

Direction de l'Environnement et de l'aménagement Littoral

Coordinateur : Alain Lefebvre

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

Mars 2002 - DEL/BL/RST/02/01

ifremer

Surveillance Ecologique et Halieutique Site de Gravelines

Novembre 2000 - Octobre 2001



IFREMER Bibliothèque de BREST



OEL09497

Résumé :

Ce travail constitue le 24^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 24th 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 :

SOMMAIRE

Résumé	1
Chapitre 1 - Présentation du site – Stratégie d'étude Delesmont Régis (1) & Delesmont Edith (1)	7
Chapitre 2 - Climatologie - Hydrologie - Fonctionnement de la centrale Présentation des campagnes pélagiques Delesmont Régis & Delesmont Edith	15
Chapitre 3 - Etude de la chloration et bactériologie Delesmont Régis & Delesmont Edith	27
Chapitre 4 - Phytoplancton et biomasse chlorophyllienne Hitier Benoist (2), Lefebvre Alain (2) , Hébert Pascale (2) & Olivesi René (2)	45
Chapitre 5 - Dinoflagellés noctiluques et Zooplancton Le Fèvre-Lehoërff Geneviève (3), Le Grand Jacqueline (3) & D'Elbée Jean (4)	67
Chapitre 6 - Zooplancton halieutique Woehrling Daniel (5), Garren François (2), Lefebvre Alain & D'Elbée Jean	103
Chapitre 7 - Le domaine benthique intertidal Dewarumez Jean-Marie (6) & Menu Dominique (6)	121
Chapitre 8 - Le domaine benthique subtidal Dewarumez Jean-Marie, Luczak Christophe (6) & Menu Dominique	143
Annexe bibliographique des rapports 1975 - 2000	165

La coordination des travaux est assurée par Alain Lefebvre

(1) Institut Pasteur de Lille - Laboratoire de Gravelines

(2) IFREMER - Centre de Boulogne

(3) IFREMER - Centre de Brest

(4) Laboratoire d'analyses de prélèvements hydrobiologiques (LAPHY) Biarritz

(5) IFREMER - Centre de Nantes

(6) Station Marine de Wimereux

RESUME

RESUME Novembre 2000 – Octobre 2001

Généralités

La période de surveillance 2000-2001 est caractérisée une température moyenne de l'air de 11,7 °C, soit 0,8 °C au-dessus de la moyenne calculée sur la période 1979-2000. La température moyenne de l'eau au canal d'amenée est de 13,0 °C (12,8 °C en 1999-2000). La pluviosité moyenne sur la période de surveillance est excédentaire avec 908 mm contre 688 mm sur la période 1979-2000.

La puissance hebdomadaire moyenne produite par la centrale est proche de 4000 MW, soit l'équivalent de 4,4 tranches (4,6 sur la période précédente). Le débit hebdomadaire d'eau de mer de refroidissement des condenseurs est de 215,5 m³.s⁻¹ (variations de 167 à 245 m³.s⁻¹). L'augmentation de la température de l'eau au rejet est de 8,81 °C (9,17 °C lors de la période précédente). Aucune température supérieure à 30 °C au rejet et 20 °C au canal d'amenée n'a été relevée.

Chloration

La chloration de l'eau du système a eu lieu durant 11 mois, ce qui est la plus longue période de traitement de l'eau depuis la mise en service de la centrale. Les composés chimiques formés sont essentiellement bromés et le plus abondant est le bromoforme (95,5 % du total des produits dérivés) avec une concentration moyenne de 13,8 µg.l⁻¹. Le 2-4-6 bromo-phénol est présent en faibles concentrations (de 30 à 120 ng.l⁻¹). 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 7,5 %.

Bactériologie

Le passage de l'eau de mer dans l'ensemble du système centrale + installations aquacoles entraîne une multiplication importante du nombre de vibrions (43 fois en moyenne géométrique annuelle). 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 (60,2 % 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* sont *V. cholerae* Nag (10,8 % d'isolement) et *V. fluvialis* (9,7 % d'isolement). Les deux sérotypes de *V. cholerae* Nag présentant un risque sanitaire n'ont jamais été mis en évidence

sur le site. Les autres espèces mises en évidence sont : *V. damsela*, *V. mimicus*, *V. hollisae*, *V. vulnificus* et *V. parahaemolyticus*.

Phytoplancton - Zooplancton

Les campagnes pélagiques ont eu lieu le 7 mars (avant le bloom phytoplanctonique) et le 27 septembre 2001 (fin de cycle biologique de l'écosystème). La température et la salinité des masses d'eaux aux différentes stations sont homogènes lors de la première campagne. Suite à des problèmes techniques, ces données ne sont pas disponibles pour la deuxième campagne. Cependant, les résultats du chapitre 4 (répartition du phytoplancton passif et des concentrations en chlorophylle *a*) laissent penser que les eaux étaient homogènes.

La surveillance hebdomadaire au canal d'aménée permet de mettre en évidence un cycle biologique phytoplanctonique et zooplanctonique classique.

La biomasse phytoplanctonique, estimée à partir de mesure de chlorophylle *a*, est minimum en hiver ($< 3,4 \text{ mg.m}^{-3}$) et atteint sa valeur maximale au printemps ($42,0 \text{ mg.m}^{-3}$) lors de la prolifération des diatomées et de la Prymnésiophycée *Phaeocystis sp.*. L'activité chlorophyllienne, reflet de l'état physiologique des cellules et de leur potentialité à participer à la production primaire, est particulièrement efficace sur la période 2000-2001 (88 % de résultats supérieurs à 70 % de chlorophylle active). Les campagnes pélagiques ont permis de mettre en évidence un impact quantitatif et qualitatif du passage de l'eau dans la centrale sur le phytoplancton en septembre, alors que cet impact n'est que qualitatif en mars. Les diatomées sont les plus sensibles à l'impact de la centrale.

Pendant la période d'étude, 69 espèces phytoplanctoniques ont été dénombrées au canal d'aménée (90 % de diatomées). L'efflorescence de *Phaeocystis sp.* fin mai-début avril correspond à une densité de $23 \cdot 10^6$ cellules.l⁻¹, mais n'est pas responsable à elle seule du maximum de chlorophylle *a*.

Aucun phénomène d'eau rouge lié à la présence des dinoflagellés noctiluques n'est apparu pendant la période de surveillance bien que ces organismes soient présents depuis quelques années en abondance et plus longtemps au cours de l'année.

La succession temporelle des espèces holoplanctoniques et méroplanctoniques est classique. Cependant, la production zooplanctonique s'est répartie pendant une durée supérieure à la moyenne de celle des années précédentes.

Les cténaires *Pleurobrachia* présentent leur abondance maximale fin avril (22 ind.m^{-3}) sans conséquence pour le fonctionnement de la centrale.

L'impact de la centrale, toutes campagnes et tous points confondus, est très marqué chez les dinoflagellés noctiluques (100 % de déficit entre le canal

d'amenée et le rejet), les cnidaires (95 %), les Annélides (*Lanice conchilega* : 100 %), les ophiurides (91 %), les larves de gastéropodes (100 %) et les copépodes (60 %).

Le suivi des espèces potentiellement ou effectivement économiquement importantes dans cette zone proche de l'une des plus importantes frayères de Sole de Mer du Nord met en évidence qu'après plusieurs années à cycle précoce, la période 2000-2001 apparaît, plus encore que 2000, comme moyenne du point de vue de la reproduction de la Sole et du Sprat. Les densités de larves et d'œufs augmentent pour atteindre les niveaux habituels. La crevette grise montre une diminution drastique de ses effectifs dont il conviendrait d'étudier la cause.

Benthos

Les modifications éventuelles des peuplements benthiques intertidaux sous influence directe de la salinité, de la teneur en fine du sédiment et de l'impact thermique de la centrale sont appréhendées grâce au suivi de 3 radiales depuis 2000 (2 points supplémentaires liés au recrutement de *Donax vittatus* dans les bas niveaux de l'estran). En 2000-2001, 33 taxons (5187 individus récoltés) ont été dénombrés. La population de *Hydrobia ulvae* régresse considérablement (6,3 % du total des individus récoltés contre 63,9 % pour la période précédente). Les densités moyennes des espèces euryhalines augmentent légèrement. L'influence de l'Aa semble être à nouveau plus intense. Les populations de Spionidiens ont des répartitions diamétralement opposées et conformes à ce que l'on observait au début des années 1990. La seule différence par rapport à cette période réside dans les densités : très fortes densités pour *Pygospio elegans* et faibles pour *Spio martinensis*. La biomasse moyenne de l'estran est proche de celles des périodes précédentes. Les altérations de la composition bionomiques ne semblent pas altérer la biomasse globale de l'estran. Cette productivité reste cependant mal répartie sur l'estran qui présente une zone à fort potentiel productif (la station F) et en général dans les niveaux supérieurs. Seule la présence de *D. vittatus* remet en cause ce schéma.

La surveillance du benthos subtidal se fait grâce au suivi de 2 stations (C : impactée, B : non impactée par la centrale). Lors de cette étude, 70 taxons ont été dénombrés (13022 individus récoltés). L'ensemble des résultats obtenus à la station B reste dans la norme de ce qui est observé habituellement. Cette station est le siège de plusieurs recrutements simultanés : *Lanice conchilega*, *Notomastus latericeus* et *Spiophanes bombyx*. Le suivi 2000-2001 met en évidence des phénomènes de retard de recrutement qui couplé à la présence d'individus à forte biomasse individuelle contribue à donner de fortes valeurs de biomasse sans pour autant atteindre les hauts niveaux de septembre 2000.

Les résultats enregistrés à la station C confirment à la fois l'impact sur les peuplements benthiques du champ proche de la centrale mais aussi la stabilité temporelle de cet impact. *Nephtys cirrosa* demeure l'espèce dominante. La station C ne montre pas de résonance du recrutement de la station B. Le déficit en densité de peuplement et en biomasse à la station impactée par rapport à la station non impactée reste considérable (96 % en densité et 99,4 % en biomasse). Cependant il faut rappeler que le peuplement installé à la station 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* montre un net recul jusqu'à l'automne où elle se réimplante tandis que la population de *Tellina fabula* reste à un niveau faible toute l'année, inférieure à ce qu'il était en 2000, sans montrer de réimplantation sur le site.

1. PRESENTATION DU SITE – STRATEGIE D'ETUDE

Auteur :
Régis DELESMONT

Collaborateur :
Edith DELESMONT

1.1. RAPPEL SUR LE SITE

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

L'onde de marée est du type semi-diurne avec une amplitude moyenne voisine de 4,5 m. Les courants de marée sont alternatifs et parallèles à la côte (Fig. 1.1.).

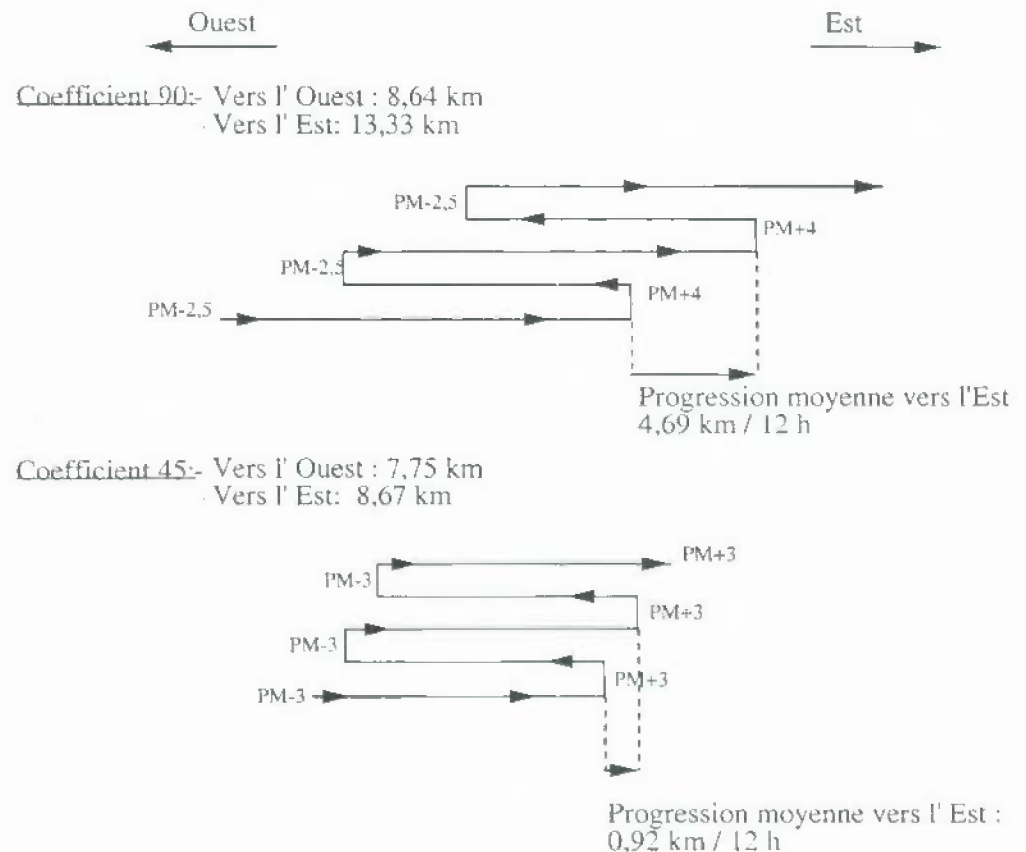


Fig. 1.1. Schéma des courants devant Dunkerque

1.2. HYDROGRAPHIE

L'apport continental le plus proche est constitué par l'Aa, petit fleuve côtier qui draine l'arrière pays (région de Saint-Omer) et la plaine maritime. En raison de la très faible altitude de cette plaine, les écoulements à la mer sont contrôlés par des écluses. Il en est de même pour les deux autres exutoires de la région : Dunkerque (canal Exutoire) et Calais (Canaux de Marck, de la Rivière Neuve et de St. Omer). La Dérivation du Canal de Bourbourg est utilisée en période de crue pour évacuer des volumes d'eau importants par le Port Est de Dunkerque.

Débits moyens estimés :
Canal de Dunkerque : $4,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Fleuve Aa : $7,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Canaux de Calais : $3,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

L'influence de ces cours d'eau n'est pas prépondérante sur la qualité de l'eau de mer transitant dans la centrale. Les dessalures significatives observées sur le site (1 à 3 P.S.U. (Practical Salinity Unit : unité du système international remplaçant le ‰)) ont lieu par temps sec, quand le vent de nord-est, établi sur de longues périodes, modifie les courants et amène des eaux de la côte belge.

1.3. DESCRIPTION DES INSTALLATIONS

Le Centre de Production Electro-Nucléaire de Gravelines est constitué de six tranches d'une puissance unitaire de 900 mégawatts. Le circuit de refroidissement est alimenté en eau de mer prélevée dans l'avant port de Dunkerque avec un débit de 40 mètres cubes par seconde et par tranche. Le débit nominal total est donc de 240 mètres cubes 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. Le rejet des eaux de la ferme aquacole se fait dans le canal de rejet de la centrale. Les effets observés au rejet de la centrale sont donc la résultante des influences conjuguées des deux installations, centrale et ferme (Fig. 1.2.).

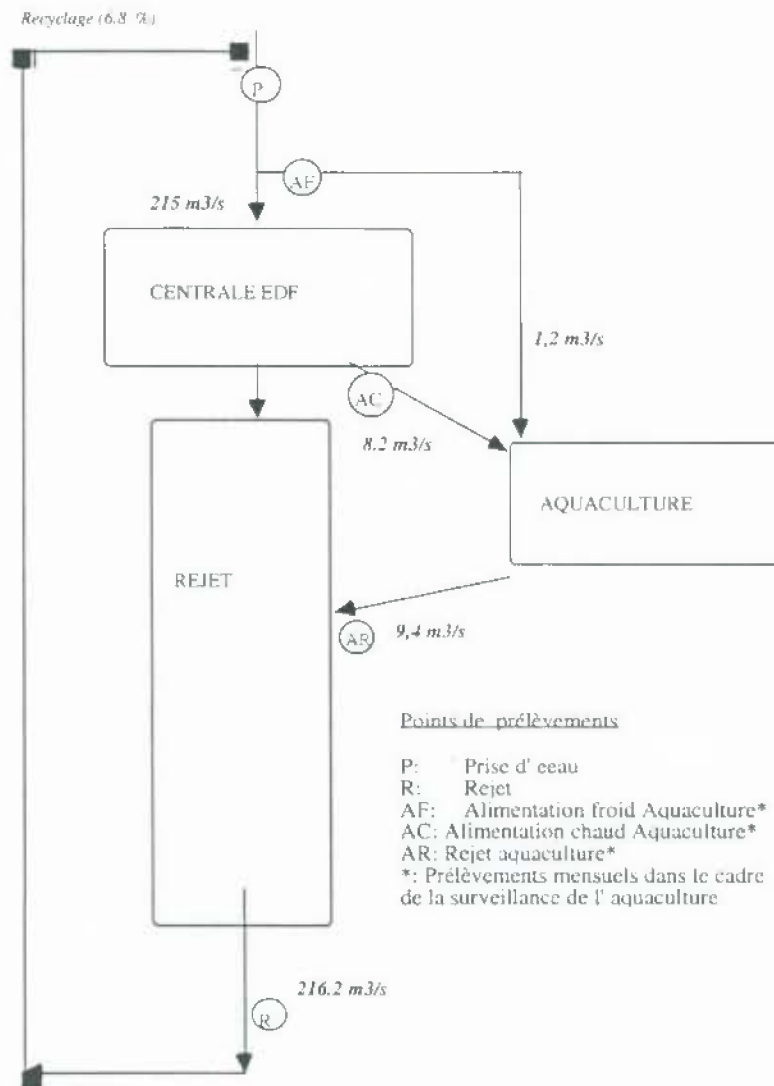


Fig. 1.2. Schéma de la circulation de l'eau sur le site de Gravelines – Points de surveillance – (Valeurs de l'année 2000).

1.4. STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

1.4.1. Domaine pélagique

Surveillance des eaux du Canal d'aménée et du 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 stations définies précédemment (Canal d'aménée, Rejet, Contrôle avec échauffement résiduel de 3 à 4 °C dans le panache de rejet, et Référence hors panache) sont étudiées simultanément dans deux situations annuelles différentes (printemps et fin d'été) (Fig. 1.3.).

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

La périodicité des divers prélèvements réalisés au Canal d'aménée est détaillée dans le tableau 1.1..

Paramètres	Janvier	Février mars avril	Mai	Juin juillet août septembre	Octobre novembre décembre
Température +Chlore + Haloformes +Vibrions	Hebdo	Hebdo	Hebdo	Hebdo	Hebdo
Chlorophylle +Phaéopigments	Mensuel	Hebdo	Hebdo	Hebdo	Mensuel
Noctiluques + Zooplancton	Mensuel	Mensuel	Mensuel	Bi-mensuel	Mensuel

Tabl.1.1 Stratégie de Prélèvements au point Canal d'aménée.

Milieu récepteur

Les deux campagnes de prélèvements en mer se sont déroulées avec le chalutier "JEAN XXIII" (Tabl. 1.2.).

Date	Pleine mer (T.U.)	Coef.	Prise	Rejet	Contrôle	Référence
07/03/01	9h31	69	10h35	9h10	8h00	9h02
27/09/01	7h51	35	10h20	8h40	5h25	6h40

Tabl. 1.2. Dates et horaires des campagnes pélagiques

1.4.2. Domaine halieutique

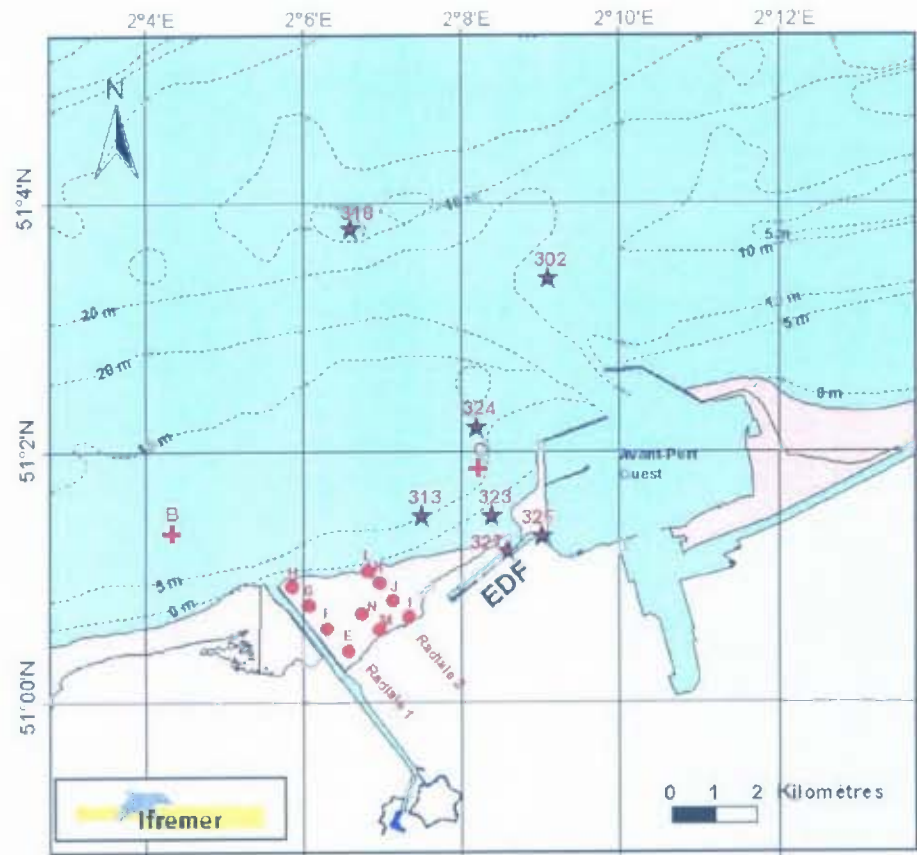
La surveillance du plancton halieutique comprend quatre campagnes :

- 1 campagne à trois stations en mer (23/05/01) selon un gradient côte-large du milieu récepteur.
- 3 campagnes de deux stations au canal d'amenée (12/04/01, 25/04/01 et 11/05/01).

1.4.3. Domaine benthique

Zone intertidale : une campagne annuelle (24/06/01) comprenant deux radiales de 4 stations et 1 radiale de 2 stations de hauts niveaux.

Zone subtidale : surveillance du peuplement à *Abra alba*. 4 campagnes subtidales de deux stations, l'une impactée (station C), l'autre non impactée (station B) par le fonctionnement de la centrale (19/01/01, 10/05/01, 03/07/01 et 13/10/01).



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

Station (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	Médian ou Contrôle
325	51°1'38 N	2°9'10 E	Canal d'amenée ou Prise
327	51°1'26 N	2°8'60 E	Canal de rejet

Fig. 1.3. Localisation des stations de prélèvements.

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

Auteur :
Régis DELESMONT

Collaborateur :
Edith DELESMONT

2.1. CLIMATOLOGIE

Durant la période 2000-2001 des températures légèrement plus élevées que la moyenne ont été relevées ; la moyenne annuelle s'établit à 11,7°C soit 0,8 °C au-dessus de la moyenne 1979-2000. On peut noter un hiver doux et un mois d'août maussade (Fig. 2.1.).

La pluviosité globale est largement supérieure à la normale avec 908 mm à comparer aux 688 mm de la moyenne 1979-2000. Les précipitations excédentaires proviennent de l'ensemble de la période à l'exception des mois de mai et juin (Fig. 2.2.).

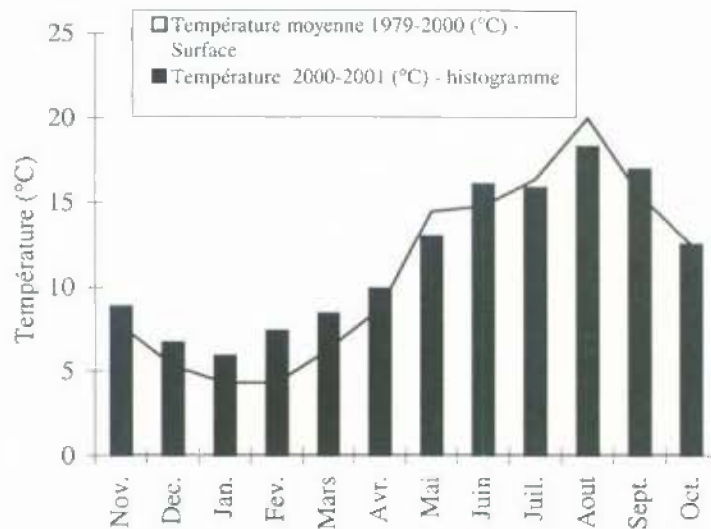


Fig. 2.1. 2000-2001. Températures moyennes de l'air à Dunkerque

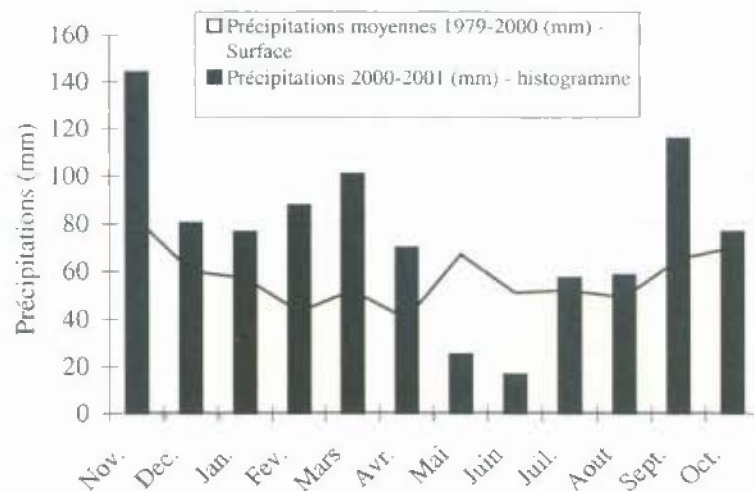


Fig. 2.2. 2000-2001. Précipitations mensuelles à Dunkerque (mm)

2.2. FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE

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

Date	Puissance moyenne* (MW)	Débit* (m ³ .s ⁻¹)	Température canal d'amenée* (°C)	Echauffement calculé (°C)
3/11/00	4939	245	13.6	9.6
7/11/00	4780	236	12.6	9.7
14/11/00	4332	206	12.0	10.0
23/11/00	4086	204	11.4	9.6
29/11/00	4281	204	11.6	10.0
6/12/00	4207	204	11.4	9.9
12/12/00	3555	215	11.5	7.9
19/12/00	4210	237	10.1	8.5
26/12/00	4335	244	8.1	8.5
4/1/01	4554	245	8.5	8.9
9/1/01	5286	243	8.9	10.4
16/1/01	5407	245	5.2	10.5
22/1/01	5252	245	6.6	10.2
29/1/01	5198	245	7.2	10.1
6/2/01	5184	245	8.3	10.1
14/2/01	5251	245	8.4	10.2
22/2/01	5373	245	7.7	10.5
1/3/01	5069	239	6.7	10.1
7/3/01	4137	214	7.3	9.2
13/3/01	3901	204	9.2	9.1
21/3/01	3976	204	7.3	9.3
28/3/01	4003	227	8.8	8.4
2/4/01	3897	245	10.2	7.6
10/4/01	3962	239	10.2	7.9
18/4/01	4230	224	10.1	9.0
24/4/01	4330	209	9.8	9.9
2/5/01	4169	204	10.6	9.8
7/5/01	3681	200	10.7	8.8
14/5/01	3137	172	12.7	8.7
25/5/01	2772	175	14.5	7.6
28/5/01	3166	202	15.1	7.5
5/6/01	3064	204	14.8	7.2
11/6/01	3130	204	16.0	7.3
18/6/01	4251	204	16.0	10.0
25/6/01	4081	204	18.2	9.6
2/7/01	3970	204	19.1	9.3
9/7/01	3937	204	18.6	9.2
16/7/01	3832	204	18.2	9.0
23/7/01	3715	204	18.8	8.7
30/7/01	2903	217	19.7	6.4
6/8/01	3399	198	19.9	8.2
13/8/01	2632	170	19.4	7.4
20/8/01	3177	204	19.4	7.4
27/8/01	3304	204	19.9	7.7
3/9/01	3016	208	18.8	6.9
10/9/01	2429	204	15.8	5.7
17/9/01	3097	167	15.3	8.9
24/9/01	3045	204	15.7	7.1
4/10/01	3477	204	16.5	8.1
10/10/01	3941	204	15.7	9.2
16/10/01	4298	235	16.2	8.7
24/10/01	4304	245	15.6	8.4

Tabl. 2.1. Fonctionnement de la centrale.

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

En 2000-2001, la puissance électrique produite par la centrale de Gravelines correspond en moyenne hebdomadaire à l'équivalent de 2,7 à 6,0 tranches de 900 MW (Fig. 2.3. & Tabl. 2.1.). La production est la plus importante en saison froide. La puissance hebdomadaire moyenne produite pour la période est proche de 4000 MW, soit l'équivalent de 4,4 tranches (4,6 lors de la période précédente).

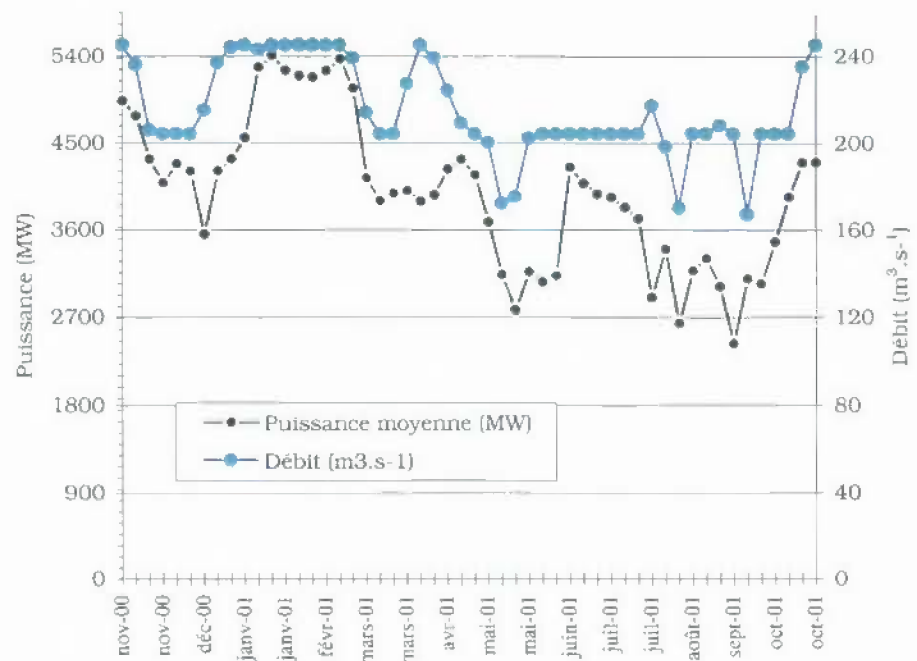


Fig. 2.3. Fonctionnement de la centrale de Gravelines

En première approximation, on peut considérer que la production d'un MW électrique s'accompagne de la dissipation dans l'eau de mer de deux MW thermiques. Il est alors possible de calculer un échauffement théorique du rejet de la centrale sur la base des données hebdomadaires de puissance électrique.

Les débits d'eau de mer de refroidissement des condenseurs ont varié de 167 à 245 m³.s⁻¹, soit les débits unitaires de pompage de 4 à 6 tranches (Fig. 2.4. & Tabl. 2.1.). Le débit moyen calculé sur une base hebdomadaire est de 215,5 m³.s⁻¹, soit l'équivalent du débit de pompage de 5,4 tranches. Les échauffements les plus faibles sont habituellement rencontrés durant l'été ; ce n'est pas le cas cette année car les baisses de puissance électrique sont accompagnées de baisses de débit.

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.

Sur cette base de calcul, l'augmentation moyenne de la température de l'eau au rejet est de 8,81 °C. Cette valeur est en léger retrait par rapport à la période précédente (9,17 °C) (Fig. 2.4.).

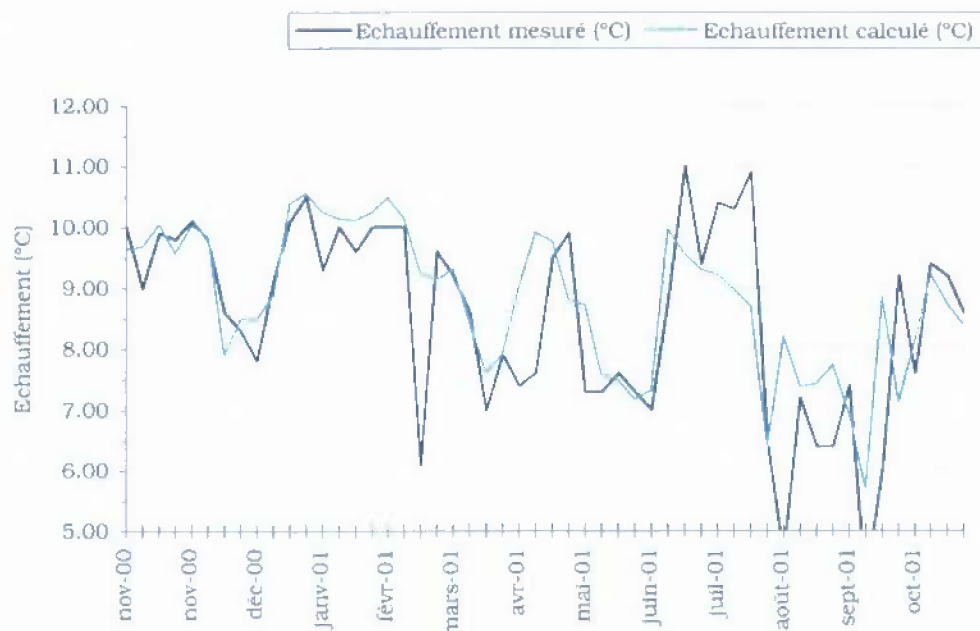


Fig. 2.4. Comparaison entre les échauffements calculés et mesurés.

2.3. HYDROLOGIE

2.3.1. Points Canal d'amenée et Rejet

2.3.1.1. Température de l'eau

Conséquence des températures de l'air observées en 2000-2001, la moyenne des températures de l'eau à la prise est élevée (12,96 °C), valeur intermédiaire entre celles des deux cycles d'études précédents (13,11 °C en 1998-1999 et 12,76 °C en 1999-2000) (Fig. 2.5.).

Au canal d'amenée dans l'avant-port Ouest, la température minimale (5,2 °C) est observée le 16 janvier 2001. Aucune température supérieure à 20 °C n'a été observée cette année (maximum 19,9 °C les 06 et 28/08/01).

Au rejet, aucune température supérieure à 30°C n'a été relevée cette année (maximum 29,7°C le 23 juillet 2001).

Le transit de l'eau dans la centrale, calculé sur la base des prélèvements hebdomadaires réalisés, se traduit par un échauffement moyen de 8,55 °C qui est une valeur assez proche des valeurs enregistrées lors des dernières périodes d'étude.



Fig. 2.5. 2000-2001 Température de l'eau de mer aux points Canal d'amenée et Rejet

2.3.1.2. Sels nutritifs

En raison des apports en azote dus à l'aquaculture implantée sur le site et afin de mieux expliciter les phénomènes phyto-planctoniques, des dosages d'azote sont réalisés au canal d'amenée et au rejet en mer. Deux formes d'azote ont été mesurées : l'azote réduit ammoniacal (NH_4^+) et l'azote oxydé sous forme de nitrate (NO_3^-).

L'azote oxydé principalement composé de nitrates voit son stock hivernal consommé de février à avril par le phytoplancton. Du printemps à l'automne, les concentrations sont plus élevées au rejet qu'au canal d'amenée. Ce phénomène de faible ampleur avait déjà été observé en 1999 et 2000. En moyenne annuelle, un apport de $1,1 \mu\text{moles.l}^{-1}$ est observé (Fig. 2.6. & Tabl. 2.2.).

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 rejet d'avril à juin, ce qui pourrait correspondre à des phénomènes

d'excrétion et de dégradation du zooplancton. Un pic important mais isolé est observé en période hivernale, il concerne également le canal d'amenée et le rejet. Sur l'ensemble de la période d'étude, l'apport au milieu n'est pas mesurable.

Date	Canal d'amenée		Rejet	
	NH4+ ($\mu\text{mol.l}^{-1}$)	NO3- ($\mu\text{mol.l}^{-1}$)	NH4+ ($\mu\text{mol.l}^{-1}$)	NO3- ($\mu\text{mol.l}^{-1}$)
3/11/00	8.0	16.2	4.1	17.2
7/11/00	7.9	14.3	5.8	15.1
14/11/00	5.9	16.8	6.3	17.4
23/11/00	4.6	19.3	4.6	15.6
29/11/00	18.9	13.4	18.6	12.2
6/12/00	3.6	14.7	2.1	15.6
12/12/00	3.7	20.1	2.3	18.8
19/12/00	5.4	19.8	3.3	21.6
26/12/00	5.0	23.1	4.6	22.6
4/1/01	4.0	23.1	3.8	22.9
9/1/01	4.2	21.7	4.2	21.9
16/1/01	4.5	29.9	4.7	28.2
22/1/01	4.5	25.2	4.1	24.4
29/1/01	4.3	22.1	4.4	23.7
6/2/01	3.9	20.8	4.0	21.9
14/2/01	5.4	24.4	5.4	24.4
22/2/01	2.6	17.8	3.6	19.4
1/3/01	2.8	16.3	3.4	16.3
7/3/01	2.5	16.1	11.1	15.4
13/3/01	3.6	19.7	3.8	19.8
21/3/01	3.0	15.3	3.9	15.4
28/3/01	3.7	14.6	4.0	13.2
2/4/01	1.7	8.6	0.9	9.1
10/4/01	2.1	1.9	3.8	4.2
18/4/01	1.3	3.8	1.4	2.0
24/4/01	3.4	1.1	1.1	2.3
2/5/01	3.3	2.3	1.1	2.2
7/5/01	2.1	2.0	4.2	6.5
14/5/01	5.7	3.7	7.3	6.3
25/5/01	7.3	1.7	7.5	3.3
28/5/01	5.4	1.2	7.0	5.6
5/6/01	8.7	3.0	7.1	1.0
11/6/01	7.5	1.5	10.7	3.1
18/6/01	10.0	0.8	14.0	3.4
25/6/01	6.6	3.6	6.8	5.1
2/7/01	8.7	3.7	16.0	7.6
9/7/01	13.0	1.8	12.0	4.6
16/7/01	8.0	3.1	6.4	5.0
23/7/01	8.3	2.3	6.2	4.0
30/7/01	2.8	1.2	5.6	2.9
6/8/01	6.7	0.9	8.1	2.9
13/8/01	17.0	2.4	16.0	7.5
20/8/01	6.0	1.9	7.9	3.0
27/8/01	8.4	2.2	7.0	3.9
3/9/01	8.8	2.0	8.9	4.8
10/9/01	8.3	1.8	6.6	6.2
17/9/01	14.0	6.3	11.0	7.3
24/9/01	13.0	9.3	9.2	11.0
4/10/01	12.3	8.1	13.2	9.3
10/10/01	12.2	10.8	10.9	14.1
16/10/01	9.5	11.8	9.0	13.8
24/10/01	8.3	13.8	6.7	14.4

Tabl. 2.2. Evolution temporelle des concentrations en sels nutritifs au canal d'amenée et au rejet

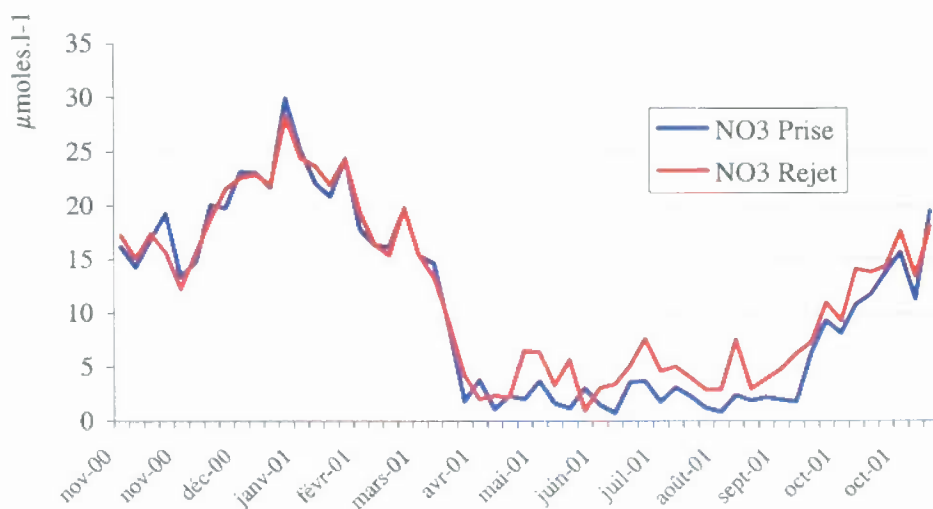


Fig. 2.6. 2000-2001. Azote oxydé (NO₃ en μmoles.l⁻¹) aux points Canal d'amenée et Rejet

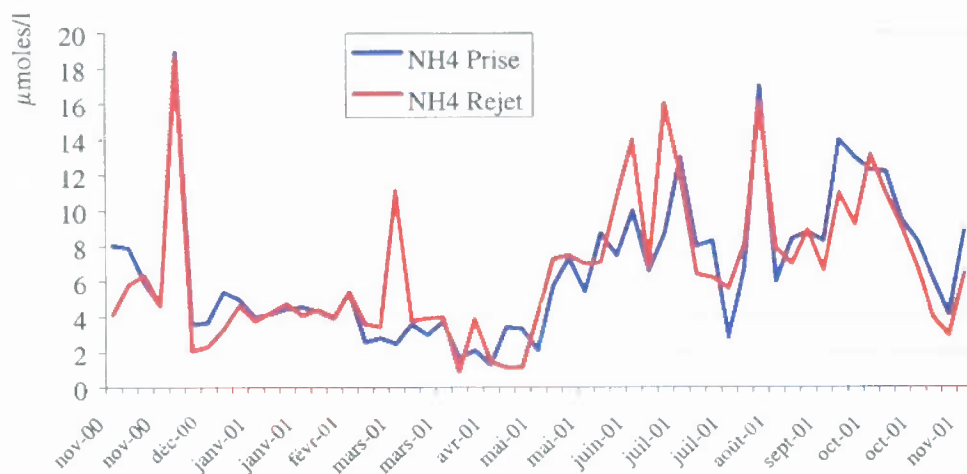


Fig. 2.7. 2000-2001. Ammonium (μmoles.l⁻¹) aux points Canal d'amenée et Rejet

2.3.2. Campagnes pélagiques

2.3.2.1. Température

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

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

La stratification thermique habituelle du panache de rejet n'est pas observée au point de contrôle lors de la campagne de mars en raison de la faible profondeur de l'eau. En septembre, des profils fiables de température n'ont pu être obtenus suite à une panne de matériel.

