris Cirripèdes	0	0	3	15	33	219
TOTAL Larves CIRRIPEDES	42	0	18	2 032	357	729
AMPHIPODES	1	14	11	2	1	12
ISOPODES	0	0	0	0	0	0
CUMACES	1	2	0	2	0	0
Mesopodopsis slabberii	1	0	3	0	1	3
Schistomysis spiritus	0	0	0	0	0	0
Schistomysis kervielli	0	0	0	0	0	0
Mysidacés ND	2	2	1	0	0	0
TOTAL MYSIDACES	4	2	4	0	1	3
Calanus helgolandicus	0	0	1	5	7	12
Paracalanus parvus	36	64	1	143	10	204
Pseudocalanus elongatus	77	214	149	1 046	357	685
Stephos minor	6	0	1	0	0	0
Temora longicornis	624	1 179	190	286	399	1 837
Eurytemora affinis	0	0	0	0	0	0
Metridia lucens	0	0	0	0	0	0
Centropages typicus	0	0	0	0	0	0
Centropages hamatus	238	311	102	205	457	962
Isias clavipes	0	0	0	0	0	0
Candacia armata	0	0	0	0	0	0
Labidocera wollastonii	0	0	0	0	0	0

Tableau 5.3. : Abondance des espèces zooplanctoniques au canal d'aménée

STATION	325	325	325	325	325	325
DATE	13/11/98	18/12/98	06/01/99	24/02/99	08/03/99	18/03/99
Volume filtré (m3)	8,41	5,6	7,36	8,03	12,04	3,43
Nature des résultats	N/10 m3					
Parapontella brevicornis	0	0	0	0	0	0
Acartia clausi	535	289	272	137	224	219
Acartia discaudata	0	0	1	0	0	0
Oithona sp.	0	0	0	0	0	0
Oncaea sp.	0	0	0	0	0	0
Euterpina acutifrons	363	686	353	0	33	233
Corycaeus sp.	1	5	39	2	0	0
Cyclopina littoralis	12	11	1	2	0	0
Nauplii copépodes	0	0	0	0	0	87
Cyclopoïdes ND	12	0	7	2	0	0
Cop. Parasite <i>Ergasilus sp.</i>	357	75	7	0	0	0
Harpacticoïdes ND	2	0	5	2	2	29
Monstrillides ND	0	0	0	0	0	0
Copépodes ND	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL COPEPODES</b>	<b>2 263</b>	<b>2 834</b>	<b>1 132</b>	<b>1 833</b>	<b>1 488</b>	<b>4 268</b>
<b>EUPHAUSIACES</b>	0	0	0	0	0	0
Larves NATANTIA (Caridea)	1	0	0	0	2	0
Larves THALASSINIDEA	0	0	0	0	0	0
Larves de Porcellanidae	0	0	0	0	0	0
Larves de Paguridae	0	0	0	1	0	0
Larves de Diogeneidae	0	0	0	0	0	0
Larves de Galatheidae	0	0	0	0	0	0
L. Anomoures ND	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL L. d' ANOMOURES</b>	0	0	0	1	0	0
Zoe de Brachyours	1	5	1	14	26	50
Mégaloopes de Brachyours	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL L. de BRACHYOURES</b>	1	5	1	14	26	50
Larves GASTEROPODES	30	21	10	0	0	15
Larves BIVALVES	0	2	3	0	0	73
<b>TOTAL L. de MOLLUSQUES</b>	30	23	12	0	0	87
Cyphonautes BRYOZOAIRES	71	75	0	22	40	73
Ophiopluteus	0	0	0	0	0	0
Echinopluteus	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL L. d'ECHINODERMES</b>	0	0	0	0	0	0
Oikopleura dioica	95	32	12	102	130	700
Fritillaria borealis	0	0	0	0	0	0
Appendiculaires ND	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL APPENDICULAIRES</b>	95	32	12	102	130	700
Tétards d'Ascidies	24	2	0	0	0	0
Téléostéens (Œufs)	0	0	1	2	6	23
Téléostéens (Alevins et larves)	0	0	1	5	3	3
<b>TOTAL ZOOPLANCTON</b>	<b>2 688</b>	<b>3 066</b>	<b>1 284</b>	<b>4 127</b>	<b>2 323</b>	<b>9 137</b>
Noctiluca scintillans	0	0	0	0	0	0

Tableau 5.3. : Abondance des espèces zooplanctoniques au canal d'aménée (suite)

SITE	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES
STATION	325	325	325	325	325	325
DATE	28/04/99	19/05/99	29/06/99	16/07/99	30/08/99	22/09/99
Volume filtré (m3)	2,16	2,09	2,01	1,89	3,27	4,48
Nature des résultats	N/10 m3					
Obelia sp.	0	5	0	0	0	0
Hybocodon prolifer	0	0	0	0	0	0
Eucoilota maculata	0	0	35	21	52	27
Clytia hemispherica	0	10	0	0	0	0
Cnidaires ND	23	0	0	0	0	7
<b>TOTAL CNIDAIRES</b>	23	14	35	21	52	33
Pleurobrachia pileus	28	139	5	0	3	4
Beroe sp.	0	5	0	0	0	0
<b>TOTAL CTENAIRES</b>	28	144	5	0	3	4
<b>TOTAL CHAETOGNATHES</b>	0	0	0	53	416	7
Lanice conchilega	394	96	40	0	294	125
Spionidae	60	383	199	0	122	45
Annélides ND	9	96	0	0	0	9
<b>TOTAL ANNELIDES</b>	463	574	239	0	416	179
Daphnia sp.	0	0	0	0	0	0
Bosmina sp	0	0	0	0	0	0
Podon sp.	0	0	0	0	0	0
Evadne sp.	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL CLADOCERES</b>	0	0	0	0	0	0
Nauplii Cirripèdes	79	191	40	85	661	1 420
Cypris Cirripèdes	51	96	40	0	24	45
<b>TOTAL Larves CIRRIPEDES</b>	130	287	80	85	685	1 464
<b>AMPHIPODES</b>	5	14	2 149	0	24	27
<b>ISOPODES</b>	0	0	0	0	0	0
<b>CUMACES</b>	0	14	0	5	0	0
Mesopodopsis slabberii	0	0	0	0	15	0
Schistomysis spiritus	0	0	0	0	0	0
Schistomysis kervielli	0	0	0	0	0	0
Mysidacés ND	0	0	0	5	9	0
<b>TOTAL MYSIDACES</b>	0	0	0	5	24	0
Calanus helgolandicus	0	33	0	0	0	0
Paracalanus parvus	9	0	0	0	73	18
Pseudocalanus elongatus	167	2 584	40	85	0	0
Stephos minor	0	0	0	0	0	0
Temora longicornis	1 921	61 244	3 741	4 487	2 226	125
Eurytemora affinis	0	0	0	0	0	0
Metridia lucens	0	0	0	0	0	0
Centropages typicus	0	0	0	0	0	0
Centropages hamatus	60	2 679	478	1 524	0	18
Isias clavipes	0	0	0	0	0	0
Candacia armata	0	0	0	0	0	0
Labidocera wollastonii	0	5	0	0	24	0

Tableau 5.3. : Abondance des espèces zooplanctoniques au canal d'aménée (suite)

STATION	325	325	325	325	325	325
DATE	28/04/99	19/05/99	29/06/99	16/07/99	30/08/99	22/09/99
Volume filtré (m3)	2,16	2,09	2,01	1,89	3,27	4,48
Nature des résultats	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3
Parapontella brevicornis	0	0	0	0	0	0
Acartia clausi	190	4 019	4 259	14 307	5 235	116
Acartia discaudata	0	0	0	0	0	0
Oithona sp.	0	0	0	0	0	9
Oncaea sp.	0	0	0	0	0	0
Euterpina acutifrons	5	861	597	593	2 642	643
Corycaeus sp.	0	0	0	0	98	9
Cyclopina littoralis	0	191	40	169	122	0
Nauplii copépodes	14	478	40	0	73	0
Cyclopoïdes ND	0	96	0	0	0	0
Cop. Parasite <i>Ergasilus sp.</i>	0	0	40	85	294	45
Harpacticoïdes ND	14	191	0	0	0	0
Monstrillides ND	0	0	0	0	0	0
Copépodes ND	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL COPEPODES</b>	<b>2 380</b>	<b>72 383</b>	<b>9 234</b>	<b>21 249</b>	<b>10 789</b>	<b>982</b>
<b>EUPHAUSIACES</b>	0	0	0	0	0	0
Larves NATANTIA (Caridea)	0	0	0	0	6	4
Larves THALASSINIDEA	0	0	0	0	0	0
Larves de Porcellanidae	0	5	0	0	9	7
Larves de Paguridae	0	0	0	0	0	0
Larves de Diogeneidae	0	0	0	0	0	0
Larves de Galatheidae	0	0	0	0	0	0
L. Anomoures ND	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL L. d' ANOMOURES</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>7</b>
Zoe de Brachyours	5	72	0	5	9	7
Mégalopes de Brachyours	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL L. de BRACHYOURES</b>	<b>5</b>	<b>72</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>7</b>
Larves GASTEROPODES	14	383	0	0	122	107
Larves BIVALVES	14	0	0	0	0	223
<b>TOTAL L. de MOLLUSQUES</b>	<b>28</b>	<b>383</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>122</b>	<b>330</b>
Cyphonautes BRYOZOAIREs	19	96	0	0	367	205
Ophiopluteus	106	3 828	80	0	147	89
Echinopluteus	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL L. d'ECHINODERMES</b>	<b>106</b>	<b>3 828</b>	<b>80</b>	<b>0</b>	<b>147</b>	<b>89</b>
Oikopleura dioica	625	2 488	0	85	0	321
Fritillaria borealis	0	0	0	0	0	0
Appendiculaires ND	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL APPENDICULAIRES</b>	<b>625</b>	<b>2 488</b>	<b>0</b>	<b>85</b>	<b>0</b>	<b>321</b>
Tétards d'Ascidies	0	0	0	0	24	0
Téléostéens (Œufs)	0	43	0	0	0	0
Téléostéens (Alevis et larves)	5	19	0	0	0	0
<b>TOTAL ZOOPLANCTON</b>	<b>3 815</b>	<b>80 364</b>	<b>11 821</b>	<b>21 508</b>	<b>13 095</b>	<b>3 661</b>
Noctiluca scintillans	148	63 158	686 567	1 024 339	0	18 125

Tableau 5.3. : Abondance des espèces zooplanctoniques au canal d'amerée (suite)

SITE	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES
STATION	327	324	302	327	324	302
DATE	18/03/99	18/03/99	18/03/99	22/09/99	22/09/99	22/09/99
Volume filtré (m3)	7,58	7,33	8,39	0,91	5,45	5,8
Nature des résultats	N/10 m3					
Obelia sp.	0	0	0	0	0	0
Hybocodon prolifer	0	0	0	0	0	0
Euchelota maculata	0	0	0	0	0	0
Clytia hemispherica	0	0	0	0	0	0
Cnidaires ND	4	0	0	0	9	0
TOTAL CNIDAIRES	4	0	0	0	9	0
Pleurobrachia pileus	0	0	0	0	0	0
Beroe sp.	0	0	0	0	0	0
TOTAL CTENAIRES	0	0	0	0	0	0
TOTAL CHAETOGNATHES	1	0	0	0	0	483
Lanice conchilega	132	355	238	44	40	26
Spionidae	396	2 947	3 099	66	48	52
Annélides ND	172	273	501	22	18	0
TOTAL ANNELIDES	699	3 574	3 838	132	106	78
Daphnia sp.	0	0	0	0	0	0
Bosmina sp	0	0	0	0	0	0
Podon sp.	0	0	0	0	0	0
Evadne sp.	0	0	0	0	0	0
TOTAL CLADOCERES	0	0	0	0	0	0
Nauplii Cirripèdes	330	573	810	703	139	233
Cypris Cirripèdes	37	164	72	22	95	0
TOTAL Larves CIRRIPEDES	367	737	882	725	235	233
AMPHIPODES	0	0	0	0	13	0
ISOPODES	0	0	0	0	0	0
CUMACES	0	0	0	0	0	2
Mesopodopsis slabberii	1	4	1	0	18	2
Schistomysis spiritus	0	0	0	0	0	0
Schistomysis kervielli	0	0	0	0	0	0
Mysidacés ND	0	0	0	0	0	0
TOTAL MYSIDACES	1	4	1	0	18	2
Calanus helgolandicus	13	0	1	0	0	0
Paracalanus parvus	40	491	334	33	0	52
Pseudocalanus elongatus	211	191	834	0	7	9
Stephos minor	0	0	0	0	0	0
Temora longicornis	726	1 664	1 406	143	11	250
Eurytemora affinis	0	0	0	0	0	0
Metridia lucens	0	0	0	0	0	0
Centropages typicus	0	0	0	0	0	2
Centropages hamatus	844	873	381	22	4	9
Isias clavipes	0	0	0	0	0	0
Candacia armata	0	0	0	0	0	0
Labidocera wollastonii	0	0	0	0	0	0

Tableau 5.4. : Abondances des espèces zooplanctoniques.  
Points rejet et référence contrôle

STATION	327	324	302	327	324	302
DATE	18/03/99	18/03/99	18/03/99	22/09/99	22/09/99	22/09/99
Volume filtré (m3)	7,58	7,33	8,39	0,91	5,45	5,8
Nature des résultats	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3
Parapontella brevicornis	0	0	0	0	0	0
Acartia clausi	132	109	548	275	37	414
Acartia discaudata	0	0	0	0	0	0
Oithona sp.	0	0	0	286	7	0
Oncaea sp.	0	0	0	0	0	0
Euterpina acutifrons	237	355	95	1 374	305	517
Corycaeus sp.	0	0	0	33	7	1 000
Cyclopina littoralis	0	27	0	0	26	0
Nauplii copépodes	0	300	0	22	0	34
Cyclopoïdes ND	0	55	24	11	4	0
Cop. Parasite <i>Ergasilus</i> sp.	0	0	0	176	55	34
Harpacticoïdes ND	13	109	24	0	0	0
Monstrillides ND	0	0	0	0	0	0
Copépodes ND	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL COPEPODES</b>	<b>2 216</b>	<b>4 175</b>	<b>3 648</b>	<b>2 374</b>	<b>462</b>	<b>2 321</b>
<b>EUPHAUSIACES</b>	0	0	0	0	0	0
Larves NATANTIA (Caridea)	0	1	5	11	2	43
Larves THALASSINIDEA	0	0	0	0	0	21
Larves de Porcellanidae	0	0	0	0	0	0
Larves de Paguridae	1	0	1	0	0	12
Larves de Diogeneidae	0	0	0	0	0	0
Larves de Galatheidae	0	0	0	0	0	0
L. Anomoures ND	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL L. d' ANOMOURES</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>12</b>
Zoe de Brachyours	28	5	26	0	6	10
Mégalopes de Brachyours	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL L. de BRACHYOURES</b>	<b>28</b>	<b>5</b>	<b>26</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>10</b>
Larves GASTEROPODES	26	0	48	55	143	95
Larves BIVALVES	13	327	453	110	323	69
<b>TOTAL L. de MOLLUSQUES</b>	<b>40</b>	<b>327</b>	<b>501</b>	<b>165</b>	<b>466</b>	<b>164</b>
Cyphonautes BRYOZOAIREs	40	55	72	330	187	17
Ophiopluteus	0	0	0	0	0	129
Echinopluteus	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL L. d'ECHINODERMES</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>129</b>
Oikopleura dioica	13	191	1 454	0	70	34
Fritillaria borealis	0	0	0	0	0	0
Appendiculaires ND	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL APPENDICULAIRES</b>	<b>13</b>	<b>191</b>	<b>1 454</b>	<b>0</b>	<b>70</b>	<b>34</b>
Tétards d'Ascidiés	13	0	0	11	0	0
Téléostéens (Œufs)	8	22	58	0	0	2
Téléostéens (Alevins et larves)	0	1	5	0	0	0
<b>TOTAL ZOOPLANCTON</b>	<b>3 431</b>	<b>9 093</b>	<b>10 491</b>	<b>3 747</b>	<b>1 574</b>	<b>3 550</b>
Noctiluca scintillans	0	0	0	0	0	0

Tableau 5.4. : Abondances des espèces zooplanctoniques.  
Points rejet et référence contrôle (suite)

<i>Pleurobrachia pileus</i> (abondances par 10 m <sup>3</sup> )							
DATE	maille µm	Entrée 325	rejet 327	côte 313	contrôle 324	réf. 302	réf. 318
13/11/98	200	2					
18/12/98	200	4					
06/01/99	200	16					
24/02/99	200	2					
08/03/99	200	6					
18/03/99	200	6	0		0	0	
21/04/99	500	38					
28/04/99	200	28					
10/05/99	500			107	103		32
19/05/99	200	139					
03/06/99	500	16					
24/06/99	500	0,3					
29/06/99	200	5					
16/07/99	200	0					
30/08/99	200	3					
22/09/99	200	4	0		0	0	
<i>Beroe sp.</i> (abondances par 10m <sup>3</sup> )							
DATE	maille µm	Entrée 325	rejet 327	côte 313	contrôle 324	réf. 302	réf. 318
13/11/98	200	0					
18/12/98	200	0					
06/01/99	200	0					
24/02/99	200	0					
08/03/99	200	0					
18/03/99	200	0	0		0	0	
21/04/99	500	0					
28/04/99	200	0					
10/05/99	500			0	0		0
19/05/99	200	5					
03/06/99	500	4					
24/06/99	500	0					
29/06/99	200	0					
16/07/99	200	0					
30/08/99	200	0					
22/09/99	200	0	0		0	0	

Tableau 5.5. : Abondances des cténaires

## **6. ZOOPLANCTON HALIEUTIQUE**

**Daniel WOEHLING  
Frank COPPIN  
Jean D'ELBÉE**



## 6.1. INTRODUCTION

Le volet 'Écologie Halieutique' de l'étude du site de Gravelines est centré sur les principales espèces constituant les ressources vivantes du secteur et son rôle d'habitat sensible d'intérêt halieutique. En effet, compte tenu de ses caractéristiques, le site s'inscrit dans une famille d'aires côtières de nutrition, frayères et nourriceries d'espèces halieutiques, en particulier pour les poissons plats.

