

Direction de l'environnement et de l'aménagement Littoral
service ou laboratoire

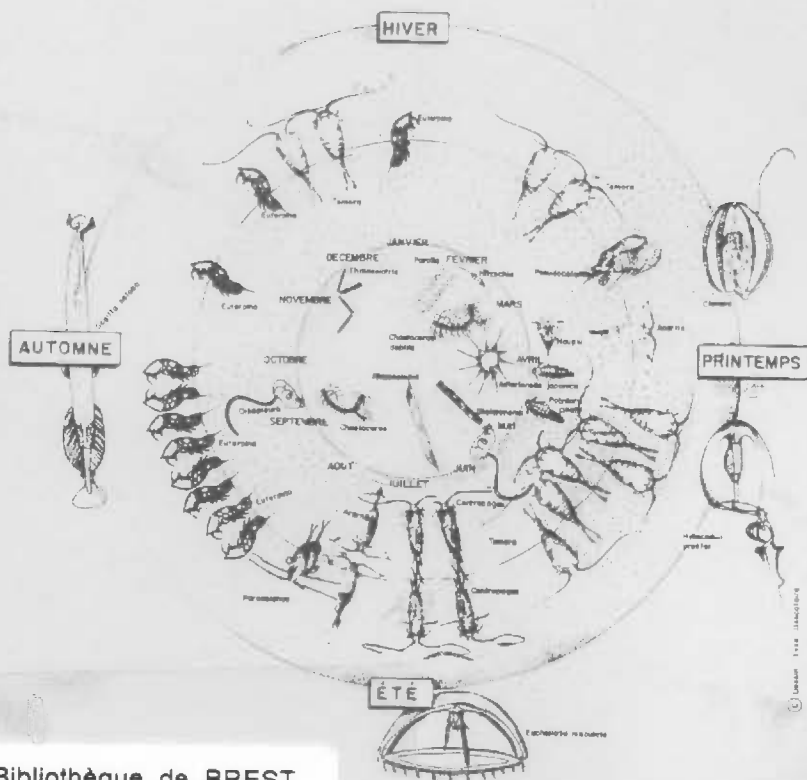
Coordinatrice : Geneviève Le Fèvre-Lehoërf

Auteurs : Geneviève Le Fèvre-Lehoërf
Régis Delesmont, Jean-Marie Dewarumez
Benoist Hitier, Alain Lefebvre, Christophe Luczak, Daniel Woehrling

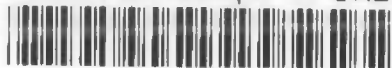
Mars 2001 - R.INT.DEL/EC/01.05 BREST

Surveillance Ecologique et Halieutique Site de Gravelines

Novembre 1999 - Octobre 2000



IFREMER Bibliothèque de BREST



OEL08870

FICHE DOCUMENTAIRE

Numéro d'identification du rapport : DEL/EC/PP/R.INT/00.07		date de publication mars 2001
Diffusion : libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte <input type="checkbox"/> interdite <input type="checkbox"/>		nombre de pages 156
Validé par : G. de Kergariou		bibliographie (Oui / Non) illustration(s) (Oui / Non)
Version du document : définitive		langue du rapport français
Titre et sous-titre du rapport : Surveillance écologique et halieutique du site de Gravelines Année 2000 – Rapport scientifique annuel. Titre traduit : Ecological and fisheries monitoring of the Gravelines nuclear power plant -2000		
Auteur(s) principal(aux) : LE FÈVRE-LEHOËRFF Geneviève DELESMONT Régis DEWARUMEZ Jean-Marie HITIER Benoist et Alain LEFEBVRE LUCZAK Christophe WOEHLING Daniel	Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER/DEL/EC/Brest Institut Pasteur Gravelines Station Marine de Wimereux IFREMER/DEL/Boulogne Station Marine de Wimereux IFREMER/DRV/RH/Nantes	
Collaborateur(s) : D'ELBÉE Jean DELPECH Jean-Paul DELESMONT Edith HEBERT Pascale LE GRAND Jacqueline VERIN Yves	Organisme / Direction / Service, laboratoire LAPHY Biarritz IFREMER/DRV/RH/Nantes IFREMER/DEL/Boulogne Station Marine de Wimereux IFREMER/DEL/EC/Brest IFREMER/DRV/RH/Boulogne	
Travaux universitaires : diplôme : _____ discipline : _____ établissement de soutenance : _____ année de soutenance : _____		
Titre du contrat de recherche : Surveillance de la Centrale Nucléaire de Gravelines		n° de contrat IFREMER S 64 T 7001 Avenant n°1
Organisme commanditaire : nom développé, sigle, adresse Electricité de France (EDF) - Production transport - CNPE Gravelines BP 149 59820 Gravelines		
Organisme(s) réalisateur(s) : nom(s) développé(s), sigle(s), adresse(s) IFREMER Centre de Brest BP 70 29280 Plouzané IFREMER Centre de Nantes BP 21105 44311 Nantes cédex 03 IFREMER Centre de Boulogne 150 quai Gambetta BP 699 62321 Boulogne sur mer Station Marine de Wimereux 28 avenue Foch BP 80 62930 Wimereux Institut Pasteur de Gravelines route du Grand colombier 59820 Gravelines LAPHY - CERS musée de la mer BP 89 64203 Biarritz		
Responsable scientifique : Geneviève Le Fèvre-Lehoërff/IFREMER/BREST/DEL/EC		
Cadre de la recherche : Surveillance des centrales nucléaires de bord de mer Programme : Surveillance et évaluation de la qualité du milieu marin Convention : EDF/S64T700/Avenant 1 Projet : IGA - Impact des grands aménagements Autres (préciser) : _____		

Résumé :

Le présent rapport de surveillance de Gravelines est le 23^{ème} rapport de surveillance du site nucléaire. Gravelines située entre Calais et Dunkerque est une centrale de forte puissance (5400 MW) avec 6 tranches nucléaires. La centrale a commencé à fonctionner en 1980 et a atteint sa puissance maximale en 1986. La surveillance concerne le milieu halieutique, benthique (intertidal et subtidal)) et pélagique (hydrologie, microbiologie, phytoplancton, zooplancton). Les études concernent le suivi saisonnier du milieu non impacté et l'étude d'impact au rejet de la centrale.

Abstract :

This is the 23th annual surveillance report concerning the Gravelines nuclear power plant. Gravelines, located between Calais and Dunkerque and very high power station (5400 MW) with sixth plants. Begining of electricity production in 1980 reached maximum production in 1986. Surveillance studies concern fisheries, intertidal and subtidal zoobenthos hydrology, microbiology, phytoplankton and zoplankton. Studies concern seasonal variations in natural environment and impact study at outfall of plant.

Mots-clés :

Centrale nucléaire, Gravelines, Surveillance, Halieutique, Benthos, Microbiologie, Plancton.

Keywords :

Nuclear power plant, Gravelines, Fisheries, Benthos, Microbiology, Plankton

Commentaire : Ce document doit être cité de la manière suivante :

Référence générale : Le Fèvre-Lehoerff Geneviève (Coordinatrice) et al (2001)

Surveillance écologique et halieutique - Site de Gravelines année 2000 - Rapport scientifique annuel - Rapport IFREMER RST.DEL/EC/01.05 mars 2001. 156 pages

Référence particulière : DEWARUMEZ J.M (2001). Le domaine benthique intertidal *in* :

Le Fèvre-Lehoerff Geneviève (Coordinatrice) et al (2001) Surveillance écologique et halieutique - Site de Gravelines année 2000 - Rapport scientifique annuel - Rapport IFREMER RST.DEL/EC/01.05 mars 2001. 156 pages

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 - Étude de la chloration et Bactériologie.....	19
Edith et Régis DELESMONT	
Chapitre 4 - Phytoplancton et biomasse chlorophyllienne.....	43
Alain LEFEBVRE (2), Benoist HITIER (2), Pascale HEBERT (2) et René OLIVESI (2)	
Chapitre 5 - Dinoflagellés noctiluques et Zooplancton.....	63
Geneviève LE FÈVRE-LEHOËRFF (3), Jacqueline LE GRAND (3) et Jean D'ELBÉE (4)	
Chapitre 6 - Zooplancton halieutique.....	99
Daniel WOEHLING (5), Delpech Jean-Paul (2) et Verin Yves (2)	
Chapitre 7 - Le domaine benthique intertidal.....	111
Jean-Marie DEWARUMEZ (6) et Dominique MENU (6)	
Chapitre 8 - Le domaine benthique subtidal.....	133
Jean-Marie DEWARUMEZ, Christophe LUCZAK (6) et Dominique MENU	
Résumé.....	153

Annexe bibliographique des rapports 1975 - 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

Auteur : Régis DELESMONT
Collaborateur : 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.

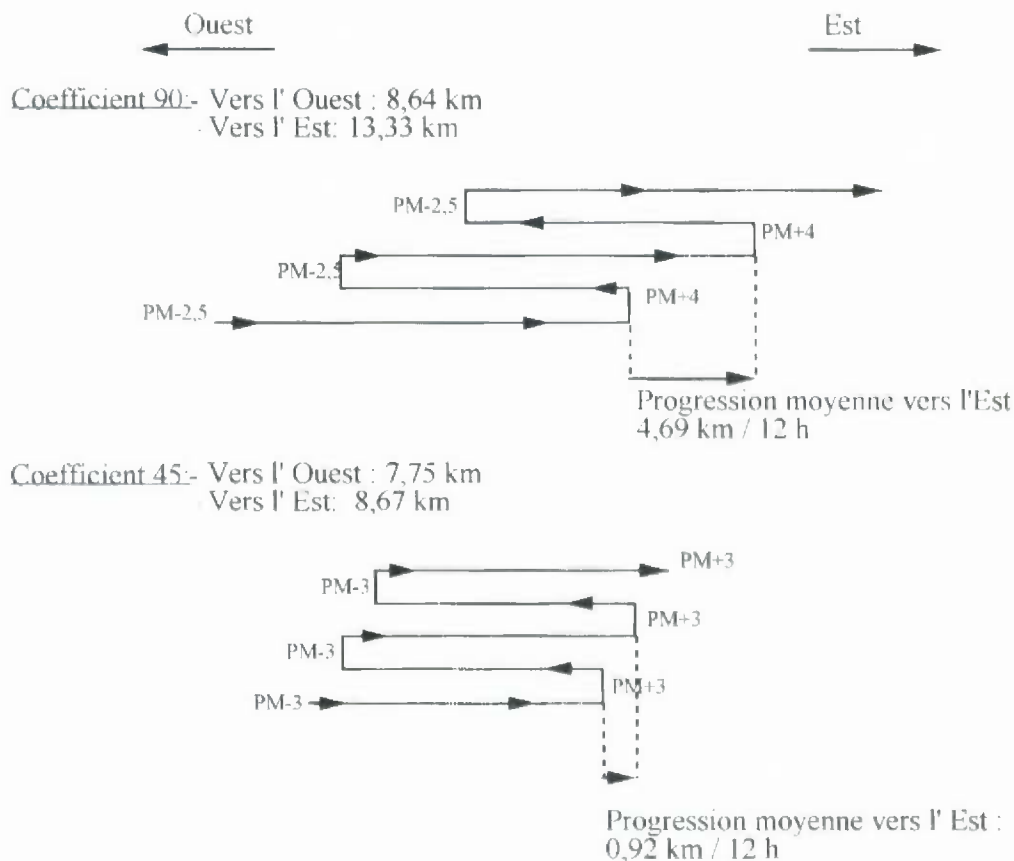


Fig. 1.1. Schéma des courants devant Dunkerque

1.2 HYDROGRAPHIE

L'apport continental 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.

Débits moyens estimés :Canal de Dunkerque : 4,6 m³/sFleuve Aa : 7,5 m³/sCanaux de Calais : 3,0 m³/s

L'influence de ces cours d'eau n'est pas prépondérante sur la qualité de l'eau de mer transitant dans la centrale. Les dessalures significatives observées sur le site (1 à 3 PSU environ) ont lieu, quand le vent de nord-est, établi sur de longues périodes, modifie les courants et amène des eaux de la côte belge.

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 avec échauffement résiduel de 3 à 4°C 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 +Chlore +Haloformes +Vibrions	Hebdo	Hebdo	Hebdo	Hebdo	Hebdo
Chlorophylle +Phaéopigments	Mensuel	Hebdo	Hebdo	Hebdo	Mensuel
Noctiluques + Zooplancton	Mensuel	Mensuel	Mensuel	Bi-mensuel	Mensuel

Tabl. 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
24/05/00	3H11	57	7h50	9h20	8h15	9h10
27/09/00	11h19	99	7h15	9h55	7h15	8h10

Tabl. 1.2. Dates et horaires des campagnes pélagiques

1.3.2. Domaine halieutique

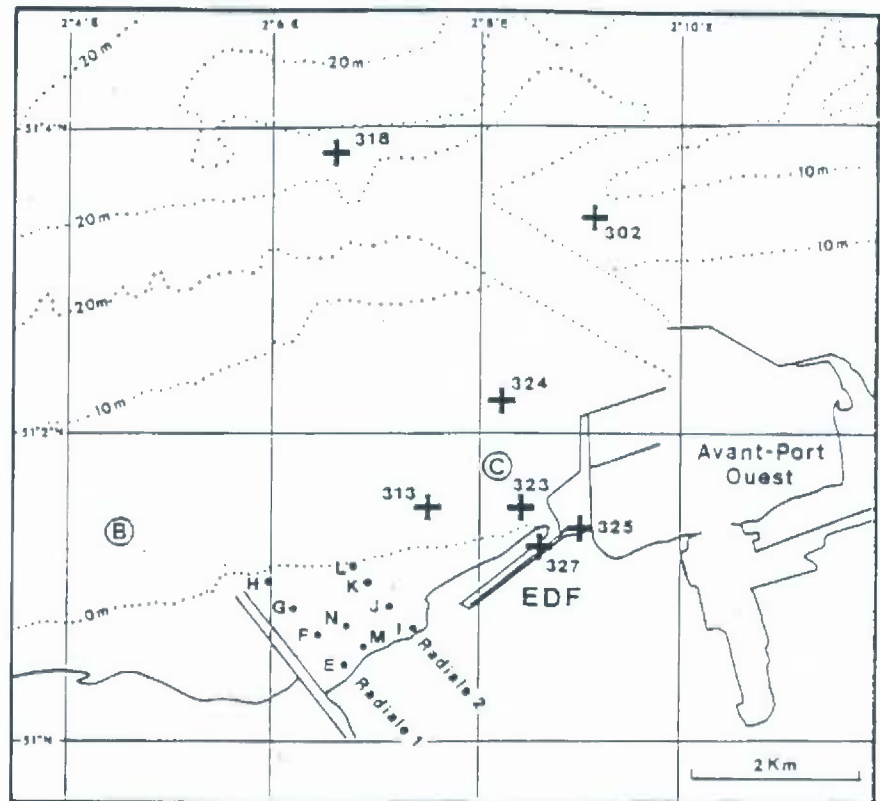
La surveillance du plancton halieutique comprend quatre campagnes :

- 2 campagnes à trois stations en mer (27/04/00 et 30/05/00) selon un gradient côte-large du milieu récepteur.
- 2 campagnes de deux stations au canal d'amenée (09/05/00 et 15/06/00).

1.3.3. Domaine benthique

Zone intertidale : une campagne annuelle (07/07/00) comprenant deux radiales de 3 stations et 1 radiale à 2 stations de hauts niveaux

Zone subtidale : surveillance du peuplement à *Abra alba*. 4 campagnes subtidales de deux stations (16/03/00, 09/05/00, 27/06/00 et 13/09/00).



- ⊕ 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. 13 V)
313	51°01'50"	2°07'50"	Côte = Pt. 1 Halieutique (Ch. 1)
318	51°03'30"	2°06'50"	Référence 18 = Pt. 3 Halieutique (Ch. VI)
323	51°01'50"	2°08'40"	Côtier (Ch. 13 V)
324	51°02'20"	2°08'20"	Médian ou contrôle (Ch. 13 IV)
325	51°01'38"	2°09'10"	Canal d'Aménage ou grise (Ch. 13 V)
327	51°01'26"	2°08'50"	Canal de rejet (Ch. 13 V)

Fig. 1. Points de prélèvements

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

Auteur : Régis DELESMONT

Collaborateur : Edith DELESMONT

2.1 CLIMATOLOGIE

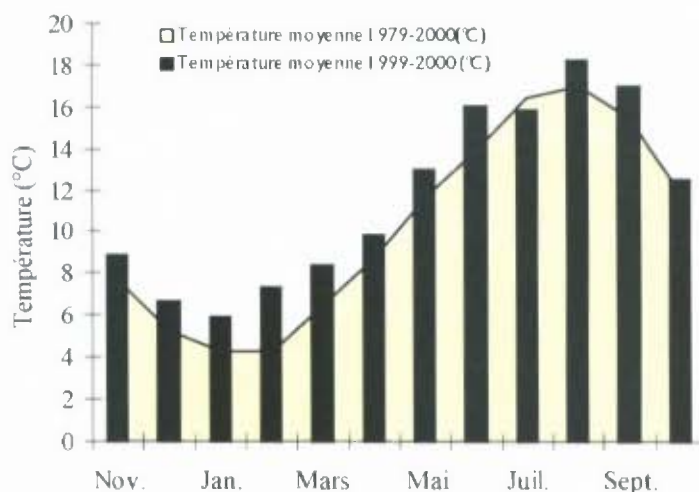


Fig.2.1. 1999-2000. Températures moyennes de l'air à Dunkerque

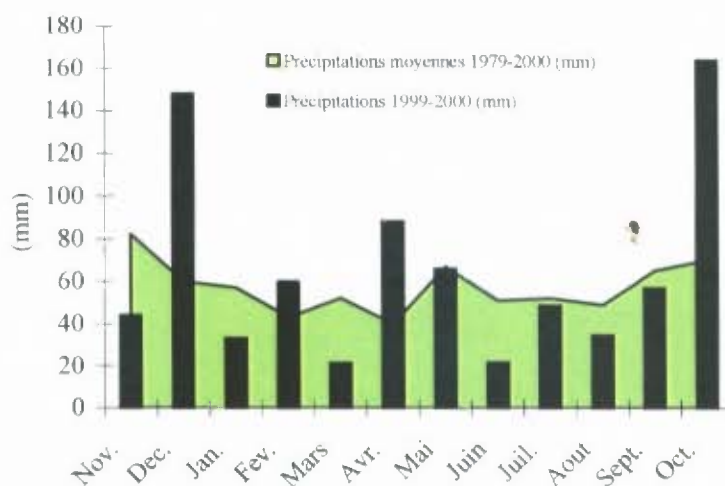
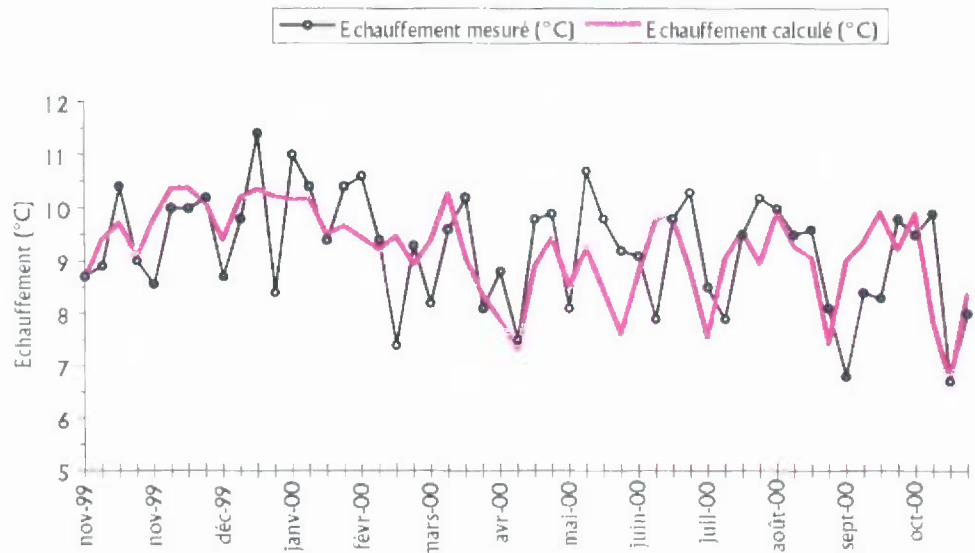


Fig.2.2. 1999-2000. Précipitations mensuelles à Dunkerque (mm)

Durant la période novembre 1999-Octobre 2000 des températures plus élevées que la moyenne ont été relevées ; la moyenne annuelle s'établit à 11.7°C soit 0.8°C au-dessus de la moyenne 1979-2000. On peut noter un hiver doux et un mois de juillet maussade.

La pluviosité globale est également supérieure à la normale avec 785 mm à comparer aux 675 mm de la moyenne 1979-2000. Les précipitations excédentaires proviennent presque exclusivement des pluies des mois de décembre 1999 et octobre 2000.



2.4. Comparaison entre les échauffements calculés et mesurés.

fig

2.3 HYDROLOGIE

2.3.1 Points Prise et Rejet

2.3.1.1 Température de l'eau

Conséquence des températures de l'air observées en 1999-2000, la moyenne des températures de l'eau à la prise est élevée ; 12.76 °C en léger retrait par rapport à la période précédente (13.11 °C).

A la prise d'eau dans l'avant-port Ouest, la température minimale (6.0 °C) est observée le 24 janvier 2000. Des températures supérieures à 20°C n'ont été observées qu'en une seule occasion en fin d'été : le 11 septembre 2000 (20.1°C).

Au rejet, aucune température supérieure à 30°C n'a été relevée cette année (maximum 29.1°C le 21 août 2000).

Le transit de l'eau dans la centrale, calculé sur la base des prélèvements hebdomadaires réalisés, se traduit par un échauffement moyen de 9.17 °C qui est une valeur plus forte que les valeurs enregistrées lors des dernières périodes d'étude.

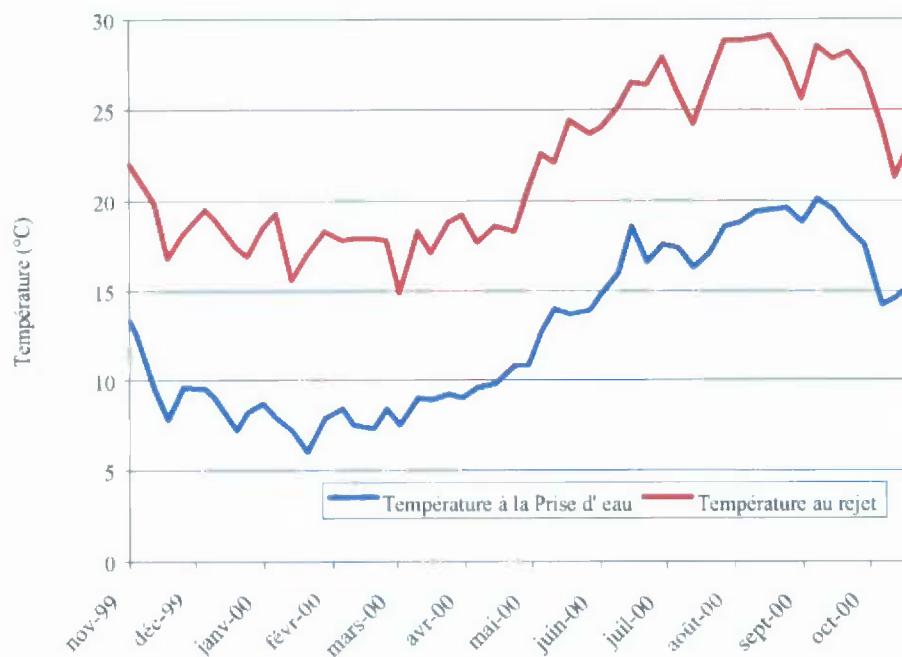


Fig.2.5. 1999-2000 Température de l'eau de mer aux points Prise et Rejet

2.3.1.2 Sels nutritifs

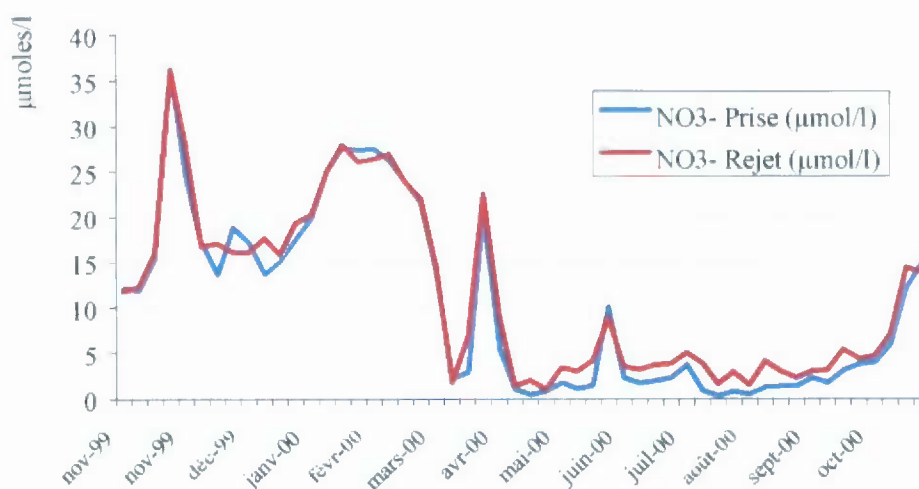


Fig.2.6. 1999-2000. Azote oxydé (NO₃- en µmoles/l) aux points Prise et Rejet

En raison des apports en azote dus à l'aquaculture implantée sur le site et afin de mieux expliciter les phénomènes phytoplanktoniques, 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 (NH_4^+) et l'azote oxydé sous forme de nitrate (NO_3^-).

L'azote oxydé principalement composé de nitrate 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. Ce phénomène de faible ampleur avait déjà été observé en 1999. En moyenne annuelle, un apport de 1.04 $\mu\text{mol/l}$ est observé.

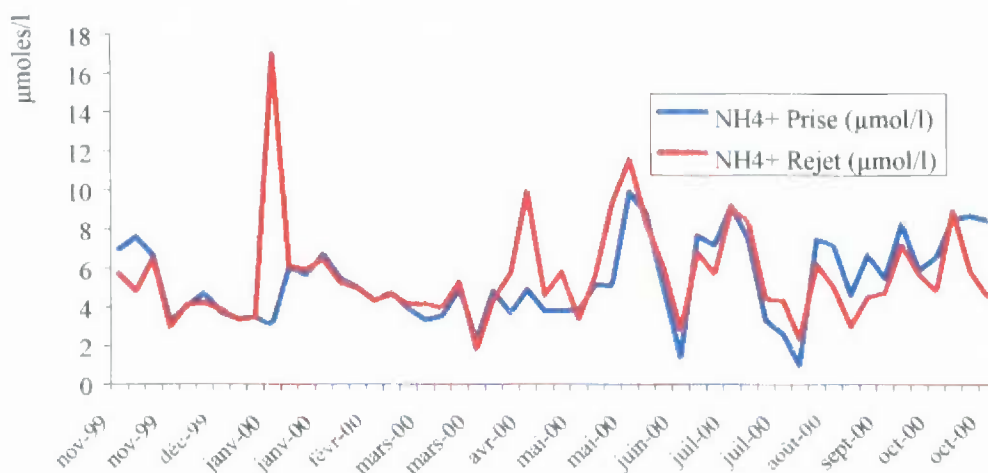


Fig.2.7. 1999-2000. Ammonium ($\mu\text{moles/l}$) aux points *Prise* et *Rejet*

L'ammonium est en concentration plus élevée au rejet d'avril à juin, ce qui pourrait correspondre à des phénomènes d'excrétion et de dégradation du zooplancton. Un pic important mais isolé est observé au rejet en période hivernale. Sur l'ensemble de la période d'étude, l'apport au milieu est de 0.23 μmole par litre, ce qui semble peu significatif.

2.3.2 Campagnes pélagiques

2.3.2.1 Température

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

En raison des turbulences importantes régnant dans les canaux de prise et de rejet, leurs températures sont considérées comme homogènes

La stratification thermique habituelle du panache de rejet est observée au point de contrôle lors de la campagne de mai. En septembre la profondeur d'eau limitée à 4 mètres au point de contrôle n'a pas permis d'observer de stratification. Les profils verticaux de températures observés lors des campagnes pélagiques sont les suivants :

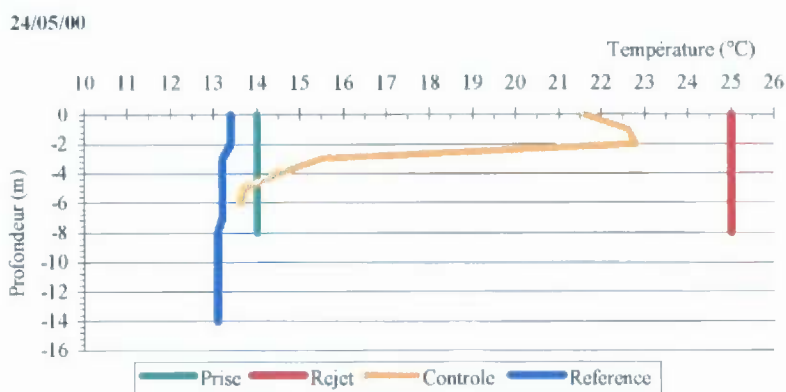


Fig.2.8. Profils de température lors de la campagne de prélèvements en mer du 24/05/00

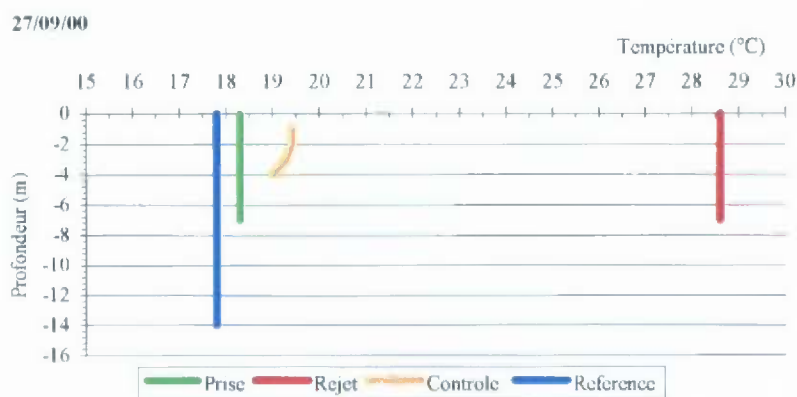


Fig.2.9. Profils de température lors de la campagne de prélèvements en mer du 27/09/00

2.3.2.2 Salinité

Lors des deux campagnes pélagiques, les déterminations de salinités réalisées mettent en évidence une grande homogénéité de l'ensemble de la zone d'étude. La salinité est forte, environ 34 o/oo, c'est à dire sans influence cotière visible. Pour une campagne, les différences entre les valeurs extrêmes mesurées sont de l'ordre de 0.1 PSU pour l'ensemble des stations.

Date	Profondeur	Prise	Rejet	Contrôle	Référence
------	------------	-------	-------	----------	-----------

24/05/00	Surface			33.94	33.88
	Mi-profondeur	33.96	33.95		33.95
	Fond			33.92	33.94

Tabl. 2.1.. Salinités lors de la campagne pélagique de Mai 2000

Date	Profondeur	Prise	Rejet	Contrôle	Référence
27/09/00	Surface			34.33	34.43
	Mi-profondeur	34.34	34.34		34.44
	Fond			34.32	34.41

Tabl. 2.2. Salinités lors de la campagne pélagique de Septembre 2000

Date	Puissance moyenne (MWh)	Débit (m ³ /sec.)	Echauffement	
			calculé (°C)	mesuré (°C)
5/1/99	4050	224.0	8.6	8.7
8/1/99	4404	224.0	9.4	8.9
16/1/99	4493	221.0	9.7	10.4
22/1/99	4403	232.0	9.1	9.0
29/1/99	5019	245.0	9.8	8.6
9/2/99	5314	245.0	10.4	10.0
13/2/99	5323	245.0	10.4	10.0
23/2/99	5185	245.0	10.1	10.2
28/2/99	4816	245.0	9.4	8.7
4/3/00	5225	245.0	10.2	9.8
10/3/00	5305	245.0	10.3	11.4
17/3/00	5239	245.0	10.2	8.4
24/3/00	5214	245.0	10.2	11.0
1/2/00	5220	245.0	10.2	10.4
9/2/00	4873	245.0	9.5	9.4
14/2/00	4959	245.0	9.7	10.4
23/2/00	4411	223.0	9.5	10.6
29/2/00	3914	203.0	9.2	9.4
6/3/00	3941	199.0	9.5	7.4
14/3/00	3758	201.0	8.9	9.3
20/3/00	3883	198.0	9.4	8.2
28/3/00	3549	165.0	10.3	9.6
3/4/00	3587	189.0	9.1	10.2
10/4/00	3545	203.0	8.3	8.1
18/4/00	3450	209.0	7.9	8.8
27/4/00	3652	238.0	7.3	7.5
3/5/00	4569	245.0	8.9	9.8
9/5/00	4840	245.0	9.4	9.9
15/5/00	4367	245.0	8.5	8.1
22/5/00	4744	245.0	9.3	10.7
31/5/00	4218	239.0	8.4	9.8
5/6/00	3363	211.0	7.6	9.2
13/6/00	3032	165.0	8.8	9.1
19/6/00	3338	163.0	9.8	7.9
26/6/00	3355	163.0	9.8	9.8
3/7/00	3387	184.0	8.8	10.3
10/7/00	3219	204.0	7.5	8.5
17/7/00	3859	204.0	9.0	7.9
24/7/00	4084	204.0	9.6	9.5
31/7/00	3816	204.0	8.9	10.2
7/8/00	4237	204.0	9.9	10.0
14/8/00	3960	204.0	9.3	9.5
21/8/00	3870	204.0	9.1	9.6
28/8/00	3171	204.0	7.4	8.1
4/9/00	3839	204.0	9.0	6.8
11/9/00	3820	195.0	9.4	8.4
18/9/00	3384	163.0	9.9	8.3
25/9/00	3144	163.0	9.2	9.8
2/10/00	3379	163.0	9.9	9.5
10/10/00	3456	210.0	7.9	9.9
16/10/00	3266	233.0	6.7	6.7
23/10/00	4284	245.0	8.4	8.0

Tabl. 2.3. Fonctionnement de la centrale (données EDF)

Date	Prise d'eau		Rest	
	NO ₃ ⁻ (µmol/l)	NO ₂ ⁻ (µmol/l)	NO ₃ ⁻ (µmol/l)	NO ₂ ⁻ (µmol/l)
5/11/99	7.0	12.0	5.7	11.8
8/11/99	7.6	11.8	4.8	12.2
16/11/99	6.7	15.1	6.5	16.0
22/11/99	3.3	36.0	2.9	36.2
29/11/99	4.0	24.1	4.1	27.7
9/12/99	4.7	17.1	4.2	16.7
13/12/99	3.7	13.6	3.9	17.0
23/12/99	3.4	18.8	3.3	16.1
28/12/99	3.5	17.1	3.4	16.0
4/1/00	3.1	13.6	17.0	17.6
10/1/00	6.0	15.1	6.1	15.8
17/1/00	5.7	17.5	5.9	19.3
24/1/00	6.7	19.9	6.4	20.2
1/2/00	5.5	25.0	5.3	25.0
9/2/00	5.0	27.6	4.9	27.9
14/2/00	4.3	27.4	4.3	26.1
23/2/00	4.7	27.5	4.6	26.4
29/2/00	3.9	26.2	4.1	26.9
6/3/00	3.3	24.0	4.2	23.8
14/3/00	3.5	21.5	3.9	22.0
20/3/00	5.0	14.0	5.3	14.4
28/3/00	2.2	2.2	1.8	1.8
3/4/00	4.8	2.9	4.4	6.8
10/4/00	3.7	20.5	5.8	22.5
18/4/00	4.9	5.4	10.0	9.1
27/4/00	3.8	1.0	3.6	1.4
3/5/00	3.8	0.5	5.8	2.0
9/5/00	3.8	0.8	3.4	1.0
15/5/00	5.2	1.8	5.6	3.4
22/5/00	5.1	1.1	9.3	3.0
31/5/00	9.9	1.5	11.6	4.2
5/6/00	8.9	10.0	8.3	8.8
13/6/00	5.0	2.3	6.0	3.5
19/6/00	1.4	1.7	2.8	3.2
26/6/00	7.7	2.0	6.8	3.7
3/7/00	7.2	2.3	5.7	3.8
10/7/00	9.2	3.7	9.1	5.0
17/7/00	7.5	0.9	8.4	3.9
24/7/00	3.3	0.4	4.4	1.6
31/7/00	2.6	0.8	4.3	2.9
7/8/00	0.9	0.5	2.3	1.5
14/8/00	7.5	1.3	6.2	4.1
21/8/00	7.2	1.4	5.0	3.0
28/8/00	4.6	1.4	3.0	2.3
4/9/00	6.7	2.3	4.5	3.0
11/9/00	5.5	1.8	4.7	3.1
18/9/00	8.3	3.1	7.2	5.1
25/9/00	5.9	3.8	5.7	4.4
2/10/00	6.6	4.0	4.8	4.7
10/10/00	8.5	6.0	9.0	7.1
16/10/00	8.7	12.1	5.8	14.3
23/10/00	8.5	14.9	4.6	13.9

Tabl. 2.4. Sels nutritifs

3 ETUDE DE LA CHLORATION ET BACTERIOLOGIE

Auteur : Régis DELESMONT
Collaborateur : Edith DELESMONT

3.1 Chloration

Afin de limiter les proliférations biologiques, du chlore est injecté sous forme d'eau de mer électrolysée dans les circuits de refroidissement. L'oxydant injecté est consommé de façon rapide par l'eau de mer.

La chloration a été mise en œuvre durant une grande partie de la période d'étude ; elle n'a pas été observée de fin décembre à mi-mars soit trois mois d'arrêt.

La disparition du chlore s'accompagne de la formation de dérivés stables. Le bromoforme est, en eau de mer, le plus abondant de ces produits de réaction. Il représente cette année 95.1 % des haloformes formés avec une concentration moyenne de 18.3 ng/l^1

Le graphique ci-dessous permet de visualiser la concentration en bromoforme en relation avec la température de l'eau à la prise d'eau.

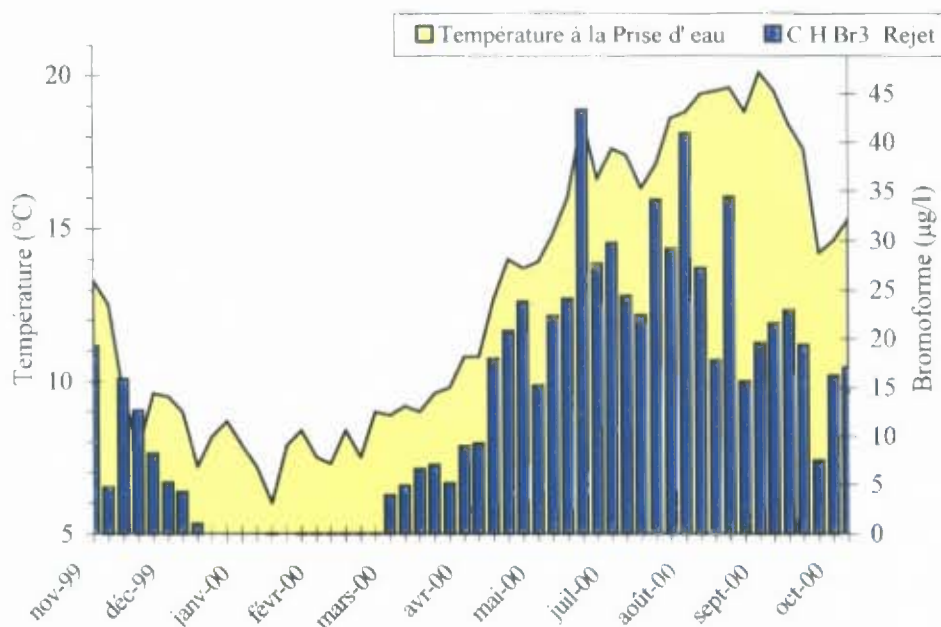


Fig.3.1. 1999-2000. Bromoforme au Rejet (histogramme) en relation avec la température de l'eau à la Prise (surface)

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 1999-2000 est de 6.8 % pour la période de chloration. Cette valeur élevée est identique à celle de la période précédente. 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.

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

-chlorodibromométhane (CHClBr_2): 4.6 % du total formé avec une concentration moyenne de 0.88 Ng l^{-1}

- dichlorobromométhane (CHCl_2Br) : 0.3 % du total formé avec une concentration moyenne de 0.06 Ng l^{-1} Les quantités relatives de ces composés sont liées entre elles par des relations linéaires:

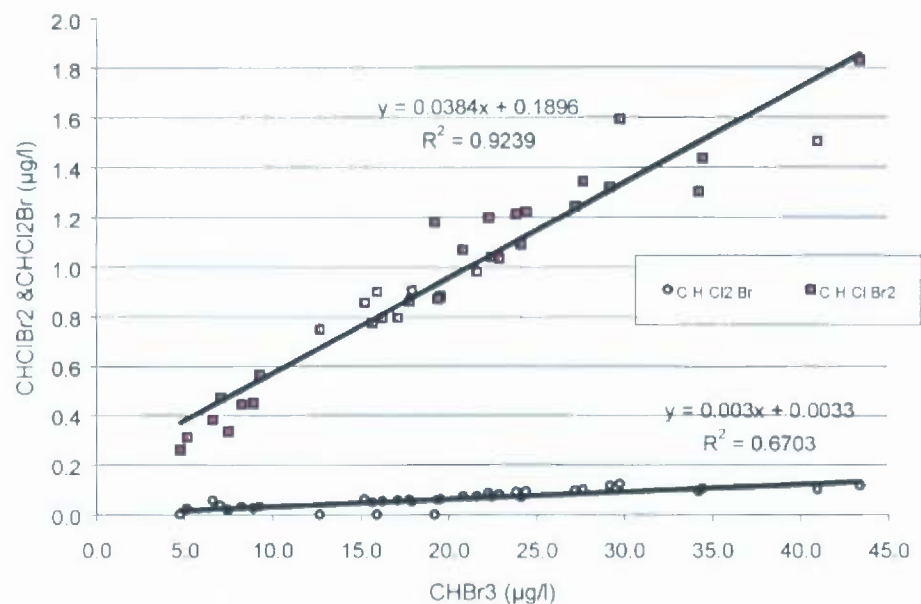


Fig.3.2. Relation entre les espèces d'haloformes formées au rejet

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

Les dosages ont été réalisés en chromatographie en phase gazeuse après dérivation. Seules, de faibles quantités de 2-4-6 tri bromo-phénol ont été détectées.

