

Laboratoire Environnement côtier & Ressources aquacoles (LER)

Coordonnateur : Alain Lefebvre

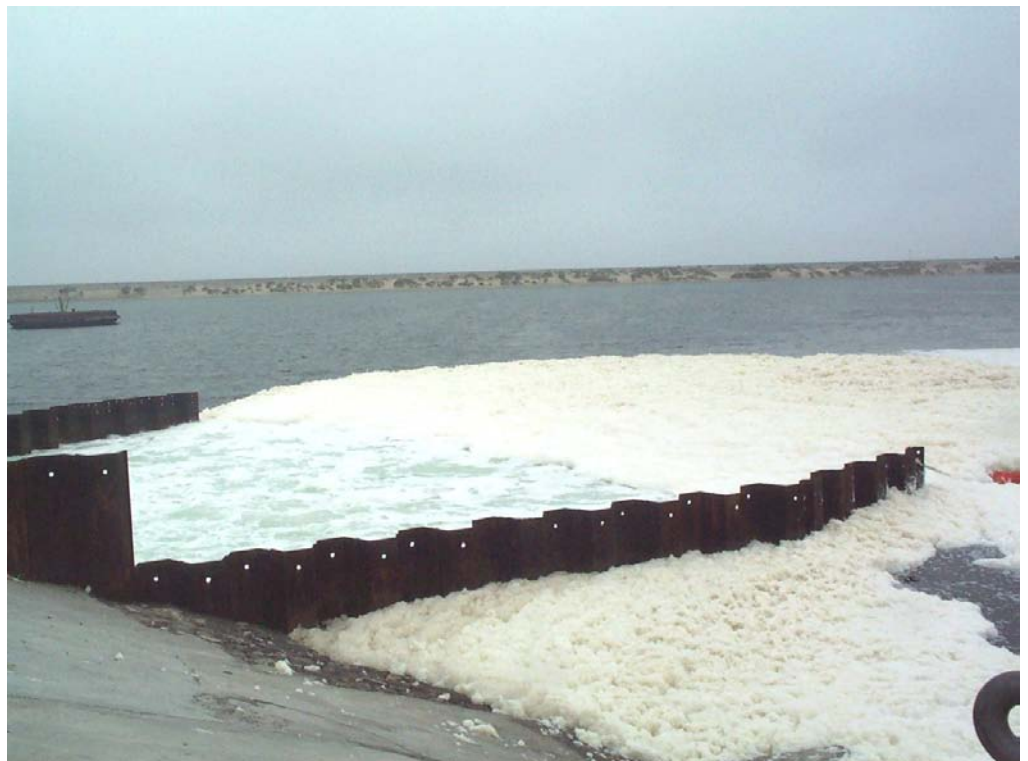
Auteurs : Régis Delesmont, Jean-Marie Dewarumez,
Benoist Hitier, Geneviève Le Fèvre-Lehoërff,
Alain Lefebvre, Christophe Luczak, Daniel Woehrling

Mars 2005 – LER/BL/RST/05/01

ifremer

Surveillance Écologique et Halieutique Site de Gravelines

Novembre 2003 - Octobre 2004



*Mousse de Phaeocystis sp. dans l'avant port ouest de Dunkerque
en mai 2004 (Photo : R. Delesmont)*

FICHE DOCUMENTAIRE

Numéro d'identification du rapport : LER/BL/RST/05/01		date de publication mars 2005
Diffusion : libre <input type="checkbox"/> restreinte <input checked="" type="checkbox"/> interdite <input type="checkbox"/>		nombre de pages 170
Validé par : groupe de lecture Ifremer & EDF		bibliographie (Oui / Non)
Version du document : définitive		illustration(s) (Oui / Non)
langue du rapport Français		
Titre et sous-titre du rapport : Surveillance écologique et halieutique du site de production électronucléaire de Gravelines Novembre 2003 – Octobre 2004 Titre traduit : Ecological and fisheries monitoring of the Gravelines nuclear power plant November 2003 – October 2004		
Auteur(s) principal(aux) : DELESMONT Régis DEWARUMEZ Jean Marie HITIER Benoist LEFEBVRE Alain LUCZAK Christophe WOEHLING Daniel	Organisme / Direction / Service, laboratoire Institut Pasteur/Gravelines Station Marine de Wimereux Ifremer Boulogne Ifremer Boulogne Station Marine de Wimereux Ifremer Nantes	
Collaborateur(s) : D'ELBEE Jean DELESMONT Edith GARREN François HEBERT Pascale LE GRAND Jacqueline MENU Dominique	Organisme / Direction / Service, laboratoire LAPHY/Biarritz Institut Pasteur/Gravelines Ifremer Boulogne Ifremer Boulogne Ifremer Brest Station Marine de Wimereux	
Travaux universitaires : diplôme : _____ discipline : _____ établissement de soutenance : _____ année de soutenance _____		
Titre du contrat de recherche : Surveillance écologique et halieutique du site de production électronucléaire de Gravelines		n° de contrat IFREMER Marché S62C5001
Organisme commanditaire : Electricité de France (E.D.F.) – Production transport – CNPE Gravelines BP 149 - 59820 Gravelines Organisme(s) réalisateur(s) : Institut Français de Recherche pour l'exploitation durable de la mer (Ifremer) Boulogne – 150, quai Gambetta BP 699 – 62321 Boulogne sur mer Ifremer Centre de Brest – BP 70 – 29280 Plouzané Ifremer Centre de Nantes – BP 21105 – 44311 Nantes cedex 03 Institut Pasteur de Gravelines – Route du Grand Colombier – 59820 Gravelines Station Marine de Wimereux – 28, avenue Foch BP 80 – 62930 Wimereux LAPHY – CERS musée de la mer BP 89 – 64203 Biarritz Responsable scientifique : LEFEBVRE Alain Ifremer/LER/BL		
Cadre de la recherche : Surveillance des centrales nucléaires littorales et estuariennes Programme : Surveillance et évaluation de la _____ Convention : CT 04/1215377/MF qualité du milieu marin Projet : Impacts des Grands Aménagements IGA Autres (préciser) : _____ Campagne océanographique : (nom de campagne, année, nom du navire)		

Résumé :

Ce travail constitue le 27^e rapport de surveillance du site électronucléaire de Gravelines dont la grande puissance (5400 MW) est assurée par le fonctionnement de 6 tranches. Ce site, implanté sur le littoral, présente une prise d'eau de mer assurant le refroidissement du système et un rejet côtier d'eau chaude en surface. Le fonctionnement de la centrale a débuté en 1980 et elle a atteint la puissance maximale en 1986. La surveillance concerne le milieu halieutique (larves et œufs de Sole, de Sprat et crevettes grises), les milieux benthiques (intertidal et subtidal) et pélagique (hydrologie, microbiologie, phytoplancton, zooplancton). La stratégie de surveillance est basée sur une approche spatiale et temporelle (i) Etude de l'impact immédiat par comparaison de la station « Prise d'eau » et de la station « Canal de rejet » sur une surface limitée (ii) Etude de l'évolution à moyen ou à long terme du milieu marin par rapport à une situation de référence (échelle locale).

Abstract :

This is the 27th annual surveillance report concerning the central nuclear power plant of Gravelines. This very high power level (5400 MW) results from six plant units located on the shore and is characterised by a cooling system with a coastal surface input and output. The production of electricity began in 1980 and reached maximum in 1986. Surveillance studies concern monitoring of fish populations (larvae and eggs of Sole and Sprat) or crustaceans (shrimps), benthic system (intertidal and subtidal) and pelagic system (hydrology, microbiology, phytoplankton, zooplankton). This survey deals with spatial and temporal approaches (i) study of the direct impact by comparison of the input and output seawater stations, (ii) study of medium and long term evolution of the area by comparison with a reference station.

Mots-clés :

Centrale nucléaire - Gravelines - Surveillance - Hydrologie - Halieutique - Plancton -
Microbiologie - Benthos

Keywords :

Nuclear power plant - Gravelines - Network survey - Hydrology - Fisheries - Plankton -
Microbiology - Benthos

Commentaire :

RESUMÉ Période de surveillance Novembre 2003 – Octobre 2004

Généralités

La période de surveillance 2003-2004 est caractérisée par une température moyenne de l'air de 11,27 °C soit plus que celle de la période précédente (11,07 °C) et soit 0,4 °C au-dessus de la moyenne 1979-2000. La pluviosité globale est cette année plus faible que la normale (613 mm à comparer aux 688 mm de la moyenne 1979-2000) (pluies excédentaires en janvier et août, déficitaires de février à juin).

La puissance hebdomadaire moyenne de la période est proche de 4333 MW, soit l'équivalent de 4,8 tranches (4,7 lors de la période précédente). Le débit hebdomadaire moyen est de 221 m³/s (variation de 195 à 240 m³/s). L'augmentation moyenne de la température de l'eau au rejet est de 9,37 °C.

Les campagnes pélagiques ont eu lieu le 2 juin et le 27 septembre 2004.

Chloration

La chloration de l'eau du système a été détectée pendant 8,5 mois. Le bromoforme n'est pas détecté du 07/01/04 au 14/04/04. Les composés chimiques formés sont essentiellement bromés et le plus abondant est le bromoforme (98,2 % du total des produits dérivés - 97,8 % en 2002-2003) avec une concentration moyenne de 18,8 µg/L. Le 2-4-6 bromo-phénol est présent en faibles concentrations (de 40 à 450 ng/L) (40 à 90 ng/L lors de la période précédente). Les possibilités de sélection et de fixation sur le site d'espèces bactériennes sont fortement influencées par le pourcentage de re-circulation des masses d'eaux, estimé à partir de la mesure de persistance du bromoforme dans les dosages. Ce taux est de 4,7 %.

Bactériologie

Le passage de l'eau de mer dans l'ensemble du système centrale + installations aquacoles entraîne une multiplication importante du nombre de vibrions (d'un facteur 73 en moyenne géométrique annuelle) (43 lors de la période précédente). La concentration est de 105 vibrions/L au canal d'amenée et de 7610 vibrions/L au rejet (valeur plus classique que la faible valeur mesurée lors de la période précédente : 4723 vibrions/L). L'amplitude du cycle d'abondance des vibrions est stable dans le rejet. Cependant, les niveaux hivernaux semblent élevés peut être en raison des hivers cléments ou du développement de l'aquaculture sur le site.

Vibrio alginolyticus reste l'espèce dominante observée sur le site (63,1 % d'isolement au niveau du rejet). L'augmentation de la diversité des espèces présentes depuis le développement des activités aquacoles est confirmée cette année. Les espèces accompagnatrices de *V. alginolyticus*, par ordre d'isolement décroissant, sont : *V. cholerae* Nag (17,9 % d'isolement), *V. damsela* (10,8 %), *V. parahaemolyticus* (4,4 %), *V. fluvialis* (1,6 %), *V. mimicus* (1,6 %), *V. vulnificus* (0,4 %), et *V. metschnikovii* (0,3 %). Les deux sérotypes de *V. cholerae* Nag présentant un risque sanitaire n'ont jamais été mis en évidence sur le site.

Sels Nutritifs, Phytoplancton & Zooplancton

Le cycle saisonnier des compartiments nutriments, phytoplancton et zooplancton est caractéristique d'un système tempéré brassé. Le stock de nutriments est à son maximum en période hivernale. Les conditions lumineuses ne permettent cependant pas une production primaire soutenue. La période février-mars correspond à une période clé au cours de laquelle les conditions nutritive et de luminosité deviennent favorables à la croissance du phytoplancton. Le stock de nutriments chute brutalement et la chlorophylle *a* (indicateur de biomasse phytoplanctonique) augmente. L'année 2004 est caractérisée par 3 'poussées phytoplanctoniques' : la première début avril (maximum de chlorophylle *a* de 19,94 mg/m³), la seconde début mai (16,18 mg/m³) et la troisième fin juin (18,57 mg/m³). Pendant la période d'étude, 81 genres phytoplanctoniques ont été dénombrés au canal d'aménée (jusqu'à plus de 90 % de diatomées en l'absence de *Phaeocystis sp.*).

Aucun phénomène d'eau rouge lié à la présence des dinoflagellés noctiluques n'est apparu pendant la période de surveillance. La dynamique observée pour les noctiluques ces dernières années n'est pas confirmée en 2004.

La succession temporelle des espèces zooplanctoniques holoplanctoniques et méroplanctoniques et la succession des espèces herbivores, carnivores, omnivores sont classiques. Les plus fortes biomasses sont mesurées en avril-mai et en août.

Les déficits d'espèces liés au transit de l'eau dans la centrale observé soit au point *canal de rejet* soit au point *contrôle* restent fluctuants et dans la gamme habituelle. Les effets restent très limités dans l'espace.

Zooplancton halieutique

La précocité de la période de ponte de la sole et du sprat (avril) est confirmée en 2004. Alors que l'année 2003 était caractérisée par une chute des effectifs, les densités d'œufs de sole en 2004, proches de celles de 2002, sont à nouveau plus conformes à la moyenne du site. Pour le sprat en revanche, les effectifs d'œufs sont nettement plus faibles qu'en 2003. La tendance à une certaine remontée des effectifs depuis les années 2000 ne se confirme pas et les densités observées en 2004 sont à nouveau parmi les plus basses toutes années confondues. Les densités de larves sont cependant plus élevées qu'en 2003. Les densités de larves et de post-larves de crevette grise restent très faibles.

Benthos intertidal

En juin 2004, 28 taxons ont été récoltés pour les 3 radiales. Alors que 2002 était considérée comme une période d'altération des populations benthiques, que 2003 semblait être une période normale, l'année 2004 présente des densités d'organismes benthiques très largement supérieures (22964 individus récoltés). L'année 2004 est caractérisée par une population d'*Hydrobia ulvae* qui présente la plus forte densité jamais enregistrée sur le site. Cette espèce représente 88,1 % des individus récoltés. La densité des autres espèces chute significativement par rapport aux années précédentes.

On ne note pas d'évolution majeure de la morphologie de l'estran, mais on peut noter un lessivage des fines en haut d'estran à proximité de l'Aa.

L'étude des 3 radiales fait ressortir une influence moindre de la dessalure de l'Aa en 2004 par rapport à 2003.

Concernant le principe de séparation spatiale des populations de *Spio martinensis* et *Pygospio elegans* : la première espèce n'a pas été récoltée alors qu'elle est habituellement rencontrée à l'ouest de l'estran ou dans les niveaux inférieurs de la partie est. La population de *P. elegans* présente un schéma de distribution classique avec des individus présents en majorité à l'est de l'estran et en haut niveau.

Globalement, les valeurs de la biomasse sont parmi les plus fortes enregistrées sur le site depuis le début de l'étude (moyenne de 7,5 mg/m² à comparer au maximum de 8,2 mg/m² mesuré en 1998). Cette biomasse est surtout établie dans les niveaux supérieurs et moyens supérieurs de la partie ouest de l'estran. Ce schéma est caractéristique des estrans à énergie modérée.

Benthos subtidal

Lors de cette étude, le dénombrement fait état de 74 taxons au point B (non perturbée par le fonctionnement de la centrale) et 38 taxons au point C (avec respectivement, 12159 et 715 individus récoltés, contre 23681 et 466 individus récoltés lors de la période précédente). Le déficit en densité de peuplement et en biomasse au point C par rapport au point B reste considérable. L'impact de la centrale reste important sur les peuplements sub-tidaux. Il provoque un déficit de 94,2 % de la densité et de 94,3 % de la biomasse. Ces déficits sont moins importants qu'en 2003 et résulte de la baisse des effectifs et de la biomasse au point B. Cependant il faut rappeler que le peuplement installé au point C est tout à fait semblable, tant au point de vue de la composition faunistique, qu'en ce qui concerne la densité et la biomasse globales à ceux établis sur les sédiments similaires dans la région. De plus, la zone de déficit est localisée au débouché du canal de rejet et ne s'étend pas au-delà de quelques centaines de mètres. Enfin, ce déficit est uniquement dû à l'action de la courantologie et que rien ne permet de penser que l'on puisse être en présence d'une quelconque toxicité.

La population à *Abra alba* (espèce pionnière connue pour ces fluctuations brutales) montre un cycle habituel avec une diminution de densité à la fin de l'hiver et au début du printemps, puis un recrutement en juin qui se maintient à l'automne. La population de *Tellina fabula* (espèce pionnière fortement affectée par l'introduction du couteau *Ensis directus* en 1991) présente un recrutement de jeunes individus au cours du printemps-été qui ne se maintiennent pas en densité importante en automne.

1.	PRÉSENTATION DU SITE – STRATÉGIE D'ÉTUDE	9
1.1.	RAPPEL SUR LE SITE	11
1.2.	HYDROGRAPHIE.....	11
1.3.	DESCRIPTION DES INSTALLATIONS	12
1.4.	STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE.....	13
1.4.1.	Domaine pélagique.....	13
1.4.2.	Domaine halieutique	14
1.4.3.	Domaine benthique	15
2.	CLIMATOLOGIE – HYDROLOGIE – FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE PRÉSENTATION DES CAMPAGNES PÉLAGIQUES	17
2.1.	CLIMATOLOGIE	19
2.2.	FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE	20
2.3.	HYDROLOGIE	23
2.3.1.	Points <i>canal d'amenée</i> et <i>canal de rejet</i>	23
2.3.2.	Campagnes pélagiques	26
3.	ÉTUDE DE LA CHLORATION ET BACTÉRIOLOGIE	29
3.1.	CHLORATION	31
3.2.	BACTÉRIOLOGIE	32
3.3.	CAMPAGNES PÉLAGIQUES	39
3.4.	ÉLÉMENTS DE CONCLUSION	41
4.	PHYTOPLANCTON ET BIOMASSE CHLOROPHYLIENNE	47
4.1	INTRODUCTION	49
4.2	RÉSULTATS	49
4.2.1	Surveillance hebdomadaire au point <i>canal d'amenée</i>	49
4.2.2	Impact de la centrale : Campagnes pélagiques.....	57
4.3	ÉLÉMENTS DE CONCLUSION	64
5.	DINOFLAGELLES, NOCTILUQUES ET ZOOPLANCTON.....	69
5.1	METHODOLOGIE	71
5.1.1	Stratégie de prélèvements du zooplancton.....	71
5.1.2	Prélèvements et analyses du zooplancton	71
5.2	RÉSULTATS	72
5.2.1	Surveillance du point <i>canal d'amenée</i>	72
5.2.2	Impact de la centrale sur le milieu récepteur	84
5.3	ÉLÉMENTS DE CONCLUSION	94
6.	ZOOPLANCTON HALIEUTIQUE.....	103
6.1.	INTRODUCTION	105
6.2.	MATÉRIELS ET MÉTHODES	105
6.2.1	Rappel succinct.....	105
6.2.2	Localisation des points de prélèvement	106
6.2.3	Chronologie	106

sommaire

6.3.	RÉSULTATS-DISCUSSION.....	107
6.3.1	La sole	107
6.3.2	Le sprat	111
6.3.3.	La crevette grise.....	115
6.4.	ÉLÉMENTS DE CONCLUSION	119
7.	LE DOMAINE BENTHIQUE INTERTIDAL.....	121
7.1.	INTRODUCTION	123
7.2.	MATÉRIELS ET MÉTHODES	123
7.3.	RÉSULTATS	124
7.3.1.	Composition bionomique	124
7.3.2.	Résultats globaux.....	125
7.4.	CONCLUSION SUR L'ÉVOLUTION DE L'ESTRAN	134
7.4.1.	Cas de la partie ouest	134
7.4.2.	Cas des Spionidés	134
7.4.3.	Cas de la biomasse.....	136
7.5.	ÉLÉMENTS DE CONCLUSION	137
8.	LE DOMAINE BENTHIQUE SUBTIDAL.....	145
8.1.	INTRODUCTION	147
8.2.	MATÉRIELS ET MÉTHODES	147
8.3.	RESULTATS	147
8.3.1.	Analyses granulométriques.....	147
8.3.2.	Composition bionomique	151
8.3.3.	Résultats	152
8.4.	ÉTUDE DES POPULATIONS DE <i>Abra alba</i> ET DE <i>Tellina fabula</i>	156
8.4.1.	Etude de la population de <i>Abra alba</i>	156
8.4.2.	Etude de la population de <i>Tellina fabula</i>	158
8.5.	ÉLÉMENTS DE CONCLUSION	160
	BIBLIOGRAPHIE.....	167



1. PRÉSENTATION DU SITE – STRATÉGIE D'ÉTUDE

Auteur : Delesmont R.

Collaboratrice : Delesmont E.





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 (Anonyme, 1968).

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 (Anonyme, 1968) (Fig. 1.1.).

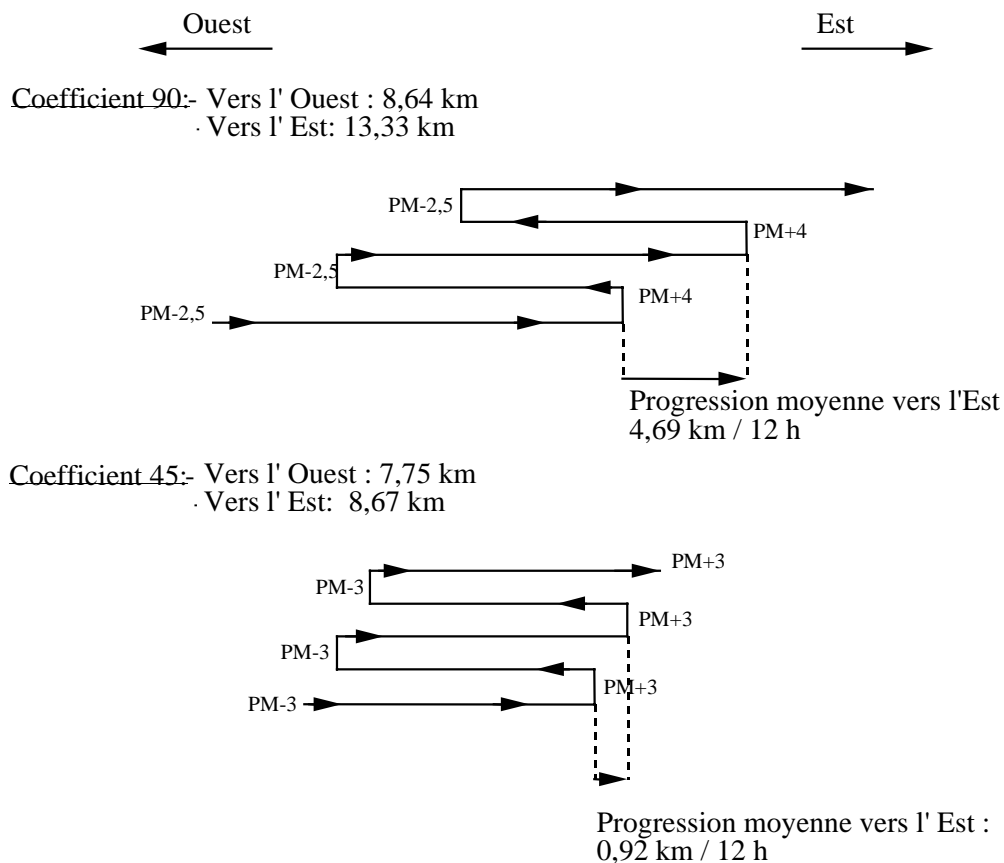


Figure 1.1. Schéma des courants de marée devant Dunkerque

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 Saint-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/s

Fleuve Aa : 7,5 m³/s

Canaux 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 par la centrale. Les dessalures significatives observées sur le site (de 1 à 3 environ) ont lieu par temps sec, quand le vent de nord-est, établi sur de longues périodes, modifie les courants et amène sur le site des eaux de la côte belge (Belgrano *et al.*, 1990).

1.3. DESCRIPTION DES INSTALLATIONS

Le *Centre Nucléaire de Production Électrique* (CNPE) de Gravelines est composé de six tranches d'une puissance unitaire de 900 MW. Le circuit de refroidissement est alimenté en eau de mer prélevée dans l'avant port de Dunkerque et son débit est de 40 m³ par seconde et par tranche. Le débit nominal total du rejet est ainsi de 240 m³ par seconde. L'eau réchauffée est rejetée dans un canal à ciel ouvert qui se déverse à la côte.

Depuis 1984, des installations aquacoles utilisent cette eau tiède pour l'élevage de bars et de daurades. La production actuelle est de l'ordre de 2000 tonnes de poisson par an. Une phase d'extension est actuellement en cours pour porter la capacité de production annuelle à 4000 tonnes.

Actuellement, les débits utilisés par la ferme aquacole sont en augmentation avec la mise en service d'une seconde station de pompage

Le rejet des eaux de la ferme aquacole se fait dans le canal de rejet de la centrale. Depuis l'été 2003, un second rejet situé plus en amont sur le canal de rejet est en service.

Les effets observés au rejet de la centrale sont donc la résultante des influences conjuguées des deux installations, centrale électrique et ferme aquacole (Fig. 1.2.).

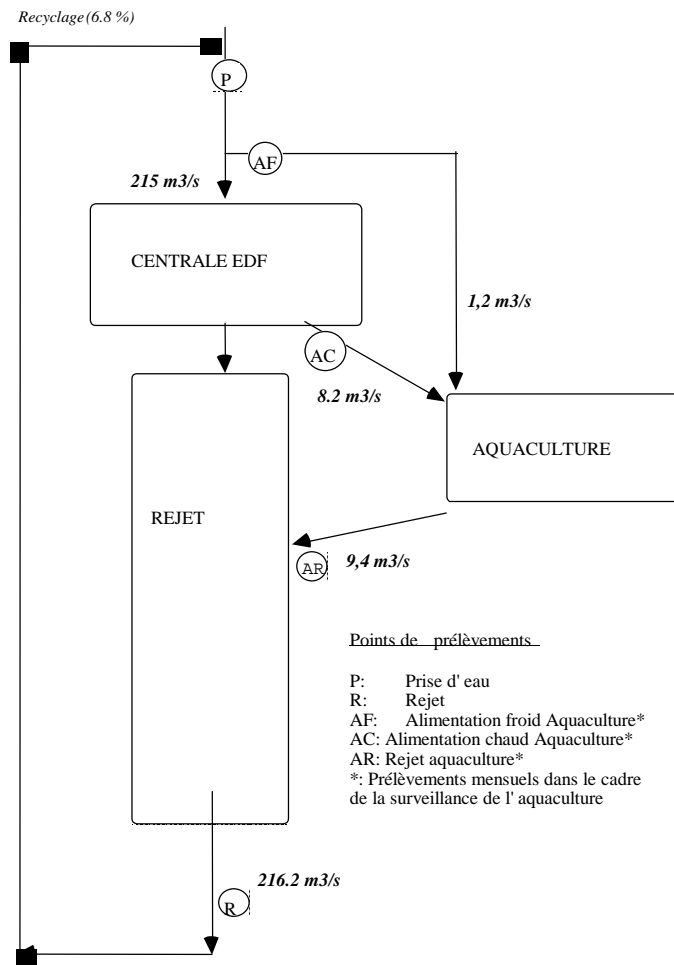


Figure 1.2. Schéma de la circulation de l'eau sur le site de Gravelines
 (Valeurs chiffrées en 2000)

1.4. STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

1.4.1. Domaine pélagique

1.4.1.1. Surveillance des eaux du canal d'amenée et du canal de rejet

La stratégie d'échantillonnage mise en place depuis 1989 a été reconduite sans modification dans les domaines pélagique et benthique (Tabl. 1.1.).

Les quatre points définis lors des études antérieures (*canal d'amenée*, *canal de rejet*, *contrôle avec échauffement résiduel de 3 à 4° C dans le panache de rejet*, et *référence hors*

panache) (Fig. 1.3.) sont étudiées simultanément dans deux situations annuelles différentes (printemps et fin de l'été) (Chapitres 1 & 2).

Des prélèvements hebdomadaires sont également réalisés depuis les berges aux points *canal d'amenée* et *canal de rejet*. Ils concernent la bactériologie (vibrions) et l'étude de la chloration (Chapitre 3). Le phytoplancton (Chapitre 4) et le zooplancton (Chapitre 5) sont également échantillonnés au point *canal d'amenée*, en particulier lors des périodes de proliférations de certaines espèces.

La périodicité des divers prélèvements réalisés au point *canal d'amenée* est détaillée dans le tableau 1.1.

Tableau 1.1. Stratégie de Prélèvements au point canal d'amenée

Paramètres	Janvier	Février mars avril	Mai	Juin juillet août septembre	Octobre novembre décembre
Température +Chlore + Haloformes +Vibrions + Phytoplancton	Hebdo	Hebdo	Hebdo	Hebdo	Hebdo
Chlorophylle +Phéopigments	Hebdo	Hebdo	Hebdo	Hebdo	Hebdo
Noctiluques + Zooplancton	Mensuel	Mensuel	Mensuel	Mensuel	Mensuel

1.4.1.2. Milieu récepteur

Les deux campagnes de prélèvements en mer se sont déroulées à bord du navire l'*EMERAUDE* (Tabl. 1.2.).

Tableau 1.2. Dates et horaires des campagnes pélagiques

Date	Pleine mer (T.U + 2.h)	Coeft.	Canal d'amenée	Canal de Rejet	Contrôle	Référence
02/06/04	12 h 45	85	11 h 20	10 h 20	10 h 15	12 h 45
27/09/04	13 h 00	81	10 h 20	12 h 30	10 h 10	11 h 10

1.4.2. Domaine halieutique

La surveillance du zooplancton halieutique comprend cinq campagnes :

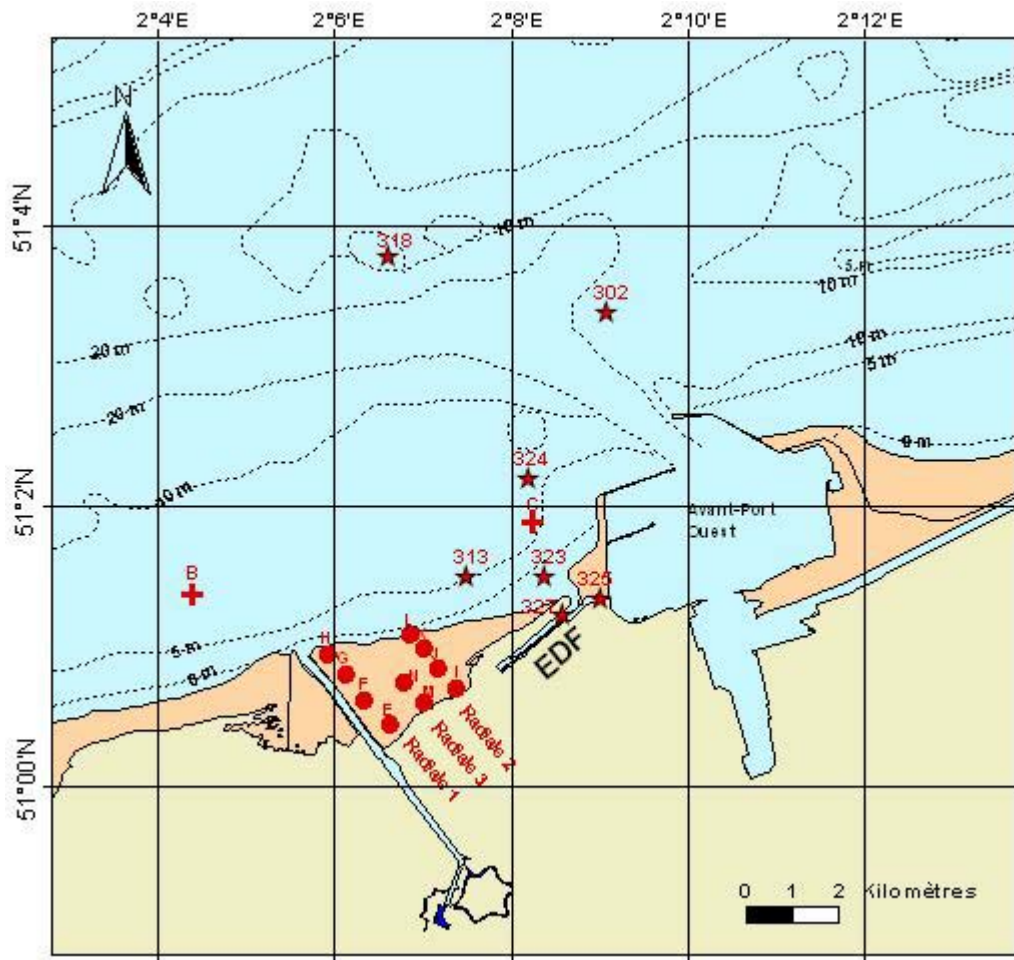
- 2 campagnes à quatre points en mer (14 avril 2004 et 5-6 mai 2004) selon un gradient côte-large dans le milieu récepteur (Chapitre 6).
- 3 campagnes de deux points couvrant la largeur du pont au canal d'amenée (16 mars, 5 avril et 20 avril 2004) (Chapitre 6).



1.4.3. Domaine benthique

En zone intertidale, une campagne annuelle comprenant deux radiales de 4 points et 1 radiale à 2 points de hauts niveaux a été réalisée le 18/06/04 (Chapitre 7).

En zone subtidale, la surveillance du peuplement à *Abra alba* consiste en la réalisation de 4 campagnes de deux points, l'un non impacté (Point B), l'autre impacté (Point C) par le fonctionnement de la centrale (3 mars, 16 avril, 1^{er} juin et 16 septembre 2004) (Chapitre 8).



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

Points (Réf. Quadrige)	Latitude	Longitude	Libellé
302	51°3'40 N	2°9'10 E	Référence 02 = large
313	51°1'50 N	2°7'50 E	Côte : Pt 1 halieutique
318	51°3'80 N	2°6'60 E	Référence 18 : Pt 3 halieutique
323	51°1'50 N	2°8'40 E	Côte : Pt pélagique
324	51°2'20 N	2°8'20 E	Contrôle ou Médian
325	51°1'38 N	2°9'10 E	Canal d'aménée
327	51°1'26 N	2°8'60 E	Canal de rejet

Figure 1.3. Localisation des points de prélèvements tous domaines d'études confondus



2. CLIMATOLOGIE – HYDROLOGIE – FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE – PRÉSENTATION DES CAMPAGNES PÉLAGIQUES

Auteur : Delesmont R.

Collaboratrice : Delesmont E.





2.1. CLIMATOLOGIE

Cette année encore, les données utilisées proviennent de la station météorologique de la centrale EDF alors que l'historique provient de la station Météo-France de Dunkerque.

La période 2003-2004 a été principalement marquée par un hiver doux : 1,27°C au dessus de la moyenne 1979-2000 pour les 3 mois d'hiver (janvier à mars).

La température moyenne annuelle de la période 2003-2004 est de 11,27 °C soit plus que celle de la période précédente (11,07°C) et soit 0,4°C au-dessus de la moyenne 1979-2000. On peut noter des températures moyennes basses en mai et août (Fig. 2.1.).

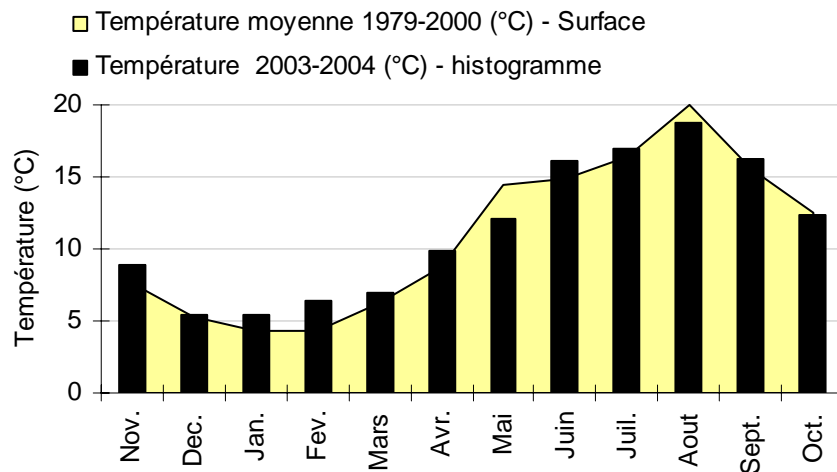


Figure 2.1. Températures moyennes de l'air à Dunkerque (°C) au cours de la période 2003-2004

La pluviosité globale est cette année plus faible que la normale (613 mm à comparer aux 688 mm de la moyenne 1979-2000). Des précipitations très excédentaires sont notées en janvier et août 2004 (Fig. 2.2.). Les précipitations de février à juin 2004 sont plus faibles que la moyenne.

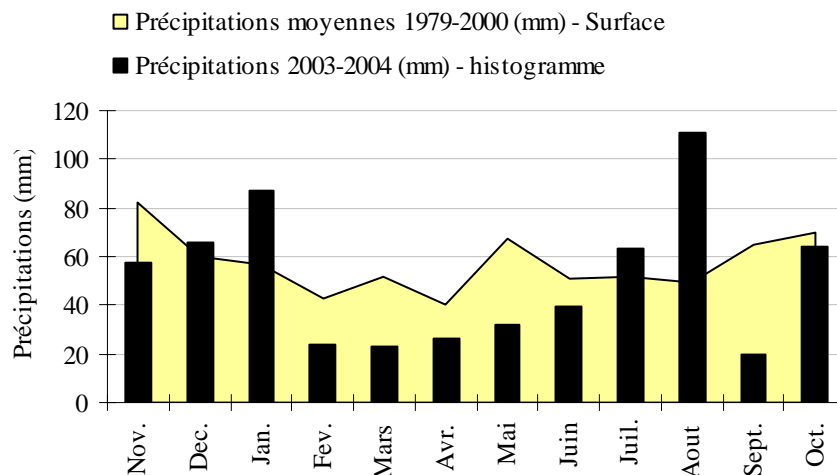


Figure 2.2. Précipitations mensuelles à Dunkerque (mm) au cours de la période 2003-2004

2.2. FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE

Ce paragraphe est réalisé à partir des données de fonctionnement communiquées par la Centrale de Gravelines.

La centrale de Gravelines comprend six réacteurs d'une puissance électrique unitaire de 900 MW.

En 2003-2004, la puissance électrique produite par la centrale de Gravelines correspond en moyenne hebdomadaire à l'équivalent de 4,8 à 5,9 tranches de 900 MW (Fig. 2.3. & Tabl. 2.1.). La production est comme à l'habitude, plus importante en saison froide. La puissance moyenne de la période est proche de 4333 MW, soit l'équivalent de 4,8 tranches (4,7 lors de la période précédente). Cette période est donc marquée par une forte production électrique.

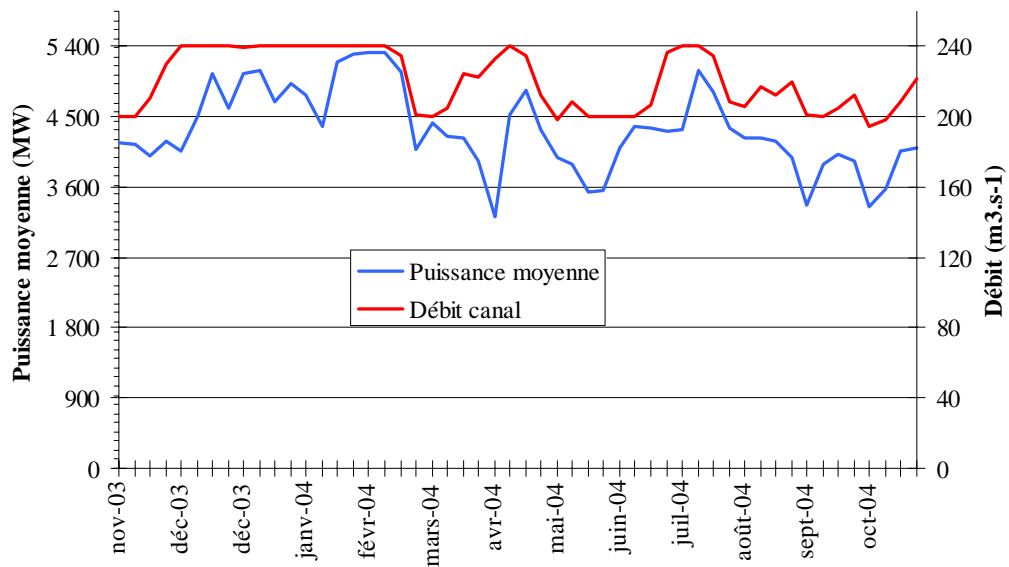


Figure 2.3. Fonctionnement de la centrale de Gravelines

En première approximation, on peut considérer que la production d'un mégawatt électrique s'accompagne de la dissipation dans l'eau de mer de deux mégawatts thermiques. Il est alors possible de calculer un échauffement théorique du rejet de la centrale sur la base des données hebdomadaires de puissance électrique. Dans la réalité, suite aux variations de la hauteur de l'eau de mer avec la marée, le débit des pompes de refroidissement varie légèrement et l'élévation de température observée fluctue d'environ 10 % autour de la valeur nominale calculée.

Les débits d'eau de mer de refroidissement des condenseurs ont varié de 195 à 240 m³/s, soit les débits unitaires de pompage de 4,9 à 6,0 tranches. Le débit moyen calculé sur une base hebdomadaire est de 221 m³/s, soit l'équivalent du débit de pompage de 5,5 tranches.

Sur cette base de calcul, l'augmentation moyenne de la température de l'eau au rejet est de 9,37 °C. Cette valeur est en hausse par rapport à la période précédente (9,10 °C) ce qui correspond à l'importante production réalisée en 2004.

La figure 2.4 représente l'échauffement de l'eau du canal de rejet mesurée selon trois approches :

- le calcul théorique basé sur le rendement thermique
- la mesure moyenne réalisée par EDF avec les thermistances du canal de rejet
- la mesure instantanée réalisée hebdomadairement par l'Institut Pasteur lors des prélèvements

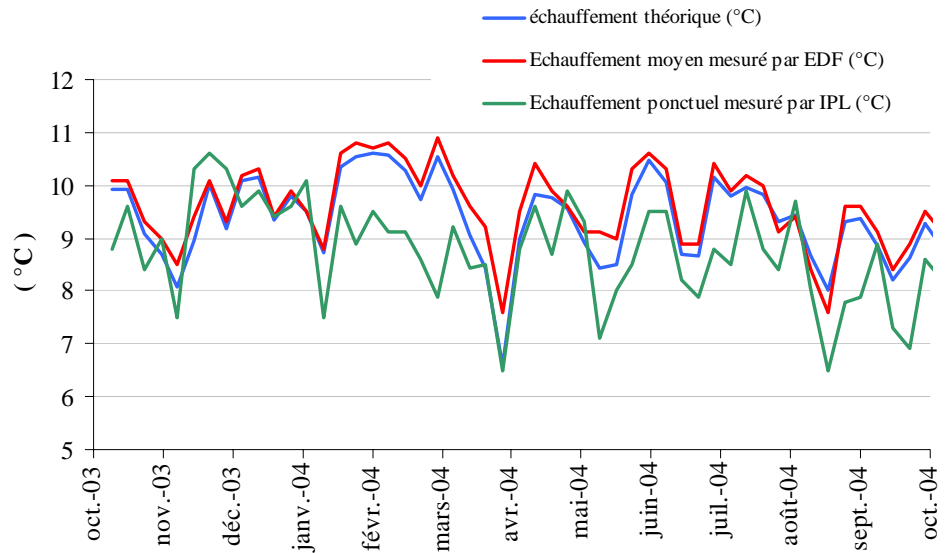


Figure 2.4. Comparaison entre les échauffements calculés et mesurés au rejet

**Tableau 2.1. Fonctionnement de la centrale en 2003-2004
(débit et puissance calculés à partir des données fournies par EDF)**

Semaine du	au	Puissance moyenne (MW)	Débit canal (m ³ /s)	échauffement théorique (°C)	Echauffement moyen mesuré par EDF (°C)	Echauffement ponctuel mesuré par IPL (°C)
03/11/03	09/11/03	4160	200	9,9	10,1	8,8
10/11/03	16/11/03	4155	200	9,9	10,1	9,6
17/11/03	23/11/03	3995	210	9,1	9,3	8,4
24/11/03	30/11/03	4186	230	8,7	9,0	9,0
01/12/03	07/12/03	4051	240	8,1	8,5	7,5
08/12/03	14/12/03	4494	240	8,9	9,4	10,3
15/12/03	21/12/03	5042	240	10,0	10,1	10,6
22/12/03	28/12/03	4604	240	9,2	9,3	10,3
29/12/03	04/01/04	5042	239	10,1	10,2	9,6
05/01/04	11/01/04	5096	240	10,1	10,3	9,9
12/01/04	18/01/04	4700	240	9,4	9,4	9,4
19/01/04	25/01/04	4918	240	9,8	9,9	9,6
26/01/04	01/02/04	4777	240	9,5	9,5	10,1
02/02/04	08/02/04	4376	240	8,7	8,8	7,5
09/02/04	15/02/04	5197	240	10,3	10,6	9,6
16/02/04	22/02/04	5294	240	10,5	10,8	8,9
23/02/04	29/02/04	5322	240	10,6	10,7	9,5
01/03/04	07/03/04	5318	240	10,6	10,8	9,1
08/03/04	14/03/04	5065	235	10,3	10,5	9,1
15/03/04	21/03/04	4088	201	9,7	10,0	8,6
22/03/04	28/03/04	4410	200	10,5	10,9	7,9
29/03/04	04/04/04	4259	205	9,9	10,2	9,2
05/04/04	11/04/04	4240	224	9,0	9,6	8,5
12/04/04	18/04/04	3944	223	8,5	9,2	8,5
19/04/04	25/04/04	3213	233	6,6	7,6	6,5
26/04/04	02/05/04	4516	240	9,0	9,5	8,8
03/05/04	09/05/04	4841	235	9,8	10,4	9,6
10/05/04	16/05/04	4334	212	9,8	9,9	8,7
17/05/04	23/05/04	3969	198	9,6	9,6	9,9
24/05/04	30/05/04	3900	209	8,9	9,1	9,3
31/05/04	06/06/04	3530	200	8,4	9,1	7,1
07/06/04	13/06/04	3561	200	8,5	9,0	8,0
14/06/04	20/06/04	4112	200	9,8	10,3	8,5
21/06/04	27/06/04	4384	200	10,5	10,6	9,5
28/06/04	04/07/04	4360	207	10,1	10,3	9,5
05/07/04	11/07/04	4307	237	8,7	8,9	8,2
12/07/04	18/07/04	4344	240	8,6	8,9	7,9
19/07/04	25/07/04	5096	240	10,1	10,4	8,8
26/07/04	01/08/04	4818	235	9,8	9,9	8,5
02/08/04	08/08/04	4354	209	10,0	10,2	9,9
09/08/04	15/08/04	4238	206	9,8	10,0	8,8
16/08/04	22/08/04	4227	217	9,3	9,1	8,4
23/08/04	29/08/04	4192	212	9,4	9,4	9,7
30/08/04	05/09/04	3987	220	8,7	8,4	8,0
06/09/04	12/09/04	3371	201	8,0	7,6	6,5
13/09/04	19/09/04	3901	200	9,3	9,6	7,8
20/09/04	26/09/04	4028	205	9,4	9,6	7,9
27/09/04	03/10/04	3925	212	8,8	9,1	8,9
04/10/04	10/10/04	3345	195	8,2	8,4	7,3
11/10/04	17/10/04	3576	198	8,6	8,9	6,9
18/10/04	24/10/04	4057	209	9,3	9,5	8,6
25/10/04	31/10/04	4096	222	8,8	9,1	8,2

2.3. HYDROLOGIE

2.3.1. Points *canal d'amenée* et *canal de rejet*

2.3.1.1. Température de l'eau

La moyenne des températures de l'eau au point *canal d'amenée* est élevée : 13,2 °C, valeur supérieure de 0,1 à 0,2 °C à celle des trois cycles annuels précédents.

Au point *canal d'amenée* dans l'avant-port Ouest, la température minimale (5,4 °C) est observée le 25/02/04. Des températures supérieures à 20,0 °C ont été relevées à 5 reprises avec un maximum exceptionnel de 21,6 °C le 09/08/04 (Fig. 2.5.).

Au point *canal de rejet*, seules deux températures supérieures à 30,0 °C ont été relevées cette année avec un maximum à 30,4 °C le 09/08/04 (Fig. 2.5.).

Le transit de l'eau dans la centrale, calculé sur la base des prélèvements hebdomadaires réalisés, se traduit par un échauffement moyen de 8,75 °C qui est une valeur moyenne par rapport aux périodes d'études précédentes.

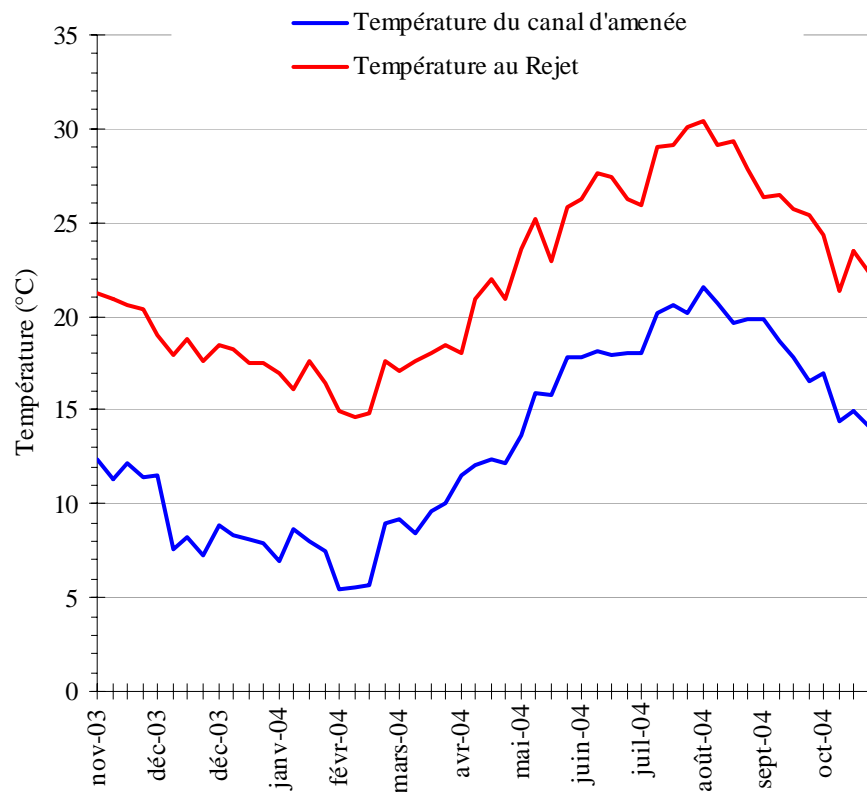


Figure 2.5. Température de l'eau de mer (°C) aux points *canal d'amenée* et *canal de rejet* au cours de la période 2003-2004

2.3.1.2. sels nutritifs

En raison des apports en azote dus à la ferme aquacole implantée sur le site et afin de mieux expliquer les phénomènes liés à l'activité du phytoplancton, des dosages d'azote sont réalisés aux points *canal d'amenée* et *canal de rejet*. 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 composé principalement de nitrate voit son stock hivernal consommé de février à avril par le phytoplancton. Du printemps à l'automne, les concentrations sont plus élevées au point *canal de rejet* qu'au point *canal d'amenée*. Ce phénomène de faible ampleur a déjà été observé lors des trois cycles d'étude précédents.

En moyenne annuelle, un apport de $1,12 \mu\text{mol/L}$ est observé (Fig. 2.6. & Tabl. 2.2.). La tendance à l'augmentation des apports de nitrate qui semblait se dessiner lors des cycles précédents n'est pas confirmée cette année.

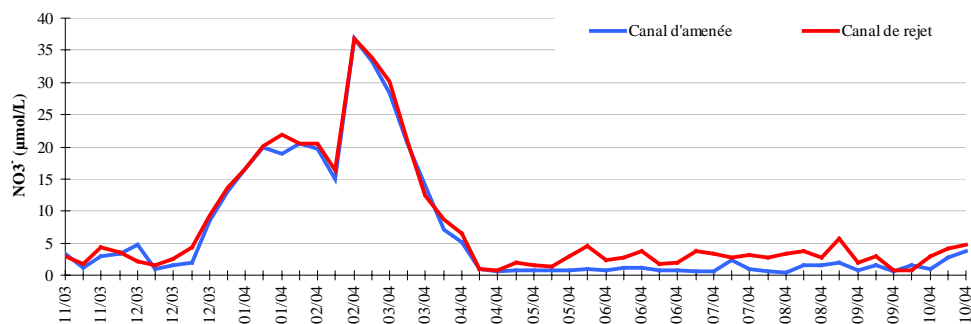


Figure 2-1

Figure 2.6. Azote oxydé (NO_3^- en $\mu\text{mol/L}$) aux points *canal d'amenée* et *canal de rejet* au cours de la période 2003-2004

Pour l'ammonium, les constatations sont identiques à celles de la période précédente (Fig. 2.7. & Tabl. 2.2.). L'ammonium est en concentration plus élevée au point *canal de rejet* d'avril à juin, ce qui pourrait correspondre à des phénomènes d'excrétion et de dégradation du zooplancton. Sur l'ensemble de la période d'étude, l'apport au milieu de $0,36 \mu\text{mol/L}$.