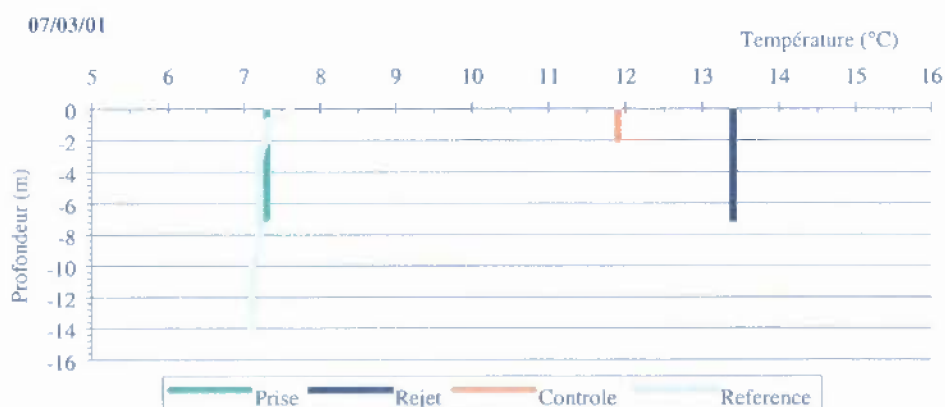


Fig. 2.8. Profils de température lors de la campagne de prélèvements en mer du 07/03/01

2.3.2.2. Salinité

Lors des deux campagnes pélagiques, les déterminations de salinités réalisées mettent en évidence une grande homogénéité de l'ensemble de la zone d'étude (Tabl. 2.3. & 2.4.). La salinité est forte, environ 33,5 P.S.U. en moyenne, c'est à dire sans influence côtière visible. Pour la campagne de mars, les différences entre les valeurs extrêmes mesurées sont de l'ordre de 0,1 P.S.U. pour l'ensemble des stations.

Date	Profondeur	Prise	Rejet	Contrôle	Référence
07/03/01	Surface			33,67	33,79
	Mi-profondeur	33,73	33,72		33,80
	Fond			33,71	33,79

Tabl. 2.3. Salinités lors de la campagne pélagique de mars 2001 (unité : P.S.U.).

Date	Profondeur	Prise	Rejet	Contrôle	Référence
27/09/01	Surface			33,11 33,27	33,38
	Mi-profondeur	33,28	33,29		33,39
	Fond			33,11 33,21	33,40

Tabl. 2.4. Salinités lors de la campagne pélagique de septembre 2001 (unité : P.S.U.).

3. ETUDE DE LA CHLORATION ET BACTERIOLOGIE

Auteur :
Régis DELESMONT

Collaborateur :
Edith DELESMONT

3.1. CHLORATION

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

Cette disparition s'accompagne de la formation de composés chimiques stables, essentiellement du bromoforme et d'autres tri-halo-méthanés.

La figure 3.1. permet de visualiser la concentration en bromoforme en relation avec la température de l'eau au canal d'amenée (Tabl. 3.1.).

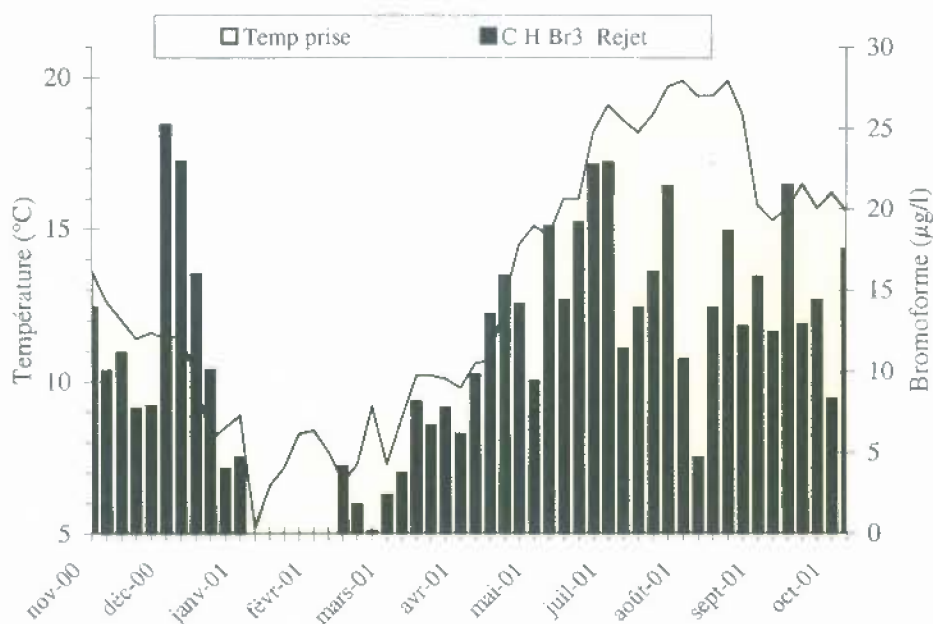


Fig. 3.1. 2000-2001. Bromoforme au Rejet (histogramme) en relation avec la température de l'eau au canal d'amenée (courbe)

La chloration a été mise en œuvre durant la quasi-totalité de la période d'étude ; elle n'a pas été observée du 16/01/01 au 22/02/01 ce qui équivaut à environ 1 mois d'arrêt.

La disparition du chlore s'accompagne de la formation de dérivés stables. Le bromoforme est, en eau de mer, le plus abondant de ces produits de réaction. Il représente cette année 95,5 % des haloformes formés avec une concentration moyenne de $13,8 \mu\text{g.l}^{-1}$. Cette concentration moyenne en légère diminution peut provenir de chlurations partielles ou réduites en saison hivernale.

Deux autres composés bromés sont également mis en évidence :

- chlorodibromométhane (CHClBr_2) : 4,3 % du total formé avec une concentration moyenne de $0,62 \mu\text{g.l}^{-1}$
- dichlorobromométhane (CHCl_2Br) : 0,2 % du total formé avec une concentration moyenne de $0,03 \mu\text{g.l}^{-1}$

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

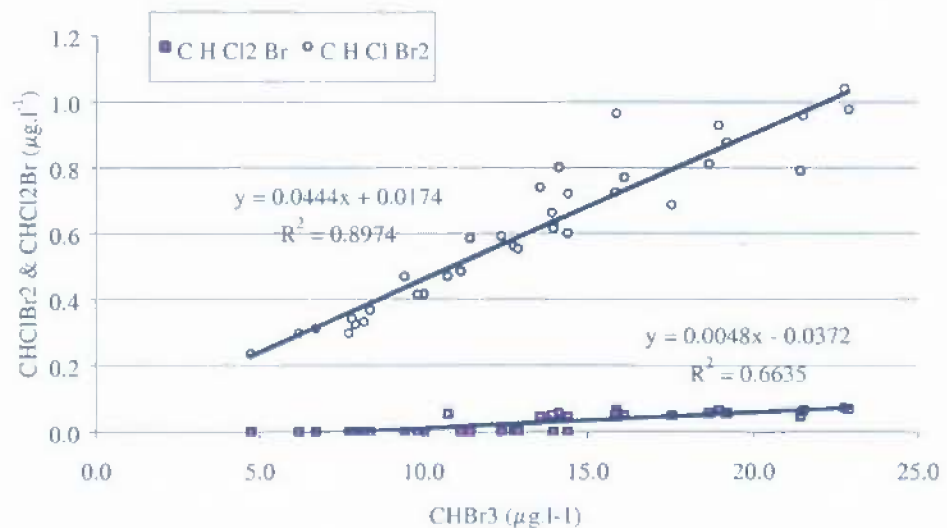


Fig. 3.2. Relation entre les espèces d'haloformes formées au rejet

La persistance du bromoforme en mer permet également de chiffrer le pourcentage d'eau de refroidissement qui passe une seconde fois dans la centrale. La valeur calculée en 2000-2001 est de 7,5 % pour la période de chloration. Cette valeur est comparable à celle des périodes précédentes.

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 bromo-phénols, composés issus de la chloration de masse plus importante que les tri-halo-méthanés ont été réalisées de façon mensuelle.

Les dosages ont été réalisés en chromatographie en phase gazeuse après dérivation. De faibles quantités de 2-4-6 tri bromo-phénol ont été détectées ainsi que des traces de 3-bromophénol (Tabl. 3.2.).

2000-2001	2-bromo-phenol	3-bromo-phenol	4-bromo-phenol	2,4-dibromo-phenol	2,6-dibromo-phenol	2,4,6-tribromo-phenol
<i>seuils</i>	< 1	< 1	< 1	< 0.05	< 0.05	< 0.05
04/10/00	-	-	-	-	-	-
07/11/00	-	-	-	-	-	0,07
06/12/01	-	2	-	-	-	-
04/01/01	-	-	-	-	-	-
06/02/01	-	-	-	-	-	-
01/03/01	-	2	-	-	-	0,09
02/04/01	-	-	-	-	-	0,12
07/05/01	-	-	-	-	-	-
02/07/01	-	-	-	-	-	0,04
06/08/01	-	-	-	-	-	0,03
03/09/01	-	-	-	-	-	0,05

Tabl. 3.2. Dosages des bromo-phénols au rejet de la centrale (Valeurs en $\mu\text{g.l}^{-1}$) (- : non détecté)

3.2. BACTERIOLOGIE

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

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

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

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

En 2000-2001, leur nombre est, en moyenne géométrique annuelle, multiplié par 43 entre le canal d'aménée et le Rejet.

La concentration moyenne des vibrions au canal d'aménée est, cette année, de 100 par litre, valeur inférieure aux maxima précédemment enregistrés lors des deux périodes précédentes (128 et 123 vibrions.l⁻¹) (Tabl. 3.3. et 3.4.). La relative fraîcheur du mois d'août est en grande partie à l'origine de ce chiffre.

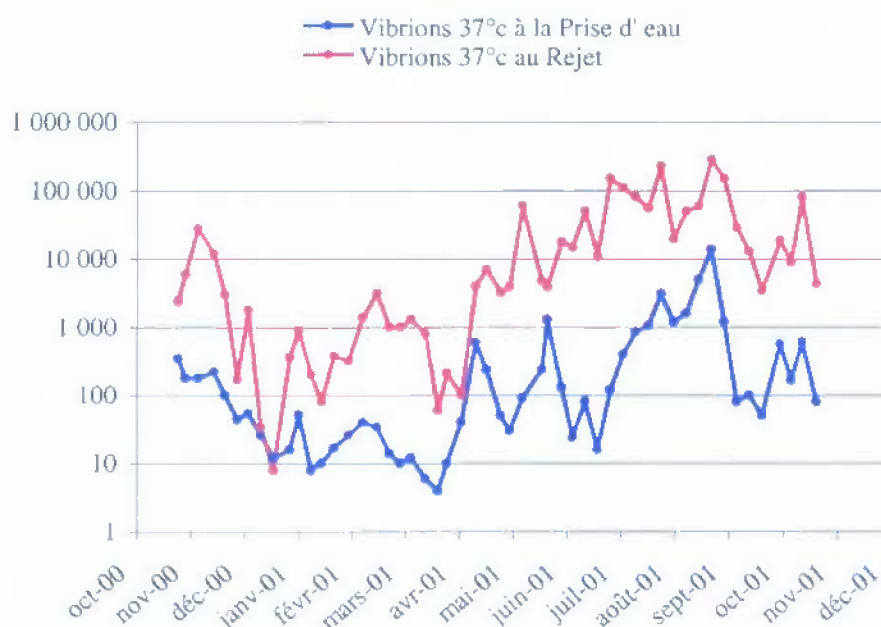


Fig. 3.3. Abondance des vibrions cultivables à 37 °C en 2000-2001
(Vibrions.l⁻¹ en échelle logarithmique)

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. et Tabl. 3.3. , 3.4.). Pour les mesures réalisées au canal d'aménée et au rejet lors de ce cycle d'étude, les relations entre concentration en vibrions et température sont les suivantes (Fig. 3.4.) :

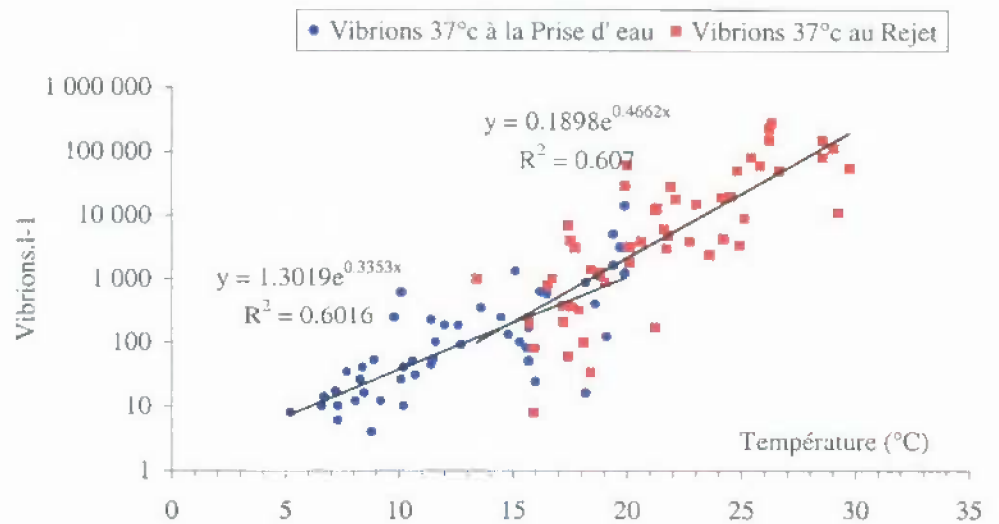


Fig.3.4. Relation entre température et concentration en vibrions aux points Canal d'amenée et Rejet

En dépit de variations liées aux conditions climatiques, l'amplitude du cycle d'abondance des vibrions dans le rejet est relativement stable depuis la mise en service des six tranches de la centrale de Gravelines (cycle 1986) (Fig. 3.5.).

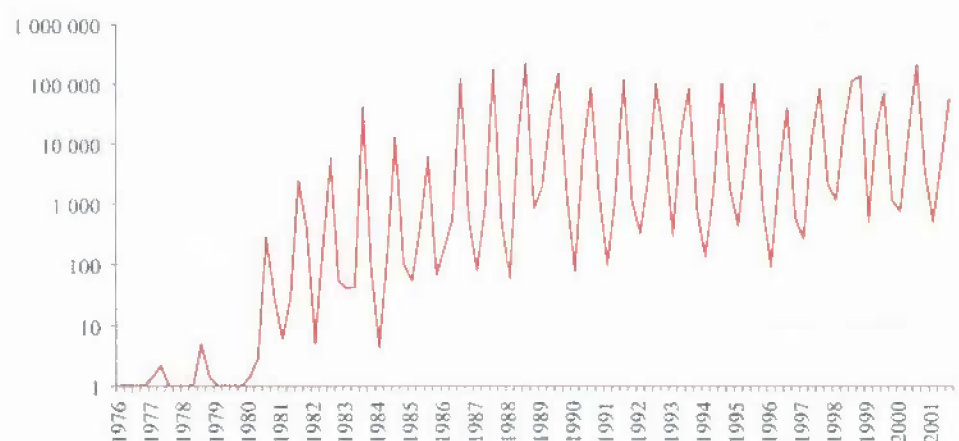


Fig.3.5. Vibrions par litre : moyenne géométrique des abondances trimestrielles de 1976 à 2001.

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

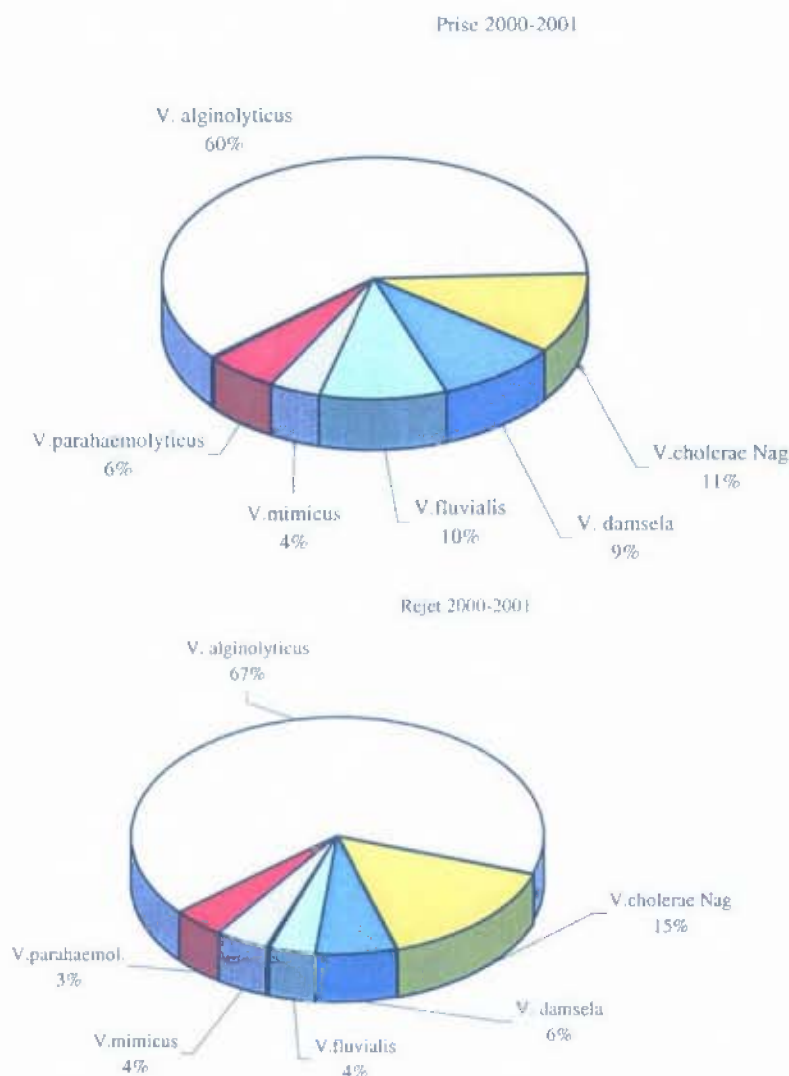


Fig. 3.6. Pourcentages moyens d'isolement des diverses espèces de vibrions aux points canal d'amenée et Rejet

Avant 1984, la quasi totalité de la flore des vibrions isolés sur le site était représentée par *Vibrio alginolyticus*. Parallèlement au développement de l'aquaculture sur le site, une diversité croissante des espèces de vibrions a été observée (Fig. 3.6.). Au rejet en 2000-2001, *Vibrio alginolyticus* reste l'espèce la plus souvent isolée avec un pourcentage moyen d'isolement de 60,2 %.

Vibrio Cholerae non agglutinable est, cette année encore, la seconde espèce par ordre d'importance avec un pourcentage d'isolement de 10,8 %.

Ce pourcentage d'isolement de *V. cholerae* Nag est voisin de la moyenne mesurée depuis 1989. Les souches de *Vibrio cholerae* isolées sur le site ne sont pas agglutinables par les sérums anti-*Vibrio cholerae* O1 (Nag) et sont halophiles strictes, ce qui permet de les différencier à priori des souches pathogènes.

V. fluvialis est isolé de façon plus fréquente en 2000-2001 avec une fréquence pratiquement identique à *V. cholerae* Nag (9,7 %).

Les autres espèces mises en évidence en 2000-2001 sont : *V. damsela*, *V. mimicus*, *V. hollisae*, *V. vulnificus* et *V. parahaemolyticus*.

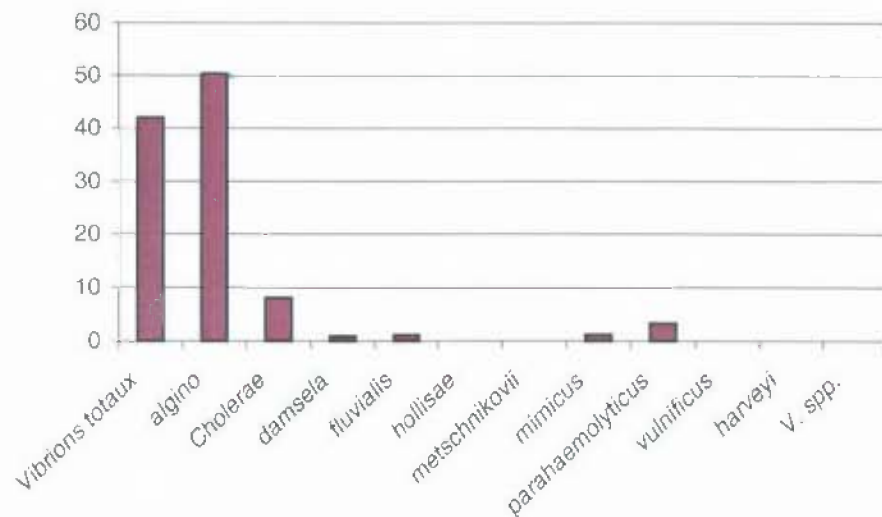


Fig. 3.7. Rapport des concentrations moyennes des diverses espèces de vibrions entre les points Rejet et Canal d'aménée (Echelle des abscisses : nom d'espèce du genre *Vibrio*).

En moyenne géométrique, *Vibrio alginolyticus* reste l'espèce la plus adaptée aux conditions actuelles du site avec un facteur moyen de multiplication de 50 fois entre la prise et le rejet (Fig. 3.7. & 3.8.). *Vibrio cholerae* Nag, qui occupe depuis quelques années la seconde place par l'importance de sa

prolifération sur le site, à cette année un facteur de multiplication de 8,0 fois (Fig. 3.7. & 3.8.).

En ce qui concerne les autres espèces trouvées sur le site, aucune multiplication significative ne peut être mise en évidence (Fig. 3.7. & 3.8.).

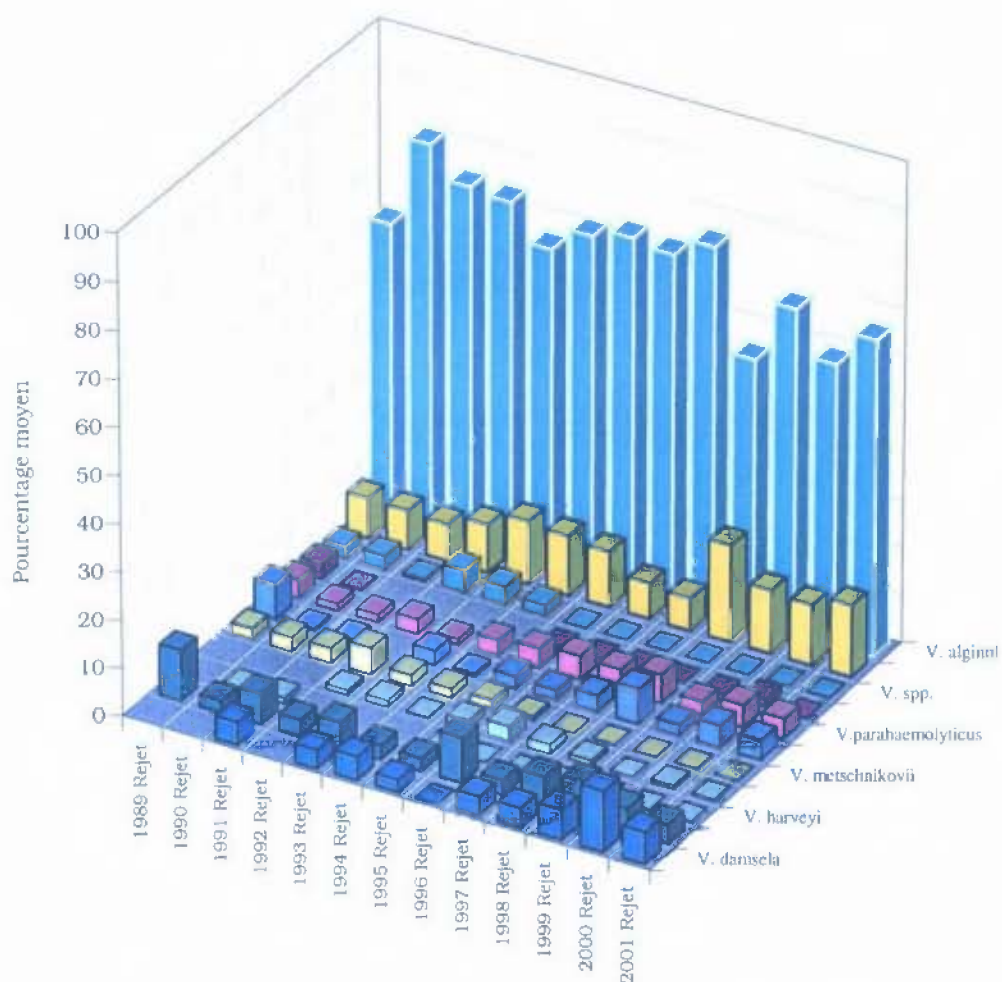


Fig. 3.8. Evolution de l'abondance relative des diverses espèces de vibrions de 1989 à 2001 au Rejet (moyennes trimestrielles des pourcentages d'abondance hebdomadaire)

3.3. CAMPAGNES PELAGIQUES

Les données relatives aux campagnes de surveillance pélagique de mars 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..

Date	Point	Température (°C)	Vibriens 37° C /litre					Haloformes			
			Vibriens totaux (/l)	V. alginolyticus	V. cholerae Nag	V. damsela	V. fluvialis	V: parahaemolyticus	CHCl2Br (µg/l)	CHClBr2 (µg/l)	CHBr3 (µg/l)
07/3/01	Prise	7.3	10	4	4	2			-	-	0.1
	Rejet	13.4	1000	500		500			-	0.07	1.8
	Contrôle	11.9	180	120		30		30	-	-	1.0
	Référence	7.6	26	20			6		-	-	0.1
27/9/01	Prise	16.4	130	70		20	40		-	-	1.0
	Rejet	24.4	12000	12000					-	0.519	12.6
	Contrôle	20.67	5000	4000	1000				-	0.21	5.3
	Référence	18.3	200	100	100				-	-	1.0

Tabl. 3.5. Campagnes pélagiques. Bactériologie et chloration

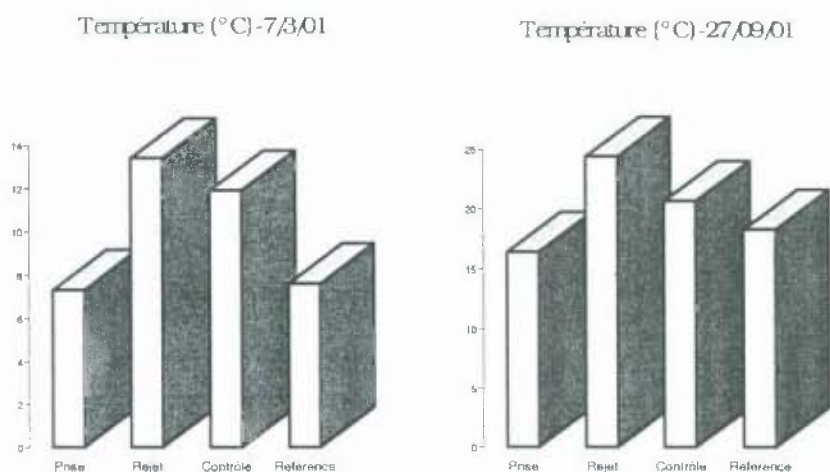


Fig. 3.9. Campagnes pélagiques – Températures de surface

Les vibrions sont en concentration plus importante au Rejet et au Contrôle que dans le milieu marin non concerné par le panache lors des deux campagnes (Fig. 3.10.). En septembre, un prélèvement supplémentaire a été réalisé à partir du radeau situé en amont du point habituel. A cet endroit, le chlore résiduel n'était plus suffisant pour entraver la multiplication des vibrions; les concentrations sont alors de 1800 vibrions.l⁻¹, valeur intermédiaire entre le canal d'amenée et le rejet.

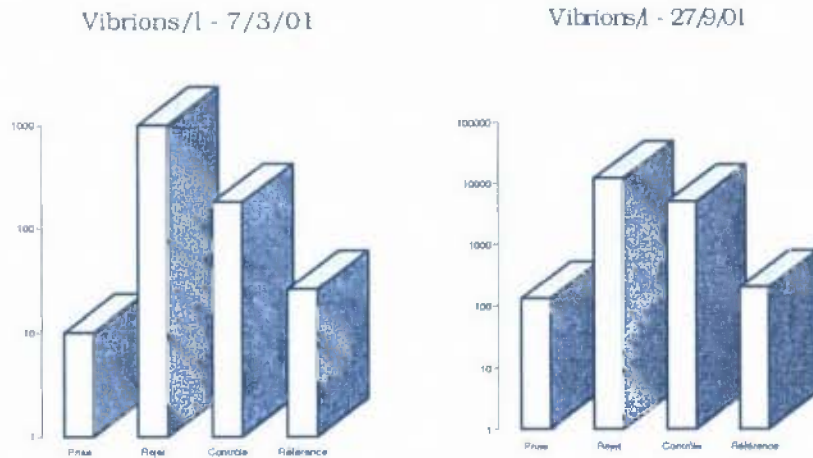


Fig. 3.10. Campagnes pélagiques – Vibrions

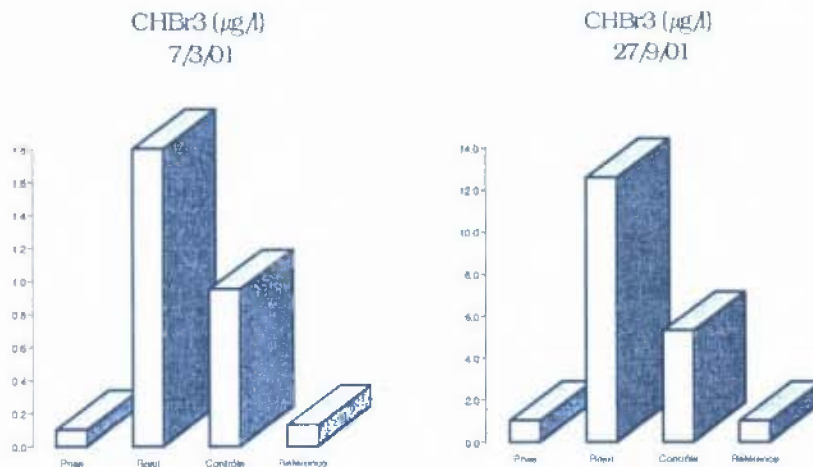


Fig. 3.11. Campagnes pélagiques – Bromoforme

Lors des deux campagnes, le bromoforme est quantifiable sur l'ensemble de la zone d'étude. La dilution du bromoforme se fait de façon comparable à la dilution thermique (Fig. 3.11.).

3.4. ELEMENTS DE CONCLUSION

Les résultats obtenus cette année précisent et confirment les observations des dernières études de surveillance écologique du site de Gravelines.

La chloration de l'eau s'est étendue durant 11 des 12 mois de la période 2000-2001 ce qui est la plus longue période de chloration observée depuis la mise en service de la centrale. Les composés chimiques formés sont essentiellement bromés et le plus abondant est le bromoforme avec une concentration moyenne de $13,8 \mu\text{g.l}^{-1}$ (95,5 % du total).

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 (7,5% en 2000-2001). Le 2-4-6 tribromo-phénol a été mis en évidence cette année encore en faibles concentrations (30 à 120 ng.l^{-1}).

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 (43 fois en moyenne géométrique).

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

Avant 1984, la quasi totalité de la flore des vibrions isolés sur le site était représentée par *Vibrio alginolyticus*. Parallèlement au développement de l'aquaculture sur le site, une diversité croissante des espèces de vibrions a été observée.

Cette diversité des espèces de vibrions est pleinement confirmée cette année. *Vibrio alginolyticus* qui était auparavant la seule espèce de vibron mise en évidence sur le site, reste l'espèce majoritaire dans le rejet de la centrale avec 60 % des isollements.

Vibrio fluvialis et *Vibrio cholerae* O1 (Nag) sont les deux espèces les plus fréquemment isolées après *V. alginolyticus* avec des pourcentages de l'ordre de 10 %. Ce pourcentage d'isolement de *V. cholerae* O1 (Nag) est voisin de celui de la période précédente ; il est plus faible qu'en 1997-1998 où il avait atteint 20 %.

Les souches de *Vibrio cholerae* isolées sur le site ne sont pas agglutinables par les sérums anti-*Vibrio cholerae* O1 (Nag) et sont halophiles strictes, ce qui permet de les distinguer des souches épidémiques (en ce qui concerne *Vibrio cholerae*, il convient de rappeler que cette espèce comprend environ 140 sérotypes et que seulement deux de ces sérotypes présentent un risque sanitaire important. Ces deux sérotypes n'ont jamais été mis en évidence sur le site de Gravelines).

Les autres espèces mises en évidence en 2000-2001 sont : *V. damsela*, *V. mimicus*, *V. hollisae*, *V. vulnificus* et *V. parahaemolyticus*.

Date Unités Seuls	PRISE				REJET		
	Chlore tot. mg.l ⁻¹	C H Cl2 Br µg.l ⁻¹	C H Cl Br2 µg.l ⁻¹	C H Br3 µg.l ⁻¹	C H Cl2 Br µg.l ⁻¹	C H Cl Br2 µg.l ⁻¹	C H Br3 µg.l ⁻¹
	0,03 mg.l ⁻¹	0,02 µg.l ⁻¹	0,02 µg.l ⁻¹	0,05 µg.l ⁻¹	0,02 µg.l ⁻¹	0,02 µg.l ⁻¹	0,05 µg.l ⁻¹
3/1,00	0.08	-	-	0.49	0.04	0.63	13.9
7/1,00	0.06	-	0.3	4.66	-	0.42	10.0
14/1,00	-	-	0.1	1.87	-	0.49	11.1
23/1,00	-	-	-	0.84	-	0.30	7.7
29/1,00	-	-	-	0.96	-	0.32	7.9
6/12,00	0.10	-	-	0.86	0.08	1.05	25.2
12/12,00	0.06	-	0.1	1.51	0.06	0.90	23.0
19/12,00	0.06	-	-	0.93	0.05	0.69	15.9
26/12,00	0.07	-	-	0.56	-	0.43	10.1
4/1,01	-	-	-	0.22	-	0.14	4.0
9/1,01	-	-	-	0.48	-	0.17	4.7
16/1,01	-	-	-	-	-	-	-
22/1,01	-	-	-	-	-	-	-
29/1,01	-	-	-	-	-	-	-
6/2,01	-	-	-	-	-	-	-
14/2,01	-	-	-	-	-	-	-
22/2,01	-	-	-	-	-	-	-
1/3,01	-	-	-	0.16	-	0.18	4.2
7/3,01	-	-	-	0.10	-	0.07	1.8
13/3,01	-	-	-	0.15	-	-	0.2
21/3,01	-	-	-	-	-	0.10	2.4
28/3,01	-	-	-	0.16	-	0.20	3.8
2/4,01	-	-	-	0.45	-	0.33	8.2
10/4,01	-	-	-	0.85	-	0.31	6.7
18/4,01	0.05	-	-	0.61	-	0.34	7.8
24/4,01	-	-	-	1.20	-	0.30	6.2
2/5,01	-	-	-	0.42	-	0.41	9.8
7/5,01	-	-	-	0.19	0.05	0.74	13.5
14/5,01	-	-	0.0	0.92	0.07	0.97	15.9
25/5,01	0.06	-	-	0.44	0.06	0.80	14.1
28/5,01	-	-	-	0.82	-	0.47	9.4
5/6,01	-	-	-	0.77	0.06	0.93	18.9
11/6,01	0.07	-	0.1	1.24	0.06	0.72	14.4
18/6,01	-	-	0.1	1.44	0.06	0.88	19.2
25/6,01	-	-	-	0.91	0.07	1.04	22.7
2/7,01	-	-	0.1	1.82	0.07	0.98	22.9
9/7,01	-	-	0.1	1.55	-	0.59	11.4
16/7,01	-	-	0.1	0.98	-	0.61	14.0
23/7,01	-	-	0.1	1.12	0.05	0.77	16.1
30/7,01	-	-	-	1.09	0.05	0.79	21.4
6/8,01	-	-	0.1	1.64	0.05	0.47	10.7
13/8,01	-	-	0.1	1.27	-	0.23	4.7
20/8,01	-	-	0.0	1.05	0.05	0.66	13.9
27/8,01	-	-	-	0.65	0.06	0.81	18.6
3/9,01	-	-	0.1	1.31	-	0.56	12.8
10/9,01	-	-	-	0.35	0.05	0.72	15.8
17/9,01	-	-	-	0.78	-	0.59	12.4
24/9,01	0.08	-	-	0.30	0.07	0.96	21.5
4/10,01	-	-	-	0.56	-	0.55	12.9
10/10,01	-	-	-	1.12	-	0.80	14.4
16/10,01	-	-	0.1	1.07	-	0.37	8.4
24/10,01	0.07	-	0.0	1.25	0.05	0.92	17.5

Tabl. 3.1. Chlore résiduel et haloformes

Date	Temp (°C)	Vibrions 37°C	V. alginolyticus	V. cholerae Non-O1	V. damsela	V. fluvialis	V. harveyi	V. bollisae	V. metschnikovii	V. mimicus	V. parahaemolyticus	V. vulnificus	V. spp.
03/11/00	13,6	350	140		110	80				40			
07/11/00	12,6	180	10	60	50	60							
14/11/00	12,0	180	70		60	10				30	10		
23/11/00	11,4	220	20	10	100					90			
29/11/00	11,6	100	30							60	10		
06/12/00	11,4	44	2	12		16				6	8		
12/12/00	11,5	54	12			42							
19/12/00	10,1	26	24			2							
26/12/00	8,1	12	10			2							
04/01/01	8,5	16	6			6					4		
09/01/01	8,9	52	10	16	20						6		
16/01/01	5,2	8	3	2		3							
22/01/01	6,6	10	10										
29/01/01	7,2	17	6	2							9		
06/02/01	8,3	26	8	6	6						6		
14/02/01	8,4	40	18		22								
22/02/01	7,7	34	18	6	10								
01/03/01	6,7	14	12		2								
07/03/01	7,3	10	4	4	2								
13/03/01	9,2	12	10	2									
21/03/01	7,3	6	2			2					2		
28/03/01	8,8	4	4										
02/04/01	10,2	10	6	4									
10/04/01	10,2	40	40										
18/04/01	10,1	600	600										
24/04/01	9,8	240	120								120		
02/05/01	10,6	50	40								10		
07/05/01	10,7	30	30										
14/05/01	12,7	90	40			50							
25/05/01	14,5	240	60	60							100	20	
28/05/01	15,1	1 300	600	600		100							
05/06/01	14,8	130	120		10								
11/06/01	16,0	24	16			8							
18/06/01	16,0	80	10	70									
25/06/01	18,2	16	16										
02/07/01	19,1	120	120										
09/07/01	18,6	400	400										
16/07/01	18,2	860	520							340			
23/07/01	18,8	1 060	280		200	580							
30/07/01	19,7	3 100	3 000		100								
06/08/01	19,9	1 200	1 000		200								
13/08/01	19,4	1 600	600		700	300							
20/08/01	19,4	5 000	5 000										
27/08/01	19,9	14 000	13 000							1 000			
03/09/01	18,8	1 200	1 200										
10/09/01	15,8	80	80										
17/09/01	15,3	100	100										
24/09/01	15,7	50	50										
04/10/01	16,5	580	20	360	100								
10/10/01	15,7	166	73	20	73								
16/10/01	16,2	620	140	200	40	200					40		
24/10/01	15,6	80	46	20									

Tabl. 3.3. Vibrions - mesures hebdomadaires au Canal d'amenée (bactéries.l⁻¹)

Tabl. 3.4. *Vibrions* - mesures hebdomadaires au Rejet (bactéries/l)

Date	Temp (°C)	Vibrions 37°C	<i>V. alginolyticus</i>	<i>V. cholerae</i> Non-O1	<i>V. damsela</i>	<i>V. fluvialis</i>	<i>V. parahaemolyticus</i>	<i>V. vulnificus</i>	<i>V. spp.</i>
03/11/00	23,6	2 400	200	1 200	1 000				
07/11/00	21,6	6 000	3 200	1 000	1 800				
14/11/00	21,9	28 000	17 000	7 000	4 000				
23/11/00	21,2	12 000	2 000	1 000	10 000				
29/11/00	21,7	3 000	1 700	1 30	1 000				
06/12/00	21,2	170	20	50	300				
12/12/00	20,1	1 800	700	1 100					
19/12/00	18,4	34	28	5					
26/12/00	15,9	8	2	4					
04/1/01	17,6	360	140	20					
09/1/01	19,0	900	900						
16/1/01	15,7	200	120						
22/1/01	15,9	80	80						
29/1/01	17,2	380	380						
06/2/01	17,9	320	200						
14/2/01	18,4	1 400	300	800	600				
22/2/01	17,7	3 100	2 300	800	120				
01/3/01	16,7	1 000	900		100				
07/3/01	13,4	1 000	500		500				
13/3/01	18,8	1 300	1 300						
21/3/01	16,5	800	300	30					
28/3/01	17,4	60	30						
02/4/01	17,2	210	210						
10/4/01	18,1	100	100						
18/4/01	17,5	4 000	4 000						
24/4/01	17,4	7 000	5 000						
02/5/01	20,1	3 200	1 200						
07/5/01	20,6	3 900	3 900						
14/5/01	20,0	60 000	20 000	10 000	30 000				
25/5/01	21,8	4 800	2 600	1 700	500				
28/5/01	22,7	3 900	1 700	1 200	600				
05/6/01	22,1	18 000	12 000						
11/6/01	23,0	15 000	15 000						
18/6/01	24,8	50 000	50 000						
25/6/01	29,2	11 000	8 000						
02/7/01	28,5	150 000	150 000						
09/7/01	29,0	110 000	110 000						
16/7/01	28,5	80 000	70 000						
23/7/01	29,7	55 000	55 000						
30/7/01	26,2	230 000	230 000						
06/8/01	24,5	20 000	20 000						
13/8/01	26,6	50 000	50 000						
20/8/01	25,8	60 000	10 000						
27/8/01	26,3	286 000	125 000	50 000					
03/9/01	26,2	150 000	100 000						
10/9/01	19,9	29 000	17 000						
17/9/01	21,3	13 000	12 000						
24/9/01	24,9	3 400	1 000						
04/10/01	24,1	19 000	13 000						
10/10/01	25,1	9 000	3 000						
16/10/01	25,4	80 000	50 000						
24/10/01	24,2	4 300	3 600						

4. PHYTOPLANCTON ET BIOMASSE CHLOROPHYLLIENNE

Auteurs :
Benoist HITIER
Alain LEFEBVRE

Collaborateurs :
Pascale HEBERT
René OLIVESI

4.1. INTRODUCTION

Le phytoplancton et la biomasse chlorophyllienne sont habituellement suivis lors des campagnes de prélèvements hydrologiques du printemps et de l'automne. Ils permettent de comparer les valeurs des prélèvements au canal d'amenée (station 325), au canal de rejet (station 327) et à la station contrôle (station 324) située dans la tache thermique. Ces 3 stations sont rapprochées d'un point de référence (station 302) éloigné de l'influence de la centrale et caractéristique de l'évolution naturelle du milieu marin.