Bromo-phénols Ng l^{-1}	2-4-6-Bromo-phénol $\mu\text{g l}^{-1}$	2-4-Bromo-phénol $\mu\text{g l}^{-1}$	2-6-Bromo-phénol $\mu\text{g l}^{-1}$	2-Bromo-phénol $\mu\text{g l}^{-1}$	3-Bromo-phénol $\mu\text{g l}^{-1}$	4-Bromo-phénol $\mu\text{g l}^{-1}$
16/11/99	<0.01	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
13/12/99	<0.01	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
10/01/00	<0.01	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
01/02/00	<0.01	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
06/03/00	<0.01	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
03/05/00	0.033	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
19/06/00	0.010	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
10/07/00	0.010	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
07/08/00	0.030	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
04/09/00	0.040	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
02/10/00	0.030	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
23/10/00	0.020	<0,05	<0,05	<1	<1	<1

Tabl. 3.1. Dosages des bromo-phénols au rejet de la centrale

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 en constant développement sur le site même du rejet.

Les mesures ne concernent que les vibrions capables d'être cultivés 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.

En 1999-2000, leur nombre est, en moyenne géométrique annuelle, multiplié par 80 entre la Prise et le Rejet. Ce phénomène de forte ampleur est observé malgré les importantes concentrations mesurées à la prise d'eau. En effet, la concentration moyenne des vibrions à la prise d'eau est, cette année, de 123 par litre, ce qui est juste inférieur au maximum précédemment enregistré en 1998-1999 (128 vibrions/litre).

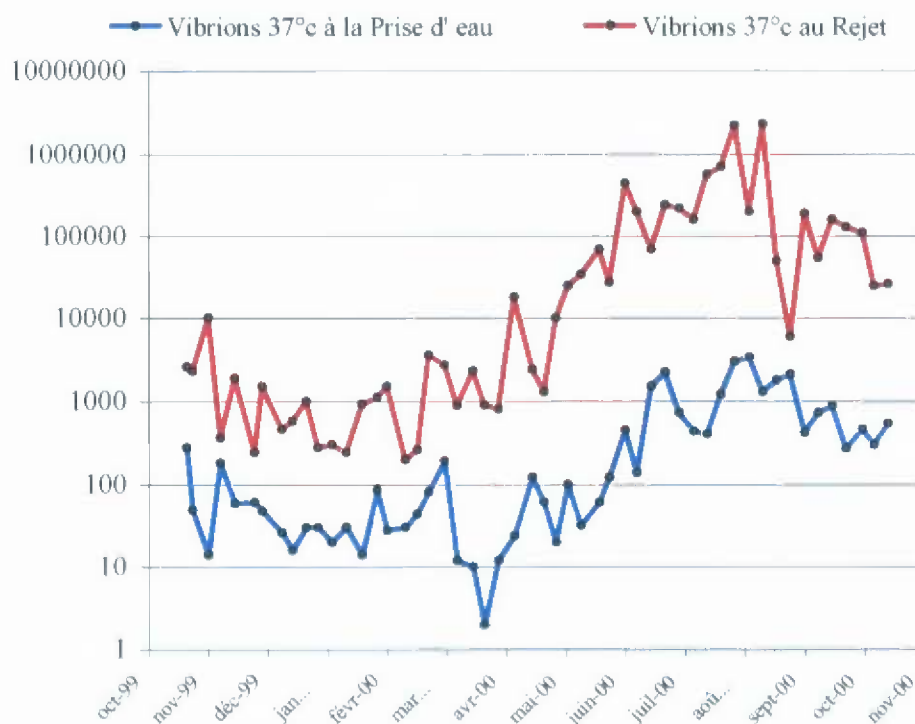


Fig.3.3 . 1999-2000 - Abondance des vibrions cultivables à 37 °C- (Vibrions/l en échelle logarithmique)

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 :

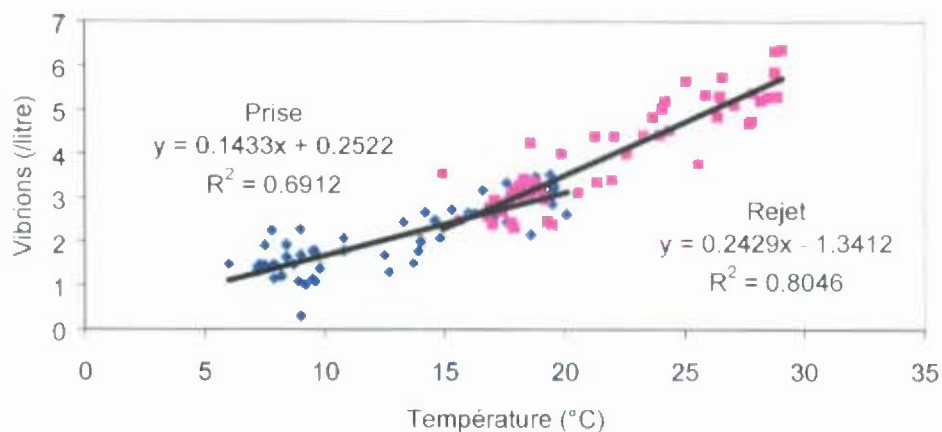


Fig.3.4. Relation entre température et concentration en vibrions aux points *Prise* et *Rejet*

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). Le développement de l'aquaculture (phase expérimentale en 1984 puis extensions en 1991 et 1992) ne semble pas avoir eu d'influence majeure sur les vibrions en termes d'abondance.

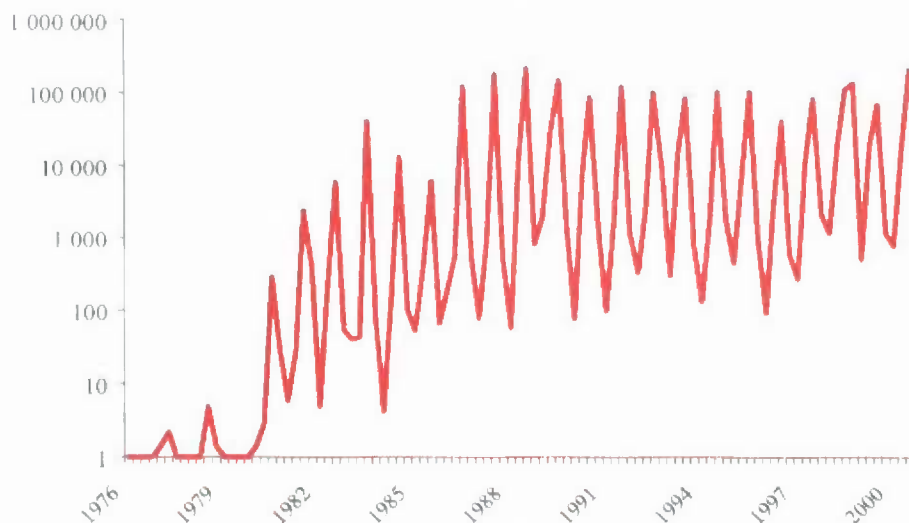


Fig.3.5. Vibrions par litre : moyenne géométrique des abondances trimestrielles de 1976 à 2000.

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.

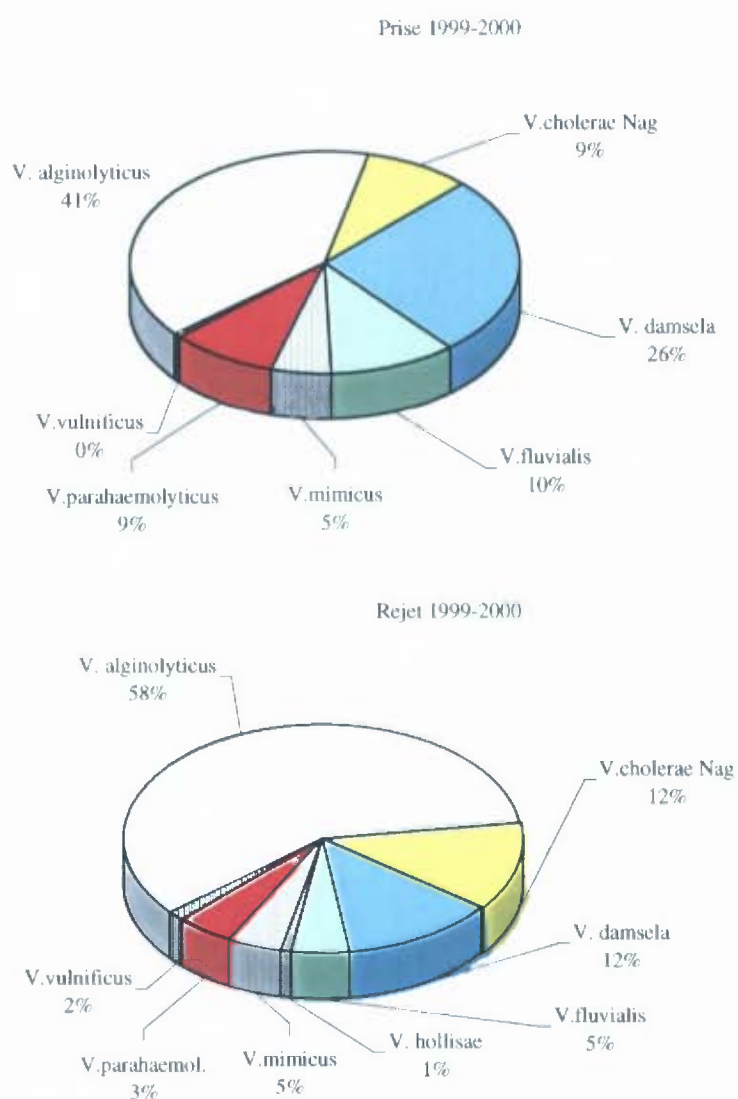


Fig. 3.6. Pourcentages moyens d'isolement des diverses espèces de vibrions aux points Prise et Rejet

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 1999-2000, *Vibrio alginolyticus* reste l'espèce principale avec un pourcentage moyen d'isolement de 58.8 %.

Vibrio Cholerae non agglutinable est, cette année encore, la seconde espèce par ordre d'importance avec un pourcentage d'isolement de 12.7 %. *V. damsela* est isolé de façon plus fréquente en 1999-2000 avec une fréquence pratiquement identique à *V. cholerae* Nag (12.5 %)

Ce pourcentage d'isolement de *V. cholerae* Nag est voisin de la moyenne mesurée depuis 1989. 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 à priori des souches pathogènes.

Les autres espèces mises en évidence en 1999-2000 sont : *V. fluvialis*, *V. mimicus*, *V. holli-sae*, *V. vulnificus* et *V. parahaemolyticus*.

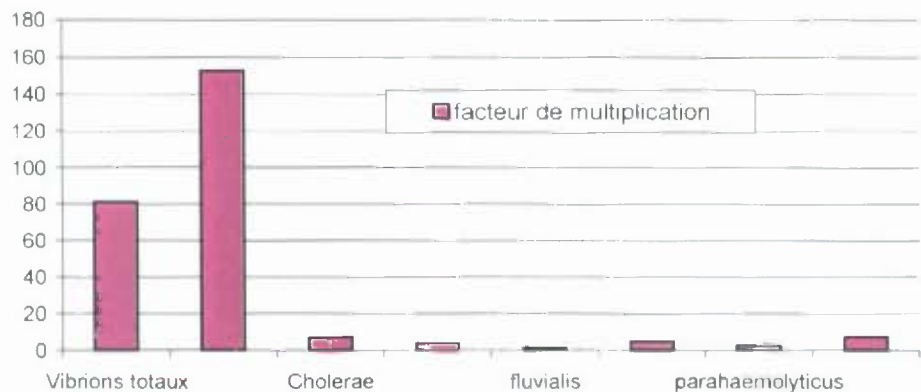


Fig.3.7.Rapport des concentrations moyennes des diverses espèces de vibrions entre les points Rejet et Prise.

En moyenne géométrique, *Vibrio alginolyticus* reste l'espèce la plus adaptée aux conditions actuelles du site avec un facteur moyen de multiplication de 153 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 7.1 fois.

La concentration moyenne en *Vibrio damsela* est multipliée par 4 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.

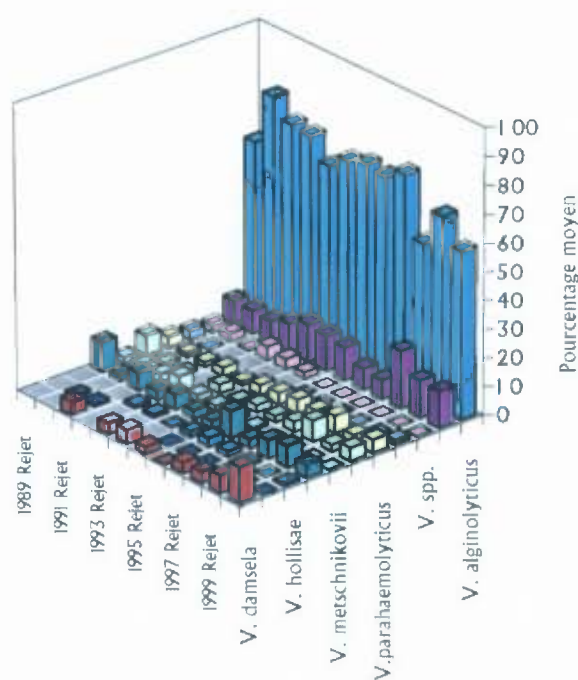


Fig.3.8. Evolution de l'abondance relative des diverses espèces de vibrions de 1989 à 2000 au rejet (moyennes trimestrielles des pourcentages d'abondances hebdomadaires)

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 progressivement par des structures plus importantes

d'une capacité de 2 000 t/an. Cette évolution se poursuit actuellement avec un objectif de production d'environ 3000 t/an.

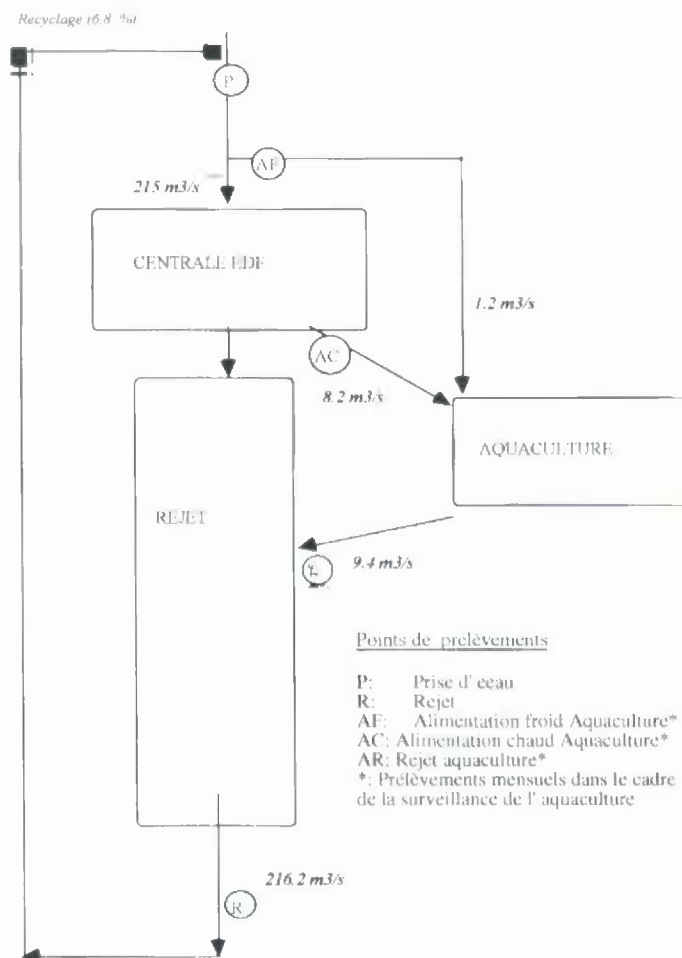


Fig.3.9. Schéma de la circulation de l'eau sur le site de Gravelines – Points de surveillance – 2000

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 $12 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. 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 $9,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

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 minérale et 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 2000 ont été comparés à ceux de la surveillance de la centrale aux mêmes dates.

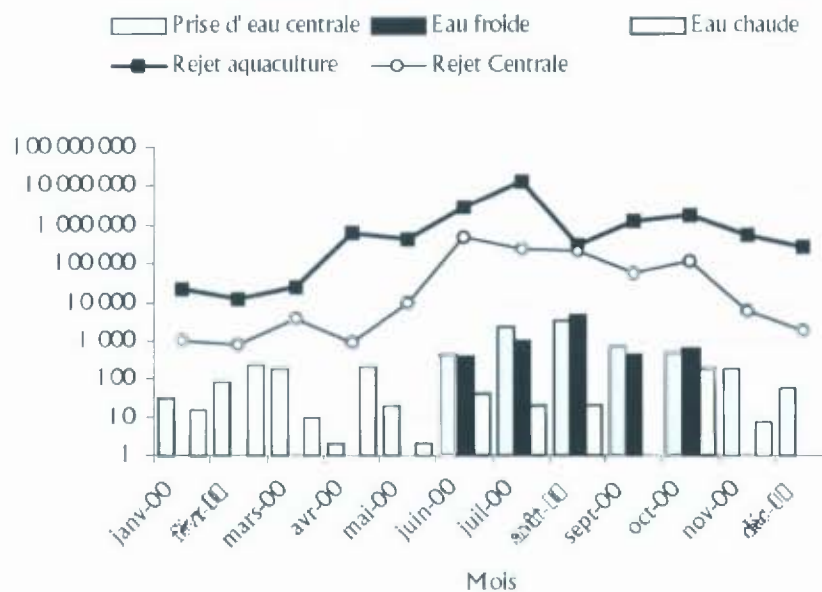


Fig.3.10. Concentrations moyennes des vibrions (Vibrions/litre - base mensuelle)

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.

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).

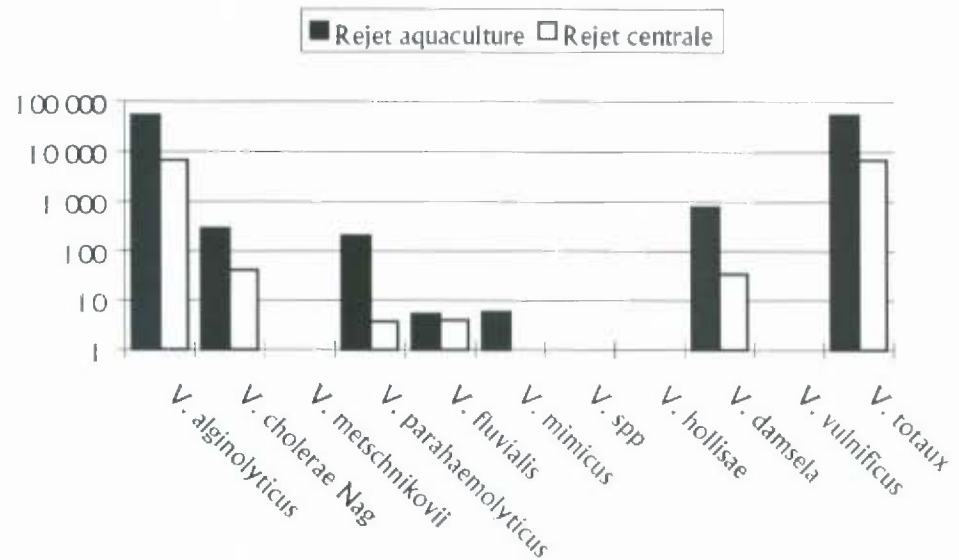


Fig.3.11. Concentrations moyennes des vibrios (base de mesure mensuelle)

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 plus faible compte tenu du plus petit nombre d'échantillons concernés (12 au lieu de 52).

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 plus élevées dans le rejet aquacole qu'à l'extrémité du canal EDF.

Dans le rejet aquacole, *Vibrio alginolyticus* est, cette année, l'espèce la plus fréquemment isolée avec 33 % des isolements de vibrios.

Vibrio damsela est la seconde espèce avec 20.5%. *V. parahaemolyticus* est bien représenté dans le rejet aquacole avec 17.8 %. *Vibrio cholerae Nag* a été isolé avec un pourcentage plus faible que lors des périodes précédentes (14.6 %)

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

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

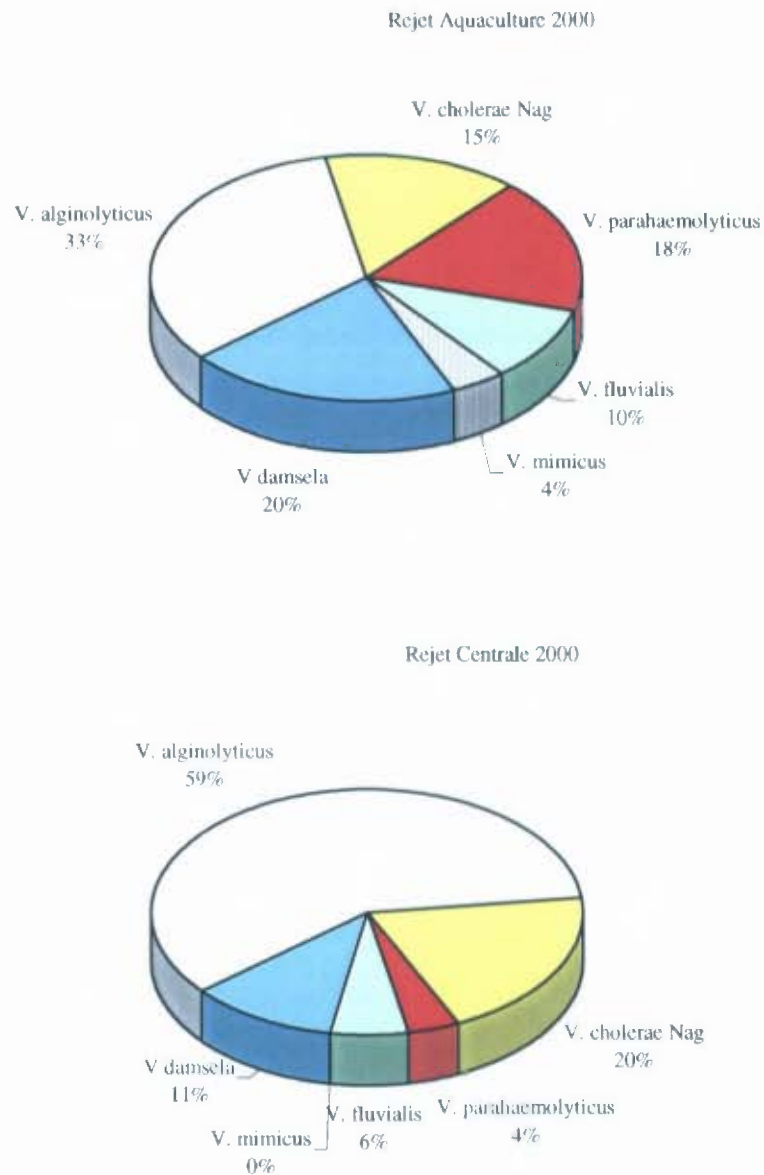


Fig.3.12. Pourcentages moyens des espèces de vibrions (contrôle mensuel)

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.

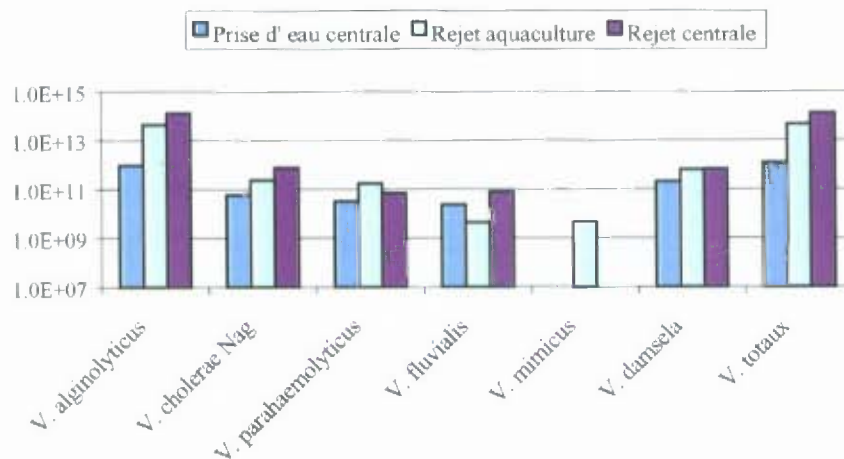


Fig.3.13. Flux en vibrions/ 24 heures (mesures mensuelles)

3.3.2 Campagnes pélagiques

Date	Point	Température (°C)	Vibrions 37° C./litre					Haloformes				
			Vibrions totaux (/l)	V. alginolyticus	V. cholerae Nag	V. damsela	V. fluvialis	V. parahaemolyticus	CHCl2Br (µg/l)	CHClBr2 (µg/l)	CHBr3 (µg/l)	
24/5/00	Prise	14	260	140		40	40	40		0.12	2.39	
	Rejet	25	2200	1800	400					0.1	1.35	31.43
	Contrôle	22.6	500	500						0.07	1.04	24.99
	Référence	13.4	20	20							0.08	1.8
27/9/00	Prise	18.3	620	220	160	240					0.06	1.37
	Rejet	28.6	16000	6000	5000	5000				0.13	1.4	31.24
	Contrôle	19.4	20000	2000	6000	12000					0.37	8.5
	Référence	17.8	500	400		40		60			0	0.48

Tabl. 3.2. Campagnes pélagiques. Bactériologie et chloration

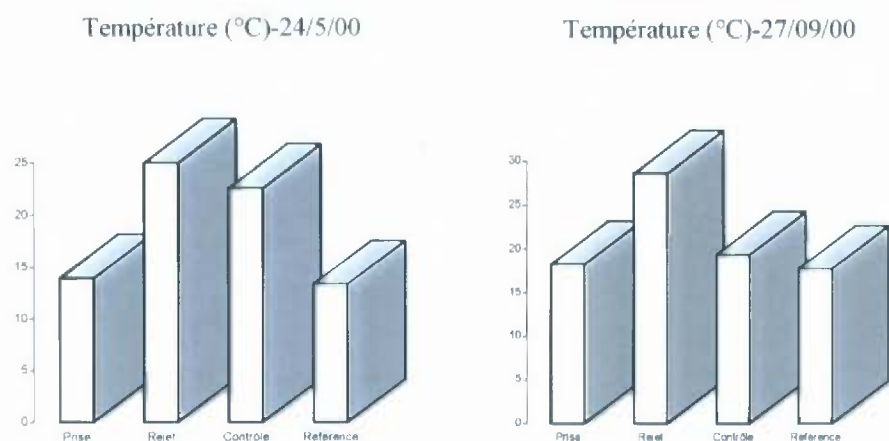


Fig.3.14. Campagnes pélagiques – Températures

En septembre, un bon mélange des eaux du rejet avec le milieu a été observé de façon inhabituelle. En effet, le rejet se mélange habituellement peu avec le reste du milieu une forte stratification est observée. Lors de cette campagne, le prélèvement a été réalisé à la côte dans une zone de faible profondeur brassée par les vagues.

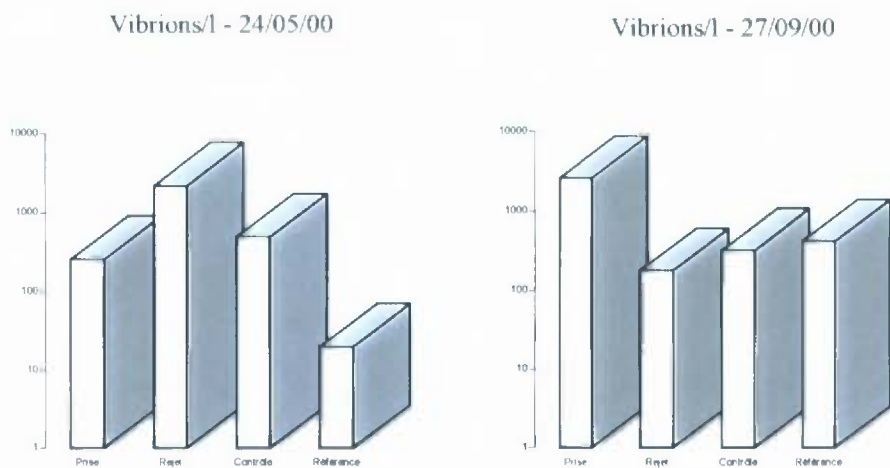


Fig.3.15. Campagnes pélagiques – Vibrions

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 mai. 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 alors exceptionnellement plus faibles au contrôle qu'à la prise d'eau.

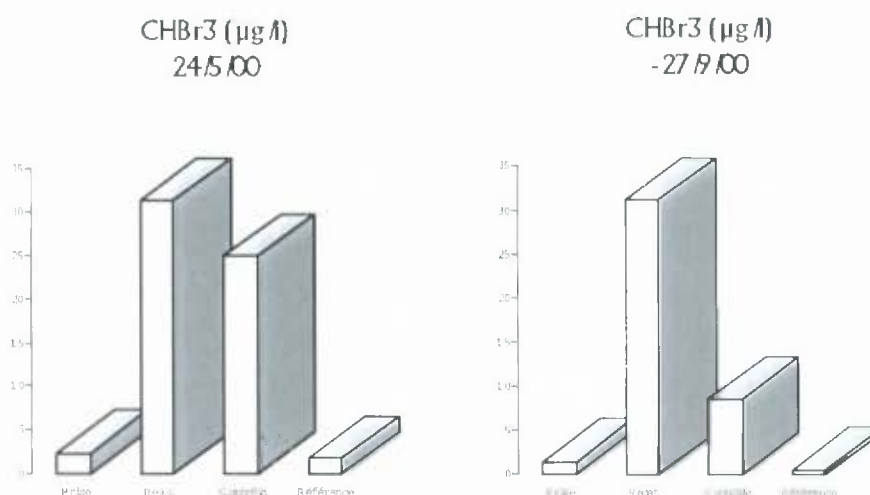


Fig.3.16. Campagnes pélagiques – Bromoforme

Lors des deux campagnes, le bromoforme est en concentration mesurable sur l'ensemble de la zone d'étude. La dilution du bromoforme se fait de façon comparable à la dilution thermique.

3.4 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 9 des 12 mois de la période 1999-2000. Les composés chimiques formés sont essentiellement bromés.

Le plus abondant est le bromoforme avec une concentration moyenne de 18.3 µg/l (95 % 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 1999-2000). Le 2-4-6 bromo-phénol a été mis en évidence cette année, comme en 1997-1998.

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 (80 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 58 % des isoléments.

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 damsela et *Vibrio cholerae* Nag sont les deux espèces les plus fréquemment isolées après *V. alginolyticus* avec des pourcentages de l'ordre de 13 %. Ce pourcentage d'isolement de *V. cholerae* Nag est voisin de celui de la période précédente ; il 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 1999-2000 sont : *V. mimicus*, *V. holli-sae*, *V. vulnificus*, *V. parahaemolyticus* et *V. fluvialis*.

ANNEXES

Date Unités Seuils	Chlore tot. mg/l 0,03 mg/l	PRISE			RELET		
		C H Cl2 Br	C H Cl Br2	C H Br3	C H Cl2 Br	C H Cl Br2	C H Br3
		µg/l 0,02 µg/l	µg/l 0,02 µg/l	µg/l 0,05 µg/l	µg/l 0,02 µg/l	µg/l 0,02 µg/l	µg/l 0,05 µg/l
5/1/99	0,04		0,04	0,9		1,18	19,2
8/1/99	0,04			0,1		0,26	4,8
16/1/99	0,03			0,3		0,90	15,9
22/1/99			0,03	0,8		0,75	12,7
29/1/99			0,03	0,9	0,03	0,45	8,2
9/2/99	0,04		0,03	0,7		0,27	5,2
13/2/99				0,6	0,04	0,22	4,3
23/2/99				0,1		0,05	1,0
28/2/99							
4/1/00				0,1			
10/1/00				0,1			
17/1/00				0,1			
24/1/00				0,1			0,1
1/2/00				0,1			
9/2/00				0,1			
14/2/00				0,1			0,1
23/2/00				0,1			
29/2/00				0,1			
6/3/00							0,1
14/3/00							0,1
20/3/00				0,1		0,17	3,9
28/3/00				0,6		0,21	4,9
3/4/00			0,03	0,6	0,06	0,38	6,6
10/4/00				0,1	0,04	0,47	7,0
18/4/00			0,04	0,7	0,02	0,31	5,1
27/4/00			0,05	0,9	0,03	0,45	8,9
3/5/00			0,03	0,5	0,03	0,57	9,2
9/5/00	0,07		0,05		0,05	0,91	17,9
15/5/00			0,07	1,5	0,07	1,07	20,8
22/5/00	0,03		0,11	2,1	0,09	1,21	23,8
31/5/00	0,03		0,09	1,7	0,06	0,86	15,2
5/6/00			0,11	2,0	0,08	1,20	22,3
13/6/00	0,04		0,13	2,6	0,07	1,09	24,1
19/6/00	0,04		0,06	1,3	0,12	1,83	43,4
26/6/00			0,09	1,8	0,10	1,34	27,6
3/7/00			0,08	1,4	0,12	1,60	29,7
10/7/00			0,11	2,1	0,09	1,22	24,4
17/7/00			0,04	1,0	0,07	1,04	22,4
24/7/00				0,3	0,09	1,30	34,2
31/7/00	0,05		0,15	3,0	0,12	1,32	29,2
7/8/00	0,03		0,12	2,6	0,10	1,51	41,0
14/8/00			0,14	2,8	0,10	1,25	27,2
21/8/00			0,07	1,5	0,06	0,86	17,8
28/8/00	0,04		0,14	3,1	0,10	1,44	34,4
4/9/00			0,05	1,2	0,05	0,78	15,7
11/9/00			0,06	1,5	0,06	0,88	19,5
18/9/00	0,03		0,05	1,2	0,07	0,98	21,6
25/9/00	0,04		0,06	1,3	0,08	1,03	22,9
2/10/00	0,04			1,1	0,06	0,87	19,4
10/10/00			0,06	1,4		0,34	7,5
16/10/00	0,04		0,03	0,8	0,05	0,79	16,2
23/10/00			0,05	1,2	0,06	0,80	17,1

Tabl. 3.3. Chlore résiduel et haloformes

Date	Temperature (°C)	Vibrions 37°C/l	V. alginolyticus/l	V. cholerae No3/l	V. damsela/l	V. fluvialis/l	V. mimicus/l	V. parahaemolyticus/l	V. vulnificus/l
05/11/99	13.3	280		100	70	50		60	
08/11/99	12.5	49	34	6			9		
16/11/99	9.5	14		6		8			
22/11/99	7.8	180				60		120	
29/11/99	9.6	59	23	10	3	23			
09/12/99	9.5	60	5		35	20			
13/12/99	9.0	48	6	16		26			
23/12/99	7.2	26	8	8	10				
28/12/99	8.2	16	12	4					
04/01/00	8.7	30	10		20				
10/01/00	7.9	30	14		12	4			
17/01/00	7.2	20	12		8				
24/01/00	6.0	30	10		20				
01/02/00	7.9	14	14						
09/02/00	8.4	84	14					70	
14/02/00	7.5	28	2		16			10	
23/02/00	7.3	30	10			20			
29/02/00	8.4	44	34						10
06/03/00	7.5	82	82						
14/03/00	9.0	190	160		30				
20/03/00	8.9	12	2		10				
28/03/00	9.2	10	10						
03/04/00	9.0	2			2				
10/04/00	9.6	12			10		2		
18/04/00	9.8	24	4				20		
27/04/00	10.8	120	120						
03/05/00	10.8	60	5	30			10	15	
09/05/00	12.7	20	2	12				6	
15/05/00	14.0	100		24	12		40	24	
22/05/00	13.7	32	4		24	4			
31/05/00	13.9	60	40		10	10			
05/06/00	14.8	120	60		10			50	
13/06/00	16.0	450	180					270	
19/06/00	18.6	140	80		60				
26/06/00	16.6	1 500	1 100					400	
03/07/00	17.6	2 200	800		1 400				
10/07/00	17.4	720	80		640				
17/07/00	16.3	430	100		50		70	210	
24/07/00	17.1	400	340				60		
31/07/00	18.6	1 200	200		400	100	500		
07/08/00	18.8	3 000	500	500	2 000				
14/08/00	19.4	3 400	3 200		200				
21/08/00	19.5	1 300	700		600				
28/08/00	19.6	1 800	1 000		600		200		
04/09/00	18.8	2 100	1 000		500	600			
11/09/00	20.1	420	200	120	100				
18/09/00	19.5	720	200	140	380				
25/09/00	18.4	860	120	240	500				
02/10/00	17.6	270	190		50			30	
10/10/00	14.2	460	260	200					
16/10/00	14.6	300	60			240			
23/10/00	15.3	540	40		60	440			

Tabl. 3.4. Bactériologie -mesures hebdomadaires à la Prise d'eau

Date	Temperature (°C)	Vibrions 37°C/l	V. alginolyticus/l	V. cholerae N _{ag} /l	V. damsela/l	V. fluvialis/l	V. holisae/l	V. mimicus/l	V. parahaemolyticus/l	V. vulnificus/l
05/11/99	22.0	2600	500	900				1200		
08/11/99	21.4	2300	400	1400	300			200		
16/11/99	19.9	10200	600	4600						5000
22/11/99	16.8	360	340						20	
29/11/99	18.2	1900	500	700	100	100			500	
09/12/99	19.5	240	50	60	60	70				
13/12/99	19.0	1500	700		500	300				
23/12/99	17.4	460	380		80					
28/12/99	16.9	580	280	100	200					
04/1/00	18.5	1000	600		400					
10/1/00	19.3	280	200		40				40	
17/1/00	15.6	300	200		100					
24/1/00	17.0	240	140		100					
01/2/00	18.3	920	340		320	160		100		
09/2/00	17.8	1100	700		400					
14/2/00	17.9	1500	900		100				500	
23/2/00	17.9	200	100			100				
29/2/00	17.8	260	110		100	50				
06/3/00	14.9	3600	2800			800				
14/3/00	18.3	2700	1900		400				400	
20/3/00	17.1	880	380		200		300			
28/3/00	18.8	2300	200	1500	600					
03/4/00	19.2	900	900							
10/4/00	17.7	800	400					400		
18/4/00	18.6	18000	8000	3000	4000			3000		
27/4/00	18.3	2400	1700							700
03/5/00	20.6	1300	200	1000	100					
09/5/00	22.6	10000	1000	6000					3000	
15/5/00	22.1	25000	16000						9000	
22/5/00	24.4	34000	25000			9000				
31/5/00	23.7	70000	70000							
05/6/00	24.0	27000	27000							
13/6/00	25.1	450000	400000		50000					
19/6/00	26.5	200000	70000	60000	70000					
26/6/00	26.4	70000	70000							
03/7/00	27.9	240000	120000		80000				40000	
10/7/00	25.9	220000	80000		80000			60000		
17/7/00	24.2	160000	90000		30000			40000		
24/7/00	26.6	560000	460000					100000		
31/7/00	28.8	700000	600000		100000					
07/8/00	28.8	2200000	200000	1000000	400000				600000	
14/8/00	28.9	200000	140000	60000						
21/8/00	29.1	2300000	2300000							
28/8/00	27.7	50000	40000						10000	
04/9/00	25.6	6000	6000							
11/9/00	28.5	190000	120000		10000			60000		
18/9/00	27.8	54000	54000							
25/9/00	28.2	160000	120000	20000					20000	
02/10/00	27.1	130000	60000	40000		30000				
10/10/00	24.1	110000	20000	80000	10000					
16/10/00	21.3	25000	18000			6000		1000		
23/10/00	23.3	24000	24000				2000			

Tabl. 3.5 Bactériologie - mesures hebdomadaires au rejet

4. PHYTOPLANCTON ET BIOMASSE CHLOROPHYLLIENNE

**Auteurs : Alain LEFEBVRE, Benoist HITIER
Collaborateurs : Pascale HEBERT & René OLIVESI**

4.1. INTRODUCTION

Le phytoplancton et la biomasse chlorophyllienne sont habituellement suivis lors des campagnes de prélèvements hydrologiques du printemps et de l'automne. Ils permettent de comparer trois stations à un point de référence situé en dehors de la tache thermique créée par le rejet de la centrale.

Des prélèvements d'eau hebdomadaires au canal d'amenée donnent les variations de la biomasse chlorophyllienne et du phytoplancton au cours de l'année. Ils permettent de situer les deux campagnes de prélèvement hydrologiques par rapport à la série chronologique.

4.2. RESULTATS

4.2.1. Surveillance hebdomadaire au canal d'amenée

4.2.1.1. Biomasse chlorophyllienne.

La figure 4.1. et les tableaux 4.1.(a & b) présentent l'évolution temporelle des concentrations en chlorophylle *a*. Elles constituent un indicateur de la biomasse phytoplanctonique présente dans la masse d'eau. Les valeurs restent faibles ($< 3.6 \text{ mg.m}^{-3}$), typiques de niveaux hivernaux, jusqu'au 14 mars. Les concentrations augmentent ensuite brutalement dès le 20 mars pour atteindre un premier maximum à 26.06 mg.m^{-3} le 18 avril. Deux pics de concentrations de moindres ampleurs sont observés le 22 mai (23.32 mg.m^{-3}) et le 19 juin (9.68 mg.m^{-3}). Les concentrations chlorophylliennes restent ensuite relativement stables jusqu'à la fin de la période d'observation.