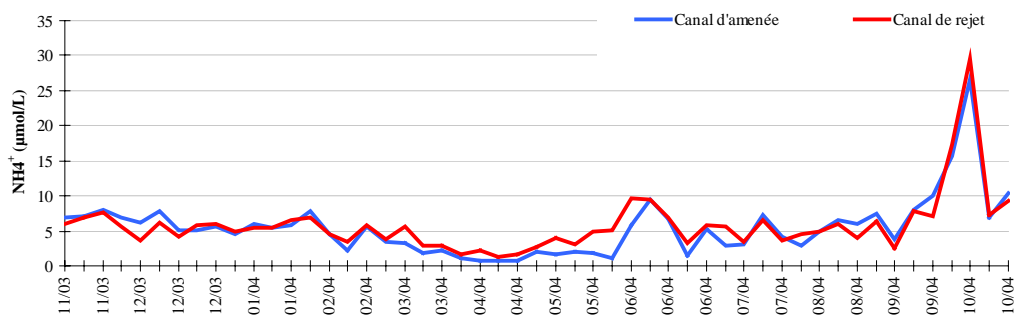


Figure 2-2

Figure 2.7. Ammonium ($\mu\text{mol/L}$) aux points *canal d'amenée* et *canal de rejet* au cours de la période 2003-2004

**Tableau 2.2. Évolution temporelle des concentrations en sels nutritifs
aux points canal d'amenée et canal de rejet**

Date	Canal d'amenée		Canal de rejet	
	NH ₄ ⁺ (µmol/L)	NO ₃ ⁻ (µmol/L)	NH ₄ ⁺ (µmol/L)	NO ₃ ⁻ (µmol/L)
06/11/03	6,9	3,3	6,1	3,1
10/11/03	7,1	1,2	6,9	1,7
19/11/03	8,0	2,9	7,6	4,4
25/11/03	7,0	3,3	5,7	3,6
03/12/03	6,1	4,7	3,7	2,2
09/12/03	7,9	1,1	6,1	1,6
17/12/03	5,2	1,6	4,3	2,6
23/12/03	5,1	1,9	5,9	4,3
29/12/03	5,6	8,5	6,1	9,4
07/01/04	4,6	13,0	4,8	13,6
14/01/04	6,0	16,6	5,4	16,5
20/01/04	5,4	19,9	5,5	20,1
27/01/04	5,8	18,9	6,5	21,8
03/02/04	7,8	20,6	6,9	20,5
11/02/04	4,6	19,7	4,6	20,4
17/02/04	2,2	15,0	3,6	16,3
25/02/04	5,6	36,9	5,8	36,9
02/03/04	3,5	33,4	3,9	33,9
09/03/04	3,3	28,4	5,7	30,2
16/03/04	1,8	20,6	2,9	20,9
24/03/04	2,1	14,0	3,0	12,5
29/03/04	1,1	7,1	1,7	8,8
06/04/04	0,8	5,1	2,1	6,5
14/04/04	0,8	0,9	1,3	0,9
22/04/04	0,7	0,6	1,6	0,8
29/04/04	2,1	0,7	2,8	1,9
05/05/04	1,7	0,8	4,0	1,5
11/05/04	1,9	0,8	3,2	1,4
17/05/04	1,9	0,8	5,0	2,9
25/05/04	1,2	1,0	5,2	4,6
02/06/04	5,9	0,7	9,6	2,5
07/06/04	9,4	1,3	9,5	2,7
15/06/04	6,8	1,1	6,9	3,7
21/06/04	1,5	0,8	3,3	1,8
28/06/04	5,3	0,9	5,8	2,0
05/07/04	3,0	0,7	5,7	3,8
12/07/04	3,2	0,6	3,5	3,4
20/07/04	7,3	2,3	6,6	2,8
27/07/04	4,2	0,9	3,6	3,2
02/08/04	2,9	0,5	4,5	2,7
09/08/04	4,9	0,4	4,9	3,3
17/08/04	6,54	1,65	5,96	3,84
23/08/04	6,0	1,6	4,1	2,7
30/08/04	7,4	2,1	6,4	5,7
06/09/04	3,8	0,8	2,5	1,9
14/09/04	8,1	1,6	7,8	2,9
21/09/04	10,0	0,6	7,1	0,7
27/09/04	15,6	1,5	17,4	0,7
04/10/04	26,6	1,0	29,6	2,9
12/10/04	6,9	2,8	7,3	4,1
20/10/04	10,5	3,7	9,2	4,7
25/10/04	6,3	4,5	5,7	5,9

2.3.2. Campagnes pélagiques

2.3.2.1. Température

Les deux campagnes annuelles de prélèvements ont été réalisées en juin et en septembre.

En raison des turbulences importantes régnant dans les canaux d'amenée et de rejet, les températures sont considérées comme homogènes. La différence de température entre le point *canal d'amenée* et le point *canal de rejet* est de 9,2 °C en juin et de 8,5 °C en septembre. Un léger gradient thermique entre la surface et le fond (0,2 °C) est mesuré en juin au point *référence*. Un gradient plus prononcé (6,1 °C) est mesuré au point *contrôle* en septembre.

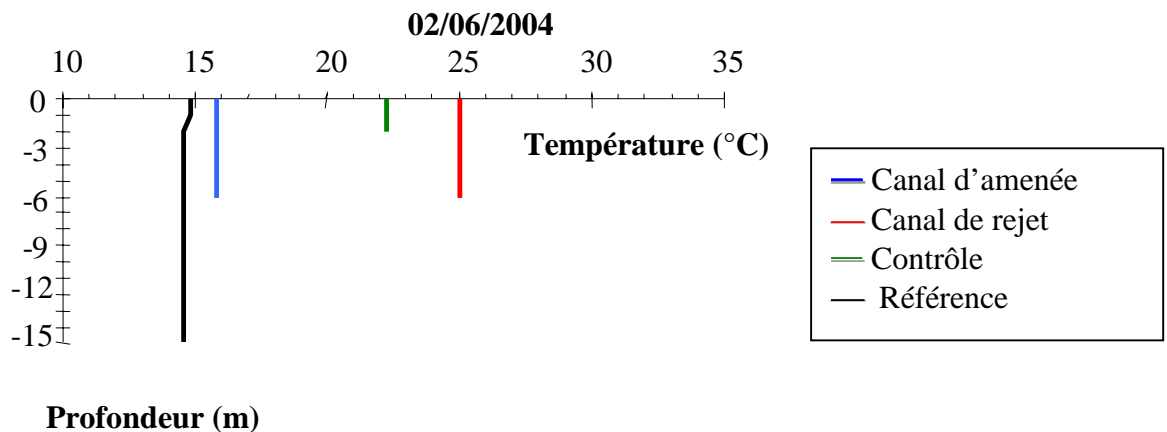


Figure 2.8. Profils de température lors de la campagne de prélèvements du 02/06/04

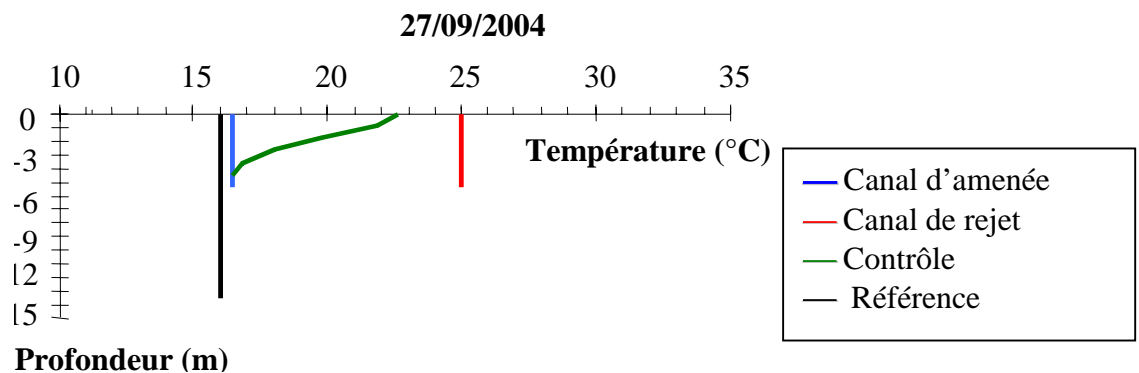


Figure 2.9. Profils de température lors de la campagne de prélèvements du 27/09/04

2.3.2.2. Salinité

Lors des deux campagnes pélagiques, les mesures de salinité sont peu différentes sur l'ensemble de la zone d'étude (Tabl. 2.3. & 2.4.). La salinité est forte, supérieure à 34*, c'est à dire sans influence côtière visible lors des deux campagnes (Tabl. 2.3. & 2.4.).

Tableau 2.3. Salinités mesurées lors de la campagne pélagique de juin 2004

Date	Profondeur	Canal d'amenée	Canal de rejet	Contrôle	Référence
02/06/04	Surface			34,5	34,6
	mi-profondeur	34,5	34,5		34,5
	fond			34,5	34,5

Tableau 2.4. Salinités mesurées lors de la campagne pélagique de septembre 2004

Date	Profondeur	Canal d'amenée	Canal de rejet	Contrôle	Référence
27/09/04	Surface			34,4	34,7
	mi-profondeur	34,5	34,5		34,7
	fond			34,5	34,7

* : La salinité est exprimée par un nombre sans dimension qui est un rapport de conductivité (P,S,U, ou *Practical Salinity Unit*).



3. ÉTUDE DE LA CHLORATION ET BACTÉRIOLOGIE

Auteur : Delesmont R.

Collaboratrice : Delesmont E.





3.1. CHLORATION

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

Cette disparition s'accompagne de la formation de composés chimiques stables, essentiellement des trihalométhane (essentiellement du bromoforme) et d'autres composés en quantités beaucoup plus faibles comme le tribromophénol.

La figure 3,1, permet de visualiser la concentration en bromoforme en relation avec la température de l'eau au point *canal d'aménée* (Tabl. 3.1.).

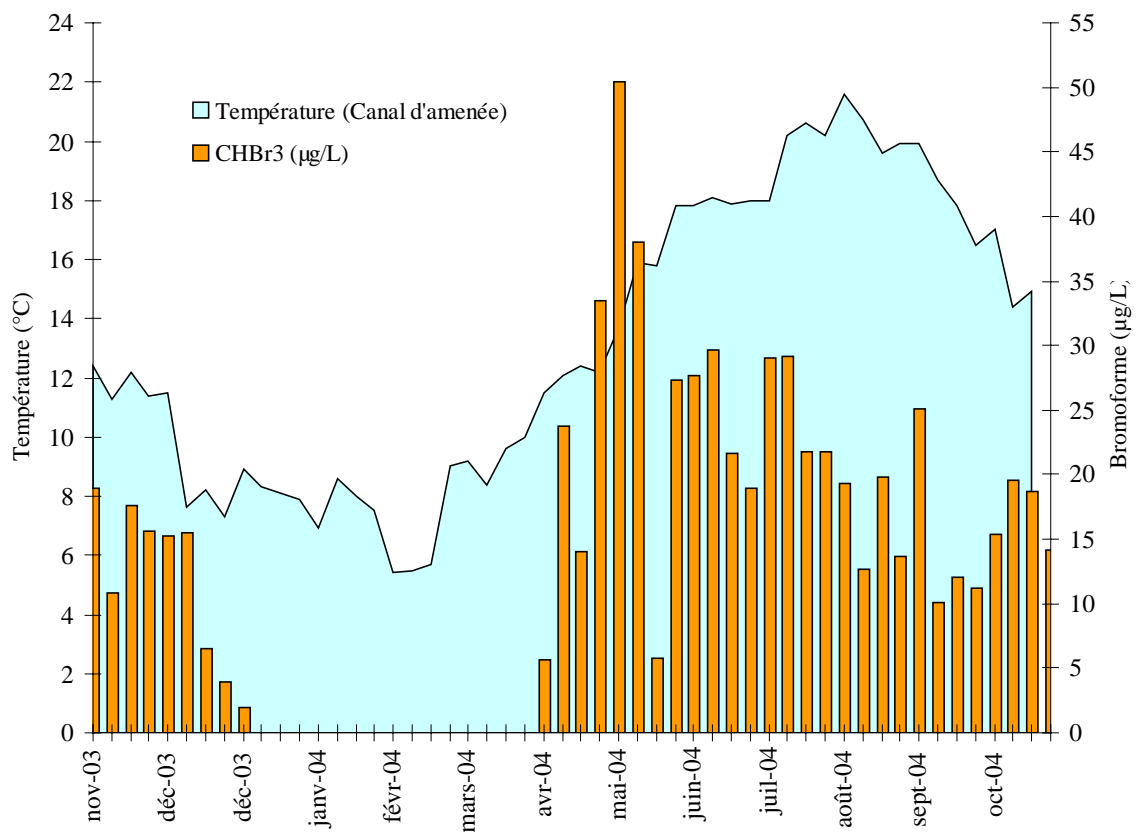


Figure 3.1. Bromoforme (en µg/L) au rejet (histogrammes) en relation avec la température (en °C) de l'eau au point canal d'aménée (courbe)

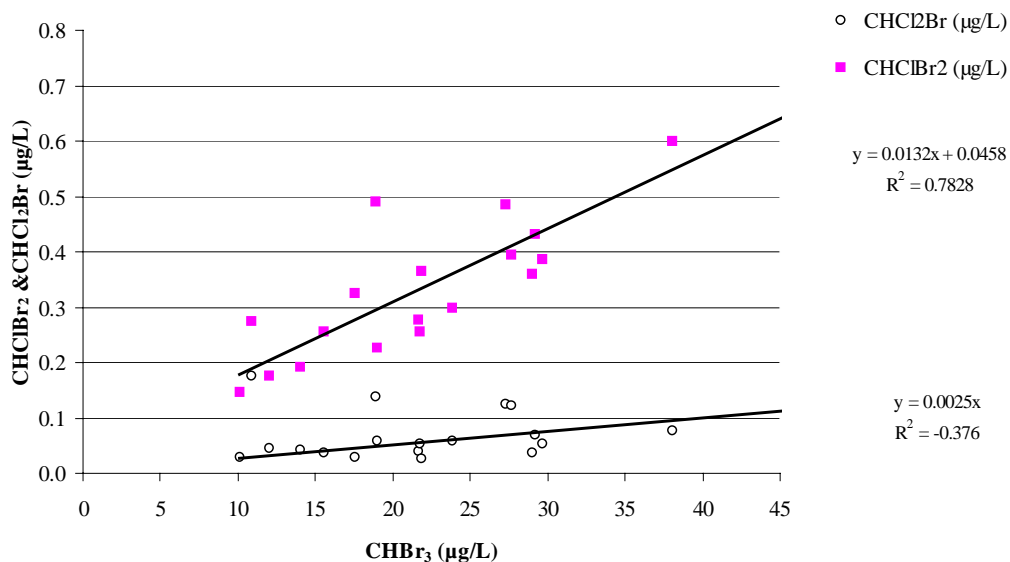
En se basant sur les résultats du dosage du bromoforme au rejet, on observe que la chloration a été mise en œuvre durant 8,5 mois. Le bromoforme n'est pas détecté du 07/01/04 au 14/04/04.

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 98,2 % des haloformes avec une concentration moyenne de 18,8 µg/L (Fig. 3.1. & Tabl. 3.1.). Cette concentration moyenne est comparable à celle des périodes précédentes. Les deux autres composés formés et mis en évidence sont également des composés bromés :

- monochlorodibromométhane (CHClBr_2) : 1,53 % du total formé avec une concentration moyenne de 0,29 $\mu\text{g/L}$

- dichlorobromométhane (CHCl_2Br) : 0,29 % du total formé avec une concentration moyenne de 0,04 $\mu\text{g/L}$

Les quantités relatives de ces composés sont liées entre elles par des relations linéaires (Fig. 3.2.).



**Figure 3.2. Relation entre les espèces d'haloformes formées au point canal de rejet
(19 séries de valeurs avec les trois espèces détectées)**

La persistance du bromoforme en mer permet également de quantifier le pourcentage d'eau de refroidissement qui passe une seconde fois dans la centrale (« taux de recirculation »). La valeur calculée en 2003-2004 est de 4,7 % au cours de la période de chloration.

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.

Des recherches de bromophénols, composés issus de la chloration de masse plus importante que les trihalométhanes, ont été réalisées de façon mensuelle. Les dosages ont été réalisés en chromatographie en phase gazeuse après dérivation. Seules de faibles quantités de 2-4-6 tri bromophénol ont été détectées (Tabl. 3.2.).

3.2. BACTÉRIOLOGIE

Depuis 1989, les études bactériologiques portent uniquement sur les vibrions. En effet, cette catégorie de bactéries marines est particulièrement sensible aux modifications du milieu engendrées par le fonctionnement de la centrale et par d'importantes activités aquacoles en constant développement sur le site même du rejet.

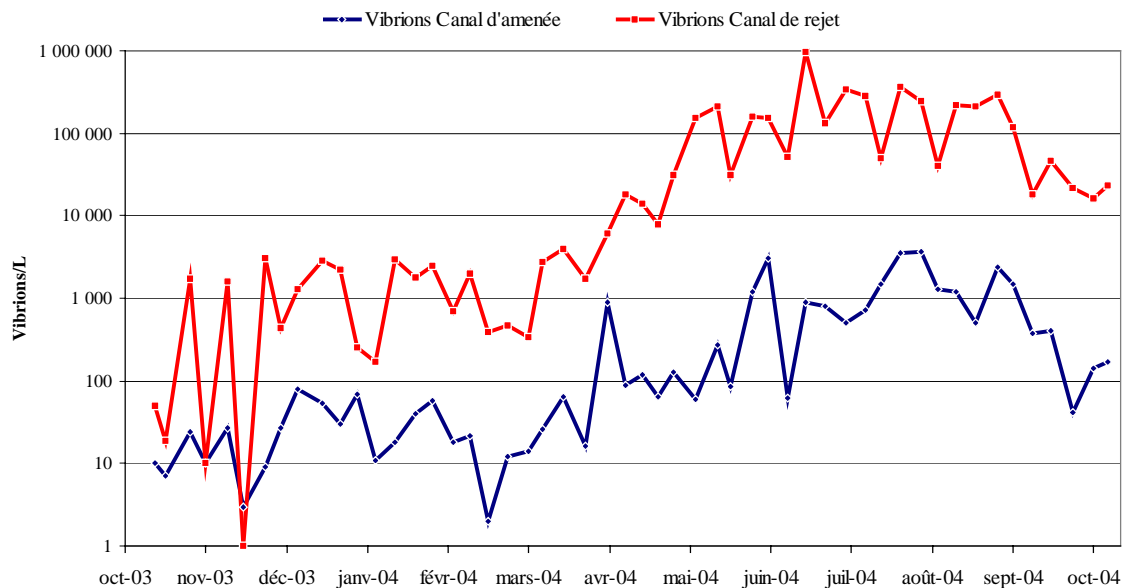
Les mesures ne concernent que les vibrions capables de cultiver à 37 °C, ces bactéries marines pouvant présenter des caractères pathogènes pour l'homme. Dans le milieu marin, l'abondance des vibrions varie avec la température de l'eau : peu nombreux en hiver, leur maximum est observée à la fin de l'été.

À 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.

La concentration moyenne des vibrions au point *canal d'amenée* est cette année de 105 par litre, comparable aux valeurs enregistrées lors des trois périodes précédentes (109 à 128 vibrions/L) (Tabl. 3.3. & 3.4.).

En 2003-2004, leur nombre est, en moyenne géométrique (rapport des moyennes du logarithme des concentrations) annuelle, multiplié par 73 entre le point *canal d'amenée* et le point *canal de rejet*.

La concentration au rejet est de 7610 vibrions/L en moyenne géométrique soit une valeur plus proche des données habituelles que la faible valeur de 2002-2003 (4723 vibrions/L) (Fig. 3.3.).



**Figure 3.3. 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 variations de la concentration en vibrions.

Un accroissement de la température de l'eau de 5 °C se traduit par une abondance en vibrions environ 10 fois plus grande (Fig. 3.3. – Tabl. 3.3. & 3.4.), Pour les mesures réalisées aux points *canal d'amenée* et *canal de rejet* lors de ce cycle d'étude, les relations entre concentration en vibrions et température sont résumées sur la figure 3.4..

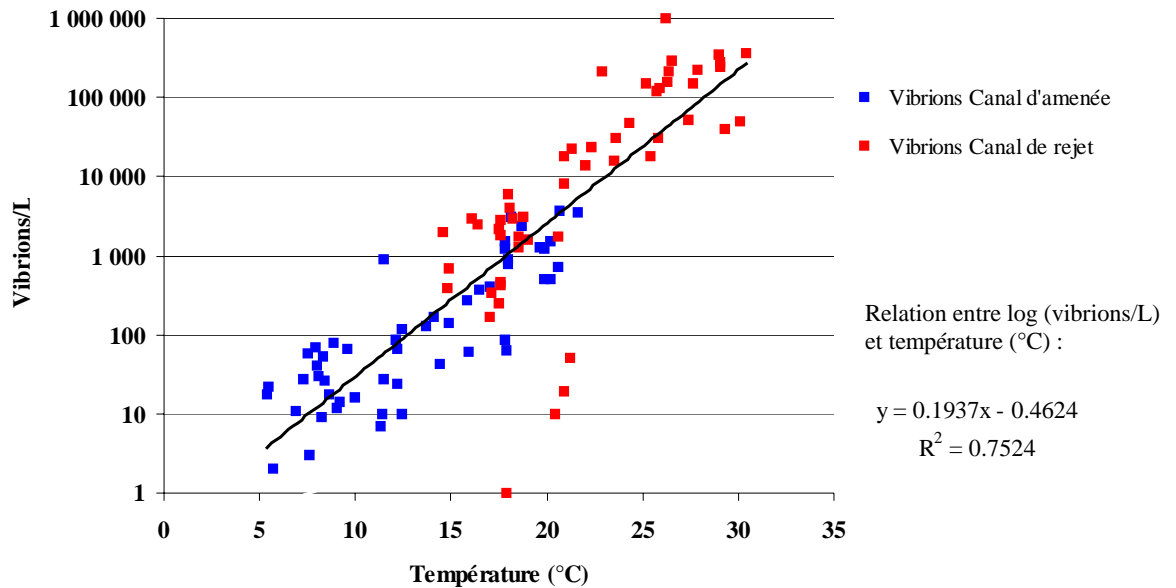


Figure 3.4. Relations entre température et concentration en vibrions aux points canal d'amenée (bleu) et canal de rejet (rouge)

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) (Fig. 3.5.).

Le développement de l'aquaculture (phase expérimentale en 1984 puis extensions en 1991-1992 et 2003) ne semble pas avoir eu d'influence majeure sur les vibrions en termes d'abondance. Si les concentrations maximales observées semblent se stabiliser, l'amplitude des cycles annuels semble se réduire. La clémence des derniers hivers et le développement de l'aquaculture pourraient être à l'origine de ce phénomène (Fig. 3.5.).

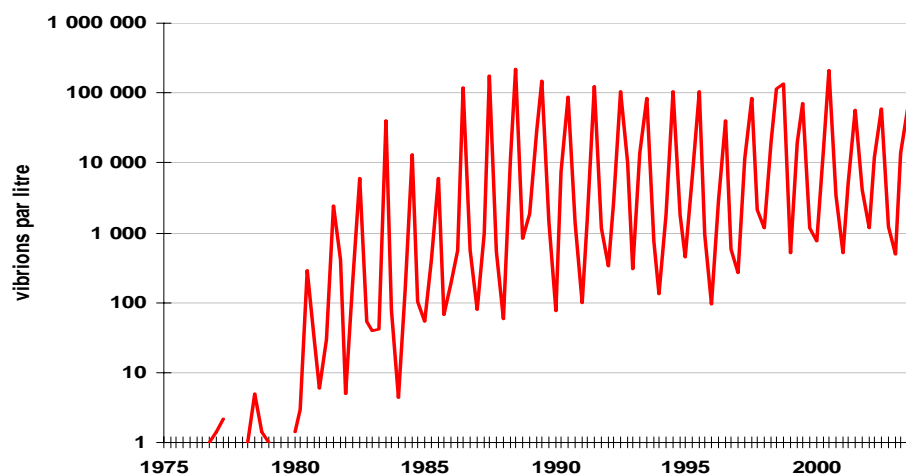


Figure 3.5. Moyenne géométrique des abondances trimestrielles de 1976 à 2004 (Vibriions par litre)

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.

En 2003-2004, au point *canal de rejet*, *Vibrio alginolyticus* reste l'espèce la plus souvent isolée avec un pourcentage moyen d'isolement de 63,1 % (Fig. 3.6.) (64,7% en 2002-2003).

Vibrio cholerae non agglutinable (Nag) est, cette année encore, la seconde espèce par ordre d'importance avec un pourcentage d'isolement de 17,9 % au point *canal de rejet* (Fig. 3.6.).

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 et anti-*Vibrio cholerae* O139 et sont, de plus, halophiles strictes, ce qui permet de les différencier des souches épidémiques.

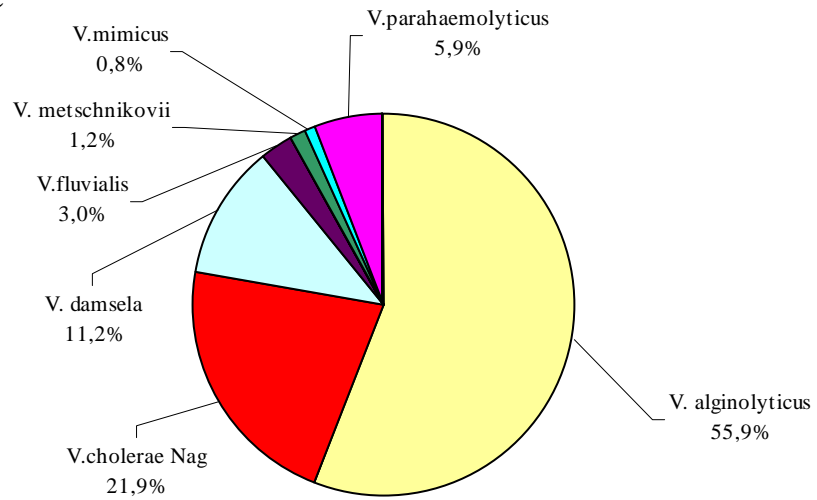
Les autres espèces mises en évidence en 2003-2004 sont :

V. damsela (10,8 %), *V. parahaemolyticus* (4,4 %), *V. fluvialis* (1,6 %), *V. mimicus* (1,6 %), *V. vulnificus* (0,4 %), *V. metschnikovii* (0,3 %).

Ces pourcentages sont peu différents de ceux observés pour l'ensemble de la période 1989 à 2002 au point *canal de rejet* :

<i>V. alginolyticus</i>	69,0 %	<i>V. cholerae</i> Nag	11,4 %
<i>V. fluvialis</i>	5,3 %	<i>V. damsela</i>	4,9 %
<i>V. parahaemolyticus</i>	3,5 %	<i>V. mimicus</i>	3,2 %

Canal d'amenée



Canal de rejet

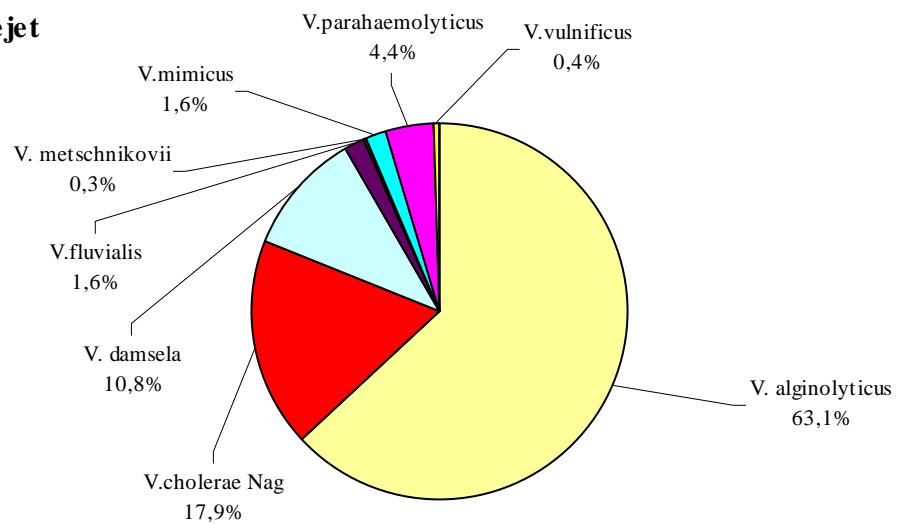


Figure 3.6. Pourcentages moyens d'isolement des diverses espèces de vibrions aux points canal d'amenée et canal de rejet

En moyenne géométrique, *Vibrio alginolyticus* reste l'espèce la mieux adaptée aux conditions actuelles du site avec un facteur moyen de multiplication de 81 fois entre le point *canal d'amenée* et le point *canal de rejet* (moyenne des rapports du logarithme des concentrations) (Fig. 3.7. & 3.8.). *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 12 fois. En ce qui concerne les autres espèces mises en évidence sur le site, les facteurs de multiplication calculés sont peu significatifs compte tenu de la rareté de leur mise en évidence (Fig. 3.7. & 3.8.).

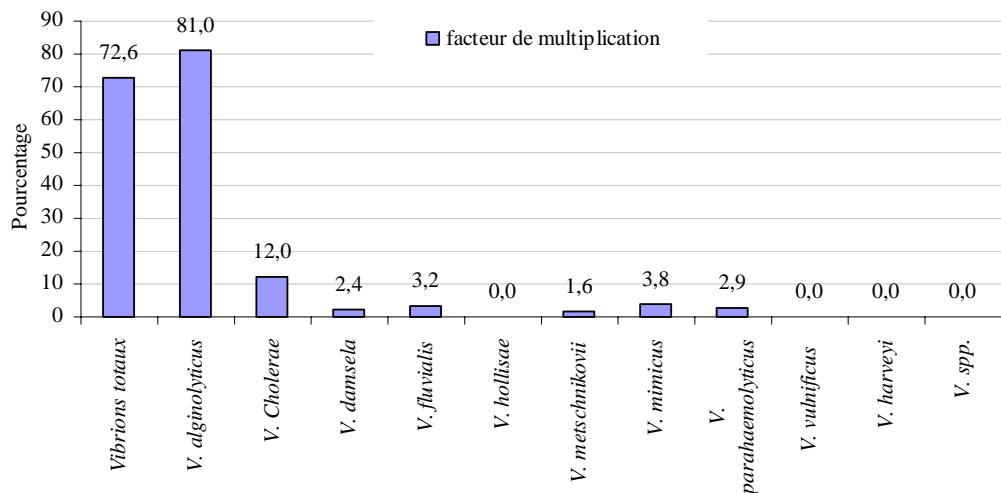


Figure 3.7. Rapport des concentrations moyennes des diverses espèces de vibrions entre les points canal de rejet et canal d'amenée (Axe des abscisses : espèces du genre *Vibrio*)

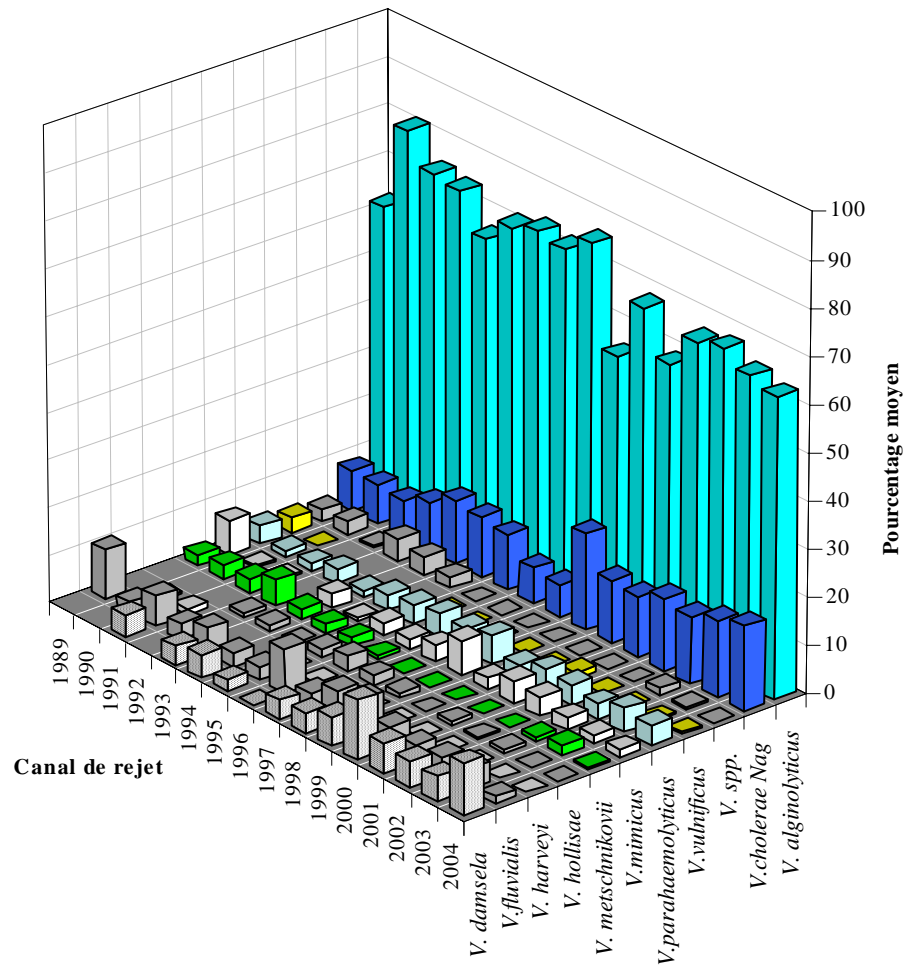


Figure 3.8. Évolution de l'abondance relative des diverses espèces de vibrions de 1989 à 2004 au point canal de rejet (moyennes trimestrielles des pourcentages d'abondances hebdomadaires)

3.3. CAMPAGNES PÉLAGIQUES

Les données relatives aux campagnes de surveillance pélagique de juin et de septembre ainsi que les résultats des études bactériologiques et de la chloration sont résumés dans le tableau 3.5. et les figures 3.9., 3.10. et 3.11..

Les températures mesurées au point *canal d'amenée* (fig. 3.9.) sont supérieures à celle du point *référence* au printemps, période de réchauffement naturel des eaux en raison de l'inertie plus grande des eaux du large.

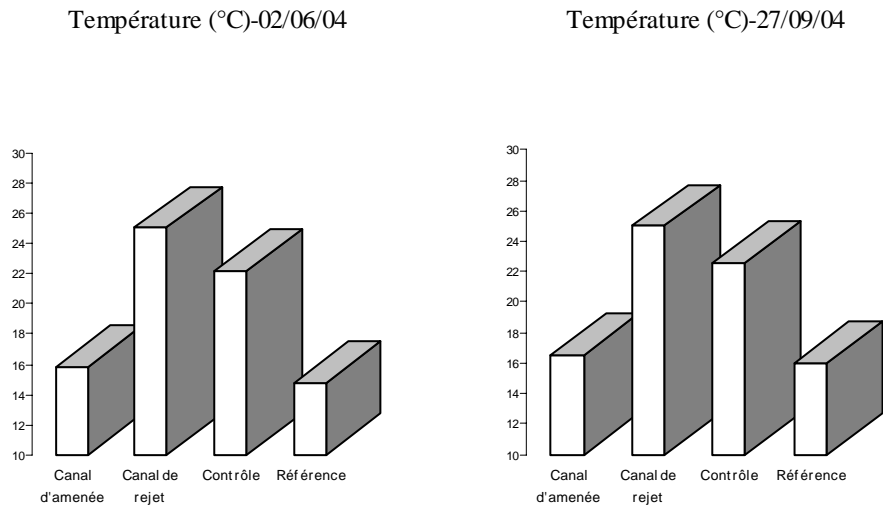


Figure 3.9. Campagnes pélagiques – Températures de surface (en °C) pour chaque point

Les concentrations de vibrions sont plus importantes aux points *rejet* et *contrôle* que dans le milieu marin non concerné par le panache de rejet lors des deux campagnes (Fig. 3,10,).

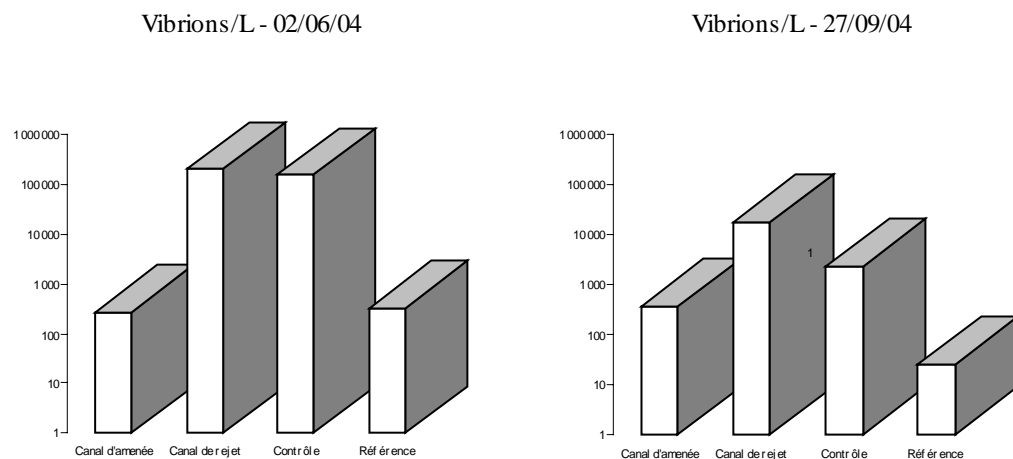


Figure 3.10. Campagnes pélagiques – Vibrions par litre pour chaque point

Lors des deux campagnes, le bromoforme est quantifiable sur l'ensemble de la zone d'étude à l'exception du point *référence* en septembre (Fig. 3.11.).

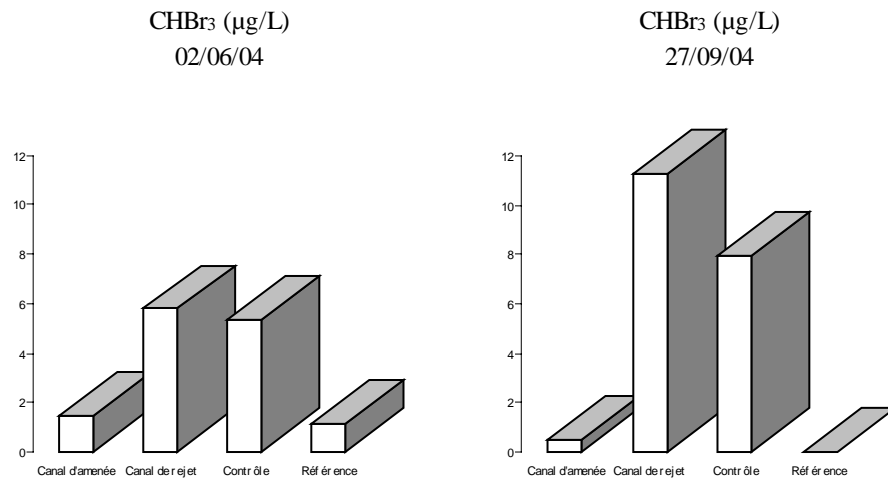


Figure 3.11. Campagnes pélagiques – Bromoforme (µg/L) en surface pour chaque point

3.4. ÉLÉMENTS DE CONCLUSION

Les résultats obtenus cette année précisent et confirment les observations de ces dernières années d'étude de surveillance écologique du site de Gravelines.

La chloration de l'eau a été en service durant 8,5 mois sur 12 au cours de la période 2003-2004. Les composés chimiques formés sont essentiellement bromés et le plus abondant est le bromoforme avec une concentration moyenne de 18,8 µg/L (98,2 % du total des haloformes).

Les dosages d'haloformes (et en particulier du plus abondant d'entre eux, le bromoforme), permettent, outre leur rôle de traceur de la chloration, de mesurer l'étendue du panache de rejet et d'estimer le taux de recirculation de l'eau de refroidissement (4,7 % en 2003-2004). Le 2-4-6 bromo-phénol a été mis en évidence cette année encore en faibles concentrations (maximum 0,45 µg/L) de façon régulière au cours de la période de chloration.

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 (d'un facteur 73 en moyenne géométrique).

Les concentrations de vibrions dans le canal de rejet sont relativement stables depuis la mise en service des six tranches de la centrale (1986). Cependant l'amplitude du cycle annuel semble se réduire depuis quelques années. Les évolutions climatiques et le développement de l'aquaculture sur le site peuvent être des facteurs d'explication.

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.

Ce phénomène semble actuellement stabilisé et la distribution 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 63 % des isollements. Au point *canal de rejet*, *Vibrio cholerae* est l'espèce la plus fréquemment isolée (17,9 %) après *V. alginolyticus*. Ce pourcentage d'isolement de *V. cholerae Non-O1* est supérieur au pourcentage moyen mesuré sur la période 1989-2003 (11,8 %).

Les souches de *Vibrio cholerae* isolées sur le site ne sont pas agglutinables par les sérums anti-*Vibrio cholerae O1* et anti-*Vibrio cholerae O139* 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 (*O1* et *O139*). Ces derniers n'ont jamais été mis en évidence sur le site de Gravelines.

Références

- Anonyme, 1968. Courants de marée dans la Manche et sur les côtes de l'Atlantique. Ed. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, Paris, 287 p.
- Belgrano A., Vincx M., Dewarumez J, M., Richard A., Craeymeersch J, & C, Heip, 1990. Recruitment of meroplanktonic larvae in the Southern Bight of the North Sea. *Oceanis*, 16 (3): 225-243.



Tableau 3.1. Chlore résiduel et haloformes (ligne grise : valeurs extrapolées)

Date	Canal d'amenée			Canal de rejet			
	CHCl2Br (µg/L)	CHClBr2 (µg/L)	CHBr3 (µg/L)	Chlore tot.DPD (mg/L)	CHCl2Br (µg/L)	CHClBr2 (µg/L)	CHBr3 (µg/L)
06/11/2003	-	0,98	0,20	-	0,14	0,49	18,90
10/11/2003	-	0,84	0,22	-	0,17	0,27	10,89
19/11/2003	-	0,81	0,21	-	-	0,33	17,53
25/11/2003	-	1,85	0,45	-	-	0,26	15,59
03/12/2003	-	-	0,59	0,05	-	0,24	15,23
09/12/2003	-	-	-	0,06	-	0,27	15,56
17/12/2003	-	-	-	0,05	-	-	6,57
23/12/2003	-	-	-	-	-	-	3,92
29/12/2003	-	-	-	-	-	-	1,97
07/01/2004	-	-	-	-	-	-	-
14/01/2004	-	-	-	-	-	-	-
20/01/2004	-	-	-	-	-	-	-
27/01/2004	-	-	-	-	-	-	-
03/02/2004	-	-	-	-	-	-	-
11/02/2004	-	-	-	-	-	-	-
17/02/2004	-	-	-	-	-	-	-
25/02/2004	-	-	-	-	-	-	-
02/03/2004	-	-	-	-	-	-	-
09/03/2004	-	-	-	-	-	-	-
16/03/2004	-	-	-	-	-	-	-
24/03/2004	-	-	-	-	-	-	-
29/03/2004	-	-	-	-	-	-	-
06/04/2004	-	-	-	-	-	-	-
14/04/2004	-	-	-	-	-	-	-
22/04/2004	-	-	-	-	-	-	5,67
29/04/2004	-	-	0,75	-	0,06	0,30	23,79
05/05/2004	-	-	2,21	-	-	0,19	14,04
11/05/2004	-	-	1,33	0,05	-	0,41	33,46
17/05/2004	-	-	1,22	0,05	0,06	0,73	50,43
25/05/2004	-	-	0,81	-	0,08	0,60	38,02
02/06/2004	-	-	1,48	-	-	-	5,80
07/06/2004	-	-	0,91	0,05	0,13	0,49	27,28
15/06/2004	-	-	1,41	-	0,12	0,40	27,69
21/06/2004	-	-	2,11	-	0,05	0,39	29,68
28/06/2004	-	-	1,04	-	-	0,28	21,68
05/07/2004	-	-	1,23	-	0,06	0,23	18,97
12/07/2004	-	-	1,97	0,08	-	0,36	29,00
20/07/2004	-	-	1,90	0,05	0,07	0,43	29,19
27/07/2004	-	-	1,42	-	0,05	0,26	21,74
02/08/2004	-	-	1,14	0,08	-	0,37	21,82
09/08/2004	-	-	0,85	-	-	0,36	19,34
17/08/2004	-	-	0,75	-	-	0,20	12,67
23/08/2004	-	-	0,39	-	-	0,27	19,83
30/08/2004	-	-	1,18	-	-	0,21	13,65
06/09/2004	-	-	0,47	-	-	0,41	25,09
14/09/2004	-	-	0,70	-	-	-	10,12
20/09/2004	-	-	1,24	-	-	0,18	12,06
27/09/2004	-	-	0,47	-	-	-	11,25
04/10/2004	-	-	1,34	-	-	0,32	15,39
12/10/2004	-	-	2,22	-	0,12	0,48	19,53
20/10/2004	-	-	0,43	-	0,12	0,52	18,71
25/10/2004	-	-	-	-	0,11	0,28	14,18
Seuils:	0,02	0,02	0,05	0,05	0,02	0,02	0,05

**Tableau 3.2. Dosages des bromo-phénols au point *canal de rejet* (valeurs en µg/L)
(- : non détecté)**

	2-bromo - phenol	3-bromo - phenol	4-bromo - phenol	2,4-dibromo - phenol	2,6-dibromo - phenol	2,4,6-tribromo - phenol
seuils	< 1	< 1	< 1	< 0.05	< 0.05	< 0.01
10/11/2003	-	-	-	-	-	0,04
03/12/2003	-	-	-	-	-	0,12
07/01/2003	-	-	-	-	-	-
03/02/2004	-	-	-	-	-	-
09/03/2004	-	-	-	-	-	-
06/04/2004	-	-	-	-	-	-
05/05/2004	-	-	-	-	-	0,45
02/06/2004	-	-	-	-	-	0,07
05/07/2004	-	-	-	-	-	0,12
09/08/2004	-	-	-	-	-	0,19
06/09/2004	-	-	-	-	-	0,04
04/10/2004	-	-	-	-	-	0,12

Tableau 3.3. Bactériologie -mesures hebdomadaires au point canal d'amenée (vibrions/L)

Date	Température (°C)	Vibrions totaux / L	<i>V. alginolyticus</i> / L	<i>V. cholerae</i> Neg / L	<i>V. damsela</i> / L	<i>V. fluvialis</i> /L	<i>V. harveyi</i> /L	<i>V. hollisae</i> /L	<i>V. metschnikovii</i> / L	<i>V. mimicus</i> / L	<i>V. parahaemolyticus</i> / L	<i>V. vulnificus</i> / L	<i>V. spp.</i> / L
06/11/03	12,4	10	4	4		2							
10/11/03	11,3	7	5	2									
19/11/03	12,2	24	6	18									
25/11/03	11,4	10	6		4								
03/12/03	11,5	27	19	5	3								
09/12/03	7,6	3	1	2									
17/12/03	8,2	9	8	1									
23/12/03	7,3	27	9	2		4			2		10		
29/12/03	8,9	80	20	30	30								
07/01/04	8,3	54	24	10					8		12		
14/01/04	8,1	30	12	16							2		
20/01/04	7,9	68	36	12	20								
27/01/04	6,9	11	10	1									
03/02/04	8,6	18	18										
11/02/04	8,0	40	6		34								
17/02/04	7,5	58	38		20								
25/02/04	5,4	18	10	4	4								
02/03/04	5,5	22	12			2			8				
09/03/04	5,7	2	1	1									
16/03/04	9,0	12	12										
24/03/04	9,2	14	7		5	2							
29/03/04	8,4	26	18		8								
06/04/04	9,6	65	45		10						10		
14/04/04	10,0	16	10		6								
22/04/04	11,5	900	800		100								
29/04/04	12,1	88	8		68						12		
05/05/04	12,4	120	30	90									
11/05/04	12,2	65	45	5							15		
17/05/04	13,7	127	107	20									
25/05/04	15,9	60	50	10									
02/06/04	15,8	270	60								210		
07/06/04	17,8	87	80	7									
15/06/04	17,8	1 200	1 200										
21/06/04	18,1	3 100	900	2 000							200		
28/06/04	17,9	62	24	26	8	4							
05/07/04	18,0	900	600								300		
12/07/04	18,0	800	500	100						100	100		
20/07/04	20,2	500	200	180						120			
27/07/04	20,6	720	440	160	120								
02/08/04	20,2	1 500	400	600	400						100		
09/08/04	21,6	3 500	2 600	300	600								
17/08/04	20,7	3 700	1 100	2 000		200					400		
23/08/04	19,6	1 300	1 300										
30/08/04	19,9	1 200	200	600							400		
06/09/04	19,9	500	300	100		100							
14/09/04	18,7	2 400	1 600		800								
20/09/04	17,8	1 500	900	600									
27/09/04	16,5	370	190	160					20				
04/10/04	17,0	410	280	50	40						40		
12/10/04	14,4	42	30	12									
20/10/04	14,9	140	30	70		40							
25/10/04	14,1	170	40	60		60			10				

Tableau 3.4. Bactériologie - mesures hebdomadaires au point canal de rejet (vibrions/L)

Date	Température (°C)	Vibrions totaux / L	<i>V. alginolyticus</i> / L	<i>V. cholerae</i> Nag / L	<i>V. damsela</i> / L	<i>V. fluvialis</i> / L	<i>V. harveyi</i> / L	<i>V. hollisae</i> / L	<i>V. metschnikovii</i> / L	<i>V. mimicus</i> / L	<i>V. parahaemolyticus</i> / L	<i>V. vulnificus</i> / L	<i>V. spp.</i> / L
06/11/03	21,2	50	50										
10/11/03	20,9	19	2	16							1		
19/11/03	20,6	1 700	400	1 300									
25/11/03	20,4	10	4	6									
03/12/03	19,0	1 600	700	400	300					200			
09/12/03	17,9	1	1										
17/12/03	18,8	3 100	1 500		1 600								
23/12/03	17,6	430	330	80	10						10		
29/12/03	18,5	1 300	900		400								
07/01/04	18,2	2 900	1 900	200	800								
14/01/04	17,5	2 200	1 800	100	100				200				
20/01/04	17,5	250	170								80		
27/01/04	17,0	170	170										
03/02/04	16,1	3 000	800		2 200								
11/02/04	17,6	1 800	1 400		400								
17/02/04	16,4	2 500	1 900	100	500								
25/02/04	14,9	700	300	200	200								
02/03/04	14,6	2 000	600								1 400		
09/03/04	14,8	390	220	30	140								
16/03/04	17,6	470	270		200								
24/03/04	17,1	340	310								30		
29/03/04	17,6	2 800	2 200								600		
06/04/04	18,1	4 000	1 600		1 400						1 000		
14/04/04	18,5	1 700	800		900								
22/04/04	18,0	6 000	6 000										
29/04/04	20,9	18 000	3 000		14 000						1 000		
05/05/04	22,0	14 000	7 000	1 000	5 000						1 000		
11/05/04	20,9	8 000	5 000							3 000			
17/05/04	23,6	31 000	28 000								3 000		
25/05/04	25,2	150 000	140 000								10 000		
02/06/04	22,9	210 000	160 000	50 000									
07/06/04	25,8	31 000	9 000	13 000					2 000			7 000	
15/06/04	26,3	160 000	120 000	40 000									
21/06/04	27,6	150 000	140 000	10 000									
28/06/04	27,4	51 000	41 000	10 000									
05/07/04	26,2	980 000	130 000	810 000						40 000			
12/07/04	25,9	130 000	52 000	52 000		26 000							
20/07/04	29,0	340 000	340 000										
27/07/04	29,1	280 000	60 000	170 000							50 000		
02/08/04	30,1	50 000	30 000	20 000									
09/08/04	30,4	360 000	350 000	10 000									
17/08/04	29,1	240 000	60 000	130 000		50 000							
23/08/04	29,3	40 000	40 000										
30/08/04	27,9	220 000	100 000	100 000		20 000							
06/09/04	26,4	210 000	90 000	110 000		10 000							
14/09/04	26,5	290 000	170 000	30 000					80 000		10 000		
20/09/04	25,7	120 000	90 000	30 000									
27/09/04	25,4	18 000	17 000	1 000									
04/10/04	24,3	47 000	38 000	6 000							3 000		
12/10/04	21,3	22 000	17 000			5 000							
20/10/04	23,5	16 000	10 000	5 000							1 000		
25/10/04	22,3	23 000	16 000	6 000		1 000							

Tableau 3.5. Campagnes pélagiques, Bactériologie et chloration

Date	Point	Température (°C)	Vibrions 37°C – Nbre par litre									Haloformes		
			Vibrions totaux	<i>V. alginolyticus</i>	<i>V. cholerae</i> Nag	<i>V. damsela</i>	<i>V. fluvialis</i>	<i>V. vulnificus</i>	<i>V. parahaemolyticus</i>	<i>V. mimicus</i>	<i>V. metschnikovii</i>	CHCl ₂ Br (µg/L)	CHClBr ₂ (µg/L)	CHBr ₃ (µg/L)
02/06/04	Canal d'aménée	15,8	270	60					210			<0,02	<0,02	1,5
	Canal de rejet	25,0	210 000	160 000	50 000							<0,02	<0,02	5,8
	Contrôle	22,2	153 000	60 000	60 000			3 000	30 000			<0,02	<0,02	5,4
	Référence	14,8	330	210		20		60		40		<0,02	<0,02	1,1
27/09/04	Canal d'aménée	16,5	370	190	160						20	<0,02	<0,02	0,5
	Canal de rejet	25,0	18 000	17 000	1 000							<0,02	0,16	11,3
	Contrôle	22,6	2 300	100	1 800	300	100					<0,02	0,10	8,0
	Référence	16,0	24	24								<0,02	<0,02	<0,05

4. PHYTOPLANCTON ET BIOMASSE CHLOROPHYLLIENNE

Auteurs : Hitier B. & Lefebvre A.