Situées en bordure orientale de l'entonnoir formé par le bassin du sud de la mer du Nord, dans un secteur de convergence de hauts-fonds, les eaux côtières de Gravelines présentent les caractéristiques d'une mer épicontinentale riche de nombreux apports telluriques. Le site est en continuité avec les côtes belges et hollandaises, à la frange méridionale d'une des plus importantes frayères de sole de mer du Nord, dont l'épicentre se situe à quelques dizaines de kilomètres au nord-est.

L'étude est focalisée sur les stades planctoniques de deux espèces cibles choisies pour leur importance économique effective ou potentielle et la reproductibilité de leur présence dans le milieu : la *sole* et le *sprat*, toutes deux à ponte côtière et caractéristiques du site. Le choix de deux espèces d'écologie différente en phase adulte (la première est benthique, la seconde pélagique), outre leur intérêt direct, permet de mettre en évidence des processus généraux affectant le site.

## 6.2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le matériel et les méthodes de terrain et de laboratoire sont dérivés de ceux utilisés depuis le début des études et harmonisés pour l'ensemble des sites d'implantation de centrales nucléaires. Ils sont décrits en détail dans les précédents rapports.

### 6.2.1 Rappel succinct

Les prélèvements de plancton sont réalisés à l'échantillonneur *Bongo* grand modèle (61 cm de diamètre d'embouchure) muni de deux filets de maillage 500 µm pêchant simultanément (sauf pour le point 325 à l'entrée du canal d'amenée où l'armature ne comporte qu'un seul filet. Deux repliquats sont réalisés en chaque point.

### 6.2.2 Localisation des points de prélèvement

Les prélèvements ont été effectués en trois points situés en mer le long d'une radiale (313 : côte, 324 : médian, 318 : large) et un point (325) situé à l'entrée du canal d'amenée.

### 6.2.3 Chronologie

En 1999, quatre campagnes ont été menées (une campagne en mer et trois campagnes au canal d'amenée), dans l'intervalle allant du 21 avril au 24 juin, afin de couvrir au mieux la période de présence des œufs et larves de la sole et du sprat, compte tenu également des contraintes météorologiques qui n'ont pas permis de réaliser de campagne en mer plus tôt, celle-ci ayant été remplacée en fin de compte par une campagne 'canal'. Cette chronologie, ainsi que les principales caractéristiques des campagnes, figurent dans le tableau 6.1 ci-après.

N° de campagne	Date	Heure Pleine mer (T.U.)	Coefficient de marée	Point	Température (°C)	Repliquat	Heure du prélèvement	Durée du trait (min)	Volume filtré (m <sup>3</sup> )
199	21 avril	4 h 07	77	325	10,7	1	9 h 35	15	218,95
						2	10 h 00	15	181,96
200	10 mai	7 h 53	46	313	13,1	1	7 h 18	6	71,03
						2	7 h 35	3	35,47
				324	12,8	1	7 h 50	6	92,96
						2	8 h 02	6	117,24
318	12,3	1	8 h 26	6	154,25				
		2	8 h 37	6	177,06				
201	3 juin	15 h 11	69	325	15,6	1	9 h 58	15	146,28
202	24 juin	9 h 44	51	325	18,60	1	15 h 23	15	186,27
						2	15 h 47	15	133,14

Tabl. 6.1. Caractéristiques principales des campagnes de prélèvement de zooplancton halieutique sur le site de Gravelines en 1999

## RÉSULTATS

### 6.3.1 La sole *Solea vulgaris* Quensel (tableau 6.2 et figures 6.1 à 6.5)

La sole constitue la principale espèce halieutique du secteur. Le site étant inclus dans l'aire de reproduction à proximité du barycentre de la grande frayère de mer du Nord, les œufs et larves de sole forment un élément caractéristique du plancton de Gravelines et les cycles annuels d'abondance sont reproductibles.

#### Œufs

Après des densités élevées observées en 1996, lesquelles étaient de l'ordre de grandeur de celles relevées au cours des années 1983 et 1984 (fig. 6.2), les effectifs de 1999 sont anormalement faibles, se situant dans les valeurs basses (fig. 6.1), alors que ceux des années précédentes 1997 et 1998, reflétaient la moyenne du site (environ 30 à 50 par 10 m<sup>3</sup>). Compte tenu des températures supérieures à 10° C (lesquelles normalement ne sont atteintes qu'en mai), il est possible que la ponte ait été précoce et que le pic se soit produit avant la première campagne, comme en 1998. Moins exceptionnelle que 1998, l'année 1999 demeure une année « chaude » puisqu'on enregistre des températures de près de 15° C dès début juin

On retrouve des effectifs plus importants à l'entrée du canal d'amenée, conformément au gradient général vers la côte observé pour cette espèce, mais lors de la campagne en mer du 10 mai, ce gradient est inversé (fig. 6.4), contrairement à 1998.

#### Larves

Comme en 1997 et 1998, les larves apparaissent dès la première campagne d'avril, confirmant la précocité de la ponte. Leur maximum d'abondance est toujours décalé par rapport à celui des œufs, ayant lieu en juin. Cependant, on est loin des densités habituelles (quelques unités par 10 m<sup>3</sup>), le déficit atteignant un facteur 10 (tabl.6.2). La précocité des pontes, qui est habituellement un facteur défavorable à la survie des larves (les éclosions se produisant à une période où les espèces trophiques ne sont pas encore abondantes), n'est pas seule en cause puisqu'en 1997 les densités de larves étaient normales.

Le gradient d'abondance vers la côte est net (fig. 6.5).

## GRAVELINES : SOLE œufs et larves (moyennes par campagne)

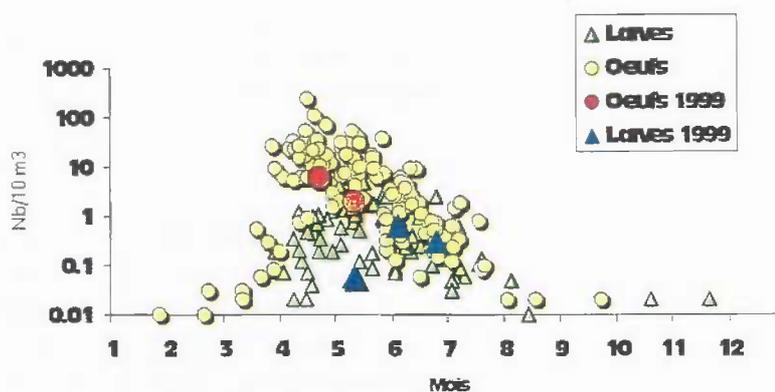


Fig. 6.1. Variations saisonnières des densités d'œufs et de larves de sole à Gravelines de 1975 à 1999

Date	Point	Répliquât	Total œufs	Œufs stade 1	Œufs stade 2	Larves
21 avril	325	1	6.39	4.75	1.64	0.00
		2	6.11	4.48	1.63	0.00
		Moyenne	<b>6.25</b>	<b>4.61</b>	<b>1.63</b>	<b>0.00</b>
10 mai	313	1	0.84	0.42	0.42	0.00
		2	0.28	0.28	0.00	0.00
		Moyenne	<b>0.56</b>	<b>0.35</b>	<b>0.21</b>	<b>0.00</b>
	324	1	1.83	1.4	0.43	0.22
		2	1.28	0.68	0.6	0.00
		Moyenne	<b>1.56</b>	<b>1.04</b>	<b>0.52</b>	<b>0.11</b>
318	1	6.48	3.11	3.37	0.13	
	2	1.69	0.9	0.79	0.00	
	Moyenne	<b>4.09</b>	<b>2.01</b>	<b>2.08</b>	<b>0.07</b>	
3 juin	325	1	0.00	0.00	0.00	0.62
24 juin	325	1	0.00	0.00	0.00	0.00
		2	0.00	0.00	0.00	0.62
		Moyenne	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.31</b>

Tabl. 6.2. Densités d'œufs et de larves de sole à Gravelines en 1999 (en nombre par 10 m<sup>3</sup>)

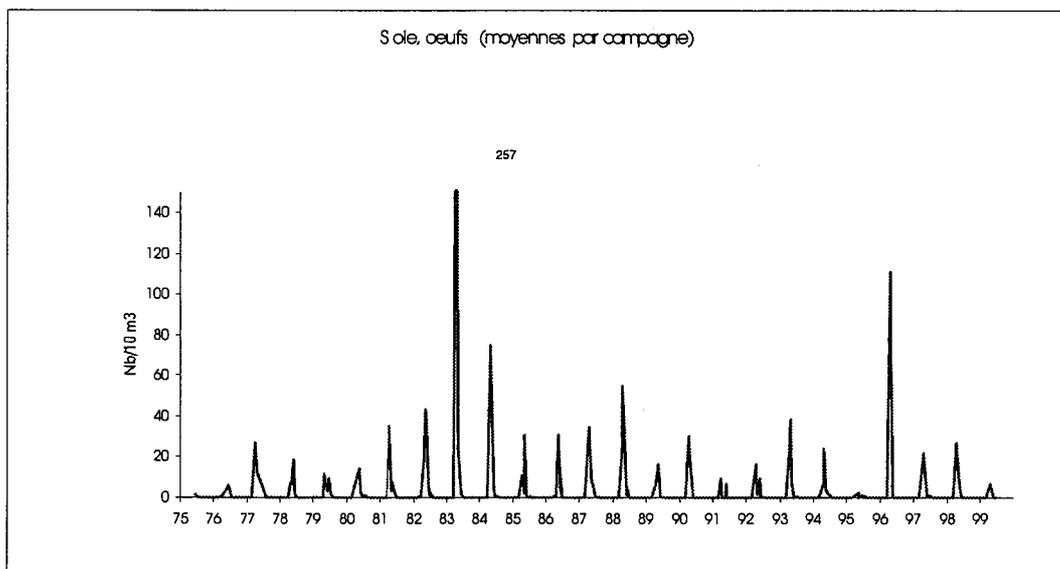


Fig. 6.2. Variations annuelles des densités d'œufs de sole à Gravelines de 1975 à 1999

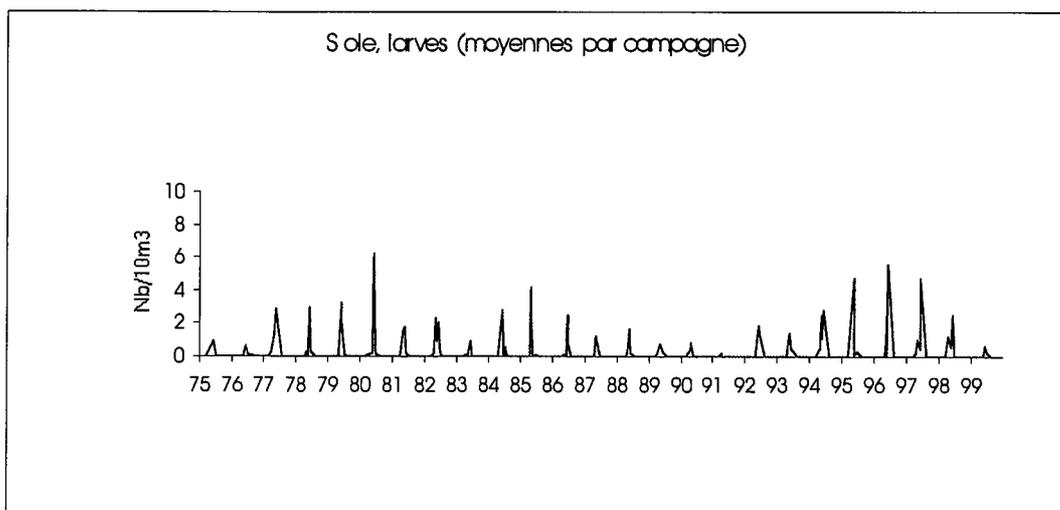


Fig. 6.3. Variations annuelles des densités de larves de sole à Gravelines de 1975 à 1999

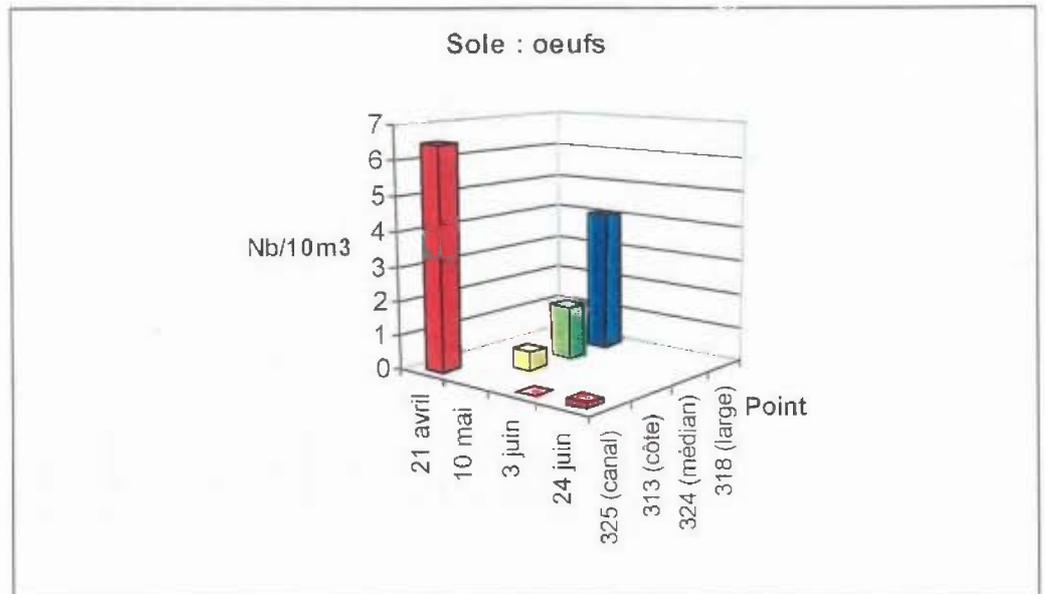


Fig. 6.4. Densités d'œufs de sole à Gravelines en 1999 en fonction de la date et du point de prélèvement

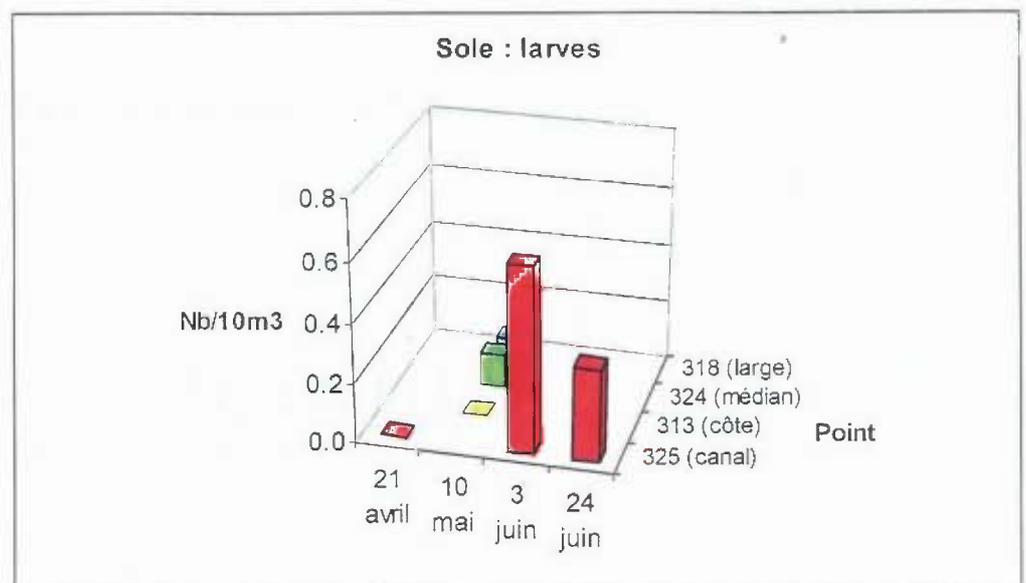


Fig. 6.5. Densités de larves de sole à Gravelines en 1999 en fonction de la date et du point de prélèvement

### 6.3.2 Le sprat *Sprattus sprattus* (L.) (tableau 6.3 et figures 6.6 à 6.10)

Cette espèce pélagique, bien que n'étant pas exploitée à Gravelines, est bien représentée dans le plancton du secteur. L'abondance de ses phases œufs et larves jointe à la reproductibilité des cycles d'abondance en fait une espèce caractéristique du site.

#### Œufs

Les effectifs sont nettement moins élevés que lors du pic de 1996 (fig. 6.6) et depuis 1997, on assiste à une décroissance régulière des effectifs. Comme en 1997, les abondances les plus importantes sont observées dès avril (fig. 6.10 et tabl. 6.3), suggérant pour cette espèce également une ponte précoce ayant lieu en avril, bien que le maximum soit habituellement plus tardif que pour la sole. On retrouve le gradient vers le large (fig. 6.8).

#### Larves

Comme pour la sole, on observe un déficit important dans les effectifs de larves. Le gradient d'abondance vers la côte est confirmé en 1999 (fig. 6.9).