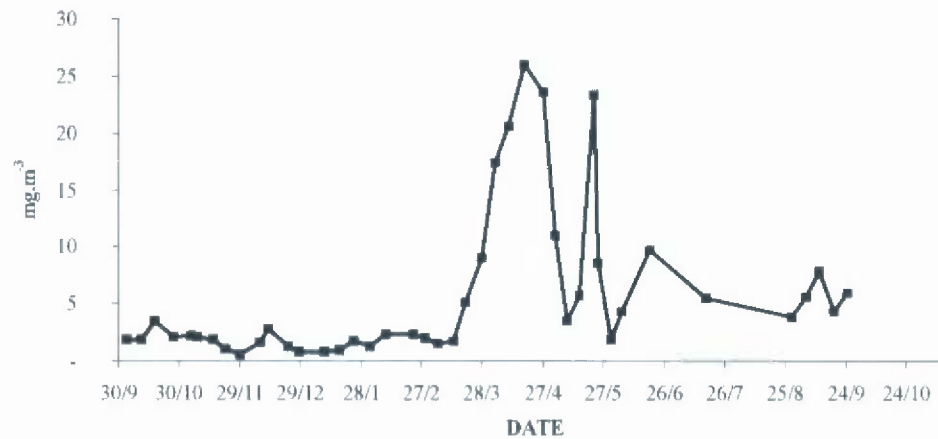


Fig. 4.1. Evolution temporelle des concentrations de surface en chlorophylle a (mg.m^{-3}) au canal d'amenée.

4.2.1.2. Pourcentage chlorophylle active.

Ce paramètre est un indicateur qualitatif de l'état physiologique des cellules phytoplanctoniques, de la composition du phytoplancton et des interactions phytoplancton / zooplancton (phénomène de broutage).

Le pourcentage de chlorophylle active présente une forte variabilité. Cependant, il est possible de dégager quelques grandes tendances. En automne 1999, il apparaît un pic de chlorophylle active le 27 octobre 1999 (98.62 %) (figure 4.2. et tableau 4.1.) suivi d'une chute brutale jusqu'à un minimum de 15.09 % le 9 décembre. Le pourcentage augmente ensuite irrégulièrement pour atteindre des valeurs supérieures à 60 % dès le mois de février et de l'ordre de 90 % en mai. Une chute brutale du pourcentage de chlorophylle active est observée le 24 mai (29.35 %) puis la tendance est de nouveau à la hausse jusqu'au 17 juillet (89.05 %). La fin de la période d'observation est marquée par une décroissance des pourcentages.

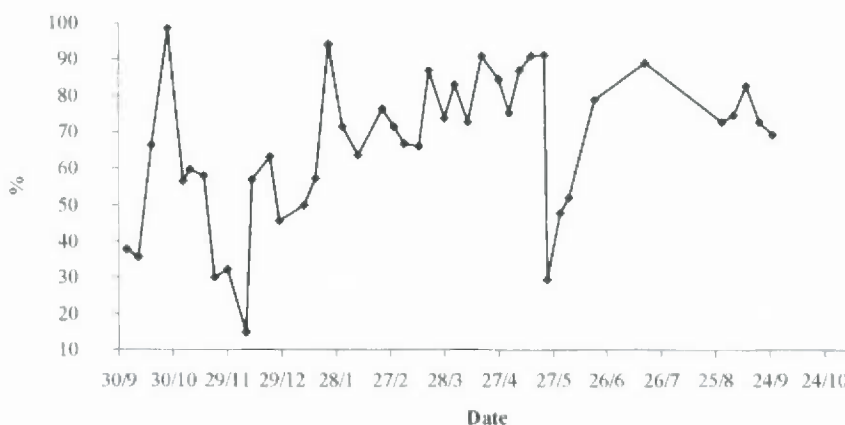


Fig. 4.2. Evolution temporelle du pourcentage de chlorophylle active au canal d'amenée.

4.2.1.3. Succession des espèces phytoplanctoniques

Pendant la période d'étude, 67 genres phytoplanctoniques au total ont été dénombrés au canal d'amenée.

Les diatomées sont présentes dans les échantillons toute l'année (Figures 4.3. à 4.7.) et sont particulièrement abondantes ($> 100\ 000\ \text{cellules.l}^{-1}$) de mai à octobre (Tableau 4.1. et Figure 4.8.), ce qui explique en partie les concentrations en chlorophylle *a* (globalement $> 5\ \text{mg.m}^{-3}$) observées sur cette même période. Le cycle saisonnier d'abondance des diatomées se caractérise par une augmentation importante au printemps, suivie d'une période de moindre abondance, avant le deuxième pic d'abondance en automne.

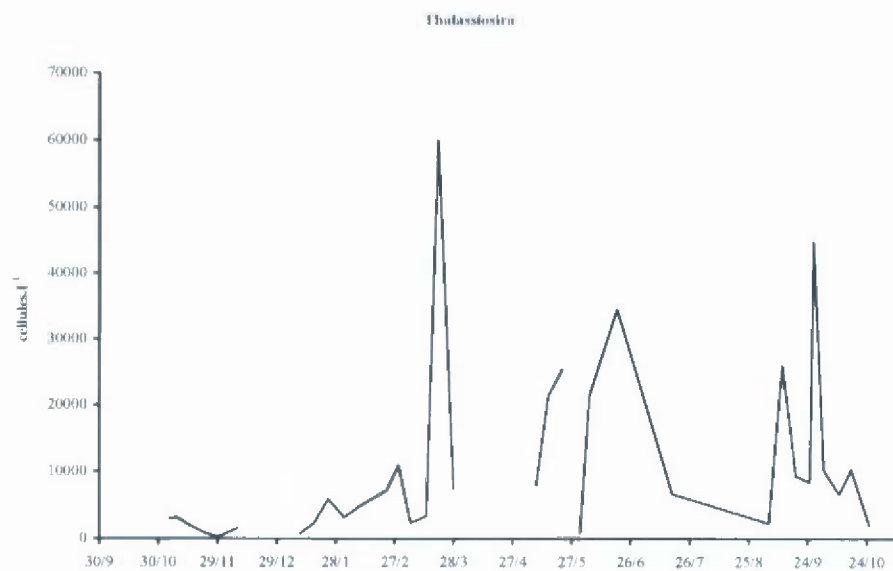


Fig. 4.3. Evolution temporelle de l'abondance (nombre de cellules par litre) du genre *Thalassiosira*.

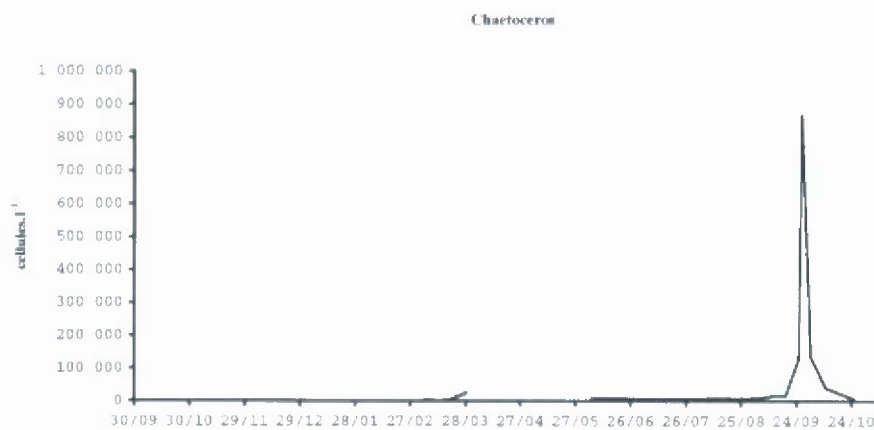


Fig. 4.4. Evolution temporelle de l'abondance (nombre de cellules par litre) du genre *Chaetoceros*.

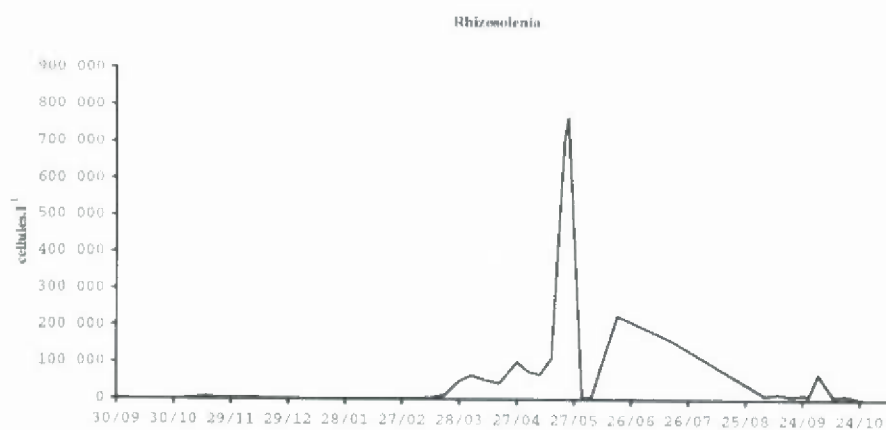


Fig. 4.5. Evolution temporelle de l'abondance (nombre de cellules par litre) du genre *Rhizosolenia*.

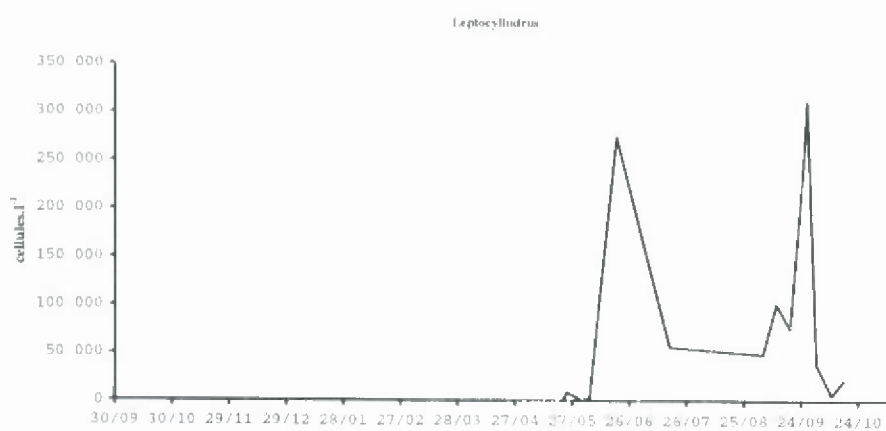


Fig. 4.6. Evolution temporelle de l'abondance (nombre de cellules par litre) du genre *Leptocylindrus*.

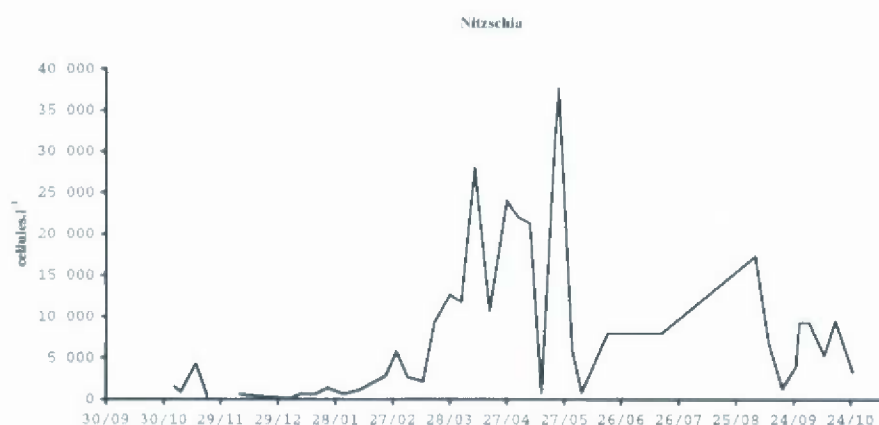


Fig. 4.7. Evolution temporelle de l'abondance (nombre de cellules par litre) du genre *Nitzschia*.

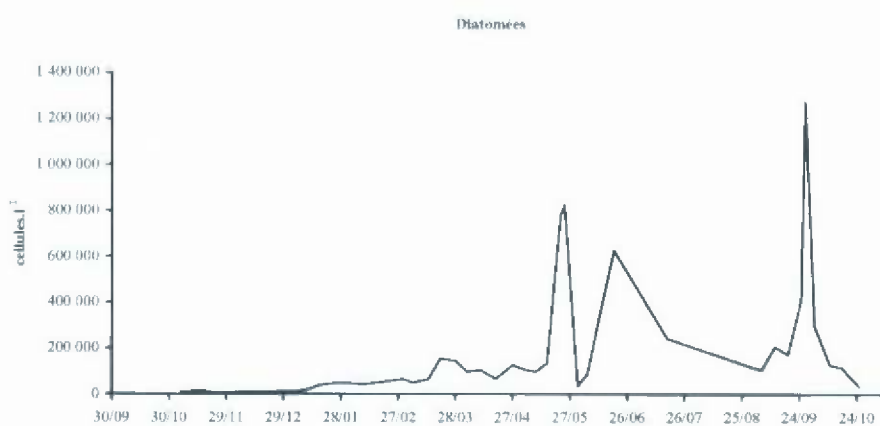


Fig. 4.8. Evolution temporelle de l'abondance totale (nombre de cellules par litre) des diatomées.

La figure 4.9. représente la succession temporelle des principales espèces de diatomées rencontrées sur le site d'étude. Le genre *Rhizosolenia* apparaît nettement comme ayant un preferendum printanier alors que le genre *Chaetoceros* est surtout automnal. Le genre *Leptocylindrus* est abondant pendant les saisons estivales et automnales. Le genre *Nitzschia* est abondant au printemps.

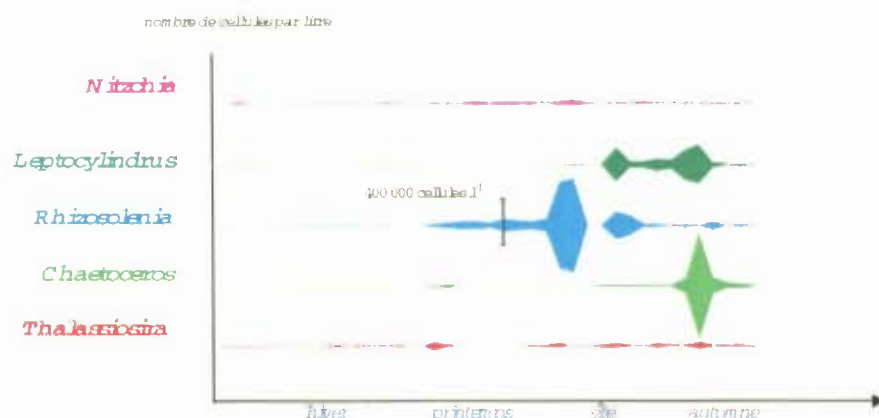


Fig. 4.9. Evolution temporelle de l'abondance (nombre de cellules par litre) des principales espèces de diatomées du site de Gravelines.

Les *dinoflagellés* sont présentes dans la majeure partie des échantillons (Figure 4.10.). Leur abondance est minimale de novembre à février (< 1000 cellules.l⁻¹). Dès le mois de mars, leur abondance va présenter une forte variabilité marquée par des périodes de fortes concentrations cellulaires (3500 cellules.l⁻¹ le 20 mars ; 6133 cellules.l⁻¹ le 31 mai ; 3000 cellules.l⁻¹ le 4 septembre ; 2500 cellules.l⁻¹ le 11 septembre et 3966 cellules.l⁻¹ le 2 octobre) et des périodes comparables aux faibles niveaux hivernaux.

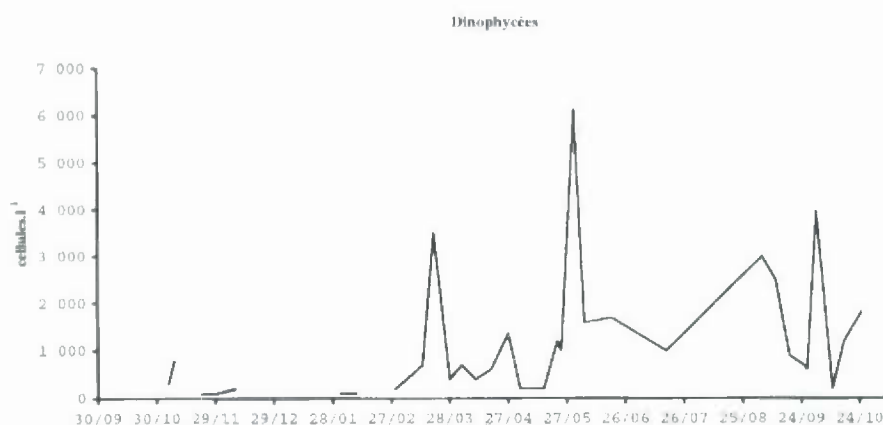


Fig. 4.10. Evolution temporelle de l'abondance totale (nombre de cellules par litre) des Dinoflagellés.

La prymnésiophycée *Phaeocystis*, espèce nanoplanctonique coloniale non toxique, est responsable d'efflorescence provoquant la formation d'écumes et d'eaux très turbides particulièrement visibles au niveau du canal de rejet de la centrale. Cette algue est présente dans les échantillons de la fin du mois de mars jusqu'à la fin du mois d'avril (Tableau 4.2. et Figure 4.11.). Elle apparaît ponctuellement dans l'échantillon du 5 juin. Les concentrations maximales sont observées en avril ($20 \cdot 10^6 < \text{cellules.l}^{-1} < 29 \cdot 10^6$). L'algue apparaît alors responsable des fortes concentrations en chlorophylle *a* observées sur le site : maximum de 26.06 mg.m^{-3} le 18 avril quand *Phaeocystis* représente 99.8 % de l'abondance phytoplanctonique totale. Elle apparaît en moindre quantité dans l'échantillon du 10 octobre 2000.

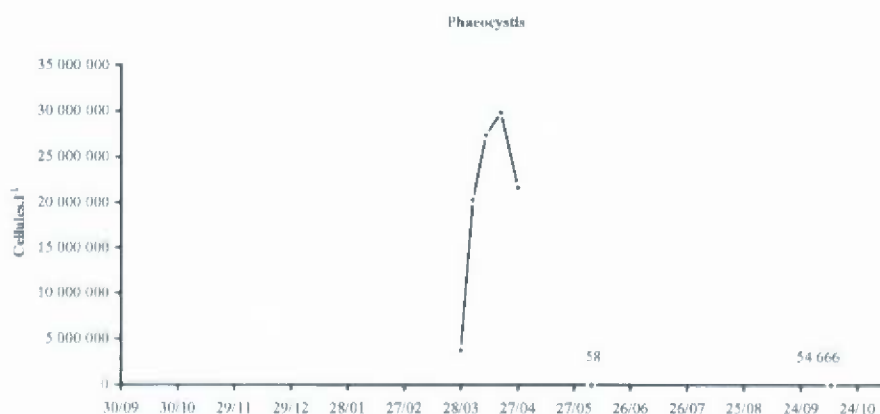


Fig. 4.11. Evolution temporelle de l'abondance (nombre de cellules par litre) du genre *Phaeocystis*.

4.2.2. Impact de la centrale : campagnes pélagiques du 24 mai et du 27 septembre 2000.

Pour des raisons techniques et météorologiques, la campagne de printemps a été décalée au 24 mai 2000. L'échantillonnage a ainsi été réalisé en période de post-bloom de *Phaeocystis*. Comme le montre les paragraphes suivants, les valeurs restent néanmoins représentatives d'une situation printanière.

La campagne du 27 septembre 2000 permet d'appréhender les paramètres du milieu dans un contexte de fin de cycle biologique.

4.2.2.1. Biomasse chlorophyllienne

Le 24 mai 2000, on constate un déficit de biomasse chlorophyllienne (Figure 4.12. et Tableau 4.3.) :

- de 20.8 % entre les prélèvements effectués au canal de rejet et ceux du canal d'amenée,
- de 9.4 % entre les prélèvements effectués au contrôle surface et ceux du canal d'amenée,
- de 43.8 % entre le fond et la surface au niveau de la station de contrôle.

Le 27 septembre 2000, le déficit est de (Figure 4.12 et Tableau 4.3.) :

- de 59.6 % entre les prélèvements effectués au canal de rejet et ceux du canal d'amenée,
- de 12.5 % entre les prélèvements effectués au contrôle surface et ceux du canal d'amenée,
- de 51.6 % entre le fond et la surface au niveau de la station de contrôle.

Le 24 mai, l'impact de la centrale est nettement visible par le déficit en biomasse chlorophyllienne observé entre le canal d'amenée et le canal de rejet. Les concentrations en chlorophylle sont plus importantes aux stations de contrôle et de référence du large. Le déficit de biomasse entre le fond et la surface à la station de contrôle s'explique par la présence de masses d'eau d'origine différente. Ceci est confirmé par l'importante stratification thermique des masses d'eau (Δ température = 8 °C).

Le 27 septembre, l'ensemble des teneurs en chlorophylle est plus faible, conformément au cycle saisonnier de ce paramètre. Cependant, les déficits de biomasse chlorophyllienne observés entre le canal d'amenée et le canal de rejet, entre la station de contrôle ou de référence et le canal de rejet marquent l'impact de la centrale. Le gradient côte – large (station de contrôle – station de référence du large) est peu marqué, avec une biomasse chlorophyllienne légèrement plus importante à la côte (+ 0,45 mg.m⁻³).

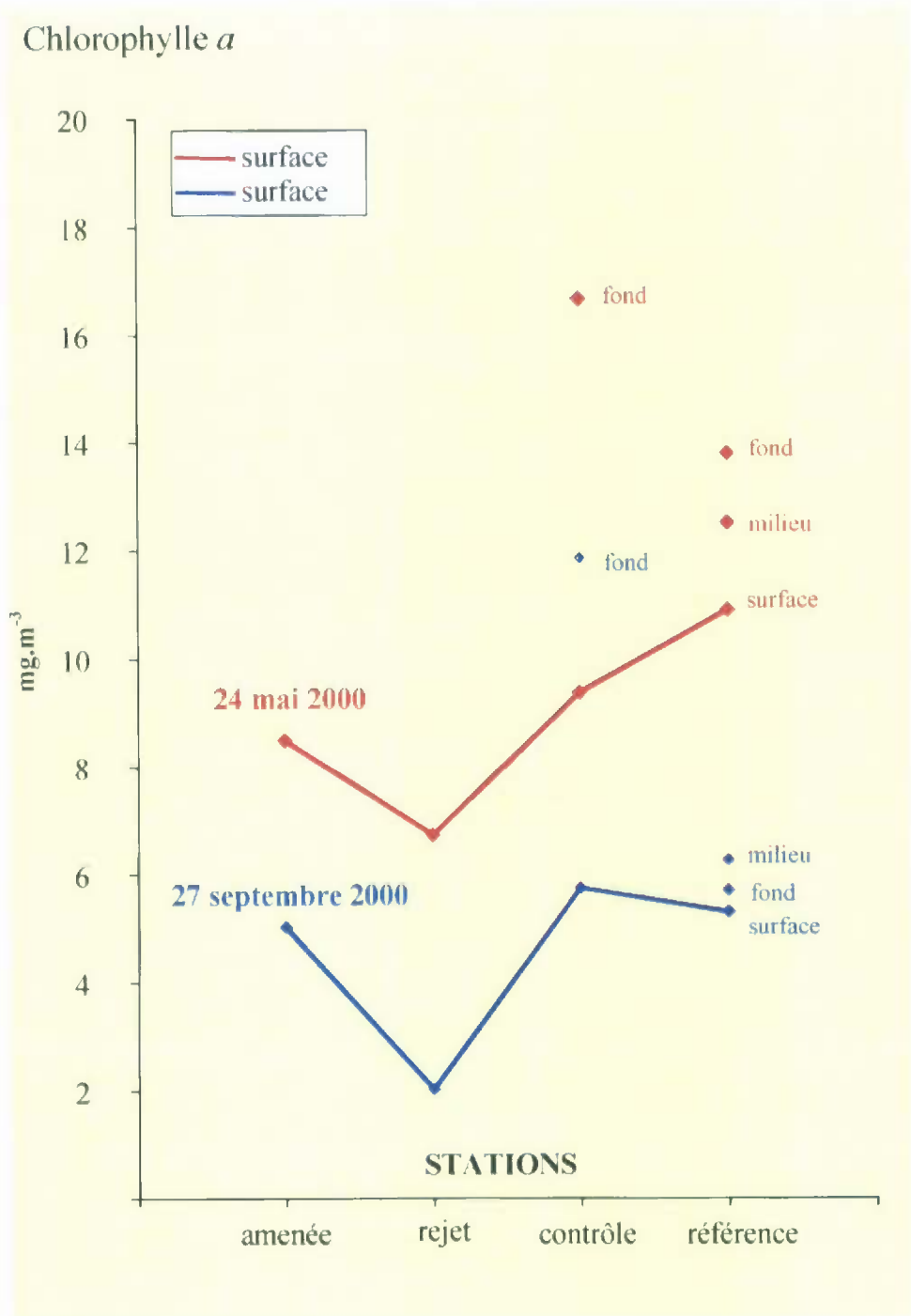


Fig. 4.12. Impact de la centrale sur la biomasse chlorophyllienne.

4.2.2.2. Pourcentage en chlorophylle active

L'évolution du pourcentage de chlorophylle active entre les différentes stations de mesures apparaît particulier pour cette année 2000. Il existe en effet une augmentation du pourcentage de chlorophylle active entre le canal d'aménagé et le canal de rejet, ce qui est contraire aux observations des années précédentes. Ce phénomène reste inexpliqué dans l'état actuel d'avancement de l'étude.

Le 24 mai 2000 (Tableau 4.4.), il apparaît une forte augmentation de la teneur en chlorophylle active dans les échantillons de surface entre la station d'aménagé et la station de rejet (+ 38.05 %), alors que la tendance pour les années précédentes était inverse. La teneur en chlorophylle active au niveau du rejet est ainsi comparable à celle de la station de contrôle ($\Delta = 3.75$ %), mais reste très inférieure à celle de la station de référence (- 30.01 %). Au niveau de la station de contrôle, le pourcentage de chlorophylle active au fond est comparable à celui de la station de référence. Ceci confirme un impact de la centrale sur la qualité des eaux de surface, plutôt que sur celle du fond, par établissement d'une stratification thermique.

Le 27 septembre 2000 (Tableau 4.4.), la tendance reste identique avec cependant des teneurs inférieures caractéristiques de la fin de la saison estivale. Ainsi, il existe une légère augmentation du pourcentage de chlorophylle active en surface entre la station du canal d'aménagé et celle du canal de rejet (+ 4,09 %). Cette valeur reste inférieure à celle observée au niveau de la station de contrôle (- 5,6 %). La station de référence présente la plus forte valeur de chlorophylle active (64,59 % en surface). L'impact de la centrale, visualisable par une hétérogénéité verticale de la qualité des masses d'eau, est beaucoup moins marqué et les différences surface - fond restent faibles ($\Delta = 1,82$ % au contrôle et $\Delta = 5,40$ à la station de référence).

4.2.2.3. Impact sur les groupes phytoplanctoniques

Lors de la campagne du 24 mai, le nombre total d'espèces échantillonnées aux différentes stations varie peu et est compris entre 20 et 24 (Tableau 4.5.). Le nombre d'espèces communes aux différentes stations échantillonnées est compris entre 14 et 19 (Tableau 4.6.). Ces résultats mettent en évidence des variations d'abondance et des changements de dominance des espèces phytoplanctoniques entre les différentes stations de prélèvements. Les groupes les plus affectés par le fonctionnement de la centrale (déficit d'abondance entre le canal d'aménagé et le canal de rejet) sont les *Dinoflagellés* du genre *Gymnodinium spp.* (100 %), les Ciliés (100 %) et les Diatomées (66 %) (Figure 4.13.).

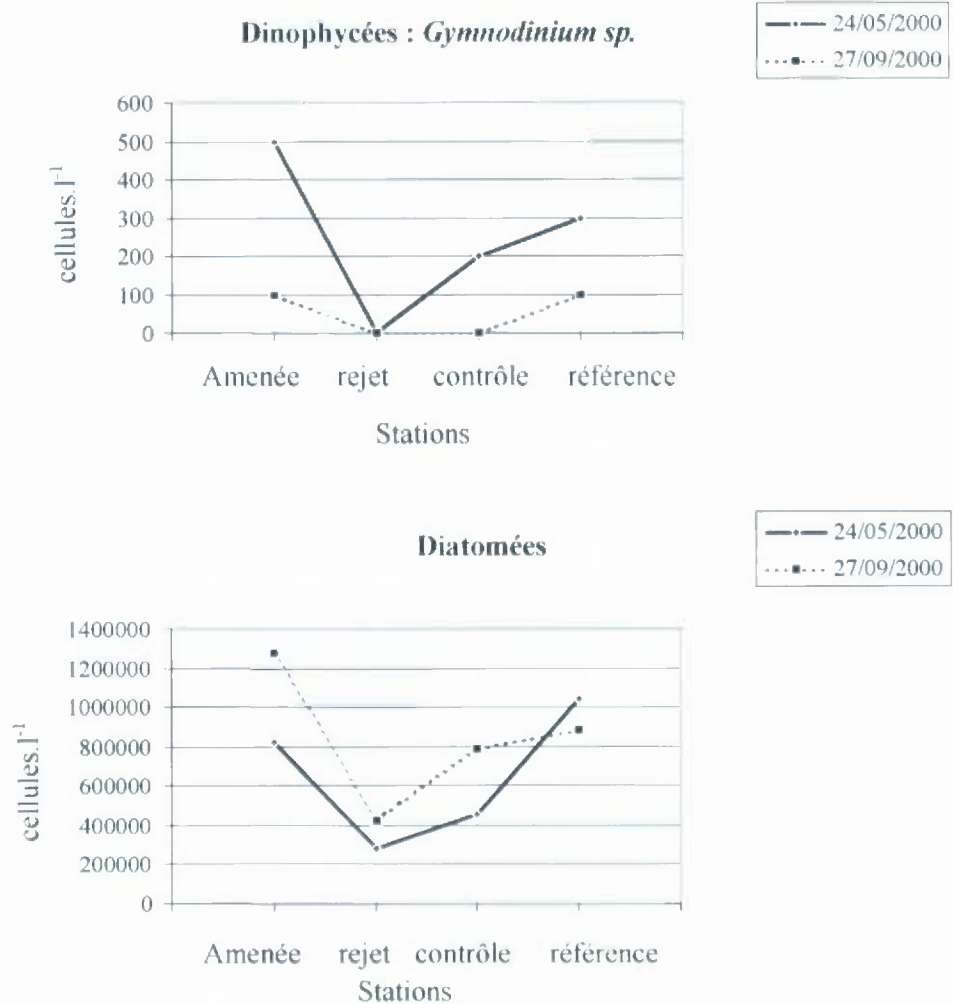


Fig. 4.13. Impact de la centrale sur deux principaux groupes phytoplanctoniques lors des campagnes du 24 mai et du 27 septembre 2000.

Lors de la campagne du 27 septembre 2000, le nombre d'espèces phytoplanctoniques échantillonnées est compris entre 28 et 40 (Tableau 4.5.). Le nombre d'espèces communes aux différentes stations varie de 22 à 28 (Tableau 4.6.). L'impact de la centrale (déficit d'abondance entre le canal d'aménée et le canal de rejet) est marqué particulièrement sur le groupe des Euglenophycées (100 %), des Dinoflagellés du genre *Gymnodinium spp.* (100%) et du genre *Prorocentrum* (80 %), des Ciliés (100 %) et des Diatomées (67 %) (Figure 4.13.).

4.3. CONCLUSION

Le suivi hebdomadaire au niveau du canal d'amenée de la centrale a mis en évidence une évolution saisonnière classique des concentrations en chlorophylle *a* et des teneurs en chlorophylle active. La concentration maximale en chlorophylle *a* observée sur le site est de 26,06 mg.m⁻³. Cette valeur correspond à une concentration intermédiaire entre les plus faibles valeurs observées lors des années 1992, 1994, 1997 et 1998 (environ 20 mg.m⁻³) et les valeurs plus fortes observées lors des années 1993, 1995 et 1999 (environ 34 mg.m⁻³). La valeur maximale observée le 18 avril 2000 est essentiellement le fait de l'efflorescence de la Prymnésiophycée *Phaeocystis* (> 29 10⁶ cellules.l⁻¹). Le second pic estival est lié à la présence de Diatomées avec principalement les genres *Rhizosolenia* et *Nitzschia*. Malgré l'absence d'échantillon, il semblerait que la présence des Diatomées du genre *Chaetoceros* et *Leptocylindrus* en automne devrait être à l'origine d'un bloom automnal de moindre ampleur.

Les campagnes pélagiques du 24 mai et du 27 septembre 2000 ont confirmé l'impact de la centrale sur la biomasse phytoplanctonique, avec des concentrations en chlorophylle *a* et des abondances de certains groupes (Dinoflagellés des genres *Gymnodinium spp.* et *Prorocentrum*, Diatomées, Ciliés, Euglenophycées) nettement inférieures après passage dans le système de refroidissement. Cependant, l'impact sur l'abondance en terme de diminution du nombre d'espèces entre le canal d'amenée et le canal de rejet est moins marqué que la différence d'abondance observée entre la côte et le large, notamment en septembre. A cette période, la différence du nombre d'espèces relève de la variation saisonnière (plus grand nombre d'espèces à l'automne qu'au printemps lié à l'évolution saisonnière de maturité du système). L'impact de la centrale est marqué au niveau de la station de contrôle par une hétérogénéité verticale de température, de concentration en chlorophylle *a*, mais s'estompe rapidement vers le large au niveau de la station de référence. La particularité de cette année 2000 vient de l'évolution des pourcentages en chlorophylle active qui s'avèrent plus élevées au canal de rejet qu'au canal d'amenée pour les deux campagnes pélagiques. Ces résultats semblent ne pas être le fait d'une erreur de mesure puisque les échantillons des deux campagnes pélagiques ne sont pas traités en même temps. Le laps de temps entre le prélèvement au canal d'amenée et celui au canal de rejet est comparable à celui des années précédentes et ne peut expliquer de tels résultats. Il semble que ce phénomène soit plutôt d'origine biologique. Il nous paraît cependant difficile de conclure sur les mécanismes mis en jeu. Ce phénomène est beaucoup plus marqué au cours de la campagne printanière, probablement à cause des potentialités de stratification des masses d'eau plus importantes à cette période, comme révélée par l'hétérogénéité verticale au niveau de la station de contrôle.

Date station	Chlorophylle	% Chlorophylle active
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
05/11/99	2.24	56.57
08/11/99	2.14	59.61
16/11/99	1.88	57.85
22/11/99	1.07	30.14
29/11/99	0.53	32.32
09/12/99	1.60	15.09
13/12/99	2.85	57.11
23/12/99	1.28	63.37
28/12/99	0.85	45.70
10/01/00	0.79	50.00
17/01/00	0.94	57.32
24/01/00	1.71	93.96
01/02/00	1.28	71.51
09/02/00	2.28	63.51
23/02/00	2.28	76.25
29/02/00	1.99	71.33
06/03/00	1.50	66.67
14/03/00	1.71	66.02
20/03/00	5.13	86.80
28/03/00	8.93	73.80
03/04/00	17.39	83.09
10/04/00	20.51	72.96
18/04/00	26.06	90.77
27/04/00	23.61	84.50

Tabl. 4.1.(a) Surveillance hebdomadaire au canal d'amenée : Concentration en chlorophylle a et pourcentage de chlorophylle active (- : pas de données).

Date station	Chlorophylle	% Chlorophylle active
03/05/00	10.97	75.40
09/05/00	3.56	87.04
15/05/00	5.77	90.72
22/05/00	23.32	91.31
24/05/00	8.49	29.35
31/05/00	1.92	47.64
05/06/00	4.27	51.95
19/06/00	9.68	78.96
17/07/00	5.45	89.05
28/08/00	3.83	72.68
04/09/00	5.59	74.73
11/09/00	7.83	82.68
18/09/00	4.33	72.65
25/09/00	6.01	69.40
27/09/00	5.02	48.64
02/10/00	5.95	71.09
10/10/00	-	-
16/10/00	-	-
25/10/00	-	-

Tabl. 4.1.(b) Surveillance hebdomadaire au canal d'aménée : Concentration en chlorophylle a et pourcentage de chlorophylle active (- : pas de données).

Date	Cellules.l ⁻¹
28/03/2000	3808000
03/04/2000	20345600
10/04/2000	27444800
18/04/2000	29892800
27/04/2000	21678400
05/06/2000	58
10/10/2000	54666

Tabl. 4. 2. Abondance du genre *Phaeocystis* sur le site d'étude.

<i>Station</i>	Teneurs moyennes en chlorophylle (mg.m⁻³)	
	<i>24 mai</i>	<i>27 septembre</i>
Amenée	8.49	5.02
Rejet	6.72	2.03
Contrôle surface	9.37	5.74
Contrôle fond	16.66	11.85
Référence surface	10.89	5.29
Référence milieu	12.50	6.25
Référence fond	13.78	5.69

Tabl. 4.3. Observations de l'impact du transit sur la biomasse chlorophyllienne.

<i>Station</i>	Pourcentages de chlorophylle active	
	<i>24 mai</i>	<i>27 septembre</i>
Amenée	29.35	48.64
Rejet	67.40	52.73
Contrôle surface	71.15	58.33
Contrôle fond	97.83	56.51
Référence surface	97.41	64.59
Référence milieu	98.43	72.34
Référence fond	98.36	69.99

Tabl. 4.4. Observations de l'impact du transit sur la chlorophylle active.

Campagnes	Stations			
	Amenée	Rejet	Contrôle	Référence
24-mai-00	21	20	21	24
27-sept-00	30	28	34	40

Tabl. 4.5. Evolution spatiale du nombre d'espèces phytoplanctoniques lors des campagnes pélagiques du 24 mai et du 27 septembre 2000.

	Amenée	Rejet	Contrôle	Référence	
Amenée		22	25	26	Campagne du 27-sept-00
Rejet	15		24	24	
Contrôle	14	16		28	
Référence	19	16	17		
Campagne du 24-mai-00					

Tabl. 4.6. Nombre d'espèces communes aux différentes stations lors des campagnes pélagiques du 24 mai et du 27 septembre 2000.

5. DINOFLAGELLES NOCTILUQUES ET ZOOPLANCTON

Auteur : Geneviève LE FÈVRE – LEHOËRFF

Collaborateurs : Jacqueline LE GRAND et Jean D'ELBEE

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 24 mai 2000 pour la mission printanière et le 27 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 1999-2000 deux périodes de fortes valeurs en mai et en août. Le maximum annuel se situe en mai. Les pourcentages de carbone et pourcentages d'azote sont forts en février, juin et août. Les poids de carbone et d'azote reproduisent les variations générales des biomasses du fait de la très grande amplitude de variation saisonnière de ces dernières.

Les espèces (fig. 5.3 à fig. 5.9)

Les dinoflagellés noctiluques (fig. 5.3) présentent leur maximum annuel le 27 juillet avec $2 \cdot 10^5$ individus / m^3 valeur équivalente à celle de l'année précédente ($1 \cdot 10^5$ individus / m^3 le 16 juillet 1999). Depuis quelques années, les noctiluques sont présentes pendant une période plus longue du cycle annuel avec des valeurs élevées pendant les mois d'été et sont également présentes sur le site en quantité faible en période hivernale. Au cours des premières années d'étude du site les noctiluques ont toujours montré un maximum d'abondance au mois de juillet. Le pic de présence était signalé dans une période restreinte mais qui certaines années conduisait à une eau rouge ($n > 10^9$ individus / m^3). Il est tentant de penser que les abondances actuelles de noctiluques ont peut être une fréquence en relation avec les températures de l'eau plus clémentes en moyenne sur l'année et des amplitudes moins fortes. Les pics d'eau rouge sont souvent en liaison avec les périodes de stabilité et stratification qui se produisent, certaines années, par vent faible de secteur Nord Est en début d'été.

Les larves zooplanctoniques les plus précoces sont les larves de cirripèdes (fig. 5.7.) du 23 février au 9 mars pour les stades *nauplii* (350 individus / m^3) et du 9 mars au 14 avril pour les stades âgés près de la mue benthique (30 individus / m^3). Il s'agit de balanes à reproduction hivernale, *Balanus balanoides*. Les larves d'annélides (fig. 5.3.) sont maximales le 9 mars (1300 / m^3) majoritairement constituées de *Lanice conchilega*. Les œufs de poissons sont présents en avril et mai avec des effectifs qui ne dépassent pas 1 / m^3 (fig. 5.8.). Les larves de brachyourses sont présentes dès le 9 mars avec 6 individus / m^3 .

Les individus holoplanctoniques sont principalement représentés au printemps par *Temora longicornis* avec 1300 / m^3 en mai. L'ensemble des copépodes atteint son maximum en été avec 4000 individus / m^3 le 27 juillet. Au cours des saisons les successions des espèces de copépodes restent bien caractéristiques du site (fig. 5.5.).

A chaque saison une espèce de copépode domine l'ensemble du groupe, ce qui correspond au *preferendum* thermique de l'espèce. Cinq exemples sont présentés en fig. 5.5. On retrouve les principaux résultats suivants : en février

Pseudocalanus minutus espèce boréale se maintient dans un ensemble peu abondant, en mai *Temora longicornis* et *Acartia clausi* dominant, en juillet *Acartia clausi* est l'espèce dominante. On remarque que *Euterpina acutifrons* espèce d'eau chaude (méditerranée) atteint son maximum de dominance le 11 septembre (maximum thermique annuel 20/31° c). La diversité est maximale en automne (automne 99). Divers copépodes parasites ont été déterminés depuis quelques années et une attention particulière y est apportée. Dans certains cas on ne trouve dans le plancton que les formes juvéniles et il serait intéressant de connaître le lieu d'hébergement de la phase adulte. Très fréquemment les copépodes parasites peuvent être hébergés par les poissons ; la proximité des fermes aquacoles peut justifier d'une surveillance accrue afin de connaître s'il y a un lien entre augmentation de l'abondance des juvéniles de copépodes à l'automne et une phase du cycle vital de l'adulte dans les installations aquacoles ou non. *Ergasilus* montre un maximum d'abondance le 25 novembre 99 et le 11 septembre 2000.

Les cténaires *Pleurobrachia* et *Beroe* présentent leur maximum le 24 mai (19 mai en 1999). Des résultats complémentaires obtenus par une mission halieutique le 27 avril indiquent que les quantités d'adultes (filet de 500 µm) peuvent être déterminées au large précocement. Les quantités recueillies au cours de l'année 2000 à l'entrée de la centrale n'ont pas atteints de fortes valeurs risquant de mettre en danger le circuit de refroidissement par colmatage des grilles d'entrée.