Collaboratrice : Hébert P.





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 les valeurs des prélèvements aux points *canal d'amenée*, *canal de rejet*, *contrôle* situé dans la tache thermique. Ces 3 points sont comparés à un point *référence* éloigné de la centrale et caractéristique du milieu marin hors influence de la centrale.

Des prélèvements d'eau hebdomadaires au point *canal d'amenée* permettent de caractériser les variations saisonnières de la biomasse chlorophyllienne et du phytoplancton. Ils permettent de situer les deux campagnes de prélèvements hydrologiques par rapport au cycle saisonnier de l'écosystème.

4.2. RÉSULTATS

4.2.1. Surveillance hebdomadaire au point *canal d'amenée*

4.2.1.1. Biomasse chlorophyllienne

La figure 4.1. et le tableau 4.1. présentent l'évolution temporelle des concentrations en chlorophylle *a*. Elles constituent un indicateur de la biomasse phytoplanctonique présente dans la masse d'eau. Les concentrations restent faibles jusqu'à la mi-février. Elles varient entre 1,19 mg/m³, minimum annuel le 3 décembre, et 2,08 mg/m³. Cette situation est habituellement rencontrée en période hivernale. Les concentrations augmentent faiblement pendant les mois de février et mars, puis très fortement au mois de mai, période du maximum annuel avec une concentration de 19,94 mg/m³ (06/04/2004). Trois périodes majeures avec d'importantes concentrations en chlorophylle *a* sont observées : en avril (19,94 mg/m³), en mai (16,18 mg/m³) et en juin (18,57 mg/m³). Après le dernier maximum de juin, les concentrations chutent jusque mi-septembre et sont alors comprises entre 4,37 et 8,50 mg/m³. A partir de la fin du mois de septembre, elles diminuent encore pour être comprises entre 2,22 et 3,81 mg/m³.

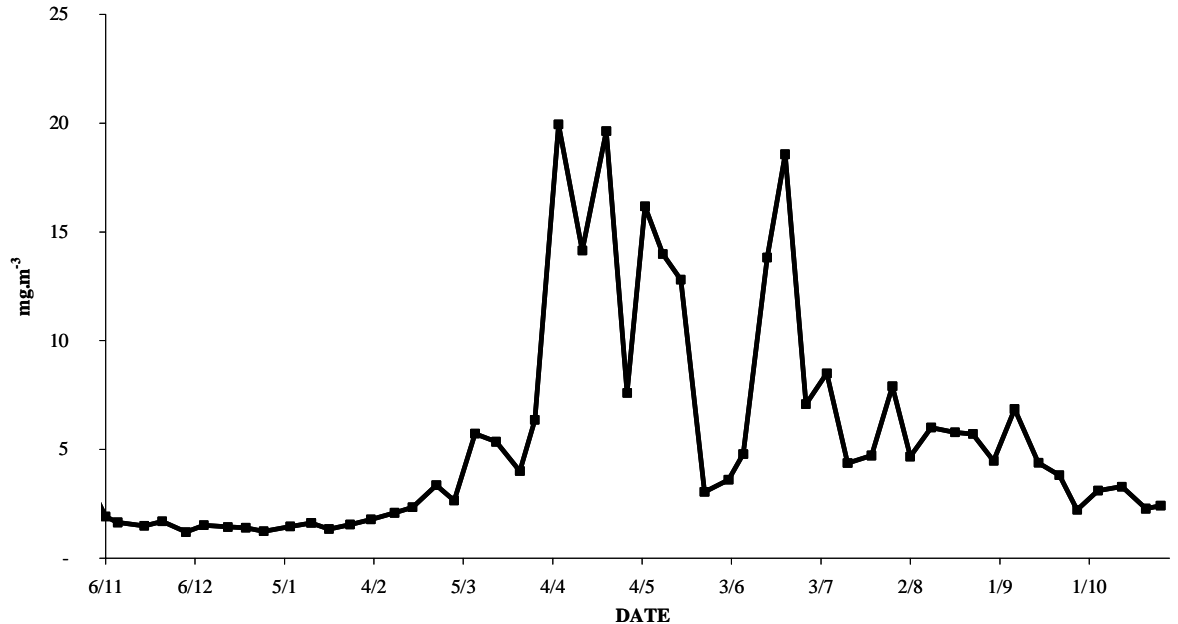


Figure 4.1. Évolution des concentrations de surface en chlorophylle a (mg/m³) au point canal d'amenée

4.2.1.2. Teneurs en chlorophylle active

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

La période hivernale est caractérisée par des teneurs en chlorophylle active comprises globalement entre 70 et 80 %. Ces teneurs augmentent progressivement aux mois de février et mars pour atteindre des valeurs supérieures à 95 % au mois d'avril. Après une chute brutale fin mai – début juin (71 %), les teneurs restent supérieures à 80 % jusque mi-septembre où une diminution brutale de la teneur en chlorophylle est mesurée (62 %). Les teneurs de fin d'année sont de l'ordre de 80 % (retour au niveau hivernal).

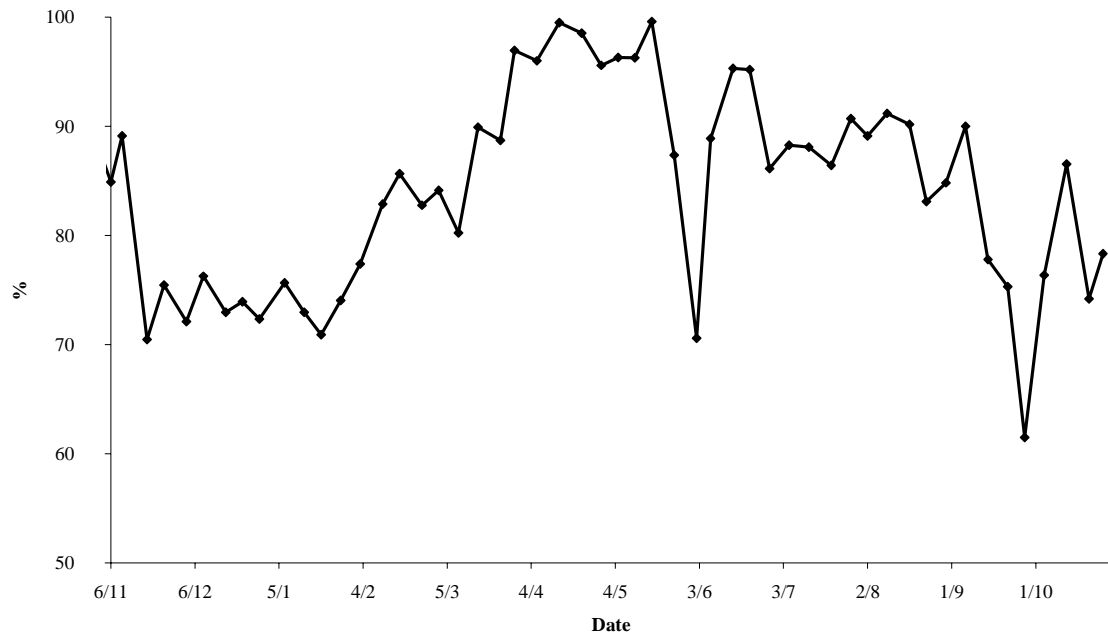


Figure 4.2. Évolution du pourcentage de chlorophylle active au point *canal d'amenée*

4.2.1.3. Succession des espèces phytoplanctoniques

Pendant la période d'étude, 81 genres phytoplanctoniques ont été dénombrés au point *canal d'amenée*.

Les diatomées sont présentes dans tous les échantillons observés pendant l'année (Fig. 4.3. à 4.7.), mais leur abondance est très irrégulière (Tabl. 4.1. et Fig. 4.8.). Celle-ci dépasse 90 % de la composition floristique à l'exception :

- De la période comprise entre le 22 avril et le 11 mai 2004 correspondant à la présence de la Prymnesiophycée *Phaeocystis sp.* en quantité importante.
- Des 10 et 19 novembre, 29 décembre 2003, 21 et 27 septembre et du 12 octobre 2004 où sont observées de très petites Chlorophycées et/ou Cryptophycées.

On remarque toutefois que le 29 avril il y a très peu de cellules (44 000 dont 33 000 cellules de *Phaeocystis sp.*), ce qui correspond à la faible concentration en chlorophylle mesurée (7,59 mg/m³). Le cycle saisonnier d'abondance des diatomées se caractérise par une augmentation importante du nombre de cellules observées à partir de la mi-mars et par la forte variabilité des quantités observées au cours du printemps et de l'été. Les échantillons dans lesquels les diatomées sont très nombreuses ont été prélevés entre les mois d'avril et de juillet ainsi que le 6 septembre. On observe plus de 700 000 cellules de diatomées par litre dans les échantillons du 17 mai (dont 504 000 cellules/L de *Rhizosolenia delicatula* sur 718 000 diatomées) ; celui du 15 juin contient 732 000 cellules de diatomées/L (dont 493 000 cellules/L de *Leptocylindrus danicus*) et celui du 21 juin présente 1 310 000 cellules/L de *Leptocylindrus danicus* sur 1 426 000 diatomées.

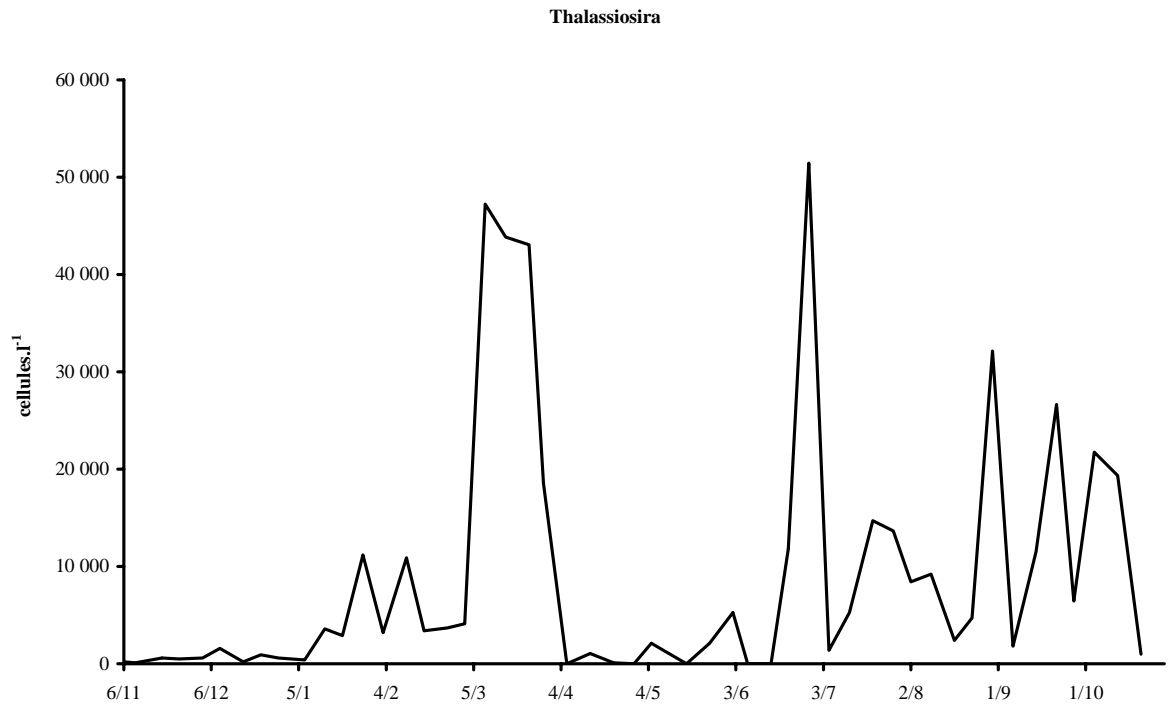


Figure 4.3. Évolution de l'abondance (nombre de cellules par litre) du genre *Thalassiosira*

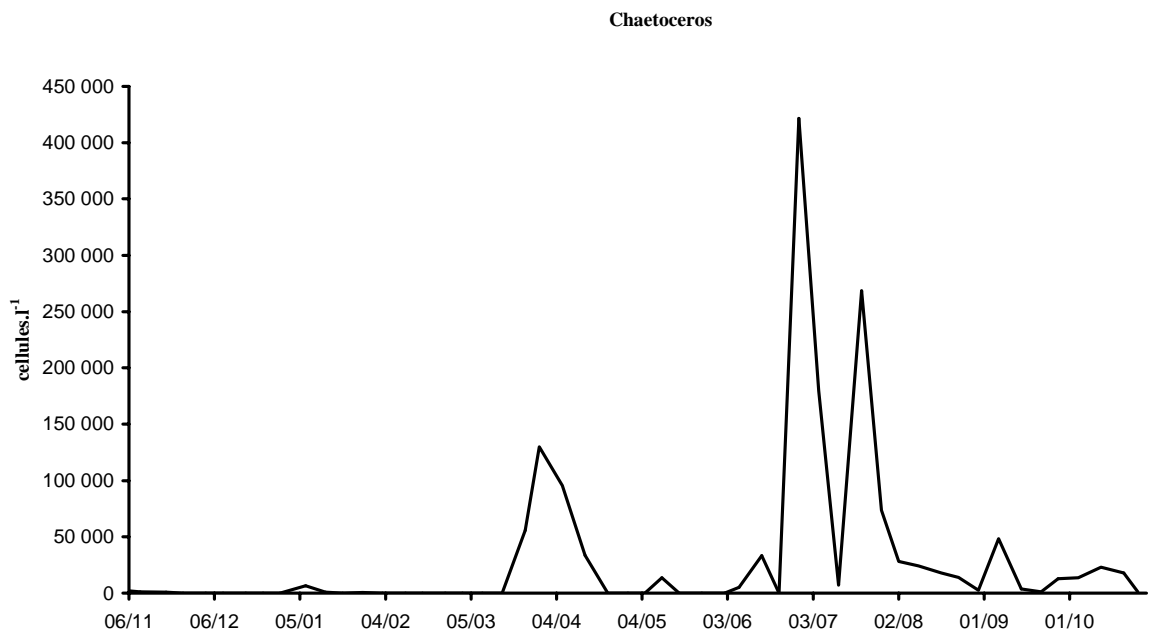


Figure 4.4. Évolution de l'abondance (nombre de cellules par litre) du genre *Chaetoceros*

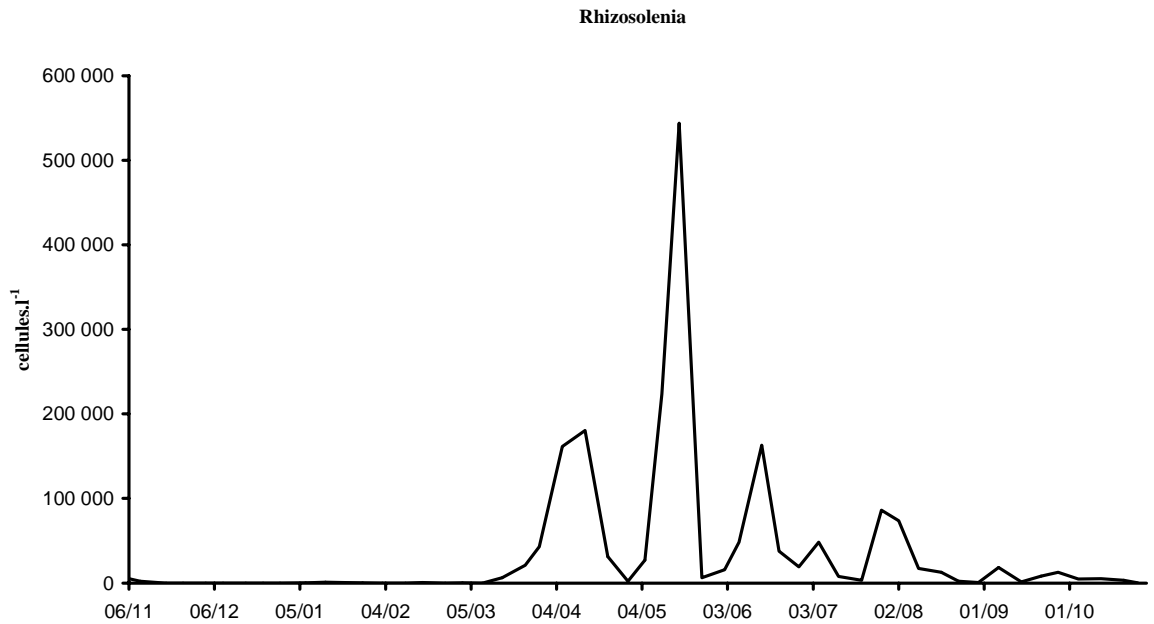


Figure 4.5. Évolution de l'abondance (nombre de cellules par litre) du genre *Rhizosolenia*

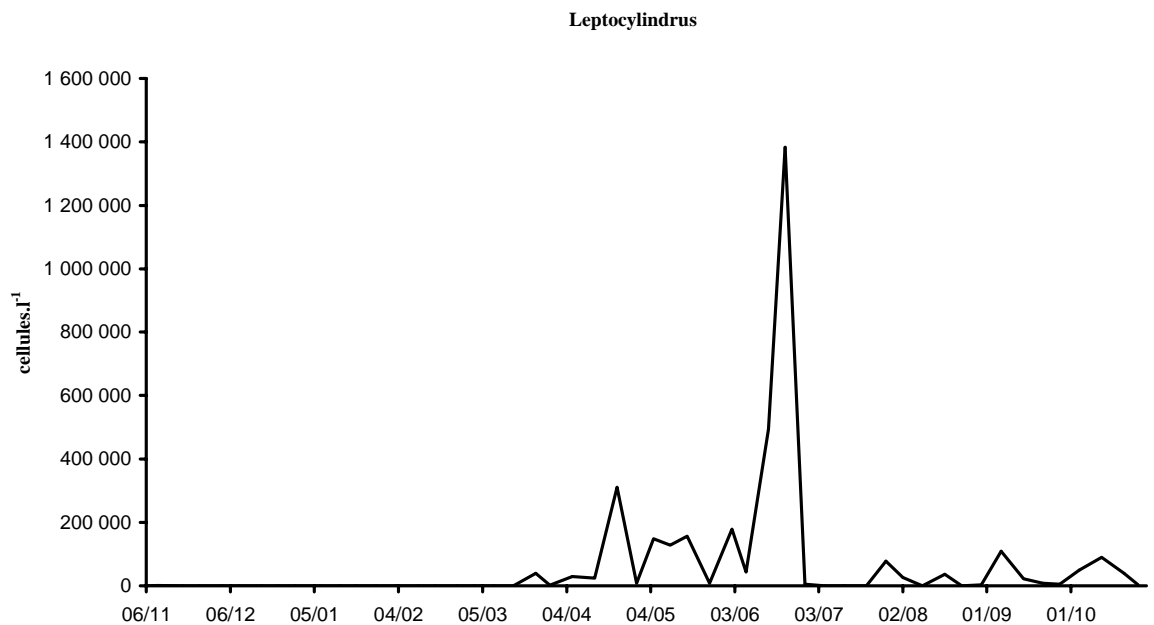


Figure 4.6. Évolution de l'abondance (nombre de cellules par litre) du genre *Leptocylindrus*

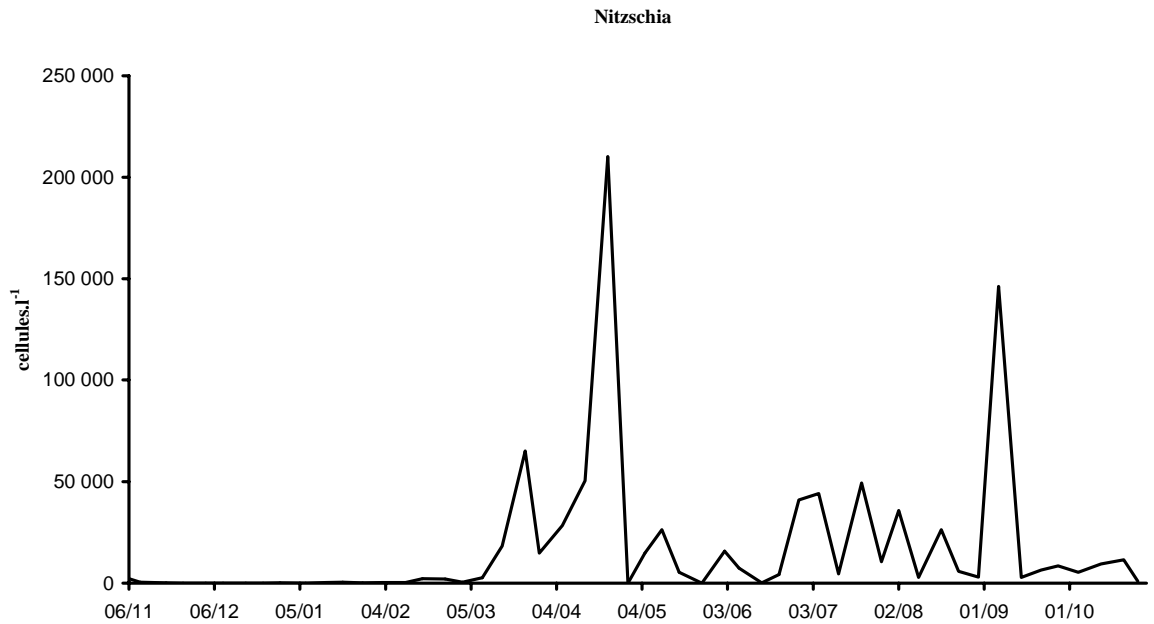


Figure 4.7. Évolution de l'abondance (nombre de cellules par litre) du genre *Nitzschia*

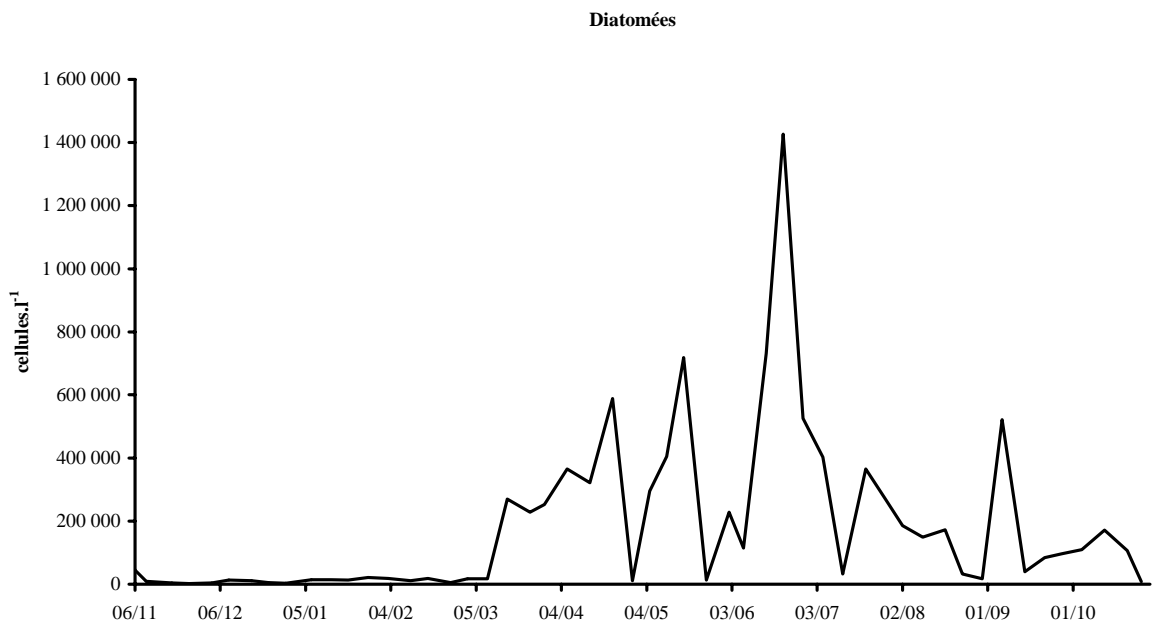


Figure 4.8. Évolution de l'abondance totale (nombre de cellules par litre) des diatomées

La figure 4.9. représente la succession des principales espèces de diatomées rencontrées sur le site. Le genre *Thalassiosira* est présent toute l'année en petite quantité avec des pics d'abondance en mars, juillet et septembre. On compte 51 450 cellules/L le 5 juillet. Le genre *Chaetoceros* est présent essentiellement pendant les mois d'avril, puis de juin à septembre avec un maximum de 421 550 cellules/L le 28 juin. Le genre *Rhizosolenia* fait une apparition au début du mois de mars puis on observe une succession de pics les 14 avril, 17 mai, 15 juin et 27 juillet montrant ainsi une préférence pour la période printanière. On compte 504 000 cellules/L de *Rhizosolenia delicatula* le 17 mai. Le genre *Leptocylindrus* est présent d'avril à juin et après le mois d'août. On note une efflorescence de ce taxon le 21 juin avec 1 383 000 cellules/L. Le genre *Nitzschia* est présent de janvier à la fin de la période d'étude. On observe deux pics plus importants le 22 avril avec 199 000 cellules/L et le 6 septembre avec 135 000 cellules/L.

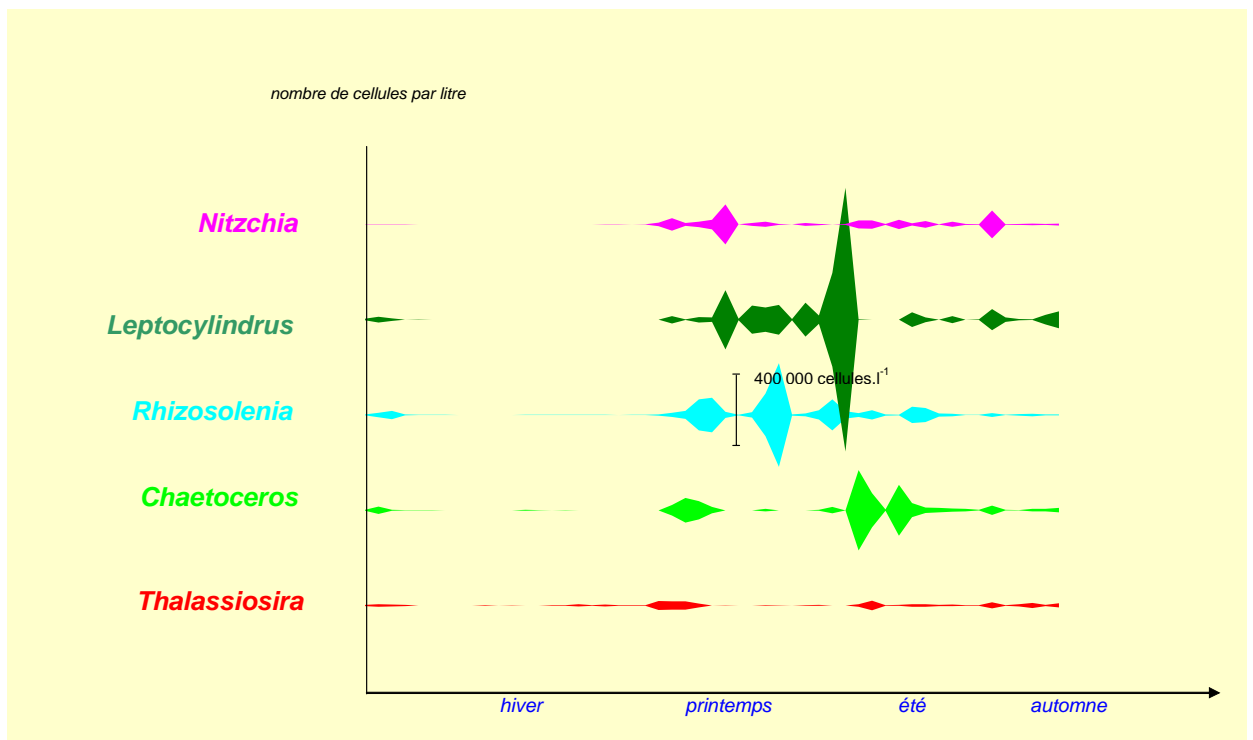


Figure 4.9. Évolution de l'abondance (nombre de cellules par litre) des principales espèces de diatomées observées sur le site de Gravelines

Les dinophycées ou dinoflagellés sont présents dans trois échantillons sur quatre (Fig. 4.10.). On en compte moins de 1 000 cellules/L jusqu'au 9 mars. Ensuite, les abondances présentent une forte variabilité marquée par des périodes de fortes concentrations cellulaires (13 550 cellules/L le 14 avril, 8 400 cellules/L le 11 mai, 7 750 cellules/L le 28 juin, 34 000 cellules/L le 2 août, 14 000 cellules/L le 6 septembre et 8 400 cellules/L le 27 septembre) et des périodes comparables aux faibles niveaux hivernaux. Les dinophycées sont essentiellement des *Péridinium* observés à partir de juin (maximum 3 500 cellules/L le 2 août) et des *Gymnodinium* observés à partir du 14 avril (maximum 5 250 cellules/L le 28 juin). Une espèce non toxique de *Dinophysis* est observé une fois le 14 avril avec 4 200 cellules/L ; *Prorocentrum micans* est observée à partir du mois de juillet avec un maximum de 26 500 cellules/L le 2 août.

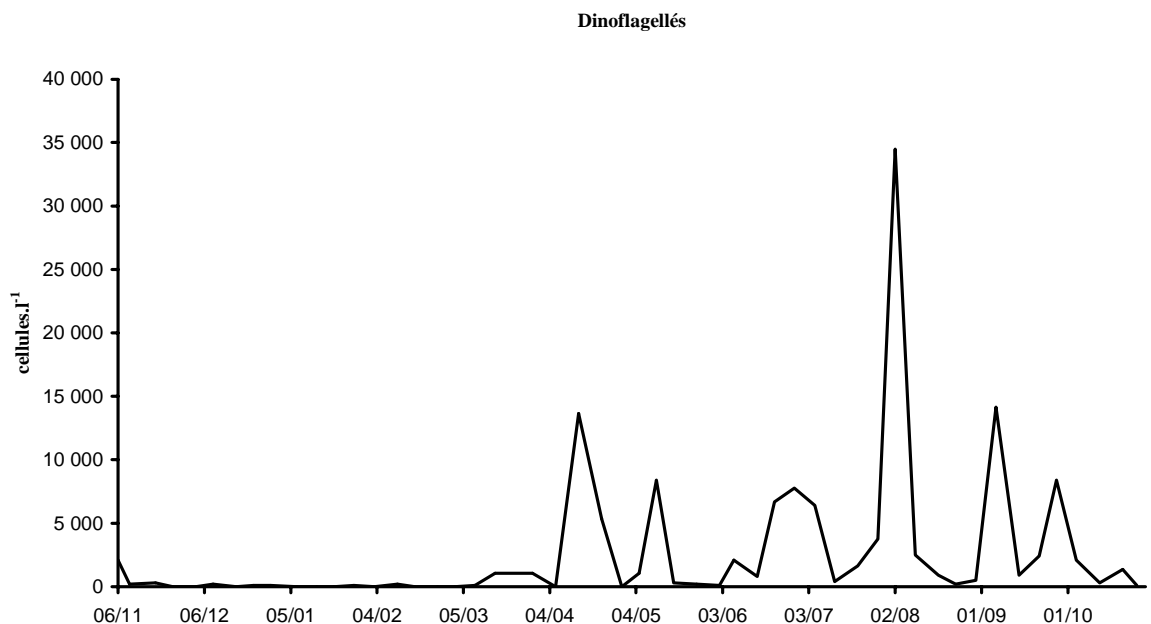


Figure 4.10. Évolution de l'abondance totale (nombre de cellules par litre) des dinoflagellés

La prymnésiophycée *Phaeocystis*, genre nanoplanctonique colonial non toxique, est responsable d'efflorescences provoquant la formation d'écumes et d'eaux très turbides particulièrement visibles au niveau du canal de rejet de la centrale en raison du brassage important de l'eau lors de son passage dans le circuit de refroidissement.

Cette algue apparaît le 29 mars (Tableau 4.2. et Fig. 4.11.). Son abondance augmente régulièrement jusqu'au 22 avril où on compte 427 600 cellules/L. Le 29 avril il n'y a que 33 200 cellules/L ; puis les abondances augmentent à nouveau jusqu'au 5 mai avec 1 445 000 cellules/L (Photographie de la couverture) et on ne compte plus que 840 cellules/L le 11 mai et 7 500 cellules/L le 17 mai.

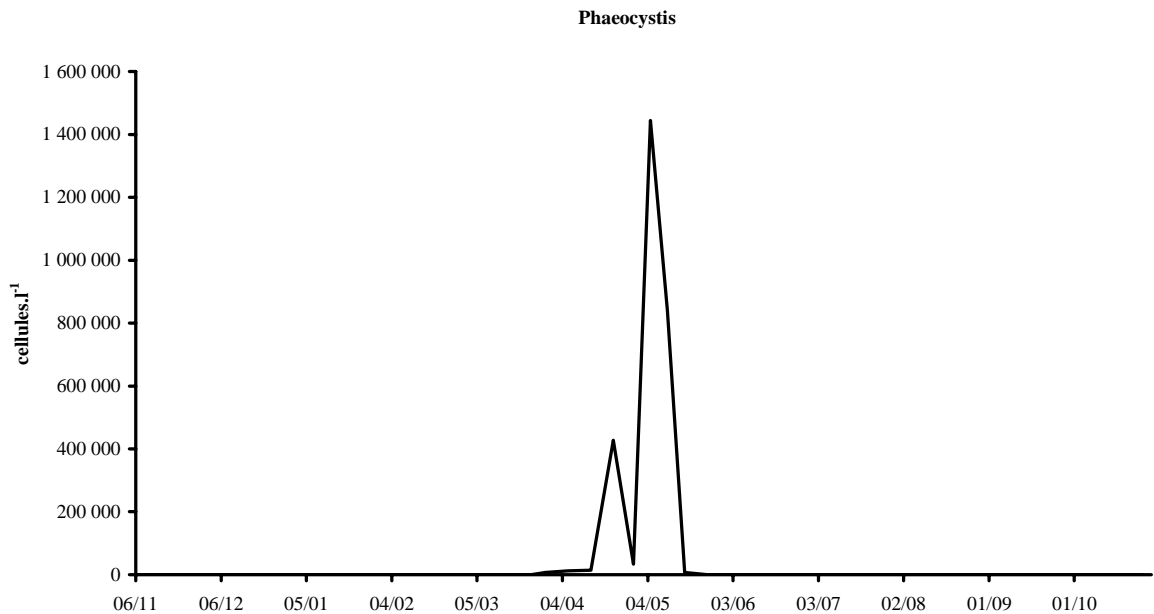


Figure 4.11. Évolution de l'abondance (nombre de cellules par litre) du genre *Phaeocystis*

4.2.2. Impact de la centrale : campagnes pélagiques

La campagne pélagique printanière se situe au début de la troisième période de forte biomasse chlorophyllienne (Fig. 4.1. et 4.2).

La campagne pélagique automnale permet d'appréhender les paramètres du milieu dans un contexte de fin de cycle biologique. La concentration en chlorophylle et l'activité planctonique au point *canal d'amenée* se situent toutes deux lors d'un minima au milieu de la phase de décroissance automnale.

4.2.2.1. Biomasse chlorophyllienne

Le 2 juin 2004, on constate une variation de biomasse chlorophyllienne (Fig. 4.12. et Tabl. 4.3.) :

- de - 7 % entre les prélèvements effectués au point *canal de rejet* et ceux du point *canal d'amenée*,
- de - 58 % entre les prélèvements effectués au point *contrôle* en surface et ceux du point *canal d'amenée*,
- de 0 % entre les prélèvements effectués au point *référence* en surface et ceux du point *canal d'amenée*,
- de - 8 % entre le fond et la surface au niveau du point *contrôle*,
- de - 35 % entre le fond et la surface au niveau du point *référence*.

Le 27 septembre 2004, la variation de biomasse est de (Fig. 4.12 et Tabl. 4.3.) :

- de + 32 % entre les prélèvements effectués au point *canal de rejet* et ceux du point *canal d'amenée*,
- de - 4 % entre les prélèvements effectués au point *contrôle* en surface et ceux du point *canal d'amenée*,
- de + 17 % entre les prélèvements effectués au point *référence* en surface et ceux du point *canal d'amenée*,
- de + 5 % entre le fond et la surface au niveau du point *contrôle*,
- de + 27 % entre le fond et la surface au niveau du point *référence*.

Le 2 juin, la biomasse chlorophyllienne est plus faible au point *canal de rejet* qu'au point *canal d'amenée*. Elle chute fortement au point *contrôle*. La biomasse au point *référence* se situe au même niveau qu'au point *canal d'amenée*. Le gradient fond-surface est de $0,12 \text{ mg/m}^3$ au point *contrôle*. Au point *référence*, la concentration au fond est inférieure de $1,25 \text{ mg/m}^3$ à celle mesurée en surface et de $1,01 \text{ mg/m}^3$ à celle mesurée à mi-profondeur. Malgré l'homogénéité des masses d'eau (paragraphe 2.3.2.), la biomasse phytoplanctonique présente une certaine hétérogénéité sur la verticale.

Le 27 septembre, la biomasse au point *canal de rejet* est supérieure à celle mesurée au point *canal d'amenée*, ce qui ne correspond pas aux observations habituelles. La différence est toutefois faible ($0,70 \text{ mg/m}^3$) au regard de la variabilité des masses d'eau et peut s'expliquer par la non simultanée des prélèvements. Les biomasses mesurées aux points *canal d'amenée* et *canal de rejet* sont respectivement les $2/3$ et les $4/5$ de celles de la campagne printanière. Par contre, la biomasse est bien supérieure au point *contrôle* ($+ 0,51 \text{ mg/m}^3$ en surface), mais inférieure à celle mesurée au point *référence* ($- 1,01 \text{ mg/m}^3$ en surface), toujours comparativement aux valeurs printanières. Au point *contrôle*, la différence de biomasse fond-surface est faible ($\Delta = 0,10 \text{ mg/m}^3$) alors qu'une grande hétérogénéité de température est mesurée (paragraphe 2.3.2.).

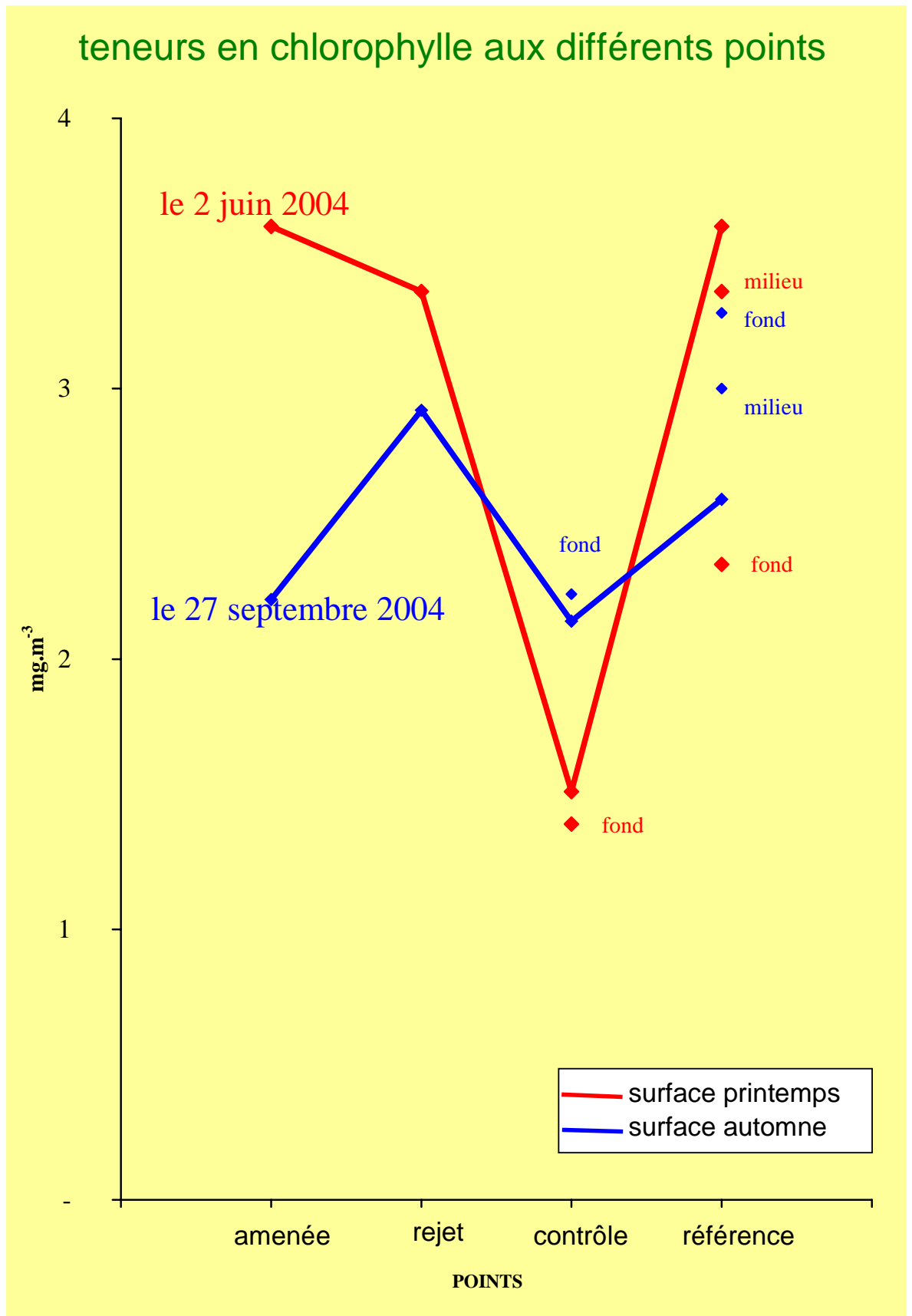


Figure 4.12. Impact de la centrale sur la biomasse chlorophyllienne

4.2.2.2. Teneurs en chlorophylle active

Le 2 juin 2004 (Fig. 4.13. et Tabl. 4.4.), l'activité de la chlorophylle diminue fortement entre le point *canal d'amenée* et le point *canal de rejet* ($\Delta = 33\%$). Elle remonte sensiblement au point *contrôle* (Δ *contrôle/canal d'amenée* = 22%). L'activité au point *référence* est supérieure de 5% à celle du point *canal d'amenée*. Il y a un gradient surface-fond de 11% au point *contrôle*. Il est très marqué au point *référence* ($\Delta = 62\%$ entre le fond et la surface).

Le 27 septembre 2004 (Fig. 4.13. et Tabl. 4.4.) est le jour où l'activité chlorophyllienne est la plus faible de toute la période d'étude ($61,5\%$) ; L'activité diminue de 17% entre le point *canal d'amenée* et le point *canal de rejet*. L'activité au point *contrôle* est comparable à celle du point *canal d'amenée* ($\Delta = 1\%$). L'activité au point *référence* est identique celle observée au niveau du point *canal d'amenée*. Au point *contrôle*, l'activité au fond est inférieure de 12% à celle mesurée en surface. Au point *référence*, elle est comparable au fond et en surface ($\Delta = 2\%$).

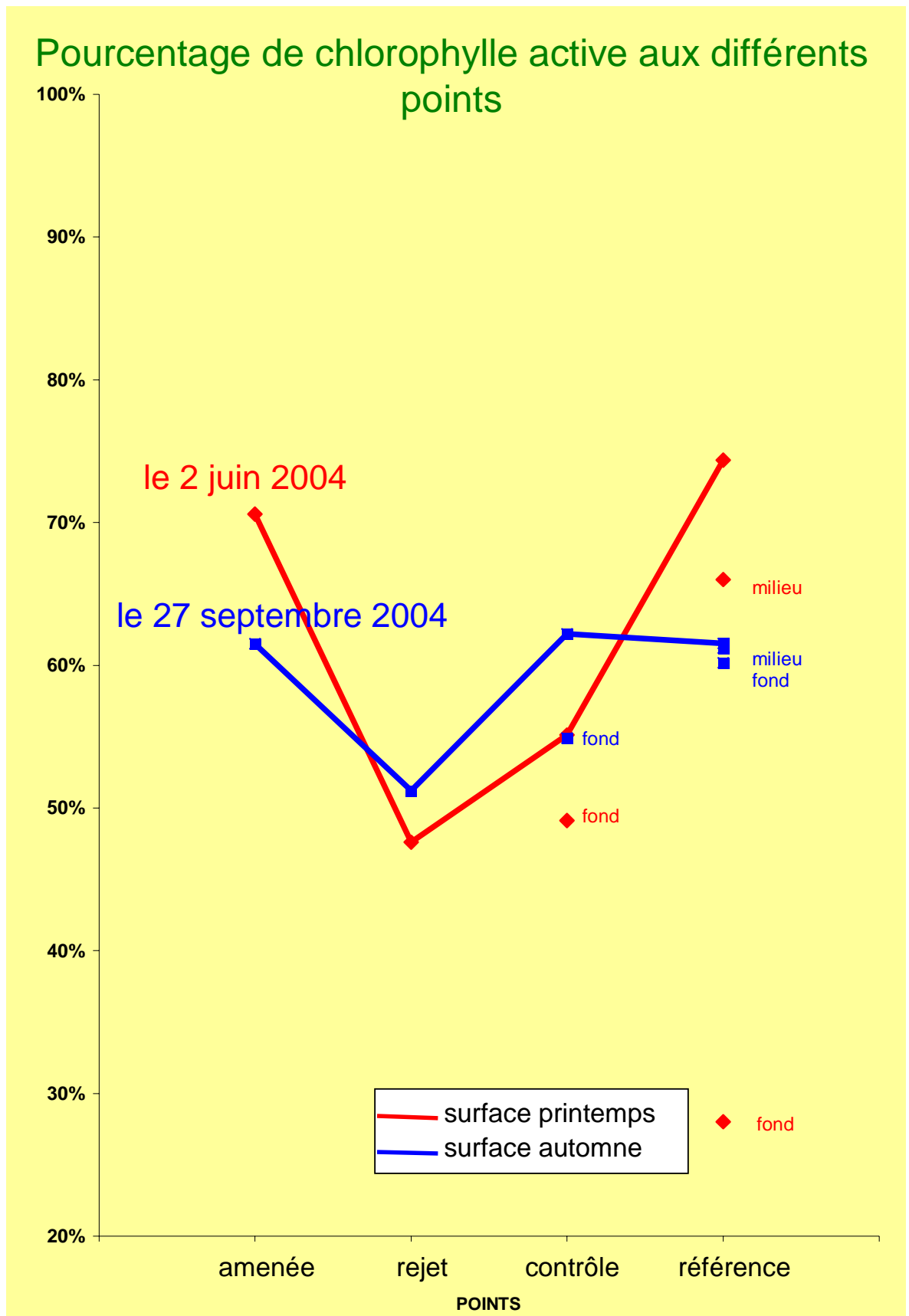


Figure 4.13. Impact de la centrale sur la chlorophylle active



4.2.2.3. Impact sur les groupes phytoplanctoniques

Lors de la campagne du 2 juin, le nombre total d'espèces échantillonnées aux différents points est compris entre 8 et 12 (Tabl. 4.5.). C'est au point *contrôle* que le nombre d'espèces est le plus important. Le nombre d'espèces communes aux différents points est compris entre 4 et 6 (Tabl. 4.7.). Le nombre de cellules comptabilisées passe de 229 000 par litres au point *canal d'amenée* à des valeurs comprises entre 9 000 à 16 000 cellules/L aux autres points en surface (Tabl. 4.6.). Le passage de l'eau dans le système de refroidissement de la centrale semble affecter plus les diatomées que les dinophycées (Fig. 4.14).

Lors de la campagne du 27 septembre, le nombre total d'espèces échantillonnées aux différents points est compris entre 26 et 35 (Tabl. 4.5.). C'est au point *référence* que le nombre d'espèces est le plus important. Le nombre d'espèces communes aux différents points est compris entre 11 et 24 (Tabl. 4.7.). Le nombre de cellules comptabilisées passe de 144 000 par litres au point *canal d'amenée* à des valeurs comprises entre 98 000 à 121 000 cellules/L aux autres points en surface (Tabl. 4.6.). Le passage de l'eau dans le système de refroidissement de la centrale ne semble pas avoir d'influence ni sur les dinophycées qui sont plus nombreuses au point *canal de rejet*, ni sur les diatomées dont le nombre est semblable au deux points (Fig. 4.14).

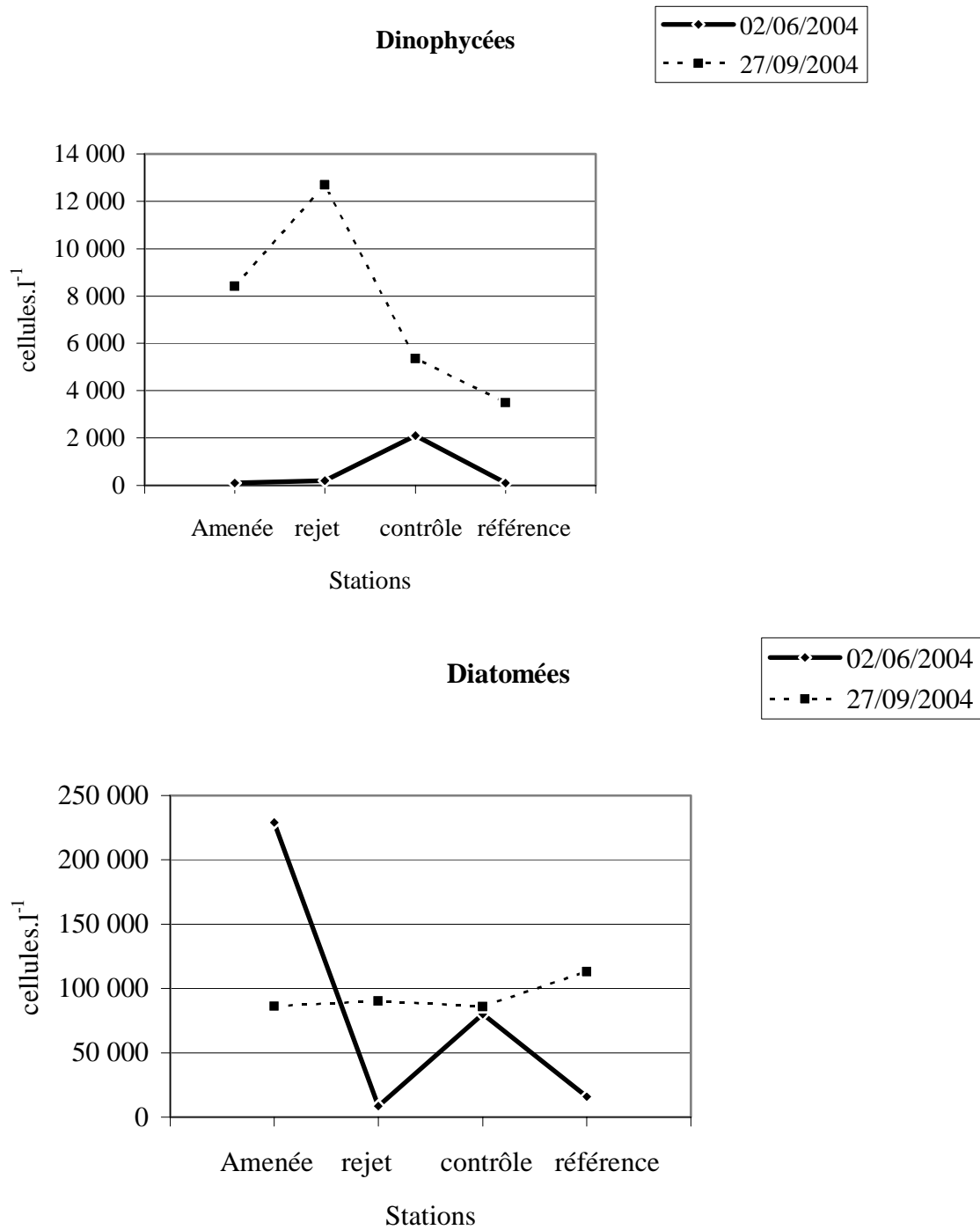


Figure 4.14. Impact du fonctionnement de la centrale sur les deux principaux groupes phytoplanctoniques en surface lors des campagnes du 2 juin et du 27 septembre 2004

4.3. ELEMENTS DE CONCLUSION

Le suivi hebdomadaire au niveau du point *canal d'amenée* de la centrale a confirmé 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 19,94 mg/m³. L'année 2004 est une année intermédiaire en terme de concentration en chlorophylle *a* (comme les années 1995 et 1999). Les années 1990, 1991, 1992, 1997, 1998, 2000, 2002 et 2003 sont caractérisées par de faibles concentrations alors que les années 1993, 1996 et 2001 sont au contraire les années de plus fortes biomasses chlorophylliennes (> 40 mg/m³). L'année 2004 se caractérise par une qualité de chlorophylle très variable, mais globalement bonne. En effet, seules 19 campagnes sur 52 présentent un pourcentage de chlorophylle active inférieur à 80 % (la valeur la plus faible est de 61,5 %) et 16 ont une activité supérieure à 90 % ; la plus forte valeur est de 99,61 % le 17 mai.