Date	Point	Répliquât	Total œufs	Œufs stade 1	Œufs stade 2	Larves
21 avril	325	1	21.19	16.44	4.75	0.78
		2	13.22	12.00	1.22	0.06
		Moyenne	17.20	14.22	2.99	0.42
10 mai	313	1	0.28	0.00	0.28	4.51
		2	0.00	0.00	0.00	2.82
		Moyenne	0.14	0.00	0.14	3.67
	324	1	1.08	0.22	0.86	1.18
		2	0.94	0.43	0.51	0.43
		Moyenne	1.01	0.33	0.69	0.81
	318	1	10.89	6.74	4.15	1.49
		2	5.53	3.50	2.03	0.45
		Moyenne	8.21	5.12	3.09	0.97
3 juin	325	1	0.48	0.34	0.14	0.89
24 juin	325	1	0.00	0.00	0.00	0.05
		2	0.00	0.00	0.00	0.45
		Moyenne	0.00	0.00	0.00	0.25

Tabl.6.3. Densités d'œufs et de larves de sprat à Gravelines en 1999 (en nombre par 10 m<sup>3</sup>)

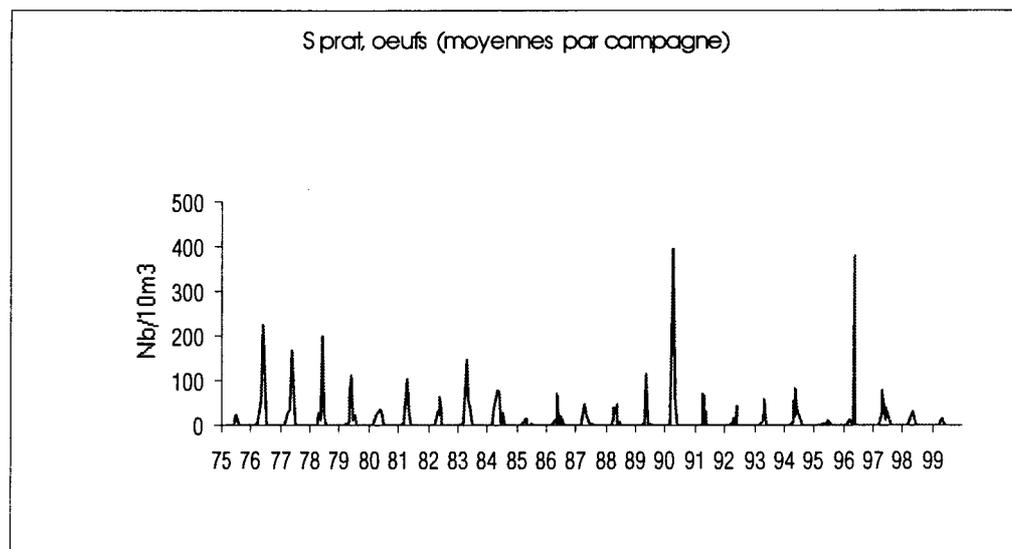


Fig. 6.6. Variations annuelles des densités d'œufs de sprat à Gravelines de 1975 à 1999

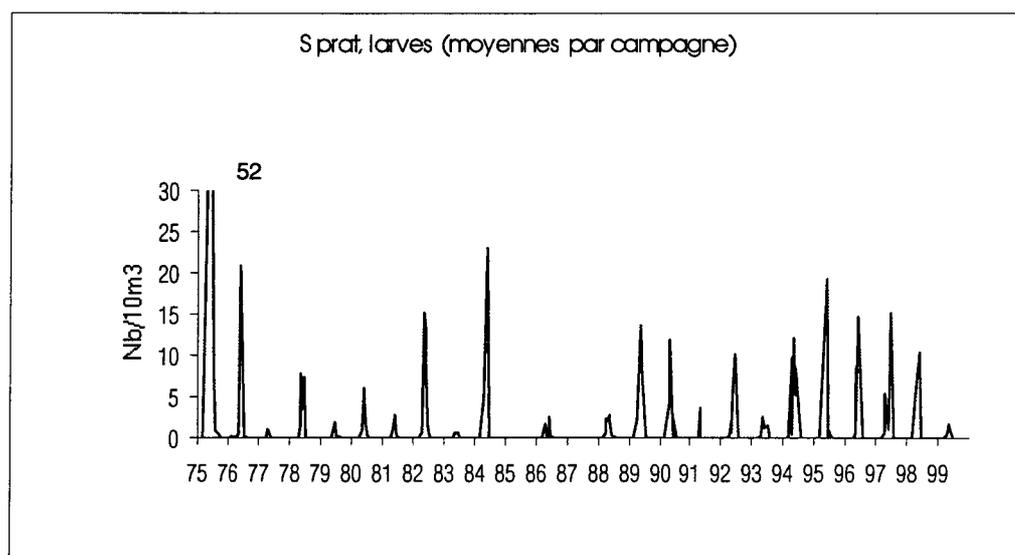


Fig. 6.7. Variations annuelles des densités de larves de sprat à Gravelines de 1975 à 1999

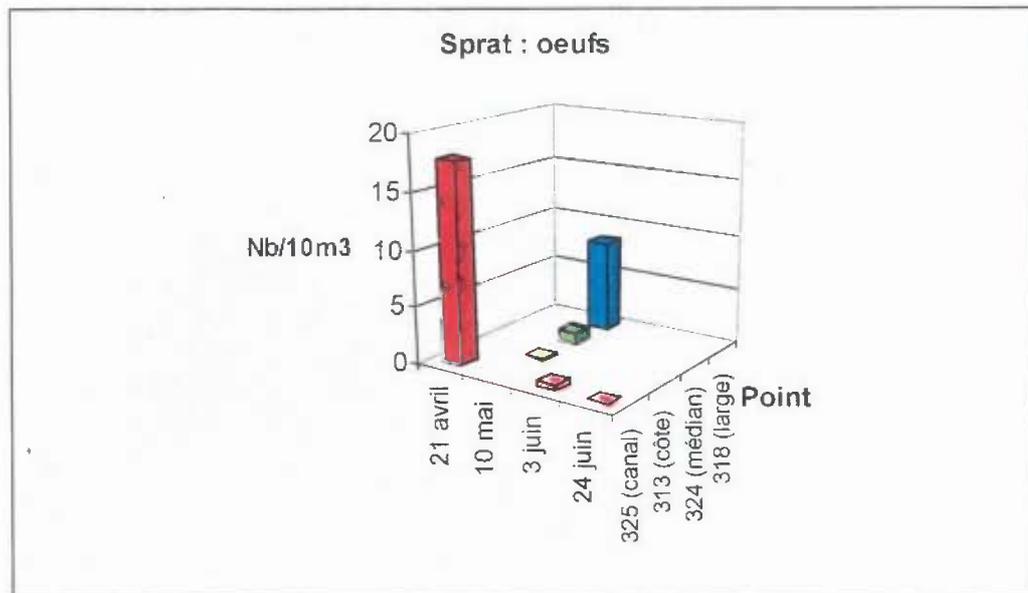


Fig. 6.8. Densités d'œufs de sprat à Gravelines en 1999 en fonction de la date et du point de prélèvement

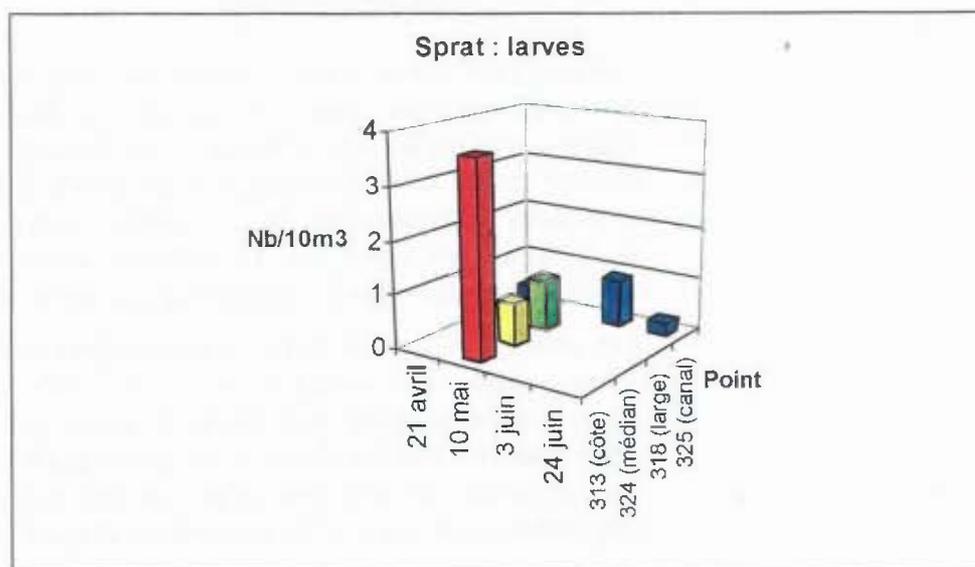


Fig. 6.9. Densités de larves de sprat à Gravelines en 1999 en fonction de la date et du point de prélèvement

GRAVELINES : SPRAT œufs et larves (moyennes par campagne)

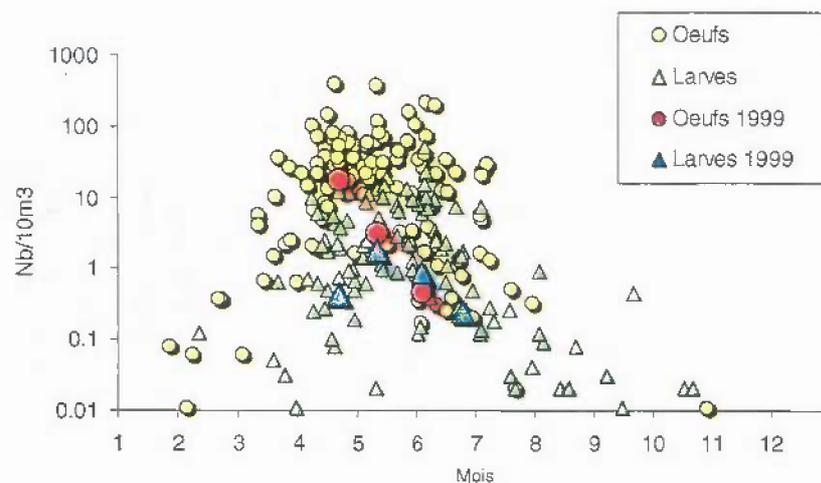


Fig. 6.10. Variations saisonnières des œufs et larves de sprat à Gravelines de 1975 à 1999

### 6.3. ÉLÉMENTS DE CONCLUSION

Comme 1998, l'année 1999 semble une année précoce du point de vue de la reproduction du sprat et de la sole, en liaison avec des températures relativement importantes pour la saison, bien que le phénomène soit moins marqué qu'en 1998. Des températures proches de 10°C sont atteintes dès avril alors qu'en moyenne on ne les observe qu'à partir de mai, et les 15° C sont atteints dès début juin. Le cycle thermique semble avancé d'un mois environ, entraînant un décalage du même ordre des périodes de ponte.

Les densités d'œufs et de larves présentent un déficit de près d'un facteur 10 par rapport à la moyenne du site. Ce phénomène est particulièrement marqué pour le sprat. Au déficit de ponte peut s'ajouter leur précocité expliquant les faibles densités de larves dont le taux de survie est plus important vers fin mai-début juin, lorsque la température et la nourriture disponible (sous ses aspects quantitatifs et qualitatifs), sont favorables.

Les structures spatiales, bien que globalement reproductibles, semblent affectées par l'avance du réchauffement côtier.

---

## **7. LE DOMAINE BENTHIQUE INTERTIDAL**

**Jean-Marie DEWARUMÉZ**

**Dominique MENU**



## 7.1. INTRODUCTION

Les études écologiques menées depuis 1973 sur l'estran de Petit Fort Philippe ont permis d'avoir une parfaite connaissance des facteurs qui déterminent l'organisation, la répartition et l'évolution des peuplements benthiques intertidaux.

Ces peuplements sont sous l'influence directe de deux principaux facteurs environnementaux : la salinité et la teneur en fines du sédiment. Depuis 1985, nous avons pu mettre en évidence le rôle important que joue un troisième facteur, l'impact thermique de la centrale. Cet impact est particulièrement évident sur deux populations d'annélides polychètes de la famille des Spionidiens : *Spio martinensis* et *Pygospio elegans*. Ces deux populations se répartissent sur l'estran en fonction de leur préférence thermique différent. Il faut néanmoins relativiser l'ampleur de cet impact dans la mesure où nous avons pu vérifier que l'exclusion réciproque des deux populations n'était pas systématique et pouvait ne pas être très évidente certaines années. Ces deux espèces présentent, de plus, de fortes variations de densité de population.

Les variations bionomiques que nous avons mises en évidence sur l'estran de Gravelines peuvent être expliquées dans une large mesure par les évolutions respectives de ces trois facteurs. Ces altérations sont particulièrement évidentes au niveau des populations de la partie supérieure de l'estran et notamment de celles du peuplement des espèces vasicoles et d'eaux saumâtres. Les niveaux inférieurs de l'estran sont caractérisés depuis plusieurs années par une grande stabilité bionomique qui ne peut être remise en cause temporairement que par la résonance dans les bas niveaux des phénomènes (en général liés au recrutement) qui se déroulent dans le milieu subtidal proche. Ces phénomènes sont toujours indépendants du fonctionnement de la centrale.

## 7.2. METHODOLOGIE

La stratégie d'échantillonnage reste inchangée en 1999 par rapport aux années précédentes, les deux radiales ont été échantillonnées sur 4 niveaux le 3 juillet 1999.

Depuis 1996, la méthode de détermination de la biomasse a changé. Nous utilisons désormais la méthode du poids sec sans cendres (PSSC) en lieu et place de la méthode du poids sec décalcifié (PSD). Les résultats d'inter-comparaison entre les pesées effectuées selon les deux méthodes ont montré que la méthode du PSD sous-évaluait la biomasse, sans doute par destruction ou le lessivage d'une partie de la matière organique lors des opérations de traitement. Le PSSC, quant à lui, nous permet d'éviter ce problème, ce qui permet d'obtenir une biomasse plus proche de la réalité, si l'on ne tient pas compte des pertes dues aux récoltes d'animaux brisés.

La technique du PSSC utilisée est la suivante :

- séchage à 60°C pendant 72 heures, première pesée pour déterminer le poids sec, passage au four à 520°C pendant 6 h, puis pesée des cendres. Le PSSC est la différence entre les deux pesées.

### 7.3. RESULTATS

#### 7.3.1. Composition bionomique

29 taxons ont été récoltés sur les deux radiales. Ils se répartissent comme suit :

- 1 Némerte
- 1 Annélide Oligochète
- 11 Annélides Polychètes
  - 3 errantes
  - 8 sédentaires
- 4 Mollusques
  - 1 Gastéropode
  - 3 Bivalves
- 11 Crustacés
  - 2 Isopodes
  - 1 Cumacé
  - 6 Amphipodes
  - 2 Décapodes
- 1 Insecte

Ces 29 taxons correspondent à 9920 individus récoltés sur les deux radiales : 8489 sur la radiale 1 et 1431 sur la radiale 2. Ces résultats sont similaires à ceux enregistrés en 1998. En 1998, la densité globale moyenne avait déjà été signalée comme étant exceptionnelle. La progression de la densité moyenne entre 1998 et 1999 n'est que de 120 individus. Le maintien de la densité globale à un niveau très élevé est dû à la conjonction de plusieurs variations de populations. Néanmoins, on remarquera l'importance de *Hydrobia ulvae* dans la densité globale (77,7% du total des individus récoltés).

radiale 1	station E	station F	station G	station H
Graviers grossiers	0,18	2,84	0,30	0,04
Graviers fins	0,12	6,05	0,58	0,44
Sables grossiers	3,27	11,48	7,43	10,02
Sables moyens	50,76	40,49	51,66	55,98
Sables fins	42,63	38,03	40,01	33,51
Pélites	3,03	1,11	0,03	0,00

radiale 2	station I	station J	station K	station L
Graviers grossiers	0,17	0,98	0,11	0,17
Graviers fins	0,13	3,21	0,46	0,46
Sables grossiers	1,63	14,15	6,88	4,68
Sables moyens	22,16	44,60	61,46	47,59
Sables fins	68,53	36,73	29,71	46,83
Pélites	7,38	0,33	1,38	0,28

Tab. 7.1. Caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

### 7.3.2. Résultats globaux

(Figures 7-1 & 2, tableaux 7-1 à 7-4)

#### Radiale 1

On ne note pas en 1999 d'évolution du complexe de dunes et de bâches. Il a atteint depuis plusieurs années son extension maximale et n'a pas évolué suite aux travaux de construction des nouvelles jetées de l'Aa. La transformation de l'ancienne dune hydraulique en un complexe de dunes et de bâches moins haut mais plus large ne procure plus d'abri vis-à-vis de la houle aux niveaux supérieurs de l'estran.