Des prélèvements hebdomadaires au canal d'amenée permettent d'appréhender les variations de la biomasse chlorophyllienne et de l'abondance du phytoplancton au cours de l'année. Ils permettent de situer les deux campagnes de prélèvement hydrologiques par rapport au cycle saisonnier de l'écosystème.

Les prélèvements d'échantillon d'eau sont réalisés en sub-surface. La chlorophylle *a* et les phéopigments sont dosés par mesure spectrophotométrique selon la méthode de Lorenzen. La flore phytoplanctonique est déterminée puis dénombrée sous microscope inversé selon la méthode préconisée par Rousseau, Mathot & Lancelot (1990).

4.2. RESULTATS

4.2.1. Surveillance hebdomadaire au canal d'amenée

4.2.1.1. Biomasse chlorophyllienne

La figure 4.1. et les tableaux 4.1.(a & b) présentent l'évolution temporelle des concentrations en chlorophylle *a*. Elles constituent un indicateur de la biomasse phytoplanctonique présente dans la masse d'eau. Les valeurs restent faibles ($< 3,4 \text{ mg.m}^{-3}$), en progression lente, jusqu'au 14 février. Cette situation est habituellement rencontrée en période hivernale. Après un premier pic le 22 février ($11,66 \text{ mg.m}^{-3}$), la concentration diminue puis reprend sa progression jusqu'au 28 mars ($8,45 \text{ mg.m}^{-3}$). La semaine suivante, l'augmentation est brutale puisque le maximum annuel est observé le 10 avril avec $42,03 \text{ mg.m}^{-3}$. A partir de cette date, les concentrations redescendent lentement mais présentent une grande variabilité.

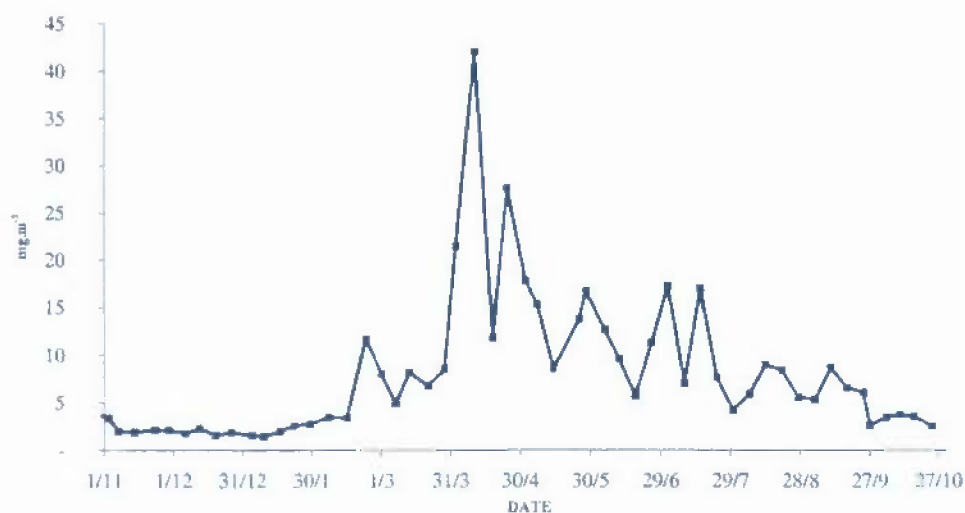


Fig. 4.1. Evolution temporelle des concentrations de surface en chlorophylle a (mg.m^{-3}) au canal d'amenée.

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 phytoplancton / zooplancton (phénomène de broutage).

L'activité de la chlorophylle est très bonne tout au long de la période d'observation puisqu'elle reste toujours supérieure à 65 % à l'exception du 27 septembre (54,77 %).

Pendant la période automnale, les pourcentages diminuent légèrement et régulièrement, passant de 75 à 65 % de chlorophylle active (Fig. 4.2. et Tabl. 4.1.). Le pourcentage augmente ensuite assez régulièrement jusqu'au 22 février. Par la suite, on observe de fortes oscillations de l'activité. Les maximums se situent autour de 98 % pendant tout le printemps (22 février : 97,65 % ; 2 avril : 99,40 % ; 24 avril : 98,63 % ; 28 mai : 98,23 %). A partir du 5 juin, la tendance est à la décroissance et l'amplitude des variations devient moins importante. L'activité est à 70 % à la fin du mois d'octobre.

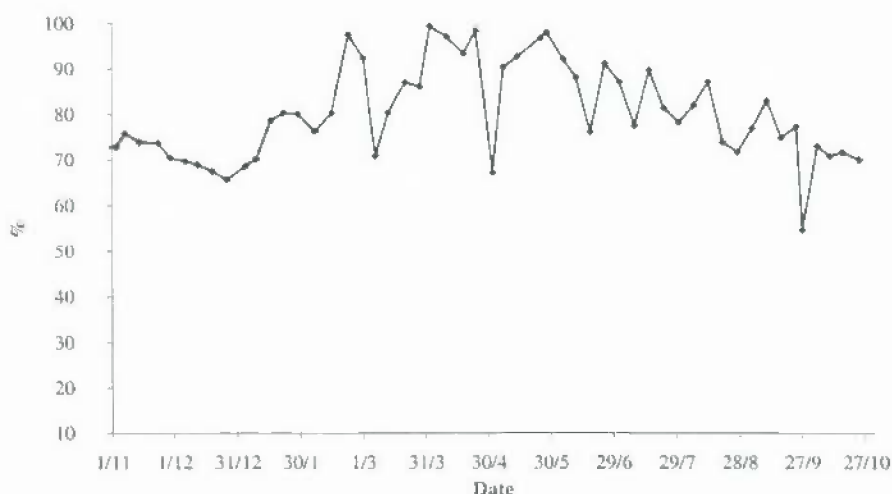


Fig. 4.2. Evolution temporelle du pourcentage de chlorophylle active au canal d'amenée.

4.2.1.3. Succession des espèces phytoplanctoniques

Pendant la période d'étude, 69 genres phytoplanctoniques au total ont été dénombrés au canal d'amenée.

Les diatomées sont présentes dans tous les échantillons de l'année (Fig. 4.3. à 4.7.), mais leur abondance est très irrégulière (Tabl. 4.1. et Fig. 4.8.). Leur abondance dépasse 90 % de la composition floristique totale lorsque la Prymnésiophycée *Phaeocystis* est absente. Le cycle saisonnier d'abondance des diatomées se caractérise par une augmentation importante au début du printemps. Les échantillons où les diatomées sont très abondantes ont été prélevés pendant les mois de mars, mai et juillet. Les échantillons du 2 avril et du 30 juillet contiennent plus d'un million de cellules de diatomées par litre.

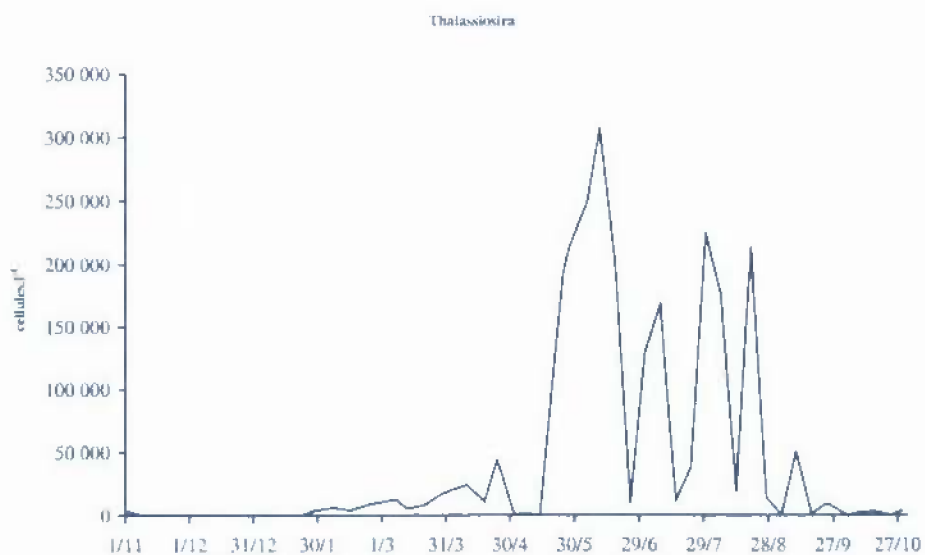


Fig. 4.3. Evolution temporelle de l'abondance (nombre de cellules par litre) du genre *Thalassiosira*.

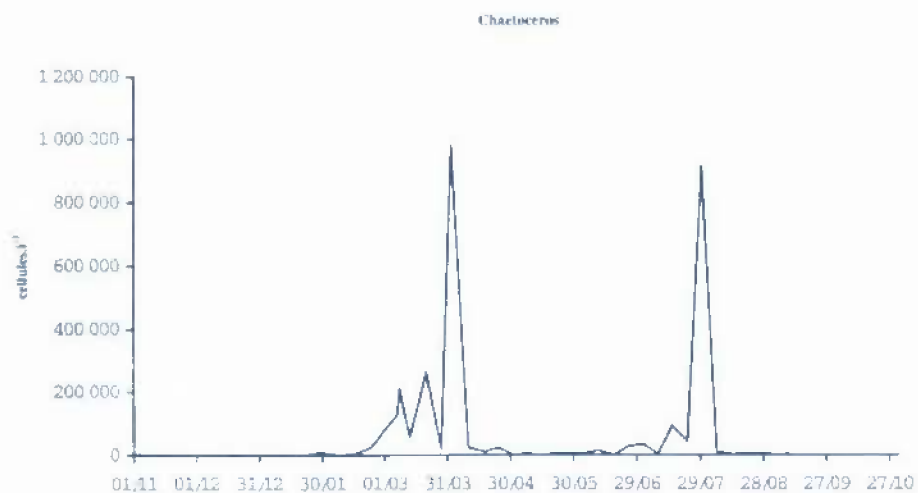


Fig. 4.4. Evolution temporelle de l'abondance (nombre de cellules par litre) du genre *Chaetoceros*.

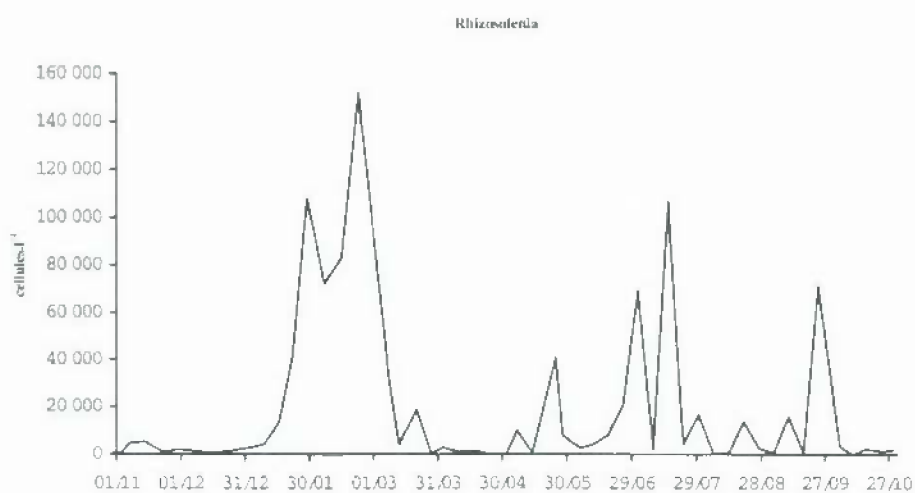


Fig. 4.5. Evolution temporelle de l'abondance (nombre de cellules par litre) du genre *Rhizosolenia*.

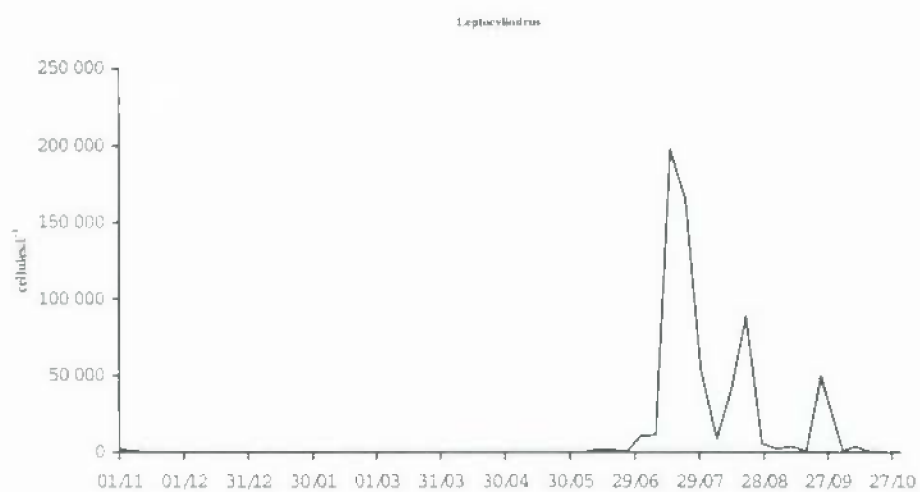


Fig. 4.6. Evolution temporelle de l'abondance (nombre de cellules par litre) du genre *Leptocylindrus*.

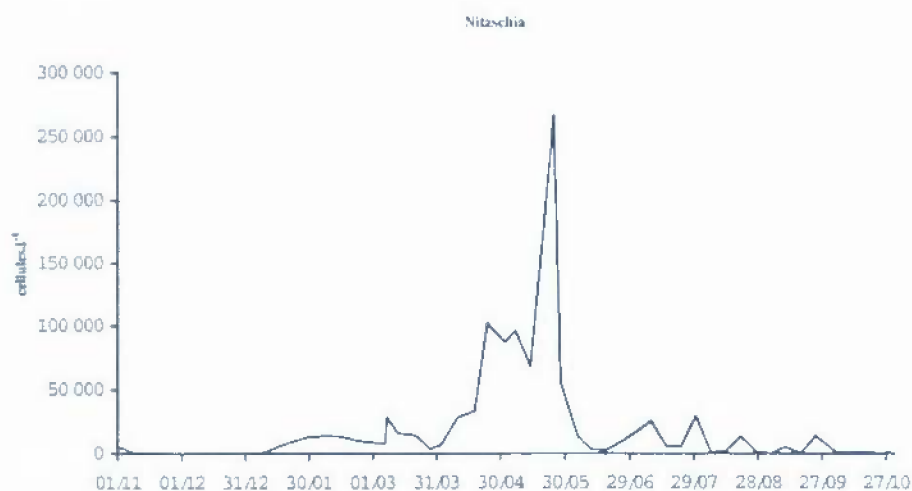


Fig. 4.7. Evolution temporelle de l'abondance (nombre de cellules par litre) du genre *Nitzschia*.

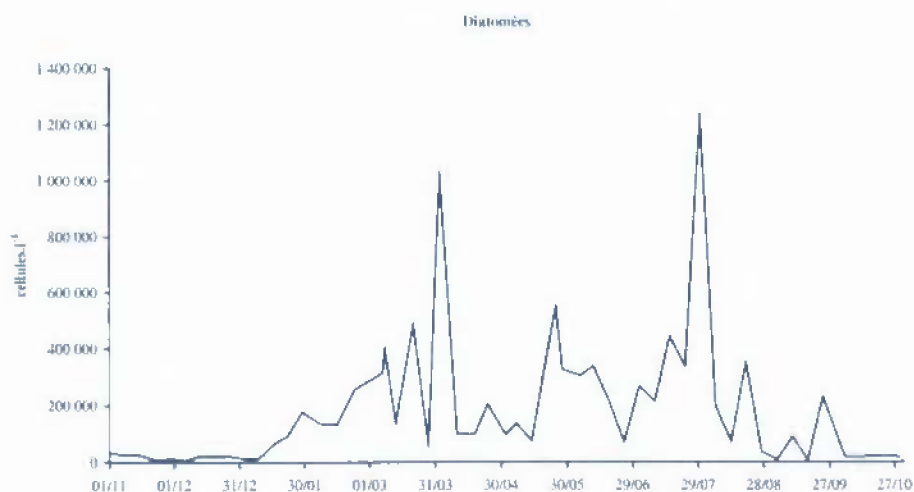


Fig. 4.8. Evolution temporelle de l'abondance totale (nombre de cellules par litre) des diatomées.

La figure 4.9. représente la succession temporelle des principales espèces de diatomées rencontrées sur le site d'étude. Le genre *Chaetoceros* est présent toute l'année. Il est responsable des deux pics du 2 avril et du 30 juillet (respectivement 980.10^3 et 911.10^3 cellules.l⁻¹). Le genre *Rhizosolenia* à preferendum printanier apparaît précocement du fait de la douceur de l'hiver.

Le genre *Leptocylindrus* est abondant pendant les saisons estivales et automnales. Le genre *Nitzschia* est abondant au printemps. Le genre *Thalassiosira* est présent principalement entre les mois de mai et d'août.

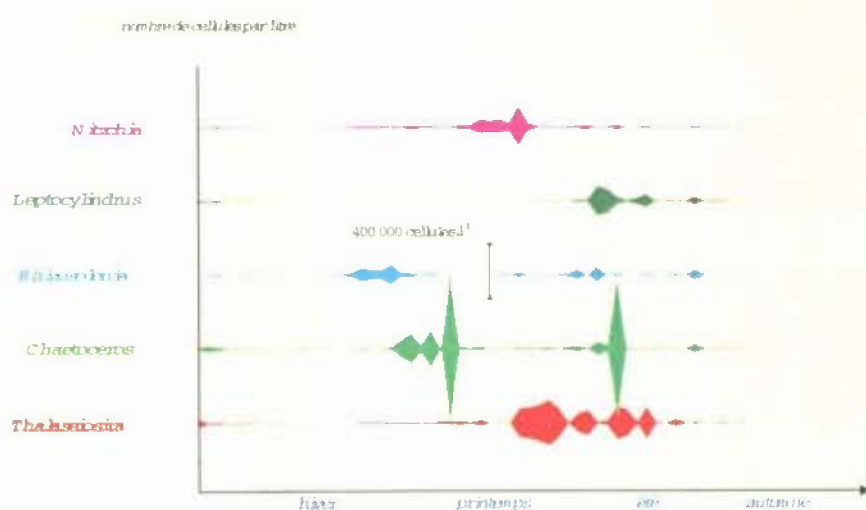


Fig. 4.9. Evolution temporelle de l'abondance (nombre de cellules par litre) des principales espèces de diatomées du site de Gravelines.

Les dinoflagellés sont présents dans la majeure partie des échantillons (Fig. 4.10.). Leur abondance est minimale de novembre à février (< 1000 cellules.l⁻¹). Dès le mois de mars, leur abondance va présenter une forte variabilité marquée par des périodes de fortes concentrations cellulaires (3600 cellules.l⁻¹ le 7 mai; 4200 cellules.l⁻¹ le 25 mai; plus de 2000 cellules.l⁻¹ entre le 16 juillet et le 13 août, 8400 cellules.l⁻¹ le 10 septembre et 2100 cellules.l⁻¹ le 24 septembre) et des périodes comparables aux faibles niveaux hivernaux. Les Péridiniens et *Prorocentrum* sont responsables du nombre important de cellules de dinoflagellés observés les 23 et 30 juillet avec respectivement 19226 et 10700 cellules.l⁻¹.

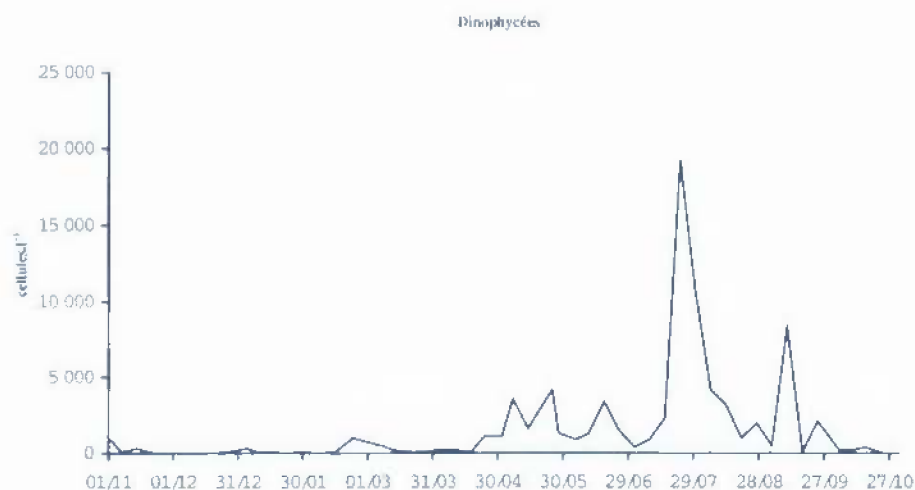


Fig. 4.10. Evolution temporelle de l'abondance totale (nombre de cellules par litre) des Dinoflagellés.

La prymnésiofycée *Phaeocystis*, espèce nanoplanctonique coloniale 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.

Cette algue apparaît ponctuellement dans les échantillons du 7 novembre 2000 et du 4 octobre 2001 (Tabl. 4.2. et Fig. 4.11.). L'espèce est connue pour être présente dans le milieu entre mars et juin. En 2001, le nombre de cellules augmente régulièrement du 7 mars au 24 avril ; sauf le 18 avril où il y a un léger recul par rapport à la progression (11 millions de cellules.l⁻¹). Le 24 avril et le 2 mai, on observe 23 millions de cellules par litre. *Phaeocystis* décroît ensuite régulièrement et disparaît après le 28 mai (Tabl. 4.2.).

La période printanière d'observation de *Phaeocystis* correspond à des concentrations de chlorophylle très élevées. Toutefois le 18 avril, le maximum annuel de chlorophylle ne correspond pas à celui de *Phaeocystis* (Fig. 4.11.).

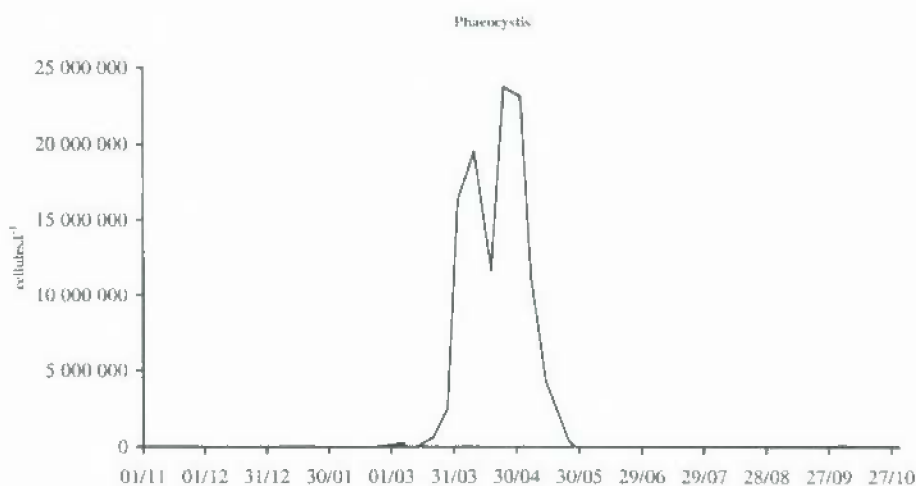


Fig. 4.11. Evolution temporelle de l'abondance (nombre de cellules par litre) du genre *Phaeocystis*.

4.2.2. Impact de la centrale : campagnes pélagiques du 7 mars et du 27 septembre 2001

La campagne pélagique printanière se situe dans la phase de croissance de la biomasse chlorophyllienne, juste après le premier pic. La chlorophylle est de mauvaise qualité par rapport aux observations du mois de mars.

La campagne du 27 septembre 2000 permet d'appréhender les paramètres du milieu dans un contexte de fin de cycle biologique. La concentration de chlorophylle au canal d'amenée est très faible et l'activité planctonique est la plus mauvaise de la période d'étude.

4.2.2.1. Biomasse chlorophyllienne

Le 7 mars 2001, on constate une variation de biomasse chlorophyllienne (Fig. 4.12. et Tabl. 4.3.) :

- de + 5 % entre les prélèvements effectués au canal de rejet et ceux du canal d'amenée,
- de + 31 % entre les prélèvements effectués au contrôle surface et ceux du canal d'amenée,
- de - 3 % entre les prélèvements effectués à la référence et ceux du canal d'amenée,
- de + 31 % entre le fond et la surface au niveau de la station de contrôle,
- de + 18 % entre le fond et la surface au niveau de la station de référence.

Le 27 septembre 2001, la variation de biomasse chlorophyllienne est (Fig. 4.12 et Tabl. 4.3.) :

- de - 35 % entre les prélèvements effectués au canal de rejet et ceux du canal d'amenée,
- de + 1 % entre les prélèvements effectués au contrôle surface et ceux du canal d'amenée,
- de - 3 % entre les prélèvements effectués à la référence surface et ceux du canal d'amenée,
- de + 10 % entre le fond et la surface au niveau de la station de contrôle,
- de - 5 % entre le fond et la surface au niveau de la station de référence.

Le 7 mars, la biomasse chlorophyllienne est légèrement plus importante au rejet qu'au canal d'amenée. La concentration est plus élevée à la station contrôle qu'au canal d'amenée. Les biomasses sont équivalentes au canal d'amenée et à la station de référence. Aux deux stations du large, il y a un gradient surface fond voisin de 1 mg.m^{-3} . La campagne de printemps donne des valeurs similaires qui montrent des masses d'eau relativement homogènes et ne permet pas de voir d'impact du transit des masses d'eau dans la centrale sur la biomasse chlorophyllienne.

Le 27 septembre, l'ensemble des teneurs en chlorophylle est plus faible qu'au printemps, conformément au cycle saisonnier de ce paramètre. Le déficit de biomasse chlorophyllienne entre le canal d'amenée et le canal de rejet est de $0,92 \text{ mg.m}^{-3}$. Les biomasses chlorophylliennes sont du même ordre de grandeur, entre le canal d'amené, la station de contrôle et le point de référence. Les concentrations en chlorophylle des stations du large sont équivalentes et ne permettent pas de mettre en évidence un gradient surface-fond.

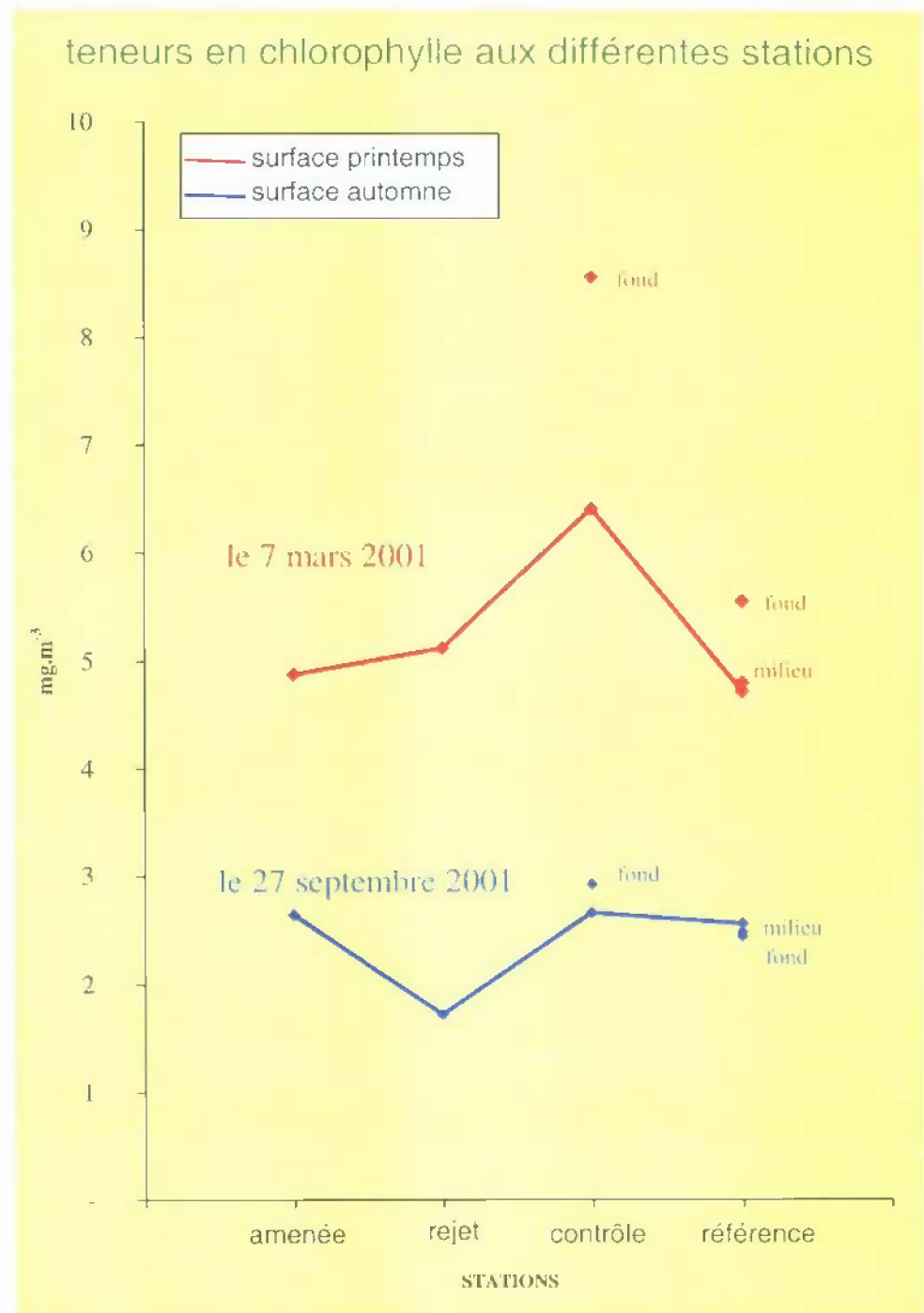


Fig. 4.12. Impact de la centrale sur la biomasse chlorophyllienne.

4.2.2.2. Teneurs en chlorophylle active

Le 7 mars 2001 (Figure 4.13. et Tableau 4.4.), l'activité de la chlorophylle diminue fortement entre le canal d'amenée et le canal de rejet (16 %). Elle est encore légèrement inférieure à la station de contrôle ($\Delta = 4$ %). Les valeurs sont équivalentes au canal d'amenée et à la station de référence. Le gradient surface fond est très marqué à la station de contrôle ($\Delta = 14$ %). Il est légèrement moins marqué au niveau de la station de référence ($\Delta = 8$ %).

Le 27 septembre 2001 (Figure 4.13. et Tableau 4.4.), l'activité est la même (45 %) au canal de rejet et à la station de contrôle ; inférieure de 10 % à celle observée au canal d'amenée. La chlorophylle est de bonne qualité (69 %) à la station de référence. Les eaux sont stratifiées au niveau de la station de contrôle ; la différence est de 10 %. Les eaux sont beaucoup plus homogènes à la station de référence (Δ surface/milieu = 5 % et Δ surface/fond = 3 %).

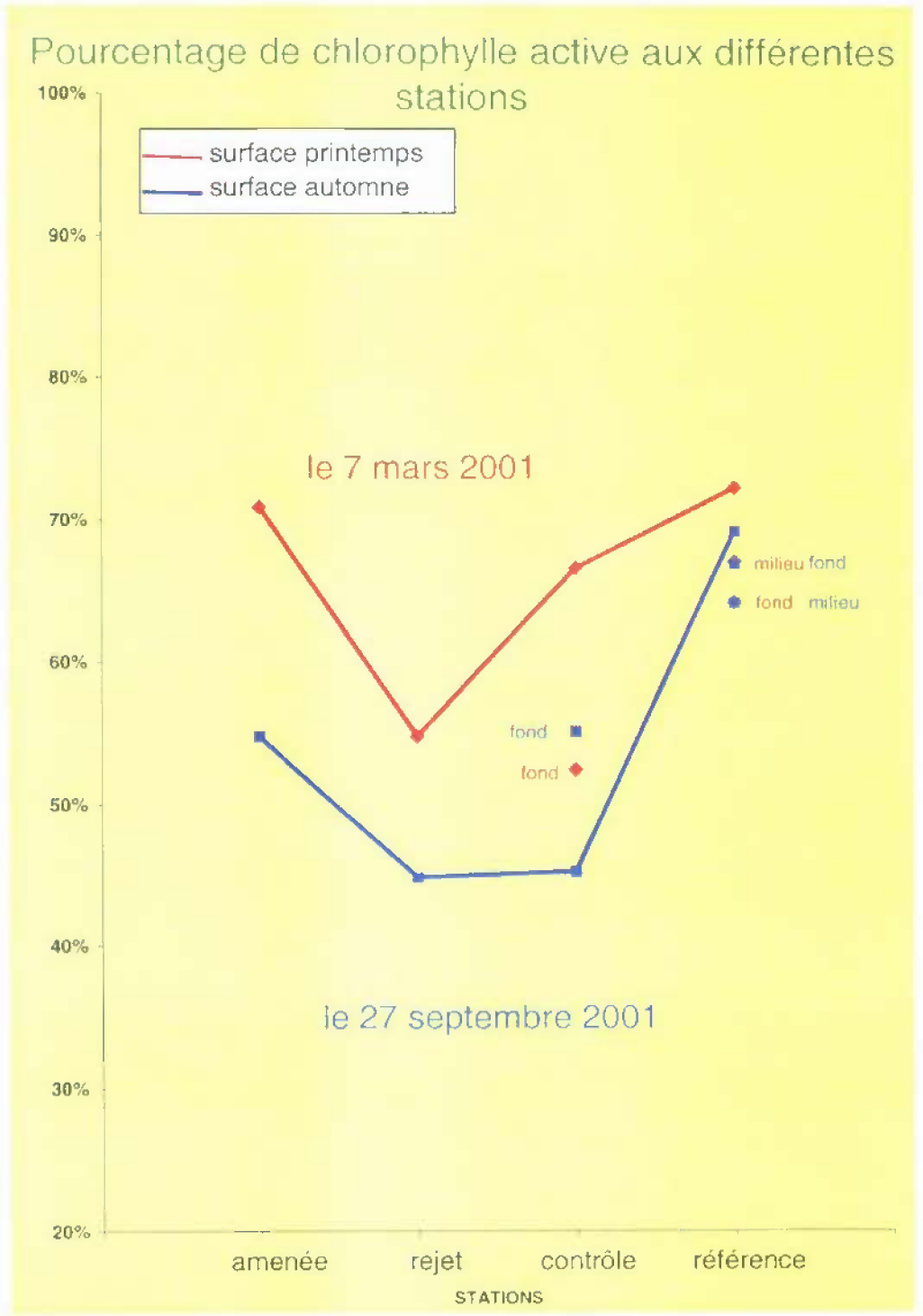


Fig. 4.13. Impact de la centrale sur la chlorophylle active.

4.2.2.3. Impact sur les groupes phytoplanctoniques

Lors de la campagne du 7 mars, le nombre total d'espèces échantillonnées aux différentes stations est compris entre 20 et 27 (Tabl. 4.5.). 7 espèces ont disparu entre le canal d'amenée et le rejet. Le nombre d'espèces communes aux différentes stations échantillonnées est compris entre 14 et 19 (Tabl. 4.6.). Les diatomées sont les plus affectées par le passage dans la centrale. Il faut toutefois relativiser puisque leur nombre est très proche au canal d'amenée et aux stations de contrôle et de référence (Fig. 4.14.).

La liste floristique de la campagne du 27 septembre 2001 au canal d'amenée n'est pas disponible suite à un problème technique. La richesse des échantillons observés est moindre qu'au printemps le nombre d'espèces phytoplanctoniques échantillonnées est compris entre 14 et 21 (Tabl. 4.5.). Le nombre d'espèces communes aux différentes stations varie de 4 à 21 (Tabl. 4.6.). La différence la plus importante est observée entre les stations contrôle et référence (Fig. 4.14.).

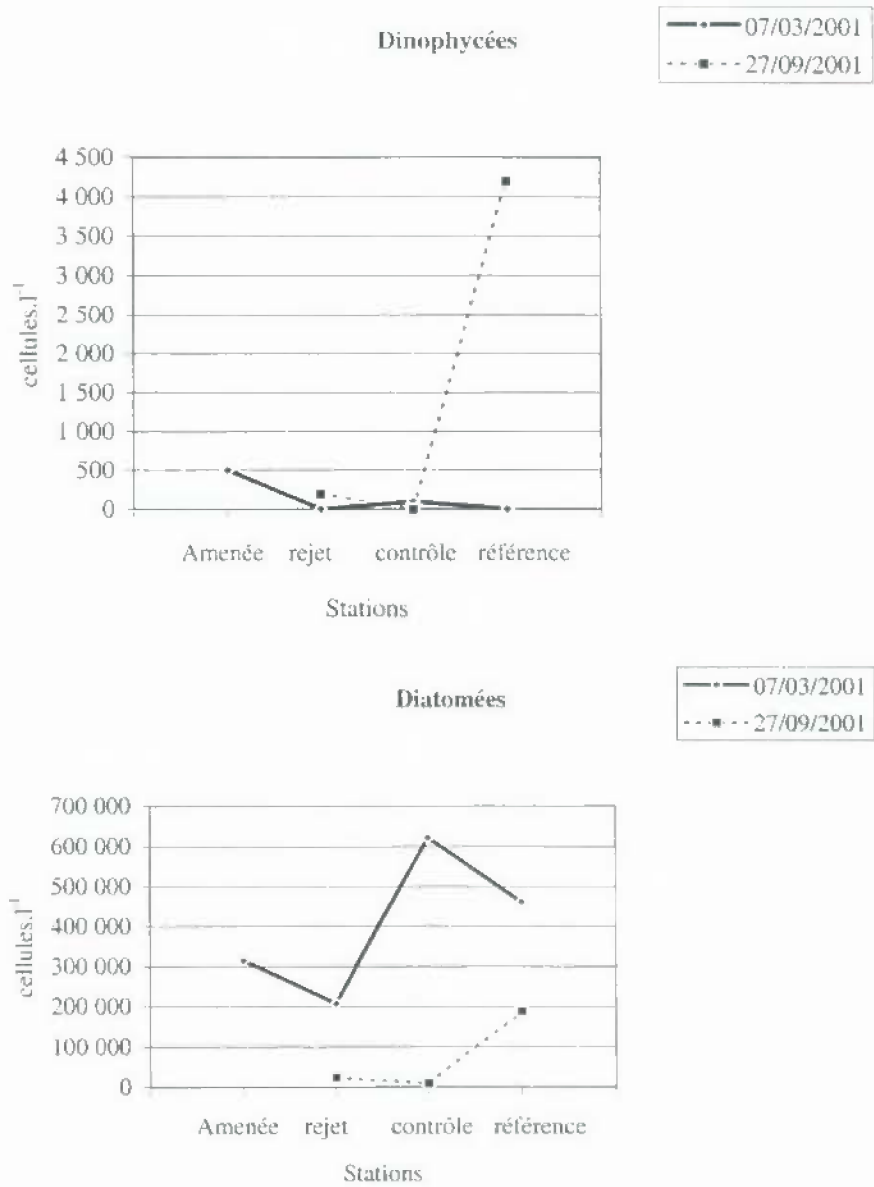


Fig. 4.14. Impact de la centrale sur deux principaux groupes phytoplanctoniques lors des campagnes du 7 mars et du 27 septembre 2001.

4.3. ELEMENTS DE CONCLUSION

Le suivi hebdomadaire au niveau du canal d'amenée de la centrale a mis en évidence une évolution saisonnière classique des concentrations en chlorophylle *a* et des teneurs en chlorophylle active. La concentration maximale en chlorophylle *a* observée sur le site est de 42,03 mg.m⁻³. 2001 se situe parmi les plus fortes des dernières années avec 1993 et 1996 (> 40 mg.m⁻³). 1995 et 1999 sont des années intermédiaires ; 1990, 1991, 1992, 1997, 1998 et 2000 présentent les plus faibles valeurs. L'année 2001 se caractérise par une chlorophylle d'excellente qualité ; 51 campagnes sur 58 ont un pourcentage de chlorophylle active supérieur à 70 %.

Le maximum annuel de biomasse chlorophyllienne observé le 10 avril est essentiellement dû à *Phaeocystis sp.* (19 518 000 cellules.l⁻¹). L'année est marquée par deux pics de la diatomée *Chaetoceros* (> 1 000 000 cellules.l⁻¹) le 2 avril et le 30 juillet.

Les campagnes pélagiques du 7 mars et du 27 septembre 2001 ont eu lieu alors que la biomasse chlorophyllienne était faible. Le 27 septembre l'activité chlorophyllienne est la plus faible de toute l'année.

La campagne printanière met en évidence l'impact de la centrale sur l'activité mais pas sur la biomasse chlorophyllienne. La baisse d'activité au canal de rejet est confirmée par l'abondance des diatomées, nettement inférieure après passage dans le système de refroidissement.

La campagne pélagique automnale montre l'impact de la centrale autant sur la biomasse que sur l'activité de la chlorophylle. Toutefois les valeurs sont trop faibles pour mettre en évidence un gradient significatif surface-fond au niveau des stations du large.

Référence :

Rousseau V., Mathot S. & C. Lancelot. 1990. Calculating carbon biomass of *Phaeocystis sp.* from microscopic observations. *Mar. Biol.*, 107 (2) : 305-314.