Les méduses d'hydrides présentent en 2000 un cycle normal.

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

Certains groupes ne sont pas déterminés au niveau de l'espèce, ce qui diminue la pertinence de l'interprétation. C'est le cas pour les ophiures et les cirripèdes. Deux maxima sont notés pour les cirripèdes chaque année : en février les larves correspondent à la ponte de *Balanus balanoides* tandis que le maximum d'automne correspond à *Elminius*. On note le 24 février 1999 200 nauplii / m³, le 23 février 2000 350 nauplii / m³ ce qui témoigne d'une belle reproductibilité des cycles de reproduction dans certains cas malgré les aléas météorologiques.

Les espèces holoplanctoniques herbivores sont assez dépendantes des fluctuations du phytoplancton et de la température de l'eau. Par exemple les appendiculaires, *Oikopleura dioica*, sont favorisés par des populations phytoplanctoniques abondantes et des températures élevées (l'influence de chaque facteur étant difficile à distinguer) et l'abondance maximale se produit soit au printemps soit en été (le 7 août 2000 avec 160 individus / m³).

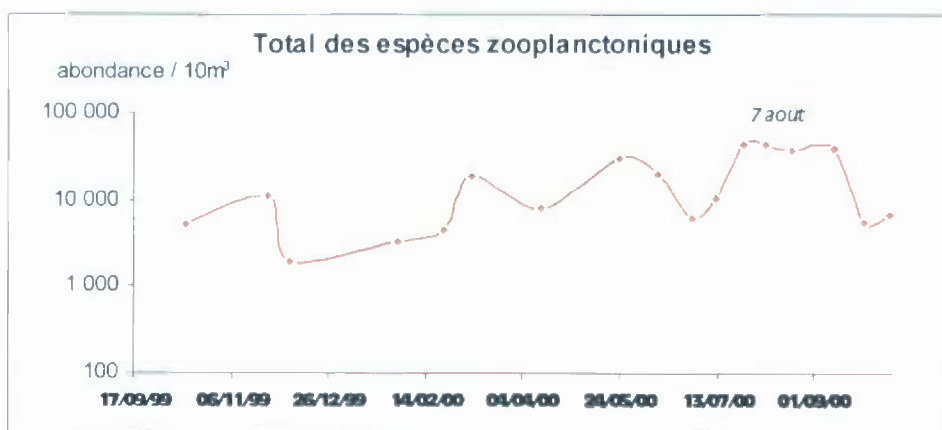
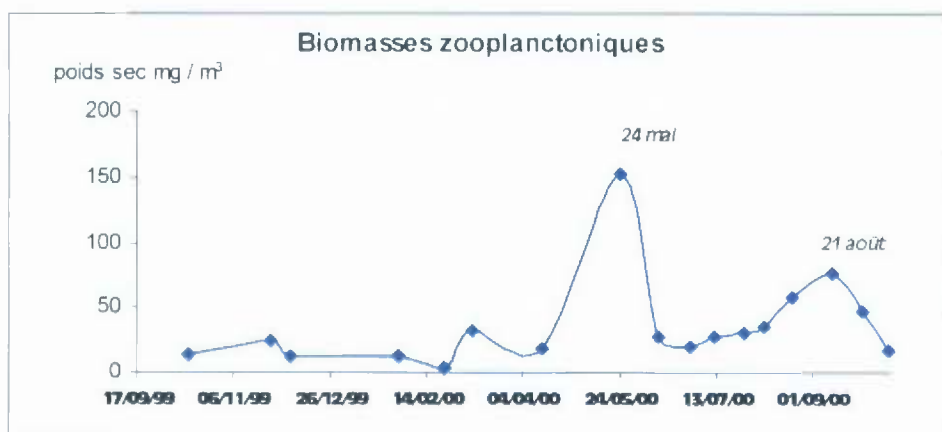
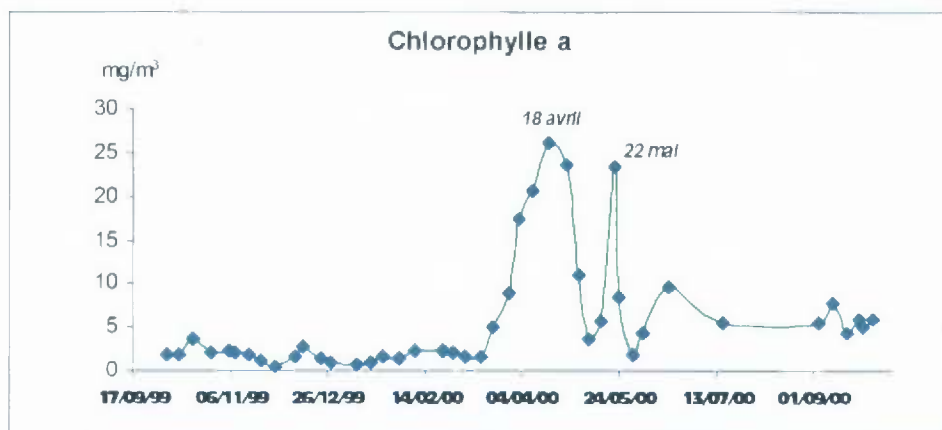


Fig. 5.1. : Variations saisonnières au canal d'entrée

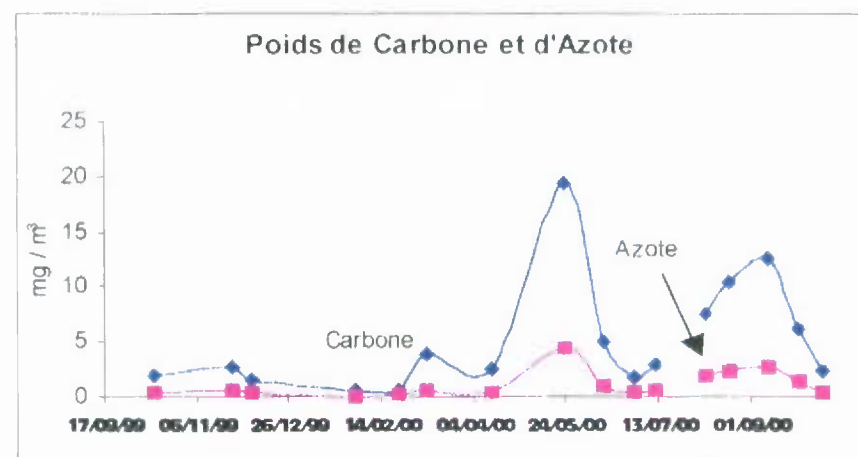
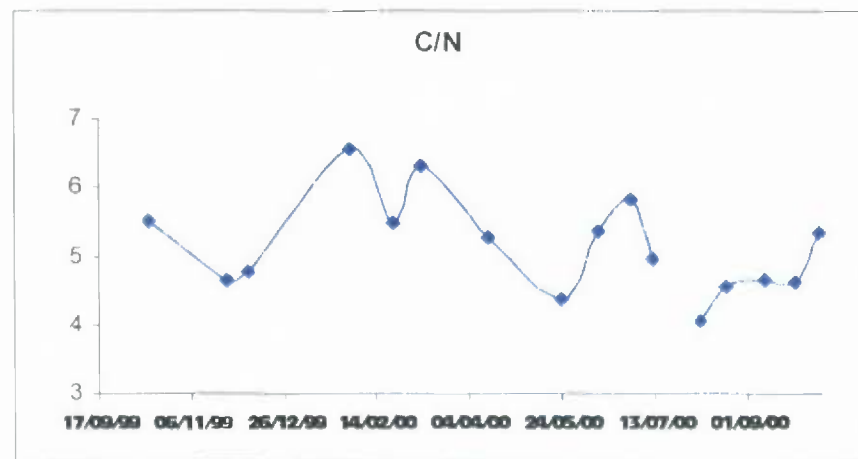
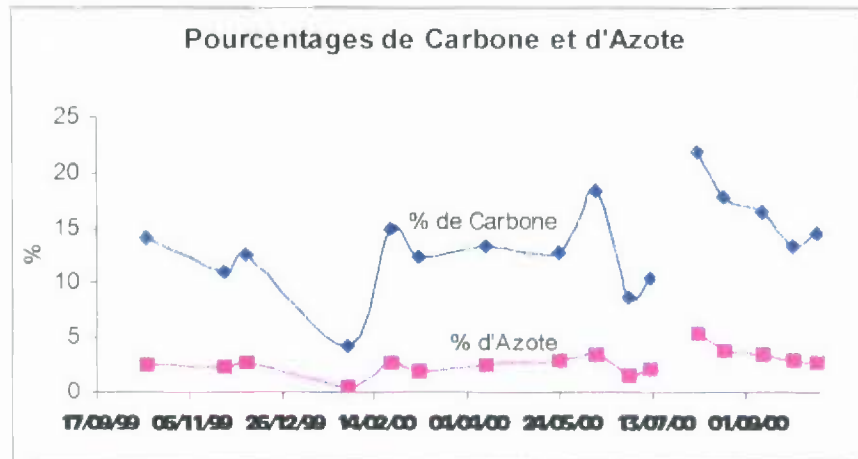


Fig. 5.2. : Variations saisonnières au canal d'entrée

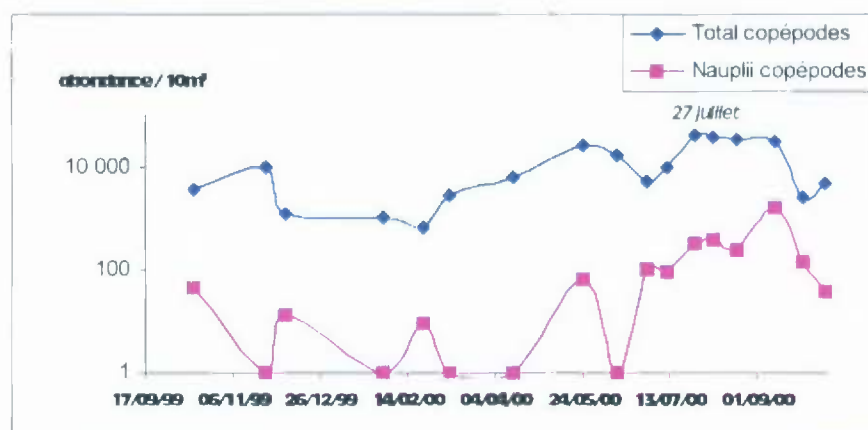
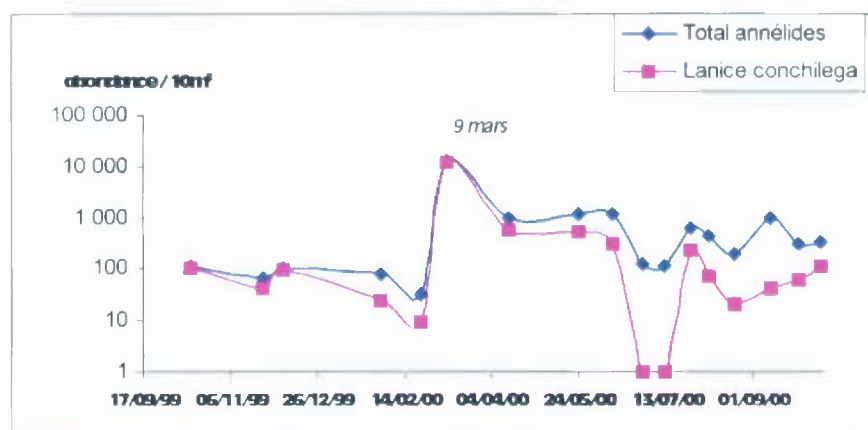
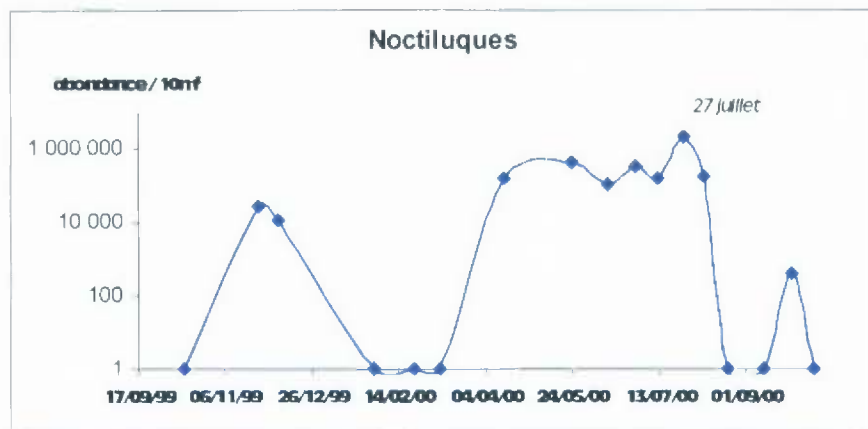


Fig. 5.3. : Variations saisonnières au canal d'entrée

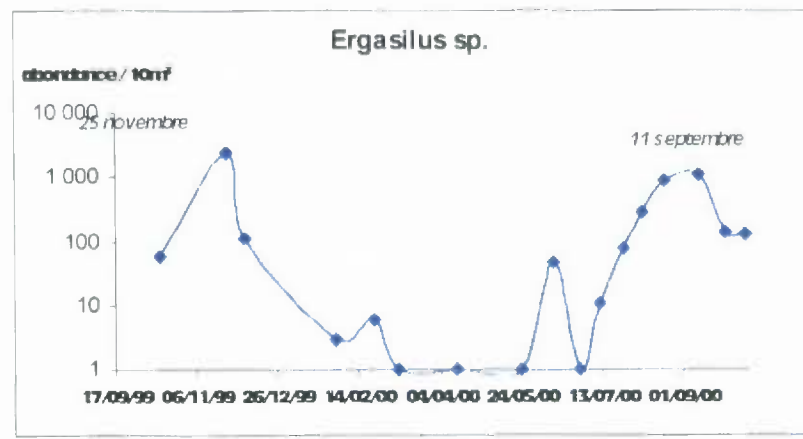
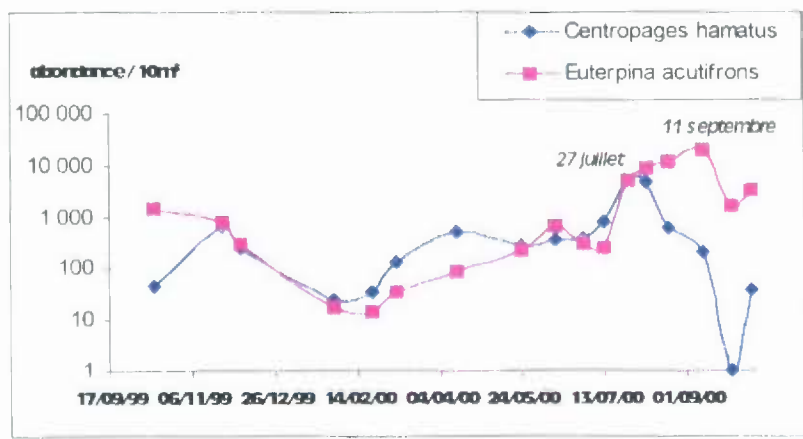
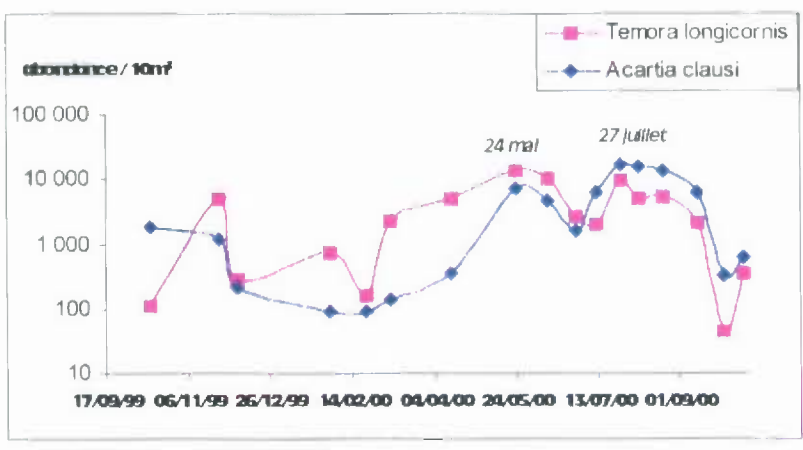


Fig. 5.4. : Variations saisonnières au canal d'entrée

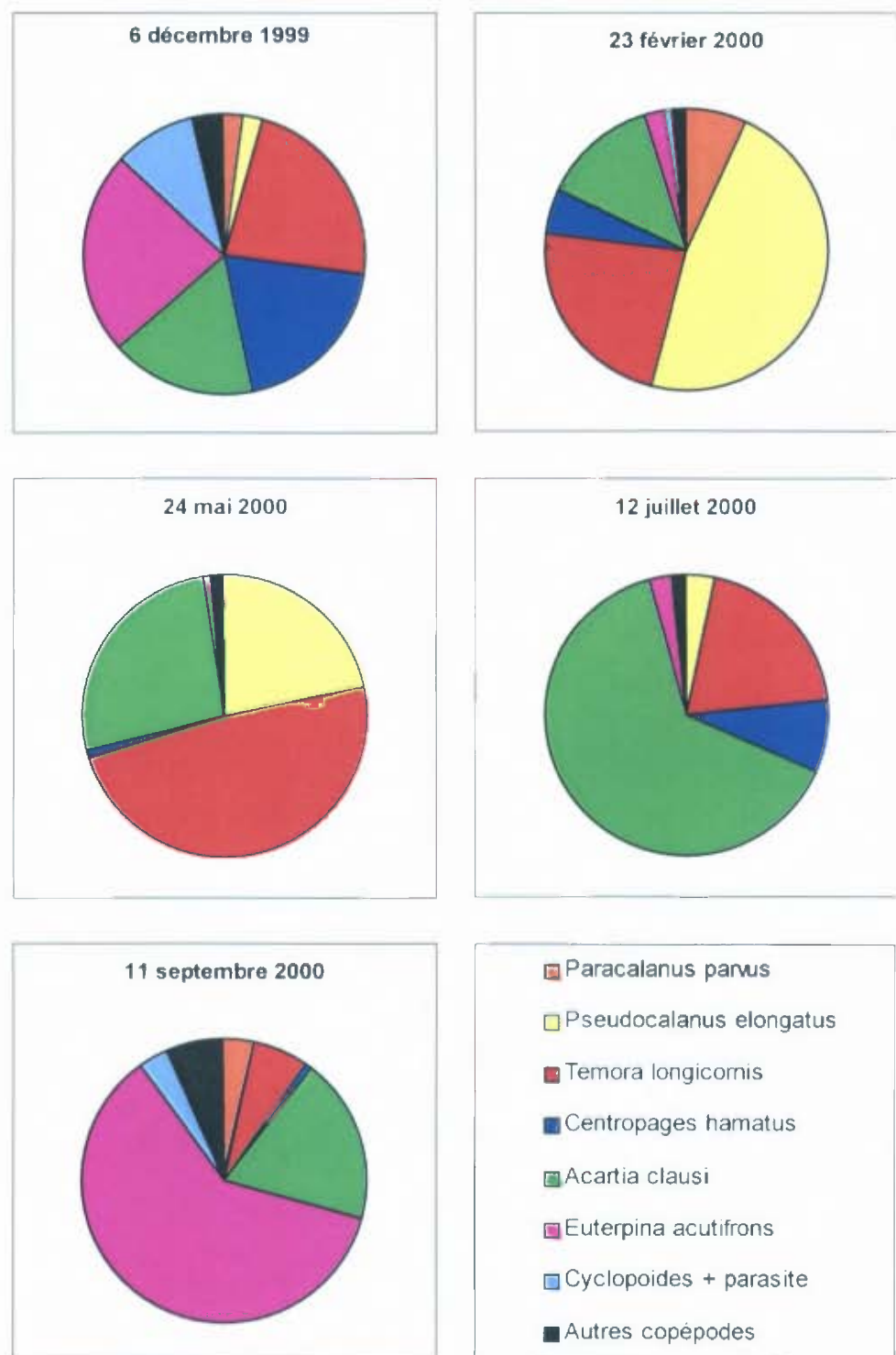


Fig. 5.5. : Variations saisonnières des différentes espèces de copépodes (%) 5 exemples

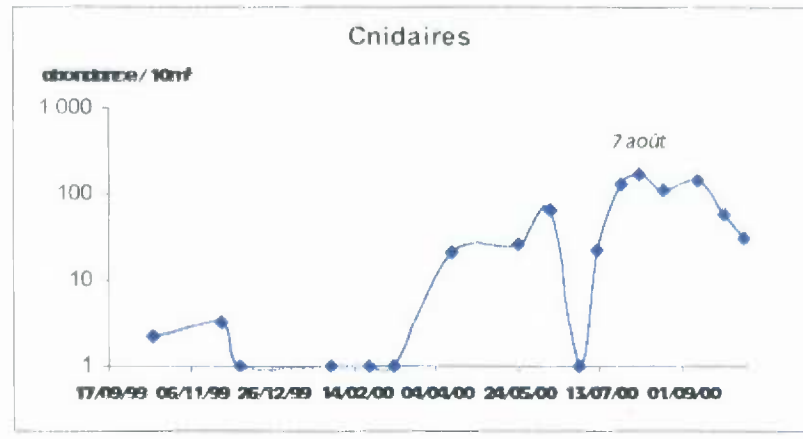
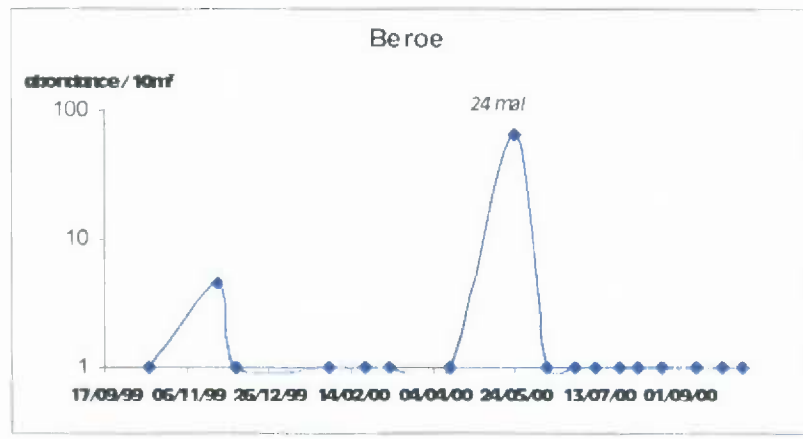
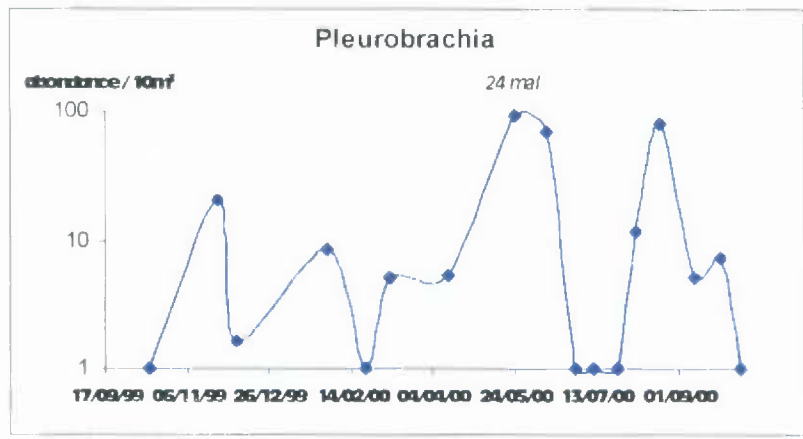


Fig. 5.6. : Variations saisonnières au canal d'entrée

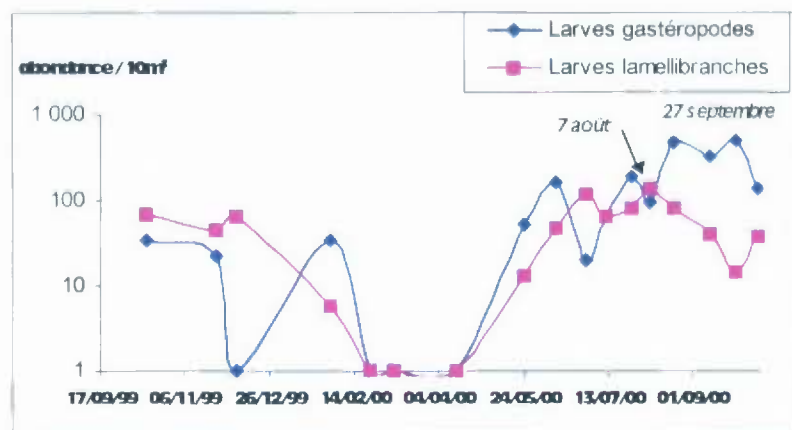
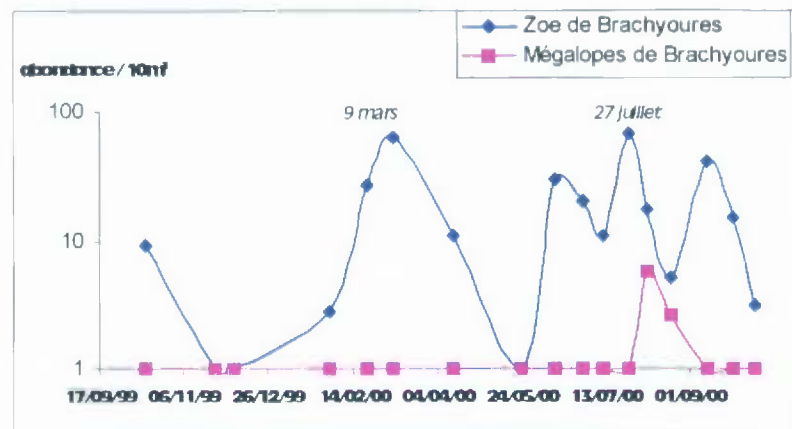
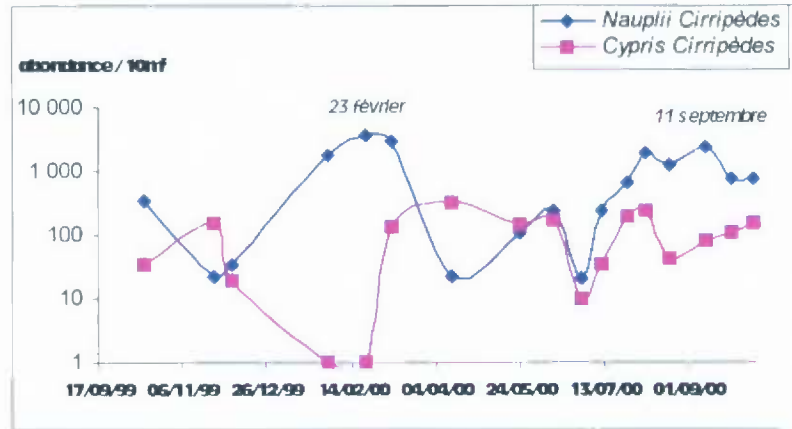


Fig. 5.7. : Variations saisonnières au canal d'entrée

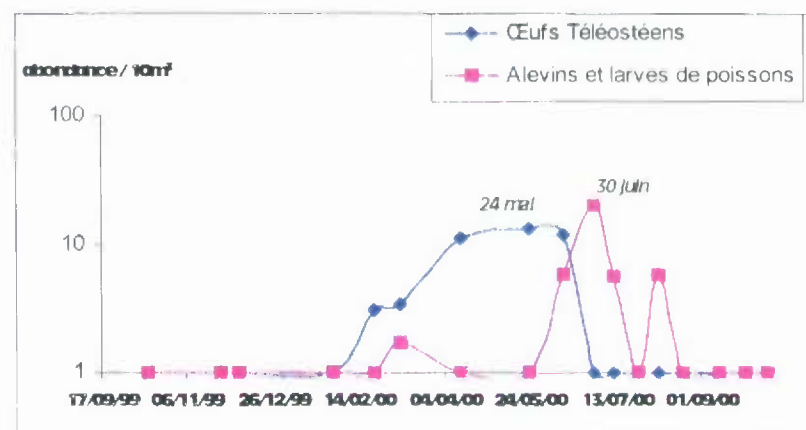
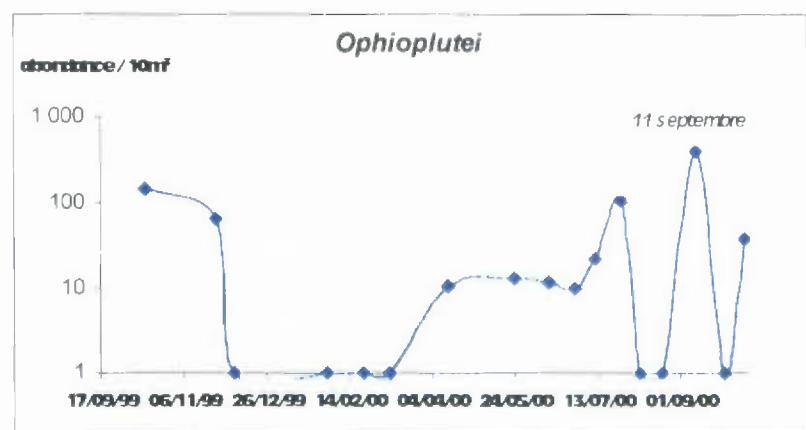
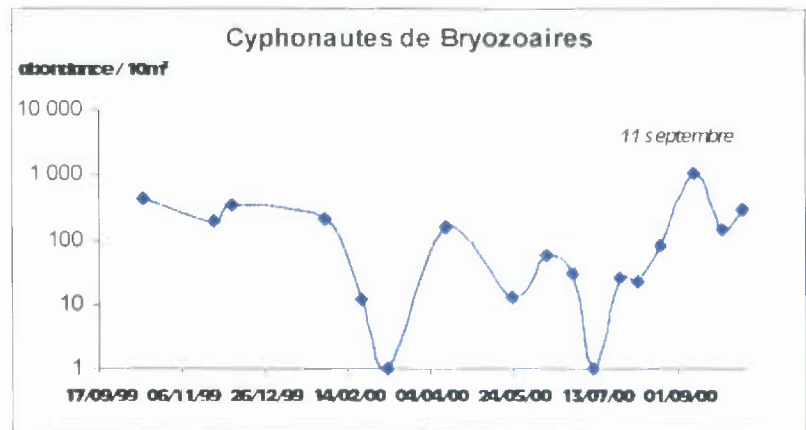


Fig. 5.8. : Variations saisonnières au canal d'entrée

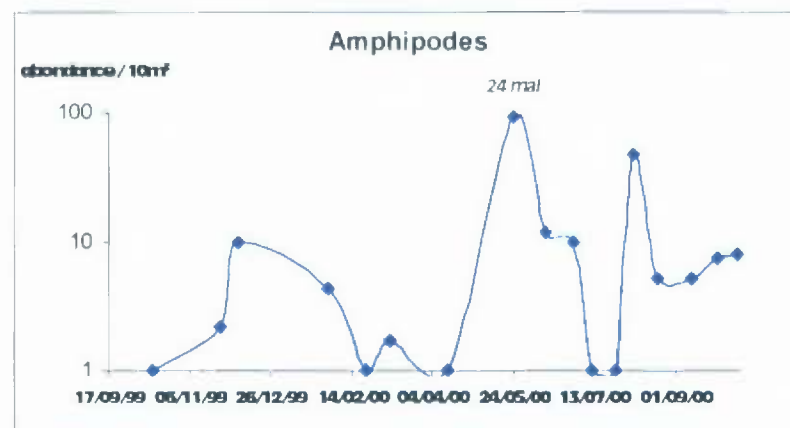
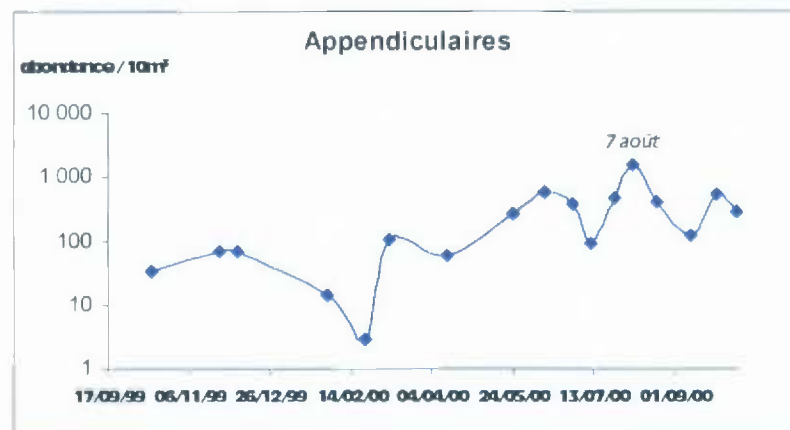
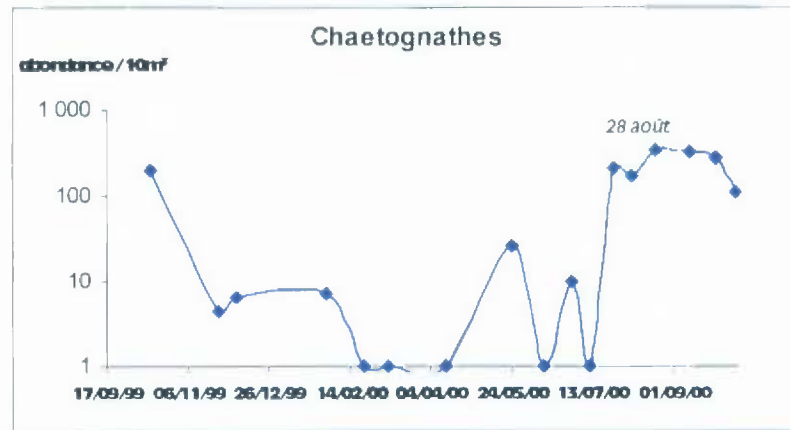


Fig. 5.9. : Variation saisonnière au canal d'entrée

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 deux missions annuelles, l'une printanière, l'autre en début d'automne. En 2000, les deux missions ont été effectuées les 24 mai et 27 septembre.

Biomasses carbone et azote

Le pourcentage de déficit entre l'entrée et le rejet est estimé à 74 % de la biomasse en mai et à 16 % en septembre. En mai ceci correspond à 77 % estimé en poids de carbone et 82 % en poids d'azote.

Impact sur les espèces

Les dinoflagellés noctiluques présentent un déficit de 57 % en mai et 100 % en septembre. Le zooplancton montre un déficit de 64 % en mai et 96 % en septembre.

Contrairement aux autres années les différences entre espèces ne sont pas évidentes. Les organismes mous comme les chaetognathes, les pleurobrachia ou les appendiculaires sont affectés avec des déficits de 100 % au rejet en mai et en septembre. Les crustacés copépodes qui présentaient un impact moindre les années précédentes sont particulièrement impactés en septembre, le pourcentage de déficit étant de 100 % sur *Acartia clausi* et *Paracalanus parvus* mais s'exerce sur une abondance totale moindre qu'en mai.

5.3 CONCLUSION

Les premières observations de l'année 2000 confirment le maintien des espèces sur Gravelines. Les dinoflagellés gardent leur maximum en juillet. Le zooplancton présente un cycle avec une abondance totale qui est assez élevée pendant toute l'année, peut être en relation avec les conditions météorologiques générales, sans contrastes thermiques forts (hiver doux, été normal et automne se prolongeant longtemps avec des températures clémentes).

Les espèces présentent une succession saisonnière normale. L'impact de la centrale est important au rejet pour les 2 missions de mai et de septembre. L'ensemble des espèces est affecté, non seulement pour les espèces fragiles (comme les années précédentes) mais également les crustacés copépodes qui semblaient moins affectés les années précédentes. L'impact est fort au rejet, 100 % pour quelques groupes et espèces. Les abondances redeviennent normales à la limite du panache, au large.