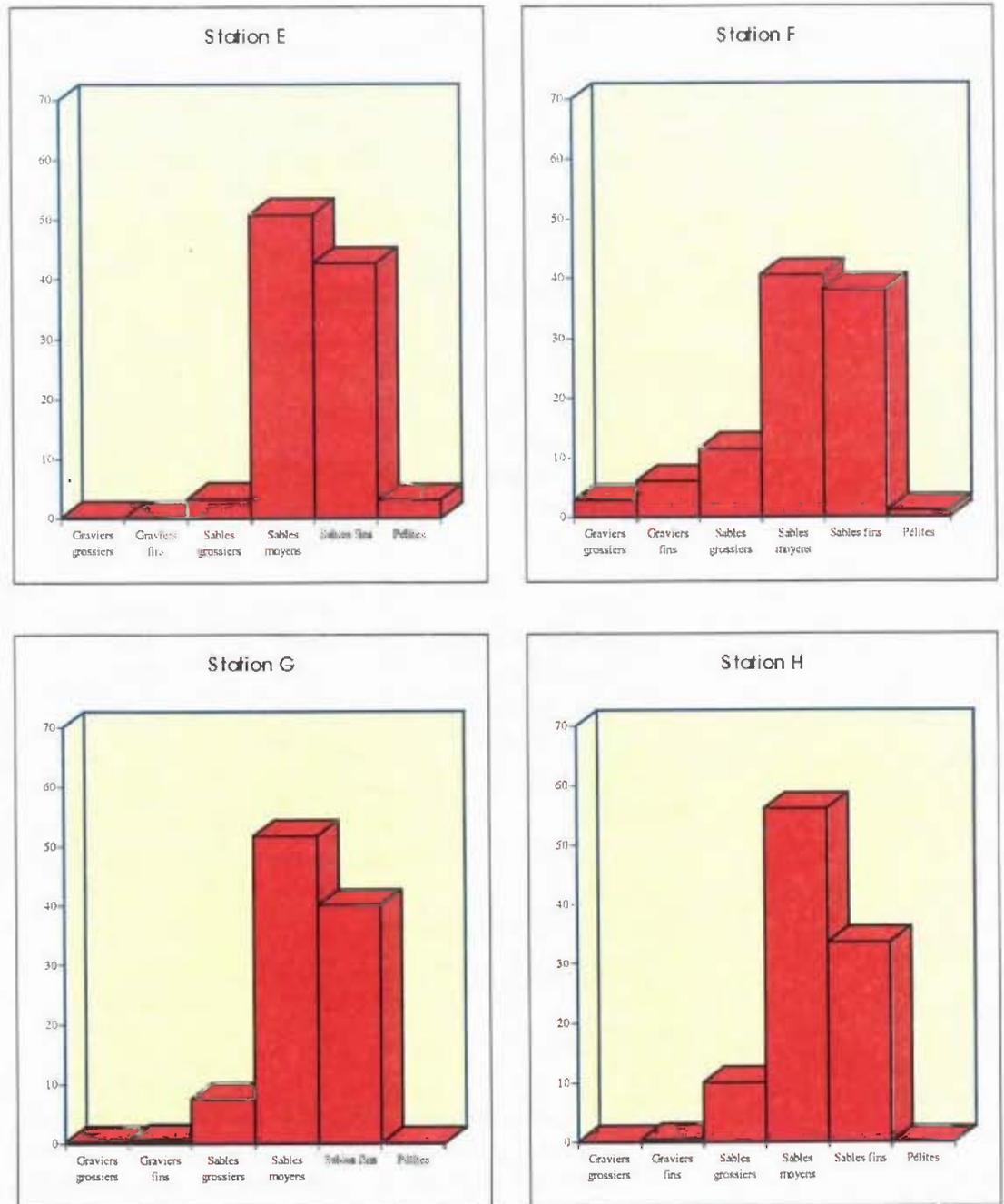


Fig.7.1. Radiale 1, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

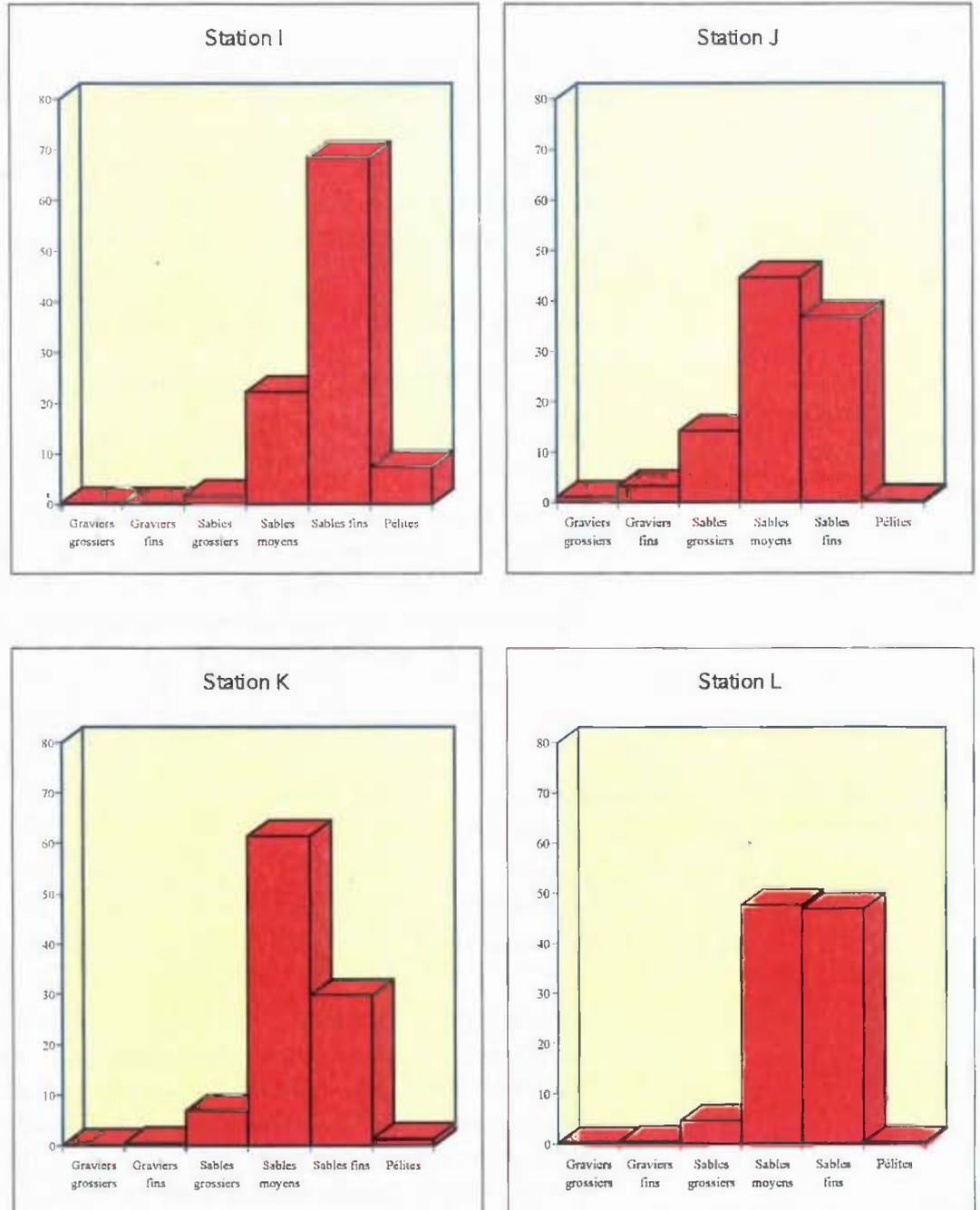


Fig.7.2. Radiale 2, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

### Station E

Les placages de vase qui caractérisaient ce niveau ont disparu depuis plusieurs années. Malgré cela le sédiment reste toujours très envasé (de 1 à 8 % du poids du sédiment), la vase étant maintenant étroitement mêlée au sédiment. On ne note pas de changement majeur dans la composition de la fraction fine du sédiment à cette station. L'affinement généralisé du sédiment observé en 1998 se maintient donc.

% pondéraux	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Pélites	7,73	2,96	1,27	2,51	2,34	0,99	2,76	0,04	4,58	3,03
Sables fins	19,72	20,61	7,60	18,39	25,59	25,46	27,11	31,61	38,28	42,63
Sables moyens	71,06	70,75	80,95	73,36	68,43	61,08	67,55	64,72	50,33	50,76

La teneur en pélites, quoique plus faible qu'en 1998, reste importante (3,03 %) ; la teneur en sable moyen est la même que celle de 1998 (légèrement supérieure à 50 %) et la teneur en sable fin progresse légèrement. La teneur globale en éléments fins reste toujours supérieure à 90 % du poids total du sédiment (96,4 %).

Densité/m <sup>2</sup>	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<i>Hydrobia ulvae</i>	4060	10172	11304	12028	10488	5772	17584	2028
<i>Spio martinensis</i>	12	836	8	348	0	76	8	0
<i>Pygospio elegans</i>	0	0	0	0	32	160	0	0
<i>Eurydice affinis</i>	496	244	100	76	12	160	48	364
<i>Bathyporeia pilosa</i>	612	2820	900	856	96	1376	16	3688
<i>Corophium arenarium</i>	180	1808	3168	2830	24	200	40	184

Le peuplement installé à cette station évolue fortement en 1999. Si la population de *Corophium arenarium* ne montre pas d'évolution significative, la population de *Bathyporeia pilosa* qui y est normalement associée, progresse fortement et atteint 3688 individus/m<sup>2</sup>. La population d'*Eurydice affinis* progresse elle aussi très fortement et revient aux niveaux atteints lors du début des années 1990 (364 individus/m<sup>2</sup>).

Mais l'évolution la plus importante concerne *Hydrobia ulvae*, la densité de la population de cette espèce diminue de plus de 15500 individus/m<sup>2</sup>. La population ne représente plus en 1999 que 11,5% de ce qu'elle était en 1998. Nous verrons qu'il ne s'agit en fait que d'une redistribution de la population de cette espèce sur l'estran.

Ni *Spio martinensis*, ni *Pygospio elegans* n'ont été récoltées en 1999 à cette station.

La diminution de la densité de la population de *Hydrobia ulvae* provoque une chute très importante de la biomasse (près de 17g/m<sup>2</sup>) pour revenir à une valeur très faible (2,3g/m<sup>2</sup>) similaire à ce qu'elle était en 1992.

#### Station F

C'est à cette station que les plus fortes variations ont pu être enregistrées depuis le début des études. Ces variations concernent à la fois la composition faunistique des peuplements, la densité des espèces récoltées et aussi la biomasse. Ces évolutions sont surtout liées aux populations de mollusques bivalves (*Macoma balthica* et *Cerastoderma edule*) mais aussi à l'influence plus ou moins grande de la dessalure causée par l'Aa à son impact sur la densité des espèces euryhalines.

Densité/m <sup>2</sup>	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<i>Hediste diversicolor</i>	0	12	4	40	8	68	56	116
<i>Spio martinensis</i>	12	968	4	692	0	192	36	0
<i>Pygospio elegans</i>	0	0	0	0	672	2	0	0
<i>Ophelia rathkei</i>	0	16	324	184	1576	460	588	24
<i>Hydrobia ulvae</i>	8	20	0	0	12	56	9176	26140
<i>Cerastoderma edule</i>	8	0	0	0	12	52	800	144
<i>Macoma balthica</i>	0	4	40	20	40	648	168	748
<i>Corophium arenarium</i>	0	4	24	100	0	0	0	0

La population de *Cerastoderma edule* régresse de manière importante en 1999. Cette espèce a été affectée par une mortalité qui a porté sur la cohorte 1998 (-82 %). Cette forte altération de la population de coques ne se traduit pas par une forte diminution de la biomasse. Les individus restants sont de grande taille et la biomasse ne diminue en fait que de 19%. *Macoma balthica* bénéficie d'un bon recrutement, la densité de cette espèce dépasse les 700 individus/m<sup>2</sup>, la plupart d'entre eux ont une taille comprise entre 10 et 15 mm, ce sont donc des individus issus de la cohorte 1998 et la cohorte 1999 représente 11 % de la population. La biomasse de cette espèce est donc importante, mais reste inférieure à celle de *Cerastoderma edule* (15,5g/m<sup>2</sup>).

Les modifications affectant ces espèces sont relativement habituelles, par contre l'évolution spatiale de la population de *Hydrobia ulvae* est tout à fait exceptionnelle. En 1998 nous avons noté que la population de *Hydrobia ulvae* gagnait les moyens niveaux supérieurs. En 1999, ce phénomène se confirme et s'amplifie. C'est en fait à un véritable basculement de la population vers les moyens niveaux auquel nous assistons. La densité globale de *Hydrobia ulvae* reste équivalente dans les niveaux supérieurs de la partie ouest de l'estran (13380 individus/m<sup>2</sup>, en 1998 contre 14084 individus/m<sup>2</sup> en 1999).

La population de *Hediste diversicolor* progresse en densité (+ 15/m<sup>2</sup>) alors qu'elle régresse en biomasse. Ceci est dû à la récolte de jeunes individus issus du recrutement printanier.

En ce qui concerne *Nerine cirratulus*, on note à la fois une augmentation de la densité et de la biomasse.

Les espèces euryhalines régressent fortement, *Ophelia rathkei* en particulier.

La biomasse globale progresse d'une manière considérable à la station F de 38,6 à 48,5g/m<sup>2</sup> soit de près de 10g/m<sup>2</sup>.

#### Stations G et H

Ces stations sont caractérisées depuis plusieurs années par une très grande stabilité, une faible diversité spécifique, une faible densité et une faible biomasse. En 1998, même si les effectifs et la biomasse restaient faibles, la diversité et la richesse spécifique ont semblé augmenter. En 1999, cette évolution se confirme : 16 espèces récoltées sur les deux stations. Les deux stations cependant n'ont plus qu'une seule espèce commune. La station G s'apparente de plus en plus fortement à une station de moyen niveau supérieur (6 espèces communes). Les populations de *Cerastoderma edule* et de *Macoma balthica* semblent bien s'être établies à ce niveau. Les populations de *Nerine cirratulus* et d'*Hydrobia ulvae* semble faire de même (voir les résultats enregistrés à la station F).

La densité globale et la biomasse augmentent la station G par rapport aux études précédentes en particulier à cause des espèces inféodées aux niveaux moyens supérieurs de l'estran.

Les résultats enregistrés à la station H sont tout à fait similaires à ceux de 1998.

## Radiale 1 : Conclusion

Les résultats obtenus en 1999 remettent en question les principes de l'organisation bionomique de la partie ouest de l'estran.

Les aires de répartition de certaines espèces (*Hydrobia ulvae*, *Cerastoderma edule*, *Macoma balthica*, *Nerine cirratulus*) s'étendent. Il semble en fait y avoir une tendance à l'homogénéisation des moyens niveaux, bien que la richesse (densité et biomasse) des stations F et G ne soient pas comparables.

Espèces	Station E		Station F		Station G		Station H	
	Nb. Ind.	Biom.	Nb. Ind.	Biom.	Nb. Ind.	Biom.	Nb. Ind.	Biom.
<i>Nemertes</i>							1	4,5
<i>Enchytraeidae</i>			9	0,2				
<i>Eteone longa</i>			14	14,3	1	0,3		
<i>Hediste diversicolor</i>			29	148,8				
<i>Nephtys cirrosa</i>							13	201,1
<i>Nerine cirratulus</i>	3	24,4	30	160,0	14	76,3		
<i>Spiophanes bombyx</i>							1	0,6
<i>Spio martinensis</i>							1	0,5
<i>Ophelia rathkei</i>			6	0,8	3	0,7		
<i>Lanice conchilega</i>							1	0,2
<i>Arenicola marina</i>			2	0,4				
<i>Hydrobia ulvae</i>	507	249,4	6535	2577,3	10	4,6		
<i>Cerastoderma edule</i>			36	5347,7	2	281,0		
<i>Macoma balthica</i>			187	3866,9	1	12,9		
<i>Spisula subtruncata</i>					1	59,4		
<i>Eurydice affinis</i>	91	20,6						
<i>Eurydice pulchra</i>					2	0,9		
<i>Corophium arenarium</i>	46	25,4						
<i>Bathyporeia pelagica</i>					9	2,4	1	0,4
<i>Bathyporeia pilosa</i>	922	270,5						
<i>Bathyporeia sarsi</i>					10	2,5		
<i>Pontocrates altamarinus</i>							1	0,1
Total/m <sup>2</sup>	6276	2361,2	27392	48465,6	212	1764,0	76	829,6

Tab 7.2. Radiale 1 : Résultats bruts par 0,25 m<sup>2</sup>

La "migration" de la population d'*Hydrobia ulvae* vers les moyens niveaux ne semble pas pouvoir s'expliquer par une plus forte influence de l'Aa dans la mesure où les espèces euryhalines sont plutôt moins abondantes en 1999. Peut-être doit-on voir là un effet de l'hydrodynamisme.

### Radiale 2

#### Station I

Depuis maintenant plusieurs années, cette station est le reflet du résultat des actions combinées des trois facteurs écologiques principaux qui régissent la répartition des communautés benthiques de l'estran de Petit Fort Philippe.

Les peuplements benthiques établis à cette station sont rendus instables par la proximité du rejet de la centrale. On peut aussi y noter une forte influence des eaux douces de ruissellement.

En 1998 la population de *Hydrobia ulvae* avait fortement progressé tout comme celle de *Corophium arenarium*. En 1999, la population de *Hydrobia ulvae* continue de s'implanter (2620 /m<sup>2</sup> en 1999 contre 1468 en 1998) avec des individus de plus grande taille (poids moyen par individu en 1999 de 0,5mg contre 0,2mg en 1998). Par contre, la population de *Corophium arenarium* régresse fortement (1792/m<sup>2</sup> en 1999 contre 7004 g/m<sup>2</sup> en 1998), la population en place en 1999 est constituée de plus petits individus qu'en 1998 (poids moyen individuel de 0,5mg en 1999 contre 0,6mg en 1998).

Densité/m <sup>2</sup>	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<i>Enchytraeidae</i>	2	8	20	0	0	16	4	212	104	0
<i>Pygospio elegans</i>	208	148	424	1404	32	132	64	1144	0	60
<i>Spio martinensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	186	0
<i>Hydrobia ulvae</i>	564	0	620	116	1216	1380	840	204	1468	2620
<i>Corophium arenarium</i>	468	624	3772	6184	956	1232	1604	1508	7004	1792
<i>Bathyporeia pilosa</i>	52	100	60	684	64	128	0	4	40	4
<i>Eurydice affinis</i>	60	0	20	236	448	436	24	36	0	8

Les *Enchytraeidae* disparaissent, confirmant sur la partie est l'influence moindre de la dessalure observée dans la partie ouest. La population de *Pygospio elegans* se réimplante à un faible niveau de densité (60/e).

La population de *Spio martinensis* qui s'était implantée à la station I en 1998 disparaît en 1999.

Compte tenu de ces modifications bionomiques et surtout du fait de la régression de la population de *Corophium arenarium*, la densité globale du peuplement installé à la station I diminue de 50% (4484/m<sup>2</sup> en 1999 contre 8872/m<sup>2</sup> en 1998) et la biomasse de 48% (2,2 g/m<sup>2</sup> en 1999 contre 4,3 g/m<sup>2</sup> en 1998).