Date station	Chlorophylle	% Chlorophylle active
03/11/2000	3,39	72,90
07/11/2000	2,01	75,85
14/11/2000	1,93	73,95
23/11/2000	2,11	73,78
29/11/2000	2,12	70,43
06/12/2000	1,80	69,77
12/12/2000	2,31	68,96
19/12/2000	1,58	67,52
26/12/2000	1,89	65,62
04/01/2001	1,56	68,72
09/01/2001	1,44	70,24
16/01/2001	2,01	78,82
22/01/2001	2,60	80,50
29/01/2001	2,75	80,17
06/02/2001	3,48	76,32
14/02/2001	3,38	80,48
22/02/2001	11,66	97,65
01/03/2001	8,00	92,38
07/03/2001	4,89	70,87
13/03/2001	8,13	80,42
21/03/2001	6,75	87,10
28/03/2001	8,45	86,14
02/04/2001	21,37	99,40
10/04/2001	42,03	97,09
18/04/2001	11,74	93,40
24/04/2001	27,65	98,43
02/05/2001	17,73	67,26
07/05/2001	15,28	90,36
14/05/2001	8,52	92,81
25/05/2001	13,71	96,89
28/05/2001	16,69	98,23
05/06/2001	12,57	92,22
11/06/2001	9,58	88,21
18/06/2001	5,68	76,24
25/06/2001	11,25	91,31
02/07/2001	17,23	87,11
09/07/2001	6,99	77,67

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

Date station	Chlorophylle	% Chlorophylle active
16/07/2001	16.90	89.85
23/07/2001	7.59	81.53
30/07/2001	4.18	78.42
06/08/2001	5.87	82.10
13/08/2001	8.95	87.32
20/08/2001	8.34	74.00
27/08/2001	5.53	71.82
03/09/2001	5.31	77.07
10/09/2001	8.62	83.12
17/09/2001	6.53	75.06
24/09/2001	6.02	77.48
27/09/2001	2.64	54.77
04/10/2001	3.47	73.21
10/10/2001	3.75	70.89
16/10/2001	3.53	71.75
24/10/2001	2.53	70.08
29/10/2001	3.60	85.31

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

Date	Cellules.l ⁻¹
07/11/2000	6 300
07/03/2001	252 500
21/03/2001	609 000
28/03/2001	2 528 000
02/04/2001	16 343 300
10/04/2001	19 518 800
18/04/2001	11 642 300
24/04/2001	23 745 700
02/05/2001	23 137 200
07/05/2001	11 280 400
14/05/2001	4 325 500
25/05/2001	383 500
04/10/2001	104 000

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

Station	Teneurs moyennes en chlorophylle (mg.m ³)	
	7 mars	27 septembre
Amenée	4,89	2,64
Rejet	5,13	1,72
Contrôle surface	6,41	2,66
Contrôle fond	8,57	2,92
Référence surface	4,73	2,56
Référence milieu	4,81	2,48
Référence fond	5,56	2,44

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

Station	Pourcentages de chlorophylle active	
	7 mars	27 septembre
Amenée	70,87	54,77
Rejet	54,75	44,79
Contrôle surface	66,56	45,24
Contrôle fond	52,42	55,09
Référence surface	72,21	69,19
Référence milieu	66,99	64,08
Référence fond	64,13	66,85

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

Campagnes	Stations			
	Amenée	Rejet	Contrôle	Référence
7-mars-01	27	20	26	25
27-sept-01	-	14	13	21

Tabl. 4.5. Evolution spatiale du nombre d'espèces phytoplanctoniques lors des campagnes pélagiques du 7 mars et du 27 septembre 2001 (- : données non disponible).

	Amenée	Rejet	Contrôle	Référence	
Amenée	-	-	-	-	Campagne du 27-sept-01
Rejet	18	-	4	9	
Contrôle	18	17	-	21	
Référence	19	18	20	-	
	Campagne du 7-mars-01				

Tabl. 4.6. Nombre d'espèces communes aux différentes stations lors des campagnes pélagiques du 7 mars et du 27 septembre 2001 (- : données non disponible).

5. DINOFLAGELLES NOCTILUQUES ET ZOOPLANCTON

Auteur :
Geneviève LE FÈVRE – LEHOËRFF

Collaborateurs :
Jacqueline LE GRAND et Jean D'ELBEE

5.1. METHODOLOGIE

5.1.1. Stratégie de prélèvements du zooplancton

Les missions annuelles, destinées à évaluer l'impact par la comparaison spatiale des prélèvements selon un axe côte-large, ont été réalisées le 7 mars 2001 pour la mission printanière et le 27 septembre pour la mission d'automne. Les variations saisonnières du milieu non impacté sont estimées par la surveillance au canal d'aménée de la centrale. Les prélèvements de zooplancton au canal d'aménée sont réalisés selon une fréquence mensuel. Les résultats obtenus peuvent s'appuyer sur les données de chlorophylle et de température mesurées selon une fréquence hebdomadaire.

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

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

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

5.1.2. Prélèvements et analyses du zooplancton

Les prélèvements sont tous réalisés à l'aide de filets WP2 dont la maille est 200 μm (filet standard UNESCO 1968). Le prélèvement est en principe vertical mais parfois oblique quand le courant est très fort. 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 de volume filtré se fait à partir des deux paramètres temps de trait et nombre de tours lu sur le débit-mètre, chaque débit-mètre étant caractérisé par son certificat d'étalonnage.

Les échantillons destinés à la mesure de la biomasse sont filtrés immédiatement à bord sur des soies prépesées, congelés et transportés au laboratoire. Ces échantillons seront ensuite séchés dans une étuve à 60° pendant 48 heures. Les soies avec le plancton séché seront ensuite pesées. Les poids secs ou biomasses de zooplancton seront calculés. 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. 5.2.).

Les échantillons destinés à la détermination spécifique du zooplancton sont formolés à bord. (8 %), observés, triés et comptés par espèce sous binoculaire. Les résultats sont exprimés en nombre d'individus par unité de volume (m³ ou 10 m³).

5.2. RESULTATS

5.2.1. Surveillance au canal d'amenée

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

Les poids secs présentent pendant le cycle 2000-2001 un seul maximum annuel élevé le 25 mai avec 1400 mg.m⁻³ (Tabl. 5.1.). La progression est constante de fin février à fin mai ; la production printanière étant beaucoup plus soutenue que l'année précédente. Les pourcentages de carbone et pourcentages d'azote sont forts en février, juillet et août. Les poids de carbone et d'azote reproduisent les variations générales des biomasses du fait de la très grande amplitude de variation saisonnière de ces dernières. Les maximales en mai dépassent 120 mg carbone.m⁻³ et 20 mg d'azote.m⁻³. La valeur estival de 20 mg.m⁻³ de carbone semble conforme à la normale tandis que la valeur de printemps est classée dans les valeurs printanières assez extrêmes (Tabl. 5.2.).

Les espèces (Fig. 5.3 à fig. 5.9 & Tabl. 5.3., 5.4.)

Les noctiluques (Fig. 5.3) présentent leur maximum annuel le 29 juin avec 10⁵ individus.m⁻³ ; valeur équivalente à celles des années précédentes (10⁵ individus.m⁻³ le 16 juillet 1999 et le 27 juillet 2000). Depuis quelques années, les noctiluques sont présentes pendant une période plus longue du cycle annuel avec des valeurs élevées pendant les mois d'été et sont parfois présentes sur le site en quantité faible en période hivernale. Au cours des premières années d'étude du site les noctiluques avaient toujours montré un maximum d'abondance au mois de juillet. Le pic de présence était signalé dans une période restreinte mais qui, certaines années, conduisait à une eau rouge (n>10⁹ individus.m⁻³). Il est tentant de penser que les abondances actuelles de noctiluques ont peut être une fréquence en relation avec les températures de l'eau plus clémentes en moyenne sur l'année et des amplitudes moins fortes. Les pics d'eau rouge sont souvent en liaison avec les

périodes de stabilité et de stratification qui se produisent, certaines années, par vent faible de secteur Nord Est en début d'été.

Les larves zooplanctoniques les plus précoces sont les larves de cirripèdes (Fig. 5.7.) du 22 février au 18 avril pour les stades *nauplii* (420 individus.m⁻³) et du 7 mars au 14 avril pour les stages âgés près de la mue benthique (100 individus .m⁻³). Il s'agit de balanes à reproduction hivernale, *Balanus balanoides*. Les abondance de larves d'annélides (Fig. 5.3.) sont maximales le 7 mars (440 ind.m⁻³) majoritairement constituées de *Lanice conchilega*. Les œufs de poissons sont présents de mars à mai avec des effectifs maximum le 30 avril (10 ind.m⁻³) (Fig. 5.8.). Les larves de brachyours sont présentes en hiver et tout au long duprintemps avec un maximum en juin (17 ind.m⁻³).

Les espèces holoplanctoniques sont principalement représentés au printemps par *Temora longicornis* avec 4000 ind.m⁻³ le 7 mars et le 30 avril. L'abondance des copépodes présente des valeurs élevées pendant une longue période (mars - août). Quatre maxima sont observés le 7 mars, 30 avril, 19 juillet et 27 août. La différence de production 2000 / 2001 est certainement dépendante des nombreuses productions phytoplanctoniques qui se sont produites sur une période de plusieurs mois, de février jusqu'en été, ce qui a permis de soutenir la production du zooplancton herbivore tant pour les espèces printanières (*Temora*) que pour les espèces estivales (*Acartia clausi*). Remarquons cette année encore l'importance des premières productions de diatomées plus ou moins précoces selon les années. Notons une fois de plus qu'il n'y a pas cette année de relation significative entre le nombre total d'individus du zooplancton (Fig. 5.1) et la biomasse totale (Poids sec). Cette relation est bonne certaines années mais elle n'est pas systématique dans certains milieux très côtiers turbides où les particules en suspension même de taille et de poids équivalents peuvent être zooplanctoniques ou non. Les déterminations faunistiques et floristiques restent nécessaires pour comprendre les caractéristiques du système.

Au cours des saisons, les successions des espèces de copépodes restent bien caractéristiques du site (Fig. 5.5.). A chaque saison une espèce de copépode domine l'ensemble du groupe, ce qui correspond au *preferendum* thermique de l'espèce. Quatre exemples sont présentés en Fig. 5.5. On retrouve les principaux résultats suivants : *Pseudocalanus minutus* espèce boréale se maintient dans un ensemble peu abondant, de décembre à mars, *Temora longicornis* domine de mars à mai, en août *Acartia clausi* est l'espèce dominante. On remarque que *Euterpina acutifrons* espèce d'eau chaude (méditerranée) atteint son maximum de dominance le 27 septembre. La diversité est maximale en automne.

Divers copépodes parasites ont été déterminés depuis quelques années et une attention particulière y est apportée. Dans certains cas on ne trouve dans le plancton que les formes juvéniles et il serait intéressant de connaître le lieu d'hébergement de la phase adulte. Très fréquemment les copépodes parasites peuvent être hébergés par les poissons ; la proximité des fermes aquacoles peut justifier d'une surveillance accrue afin de connaître s'il y a un lien entre augmentation de l'abondance des juvéniles de copépodes à l'automne et une phase

du cycle vital de l'adulte dans les installations aquacoles ou non. Les copépodes parasites montrent une abondance et une diversité maximales au mois d'août.

Les cténaïres *Pleurobrachia* présentent leur maximum (22 ind.m⁻³) le 30 avril et les *Beroe* le 25 mai (8 ind.m⁻³) (fig. 5.6). Les résultats correspondent aux prélèvements des filets 200 µm. Les prélèvements permettent de détecter le début de la production (jeunes dès le 7 mars avec 2 ind.m⁻³). Les résultats fournis par les filets 500 µm (voir chapitre 6) où dominent les maxima d'adultes le 25 avril (moyenne 38 / m³).

Les méduses d'hydriaires présentent en 2001 un cycle plus précoce qu'en 2000.

Les cladocères *Podon* sont régulièrement présents l'été (Fig. 5.6).

Certains groupes ne sont pas déterminés au niveau de l'espèce, ce qui diminue la pertinence de l'interprétation. C'est le cas pour les ophiures et les cirripèdes. Deux maxima sont notés pour les cirripèdes chaque année : en février les larves correspondent à la ponte de *Balanus balanoides* tandis que le maximum d'automne correspond à *Elminius*. On note le 24 février 1999 : 200 nauplii.m⁻³, le 23 février 2000 350 nauplii.m⁻³ et le 22 février 2001 420 nauplii.m⁻³, ce qui témoigne d'une belle reproductibilité des cycles de reproduction dans certains cas malgré les aléas météorologiques.

Les espèces holoplanctoniques herbivores sont assez dépendantes des fluctuations du phytoplancton et de la température de l'eau. Par exemple les appendiculaires, *Oikopleura dioica*, sont favorisés par des populations phytoplanctoniques abondantes et des températures élevées (l'influence de chaque facteur étant difficile à distinguer) et l'abondance maximale se produit soit au printemps soit en été, en 2001 la production est bien répartie sur l'année et les valeurs atteignent 160 ind.m⁻³ dès le mois de mars et 500 ind.m⁻³ en juillet.

Les chaetognathes *Sagitta sp.* montrent des abondances d'été et d'automne équivalentes aux années précédentes. Ce sont les carnivores de fin de saison.

En conclusion, les variations saisonnières suivies au canal d'aménée en 2001 montrent une année où la production zooplanctonique s'est répartie pendant une durée plus importante que la moyenne des années précédentes. La production printanière a été précoce et la production automnale encore soutenue. Ce phénomène est très certainement en liaison avec un printemps doux et pluvieux et une abondance de nourriture phytoplanctonique montrant de nombreuses phases de production primaire soutenant la production secondaire.



Fig. 5.1. Variations saisonnières de la concentration en chlorophylle, de la biomasse zooplanctonique et de l'abondance zooplanctonique totale au canal d'aménée.

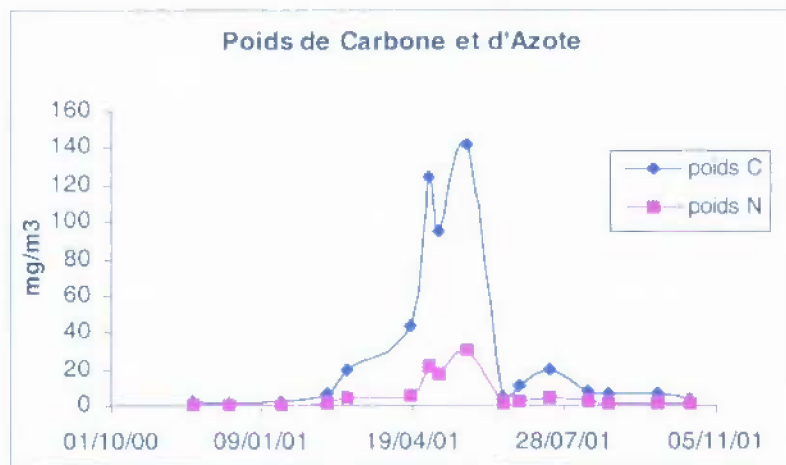
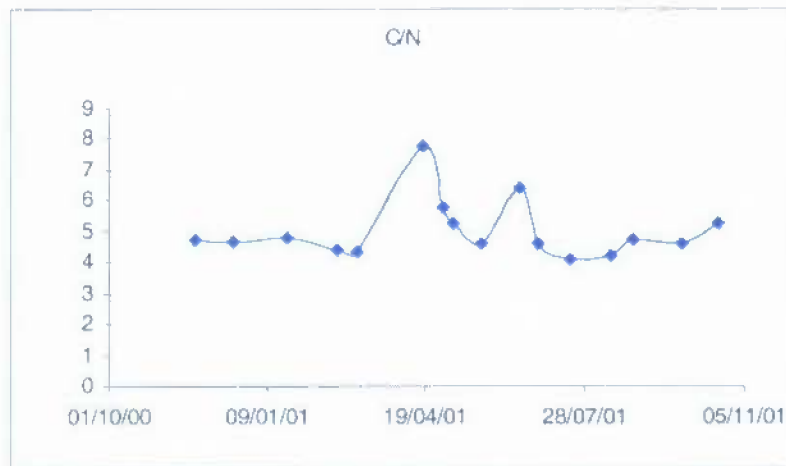
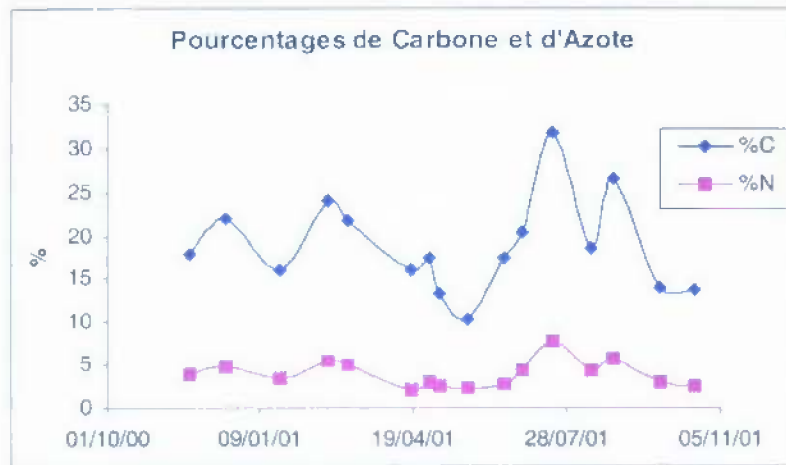


Fig. 5.2. Variations saisonnières des teneurs en Carbone et en Azote, du rapport C/N et du poids de Carbone et d'Azote du zooplancton au canal d'amenée.

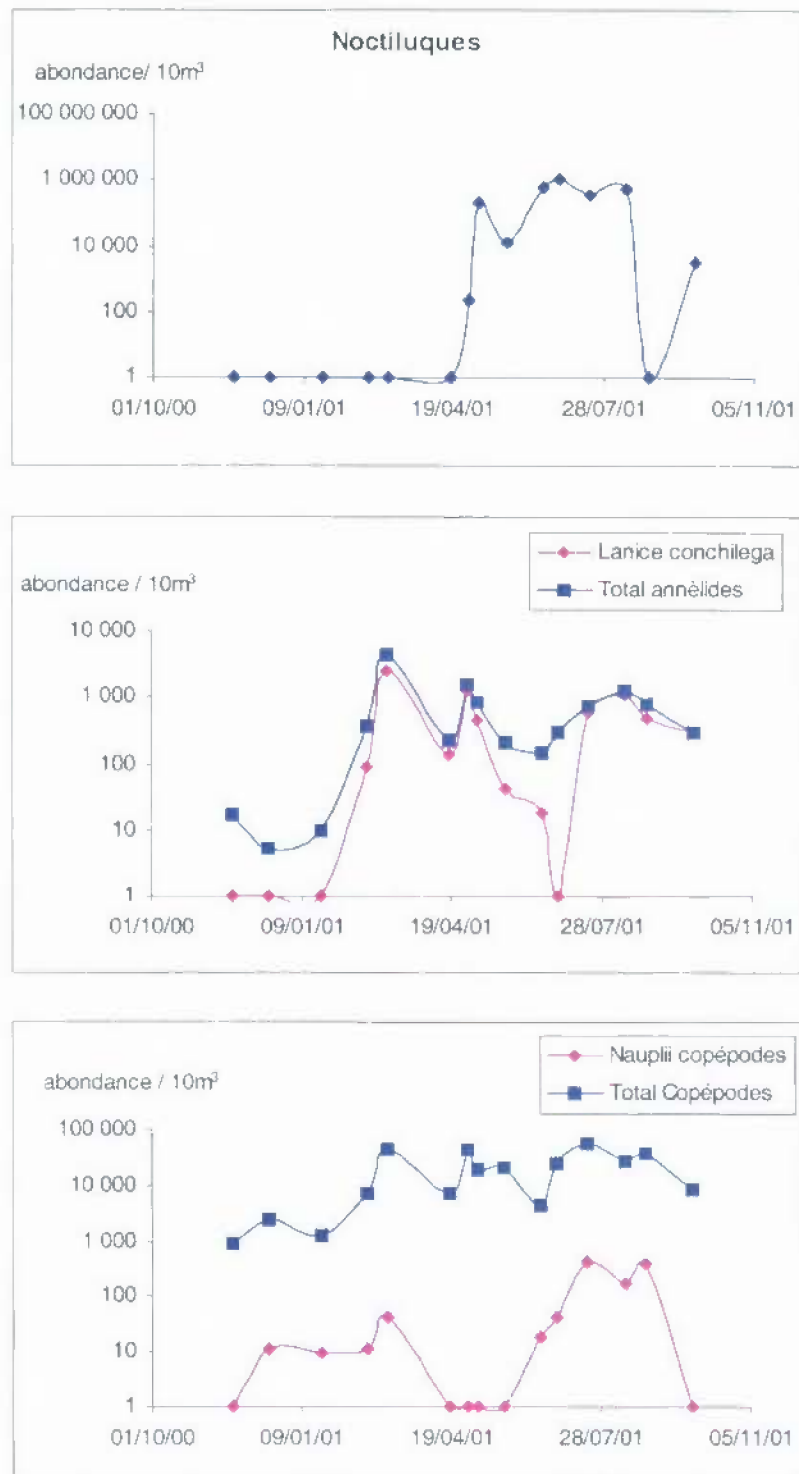


Fig. 5.3. Variations saisonnières des principaux groupes zooplanctoniques au canal d'aménée.

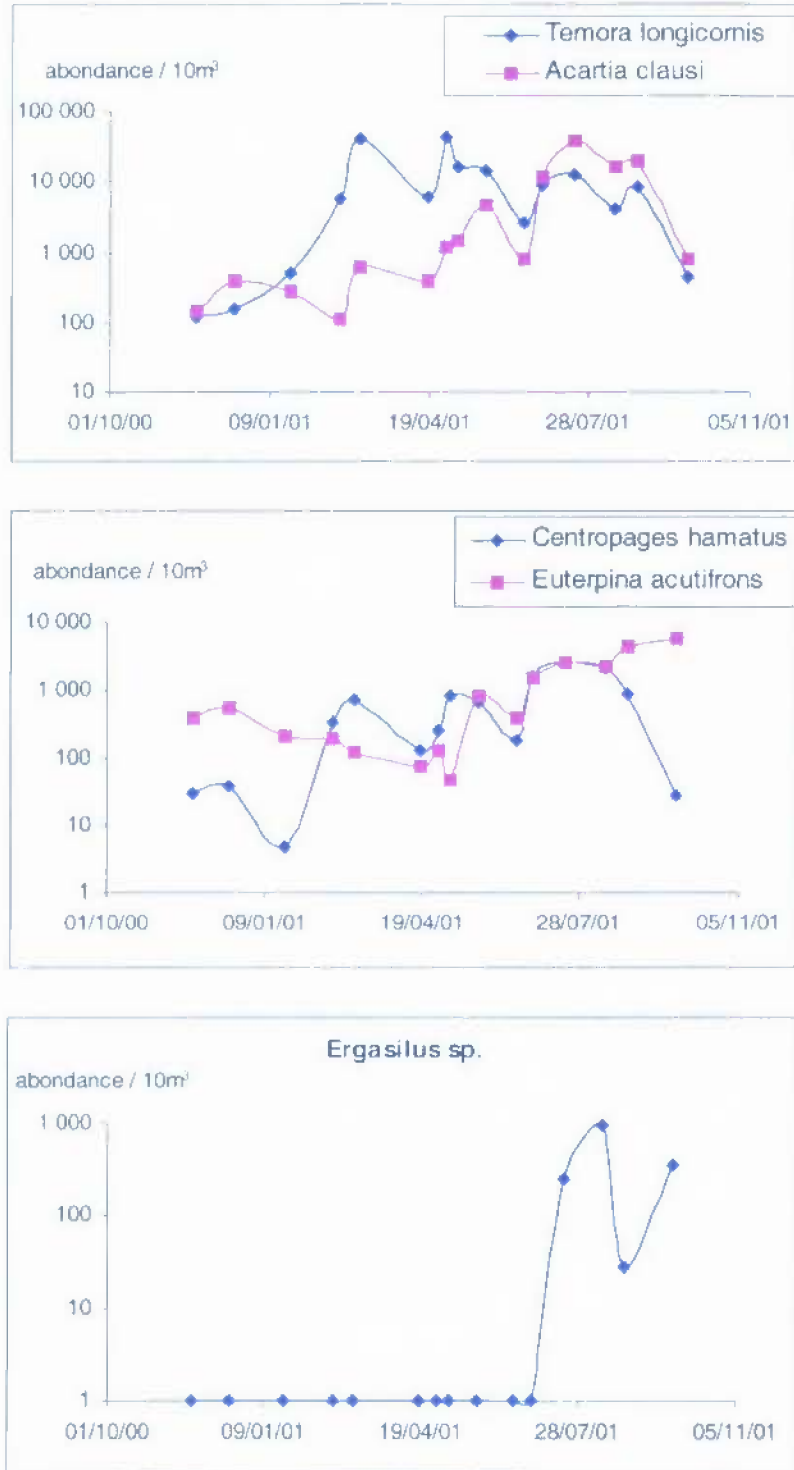


Fig. 5.4. Variations saisonnières des principaux groupes zooplanctoniques au canal d'aménée.

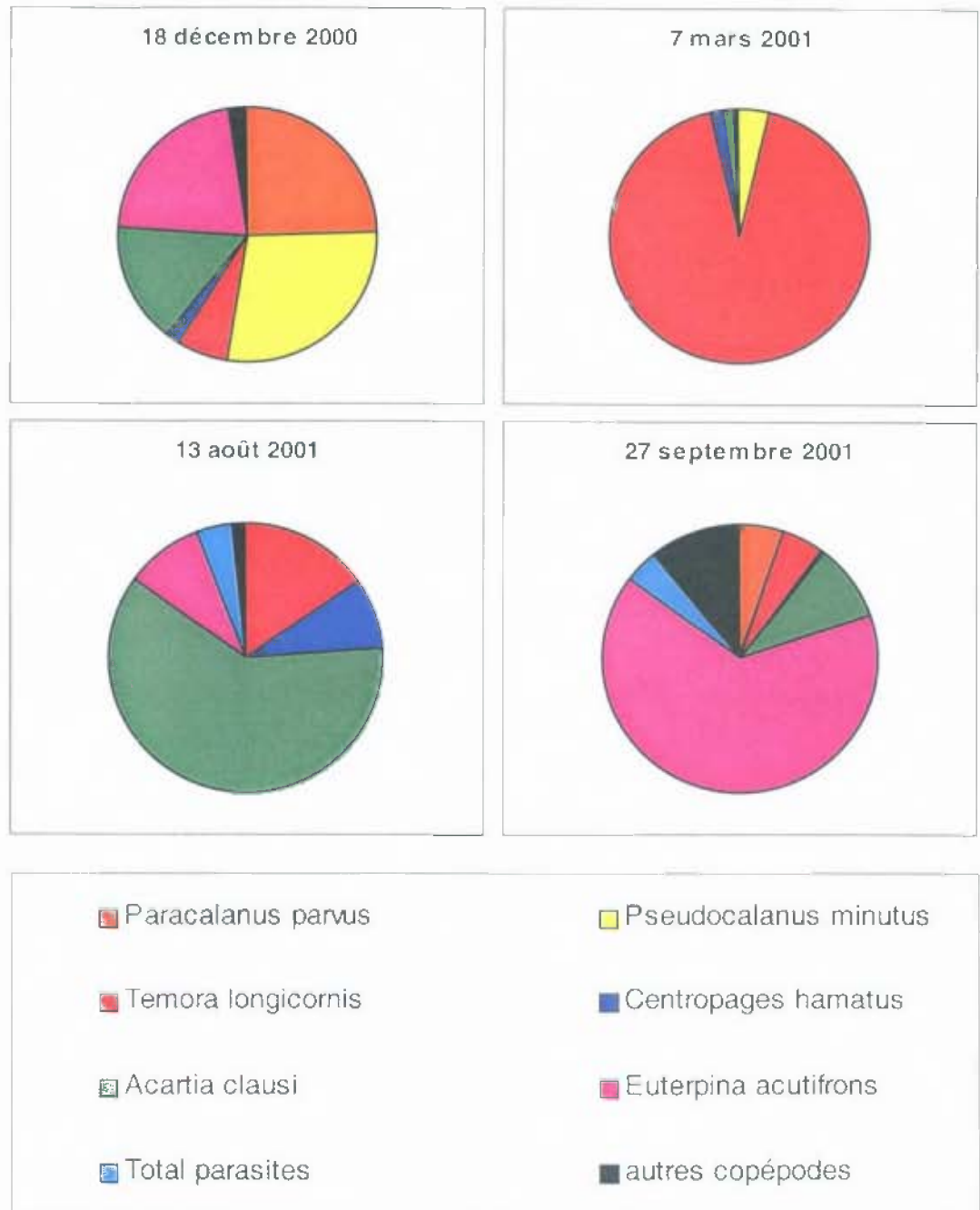


Fig. 5.5. Variations saisonnières d'abondance relative de différentes espèces de copépodes (%) (exemples).

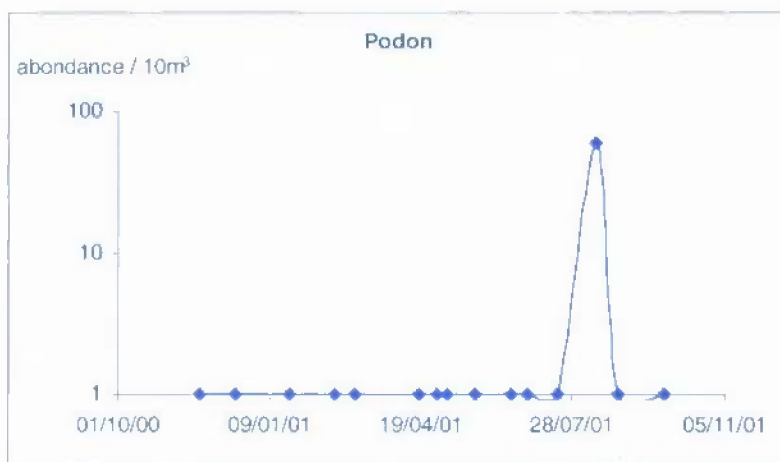
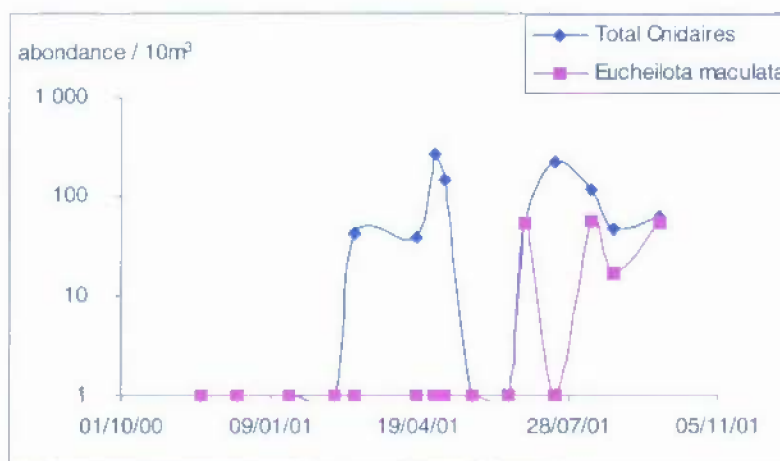
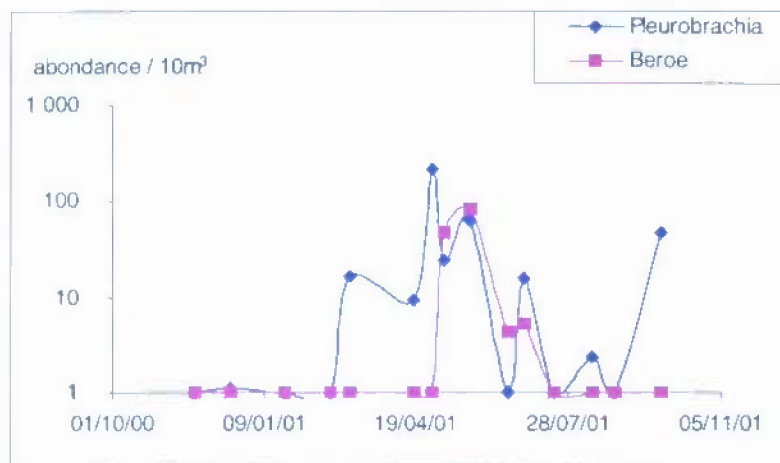


Fig. 5.6. Variations saisonnières des principaux groupes zooplanctoniques au canal d'aménée.

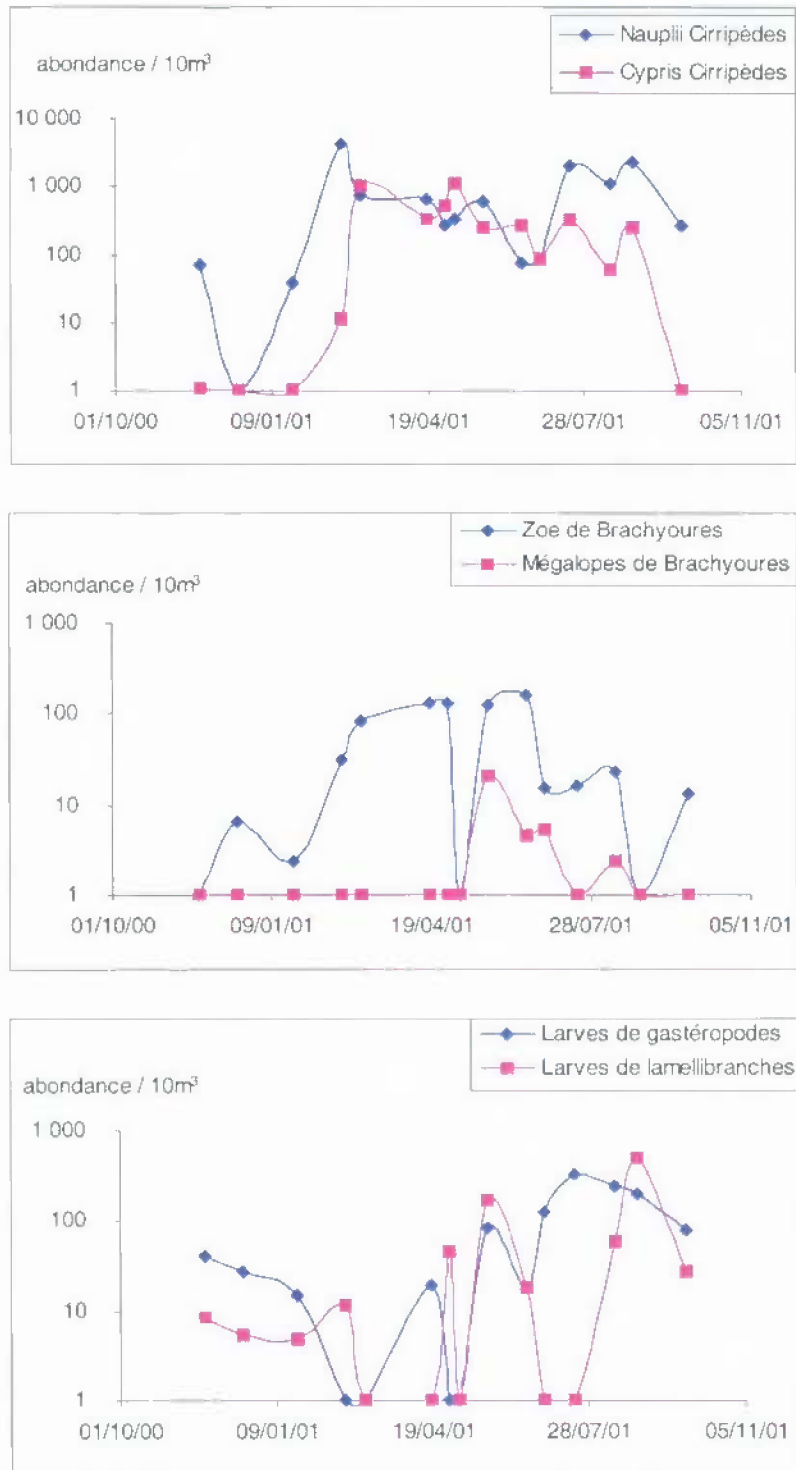


Fig. 5.7. Variations saisonnières des principaux groupes zooplanctoniques au canal d'aménée.

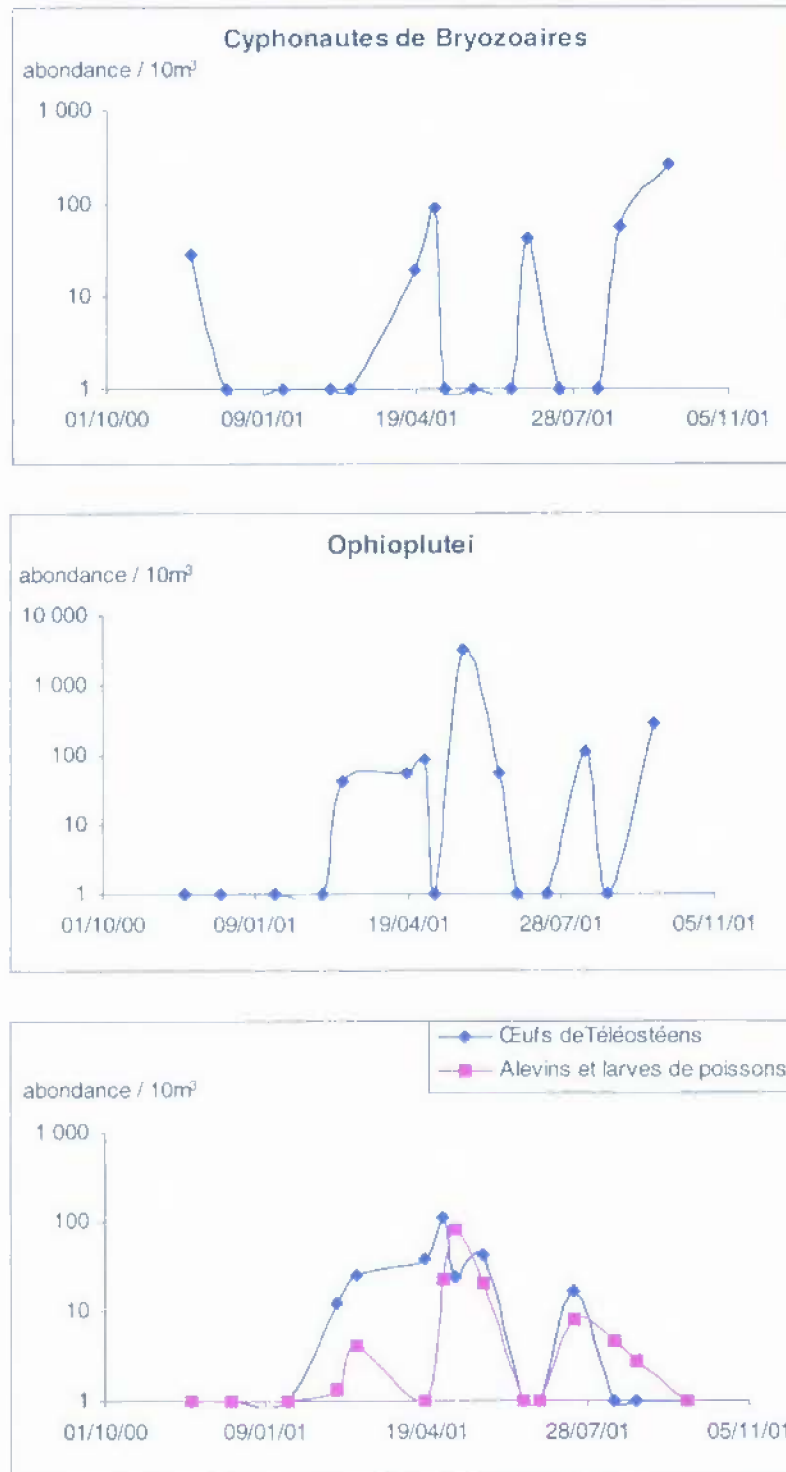


Fig. 5.8. Variations saisonnières des principaux groupes zooplanctoniques au canal d'aménée

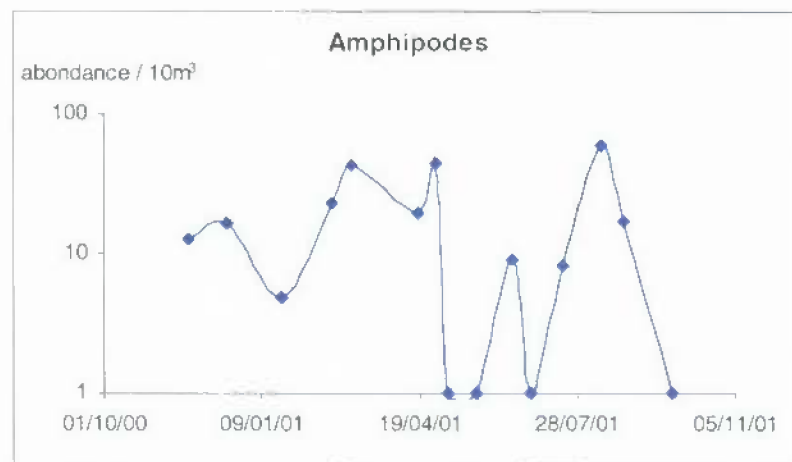
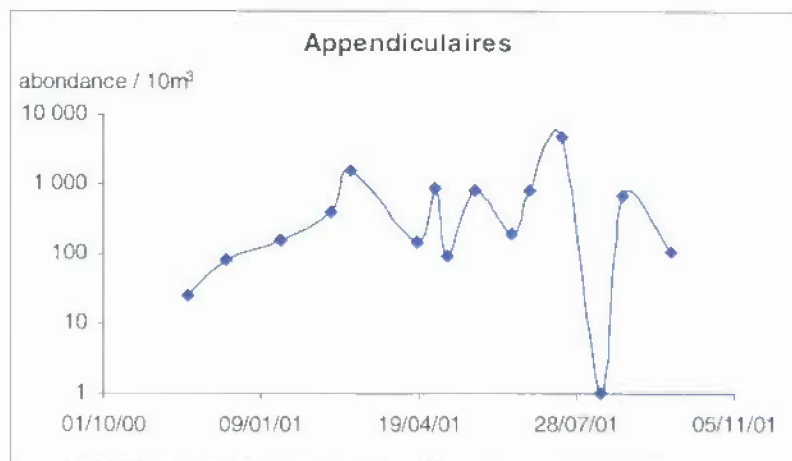
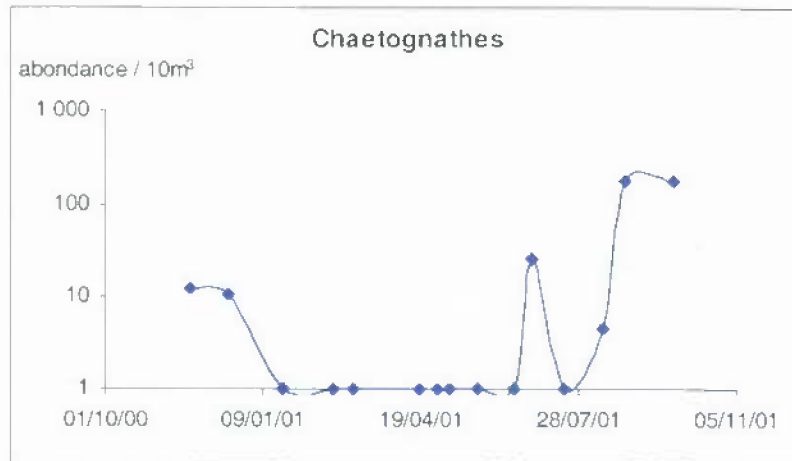


Fig. 5.9. Variations saisonnières des principaux groupes zooplanctoniques au canal d'aménée.