Le maximum annuel de biomasse chlorophyllienne est observé 6 avril (19,94 mg/m³). La quantité de diatomées n'est pas importante et l'échantillon est peu diversifié (15 espèces). Deux espèces *Chaetoceros curvicutus* (90 350 cellules/L) et *Rhizosolenia delicatula* (139 650 cellules/L) dominent l'échantillon de 387 000 cellules/L. Cet échantillon présente 13 000 cellules/L de *Phaeocystis sp.*.

La campagne du 2 juin se situe lors d'un minimum de production et d'activité chlorophyllienne. La campagne du 27 septembre se situe au milieu de la période de décroissance automnale de la biomasse et de l'activité chlorophyllienne.

La campagne printanière met en évidence l'impact du transit des masses d'eau dans la centrale tant sur la biomasse que sur l'activité chlorophyllienne conformément à ce qui est habituellement observé.

La campagne pélagique automnale montre une évolution de la biomasse chlorophyllienne inattendue car la concentration de chlorophylle est légèrement supérieure au point *canal de rejet* par rapport au point *canal d'amenée*. Le nombre de diatomées, semblable aux points *canal d'amenée* et *canal de rejet* et celui de dinophycées supérieure au point *canal de rejet* par rapport au point *canal d'amenée* confirme la constatation concernant la biomasse.

Tableau 4.1 Surveillance hebdomadaire au point canal d'amenée : concentration en chlorophylle *a* (mg/m³) et pourcentage de chlorophylle active

Date station	Chlorophylle	% Chlorophylle active
06/11/2003	1,91	84,89
10/11/2003	1,64	89,13
19/11/2003	1,48	70,48
25/11/2003	1,69	75,45
03/12/2003	1,19	72,12
09/12/2003	1,51	76,26
17/12/2003	1,43	72,96
23/12/2003	1,39	73,94
29/12/2003	1,23	72,35
07/01/2004	1,46	75,65
14/01/2004	1,62	72,97
20/01/2004	1,34	70,90
27/01/2004	1,54	74,04
03/02/2004	1,78	77,39
11/02/2004	2,08	82,87
17/02/2004	2,33	85,66
25/02/2004	3,36	82,76
02/03/2004	2,65	84,13
09/03/2004	5,73	80,25
16/03/2004	5,35	89,92
24/03/2004	4,00	88,69
29/03/2004	6,36	96,95
06/04/2004	19,94	96,00
14/04/2004	14,14	99,51
22/04/2004	19,63	98,54
29/04/2004	7,59	95,59
05/05/2004	16,18	96,31
11/05/2004	13,98	96,28
17/05/2004	12,80	99,61
25/05/2004	3,04	87,36
02/06/2004	3,60	70,59
07/06/2004	4,79	88,87
15/06/2004	13,83	95,31
21/06/2004	18,57	95,18
28/06/2004	7,08	86,13
05/07/2004	8,50	88,27
12/07/2004	4,37	88,10
20/07/2004	4,71	86,42
27/07/2004	7,90	90,70
02/08/2004	4,67	89,12
09/08/2004	6,00	91,19
17/08/2004	5,78	90,17
23/08/2004	5,71	83,11
30/08/2004	4,47	84,82
06/09/2004	6,85	90,01
14/09/2004	4,38	77,80
21/09/2004	3,81	75,30
27/09/2004	2,22	61,50
04/10/2004	3,10	76,35
12/10/2004	3,28	86,54
20/10/2004	2,27	74,18
25/10/2004	2,42	78,32

Tableau 4. 2. Abondance du genre *Phaeocystis* sur le site

date	Cellules/L
29/03/2004	7 100
06/04/2004	12 900
14/04/2004	15 100
22/04/2004	427 600
29/04/2004	33 200
05/05/2004	1 445 000
11/05/2004	840 000
17/05/2004	7 500

Tableau 4. 3. Dates et espèces dont l'abondance est supérieure à 100 000 cellules/L

date	regroupement	nombre
08/10/2003	<i>THALASSIONEMA sp</i>	143 850
14/10/2003	<i>THALASSIONEMA sp</i>	160 650
28/10/2003	<i>THALASSIONEMA sp</i>	133 350
06/04/2004	<i>RHIZOLENIA delicatula</i>	139 650
14/04/2004	<i>RHIZOLENIA delicatula</i>	115 500
22/04/2004	<i>NITZCHIA delicatula</i>	152 250
05/05/2004	<i>MELOSIRA sp</i>	105 000
11/05/2004	<i>RHIZOLENIA delicatula</i>	199 500
17/05/2004	<i>RHIZOLENIA delicatula</i>	504 000
15/06/2004	<i>RHIZOLENIA shrubsolei</i>	163 000
28/06/2004	<i>CHAETOCEROS sp</i>	418 950
05/07/2004	<i>CHAETOCEROS sp</i>	179 550
20/07/2004	<i>CHAETOCEROS sp</i>	262 500
06/09/2004	<i>NITZCHIA seriata</i>	135 450

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

Points	Teneurs moyennes en chlorophylle (mg/m ³)	
	2 juin	27 septembre
Canal d'amenée	3,60	2,22
Canal de rejet	3,36	2,92
Contrôle fond	1,39	2,24
Contrôle surface	1,51	2,14
Référence fond	2,35	3,28
Référence milieu	3,36	3,00
Référence surface	3,60	2,59

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

Points	Pourcentages de chlorophylle active	
	2 juin	27 septembre
Canal d'amenée	70,59	61,50
Canal de rejet	47,59	51,23
Contrôle fond	49,12	54,90
Contrôle surface	55,11	62,21
Référence fond	28,01	60,18
Référence milieu	66,01	61,22
Référence surface	74,38	61,52

Tableau 4.5. Evolution spatiale du nombre total d'espèces phytoplanctoniques en surface lors des campagnes pélagiques du 2 juin et du 27 septembre 2004

Campagnes	Points			
	Canal d'amenée	Canal de rejet	Contrôle	Référence
2 juin 2004	10	9	12	8
27 septembre 2004	29	26	29	35

Tableau 4.6. Répartition par classe des cellules phytoplanctoniques observées lors des campagnes pélagiques du 2 juin et du 27 septembre 2004

date	points	CLCLIE	CLCRYPT	CLDIATO	CLDICTY	CLDINOP	CLEUGLE	Synthèse
02/06/2004	Canal d'amenée surface			229 000		100		229 100
02/06/2004	Canal de rejet surface			8 800		200		9 000
02/06/2004	Contrôle fond		1 050	170 200		2 100		173 350
02/06/2004	Contrôle surface		1 050	79 900		2 100		83 050
02/06/2004	Référence fond			5 600				5 600
02/06/2004	Référence surface			16 100		100		16 200
27/09/2004	Canal d'amenée surface	1 050	37 800	96 600		8 400	100	143 950
27/09/2004	Canal de rejet surface		11 550	94 400		12 700		118 650
27/09/2004	Contrôle fond			14 100	100	400	100	14 700
27/09/2004	Contrôle surface		5 250	87 250		5 350		97 850
27/09/2004	Référence fond			30 200		600		30 800
27/09/2004	Référence surface	600	2 500	114 700		3 500	100	121 400

CLCLIE = Ciliées **CLCRYPT** = Cryptophycées
CLDIATO = Diatomées **CLDICTY** = Dycytochophycées
CLDINOP = Dinophycées **CLEUGLE** = Euglenophycées

Tableau 4.7. Nombre d'espèces communes aux différents points lors des campagnes pélagiques du 2 juin et du 27 septembre 2004

	Canal d'amenée	Canal de rejet	Contrôle	Référence
Canal d'amenée		20	20	20
Canal de rejet	5		21	11
Contrôle	4	6		24
Référence	5	4	5	

Campagne du 27 septembre 2004

Campagne du 2 juin 2004



5. DINOFLAGELLÉS NOCTILUQUES ET ZOOPLANCTON

Auteurs : Woehrling D. & Lefebvre A.

Collaborateurs : Le Grand J. & D'Elbée J.





5.1. MÉTHODOLOGIE

5.1.1. Stratégie de prélèvements du zooplancton

En 2004, les deux campagnes annuelles, destinées au suivi de l'impact du rejet de la centrale par la comparaison des prélèvements selon un axe côte-large, ont été réalisées le 2 juin pour la mission printanière et le 27 septembre pour la mission automnale.

Les variations saisonnières dans le milieu naturel (non soumis à l'impact) sont estimées par la surveillance au point *canal d'aménée*. Les prélèvements de zooplancton y sont réalisés selon une périodicité mensuelle. Les résultats obtenus peuvent être comparés aux données de concentration de chlorophylle *a* et de température mesurées au même point selon une fréquence hebdomadaire.

Cette surveillance permet aussi de suivre l'évolution du plancton, en relation avec les conditions météorologiques. On détecte ainsi l'arrivée à date variable des blooms de *Phaeocystis*, de noctiluques ou de *Pleurobrachia*. Ces organismes sont susceptibles de provoquer des colmatages au moment du maximum d'abondance avec des conséquences différentes selon l'espèce. Lors des maxima de *Phaeocystis* (de fin mars à mai selon les années) ou des noctiluques, il y a simplement risque de colmatage des engins de prélèvements (filets à plancton WP2 de vide de maille de 200 µm en particulier) avec comme conséquence une mauvaise évaluation des abondances et des biomasses du fait du refoulement et de l'évitement à l'entrée du filet. L'estimation de la biomasse totale (poids sec) et de la composition en carbone et azote est ainsi biaisée lorsque les *Phaeocystis* constituent une part importante du prélèvement. En revanche, au moment de la prolifération des cténaïres *Pleurobrachia* ou *Beroe* au printemps, il y a risque de colmatage des grilles des tambours de filtration à l'entrée du circuit de refroidissement des condenseurs en raison de la taille des individus.

5.1.2. Prélèvements et analyses du zooplancton

Les prélèvements sont réalisés à l'aide de filets WP2 en configuration standard (vide de maille 200 µm – Anonyme, 1968). Le prélèvement est en principe vertical mais parfois oblique en raison du courant à l'entrée du canal d'aménée. Dans tous les cas un débit-mètre TSK situé à l'entrée du filet permet de calculer le volume d'eau ayant traversé le filet pendant la pêche. Ce calcul se fait à partir de la durée du trait et du nombre de tours du débit-mètre qui s'en déduit sur la base du certificat d'étalonnage.

Les échantillons destinés à la mesure de la biomasse sont filtrés immédiatement à bord sur des soies pré-pesées, congelées et transportées congelées au laboratoire. Ces échantillons seront ensuite séchés dans une étuve à 60 °C pendant 48 heures. Les soies comportant le plancton séché seront ensuite pesées et les poids secs ou biomasses de zooplancton déduits. Le poids sec récolté et le volume filtré permettront d'évaluer le poids sec (mg) par unité de volume (le m³) (Tabl. 5.1.).

Chaque échantillon de poids sec est broyé pour homogénéisation, la poudre est analysée au *CHN LECO* pour les dosages de carbone et d'azote. L'expression des résultats est obtenue en % de carbone et d'azote (Tabl. 5.1.).

Les échantillons destinés à l'identification du zooplancton sont formolés à bord (solution commerciale à 8 %), puis triés et les taxons dénombrés à la loupe binoculaire. Les résultats sont exprimés en nombre d'individus par unité de volume (10 m³) (Tabl. 5.2 à 5.4).



5.2. RÉSULTATS

5.2.1. Surveillance du point *canal d'aménée*

Biomasses (Poids secs) - Carbone et Azote (Poids et %) (Fig. 5.1., 5.2. et Tabl. 5.1.)

La biomasse zooplanctonique totale se situe dans une gamme de valeurs 'classiques' pour le site. L'évolution du poids sec présente 3 pics d'amplitudes et de durées différentes. La première augmentation du poids sec est observé en janvier 2004 ($153,4 \text{ mg/m}^3$), la seconde s'étale dans le temps (fin avril-début juin) avec des poids secs supérieurs à 220 mg/m^3 et la troisième plus brève est observée début août 2004 ($230,8 \text{ mg/m}^3$). Ces périodes d'augmentation de la biomasse zooplanctonique encadrent les périodes de production phytoplanctonique (Fig. 5.1.). Les plus fortes biomasses sont observées lors du bloom printanier de diatomées et de *Phaeocystis* et après le bloom estivale de diatomées principalement lié à la présence de *Leptocylindrus danicus* (juin) (chapitre 4). Il faut noter que comme les années précédentes les chiffres élevés de biomasse reflètent également la présence de phytoplancton et de particules non vivantes (seston). Il semblerait donc que l'étalement de ce qui est considéré ici comme la biomasse zooplanctonique observée entre avril et juin ne soit pas du seul fait de la présence du zooplancton.

Le rapport C/N fluctue entre 4 et 6. Ce rapport peut habituellement caractériser un compartiment (zooplancton ou phytoplancton, par exemple) ou un genre (*Phaeocystis sp.*, Quisthoudt, 1988) mais en raison de sa 'contamination' liée à la forte turbidité du site, une telle approche semble difficile pour les points de surveillance mis en œuvre dans cette étude.

Les poids de carbone et d'azote n'augmentent significativement qu'au mois de mars. Il chute en juin-juillet puis augmente légèrement en août. Ces paramètres sont très liés aux variations de biomasse du zooplancton.

Les taxons (Fig. 5.3. à Fig. 5.9. et Tabl. 5.2. à 5.4.)

Contrairement à 2003, les noctiluques *Noctiluca scintillans* (dinoflagellés) n'apparaissent qu'en mai (Fig. 5.3.) les valeurs sont également plus variables qu'en 2003 mais les pics de juin-juillet sont plus élevés d'un facteur 10, atteignant plus d'un million d'individus par 10 m^3 . Depuis quelques années, les noctiluques sont présentes pendant une période plus longue du cycle annuel avec des valeurs élevées dès le printemps et sont parfois présentes sur le site en quantité faible en période hivernale. Cette tendance ne se confirme pas en 2004 mais l'espèce reste néanmoins présente pendant toute la période estivale alors qu'au cours des premières années d'étude les noctiluques avaient toujours montré un maximum d'abondance au cours d'une période restreinte concentrée sur le mois de juillet. Le pic de présence était signalé au cours de certaines années par une eau rouge lorsque les quantités dépassaient 10^9 individus par m^3 . Il est tentant de penser que la tendance à l'élargissement du pic d'abondance estival des noctiluques est en relation avec la température de l'eau plus favorable en moyenne pendant une période plus longue de l'année. 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 (Belgrano *et al.*, 1990). Comme en 2003, les noctiluques présentent un gradient d'abondance globalement décroissant vers le large lors de la campagne de juin (les effectifs lors de la campagne de septembre étaient nuls).

Les individus holoplanctoniques sont principalement représentés par les crustacés copépodes, les appendiculaires, les cténaïres et les chaetognathes. Un intérêt particulier est



également accordé à deux groupes de crustacés à forte biomasse individuelle : les amphipodes (gammariens) et les mysidacés (essentiellement la mysidacée euryhaline *Mesopodopsis slabberi*).

Parmi les cnidaires, on note essentiellement la présence de méduses des genre *Sarsia* et *Obelia*, l'espèce de type atlantico-méditerranéen *Eucheilota maculata* surtout remarquée lors du printemps-été 2003 où elle avait été près de 10 fois plus abondante.

Les cténares (l'espèce *Pleurobrachia pileus* et le genre *Beroe*) présentent globalement des abondances comparables à celles de 2003, quoique légèrement plus importantes (d'un facteur 2 environ) en 2004, à la fois en ce qui concerne les prélèvements réalisés au filet de 200 µm de maillage que ceux réalisés au filet de 500 µm qui récolte surtout les individus adultes. Par ailleurs, on trouve encore nombre d'individus des deux groupes en automne 2003, ce qui n'était pas le cas l'année précédente (Fig. 5.4.).

Les larves de l'annélide de sable *Lanice conchilega* (Fig. 5.5.) sont présentes une grande partie de l'année sur le site. Les abondances sont en général plus élevées qu'en 2003 ; en 2004, elles se maintiennent ainsi entre 10 et 100 par 10 m³ en automne-hiver (alors qu'elles avaient pratiquement disparu entre décembre 2002 et février 2003) et remontent, après un minimum en janvier, à des densités de près de 1000 par 10 m³ en été. Les larves de spionidés représentent une fraction non négligeable du total des larves d'annélides, surtout au printemps et en été.

Les larves de mollusques gastéropodes et bivalves sont également présentes tout au long de l'année, avec une prédominance du printemps à l'automne et un maximum au début de l'été (près de 1000 larves par 10 m³).

Parmi les crustacés, les mysidacés sont holoplanctoniques et présentent un cycle de vie de type benthoplanctoniques. Leurs embryons sont incubés dans le marsupium de la femelle. L'espèce *Mesopodopsis slabberi* bien décrite dans les estuaires (Seine, Rivière de Morlaix, Gironde) (Le Fèvre-Lehoërff, 1972), euryhaline, est présente dans le canal de prise en faible quantité, de 2 à 25 individus par 10 m³; et également en dehors de la tache thermique.

Dans le groupe des cladocères, aux côtés des genres *Podon* et *Evadne*, estivales, on avait remarqué en 2003 l'abondance de l'espèce thermophile *Penilia avirostris* dont les densités atteignent encore en octobre 2003 plus de 1000 individus par 10 m³.

Deux maxima sont notés pour les cirripèdes chaque année : en février, les larves correspondent à la ponte de l'espèce à reproduction hivernale *Semibalanus balanoides* tandis que le maximum d'automne correspond au genre *Elminius*. Pour la première, on note de 2000 à 2003 inclus des densités respectivement de 3500, 4200, 5500 et 3500 nauplii par 10 m³ pour la même période (autour du 20 février), ce qui témoigne d'une bonne reproductibilité des cycles de reproduction malgré les aléas météorologiques. Bien que ces larves *nauplius* ne soient pas identifiées à l'espèce, nous pouvons les attribuer à l'espèce *Semibalanus balanoides* dont le cycle de ponte correspond à cette période. En 2004, les densités sont légèrement plus faibles pour cette espèce, mais on retrouve la succession des stades, avec des abondances de près de 400 nauplii par 10 m³ en février, lesquelles restent élevées tout au long du printemps (elles avoisinent les 1000 en avril et mai, puis à nouveau en été) et des densités de larves *Cypris* d'abord faibles (en février mais qui s'élèvent rapidement pour avoisiner celles des nauplii au printemps) (fig. 5.6.).

Les copépodes présentent une longue période de présence avec des abondances élevées et une succession caractéristique des espèces au cours du cycle biologique. Les espèces *Pseudocalanus minutus* et *Temora longicornis* sont dominantes en saison froide printanière tandis que les espèces *Acartia clausi*, *Centropages hamatus* et *Euterpina acutifrons* se développent plutôt en été (Fig. 5.8.) qui est également la période de reproduction, avec une forte production de nauplii. Comparées à 2003, les abondances en 2004 sont moins fortes,

globalement pour *Temora*, simplement au moment du maximum pour *Acartia* ; Pour l'espèce, *Centropages hamatus*, le cycle est inchangé.

L'espèce *Euterpina acutifrons* (espèce méditerranéenne à préférence thermique chaude) présente comme les années passées une dominance de l'été à l'automne (Fig. 5.8.). La diversité des espèces est maximale en automne. En 2004, les abondances sont comparables à celles de 2003.

Divers copépodes parasites ont été identifiés depuis quelques années et une attention particulière y est apportée en raison de la proximité d'une ferme aquacole. 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 avoir comme hôte les poissons ; la présence de la ferme aquacole peut justifier d'une surveillance accrue afin de connaître le lien éventuel entre l'augmentation de l'abondance des juvéniles de copépodes à l'automne et une phase du cycle vital de l'adulte dans les installations aquacoles. Les copépodes parasites montrent habituellement une abondance et une diversité maximales au mois d'août. En 2004, aucune forme juvénile ou adulte de copépode parasite (essentiellement les harpacticoïdes parasites et le genre *Lerneocera*) n'a été trouvée dans le zooplancton de Gravelines.

Parmi les espèces holoplanctoniques, d'autres phytophages sont dépendants des fluctuations du phytoplancton et de la température de l'eau. Par exemple les appendiculaires de l'espèce *Oikopleura dioica*, sont favorisés par des peuplements phytoplanctoniques abondants et des températures élevées (l'influence de chacun des facteurs étant difficile à discerner) et l'abondance maximale se produit en général soit au printemps soit en été. En 2004, contrairement à l'année dernière, la production est moins bien répartie sur l'année et l'appendiculaire est surtout présent à partir d'avril avec un maximum en mai et juin, plus important et précoce qu'en 2003 (Fig. 5.4). Remarquons que les fortes températures estivales de 2003 et la production primaire maintenue à un bon niveau de mars à octobre (Fig. 5.1.) étaient des facteurs favorables à ces appendiculaires.

Les chætonathes du genre *Sagitta* (Fig. 5.4.), carnivores, se nourrissent principalement aux dépens des stocks de copépodes. Leurs populations se développent ainsi surtout du printemps à l'automne. Le cycle 2004 est caractérisé par des densités beaucoup plus faibles qu'en 2003, année précoce et aux effectifs abondants certainement en rapport avec l'été très chaud qui a favorisé les espèces thermophiles carnivores comme *Sagitta setosa*.

Les larves d'ophiures (ophiopluteus) se montrent plus abondantes qu'en 2003 (près de 1000 individus par 10 m³ en mai et juillet au point canal d'amenée) (Fig. 5.6.).

En 2004, les larves de brachyours sont présentes dès le mois de mars et atteignent un maximum de près de 250 individus par 10 m³ en mai pour les stades *zoe* et 100 individus par 10 m³ pour les stades *mégalo*.

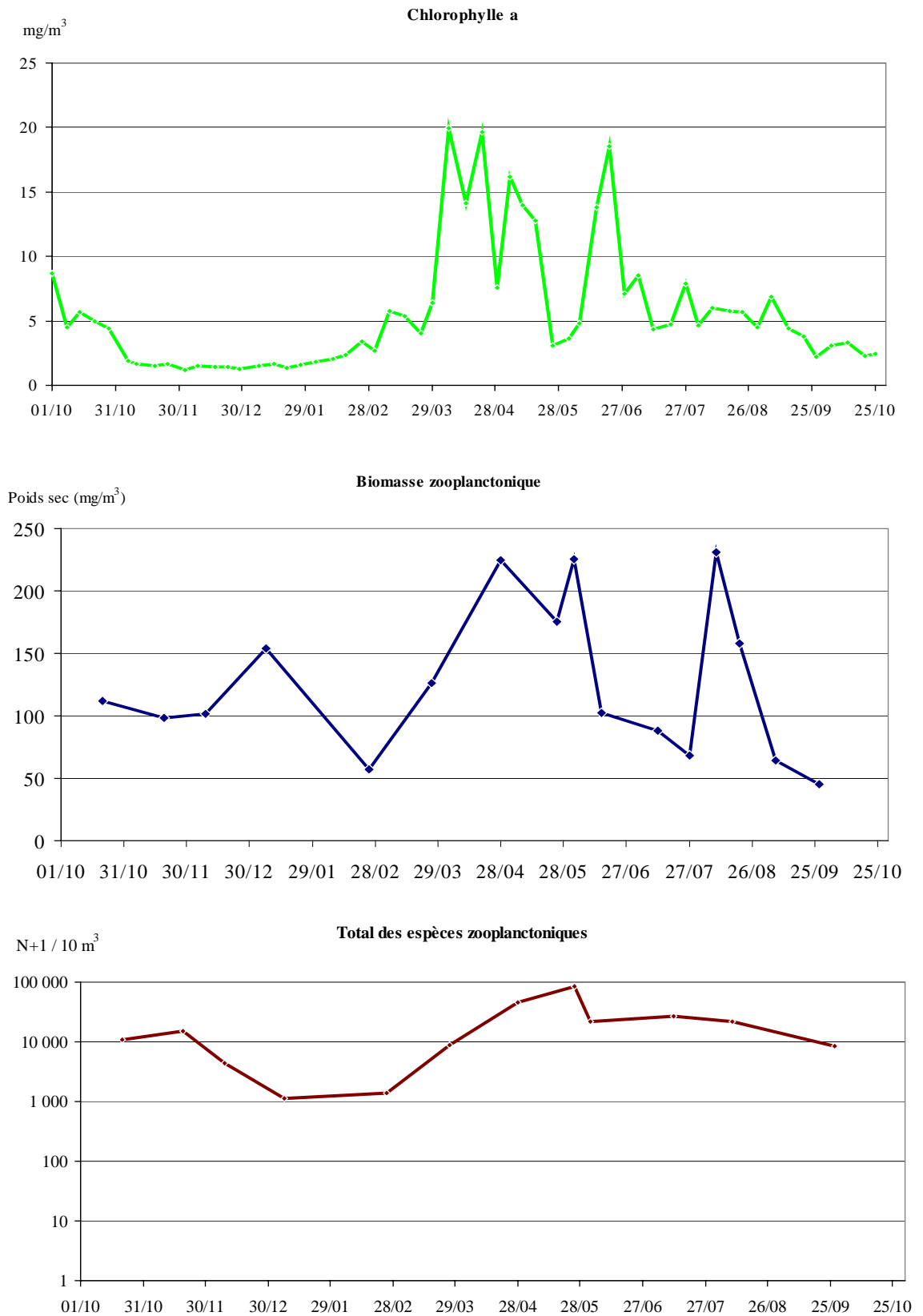


Figure 5.1. Variations saisonnières de la concentration en chlorophylle a, de la biomasse zooplanctonique et de l'abondance zooplanctonique totale au point canal d'amenée



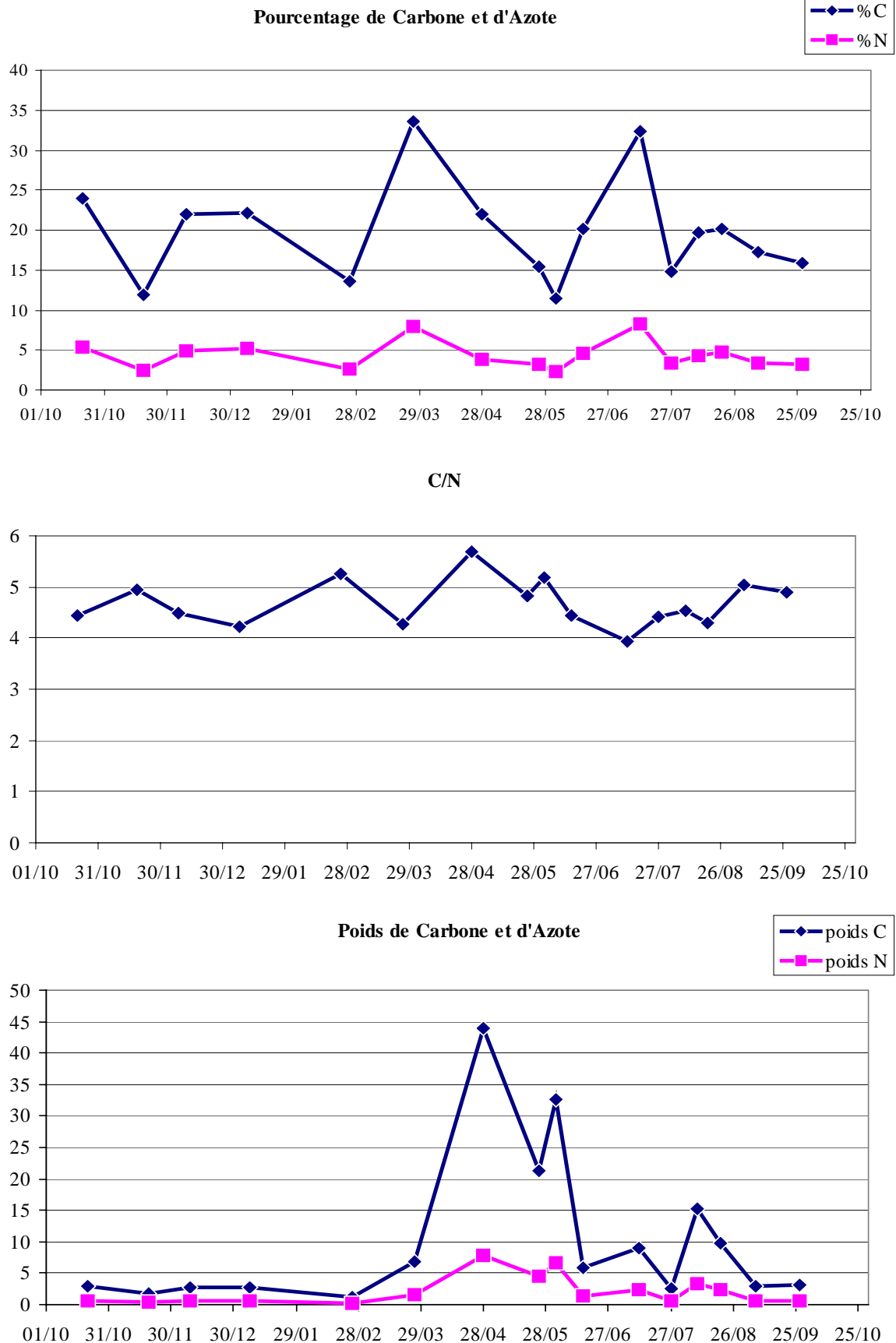


Figure. 5.2. Variations saisonnières des teneurs en Carbone et en Azote, du rapport C/N et du poids de Carbone et d'Azote du zooplancton au point canal d'amenée

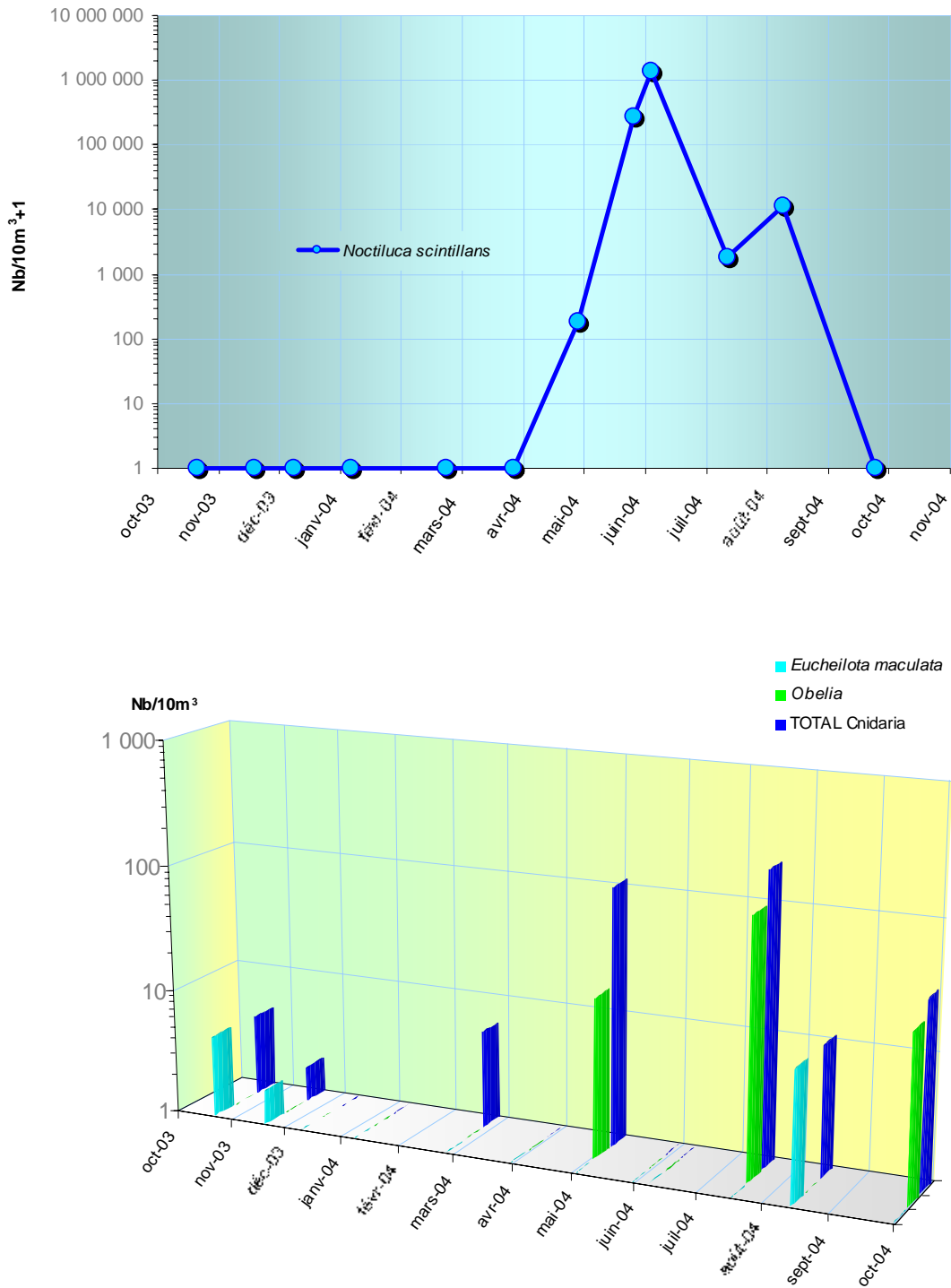


Figure 5.3. Variations saisonnières des principaux groupes zooplanctoniques au canal d'amenée (point 325) : noctiluques et cnidaires

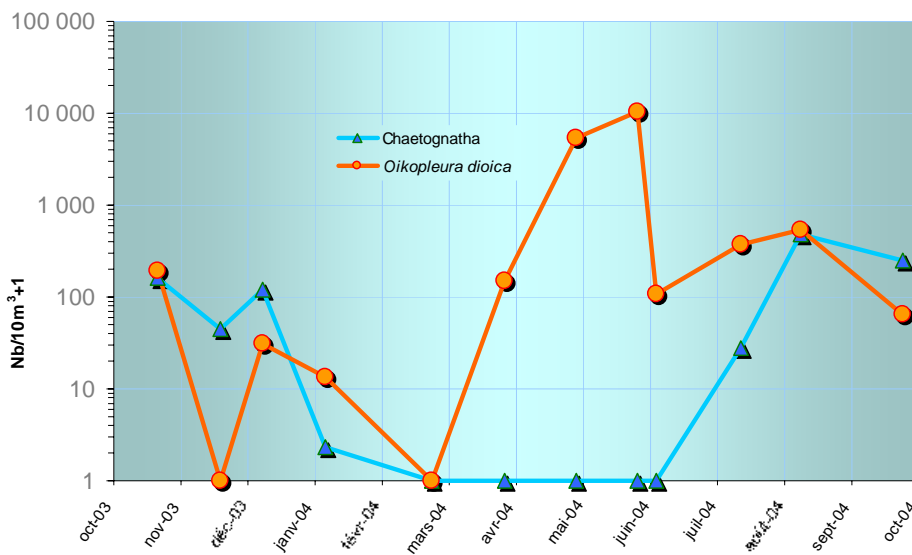
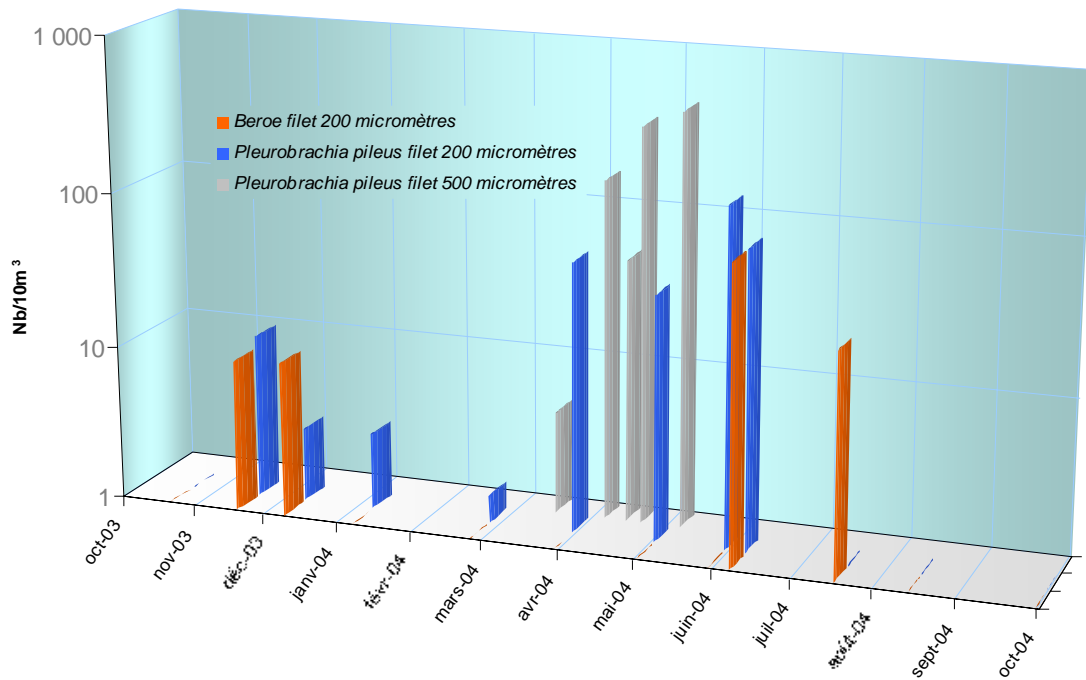


Figure 5.4. Variations saisonnières des principaux groupes zooplanctoniques au canal d'aménée (point 325) : cténaïres, chaetognathes et prochordés

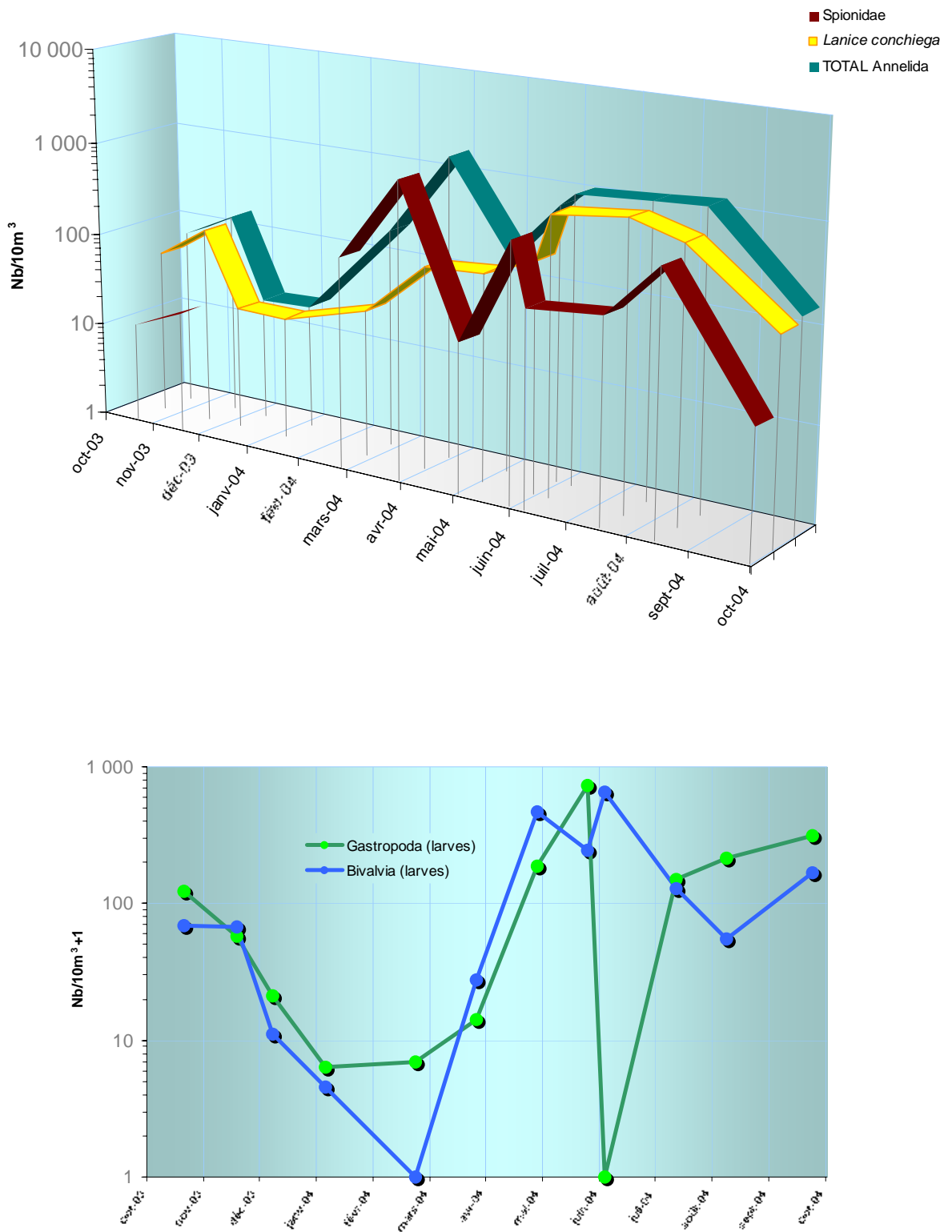


Figure 5.5. Variations saisonnières des principaux groupes zooplanctoniques au canal d'aménée (point 325) : annélides et mollusques

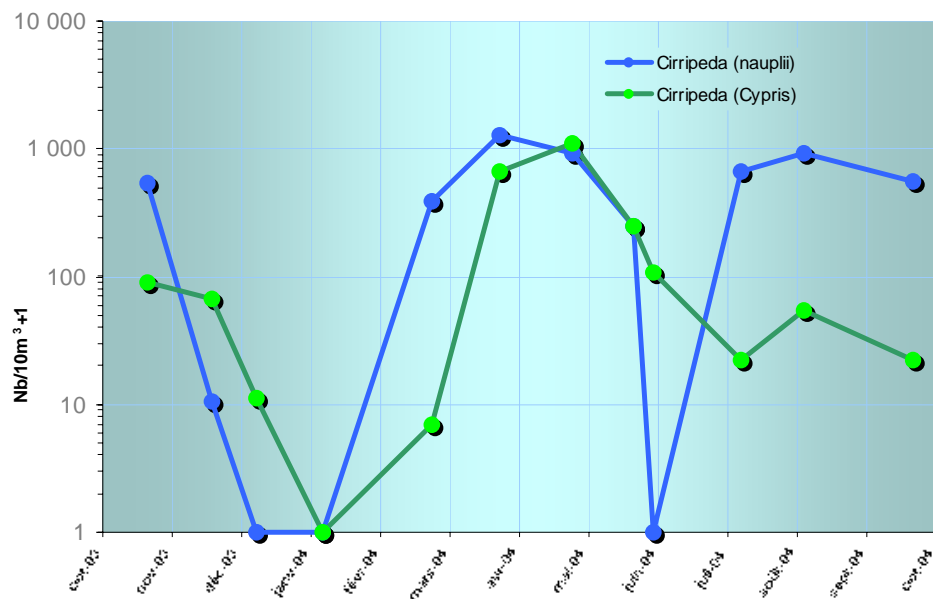
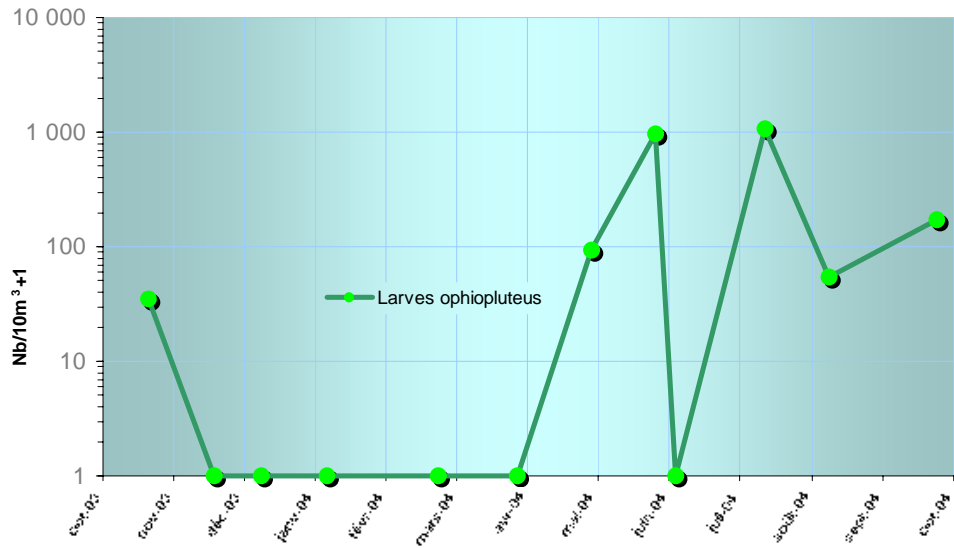


Figure 5.6. Variations saisonnières des principaux groupes zooplanctoniques au canal d'amenée (point 325) : échinodermes et crustacés cirripèdes

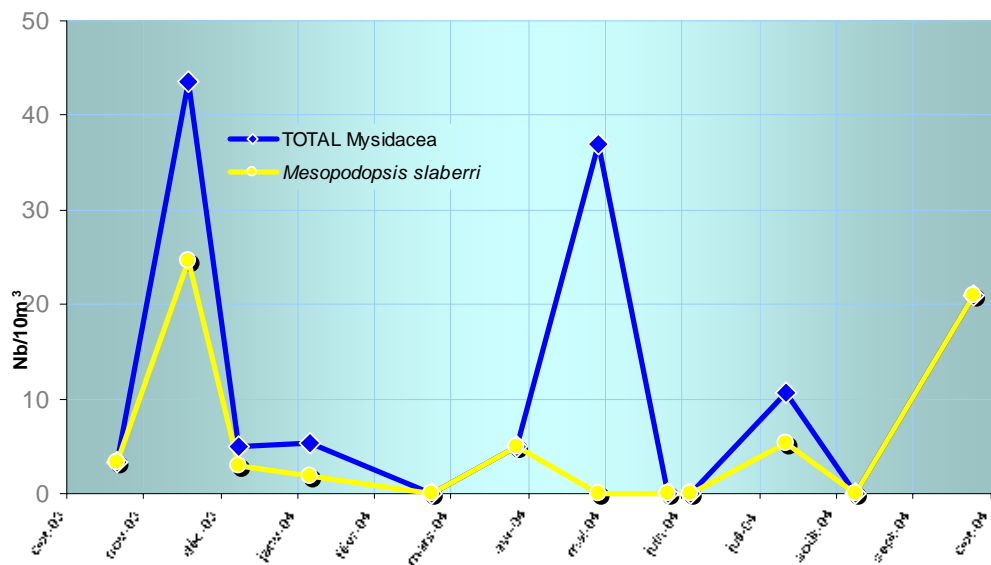
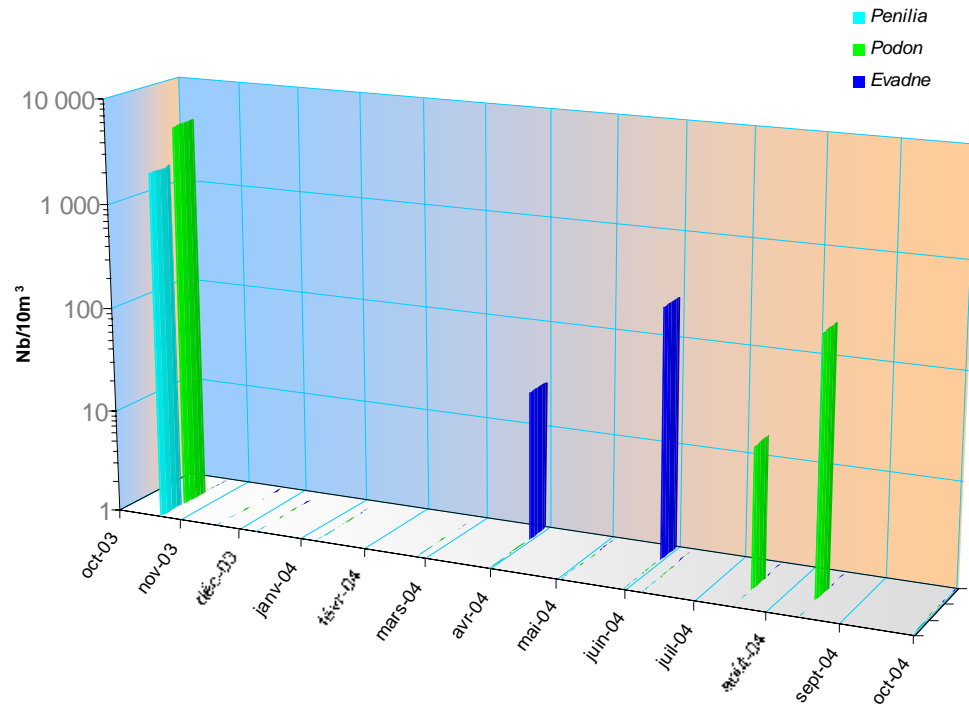


Figure 5.7. Variations saisonnières des principaux groupes zooplanctoniques au canal d'amenée (point 325) : crustacés, cladocères et mysidacées

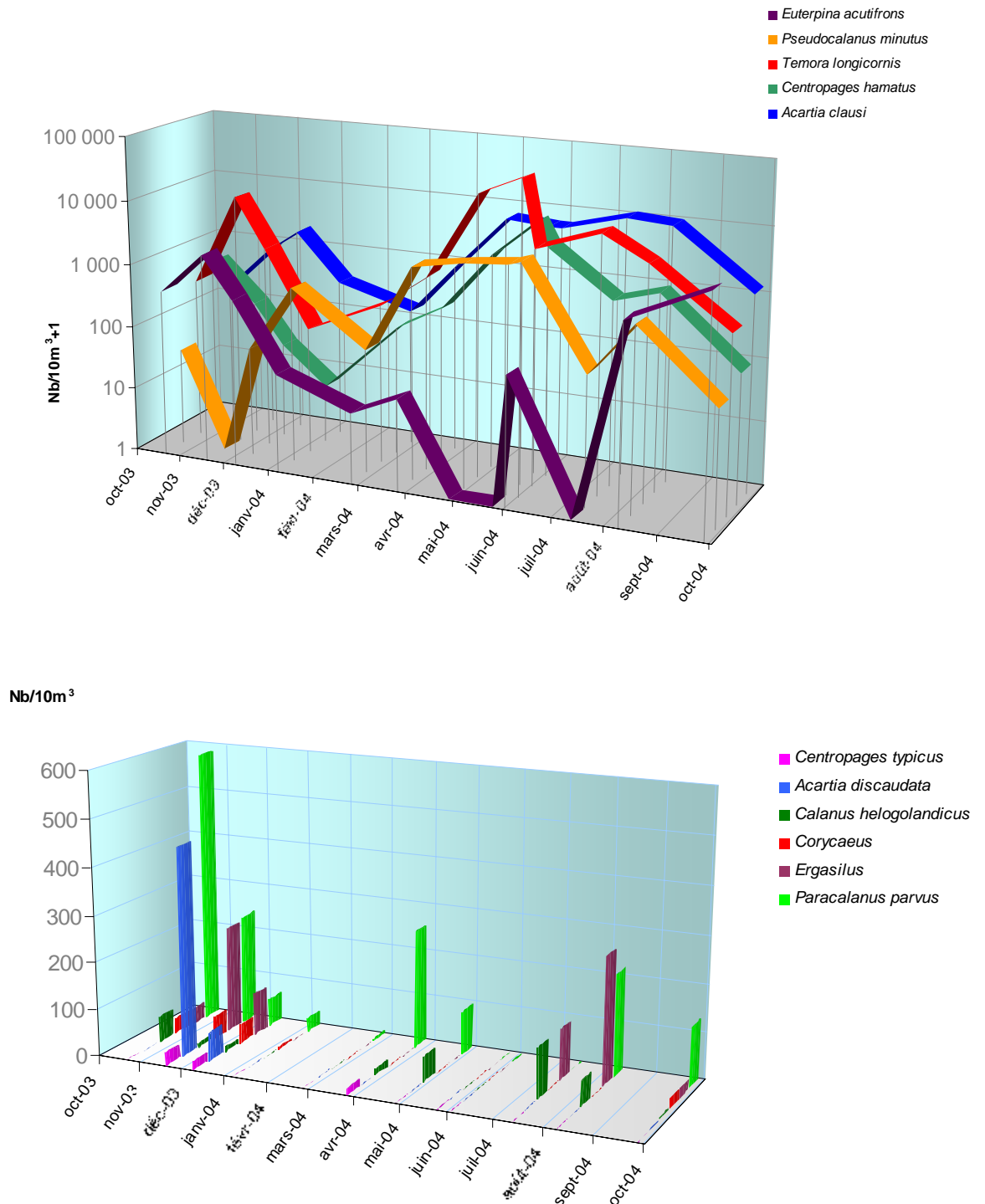


Figure 5.8. Variations saisonnières des principaux groupes zooplanctoniques au canal d'aménée (point 325) : crustacés copépodes

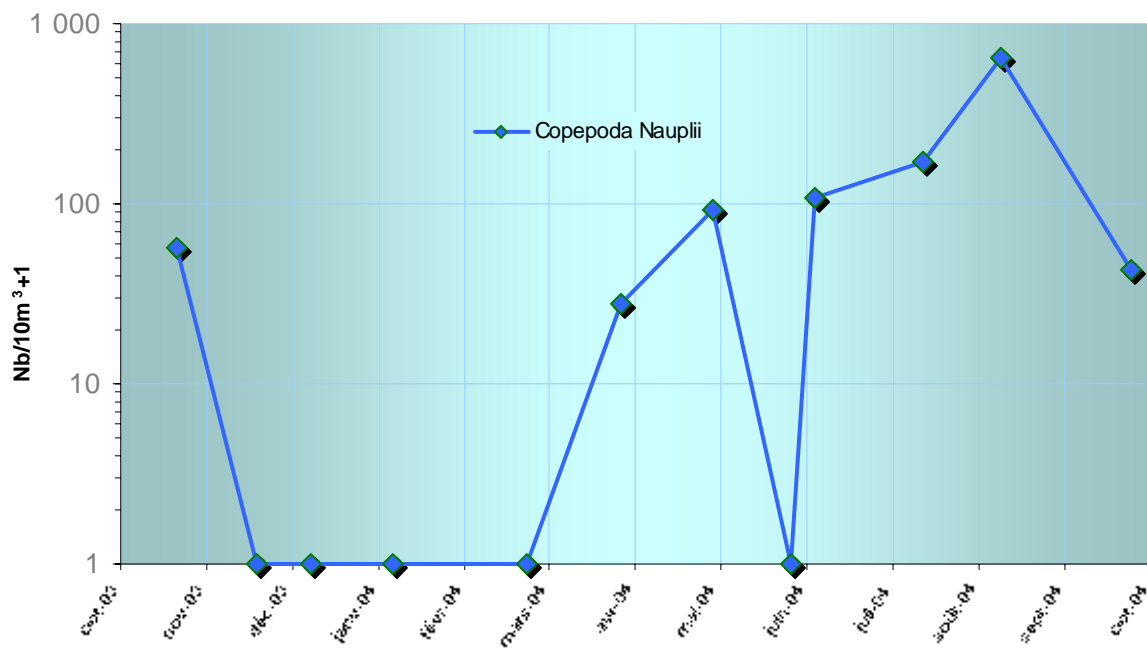


Figure 5.9. Variations saisonnières des principaux groupes zooplanctoniques au canal d'amenée (point 325) : larves nauplius de crustacés copépodes

5.2.2. Impact de la centrale sur le milieu récepteur

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 2004, les deux missions ont été effectuées le 2 juin et le 27 septembre.