Stations	Station I		Station J		Station K		Station L	
	Nb. Ind.	Biom.	Nb. Ind.	Biom.	Nb. Ind.	Biom.	Nb. Ind.	Biom.
<i>Nemertes</i>			2	1,6	4	3,8	3	9,5
<i>Eteone longa</i>					2	0,4		
<i>Nephtys cirrosa</i>					1	4,5	21	210,8
<i>Paraonis fulgens</i>					1	0,5		
<i>Nerine cirratulus</i>			7	32,4	5	44,8		
<i>Spiophanes bombyx</i>							30	7,0
<i>Spio martinensis</i>					1	0,3	3	0,3
<i>Pygospio elegans</i>	15	0,9						
<i>Magelona mirabilis</i>							1	2,8
<i>Lanice conchilega</i>					1	2,9		
<i>Hydrobia ulvae</i>	655	354,6	4	3,2				
<i>Cerastoderma edule</i>					11	1,4		
<i>Diastylis bradyi</i>					1	1,6		
<i>Eurydice affinis</i>	2	0,4	94	22,4				
<i>Eurydice pulchra</i>					1	0,6	1	0,4
<i>Corophium arenarium</i>	448	202,5	2	1,5				
<i>Bathyporeia pelagica</i>					25	7,5		
<i>Bathyporeia pilosa</i>	1	0,2						
<i>Bathyporeia sarsi</i>			73	37,2	1	0,3		
<i>Haustorius arenarius</i>					7	40,1		
<i>Crangon crangon</i>					5	21,8	1	0,5
<i>Portumnus latipes</i>							1	104,3
Larves de Diptères			1	1,6				
Total/m <sup>2</sup>	4484	2234,0	732	399,6	264	522,0	244	1342,4

Tab 7.3. Radiale 2 : Résultats bruts par 0,25 m<sup>2</sup>

### Station J

Cette station est située à proximité immédiate du complexe de dunes et de bâches situé à mi-estran. Cette station est depuis maintenant plusieurs années le siège d'un lent phénomène d'érosion qui élimine du sédiment les particules fines. Cette érosion a pour conséquence de faire évoluer le peuplement installé à cette station vers des aspects caractéristiques de moyens niveaux inférieurs. Cette évolution semblait s'être inversée en 1997, le cortège spécifique devenant proche de ce que l'on peut trouver classiquement sur ce type d'estran dans les niveaux supérieurs.

En 1998 le peuplement installé à cette station était d'un type intermédiaire, constitué à la fois d'espèces caractéristiques des niveaux supérieurs et d'espèces inféodées aux moyens niveaux inférieurs. Cette situation se confirme en 1999.

Densité/m <sup>2</sup>	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<i>Nerine cirratulus</i>	36	32	88	68	96	76	4	0	28
<i>Eurydice affinis</i>	0	140	240	16	68	0	188	36	376
<i>Eurydice pulchra</i>	0	16	0	236	308	120	20	32	0
<i>Corophium arenarium</i>	16	0	20	12	0	1604	80	132	8
<i>Bathyporeia sarsi</i>	0	0	0	400	148	288	0	1020	292
<i>Bathyporeia pilosa</i>	0	156	76	0	0	0	988	0	0

On ne note que peu d'évolution à cette station. La population de *Bathyporeia sarsi* régresse pour revenir à un niveau normal pour cette station depuis 1994. La population d'*Eurydice affinis* progresse de manière importante.

Si la biomasse n'évolue que très peu (0,3 g/m<sup>2</sup> en 1998 pour 0,4 g/m<sup>2</sup>), la densité baisse fortement entre 1998 et 1999 (732 contre 1132/m<sup>2</sup> en 1998).

### Stations K et L

Pendant plusieurs années, les peuplements établis dans les niveaux inférieurs de la radiale 2 étaient caractérisés par une très grande stabilité. Oligospécifiques, ils étaient dominés par des espèces tout à fait classiques : *Haustorius arenarius*, *Nephtys cirrosa* et *Portumnus latipes*. En 1998 nous avons noté une forte augmentation de la richesse spécifique, de la densité et de la biomasse.

En 1999, ce phénomène s'amplifie. A la station K, 14 espèces ont été récoltées contre 7 en 1998 ; la densité globale est passée de 208/m<sup>2</sup> en 1998 à 264/m<sup>2</sup> en 1999 et la biomasse, par contre, a légèrement diminué de 0,7g/m<sup>2</sup> en 1998 à 0,5g/m<sup>2</sup> en 1999. A la station L, 8 espèces ont été récoltées en 1999 contre 7 en 1998, la densité globale est passée de 92/m<sup>2</sup> en 1998 à 244/m<sup>2</sup> en 1999 tandis que la biomasse passait de 0,3g/m<sup>2</sup> en 1998 à 1,3g/m<sup>2</sup> en 1999.

Le cortège spécifique de la station K est classiquement dominé par *Bathyporeia pelagica*, *Nerine cirratulus* et *Haustorius arenarius*.

La récolte de *Cerastoderma edule* (11 juvéniles de taille comprise entre 2 et 5 mm) à la station K est par contre très surprenante. Certes, il est arrivé lors des études précédentes de récolter des adultes en milieu subtidal, mais les juvéniles sont strictement inféodés aux moyens niveaux supérieurs des estrans.

Le cortège spécifique de la station L est dominé par *Nephtys cirrosa* (84/m<sup>2</sup>). Notons cette année la présence de *Spiophanes bombyx* (120/m<sup>2</sup>) témoin d'un recrutement en milieu subtidal.

Les stations K et L ont 5 espèces communes (sur 17 au total) en 1999 contre 2 (sur 12 au total) en 1998. Les cortèges spécifiques de ces deux stations tendent donc à devenir semblables.

#### Conclusion

Il se passe le long de la radiale 2 le même phénomène que sur la radiale 1. Nous avons pu observer en 1999 une extension des aires de répartition de plusieurs espèces. Tout se passe comme si l'on assistait à une homogénéisation des peuplements benthiques sur la totalité de l'estran.

## 7.4. CONCLUSION SUR L'EVOLUTION DE L'ESTRAN

### 7.4.1. Cas de la partie Ouest

Les peuplements typiquement estuariens ont disparu de la partie ouest de l'estran dès la mise en service de la centrale. La disparition de la dune hydraulique a entraîné le lessivage des fines, mais l'influence de la dessalure causée par l'Aa reste importante. Néanmoins les populations d'espèces euryhalines présentent une très grande variabilité dans le temps.

En 1999, on note globalement une forte diminution des densités moyennes des espèces euryhalines. C'est le cas notamment de *Ophelia rathkei* qui s'était bien implantée depuis 5 années. Cette diminution semble être générale dans la mesure où les oligochètes ont également disparu de la partie est de l'estran. Si l'influence de l'Aa semble être moins importante, il semble donc que l'influence des ruissellements d'eau douce sur l'estran soit aussi moins forte.

Densité moyenne	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<i>Ophelia rathkei</i>	15	0	4	82	55	396	115	148	9
Oligochètes	6	0	20	1	45	6	4	0	9
<i>Hediste diversicolor</i>	6	0	3	1	11	2	17	14	29

#### 7.4.2. Cas des Spionidiens

Le principe de la séparation spatiale des populations de *Spio martinensis* et de *Pygospio elegans* qui avait été très marquée jusqu'en 1995 a été remis en cause en 1996 du fait de la complète disparition de *Spio martinensis*. En 1997, la situation semblait être redevenue normale, avec séparation parfaite des deux populations, bien que les densités de *Spio martinensis* soient encore faibles et que cette espèce ait été récoltée en bas niveau de la radiale Est. En 1998, la disparition complète de l'estran de *Pygospio elegans* et la colonisation de la totalité de l'estran par *Spio martinensis* remettaient en cause la séparation des deux populations.

En 1999, la situation évolue encore, *Spio martinensis* disparaît des niveaux supérieurs de l'estran, on le rencontre encore en faible densité aux stations H, K et L. *Pygospio elegans* réapparaît à la station I. Il est difficile au vu de ces résultats de juger l'impact éventuel de la centrale sur les populations de spionidiens

### 7.4.3. Cas de la biomasse

Toute altération de la structure bionomique d'un peuplement provoque une altération de la biomasse. Selon les espèces mises en cause, ces modifications peuvent être positives ou négatives. Cela dépend en fait de la stratégie démographique employée par les espèces. En général une espèce pionnière, donc à développement rapide pourra provoquer rapidement une forte augmentation de la biomasse. La structure démographique (proportion des différentes cohortes) influe aussi fortement sur la biomasse.

La biomasse moyenne de l'estran diminue légèrement par rapport à 1998 ( $0,96\text{g/m}^2$ ), elle reste toutefois très élevée. Les profondes modifications bionomiques ne semblent donc pas avoir eu une grande influence sur la productivité de l'estran de Petit Fort Philippe. Néanmoins, cette productivité semble être mal répartie sur l'estran qui présente une zone à fort potentiel productif au niveau de la station F. Il est toutefois possible que les remaniements bionomiques mis en évidence lors de la présente étude provoquent à terme une homogénéisation de la biomasse car ces remaniements intéressent des espèces à forte biomasse.

Densité/m <sup>2</sup>		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<i>Spio martinensis</i>	E	52	92	12	836	8	348	0	76	8	0
	F	192	8	12	938	4	692	0	196	36	0
	I	0	0	0	0	0	0	0	0	186	0
	J	0	0	0	0	0	0	0	60	4	0
<i>Pygospio elegans</i>	E	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0
	F	0	144	0	0	0	0	672	0	0	0
	I	208	148	424	1404	32	772	64	1144	0	15
	J	60	0	0	4	0	0	4	0	0	0

g/m <sup>2</sup>	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1996 (1)	1997 (1)	1998 (1)	1999 (1)
E	7,92	4,62	2,99	7,25	8,7	9,87	8,68	11,82	8,79	19,34	2,36
F	25,97	13,37	0,48	1,37	20,63	3,42	25,94	31,16	52,64	39,59	48,47
G	0,41	0,61	0,12	0,48	0,61	0,77	0,44	0,47	0,27	0,40	1,76
H	1,29	0,12	2,97	0,11	0,29	0,77	0,29	0,31	0,48	0,68	0,83
I	0,6	0,38	3,02	3,94	1,47	1,68	1,49	2,34	1,72	4,29	2,23
J	0,32	0,15	0,35	0,35	0,48	0,75	0,48	0,48	0,49	0,35	0,40
K	0,71	0,77	0,02	0,47	1,63	0,55	1,03	1,06	0,29	0,69	0,52
L	0,18	0,9	20,52	0,59	0,3	2,49	1,84	1,91	0,28	0,32	1,34
Moy. estran	4,68	2,54	3,77	1,82	4,26	2,05	5,02	6,19	8,12	8,21	7,25

(1) : ces mesures ont été effectuées à l'aide de la méthode du poids sec sans cendres.

---

## 8. LE DOMAINE BENTHIQUE SUBTIDAL

**Jean-Marie DEWARUMÉZ**  
**Christophe LUCZAK**  
**Dominique MENU**



## 8.1. INTRODUCTION

Les études écologiques du benthos subtidal du site de Gravelines sont menées depuis 1973. Aux études descriptives des premières années ont succédé des études quantitatives du peuplement à *Abra alba* qui portent depuis 1976 sur la station C (peuplement impacté par le fonctionnement de la centrale) et la station B (peuplement non impacté). La comparaison de l'évolution des peuplements installés à ces deux stations permet de mettre en évidence l'impact sur les communautés benthiques du champ proche de la centrale.

Le fonctionnement de la centrale induit un lessivage des fines à proximité du rejet du fait du fort courant engendré par le rejet des eaux de refroidissement. Ce lessivage a entraîné la disparition des espèces vasicoles qui y étaient établies.

La station C est soumise aux mêmes recrutements que la station B, cela a été montré à l'occasion de plusieurs études et notamment celle de 1991 pendant laquelle le recrutement de *Ensis directus* avait pu être mis en évidence aux deux stations. Mais si le recrutement avait bien eu lieu avec la même intensité, la population de *Ensis directus* ne s'était pas maintenue à la station C du fait d'un sédiment inapproprié, tandis qu'à la station B les conditions ont été favorables au maintien des recrues.

Le peuplement à *Abra alba* est particulièrement productif. La biomasse a déjà été supérieure à 400g/m<sup>2</sup> (poids sec sans cendres).

## 8.2. METHODOLOGIE

La méthodologie de prélèvement reste inchangée par rapport à l'étude précédente. Quatre campagnes ont été effectuées les 21 janvier, 15 avril, 10 juin et 02 septembre 1999.

Nous employons depuis 1996, la méthode du poids sec sans cendres (PSSC) pour la détermination de la biomasse. Cette méthode est détaillée dans le chapitre "Benthos intertidal". Une intercalibration entre le poids sec décalcifié (PSD) que nous utilisions avant 1996 et le PSSC a montré que les biomasses obtenues par PSD étaient plus faibles que celles obtenues par PSSC. Cette différence est due au lessivage de la matière organique lors du rinçage suivant la décalcification à l'acide chlorhydrique.

### 8.3. RESULTATS

#### 8.3.1. Analyses granulométriques

L'ensemble des résultats des analyses granulométriques est présenté dans le tableau 8-1 et les figures 8-1 et 8-2.

Station B.	21/01/1999	15/04/1999	10/06/1999	02/09/1999
Graviers grossiers	0,47	0,10	0,22	1,69
Graviers fins	0,16	0,05	0,08	2,22
Sables grossiers	1,78	0,69	1,94	2,01
Sables moyens	28,29	10,33	36,67	12,35
Sables fins	56,06	52,47	51,17	60,21
Pélites	13,24	36,36	9,92	21,52

Station C	21/01/1999	15/04/1999	10/06/1999	02/09/1999
Graviers grossiers	0,01	2,22	1,39	0,39
Graviers fins	0,09	1,31	1,62	1,02
Sables grossiers	0,90	7,50	9,97	9,41
Sables moyens	80,56	70,15	79,57	79,04
Sables fins	18,40	18,81	7,45	10,07
Pélites	0,04	0,01	0,00	0,07

Tableau 8.1. Caractéristiques granulométriques du sédiment (%pondéraux)

### Station B

Une altération sédimentologique a été mise en évidence à la station B au printemps 1991. Le sédiment comportait une importante fraction d'éléments grossiers. Cette altération s'est progressivement résorbée. Le sédiment s'est ré-ensavé. On peut penser que le sédiment grossier a été peu à peu recouvert ou mélangé avec des sables fins dont on connaît l'important charriage dans la région. En 1998, le sédiment était redevenu tout à fait normal, présentant des taux de pélites variant de 1,1 à 9,7 %. La teneur en sable grossier restant comprise entre 1 et 3 %.

En 1999, le sédiment s'est considérablement ensavé. La teneur en pélites varie entre 10 et 36 %. Les phénomènes de bioturbation ne sont sans doute pas étrangers à cet ensavement, le macrobenthos de la station B s'est révélé particulièrement riche cette année.

Les sables fins ne représentent jamais moins de 51 % du sédiment. L'ensemble de la fraction fine (< 0,5 mm : sables moyens + sables fins + pélites) ne représentent jamais moins de 94 % du poids total du sédiment.

### Station C

Le sédiment de la station C évolue peu entre 1998 et 1999. Il est dominé par les sables moyens (de 70,15 à 80,56 %) et par les sables fins (de 7,45 à 18,81 %). Ces deux classes représentent au minimum plus de 87 % du poids du sédiment. Il est à noter toutefois que la fraction grossière du sédiment a fortement augmenté à partir d'avril. Dominée par les sables grossiers (de 7,5 à 9,97 %), elle représente entre 10,7 et 13 % du sédiment au cours des trois dernières campagnes. Cela est peut-être lié à une augmentation du courant au rejet, qui aurait pu entraîner un lessivage des sables fins.