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

L'impact de la centrale est estimé dans le milieu récepteur au cours de deux missions annuelles, l'une printanière, l'autre en début d'automne. En 2001, les deux missions ont été effectuées le 7 mars et le 27 septembre.

Biomasses carbone et azote

Les résultats concernant les différences côte-large et canal d'aménée-rejet ne sont pas concluants cette année, les paramètres n'apportant pas d'information pertinente.

Impact sur les espèces

Les noctiluques présentent un déficit de 100 % en septembre. Le zooplancton total ne montre pas de déficit en mars et un déficit de 54 % en septembre. Le comportement des différentes espèces est variable selon les saisons et les années. Les *nauplii* de cirripèdes au printemps présentent un déficit de 40 %, les *cypris* de 70 % et les cnidaires de 100 % au rejet. Les appendiculaires phytophages et thermophiles, espèces très fragiles, sont des organismes très révélateurs d'un impact. Les chocs mécaniques leur sont négatifs mais aussi le déficit en chlorophylle, ces facteurs pouvant jouer dans le même sens ou non sur les individus. En mars, le déficit est maximal dans la tache thermique au contrôle (avec 97 % de déficit) mais négligeable en septembre.

Les espèces montrant un fort déficit en septembre sont les cnidaires (95 %), les Annélides, *Lanice conchilega* (100 %), les larves d'ophiures (91 %) au point contrôle, les larves de gastéropodes (100 %) et les copépodes (60 %) au point rejet.

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

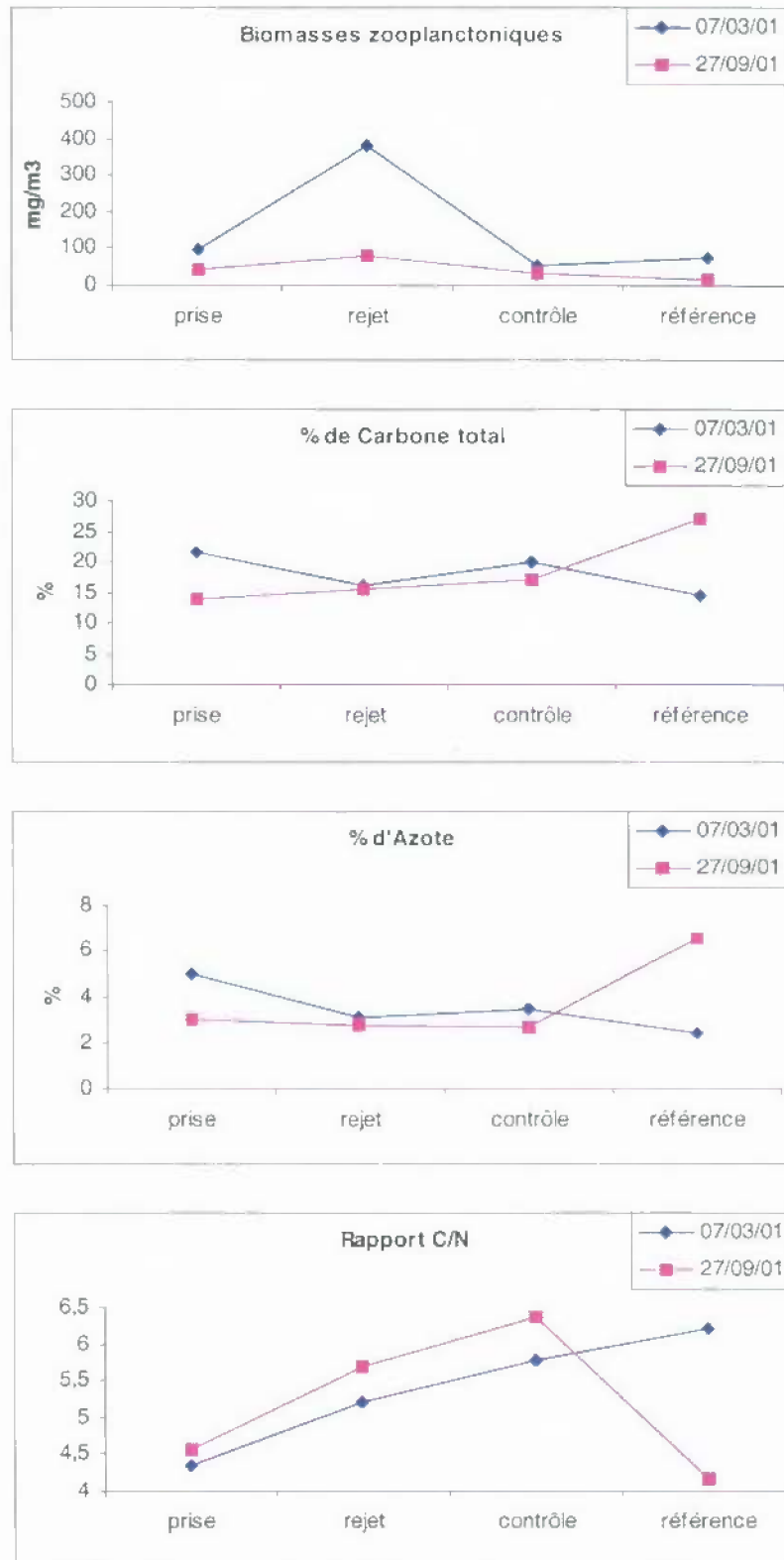


Fig. 5.10. Variations spatiales de la biomasse, des teneurs en Carbone et en Azote et du rapport C/N zooplanctonique au cours des campagnes pélagiques.

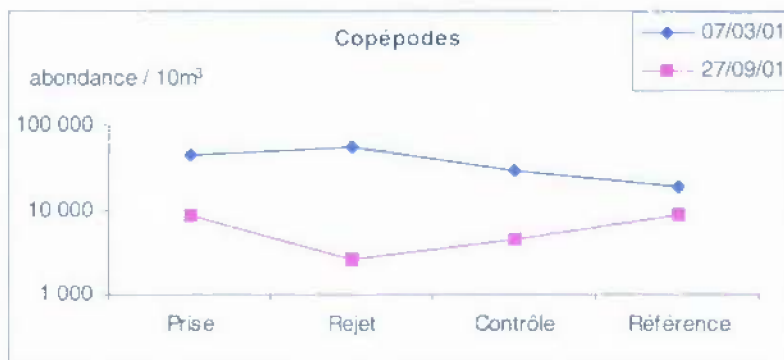
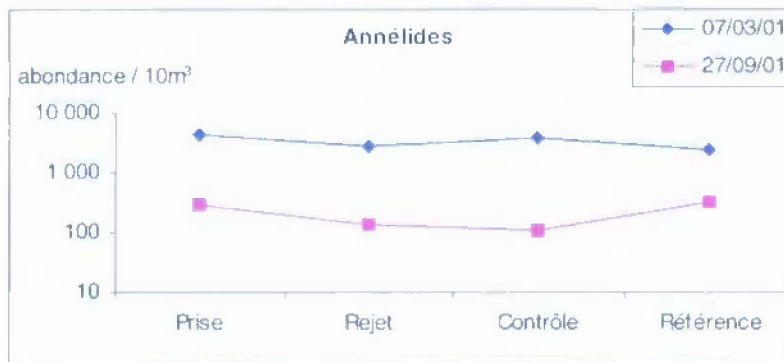
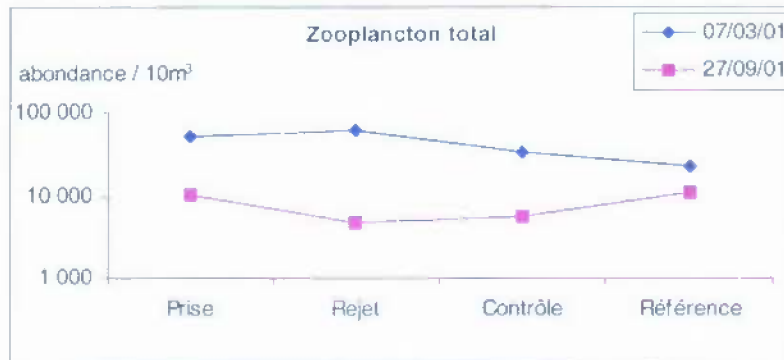
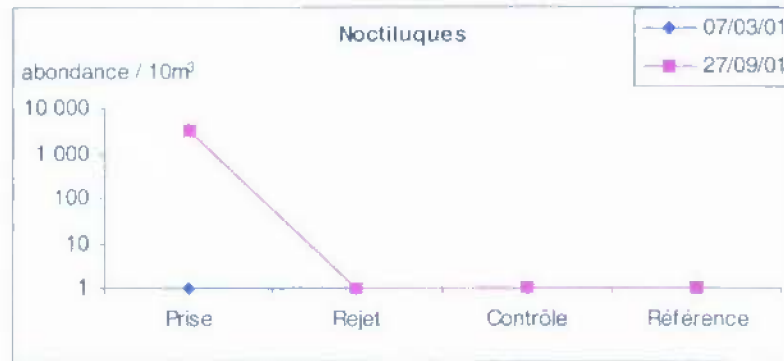


Fig. 5.11. Variations spatiales des abondances des principaux groupes zooplanctoniques au cours des campagnes pélagiques.

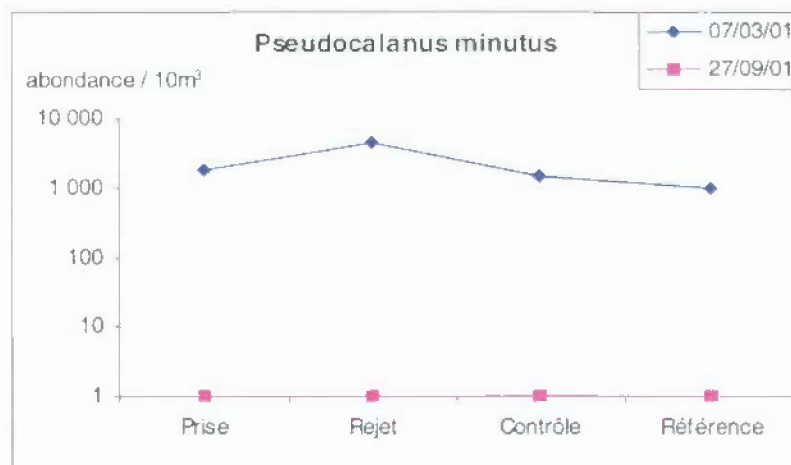
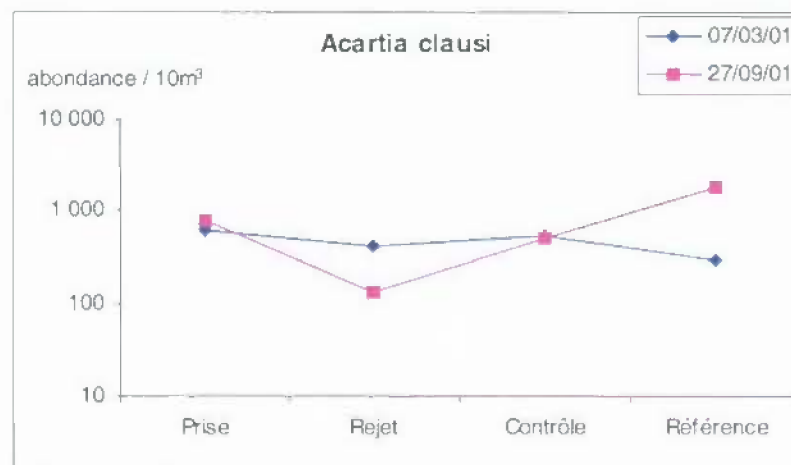
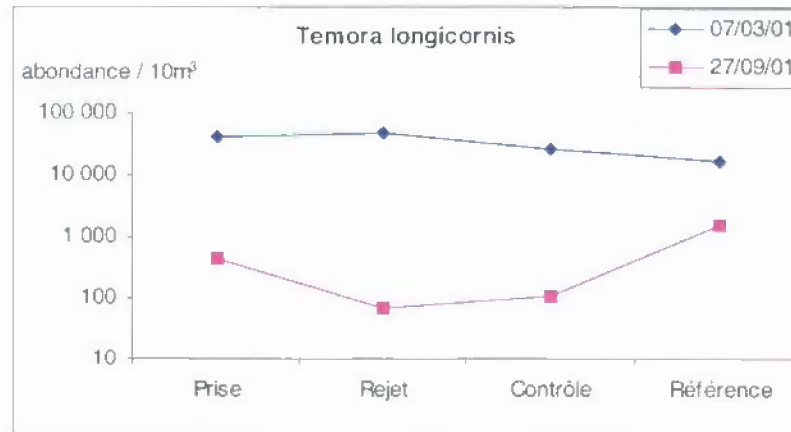


Fig. 5.12. Variation spatiales des abondances des principaux groupes zooplanctoniques au cours des campagnes pélagiques.

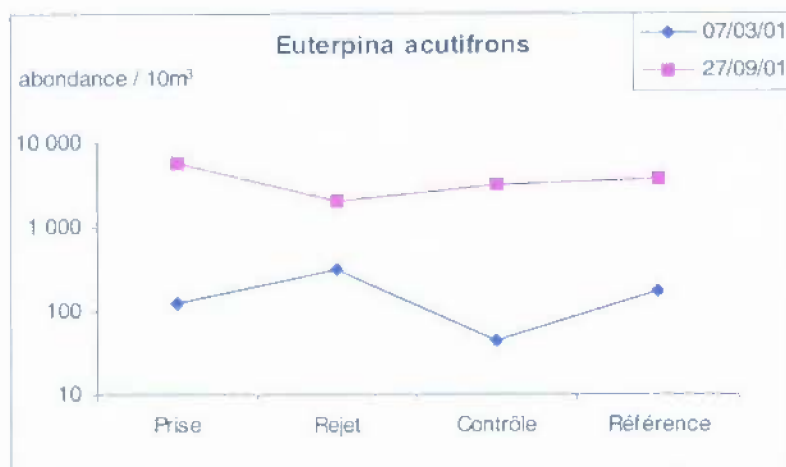
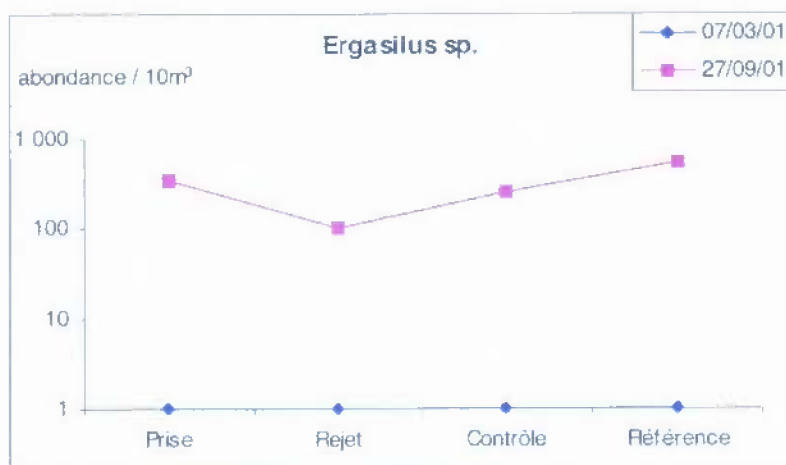
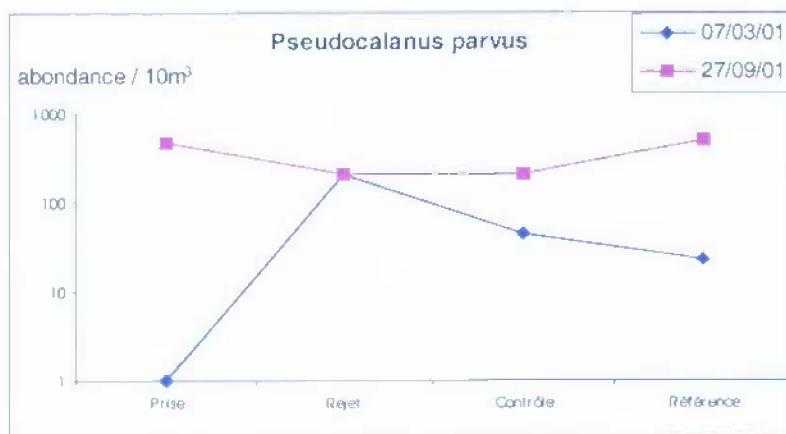


Fig. 5.13. Variation spatiales des abondances des principaux groupes zooplanctoniques au cours des campagnes pélagiques.

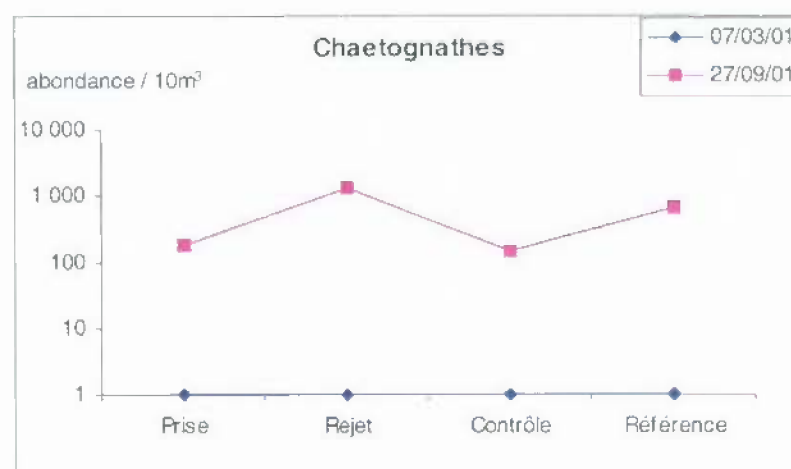
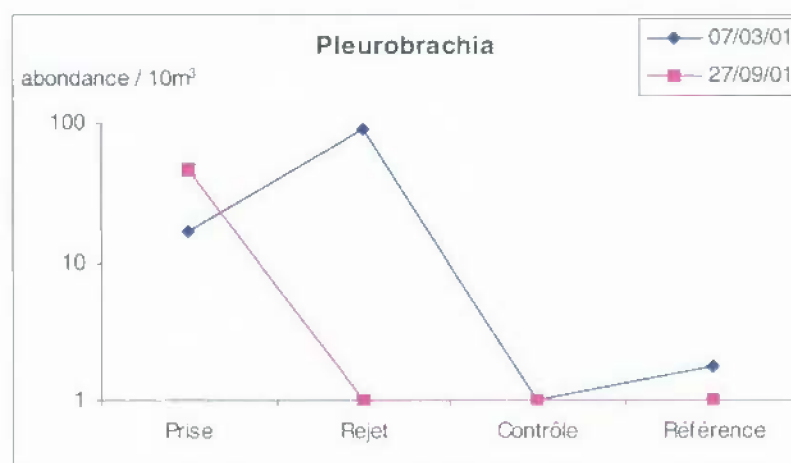
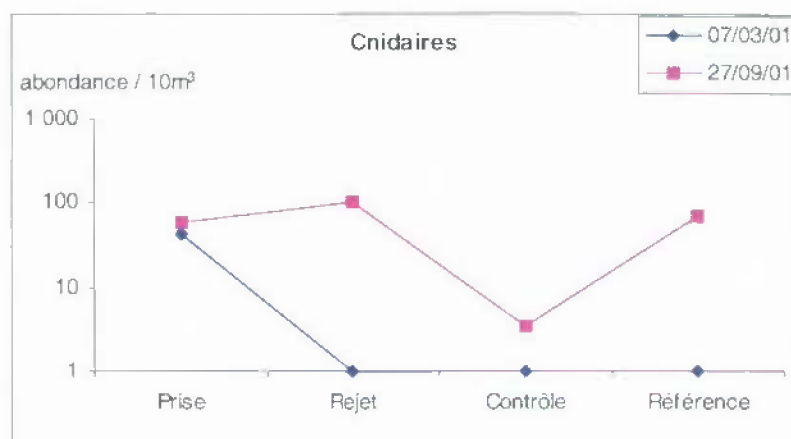


Fig. 5.14. Variation spatiales des abondances des principaux groupes zooplanctoniques au cours des campagnes pélagiques.

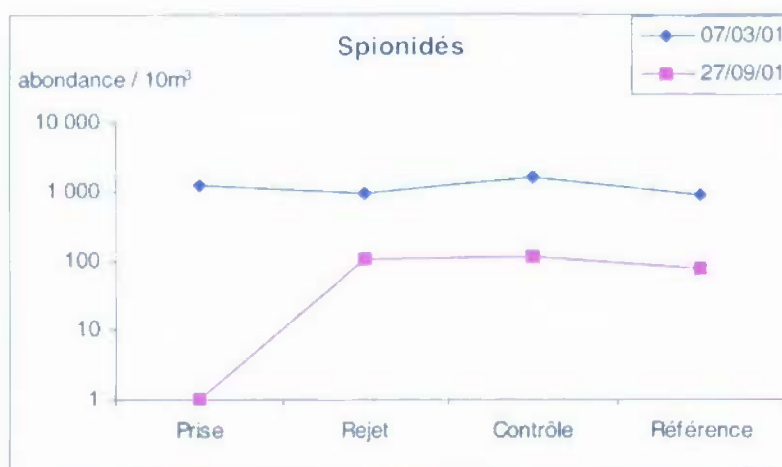
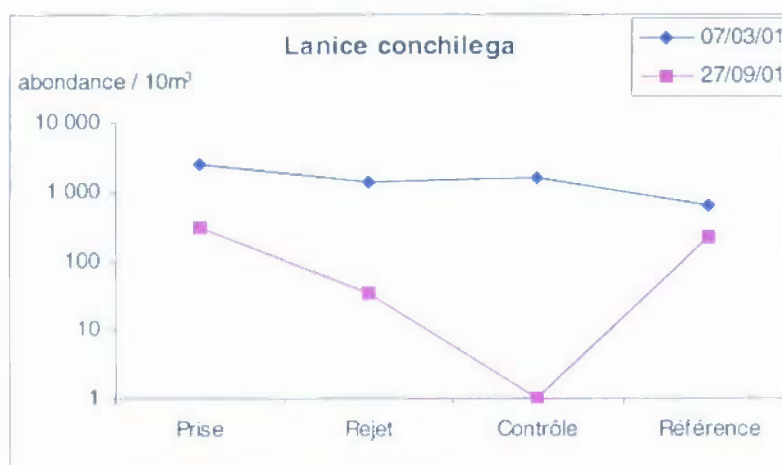
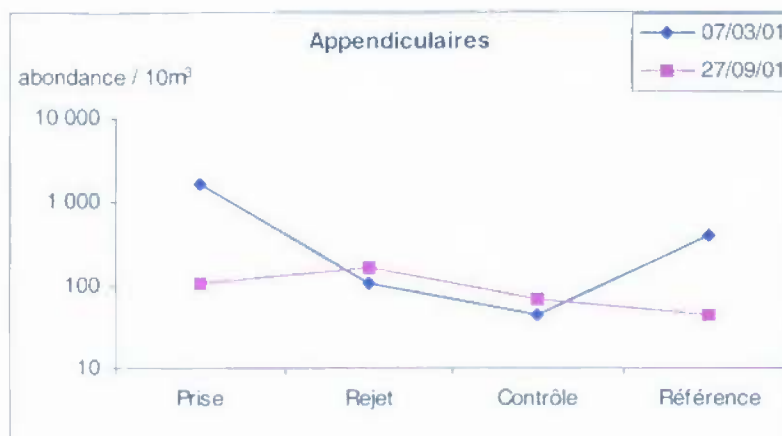


Fig. 5.15. Variation spatiales des abondances des principaux groupes zooplanctoniques au cours des campagnes pélagiques.

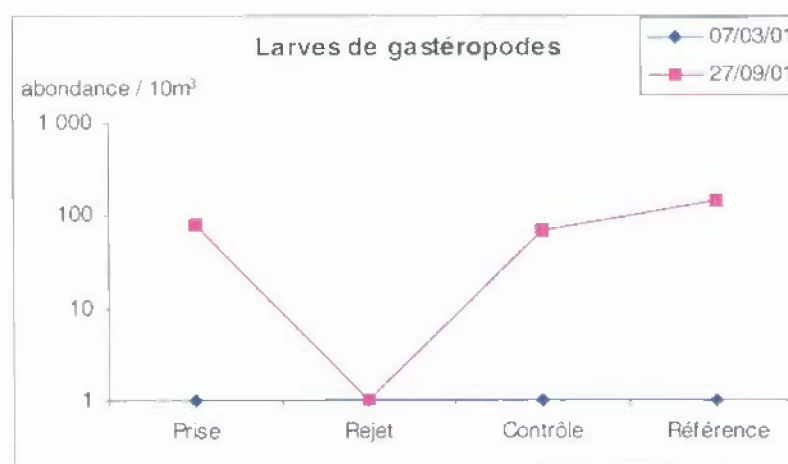
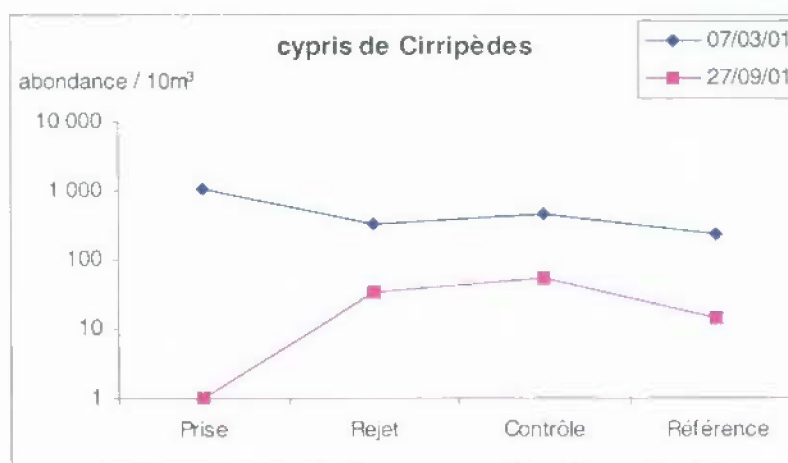
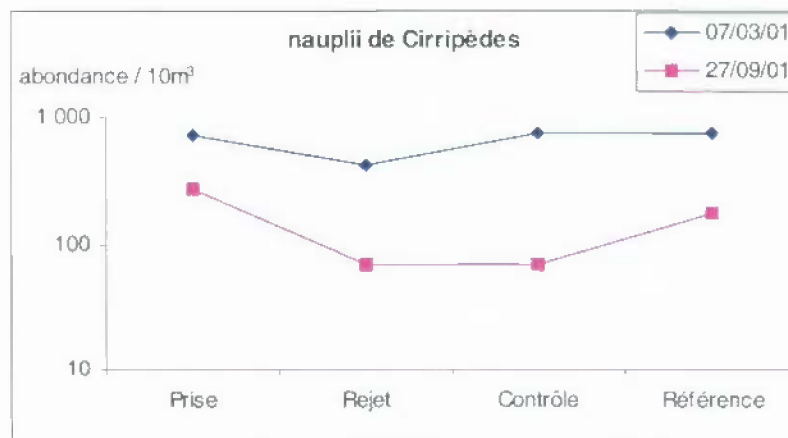


Fig. 5.16. Variation spatiales des abondances des principaux groupes zooplanctoniques au cours des campagnes pélagiques.

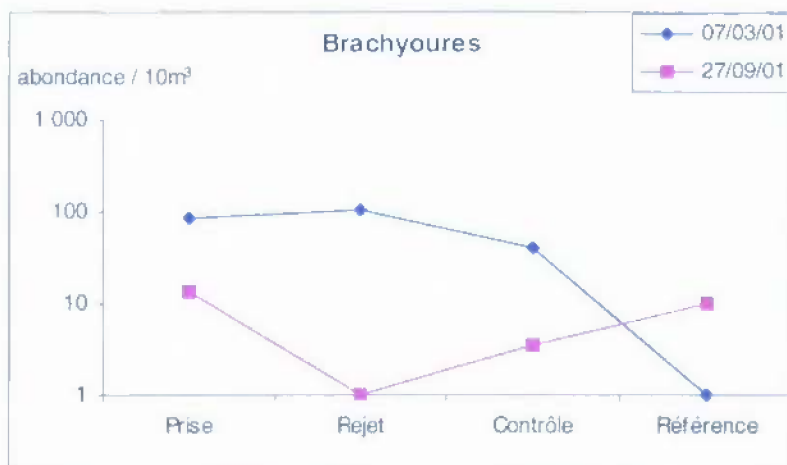
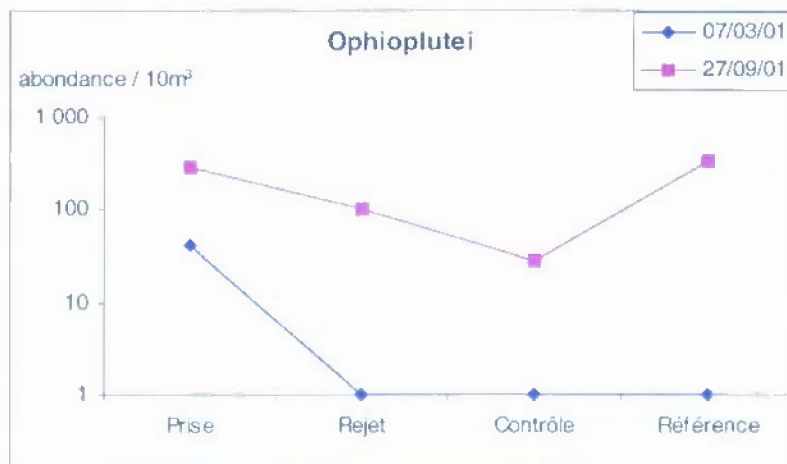
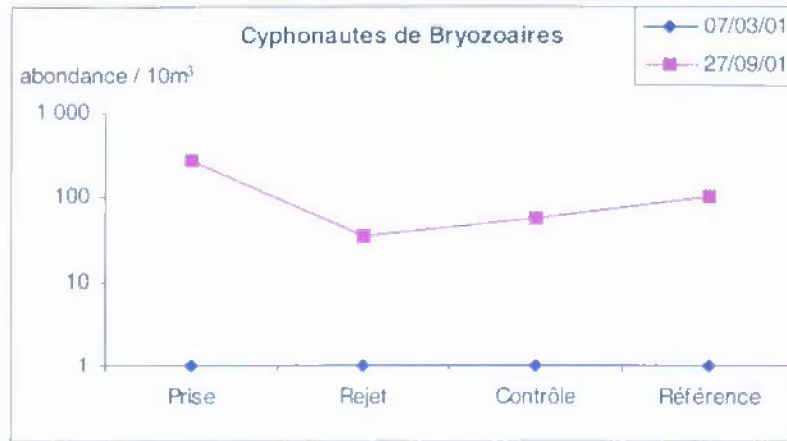


Fig. 5.17. Variation spatiales des abondances des principaux groupes zooplanctoniques au cours des campagnes pélagiques.

5.3. ELEMENTS DE CONCLUSION

L'observation du zooplancton cette année a permis de montrer le lien entre les fluctuations phytoplanctoniques et le zooplancton au canal de prise, ceci est un indice d'équilibre des populations pélagiques avant l'entrée dans la centrale, cette zone, si elle est affectée par une certaine recirculation des eaux ayant déjà transité (7,5 %) ne semble pas subir de perturbation majeure dans sa variation saisonnière. Les cycles saisonniers montrent une année 2001 qui est productive pendant un nombre de mois plus importants que certaines années précédentes. Les conditions météorologiques générales caractérisées par des hivers doux et des printemps pluvieux ont pour conséquence d'étaler la production annuelle sur une plus longue période, les pics de production sont en général moins élevés que pour des années à hiver froid.

L'impact de la centrale peut être fort soit au rejet soit dans la tache thermique au contrôle selon les espèces et les missions. Les abondances des espèces ayant subi l'impact redeviennent normales en dehors de la tache thermique.

Référence :

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

Date	Point numero	Poids sec mg/m ³	Moyenne Poids sec	Ecart type Poids sec
24/11/00	325	9,23	9,23	
18/12/00	325	3,21	3,21	
22/01/01	325	12,06	12,06	
22/02/01	325	25,21	25,21	
07/03/01	325	125,42	96,45	31,5052097
	325	61,33		
	325	74,20		
	325	122,68		
	325	126,73		
	325	68,32		
18/04/01	325	275,93	275,93	
30/04/01	325	710,14	710,14	
07/05/01	325	709,63	709,63	
25/05/01	325	1376,91	1376,91	
18/06/01	325	22,38	22,38	
29/06/01	325	54,10	54,10	
19/07/01	325	61,08	61,08	
13/08/01	325	41,80	41,80	
27/08/01	325	24,63	24,63	
27/09/01	325	44,21	43,80	17,5120135
	325	42,82		
	325	33,51		
	325	70,10		
	325	53,62		
	325	18,53		
19/10/01	325	26,45	26,45	

Date	Point numero	Poids sec mg/m ³	Moyenne Poids sec	Ecart type Poids sec
07/03/01	327	480,84	382,47	131,395467
	327	307,24		
	327	397,61		
	327	571,19		
	327	200,51		
	327	337,40		
07/03/01	302	74,22	75,90	12,5681311
	302	79,40		
	302	95,48		
	302	70,35		
	302	78,81		
	302	57,13		
07/03/01	324	46,24	51,57	22,7296412
	324	43,00		
	324	19,66		
	324	63,46		
	324	49,22		
	324	87,85		
27/09/01	327	27,64	80,17	49,126037
	327	82,21		
	327	61,61		
	327	62,19		
	327	172,92		
	327	74,47		
27/09/01	324	41,44	32,05	10,0583452
	324	35,72		
	324	20,34		
	324	27,93		
	324	22,34		
	324	44,53		
27/09/01	302	32,03	16,83	7,96277803
	302	16,87		
	302	13,66		
	302	15,94		
	302	13,81		
	302	8,70		

Tabl. 5.1. Variations saisonnières du poids sec zooplanctonique

date	point	%C	%C moy	%N	%N moy	C/N	C/N moy	poids C mg/m3	poids C mg/m3 moy	poids N mg/m3	poids N mg/m3 moy
24/11/00	325	17.83	17.83	3.79	3.79	4.70	4.70	1.65	1.65	0.35	0.35
18/12/00	325	21.98	21.98	4.72	4.72	4.66	4.66	0.71	0.71	0.15	0.15
22/01/01	325	16.05	16.05	3.36	3.36	4.78	4.78	1.94	1.94	0.41	0.41
22/02/01	325	23.94	23.94	5.435	5.44	4.40	4.40	6.04	6.04	1.37	1.37
07/03/01	325	18.23	21.66	4.1	4.99	4.45	4.34	22.86	19.61	5.14	4.52
	325	30.61		7.07		4.33		18.77		4.34	
	325	23.11		5.34		4.33		17.15		3.96	
	325	18.37		4.34		4.23		22.54		5.32	
	325	15.91		3.68		4.32		20.16		4.66	
	325	23.7		5.41		4.38		16.19		3.70	
18/04/01	325	15.97	15.97	2.06	2.06	7.75	7.75	44.07	44.07	5.68	5.68
30/04/01	325	17.48	17.48	3.02	3.02	5.79	5.79	124.13	124.13	21.45	21.45
07/05/01	325	13.29	13.29	2.53	2.53	5.25	5.25	94.31	94.31	17.95	17.95
25/05/01	325	10.26	10.26	2.23	2.23	4.60	4.60	141.27	141.27	30.71	30.71
18/06/01	325	17.42	17.42	2.73	2.73	6.38	6.38	3.90	3.90	0.61	0.61
29/06/01	325	20.3	20.30	4.43	4.43	4.58	4.58	10.98	10.98	2.40	2.40
19/07/01	325	31.72	31.72	7.83	7.83	4.05	4.05	19.38	19.38	4.78	4.78
13/08/01	325	18.6	18.60	4.43	4.43	4.20	4.20	7.77	7.77	1.85	1.85
27/08/01	325	26.61	26.61	5.66	5.66	4.70	4.70	6.55	6.55	1.39	1.39
27/09/01	325	16.21	13.92	3.43	3.04	4.73	4.58	7.17	6.09	1.52	1.33
	325	12.31		2.6		4.73		5.27		1.11	
	325	15.59		3.52		4.43		5.22		1.18	
	325	12.97		2.87		4.52		9.09		2.01	
	325	13.88		3.06		4.54		7.44		1.64	
	325	12.55		2.78		4.51		2.33		0.52	
19/10/01	325	13.67	13.67	2.62	2.62	5.22	5.22	3.62	3.62	0.69	0.69
07/03/01	327	13.43	16.10	2.82	3.08	4.76	5.22	64.58	58.86	13.56	11.30
	327	19.64		3.7		5.31		60.34		11.37	
	327	17.38		3.22		5.40		69.11		12.80	
	327	12.73		2.36		5.39		72.71		13.48	
	327	19.26		3.65		5.28		38.62		7.32	
	327	14.16		2.74		5.17		47.78		9.24	
07/03/01	302	16.91	14.60	2.85	2.37	5.93	6.19	12.55	11.00	2.12	1.78
	302	16.72		2.83		5.91		13.28		2.25	
	302	11.54		1.75		6.59		11.02		1.67	
	302	14.44		2.26		6.39		10.16		1.59	
	302	13.68		2.21		6.19		10.78		1.74	
	302	14.33		2.33		6.15		8.19		1.33	
07/03/01	324	22.17	20.07	3.84	3.48	5.77	5.78	10.25	10.01	1.78	1.72
	324	22.16		3.84		5.77		9.53		1.65	
	324	22.73		4.21		5.40		4.47		0.83	
	324	16.15		2.81		5.75		10.25		1.78	
	324	18.44		3.08		5.99		9.08		1.52	
	324	18.76		3.12		6.01		16.48		2.74	
27/09/01	327	16.38	15.46	3.08	2.72	5.32	5.70	4.53	12.07	0.85	2.09
	327	15.2		2.73		5.57		12.50		2.24	
	327	14.93		2.75		5.43		9.20		1.69	
	327	16.56		2.76		6.00		10.30		1.72	
	327	13.99		2.37		5.90		24.19		4.10	
	327	15.69		2.63		5.97		11.68		1.96	
27/09/01	302	27.05	26.98	6.43	6.50	4.21	4.16	8.66	4.50	2.06	1.08
	302	25.23		5.89		4.28		4.26		0.99	
	302	23.92		5.6		4.27		3.27		0.76	
	302	25.85		6.21		4.16		4.12		0.99	
	302	29.51		7.34		4.02		4.07		1.01	
	302	30.34		7.53		4.03		2.64		0.65	
27/09/01	324	18.03	16.98	2.76	2.68	6.53	6.36	7.47	5.44	1.14	0.85
	324	15.43		2.56		6.03		5.51		0.91	
	324	17.44		2.91		5.99		3.55		0.59	
	324	17.22		2.79		6.17		4.81		0.78	
	324	16.95		2.67		6.35		3.79		0.60	
	324	16.83		2.37		7.10		7.49		1.06	

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

SITE	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES
STATION	325	325	325	325	325
DATE	24/11/00	18/12/00	22/01/01	22/02/01	07/03/01
Volume filtré (m3)	9,59	27,92	20,73	22,03	2,38
Nature des résultats	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3
<i>Obelia sp.</i>	0	0	0	0	0
<i>Hybocodon prolifer</i>	0	0	0	0	0
<i>Eucheilota maculata</i>	0	0	0	0	0
<i>Clytia hemispherica</i>	0	0	0	0	0
Cnidaire nd.	0	0	0	0	42
TOTAL CNIDAIRES	0	0	0	0	42
<i>Pleurobrachia pileus</i>	0	1	1	0	17
<i>Beroe sp.</i>	0	0	0	0	0
TOTAL CTENAIRES	0	1	1	0	17
TOTAL CHAETOGNATHES	13	11	0	0	0
<i>Lanice conchilega</i>	0	0	0	91	2 521
Spionidae	8	5	10	79	1 218
Annélides nd.	8	0	0	182	672
TOTAL ANNELIDES	17	5	10	352	4 412
<i>Daphnia sp.</i>	0	0	0	0	0
<i>Bosmina sp.</i>	0	0	0	0	0
<i>Podon sp.</i>	0	0	0	0	0
<i>Evadne sp.</i>	0	0	0	0	0
TOTAL CLADOCERES	0	0	0	0	0
Nauplii Cirripèdes	71	0	39	4 222	714
Cypris Cirripèdes	1	0	0	11	1 050
TOTAL Larves CIRRIPEDES	72	0	39	4 233	1 765
AMPHIPODES	13	16	5	23	42
ISOPODES (larves <i>microniscus</i>)	8	5	10	0	0
CUMACES	1	11	10	0	0
<i>Mesopodopsis slabberii</i>	3	2	0	7	0
<i>Schistomysis spiritus</i>	0	0	0	0	0
<i>Schistomysis kervillei</i>	0	0	0	0	0
Mysidacés nd.	0	0	0	0	0
TOTAL MYSIDACES	3	2	1	7	0
<i>Calanus helgolandicus</i>	1	1	0	0	84
<i>Paracalanus parvus</i>	88	607	43	34	0
<i>Pseudocalanus minutus</i>	88	672	178	499	1 765
<i>Stephos minor</i>	0	0	0	0	0
<i>Temora longicornis</i>	121	156	492	5 810	41 008
<i>Eurytemora affinis</i>	0	0	0	0	0
<i>Metridia lucens</i>	0	0	0	0	0
<i>Centropages typicus</i>	2	0	0	0	0
<i>Centropages hamatus</i>	29	38	5	340	714
<i>Isias clavipes</i>	0	0	0	0	0
<i>Candacia armata</i>	0	0	0	0	0
<i>Labidocera wollastonii</i>	0	0	0	0	0

Tabl. 5.3a. Abondance des espèces zooplanctoniques au canal d'amenée (station 325).