Biomasse de carbone et d'azote

Les valeurs observées et leur évolution entre les différents points de surveillance sont conformes à ce qui a été observé lors des périodes de surveillance précédentes (Fig. 5.10.). La seule exception réside dans la forte biomasse zooplanctonique mesurée au point *canal de rejet* lors de la campagne de septembre. Ceci pourrait être lié à la forte abondance de *Beroe* (1000 par 10 m³ au point *canal de rejet* contre 252 par 10 m³ au point *canal d'amenée*).

On remarque comme pour les années précédentes que les paramètres 'poids sec', 'poids de carbone' et 'poids d'azote' ne sont pas pertinents, les remarques faites sur les résultats au point *canal d'amenée* concernant la difficulté d'interpréter des poids secs globaux dans les zones côtières très turbides sont valables pour la comparaison des points. L'information révélée par les comptages d'espèces est plus pertinente.

Impact du fonctionnement de la centrale sur les espèces (Fig. 5.11. à 5.18.)

Globalement, le déficit total de l'abondance du zooplancton est de 56 % en juin et de 74 % en septembre entre le point *canal d'amenée* et le point *canal de rejet* (Tabl. 5.3.). Il est de 96 % pour les noctiluques en juin (Fig. 5.11.). D'une manière générale, le déficit touche essentiellement les copépodes, les bivalves et les gastéropodes (uniquement en septembre). Certaines espèces ou genres zooplanctoniques présentent des abondances supérieures au point *canal de rejet* par rapport au point *canal d'amenée*. Ce sont certaines annélides, les *Beroe* (en septembre), les amphipodes, *Pseudocalanus minutus* (en septembre), les Porcellanidae (en septembre) et les larves d'anomoures (en septembre).

En juin, le nombre d'espèces ou de genres déterminés aux points *canal d'amenée*, *canal de rejet*, *contrôle* et *référence* est, respectivement, de 22, 10, 9 et 23. Le nombre d'espèces ou de genres communs aux points *canal d'amenée* et *canal de rejet*, *canal d'amenée* et *référence*, *canal de rejet* et *référence* est, respectivement de 8, 17 et 9.

En septembre, le nombre d'espèces ou de genres déterminés aux points *canal d'amenée*, *canal de rejet*, *contrôle* et *référence* est, respectivement, de 32, 10, 23 et 35. Le nombre d'espèces ou de genres communs aux points *canal d'amenée* et *canal de rejet*, *canal d'amenée* et *référence*, *canal de rejet* et *référence* est, respectivement de 11, 26 et 10.

En conclusion, aucun impact nouveau n'a été décelé quant à la quantité d'individus détruits par l'effet de la centrale au cours des deux missions. Les pourcentages de déficit observés soit au point *canal de rejet* soit au point *contrôle* restent fluctuants et se situent dans la gamme habituelle. Au large, les populations reprennent des valeurs normales. On peut dire que l'impact, s'il existe se maintient dans une zone géographique définie par la tache thermique, ce qui veut dire que l'impact éventuel détermine une zone pauvre très près de la centrale mais ne semble pas être un problème quantitativement sur le stock zooplanctonique du large.

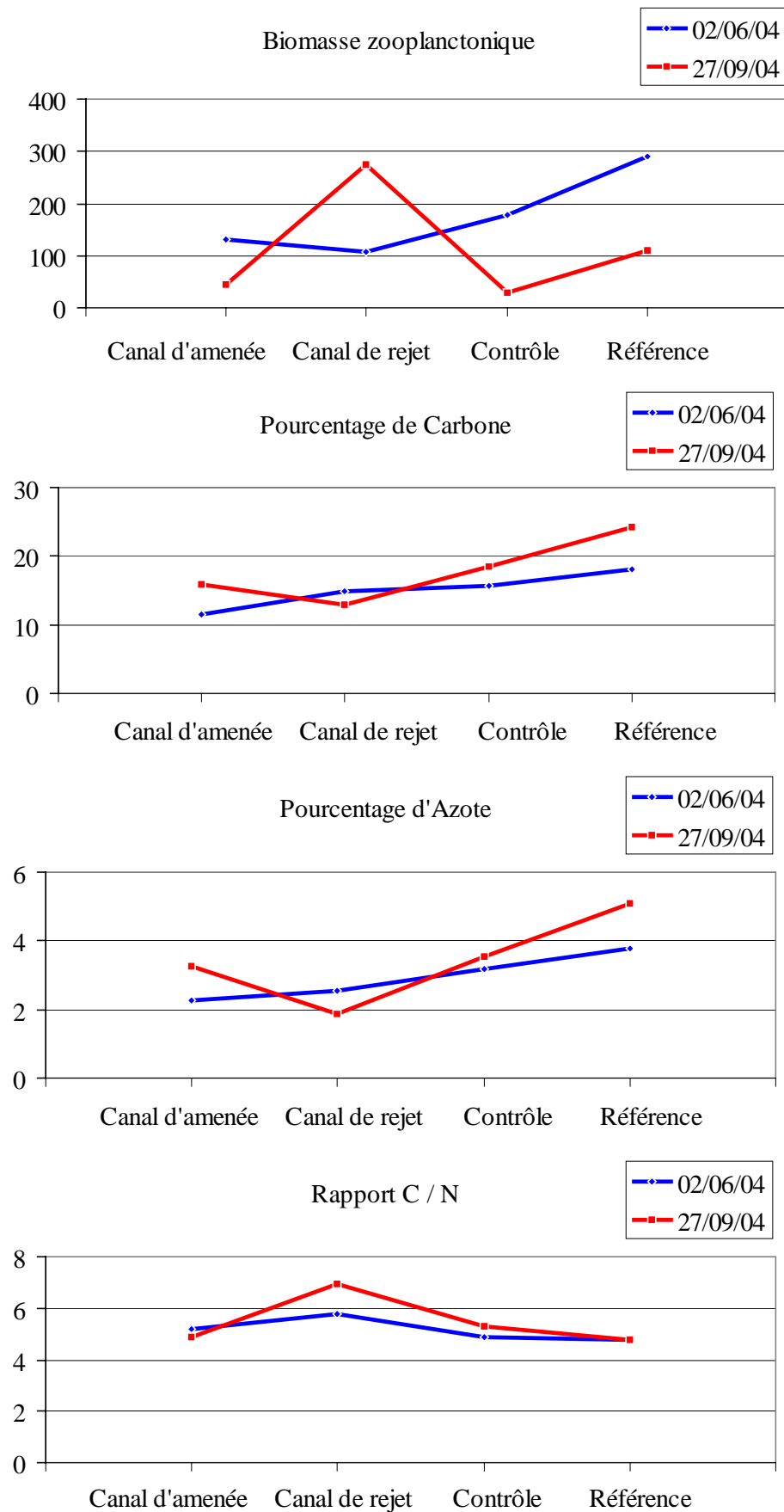
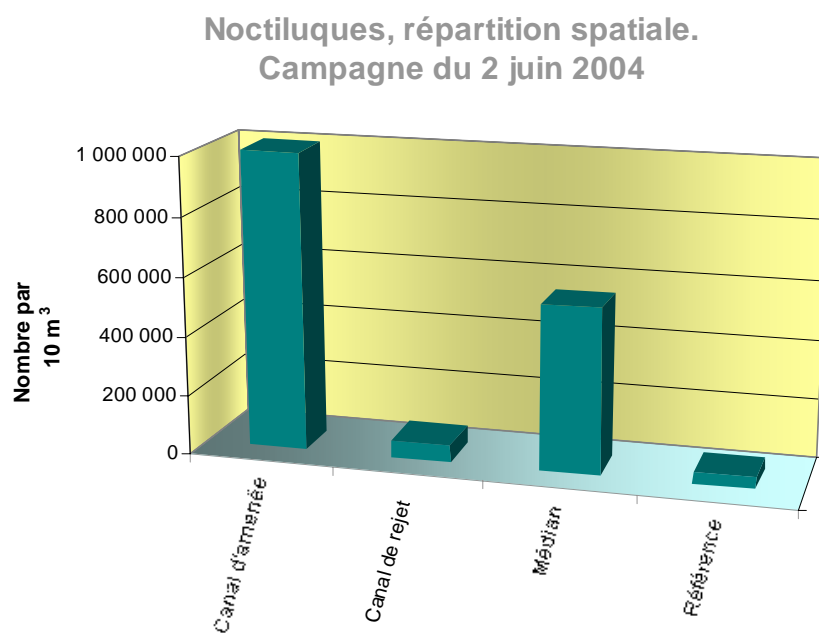
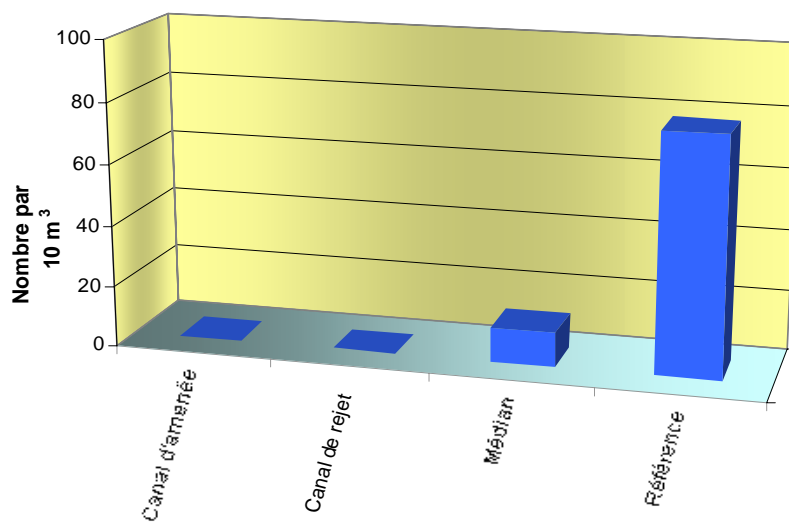


Figure 5.10. Variations spatiales de la biomasse, des teneurs en Carbone et en Azote et du rapport C/N zooplanctonique au cours des campagnes pélagiques

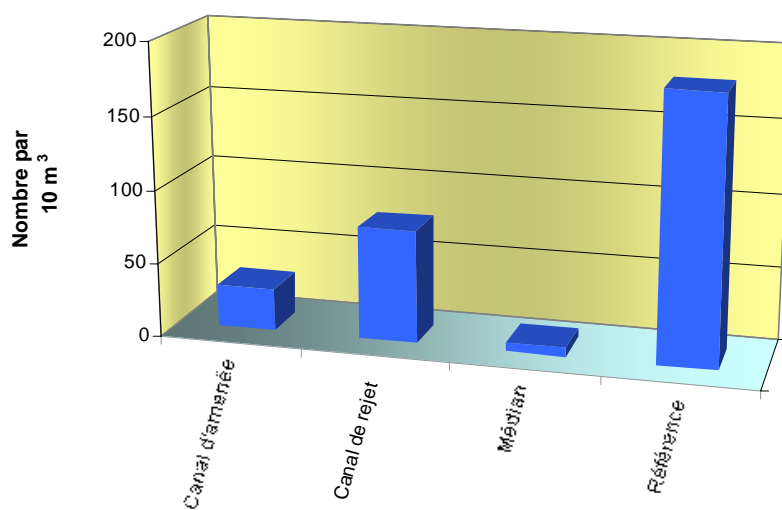


Figures 5.11. Variations spatiales des noctiluques lors des campagnes du 2 juin 2004 (effectifs nuls lors de la campagne du 27 septembre)

Cnidaires (total), répartition spatiale.
Campagne du 2 juin 2004

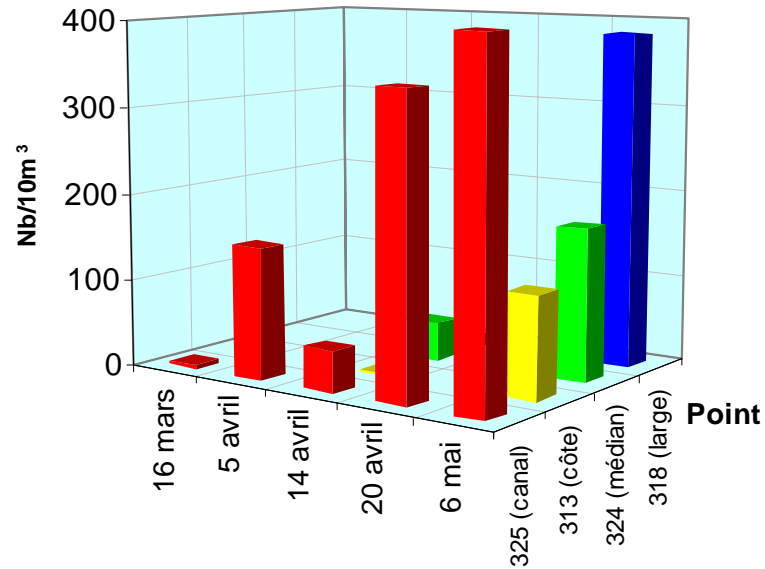


Cnidaires (total), répartition spatiale.
Campagne du 27 septembre 2004

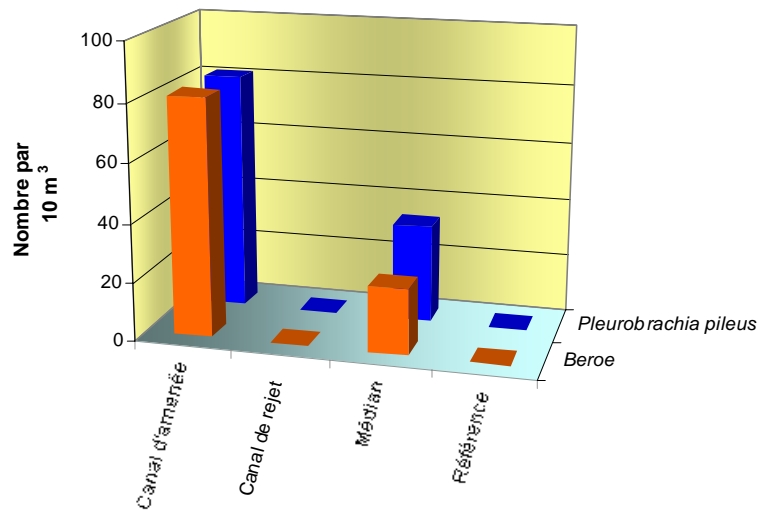


Figures 5.12. Variations spatiales des principaux groupes zooplanctoniques lors des campagnes du 2 juin et du 27 septembre 2004 : cnidaires

Pleurobrachia pileus filet 500 μm

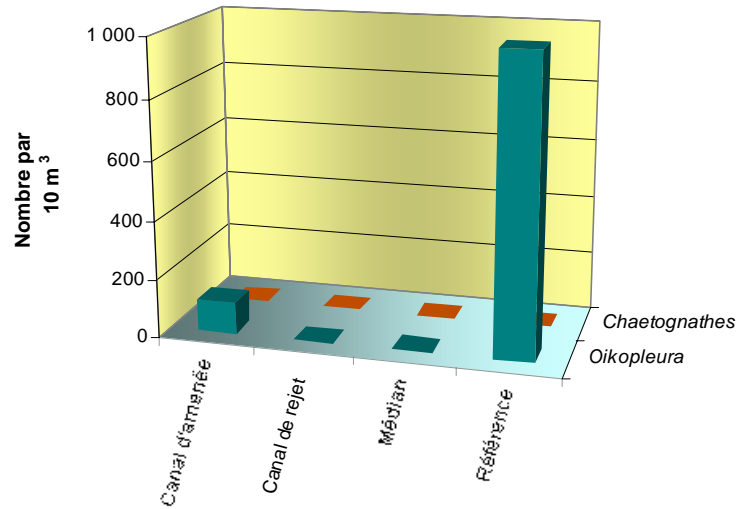


Cténaires, répartition spatiale.
Campagne du 2 juin 2004

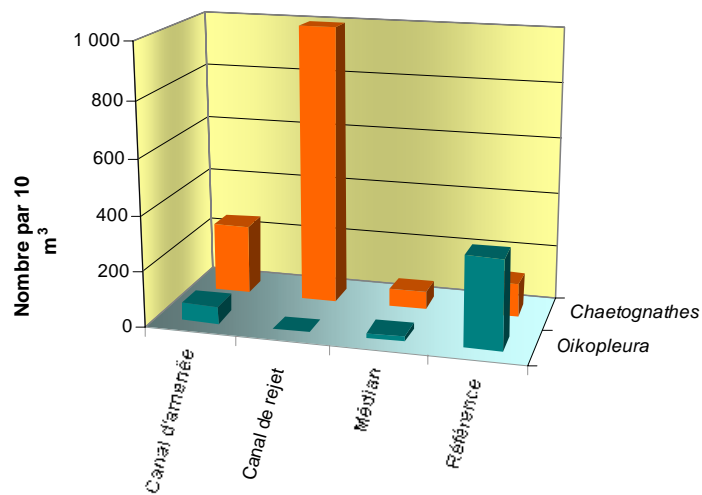


Figures 5.13. Variations spatiales des principaux groupes zooplanctoniques : cténaires échantillonnés au filet de 500 μm du 16 mars au 6 mai et au filet de 200 μm le 2 juin (effectifs nuls lors de la campagne du 27 septembre)

Chaetognathes et appendiculaires, répartition spatiale.
Campagne du 2 juin 2004

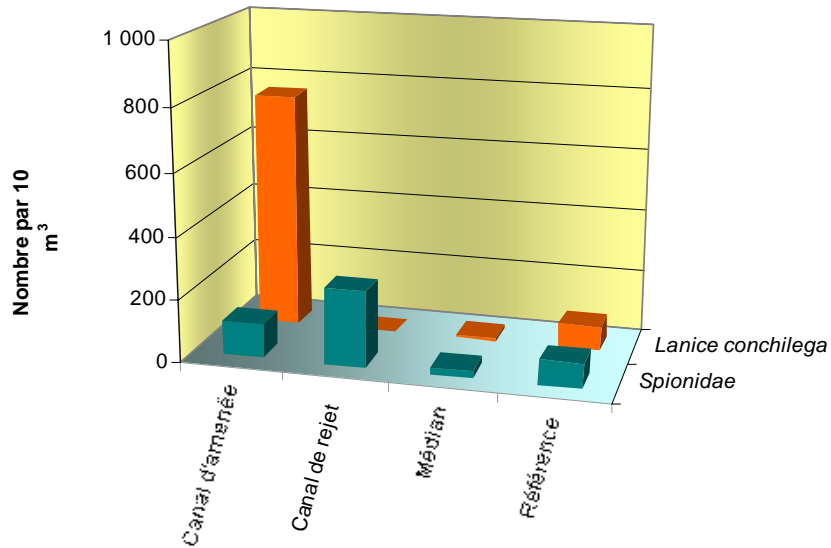


Chaetognathes et appendiculaires, répartition spatiale.
Campagne du 27 septembre 2004

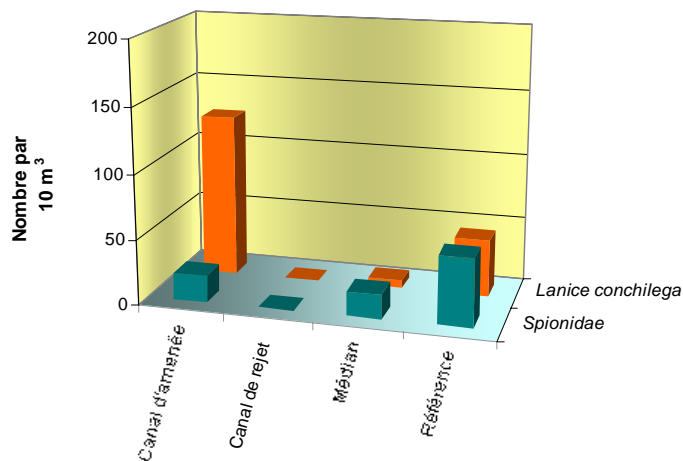


Figures 5.14. Variations spatiales des principaux groupes zooplanctoniques lors des campagnes du 2 juin et du 27 septembre 2004 : chaetognathes et appendiculaires

Larves d'annélides, répartition spatiale.
Campagne du 2 juin 2004

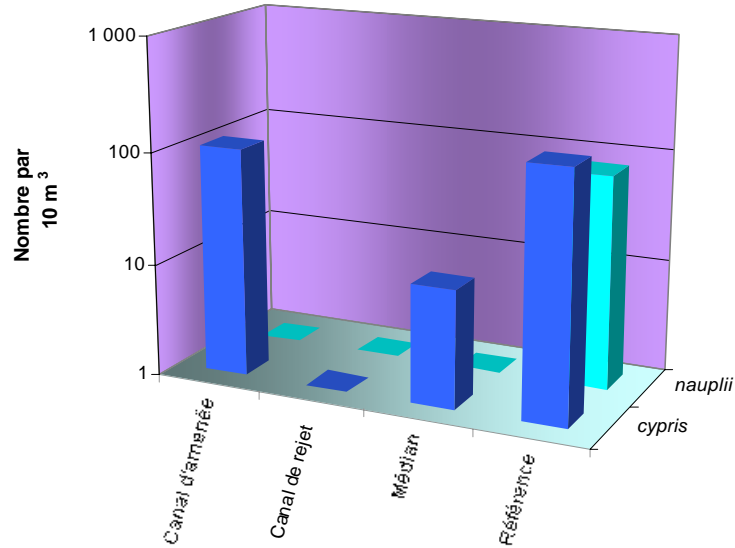


Larves d'annélides, répartition spatiale.
Campagne du 27 septembre 2004

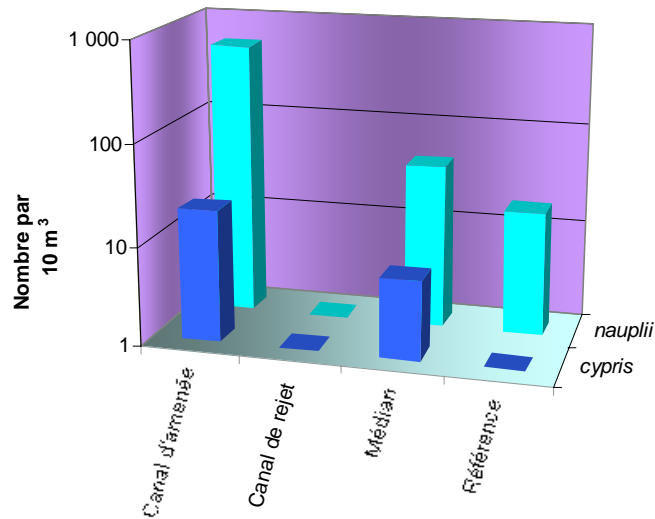


Figures 5.15. Variations spatiales des principaux groupes zooplanctoniques lors des campagnes du 2 juin et du 27 septembre 2004 : larves d'annélides

Larves de cirripèdes, répartition spatiale.
Campagne du 2 juin 2004

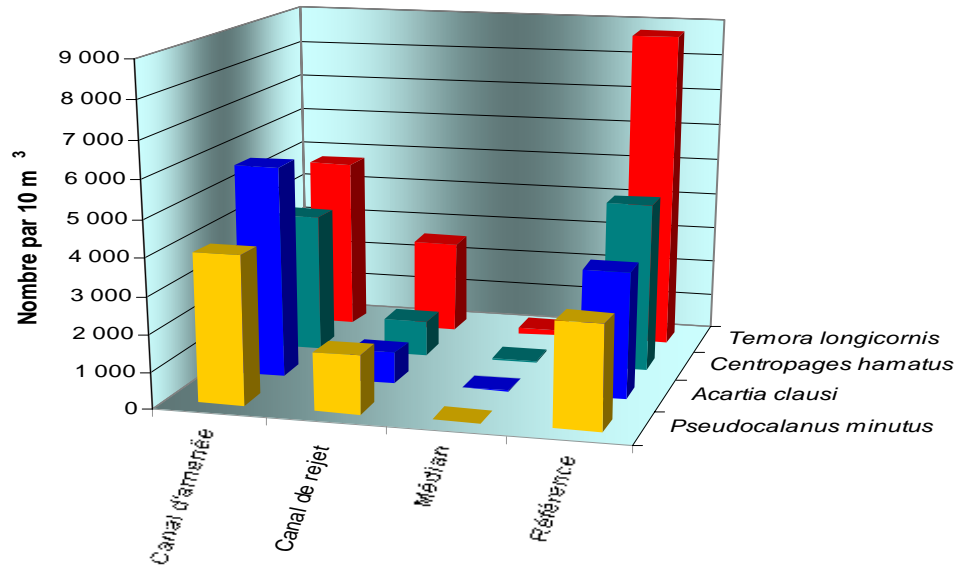


Larves de cirripèdes, répartition spatiale.
Campagne du 27 septembre 2004

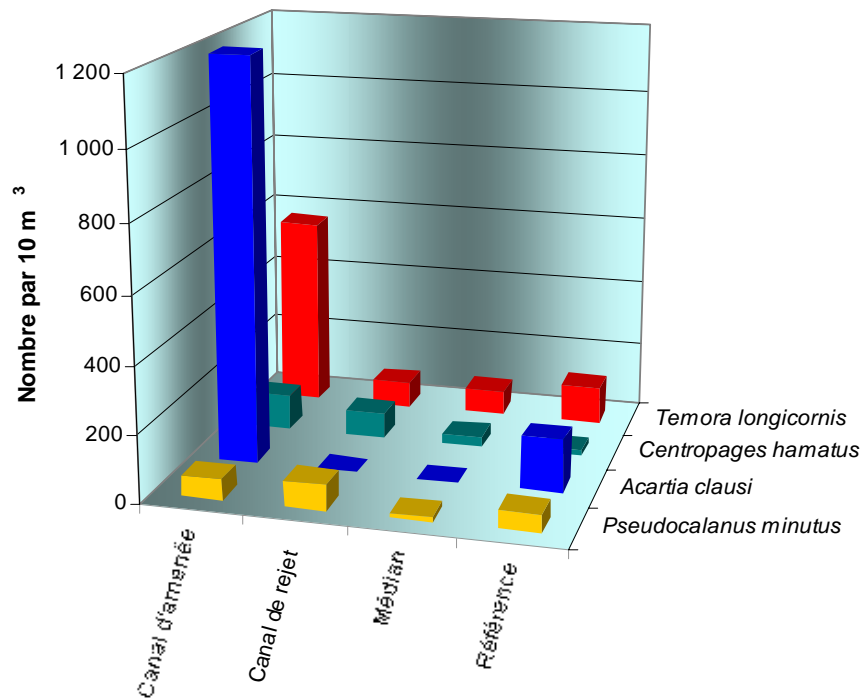


Figures 5.16. Variations spatiales des principaux groupes zooplanctoniques lors des campagnes du 2 juin et du 27 septembre 2004 : larves de crustacés cirripèdes

Principaux copépodes, répartition spatiale.
Campagne du 2 juin 2004

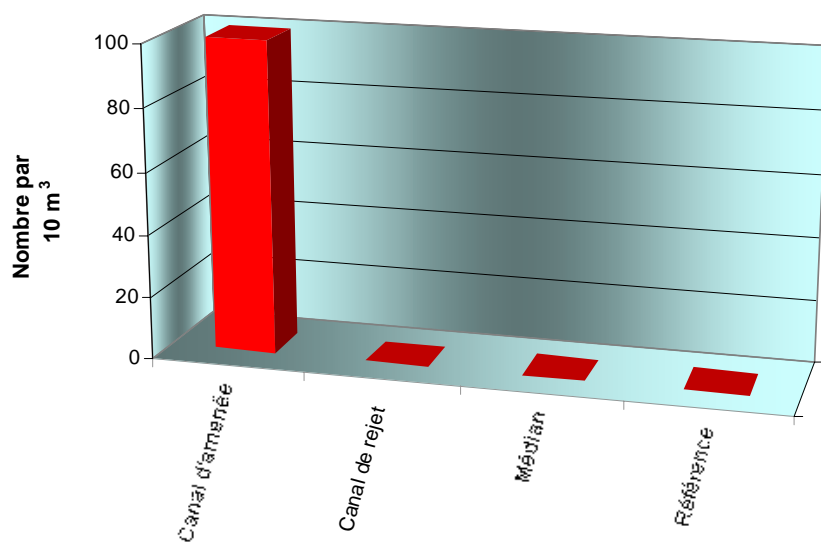


Principaux copépodes, répartition spatiale.
Campagne du 27 septembre 2004

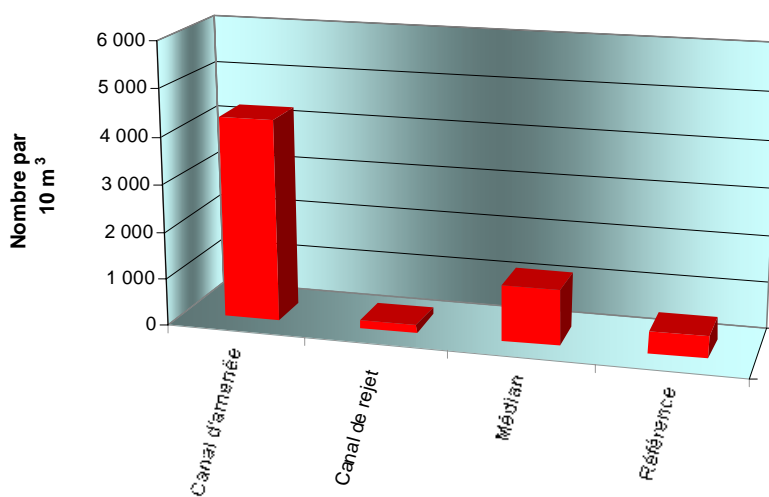


Figures 5.17. Variations spatiales des principaux groupes zooplanctoniques lors des campagnes du 2 juin et du 27 septembre 2004 : crustacés copépodes

Euterpina acutifrons, répartition spatiale.
Campagne du 2 juin 2004



Euterpina acutifrons, répartition spatiale.
Campagne du 27 septembre 2004



Figures 5.18. Variations spatiales des principaux groupes zooplanctoniques lors des campagnes du 2 juin et du 27 septembre 2004 : crustacés copépodes (suite et fin)

5.3. ÉLÉMENTS DE CONCLUSION

Au cours de ce cycle de surveillance, les observations décrites les années précédentes tant sur la succession des espèces au cours des saisons que sur la valeur de l'impact de la centrale sur certains organismes s'accordent avec les conclusions antérieures. Certains points particuliers ne remettant pas en cause les conclusions antérieures peuvent cependant être notés.

La dynamique observée pour les noctiluques ces dernières années n'est pas confirmée en 2004.

Des abondances plus fortes ont été observées pour les noctiluques, les cténaïres (présents également en automne en 2004), *Lanice conchilega* (qui se maintient en automne-hiver), les ophioplutei. Par contre, les abondances de *Temora longicornis*, *Acartia clausi* et *Sagitta sp.* sont plus faibles en 2004.

La production d'*Oikopleura dioica* particulièrement importante en 2003 (effet de la température élevée et d'une production primaire soutenue) revient à un niveau classique.

Les copépodes présentent une longue période de présence avec des abondances élevées et une succession caractéristique des espèces au cours du cycle biologique.

En 2004, aucune forme juvénile ou adulte de copépode parasite (essentiellement les harpacticoides parasites et le genre *Lerneocera*) n'a été trouvée dans le zooplancton de Gravelines.

Les espèces, appartenant au contingent atlantico-méditerranéen, qui avaient été mises en évidence lors de l'année caniculaire 2003 n'ont pas été rencontrées en 2004.

L'impact du fonctionnement de la centrale, s'il est réel, génère un déficit d'abondance zooplanctonique de 56 % en juin et 74 % en septembre entre les points *canal d'amenée* et *canal de rejet*. Il ne concerne cependant qu'une aire géographique très restreinte. Les conditions au large (point *référence*) sont tout à fait caractéristique de l'écosystème de la baie sud de la mer du Nord.

Références

Anonyme, 1968. Zooplankton sampling. Monographs on oceanographic methodology, *Unesco*, 174 p.

Belgrano A., Vincx M., Dewarumez J. M., Richard A., Craeymeersch J. & C. Heip, 1990. Recruitment of meroplanktonic larvae in the Southern Bight of the North Sea. *Oceanis*, 16 (3): 225-243.

Le Fèvre-Lehoërff G., 1972. Populations planctoniques d'un estuaire à marée : la rivière de Morlaix. Leurs relations avec les conditions hydrologiques. Thèse de 3^{ème} cycle. Université Paris VI. 212 p.

Le Fèvre-Lehoërff G. et Derrien A., 1987. Le zooplancton in : Etude écologique de projet site de Plogoff, février 1980 - juin 1981, volume 1 : Le cadre géographique et le domaine pélagique. Rapport interne pour EDF DERO 87 04 EL, 186 pages, zooplancton, 115-186.

Quisthoudt C., 1988. Environnement physique et chimique, productivité primaire phytoplanctonique et bactérienne dans le détroit du Pas de Calais. Thèse de doctorat de l'Université des Sciences et Technologies de Lille, Station Marine de Wimereux, 207 p.

Tableau. 5.1. Variations saisonnières et spatiales du poids sec, du % de carbone et du % d'azote du zooplancton

date	points	poids sec mg/m ³	%C	%N	C/N	poids C mg/m ³	poids N mg/m ³
21/10/03	325	112,3	24,02	5,40	4,45	2,93	0,66
19/11/03	325	98,1	11,88	2,40	4,95	1,78	0,36
09/12/03	325	101,5	22,00	4,89	4,50	2,73	0,61
07/01/04	325	154,3	22,16	5,26	4,22	2,77	0,66
25/02/04	325	57,3	13,53	2,58	5,25	1,21	0,23
26/03/04	325	126,2	33,57	7,86	4,27	6,79	1,59
28/04/04	325	224,2	21,91	3,85	5,69	44,01	7,74
25/05/04	325	175,1	15,41	3,19	4,83	21,32	4,42
02/06/04	325	225,7	12,65	2,72	4,65	47,86	10,29
		153,2	11,33	2,34	4,85	38,79	8,01
		186,0	12,17	2,79	4,37	37,92	8,68
		115,9	12,19	2,24	5,44	33,84	6,22
		57,0	11,94	2,07	5,76	22,74	3,95
		51,3	8,62	1,42	6,08	14,75	2,42
	327	133,4	16,23	2,64	6,16	36,27	5,89
		64,8	14,58	2,46	5,93	35,14	5,92
		140,7	11,36	2,24	5,07	42,86	8,46
		101,4	14,05	2,45	5,73	47,60	8,30
		74,5	15,84	2,74	5,79	31,66	5,47
		127,5	16,77	2,82	5,95	44,83	7,53
	302	71,5	19,85	4,51	4,41	2,97	0,67
		360,3	24,91	5,21	4,78	17,32	3,62
		609,8	11,41	2,73	4,18	19,35	4,63
		270,9	14,25	2,68	5,32	15,48	2,91
		158,8	18,84	3,75	5,02	10,77	2,14
		272,4	19,10	3,88	4,93	23,67	4,81
	324	56,7	14,72	2,99	4,93	6,33	1,28
		268,5	10,56	2,12	4,99	26,45	5,30
		189,4	14,02	2,86	4,91	12,91	2,63
		224,0	11,35	2,48	4,58	9,19	2,00
		133,5	20,26	4,11	4,93	16,25	3,29
		192,0	22,81	4,58	4,98	20,21	4,06
15/06/04	325	102,5	20,15	4,53	4,45	5,79	1,30
12/07/04	325	87,7	32,29	8,19	3,94	9,07	2,30
27/07/04	325	67,9	14,84	3,37	4,41	2,51	0,57
09/08/04	325	230,8	19,65	4,33	4,54	15,24	3,36
20/08/04	325	157,7	20,18	4,70	4,29	9,74	2,27
06/09/04	325	64,6	17,18	3,41	5,03	2,99	0,59
27/09/04	325	50,8	14,10	2,89	4,88	3,43	0,70
		44,6	15,90	3,38	4,71	3,80	0,81
		48,9	18,42	3,87	4,75	2,42	0,51
		47,6	16,82	3,11	5,42	4,48	0,83
		35,6	15,17	3,17	4,79	2,34	0,49
		43,0	14,75	3,06	4,82	2,44	0,51
	327	179,2	10,88	1,54	7,05	52,27	7,42
		523,5	11,68	1,66	7,03	136,70	19,43
		245,1	12,81	1,91	6,72	70,25	10,46
		359,8	13,50	1,89	7,13	72,69	10,19
		183,2	13,49	1,88	7,19	66,31	9,23
		154,5	14,66	2,20	6,65	60,76	9,14
	302	73,1	25,00	5,38	4,65	3,06	0,66
		150,6	21,40	4,42	4,84	5,60	1,16
		93,8	24,30	5,18	4,69	4,39	0,94
		86,5	25,34	5,40	4,70	4,57	0,97
		124,3	24,00	4,96	4,84	4,32	0,89
		131,0	25,49	5,28	4,83	6,04	1,25
	324	21,7	16,43	2,99	5,50	2,54	0,46
		35,1	16,84	2,95	5,70	4,23	0,74
		21,0	20,13	4,10	4,91	3,03	0,62
		13,4	16,20	3,25	4,99	2,14	0,43
		40,9	21,20	3,94	5,38	6,16	1,15
		36,3	20,36	3,93	5,18	3,11	0,60

Tableau 5.2. Densités calculées (en nombre par 10 m³) des taxons dénombrés lors des campagnes au point canal d'aménée Point 325 (Canal d'aménée)

DATE	2004												
	21-oct	19-nov	9-déc	7-janv	25-févr	6,02	26-mars	28-avr	25-mai	2-juin	12-juil	9-août	27-sept
Volume filtré (m ³)	8,91	10,57	9,96	22,43	6,69	6,02	6,02	2,16	0,82	0,37	3,72	3,72	2,38
Nb/10m ³													
Cnidaria (Cnidaires)													
<i>Obelia</i>	-	-	-	-	-	-	-	19	-	-	108	-	21
<i>Hybocodon prolifer</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eucheilota maculata</i>	4	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	-
<i>Phialidium hemisphaericum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sarsia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-
<i>Rathkea / Bougainvillia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cnidaires non identifiés	-	-	-	-	6	-	-	93	-	-	86	-	8
CTENOPHORA (Cténaires)													
<i>Pleurobrachia pileus</i>	-	11	3	3	1	53	-	37	146	81	-	-	-
<i>Beroe</i>	-	9	10	-	-	-	-	-	-	81	27	-	-
	157	44	120	1	-	-	-	-	-	-	27	484	252
CHAETOGNATHA (Chaetognathes)													
<i>Lanice conchilega</i>	56	123	20	20	36	133	-	148	244	757	925	645	126
ANNELIDA (Annélides), larves													
<i>Spionidae</i>	11	19	0	0	161	1 262	-	37	488	108	129	484	21
Annélides non identifiés	11	4	0	2	6	133	-	0	0	108	43	54	0
CLADOCERA (Cladocères)													
<i>Penilia</i>	2 200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Bosmina</i>	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Daphnia</i>	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Podon</i>	5 028	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	269	-
<i>Evadne</i>	0	-	-	-	-	27	-	-	244	-	-	-	-
CIRRIPEDA (Cirripèdes), larves													
Nauplii	539	9	-	-	389	1 296	-	926	244	0	667	914	546
Cypris	90	66	10	0	6	664	-	1 111	244	108	22	54	21
AMPHIPODA (Amphipodes)													
ISOPODA (Isopodes), larves <i>microniscus</i>	3	19	1	-	-	-	-	-	49	649	-	108	38
CUMACEA (Cumacés)													
MYSIDACEA (Mysidacés)													
<i>Mesopodopsis slabberi</i>	3	25	3	2	-	5	-	-	-	-	5	-	21
<i>Schistomysis spiritus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Schistomysis kervillei</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mysidacés non identifiés	-	19	2	4	-	-	-	37	-	-	5	-	-

Point 325 (Canal d'aménée)	2003					2004						
	21-oct 8,91	19-nov 10,57	9-déc 9,96	7-janv 22,43	25-févr 6,69	26-mars 6,02	28-avr 2,16	25-mai 0,82	2-juin 0,37	12-juil 3,72	9-août 3,72	27-sept 2,38
DATE	Volume filtré (m ³)											
Nbr/10m ³												
COPEPODA (Copépodes)												
<i>Calanus helgolandicus</i>	56	9	10	-	-	13	56	-	-	108	54	4
<i>Paracalanus parvus</i>	584	237	60	30	6	252	93	-	-	-	215	126
<i>Pseudocalanus minutus</i>	34	-	50	588	90	2 159	2 963	3 415	4 000	108	753	63
<i>Stephos minor</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Temora longicornis</i>	348	9 234	1 526	95	323	1 130	25 556	50 732	4 757	10 323	4 355	567
<i>Eurytemora affinis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Metridia lucens</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Centropages typicus</i>	0	28	20	-	-	13	-	-	-	-	-	-
<i>Centropages hamatus</i>	561	132	30	7	108	266	2 407	9 024	3 784	753	1 183	105
<i>Isias clavipes</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Candacia armata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Labidocera wollastoni</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Parapontella brevicornis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acartia clausi</i>	168	823	1 767	303	143	930	6 481	5 610	5 730	10 323	9 301	1 197
<i>Acartia discaudata</i>	-	445	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oncaea</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oithona</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54	-
<i>Euterpina acutifrons</i>	415	1 892	422	34	12	27	-	-	108	-	1 183	4 286
<i>Corycaeus</i>	34	47	40	5	-	-	-	-	-	-	-	21
<i>Cyclopinoides littoralis</i>	-	19	0	-	-	13	-	-	-	-	-	-
<i>Ergasilus</i>	34	227	90	-	-	-	-	-	-	108	269	21
Monstrillidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
Caligidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lernaeocera	-	-	10	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Cyclopoidea	-	47	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Harpacticoida	-	9	-	-	6	40	93	-	108	-	-	-
Larves nauplius	56	-	-	-	-	27	93	-	108	172	645	42
EUPHAUSIACEA (Euphausiacés)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DECAPODA (Décapodes)	-	-	-	-	-	3	37	98	216	11	-	17
Caridea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	0
Thalassinidea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	8
Porcellanidae	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Paguridae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Point 325 (Canal d'aménée)		2003				2004							
DATE	Volume filtré (m ³)	21-oct	19-nov	9-déc	7-janv	25-févr	26-mars	28-avr	25-mai	2-juin	12-juil	9-août	27-sept
	Nb/10m ³	8,91	10,57	9,96	22,43	6,69	6,02	2,16	0,82	0,37	3,72	3,72	2,38
Diogenidae		-	-	-	-	-	-	-	-	-	65	-	34
Galatheididae		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Anomura (larves non identifiées)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Anomura (total larves)		-	2	-	-	-	-	-	-	-	70	-	42
Brachyura (zoés)		6	-	-	-	-	120	130	244	108	59	54	38
Brachyura (megalopes)		1	-	-	-	-	-	-	98	54	-	-	-
Brachyura (total larves)		7	-	-	-	-	120	130	341	162	59	54	38
MOLLUSCA (Mollusques)													
Gastropoda (larves)		123	57	20	5	6	13	185	732	0	151	215	315
Bivalvia (larves)		67	66	10	4	0	27	463	244	649	129	54	168
BRYOZOA (Bryozoaires), larves cyphonautes		224	1 514	0	30	72	53	0	0	0	387	0	147
ECHINODERMATA (Echinodermes)													
Ophiuroidea (larves ophiopluteus)		34	-	-	-	-	-	93	976	-	946	54	168
Echinoidea (larves echinopluteus)		0	-	-	-	-	-	-	-	-	129	-	-
CHORDATA (Chordés)													
<u>Tunicata (Tuniciers)</u>													
Oikopleura		191	-	30	12	-	146	5 278	10 488	108	366	538	63
Fritillaria borealis		-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Appendicularia		191	-	30	12	-	146	5 278	10 488	108	366	538	63
Ascidiacea (tétards)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	161	-
<i>Doliolum</i>		11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vertebrata (Vertébrés)													
Téléostéens (oeufs)		-	-	-	-	1	3	37	49	27	22	-	-
Téléostéens (larves)		-	4	-	1	-	5	-	98	-	27	-	-
TOTAL ZOOPLANKTON		11 051	15 152	4 346	1 149	1 374	8 814	46 370	83 463	21 649	26 306	22 108	8 454
<i>Noctiluca scintillans</i>		-	-	-	-	-	-	185	275 122	1 364 865	1 828	11 183	-

Tableau 5.3. Densités calculées (en nombre par 10 m³) des taxons dénombrés lors des campagnes des 2 juin et 27 septembre, menées aux différents points du site

POINT	325	327	324	302	325	327	324	302
	Canal d'aménée 02/06/2004	Canal de rejet 02/06/2004	Contrôle 02/06/2004	Référence 02/06/2004	Canal d'aménée 27/09/2004	Canal de rejet 27/09/2004	Contrôle 27/09/2004	Référence 27/09/2004
DATE	Volume filtré (m ³)			5,14	1,6			5,75
Nb/10m ³	0,37			1,79	0,52			5,75
CNIDARIA (Cnidaires)	-	-	-	-	21	-	-	113
<i>Obelia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hybocodon prolifer</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eucoilota maculata</i>	-	-	-	-	-	77	-	26
<i>Phialidium hemisphaericum</i>	-	-	-	-	-	-	-	42
<i>Sarsia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rathkea / Bougainvillia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
Cnidaires non identifiés	-	-	11	78	8	-	6	-
CTENOPHORA (Cténaires)	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pleurobrachia pileus</i>	81	-	22	-	-	-	-	-
<i>Beroe</i>	81	-	34	-	-	-	-	-
CHAETOGNATHA (Chaetognathes)	-	-	-	-	252	1 000	63	122
ANNELIDA (Annélides), larves	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lanice conchilega</i>	757	-	11	78	126	-	6	43
Spionidae	108	242	22	78	21	-	19	52
Annélides non identifiés	108	121	-	78	-	-	-	43
CLADOCERA (Cladocères)	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Penilia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Bosmina</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Daphnia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Podon</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Evadne</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
CIRRIPEDA (Cirripèdes), larves	-	-	-	78	546	-	44	17
Nauplii	-	-	-	156	21	-	6	-
Cypris	108	11	-	-	38	615	-	35
AMPHIPODA (Amphipodes)	649	2 303	-	-	-	-	-	-
ISOPODA (Isopodes), larves <i>microniscus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
CUMACEA (Cumacés)	-	-	-	62	-	-	-	9
MYSIDACEA (Mysidacés)	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mesopodopsis slabberi</i>	-	-	-	-	21	-	-	-
<i>Schistomysis spiritus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-

POINT DATE Volume filtré (m ³) Nb/10m ³	325	327	324	302	325	327	324	302	325	327	324	302
	Canal d'aménée 02/06/2004 0,37	Canal de rejet 02/06/2004 0,33	Contrôle 02/06/2004 1,79	Référence 02/06/2004 5,14	Canal d'aménée 27/09/2004 2,38	Canal de rejet 27/09/2004 0,52	Contrôle 27/09/2004 1,6	Référence 27/09/2004 5,75				
<i>Schistomysis kervillei</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mysidacés non identifiés	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
COPEPODA (Copépodes)												
<i>Calanus helgolandicus</i>	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-
<i>Paracalanus parvus</i>	-	-	-	-	126	-	44	113	-	-	-	-
<i>Pseudocalanus minutus</i>	4 000	1 576	-	2 802	63	77	13	52	-	-	-	-
<i>Stephos minor</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Temora longicornis</i>	4 757	2 545	145	8 716	567	77	75	113	-	-	-	-
<i>Eurytemora affinis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Metridia lucens</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Centropages typicus</i>	-	-	-	-	-	-	6	3	-	-	-	-
<i>Centropages hamatus</i>	3 784	970	45	4 591	105	77	31	17	-	-	-	-
<i>Isias clavipes</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Candacia armata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Labidocera wollastoni</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Parapontella brevicornis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acartia clausi</i>	5 730	848	11	3 424	1 197	-	-	157	-	-	-	-
<i>Acartia discaudata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oncaea</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oithona</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Euterpina acutifrons</i>	108	-	-	-	4 286	-	1 163	470	-	-	-	-
<i>Corycaeus</i>	-	-	-	-	21	-	6	96	-	-	-	-
<i>Cyclopinoides littoralis</i>	-	-	-	-	21	-	38	17	-	-	-	-
<i>Ergasilus</i>	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-
Monstrillidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Caligidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lernaeoecera</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cyclopoidae	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-
Harpacticoida	108	-	-	78	-	-	-	-	-	-	-	-
Larves nauplius	108	-	-	78	42	-	-	61	-	-	-	-
EUPHAUSIACEA (Euphausiacés)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DECAPODA (Décapodes)												
Caridea	216	-	-	109	17	-	-	-	-	-	-	-

POINT	325	327	324	302	325	327	324	302	325	327	324	302
	Canal d'aménée 02/06/2004 0,37	Canal de rejet 02/06/2004 0,33	Contrôle 02/06/2004 1,79	Référence 02/06/2004 5,14	Canal d'aménée 27/09/2004 2,38	Canal de rejet 27/09/2004 0,52	Contrôle 27/09/2004 1,6	Référence 27/09/2004 5,75				
Nb/10m ³												
Thalassinidea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
Porcellanidae	-	-	-	-	8	77	-	19	-	-	-	19
Paguridae	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	3
Diogenidae	-	-	-	-	34	-	6	2	-	-	-	2
Galatheididae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Anomura (larves non identifiées)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Anomura (total larves)	-	-	-	-	42	77	6	24	-	-	-	24
Brachyura (zoés)	108	-	-	125	38	-	-	7	-	-	-	7
Brachyura (megalopes)	54	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Brachyura (total larves)	162	-	-	125	38	-	-	7	-	-	-	7
MOLLUSCA (Mollusques)												
Gastropoda (larves)	0	364	-	233	315	77	25	17	-	-	-	17
Bivalvia (larves)	649	485	-	934	168	-	81	191	-	-	-	191
Mollusca (Total larves)	649	848	-	1 167	483	77	106	209	-	-	-	209
BRYOZOA (Bryozoaires), larves cyphonautes	0	-	-	0	147	-	13	26	-	-	-	26
ECHINODERMATA (Echinodermes)												
Ophiuroidea (larves ophiopluteus)	0	-	-	156	168	-	13	835	-	-	-	835
Echinoidea (larves echinopluteus)	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL larves	0	-	-	156	168	-	13	835	-	-	-	835
CHORDATA (Chordés)												
<u>Tunicata (Tuniciers)</u>												
<i>Oikopleura</i>	108	-	-	1 089	63	-	19	322	-	-	-	322
<i>Fritillaria borealis</i>	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Appendicularia	108	-	-	1 089	63	-	19	322	-	-	-	322
Ascidiacea (têtards)	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	9
<i>Doliolum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>Vertebrata (Vertébrés)</u>												
Téléostéens oeufs)	27	-	-	62	-	-	-	-	-	-	-	-
Téléostéens (larves)	0	121	-	16	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL ZOOPLANKTON	21 649	9 576	313	23 019	8 454	2 231	1 681	3 050	-	-	-	-
<i>Noctiluca scintillans</i>	1 364 865	58 182	553 073	37 977	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau 5.4. Abondances des Cténaires récoltés au filet de 500 µm en 2004 aux points canal d'amenée, côte, médian (ou contrôle) et large (ou référence),

<i>Pleurobrachia pileus</i>					
Date	Répliquat	325 (canal)	313 (côte)	324 (Contrôle)	318 (large)
16 mars	1	3,84	-	-	-
	2	5,16	-	-	-
5 avril	1	209,23	-	-	-
	2	92,15	-	-	-
14 avril	1	64,41	1,28	41,5	3,92
	2	31,37	1,16	45,51	7,09
20 avril	1	445,83	-	-	-
	2	233,33	-	-	-
6 mai	1	417,62	84,35	216,43	235,57
	2	455,46	148,47	133,38	530,64

<i>Beroe</i>					
Date	Répliquat	325 (canal)	313 (côte)	324 (Contrôle)	318 (large)
16 mars	1	0,17	-	-	-
	2	0,09	-	-	-
5 avril	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
14 avril	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
20 avril	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
6 mai	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-

6. ZOOPLANCTON HALIEUTIQUE

Auteur : Woehrling D.