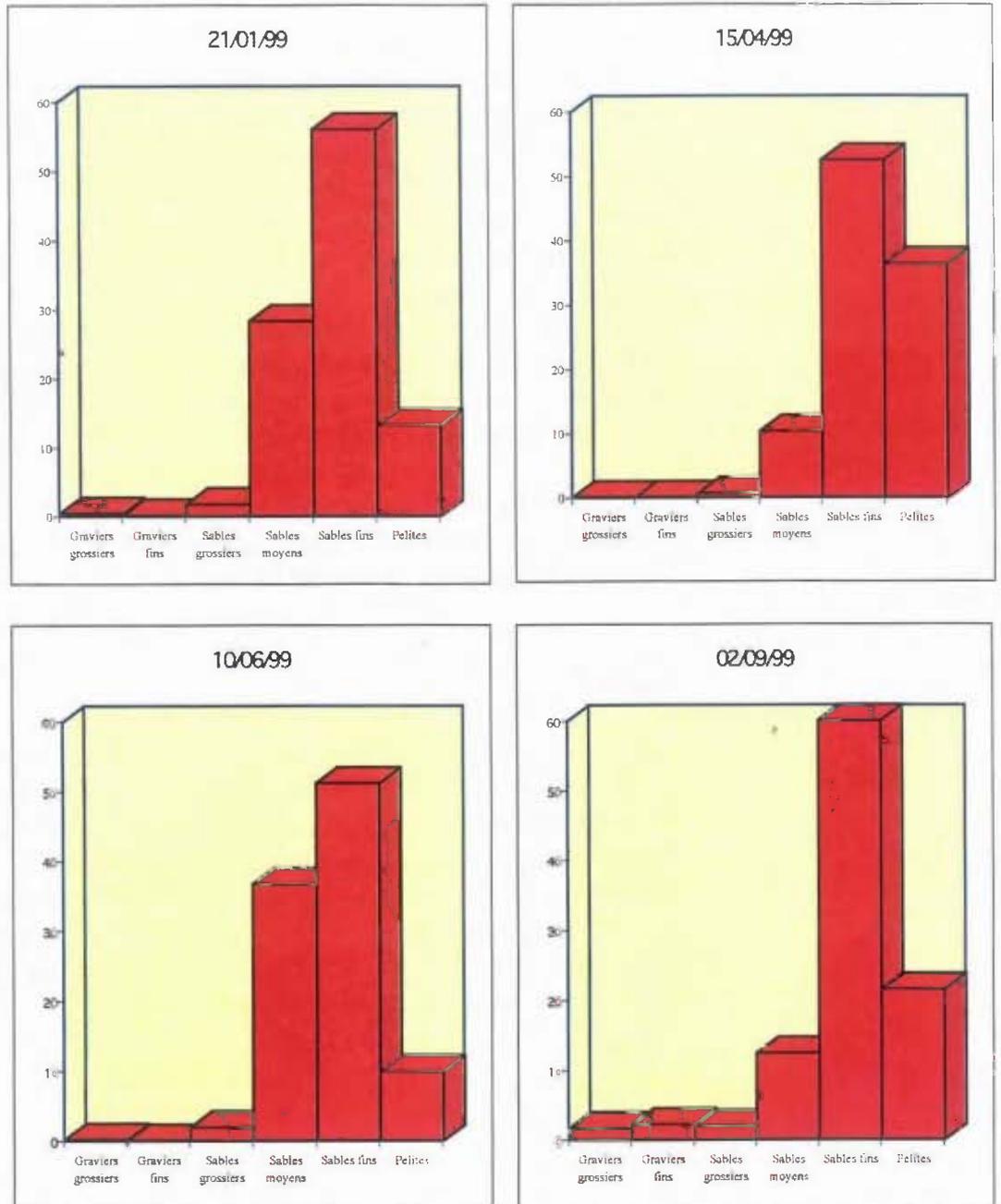


Fig. 8.1. Station B, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

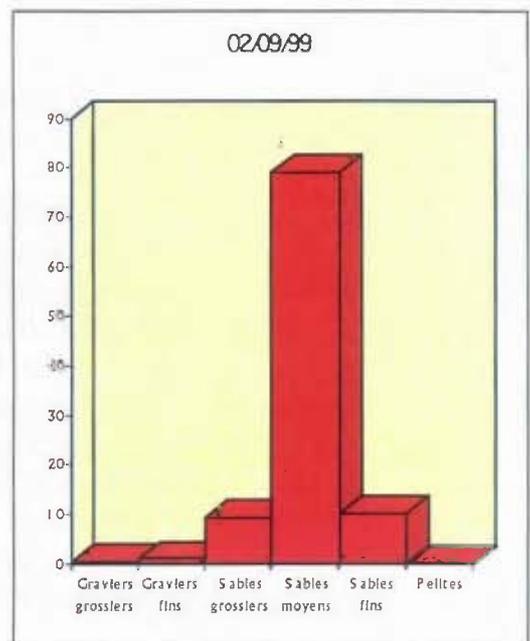
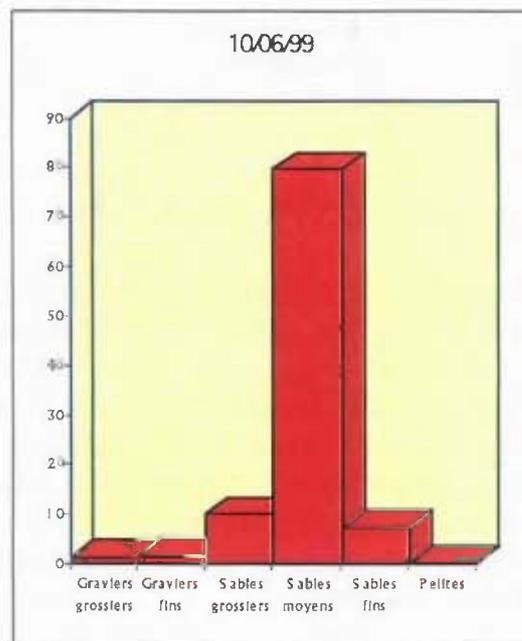
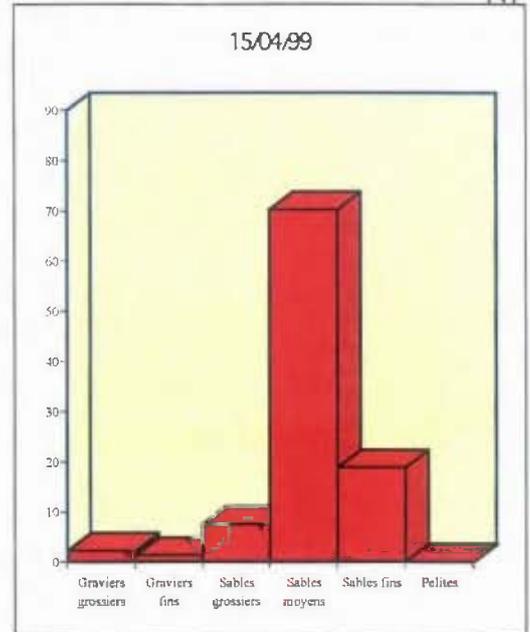
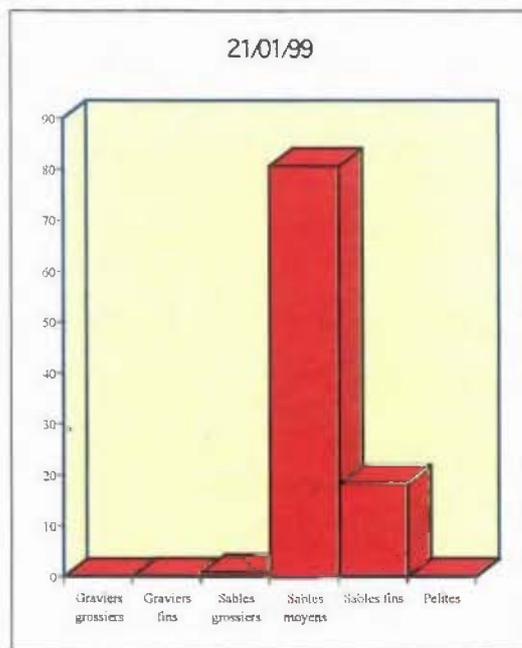


Fig. 8.2. Station C, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

### 8.3.2. Composition bionomique

L'ensemble des résultats bionomiques figure dans les tableaux 8.2. à 8.5.

L'analyse faunistique a permis de recenser, en 1999, 68 taxons différents sur les deux stations. 55 taxons ont été récoltés à la station B et 26 à la station C. Ils se répartissent comme suit :

- 1 Cnidaire
- 3 Némertes
- 29 Annélides polychètes
  - 13 sédentaires
  - 16 errantes
- 14 Mollusques
  - 2 Gastéropodes
  - 12 Bivalves
- 18 Crustacés
  - 1 Mysidacé
- 2 Cumacés
- 1 Isopode
  - 9 Amphipodes
  - 5 Décapodes
- 2 Echinodermes Ophiurides
- 1 Poisson

Ces 68 taxons représentent 22280 individus récoltés : 21820 à la station B et 460 à la station C.

La densité globale moyenne à la station C est du même ordre qu'en 1998 : 460 individus récoltés en 1999 contre 424 en 1998, ce qui correspond à une densité moyenne de 115 /m<sup>2</sup> en 1999 contre 106 en 1998. L'espèce dominante reste *Nephtys cirrosa* qui représente 55 % des individus récoltés. On peut noter la résonance à la station C des phénomènes du recrutement observé à la station B avec les récoltes de *Spiophanes bombyx* et de *Lanice conchilega*...

Par contre à la station B la densité globale progresse de 225 %. A cette station, on note en 1999 des recrutements très importants de *Notomastus latericeus*, de *Abra alba* et de *Lanice conchilega*.

### 8.3.2.1. Résultats Station B

Cette station est représentative du peuplement à *Abra alba*. Elle est située en dehors de l'impact courantologique de la centrale sur les peuplements benthiques. C'est à cette station qu'ont été mis en évidence les basculements bionomiques caractéristiques de ce peuplement. Ces basculements pour importants qu'ils soient ne remettent jamais en cause la structuration du peuplement, organisé autour d'une dizaine d'espèces. Le recrutement pléthorique de *Ensis directus* en 1991 avait quelque peu modifié l'organisation du peuplement. Mais, depuis quelques années, on observe un lent retour à des conditions similaires à ce qu'elles étaient avant 1991.

L'étude 1997 montrait que les espèces caractéristiques du peuplement s'étaient ré-approprié le milieu, phénomène qu'avait confirmé l'étude menée en 1998. Toutefois la densité globale et *a fortiori* la biomasse n'atteignaient pas les niveaux connus avant 1991. En 1999, on peut estimer que les densités sont redevenues normales.

Phénomène relativement rare dans le cas d'espèces invasives, *Ensis directus* a été intégré au cortège spécifique du peuplement alors que dans le cas des espèces invasives, on assiste en général à une prééminence qui tend à limiter les populations des autres espèces.

Il faut noter la première récolte de *Lutraria angustior* en septembre 1999 à la station B.

En janvier 1999, le peuplement est à l'étiage hivernal, la richesse spécifique est faible (29 espèces), les densités sont plus faibles qu'à l'automne 1998 mais sont supérieures de 42 % à celle de l'hiver 1997-98 (729/m<sup>2</sup> en 1999 contre 513/m<sup>2</sup> en 1998). Le peuplement est dominé par *Notomastus latericeus* (201/m<sup>2</sup>), *Abra alba* (194/m<sup>2</sup>), *Nassarius reticulatus* (81/m<sup>2</sup>), *Ophiura albida* (58/m<sup>2</sup>), *Nephtys hombergii* (32/m<sup>2</sup>) et par *Spisula subtruncata* (30/m<sup>2</sup>). La biomasse globale est beaucoup plus forte en 1999, elle atteint 62,2g/m<sup>2</sup>, elle n'était que de 18,7g/m<sup>2</sup> en 1998. Cette différence qui semble énorme (en fait la biomasse est identique à celle de septembre 1998) est due à cinq espèces : *Notomastus latericeus* 25,9g/m<sup>2</sup>, *Spisula subtruncata* 17,6g/m<sup>2</sup>, *Abra alba* 8,3g/m<sup>2</sup>, *Ensis directus* 3,7g/m<sup>2</sup> et *Notomastus latericeus* (3,4g/m<sup>2</sup>). Ces cinq espèces représentent 95% de la biomasse totale mesurée à la station.

Comme cela se produit régulièrement, les *Ensis directus* de grande taille sont quasiment tous sectionnés, la biomasse réelle doit donc être beaucoup plus importante. Cette remarque s'applique, bien entendu, également aux autres prélèvements.

En avril 1999, bien que la richesse spécifique diminue (22 espèces), la densité globale progresse légèrement, elle atteint 999/m<sup>2</sup>, par contre, la biomasse reste stable (61,5g/m<sup>2</sup>). Les espèces les plus importantes sont *Notomastus latericeus* (546/m<sup>2</sup>), *Abra alba* (229/m<sup>2</sup>), *Nassarius reticulatus* 57/m<sup>2</sup>) et *Spisula subtruncata* 57/m<sup>2</sup>). Les espèces les plus contributives à l'élaboration de la biomasse sont *Ensis directus* (19,3g/m<sup>2</sup>), *Spisula subtruncata* (13,8 g/m<sup>2</sup>), *Notomastus latericeus* (11,4g/m<sup>2</sup>), *Abra alba* (8,1g/m<sup>2</sup>) et *Nassarius reticulatus* (5,8g/m<sup>2</sup>).

En juin, on observe une forte augmentation de la richesse spécifique (39 espèces, soit +17 espèces par rapport à avril 1999). Un bon recrutement de *Lanice conchilega* (5473/m<sup>2</sup>), fait fortement progresser la densité globale à la station. D'autres espèces bénéficient d'un bon recrutement : *Eumida sanguinea* (721/m<sup>2</sup>), *Ensis directus* (246/m<sup>2</sup>), *Nephtys hombergii* (151/m<sup>2</sup> ou 222/m<sup>2</sup> si l'on considère que les juvéniles -indéterminables du fait de leur petite taille - de *Nephtys* récoltés étaient bien des *Nephtys hombergii* ) et *Phyllodoce mucosa* (114/m<sup>2</sup>). Les autres espèces importantes qui n'avaient pas encore recruté lors du prélèvement de juin sont *Abra alba* (304/m<sup>2</sup>) et *Notomastus latericeus* (203/m<sup>2</sup>).

Compte tenu du fait que la majorité des individus récoltés étaient de jeunes recrues la biomasse est moins forte qu'au début de l'année (46,8g/m<sup>2</sup>), les espèces les plus importantes au niveau de la biomasse sont *Lanice conchilega* (3,4g/m<sup>2</sup>), *Abra alba* (6,1g/m<sup>2</sup>), *Spisula subtruncata* (5,1g/m<sup>2</sup>), *Nassarius reticulatus* (4,8g/m<sup>2</sup>), *Notomastus latericeus* (2,6g/m<sup>2</sup>) et *Ensis directus* (1,7g/m<sup>2</sup>). La faible biomasse de cette dernière espèce est due à la forte proportion de jeunes recrues (96,34 % des individus).

En septembre, on assiste à une très forte progression de la richesse spécifique (47 espèces, soit +8 espèces par rapport à juin 1999) et de la densité globale. Cette dernière atteint 12565/m<sup>2</sup>). Cette progression est due à *Lanice conchilega* (8390/m<sup>2</sup>), le recrutement de cette espèce s'est poursuivi après le prélèvement de juin 1998.

Le recrutement important pouvait être pressenti à l'occasion d'une campagne effectuée sur le suprabenthos de la zone à la fin mai 1999, des jeunes larves de *Lanice conchilega* en très grande densité (150000/100m<sup>3</sup>) avaient été récoltées à cette occasion. Le recrutement d'autres espèces (qui n'avait pas été remarqué au mois de mai) est évident en décembre : *Abra alba* (1068/m<sup>2</sup>), *Notomastus latericeus* (1052/m<sup>2</sup>), *Ophiura albida* (256/m<sup>2</sup>), *Mysella bidentata* (152/m<sup>2</sup>), *Venerupis pullastra* (117/m<sup>2</sup>), *Pectinaria koreni* (115/m<sup>2</sup>) et *Eunereis longissima* (104/m<sup>2</sup>). Les autres espèces importantes sont *Phyllodoce mucosa* (413/m<sup>2</sup>), *Eumida sanguinea* (164/m<sup>2</sup>), *Ensis directus* (133/m<sup>2</sup>), *Tellina fabula* (83/m<sup>2</sup>), *Sthenelais boa* (71/m<sup>2</sup>) et *Leucothoe incisa* (62/m<sup>2</sup>). La biomasse est, bien entendu, très importante, elle atteint 102g/m<sup>2</sup>. Les espèces à forte biomasse sont : *Lanice conchilega* (26,1g/m<sup>2</sup>), *Ensis directus* (15,4g/m<sup>2</sup>), *Abra alba* (14,1g/m<sup>2</sup>), *Notomastus latericeus* (13,2g/m<sup>2</sup>), *Nassarius reticulatus* (12,9g/m<sup>2</sup>), *Spisula subtruncata* (7,6g/m<sup>2</sup>), *Eunereis longissima* (2,8g/m<sup>2</sup>), *Pectinaria koreni* (2,0g/m<sup>2</sup>), *Sagartia troglodytes* (2,0g/m<sup>2</sup>) et *Sthenelais boa* (5,1g/m<sup>2</sup>). La biomasse de *Ophiura albida* ne représente que 0,5g/m<sup>2</sup>, ceci est dû à la forte majorité de jeunes individus récemment recrutés parmi les individus récoltés.

#### 8.3.2.2. Résultats Station C

La station C permet de visualiser l'impact de la centrale sur le peuplement à *Abra alba* dans le champ proche du rejet. Le lessivage des fines du sédiment par les eaux rejetées par la centrale, parfaitement matérialisé par les analyses granulométriques, provoque la disparition des espèces vasicoles. Cependant certains recrutements observés à la station B peuvent se retrouver de manière atténuée à la station C.

Les résultats enregistrés en 1998 à la station C confirment largement à la fois l'impact de la centrale sur les peuplements benthiques du champ proche de la centrale mais aussi la stabilité de cet impact au cours du temps. Le maintien du peuplement en place confirme la constance de la perturbation. *Nephtys cirrosa* demeure l'espèce la plus importante du peuplement établi à cette station. Elle représente 55 % des individus récoltés à cette station en 1999.

La campagne de janvier 1999 met en évidence les caractéristiques du peuplement à l'étiage : 8 espèces, densité globale de 35/m<sup>2</sup>. Le peuplement est dominé par *Nephtys cirrosa* (18/m<sup>2</sup>). Les autres espèces importantes

sont *Bathyporeia pelagica* (5/m<sup>2</sup>), *Nerine cirratulus* (3/m<sup>2</sup>) et *Gastrosaccus spinifer* (3/m<sup>2</sup>). La biomasse est faible : 0,14 g/m<sup>2</sup>.

L'échantillonnage d'avril 1999 fait apparaître à la station C la résonance du recrutement très important de *Lanice conchilega* (34/m<sup>2</sup>) à la station B. Il est à noter cependant que nous sommes en présence de très jeunes individus (5 à 6mm de long, poids individuel moyen de 1,2mg). *Nephtys cirrosa* reste l'espèce la plus importante du peuplement (42/m<sup>2</sup>). Les autres espèces importantes sont *Nerine cirratulus* (3/m<sup>2</sup>) *Bathyporeia pelagica* (3/m<sup>2</sup>) et *Gastrosaccus spinifer* (3/m<sup>2</sup>). Les espèces les plus contributives à l'élaboration de la biomasse sont *Nephtys cirrosa* (0,25g/m<sup>2</sup>), *Lanice conchilega* (0,04g/m<sup>2</sup>), *Gastrosaccus spinifer* (0,03g/m<sup>2</sup>), *Portumnus latipes* (0,01g/m<sup>2</sup>) et *Nerine cirratulus* (0,01g/m<sup>2</sup>). La biomasse reste faible : 0,37g/m<sup>2</sup>. 10 taxons ont été récoltés, ils représentent une densité globale de 106/m<sup>2</sup>.