STATION	325	325	325	325	325
DATE	24/11/00	18/12/00	22/01/01	22/02/01	07/03/01
Volume filtré (m3)	9,59	27,92	20,73	22,03	2,38
Nature des résultats	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3
<i>Parapontella brevicornis</i>	0	0	0	0	0
<i>Acartia clausi</i>	142	381	285	113	630
<i>Acartia discaudata</i>	0	27	0	0	0
<i>Oithona</i> sp.	0	0	0	0	0
<i>Oncaea</i> sp.	0	0	0	0	0
<i>Euterpina acutifrons</i>	388	537	207	193	126
<i>Corycaeus</i> sp.	1	0	0	0	0
<i>Cyclopina littoralis</i>	4	0	14	0	0
Cop. Parasites <i>Ergasilus</i> sp.	0	0	0	0	0
Cop parasites Monstrillidae	0	0	0	0	0
Cop. Parasites Caligidae	0	0	0	0	0
Cop parasites <i>Lernaecocera</i> sp.	0	5	5	0	0
Cyclopoïdes nd.	8	0	0	0	42
Harpacticoïdes nd.	4	11	0	0	0
Nauplii copépodes	0	11	10	11	42
TOTAL COPEPODES	876	2 446	1 240	7 002	44 412
EUPHAUSIACES	0	0	0	0	0
Larves NATANTIA (Caridea)	0	0	0	3	0
Larves THALASSINIDEA	0	0	0	0	0
Larves de Porcellanidae	0	0	0	0	0
Larves de Paguridae	0	0	0	0	0
Larves de Diogeneidae	0	0	0	0	0
Larves de Galatheidae	0	0	0	0	0
L. Anomoures ND	0	0	0	0	0
TOTAL L. d' ANOMOURES	0	0	0	0	0
Zoe de Brachyours	0	6	2	32	84
Mégalopes de Brachyours	0	0	0	0	0
TOTAL L. de BRACHYOURS	0	6	2	32	84
Larves GASTROPODES	42	27	14	0	0
Larves BIVALVES	8	5	5	11	0
TOTAL L. de MOLLUSQUES	50	32	19	11	0
Cyphonautes BRYOZOAIES	29	0	0	0	0
<i>Ophiopluteus</i>	0	0	0	0	42
<i>Echinopluteus</i>	0	0	0	0	0
TOTAL L. d'ECHINODERMES	0	0	0	0	42
<i>Oikopleura dioica</i>	25	81	154	409	1 597
<i>Fritillaria borealis</i>	0	0	0	0	0
Appendiculaires nd.	0	0	0	0	0
TOTAL APPENDICULAIRES	25	81	154	409	1 597
Têtards d' Ascidies	0	0	0	0	0
Téléostéens (Œufs)	0	0	0	12	25
Téléostéens (Alevins et larves)	0	0	0	1	4
TOTAL ZOOPLANCTON	1 106	2 616	1 491	12 086	52 441
<i>Noctiluca scintillans</i>	0	0	0	0	0

Tabl. 5.3a. Abondance des espèces zooplanctoniques au canal d'aménée (station 325).

SITE	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES
STATION	325	325	325	325	325
DATE	18/04/01	30/04/01	07/05/01	25/05/01	18/06/01
Volume filtré (m3)	1,05	0,45	0,84	0,97	2,23
Nature des résultats	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3
<i>Obelia sp.</i>	0	0	0	0	0
<i>Hybocodon prolifer</i>	0	0	0	0	0
<i>Eucheilota maculata</i>	0	0	0	0	0
<i>Clytia hemispherica</i>	0	0	0	0	0
Cnidaires nd.	38	267	143	0	0
TOTAL CNIDAIRES	38	267	143	0	0
<i>Pleurobrachia pileus</i>	10	222	24	62	0
<i>Beroe sp.</i>	0	0	48	82	4
TOTAL CTENAIRES	10	222	71	144	4
TOTAL CHAETOGNATHES	0	0	0	0	0
<i>Lanice conchilega</i>	133	1 289	429	41	18
Spionidae	95	267	286	124	126
Annélides nd.	0	0	95	41	0
TOTAL ANNELIDES	229	1 556	810	206	143
<i>Daphnia sp.</i>	0	0	0	0	0
<i>Bosmina sp.</i>	0	0	0	0	0
<i>Podon sp.</i>	0	0	0	0	0
<i>Evadne sp.</i>	0	0	0	0	0
TOTAL CLADOCERES	0	0	0	0	0
<i>Nauplii Cirripedes</i>	629	267	333	577	72
<i>Cypris Cirripedes</i>	324	533	1 095	247	269
TOTAL Larves CIRRIPEDES	952	800	1 429	825	341
AMPHIPODES	19	44	0	0	9
ISOPODES (larves microniscus)	0	0	0	0	0
CUMACES	0	44	0	0	72
<i>Mesopodopsis slabberii</i>	0	0	0	0	0
<i>Schistomysis spiritus</i>	0	0	0	0	0
<i>Schistomysis kervillei</i>	0	0	0	0	0
Mysidacés nd.	0	0	0	0	0
TOTAL MYSIDACES	0	0	0	0	0
<i>Calanus helgolandicus</i>	0	0	0	0	0
<i>Paracalanus parvus</i>	0	0	0	0	0
<i>Pseudocalanus minutus</i>	438	889	762	866	126
<i>Stephos minor</i>	0	0	0	0	0
<i>Temora longicornis</i>	5 905	42 000	16 190	14 227	2 583
<i>Eurytemora affinis</i>	0	0	0	0	0
<i>Melridia lucens</i>	0	0	0	0	0
<i>Centropages typicus</i>	0	0	0	0	54
<i>Centropages hamatus</i>	133	267	810	660	179
<i>Isias clavipes</i>	0	0	0	0	0
<i>Candacia armata</i>	0	0	0	0	0
<i>Labidocera wollastonii</i>	0	0	0	0	0

Tabl. 5.3b. Abondance des espèces zooplanctoniques au canal d'amenée (station 325).

STATION	325	325	325	325	325
DATE	18/04/01	30/04/01	07/05/01	25/05/01	18/06/01
Volume filtré (m3)	1,05	0,45	0,84	0,97	2,23
Nature des résultats	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3
<i>Parapontella brevicornis</i>	0	0	0	0	0
<i>Acartia clausi</i>	400	1 200	1 476	4 639	807
<i>Acartia discaudata</i>	0	0	0	0	0
<i>Oithona sp.</i>	0	0	0	0	0
<i>Oncaea sp.</i>	0	0	0	0	0
<i>Euterpina acutifrons</i>	75	133	48	825	377
<i>Corycaeus sp.</i>	0	0	0	0	0
<i>Cyclopina littoralis</i>	114	0	0	0	36
Cop. Parasites <i>Ergasilus sp.</i>	0	0	0	0	0
Cop parasites Monstrillidae	0	0	0	0	0
Cop. Parasites Caligidae	0	0	0	0	0
Cop parasites <i>Lernaeocera sp.</i>	19	0	0	0	0
Cyclopoïdes nd.	0	0	0	0	0
Harpacticoïdes nd.	0	44	0	0	0
Nauplii copépodes	0	0	0	0	18
TOTAL COPEPODES	7 086	44 533	19 286	21 216	4 179
EUPHAUSIACES	0	0	0	0	0
Larves NATANTIA (Caridea)	0	0	95	10	36
Larves THALASSINIDEA	0	0	0	0	0
Larves de Porcellanidae	0	44	0	10	9
Larves de Paguridae	0	0	0	0	0
Larves de Diogeneidae	0	0	0	0	0
Larves de Galatheidae	0	0	0	0	0
L. Anomoures ND	0	0	0	0	0
TOTAL L. d' ANOMOURES	0	44	0	10	9
Zoe de Brachyours	133	133	0	124	161
Mégalopes de Brachyours	0	0	0	21	4
TOTAL L. de BRACHYOURS	133	133	0	144	166
Larves GASTROPODES	19	0	0	82	18
Larves BIVALVES	0	44	0	165	18
TOTAL L. de MOLLUSQUES	19	44	0	247	36
Cyphonautes BRYOZOAIRES	19	89	0	0	0
<i>Ophiopluteus</i>	57	89	0	3 340	54
<i>Echinopluteus</i>	0	0	0	0	0
TOTAL L. d'ECHINODERMES	57	89	0	3 340	54
<i>Oikopleura dioica</i>	152	889	95	825	197
<i>Fritillaria borealis</i>	0	0	0	0	0
Appendiculaires nd.	0	0	0	0	0
TOTAL APPENDICULAIRES	152	889	95	825	197
Têtards d'Ascidies	0	0	0	82	0
Téléostéens (Œufs)	38	111	24	41	0
Téléostéens (Alevins et larves)	0	22	83	21	0
TOTAL ZOOPLANCTON	8 752	48 889	22 036	27 113	5 247
<i>Noctiluca scintillans</i>	0	222	209 524	12 577	591 928

Tabl. 5.3b. Abondance des espèces zooplanctoniques au canal d'aménée (station 325).

SITE	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES
STATION	325	325	325	325	325
DATE	29/06/01	19/07/01	13/08/01	27/08/01	27/09/01
Volume filtré (m3)	1,91	1,22	4,25	3,58	1,49
Nature des résultats	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3
<i>Obelia sp.</i>	0	164	59	28	7
<i>Hybocodon prolifer</i>	0	0	0	0	0
<i>Eucheilota maculata</i>	52	0	54	17	54
<i>Clytia hemispherica</i>	0	0	0	0	0
Cnidaires nd.	0	57	0	0	0
TOTAL CNIDAIRES	52	221	113	45	60
<i>Pleurobrachia pileus</i>	16	0	2	0	47
<i>Beroe sp.</i>	5	0	0	0	0
TOTAL CTENAIRES	21	0	2	0	47
TOTAL CHAETOGNATHES	26	0	5	179	174
<i>Lanice conchilega</i>	0	574	1 059	475	295
Spionidae	293	164	176	307	0
Annélides nd.	0	0	0	11	0
TOTAL ANNELIDES	293	738	1 235	793	295
<i>Daphnia sp.</i>	0	0	0	0	0
<i>Bosmina sp.</i>	0	0	0	0	0
<i>Podon sp.</i>	0	0	59	0	0
<i>Evadne sp.</i>	0	0	0	0	0
TOTAL CLADOCERES	0	0	59	0	0
<i>Nauplii Cirripèdes</i>	84	1 967	1 118	2 263	268
<i>Cypris Cirripèdes</i>	84	328	59	251	0
TOTAL Larves CIRRIPEDES	168	2 295	1 176	2 514	268
AMPHIPODES	0	8	59	17	0
ISOPODES (larves <i>miconiscus</i>)	0	164	0	28	0
CUMACES	419	8	176	28	0
<i>Mesopodopsis slabberii</i>	0	0	7	6	0
<i>Schistomysis spiritus</i>	0	0	0	0	0
<i>Schistomysis kervillei</i>	0	0	0	0	0
Mysidacés nd.	21	0	2	3	0
TOTAL MYSIDACES	21	0	9	8	0
<i>Calanus helgolandicus</i>	0	16	0	28	0
<i>Paracalanus parvus</i>	0	492	0	1 201	456
<i>Pseudocalanus minutus</i>	377	410	0	168	0
<i>Stephos minor</i>	0	0	0	0	0
<i>Temora longicornis</i>	8 796	12 131	4 000	8 268	430
<i>Eurytemora affinis</i>	0	0	0	0	0
<i>Metridia lucens</i>	0	0	0	0	0
<i>Centropages typicus</i>	0	0	0	0	295
<i>Centropages hamatus</i>	1 634	2 541	2 118	894	27
<i>Isias clavipes</i>	0	0	0	0	0
<i>Candacia armata</i>	0	0	0	0	0
<i>Labidocera wollastonii</i>	0	0	0	0	0

Tabl. 5.3c. Abondance des espèces zooplanktoniques au canal d'aménée (station 325).

STATION	325	325	325	325	325
DATE	29/06/01	19/07/01	13/08/01	27/08/01	27/09/01
Volume filtré (m3)	1,91	1,22	4,25	3,58	1,49
Nature des résultats	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3
<i>Parapontella brevicornis</i>	0	0	0	0	0
<i>Acartia clausi</i>	11 728	38 361	15 765	20 112	779
<i>Acartia discaudata</i>	0	0	0	0	0
<i>Oithona sp.</i>	0	0	0	0	617
<i>Oncaea sp.</i>	0	0	0	0	0
<i>Euterpina acutifrons</i>	1 466	2 541	2 294	4 581	5 638
<i>Corycaeus sp.</i>	0	0	0	0	0
<i>Cyclopina littoralis</i>	126	164	118	0	0
Cop. Parasites <i>Ergasilus sp.</i>	0	246	941	28	349
Cop parasites Monstrillidae	0	0	59	3	0
Cop. Parasites Caligidae	0	0	0	0	0
Cop parasites <i>Lernaeocera sp.</i>	0	0	118	28	0
Cyclopoïdes nd.	0	0	0	28	7
Harpacticoïdes nd.	0	0	118	28	0
Nauplii copépodes	42	410	176	391	0
TOTAL COPEPODES	24 168	57 311	25 706	35 757	8 597
EUPHAUSIACES	0	0	0	0	0
Larves NATANTIA (Caridea)	5	0	2	3	13
Larves THALASSINIDEA	0	0	2	0	0
Larves de Porcellanidae	0	25	5	0	0
Larves de Paguridae	0	0	0	0	0
Larves de Diogeneidae	0	16	14	0	0
Larves de Galatheidae	0	0	0	0	0
L. Anomoures ND	0	0	0	0	0
TOTAL L. d' ANOMOURES	0	41	19	0	0
Zoe de Brachyours	16	16	24	0	13
Mégalopes de Brachyours	5	0	2	0	0
TOTAL L. de BRACHYOURES	21	16	26	0	13
Larves GASTROPODES	126	328	235	196	81
Larves BIVALVES	0	0	59	503	27
TOTAL L. de MOLLUSQUES	126	328	294	698	107
Cyphonautes BRYOZOAIRES	42	0	0	56	268
<i>Ophiopluteus</i>	0	0	118	0	295
<i>Echinopluteus</i>	0	0	0	0	0
TOTAL L. d'ÉCHINODERMES	0	0	118	0	295
<i>Oikopleura dioica</i>	796	4 918	0	670	107
<i>Fritillaria borealis</i>	0	0	0	0	0
Appendiculaires nd.	0	0	0	0	0
TOTAL APPENDICULAIRES	796	4 918	0	670	107
Têtards d'Ascidiés	0	82	59	112	0
Téléostéens (Œufs)	0	16	0	0	0
Téléostéens (Alevins et larves)	0	8	5	3	0
TOTAL ZOOPLANCTON	26 157	66 156	29 066	40 911	10 248
<i>Noctiluca scintillans</i>	1 038 743	344 262	549 647	0	3 154

Tabl. 5.3c. Abondance des espèces zooplanctoniques au canal d'aménée (station 325).

SITE	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES	GRAVELINES
STATION	327	324	302	327	324	302
DATE	07/03/01	07/03/01	07/03/01	27/09/01	27/09/01	27/09/01
Volume filtré (m3)	0,77	2,72	11,27	1,19	2,91	6,85
Nature des résultats	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3
<i>Obelia sp.</i>	0	0	0	0	0	44
<i>Hybocodon prolifer</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Eucheilota maculata</i>	0	0	0	34	3	25
<i>Clytia hemispherica</i>	0	0	0	0	0	0
Cnidaires nd.	0	0	0	67	0	0
TOTAL CNIDAIRES	0	0	0	101	3	69
<i>Pleurobrachia pileus</i>	91	0	2	0	0	0
<i>Beroe sp.</i>	0	0	0	0	0	0
TOTAL CTENAIRES	91	0	2	0	0	0
TOTAL CHAETOGNATHES	0	0	0	1 311	151	657
<i>Lanice conchilega</i>	1 351	1 544	599	34	0	219
Spionidae	935	1 588	887	101	110	73
Annélides nd.	416	441	843	0	0	29
TOTAL ANNELIDES	2 701	3 574	2 329	134	110	321
<i>Daphnia sp.</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Bosmina sp.</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Podon sp.</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Evadne sp.</i>	0	0	0	0	0	0
TOTAL CLADOCERES	0	0	0	0	0	0
<i>Nauplii Cirripèdes</i>	416	750	754	67	69	175
<i>Cypris Cirripèdes</i>	312	441	222	34	55	15
TOTAL Larves CIRRIPEDES	727	1 191	976	101	124	190
AMPHIPODES	416	4	22	34	10	1
ISOPODES (larves <i>miconiscus</i>)	0	0	0	34	0	0
CUMACES	0	0	44	0	0	29
<i>Mesopodopsis slabberii</i>	0	0	1	0	24	3
<i>Schistomysis spiritus</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Schistomysis kervillei</i>	0	0	0	0	0	0
Mysidacés nd.	0	0	0	0	3	0
TOTAL MYSIDACES	0	0	1	0	27	3
<i>Calanus helgolandicus</i>	104	4	4	0	0	102
<i>Paracalanus parvus</i>	208	44	22	202	206	496
<i>Pseudocalanus minutus</i>	4 571	1 456	976	0	0	0
<i>Stephos minor</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Temora longicornis</i>	48 312	25 809	16 859	67	110	1 518
<i>Eurytemora affinis</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Metridia lucens</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Centropages typicus</i>	0	0	0	0	14	73
<i>Centropages hamatus</i>	1 039	441	421	67	55	307
<i>Isias clavipes</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Candacia armata</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Labidocera wollastonii</i>	0	0	0	0	0	0

Tabl. 5.4. Abondances des espèces zooplanktoniques aux points rejet (station 327), contrôle (station 324) et référence (station 302).

STATION	327	324	302	327	324	302
DATE	07/03/01	07/03/01	07/03/01	27/09/01	27/09/01	27/09/01
Volume filtré (m3)	0,77	2,72	11,27	1,19	2,91	6,85
Nature des résultats	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3	N/10 m3
<i>Parapontella brevicornis</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Acartia clausi</i>	416	529	288	134	509	1 839
<i>Acartia discaudata</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Oithona sp.</i>	0	0	0	34	151	0
<i>Oncaea sp.</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Euterpina acutifrons</i>	312	44	177	2 084	3 127	3 796
<i>Corycaeus sp.</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Cyclopina littoralis</i>	0	0	177	0	0	15
Cop. Parasites <i>Ergasilus sp.</i>	0	0	0	101	247	555
Cop parasites Monstrillidae	0	0	0	0	0	0
Cop. Parasites Caligidae	0	0	0	0	0	0
Cop parasites <i>Lernaeocera sp.</i>	0	0	0	0	0	0
Cyclopoïdes nd.	0	0	0	0	0	0
Harpacticoides nd.	0	44	0	0	41	15
Nauplii copépodes	0	0	0	0	0	161
TOTAL COPEPODES	54 961	28 371	18 925	2 689	4 460	8 876
EUPHAUSIACES	0	0	0	0	0	0
Larves NATANTIA (Caridea)	0	4	0	0	0	13
Larves THALASSINIDEA	0	0	0	0	0	108
Larves de Porcellanidae	0	0	0	0	0	7
Larves de Paguridae	0	0	0	0	0	0
Larves de Diogeneidae	0	0	0	0	0	0
Larves de Galatheidae	0	0	0	0	0	1
L. Anomoures ND	0	0	0	0	0	0
TOTAL L. d' ANOMOURES	0	0	0	0	0	9
Zoe de Brachyours	104	40	0	0	3	9
Mégalopes de Brachyours	0	0	0	0	0	1
TOTAL L. de BRACHYOURES	104	40	0	0	3	10
Larves GASTROPODES	0	0	0	0	69	146
Larves BIVALVES	0	0	44	0	385	15
TOTAL L. de MOLLUSQUES	0	0	44	0	454	161
Cyphonautes BRYOZOAIREs	0	0	0	34	55	102
<i>Ophiopluteus</i>	0	0	0	101	27	336
<i>Echinopluteus</i>	0	0	0	0	0	0
TOTAL L. d'ECHINODERMES	0	0	0	101	27	336
<i>Oikopleura dioica</i>	104	44	399	168	69	44
<i>Fritillaria borealis</i>	0	0	0	0	0	0
Appendiculaires nd.	0	0	0	0	0	0
TOTAL APPENDICULAIRES	104	44	399	168	69	44
Tétards d'Ascidies	0	0	0	0	0	0
Téléostéens (Œufs)	0	11	3	0	0	0
Téléostéens (Alevins et larves)	104	0	2	0	0	0
TOTAL ZOOPLANCTON	59 208	33 239	22 748	4 706	5 495	10 928
<i>Noctiluca scintillans</i>	0	0	0	0	0	0

Tabl. 5.4. Abondances des espèces zooplanctoniques aux points rejet (station 327), contrôle (station 324) et référence (station 302).

6. ZOOPLANCTON HALIEUTIQUE

Auteur :

Daniel WOEHLING

Collaborateurs :

François GARREN

Alain LEFEBVRE

Jean d'ELBÉE

6.1. INTRODUCTION

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

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

L'étude est focalisée sur les stades planctoniques de trois espèces cibles choisies en raison de 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 étant caractéristiques du site. Le choix de deux espèces de poissons d'écologie différente en phase adulte (la première est benthique, la seconde pélagique), outre leur intérêt direct, permet de mettre en évidence des processus généraux affectant le site. Parallèlement, est réalisé le suivi du cténaire *Pleurobrachia pileus* («groseilles de mer»).

6.2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le matériel et les méthodes de terrain et de laboratoire sont dérivés de ceux utilisés depuis le début des études et harmonisés pour l'ensemble des sites d'implantation de centrales nucléaires. Ils sont décrits en détail dans les précédents rapports. 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. Les prélèvements de zooplancton sont effectués à l'échantillonneur *Bongo* grand modèle (61 cm de diamètre d'ouverture) muni de deux filets de maillage 500 μm dont les pêches sont mélangées (sauf pour le point 325 à l'entrée du canal d'aménée où l'armature ne comporte qu'un seul filet). Deux repliquats sont réalisés en chaque point. Les volumes filtrés sont calculés à partir des indications de flux-mètres *General Oceanics* situés à l'entrée des filets.

6.2.2. Localisation des points de prélèvement

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

6.2.3. Chronologie

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

En 2001, ces quatre campagnes ont été réalisées du 12 avril au 23 mai. Les contraintes météorologiques n'ont permis de réaliser qu'une seule campagne en mer, qui a été remplacée comme prévu par une campagne «canal» afin de ne pas «manquer» le phénomène biologique.

Cette chronologie, ainsi que les principales caractéristiques des campagnes, figurent dans le tableau 6.1.

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)
207	12 avril	14 h 33	75	325	9,62		33,73		1	10 h 46	11	180,85
									2	11 h 08	12	251,75
208	25 avril	12 h 49	93	325	9,34		33,35		1	10 h 28	10	30,63
									2	10 h 49	4	16,63
209	11 mai	14 h 09	72	325	11,60		31,30		1	12 h 13	10	130,76
									2	12 h 36	5	32,75
210	23 mai	11 h 49	92	313	14,40	13,09	33,00	32,90	1	12 h 04	6	137,24
									2	12 h 18	6	154,29
				324	13,60	12,93	33,04	33,13	1	12 h 35	6	129,00
									2	12 h 44	6	128,18
				318	12,30	12,21	33,20	33,27	1	13 h 09	6	107,39
									2	13 h 17	5	106,75

Tabl. 6.1. Caractéristiques principales des campagnes de prélèvement de zooplankton halieutique sur le site de Gravelines en 2001

6.3. RÉSULTATS – DISCUSSION

6.3.1. La sole *Solea vulgaris* (Quensel)

La sole constitue la principale espèce halieutique du secteur. Le site étant inclus dans une famille d'aires de reproduction, 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

En 2001, afin de mieux encadrer le pic de ponte, les prélèvements ont été avancés. Les variations saisonnières (Fig. 6.1) semblent indiquer que la période de reproduction a été relativement bien circonscrite. Les effectifs d'œufs (Fig. 6.2) comme ceux des larves (Fig. 6.3) se situent à nouveau, comme en 1999, parmi les valeurs basses observées sur le site (quelques unités par 10 m³ pour les œufs, comparées aux quelques dizaines en moyenne). Globalement, le pic de ponte semble moins avancé que lors des années précédentes, probablement en liaison avec des températures hivernales plus proches de la moyenne (5 à 7°C) qu'au cours de 1999 et 2000, voire légèrement moins clémentes au début du printemps.

La décroissance des effectifs d'œufs des points côtiers 313 (et 325 «canal») au point 318 du large (Fig. 6.4) est conforme au gradient général vers la côte, habituel pour cette espèce à ponte côtière dans les zones septentrionales, du moins en début de saison alors qu'il s'inverse généralement vers la fin (De Clerck et Van de Velde, 1973). Indice d'une proximité de l'aire de ponte, la proportion des stades précoces (stade 1, œufs à embryon non encore développé) est généralement importante (Tabl. 6.2), surtout au début de la saison de reproduction. En 2001, cette proportion suit en effet un gradient vers le large lors de la campagne du 23 mai, contrairement à celui des effectifs. L'interprétation des distributions spatiales demeure délicate, en raison d'une part des températures inférieures au large qui prolongent la durée des stades jeunes, et d'autre part de l'ensemencement du site en œufs produits sur les aires de ponte limitrophes. De plus, il faut tenir compte de l'absence de prélèvements en mer en début de saison.

Larves

Les effectifs de larves augmentant progressivement jusqu'au pic de fin mai (Fig. 6.1), alors qu'en 2000 ils étaient déjà relativement élevés lors de la première campagne. Les densités (Fig. 6.1 et 6.3) se situent cependant à un niveau inférieur aux valeurs habituelles du site (quelques unités par 10 m³). Enfin, on observe un gradient inhabituel vers le large lors de l'unique campagne en mer du 23 mai (Fig. 6.5).

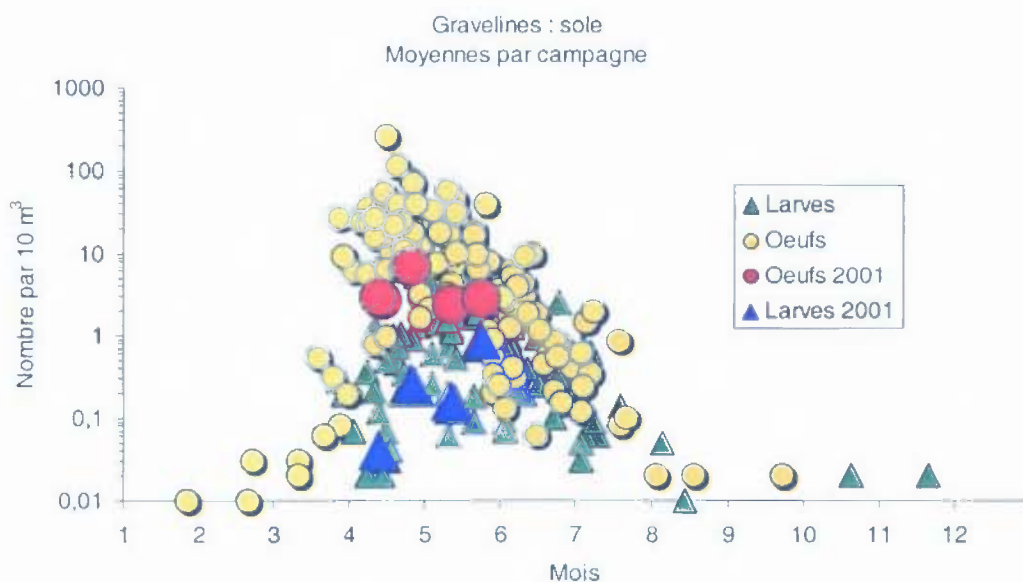


Fig. 6.1. Variations saisonnières des densités d'œufs et de larves de sole à Gravelines pour l'ensemble des années (de 1975 à 2001).

Date	Point	Répliquat	Total œufs	Œufs stade 1	Œufs stade 2	Larves
12 avril	325	1	2,99	2,43	0,55	0,00
		2	2,94	2,38	0,56	0,08
		Moyenne	2,97	2,41	0,56	0,04
25 avril	325	1	1,63	0,98	0,65	0,00
		2	12,22	4,07	8,15	0,51
		Moyenne	6,93	2,53	4,40	0,26
11 mai	325	1	0,46	0,46	0,00	0,00
		2	4,27	1,83	2,44	0,31
		Moyenne	2,37	1,15	1,22	0,16
23 mai	313	1	3,79	1,89	1,89	0,15
		2	5,19	2,33	2,85	0,26
		Moyenne	4,49	2,11	2,37	0,21
	324	1	4,19	2,64	1,55	1,55
		2	1,87	0,00	1,87	1,56
		Moyenne	3,03	1,32	1,71	1,56
	318	1	0,00	0,00	0,00	0,93
		2	1,50	1,50	0,00	0,75
		Moyenne	0,75	0,75	0,00	0,84

Tabl. 6.2. Densités d'œufs et de larves de sole à Gravelines en 2001 (en nombre par 10 m^3).

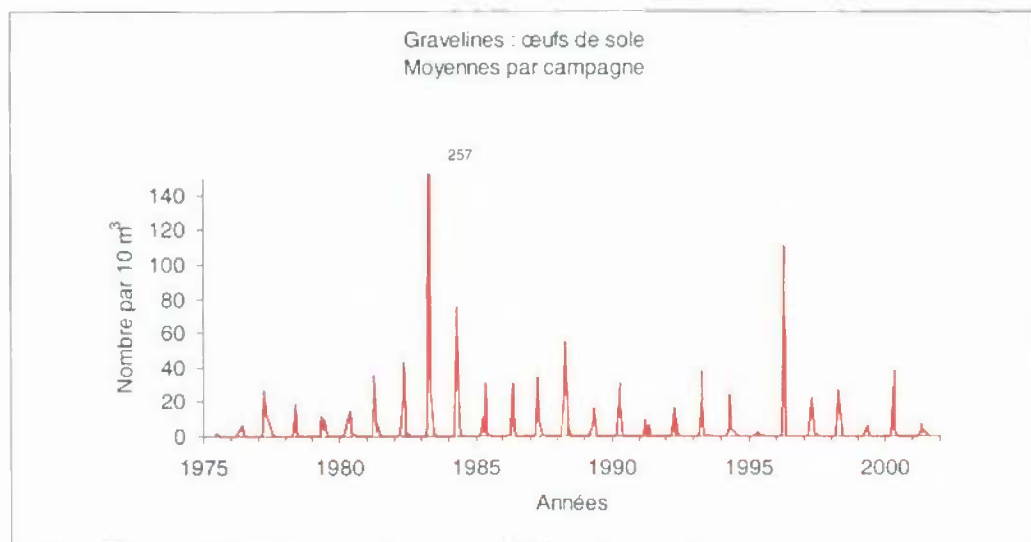


Fig. 6.2. Variations annuelles des densités d'œufs de sole à Gravelines pour l'ensemble des années (de 1975 à 2001).

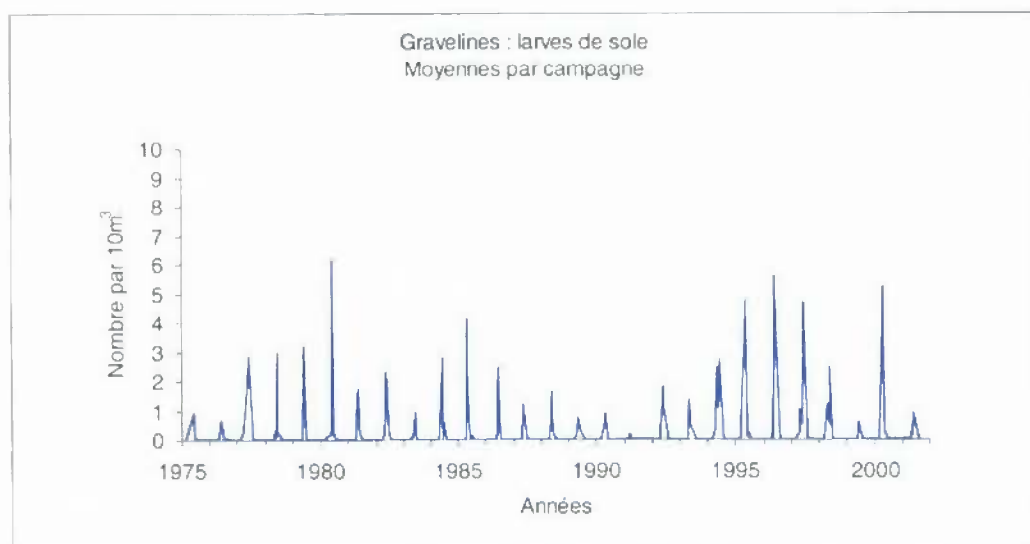


Fig. 6.3. Variations annuelles des densités de larves de sole à Gravelines pour l'ensemble des années (de 1975 à 2001).

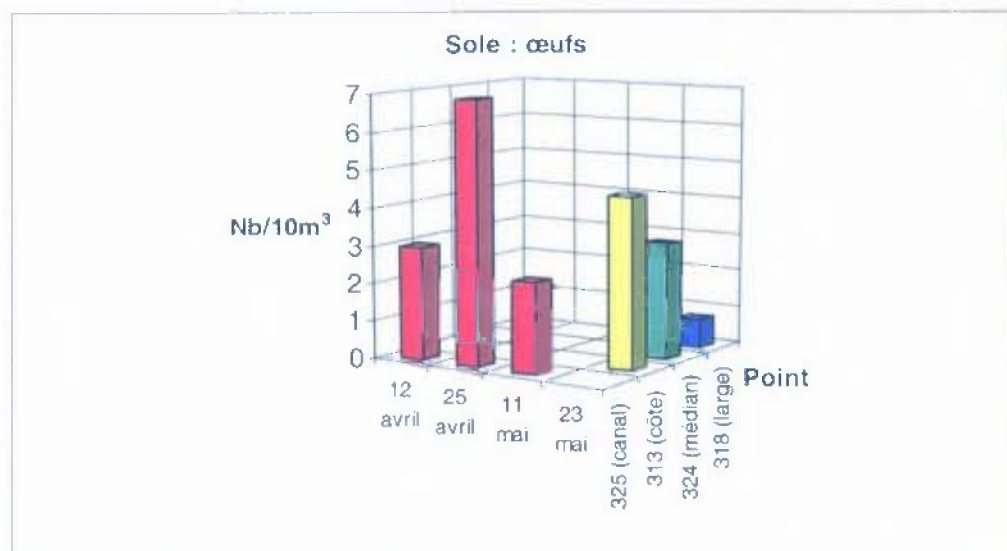


Fig. 6.4. Densités d'œufs de sole à Gravelines en 2001 en fonction de la date et du point de prélèvement.

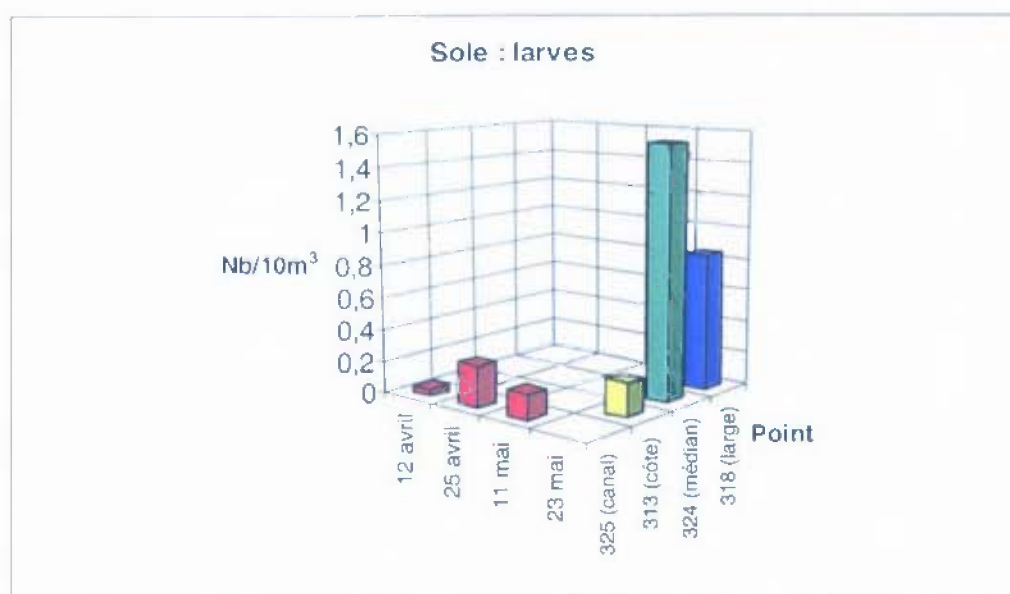


Fig. 6.5. Densités de larves de sole à Gravelines en 2001 en fonction de la date et du point de prélèvement.

6.3.2. Le sprat *Sprattus sprattus* (L.)

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

Œufs

Les effectifs sont moins élevés que lors du pic de 1996 (Fig. 6.6) mais ils remontent nettement par rapport à 1999 (ce qui n'est pas le cas des larves, Fig. 6.7) qui voyait une décroissance régulière des effectifs depuis 1997. Ils retrouvent ainsi les valeurs moyennes du site (quelques dizaines par 10 m³, ce qui est l'indication d'une frayère). La période de ponte pouvant être plus précoce que pour la sole, des abondances importantes sont observées dès la première campagne d'avril (Fig. 6.8 et 6.10, tabl. 6.3), mais un premier maximum a bien lieu fin avril. Enfin, contrairement à la sole, la ponte du sprat peut s'étaler jusqu'en juin, et en 2001 un deuxième maximum est observé fin mai. On y retrouve un net gradient vers le large (Fig. 6.8), conformément à la biologie de cette espèce migratrice.

Larves

Les effectifs de larves accusent en 2001 à nouveau une baisse par rapport à leur niveau normal (2 à 6 individus par 10 m³, Fig. 6.7). Lors de la campagne en mer, on observe un gradient vers le large (Fig. 6.9).

Date	Point	Répliquat	Total œufs	Œufs stade 1	Œufs stade 2	Larves
12 avril	325	1	9,40	6,52	2,88	0,00
		2	7,39	5,16	2,22	0,16
		Moyenne	8,40	5,84	2,55	0,08
25 avril	325	1	22,20	16,98	5,22	0,00
		2	222,07	177,25	44,82	1,53
		Moyenne	122,14	97,12	25,02	0,77
11 mai	325	1	24,01	17,59	6,42	0,08
		2	81,22	61,68	19,54	1,53
		Moyenne	52,62	39,64	12,98	0,81
23 mai	313	1	16,47	6,56	9,91	0,51
		2	28,52	13,74	14,78	1,17
		Moyenne	22,50	10,15	12,35	0,84
	324	1	18,29	7,91	10,39	5,89
		2	19,66	8,43	11,23	7,18
		Moyenne	18,98	8,17	10,81	6,54
	318	1	81,95	38,74	43,21	7,26
		2	154,38	88,43	65,95	7,87
		Moyenne	118,17	63,59	54,58	7,57

Tabl. 6.3. Densités d'œufs et de larves de sprat à Gravelines en 2001 (en nombre par 10 m³).

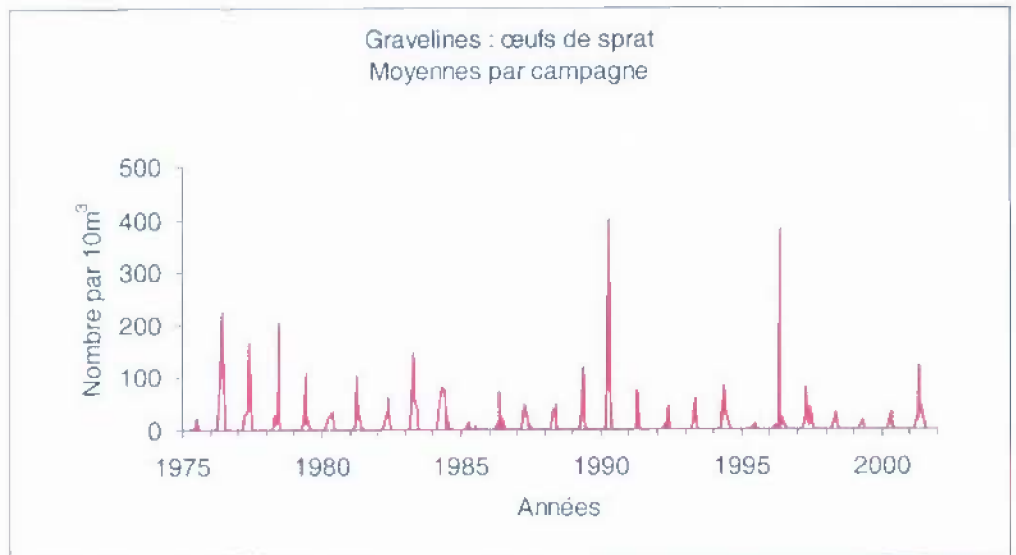


Fig. 6.6. Variations annuelles des densités d'œufs de sprat à Gravelines pour l'ensemble des années (de 1975 à 2001).

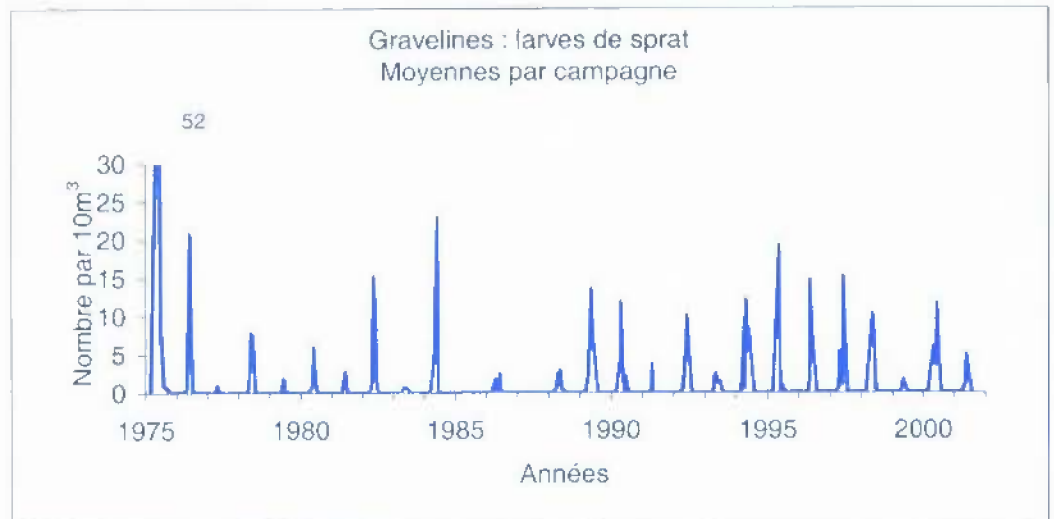


Fig. 6.7. Variations annuelles des densités de larves de sprat à Gravelines pour l'ensemble des années (de 1975 à 2001).