Collaborateurs : Garren F. & d'Elbée J.





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 essentiel à cet égard. 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 de poissons plats (ordre des pleuronectiformes).

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, enrichie de nombreux apports telluriques. Le site est en continuité avec les côtes belges et hollandaises, à la frange méridionale de l'importante frayère de sole de mer du Nord, dont l'épicentre se situe à peine à quelques dizaines de kilomètres au nord-est.

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

6.2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Le matériel et les méthodes de terrain et de laboratoire sont issus 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. Nous les résumons ci-dessous.

6.2.1 Rappel succinct

Les mesures de température et salinité sont réalisées au moyen d'une sonde *Valeport* à lecture directe. En 2004, en raison de dysfonctionnements, certaines mesures ont été faites à la sonde *WTW Multi 340i*.

Les prélèvements de zooplancton sont effectués à l'échantillonneur *BONGO* grand modèle (61 cm de diamètre d'ouverture) muni de deux filets de maillage 0,5 mm dont les pêches sont mélangées, à l'exception du point 325 à l'entrée du canal d'amenée où l'on utilise une armature simple à un seul filet.

Deux repliquats sont réalisés en chaque point. Les volumes filtrés sont calculés à partir des indications de flux-mètres *General Oceanics* montés à l'entrée des filets.

6.2.2 Localisation des points de prélèvement

Les prélèvements sont réalisés en trois points situés en mer le long d'une radiale (points 313 : *côte*, 324 : *médian* ou *contrôle*, 318 : *large*) et un point (325) situé à l'entrée du canal d'amenée (au niveau du pont enjambant le canal de prise d'eau).

6.2.3 Chronologie

Il est prévu en principe quatre campagnes par an, dont deux ayant lieu en mer alternant avec deux campagnes au canal d'amenée, dans un intervalle allant actuellement de fin mars à mai, afin de couvrir au mieux la période de reproduction de la sole et du sprat, sachant que la présence des larves de crevette grise s'échelonne tout au long de l'année avec une prédominance au printemps.

Comme lors des deux années précédentes compte tenu de l'évolution des périodes de ponte, plus précoces depuis quelques années (décalage d'une quinzaine de jours environ), les dates des campagnes ont été avancées. En 2004, elles se sont ainsi échelonnées du 16 mars au 6 mai. Depuis 2002, et à fins de comparaison, les prélèvements en mer sont couplés à des prélèvements au canal d'amenée réalisés en même temps et s'ajoutant ainsi aux deux campagnes habituelles réalisées en ce point. Lors de la dernière campagne (n° 224), la sortie en mer n'a pu avoir lieu que le lendemain de la sortie au point canal d'amenée, mais selon la même logique qu'en 2003, nous avons regroupé les deux sorties dans la même campagne. Cette chronologie, ainsi que les principales caractéristiques des campagnes, figurent dans le tableau 6.1.

Tableau 6.1. Caractéristiques des campagnes 'Zooplankton halieutique' sur le site de Gravelines en 2004

N° de campagne	Date	Heure Pleine mer (T.U.)	Coefficient de marée	Point	Température surface (°C)	Température fond (°C)	Salinité Surface (P.S.U.)	Salinité Fond (P.S.U.)	Repliquat	Heure du prélèvement	Durée du trait (min)	Volume filtré (m ³)
220	16 mars	7 h 51	44	325			33,51		1	13 h 48	14	174,55
									2	14 h 8	14	232,47
221	5 avril	11 h 50	100	325			34,07		1	8 h 18	15	166,71
									2	8 h 39	12	187,53
222	14 avril	7 h 48	46	325			34,27		1	10 h 34	10	53,72
									2	10 h 48	15	72,04
				313	10,6		34,4		1	7 h 55	6	156,36
									2	8 h 6	6	163,12
				324	9,6		34,5		1	8 h 28	6	111,79
									2	8 h 40	6	91,41
318	8,9		34,4		1	9 h 6	6	255,11				
					2	9 h 22	6	158,08				
223	20 avril	12 h 25	90	325			33,98		1	7 h 57	15	63,88
									2	8 h 19	18	85,03
224	6 mai	12 h 34	103	325			33,86		1	11 h 1	9	153,25
									2	11 h 22	8	133,49
				313	11,7		34,5		1	12 h 25	6	223,84
									2	12 h 40	6	150,87
				324	11,5		34,6		1	12 h 58	6	192,21
									2	13 h 20	6	235,13
318	11,0		34,5		1	13 h 33	6	312,43				
					2	13 h 45	6	149,55				

6.3 RÉSULTATS-DISCUSSION

6.3.1 La sole *Solea solea* (Linné, 1758)

La sole commune constitue l'une des principales ressources halieutiques du secteur. Le site est inclus dans une famille d'aires de reproduction pour l'espèce, à proximité du barycentre de la 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

Depuis 2001, et afin de mieux encadrer le pic de ponte, les prélèvements sont programmés pour avoir lieu dès la fin du mois de mars. Effectivement, en 2002 et 2001 où ils n'avaient pu débuter réellement qu'en avril, des effectifs élevés avaient été observés dès la première campagne, le pic se situant au cours de la seconde quinzaine du mois d'avril, comme cela fut confirmé en 2003 alors que les campagnes avaient débuté dès fin mars. En 2004, l'examen des effectifs lors des campagnes successives indique un bon recouvrement du pic de ponte (Tabl. 6.2., Fig. 6.1.) ; les variations pluriannuelles ne sont ainsi pas biaisées par l'effet 'période de prélèvement' (fig. 6.2. et 6.3.). En outre, la succession normale des œufs et larves au cours de la saison confirme que la période de reproduction a été bien circonscrite dans sa globalité (Fig. 6.4. et 6.5.) : on voit en effet pour les premiers la décroissance des densités en mai et au contraire l'augmentation progressive des effectifs des secondes qui atteignent leur maximum en mai. Avec un pic de 27 œufs par 10 m³, les densités de 2004 sont supérieures à celles de 2003 et se rapprochent de celles observées en 2002, plus conformes à la moyenne du site (Fig. 6.2.), abstraction faite des valeurs exceptionnelles de 1983, 1984 et 1996.

Le gradient de densité des œufs vers la côte en début de saison (Fig. 6.4.), conformément à la biologie de cette espèce à ponte côtière dans les zones septentrionales, est à nouveau très marqué, comme cela semble être le cas lorsque les effectifs sont importants. On n'observe pas cette année l'inversion de ce gradient, classique lorsque la saison de ponte s'avance (De Clerck et Van de Velde, 1973), bien qu'au point *médian* (324) on observe des effectifs plus élevés qu'au point 318 du large lors de la campagne du 14 avril. L'interprétation fine des structures spatiales demeure cependant délicate en raison de l'ensemencement variable du site en œufs émis dans les régions limitrophes. Indice d'une proximité de la ponte, la proportion des stades précoces (stade 1, œufs à embryon non encore développé) est généralement élevée (Tabl. 6.2.), et représente de 3 à 4 fois les effectifs de stades 2 lors du maximum.

Larves

Ces variations pluriannuelles affectant les œufs semblent confortées par les densités de larves (Fig. 6.3.). Celles-ci demeurent relativement 'moyennes' en 2004 (2 à 3 au mieux par 10 m³) mais sont cependant 'normales' pour cette espèce benthique dont la phase larvaire présente une vie planctonique relativement courte, de l'ordre de 2 mois. Elles sont d'ailleurs voisines de celles qui furent relevées maintes fois par le passé, les valeurs maximales n'atteignant cependant que le double. Les effectifs augmentent régulièrement et sont élevés à la fin de la saison, atteignant leur maximum lors de la campagne de mai (Fig. 6.1. et 6.5.).

Les variations saisonnières sont conformes également à la biologie de l'espèce ; le gradient vers le large, conformément aux observations habituelles et à la biologie de l'espèce, est moins net qu'en 2003 (Tabl. 6.2 et Fig. 6.5.).



Tableau 6.2. Densités d'œufs et de larves de sole à Gravelines en 2004
(en nombre par 10 m³)

Date	Point	Repliquat	Total œufs	Œufs stade 1	Œufs stade 2	Larves
16 mars	325	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,04	0,04	0,00	0,00
		Moyenne	0,02	0,02	0,00	0,00
5 avril	325	1	18,96	14,16	4,80	0,00
		2	9,71	7,68	2,03	0,43
		Moyenne	14,34	10,92	3,42	0,22
14 avril	325	1	17,87	14,89	2,98	1,49
		2	21,65	16,66	5,00	0,56
		Moyenne	19,76	15,78	3,99	1,03
	313	1	37,09	34,79	2,30	0,00
		2	17,41	16,18	1,23	0,00
		Moyenne	27,25	25,49	1,77	0,00
	324	1	27,91	20,39	7,51	0,00
		2	26,69	22,32	4,38	0,33
		Moyenne	27,30	21,36	5,95	0,17
	318	1	3,29	2,82	0,47	0,71
		2	1,77	1,01	0,76	0,57
		Moyenne	2,53	1,92	0,62	0,64
20 avril	325	1	26,93	8,45	18,47	1,25
		2	14,58	6,35	8,23	0,71
		Moyenne	20,76	7,40	13,35	0,98
6 mai	325	1	1,04	0,52	0,52	2,09
		2	0,90	0,30	0,60	2,70
		Moyenne	0,97	0,41	0,56	2,40
	313	1	6,79	4,29	2,50	0,54
		2	9,28	7,42	1,86	3,45
		Moyenne	8,04	5,86	2,18	2,00
	324	1	2,91	2,29	0,62	2,71
		2	2,04	1,87	0,17	2,38
		Moyenne	2,48	2,08	0,40	2,55
	318	1	0,64	0,38	0,26	1,66
		2	0,80	0,27	0,53	2,94
		Moyenne	0,72	0,33	0,40	2,30

Gravelines : sole
Moyennes par campagne

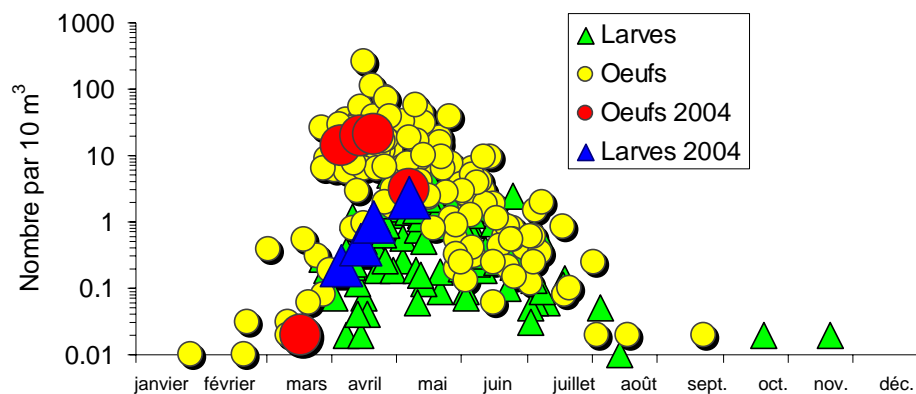


Figure 6.1. Variations saisonnières des densités d'œufs et de larves de sole à Gravelines pour l'ensemble des années (de 1975 à 2004)

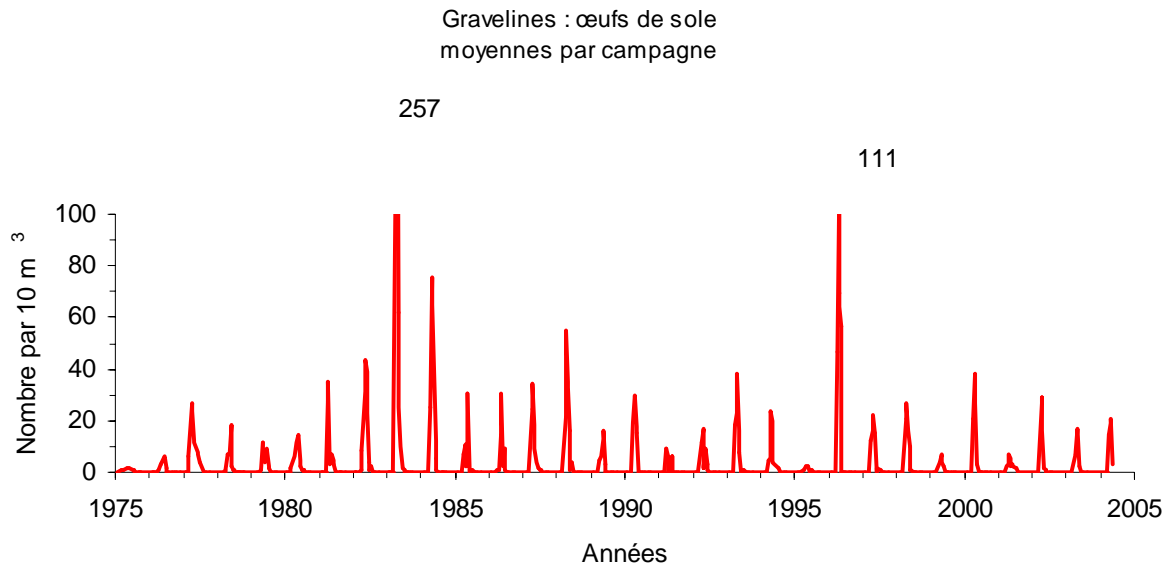


Figure 6.2. Variations annuelles des densités d'œufs de sole à Gravelines pour l'ensemble des années (de 1975 à 2004)

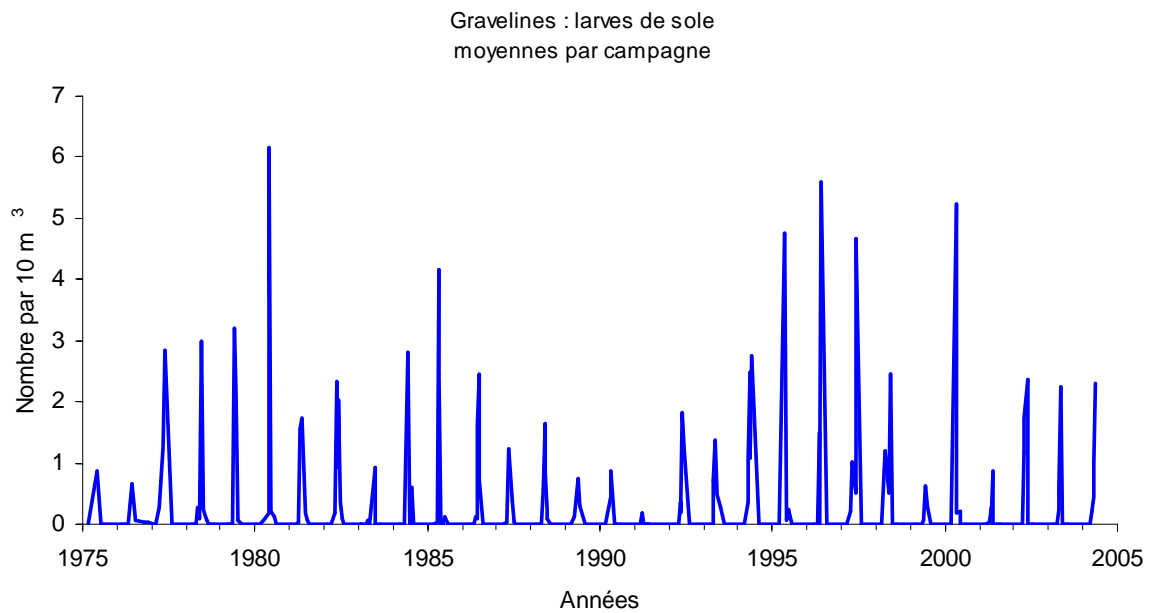


Figure 6.3. Variations annuelles des densités de larves de sole à Gravelines pour l'ensemble des années (de 1975 à 2004)

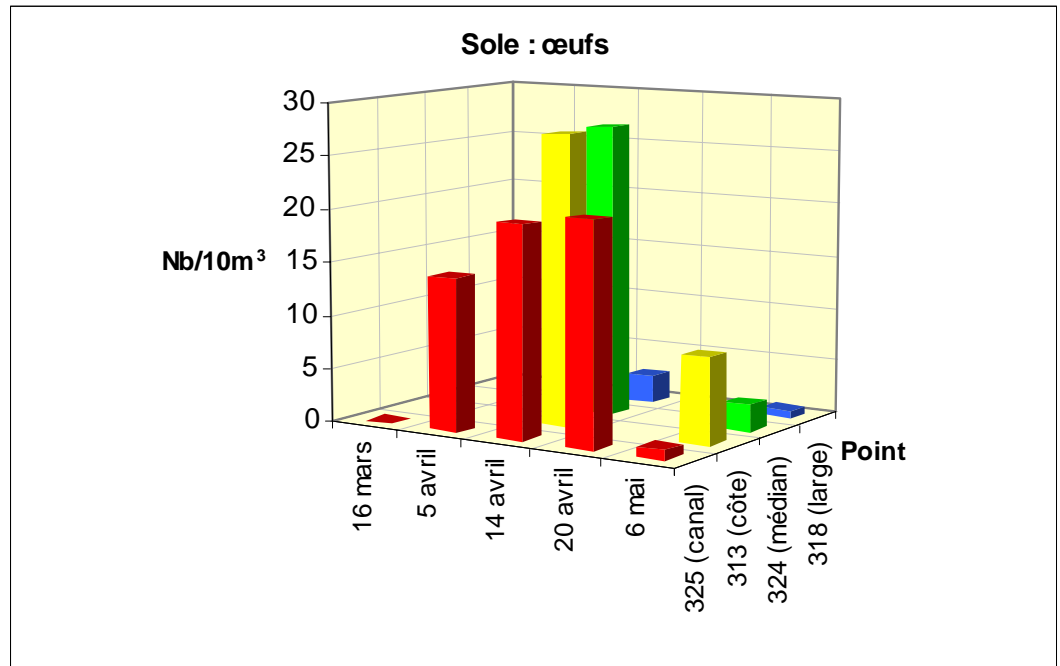


Figure 6.4. Densités d'œufs de sole à Gravelines en 2004 en fonction de la date et du point de prélèvement

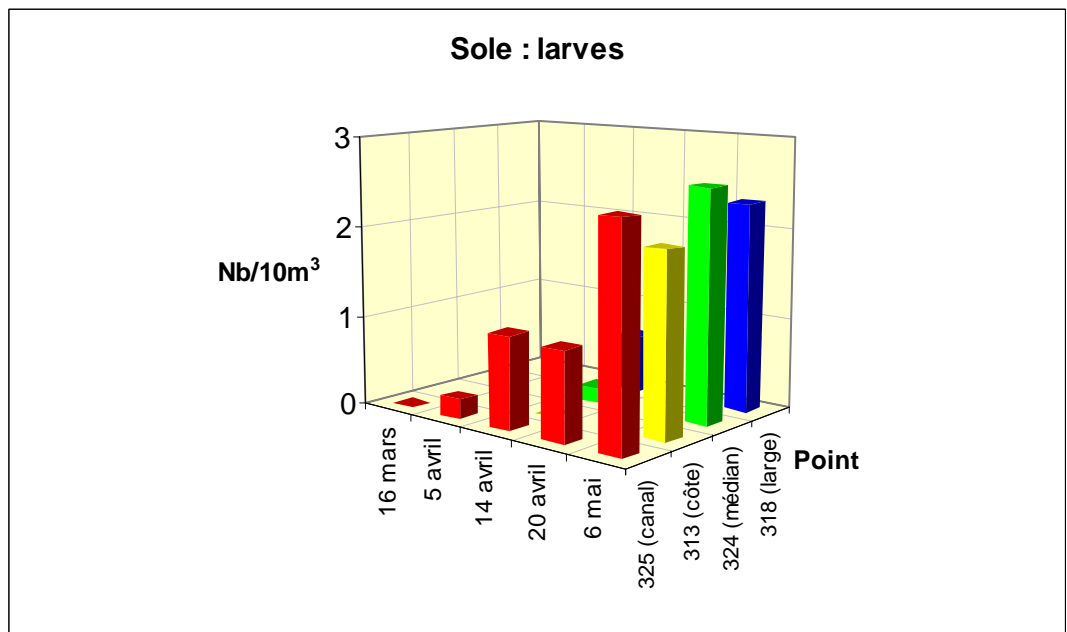


Figure 6.5. Densités de larves de sole à Gravelines en 2004 en fonction de la date et du point de prélèvement

6.3.2 Le sprat *Sprattus sprattus* (Linné, 1758)

Cette espèce pélagique, bien que n'étant pas exploitée à Gravelines, est très représentative des peuplements du secteur et régulièrement présente dans le plancton. L'abondance de ses phases œufs et larves jointe à la reproductibilité des cycles d'abondance en fait une espèce caractéristique du site lequel s'inscrit dans une famille de frayères locales pour l'espèce.

En effet, bien que pélagique et migrateur, le sprat forme des populations relativement inféodées à un secteur donné. Celles-ci s'égrènent le long des côtes du sud de la mer du Nord, essentiellement les côtes belges et hollandaises.

Œufs

Alors qu'une décroissance régulière était observée depuis 1997, la tendance à la remontée des effectifs observée depuis quatre ans ne se confirme pas en 2004 (Fig. 6.6.) et les densités (Fig. 6.7.) sont à nouveau au niveau le plus faible observé sur le site. La période de ponte est généralement plus étendue que pour la sole ; comme en 2003, on assiste à la décroissance des effectifs en mai (Fig. 6.6. & 6.9. – Tabl. 6.3.). La période de ponte semble donc avoir été bien cernée et le maximum a lieu une fois de plus en avril. Lors de la campagne en mer du 14 avril, on observe un gradient croissant vers le large (Fig. 6.9.), conformément au comportement reproducteur de cette espèce pélagique qui fraye à quelque distance de la côte. Ce gradient est cependant moins marqué qu'en 2003.

Larves

Depuis 1990, les variations d'effectifs de larves de sprat semblaient suivre ceux des larves de sole, bien qu'ils soient globalement supérieurs d'un facteur 3 en moyenne pour le sprat. Après une baisse en 2003, les densités remontent en 2004 et retrouvent un niveau moyen (Fig. 6.8.). Les effectifs atteignent les 8 larves par 10 m³ aux points côtiers lors du maximum (Fig. 6.10.).

On n'observe pas, comme en 2002 et 2003, de gradient vers le large. En 2003, il était déjà moins prononcé en fin de saison, lors de la dernière campagne ; en 2004, lors de la campagne de mai, on observe plutôt un gradient vers la côte (Fig. 6.10.).

Comme pour la sole, les gradients côte-large semblent mieux respectés (plus conformes à la biologie de l'espèce) lorsque les effectifs sont relativement abondants ; la variabilité de l'échantillonnage est en effet d'autant plus importante que les effectifs comptés sont plus faibles. Par ailleurs, les répartitions atypiques sont plus probables lorsqu'on s'éloigne du barycentre de la frayère, que ce soit dans le temps ou dans l'espace, avec des effets de lisière qui faussent les gradients géographiques.

Enfin il est curieux de voir les deux espèces, sole et sprat, présenter des variations saisonnières de leurs larves assez comparables. Il faut y voir un effet du resserrement des périodes de reproduction et de croissance des larves dans les zones septentrionales où le printemps est plus tardif et la période favorable à la survie des larves plus étroite.

Il n'est pas étonnant de voir des espèces à biologie différente présenter ainsi des similitudes au niveau de leurs phases planctoniques, notamment larvaire. Cette situation est autant le reflet d'une survie que de l'adaptation des cycles de production.

Tableau 6.3. Densités d'œufs et de larves de sprat à Gravelines en 2004
(en nombre par 10 m³)

Date	Point	Repliquat	Total œufs	Œufs stade 1	Œufs stade 2	Larves
16 mars	325	1	0,06	0,06	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		Moyenne	0,03	0,03	0,00	0,00
5 avril	325	1	0,48	0,00	0,48	0,72
		2	0,43	0,00	0,43	0,32
		Moyenne	0,46	0,00	0,46	0,52
14 avril	325	1	11,91	4,10	7,82	9,31
		2	10,83	1,67	9,16	2,78
		Moyenne	11,37	2,89	8,49	6,05
	313	1	6,91	0,51	6,40	0,00
		2	4,41	0,49	3,92	0,00
		Moyenne	5,66	0,50	5,16	0,00
	324	1	9,66	2,50	7,16	1,34
		2	21,00	11,38	9,63	2,30
		Moyenne	15,53	6,94	8,40	1,82
	318	1	19,29	10,82	8,47	0,47
		2	9,11	5,57	3,54	0,51
		Moyenne	14,20	8,20	6,01	0,49
20 avril	325	1	18,79	3,76	15,03	5,64
		2	14,11	6,59	7,53	4,00
		Moyenne	16,45	5,18	11,28	4,82
6 mai	325	1	0,52	0,00	0,52	8,09
		2	1,80	1,50	0,30	8,39
		Moyenne	1,16	0,75	0,41	8,24
	313	1	0,89	0,18	0,71	7,86
		2	0,80	0,27	0,53	9,81
		Moyenne	0,85	0,23	0,62	8,84
	324	1	0,00	0,00	0,00	5,62
		2	0,00	0,00	0,00	6,80
		Moyenne	0,00	0,00	0,00	6,21
	318	1	1,02	0,26	0,77	2,69
		2	0,27	0,00	0,27	4,55
		Moyenne	0,65	0,13	0,52	3,62

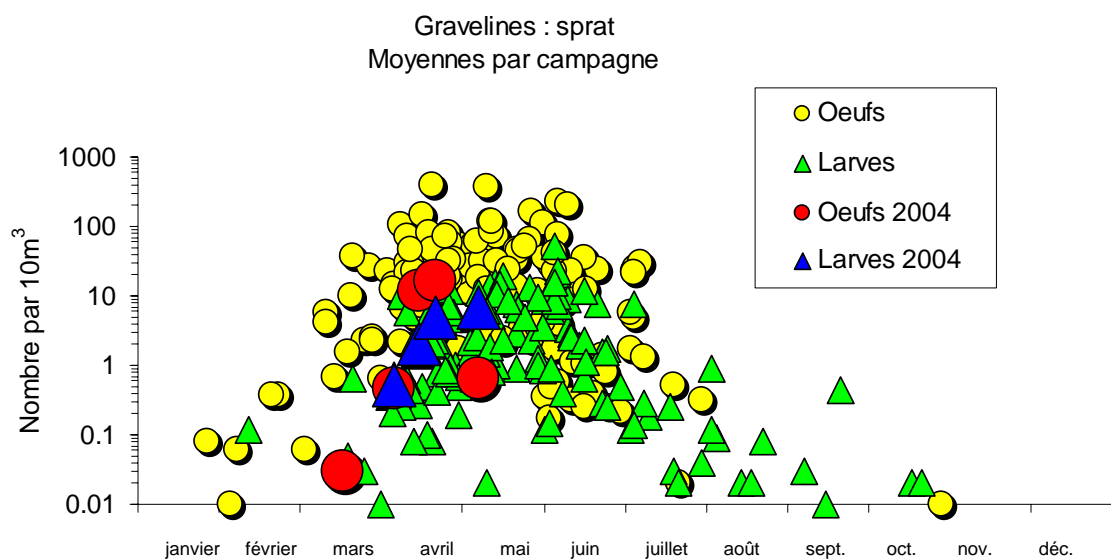


Figure 6.6. Variations saisonnières des densités d'œufs et de larves de sprat à Gravelines pour l'ensemble des années (de 1975 à 2004)

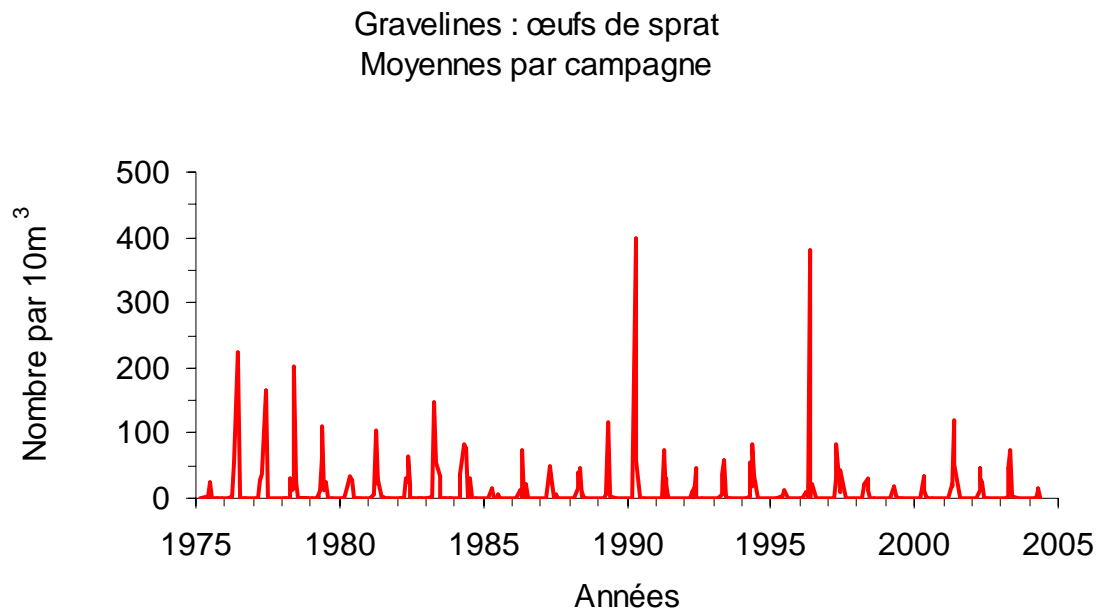


Figure 6.7. Variations annuelles des densités d'œufs de sprat à Gravelines pour l'ensemble des années (de 1975 à 2004)

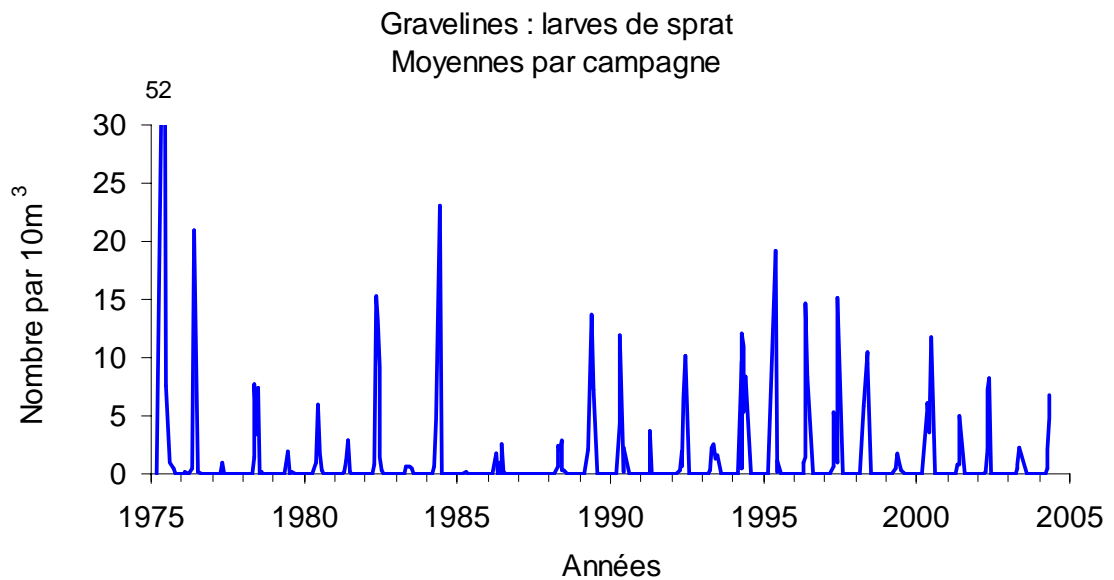


Figure 6.8. Variations annuelles des densités de larves de sprat à Gravelines pour l'ensemble des années (de 1975 à 2004)

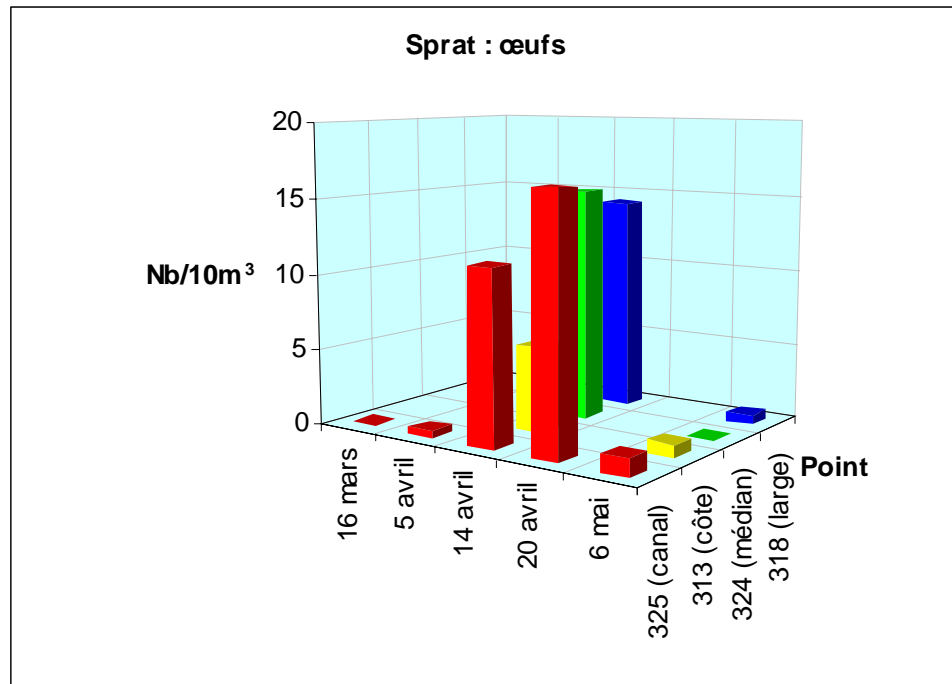


Figure 6.9. Densités d'œufs de sprat à Gravelines en 2004 en fonction de la date et du point de prélèvement

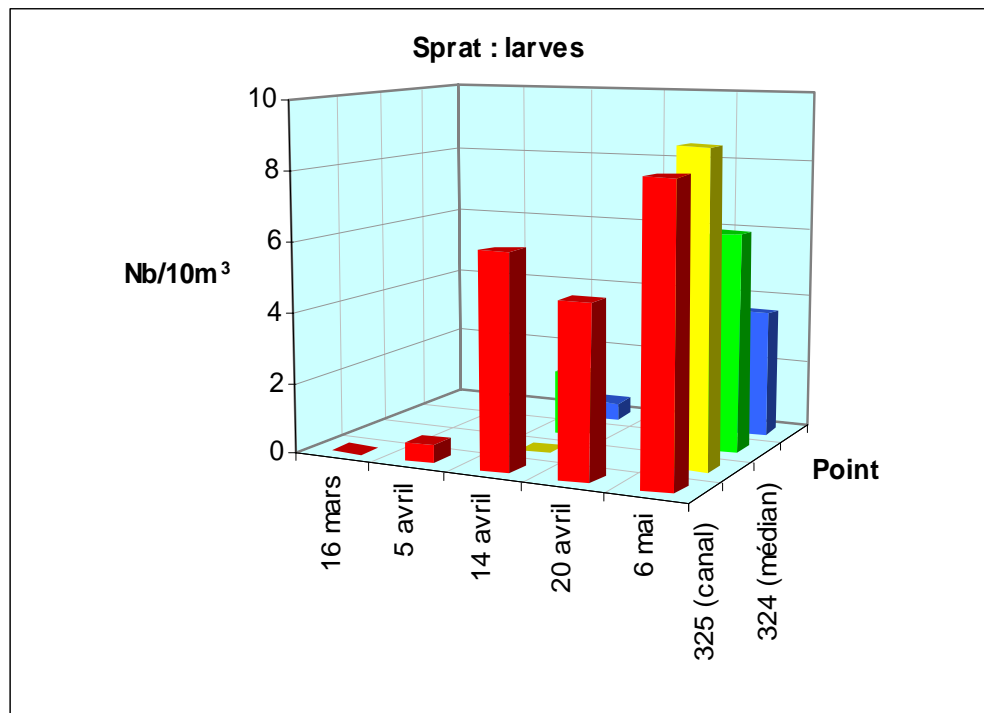


Figure 6.10. Densités de larves de sprat à Gravelines en 2004 en fonction de la date et du point de prélèvement

6.3.3 La crevette grise *Crangon crangon* (Linné, 1758)

L'étude des larves de la crevette grise avait cessé en 1989, au moment de la dernière réactualisation du programme de surveillance qui avait conduit à l'abandon des campagnes de suivi des phases benthiques de poissons plats sur le site, auxquelles la crevette était associée sur le plan méthodologique. Les présomptions de raréfaction de l'espèce font à nouveau croître depuis quelques années l'intérêt pour la crevette grise.

Le substrat sablo-vaseux du site de Gravelines lui est particulièrement favorable et les densités de larves y étaient nettement supérieures à celles relevées sur d'autres sites de Manche, comme Penly, Paluel ou Flamanville.

La période de reproduction de la crevette grise est très étendue et ses larves sont *a priori* présentes tout au long de l'année. Chaque femelle pond en fait plus d'une fois par an ; cependant, selon plusieurs auteurs, la reproduction s'effectue selon un rythme saisonnier qui conduit globalement à un maximum de larves en été et un minimum en hiver (Meixner, 1968).

Larves

À Gravelines, les larves sont présentes toute l'année, mais surtout de mars à septembre avec un pic d'avril à juin (fig. 6.11.). Leurs densités pouvaient atteindre plusieurs dizaines par 10 m^3 avec des pics de 100 à 200 dans les années 1980 (Fig. 6.12.). En comparaison, les densités relevées depuis 2001, année de la reprise des comptages, paraissent bien faibles, encore qu'elles s'apparentent à celles relevées au cours de nombres d'années précédentes (1976 à 1979, 1984 à 1988). En 2004, elles sont à nouveau aussi faible qu'en 2002, oscillant entre 1 et 15 par 10 m^3 . Contrairement aux années précédentes, on observe les plus forts effectifs aux points côtiers 313 et 325 (Tabl. 6.4 et Fig. 6.11.).

Post-larves

La même évolution globale s'observe chez les post-larves, dont les effectifs sont loin d'avoisiner les abondances observées avant 1988, bien que comparables à ceux des années 1976 à 1979, 1984 à 1988, à l'instar des larves. Les schémas sont en effet voisins (Fig. 6.13. à comparer avec Fig. 6.12.), ce qui laisse à penser que notre échantillonnage est relativement bien représentatif. Ces résultats semblent confirmer que l'impact de la centrale n'est probablement pas en cause dans les effectifs anormalement faibles observés depuis 2001. Les variations pluriannuelles récentes sont parallèles à celles des larves.

Par ailleurs, aucune diminution significative des phases planctoniques de la crevette grise n'a été observée sur un autre site (à Penly) entre la période précédent et suivant la mise en service de la centrale. Le phénomène de raréfaction mentionné plus haut paraît en conséquence plutôt relever d'une tendance générale à long terme comme celle observée au niveau des pêcheries. Il semble ainsi que la reprise de notre échantillonnage à Gravelines ait eu lieu de manière fortuite lors d'une phase naturelle de récession.

Tableau 6.4. Densités de larves et post-larves de crevette grise à Gravelines en 2004
(en nombre par 10 m³)

Date	Point	Repliquat	Larves	Post-larves
16 mars	325	1	1,09	0,00
		2	1,29	0,00
		Moyenne	1,19	0,00
5 avril	325	1	10,80	0,00
		2	6,93	0,00
		Moyenne	8,87	0,00
14 avril	325	1	17,13	1,12
		2	11,38	0,28
		Moyenne	14,26	0,70
	313	1	0,13	1,79
		2	0,12	0,31
		Moyenne	0,13	1,05
	324	1	1,97	0,45
		2	9,63	0,66
		Moyenne	5,80	0,56
	318	1	1,57	0,00
		2	1,33	0,00
		Moyenne	1,45	0,00
20 avril	325	1	9,08	0,00
		2	3,53	0,24
		Moyenne	6,31	0,12
6 mai	325	1	2,35	0,52
		2	1,80	0,30
		Moyenne	2,08	0,41
	313	1	3,22	1,97
		2	3,98	0,07
		Moyenne	3,60	1,02
	324	1	2,91	0,21
		2	0,68	0,34
		Moyenne	1,80	0,28
	318	1	0,64	0,00
		2	1,34	0,00
		Moyenne	0,99	0,00

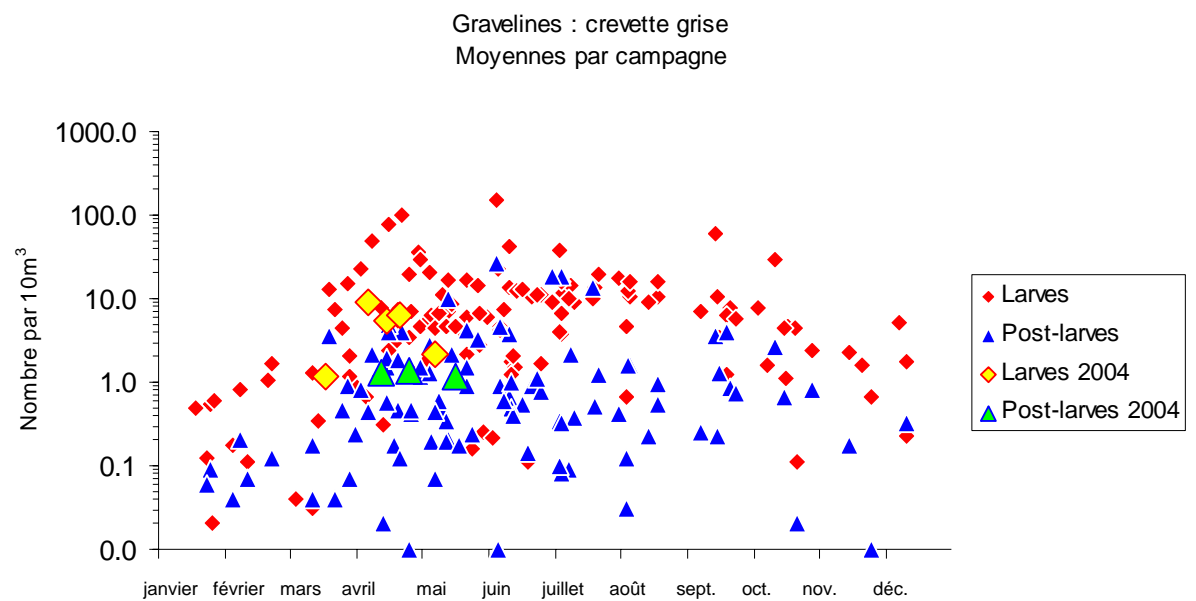


Figure 6.11. Variations saisonnières des densités de larves et post-larves de crevette grise à Gravelines pour l'ensemble des années (de 1975 à 2004)

Gravelines : larves de crevette grise
Moyennes par campagne

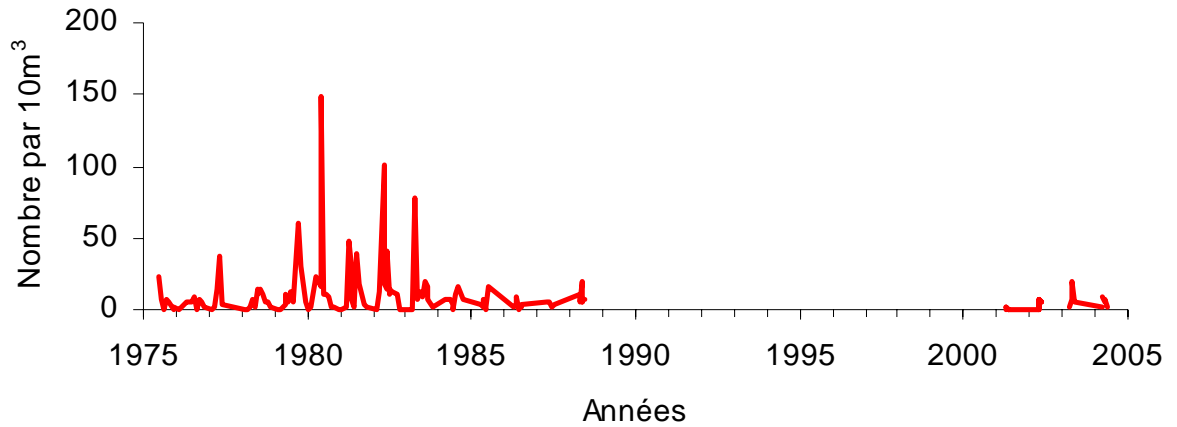


Figure 6.12. Variations annuelles des densités de larves de crevette grise à Gravelines de 1975 à 2004 (avec une interruption de 1989 à 2000, tous deux inclus)

Gravelines : post-larves de crevette grise
Moyennes par campagne

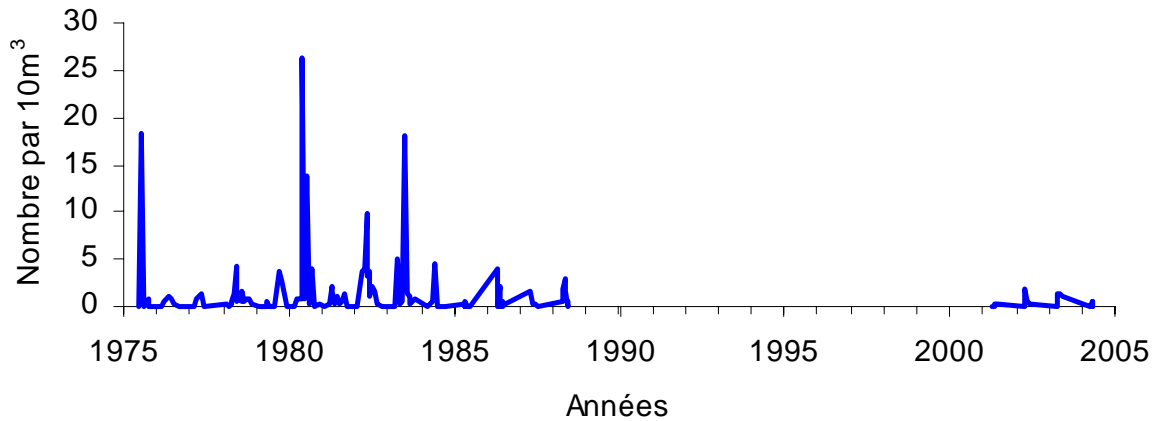


Figure 6.13. Variations annuelles des densités de post-larves de crevette grise à Gravelines de 1975 à 2004 (avec une interruption de 1989 à 2000, tous deux inclus)

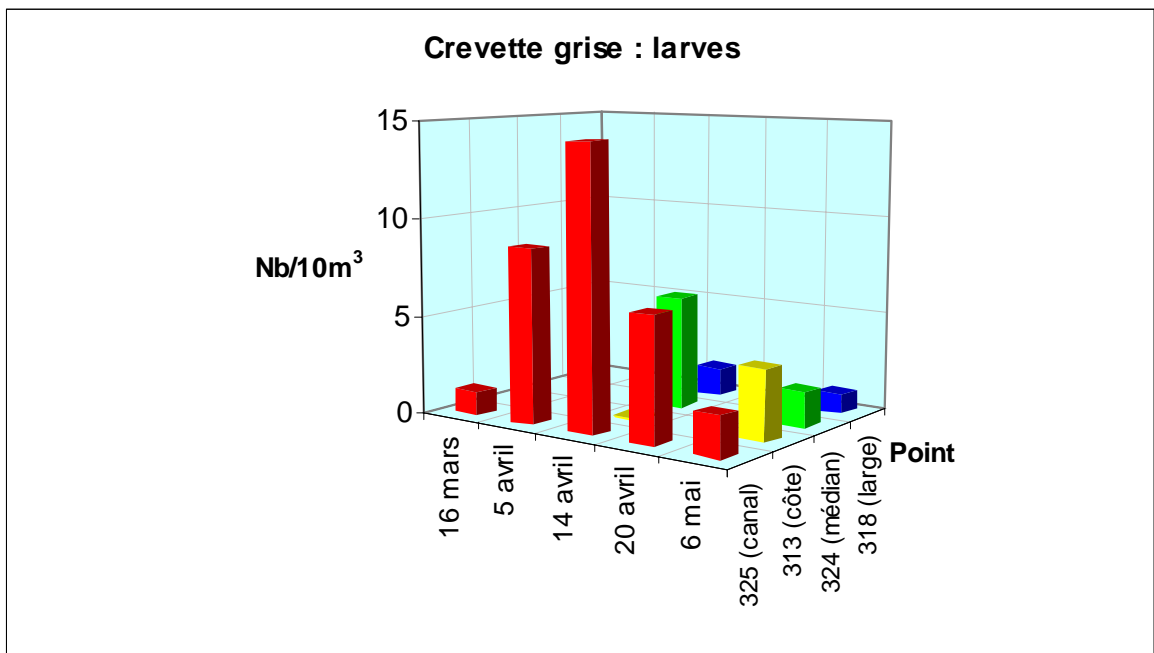


Figure 6.14. Densités de larves de crevette grise à Gravelines en 2004 en fonction de la date et du point de prélèvement

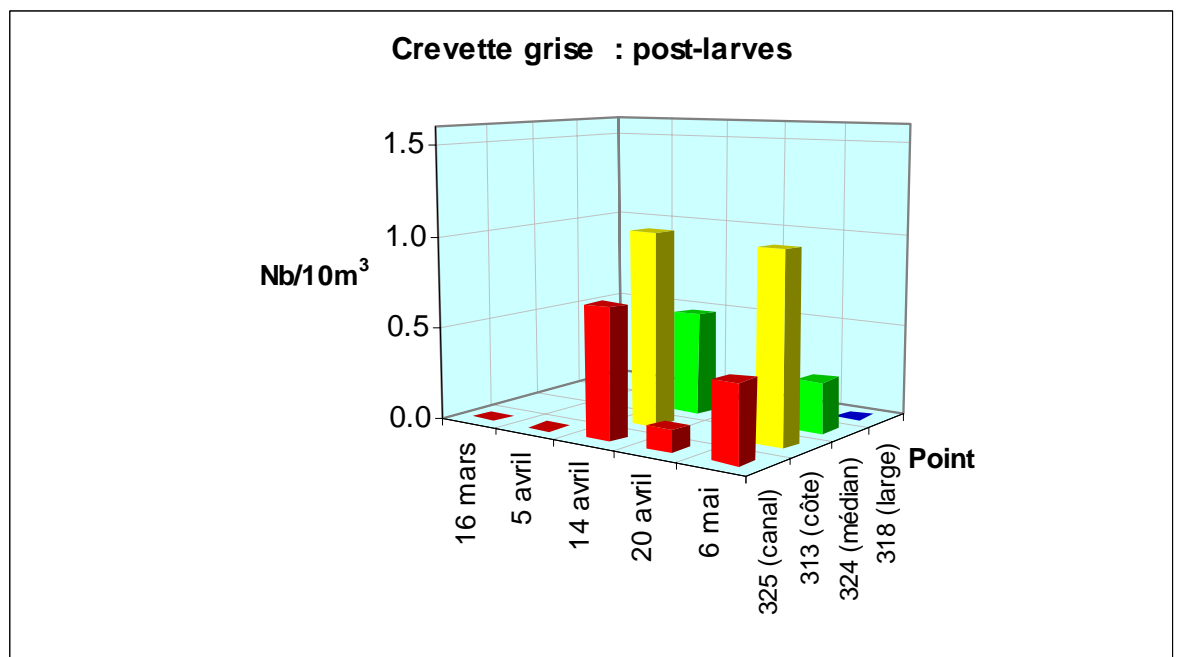


Figure 6.15. Densités de post-larves de crevette grise à Gravelines en 2004 en fonction de la date et du point de prélèvement

6.3. ÉLÉMENTS DE CONCLUSION

Conformément à la tendance à la précocité qui s'est installée depuis quelques années, la période de ponte de la sole et du sprat est centrée sur le mois d'avril, et les effectifs maximums de larves sont observés lors des dernières campagnes (en mai).