En juin 1999, la résonance du recrutement dans le peuplement à *Abra alba* se fait encore sentir à la station C: une espèce dont le recrutement a été réussi à la station B, *Lanice conchilega* (17/m<sup>2</sup>) bénéficie d'un recrutement inhabituel qui ne se maintiendra toutefois pas au delà de l'été. La période du recrutement de *Lanice conchilega* semble avoir été très longue en 1999, les individus récoltés à la station C sont encore de très jeunes recrues (poids individuel moyen 0,5mg). L'espèce dominante est toujours *Nephtys cirrosa* (70/m<sup>2</sup>), outre les deux autres espèces précédemment citées. Les autres espèces importantes sont *Eteone longa* (10/m<sup>2</sup>), *Spio martinensis* (8/m<sup>2</sup>) et *Nerine cirratulus* (4/m<sup>2</sup>). La richesse spécifique est élevée : 20 taxons ont été récoltés. La densité globale est de 163/m<sup>2</sup>, la biomasse reste faible (0,89g/m<sup>2</sup>). Les deux espèces qui participent le plus à l'élaboration de la biomasse sont *Nephtys cirrosa* (0,45g/m<sup>2</sup>) et *Hyperoplus lanceolatus* (0,36g/m<sup>2</sup>). Ces deux espèces représentent à elles seules 90 % de la biomasse : 50 % pour *Nephtys cirrosa* et 40% pour *Hyperoplus lanceolatus* (2 individus). Il faut enfin noter la récolte de 2 juvéniles de *Ensis directus*.

La campagne de septembre fait apparaître un retour vers le peuplement hivernal. Si la densité globale reste proche de celle de juin, la richesse spécifique décroît fortement (8 espèces). Les espèces les plus importantes sont *Nephtys cirrosa* : 79 % des individus (123/m<sup>2</sup>) et *Portumnus latipes* : 14% (22/m<sup>2</sup>). La biomasse reste également semblable à celle de juin

(0,93g/m<sup>2</sup>). Les deux espèces précédemment citée représentent à elles deux 98 % de la biomasse globale, 66 % pour *Nephtys cirrosa* (0,60g/m<sup>2</sup>) et 32% pour *Hydrobia lanceolata* (0,3g/m<sup>2</sup>).

Le déficit en densité de peuplement et en biomasse à la station C par rapport à la station témoin B reste considérable. L'impact de la centrale sur les peuplements benthiques reste donc très fort dans le champ proche de la centrale.

Il provoque un déficit de 98 % de la densité et de 99% de la biomasse globale.

#### **8.4. ETUDE DES POPULATIONS DE *Abra alba* et de *Tellina fabula*.**

##### **8.4.1. Etude de la population de *Abra alba*.**

La population de *Abra alba* est connue pour ses fluctuations brutales, liées au caractère pionnier de cette espèce. Certaines fluctuations peuvent être attribuées au recrutement, d'autres sont dues à des migrations passives.

La dynamique de la population de *Abra alba* est basée sur un cycle de 7 à 8 ans calqué sur celui de la température donc sur les oscillations Nord-Atlantique (NAO).

Cette espèce a présente en 1998 un très fort recrutement (1249/m<sup>2</sup>) alors que depuis 1991 on n'avait pu mettre en évidence que deux recrutements importants qui n'avaient pas été suivis d'un maintien de la population. Le recrutement mis en évidence en septembre 1998 s'est maintenu en 1999. 1000/m<sup>2</sup>. La population de *Abra alba* semble s'être reconstituée la densité moyenne varie peu d'une année à l'autre : elle était de 454/m<sup>2</sup> en 1998, elle est de 449/m<sup>2</sup> en 1999.

La population d'*Abra alba* se maintient à un niveau élevé. La densité de la population de *Abra alba* décroît en période hivernale et croît à nouveau après le recrutement du début de l'été pour atteindre une valeur supérieure à 1000/m<sup>2</sup> en septembre 1999.

##### **8.4.2. Etude de la population de *Tellina fabula*.**

Cette espèce, proche de *Abra alba*, s'en différencie par une affinité moindre aux sédiments envasés et par une stratégie de dynamique de population différente. Elle n'a pas le caractère pionnier de *Abra alba* et les

densités habituelles de cette espèce n'atteignent jamais celles qu'*Abra alba* peut atteindre.

La densité de cette espèce était restée à un niveau très faible en 1997 et avait bénéficié en 1998 d'un recrutement un peu meilleur. ( $66/m^2$ ) Le recrutement ne s'est pas maintenu par la suite. Le même schéma se reproduit en 1999. Le niveau maximum de densité atteint est supérieur en 1999 :  $83/m^2$  contre  $66/m^2$  en 1998, mais les densités n'atteignent pas les valeurs que l'on a pu rencontrer dans le passé.

Cette espèce ne parvient donc toujours pas à se réimplanter sur le site, néanmoins son suivi doit être maintenu dans la mesure où elle peut présenter des phénomènes de compétition avec *Abra alba*.

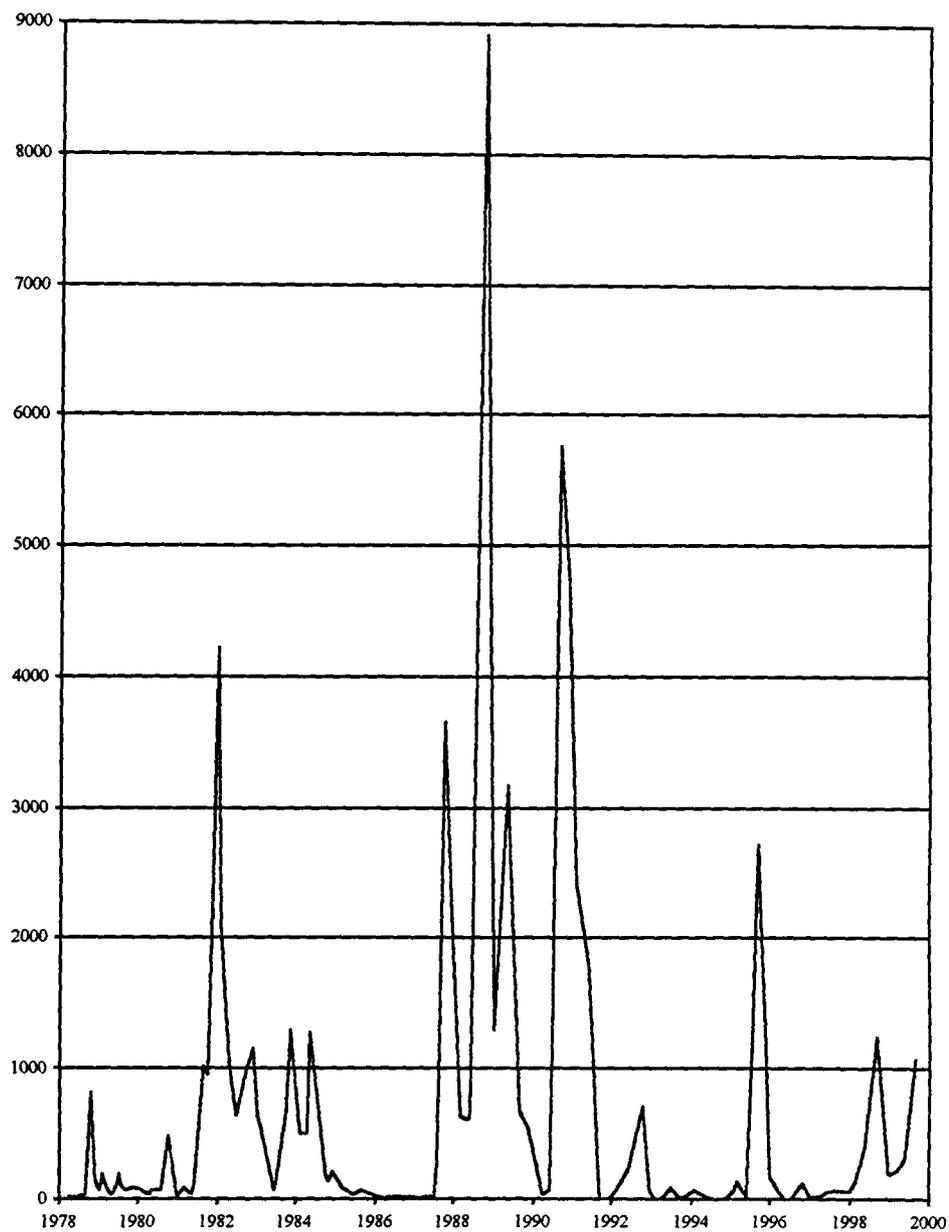


Fig. 8.3. *Abra alba*, Evolution de la densité (par m<sup>2</sup>) de la population entre 1978 et 1999

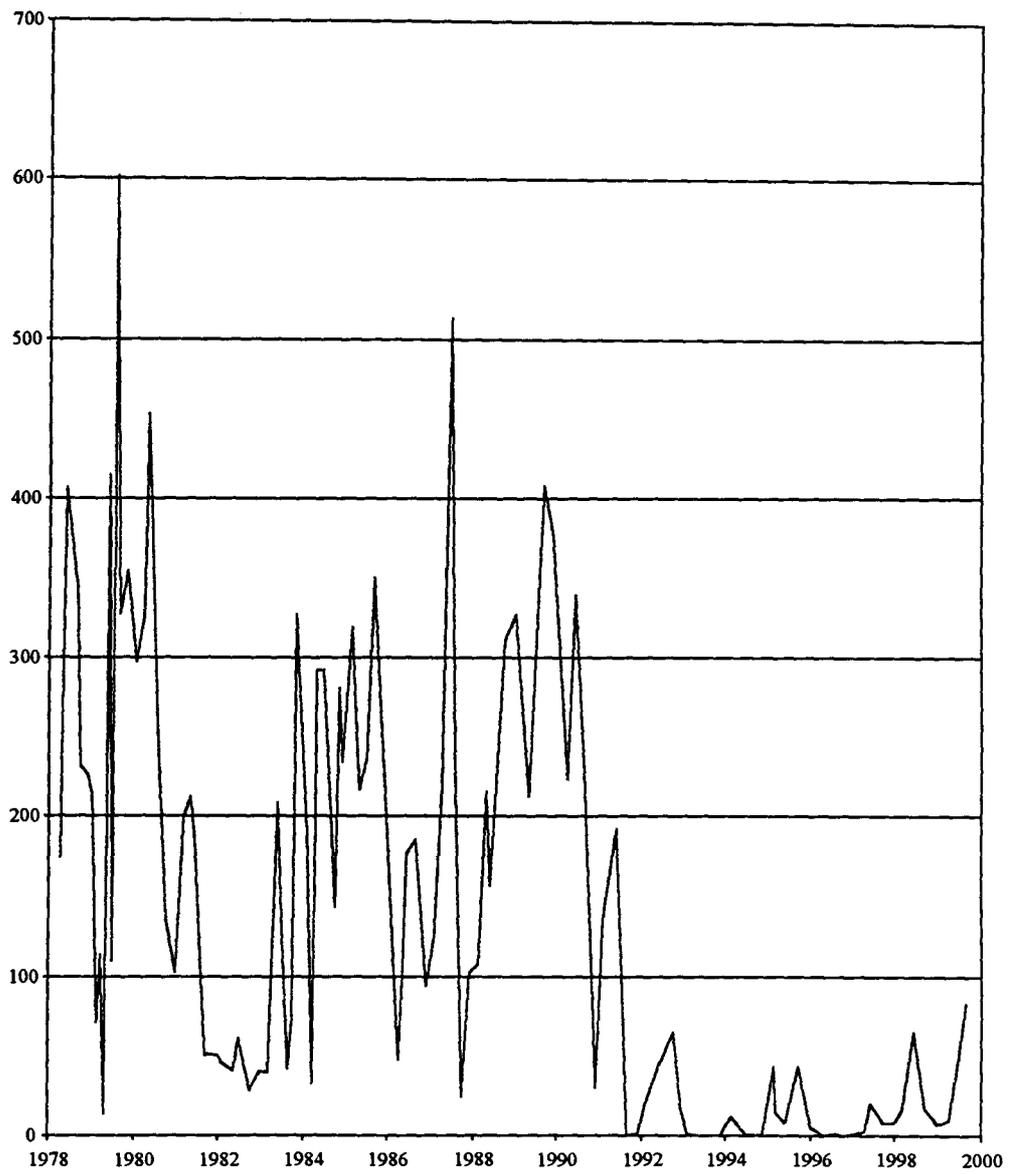


Fig. 8.4. *Tellina fabula*, évolution de la densité de la population (par  $m^2$ ) entre 1978 et 1999

Espèces / Dates	21/01/99	15/04/99(*)	10/06/99	2/09/99
<i>Sagartia troglodytes</i>	1	1	1	3
<i>Tubulanus polymorphus</i>	1	0	0	1
<i>Cerebratulus sp.</i>	1	0	0	0
<i>Scoloplos armiger</i>	0	0	0	28
<i>Spio martinensis</i>	0	0	7	1
<i>Spiophanes bombyx</i>	0	0	14	19
<i>Magelona mirabilis</i>	0	0	4	7
<i>Chaetozone setosa</i>	1	0	2	32
<i>Notomastus latericeus</i>	201	546	203	1052
<i>Capitella capitata</i>	0	2	0	0
<i>Heteromastus filiformis</i>	0	0	0	1
<i>Mediomastus fragilis</i>	2	0	0	15
<i>Phyllodoce mucosa</i>	2	0	114	413
<i>Eumida sanguinea</i>	0	0	721	164
<i>Harmothoe glabra</i>	0	1	11	9
<i>Harmothoe lunulata</i>	0	0	1	1
<i>Sigalion mathildae</i>	0	0	1	0
<i>Stenelais boa</i>	8	12	8	71
<i>Pholoe minuta</i>	0	0	4	21
<i>Kefersteinia cirrata</i>	0	0	2	5
<i>Eunereis longissima</i>	13	2	1	104
<i>Glycera alba</i>	10	6	6	4
<i>Goniadella bobretzkii</i>	1	1	1	1
<i>Nephtys longosetosa</i>	1	0	0	0
<i>Nephtys hombergii</i>	32	11	151	107
<i>Nephtys sp. "jeune"</i>	0	0	71	0
<i>Owenia fusiformis</i>	4	10	7	12
<i>Pectinaria koreni</i>	5	11	3	115
<i>Lanice conchilega</i>	1	0	5473	8380
<i>Lunatla alderi</i>	0	0	1	1
<i>Nassarius reticulatus</i>	81	57	36	60
<i>Chamys opercularis</i>	0	0	0	1
<i>Mysella bidentata</i>	26	1	36	152
<i>Cerastoderma edule</i>	0	0	0	1
<i>Venerupis pullastra</i>	4	3	0	117
<i>Spisula subtruncata</i>	30	57	25	29
<i>Maetra corallina</i>	0	0	0	1

Tableau 8.2. Station B, nombre d'individus par m<sup>2</sup>(\*) = échantillon de 0,9 m<sup>2</sup>

Espèces / Dates	21/01/99	15/04/99(*)	10/06/99	2/09/99
<i>Lutraria angustior</i>	0	0	0	1
<i>Macoma balthica</i>	3	3	5	5
<i>Abra alba</i>	194	229	304	1068
<i>Ensis sp.</i>	1	0	0	0
<i>Ensis directus</i>	10	17	246	133
<i>Leucothoe incisa</i>	6	0	0	62
<i>Melita obtusata</i>	0	0	1	2
<i>Urothoe poseidonis</i>	0	2	2	1
<i>Atylus falcatus</i>	0	0	0	1
<i>Atylus swammerdami</i>	0	0	4	10
<i>Diastylis bradyi</i>	0	3	0	2
<i>Crangon crangon</i>	1	0	1	2
<i>Pagurus bernhardus</i>	0	0	1	0
<i>Corystes cassivelaunus</i>	0	0	1	0
<i>Liocarnus holsatus</i>	0	0	6	7
<i>Ophiura texturata</i>	24	0	2	4
<i>Ophiura albida</i>	58	13	9	256
<b>TOTAL par m<sup>2</sup></b>	<b>35441</b>	<b>989</b>	<b>42345</b>	<b>47425</b>

Tableau 8.2. (suite) Station B, nombre d'individus par m<sup>2</sup>  
 (\*) = échantillon de 0,9 m<sup>2</sup>

Espèces / Dates	21/01/99	15/04/99 (*)	11/06/99	2/09/99
<i>Sagartia troglodytes</i>	810,5	468,9	488,8	1987,5
<i>Notomastus latericeus</i>	3404,4	11385,7	2604,5	13203,7
<i>Phyllodoce mucosa</i>	0,0	0,0	18,4	355,6
<i>Eumida sanguinea</i>	0,0	0,0	293,1	47,8
<i>Stenelais boa</i>	82,1	253,7	0,0	1053,1
<i>Eunereis longissima</i>	587,5	106,8	0,0	2795,9
<i>Nephtys hombergii</i>	365,5	103,1	512,0	723,0
<i>Owenia fusiformis</i>	54,3	221,4	263,5	258,0
<i>Pectinaria koreni</i>	111,9	554,2	20,5	1958,5
<i>Lanice conchilega</i>	0,0	0,0	23360,0	26090,0
<i>Nassarius reticulatus</i>	25861,1	5794,1	4834,7	12494,5
<i>Mysella bidentata</i>	13,6	0,0	12,2	43,0
<i>Venerupis pullastra</i>	97,5	673,8	0,0	894,6
<i>Spisula subtruncata</i>	17607,6	13804,2	5103,2	7600,9
<i>Mactra corallina</i>	0,0	0,0	0,0	482,9
<i>Lutraria angustior</i>	0,0	0,0	0,0	722,4
<i>Macoma balthica</i>	132,7	141,7	402,5	223,7
<i>Tellina fabula</i>	58,3	392,8	262,5	483,5
<i>Abra alba</i>	8299,8	8108,8	6115,0	14144,1
<i>Ensis directus</i>	3678,8	19297,0	1705,0	15425,2
<i>Ophiura texturata</i>	688,1	0,0	0,0	283,8
<i>Ophiura albida</i>	277,3	148,8	193,5	508,8
divers	47,4	84,7	644,6	182,5
<b>TOTAL par m<sup>2</sup></b>	<b>62178,4</b>	<b>61539,6</b>	<b>46834,0</b>	<b>101963,0</b>