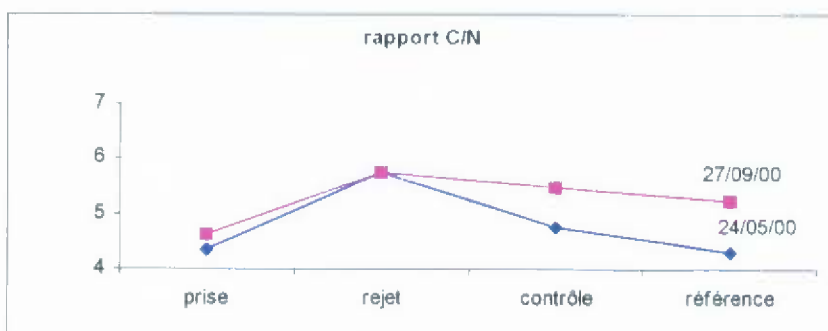
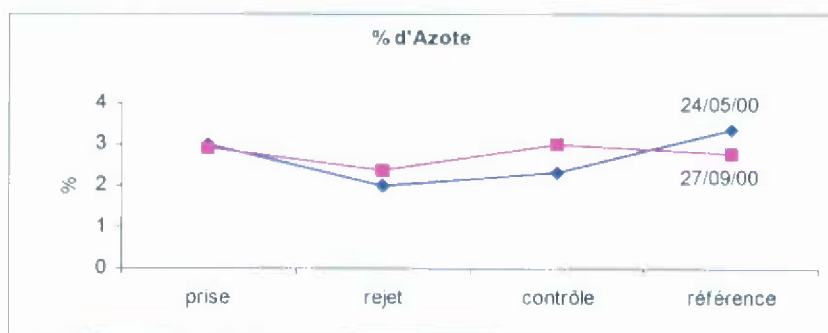
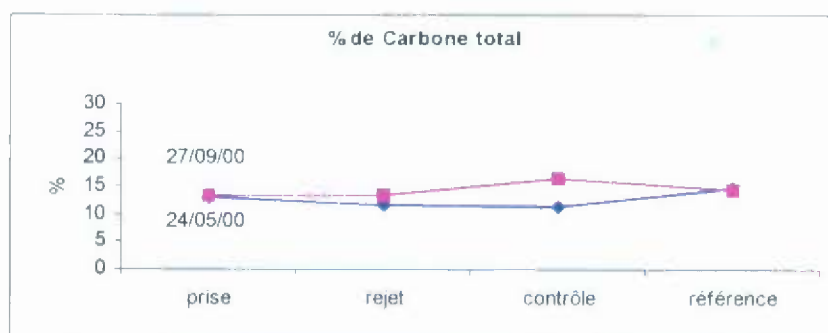
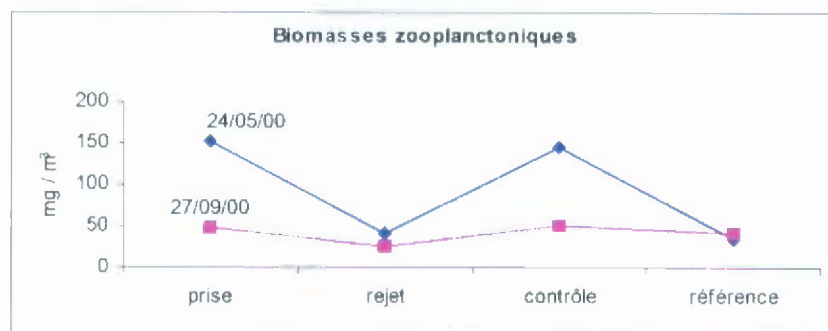


Fig. 5.10. : Variations spatiales

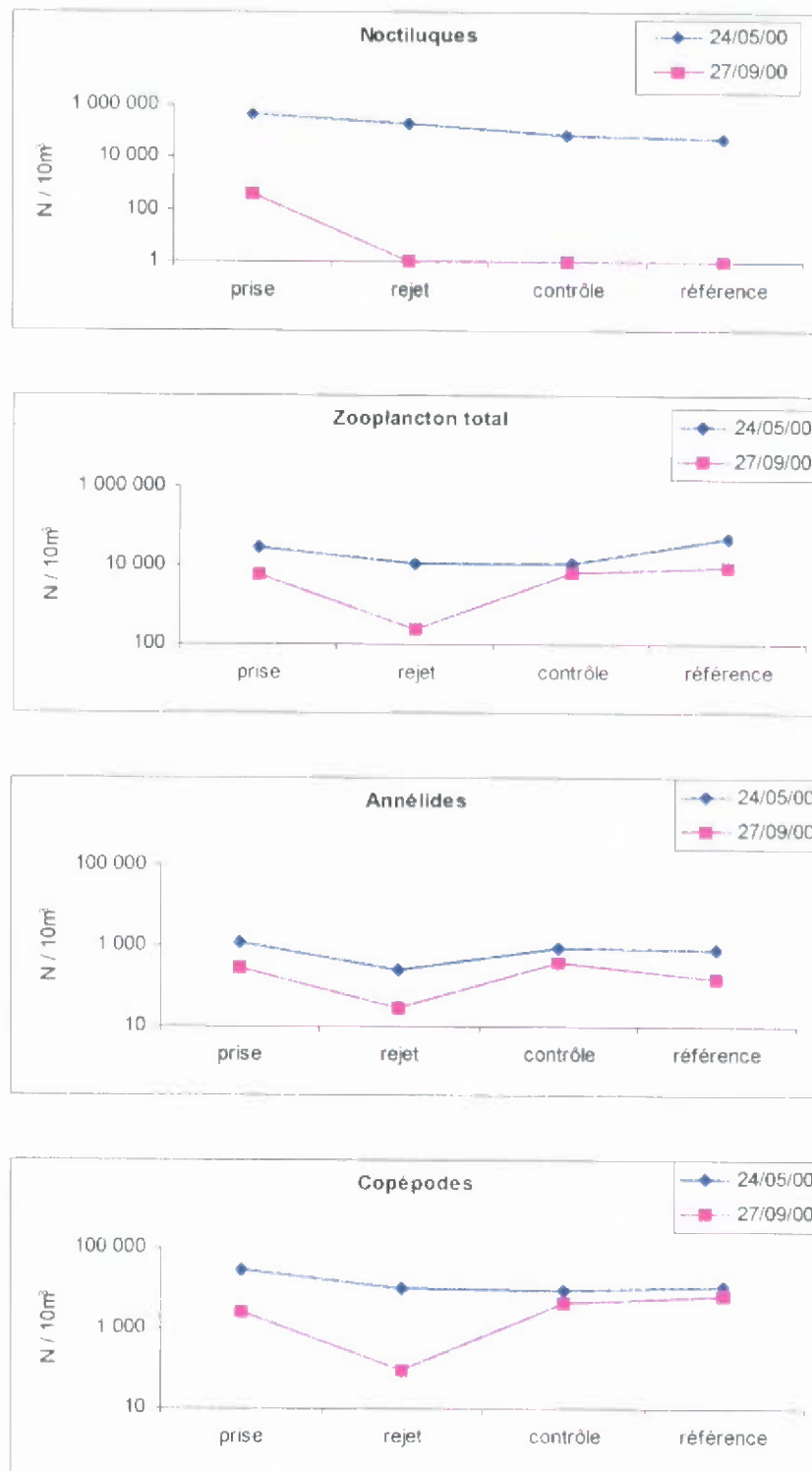


Fig. 5.11. : Variations spatiales

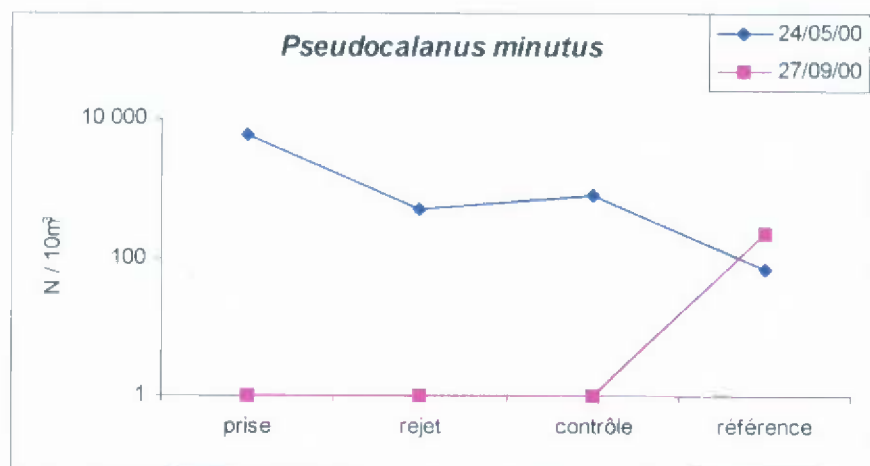
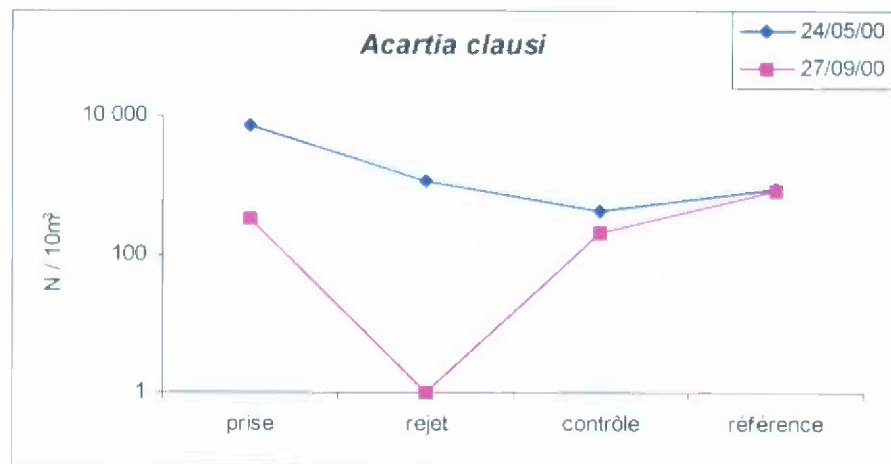
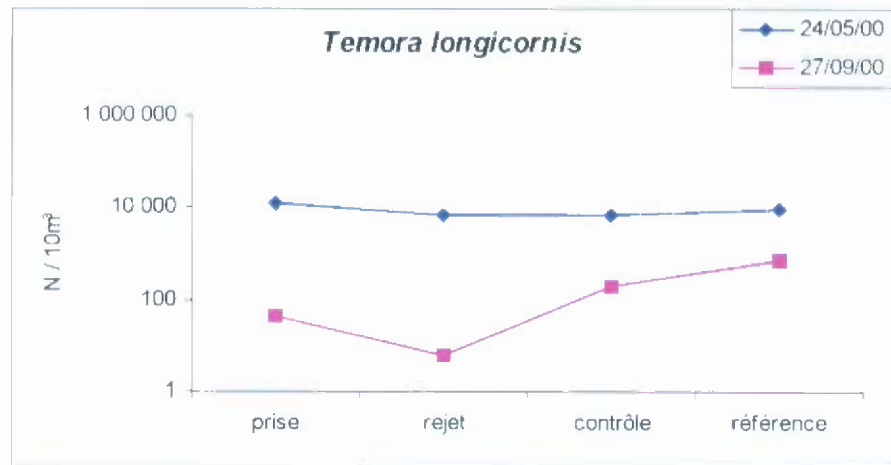


Fig. 5.12. : Variation spatiales

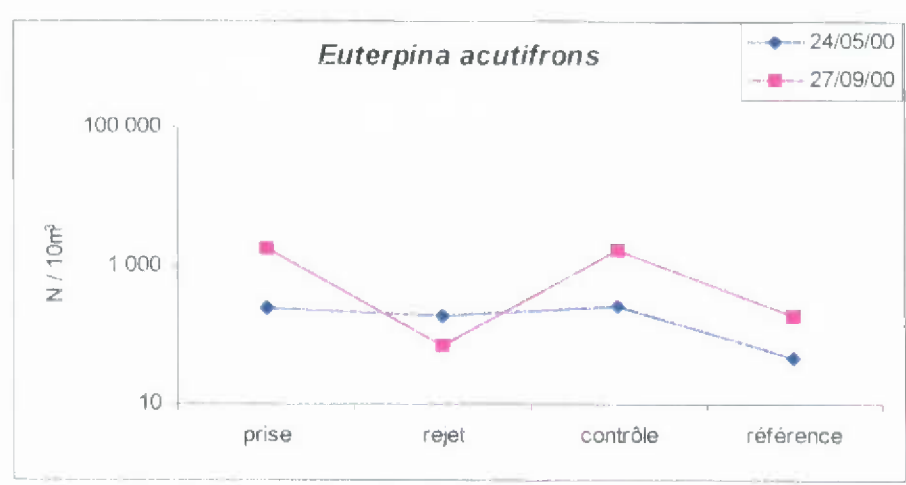
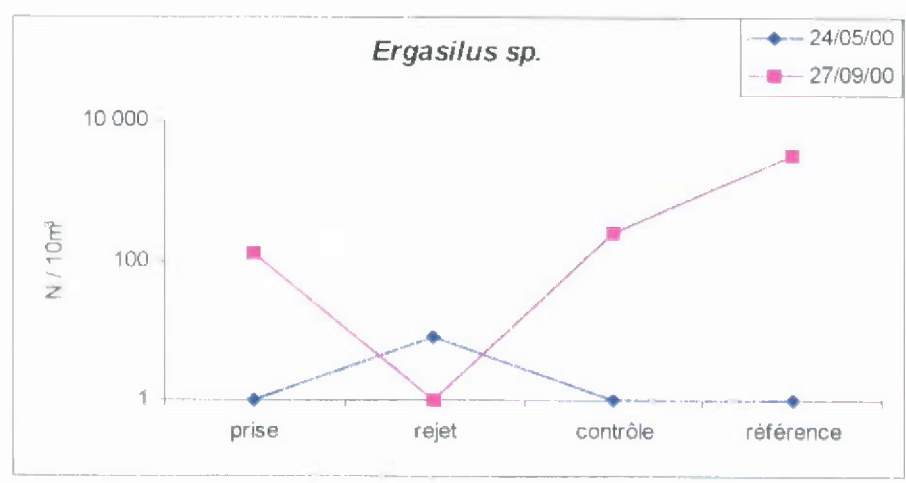
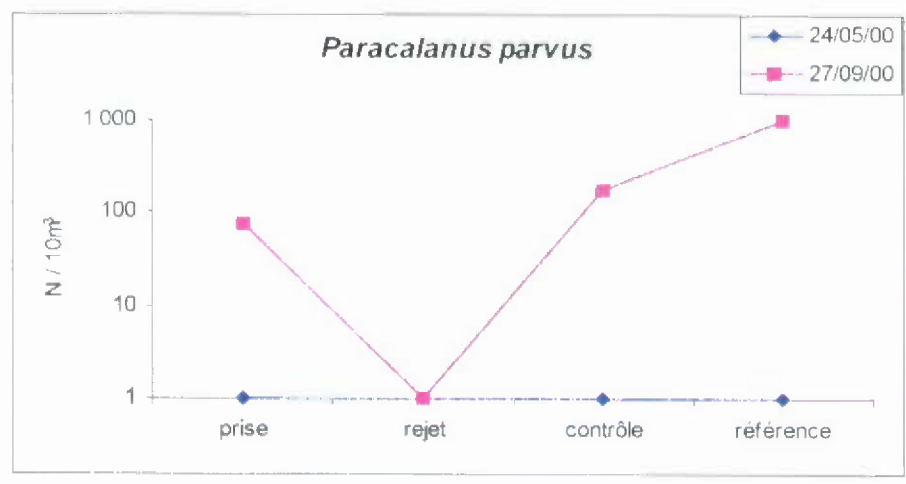


Fig. 5.13. : Variations spatiales

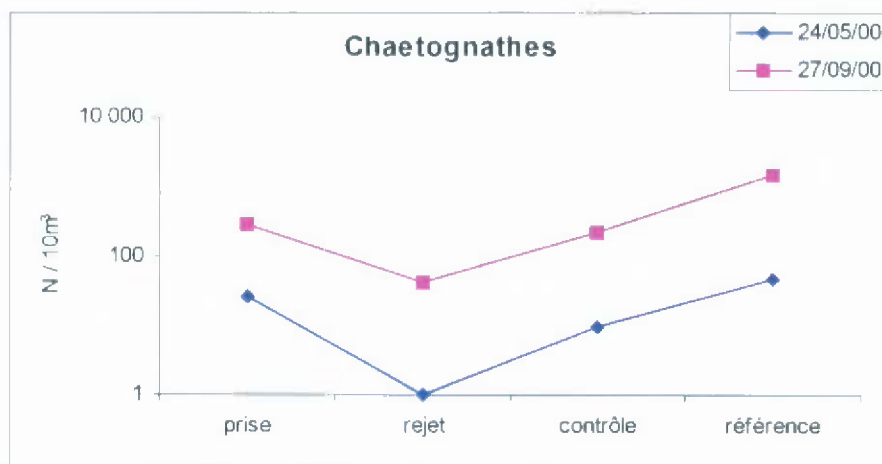
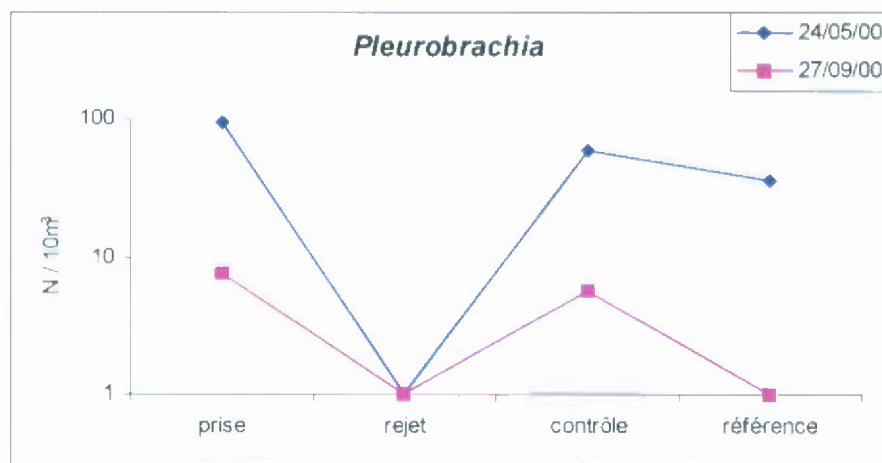
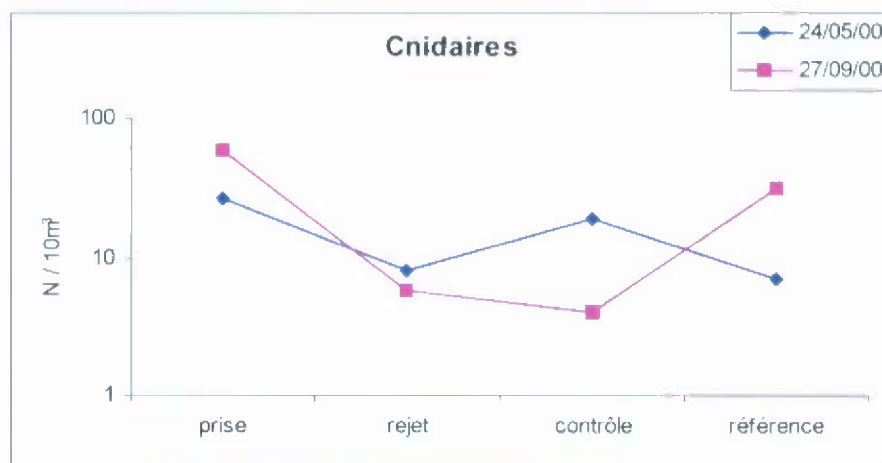


Fig. 5.14. : Variations spatiales

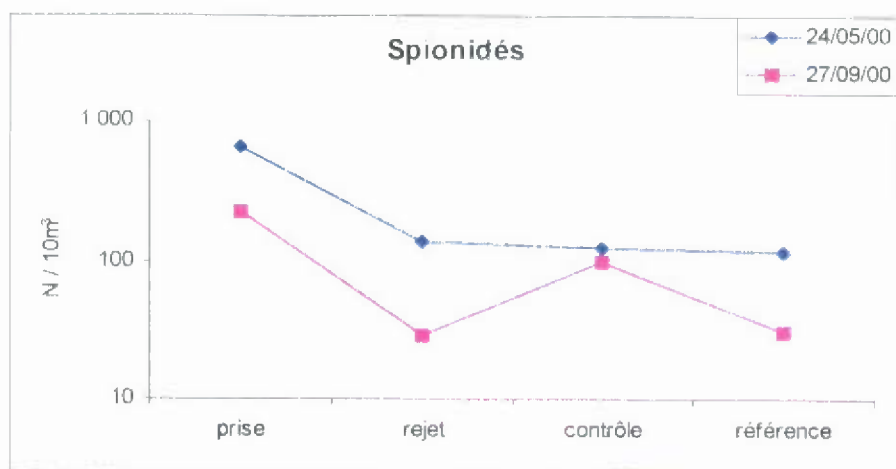
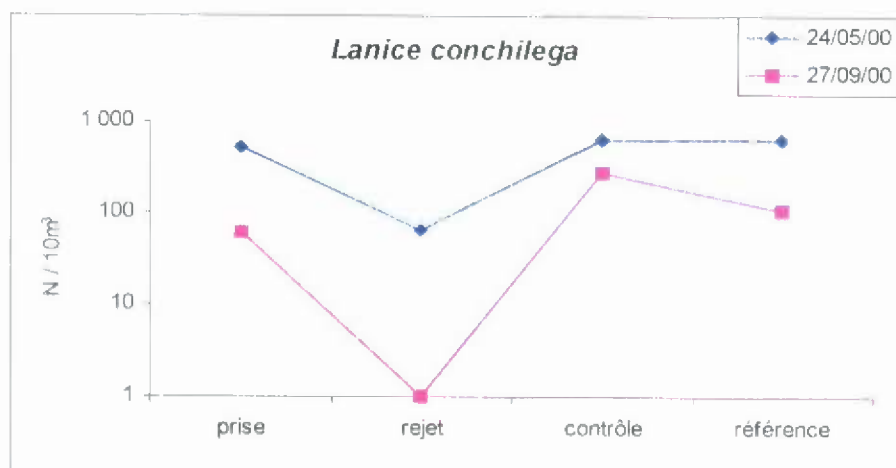
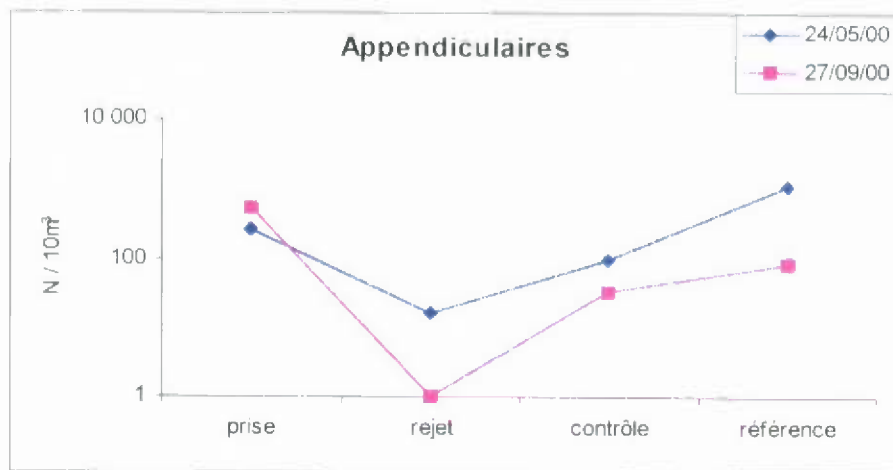


Fig. 5.15. : Variations spatiales

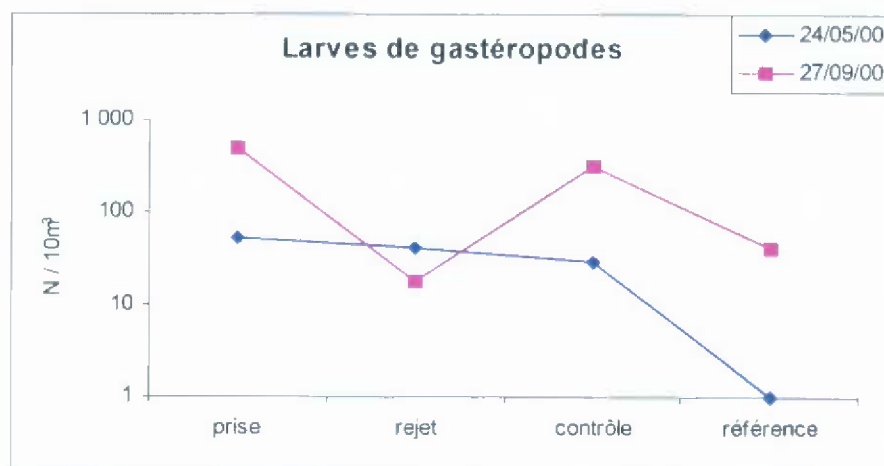
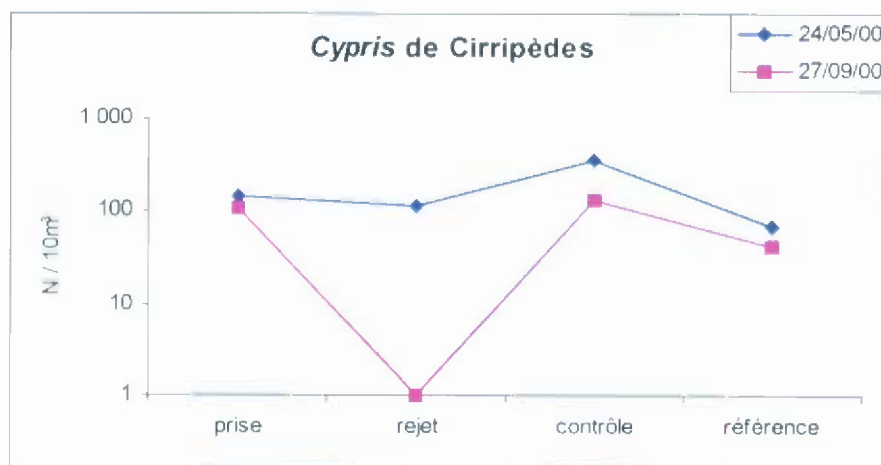
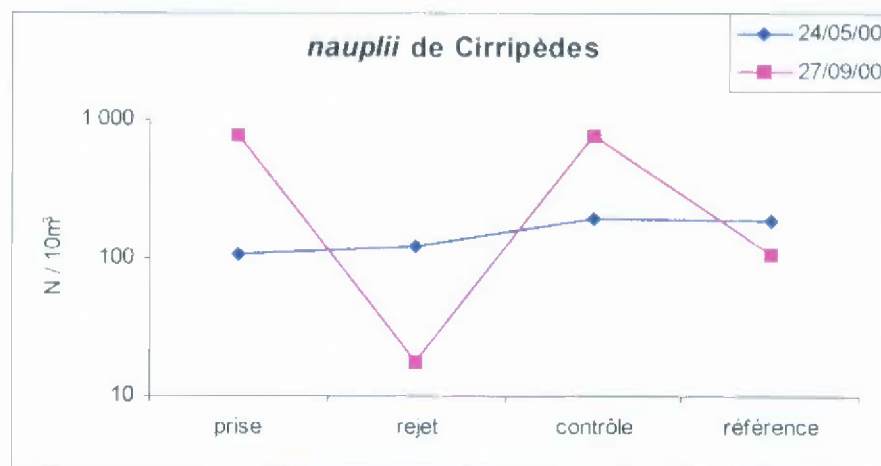


Fig. 5.16. : Variations spatiales

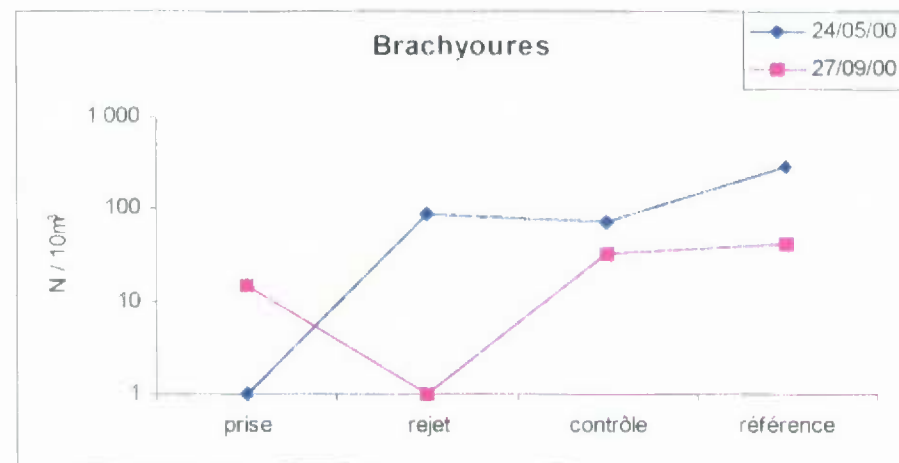
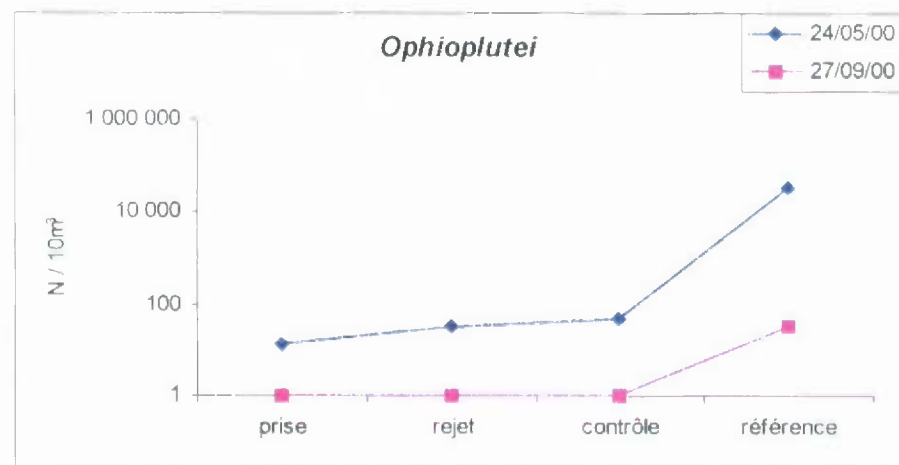
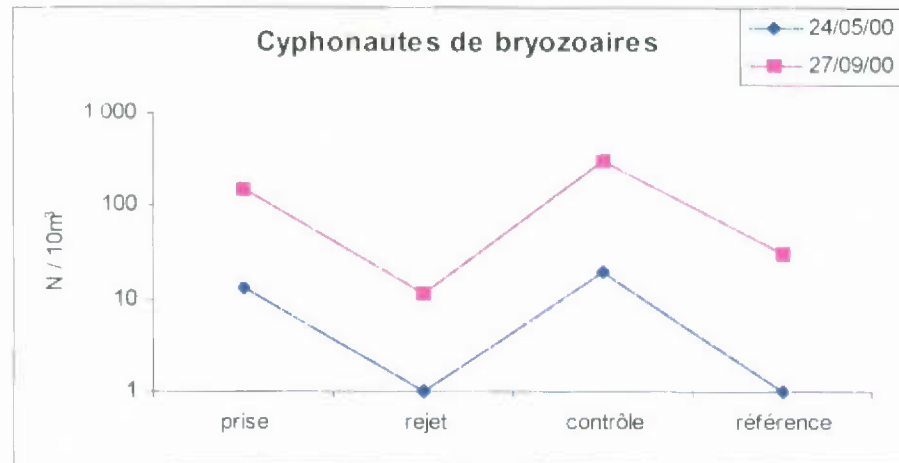


Fig. 5.17. : Variations spatiales

Date	Point numéro	Poids sec (mg/m ³)	Moy Poids sec	Ecart type Poids sec
14/10/99	325	13,21	13,2	
25/11/99	325	24,25	24,3	
06/12/99	325	12,45	12,4	
31/01/00	325	12,23	12,2	
23/02/00	325	3,62	3,6	
09/03/00	325	31,74	31,7	
14/04/00	325	18,99	19,0	
24/05/00	325	158,75	153,3	31,4
	325	97,39		
	325	178,54		
	325	157,48		
	325	142,45		
	325	185,06		
13/06/00	325	27,25	27,3	
30/06/00	325	20,29	20,3	
12/07/00	325	27,35	27,4	
27/07/00	325	31,24	31,2	
07/08/00	325	34,90	34,9	
21/08/00	325	58,44	58,4	
11/09/00	325	76,11	76,1	
27/09/00	325	39,36	47,4	13,6
	325	33,40		
	325	39,87		
	325	44,25		
	325	57,77		
	325	69,53		
10/10/00	325	16,33	16,3	

Date	Point numéro	Poids sec (mg/m ³)	Moy Poids sec	Ecart type Poids sec
24/05/00	327	44,29	40,0	7,1
		31,50		
		46,29		
		31,30		
		46,72		
		40,13		
24/05/00	302	25,37	34,9	9,2
		26,73		
		34,32		
		32,11		
		41,58		
		49,49		
24/05/00	324	125,94	145,0	31,0
		202,73		
		151,17		
		114,39		
		133,45		
		142,52		
27/09/00	327	26,80	23,9	5,4
		22,34		
		31,63		
		15,66		
		25,62		
		21,63		
27/09/00	302	50,16	39,8	7,0
		43,99		
		39,97		
		32,11		
		40,65		
		32,07		
27/09/00	324	103,24	50,2	35,2
		-		
		62,20		
		45,87		
		27,59		
		12,04		

Tabl. 5.1. : Variations saisonnières du poids sec

date	n° point	%C	%C moy	%N	%N moy	C/N	C/N moy	poids C mg/m3	poids C mg/m3 moy	poids N mg/m3	poids N mg/m3 moy
14/10/99	325	14,07	14,07	2,55	2,55	5,52	5,52	1,86	1,86	0,34	0,34
25/11/99	325	11,10	11,10	2,39	2,39	4,64	4,64	2,69	2,69	0,58	0,58
06/12/99	325	12,67	12,67	2,65	2,65	4,78	4,78	1,58	1,58	0,33	0,33
31/01/00	325	4,27	4,27	0,65	0,65	6,57	6,57	0,52	0,52	0,08	0,08
23/02/00	325	15,01	15,01	2,74	2,74	5,48	5,48	0,54	0,54	0,10	0,10
09/03/00	325	12,46	12,46	1,97	1,97	6,32	6,32	3,95	3,95	0,63	0,63
14/04/00	325	13,38	13,38	2,54	2,54	5,27	5,27	2,54	2,54	0,48	0,48
24/05/00	325	8,81	12,86	1,91	2,98	4,61	4,35	13,99	19,42	3,03	4,46
	325	15,38		3,92		3,92		14,98		3,82	
	325	10,28		2,34		4,39		18,35		4,18	
	325	15,69		3,62		4,33		24,71		5,70	
	325	12,92		2,99		4,32		18,40		4,26	
	325	14,10		3,11		4,53		26,09		5,76	
13/06/00	325	18,32	18,32	3,43	3,43	5,34	5,34	4,99	4,99	0,93	0,93
30/06/00	325	8,80	8,80	1,51	1,51	5,83	5,83	1,79	1,79	0,31	0,31
12/07/00	325	10,53	10,53	2,12	2,12	4,97	4,97	2,88	2,88	0,58	0,58
27/07/00	325										
07/08/00	325	21,85	21,85	5,37	5,37	4,07	4,07	7,63	7,63	1,87	1,87
21/08/00	325	17,85	17,85	3,93	3,93	4,54	4,54	10,43	10,43	2,30	2,30
11/09/00	325	16,52	16,52	3,56	3,56	4,64	4,64	12,57	12,57	2,71	2,71
27/09/00	325	13,69	13,32	3,09	2,89	4,43	4,62	5,39	6,27	1,22	1,36
	325	13,66		2,85		4,79		4,56		0,95	
	325	13,29		3,00		4,43		5,30		1,20	
	325	13,02		2,66		4,89		5,76		1,18	
	325	14,00		3,10		4,52		8,09		1,79	
	325	12,23		2,63		4,65		8,50		1,83	
10/10/00	325	14,48	14,48	2,72	2,72	5,32	5,32	2,36	2,36	0,44	0,44
24/05/00	327	12,90	11,51	2,46	2,02	5,24	5,75	5,71	4,53	1,09	0,79
	327	13,32		2,40		5,55		4,20		0,76	
	327	8,74		1,42		6,15		4,05		0,66	
	327	13,06		2,25		5,80		4,09		0,70	
	327	10,88		1,82		5,98		5,08		0,85	
	327	10,14		1,76		5,76		4,07		0,71	
24/05/00	302	14,74	14,59	3,28	3,38	4,49	4,32	3,74	5,04	0,83	1,17
	302	15,81		3,72		4,25		4,23		0,99	
	302	15,86		3,51		4,52		5,44		1,20	
	302	13,46		3,22		4,18		4,32		1,03	
	302	14,68		3,46		4,24		6,10		1,44	
	302	12,98		3,08		4,21		6,42		1,52	
24/05/00	324	9,30	11,14	1,87	2,33	4,97	4,76	11,71	15,84	2,36	3,34
	324	9,59		2,13		4,50		19,44		4,32	
	324	9,12		2,11		4,32		13,79		3,19	
	324	13,85		2,72		5,09		15,84		3,11	
	324	14,86		2,96		5,02		19,83		3,95	
	324	10,13		2,18		4,65		14,44		3,11	
27/09/00	327	13,88	13,37	2,55	2,34	5,44	5,74	3,72	3,21	0,68	0,56
	327	12,39		2,02		6,13		2,77		0,45	
	327	12,36		2,08		5,94		3,91		0,66	
	327	12,95		2,55		5,08		2,03		0,40	
	327	15,86		2,75		5,77		4,06		0,70	
	327	12,79		2,10		6,09		2,77		0,45	
27/09/00	302	13,31	14,47	2,48	2,78	5,37	5,22	6,68	5,73	1,24	1,10
	302	13,94		2,77		5,03		6,13		1,22	
	302	14,20		2,72		5,22		5,68		1,09	
	302	15,67		2,95		5,31		5,03		0,95	
	302	15,34		2,90		5,29		6,24		1,18	
	302	14,37		2,83		5,08		4,61		0,91	
27/09/00	324	20,13	16,25	3,66	2,98	5,50	5,46	20,78	8,74	3,78	1,58
	324										
	324	15,56		2,79		5,58		9,68		1,74	
	324	15,89		2,76		5,76		7,29		1,27	
	324	15,21		2,91		5,23		4,20		0,80	
	324	14,47		2,77		5,22		1,74		0,33	

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

SITE	325	325	325	325	325	325
STATION	14/10/99	25/11/99	06/12/99	31/01/00	23/02/00	09/03/00
DATE	4,4	9,07	6,07	7	3,36	5,87
Volume filtré (m3)	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3
Nature des résultats						
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	2	3	0	0	0	0
TOTAL CNIDAIRES	2	3	0	0	0	0
Pleurobrachia pileus	0	21	2	9	0	5
Beroe sp.	0	4	0	0	0	0
TOTAL CTENAIRES	0	25	2	9	0	5
TOTAL CHAETOGNATHES	198	4	7	7	0	0
Lanice conchilega	102	44	92	26	9	12 266
Spionidae	11	0	0	51	24	443
Annelides ND	0	22	13	6	0	0
TOTAL ANNELIDES	114	66	105	83	33	12 709
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	22	33	1 757	3 571	3 032
Cypris Cirripèdes	34	154	20	0	0	136
TOTAL Larves CIRRIPEDES	364	176	53	1 757	3 571	3 169
AMPHIPODES	0	2	10	4	0	2
ISOPODES (larves microniscus)	34	0	0	1	0	34
CUMACES	0	1	0	9	6	0
Mesopodopsis slabberii	0	3	2	1	6	34
Schistomysis spiritus	0	0	0	0	0	0
Schistomysis kervielli	0	0	0	0	0	0
Mysidacés ND	0	20	7	6	0	9
TOTAL MYSIDACES	0	23	8	7	6	43
Calanus helgolandicus	0	1	0	3	0	0
Paracalanus parvus	170	198	26	49	48	0
Pseudocalanus minutus	0	22	33	120	327	273
Stephos minor	0	0	0	0	0	0
Temora longicornis	114	4 873	283	714	161	2 215
Eurytemora affinis	0	0	0	0	0	0
Metridia lucens	0	0	0	0	0	0
Centropages typicus	11	0	7	0	0	0
Centropages hamatus	45	684	244	26	36	136
Isias clavipes	0	0	0	0	0	0
Candacia armata	0	0	0	0	0	0
Labidocera wollastonii	0	0	0	0	0	0

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

STATION	325	325	325	325	325	325
DATE	14/10/99	25/11/99	06/12/99	31/01/00	23/02/00	09/03/00
Volume filtré (m3)	4.4	9.07	6.07	7	3.36	5.87
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	1 784	1 169	211	89	92	136
Acartia discaudata	0	0	0	0	0	0
Oithona sp.	0	0	0	0	0	0
Oncaea sp.	0	0	0	0	0	0
Euterpina acutifrons	1 477	816	297	17	15	34
Corycaeus sp.	91	44	13	3	0	0
Cyclopina littoralis	0	0	7	3	0	0
Cop. Parasites <i>Ergasilus</i> sp.	57	2 315	112	3	6	0
Cop parasites <i>Monstrillidae</i>	0	0	7	0	0	0
Cop. Parasites <i>Caligidae</i>	11	0	0	0	0	0
Cop parasites <i>Lerneocera</i> sp.	0	0	0	3	0	0
Cyclopoïdes ND	0	0	7	0	0	0
Harpacticoides ND	0	0	0	11	3	0
Nauplii copépodes	45	0	13	0	9	0
TOTAL COPEPODES	3 807	10 122	1 259	1 040	696	2 794
EUPHAUSIACES	0	0	0	0	0	0
Larves NATANTIA (Caridea)	5	0	0	0	0	0
Larves THALASSINIDEA	0	0	0	0	0	0
Larves de Porcellanidae	0	0	0	0	0	0
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
TOTAL L. d' ANOMOURES	0	0	0	0	0	0
Zoe de Brachyours	9	0	0	3	27	63
Mégalopes de Brachyours	0	0	0	0	0	0
TOTAL L. de BRACHYOURES	9	0	0	3	27	63
Larves GASTROPODES	34	22	0	34	0	0
Larves BIVALVES	68	44	66	6	0	0
TOTAL L. de MOLLUSQUES	102	66	66	40	0	0
Cyphonautes BRYOZOAIRES	420	198	349	211	12	0
Ophiopluteus	148	66	0	0	0	0
Echinopluteus	0	0	0	0	0	0
TOTAL L. d'ECHINODERMES	148	66	0	0	0	0
Oikopleura sp.	34	66	66	14	3	102
Fritillaria borealis	0	0	0	0	0	0
Appendiculaires ND	0	0	0	0	0	0
TOTAL APPENDICULAIRES	34	66	66	14	3	102
Têtards d'Ascidies	23	0	0	0	0	0
Téléostéens (Œufs)	0	0	0	0	3	3
Téléostéens (Alevins et larves)	0	0	0	0	0	2
TOTAL ZOOPLANCTON	5 259	10 821	1 924	3 186	4 357	18 925
Noctiluca scintillans	0	27 122	11 598	0	0	0

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

SITE	325	325	325	325	325	325
STATION						
DATE	14/04/00	24/05/00	13/06/00	30/06/00	12/07/00	27/07/00
Volume filtré (m3)	1,85	0,76	1,71	2,01	1,83	0,75
Nature des résultats	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3
Obelia sp.	0	0	18	0	11	27
Hybocodon prolifer	0	0	0	0	0	0
Eucheilota maculata	0	0	0	0	0	53
Clytia hemispherica	0	0	0	0	0	0
Cnidaires ND	22	26	47	0	11	53
TOTAL CNIDAIRES	22	26	64	0	22	133
Pleurobrachia pileus	5	92	70	0	0	0
Beroe sp.	0	66	0	0	0	0
TOTAL CTENAIRES	5	158	70	0	0	0
TOTAL CHAETOGNATHES	0	26	0	10	0	213
Lanice conchilega	541	526	292	0	0	240
Spionidae	346	645	713	109	98	293
Annélides ND	119	26	187	20	11	107
TOTAL ANNELIDES	1 005	1 197	1 193	129	109	640
Daphnia sp.	0	0	0	0	0	0
Bosmina sp.	0	0	0	0	0	0
Podon sp.	0	0	0	0	0	53
Evadne sp.	0	0	0	0	0	0
TOTAL CLADOCERES	0	0	0	0	0	53
Nauplii Cirripèdes	22	105	246	20	240	667
Cypris Cirripèdes	314	145	164	10	33	187
TOTAL Larves CIRRIPEDES	335	250	409	30	273	853
AMPHIPODES	0	92	12	10	0	0
ISOPODES (larves microniscus)	0	26	23	0	5	53
CUMACES	0	145	35	10	11	80
Mesopodopsis slabberii	0	0	12	0	0	0
Schistomysis spiritus	0	0	0	0	0	0
Schistomysis kervielli	0	0	0	0	0	0
Mysidacés ND	0	79	6	0	0	0
TOTAL MYSIDACES	0	79	18	0	0	0
Calanus helgolandicus	0	13	0	0	5	0
Paracalanus parvus	195	0	0	20	0	53
Pseudocalanus minutus	32	5 987	1 018	50	317	2 027
Stephos minor	0	0	0	0	0	0
Temora longicornis	5 081	13 158	10 058	2 687	1 945	9 600
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	530	276	374	388	798	5 120
Isias clavipes	0	0	0	0	0	0
Candacia armata	0	0	0	0	0	0
Labidocera wollastonii	0	0	0	0	0	0

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

STATION	325	325	325	325	325	325
DATE	14/04/00	24/05/00	13/06/00	30/06/00	12/07/00	27/07/00
Volume filtré (m3)	1,85	0,76	1,71	2,01	1,83	0,75
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	357	7 368	4 678	1 602	6 230	17 387
Acartia discaudata	0	0	0	0	0	0
Oithona sp.	0	0	0	0	0	0
Oncaea sp.	0	0	0	0	0	0
Euterpina acutifrons	86	237	702	308	251	5 120
Corycaeus sp.	0	0	0	0	0	0
Cyclopina littoralis	54	211	105	0	11	187
Cop. Parasites Ergasilus sp.	0	0	47	0	11	80
Cop parasites Monstrillidae	0	0	0	0	0	0
Cop. Parasites Caligidæ	0	0	0	0	0	0
Cop parasites Lerneocera sp.	0	0	0	0	11	0
Cyclopoïdes ND	0	0	12	0	0	53
Harpacticoides ND	11	79	58	10	22	0
Nauplii copépodes	0	66	0	100	98	320
TOTAL COPEPODES	6 346	27 395	17 053	5 164	9 699	39 947
EUPHAUSIACES	0	0	0	0	0	0
Larves NATANTIA (Caridea)	0	0	12	0	0	53
Larves THALASSINIDEA	0	0	0	0	0	0
Larves de Porcellanidae	0	0	0	5	0	13
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
TOTAL L. d' ANOMOURES	0	0	0	5	0	13
Zoe de Brachyours	11	0	29	20	11	67
Mégalopes de Brachyours	0	0	0	0	0	0
TOTAL L. de BRACHYOURES	11	0	29	20	11	67
Larves GASTROPODES	0	53	164	20	66	187
Larves BIVALVES	0	13	47	119	66	80
TOTAL L. de MOLLUSQUES	0	66	211	139	131	267
Cyphonautes BRYOZOAIREs	162	13	58	30	0	27
Ophiopluteus	11	13	12	10	22	107
Echinopluteus	0	0	0	0	0	0
TOTAL L. d'ECHINODERMES	11	13	12	10	22	107
Oikopleura sp.	59	263	561	378	87	480
Fritillaria borealis	0	0	0	0	0	0
Appendiculaires ND	0	0	0	0	0	0
TOTAL APPENDICULAIRES	59	263	561	378	87	480
Têtards d'Ascidies	0	0	12	0	0	0
Téléostéens (Œufs)	11	13	12	0	0	0
Téléostéens (Alevins et larves)	0	0	6	20	5	0
TOTAL ZOOPLANCTON	7 968	29 763	19 789	5 955	10 377	42 987
Noctiluca scintillans	161 081	465 789	108 187	322 388	168 306	2 266 667