Globalement, la période de reproduction de ces deux espèces est bien cernée ; faibles lors des premières campagnes, les densités d'œufs décroissent dès le mois de mai après avoir atteint leur maximum en avril alors que les effectifs de larves augmentent ultérieurement pour exprimer leur maximum en mai.

Alors qu'en 2003 on avait enregistré une chute des effectifs, les densités d'œufs de **sole** en 2004, proches de celles de 2002, sont à nouveau plus conformes à la moyenne du site (10 à 30 œufs par 10 m^3), bien que situées dans les valeurs plutôt basses. Plus marquée pour les œufs que pour les larves, la structure spatiale avec un gradient global vers la côte (et quelquefois un maximum au point médian) est bien conservée en 2004. Les densités de larves se maintiennent à un niveau moyen.

Pour le **sprat** en revanche, les effectifs d'œufs sont nettement plus faibles qu'en 2003. La tendance à une certaine remontée des effectifs depuis les années 2000 ne se confirme pas et les densités observées en 2004 sont à nouveau parmi les plus basses toutes années confondues, inférieurs à 20 par 10 m^3 , ce qui est particulièrement faible pour cette espèce. La tendance au décalage de la période de ponte vers le mois d'avril se confirme et les œufs, contrairement à ceux de la sole, présentent un gradient vers le large, moins prononcé cependant qu'en 2003. Les densités de larves sont plus élevées qu'en 2003, mais contrairement à cette année, on note plutôt un gradient vers la côte lors du maximum de fin de saison, probablement parce que la dernière campagne, qui a eu lieu début mai (alors qu'elle se situait mi-mai en 2003) a livré davantage de jeunes larves, à répartition plus côtière.

Comme pour la sole, les gradients côte-large sont mieux respectés lorsque les effectifs sont abondants.

Enfin, la **crevette grise**, pour laquelle on avait noté une diminution drastique des densités de larves et post-larves en 2001 par rapport à l'ensemble des valeurs obtenues avant 1990, puis une remontée depuis 2002, voit à nouveau ses effectifs présenter des valeurs extrêmement faibles en 2004, comparables à la plupart des valeurs d'étiage observées avant 1988. Cette dernière observation semble exclure toute implication pouvant être liée au fonctionnement de la centrale dans la raréfaction de l'espèce.

Références

- De Clerck R. et Van de Velde J., 1973.- A study of the spawning and nursery areas of sole along the belgian coasts.- Cons. Int. Explor. Mer, Comité des Poissons de fond (Nord), F : 34
- Meixner R., 1968.- Reproduction of the sand schrimp *Crangon crangon* (L.).- Fish. Rep. FAO, 57 (2) : 259-264





7. LE DOMAINE BENTHIQUE INTERTIDAL

Auteur : Dewarumez J.-M.

Collaborateur : Menu D.





7.1. INTRODUCTION

Les études écologiques menées depuis 1973 sur l'estran de Petit Fort Philippe ont permis d'avoir une bonne 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 de l'environnement : la salinité et la teneur en fines du sédiment. Il a été démontré également que l'impact thermique de la centrale pouvait jouer un rôle important dans la structuration bionomique de l'estran, et ce, notamment, au niveau de 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* étant plus thermophile que *Spio martinensis*. Il faut néanmoins relativiser l'ampleur de cet impact dans la mesure où l'exclusion réciproque des deux populations n'est pas systématique et que la densité de population des deux espèces varie fortement.

Les modifications bionomiques 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 qui se déroulent dans le milieu subtidal proche. Ces phénomènes sont toujours indépendants du fonctionnement de la centrale.

7.2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

La stratégie d'échantillonnage a été modifiée lors de l'étude 2000. En effet, étant donnée la stabilité bionomique des niveaux inférieurs depuis plusieurs années, ne révélant 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 délaisser les niveaux inférieurs. Dans ce but, deux points en haut niveau (point M) et en moyen niveau supérieur (point N) sur une nouvelle radiale située entre les deux radiales précédemment étudiées ont été rajoutés en 2000. Cependant, lors des campagnes 2000, 2001, 2002 et 2003 nous avons conservé la grille d'échantillonnage des niveaux inférieurs du fait du recrutement de *Donax vittatus*, espèce qui n'avait pas été récoltée depuis de nombreuses années sur l'estran. La campagne a eu lieu le 18 juin 2004. L'échantillonnage a encore cette année porté sur les 10 points, dans la mesure où il nous semble dommage d'interrompre une série qui dure maintenant depuis 30 années.

Depuis 1996, nous utilisons la méthode du poids sec sans cendres (PSSC) pour la mesure de la biomasse.



7.3. RESULTATS

7.3.1. Composition bionomique

28 taxons ont été récoltés sur les trois radiales. Ils se répartissent comme suit :

- 3 Némertes
- 1 Nématode
- 1 Annélide Oligochète
- 12 Annélides Polychètes
 - 4 errantes
 - 8 sédentaires
- 3 Mollusques
 - 1 Gastéropode
 - 2 Bivalves
- 7 Crustacés
 - 1 Isopode
 - 1 Cumacé
 - 3 Amphipodes
 - 2 Décapodes
- 1 Insecte

Ces 28 taxons correspondent à 22964 individus récoltés sur les trois radiales :

- 17347 sur la radiale 1
- 1638 sur la radiale 2
- 3979 sur la radiale 3

Ces résultats sont très largement supérieurs à ceux enregistrés en 2002 (respectivement 1579 sur la radiale 1, 674 sur la radiale 2 et 434 sur la radiale 3 pour un total de 2687 individus) et en 2003 (10772, 1335 et 3441 individus sur les trois radiales). L'année 2002 avait été caractérisée par un fort appauvrissement des populations benthiques de l'estran à la fois en richesse spécifique et en densité de population par contre l'année 2003 avait vu les peuplements revenir à un état normal de densité.

En 2003, la population de *Hydrobia ulvae* représentait 75,8 % du total des individus récoltés contre 36,8 % en 2002, 6,3 % en 2001 et 63,9 % en 2000. En 2004 la population semble exploser : les effectifs globaux de cette espèce sont passés de 327 en 2001 à 988 en 2002 et à 11800 en 2003 et ils atteignent 20143 en 2004. Cette espèce représente 88,1 % des individus récoltés. Certaines espèces à forte affinité pour les eaux saumâtres régressent pour la plupart (*Enchytraeidae*, *Enoplus brevis* et *Ophelia ratkhei*) sauf *Hediste diversicolor*.



7.3.2. Résultats globaux

(Figures 7.1. à 7.3., Tableaux 7.1. à 7.6.)

On ne note pas, en 2004, d'évolution de la morphologie de l'estran. Les résultats des analyses granulométriques ne font pas apparaître d'évolution majeure des sédiments intertidaux (Tableau 7.1. et Figures 7.1. à 7.3.).

Radiale 1

Point E

Des placages de vase sont toujours présents, ils sont localisés au-dessus de ce niveau et surtout vers l'est. Les sédiments à proximité du chenal de l'Aa sont très peu envasés et très meubles. Lors de la campagne de 2000, nous avons noté un fort appauvrissement en pélites du sédiment qui s'est confirmé en 2001, la teneur en pélites n'était plus alors que de 0,43 %. En 2002, la teneur en pélites augmente de nouveau et atteint 1,85 % du poids total du sédiment. En 2003, la teneur en pélites revenait à un niveau comparable à celui de 2001. En 2004 la teneur en pélites chute de manière significative (Tabl. 7.1. & Fig. 7.1.).

années	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
% pondéraux												
Pélites	2,51	2,34	0,99	2,76	0,04	4,58	3,03	0,62	0,43	1,85	0,23	0,09
Sables fins	18,39	25,59	25,46	27,11	31,61	38,28	42,63	35,26	43,38	23,91	33,74	28,41
Sables moyens	73,36	68,43	61,08	67,55	64,72	50,33	50,76	52,44	53,00	63,13	61,51	67,47

Néanmoins, la fraction fine du sédiment (sables moyens et fins + pélites) représente plus de 95 % du poids total du sédiment depuis la campagne de 2001.

Densité (ind/m ²)	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
<i>Hydrobia ulvae</i>	11304	12028	10488	5772	17584	2028	72	8	120	27416	53312
<i>Spio martinensis</i>	8	348	0	76	8	0	0	40	20	0	0
<i>Pygospio elegans</i>	0	0	32	160	0	0	0	0	0	8	0
<i>Eurydice affinis</i>	100	76	12	160	48	364	4	0	20	12	16
<i>Bathyporeia pilosa</i>	900	856	96	1376	16	3688	0	8	0	0	0
<i>Corophium arenarium</i>	3168	2830	24	200	40	184	20	120	40	100	4



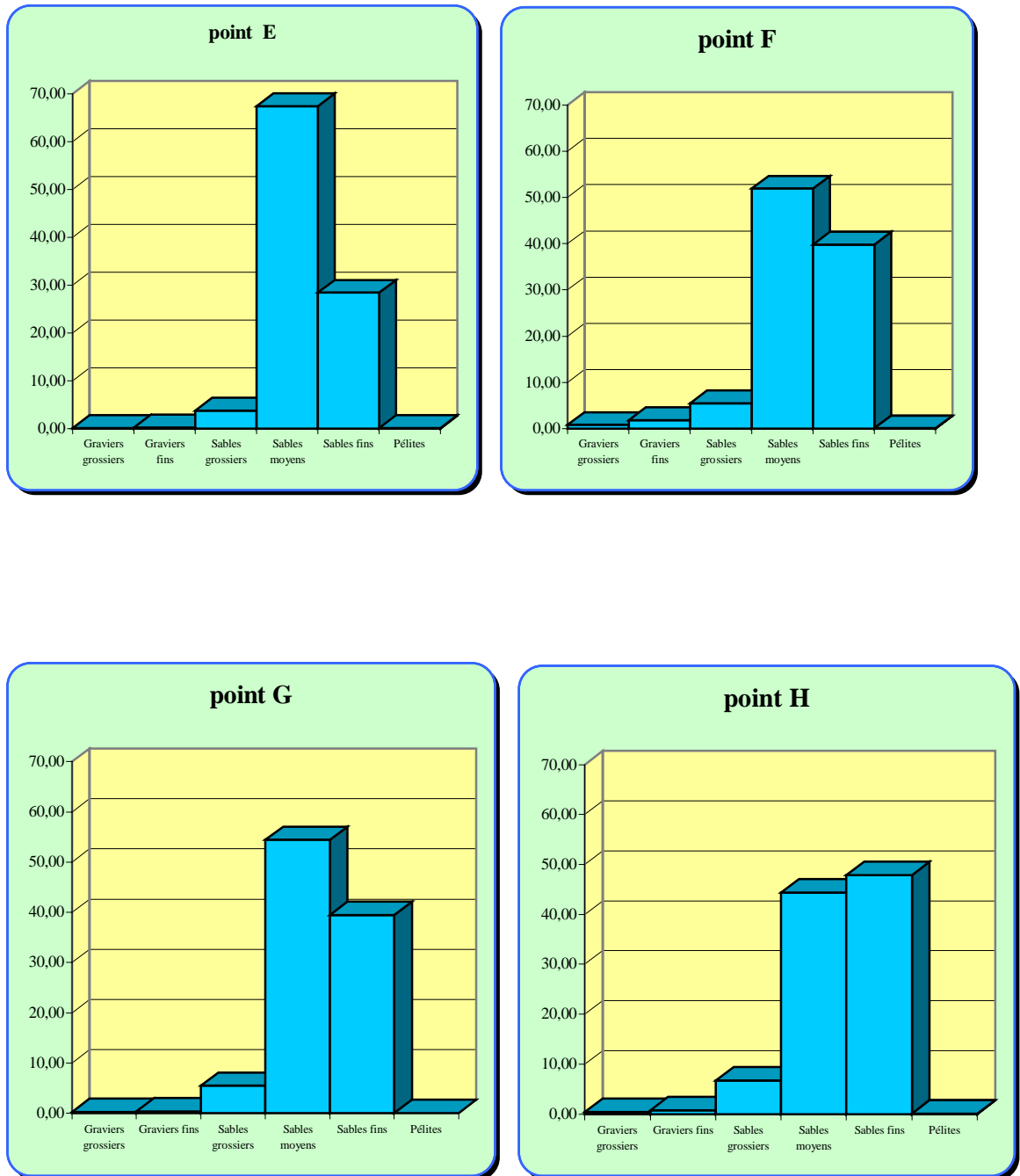


Figure 7.1. Radiale 1, Caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)



La population de *Hydrobia ulvae* présente cette année la plus forte densité jamais enregistrée sur le site (53312 ind/m²) (Tabl. 7.2.). L'année 2003 avait déjà été exceptionnelle pour cette espèce (27416 ind/m²) ; un niveau de densité équivalent à celui de 2003 avait été trouvé en 1989 (25740 ind/m²). L'augmentation de la densité observée en 2004 est due au recrutement. Les individus sont de petite taille, le poids moyen individuel est de 0,22 mg. On verra plus loin que la répartition des classes d'âge de la population de *Hydrobia ulvae* n'est pas homogène sur l'estran. A part cette espèce, seules 12 autres individus ont été récoltés à ce point.

La densité globale atteint 53360 ind/m², mais *Hydrobia ulvae* contribue ainsi pour 99,91 % à cette densité globale ; la densité des autres espèces chute de manière significative par rapport aux années précédentes (par exemple 160 ind/m² en 2003 et 48 en 2004).

Tout comme en 1999, 2000 et 2003 *Spio martinensis* n'a pas été récoltée à ce point en 2004 ; cette espèce avait été récoltée en faible densité (respectivement 40 et 20 ind/m²) en 2001 et en 2002.

La biomasse diminue par rapport à celle de 2003 qui avait été exceptionnelle : 11,9 g/m² contre 16,2 en 2003 (Tabl. 7.3.) ; elle n'était que de 0,17 g/m² en 2002, de 0,11 g/m² en 2001 et de 0,05 g/m² en 2000. Cette diminution est due en grande partie à la structure démographique de la population de *Hydrobia ulvae* mais aussi à la quasi-absence d'espèces accompagnatrices. C'est la troisième plus forte valeur de biomasse depuis le début des études, la plus forte valeur de la biomasse à ce point a été enregistrée en 1998 avec 19,3 g/m².

Point F

C'est à ce point que les plus fortes variations tant en biomasse qu'en densité ont pu être mises en évidence 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 (ind/m ²)	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
<i>Hediste diversicolor</i>	4	40	8	68	56	116	72	116	48	100	264
<i>Spio martinensis</i>	4	692	0	192	36	0	0	88	8	4	0
<i>Pygospio elegans</i>	0	0	672	2	0	0	0	8	0	0	4
<i>Ophelia rathkei</i>	324	184	1576	460	588	24	0	64	92	8	8
<i>Hydrobia ulvae</i>	0	0	12	56	9176	26140	8448	12	3404	11448	12120
<i>Cerastoderma edule</i>	0	0	12	52	800	144	32	236	248	32	36
<i>Macoma balthica</i>	40	20	40	648	168	748	696	316	1040	404	356
<i>Corophium arenarium</i>	24	100	0	0	0	0	0	0	4	12	80

Il est tout à fait remarquable de constater que l'ensemble des espèces principales sont d'une grande stabilité au point de vue de la densité entre 2003 et 2004.



La population de *Cerastoderma edule* était restée remarquablement stable entre 2001 et 2002 après avoir connu une forte régression entre 1998 et 2000. En 2003, aucun des individus récoltés n'appartenait à la cohorte 2000. En 2004, la densité n'évolue pas mais tous les individus récoltés sont de la cohorte 2003 toutes les cohortes précédentes semblent avoir disparu (Tabl. 7.2.). Il en résulte une stabilité entre 2003 et 2004 de la biomasse de cette espèce qui est de 5,3 g/m² contre 4,5 g/m² en 2003 (elle atteignait 39,7 g/m² en 2002 et 31,9 g/m² en 2001) (Tabl. 7.3.).

Macoma balthica avait bénéficié d'un recrutement très important à l'automne 2001, la densité de cette espèce en 2002 était la plus forte enregistrée depuis plusieurs années (1040 ind/m²) (Tabl. 7.2.). Du fait du maintien de la cohorte de 2000, la biomasse avait augmenté de manière considérable (39,7 g/m² contre 15,5 g/m² en 1999, 15,6 g/m² en 2000 et de 4,1 g/m² en 2001) (Tabl. 7.3.). En 2003, la disparition de la cohorte 2000 provoquait une diminution importante de la biomasse. En fait, la biomasse et la densité de cette espèce revenaient à leur niveau de 2001. En 2004, la classe dominante est celle des individus de 2001. La densité reste équivalente mais la biomasse augmente fortement : 22,96 g/m² contre 18,52 g/m², en 2003.

Ces deux bivalves représentent plus de 78 % de la biomasse totale à ce point.

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 ind/m², en 1998 contre 14084 ind/m² en 1999), nous avons donc conclu que cette espèce se redistribuait sur l'estran. Les résultats obtenus en 2000 semblaient infirmer cette hypothèse : la population de *Hydrobia ulvae* régressait sur la totalité des niveaux supérieurs mais restait cependant la plus importante au point F, au niveau des densités de 1998 (8448 ind/m²). En 2001, la population de *Hydrobia ulvae* disparaissait complètement au point F (12 ind/m² pour une biomasse de 2,2 mg/m²). L'espèce *Hydrobia ulvae* est réapparue en 2002 à un niveau certes inférieur à celui des années 1998 et 1999 (3404 ind/m²), mais suffisant pour permettre la régénération de la population. Cette implantation s'est vue confirmée en 2003, la densité étant du même ordre que dans la période 1998-2000 (11448 ind/m²). En 2004 la situation reste analogue au niveau de la densité (12120 ind/m²) et de la biomasse (Tabl. 7.2.). Les individus sont de plus grande taille qu'au point E (poids moyen de 0,56 mg).

La population de *Hediste diversicolor* progresse légèrement. La densité de la population de *Scolelepis squamata* continue sa progression depuis 1999.

La réimplantation des autres espèces à affinité « eaux saumâtres » (*Enoplus brevis* et des *Enchytraeidae*) se confirme sans atteindre les niveaux de densité de la partie est de l'estran. Ces espèces, en effet, affectionnent davantage les eaux de ruissellement provenant des nappes phréatiques que les eaux dessalées d'une zone estuarienne.

Du fait de ces modifications bionomiques, la biomasse augmente par rapport à 2003 : 38,09 g/m² contre 32,7 g/m² (67,1 g/m² en 2002) (Tabl. 7.3.). Elle reste parmi les valeurs les plus élevées depuis le début des études.



Macoma balthica, *Hydrobia ulvae* et *Cerastoderma edule* sont les espèces qui contribuent le plus fortement à la biomasse. Elles représentent à elles seules plus de 74 % de la biomasse totale.

Points G et H

Ces deux points devaient dans la nouvelle stratégie d'échantillonnage être remplacées par une point intermédiaire. La présence de *Donax vittatus* dans les bas niveaux nous avait conduit depuis l'étude de 2000 à maintenir l'échantillonnage de ces deux points. Nous avons décidé finalement de poursuivre l'échantillonnage pour ne pas interrompre la série d'observation. Ces points sont caractérisées depuis plusieurs années par une très grande stabilité, une faible diversité spécifique, une faible densité et une faible biomasse.

L'évolution constatée en 2003 est remise en cause cette année, le peuplement en place est beaucoup moins diversifié et des espèces de niveaux moyens supérieurs sont présentes (*Bathyporeia pilosa* et *Eurydice affinis*).

Aucun *Donax vittatus* n'a été récolté au point H en 2004. La biomasse reste très faible, inférieure à 1 g/m² (Tabl. 7.3.).

Radiale 2

Point I

Depuis maintenant plusieurs années, ce point 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 ce point sont rendus instables par la proximité du rejet de la centrale. On peut aussi y noter une forte influence des eaux douces de ruissellement.

Après de forte augmentations en 1998 (1468 ind/m²) et 1999 (2620 ind/m²), la densité la population de *Hydrobia ulvae* avait fortement diminué en 2000 (680 ind/m²). La population était alors constituée d'individus de grande taille (poids moyen par individu de 0,2 mg en 1998, 0,5 mg en 1999 et 0,8 mg en 2000). La densité de population était remontée en 2001 à 900 ind/m² et nous avons conclu à un vieillissement de la population sans nouveau recrutement. En 2002, la population avait quasiment disparu de ce point (72 ind/m²) (Tabl. 7.4.). En 2004, la population semble s'être reconstituée au même niveau que pendant les années 2000-2001 à ceci près que la population est constituée de très jeunes individus (0,25 mg de poids moyen individuel).



Densité(ind/m ²)	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
<i>Enchytraeidae</i>	0	0	16	4	212	104	0	4	816	0	2396	12
<i>Pygospio elegans</i>	1404	32	132	64	1144	0	60	4	3440	332	168	936
<i>Spio martinensis</i>	0	0	0	0	0	186	0	0	0	0	0	0
<i>Hydrobia ulvae</i>	116	1216	1380	840	204	1468	2620	680	900	72	832	876
<i>Corophium arenarium</i>	6184	956	1232	1604	1508	7004	1792	3348	3916	140	220	3772
<i>Bathyporeia pilosa</i>	684	64	128	0	4	40	4	4	4	0	36	4
<i>Eurydice affinis</i>	236	448	436	24	36	0	8	48	4	0	268	0

La population de *Corophium arenarium* évolue d'une manière considérable (3772 ind/m² en 2004 contre 220 en 2003), la population est surtout constituée de jeunes individus. La population était restée stable en 2000 et 2001 (3348 ind/m² en 2000 et 3916 ind/m² en 2001) et avait diminué d'une manière très importante en 2002 (140 ind/m²). En 2003 nous constatons que la population était constituée d'individus âgés qui sont sans doute à l'origine du recrutement de cette année. Le poids individuel moyen est de 0,13 mg en 2004 contre 0,6 mg en 2003.

La population d'*Enchytraeidae* qui avait complètement disparu en 2002 s'était rétablie à un niveau de densité très important (le plus fort enregistré à ce point) en 2003 (2396 ind/m²). En 2004 la population disparaît presque totalement : 12 ind/m² (Tabl. 7.4.), la régression de ce taxon à affinité « eaux saumâtres » semble montrer une moins forte influence des eaux de ruissellement dans la partie est de l'estran.

La densité de la population de *Pygospio elegans* progresse fortement sans atteindre les niveaux maximums enregistrés sur le site.

La densité globale de population progresse par rapport à 2003 et aux années précédentes : 5640 ind/m² en 2004 contre 4596 en 2003 et 572 ind/m² en 2002) (Tabl. 7.4.), mais ne revient pas au niveau de 2001 (10324 ind/m²). L'apport de *Corophium arenarium* provoque une forte augmentation de la biomasse : 3,7 g/m² contre 0,47 g/m² en 2003, 0,13 g/m² en 2002 et 3,96 g/m² en 2001) (Tabl. 7.5.).

Point J

Ce point est située à proximité immédiate du complexe de dunes et de bâches situé à mi-estran. Il a été pendant plusieurs années, le siège d'un lent phénomène d'érosion qui a éliminé du sédiment les particules fines (Fig.7.2.), avec pour conséquence de faire évoluer le peuplement installé à ce point vers des aspects caractéristiques de moyens niveaux inférieurs. Depuis 1997, cette évolution semble s'être inversée, le cortège spécifique du peuplement installé à ce point est d'un type intermédiaire, constitué à la fois d'espèces caractéristiques des niveaux supérieurs et d'espèces inféodées aux moyens niveaux inférieurs. En 2001, le peuplement de ce point était constitué majoritairement d'espèces inféodées aux niveaux supérieurs de l'estran.



Densité (ind/m ²)	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
<i>Scolelepis squamata</i>	88	68	96	76	4	0	28	48	28	56	36	24
<i>Eurydice affinis</i>	240	16	68	0	188	36	376	0	252	44	160	140
<i>Eurydice pulchra</i>	0	236	308	120	20	32	0	368	4	12	0	0
<i>Corophium arenarium</i>	20	12	0	1604	80	132	8	4	248	352	4	180
<i>Bathyporeia sarsi</i>	0	400	148	288	0	1020	292	0	0	0	0	0
<i>Bathyporeia pilosa</i>	76	0	0	0	988	0	0	364	3316	1056	128	4

Comme depuis 2002, ce schéma évolue peu ; en 2004, *Corophium arenarium* et *Eurydice affinis* (espèces de haut niveau) sont dominantes ou présentes tandis que *Bathyporeia sarsi* et *Eurydice pulchra* (espèces de moyen niveau) sont absentes. La densité de *Scolelepis squamata* (espèces de moyen niveau) reste à peu près stable (Tabl. 7.4.).

La biomasse, faible maintenant depuis plusieurs années, n'évolue que faiblement : 0,6 g/m² contre 0,2 g/m² en 2003 (Tabl. 7.5.). Elle était de 0,6 g/m² en 2002, de 0,8 g/m² en 2001 et de 0,5 g/m² en 2000.

Points 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 classiquement rencontrées à ces niveaux : *Nephtys cirrosa*, *Haustorius arenarius* et *Portumnus latipes*. Cette année, les deux dernières espèces n'ont pas été récoltées.

Le peuplement installé au point K est très peu dense (60 ind/m²). La densité de *Nephtys cirrosa* est étonnamment faible : 16 ind/m² (Tabl. 7.4.). La présence de *Donax vittatus* à ce niveau en 2003 avait provoqué une augmentation de la biomasse 1,57 g/m² en 2003 en 2004 cette espèce n'a pas été récoltée et la biomasse n'est que de 0,3 g/m² (Tabl. 7.5.) .

Le cortège spécifique du point L est dominé par *Nephtys cirrosa* (84 ind/m²) et bizarrement *Hydrobia ulvae* (128 ind/m²) (Tabl. 7.4.). *Donax vittatus* n'a pas non plus été récolté à ce point. Il en résulte un faible biomasse (0,5 g/m²).



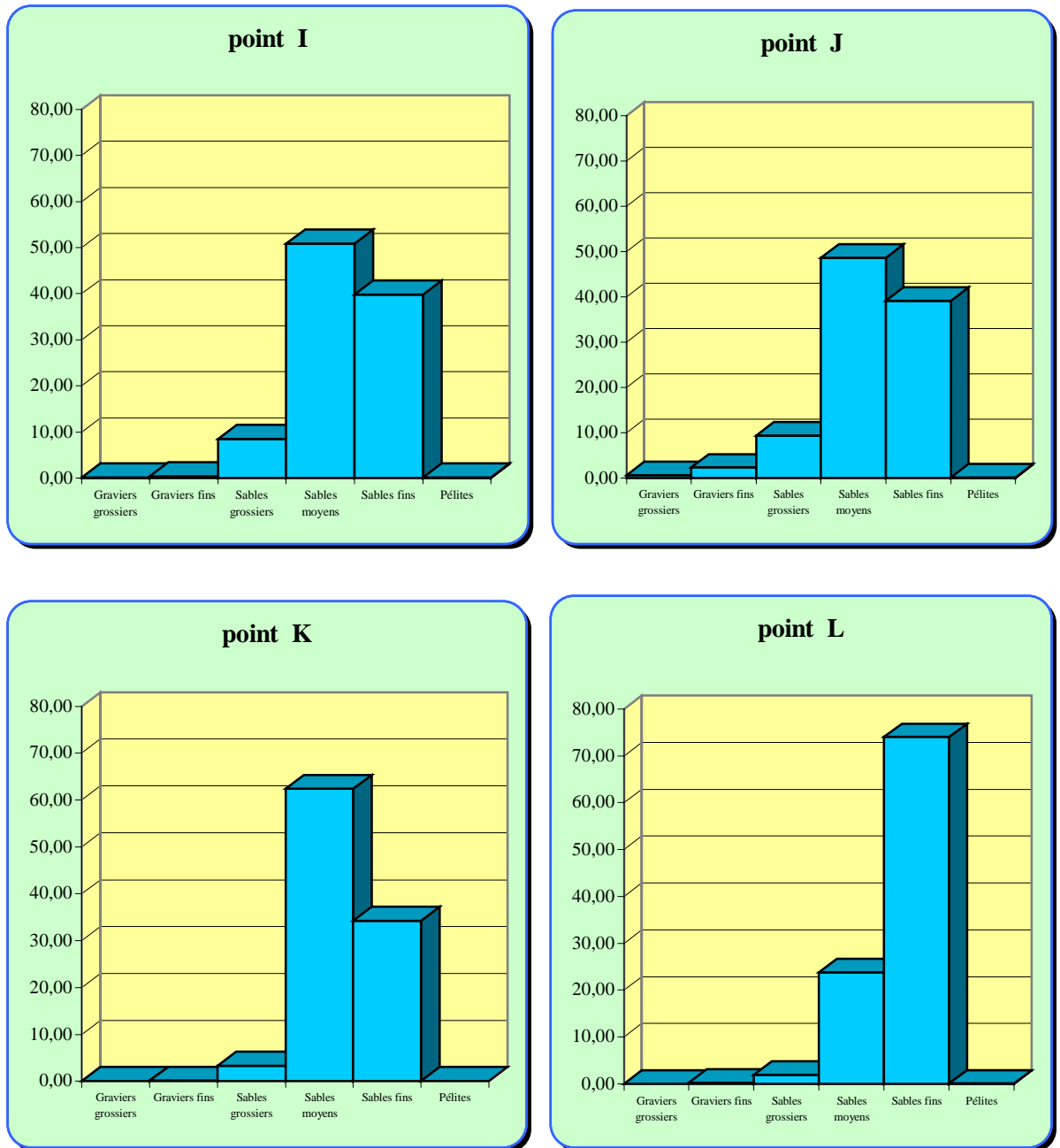


Figure 7.2. Radiale 2, Caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

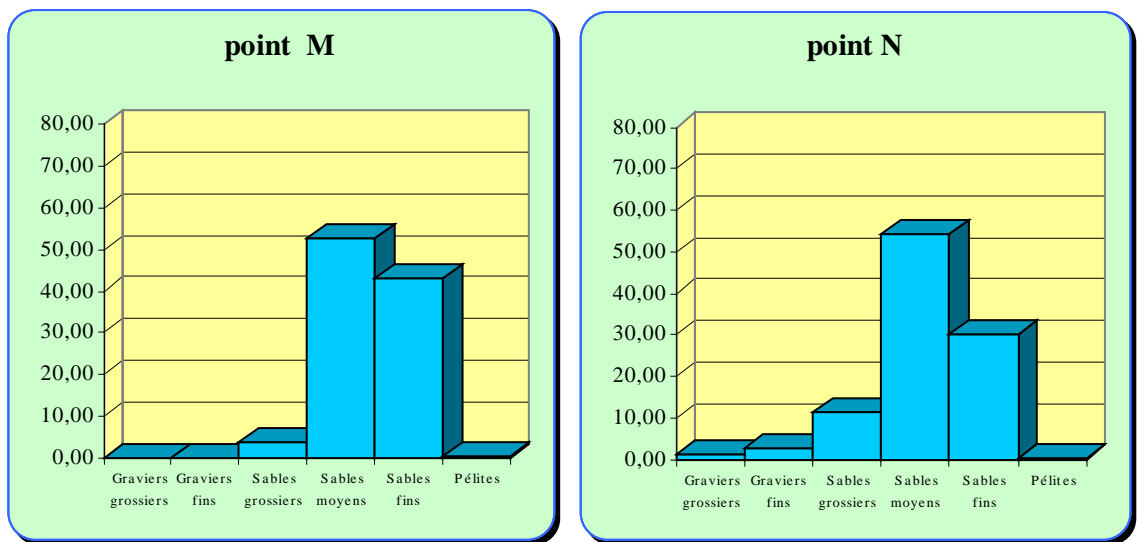


Figure 7.3. Radiale 3, Caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

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 obtenus en 2003 montraient que pour les espèces typiquement estuariennes *Hydrobia ulvae*, *Hediste diversicolor*, *Macoma balthica*, *Cerastoderma edule* et *Ophelia rathkei* les gradients de répartition sont décroissant d'ouest en est. *Corophium arenarium* présente un maximum de densité au point I (Tabl. 7.6.). Pour ce qui est d'*Enoplus brevis* et des *Enchytraeidae*, les densités sont trop faibles pour pouvoir être interprétées en matière de gradient.

La réapparition de la population de *Bathyporeia pilosa* à au point N mise en évidence en 2003 se confirme bien que la densité soit inférieure à celle de 2003. C'est à ce point que la densité de cette espèce est la plus forte (Tabl. 7.6.).

L'impact de la dessalure occasionnée par l'Aa se fait toujours sentir sur cette radiale ; cette année encore, *Hediste diversicolor* y a été récoltée au point N.

7.4. CONCLUSION SUR L'ÉVOLUTION 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 (ind/m ²)	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
<i>Ophelia rathkei</i>	4	82	55	396	115	148	9	20	16	23	461	2
<i>Enchytraeidae</i>	20	1	45	6	4	0	9	1	20	184	103	8
<i>Hediste diversicolor</i>	3	1	11	2	17	14	29	18	29	12	25	66

En 2004, l'influence de la dessalure de l'Aa semble avoir été moins forte qu'en 2003, seule la densité de *Hediste diversicolor* progresse, les densités moyennes des autres espèces estuariennes diminuent fortement.

7.4.2. Cas des Spionidés

Le principe de la séparation spatiale des populations de *Spio martinensis* et de *Pygospio elegans*, 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 2. 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 au point I. En 2001 et en 2002, les populations de spionidiens retrouvaient des répartitions diamétralement opposées et conformes à ce que l'on observait au début des années 1990.

En 2003, le schéma de répartition de *Pygospio elegans* et de *Spio martinensis* a été confirmé. En 2004, aucun *Spio martinensis* n'a été récolté dans les niveaux supérieurs de l'estran. Cette espèce n'a été récoltée qu'au point H (48 ind/m²). Néanmoins le schéma de la distribution de la population de *Pygospio elegans* se confirme. Elle est située plutôt à l'est de l'estran et en haut niveau.

Densité (ind/m ²)		1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
<i>Spio martinensis</i>	E	12	836	8	348	0	76	8	0	0	40	20	0	0
	F	12	938	4	692	0	196	36	0	0	0	8	84	0
	M	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0
	N	-	-	-	-	-	-	-	-	36	0	0	0	0
	I	0	0	0	0	0	0	186	0	0	0	0	0	0
	J	0	0	0	0	0	60	4	0	0	24	0	0	0
<i>Pygospio elegans</i>	E	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	8	0
	F	0	0	0	0	672	0	0	0	0	8	0	0	4
	M	-	-	-	-	-	-	-	-	52	124	456	264	0
	N	-	-	-	-	-	-	-	-	0	40	68	408	616
	I	424	1404	32	772	64	1144	0	60	4	3440	332	168	936
J	0	4	0	0	4	0	0	0	16	24	156	0	80	

7.4.3. Cas de la biomasse

Toute altération de la structure bionomique d'un peuplement provoque une altération de la biomasse qui peut être positive ou négative. L'arrivée d'une espèce pionnière provoquera une forte augmentation de la biomasse. L'évolution de la structure démographique (proportion des différentes cohortes) influe aussi fortement sur la biomasse.

g/m ²	1992	1993	1994	1995	1996	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
E	2,99	7,25	8,7	9,87	8,68	11,82	8,79	19,34	2,36	0,05	0,11	0,17	16,24	11,90
F	0,48	1,37	20,63	3,42	25,94	31,16	52,64	39,59	48,47	24,91	23,61	67,05	32,74	38,09
G	0,12	0,48	0,61	0,77	0,44	0,47	0,27	0,40	1,76	0,28	0,23	0,09	2,16	0,48
H	2,97	0,11	0,29	0,77	0,29	0,31	0,48	0,68	0,83	6,56	0,56	0,68	1,30	0,44
I	3,02	3,94	1,47	1,68	1,49	2,34	1,72	4,29	2,23	7,19	5,83	0,13	0,87	3,68
J	0,35	0,35	0,48	0,75	0,48	0,48	0,49	0,35	0,40	0,50	0,76	0,59	0,23	1,34
K	0,02	0,47	1,63	0,55	1,03	1,06	0,29	0,69	0,52	1,28	0,95	0,44	1,57	0,34
L	20,52	0,59	0,3	2,49	1,84	1,91	0,28	0,32	1,34	0,64	12,91	0,74	4,44	0,55
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	0,82	0,53	2,84	9,83
N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31	1,43	0,33	4,01	8,37
Moyenne estran	3,77	1,82	4,26	2,05	5,02	6,19	8,12	8,21	7,25	4,31	4,72	7,08	6,64	7,50

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

La biomasse moyenne de l'estran calculée en 2004 (7,50 g/m²) reste très proche de celles de 2003 (6,64 g/m²) et de 2002 (7,08 g/m²), elle se situe dans la fourchette haute des biomasses enregistrées sur l'estran depuis le début des études. Cette biomasse est principalement établie sur les niveaux supérieurs et moyens supérieurs de la partie ouest de l'estran (points E, F, M, et N). L'absence lors de l'échantillonnage de cette année de *Donax vittatus* entraîne une diminution de la biomasse des niveaux inférieurs.

Néanmoins la capacité de charge de la plage de Gravelines reste quasiment constante depuis 3 ans malgré les fluctuations des cortèges spécifiques. La moyenne sur les 10 dernières années augmente légèrement : 5,7 g/m² en 2002, 5,9 g/m² en 2003 et 6,5 g/m² en 2004. En 2003 nous constatons une homogénéisation de la répartition de la biomasse, il semble qu'en 2004 nous soyons revenus vers le système classique des estrans à énergie modérée dans lesquels la biomasse est plus forte dans les niveaux supérieurs grâce aux espèces euryhalines que l'on y rencontre.



7.5. ÉLÉMENTS DE CONCLUSION

Nous avons noté 2003 un retour à une situation classique. L'appauvrissement faunistique de la plage que nous avons constaté en 2002 ne s'était pas confirmé en 2003. Nous n'avons d'ailleurs pas trouvé d'explication raisonnable (granulométrie ou activité de la centrale par exemple) à l'évolution constatée.

En 2004, nous constatons un développement extraordinaire de la population de *Hydrobia ulvae*. Avec cette espèce tout se passe comme si la partie ouest de l'estran avait été le lieu d'un recrutement très important de cette espèce. Ce recrutement est de moins en moins sensible au fur et à mesure que l'on s'éloigne du point E. La biomasse individuelle moyenne croît en fonction de l'éloignement du point E. Même si la présence de jeunes recrues est attestée sur les autres points, on peut s'attendre en 2005 à une diminution de la densité de cette espèce sur ces points, sauf si une redistribution des jeunes individus de la partie ouest se produit.

Néanmoins l'estran conserve l'intégralité de ses capacités productives à moyen terme. La constance de la perturbation permet donc à ce compartiment biologique sédentaire de conserver une certaine stabilité même si des oscillations autour d'une situation moyenne sont perceptibles et récurrentes.



Tableau 7.1. Caractéristiques granulométriques du sédiment aux 10 points intertidaux

(% pondéraux)

Radiale 1	Point E	Point F	Point G	Point H
Graviers grossiers	0,10	0,82	0,28	0,37
Graviers fins	0,23	1,85	0,35	0,69
Sables grossiers	3,71	5,53	5,48	6,70
Sables moyens	67,47	51,88	54,42	44,37
Sables fins	28,41	39,83	39,45	47,81
Pélites	0,09	0,09	0,02	0,04

Radiale 2	Point I	Point J	Point K	Point L
Graviers grossiers	0,19	0,60	0,01	0,00
Graviers fins	0,45	2,29	0,09	0,22
Sables grossiers	8,48	9,31	3,30	1,92
Sables moyens	50,91	48,59	62,37	23,79
Sables fins	39,78	39,15	34,22	74,02
Pélites	0,19	0,07	0,01	0,05

Radiale 3	Point M	Point N
Graviers grossiers	0,00	1,34
Graviers fins	0,09	2,70
Sables grossiers	3,68	11,29
Sables moyens	52,52	54,38
Sables fins	43,23	30,26
Pélites	0,47	0,04

Tableau 7.2. Radiale 1, résultats bruts (nombre d'individus par 0,25 m²)

Radiale 1	Point E	Point F	Point G	Point H
Annélides Oligochètes <i>Enchytraeidae</i> sp		8		
Annélides Polychètes <i>Spio martinensis</i>				12
<i>Pygospio elegans</i>		1		
<i>Spiophanes bombyx</i>				1
<i>Scolelepis squamata</i>	6	45	19	
<i>Magelona johnstoni</i>				1
<i>Ophelia ratkhei</i>		2	1	
<i>Pholoe baltica</i>				
<i>Eteone longa</i>		1		1
<i>Hediste diversicolor</i>		66		
<i>Nephtys cirrosa</i>				18
Mollusques <i>Hydrobia ulvae</i>	13328	3030		3
<i>Macoma balthica</i>		89	1	
<i>Cerastoderma edule</i>		9		
Crustacés <i>Eurydice affinis</i>	4	20	55	
<i>Cumopsis longipes</i>			1	
<i>Bathyporeia pilosa</i>		92	135	
<i>Corophium arenarium</i>	1	20		
<i>Crangon crangon</i>		1		3
<i>Polybius pusillus</i>		9		
Larves de diptères	1	2		
TOTAL / 0,25 m²	13340	3395	573	39
TOTAL / m²	53360	13580	848	156

Tableau 7.3. Radiale 1, résultats bruts (biomasse en mg par 0,25 m²)

Radiale 1	Point E	Point F	Point G	Point H
Annélides Oligochètes <i>Enchytraeidae</i> sp		0,3		
Annélides Polychètes <i>Spio martinensis</i>				1,7
<i>Pygospio elegans</i>		0,2		
<i>Spiophanes bombyx</i>				0,1
<i>Scolelepis squamata</i>	4,7	301,4	41,2	
<i>Magelona johnstoni</i>				1,9
<i>Ophelia ratkhei</i>		0,4	0,1	
<i>Eteone longa</i>		0,3		0,2
<i>Hediste diversicolor</i>		391,9		
<i>Nephtys cirrosa</i>				66,6
Mollusques <i>Hydrobia ulvae</i>	2966,2	1693,3		2,5
<i>Macoma balthica</i>		5741,3	27,2	
<i>Cerastoderma edule</i>		1341,1		
Crustacés <i>Eurydice affinis</i>	1,5	5,5	14,9	
<i>Cumopsis longipes</i>			0,2	
<i>Bathyporeia pilosa</i>		29,1	36,4	
<i>Corophium arenarium</i>	0,5	6,6		
<i>Crangon crangon</i>		0,7		37,3
<i>Polybius pusillus</i>		9,3		
Larves de diptères	1,1	1,9		
TOTAL mg/0,25 m²	2974,0	9523,3	120,0	110,3
TOTAL g/m²	11,896	38,0932	0,480	0,4412

Tableau 7.4. Radiale 2, résultats bruts (nombre d'individus par 0,25 m²)

Radiale 2	Point I	Point J	Point K	Point L
Némertes				
Némertes spp			1	
Nématodes				
<i>Enoplus brevis</i>	10			
Annélides Oligochètes				
<i>Enchytraeidae</i> sp	3			
Annélides Polychètes				
<i>Paraonis fulgens</i>			2	
<i>Pygospio elegans</i>	234	20		
<i>Spiophanes bombyx</i>				1
<i>Scolelepis squamata</i>		6	2	
<i>Eteone longa</i>		2		1
<i>Nephtys cirrosa</i>			4	21
<i>Lanice conchilega</i>				2
Mollusques				
<i>Hydrobia ulvae</i>	219	145		32
Crustacés				
<i>Eurydice affinis</i>		35		
<i>Bathyporeia sarsi</i>			6	
<i>Bathyporeia pilosa</i>	1	1		
<i>Corophium arenarium</i>	943	45		
Insectes				
Larves de diptères		1		
TOTAL / 0,25m²	1410	255	15	58
TOTAL / m²	5640	1020	60	232

Tableau 7.5. Radiale 2, résultats bruts (biomasse en mg par 0,25 m²)

Radiale 2	Point I	Point J	Point K	Point L
Némertes				
Némertes spp			1,4	
Nématodes				
<i>Enoplus brevis</i>	0,3			
Annélides Oligochètes				
<i>Enchytraeidae</i> sp	0,2			
Annélides Polychètes				
<i>Paraonis fulgens</i>			0,4	
<i>Pygospio elegans</i>	17,7	2,9		
<i>Spiophanes bombyx</i>				0,1
<i>Scolelepis squamata</i>		1,8	0,8	
<i>Eteone longa</i>		0,4		0,3
<i>Nephtys cirrosa</i>			80,1	114,7
<i>Lanice conchilega</i>				0,4
Mollusques				
<i>Hydrobia ulvae</i>	185,4	109,9		21,4
Crustacés				
<i>Eurydice affinis</i>		9,3		
<i>Bathyporeia sarsi</i>			1,7	
<i>Bathyporeia pilosa</i>	0,3	0,3		
<i>Corophium arenarium</i>	717,1	30,7		
Insectes				
Larves de diptères		0,5		
TOTAL mg/0,25 m²	921,0	155,8	84,4	169,9
TOTAL g/m²	3,6840	0,6232	0,3376	0,5476

Tableau 7.6. Radiale 3, résultats bruts (nombre d'individus par 0,25 m²)

Radiale 3	Point M	Point N
Némertes		
<i>Amphiporus lactifloreus</i>		1
<i>Emplectonema neesi</i>		4
Nématodes		
<i>Enoplus brevis</i>		5
Annélides Oligochètes		
<i>Enchytraeidae</i>		9
Annélides Polychètes		
<i>Pygospio elegans</i>		154
<i>Scolelepis squamata</i>	1	32
<i>Eteone longa</i>		2
<i>Hediste diversicolor</i>		6
Mollusques		
<i>Hydrobia ulvae</i>	1802	1687
Crustacés		
<i>Eurydice affinis</i>	6	19
<i>Bathyporeia pilosa</i>		116
<i>Corophium arenarium</i>	8	24
<i>Polybius pusillus</i>		2
Insectes		
larves de diptères		1
TOTAL / 0,25 m²	1817	2062
TOTAL / m²	7268	8248

Tableau 7.7. Radiale 3, résultats bruts (biomasse en mg par 0,25 m²)

Radiale 3	Point M	Point N
Némertes		
<i>Amphiporus lactifloreus</i>		0,1
<i>Emplectonema neesi</i>		3,7
Nématodes		
<i>Enoplus brevis</i>		0,1
Annélides Oligochètes		
<i>Enchytraeidae</i>		0,3
Annélides Polychètes		
<i>Pygospio elegans</i>		10,5
<i>Scolelepis squamata</i>	0,7	14,6
<i>Eteone longa</i>		0,4
<i>Hediste diversicolor</i>		31,4
Mollusques		
<i>Hydrobia ulvae</i>	2449,3	1974,4
Crustacés		
<i>Eurydice affinis</i>	2,2	6,2
<i>Bathyporeia pilosa</i>		35,0
<i>Corophium arenarium</i>	4,5	12,4
<i>Polybius pusillus</i>		2,7
Insectes		
larves de diptères		0,6
TOTAL mg/0,25 m²	2456,7	2092,4
TOTAL g/m²	9,8268	8,3696

8. LE DOMAINE BENTHIQUE SUBTIDAL

Auteurs : Dewarumez J.-M. & Luczak C.

Collaborateur : Menu D.





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 s'effectuent depuis 1976 à partir du point C (peuplement potentiellement perturbé par le fonctionnement de la centrale) et du point B (peuplement non perturbé). La comparaison de l'évolution des peuplements installés à ces deux points 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 en raison 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, le point C est soumis aux mêmes recrutements que le point 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 points, la population de *Ensis directus* ne s'est pas maintenue au point C du fait d'un sédiment inapproprié, tandis qu'au point B les conditions ont été favorables au maintien des recrues.

Le peuplement à *Abra alba* est particulièrement productif. La biomasse a déjà été proche de 700 g/m² (poids sec libre de cendres).

8.2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Deux points, l'un impacté (point C) et l'autre non impacté (point B) sont échantillonnés à chaque saison. L'échantillonnage consiste à effectuer 10 prélèvements à la benne Van Veen (0,1 m²) correspondant à 1 m² de surface échantillonnée pour les études faunistiques. Un 11^e échantillon est prélevé aux fins d'analyses granulométriques. Le sédiment est tamisé sur une maille circulaire de 1 mm. La faune est identifiée autant que possible au niveau spécifique.

Nous employons depuis 1996 la méthode du poids sec libre de cendres pour la mesure de la biomasse.

Les quatre campagnes ont été effectuées les 3 mars, 16 avril, 1^{er} juin et 16 septembre 2004.

8.3. RÉSULTATS

8.3.1. Analyses granulométriques

L'ensemble des résultats des analyses granulométriques est présenté dans le tableau 8.1 et sur les figures 8.1. et 8.2.