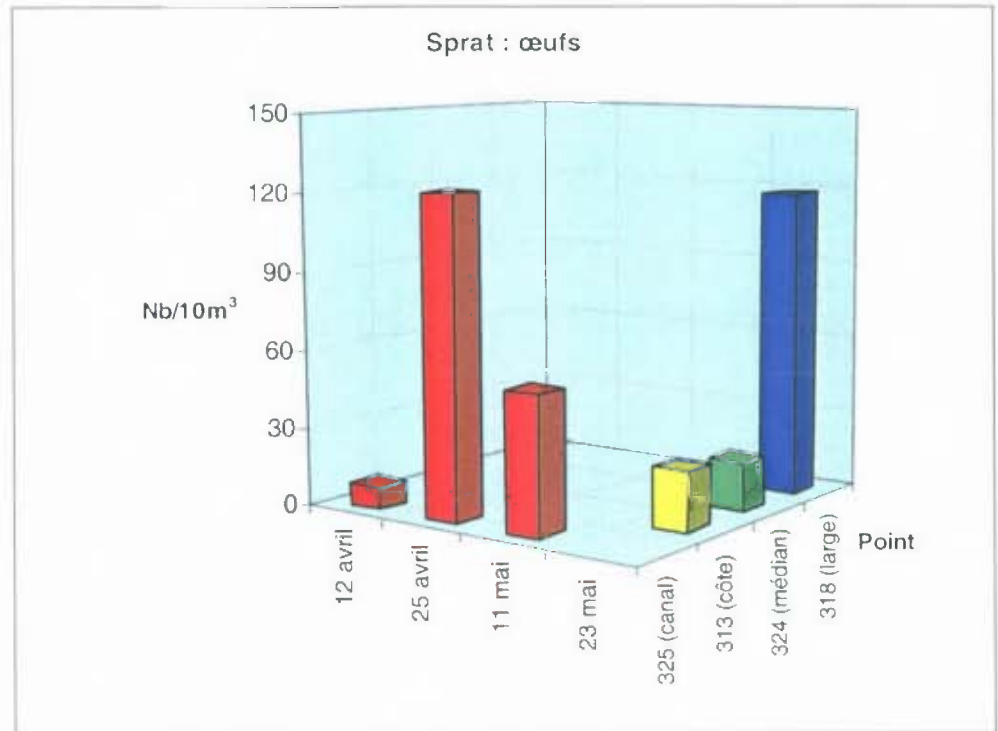


Fig. 6.8. Densités d'œufs de sprat à Gravelines en 2001 en fonction de la date et du point de prélèvement.

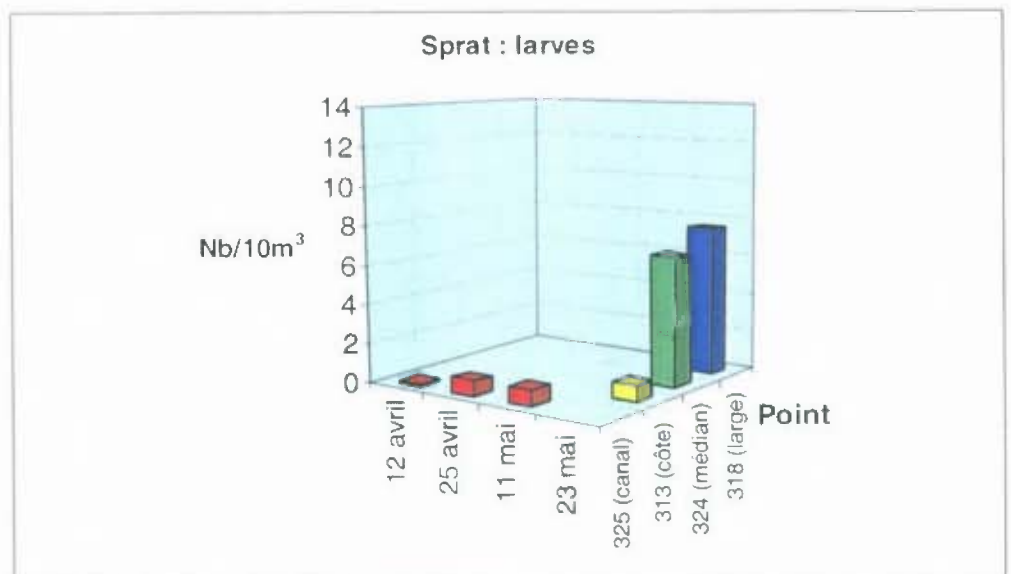


Fig. 6.9. Densités de larves de sprat à Gravelines en 2001 en fonction de la date et du point de prélèvement.

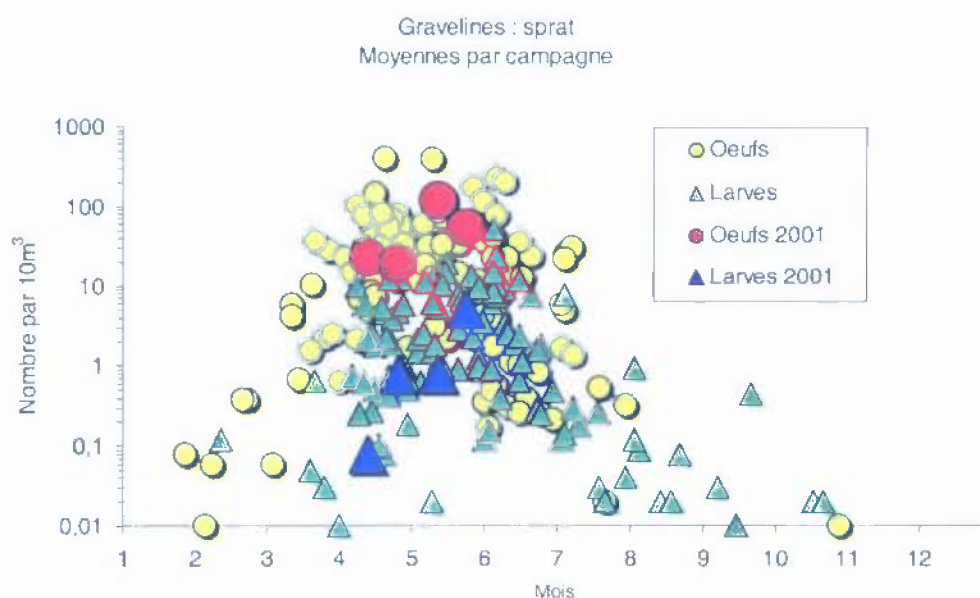


Fig. 6.10. Variations saisonnières des densités d'œufs et de larves de sprat à Gravelines pour l'ensemble des années (de 1975 à 2001).

6.3.3. La crevette grise *Crangon crangon* (L.)

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. 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 est particulièrement favorable à cette espèce et les densités de larves y étaient nettement supérieures à celles relevées sur d'autres sites en manche, comme Penly, Paluel ou Flamanville.

La période de reproduction de la crevette grise est très étendue et ses larves sont 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 malgré tout selon un rythme saisonnier qui conduit globalement à un maximum de larves en été et un minimum en hiver (Meixner, 1968).

A Gravelines, les larves étaient abondantes surtout d'avril à septembre, (Fig. 6.11) avec des densités qui pouvaient atteindre plusieurs dizaines par 10m^3 avec des pics de 100 à 200 dans les années 1980 (Fig. 6.12). En comparaison, les densités relevées en 2001 paraissent bien faibles, voire

insignifiantes (Tab. 6.4), ne dépassant guère 1 larve par 10 m^3 au maximum (fin avril), sans que la période de prélèvement soit en cause. Cette diminution importante s'observe également avec les post-larves (Fig. 6.13). L'impact de la centrale ne semble pas en cause, aucune diminution significative n'ayant été observée sur un autre site (à Penly) entre la période précédent et suivant la mise en service de la centrale. Le phénomène paraît plutôt relever d'une tendance générale telle qu'observée au niveau des pêcheries.

L'abondance relative des larves et post-larves à la côte (Fig. 6.14 et 6.15) est plausible, mais les faibles effectifs ne permettent pas de comparaison très significative.

Date	Point	Répliquat	Larves	Post-larves
12 avril	325	1	0,39	0,00
		2	0,24	0,04
		Moyenne	0,32	0,02
25 avril	325	1	0,65	0,00
		2	2,04	0,00
		Moyenne	1,35	0,00
11 mai	325	1	0,00	0,08
		2	0,00	0,61
		Moyenne	0,00	0,35
23 mai	313	1	0,00	0,07
		2	0,06	0,13
		Moyenne	0,03	0,10
	324	1	0,00	0,70
		2	0,78	0,23
		Moyenne	0,39	0,47
	318	1	0,09	0,19
		2	0,00	0,09
		Moyenne	0,05	0,14

Tabl. 6.4. Densités de larves et post-larves de crevette grise à Gravelines en 2001 (en nombre par 10 m^3)

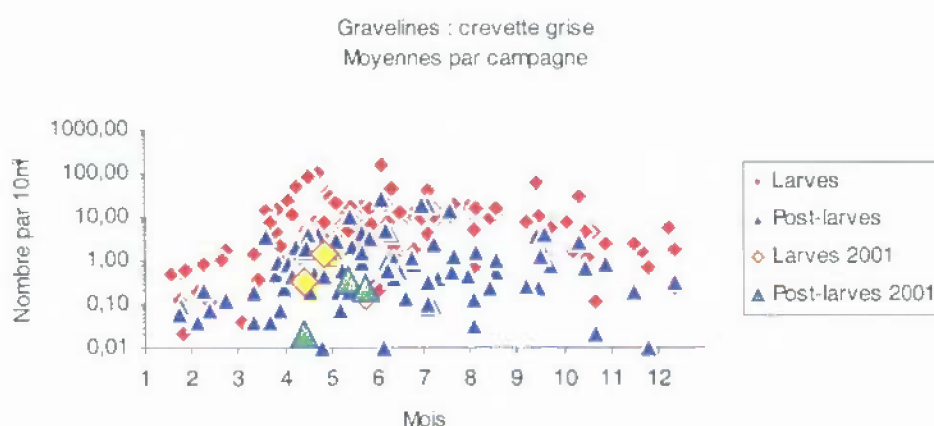


Fig. 6.11. Variations saisonnières des densités de larves et post-larves de crevette grise à Gravelines pour l'ensemble des années (de 1975 à 2001)

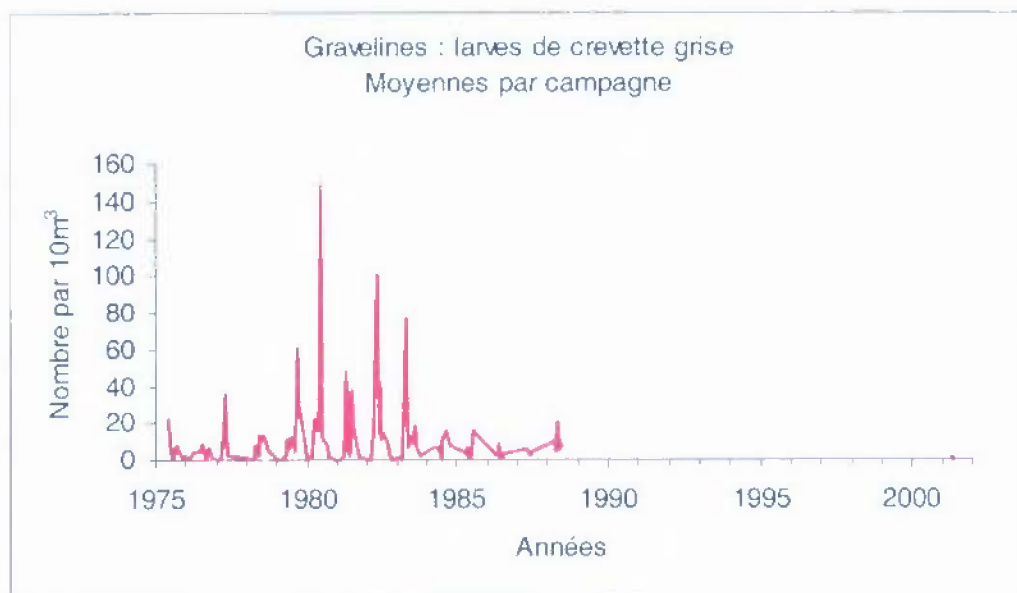


Fig. 6.12. Variations annuelles des densités de larves de crevette grise à Gravelines de 1975 à 2001 (avec une interruption de 1989 à 2000, tous deux inclus)

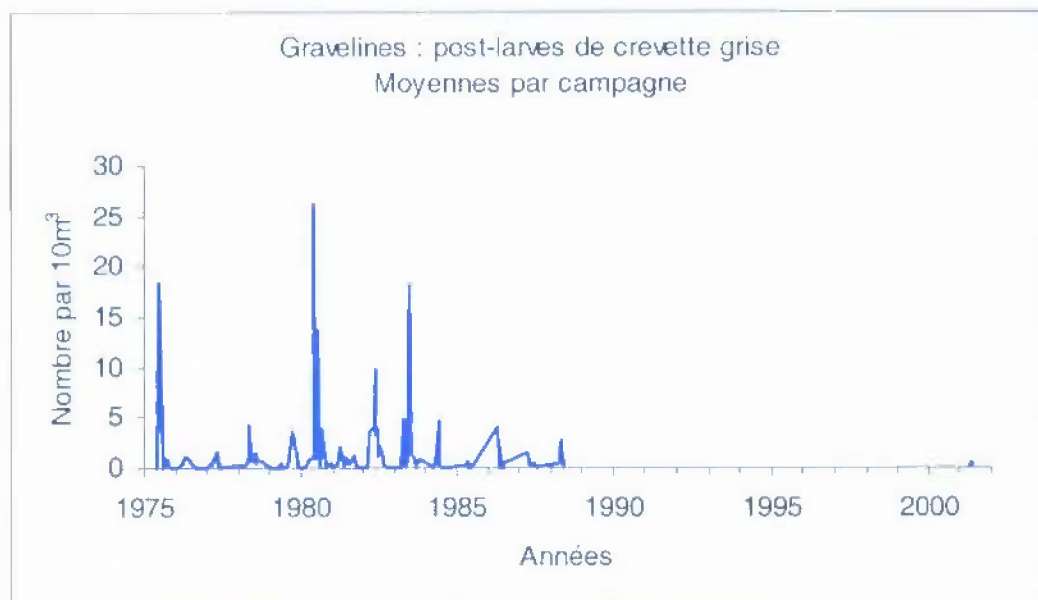


Fig. 6.13. Variations annuelles des densités de post-larves de crevette grise à Gravelines de 1975 à 2001 (avec une interruption de 1989 à 2000 tous deux inclus)

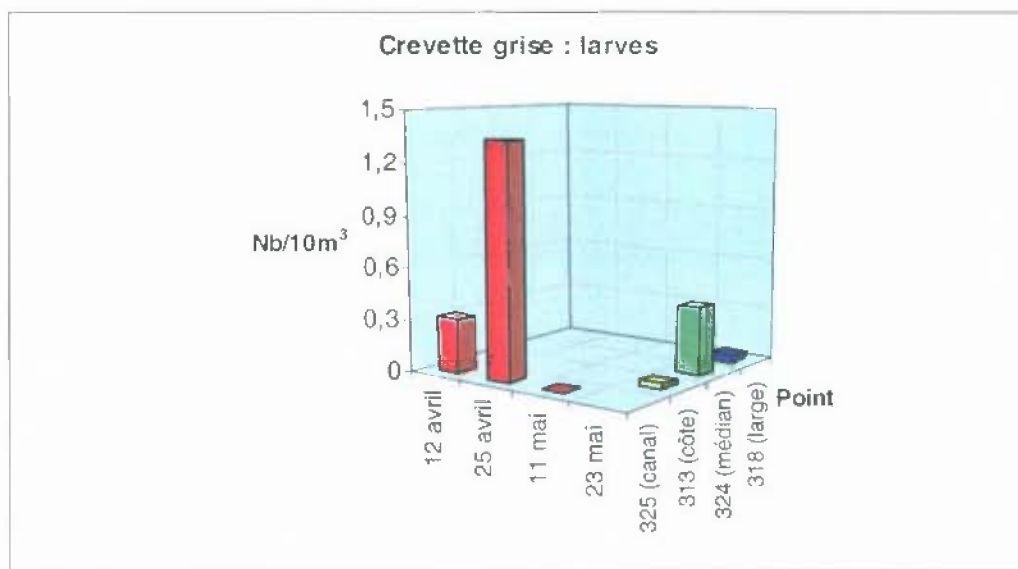


Fig. 6.14. Densités de larves de crevette grise à Gravelines en 2001 en fonction de la date et du point de prélèvement

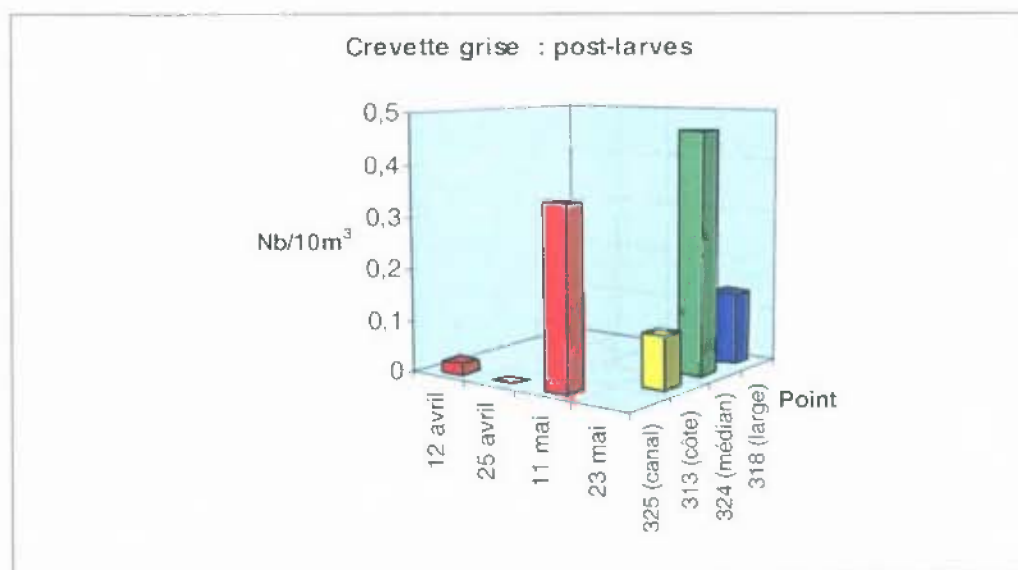


Fig. 6.15. Densités de post-larves de crevette grise à Gravelines en 2001 en fonction de la date et du point de prélèvement

6.3.4. La groseille de mer *Pleurobrachia pileus* (L.)

La «groseille de mer» *Pleurobrachia pileus* (Cténiaire), espèce constante à Gravelines depuis le début des études, fait l'objet d'une attention particulière en raison de son abondance à certaines époques de l'année et des problèmes de colmatage des tambours de filtration qui en résultent.

Le secteur de Gravelines, de par sa situation biogéographique en mer épicontinentale septentrionale et productive, convient particulièrement à cette espèce d'eaux côtières froides qui prolifère au printemps. En raison du maillage de 500 μm utilisé dans cette partie de l'étude du site, seules les grands individus, essentiellement des adultes, sont capturés. Les densités réelles peuvent ainsi sous-estimées, notamment au cours de la saison de reproduction.

Les densités habituellement observées atteignent fréquemment plusieurs dizaines ou centaines d'individus par 10 m^3 au moment du pic (Fig. 6.16) qui se produit généralement entre mi-avril et début juin (Fig. 6.17). Les effectifs sont généralement élevés dans le canal d'aménée.

En 2001, les densités sont de l'ordre de grandeur habituel et se situent plutôt parmi les valeurs hautes au moment du pic de fin avril. Ces fortes valeurs ont été relevées dans le canal de prise (Tab. 6.5 et Fig. 6.18).

Date	Point	Répliquat	Total individus
12 avril	325	1	4,09
		2	8,18
		Moyenne	6,14
25 avril	325	1	139,74
		2	611,19
		Moyenne	375,47
11 mai	325	1	23,55
		2	22,29
		Moyenne	22,92
23 mai	313	1	31,77
		2	16,07
		Moyenne	23,92
	324	1	28,68
		2	34,33
		Moyenne	31,51
	318	1	48,05
		2	21,55
		Moyenne	34,80

Tabl. 6.5. Densités de groseilles de mer à Gravelines en 2001 (en nombre par 10 m^3).

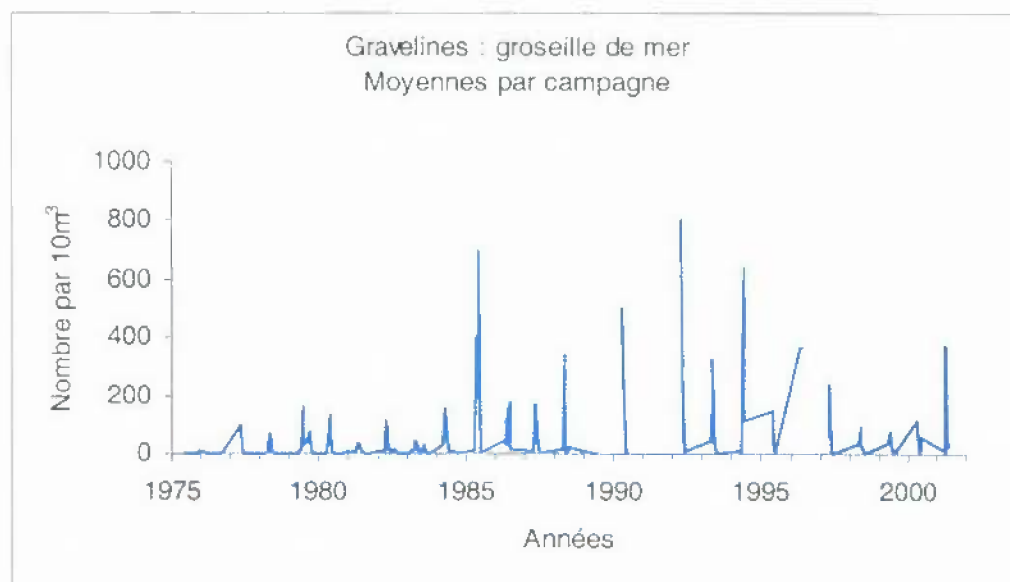


Fig. 6.16. Variations annuelles des densités de groseilles de mer à Gravelines pour l'ensemble des années (de 1975 à 2001).

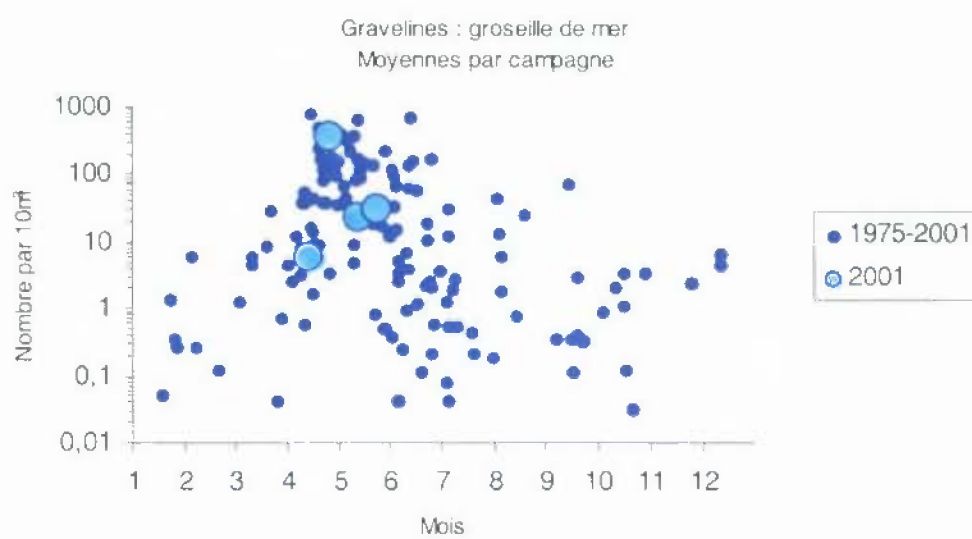


Fig. 6.17. Variations saisonnières des densités de groseilles de mer à Gravelines pour l'ensemble des années (de 1975 à 2001).

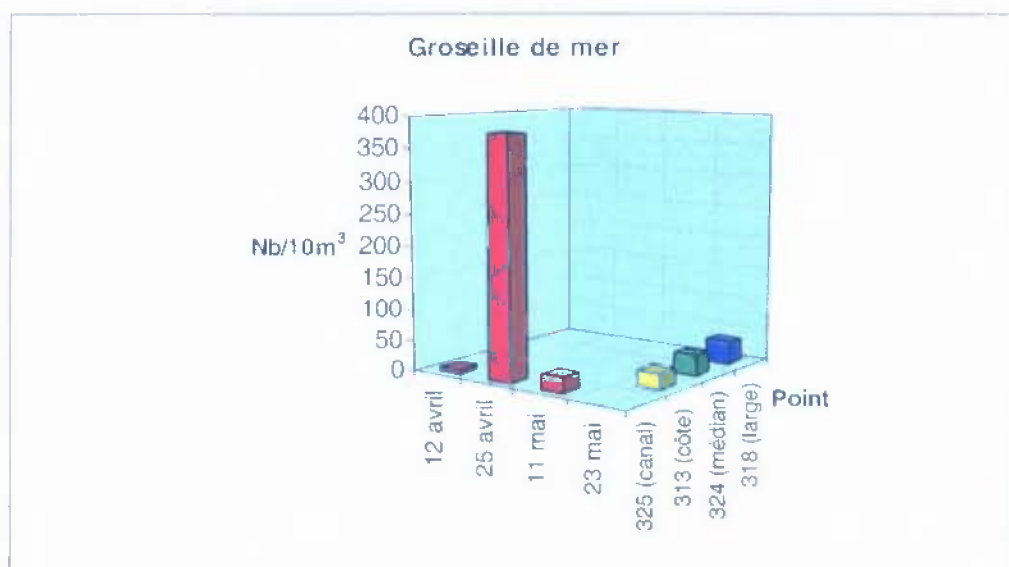


Fig. 6.18. Densités de groseilles de mer à Gravelines en 2001 en fonction de la date et du point de prélèvement.

6.4. ÉLÉMENTS DE CONCLUSION

Après plusieurs années à cycle précoce, l'année 2001 apparaît, plus encore que 2000, comme moyenne du point de vue de la reproduction du sprat et de la sole, en liaison avec des températures saisonnières normales, à peine plus élevées que la moyenne au début du printemps (9-10°C en avril au lieu de 8-9°C en moyenne).

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

Les densités de groseille de mer montrent en 2001 des densités habituelles (de 100 à 500 individus par 10 m³). On est frappé également par la similitude de leurs fluctuations pluriannuelles avec celles du frai de la sole et du sprat, montrant que malgré de probables phénomènes d'interaction spécifiques locales (prédation notamment), ce sont les phénomènes de variations à grande échelle spatio-temporelle qui priment.

En 2001, les effectifs de la crevette grise se situent plutôt dans les valeurs basses des fluctuations pluriannuelles très importantes pour cette espèce.

Références :

De Clerck R. & J Van de Velde, 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 :
Jean-Marie DEWARUMEZ

Collaborateur :
Dominique MENU

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 environnementaux : la salinité et la teneur en fines du sédiment. Mais l'impact thermique de la centrale peut aussi 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* est plus thermophile que *Spio martinensis*. Il faut néanmoins relativiser l'ampleur de cet impact dans la mesure où nous avons pu vérifier que l'exclusion réciproque des deux populations n'était pas systématique et que la densité des populations de ces deux espèces variait fortement.

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

7.2. METHODOLOGIE

La stratégie d'échantillonnage a 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 délaissier les niveaux inférieurs. Dans ce but, deux stations en haut niveau (station M) et en moyen niveau supérieur (station N) sur une nouvelle radiale (n° 3) située entre les deux radiales précédemment étudiées ont été rajoutées en 2000. Cependant lors de l'échantillonnage, il est apparu qu'un important recrutement de *Donax vittatus* avait eu lieu dans les bas niveaux de l'estran de Gravelines. Cette espèce n'ayant pas été récoltée depuis de nombreuses années sur cet estran, il a

été décidé d'échantillonner les stations de bas niveau. *Donax vittatus* étant toujours présente en 2001, l'échantillonnage a également porté sur 10 stations. La campagne a eu lieu le 24 juin 2001.

Depuis 1996 nous utilisons la méthode du poids sec sans cendres (PSSC) en lieu et place de la méthode du poids sec décalcifié (PSD) pour la détermination de la biomasse.

7.3. RESULTATS

7.3.1. Composition bionomique

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

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

Ces 33 taxons correspondent à 5187 individus récoltés sur les trois radiales : 399 sur la radiale 1, 3470 sur la radiale 2 et 1318 sur la radiale 3. Ces résultats, similaires à ceux de 2000, sont très inférieurs à ceux enregistrés en 1998 et 1999. période pendant laquelle la densité globale moyenne avait été signalée comme étant exceptionnelle. La population de *Hydrobia ulvae* régresse considérablement ; elle ne représente plus que 6,3 % du total des individus récoltés contre 63,9 % en 2000.

7.3.2. Résultats globaux

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

On ne note pas, en 2001, d'évolution de la morphologie de l'estran.

Radiale 1

Station E

Bien que le sédiment reste toujours envasé (de 1 à 8 % du poids du sédiment), les quelques placages de vase restant sont toujours localisés au dessus de ce niveau et l'on a pu noter en 2000 un fort appauvrissement en pélites du sédiment. Cet appauvrissement se confirme en 2001, la teneur en pélites n'étant plus que de 0,43 % (Tabl. 7.1. & Fig. 7.1.).

% pondéraux	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Pélites	2,96	1,27	2,51	2,34	0,99	2,76	0,04	4,58	3,03	0,62	0,43
Sables fins	20,61	7,60	18,39	25,59	25,46	27,11	31,61	38,28	42,63	35,26	43,38
Sables moyens	70,75	80,95	73,36	68,43	61,08	67,55	64,72	50,33	50,76	52,44	53,00

La fraction fine du sédiment (sables moyens et fins + pélites) représente près de 97 % du poids total du sédiment lors de la campagne de 2001. Cette augmentation par rapport à 2000 est due à une forte progression de la teneur en sables fins.

Densité/m ²	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
<i>Hydrobia ulvae</i>	10172	11304	12028	10488	5772	17584	2028	72	8
<i>Spio martinensis</i>	836	8	348	0	76	8	0	0	40
<i>Pygospio elegans</i>	0	0	0	32	160	0	0	0	0
<i>Eurydice affinis</i>	244	100	76	12	160	48	364	4	0
<i>Bathyporeia pilosa</i>	2820	900	856	96	1376	16	3688	0	8
<i>Corophium arenarium</i>	1808	3168	2830	24	200	40	184	20	120

radiale 1	station E	station F	station G	station H
Graviers grossiers	0,28	0,28	0,09	0,58
Graviers fins	0,22	0,76	0,46	1,31
Sables grossiers	2,69	6,55	3,22	7,54
Sables moyens	53,00	43,09	55,63	34,21
Sables fins	43,38	48,47	40,56	56,13
Pélites	0,43	0,86	0,04	0,23

radiale 2	station I	station J	station K	station L
Graviers grossiers	0,90	1,89	0,02	0,22
Graviers fins	1,93	3,64	0,18	0,45
Sables grossiers	5,84	14,75	3,08	2,06
Sables moyens	43,96	47,04	52,44	10,30
Sables fins	44,40	32,62	44,16	86,86
Pélites	2,98	0,06	0,12	0,10

radiale 3	station M	Station N
Graviers grossiers	0,24	0,54
Graviers fins	0,18	2,68
Sables grossiers	4,52	14,18
Sables moyens	49,40	45,18
Sables fins	42,38	37,33
Pélites	3,29	0,08

Tabl. 7.1. Caractéristiques granulométriques du sédiment aux 10 stations intertidales (% pondéraux).

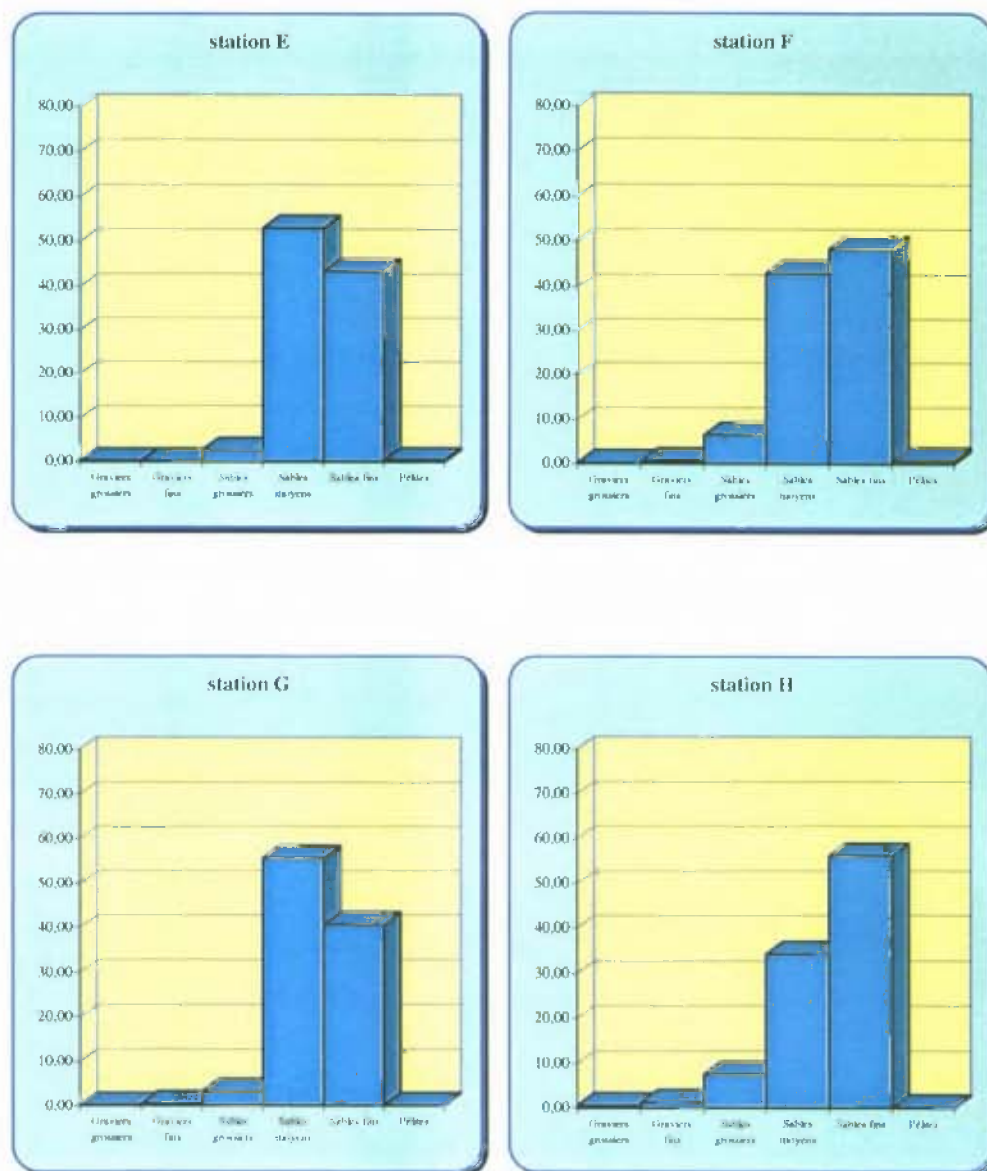


Fig. 7.1. Radiale I, Caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux).

Radiale I	Station E	Station F	Station G	Station H
Cnidaires				
<i>Sagartia troglodytes</i>				
Némertes				
<i>Némertes spp</i>		10		
Nématodes				
<i>Nématodes spp</i>		13		
Annélides Oligochètes				
<i>Enchytraeidae sp</i>		20		
Annélides Polychètes				
<i>Paraonis fulgens</i>		1		
<i>Spio martinensis</i>	10	22		
<i>Spiophanes bombyx</i>		1		
<i>Pygospio elegans</i>		2		
<i>Scolelepis squamata</i>	5	33		3
<i>Capitella capitata</i>		12		
<i>Ophelia ratkhei</i>		16		
<i>Arenicola marina</i>		6		
<i>Eteone longa</i>		11		1
<i>Hediste diversicolor</i>		29		
<i>Nephtys cirrosa</i>			4	21
Mollusques				
<i>Hydrobia ulvae</i>	2	3		
<i>Macoma balthica</i>		79	1	
<i>Cerastoderma edule</i>		59		
Crustacés				
<i>Bathyporeia pelagica</i>			2	
<i>Bathyporeia pilosa</i>	2			
<i>Corophium arenarium</i>	30			
<i>Crangon crangon</i>		1		
TOTAL (ind.m⁻²)	196	1272	28	100

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

Radiale 1	Station E	Station F	Station G	Station H
Cnidaires				
<i>Sagartia troglodytes</i>				
Némertes				
<i>Némertes spp</i>		5,8		
Nématodes				
<i>Nématodes spp</i>		0,4		
Annélides Oligochètes				
<i>Enchytraeidae sp</i>		1,2		
Annélides Polychètes				
<i>Paraonis fulgens</i>		0,4		
<i>Spio martinensis</i>	0,8	1,8		
<i>Spiophanes bombyx</i>		0,5		
<i>Pygospio elegans</i>		0,1		
<i>Scolelepis squamata</i>	10,1	271,1		1,2
<i>Capitella capitata</i>		4,3		
<i>Ophelia ratkhei</i>		2,3		
<i>Arenicola marina</i>		235,9		
<i>Eteone longa</i>		3,1		0,4
<i>Hediste diversicolor</i>		464,6		
<i>Nephtys cirrosa</i>			51,1	137,3
Mollusques				
<i>Hydrobia ulvae</i>	0,8	2,2		
<i>Macoma balthica</i>		1032,3	5,9	
<i>Cerastoderma edule</i>		3875,1		
Crustacés				
<i>Bathyporeia pelagica</i>			0,5	
<i>Bathyporeia pilosa</i>	1,1			
<i>Corophium arenarium</i>	14,7			
<i>Crangon crangon</i>		0,6		
TOTAL (ind.m⁻²)	110,0	23606,8	230,0	555,6

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

L'évolution significative du peuplement installé à cette station constatée en 2000 se confirme et s'amplifie. Les populations des espèces vasicoles et d'eau saumâtre (*Hydrobia ulvae*, *Bathyporeia pilosa*, *Eurydice affinis*) restent à niveau très faible ou régressent encore. Seul *Corophium arenarium* voit sa densité de population augmenter. La densité globale de population reste très faible. Elle était de 6276 ind.m⁻² en 1999 et de 100 ind.m⁻² en 2000, elle est de 196 ind.m⁻² en 2001 (Tabl. 7.2.).

La régression de la population de *Hydrobia ulvae* dans les niveaux supérieurs de la partie ouest de l'estran est un phénomène quasi-général sur l'estran de Gravelines.

Spio martinensis réapparaît à la station E ; cette espèce n'avait pas été récoltée en 2000.

La biomasse reste à une valeur très faible : 0,11 g.m⁻². Elle était de 0,05 g.m⁻² en 2000 et dépassait les 17 g.m⁻² les années précédentes (Tabl. 7.3.).

Station F

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

Ces évolutions sont surtout liées aux populations de mollusques bivalves (*Macoma balthica* et *Cerastoderma edule*) mais aussi à l'influence plus ou moins grande de la dessalure causée par l'Aa et à son impact sur la densité des espèces euryhalines.

Densité/m ²	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
<i>Hediste diversicolor</i>	12	4	40	8	68	56	116	72	116
<i>Spio martinensis</i>	968	4	692	0	192	36	0	0	88
<i>Pygospio elegans</i>	0	0	0	672	2	0	0	0	8
<i>Ophelia rathkei</i>	16	324	184	1576	460	588	24	0	64
<i>Hydrobia ulvae</i>	20	0	0	12	56	9176	26140	8448	12
<i>Cerastoderma edule</i>	0	0	0	12	52	800	144	32	236
<i>Macoma balthica</i>	4	40	20	40	648	168	748	696	316
<i>Corophium arenarium</i>	4	24	100	0	0	0	0	0	0

La population de *Cerastoderma edule* progresse en 2001 après avoir connu une forte régression depuis 1998. Cette progression de la densité de population de coques se traduit par une forte augmentation de la biomasse (+12 g.m⁻²). Les

individus récoltés sont tous de la cohorte 2000. La cohorte 1998 s'est donc complètement éteinte.

Macoma balthica a bénéficié d'un recrutement moins important, la densité de cette espèce diminue par rapport à 1999 et 2000 (748 en 1999, 696 ind.m² en 2000 et 316 ind.m² en 2001), la biomasse évolue de la même façon (15,5 g.m² en 1999, 15,6 g.m² en 2000 et 4,1 g.m² en 2001), la classe de taille modale est de 14 mm (Tabl. 7.2. & 7.3.).

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 individus.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 à la station F, au niveau de celle de 1998 (8448 ind.m²). En 2001, la population de *Hydrobia ulvae* disparaît aussi complètement de la station F (12 ind.m² pour une biomasse de 2,2 mg.m²).

La population de *Hediste diversicolor* progresse, tandis que la densité de *Scolelepis squamata* reste stable par rapport à 1999 et 2000.

La biomasse n'évolue pas par rapport à 2000 : de 23,6 g.m² en 2001 contre 24,9 g.m² en 2000), l'augmentation de la biomasse de *Cerastoderma edule* et de *Hediste diversicolor* est compensée par la diminution de la biomasse de *Hydrobia ulvae*.