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

SITE	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES
STATION	325	325	325	325	325
DATE	07/08/00	21/08/00	11/09/00	27/09/00	10/10/00
Volume filtré (m3)	1,71	3,87	1,94	1,34	6,32
Nature des résultats	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3
Obelia sp.	23	0	0	0	0
Hybocodon prolifer	0	0	0	0	0
Eucheilota maculata	12	93	144	30	28
Clytia hemispherica	23	0	0	0	0
Cnidaires ND	117	21	0	30	2
TOTAL CNIDAIRES	175	114	144	60	30
Pleurobrachia pileus	12	80	5	7	0
Beroe sp.	0	0	0	0	0
TOTAL CTENAIRES	12	80	5	7	0
TOTAL CHAETOGNATHES	170	351	330	284	114
Lanice conchilega	70	21	41	60	114
Spionidae	327	165	907	224	203
Annélides ND	47	0	41	7	0
TOTAL ANNELIDES	444	186	990	291	316
Daphnia sp.	0	0	0	0	0
Bosmina sp	0	0	0	0	0
Podon sp.	187	145	0	0	0
Evadne sp.	23	0	0	0	0
TOTAL CLADOCERES	211	145	0	0	0
Nauplii Cirripèdes	1 871	1 261	2 392	776	734
Cypris Cirripèdes	234	41	82	104	152
TOTAL Larves CIRRIPEDES	2 105	1 302	2 474	881	886
AMPHIPODES	47	5	5	7	8
ISOPODES (larves microniscus)	0	0	0	224	63
CUMACES	398	0	0	15	0
Mesopodopsis slabberii	0	31	5	0	28
Schistomysis spiritus	0	0	0	0	0
Schistomysis kervielli	0	0	0	0	0
Mysidacés ND	0	3	10	15	14
TOTAL MYSIDACES	0	34	15	15	43
Calanus helgolandicus	0	41	0	0	3
Paracalanus parvus	1 988	351	1 155	75	152
Pseudocalanus minutus	468	21	0	0	13
Stephos minor	0	0	0	0	0
Temora longicornis	5 146	5 478	2 062	45	354
Eurytemora affinis	0	0	0	0	0
Metridia lucens	0	0	0	0	0
Centropages typicus	0	0	0	0	0
Centropages hamatus	4 912	599	206	0	38
Isias clavipes	0	0	0	0	0
Candacia armata	0	0	0	0	0
Labidocera wollastonii	0	0	41	0	0

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

STATION	325	325	325	325	325
DATE	07/08/00	21/08/00	11/09/00	27/09/00	10/10/00
Volume filtré (m ³)	1,71	3,87	1,94	1,34	6,32
Nature des résultats	N/10 m ³	N/10 m ³	N/10 m ³	N/10 m ³	N/10 m ³
Parapontella brevicornis	0	0	0	0	0
Acartia clausi	15 088	13 850	5 979	328	608
Acartia discaudata	0	0	0	0	0
Oithona sp.	0	0	0	0	0
Oncaea sp.	0	0	0	0	0
Euterpina acutifrons	8 889	12 093	19 381	1 701	3 228
Corycaeus sp.	0	0	330	0	13
Cyclopina littoralis	749	41	41	45	38
Cop. Parasites <i>Ergasilus</i> sp.	281	889	1 072	134	127
Cop parasites <i>Monstrillidae</i>	0	0	5	0	0
Cop. Parasites <i>Caligidae</i>	0	0	0	0	0
Cop parasites <i>Lerneocera</i> sp.	47	0	0	0	0
Cyclopoïdes ND	0	103	0	0	0
Harpacticoides ND	23	0	0	0	13
Nauplii copépodes	398	248	1 691	149	38
TOTAL COPEPODES	37 988	33 716	31 964	2 478	4 623
EUPHAUSIACES	0	0	0	0	0
Larves NATANTIA (Caridea)	35	10	0	15	0
Larves THALASSINIDEA	23	0	0	0	2
Larves de Porcellanidae	12	3	5	0	0
Larves de Paguridae	0	3	5	0	0
Larves de Diogeneidae	0	0	0	0	0
Larves de Galatheidae	0	0	0	0	0
L. Anomoures ND	0	0	0	0	0
TOTAL L. d' ANOMOURES	12	5	10	0	0
Zoe de Brachyours	18	5	41	15	3
Mégaloopes de Brachyours	6	3	0	0	0
TOTAL L. de BRACHYOURES	23	8	41	15	3
Larves GASTROPODES	94	475	330	507	139
Larves BIVALVES	140	83	41	15	38
TOTAL L. de MOLLUSQUES	234	558	371	522	177
Cyphonautes BRYOZOAIRES	23	83	1 072	149	304
Ophiopluteus	0	0	412	0	38
Echinopluteus	0	0	0	75	0
TOTAL L. d'ECHINODERMES	0	0	412	75	38
Oikopleura sp.	1 591	413	124	537	291
Fritillaria borealis	0	0	0	0	0
Appendiculaires ND	0	0	0	0	0
TOTAL APPENDICULAIRES	1 591	413	124	537	291
Tétards d'Ascidiés	70	0	206	0	63
Téléostéens (Œufs)	0	0	0	0	0
Téléostéens (Alevins et larves)	6	0	0	0	0
TOTAL ZOOPLANCTON	43 567	37 010	38 165	5 575	6 962
Noctiluca scintillans	191 813	0	0	396	0

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

SITE	327	324	302	327	324	302
STATION						
DATE	24/05/00	24/05/00	24/05/00	27/09/00	27/09/00	27/09/00
Volume filtré (m3)	2,46	4,14	8,57	1,71	12,31	15,37
Nature des résultats	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3
Obelia sp.	0	0	0	0	0	0
Hybocodon prolifer	0	10	0	0	0	0
Eucheilota maculata	0	0	0	6	4	31
Clytia hemispherica	0	0	0	0	0	0
Cnidaires ND	8	10	7	0	0	0
TOTAL CNIDAIRES	8	19	7	6	4	31
Pleurobrachia pileus	0	58	36	0	6	0
Beroe sp.	0	14	2	0	0	0
TOTAL CTENAIRES	0	72	39	0	6	0
TOTAL CHAETOGNATHES	0	10	47	41	211	1 483
Lanice conchilega	65	628	630	0	276	104
Spionidae	138	126	117	29	97	31
Annélides ND	41	126	70	0	0	21
TOTAL ANNELIDES	244	879	817	29	374	156
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	122	193	187	18	780	104
Cypris Cirripèdes	114	357	70	0	130	42
TOTAL Larves CIRRIPEDES	236	551	257	18	910	146
AMPHIPODES	57	39	23	12	65	83
ISOPODES (larves microniscus)	0	0	0	18	49	31
CUMACES	163	68	0	0	32	52
Mesopodopsis slabberii	4	0	0	0	2	0
Schistomysis spiritus	0	0	0	0	0	0
Schistomysis kervielli	0	0	0	0	0	0
Mysidacés ND	0	7	2	0	2	0
TOTAL MYSIDACES	4	7	2	0	4	0
Calanus helgolandicus	8	0	23	0	0	0
Paracalanus parvus	0	0	0	0	179	999
Pseudocalanus minutus	504	812	70	0	0	229
Stephos minor	0	0	0	0	0	0
Temora longicornis	7 236	7 005	9 802	6	195	677
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	309	174	583	0	32	0
Isias clavipes	0	0	23	0	0	0
Candacia armata	0	0	0	0	0	0
Labidocera wollastonii	0	0	0	0	0	0

Tabl. 5.4. : Abondances des espèces zooplanktoniques.
Points rejet, contrôle et référence

STATION	327	324	302	327	324	302
DATE	24/05/00	24/05/00	24/05/00	27/09/00	27/09/00	27/09/00
Volume filtré (m3)	2,46	4,14	8,57	1,71	12,31	15,37
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	23	0	0	0
Acartia clausi	1 122	406	863	0	195	812
Acartia discaudata	0	0	0	0	0	0
Oithona sp.	0	0	0	0	260	0
Oncaea sp.	0	0	0	0	0	0
Euterpina acutifrons	187	261	47	70	1 625	187
Corycaeus sp.	0	0	0	0	65	83
Cyclopina littoralis	203	213	163	0	1 430	156
Cop. Parasites <i>Ergasilus</i> sp.	8	0	0	0	244	3 279
Cop parasites <i>Monstrillidae</i>	0	0	0	0	0	0
Cop. Parasites <i>Caligidae</i>	0	0	0	0	0	0
Cop parasites <i>Lerneocera</i> sp.	0	0	0	0	0	0
Cyclopoides ND	0	10	47	0	65	31
Harpacticoides ND	73	29	47	0	32	42
Nauplii copépodes	8	0	0	18	0	62
TOTAL COPEPODES	9 659	8 908	11 692	94	4 322	6 558
EUPHAUSIACES	0	0	0	0	0	0
Larves NATANTIA (Caridea)	16	0	5	0	0	21
Larves THALASSINIDEA	0	0	0	0	1	125
Larves de Porcellanidae	8	2	4	0	16	0
Larves de Paguridae	0	0	0	0	0	73
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
TOTAL L. d' ANOMOURES	8	2	4	0	16	73
Zoe de Brachyours	89	68	280	0	32	42
Mégalopes de Brachyours	0	2	2	0	0	0
TOTAL L. de BRACHYOURES	89	70	282	0	32	42
Larves GASTROPODES	41	29	0	18	325	42
Larves BIVALVES	16	0	0	0	130	21
TOTAL L. de MOLLUSQUES	57	29	0	18	455	62
Cyphonautes BRYOZOAIREs	0	19	0	12	309	31
Ophiopluteus	33	48	35 706	0	0	31
Echinopluteus	0	0	0	0	0	0
TOTAL L. d'ECHINODERMES	33	48	35 706	0	0	31
Oikopleura sp.	16	97	1 120	0	32	83
Fritillaria borealis	0	0	0	0	0	0
Appendiculaires ND	0	0	0	0	0	0
TOTAL APPENDICULAIRES	16	97	1 120	0	32	83
Tétards d'Ascidies	0	0	0	0	0	0
Téléostéens (Œufs)	4	12	14	0	0	0
Téléostéens (Alevins et larves)	0	5	5	0	0	0
TOTAL ZOOPLANCTON	10 593	10 836	50 019	246	6 822	9 010
Noctiluca scintillans	199 187	70 048	55 426	0	0	0

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

<i>Pleurobrachia pileus</i> (abondance par 10 m ³)							
date	maille µm	Entrée 325	Rejet 327	Côte 313	Contrôle 324	Réf. 302	Réf. 318
14/10/99	200	0					
25/11/99	200	21					
06/12/99	200	2					
31/01/00	200	9					
23/02/00	200	0					
09/03/00	200	5					
14/04/00	200	5					
27/04/00	500			39	37		269
09/05/00	500	5					
24/05/00	200	92	0		58	36	
30/05/00	500			12	5		0
13/06/00	200	70					
15/06/00	500	57					
30/06/00	200	0					
12/07/00	200	0					
27/07/00	200	0					
07/08/00	200	12					
21/08/00	200	80					
11/09/00	200	5					
27/09/00	200	7	0		6	0	
10/10/00	200	0					

Tabl. 5.5. : Abondance des cténaïres *Pleurobrachia*

<i>Beroe</i> sp. (abondance par 10 m ³)							
date	maille µm	Entrée 325	Rejet 327	Côte 313	Contrôle 324	Réf. 302	Réf. 318
14/10/99	200	0					
25/11/99	200	4					
06/12/99	200	0					
31/01/00	200	0					
23/02/00	200	0					
09/03/00	200	0					
14/04/00	200	0					
24/05/00	200	66	0		14	2	
30/05/00	500			0	3		
13/06/00	200	0					
15/06/00	500	2					
30/06/00	200	0					
12/07/00	200	0					
27/07/00	200	0					
07/08/00	200	0					
21/08/00	200	0					
11/09/00	200	0					
27/09/00	200	0	0		0	0	
10/10/00	200	0					

Tabl. 5.6. : Abondance des cténaïres *Beroe*

6. ZOOPLANCTON HALIEUTIQUE

Auteur : Daniel WOEHLING

Collaborateurs : Jean-Paul DELPECH, Yves VÉRIN, 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 mesures de température et salinité sont réalisées au moyen d'une sonde *Valeport* à lecture directe.

Les prélèvements de zooplancton sont effectués à l'échantillonneur *Bongo* grand modèle (61 cm de diamètre d'embouchure) muni de deux filets de maillage 0,5 mm dont les pêches sont mélangées (sauf pour le point 325 à l'entrée du canal d'aménée où l'armature ne comporte qu'un seul filet). Deux repliquats sont réalisés en chaque point. Les volumes filtrés sont calculés à partir des indications de flux-mètres *General Oceanics* situés à l'entrée des filets.

6.2.2 Localisation des points de prélèvement

Les prélèvements sont 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'aménée (pont enjambant le canal de prise).

6.2.3 Chronologie (tableau 6.1)

Il est prévu quatre campagnes chaque année, dont deux campagnes en mer alternant avec deux autres campagnes au canal d'aménée, dans un intervalle allant grossièrement d'avril à juin, afin de couvrir la période de reproduction de la sole et du sprat.

En 2000, ces quatre campagnes (deux campagnes en mer et deux campagnes au canal d'aménée) ont été réalisées du 27 avril au 15 juin. Les contraintes météorologiques n'ont pas permis de réaliser la campagne en mer plus tôt comme il avait été envisagé.

Cette chronologie, ainsi que les principales caractéristiques des campagnes, figurent dans le tableau 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 ³)
203	27 avril	7 h 3	32	313	10.25	1	6 h 14	2	5.82
					2	6 h 21	4	11.44	
				324	9.99	1	6 h 40	6	34.26
					2	6 h 50	6	29.75	
				318	9.75	1	7 h 15	6	37.37
					2	7 h 25	6	35.29	
204	9 mai	16 h 45	74	325	11.96	1	10 h 28	12	108.00
205	30 mai	10 h 10	69	313	13.75	1	8 h 50	6	260.92
					2	8 h 59	6	195.94	
				324	13.75	1	9 h 16	6	228.47
					2	9 h 24	7	205.20	
				318	12.90	1	9 h 48	7	232.85
					2	9 h 58	7	243.37	
206	15 juin	11 h 53	73	325	16.25	1	16 h 3	15	123.60
					2	16 h 22	15	155.23	

Tabl. 6.1. Caractéristiques principales des campagnes de prélèvement de zooplancton halieutique sur le site de Gravelines en 2000

6.3. RESULTATS

6.3.1 La Sole *Solea vulgaris* Quensel (tableau 6.2 et figures 6.1 et 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 les densités anormalement faibles observées en 1999, on retrouve en 2000 des effectifs reflétant la moyenne du site (fig. 6.1 et 6.2), de 30 à 50 œufs par 10 m³. Étant donné les effectifs importants enregistrés lors de la première campagne et de leur décroissance ultérieure, il est probable que celle-ci se situe au voisinage du pic de ponte, voire peu après le maximum comme l'indiquent les effectifs de larves (voir ci-dessous). Compte tenu des températures printanières (environ 10° C fin avril), l'année 2000 apparaît comme une année normale, alors que les deux précédentes pouvaient être qualifiées de « chaudes » et précoces.

La décroissance des effectifs d'œufs du point côtier 313 au point 318 du large est conforme au gradient général vers la côte, habituel pour cette espèce à ponte côtière (du moins pour les populations septentrionales) en début de saison (fig. 6.4), alors qu'il s'inverse généralement à la fin. Indice d'une proximité de la ponte, la proportion des stades précoces (stade I, œufs à embryon non encore développé) est généralement plus élevée au point côtier en début de saison de reproduction, l'inversion du gradient se produisant par la suite. En 2000, elle est cependant légèrement plus importante au point du large dès la première campagne, sans doute déjà tardive. L'interprétation des distributions spatiales est malgré tout délicate, d'une part en raison des températures plus faibles au large qui prolongent la durée des stades jeunes, et d'autre part en raison de l'alimentation du site en œufs produits sur les aires de ponte limitrophes.

Larves

Comme en 1997, 1998 et 1999, les larves apparaissent dès la première campagne d'avril, confirmant la précocité de la ponte (leur maximum d'abondance est en principe décalé par rapport à celui des œufs). On retrouve en 2000 des densités normales de quelques unités par 10 m³ (fig. 6.3 et tabl. 6.2), dépassant même à la côte les effectifs les plus élevés jamais observés (14 par 10 m³) si l'on excepte les 27 par 10 m³ enregistrés en 1997. Le gradient d'abondance vers la côte, comme en 1999, est net (fig. 6.5).

GRAVELINES : SOLE œufs et larves (moyennes par campagne)

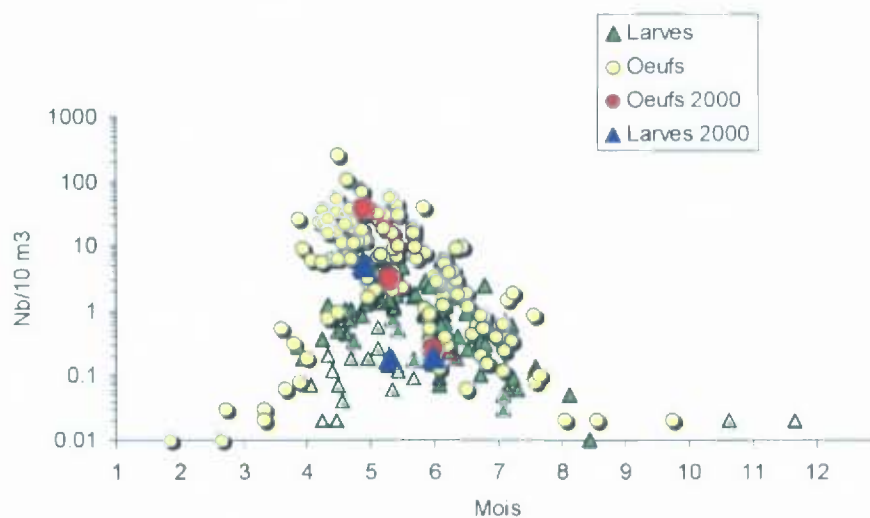


Fig. 6.1. Variations saisonnières d'abondance des œufs et larves de sole à Gravelines de 1975 à 2000

Date	Point	Répliquât	Total œufs	Œufs stade 1	Œufs stade 2	Larves
27 avril	313	1	60.14	32.65	27.49	5.16
		2	64.67	36.71	27.97	22.72
		Moyenne	62.41	34.68	27.73	13.94
	324	1	22.18	13.43	8.76	0.58
		2	37.98	24.20	13.78	2.35
		Moyenne	30.08	18.82	11.27	1.47
318	1	20.87	17.66	3.21	0.54	
	2	24.93	19.27	5.67	0.00	
	Moyenne	22.90	18.47	4.44	0.27	
9 mai	325	1	3.15	2.59	0.56	0.19
30 mai	313	1	0.04	0.00	0.04	0.04
		2	0.15	0.15	0.00	0.05
		Moyenne	0.10	0.08	0.02	0.05
	324	1	0.44	0.04	0.39	0.13
		2	0.00	0.00	0.00	0.00
		Moyenne	0.22	0.02	0.20	0.07
318	1	0.52	0.34	0.17	0.17	
	2	0.33	0.33	0.00	0.82	
	Moyenne	0.43	0.34	0.09	0.50	
15 juin	325	1	0.00	0.00	0.00	0.00
		2	0.00	0.00	0.00	0.13
		Moyenne	0.00	0.00	0.00	0.07

Tabl. 6.2. Densités d'œufs et de larves de sole à Gravelines en 2000 (en nombre par 10 m³)

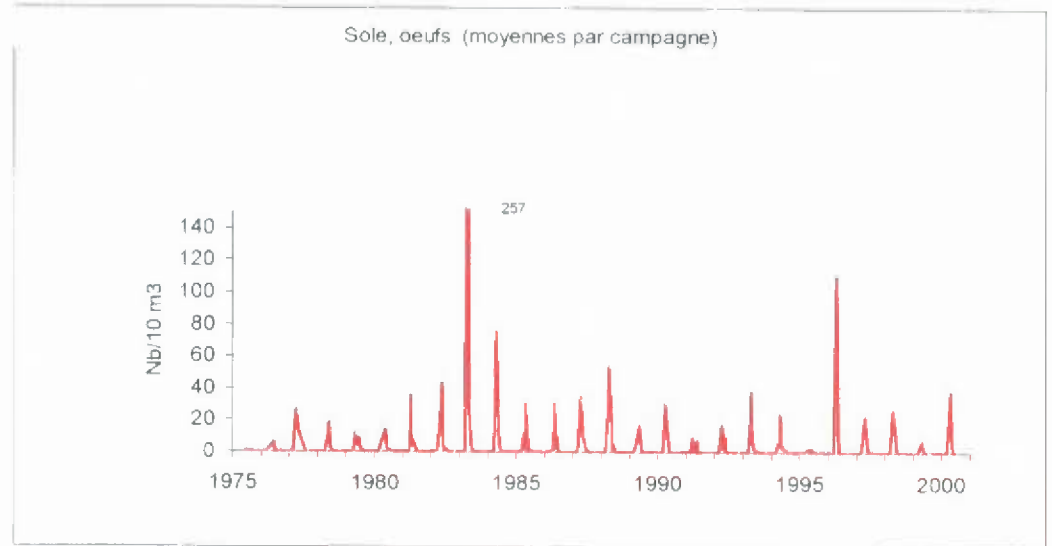


Fig. 6.2. Variations annuelles des densités d'œufs de sole à Gravelines de 1975 à 2000

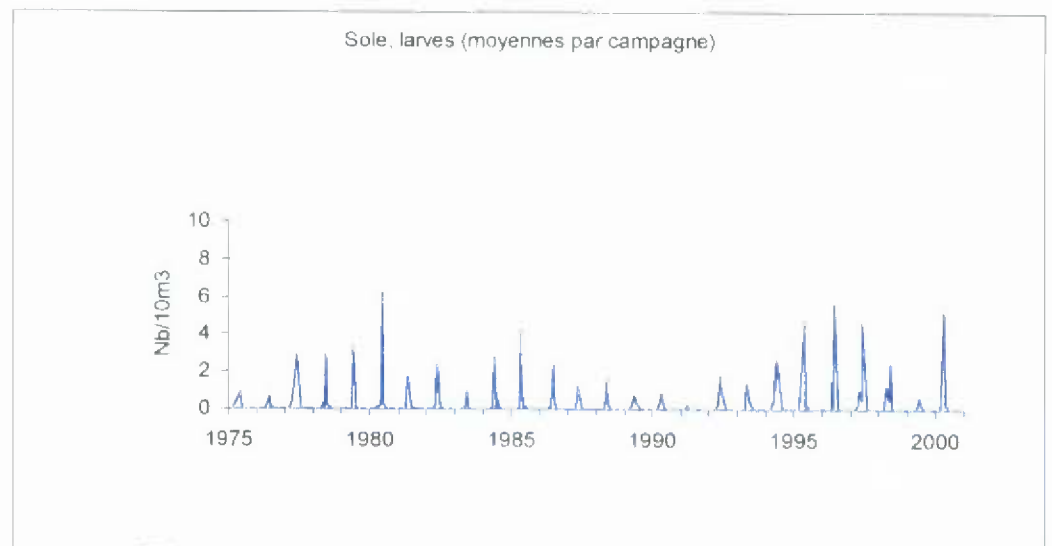


Fig. 6.3. Variations annuelles des densités de larves de sole à Gravelines de 1975 à 2000

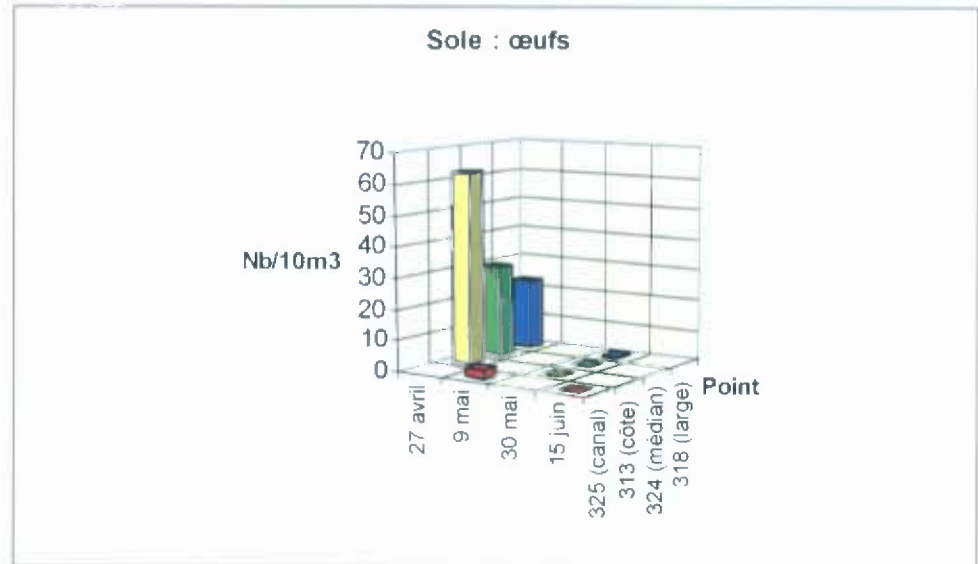


Fig. 6.4. Densités d'œufs de sole à Gravelines en 2000 en fonction de la date et du point de prélèvement

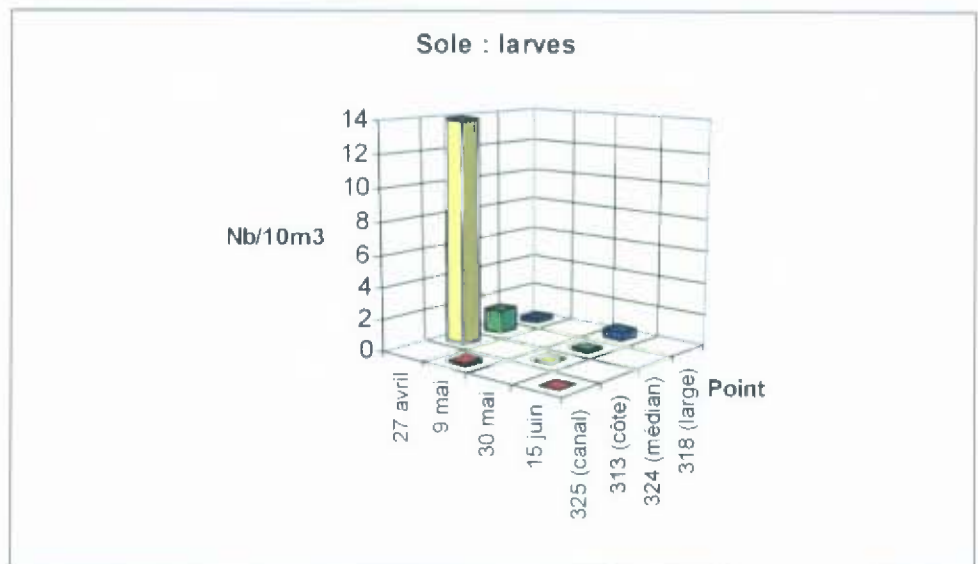


Fig. 6.5. Densités de larves de sole à Gravelines en 2000 en fonction de la date et du point de prélèvement

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) mais ils remontent légèrement par rapport à 1999 qui confirmait une décroissance régulière des effectifs depuis 1997. Comme pour la sole, les abondances les plus importantes sont observées dès avril (fig. 6.8 et 6.10, tabl. 6.3), suggérant pour cette espèce également une ponte précoce ayant lieu en avril, bien que le maximum soit habituellement plus tardif. On retrouve un gradient croissant vers le large (fig. 6.8).

Larves

Comme pour la sole, les effectifs de larves retrouvent leur niveau normal. Les différences entre côte et large des abondances ne sont pas stables et aucun gradient net ne se reproduit régulièrement (fig. 6.9).

Date	Point	Répliquât	Total œufs	Œufs stade 1	Œufs stade 2	Larves
27 avril	313	1	27.49	3.44	24.06	8.59
		2	22.72	3.50	19.23	5.24
		Moyenne	25.11	3.47	21.65	6.92
	324	1	9.92	2.34	7.59	7.01
		2	26.56	3.36	23.19	8.74
		Moyenne	18.24	2.85	15.39	7.88
	318	1	64.76	39.07	25.69	3.21
		2	53.27	37.97	15.30	6.23
		Moyenne	59.02	38.52	20.50	4.72
9 mai	325	1	12.41	12.04	0.37	6.11
30 mai	313	1	0.08	0.00	0.08	0.19
		2	0.26	0.05	0.20	1.07
		Moyenne	0.17	0.03	0.14	0.63
	324	1	0.31	0.31	0.00	2.84
		2	0.44	0.10	0.34	3.46
		Moyenne	0.38	0.21	0.17	3.15
	318	1	11.17	4.47	6.70	8.25
		2	12.49	4.93	7.56	5.42
		Moyenne	11.83	4.70	7.13	6.84
15 juin	325	1	1.29	0.65	0.65	13.11
		2	0.77	0.39	0.39	10.44
		Moyenne	1.03	0.52	0.52	11.78

Tabl. 6.3. Densités d'œufs et de larves de sprat à Gravelines en 2000 (en nombre par 10 m³)

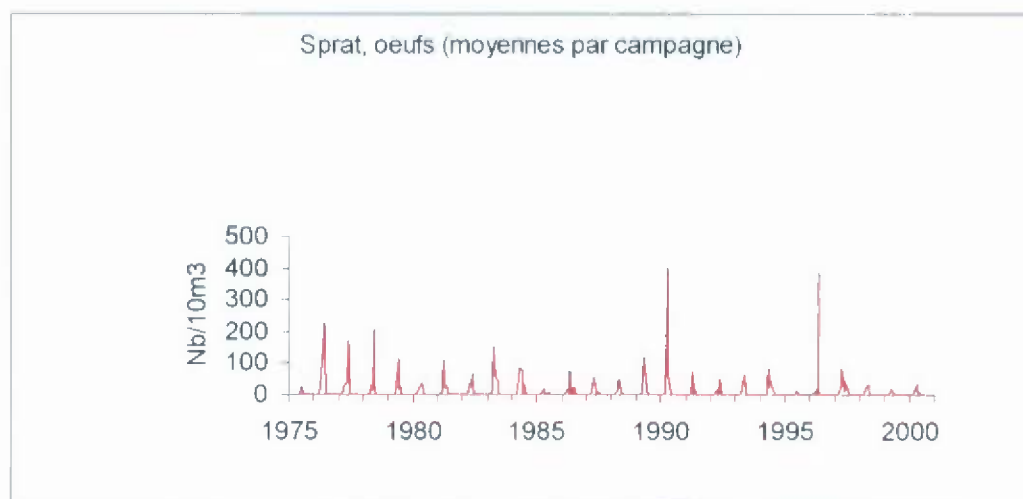


Fig. 6.6. Variations annuelles des densités d'œufs de sprat à Gravelines de 1975 à 2000

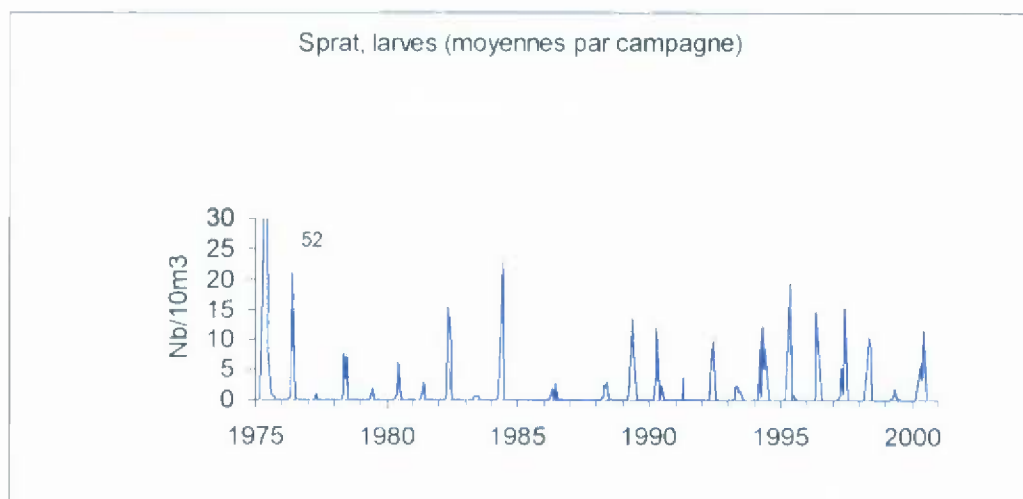


Fig. 6.7. Variations annuelles des densités de larves de sprat à Gravelines de 1975 à 2000

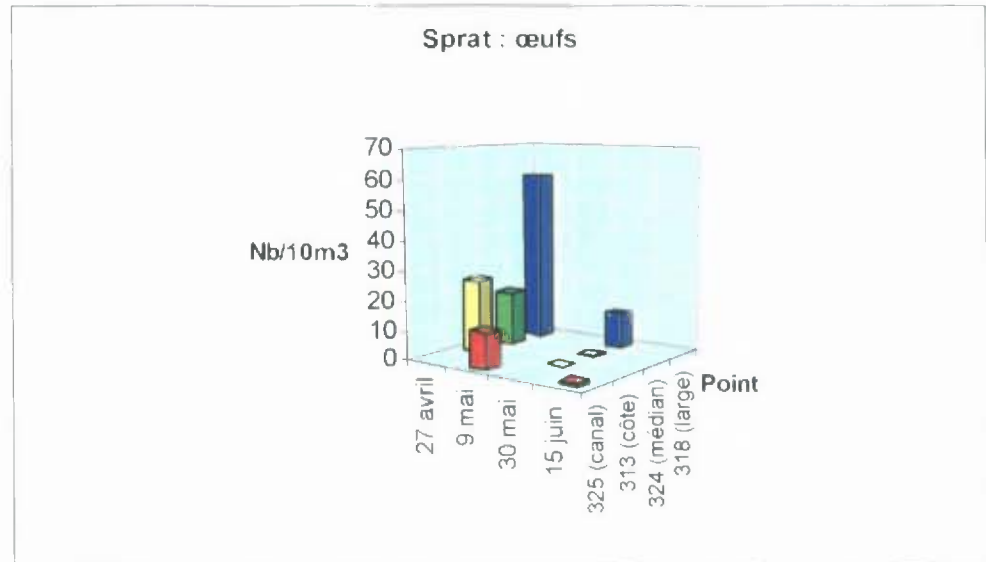


Fig. 6.8. Densités d'œufs de sprat à Gravelines en 2000 en fonction de la date et du point de prélèvement

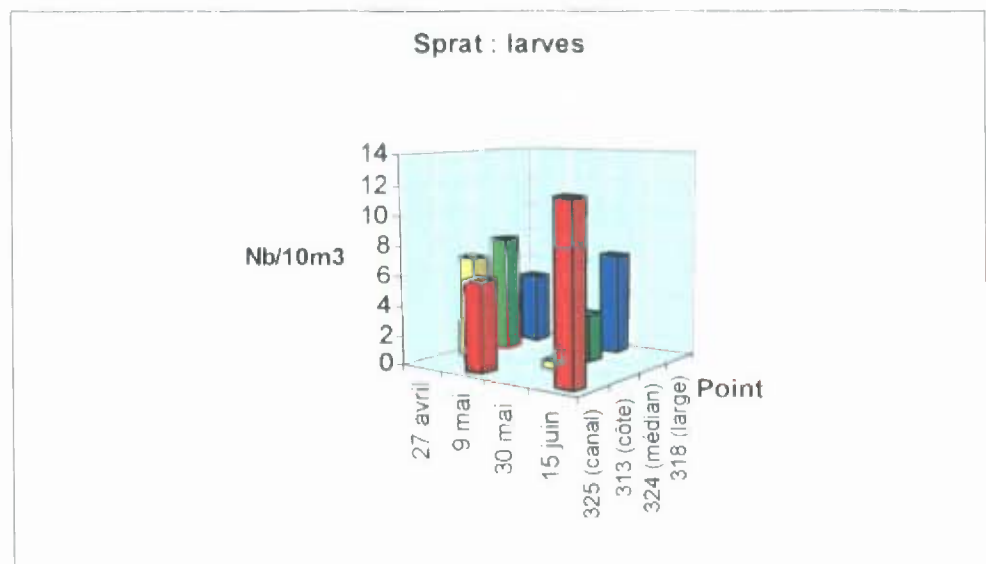


Fig. 6.9. Densités de larves de sprat à Gravelines en 2000 en fonction de la date et du point de prélèvement

GRAVELINES : SPRAT œufs et larves (moyennes par campagne)

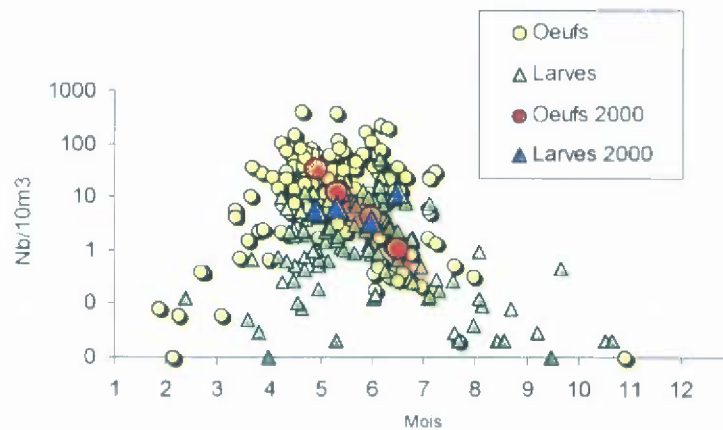


Fig. 6.10. Variations saisonnière d'abondance des œufs et larves de sprat à Gravelines de 1975 à 2000

6.4. ÉLÉMENTS DE CONCLUSION

Après plusieurs années à cycle précoce, l'année 2000 apparaît comme moyenne du point de vue de la reproduction du sprat et de la sole, en liaison avec des températures saisonnières normales.

Par ailleurs, on observe une légère reprise des densités d'œufs et de larves qui retrouvent des effectifs habituels.

///

7. LE DOMAINE BENTHIQUE INTERTIDAL

Auteur : Jean-Marie DEWARUMÉZ

Collaborateur : 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. *Pygospio elegans* est plus thermophile que *Spio martinensis*. 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. De plus, la densité des populations de ces deux espèces varie fortement.

Les modifications 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 ces 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 a évolué entre l'étude de 1999 et celle de 2000. En effet, étant donnés les résultats relativement stables enregistrés depuis plusieurs années et qui ne révélaient par ailleurs aucun impact de la centrale, il avait été décidé de porter davantage notre attention sur la continuité de l'impact mis en évidence dans les niveaux supérieurs de l'estran et de délaissier les niveaux inférieurs. Dans cette optique, il avait

été prévu de rajouter deux stations en haut niveau (station M) et en moyen niveau supérieur (station N) sur une nouvelle radiale située entre les deux radiales précédemment étudiées. Une station intermédiaire aurait dû être effectuée en lieu et place des deux stations de bas et de moyen niveau inférieur des radiales 1 et 2 (respectivement stations G et H et station K et L). Cependant, lors de l'échantillonnage effectué le 7 juillet 2000, il est apparu qu'un important recrutement de *Donax vittatus* avait eu lieu dans les bas niveaux de l'estran de Gravelines. Cette espèce n'ayant pas été récoltée depuis de nombreuses années sur cet estran, il a été décidé de surseoir à la restriction du nombre de stations de bas niveau et ce sont donc 10 stations qui ont été échantillonnées en juillet 2000.

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).

7.3. RESULTATS

7.3.1. Composition bionomique

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

- 1 Némerte
- 1 Annélide Oligochète
- 16 Annélides Polychètes
 - 7 errantes
 - 9 sédentaires
- 8 Mollusques
 - 2 Gastéropode
 - 1 Opisthobranche
 - 5 Bivalves
- 13 Crustacés
 - 2 Isopodes
 - 2 Mysidacés
 - 1 Cumacé
 - 8 Amphipodes

Ces 39 taxons correspondent à 4567 individus récoltés sur les trois radiales : 2602 sur la radiale 1, 1304 sur la radiale 2 et 661 sur la radiale 3. Ces résultats sont très inférieurs à ceux enregistrés en 1998 et 1999, années pendant lesquelles la densité globale moyenne avait été signalée

comme étant exceptionnelle. *Hydrobia ulvae* demeure l'espèce la plus importante (63.9% du total des individus récoltés).

7.3.2 Résultats globaux

(Figures 7.1 à 7.3, Tabl. 7.1 à 7.6)

Radiale 1

On ne note pas, en 2000, 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 protège plus de la houle les niveaux supérieurs de l'estran.

Station E

Bien que le sédiment reste toujours envasé (de 1 à 8% du poids du sédiment), les placages de vase qui caractérisaient ce niveau ont disparu depuis plusieurs années, la vase est désormais mêlée au sédiment.

La fraction fine du sédiment diminue à cette station en 2000, elle représente néanmoins plus de 88 % du poids total du sédiment.

% pondéraux	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Pélites	7.73	2.96	1.27	2.51	2.34	0.99	2.76	0.04	4.58	3.03	0.62
Sables fins	19.72	20.61	7.60	18.39	25.59	25.46	27.11	31.61	38.28	42.63	35.26
Sables moyens	71.06	70.75	80.95	73.36	68.43	61.08	67.55	64.72	50.33	50.76	52.44

Tabl 7.1.