Point B

Une altération sédimentologique a été mise en évidence au point 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 restait comprise entre 1 et 3 %. En 1999, le sédiment s'est



considérablement envasé, la teneur en pélites variant entre 10 et 36 %. En 2000, le sédiment est resté fortement envasé (de 6,7 à 11,3 %). Le cycle habituel de pélites semblait aussi s'être inversé : les teneurs les plus fortes étaient rencontrées en hiver et au printemps. En 2001, le schéma était identique : teneurs en pélites de 5,6 à 14,5 % et cycle inversé. En 2002, le schéma classique (teneurs en pélites maximales en été - environ 9 % - et minimales en hiver et au printemps - de 2 à 5 %) semblait se remettre en place. Le sédiment était dominé par les sables fins et moyens (89 à 94 % du sédiment), la part d'éléments fins (sables moyens + sables fins + pélites) représentant entre 98,5 et 99,5 % du sédiment. Les résultats de 2003 confirment la remise en place du cycle : la teneur en pélites est maximale au cours de la période printemps-été (7,67 à 9,57 %) et minimale en automne-hiver (environ 5,5 %). Le sédiment est généralement dominé par les sables fins et moyens (81 à 93 % du sédiment). Nous avons simplement noté en 2003 un artefact lié à la présence de très nombreux tubes vides de *Lanice conchilega* qui ont relargué dans le milieu les éléments grossiers qui ont servi à élaborer leur tube.

En 2004 le schéma est identique : la teneur maximum du sédiment en pélites survient en printemps-été (15,5 % pondéral) et le minimum est hivernal (3,8 %). Le sédiment est largement dominé par les sables fins (plus de 56 %) et la fraction fine du sédiment (sables moyens + sables fins + pélites) ne représente jamais moins de 93 % du poids total du sédiment. Il faut simplement signaler que la teneur en pélites est légèrement supérieure à ce que nous avons pu observer les années précédentes (11 à 15,5 %).

Point C

Comme en 2003, on ne note pas cette année d'augmentation transitoire de la fraction grossière du sédiment (sables grossiers) en période hivernale. Le sédiment du point C reste dominé par les sables moyens et fins. Ces deux classes représentent au minimum 97 % du poids total du sédiment. En 2003 on avait assisté à une bascule du sédiment vers des aspects plus grossiers : sables fins dominants en février et en juin et sables moyens dominants en juillet et en octobre. Nous estimions que cette bascule était en fait artificielle, en fait due au passage de la classe modale de [0,16-0,2 mm] à [0,2-0,25 mm]. Cette augmentation de la médiane se confirme en 2004, les sables moyens sont dominants pendant toute l'année (entre 60 et 87 %). Le sédiment est totalement dépourvu de pélites (maximum 0,01 %). Il est fort probable que cette modification qui se confirme sur le court terme soit lié à une altération courantologique qui peut impliquer soit la centrale, soit les conditions générales de circulation des masses d'eaux.



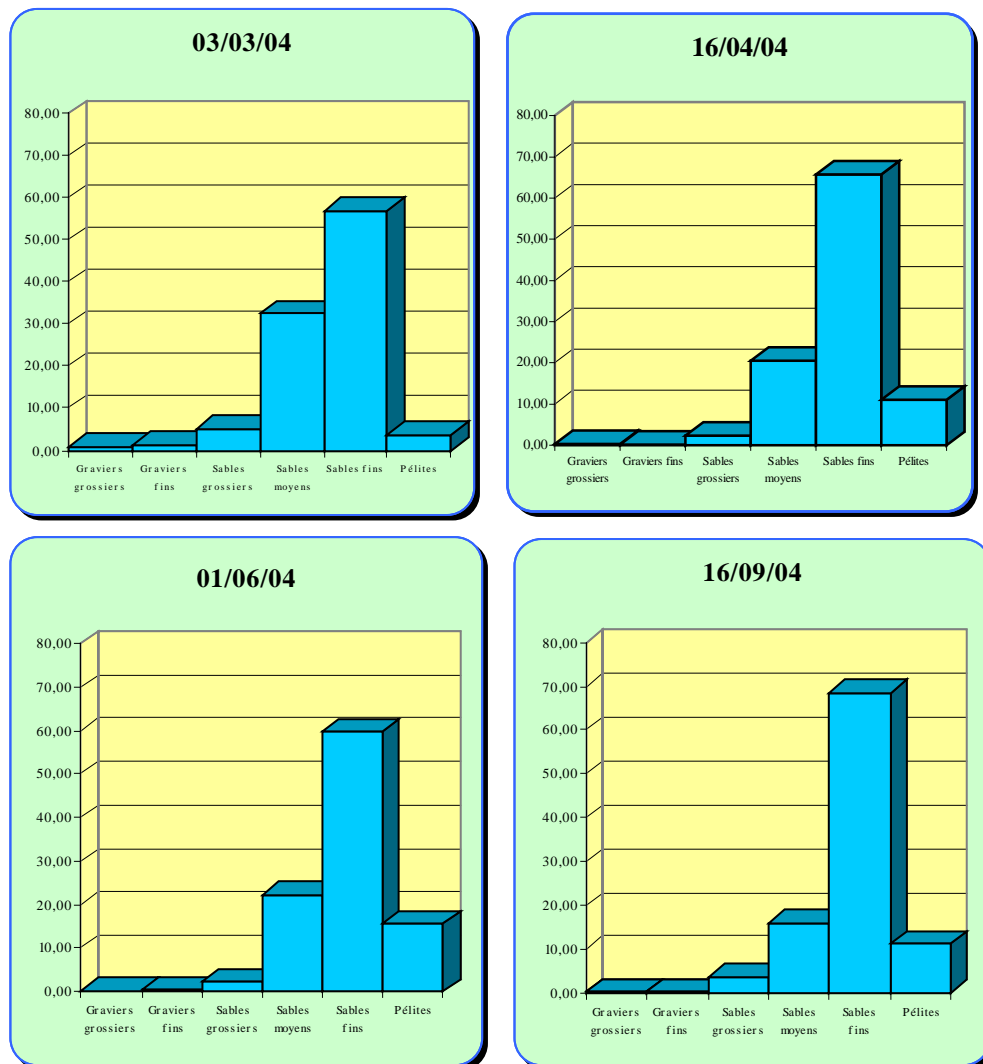


Figure 8.1. Point B, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)



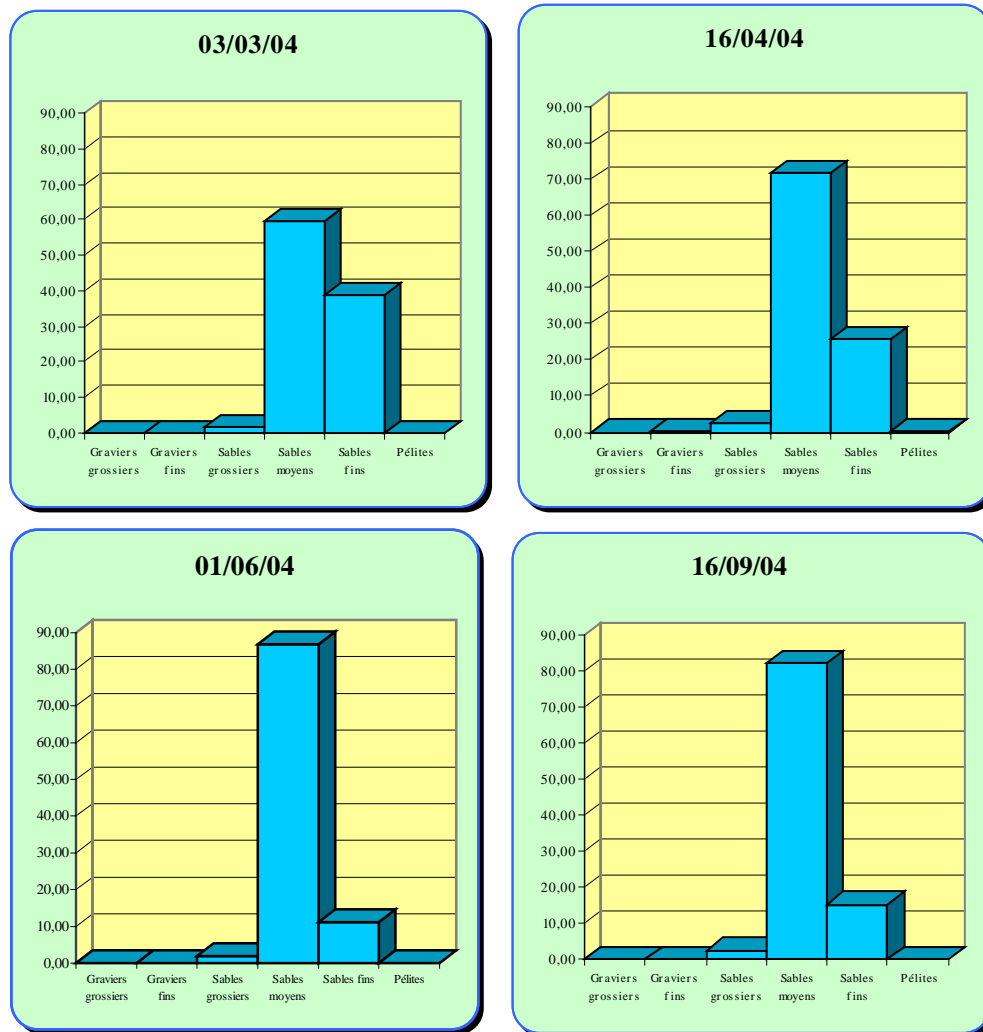


Figure 8.2. Point C, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)



8.3.2. Composition bionomique

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

8.3.2.1. Point B

L'analyse faunistique a permis de recenser, en 2004, 74 taxons différents au point B (67 taxons avaient été récoltés au point B en 2003 et 62 en 2002). Ils se répartissent comme suit :

- 2 Cnidaires
- 3 Némertes
- 1 Nématode
- 31 Annélides Polychètes
 - 17 sédentaires
 - 14 errantes
- 13 Mollusques
 - 2 Gastéropodes
 - 11 Bivalves
- 19 Crustacés
 - 2 Cumacés
 - 1 Mysidacé
 - 10 Amphipodes
 - 5 Décapodes
 - 1 Tanaidacé
- 3 Echinodermes Ophiurides
- 1 Echinoderme Echinoide
- 1 poisson

Ces 74 taxons représentent 12159 individus récoltés. La densité totale était de 23681 en 2003 et 17095 au point B en 2002.

8.3.2.2. Point C

L'analyse faunistique a permis de recenser, en 2004, 38 taxons différents au point C contre 29 en 2003 et 26 en 2002. Ils se répartissent comme suit :

- 1 Cnidaire
- 2 Némertes
- 1 Archiannélide
- 10 Annélides Polychètes
 - 5 sédentaires
 - 5 errantes
- 6 Mollusques
 - 1 Gastéropode
 - 5 Bivalves
- 16 Crustacés
 - 2 Cumacés



- 1 Tanaidacé
- 1 Mysidacé
- 6 Amphipodes
- 6 Décapodes
- 1 Echinoderme Ophiuride
- 1 Poisson

Ces 38 taxons représentent 715 individus récoltés, la densité totale était de 409 en 2003 et de 466 en 2002. Cet accroissement de la richesse spécifique modifie légèrement la domination des espèces. Ainsi, l'espèce dominante reste *Nephtys cirrosa* : 45 % des individus récoltés (72 % en 2003) mais plusieurs espèces sont présentes en quantité relativement importante : *Spio martinensis* (10%), *Spiophanes bombyx* (10 %), *Lanice conchilega* (8 %) et *Portumnus latipes* (6 %). Mais ces espèces sont présentes de manière sporadique sur le site.

8.3.3. Résultats

8.3.3.1. Point B

Ce point est représentatif du peuplement à *Abra alba*. Il est situé en dehors de l'impact courantologique de la centrale. C'est en ce point 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 modifié l'organisation du peuplement. Mais, depuis quelques années, il semble apparaître 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 pour certaines espèces

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. Il est à noter la disparition du couteau *Ensis arcuatus* depuis 1991 dans les prélèvements de la zone. Cette espèce n'a toujours pas été observée en 2004.

En **mars 2004**, le peuplement est normalement à l'étiage hivernal. La richesse spécifique est cependant plus élevée que les années antérieures avec **44 espèces** (contre 41 en 2003 et 37 en 2002) et la densité globale est légèrement plus importante que les années antérieures, avec **1248 individus/m²**, ce qui est encore loin des 4110 individus/m² obtenus en février 2003 mais supérieur aux 889 de 2002 (qui était le chiffre le plus important de 1999 à 2002). Le peuplement est dominé par *Abra alba* (457 individus/m²), *Nephtys hombergii* (186 individus/m²), *Ensis directus* (61 individus/m²), *Mysella bidentata* (56 individus/m²), *Tellina fabula* (51 individus/m²) et *Nassarius reticulatus* (47 individus/m²). La biomasse globale de **18,7 g/m²** est du même ordre de grandeur que celle mesurée à la même période en 2002 (12,1 g/m²) mais se situe bien en deçà de la norme pour la saison par rapport aux années antérieures avec 54,8 g/m² en 2003, 62,2 g/m² en 1999, 53,7 g/m² en 2000 et 51,8 g/m² en 2001. Cette biomasse est due principalement à quatre espèces : *Abra alba* (5,7 g/m²), *Ensis directus* (4,1 g/m²), *Nassarius reticulatus* (2,6 g/m²) et *Venerupis*



pullastra (1,3 g/m²). Ces quatre espèces représentent 73,4 % de la biomasse totale. A noter que la biomasse des *Ensis directus* « cassés » est nettement sous-estimée dans la mesure où ce ne sont que les parties antérieures qui sont prélevées. Ce Solenidae est donc sans doute l'espèce contribuant le plus à la biomasse devant *Abra alba*.

En **avril 2004**, la richesse spécifique augmente légèrement pour atteindre **48 espèces**. La densité globale augmente très peu avec **1350 individus/m²**. Une densité importante est observée pour *Mysella bidentata* (424 individus/m²), *Notomastus latericeus* (149 individus/m²), *Abra alba* (144 individus/m²) et *Nephtys hombergii* (92 individus/m²). A noter la présence en densité assez importantes de *Nématodes sp.* (119 individus/m²) et de *Nassarius reticulatus* (65 individus/m²). La biomasse est plus importante qu'en février avec **29,5 g/m²** mais elle reste faible par rapport aux années antérieures. Cette biomasse est essentiellement constituée de *Ensis directus* (9,0 g/m²), suivi de *Nassarius reticulatus* (7,3 g/m²), *Abra alba* (3,0 g/m²) et *Notomastus latericeus* (2,0 g/m²). La biomasse élevée de *Polybius holsatus* (2,6 g/m²) est uniquement due à la présence d'un individu de grande taille. Toutes ces espèces représentent ainsi plus de 81 % de la biomasse totale ; avec *Nephtys hombergii* (1,5 g/m²), c'est 86 % de la biomasse du prélèvement qui est atteinte.

Au mois de **juin 2004**, la richesse spécifique augmente pour atteindre les **53 espèces**. La densité augmente notablement avec un total de **3789 individus/m²**. Les espèces les plus abondantes sont : *Lanice conchilega* (1404 individus/m²) avec uniquement de jeunes recrues, *Abra alba* (667 individus/m²) représentée par des « adultes » et une nouvelle cohorte, *Mysella bidentata* (428 individus/m²), *Heteromastus filiformis* (151 individus/m²), *Nephtys hombergii* (140 individus/m²) avec de nombreux « jeunes individus » et *Eumida sanguinea* (108 individus/m²) constituée uniquement d'individus de petites taille récemment recrutés. Ces six espèces représentent 76,5 % de l'ensemble des organismes récoltés à cette date. Les densités de *Nématodes sp.*, *Phyllodoce mucosa* et *Chaetozone setosa* sont également à un niveau élevé avec respectivement 100, 82 et 80 individus/m². La biomasse globale n'augmente quasiment pas par rapport à avril avec **30,9 g/m²**. L'espèce qui y contribue le plus est *Ensis directus* (8,4 g/m²). Suivent ensuite *Nassarius reticulatus*, *Abra alba* et *Lanice conchilega* avec respectivement 5,2 , 5,1 et 4,2 g/m². Ces quatre espèces représentent alors 74% de la biomasse totale.

En **septembre 2004**, la richesse spécifique augmente encore pour atteindre **58 espèces** de même que la densité globale avec **5772 individus/m²**. Cette augmentation est due à un meilleur échantillonnage des espèces qui étaient de petites taille en juin car récemment recrutées (*Lanice conchilega*, *Abra alba*, *Phyllodoce mucosa*, *Heteromastus filiformis*), mais surtout grâce à de nouveaux recrutements : *Ophiura albida*, *Leucothoe incisa*, *Owenia fusiformis*, et *Notomastus latericeus*. Les espèces les plus abondantes sont : les « jeunes recrues » d'*Ophiura albida* (1550 individus/m²), *Phyllodoce mucosa* (805 individus/m²), *Abra alba* (714 individus/m²), *Mysella bidentata* (675 individus/m²), *Chaetozone setosa* (401 individus/m²) et *Notomastus latericeus* (353 individus/m²). A noter la quasi-disparition de *Lanice conchilega* qui avait pourtant recruté en juin mais qui n'a pu se maintenir.

La biomasse globale augmente par rapport à celle de juin avec **51,7 g/m²**. Les principales espèces constituant cette biomasse sont : *Ensis directus* (19,3 g/m²), *Abra alba* (9,0 g/m²) et *Nassarius reticulatus* (8,5 g/m²). Elles représentent 71,3 % de la biomasse totale.



8.3.3.2. Point C

Le point 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 au point B peuvent être observés, en résonance, de manière atténuée au point C. Ce phénomène a déjà été observé plusieurs fois, par exemple en 1991 avec *Ensis directus* et en 2000 avec *Lanice conchilega*.

Les résultats enregistrés en 2004 au point 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 ce point, même si cette année la densité moyenne de cette espèce est en forte diminution par rapport à 2003. Elle représente 45 % (contre 72 % en 2003) des individus récoltés et 43 % (contre 51 % en 2003) de la biomasse à ce point en 2004.

La campagne de **mars 2004** donne des résultats similaires à ce que l'on peut rencontrer habituellement dans les conditions hivernales. La densité est très faible (**58 individus/m²**) bien inférieure à celle des années précédentes (122 individus/m² en 2003, 106 individus/m² en 2002 et 108 individus/m² en 2001). *Nephtys cirrosa* représente 74 % des individus récoltés (84 % en 2003). La richesse spécifique est très faible : 8 espèces (11 espèces en 2003, 12 espèces en 2002 et 9 espèces en 2001), ce qui confirme les observations de l'automne 2003, la richesse spécifique n'était alors que de 8 espèces. Le peuplement est dominé par *Nephtys cirrosa* (43 individus/m²), *Scolelepis squamata* (6 individus/m²) et par *Portumnus latipes* (4 individus/m²). Ces trois espèces représentent 91 % de la densité globale. La biomasse est de l'ordre de celle de 2002 : 0,4 g/m² (1,2 g/m² en 2003 et 0,4 g/m² en 2002). Les espèces le plus contributives sont *Nephtys cirrosa* (0,28 g/m², soit 64 %) et *Portumnus latipes* (0,2 g/m², soit 34 %), ces deux espèces représentent 97 % de la biomasse totale.

En **avril 2004** le peuplement se diversifie, la richesse spécifique augmente (**17 espèces**), tout comme la densité globale diminue (**132 individus/m²**) ; elle est plus forte qu'en 2003 (97 individus/m²) et un peu inférieure à celle de 2002 (159 individus/m²). On ne note pas cette année de phénomène de résonance du recrutement de *Lanice conchilega* (1 juvénile récolté). Le peuplement est dominé par trois espèces : *Nephtys cirrosa* avec 75 individus/m² (63 individus/m² en 2003 et 60 individus/m² en 2002) et *Corophium sextonae* (28 individus/m²). La récolte de cette espèce est surprenante, les individus récoltés étaient de petite taille, cela correspond à des jeunes recrues. Le recrutement de cette espèce n'a pas été mis en évidence au point B. Cette espèce n'a plus été récoltée qu'à 3 exemplaires pendant le reste de l'étude 2004. La biomasse est plus forte qu'en période hivernale, mais plus faible qu'en 2002 et 2003 (respectivement 1,0 g/m² et 2,1 g/m²). Les espèces qui contribuent le plus à l'élaboration de la biomasse sont *Portumnus latipes* (0,1 g/m² contre 1,3 g/m² en 2003 et 0,3 g/m² en 2002) et *Nephtys cirrosa* (0,6 g/m² contre 0,6 g/m² en 2003 et 0,5 g/m² en 2002). Ces deux espèces représentent 95 % de la biomasse totale.



En **juin 2004**, la richesse spécifique augmente encore (**21 espèces**), tout comme la densité globale (**328 individus/m²**). L'espèce dominante reste *Nephtys cirrosa* (107 individus/m²). En 2003 la densité de cette espèce était de 83 individus/m². Trois espèces semblent avoir profité d'un bon recrutement, les individus récoltés sont tous de petite taille. Il s'agit de *Spiophanes bombyx* (72 individus/m²), *Lanice conchilega* (57 individus/m²) et *Spio martinensis* (55 individus/m²). Seules les recrues de *Spio martinensis* semblent se maintenir à l'automne. La biomasse est plus forte que celle du mois d'avril : 1,6 g/m², elle était de 1,4 g/m² à la même période en 2003. Les espèces à forte biomasse sont *Nephtys cirrosa* (0,9 g/m²), *Sagartia troglodytes* (0,4 g/m²) et *Ammodytes tobianus* (0,2 g/m²). Ces trois espèces représentent 93 % de la biomasse totale.

La campagne de **septembre 2004** met en évidence une forte diminution de la densité de la communauté établie au point C par rapport aux conditions estivales : **197 individus/m²** (86 individus/m² en 2003). Par contre la richesse spécifique reste à un niveau élevé (19 espèces). La population de *Nephtys cirrosa* reste dense (99 individus/m²). A la même période en 2003 la densité de cette espèce avait fortement diminué (43 individus/m²) ce qui avait été confirmé par le prélèvement hivernal de 2004. Les autres espèces importantes sont *Portumnus latipes* (38 individus/m²), *Spio martinensis* dont les recrues se sont maintenues après l'été (17 individus/m²), *Scolelepis squamata* (11 individus/m²) et *Gastrosaccus spinifer* (8 individus/m²). *Portumnus latipes* est l'espèce la plus contributive à l'élaboration de la biomasse (3,5 g/m²) avec *Nephtys cirrosa* (1,2 g/m²). Ces deux espèces représentent la quasi-totalité de la biomasse (99 %).

Le déficit en densité et en biomasse au point C par rapport au point témoin B reste considérable. L'impact de la centrale sur les peuplements benthiques reste très fort dans le champ proche de la centrale. Il provoque un déficit de 94,2 % de la densité (densité moyenne de 179 individus/m² au point C contre 3040 individus/m² au point B) et de 94,3 % de la biomasse (1,3 g/m² au point C contre 32,7 g/m² au point B).

8.4. ÉTUDE DES POPULATIONS D' *ABRA ALBA* ET DE *TELLINA FABULA*

8.4.1. Étude de la population de *Abra alba*

La population d'*Abra alba* est connue pour ses fluctuations brutales, liées à son caractère pionnier. Ces fluctuations peuvent être attribuées au recrutement ou à des migrations passives. La dynamique de la population de cette espèce est basée sur un cycle de 7 à 8 ans. Cette espèce a présenté en 1998 et 1999 de bons recrutements (1249 individus/m² et 1068 individus/m²) alors que depuis 1991 seuls deux recrutements importants avaient été mis en évidence sans maintien de la population. En 2000, la population s'était maintenue à un niveau de densité de 700 à 800 individus/m² puis après une forte régression jusqu'à l'automne 2001, la densité, grâce aux nouvelles recrues, avait atteint 762 individus/m² pour diminuer à nouveau durant l'hiver 2002 et atteindre 611 individus/m² à l'automne de la même année.

En 2003, la population diminue de nouveau durant la période hivernale pour atteindre seulement 139 individus/m² en juillet. Un important recrutement est cependant noté au début de l'automne et les densités atteignent 1116 individus/m² en octobre. Une telle abondance n'avait pas été atteinte depuis septembre 1999.

Pour 2004, le cycle habituel apparaît : diminution des densités en fin d'hiver - début de printemps (144 individus/m² en avril). Un recrutement relativement important (bien que plus faible qu'en 2003) a lieu en juin (667 individus/m²) et se maintient à l'entrée de l'automne (714 individus/m² en septembre). La densité plus faible en juin est à relier à un échantillonnage incomplet des nombreux individus de petite taille (1 à 4 mm) de la cohorte récemment recrutée.



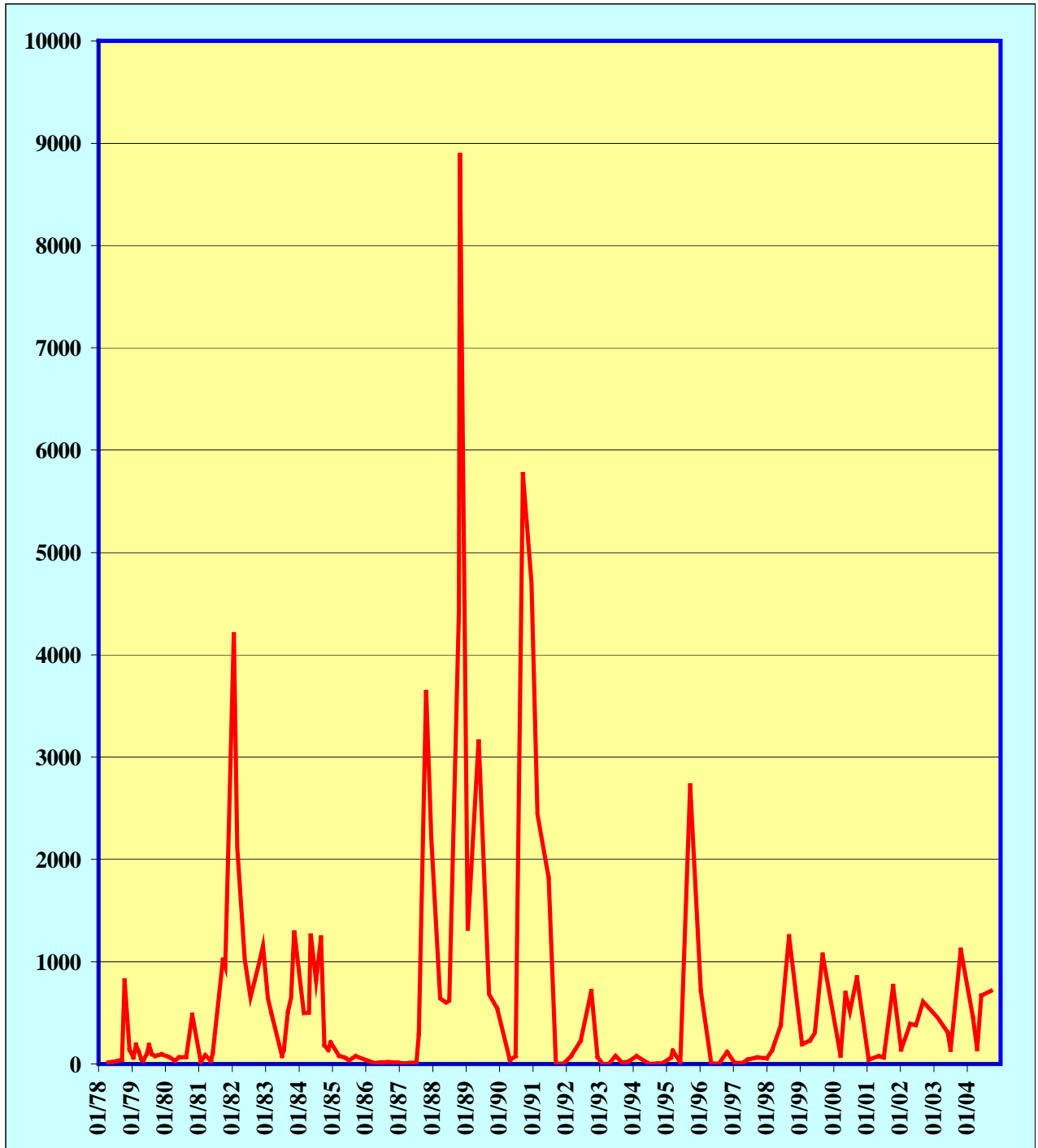


Figure 8.3. *Abra alba*, évolution de la densité (par m²) de la population entre 1978 et 2004



8.4.2. Étude de la population de *Tellina fabula*

Cette espèce n'est pas une espèce pionnière et sa densité habituelle n'atteint jamais celle d'*Abra alba*. La diminution drastique de ses densités coïncide avec l'arrivée du couteau américain *Ensis directus* en 1991. La densité de cette espèce était restée à un niveau très faible en 1997 et avait bénéficié en 1998 et 1999 de recrutements légèrement meilleurs (66 individus/m² en 1998 et 83 individus/m² en 1999). Le recrutement ne s'était pas maintenu au cours des deux années suivantes. En 2000, la population est restée à un niveau faible toute l'année, et inférieure à 50 individus/m². En 2001, les densités étaient encore inférieures à celles de 2000 et la population était constituée de très petits individus. En 2002, le scénario était assez proche de celui de 2001, avec un maximum de 43 individus/m² en juin. Cette année encore, la quasi-totalité des individus était de petite taille. Une fois de plus, tout se passe donc comme si les recrues (en nombre limité d'ailleurs) ne trouvaient pas localement les conditions nécessaires à leur survie au-delà de quelques semaines à quelques mois.

En effet, avec 97 individus/m² en octobre 2003, densité la plus élevée depuis 1991, la question se posait de la possibilité d'une ré-implantation de l'espèce de façon plus importante sur le site. Les chiffres de 2004 démontrent qu'il n'en est rien, le même scénario que les années antérieures se déroule : recrutement de jeunes individus au printemps-été (70 individus/m² en juin 2004) qui ne se maintiennent pas en densité importante en septembre (36 individus/m²).



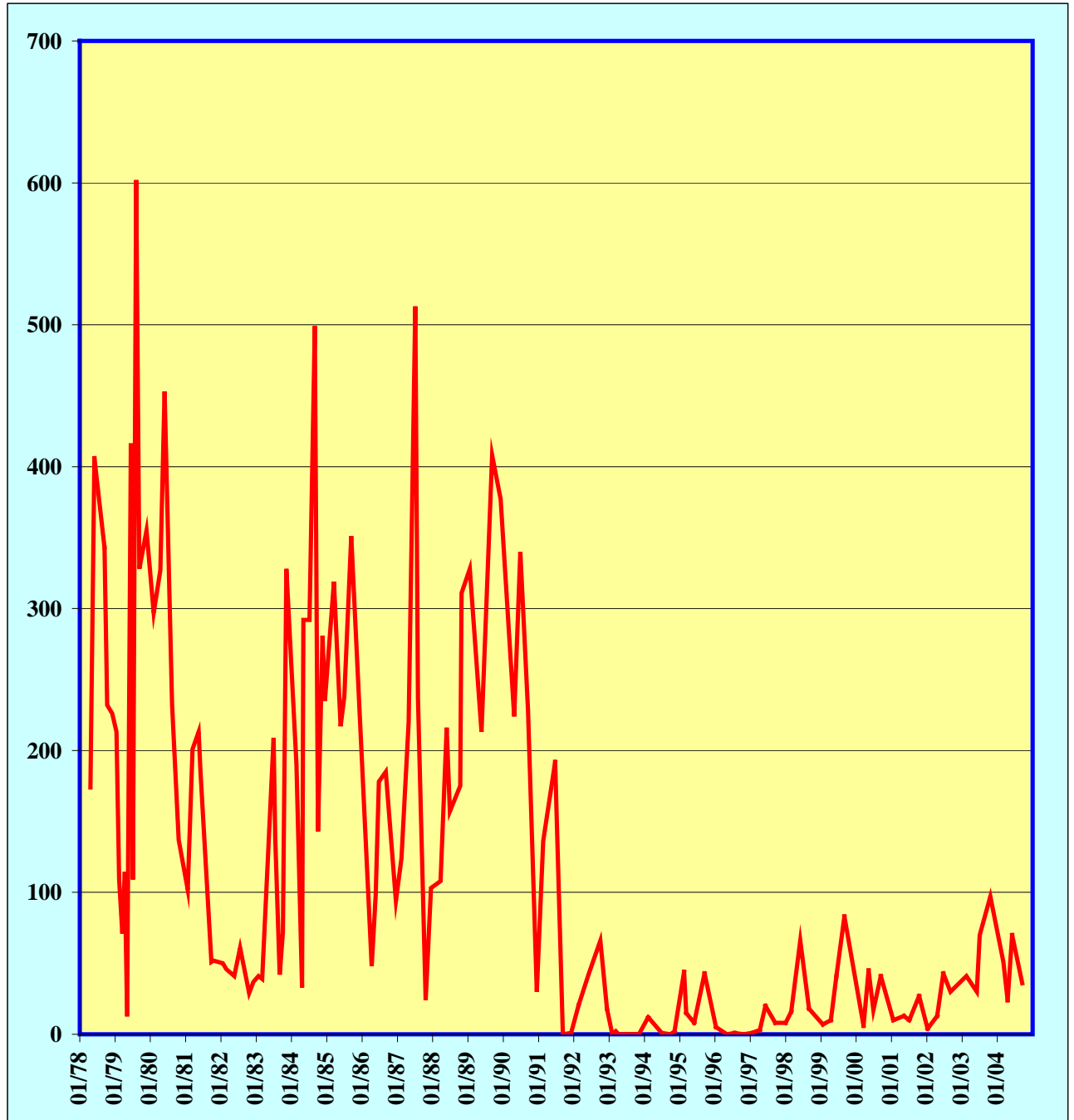


Figure 8.4. *Tellina fabula*, évolution de la densité (par m²) de la population entre 1978 et 2003



8.5. ÉLÉMENTS DE CONCLUSION

Plusieurs recrutements importants ont été observés au point B : *Lanice conchilega*, *Eumida sanguinea* et *Pectinaria koreni* au printemps et au début de l'été, *Phyllodoce mucosa*, *Notomastus latericeus*, *Owenia fusiformis*, *Chaetozone setosa*, *Mysella bidentata*, *Leucothoe incisa* et *Ophiura albida* en fin d'été début d'automne. Comme en 2001, 2002 et 2003, le recrutement d'*Abra alba* n'a été perceptible qu'en automne. Les amphipodes si l'on excepte *Leucothoe incisa* n'ont pas bénéficié de recrutements importants comme en 2003. Sur le plan global, la densité moyenne (3040 individus/m²) revient au niveau de 2001 après trois années d'augmentation (3123 individus/m² en 2001, 4274 en 2002 et 5920 en 2003). La biomasse moyenne est très faible cette année surtout en raison du faible recrutement de *Lanice conchilega* 30,71 g/m² (130,96 g/m² en 2001, 55,05 g/m² en 2002 soit - 58,0 % et 128,29 g/m² en 2003). La richesse spécifique continue d'augmenter ; elle atteint 73 espèces en 2004 (52 espèces en 2001, 62 espèces en 2002 et 67 en 2003).

On n'a pas observé en 2004, au point C, de résonance du recrutement du point B en ce qui concerne *Lanice conchilega* (15 post-larves/m²). Sur le plan global on note une augmentation de la densité moyenne : 179 individus/m² (133 individus/m² en 2001 117 individus/m² en 2002 et 102 individus/m² en 2003) et de la biomasse moyenne : (0,84 g/m² en 2001, 0,90 g/m² en 2002 et 1,33 g/m² en 2003). La richesse spécifique augmente également : 38 espèces, (31 espèces en 2001, 26 espèces en 2002 et 29 espèces en 2003). Les peuplements qui sont établis à ce point sont toujours du type sabulicole et le déficit en densité et biomasse est toujours considérable par rapport au point B : respectivement - 94,2 % et - 94,3 %. Ce déficit est moins important que les années précédentes (il dépassait 99 %), ceci est conjoncturel et résulte de la baisse des effectifs et de la biomasse au point B.

Cependant, il faut rappeler que le peuplement installé au point C est tout à fait semblable, tant au point de vue de la composition faunistique, qu'en ce qui concerne la densité et la biomasse globales, à ceux établis sur les sédiments similaires dans la région. De plus, la zone de déficit est localisée au débouché du canal de rejet et ne s'étend pas au-delà de quelques centaines de mètres. Enfin, ce déficit est uniquement dû à l'action de la courantologie et que rien ne permet de penser que l'on puisse être en présence d'un autre impact du rejet.

Nous signalions en 2003 que la diminution des paramètres bionomiques (densité et biomasse globales, richesse spécifique) mesurée au point B en automne pouvait peut-être liée aux températures élevées constatées durant l'été 2003. Cette diminution était d'ailleurs confirmée par un prélèvement surnuméraire réalisé en novembre 2003. Les résultats enregistrés en 2004 vont également dans le même sens, même si la richesse spécifique augmente.

La population d'*Abra alba* présente comme en 2002 et en 2003 un recrutement automnal net. La densité de *Tellina fabula* reste à un niveau faible toute l'année.



Tableau 8.1. Caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

Point B	3 mars 2004	16 avril 2004	1 juin 2004	16 sept 2004
Graviers grossiers	0,72	0,30	0,13	0,26
Graviers fins	1,27	0,13	0,25	0,30
Sables grossiers	4,98	2,28	2,18	3,55
Sables moyens	32,45	20,48	22,24	15,96
Sables fins	56,78	65,73	59,73	68,62
Pélites	3,80	11,08	15,47	11,31

Point C	3 mars 2004	16 avril 2004	1 juin 2004	16 sept 2004
Graviers grossiers	0,00	0,00	0,00	0,07
Graviers fins	0,05	0,07	0,06	0,10
Sables grossiers	1,53	2,49	1,91	2,44
Sables moyens	59,81	71,73	86,85	82,21
Sables fins	38,59	25,71	11,18	15,17
Pélites	0,01	0,00	0,00	0,01

Tableau 8.2. Point B, nombre d'individus par m²

	03-mars-04	16-avr-04	01-juin-04	16-sept-04
Cnidaires				
<i>Cerianthus llyodii</i>	2	0	1	1
<i>Sagartia troglodytes</i>	1	0	4	1
Annélides Polychètes				
<i>Capitella capitata</i>	0	1	3	14
<i>Heteromastus filiformis</i>	4	24	151	236
<i>Notomastus latericeus</i>	13	149	43	353
<i>Ophelia borealis</i>	1	0	0	1
<i>Travisia forbesii</i>	0	1	0	0
<i>Scoloplos armiger</i>	5	0	3	29
<i>Glycera alba</i>	15	16	5	21
<i>Glycera celtica</i>	0	0	0	2
<i>Goniadella bobretzkii</i>	0	0	1	0
<i>Psamathe fusca</i>	1	2	3	1
<i>Nephtys cirrosa</i>	7	0	1	0
<i>Nephtys hombergii</i>	186	92	140	71
<i>Nephtys longosetosa</i>	1	0	2	0
<i>Eunereis longissima</i>	1	1	2	30
<i>Pholoë baltica</i>	30	10	28	26
<i>Eteone longa</i>	0	2	6	0
<i>Eteone picta</i>	4	0	1	1
<i>Eumida sanguinea</i>	2	0	108	15
<i>Phyllodoce mucosa</i>	11	0	82	805
<i>Malmgrenia arenicolae</i>	0	8	2	1
<i>Malmgrenia glabra</i>	0	4	25	6
<i>Sigalion mathildae</i>	0	2	0	0
<i>Sthenelais boa</i>	10	3	4	16
<i>Syllidae sp.</i>	0	0	1	2
<i>Owenia fusiformis</i>	28	13	19	118
<i>Magelona johnstoni</i>	33	17	38	3
<i>Spio martinensis</i>	15	24	17	1
<i>Spiophanes bombyx</i>	29	11	68	7
<i>Chaetozone setosa</i>	40	29	80	401
<i>Pectinaria koreni</i>	1	1	71	85
<i>Lanice conchilega</i>	0	0	1404	15
Mollusques Gastéropodes				
<i>Nassarius reticulatus</i>	47	65	46	92
<i>Euspira pulchella</i>	3	2	0	5
Mollusques Bivalves				
<i>Lutraria angustior</i>	0	2	0	0
<i>Mactra stultorum</i>	3	1	1	0
<i>Spisula solida</i>	0	0	0	1
<i>Spisula subtruncata</i>	33	7	11	5
<i>Montacuta ferruginosa</i>	0	1	0	0
<i>Mysella bidentata</i>	56	424	428	675
<i>Ensis directus</i>	61	49	34	59
<i>Abra alba</i>	457	144	667	714
<i>Macoma balthica</i>	4	2	0	4
<i>Tellina fabula</i>	51	24	70	36
<i>Venerupis pullastra</i>	14	2	5	26



Tableau 8.2. Point B, nombre d'individus par m² (suite)

	03-mars-04	16-avr-04	01-juin-04	16-sept-04
Némertes				
<i>Tubulanus polymorphus</i>	4	1	1	1
<i>Cerebratulus sp</i>	1	0	11	4
<i>Lineus bilineatus</i>	0	0	0	6
Crustacés				
<i>Crangon crangon</i>	0	2	8	7
<i>Corystes cassivelaunus</i>	0	0	0	1
<i>Polybius arcuatus</i>	0	0	0	3
<i>Polybius holsatus</i>	1	1	0	9
<i>Polybius sp. "post larvae"</i>	0	0	14	0
<i>Pinnotheres pisum</i>	1	0	1	0
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	0	1	6	5
<i>Pariambus typicus</i>	0	18	0	2
<i>Ampelisca brevicornis</i>	2	1	0	1
<i>Atylus falcatus</i>	0	0	0	1
<i>Atylus swammerdami</i>	1	3	5	6
<i>Leucothë incisa</i>	9	21	35	207
<i>Orchomenella nana</i>	0	0	0	1
<i>Melita palmata</i>	0	0	1	0
<i>Urothoë poseidonis</i>	15	13	12	6
<i>Bodotria scorpioides</i>	0	0	0	3
<i>Diastylis bradyi</i>	0	10	4	5
<i>Apseudes talpa</i>	1	0	0	0
<i>Idotea linearis</i>	0	1	0	0
Echinodermes				
<i>Amphiura brachiata</i>	16	7	9	15
<i>Ophiura albida</i>	28	17	2	56
<i>Ophiura ophiura</i>	0	1	1	4
<i>Ophiura albida "jeunes"</i>	0	0	0	1550
<i>Echinocardium cordatum</i>	0	1	0	0
Nématodes				
<i>Nématodes sp</i>	0	119	100	0
Poissons				
<i>Solea solea</i>	0	0	4	0
TOTAL	1248	1350	3789	5772

Tableau 8.3. Point B, biomasse en g/m²

	03-mars-04	16-avr-04	01-juin-04	16-sept-04
Cnidaires				
<i>Sagartia troglodytes</i>	0,211		0,527	0,037
Annélides Polychètes				
<i>Heteromastus filiformis</i>			0,007	0,008
<i>Notomastus latericeus</i>	0,103	1,991	0,549	2,967
<i>Glycera alba</i>	0,017	0,027		0,052
<i>Nephtys hombergii</i>	0,669	1,493	1,433	0,985
<i>Eunereis longissima</i>			0,026	0,390
<i>Phyllodoce mucosa</i>	0,020			0,610
<i>Sthenelais boa</i>	0,154	0,140	0,173	0,138
<i>Owenia fusiformis</i>	0,838	0,814	0,670	3,169
<i>Magelona johnstoni</i>	0,017	0,009	0,009	
<i>Chaetozone setosa</i>				0,020
<i>Pectinaria koreni</i>	0,008	0,004	0,102	1,663
<i>Lanice conchilega</i>			4,195	0,080
Mollusques				
<i>Nassarius reticulatus</i>	2,614	7,330	5,191	8,456
<i>Euspira pulchella</i>				0,131
<i>Lutraria angustior</i>		0,265		
<i>Macra stultorum</i>	0,957	0,579	0,383	
<i>Spisula subtruncata</i>	0,602	0,647	1,566	0,807
<i>Mysella bidentata</i>	0,014	0,060	0,106	0,240
<i>Ensis directus "entiers"</i>	0,196	1,215	0,752	0,999
<i>Ensis directus "cassés"</i>	3,910	7,745	7,668	18,300
<i>Abra alba</i>	5,692	2,991	5,108	9,078
<i>Macoma balthica</i>	0,317	0,008		0,512
<i>Tellina fabula</i>	0,323	0,209	0,329	0,485
<i>Venerupis pullastra</i>	1,340	0,193	1,222	0,162
Crustacés				
<i>Crangon crangon</i>			0,142	
<i>Polybius arcuatus</i>				0,025
<i>Polybius holsatus</i>		2,599		0,041
<i>Leucothé incis</i>				0,025
Echinodermes				
<i>Amphiura brachiata</i>	0,168	0,100	0,317	0,356
<i>Ophiura albida</i>	0,377	0,589	0,127	0,445
<i>Ophiura ophiura</i>		0,105		0,210
<i>Ophiura albida "jeunes"</i>				0,839
<i>Echinocardium cordatum</i>		0,201		
divers	0,191	0,154	0,343	0,470
TOTAL	18,738	29,466	30,942	51,698

Tableau 8.4. Point C, nombre d'individus par m²

	03 mars 2004	16 avril 2004	01 juin 2004	16 sept 2004
Cnidaires				
<i>Sagartia troglodytes</i>			2	
Némertes				
<i>Némertes sp</i>		2	7	1
<i>Lineus bilineatus</i>				1
Annélides Polychètes				
<i>Laonice cirrata</i>		1		
<i>Scolelepis squamata</i>	6	3		11
<i>Spio martinensis</i>		1	55	17
<i>Spiophanes bombyx</i>			72	
<i>Magelona johnstoni</i>				2
<i>Eumida sanguinea</i>			1	
<i>Eteone longa</i>	1			
<i>Phyllodoce mucosa</i>				1
<i>Nephtys cirrosa</i>	43	75	107	99
<i>Lanice conchilega</i>		1	57	2
<i>Protodrilloides chaetifer</i>				4
Mollusques				
<i>Crepidula fornicata</i>	1			
<i>Mysella bidentata</i>			1	
<i>Modiolus modiolus</i>		1	1	
<i>Mytilus edulis</i>			1	
<i>Abra alba</i>			1	
<i>Tellina fabula</i>		1		1
Crustacés				
<i>Atylus swammerdami</i>		1	1	
<i>Bathyporeia elegans</i>		3	2	
<i>Bathyporeia pelagica</i>				2
<i>Urothoe poseidonis</i>	1			
<i>Pontocrates altamarinus</i>	1			
<i>Corophium sextonae</i>		28	1	2
<i>Parasinelobus chevreuxi</i>		3		
<i>Bodotria scorpioides</i>				1
<i>Cumopsis longipes</i>	1		1	
<i>Gastrosaccus spinifer</i>		5		2
<i>Crangon crangon</i>		1	10	8
<i>Pinnotheres pisum</i>		1		
<i>Anapagurus hyndmanni</i>			1	
<i>Diogenes pugilator</i>			1	1
<i>Pagurus bernhardus</i>				1
<i>Portumnus latipes</i>	4	1	2	38
Echinodermes				
<i>Ophiura albida</i>		4	1	3
Poissons				
<i>Ammodytes tobianus</i>			3	
TOTAL	58	132	328	197

Tableau 8.5. Point C, biomasse en mg/m²

	03 mars 2004	16 avril 2004	01 juin 2004	16 sept 2004
Cnidaires				
<i>Sagartia troglodytes</i>			347,4	
Némertes				
Némertes sp		14,7	1,1	0,4
<i>Lineus bilineatus</i>				
Annélides Polychètes				
<i>Laonice cirrata</i>		0,7		
<i>Scolelepis squamata</i>	12,1	1,9		10,5
<i>Spio martinensis</i>		0,1	4,3	2,1
<i>Spiophanes bombyx</i>			8,8	
<i>Magelona johnstoni</i>				1,3
<i>Eumida sanguinea</i>			0,3	
<i>Eteone longa</i>	0,4			
<i>Phyllodoce mucosa</i>				0,3
<i>Nephtys cirrosa</i>	277,1	631,4	877,4	1243,7
<i>Lanice conchilega</i>		0,9	4,9	
<i>Protodrilloides chaetifer</i>				
Mollusques				
<i>Crepidula fornicata</i>	0,9			
<i>Mysella bidentata</i>			0,2	
<i>Modiolus modiolus</i>		0,2	0,2	
<i>Mytilus edulis</i>			0,2	
<i>Abra alba</i>			0,7	
<i>Tellina fabula</i>		0,5		0,7
Crustacés				
<i>Atylus swammerdami</i>		0,2	0,2	
<i>Bathyporeia elegans</i>		0,8	0,6	
<i>Bathyporeia pelagica</i>				0,6
<i>Urothoe poseidonis</i>	0,5			
<i>Pontocrates altamarinus</i>	0,3			
<i>Corophium sextonae</i>		3,1	0,2	0,4
<i>Parasinelobus chevreuxi</i>		0,4		
<i>Bodotria scorpioides</i>				
<i>Cumopsis longipes</i>	0,2		0,1	
<i>Gastrosaccus spinifer</i>		7,1		17,5
<i>Crangon crangon</i>		6,9	16,9	0,9
<i>Pinnotheres pisum</i>		0,7		
<i>Anapagurus hyndmanni</i>			0,9	
<i>Diogenes pugilator</i>			15,1	17,5
<i>Pagurus bernhardus</i>				
<i>Portunus latipes</i>	147,3	97,3	32,4	3451,7
Echinodermes				
<i>Ophiura albida</i>		0,6	0,1	0,6
Poissons				
<i>Ammodytes tobianus</i>			217,4	
TOTAL	438,8	767,5	1556,4	4748,2

BIBLIOGRAPHIE

Rapports C.N.E.X.O

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

Rapports I.S.T.P.M

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

Rapports I.F.R.E.M.E.R

- 1986.** Site de Gravelines. Etude de surveillance écologique et halieutique (novembre 1984 - octobre 1985) IFREMER / Brest / Nantes / Ouistreham / Station marine de Wimereux / Institut Pasteur de Lille. DERO 86.09.EL pour EDF. 1986. (2 volumes).
- 1987.** Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1985 - octobre 1986) IFREMER / Brest / Nantes / Ouistreham / Station marine de Wimereux / Institut Pasteur de Lille. DERO 87.06.EL pour EDF. 1987. 157 p.
- 1988.** Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1986 - octobre 1987) IFREMER / Brest / Nantes / Ouistreham / Station marine de Wimereux / Institut Pasteur de Gravelines. DERO 88.17.EL pour EDF. 1988. 156 p.
- 1989.** Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1987 - octobre 1988) IFREMER / Station marine de Wimereux / Institut Pasteur de Gravelines. DERO 89.08.EL pour EDF. 1989. 153 p.
- 1990.** Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1988 - octobre 1989) IFREMER DRO 90.12.EL pour EDF. 1990. 120 p.
- 1991.** Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1989 - octobre 1990) IFREMER DRO 91.10.EL pour EDF. 1991. 93 p.
- 1992.** Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1990 - octobre 1991) IFREMER DEL 92.14. 1992. 119 p.
- 1993.** Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1991 - octobre 1992) IFREMER DEL 93.11. 1993. 105 p.
- 1994.** Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1992 - octobre 1993) IFREMER DEL 94.05. 1994. 117 p.
- 1995.** Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1993 - octobre 1994) IFREMER DEL 95.07. 1995. 107 p.
- 1996.** Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1994 - octobre 1995) IFREMER DEL/Brest 96.04. 1996. 111 p.
- 1997.** Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1995 - octobre 1996) IFREMER DEL/EC/RST 97.08 . 1997 121 p.
- 1998.** Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1996 - octobre 1997) IFREMER DEL/EC 98.03 BREST. 1998 123 p.
- 1999.** Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1997 - octobre 1998) IFREMER DEL/EC - R. INT 99.06. BREST 1999 134 p.
- 2000.** Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1998 - octobre 1999) IFREMER DEL/EC R. INT 00.07. BREST 2000 149 p. + annexe bibliographique.
- 2001.** Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1999 - octobre 2000) IFREMER DEL/EC R INT 01.05. BREST 2000 156 p + annexe bibliographique.
- 2002.** Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 2000 - octobre 2001). Rapport Interne DEL/BL/RST/02/01, 169 pages.
- 2003.** Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 2001 - octobre 2002). Rapport Interne DEL/BL/RST/03/01, 167 pages.
- 2004.** Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 2002 - octobre 2003). Rapport Interne DEL/BL/RST/04/01, 164 pages.

Nota :

Un rapport préliminaire paraissait chaque année en janvier et le rapport annuel complet paraissait en avril. Ce rapport préliminaire n'existe plus depuis 2001.

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

Pour les rapports Ifremer jusque 2001 :

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.

Pour les rapports Ifremer après 2001 :

Lefebvre A. (coordinateur) *et al.*, 2002. Surveillance écologique et halieutique. Site de Gravelines. Novembre 2000 - Octobre 2001. Rapport Ifremer DEL/BL/RST/02/01, 169 pages.

*Impression : Service IDM/RIC
IFREMER – Centre de Brest
BP 70 – 29280 Plouzané
Tél. : 02 98 22 43 53*