Tableau 8.3. Station B, biomasse en mg par m<sup>2</sup>  
 (\*) = échantillon de 0,9 m<sup>2</sup>

Espèces / dates	21/01/99	15/04/99	10/06/99	02/09/99
<i>Nemertes</i>		2	2	
<i>Cerebratulus sp.</i>		1	1	
<i>Scoloplos armiger</i>			1	
<i>Nerine cirratulus</i>	3	11	4	
<i>Spio martinensis</i>			8	3
<i>Spiophanes bombyx</i>			35	2
<i>Chaetozone setosa</i>				2
<i>Notomastus latericeus</i>	1			
<i>Capitella capitata</i>			2	
<i>Eumida sanguinea</i>			1	
<i>Eteone longa</i>			10	
<i>Nephtys cirrosa</i>	18	42	70	123
<i>Lanice conchilega</i>		34	17	
<i>Ensis directus</i>			2	2
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	3	4	1	
<i>Pseudocuma longicornis</i>	2		1	
<i>Eurydice pulchra</i>	2			
<i>Atylus swammerdami</i>			2	
<i>Pontocrates altamarinus</i>	1	1	1	
<i>Bathyporeia elegans</i>		1		1
<i>Bathyporeia pelagica</i>	5	9	1	
<i>Urothoe elegans</i>			1	
<i>Crangon crangon</i>			1	
<i>Portunus latipes</i>		1		22
<i>Ophiura albida</i>				1
<i>Hyperoplus lanceolatus</i>			2	
Total par m <sup>2</sup>	35	106	163	156

Tab.8.4. Station C, Densités par m<sup>2</sup>

Espèces / date	21/01/99	15/04/99	10/06/99	02/09/99
<i>Nemertes</i>		4,2	4,7	
<i>Cerebratulus sp.</i>		15,6	0,9	
<i>Scoloplos armiger</i>			2,7	
<i>Nerine cirratulus</i>	0,8	10,9	1,0	
<i>Spio martinensis</i>			1,7	0,6
<i>Spiophanes bombyx</i>			7,9	8,5
<i>Chaetozone setosa</i>				0,2
<i>Notomastus latericeus</i>	2,0			
<i>Capitella capitata</i>			0,4	
<i>Eumida sanguinea</i>			0,2	
<i>Eteone longa</i>			2,0	
<i>Nephtys cirrosa</i>	123,6	248,8	445,7	613,8
<i>Lanice conchilega</i>		39,3	9,2	
<i>Ensis directus</i>			9,2	9,9
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	10,8	29,4	2,5	
<i>Pseudocuma longicornis</i>	0,5		0,1	
<i>Eurydice pulchra</i>	3,4			
<i>Atylus swammerdami</i>			1,1	
<i>Pontocrates altamarinus</i>	0,6	0,4	0,5	
<i>Bathyporeia elegans</i>		0,6		0,3
<i>Bathyporeia pelagica</i>	1,2	4,7	0,4	
<i>Urothoe elegans</i>			1,0	
<i>Crangon crangon</i>			40,1	
<i>Portumnus latipes</i>		12,1		300,2
<i>Ophiura albida</i>				0,6
<i>Hyperoplus lanceolatus</i>			359,1	
<b>Total par m<sup>2</sup></b>	<b>142,9</b>	<b>366,0</b>	<b>890,4</b>	<b>934,1</b>

Tab.8.5. Station C, biomasse en mg par m<sup>2</sup>



## RESUME

### Surveillance de Gravelines Novembre 1998 - Octobre 1999

Durant la période 1998-1999 des températures de l'air plus élevées que la normale ont été relevées. La moyenne annuelle s'établit à 11.4 °C soit 1.45°C au-dessus de la normale. La pluviosité globale est également supérieure à la normale avec 769 mm à comparer au 675 mm de valeur moyenne.

La puissance électrique produite par la centrale de Gravelines correspond à l'équivalent de 2.6 à 5.8 tranches de 910 MW. La puissance hebdomadaire moyenne produite pour la période est proche de 3964 MW, soit l'équivalent de 4.4 tranches.

L'augmentation moyenne de la température de l'eau au rejet est de 8.69 °C (t° calculées), les températures mesurées de façon hebdomadaire entre la prise et le rejet montrent une différence de 8.35 °C (t° mesurées).

Au rejet 4 mesures supérieures à 30 °C ont été relevées pendant la période d'étude (maximum 30.7 °C le 13 septembre 1999). Lors des 2 campagnes en mars et septembre la stratification thermique du panache de rejet a été mesurée, elle apparaît nettement en septembre avec un  $\Delta T$  de 5 °C dans la couche d'eau de surface (0 - 4 m) au point contrôle.

La chloration de l'eau de refroidissement a été en service 8 mois sur 12. Les bromoformes formés ont présenté une concentration moyenne de 20.2  $\mu\text{g} / \text{l}$ . Sa persistance en mer dans le panache de rejet a permis de calculer le taux de recirculation de 6.8 % pour l'année d'étude. Cette année il n'y a pas eu de mise en évidence de 2-4-6 bromophenol.

Le passage de l'eau dans l'ensemble constitué par la centrale électrique et les installations aquacoles entraîne la multiplication importante du nombre de vibrions (35 fois). L'amplitude annuelle du cycle des vibrions dans le rejet est stable. Les minima observés sont en légère augmentation sans doute en relation avec deux facteurs qui se superposent : les hivers cléments et le développement de l'aquaculture sur le site.

*Vibrio alginolyticus* est toujours l'espèce principale. Le *Vibrio cholerae* n'agit pas est la seconde espèce avec cette année un pourcentage d'isolement de 13 % (inférieure aux 20 % de l'année précédente). Les souches de *Vibrio cholerae* mises en évidence sur le site de Gravelines ne sont pas agglutinables par les sérums anti-*V. cholerae*. Sur 140 sérotypes de cette espèce les 2 qui présentent un risque sanitaire important n'ont jamais été mis en évidence sur le site de Gravelines.

La biomasse chlorophyllienne passe par un maximum de 33 mg / m<sup>3</sup> le 12 Avril. 1999 est une année où la biomasse chlorophyllienne est élevée et comparable pour aux années 1993 et 1995. La campagne du 18 mars se situe dans la phase ascendante de la floraison printanière juste avant l'arrivée de *Phaeocystis*. Le passage de la masse d'eau dans la centrale se traduit par une chute des concentrations qui passent de 6.97 à 5.75 mg / m<sup>3</sup>. L'impact est limité, la teneur en chlorophylle est de 6.62 mg / m<sup>3</sup> au niveau de la station de contrôle. On note par ailleurs un important gradient côte - large croissant. La teneur en chlorophylle de 7 mg / m<sup>3</sup>, aux stations côtières est proche de 10 mg / m<sup>3</sup> à la station de référence. La campagne du 22 septembre se situe alors que la biomasse chlorophyllienne est à des valeurs hivernales. L'impact de la centrale sur la masse d'eau est important ; les concentrations en chlorophylle à l'entrée et à la sortie sont respectivement de 2.24 et 0.88 mg / m<sup>3</sup> et elles remontent à 2 mg / m<sup>3</sup> à la station de contrôle.

Les dinoflagellés noctiluques ont présenté un cycle de variation très classique avec un maximum de 10<sup>5</sup> cellules / m<sup>3</sup> en juillet, il n'y a pas eu d'eau rouge. Les biomasses zooplanctoniques ont montré une évolution temporelle à trois maxima, les maxima de mars et mai sont liés au maxima de zooplancton tandis que le maximum de juillet est en relation avec le pic de noctiluques.

Les espèces zooplanctoniques ont présenté une évolution normale avec succession saisonnière classique pour le site. Le copépode parasite abondant à l'automne depuis quelques années a été déterminé et correspond au genre *Ergasilus*. Il serait intéressant de connaître l'ensemble du cycle de cette espèce dont seuls les stades juvéniles sont pélagiques et de situer précisément les hôtes des stades adultes avec les rythmes de reproduction.

L'impact de la centrale sur le zooplancton se manifeste soit dès le canal de rejet soit un peu plus loin dans la tache thermique au point contrôle. L'impact est régulièrement observé. Le déficit dans le rejet est estimé à 40 % de la biomasse zooplanctonique en mars, difficile à mettre en évidence en septembre. Le déficit calculé correspond à 39 % en carbone et à 30 % en azote en mars.

Le déficit en nombre d'individus et l'impact varie selon les espèces et selon leur taille : le déficit rejet - entrée est de 100 % pour les organismes dinoflagellés noctiluques, les cténares au printemps, les cnidaires, les larves d'ophiures les

chaetognathes à l'automne. Les crustacés holoplanctoniques de petite taille comme les copépodes sont semble-t-il moins atteints, tandis que l'on observe un déficit de 100 % sur les larves de crabes.

L'année 1999 est précoce pour la reproduction du sprat et de la sole, les quantités d'œufs se situent dans la moyenne pour le site.

On assiste en 1999 à une homogénéisation des peuplements intertidaux et notamment dans les moyens niveaux. Les aires de répartition de certaines espèces importantes (*Hydrobia ulvae*, *Cerastoderma edule*) s'étendent au-delà des limites habituelles. Pour autant, les zones à forte densité de population et à forte biomasse restent les mêmes. Cette homogénéisation conduit à une augmentation de la richesse spécifique des peuplements intertidaux et ce notamment dans les niveaux inférieurs. Le nombre total de taxons augmente (29 en 1999 contre 25 en 1998), la densité moyenne sur l'estran reste stable, la biomasse diminue mais reste à un niveau très élevé (plus de 7 g/m<sup>2</sup>).

Les populations d'espèces euryhalines diminuent dans la partie ouest de l'estran. La répartition des populations de spionidiens évolue encore en 1999 par rapport à 1998. *Spio martinensis* disparaît complètement des hauts niveaux de l'estran et n'est plus récolté que dans les moyens et bas niveaux. *Pygospio elegans* qui avait totalement disparu de l'estran en 1998 réapparaît à la station I. Il est difficile d'y voir un impact de la centrale sur les peuplements benthiques intertidaux.

Dans la zone subtidale l'altération sédimentologique de la station B n'est plus du tout perceptible et le sédiment est redevenu typique du peuplement à *Abra alba*. En 1999, le sédiment s'est considérablement envasé permettant de très forts recrutements. Le taux de pélites a même atteint 36 % en avril 1999.

Le sédiment de la station C tend à devenir plus grossier la teneur en sables grossiers augmente fortement, passant de moins de 1% à près de 10 %.

Le peuplement établi à la station B revient à la situation qui prévalait avant 1991. Les espèces caractéristiques présentent des recrutements importants avec une dominance très nette cette année pour *Lanice conchilega* qui atteint une densité de 8500 individus par m<sup>2</sup> en septembre 1999 ce qui laisse penser que le recrutement printanier a été beaucoup plus important eu égard les fortes densités de larves observées fin mai 1999 dans les études de suprabenthos menées sur le peuplement à *Abra alba*. La biomasse moyenne revient à un niveau normal et progresse fortement par rapport à 1998 (68,1g/m<sup>2</sup> en 1999 contre 54,7g/m<sup>2</sup> en 1998).

Le peuplement établi à la station C n'évolue pas entre 1998 et 1999. Il reste dominé par *Nephtys cirrosa*. La richesse spécifique (26 espèces), la densité moyenne du peuplement (115/m<sup>2</sup>) et la biomasse moyenne (0,58/m<sup>2</sup>) sont faibles, du même ordre qu'en 1998.

## ANNEXE SITE DE GRAVELINES

### RAPPORTS ANNUELS C.N.E.X.O ET I.S.T.P.M 1975 - 1985 ET RAPPORTS ANNUELS IFREMER 1986 - 1999

#### **Rapports C.N.E.X.O**

- 1975.** Etude écologique du site de Gravelines. Rapport des travaux au 30 août 1975. ELGMM-CNEXO pour EDF. Août 1975 (2 volumes).
- 1976.** Etude écologique de projet. Site de Gravelines. Rapport final 1er cycle. ELGMM-CNEXO / IBMR Wimereux / Université de Lille pour EDF. Juin 1976 (4 volumes).
- 1977.** Etude écologique de projet. Site de Gravelines 2ème cycle. ELGMM-CNEXO / IBMR Wimereux / Université de Lille pour EDF. Novembre 1977 (3 volumes).
- 1981.** Etude de surveillance écologique 1er cycle (janvier 1978 à juin 1979) Site de Gravelines. CNEXO-COB-ELGMM / IBMR Wimereux / Université de Lille pour EDF. Janvier 1981.
- 1981.** Première étude de surveillance du site de Gravelines. Description statistique des données et interprétation écologique CNEXO-COB-ELGMM pour EDF. Août 1981.
- 1982.** Etude de surveillance écologique du site de Gravelines (Surveillance n°2 juillet 1979 - octobre 1980). CNEXO-COB-LGMM / IBMR Wimereux / Université de Lille pour EDF. Février 1982.
- 1982.** Etude de surveillance écologique du site de Gravelines (Surveillance n° 3 novembre 1980 - octobre 1981). CNEXO-COB-ELGMM / IBMR Wimereux / Université de Lille pour EDF. Novembre 1982.
- 1983.** Surveillance écologique du site de Gravelines (Surveillance n° 4 novembre 1981 - octobre 1982). CNEXO-COB-ELGMM / SBMW / Institut Pasteur de Lille pur EDF. Avril 1983.
- 1984.** Surveillance écologique du site de Gravelines (Surveillance n° 5 novembre 1982 - octobre 1983). CNEXO-COB-ELGMM / SBMW / Institut Pasteur de Lille pour EDF. Avril 1984.
- 1985.** Surveillance écologique du site de Gravelines (Surveillance n° 6 novembre 1983 - octobre 1984). IFREMER-Centre de Brest-DERO-EL / Station Marine de Wimereux / Institut Pasteur de Lille pour EDF. Avril 1985.

## **Rapports I.S.T.P.M**

- 1980.** Etude halieutique de projet de site, Gravelines, rapport de fin d'études. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, édit., Nantes pour EDF. 1980.
- 1981.** Site de Gravelines, rapport de fin d'étude de projet, 1ère partie : zooplanctonologie halieutique. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, édit., Nantes pour EDF. 1981.
- 1982.** Site de Gravelines. Etude de surveillance écologique des ressources halieutiques année 1980. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, édit., Nantes pour EDF. 1981.
- 1982.** Site de Gravelines. Etude de surveillance écologique des ressources halieutiques, année 1981. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, édit., Nantes pour EDF. 1982.
- 1983.** Site de Gravelines. Etude de surveillance écologique des ressources halieutiques, année 1982. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, édit., Nantes pour EDF. 1983.
- 1984.** Site de Gravelines. Etude de surveillance écologique des ressources halieutiques, année 1983. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, édit., Nantes pour EDF. 1984.
- 1985.** Site de Gravelines. Etude de surveillance écologique des ressources halieutiques, année 1984. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, édit., Nantes pour EDF. 1985.

## **Rapports I.F.R.E.M.E.R**

- 1986.** Site de Gravelines. Etude de surveillance écologique et halieutique (novembre 1984 - octobre 1985) IFREMER / Brest / Nantes / Ouistreham / Station marine de Wimereux / Institut Pasteur de Lille. DERO 86.09.EL pour EDF. 1986. (2 volumes).
- 1987.** Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1985 - octobre 1986) IFREMER / Brest / Nantes / Ouistreham / Station marine de Wimereux / Institut Pasteur de Lille. DERO 87.06.EL pour EDF. 1987. 157 p.
- 1988.** Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1986 - octobre 1987) IFREMER / Brest / Nantes / Ouistreham / Station marine de Wimereux / Institut Pasteur de Gravelines. DERO 88.17.EL pour EDF. 1988. 156 p.
- 1989.** Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1987 - octobre 1988) IFREMER / Station marine de Wimereux / Institut Pasteur de Gravelines. DERO 89.08.EL pour EDF. 1989. 153 p.

1990. Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1988 - octobre 1989) IFREMER DRO 90.12.EL pour EDF. 1990. 120 p.
1991. Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1989 - octobre 1990) IFREMER DRO 91.10.EL pour EDF. 1991. 93 p.
1992. Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1990 - octobre 1991) IFREMER DEL 92.14. 1992. 119 p.
1993. Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1991 - octobre 1992) IFREMER DEL 93.11. 1993. 105 p.
1994. Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1992 - octobre 1993) IFREMER DEL 94.05. 1994. 117 p.
1995. Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1993 - octobre 1994) IFREMER DEL 95.07. 1995. 107 p.
1996. Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1994 - octobre 1995) IFREMER DEL/Brest 96.04. 1996. 111 p.
1997. Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1995 - octobre 1996) IFREMER DEL/EC/RST 97.08 . 1997 121 p.
1998. Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1996 - octobre 1997) IFREMER DEL/EC 98.03 BREST. 1998 123 p.
1999. Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1997 - octobre 1998) IFREMER DEL/EC/PP - R. INT 99.06. BREST 1999 134 p.

**Nota :**

Un rapport préliminaire parait chaque année en janvier et le rapport annuel parait en avril.

Citations des auteurs : le grand nombre d'auteurs impliqués dans la rédaction des rapports cités ci-dessus ne nous a pas permis de lister l'ensemble. Il est admis que si un auteur est cité dans une bibliographie et texte de publication, il doit l'être de la manière suivante :

Exemple d'un texte de benthos subtidal cité

J.M. DEWARUMEZ et D. MENU 1990 Benthos Subtidal (ch. VIII p 97-120) in : site de Gravelines - surveillance écologique et halieutique (novembre 1988 - octobre 1989) IFREMER DRO 90.12 EL pour EDF. 1990. 120 p.