La teneur en pélites (0.62%) est une des plus faible jamais enregistrée au cours des études. La teneur en sables fins diminue également.

radiale 1	station E	station F	station G	station H
Graviers grossiers	0.97	3.53	0.39	0.14
Graviers fins	1.69	6.80	1.38	0.31
Sables grossiers	9.02	9.24	7.73	4.78
Sables moyens	52.44	43.80	51.15	43.61
Sables fins	35.26	35.93	39.33	50.98
Pélites	0.62	0.70	0.02	0.18

radiale 2	station I	station J	station K	station L
Graviers grossiers	0.17	3.00	0.07	0.01
Graviers fins	0.16	4.37	0.19	0.44
Sables grossiers	5.15	18.79	2.28	4.02
Sables moyens	48.20	41.54	43.07	19.41
Sables fins	40.02	32.08	54.31	75.95
Pélites	6.30	0.22	0.08	0.17

radiale 3	station M	Station N
Graviers grossiers	0.07	0.80
Graviers fins	0.24	1.96
Sables grossiers	4.33	9.63
Sables moyens	48.46	47.34
Sables fins	44.57	39.99
Pélites	2.33	0.28

Tab. 7.2. Caractéristiques granulométriques du sédiment aux 10 stations intertidales (% pondéraux)

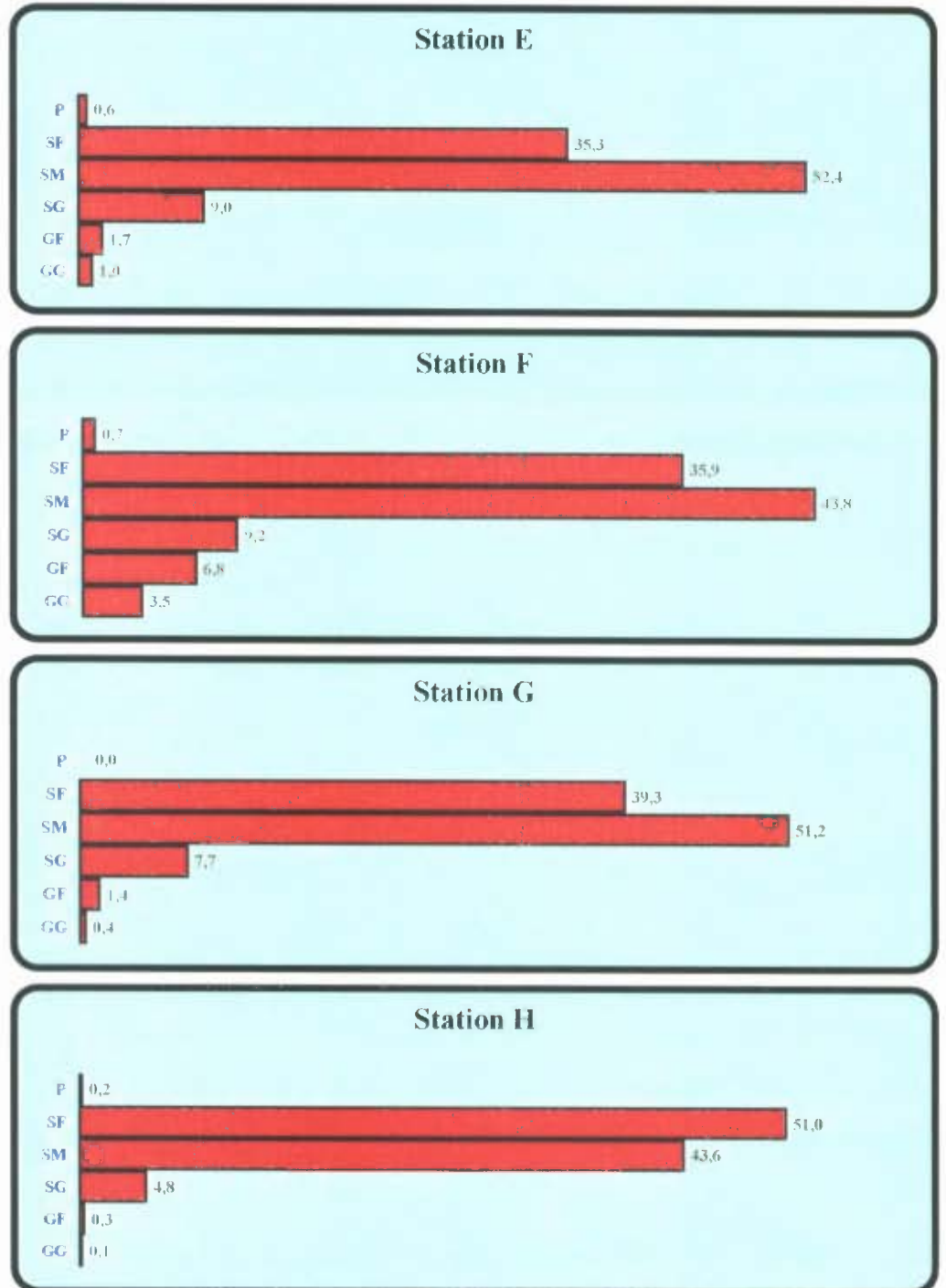


Fig 7.1. Radiale 1, Caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

Espèces/Stations	Station E	Station F	Station G	Station H
<i>Némertes</i>			9	
<i>Enchytraeidae sp.</i>		1		
<i>Nerine cirratulus</i>	1	36	20	
<i>Spio martinensis</i>				9
<i>Spiophanes bombyx</i>			1	28
<i>Magelona mirabilis</i>				22
<i>Cirratulus cirratus</i>				3
<i>Ophelia rathkei</i>			20	
<i>Arenicola marina</i>		2		
<i>Sigalion mathildae</i>				2
<i>Phyllodoce mucosa</i>		1		
<i>Phyllodoce groenlandica</i>		1		
<i>Eteone longa</i>		12		
<i>Hediste diversicolor</i>		18		
<i>Nephtys cirrosa</i>				31
<i>Nephtys hombergii</i>				1
<i>Nassarius reticulatus</i>				1
<i>Hydrobia ulvae</i>	18	2112		
<i>Retusa obtusata</i>		1		
<i>Macoma balthica</i>		174		
<i>Cerastoderma edule</i>		8		
<i>Tellina fabula</i>				6
<i>Tellina tenuis</i>				1
<i>Donax vittatus</i>				14
<i>Eurydice affinis</i>	1			
<i>Eurydice pulchra</i>			16	1
<i>Gastrosaccus spinifer</i>				3
<i>Iphinoe trispinosa</i>				4
<i>Pseudocuma longicornis</i>				4
<i>Atylus swammerdami</i>				1
<i>Megaluropus agilis</i>				1
<i>Corophium arenarium</i>	5			
<i>Bathyporeia pilosa</i>		1	3	
<i>Bathyporeia sarsi</i>			7	
<i>Urothoe brevicornis</i>			1	
<i>Haustorius arenarius</i>			1	
Total	25	2367	78	132
Densité/m²	100	9468	312	528

Tabl. 7.3. Radiale 1, résultats bruts (nombre d'individus par 0,25 m²)

Espèces/Stations	Station E	Station F	Station G	Station H
<i>Némertes</i>			4.8	
<i>Enchytraeidae sp</i>		0,4		
<i>Nerine cirratulus</i>	4.5	88.0	39.6	
<i>Spio martinensis</i>				8.9
<i>Spiophanes bombyx</i>			0.5	8.5
<i>Magelona mirabilis</i>				9.9
<i>Cirratulus cirratus</i>				3.1
<i>Ophelia rathkei</i>			3.9	
<i>Arenicola marina</i>		13.1		
<i>Sigalion mathildae</i>				39.7
<i>Phyllodoce mucosa</i>		0.2		
<i>Phyllodoce groenlandica</i>		0.6		
<i>Eteone longa</i>		8.5		
<i>Hediste diversicolor</i>		100.0		
<i>Nephtys cirrosa</i>				222.2
<i>Nephtys hombergii</i>				9.9
<i>Nassarius reticulatus</i>				115.0
<i>Hydrobia ulvae</i>	4.6	1238.6		
<i>Retusa obtusata</i>		0.1		
<i>Macoma balthica</i>		3912.2		
<i>Cerastoderma edule</i>		866.3		
<i>Tellina fabula</i>				163.0
<i>Tellina tenuis</i>				54.0
<i>Donax vittatus</i>				1002.5
<i>Eurydice affinis</i>	1.4			
<i>Eurydice pulchra</i>			16.6	0.6
<i>Gastrosaccus spinifer</i>				11.6
<i>Iphinoe trispinosa</i>				0.7
<i>Pseudocuma longicornis</i>				2.1
<i>Atylus swammerdami</i>				0.6
<i>Megaluropus agilis</i>				0.5
<i>Corophium arenarium</i>	2.5			
<i>Bathyporeia pilosa</i>		0,3	1,3	
<i>Bathyporeia sarsi</i>			3,3	
<i>Urothoe brevicornis</i>			0,4	
<i>Haustorius arenarius</i>			0,5	
Total	13.0	6228.3	70.9	1641.2
Biomasse/m²	52.0	24913.2	283.6	6564.8

Tabl. 7.4. Radiale 1, résultats bruts (biomasse en mg par 0,25 m²)

Densité/m ²	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
<i>Hydrobia ulvae</i>	4060	10172	11304	12028	10488	5772	17584	2028	72
<i>Spio martinensis</i>	12	836	8	348	0	76	8	0	0
<i>Pygospio elegans</i>	0	0	0	0	32	160	0	0	0
<i>Eurydice affinis</i>	496	244	100	76	12	160	48	364	4
<i>Bathyporeia pilosa</i>	612	2820	900	856	96	1376	16	3688	0
<i>Corophium arenarium</i>	180	1808	3168	2830	24	200	40	184	20

Tabl. 7.5

Le peuplement installé à cette station évolue d'une manière significative en 2000. Toutes les populations des espèces vasicoles et d'eau saumâtre régressent fortement. C'est particulièrement net chez *Hydrobia ulvae*, *Bathyporeia pilosa*, *Eurydice affinis* et *Corophium arenarium*. La densité globale de population chute d'une manière considérable. Elle était de 6276/m² en 1999, elle n'est plus que de 100/m² en juillet 2000.

On avait noté en 1999, une redistribution de la population de *Hydrobia ulvae* sur l'estran. En 2000, cette espèce régresse en densité sur la totalité de l'estran. Ni *Spio martinensis*, ni *Pygospio elegans* n'ont été récoltées en 2000 à cette station. La diminution de la densité de la totalité du cortège spécifique provoque une chute importante de la biomasse (plus de 17g/m²) pour atteindre à une valeur excessivement faible (0.05g/m²).

Station F

C'est à cette station que les plus fortes variations tant en biomasse qu'en densité ont pu être enregistrées depuis le début des études. Ces variations concernent également la composition faunistique du peuplement.

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 et à son impact sur la densité des espèces euryhalines.

Densité/m ²	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
<i>Hediste diversicolor</i>	0	12	4	40	8	68	56	116	72
<i>Spio martinensis</i>	12	968	4	692	0	192	36	0	0
<i>Pygospio elegans</i>	0	0	0	0	672	2	0	0	0
<i>Ophelia rathkei</i>	0	16	324	184	1576	460	588	24	0
<i>Hydrobia ulvae</i>	8	20	0	0	12	56	9176	26140	8448
<i>Cerastoderma edule</i>	8	0	0	0	12	52	800	144	32
<i>Macoma balthica</i>	0	4	40	20	40	648	168	748	696
<i>Corophium arenarium</i>	0	4	24	100	0	0	0	0	0

Tabl. 7.6

La population de *Cerastoderma edule* a continué de régresser de manière importante en 2000. Cette altération de la population de coques se traduit par une forte diminution de la biomasse (-18 g/m^2 , soit -84%). Les individus récoltés sont tous de la cohorte 1998.

Macoma balthica bénéficie d'un bon recrutement, la densité de cette espèce reste stable par rapport à 1999 ($696/\text{m}^2$ contre 748 en 1999), de même que la biomasse (15.6g/m^2 contre 15.5 g/m^2 en 1999).

En 1998 nous avons noté que la population de *Hydrobia ulvae* gagnait les moyens niveaux supérieurs. En 1999, ce phénomène se confirmait et s'amplifiait. Néanmoins comme la densité globale de *Hydrobia ulvae* restait équivalente dans les niveaux supérieurs de la partie ouest de l'estran ($13380 \text{ individus/m}^2$, en 1998 contre $14084 \text{ individus/m}^2$ en 1999) il semblait donc que l'on était en présence d'une redistribution de cette espèce sur l'estran. Les résultats obtenus en 2000 sont moins probants. La population de *Hydrobia ulvae* régresse sur la totalité des niveaux supérieurs mais reste cependant la plus importante à la station F. En 2000 la densité de *Hydrobia ulvae* revient au niveau de celle de 1998

($8448/\text{m}^2$)

La population de *Hediste diversicolor* régresse en densité ($-44/\text{m}^2$) mais reste néanmoins supérieure à celles de 1997 et de 1998.

La densité de *Nerine cirratulus* reste stable par rapport à 1999.

Il faut noter la première récolte sur le site (et sur la côte d'Opale) de l'opisthobranche *Retusa obtusata*.

La biomasse chute de manière importante : de $48,5\text{g/m}^2$ en 1999 à 24.9 en 2000.

Stations G et H

Ces deux stations devaient dans la nouvelle stratégie d'échantillonnage être remplacées par une station intermédiaire. La récolte de nombreux *Donax vittatus* à la station H nous a conduit à maintenir l'échantillonnage de ces deux stations.

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 et 1999, même si les effectifs et la biomasse restaient faibles, la diversité et la richesse spécifique ont semblé augmenter. La station G semblait s'apparenter de plus en plus fortement à une station de moyen niveau supérieur (6 espèces communes avec ce niveau). En 2000, les espèces caractéristiques des moyens niveaux supérieurs ont disparu de cette station qui est redevenue typique des moyens niveaux inférieurs.

La densité globale augmente à la station G par rapport aux études précédentes et la biomasse diminue par rapport à l'étude 1999 en particulier à cause de la disparition des espèces inféodées aux niveaux moyens supérieurs à forte biomasse comme *Cerastoderma edule*.

La station H a été le lieu d'un phénomène important, le recrutement de *Donax vittatus* (56/m²). Le recrutement de cette espèce s'est fait sentir sur la totalité de la côte entre la baie de Somme et la frontière belge.

La richesse spécifique à la station H est de 17 espèces et parmi elles de plusieurs récoltées pour la première fois sur l'estran comme *Megaluropus agilis* et *Iphinoe trispinosa*.

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 et 1999, une nette évolution avait été mise en évidence : la population de *Hydrobia ulvae* avait progressé (1468 en 1998 et 2620 /m² en 1999). En 2000, la densité diminue à nouveau (680/m²) avec des individus de plus grande taille (poids moyen par individu de 0.2 mg en 1998, 0.5 mg en 1999 et 0.8 mg en 2000). Il semble que l'on assiste en 2000 au vieillissement sans nouveau recrutement de la population de *Hydrobia ulvae*. Par contre, la population de *Corophium arenarium* progresse à nouveau d'une manière significative (7004/m² en 1998, 1792/m² en 1999 et 3348/m² en 2000), la population en place en 2000 est constituée pour 64% d'individus issus de la cohorte 1999 et pour 36% de juvéniles. Le poids moyen individuel est de 1.5 mg, il était de 0.5 mg en 1999 et de 0.6 mg en 1998. On assiste dans le cas présent à un vieillissement de la population avec un recrutement.

Densité/m ²	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
<i>Enchytraeidae</i>	8	20	0	0	16	4	212	104	0	4
<i>Pygospio elegans</i>	148	424	1404	32	132	64	1144	0	60	4
<i>Spio martinensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	186	0	0
<i>Hydrobia ulvae</i>	0	620	116	1216	1380	840	204	1468	2620	680
<i>Corophium arenarium</i>	624	3772	6184	956	1232	1604	1508	7004	1792	3348
<i>Bathyporeia pilosa</i>	100	60	684	64	128	0	4	40	4	4
<i>Eurydice affinis</i>	0	20	236	448	436	24	36	0	8	48

Tabl. 7.7

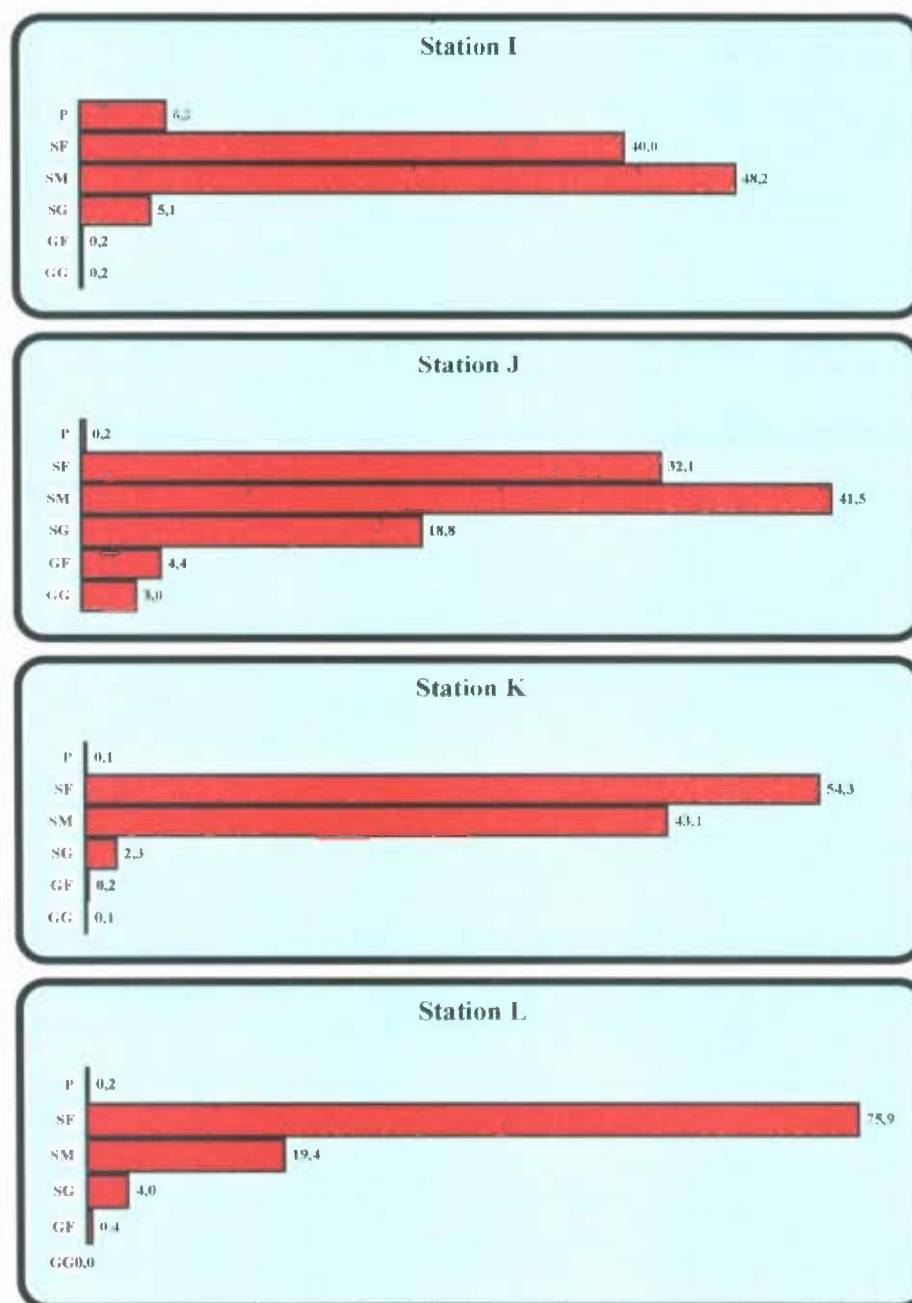


Fig.7.2. Radiale 2, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

Espèces/Stations	Station I	Station J	Station K	Station L
<i>Némertes</i>		2		
<i>Enchytraeidae sp</i>	1			
<i>Nerine cirratulus</i>		12		
<i>Pygospio elegans</i>	1	4		
<i>Spio martinensis</i>			2	
<i>Magelona mirabilis</i>				2
<i>Capitella capitata</i>			1	1
<i>Nephtys cirrosa</i>			6	11
<i>Hydrobia ulvae</i>	170	2		
<i>Donax vittatus</i>				1
<i>Eurydice affinis</i>	12			
<i>Eurydice pulchra</i>		92		
<i>Corophium arenarium</i>	837	1		
<i>Bathyporeia elegans</i>	1			
<i>Bathyporeia pilosa</i>		91		
<i>Bathyporeia sarsi</i>			7	
<i>Haustorius arenarius</i>			47	
Total	1022	204	63	15
Densité/m²	4088	816	252	60

Tabl. 7.8. Radiale 2, résultats bruts (nombre d'individus par 0,25 m²)

Espèces/Stations	Station I	Station J	Station K	Station L
<i>Némertes</i>		0.7		
<i>Enchytraeidae sp</i>	0.2			
<i>Nerine cirratulus</i>		58.9		
<i>Pygospio elegans</i>	0.1	0.3		
<i>Spio martinensis</i>			0.7	
<i>Magelona mirabilis</i>				5.0
<i>Capitella capitata</i>			0.5	0.6
<i>Nephtys cirrosa</i>			126.7	95.8
<i>Hydrobia ulvae</i>	552.6	0.9		
<i>Donax vittatus</i>				58.0
<i>Eurydice affinis</i>	7.2			
<i>Eurydice pulchra</i>		38.7		
<i>Corophium arenarium</i>	1237.1	0.6		
<i>Bathyporeia elegans</i>	0.3			
<i>Bathyporeia pilosa</i>		25.8		
<i>Bathyporeia sarsi</i>			3.6	
<i>Haustorius arenarius</i>			189.6	
Total	1797.5	125.9	321.1	159.4
Biomasse/m²	7190.0	503.6	1284.4	637.6

Tabl. 7.9. Radiale 2, résultats bruts (biomasse en mg par 0.25 m²)

Les *Enchytraeidae* restent très peu abondants. La population de *Pygospio elegans* qui s'est réimplantée à un faible niveau de densité en 1999 (60/m²) ne semble pas se maintenir. La population de *Spio martinensis* qui s'était implantée à la station I en 1998 et qui avait complètement disparu en 1999 reste absente de la partie est de l'estran.

La densité globale du peuplement installé à la station I reste au même niveau qu'en 1999 (4088/m² en 2000 contre 4484/m² en 1999) alors que la biomasse progresse fortement du fait du vieillissement des populations des deux espèces principales (2.2 g/m² en 1999 contre 7.2 g/m² en 2000).

Station J

Cette station est située à proximité immédiate du complexe de dunes et de bâches situé à mi-estran. Elle 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 et 1999 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.

Densité/m ²	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
<i>Nerine cirratulus</i>	36	32	88	68	96	76	4	0	28	48
<i>Eurydice affinis</i>	0	140	240	16	68	0	188	36	376	0
<i>Eurydice pulchra</i>	0	16	0	236	308	120	20	32	0	368
<i>Corophium arenarium</i>	16	0	20	12	0	1604	80	132	8	4
<i>Bathyporeia sarsi</i>	0	0	0	400	148	288	0	1020	292	0
<i>Bathyporeia pilosa</i>	0	156	76	0	0	0	988	0	0	364

Tabl. 7.10

Ce schéma n'évolue pas en 2000, cette station demeure le lieu d'un mélange d'espèces inféodées aux niveaux supérieurs et aux niveaux moyens de l'estran, mais avec des permutations d'espèces par rapport à 1999. En 1999, le peuplement était dominé par *Eurydice affinis* (espèce de haut niveau) et *Bathyporeia sarsi* (espèce de moyen niveau), *Eurydice pulchra* (espèce de moyen niveau) et *Bathyporeia pilosa* (espèce de haut niveau) étaient complètement absentes. En 2000, la situation est complètement inversée en ce qui concerne ces espèces.

La biomasse (0.4 g/m^2 en 1999 pour 0.5 g/m^2 2000) et la densité ($732/\text{m}^2$ en 1999 et $816/\text{m}^2$ en 2000) n'évoluent que très peu entre 1999 et 2000.

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 classiquement rencontrées à ces niveaux : *Haustorius arenarius*, *Nephtys cirrosa* et *Portumnus latipes*. En 1998 et 1999 nous avons noté une forte augmentation de la richesse spécifique, de la densité et de la biomasse. En 2000 la situation redevient semblable à ce qu'elle était avant 1998.

Le cortège spécifique de la station K est classiquement dominé par *Nerine cirratulus* et *Haustorius arenarius*. Cette dernière espèce est présente en forte densité ($188/\text{m}^2$) en 2000.

Le cortège spécifique de la station L est dominé par *Nephtys cirrosa* ($44/\text{m}^2$). Notons la récolte d'un *Donax vittatus*, ce qui vient confirmer que le recrutement de cette espèce a intéressé la totalité de l'estran de Gravelines.

Radiale 3

Cette radiale a été échantillonnée pour la première fois en 2000. Seuls les niveaux supérieurs sont étudiés afin de visualiser la continuité des effets respectifs de la dessalure de l'Aa et de l'impact thermique de la centrale.

Les résultats enregistrés à la station M confirment les gradients inverses de répartition des populations des deux espèces principales des hauts niveaux : décroissant d'ouest en est pour *Hydrobia ulvae* et croissant d'ouest en est pour *Corophium arenarium*.

C'est à la station M que les plus fortes densités de *Pygospio elegans* ont été enregistrées en 2000 ($52/\text{m}^2$).

Les résultats enregistrés à la station N montrent que l'influence de l'Aa se fait sentir à une distance relativement éloignée du chenal : récolte de *Hediste diversicolor* et de *Hydrobia ulvae*.

C'est à la station N que les plus fortes densités de *Spio martinensis* ont été enregistrées (36/m²).

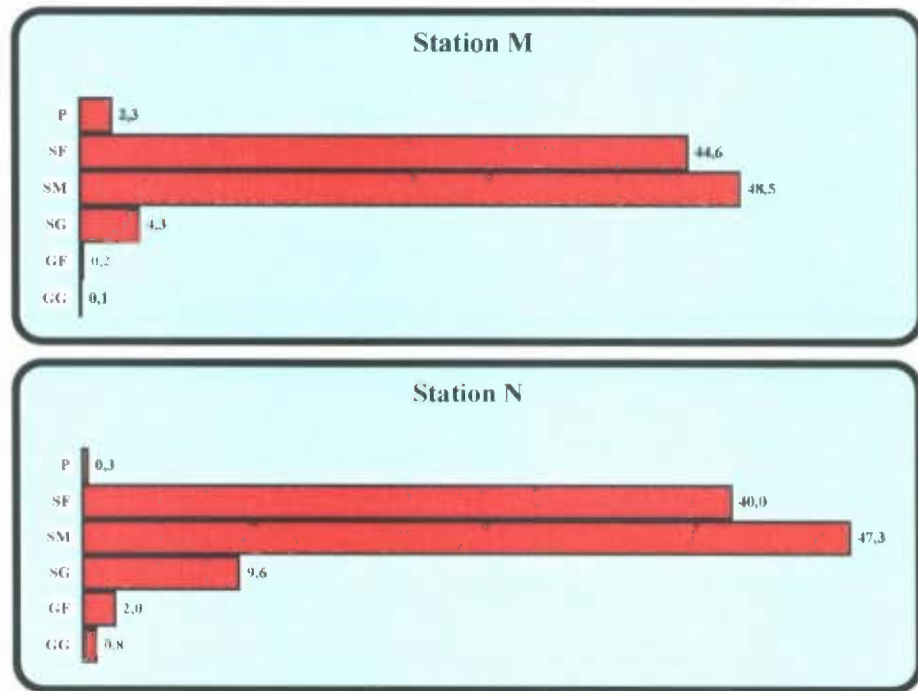


Fig.7.3. Radiale 3, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

Espèces/Stations	Station M	Station N
<i>Némertes</i>		9
<i>Nerine cirratulus</i>	1	11
<i>Pygospio elegans</i>	13	
<i>Spio martinensis</i>		9
<i>Spiophanes bombyx</i>		3
<i>Hediste diversicolor</i>		4
<i>Hydrobia ulvae</i>	498	17
<i>Eurydice affinis</i>	3	
<i>Eurydice pulchra</i>		1
<i>Corophium arenarium</i>	34	1
<i>Bathyporeia pilosa</i>	2	55
Total	551	110
Densité/m²	2204	440

Tabl. 7.11. Radiale 3, résultats bruts (nombre d'individus par 0.25 m²)

Espèces/Stations	Station M	Station N
<i>Nemertes</i>		7,8
<i>Nerine cirratulus</i>	2,7	25,7
<i>Pygospio elegans</i>	1,1	
<i>Spio martinensis</i>		1,2
<i>Spiophanes bombyx</i>		1,1
<i>Hediste diversicolor</i>		20,5
<i>Hydrobia ulvae</i>	309,9	5,1
<i>Eurydice affinis</i>	4,7	
<i>Eurydice pulchra</i>		1,5
<i>Corophium arenarium</i>	16,9	0,5
<i>Bathyporeia pilosa</i>	0,6	14,9
Total	335,9	78,3
Biomasse/m²	1343,6	313,2

Tabl. 7.12. Radiale 3, résultats bruts (biomasse en mg par 0.25 m²)

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.

Densité moyenne	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
<i>Ophelia rathkei</i>	15	0	4	82	55	396	115	148	9	20
<i>Oligochètes</i>	6	0	20	1	45	6	4	0	9	1
<i>Hediste diversicolor</i>	6	0	3	1	11	2	17	14	29	18

Tabl. 7.13

En 2000, on note globalement une stabilité des densités moyennes des espèces euryhalines. L'influence de l'Aa semble être moins importante depuis deux ans.

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 évoluait encore, *Spio martinensis* disparaissait des niveaux supérieurs de l'estran tandis que *Pygospio elegans* réapparaissait à la station I.

Densité/m ²		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
<i>Spio martinensis</i>	E	52	92	12	836	8	348	0	76	8	0	0
	F	192	8	12	938	4	692	0	196	36	0	0
	M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36
	I	0	0	0	0	0	0	0	0	186	0	0
	J	0	0	0	0	0	0	0	60	4	0	0
<i>Pygospio elegans</i>	E	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0
	F	0	144	0	0	0	0	672	0	0	0	0
	M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52
	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
	I	208	148	424	1404	32	772	64	1144	0	60	4
	J	60	0	0	4	0	0	4	0	0	0	16

Tabl. 7.14

En 2000, on ne note aucun changement par rapport à 1999 pour la répartition de *Spio martinensis* sur les stations communes aux deux études dans lesquelles cette espèce est toujours absente. Par contre cette espèce est présente sur la radiale 3 en moyen niveau à la station N (36/m²).

Pour ce qui est de *Pygospio elegans*, cette espèce reste inféodée à la partie est de l'estran et a été récoltée dans les hauts niveaux de la radiale 3 à la station M.

L'échantillonnage de la radiale 3 permet donc de mettre en évidence les répartitions différentes des deux 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.

g/m ²	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1996	1997	1998	1999	2000
E	7.92	4.62	2.99	7.25	8.7	9.87	8.68	11.82	8.79	19.34	2.36	0.05
F	25.97	13.37	0.48	1.37	20.63	3.42	25.94	31.16	52.64	39.59	48.47	24.91
G	0.41	0.61	0.12	0.48	0.61	0.77	0.44	0.47	0.27	0.40	1.76	0.28
H	1.29	0.12	2.97	0.11	0.29	0.77	0.29	0.31	0.48	0.68	0.83	6.56
I	0.6	0.38	3.02	3.94	1.47	1.68	1.49	2.34	1.72	4.29	2.23	7.19
J	0.32	0.15	0.35	0.35	0.48	0.75	0.48	0.48	0.49	0.35	0.40	0.50
K	0.71	0.77	0.02	0.47	1.63	0.55	1.03	1.06	0.29	0.69	0.52	1.28
L	0.18	0.9	20.52	0.59	0.3	2.49	1.84	1.91	0.28	0.32	1.34	0.64
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.34
N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.31
Moy. estran	4.68	2.54	3.77	1.82	4.26	2.05	5.02	6.19	8.12	8.21	7.25	4.31

Tabl. 7.15.

NB : depuis 1996 les mesures de biomasse sont effectuées à l'aide de la méthode du poids sec sans cendres.

La biomasse moyenne de l'estran diminue significativement par rapport à 1999. Elle est de 5.17 g/m^2 si on la calcule sur les huit stations communes aux deux études et de 4.31 g/m^2 si l'on intègre les stations M et N. Elle reste toutefois dans la norme des résultats enregistrés avant 1997. Les profondes altérations de la biomasse dans la partie ouest de l'estran ne semblent donc pas avoir été compensées par les modifications bionomiques de la partie est et des bas niveaux de la partie ouest. Néanmoins, cette productivité semble toujours être mal répartie sur l'estran qui présente une zone à fort potentiel productif au niveau de la station F.

7.4.4. Conclusion

Il semble indispensable de conserver les deux stations supplémentaires (M et N) car elles ont permis la mise en évidence de la répartition des espèces principales en fonction des facteurs écologiques fondamentaux qui régissent l'organisation bionomique de la plage de Gravelines. Elles permettent en outre de visualiser la répartition des populations de spionidiens et par la-même l'impact thermique de la centrale.

8. LE DOMAINE BENTHIQUE SUBTIDAL

Auteur : Jean-Marie DEWARUMEZ et Christophe LUCZAK
Collaborateur : 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 de la centrale sur les communautés benthiques du champ proche du rejet. Le fonctionnement de la centrale y induit un lessivage des fines 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.

Néanmoins, la station C est soumise aux mêmes recrutements que la station B. Plusieurs études l'ont montré et notamment celle de 1991 à l'occasion du recrutement de *Ensis directus*. Mais si le recrutement avait bien eu lieu avec la même intensité aux deux stations, la population de *Ensis directus* ne s'est 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 $400\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ (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 16 mars, 9 mai, 27 juin et 13 septembre 2000.

Nous employons depuis 1996, la méthode du poids sec sans cendres (PSSC) pour la détermination de la biomasse.

8.3. RESULTATS

8.3.1. Analyses granulométriques

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

Station B	16/03/00	09/05/00	27/06/00	13/09/00
Graviers grossiers	0.13	0.17	0.18	0.01
Graviers fins	0.16	0.13	0.26	0.15
Sables grossiers	3.22	1.72	5.40	1.25
Sables moyens	29.03	27.53	27.89	22.56
Sables fins	56.11	63.81	57.98	67.34
Pélites	11.35	6.66	8.28	8.69

Station C	16/03/00	09/05/00	27/06/00	13/09/00
Graviers grossiers	0.23	0.00	0.00	0.00
Graviers fins	0.56	0.09	0.02	0.01
Sables grossiers	8.80	1.06	0.24	0.23
Sables moyens	81.81	69.97	73.77	63.50
Sables fins	8.51	28.83	25.93	36.20
Pélites	0.10	0.05	0.04	0.07

Tabl. 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 par envasement et ensablement. 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 envasé, la teneur en pélites variant entre 10 et 36 %.

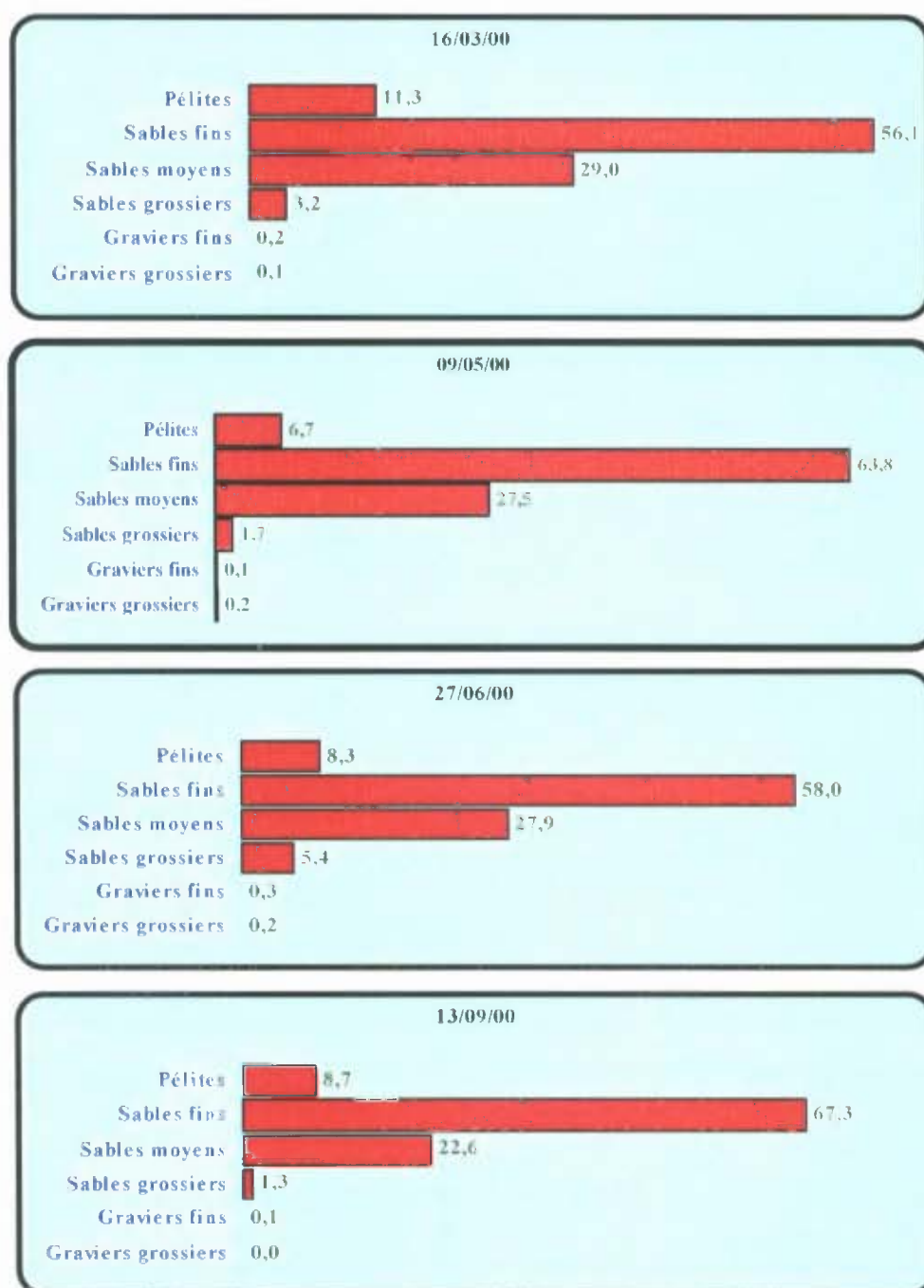


Fig. 8.1. Station B, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)



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

En 2000, le sédiment reste fortement envasé, la teneur en pélites varie entre 6,7 et 11,3%). Les sables fins ne représentent jamais moins de 56 % du sédiment. L'ensemble de la fraction fine (< 0.5) ne représente jamais moins de 94 % du poids total du sédiment.

Station C

Le sédiment de la station C reste dominé par les sables moyens (de 63.5 à 81.8 %) et par les sables fins (de 8.5 à 36.2 %). Ces deux classes représentent au minimum 90 % du poids du sédiment. La forte augmentation de la fraction grossière du sédiment (en majorité des sables grossiers) constatée à partir du printemps 1999 est encore visible en mars 2000 (9.6 % dont 8.8 % de sables grossiers). Cette fraction diminue à partir du mois de mai (1.2 %) pour disparaître presque complètement dès le mois de juin (0.2 %).

Le sédiment reste quasiment dépourvu de pélites (maximum : 0.1 %)

8.3.1. Composition bionomique

L'ensemble des résultats bionomiques figure dans les tableaux 8.2. à 8.5. L'analyse faunistique a permis de recenser, en 2000, 80 taxons différents sur les deux stations. 53 taxons ont été récoltés à la station B et 50 à la station C. Ils se répartissent comme suit :

- 1 Cnidaire
- 4 Némertes
- 2 Oligochètes
- 1 Sipunculien
- 32 Annélides polychètes
 - 16 sédentaires
 - 16 errantes
- 12 Mollusques
 - 3 Gastéropodes
 - 9 Bivalves
- 22 Crustacés
 - 2 Mysidacé
 - 2 Cumacés
 - 1 Tanaïdace
 - 10 Amphipodes
 - 7 Décapodes
- 4 Echinodermes

- 3 Ophiurides
- 1 Echinide
- 2 Poissons

Ces 80 taxons représentent 26766 individus récoltés : 20946 à la station B et 5820 à la station C.

La densité globale moyenne à la station C très largement supérieure à celle de 1999 alors qu'elle avait été stable entre 1998 et 1999 : 5820 individus récoltés en 2000, 460 en 1999 et 424 en 1998, ce qui correspond à une densité moyenne de 1455/m² en 2000, 115 /m² en 1999 et 106 en 1998. Cet enrichissement apparent est dû au recrutement de *Lanice conchilega* dont la densité a atteint 4790/m² en mai. Cette espèce représente près de 83 % des individus récoltés L'espèce dominante reste *Nephtys cirrosa* qui représente 55 % des individus récoltés hors *Lanice conchilega*. On peut donc encore vérifier encore cette année la résonance à la station C des phénomènes du recrutement observé à la station B avec les récoltes de *Spiophanes bombyx*, de *Lanice conchilega* et de *Diastylis bradyi*. Notons la récolte d'une nouvelle espèce pour le site et pour l'inventaire régional : *Nerinides tridentata*.

Par contre à la station B la densité globale reste très stable : 20946 en 2000 et 21820 en 1999, soit 4 % d'écart. Ceci montre que le peuplement à *Abra alba* est bien arrivé à stabilité annuelle. A cette station, on note en 2000 des recrutements très importants de *Lanice conchilega*, de *Pectinaria koreni*, de *Notomastus latericeus*, de *Abra alba* et de *Phyllodoce mucosa*.

8.3.2. 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. Le processus de retour à la normale a débuté en 1997; on peut estimer qu'en 1999 les densités étaient redevenues normales.

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

En mars 2000, le peuplement est à l'étiage hivernal, la richesse spécifique est faible (24 espèces), la densité globale est plus faible qu'en 1999 (340/m² en 2000 et 729/m² en 1999). Le peuplement est dominé par *Nassarius reticulatus* (88/m²), *Abra alba* (79/m²) et *Notomastus latericeus* (53/m²), ces trois espèces étaient déjà les plus abondantes en 1999, mais leurs densités étaient plus faibles. La biomasse globale semble être un peu inférieure à celle de 1999, elle atteint 53.7g/m² en 2000 contre 62.2g/m² en 1999, elle n'était que de 18,7g/m² en 1998. La biomasse doit être en fait bien inférieure à celle de 1999 dans la mesure où lors de l'étude précédente, de nombreux *Ensis directus* de grande taille ont été récoltés sectionnés, en 2000 pas un seul *Ensis directus* n'a été récolté à la station B. Cette biomasse est due principalement à deux espèces : *Notomastus latericeus* (49.8g/m²) et *Abra alba* (2.7g/m²). Ces deux espèces représentent 96% de la biomasse totale à cette station.

En mai 2000, la richesse spécifique augmente (42 espèces), la densité globale progresse d'une manière considérable, elle atteint 6694/m², du fait du recrutement très important de *Lanice conchilega*. Cette espèce n'est pas la seule à bénéficier d'un excellent recrutement : *Pectinaria koreni* et *Chaetozone setosa*. Les espèces les plus importantes sont *Lanice conchilega* (3082/m²), *Pectinaria koreni* (1027/m²), *Abra alba* (693/m²), *Notomastus latericeus* (665/m²). Il est intéressant de remarquer que, comme nous le verrons dans le prochain paragraphe le recrutement de *Lanice conchilega* a également été observé à la station C, les densités à la station C étant même supérieures à celles de la station B. *Diastylis bradyi*, qui est une espèce dont la population est rarement importante présente une densité de 48/m², cette espèce a également été récoltée en forte densité à la station C.

La biomasse augmente fortement (140.0g/m²). Les espèces les plus contributives à l'élaboration de la biomasse sont *Abra alba* (45.4g/m²),

Nassarius reticulatus (38.2g/m²), *Notomastus latericeus* (22.4g/m²) et *Echinocardium cordatum* (13.6g/m²). Ces quatre espèces représentent 85% de la biomasse.

En juin, on observe une diminution de la richesse spécifique (36 espèces, soit - 6 espèces par rapport à mai 2000). Le recrutement de *Lanice conchilega* s'est intensifié (4803/m²) et fait fortement progresser la densité globale à la station, elle atteint presque les 10000/m² (9883/m² soit une progression de 48%). Les espèces les plus importantes sont *Lanice conchilega*, *Pectinaria koreni* (1244/m²), *Notomastus latericeus* (1036/m²), *Phyllodoce mucosa* (956/m²), *Abra alba* (867/m²) et *Eumida sanguinea* (476/m²). La densité de toutes ces espèces progressent fortement entre mai et juin.

Chaetozone setosa ne se maintient pas après son recrutement de mai. La densité de *Phyllodoce groenlandica* augmente fortement (45/m²), cette espèce ne se maintiendra pas après l'été, tout comme *Ensis directus* (47/m²).

La biomasse augmente par rapport au prélèvement de mai (165.5g/m² soit + 25g/m²). Cette augmentation est due en fait en particulier à la croissance des nouvelles recrues. Les espèces les plus contributives à la biomasse sont en particulier les espèces ayant nouvellement recruté comme *Pectinaria koreni* (56.2g/m²), *Abra alba* (28.9g/m²) et *Lanice conchilega* (22.8g/m²).

En septembre, la richesse spécifique reste stable (32 espèces) et la densité globale diminue fortement (4029/m²). Cette diminution est due à la complète disparition de *Lanice conchilega*, cette espèce ne s'est pas maintenue sur le site au-delà de l'été. Néanmoins, d'autres espèces qui avaient bénéficié d'un bon recrutement se maintiennent à un haut niveau de densité : *Pectinaria koreni* (1179/m²), *Abra alba* (846/m²), *Phyllodoce mucosa* (728/m²), *Notomastus latericeus* (386/m²), *Spiophanes bombyx* (225/m²), *Owenia fusiformis* (122/m²), *Ophiura albida* (84/m²) et *Nassarius reticulatus* (72/m²).

Du fait des densités importantes d'espèces à forte biomasse individuelle, la biomasse est exceptionnelle, elle atteint 692.4g/m². C'est la plus forte biomasse brute jamais enregistrée sur le site. Les espèces les plus contributives à l'élaboration de la biomasse sont : *Pectinaria koreni* (329.6g/m²), *Abra alba* (192.5g/m²), *Venerupis pullastra* (68.8g/m²), *Nassarius reticulatus* (38.2g/m²), *Owenia fusiformis* (19.7g/m²), *Sagartia troglodytes* (13.1g/m²), *Spisula subtruncata* (10.8g/m²), *Notomastus latericeus* (5.1g/m²) et *Phyllodoce mucosa* (3.6g/m²).

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. Ce phénomène a été observé en 2000 avec le recrutement de *Lanice conchilega*.

Les résultats enregistrés en 2000 à la station C confirment 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 37 % des individus récoltés à cette station en 2000 si l'on ne tient pas compte de *Lanice conchilega* dont la population était constituée de post larves et de juvéniles.

La campagne de mars 2000 met en évidence les caractéristiques du peuplement à l'étiage : 5 espèces, densité globale de 70/m². Le peuplement est dominé par *Nephtys cirrosa* (55/m²). Les autres espèces importantes sont *Gastrosaccus spinifer* (11/m²) et *Ophelia borealis* (2/m²). La biomasse est faible : 0.81 g/m².

L'échantillonnage de mai 2000 fait apparaître à la station C la résonance du recrutement très important de post larves de *Lanice conchilega* (4790/m²) à la station B. La densité de la population de *Lanice conchilega* est même supérieure à la station C. Il est intéressant de remarquer que ce recrutement a favorisé l'implantation temporaire d'une faune très diversifiée. 41 taxons ont été récoltés au cours de ce prélèvement, ils représentent une densité globale de 5412/m². Outre *Lanice conchilega*, les espèces importantes sont *Spiophanes bombyx* (301/m²), *Nephtys cirrosa* (118/m²), *Spio martinensis* (21/m²), *Diastylis bradyi* (21/m²) et *Atylus swammerdami* (21/m²). La densité de *Diastylis bradyi* au même titre que celle enregistrée à la station B est tout à fait exceptionnelle.

Cette augmentation de la richesse spécifique n'est pas due à une augmentation de la teneur en pélites du sédiment, le taux de pélites n'est en effet que de 0.05%.

La biomasse est plus élevée que la moyenne mais n'atteint pas les niveaux de la station B : 2,96g/m². Les espèces les plus contributives à l'élaboration de la biomasse sont *Nephtys cirrosa* (1.30g/m²), *Lanice conchilega* (0.64g/m²), *Hyperoplus lanceolatus* (0.50g/m²), *Portumnus latipes* (0.36g/m²).

En juin 2000, la résonance du recrutement de *Lanice conchilega* se fait encore sentir mais cette espèce ne se maintiendra toutefois pas au-delà de l'été, la densité de cette espèce est de 40/m². La période du recrutement de *Lanice conchilega* avait été très longue en 1999, ce phénomène se produit à nouveau en 2000, il s'est prolongé jusqu'à la fin juin. Les individus récoltés à la station C sont encore de très jeunes recrues (poids individuel moyen 0,5 mg). L'espèce dominante est *Nephtys cirrosa* (101/m²). Outre les deux autres espèces précédemment citées, les autres espèces importantes sont *Spiophanes bombyx* (57/m²) et *Spio martinensis* (16/m²).

Ces deux espèces auront disparu à l'automne. La richesse spécifique est élevée : 17 taxons ont été récoltés. La densité globale est de 237/m². La biomasse est plus faible qu'en juin (0.89g/m²). Les espèces qui participent le plus à l'élaboration de la biomasse sont *Nephtys cirrosa* (1.26g/m² soit 87 % de la biomasse totale) et *Hyperoplus lanceolatus* (0.36g/m²). Il faut enfin noter la récolte de 2 juvéniles de *Pectinaria koreni* dont le recrutement a été très important à la station B.

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/m²) et *Portumnus latipes* : 14% (22/m²) . La biomasse reste également semblable à celle de juin (0.93g/m²). Les deux espèces précédemment citées représentent à elles deux 98 % de la biomasse globale, 66 % pour *Nephtys cirrosa* (0.60g/m²) et 32% pour *Portumnus latipes* (0.3g/m²).

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 78 % de la densité et de 99.4% de la biomasse globales.

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 cette espèce est basée sur un cycle de 7 à 8 ans calqué sur celui de la température donc sans doute en fait sur les NAO (North Atlantic Oscillations).

Cette espèce a présenté en 1998 et 1999 de bons recrutements (respectivement 1249/m² et 1068/m²) alors que depuis 1991 on n'avait pu mettre en évidence que deux recrutements importants non suivis d'un maintien de la population.

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 dès le printemps.

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

Cette espèce, proche de *Abra alba*, s'en différencie par une affinité moindre pour les 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 et 1999 de recrutements un peu meilleurs (66/m² en 1998 et 83 en 1999). Le recrutement ne s'était pas maintenu par la suite au cours des deux années.

En 2000, la population reste à un niveau faible toute l'année. La densité ne dépasse pas les 50/m². La population est composée pour moitié de jeunes individus à un tel niveau de densité, c'est largement insuffisant pour permettre un développement de la population. Il est vrai que depuis plusieurs années le sédiment s'est considérablement envasé, ce qui ne représente pas des conditions optimales pour la survie de cette espèce.

Il apparaît très clairement que cette espèce est beaucoup moins abondante depuis 1991, en fait depuis le recrutement de *Ensis directus*.

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*.

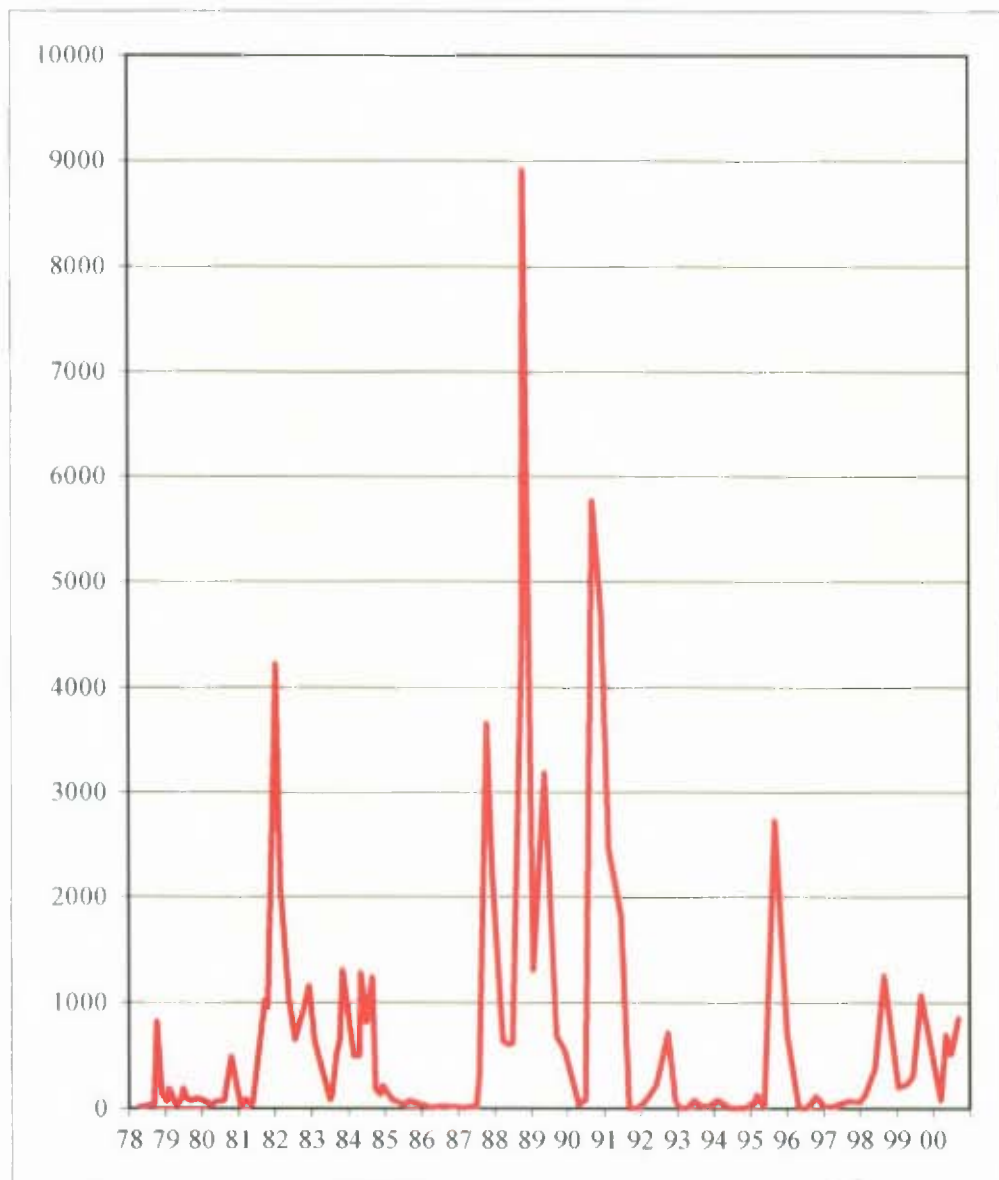


Fig. 8.3. *Abra alba*, évolution de la densité (par m²) de la population entre 1978 et 2000

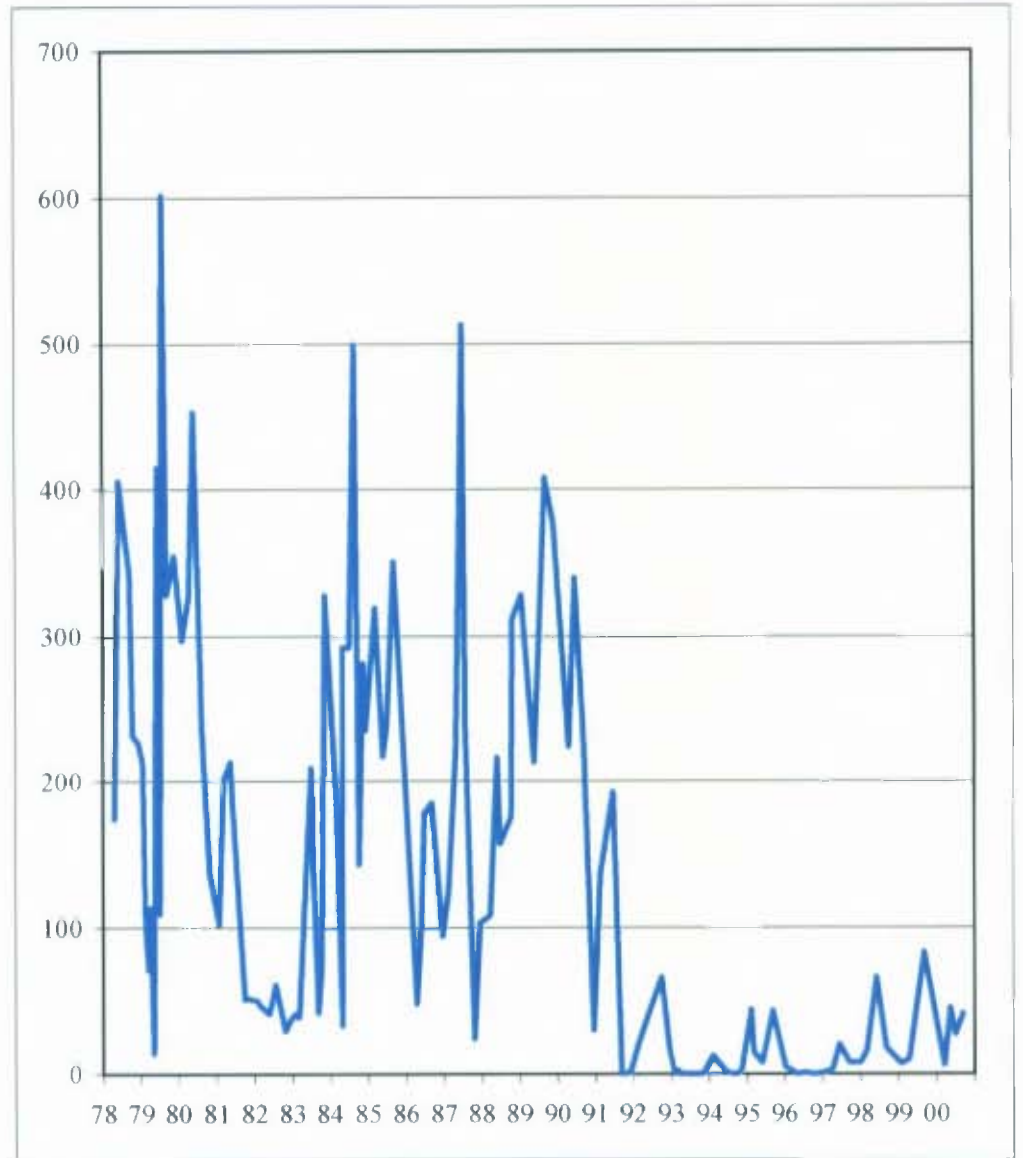


Fig. 8.4. *Tellina fabula*, évolution de la densité de la population (par m²) entre 1978 et 2000

	16/3/00	9/5/00	27/6/00	13/9/00
<i>Sagartia troglodytes</i>		1	1	6
<i>Tubulanus polymorphus</i>	2	2	1	2
<i>Cerebratulus sp.</i>	3		1	1
<i>Scoloplos armiger</i>		1		
<i>Spio martinensis</i>		1		
<i>Spiophanes bombyx</i>	14	50	40	225
<i>Magelona mirabilis</i>	7	20	2	2
<i>Chaetozone setosa</i>	8	363	46	70
<i>Notomastus latericeus</i>	53	665	1036	386
<i>Capitella capitata</i>		44		
<i>Mediomastus fragilis</i>				28
<i>Arenicola marina</i>			16	
<i>Phylodoce mucosa</i>	12	7	956	728
<i>Phylodoce groenlandica</i>			45	
<i>Famida sanguinea</i>		10	476	
<i>Eteone longa</i>				43
<i>Harmothoe glabra</i>		124	12	
<i>Harmothoe lumulata</i>		3		
<i>Stenelais bou</i>	2	17	17	16
<i>Pholoe minuta</i>		8	5	15
<i>Kefersteinia cirrata</i>		9	4	8
<i>Eunereis longissima</i>	3		17	30
<i>Glycera alba</i>	1	15	8	35
<i>Goniatella hobretzki</i>		2		
<i>Nephtys cirrosa</i>	2			
<i>Nephtys hombergii</i>	5	53	41	23
<i>Owenia fusiformis</i>	15	60	15	122
<i>Pectinaria koreni</i>	1	1027	1244	1179
<i>Lanice conchilega</i>	5	3082	4803	
<i>Crepidula fornicata</i>		2		
<i>Lunatia alderi</i>		2		1
<i>Nassarius reticulatus</i>	88	71	57	72
<i>Montacuta ferruginosa</i>		8		
<i>Mysella bidentata</i>	13	183	24	9
<i>Venerupis pullastra</i>	2	8	20	28
<i>Spisula subtruncata</i>	9	11	2	7
<i>Macoma balthica</i>		8	9	4
<i>Tellina fabula</i>	6	45	27	41
<i>Petricola pholadiformis</i>				1
<i>Abra alba</i>	79	693	867	846
<i>Ensis directus</i>		6	47	8
<i>Melita obusata</i>			3	
<i>Urothoe poseidonis</i>	1	9	3	
<i>Atylus falcatus</i>			4	
<i>Atylus swammerdami</i>	2	6	14	
<i>Diastylis bradyi</i>		48		
<i>Gastrosaccus spinifer</i>		5		3
<i>Corystes cassivelaanus</i>			1	
<i>Liocarcinus sp. "post larvae"</i>		11		
<i>Liocarcinus holsatus</i>		1	13	
<i>Acrocnida brachata</i>				3
<i>Ophiura texturata</i>		1		3
<i>Ophiura albida</i>	7	4	6	84
<i>Echinocardium cordatum</i>		8		
TOTAL	340	6694	9883	4029

Tabl. 8.2. Station B, nombre d'individus par m².

Espèces	16/03/00	09/05/00	27/06/00	13/09/00
<i>Sagartia troglodytes</i>		81.5	88.2	13076.1
<i>Chaetozone setosa</i>		987.7		
<i>Notomastus latericeus</i>	400.2	22401.4	10878.5	5056.4
<i>Arenicola marina</i>			12288.7	
<i>Phyllodoce mucosa</i>	7.2		3583.2	3629.2
<i>Stenelais boa</i>	12.9	1882.5	783.6	195.3
<i>Nephtys hombergii</i>	3.2	142.0	162.9	334.3
<i>Owenia fusiformis</i>	266.5	792.4	218.3	19720.8
<i>Pectinaria koreni</i>	18.9	6124.7	56214.2	329571.7
<i>Lanice conchilega</i>		2047.1	22830.0	
<i>Nassarius reticulatus</i>	48787.6	38235.7	10407.1	38217.2
<i>Mysella bidentata</i>	2.0	87.5	9.2	
<i>Venerupis pullastra</i>	57.3	1962.9	1330.8	68828.6
<i>Spisula subtruncata</i>	1171.0	87.8	81.9	10790.9
<i>Macoma balthica</i>		280.6	246.6	480.5
<i>Tellina fabula</i>	27.0	321.3	314.8	2401.0
<i>Abra alba</i>	2739.6	45380.7	28873.9	192476.2
<i>Ensis directus</i>		449.2	10087.0	2569.6
<i>Liocarcinus holsatus</i>			6219.1	
<i>Ophiura albida</i>	20.9		41.4	723.1
<i>Echinocardium cordatum</i>		13623.5		
divers	230.2	5152.5	831.2	4368.5
TOTAL	53744.5	140041.0	165490.6	6924439.4

Tabl. 8.3. Station B, biomasse en mg par m²

	16/03/00	09/05/00	27/06/00	13/09/00
<i>Lineus bilineatus</i>		2	1	
<i>Emplectonema neesi</i>		16		
<i>Cerebratulus sp</i>		2	1	
<i>Tubificoides benedeni</i>		2		
<i>Enchytraeidae sp</i>		1		
<i>Golfingia minuta</i>		13		
<i>Scoloplos armiger</i>			1	
<i>Scolecopsis squamata</i>		3	1	1
<i>Polydora pulchra</i>				2
<i>Nerinx tridentata</i>		1		
<i>Spiophanes bombyx</i>		301	57	
<i>Spio martinensis</i>		23	16	1
<i>Magelona mirabilis</i>		4	2	
<i>Notomastus latericeus</i>			1	
<i>Capitella capitata</i>		11		
<i>Ophelia borealis</i>	2			
<i>Harmothoe glabra</i>		2		
<i>Eteone longa</i>		1		
<i>Phyllodoce groenlandica</i>		1		
<i>Phyllodoce mucosa</i>		8	1	1
<i>Fumida sanguinea</i>		1		
<i>Nephtys cirrosa</i>	55	118	101	95
<i>Glycera tridactyla</i>			1	
<i>Syllidae sp</i>		1		
<i>Lanice conchilega</i>		4790	40	
<i>Pectinaria koreni</i>			2	
<i>Montacuta ferruginosa</i>		1		
<i>Abra alba</i>		1		
<i>Tellina fabula</i>				
<i>Vaunthompsonia cristata</i>		1		
<i>Diastylis bradyi</i>		21		
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	11	4		
<i>Praunus flexuosus</i>		1		
<i>Purpurinella chevreuxi</i>		10		
<i>Atylus falcatus</i>		2		
<i>Atylus swammerhami</i>		21	2	1
<i>Urothoe elegans</i>		1		
<i>Bathyporeia elegans</i>		5	5	1
<i>Pontocrates altamarinus</i>		1	3	
<i>Gammaropsis maculatus</i>		1		
<i>Pericardodes longimanus</i>		1		
<i>Jassa marmorata</i>		16		
<i>Crangon crangon</i>	1	3		
<i>Anapagurus hyndmanni</i>			1	
<i>Prisidia longicornis</i>	1			
<i>Coryistes cassivelaninus</i>		2		
<i>Carcinus maenas</i>		1		
<i>Portunus latipes</i>		14	2	12
<i>Hyperoplus lanceolatus</i>		3		
<i>Solea solea</i>		3		
Densité/m²	70	5412	237	114

Tab.8.4. Station C, nombre d'individus par m²

	16/03/00	09/05/00	27/06/00	13/09/00
<i>Lineus bilineatus</i>		0.8	2.7	
<i>Emplectonema neesi</i>		11.5		
<i>Cerebratulus sp</i>		69.2	154.7	
<i>Tubificoides benedeni</i>		0.6		
<i>Enchytraeidae sp</i>		0.1		
<i>Golfingia minuta</i>		5.5		
<i>Scoloplos armiger</i>			2.4	
<i>Scolecipis squamata</i>		3.6	1.1	0.1
<i>Polydora pulchra</i>				0.2
<i>Nerineles tridentata</i>		0.1		
<i>Spiophanes bombyx</i>		20.6	13.0	
<i>Spio martinensis</i>		2.5	2.8	0.6
<i>Magelona mirabilis</i>		0.3	0.4	
<i>Notomastus latericeus</i>			7.7	
<i>Capitella capitata</i>		1.2		
<i>Ophelia borealis</i>	1.5			
<i>Harmothoe glabra</i>		0.5		
<i>Eleone longa</i>		0.1		
<i>Phyllodoce groenlandica</i>		0.3		
<i>Phyllodoce mucosa</i>		2.7	0.4	1.4
<i>Eumida sanguinea</i>		0.7		
<i>Nephtys cirrosa</i>	260.0	1303.8	2222.9	516.7
<i>Glycera tridactyla</i>			24.2	
<i>Syllidae sp</i>		0.2		
<i>Lanice conchilega</i>		644.9	20.0	
<i>Pectinaria koreni</i>			0.4	
<i>Montacuta ferruginosa</i>		0.2		
<i>Abra alba</i>		0.2		
<i>Donax vittatus</i>	427.7			
<i>Vaunthompsonia cristata</i>		0.1		
<i>Diosyllis bradyi</i>		5.5		
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	41.3	3.3		
<i>Praunus flexuosus</i>		0.7		
<i>Parasinelobus chevreuxi</i>		0.8		
<i>Atylus falcatus</i>		0.3		
<i>Atylus swammerdamii</i>		2.7	0.9	0.1
<i>Urothoe elegans</i>		0.5		
<i>Bathyporeia elegans</i>		1.7	1.0	0.5
<i>Pontocrates altamarinus</i>		0.7	1.8	
<i>Gammaropsis maculatus</i>		0.3		
<i>Perioculodes longimanus</i>		0.1		
<i>Jassa marmorata</i>		2.5		
<i>Crangon crangon</i>	82.8	1.7		
<i>Anapagurus hyndmanni</i>			4.4	
<i>Pisidia longicornis</i>	0.4			
<i>Corystes cassivelaunus</i>		1.3		
<i>Carcinus maenas</i>		1.1		
<i>Portunus latipes</i>		362.3	103.5	76.4
<i>Hyperoplus lanceolatus</i>		499.1		
<i>Solea solea</i>		3.5		
Biomasse/m ²	813.7	2957.8	2564.3	596.0

Tab.8.5. Station C, biomasse en mg par m²

RESUME

Surveillance de Gravelines Novembre 1999 - Octobre 2000

Durant la période 1999-2000 des températures plus élevées que la moyenne ont été relevées ; la moyenne annuelle s'établit à 11.7°C soit 0.8°C au-dessus de la moyenne 1979-2000. On peut noter un hiver doux et un mois de juillet maussade. La pluviosité globale est également supérieure à la moyenne avec 785 mm à comparer aux 675 mm de la moyenne 1979-2000.

La puissance hebdomadaire moyenne produite par la centrale pour la période est proche de 4130 MW, soit l'équivalent de 4.6 tranches (4.4 lors de la période précédente). Sur cette base de calcul, l'augmentation moyenne de la température de l'eau au rejet est de 9.17°C. Cette valeur est proche des valeurs enregistrées lors des dernières périodes.

La chloration de l'eau a été en service durant 9 des 12 mois de la période 1999-2000. Les composés chimiques formés sont essentiellement bromés. Le plus abondant est le bromoforme avec une concentration moyenne de 18.3 µg l⁻¹ (95 % du total). Le 2-4-6 bromo-phénol a été mis en évidence cette année, comme en 1997-1998.

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.

La diversité des espèces de vibrions présentes sur le site 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 58 % des isollements.

Vibrio damsela et *Vibrio cholerae* Nag sont les deux espèces les plus fréquemment isolées après *V. alginolyticus* avec des pourcentages de l'ordre de 13 %. Ce pourcentage d'isolement de *V. cholerae* est voisin de celui de la période précédente ; il 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 halophiles strictes, ce qui permet de les distinguer des souches épidémiques. Les autres espèces mises en évidence sur le site en 1999-2000 sont : *V. mimicus*, *V. hollisae*, *V. vulnificus*, *V. parahaemolyticus* et *V. fluvialis*.

Le suivi hebdomadaire du canal d'amenée met en évidence une évolution saisonnière classique des concentrations en chlorophylle *a* représentative de l'évolution de la biomasse phytoplanctonique. Les faibles niveaux hivernaux sont caractérisés par des concentrations inférieures 3,6 mg.m⁻³ et le maximum printanier observé est de 26,06 mg.m⁻³ le 18 avril 2000. Les pourcentages en

chlorophylle active (indicateur qualitatif) sont très variables. Ils atteignent leur plus haut niveau (environ 90 %) au mois de mai.

L'échantillonnage réalisé au canal d'amenée a révélé la présence de 67 genres phytoplanctoniques. Les groupes les plus abondants sont les Diatomées et plus particulièrement les genres *Rhizosolenia*, *Chaetoceros*, *Leptocylindrus* et *Nitzschia*, et les Dinoflagellés. La prymnésiofycée *Phaeocystis sp.*, à l'origine de la formation d'écumes, présente des concentrations importantes de fin mars à fin avril (jusqu'à $29 \cdot 10^6$ cellules.l⁻¹) et est responsable des fortes concentrations en chlorophylle *a* observées sur le site.

Les campagnes pélagiques du 24 mai et du 27 septembre 2000 se situent, respectivement, en période de post-efflorescence algale (post-bloom) et dans un contexte de fin de cycle biologique. L'impact du fonctionnement de la centrale se traduit par un déficit de biomasse chlorophyllienne entre le canal d'amenée et le canal de rejet (déficit de 20,8 % en mai et de 59,6 % en septembre). L'année 2000 est caractérisée par une inversion du schéma d'évolution des pourcentages en chlorophylle active entre le canal d'amenée et le canal de rejet. En effet, ces pourcentages augmentent entre ces deux points lors des deux campagnes. Les éventuels problèmes d'échantillonnage et d'analyses ayant été éliminés (travail sous assurance de la qualité, traçabilité des échantillons), seul un processus biologique pourrait expliquer ce processus. Dans l'état actuel des connaissances, aucune conclusion ne peut être avancée. L'importance du suivi à long terme apparaît ainsi clairement.

L'impact de la centrale se traduit également en terme de diminution d'abondance et de changement de dominance phytoplanctonique. Les groupes les plus touchés sont les Diatomées, les ciliés, les Euglenophycées et les Dinoflagellés des genres *Gymnodinium spp.* et *Prorocentrum*. Cependant, les variations d'abondances et notamment les différences côte – large sont plus marquées et sont liées à l'évolution saisonnière du système.

Les Dinoflagellés noctiluques présentent un maximum en juillet, caractéristique d'une année normale moyenne. Il ne s'est pas produit d'eau rouge en 2000. Les espèces zooplanctoniques présentent une succession saisonnière normale ; on peut noter cependant un maximum d'abondance des copépodes et des dinoflagellés noctiluques à la même époque, ce qui est inhabituel, les 2 stocks de populations étant en général en compétition.

L'impact de la centrale sur les espèces zooplanctoniques entraîne globalement un déficit de 64 % en mai et 96 % en Septembre. Certaines espèces sont plus affectées comme les appendiculaires. Cette année le déficit sur les copépodes est plus important que précédemment.

Après plusieurs années à cycle précoce, l'année 2000 apparaît comme moyenne du point de vue de la reproduction du sprat et de la sole, en liaison avec des températures saisonnières normales. Par ailleurs, on observe une légère reprise des densités d'œufs et de larves qui retrouvent des effectifs habituels. Globalement cependant on note à long terme une tendance à la baisse des effectifs peut-être en liaison avec une élévation des températures moyennes depuis 1987. Les gradients côte-large pour la sole reflètent bien la biologie de cette espèce à ponte très côtière en début de saison, le gradient s'inversant progressivement en faveur du large avec l'éloignement des foyers de ponte et la décroissance des effectifs. Aux pontes locales s'ajoutent les œufs en provenance des zones limitrophes qui alimentent le site.

La population de *Hydrobia ulvae* a fortement régressé en 2000 par rapport à l'étude 1999. L'échantillonnage de la radiale supplémentaire a néanmoins permis de montrer que la répartition de la population de *Hydrobia ulvae* suivait un gradient décroissant d'ouest en est à l'inverse de la population de *Corophium arenarium*. L'influence de l'Aa et de la dessalure qu'elle occasionne n'évolue pas entre 1999 et 2000. *Pygospio elegans* reste cantonné dans la partie est de l'estran. La radiale 3 permet de préciser l'aire de répartition des spionidiens. Les bas niveaux ont été le siège d'un recrutement exceptionnel de *Donax vittatus*, ce phénomène s'est produit à l'échelle de la Manche orientale et du sud de la mer du Nord. Le fonctionnement de la centrale n'a pas entravé ce recrutement.

La station B subtidale a été le siège de plusieurs recrutements simultanés : *Lanice conchilega* dont la population a complètement disparu pendant l'été, *Pectinaria koreni*, *Abra alba*, *Phyllodoce mucosa* et *Notomastus latericeus* qui se sont maintenus à l'automne. Du fait de ces recrutements et de la présence d'espèces à forte biomasse individuelle (*Venerupis pullastra*), la biomasse enregistrée en septembre est exceptionnelle : 692.4/m². *Abra alba* semble se réimplanter sur le site tandis que la population de *Tellina fabula* reste à un niveau faible de densité depuis le recrutement du couteau en 1991.

Le recrutement de *Lanice conchilega* à la station B s'est également fait sentir à la station C de manière atténuée, certes, mais significative (plus de 4000/m²). Ce recrutement a été de même durée qu'à la station B, à la différence que les seuls individus récoltés à la station C étaient des post larves, le sédiment ne pouvant pas permettre leur développement. Ce recrutement a permis un enrichissement temporaire mais spectaculaire du peuplement établi à la station C qui ne s'est pas répercuté sur la biomasse, étant donnée la fugacité du phénomène. Le recrutement de *Donax vittatus*, mis en évidence en intertidal, s'est aussi produit à la station C.

Deux espèces nouvelles pour le site et pour la région ont été découvertes à l'occasion de l'étude 2000 : l'opisthobranche *Retusa obtusata* en intertidal et la polychète *Nerinides tridentata* en subtidal. La présence de ces espèces ne permet aucune conclusion quant au fonctionnement de la centrale.

ANNEXE SITE DE GRAVELINES

RAPPORTS ANNUELS C.N.E.X.O ET I.S.T.P.M 1975 - 1985 ET RAPPORTS ANNUELS IFREMER 1986 - 2000

Rapports CNEXO

Bougard M, Ryckaert M, Delattre JM, Arnal O, Le Fèvre-Lehoërff G, Toularastel F, Dewarumez JM, Souplet A, Gregoire A, 1975.

Etude écologique du site de Gravelines. Rapport des travaux au 30 août 1975. ELGMM-CNEXO pour EDF. Août 1975 (2 volumes).

Bougard M, Ryckaert M, Delattre JM, Arnal O, Le Fèvre-Lehoërff G, Toularastel F, Dewarumez JM, Souplet A, Gregoire A, 1976.

Etude écologique de projet. Site de Gravelines. Rapport final 1er cycle. ELGMM-CNEXO / IBMR Wimereux / Université de Lille/Institut Pasteur Lille/pour EDF. Juin 1976 (4 volumes).

Bougard M, Delattre JM, Arnal O, Le Fèvre-Lehoërff G, Toularastel F, Dewarumez JM, Souplet A, 1977.

Etude écologique de projet. Site de Gravelines 2ème cycle. ELGMM-CNEXO / IBMR Wimereux / Université de Lille/Institut Pasteur Lille/pour EDF. Novembre 1977 (3 volumes).

Bougard M, Delattre JM, Arnal O, Le Fèvre-Lehoërff G, Toularastel F, Dewarumez JM, Souplet A, 1981a.

Etude de surveillance écologique 1er cycle (janvier 1978 à juin 1979) Site de Gravelines. CNEXO/IBMR Wimereux / Université de Lille/Institut Pasteur Lille/pour EDF. Janvier 1981 (2 volumes).

Gros P et al, 1981b

Première étude de surveillance du site de Gravelines. Description statistique des données et interprétation écologique CNEXO pour EDF. Août 1981.

Grossel H, Degros N, Delesmont R, Delattre JM, Le Fèvre-Lehoërff G, Dewarumez JM. 1982a.

Etude de surveillance écologique du site de Gravelines (Surveillance n°2 juillet 1979 - octobre 1980). CNEXO/IBMR Wimereux / Université de Lille/Institut Pasteur de Lille/pour EDF. Février 1982 (255 pages).

Grossel H, Degros N, Delesmont R, Delattre JM, Le Fèvre-Lehoërff G, Dewarumez JM. 1982b.

Etude de surveillance écologique du site de Gravelines (Surveillance n° 3 novembre 1980 - octobre 1981). CNEXO/Station marine de Wimereux/Institut Pasteur de Lille pour EDF. Avril 1982 (189 pages).

Le Fèvre-Lehoërff G (coordinatrice) et al, 1983.

Surveillance écologique du site de Gravelines (Surveillance n° 4 novembre 1981 - octobre 1982). CNEXO/Station marine de Wimereux/ Institut Pasteur de Lille/pour EDF. Avril 1983.

Le Fèvre-Lehoërff G (coordinatrice) et al, 1984.

Surveillance écologique du site de Gravelines (Surveillance n° 5 novembre 1982 - octobre 1983). CNEXO/Station marine de Wimereux/Institut Pasteur de Lille/pour EDF. Avril 1984.

Le Fèvre-Lehoërff G (coordinatrice) et al, 1985.

Surveillance écologique du site de Gravelines (Surveillance n° 6 novembre 1983 - octobre 1984). CNEXO/Station Marine de Wimereux / Institut Pasteur de Lille/pour EDF. Avril 1985.

Rapports I.S.T.P.M

Giret M, Tetard A, Halgand D, Martin J, Woehrling D, 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.

Giret M, Tetard A, Halgand D, Martin J, Woehrling D, 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 (2 volumes).

Giret M, Tetard A, Halgand D, Martin J, Woehrling D, 1982a

Site de Gravelines. Etude de surveillance écologique des ressources halieutiques année 1980. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, édit., Nantes pour EDF. 1981.

Giret M, Tetard A, Halgand D, Martin J, Woehrling D, 1982b

Site de Gravelines. Etude de surveillance écologique des ressources halieutiques, année 1981. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, édit., Nantes pour EDF. 1982.

Delpech JP, Grellier P, Peronnet I, Tetard A, Martin J, Woehrling D, 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.

Delpech JP, Grellier P, Peronnet I, Tetard A, Martin J, Woehrling D, 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.

Delpech JP, Grellier P, Peronnet I, Tetard A, Martin J, Woehrling D, 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

Le Fèvre-Lehoërff G (coordinatrice) et al, 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).

Le Fèvre-Lehoërff G (coordinatrice) et al, 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.

Le Fèvre-Lehoërff G (coordinatrice) et al, 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.

Le Fèvre-Lehoërff G (coordinatrice) et al, 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.

Le Fèvre-Lehoërff G (coordinatrice) et al, 1990.

Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1988 - octobre 1989) IFREMER DRO 90.12.EL pour EDF. 1990. 120 p.

Le Fèvre-Lehoërff G (coordinatrice) et al, 1991.

Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1989 - octobre 1990) IFREMER DRO 91.10.EL pour EDF. 1991. 93 p.

Le Fèvre-Lehoërff G (coordinatrice) et al, 1992.

Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1990 - octobre 1991) IFREMER DEL 92.14. 1992. 119 p.

Le Fèvre-Lehoërff G (coordinatrice) et al, 1993.

Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1991 - octobre 1992) IFREMER DEL 93.11. 1993. 105 p.

Le Fèvre-Lehoërff G (coordinatrice) et al, 1994.

Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1992 - octobre 1993) IFREMER DEL 94.05. 1994. 117 p.

Le Fèvre-Lehoërff G (coordinatrice) et al, 1995.

Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1993 - octobre 1994) IFREMER DEL 95.07. 1995. 107 p.

Le Fèvre-Lehoërff G (coordinatrice) et al, 1996.

Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1994 - octobre 1995) IFREMER DEL/Brest 96.04. 1996. 111 p.

Le Fèvre-Lehoërff G (coordinatrice) et al, 1997.

Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1995 - octobre 1996) IFREMER DEL/EC/RST 97.08. 1997 121 p.

Le Fèvre-Lehoërff G (coordinatrice) et al, 1998.

Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1996 - octobre 1997) IFREMER DEL/EC 98.03 BREST. 1998 123 p.

Le Fèvre-Lehoërff G (coordinatrice) et al, 1999.

Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1997 - octobre 1998) IFREMER DEL/EC - R. INT 99.06. BREST 1999 134 p.

Le Fèvre-Lehoërff G (coordinatrice) et al, 2000.

Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1998 - octobre 1999) IFREMER DEL/EC - R. INT 00.07. BREST 2000 149 p.

Nota :

Un rapport préliminaire paraît chaque année en janvier et le rapport annuel paraît 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 :

1^{er} cas, 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 : Le Fèvre – Lehoërff G.(coordinatrice) et *al.* (1990) site de Gravelines - Surveillance écologique et halieutique (novembre 1988 - octobre 1989) IFREMER DRO 90.12 EL pour EDF. 1990. 120 p.

2^{ème} cas, si on cite le rapport dans sa totalité on citera

Le Fèvre Lehoërff G.(coordinatrice) et *al.* (1990) Site de Gravelines - Surveillance écologique et halieutique (novembre 1988 - octobre 1989) IFREMER DRO 90.12 EL pour EDF. 1990. 120 p.



Ifremer