Stations G et H

Ces deux stations devaient dans la nouvelle stratégie d'échantillonnage être remplacées par une station intermédiaire. La présence de *Donax vittatus* dans les bas niveaux nous avait conduit lors de l'étude de 2000 à maintenir l'échantillonnage de ces deux stations qui sont caractérisées depuis plusieurs années par une très grande stabilité, une faible diversité spécifique, une faible densité et une faible biomasse.

La richesse spécifique chute fortement aux stations G et H et *Donax vittatus* n'est plus présent à la station H. La biomasse est très faible à ces deux stations dominées principalement par *Nephtys cirrosa* (Tabl. 7.2. & 7.3.).

Radiale 2

Station I

Depuis maintenant plusieurs années, cette station est le reflet du résultat des actions combinées des trois facteurs écologiques principaux qui régissent la répartition des communautés benthiques de l'estran de Petit Fort Philippe. Les peuplements benthiques établis à cette station sont rendus instables par la proximité du rejet de la centrale. On peut aussi y noter une forte influence des eaux douces de ruissellement.

Après de forte augmentation en 1998 (1468 ind.m⁻²) et 1999 (2620 ind.m⁻²), la densité de la population de *Hydrobia ulvae* avait fortement diminué en 2000 (680 ind.m⁻²). 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 remonte en 2001 à 900 ind.m⁻² et surtout la biomasse individuelle passe à 1,24 mg. Le vieillissement de la population de *Hydrobia ulvae* semble se poursuivre. Mais, contrairement à ce qui se passe à l'ouest de l'estran, la population de *Hydrobia ulvae* se maintient à un niveau faible pour cette espèce (Tabl. 7.4. & 7.5.).

Densité/m ²	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
<i>Enchytraeidae</i>	20	0	0	16	4	212	104	0	4	816
<i>Pygospio elegans</i>	424	1404	32	132	64	1144	0	60	4	3440
<i>Spio martinensis</i>	0	0	0	0	0	0	186	0	0	0
<i>Hydrobia ulvae</i>	620	116	1216	1380	840	204	1468	2620	680	900
<i>Corophium arenarium</i>	3772	6184	956	1232	1604	1508	7004	1792	3348	3916
<i>Bathyporeia pilosa</i>	60	684	64	128	0	4	40	4	4	4
<i>Eurydice affinis</i>	20	236	448	436	24	36	0	8	48	4

Par contre, la population de *Corophium arenarium* reste stable, voire progresse légèrement (3916 ind.m⁻² en 2001 contre 3348 ind.m⁻² en 2000). Le poids moyen individuel est de 1,1 mg, il était de 0,6 mg en 1998, de 0,5 mg en 1999 et de 1,5 mg en 2000. La légère augmentation de la densité provient donc de l'arrivée de jeunes recrues.

La population des *Enchytraeidae* progresse de manière significative. La population de *Pygospio elegans* qui s'est réimplantée à un faible, voire très faible, niveau de densité depuis 1999 progresse de manière spectaculaire (3440 ind.m⁻²).

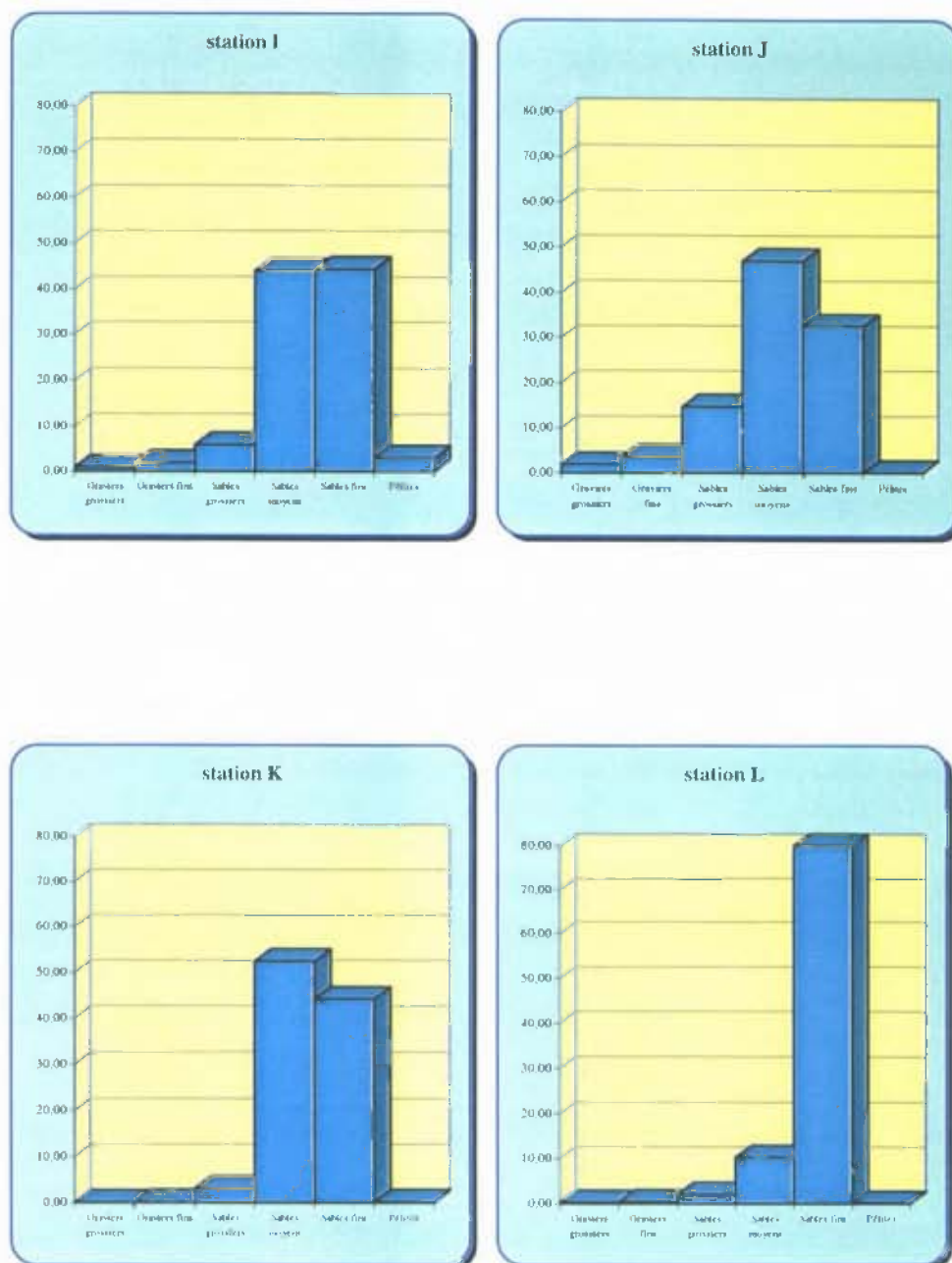


Fig. 7.2. Radiale 2, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux).

Radiale 2	Station I	Station J	Station K	Station L
Cnidaires				
<i>Sagartia troglodytes</i>		1		
Némertes				
Némertes <i>spp</i>		1	5	
Nématodes				
Nématodes <i>spp</i>	299			
<i>Enoplus brevis</i>	5			
Annélides Oligochètes				
<i>Enchytraeidae sp</i>	204	4		
Annélides Polychètes				
<i>Spio martinensis</i>		6		2
<i>Pygospio elegans</i>	860			
<i>Scolelepis squamata</i>		7		
<i>Ophelia ratkhei</i>			1	
<i>Eteone longa</i>	6	1		
<i>Hediste diversicolor</i>				
<i>Nephtys cirrosa</i>			5	31
<i>Lanice conchilega</i>			5	22
Mollusques				
<i>Hydrobia ulvae</i>	225	12		
<i>Macoma balthica</i>				
<i>Cerastoderma edule</i>				
<i>Donax vittatus</i>				7
Crustacés				
<i>Eurydice affinis</i>	1	63		
<i>Eurydice pulchra</i>		1		
<i>Vaunthompsonia cristata</i>				1
<i>Urothoe poseidonis</i>				1
<i>Bathyporeia pelagica</i>				
<i>Bathyporeia pilosa</i>	1	829		
<i>Bathyporeia sarsi</i>			21	
<i>Pontocrates arenarius</i>			1	
<i>Corophium arenarium</i>	979	62		
<i>Diogenes pugilator</i>				1
<i>Crangon crangon</i>			1	
Insectes				
Larves de diptères	1	2		
TOTAL (ind.m⁻²)	10324	3956	156	260

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

Radiale 2	Station I	Station J	Station K	Station L
Cnidaires				
<i>Sagartia troglodytes</i>		12,2		
Némertes				
<i>Némertes spp</i>		0,3	29,7	
Nématodes				
<i>Nématodes spp</i>	6,6			
<i>Enoplus brevis</i>	3,6			
Annélides Oligochètes				
<i>Enchytraeidae sp</i>	5,8	0,3		
Annélides Polychètes				
<i>Spio martinensis</i>		0,4		0,8
<i>Pygospio elegans</i>	52,2			
<i>Scolelepis squamata</i>		21,1		
<i>Ophelia ratkhei</i>			0,3	
<i>Eteone longa</i>	1,6	0,4		
<i>Hediste diversicolor</i>				
<i>Nephtys cirrosa</i>			60,1	611,3
<i>Lanice conchilega</i>			88,8	545,1
Mollusques				
<i>Hydrobia ulvae</i>	279,1	6,9		
<i>Macoma balthica</i>				
<i>Cerastoderma edule</i>				
<i>Donax vittatus</i>				2057,7
Crustacés				
<i>Eurydice affinis</i>	0,3	14,8		
<i>Eurydice pulchra</i>		0,8		
<i>Vaunthompsonia cristata</i>				0,2
<i>Urothoe poseidonis</i>				0,4
<i>Bathyporeia pelagica</i>				
<i>Bathyporeia pilosa</i>	0,3	112,3		
<i>Bathyporeia sarsi</i>			55,6	
<i>Pontocrates arenarius</i>			0,3	
<i>Corophium arenarium</i>	1108,1	18,8		
<i>Diogenes pugilator</i>				11,2
<i>Crangon crangon</i>			1,9	
Insectes				
<i>Larves de diptères</i>	0,6	1,1		
TOTAL (ind.m⁻²)	5832,8	757,6	946,8	12906,8

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

La population de *Spio martinensis* qui s'était implantée à la station I en 1998 a complètement disparu en 1999 et 2000 reste absente des hauts niveaux de la partie est de l'estran.

La densité globale du peuplement installé à la station I augmente donc considérablement par rapport à 2000 (4088 ind.m⁻² en 2000 à 10324 ind.m⁻² en 2001, soit +153%). Par contre la biomasse diminue (7.2 g.m⁻² en 2000 contre 5.8 g.m⁻² en 2001), du fait de la prédominance des juvéniles et d'espèces à faible biomasse individuelle (Tabl. 7.4. & 7.5.).

Station J

Cette station est située à proximité immédiate du complexe de dunes et de bâches situé à mi-estran. Elle a été pendant plusieurs années, le siège d'un lent phénomène d'érosion qui a éliminé du sédiment les particules fines avec comme conséquence de faire évoluer le peuplement installé à cette station vers des aspects caractéristiques de moyens niveaux inférieurs. Depuis 1997, cette évolution semble s'être inversée, le cortège spécifique du peuplement installé à cette station est d'un type intermédiaire, constitué à la fois d'espèces caractéristiques des niveaux supérieurs et d'espèces inféodées aux moyens niveaux inférieurs.

Densité/m ²	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
<i>Scolecipis squamata</i>	32	88	68	96	76	4	0	28	48	28
<i>Eurydice affinis</i>	140	240	16	68	0	188	36	376	0	252
<i>Eurydice pulchra</i>	16	0	236	308	120	20	32	0	368	4
<i>Corophium arenarium</i>	0	20	12	0	1604	80	132	8	4	248
<i>Bathyporeia sarsi</i>	0	0	400	148	288	0	1020	292	0	0
<i>Bathyporeia pilosa</i>	156	76	0	0	0	988	0	0	364	3316

Ce schéma évolue en 2001, le cortège spécifique de cette station est constitué majoritairement d'espèces inféodées aux niveaux supérieurs. *Eurydice affinis*, *Corophium arenarium* et *Bathyporeia pilosa* (espèces de haut niveau) sont dominantes tandis que *Bathyporeia sarsi* et *Eurydice pulchra* (espèces de moyen niveau) sont quasi absentes.

La biomasse, cependant, évolue très peu (0,5 g.m⁻² 2000 contre 0,8 g.m⁻² en 2001) alors que la densité progresse considérablement (816 ind.m⁻² en 2000 contre 3956 ind.m⁻² en 2001).

Stations K et L

Pendant plusieurs années, les peuplements établis dans les niveaux inférieurs de la radiale 2 étaient caractérisés par une très grande stabilité. Oligospécifiques, ils étaient dominés par des espèces tout à fait classiquement rencontrées à ces niveaux : *Haustorius arenarius*, *Nephtys cirrosa* et *Portunus latipes*. En 1998 et 1999, nous avons noté une forte augmentation de la richesse spécifique, de la densité et de la biomasse. En 2001, la situation était redevenue semblable à ce qu'elle était avant 1998.

Le cortège spécifique de la station K est dominé par *Nerine cirratulus* et *Bathyporeia sarsi*. La densité et la biomasse sont faibles.

Le cortège spécifique de la station L est dominé par *Nephtys cirrosa* (124 ind.m⁻²) et *Lanice conchilega* (88 ind.m⁻²). La présence de *Donax vittatus* (28 ind.m⁻²) est la cause d'une augmentation très forte de la biomasse qui atteint 12,9 g.m⁻² (Tabl. 7.4. & 7.5.). Cette espèce s'est donc maintenue sur l'estran tout comme elle l'a fait sur la totalité des côtes de la Manche orientale et de la mer du Nord. La présence de petits individus montre qu'un nouveau recrutement est intervenu, cette fois à partir des recrues de 1999.

Radiale 3

Cette radiale a été échantillonnée pour la première fois en 2000. Seuls les niveaux supérieurs sont étudiés afin de visualiser la continuité des effets respectifs de la dessalure de l'Aa et de l'impact thermique de la centrale. Les résultats enregistrés à la station M montrent que les gradients de répartition des populations des deux espèces principales des hauts niveaux sont maintenant identiques : croissant d'ouest en est pour *Corophium arenarium* et pour *Hydrobia ulvae*.

Les résultats enregistrés à la station N montrent que l'influence de l'Aa se fait sentir à une distance relativement éloignée du chenal sous la forme de récolte de *Hediste diversicolor* (Tabl. 7.6. & 7.7.).

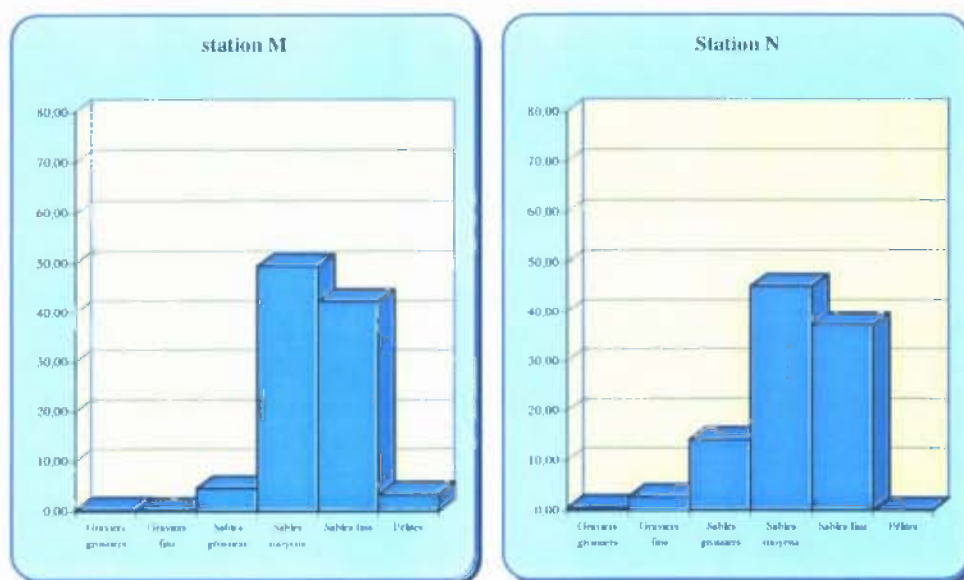


Fig. 7.3. Radiale 3, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux).

Radiale 3	Station M	Station N
Némertes		
Némertes spp		5
Annélides Oligochètes		
<i>Enchytraeidae</i> sp		14
Annélides Polychètes		
<i>Pygospio elegans</i>	31	10
<i>Scolelepis squamata</i>	2	3
<i>Hediste diversicolor</i>		2
<i>Nephtys cirrosa</i>		1
Mollusques		
<i>Hydrobia ulvae</i>	83	1
Crustacés		
<i>Eurydice affinis</i>		17
<i>Eurydice pulchra</i>		3
<i>Bathyporeia pilosa</i>		919
<i>Corophium arenarium</i>	198	29
TOTAL (ind.m⁻²)	1256	4016

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

Radiale 3	Station M	Station N
Némertes		
Némertes spp		7,0
Annélides Oligochètes		
<i>Enchytraeidae</i> sp		0,4
Annélides Polychètes		
<i>Pygospio elegans</i>	2,6	1,5
<i>Scolelepis squamata</i>	10,1	2,5
<i>Hediste diversicolor</i>		14,3
<i>Nephtys cirrosa</i>		9,7
Mollusques		
<i>Hydrobia ulvae</i>	81,6	0,4
Crustacés		
<i>Eurydice affinis</i>		7,5
<i>Eurydice pulchra</i>		0,8
<i>Bathyporeia pilosa</i>		299,2
<i>Corophium arenarium</i>	110,4	14,2
TOTAL (ind.m⁻²)	818,8	1430,0

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

7.4. CONCLUSION SUR L'EVOLUTION DE L'ESTRAN

7.4.1. Cas de la partie ouest

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

Densité moyenne	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
<i>Ophelia rathkei</i>	0	4	82	55	396	115	148	9	20	16
<i>Oligochètes</i>	0	20	1	45	6	4	0	9	1	20
<i>Hediste diversicolor</i>	0	3	1	11	2	17	14	29	18	29

En 2001, on note une légère augmentation des densités moyennes des espèces euryhalines. L'influence de l'Aa semble être à nouveau plus intense.

7.4.2. Cas des Spionidiens

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

Densité (ind.m ⁻²)		1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
<i>Spio martinensis</i>	E	92	12	836	8	348	0	76	8	0	0	40
	F	8	12	938	4	692	0	196	36	0	0	0
	M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36	0
	I	0	0	0	0	0	0	0	186	0	0	0
	J	0	0	0	0	0	0	60	4	0	0	24
<i>Pygospio elegans</i>	E	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0
	F	144	0	0	0	0	672	0	0	0	0	8
	M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	124
	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	40
	I	148	424	1404	32	772	64	1144	0	60	4	3440
	J	0	0	4	0	0	4	0	0	0	16	24

En 2001, les populations de spionidiens ont des répartitions diamétralement opposées et conformes à ce que l'on observait au début des années 1990. La seule différence par rapport à cette période réside simplement dans les densités respectives des deux espèces : très fortes pour *Pygospio elegans* et faibles pour *Spio martinensis*.

L'échantillonnage de la radiale 3 permet donc cette année encore de mettre en évidence les répartitions différentes des deux spionidiens et de préciser leurs gradients inverses. La population de *Pygospio elegans* est située plutôt à l'est de l'estran et en haut niveau tandis que la population de *Spio martinensis* se situe plutôt à l'ouest ou dans les niveaux inférieurs de la partie est.

7.4.3. Cas de la biomasse

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

g.m ⁻²	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1996	1997	1998	1999	2000	2001
E	4,62	2,99	7,25	8,7	9,87	8,68	11,82	8,79	19,34	2,36	0,05	0,11
F	13,37	0,48	1,37	20,63	3,42	25,94	31,16	52,64	39,59	48,47	24,91	23,61
G	0,61	0,12	0,48	0,61	0,77	0,44	0,47	0,27	0,40	1,76	0,28	0,23
H	0,12	2,97	0,11	0,29	0,77	0,29	0,31	0,48	0,68	0,83	6,56	0,56
I	0,38	3,02	3,94	1,47	1,68	1,49	2,34	1,72	4,29	2,23	7,19	5,83
J	0,15	0,35	0,35	0,48	0,75	0,48	0,48	0,49	0,35	0,40	0,50	0,76
K	0,77	0,02	0,47	1,63	0,55	1,03	1,06	0,29	0,69	0,52	1,28	0,95
L	0,9	20,52	0,59	0,3	2,49	1,84	1,91	0,28	0,32	1,34	0,64	12,91
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	0,82
N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31	1,43
Moy. estran	2,54	3,77	1,82	4,26	2,05	5,02	6,19	8,12	8,21	7,25	4,31	4,72

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 2001 reste proche de celle de 2000. Elle est de 5,62 g.m⁻² (5,17 g.m⁻² en 2000) si on la calcule sur les huit stations échantillonnées depuis le début des études et de 4,72 g.m⁻² (4,31 g.m⁻² en 2000) si l'on intègre les stations M et N. Elle est dans la norme des résultats enregistrés avant 1997. Les profondes altérations de la composition bionomiques ne semblent pas altérer la biomasse globale de l'estran. Sa productivité semble être constante. Néanmoins, cette productivité semble toujours être mal répartie sur l'estran qui présente une zone à fort potentiel productif au niveau de la station F et en général dans les niveaux supérieurs. Seule la présence de *Donax vittatus* vient remettre en cause ce schéma, il est d'ailleurs intéressant de remarquer que la population de ce bivalve semble s'être déplacée vers la partie est de l'estran. La diminution de la biomasse à la station H est largement compensée par une augmentation à la station L.

7.4.4. Conclusion générale

L'échantillonnage des deux stations supplémentaires (M et N de la radiale 3) permet de mettre en évidence de manière plus précise la répartition des populations benthiques principales en fonction des facteurs écologiques fondamentaux qui régissent l'organisation bionomique de la plage de Gravelines. Elles ont permis cette année de confirmer la répartition des populations de spionidiens et par la-même de visualiser l'impact thermique de la centrale. Néanmoins, il ne semble pas judicieux d'abandonner l'échantillonnage des bas niveaux de l'estran et de remplacer les quatre stations des niveaux inférieurs par deux stations intermédiaires, tout au moins tant que la population de *Donax vittatus* se maintient.

8. LE DOMAINE BENTHIQUE SUBTIDAL

Auteurs :
Jean-Marie DEWARUMEZ
Christophe LUCZAK

Collaborateur :
Dominique MENU

8.1. INTRODUCTION

Les études écologiques du benthos subtidal du site de Gravelines sont menées depuis 1973. Aux études descriptives des premières années ont succédé des études quantitatives du peuplement à *Abra alba* qui portent depuis 1976 sur la station C (peuplement impacté par le fonctionnement de la centrale) et la station B (peuplement non impacté). La comparaison de l'évolution des peuplements installés à ces deux stations permet de mettre en évidence l'impact de la centrale sur les communautés benthiques du champ proche du rejet. Le fonctionnement de la centrale y induit un lessivage des fines du fait du fort courant engendré par le rejet des eaux de refroidissement. Ce lessivage a entraîné la disparition des espèces vasicoles qui y étaient établies.

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

Le peuplement à *Abra alba* est particulièrement productif. La biomasse a déjà été proche de 700 g.m^{-2} (poids sec libre de cendres).

8.2. METHODOLOGIE

Deux stations, l'une impactée (station C) et l'autre non impactée (station B) sont échantillonnées à chaque saison. L'échantillonnage consiste en la prise de 10 prélèvements à la benne Van Veen ($0,1 \text{ m}^2$) correspondant à 1 m^2 de surface échantillonnée pour les études faunistiques. Un 11^{ème} échantillon est prélevé aux fins d'analyses granulométriques. Le sédiment est tamisé sur une maille de 1mm. La faune est déterminée aussi souvent que possible jusqu'au niveau spécifique.

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

Les quatre campagnes ont été effectuées les 11 janvier, 10 mai, 3 juillet et 13 octobre 2001.

8.3. RESULTATS – DISCUSSION

8.3.1. Analyses granulométriques

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

Station B

Une altération sédimentologique a été mise en évidence à la station B au printemps 1991. Le sédiment comportait une importante fraction d'éléments grossiers. Cette altération s'est progressivement résorbée par envasement et ensablement. En 1998, le sédiment était redevenu tout à fait normal, présentant des taux de pélites variant de 1,1 à 9,7 %. La teneur en sable grossier 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. On se retrouve en 2001 devant un schéma identique : teneurs en pélites de 5,6 à 14,5 % et cycle inversé (Tabl. 8.1. & Fig. 8.1.). Le sédiment reste dominé par les sables fins et moyens qui ne représentent jamais moins de 78 %, la part d'éléments fins (sables moyens + sables fins + pélites) représentent entre 87 et 98 % du sédiment.

Station C

Le sédiment de la station C reste dominé par les sables moyens (de 57 à 78,7 %) et par les sables fins (de 6,3 à 42,8 %) (Tabl. 8.1. & Fig. 8.2.). Ces deux classes représentent au minimum 85 % du poids du sédiment. Il faut noter une forte augmentation transitoire de la fraction grossière du sédiment (en majorité des sables grossiers) en hiver 2000-2001 : 14 %. Cette fraction diminue au mois de mai (4,1 %) pour disparaître presque complètement dès le mois d'octobre (0,1 %).

Le sédiment reste quasiment dépourvu de pélites (maximum : 0,02 %).

Station B	19/01/2001	10/05/2001	03/07/2001	13/10/2001
Graviers grossiers	0,12	0,04	0,35	0,11
Graviers fins	0,25	0,16	0,37	0,33
Sables grossiers	6,88	2,03	5,40	3,43
Sables moyens	18,56	24,92	26,64	22,63
Sables fins	59,68	65,65	61,64	61,00
Pélites	14,51	7,20	5,60	12,50

Station C	19/01/2001	10/05/2001	03/07/2001	13/10/2001
Graviers grossiers	0,00	0,00	0,01	0,00
Graviers fins	0,90	0,24	0,09	0,00
Sables grossiers	14,04	4,05	0,75	0,09
Sables moyens	78,73	72,24	76,49	57,03
Sables fins	6,30	23,45	22,65	42,83
Pélites	0,02	0,02	0,02	0,00

Tabl. 8.1. Caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux).

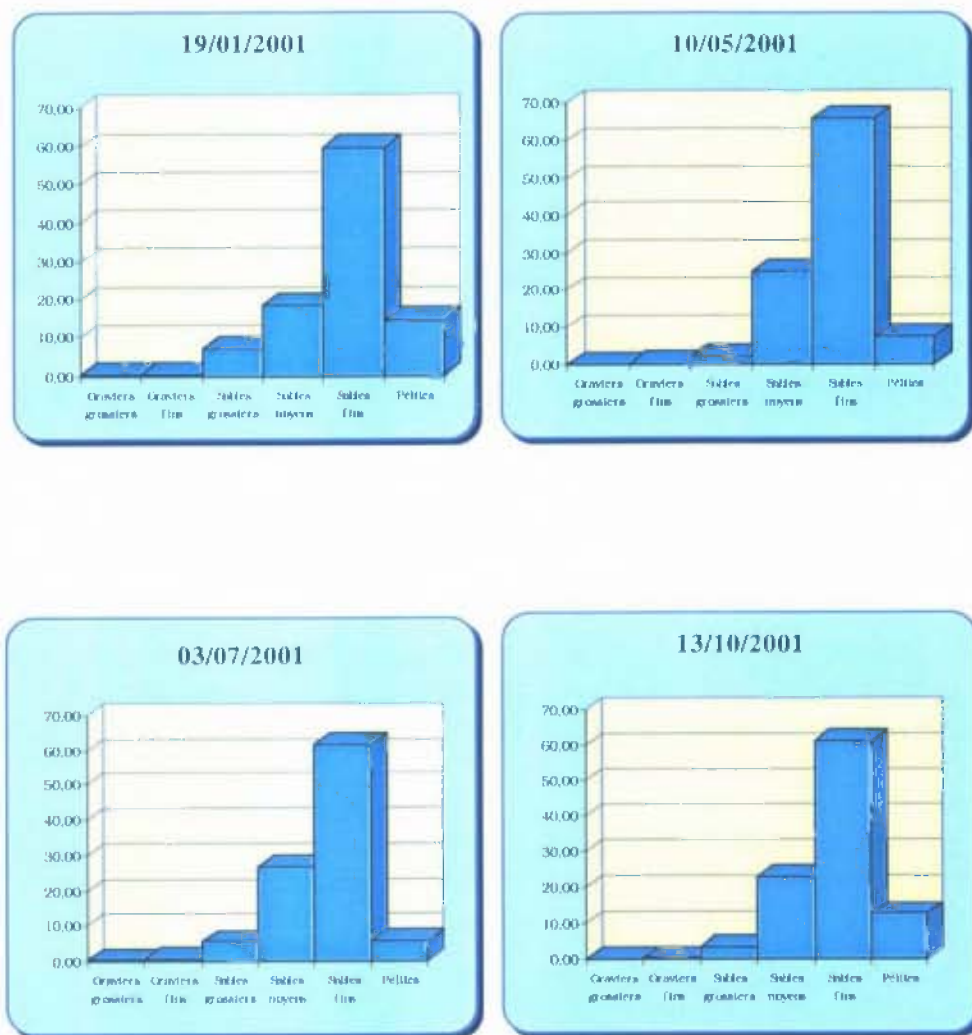


Fig. 8.1. Station B, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux).

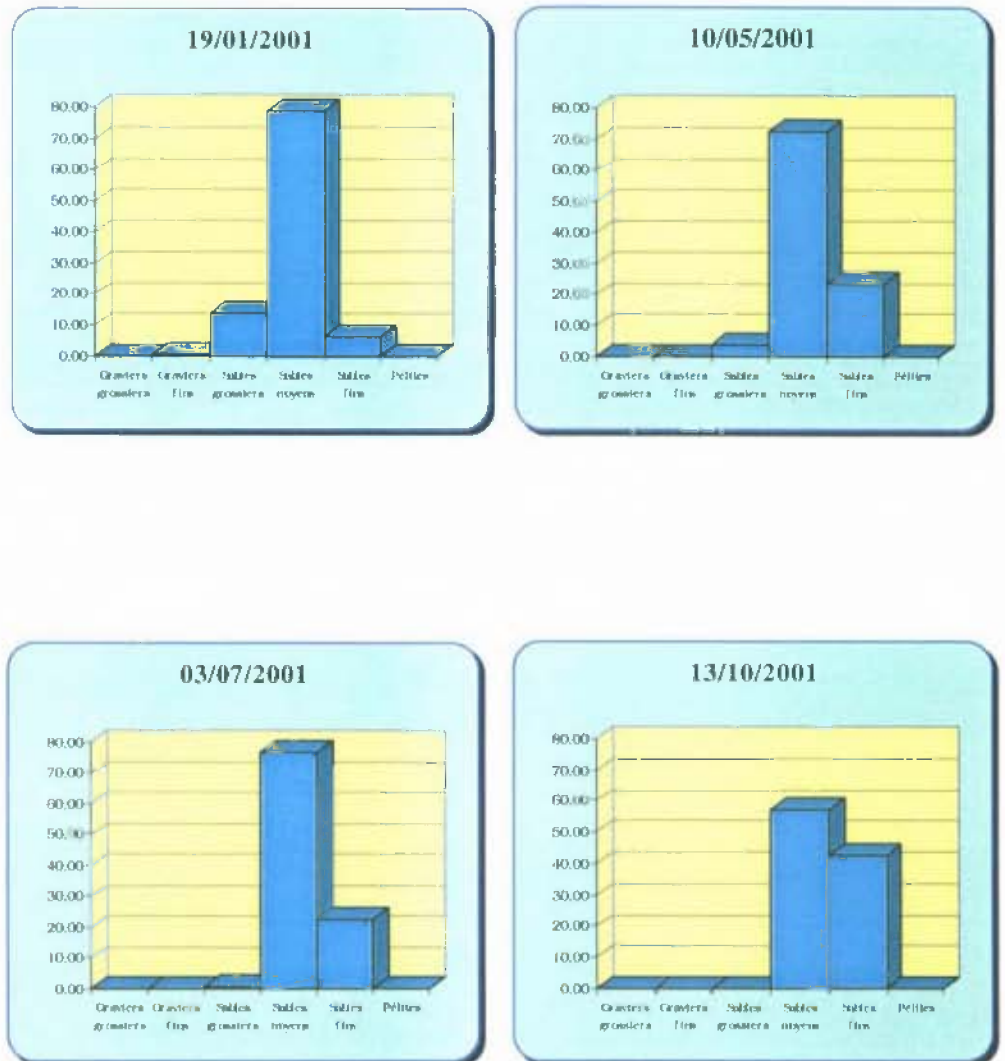


Fig. 8.2. Station C, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux).

8.3.2. Composition bionomique

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

L'analyse faunistique a permis de recenser, en 2001, 70 taxons différents sur les deux stations. 52 taxons ont été récoltés à la station B et 31 à la station C. Ils se répartissent comme suit :

- 1 Cnidaire
- 4 Némertes
- 1 Sipunculien
- 29 Annélides Polychètes
 - 16 sédentaires
 - 13 errantes
- 12 Mollusques
 - 3 Gastéropodes
 - 9 Bivalves
- 19 Crustacés
 - 1 Mysidacé
 - 2 Cumacés
 - 12 Amphipodes
 - 4 Décapodes
- 5 Echinodermes
 - 4 Ophiurides
 - 1 Echinide
- 1 Poisson

Ces 70 taxons représentent 13022 individus récoltés : 12492 à la station B et 530 à la station C.

La densité globale à la station C est beaucoup plus conforme en 2001 à la densité habituelle (460 en 1999 et 424 en 1998) ; elle était de 5820 individus en 2000, en raison du recrutement de *Lanice conchilega*. A cette station, l'espèce dominante reste *Nephtys cirrosa*.

A la station B, la densité globale diminue de manière significative : 12492 en 2001 contre 20946 en 2000. Les recrutements très importants de *Pectinaria koreni*, de *Notomastus latericeus*, de *Abra alba* et de *Phyllodoce mucosa* observés en 2000 ne se sont pas reproduits d'une manière aussi intense en 2001. Seul le recrutement de *Lanice conchilega* a été en 2001 à la hauteur de celui de 2000.

8.3.3. Résultats

Station B

Cette station est représentative du peuplement à *Abra alba*. Elle est située en dehors de l'impact courantologique de la centrale sur les peuplements benthiques. C'est à cette station qu'ont été mis en évidence les basculements bionomiques caractéristiques de ce peuplement. Ces basculements pour importants qu'ils soient ne remettent jamais en cause la structuration du peuplement, organisé autour d'une dizaine d'espèces.

Le recrutement pléthorique de *Ensis directus* en 1991 avait quelque peu modifié l'organisation du peuplement. Mais, depuis quelques années, on observe un lent retour à des conditions similaires à ce qu'elles étaient avant 1991. Le processus de retour à la normale a débuté en 1997; on peut estimer qu'en 1999, les densités étaient redevenues normales.

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

En janvier 2001, le peuplement est à l'étiage hivernal, la richesse spécifique est faible (27 espèces), la densité est du même ordre qu'en 1999 et plus forte qu'en 2000 (729 ind.m² en 1999, 340 ind.m² en 2000 et 613 ind.m² en 2001). Le peuplement est dominé par *Ophiura albida* (182 juvéniles.m²), *Pectinaria koreni* (101 ind.m²), *Spiophanes bombyx* (76 ind.m²), *Nassarius reticulatus* (42 ind.m²) et *Abra alba* (40 ind.m²) (Tableau 8.2.). On retrouve-là les espèces qui sont généralement les plus abondantes en hiver. La biomasse globale est proche de celle de 2000 et inférieure à celle de 1999, elle atteint 51,84 g.m² en 2001 contre 53,7 g.m² en 2000 et 62,2 g.m² en 1999. Cette biomasse est due principalement à trois espèces : *Pectinaria koreni* (26,8 g.m²), *Nassarius reticulatus* (14,5 g.m²) et *Venerupis pullastra* (7,4 g.m²). Ces trois espèces représentent 94% de la biomasse totale à cette station (Tabl. 8.3.).

En mai 2001, la richesse spécifique augmente (36 espèces), par contre la densité diminue (489 ind.m² soit -20 %) (Tabl. 8.2.). Ce phénomène inhabituel est dû sans aucun doute à un retard dans les phénomènes de recrutement. En fait le recrutement de *Lanice conchilega* ne sera observé que lors d'une campagne surnuméraire, non incluse dans ce rapport, effectuée au début du mois de juin. Le peuplement est dominé en mai par *Nassarius reticulatus* (82 ind.m²), *Abra alba* (75 ind.m²) et *Lanice conchilega* (75 ind.m²) dont on assiste aux prémices du recrutement. La biomasse progresse néanmoins (74,8

g.m^{-3}) principalement à cause de *Nassarius reticulatus* ($30,3 \text{ g.m}^{-2}$), *Abra alba* ($18,0 \text{ g.m}^{-2}$) et *Venerupis pullastra* ($14,1 \text{ g.m}^{-2}$) (Tabl. 8.3.).

Au mois de juillet, le recrutement des espèces principales a eu lieu. La richesse spécifique augmente fortement (44 espèces) et la densité augmente également (5889 ind.m^{-3}) (Tabl. 8.2.). Les espèces les plus importantes sont *Lanice conchilega* (4199 ind.m^{-2} soit 71,3 % des individus récoltés), *Spiophanes bombyx* (850 ind.m^{-2} , soit 14,4%), *Notomastus latericeus* (101 ind.m^{-2} , soit 1,7%), *Melita obtusata* (99 ind.m^{-2} , soit 1,7%), *Pectinaria koreni* (95 ind.m^{-2} , soit 1,6%), *Leucothoe incisa* (78 ind.m^{-2} , soit 1,3%), *Abra alba* (66 ind.m^{-2} , soit 1,1%) et *Nassarius reticulatus* (65 ind.m^{-2} , soit 1,1%). La présence de *Melita obtusata*, de *Leucothoe incisa*, de *Heteromastus filiformis* et de *Atylus swammerdami* montre bien que l'on est en présence du benthos d'été. La biomasse progresse de manière sensible et atteint $101,6 \text{ g.m}^{-2}$ (Tabl. 8.3.). Cette valeur reste inférieure à celle de 2000 (140 g.m^{-2}). Les espèces les plus contributives à l'élaboration de la biomasse sont : *Lanice conchilega* ($34,9 \text{ g.m}^{-2}$, soit 34,4% de la biomasse totale), *Nassarius reticulatus* ($17,1 \text{ g.m}^{-2}$, soit 16,8%), *Venerupis pullastra* ($14,6 \text{ g.m}^{-2}$, soit 14,4%), *Abra alba* ($7,9 \text{ g.m}^{-2}$, soit 7,8%) et *Ensis directus* ($4,4 \text{ g.m}^{-2}$, soit 4,3%) (Tableau 8.3.). La biomasse augmente fortement par rapport au mois de juillet. Elle atteint $295,6 \text{ g.m}^{-2}$. Bien sûr elle n'atteint la valeur de 2000 à la même période ($692,4 \text{ g.m}^{-2}$, la plus forte biomasse brute jamais enregistrée sur le site) mais cela reste une valeur très forte par rapport aux résultats précédents. Les espèces qui participent le plus à la biomasse sont : *Venerupis pullastra* ($51,2 \text{ g.m}^{-2}$, soit 17,3%), *Ensis directus* ($50,7 \text{ g.m}^{-2}$, soit 17,2%), *Nassarius reticulatus* ($45,0 \text{ g.m}^{-2}$, soit 15,2%), *Eunereis longissima* ($38,8 \text{ g.m}^{-2}$, soit 13,1%), *Pectinaria koreni* ($28,8 \text{ g.m}^{-2}$, soit 9,7%), *Abra alba* ($24,3 \text{ g.m}^{-2}$, soit 8,2%), *Lanice conchilega* ($20,7 \text{ g.m}^{-2}$, soit 7%), *Owenia fusiformis* ($17,8 \text{ g.m}^{-2}$, soit 6%) et *Polybius holsatus* ($8,2 \text{ g.m}^{-2}$, soit 2,8%) (Tabl. 8.3.).

L'ensemble des résultats obtenus à la station B reste cependant dans la norme de ce que l'on trouve habituellement.

		19/01/2001	10/05/2001	03/07/2001	13/10/2001	
Cnidaires	<i>Sagartia troglodytes</i>		5	2		
Nemertes	<i>Tabularius polymorphus</i>	8	6		8	
	<i>Cerebratulus sp.</i>	3	1	3	2	
Annélides Polychètes	<i>Scoloplos armiger</i>			13		
	<i>Spio martinensis</i>		1	9		
	<i>Spiophanes bombyx</i>	84	32	850		
	<i>Magelona mirabilis</i>	20	4	2		
	<i>Chaetozone setosa</i>	14	11	20	1	
	<i>Notomastus latericeus</i>	19	16	101	141	
	<i>Capitella capitata</i>		1			
	<i>Heteromastus filiformis</i>			12	1	
	<i>Arenicola marina</i>	1		8	1	
	<i>Phyllodoce mucosa</i>	37	3	8	63	
	<i>Phyllodoce groenlandica</i>		4			
	<i>Eumida sanguinea</i>			11		
	<i>Eteone longa</i>	2	2	3	1	
	<i>Mysta picta</i>		1			
	<i>Harmothoe glabra</i>		7			
	<i>Stenelais boa</i>	1	4	5	48	
	<i>Pholoe minuta</i>	18	5	17		
	<i>Kefersteimia cirrata</i>			1		
	<i>Eunereis longissima</i>	3	2	1	57	
	<i>Glycera alba</i>	16	30	13	16	
	<i>Owenia fusiformis</i>	8	28	49	51	
	<i>Pectunaria koreni</i>	112	4	95	81	
	<i>Lanice conchilega</i>	1	75	4199	3812	
		<i>Flabelligera affinis</i>	2			
Mollusques	<i>Crepidula fornicata</i>				1	
	<i>Lunatia alderi</i>		3	1		
	<i>Nassarius reticulatus</i>	47	82	65	81	
	<i>Montacuta ferruginosa</i>			1		
	<i>Mysella bidentata</i>		2	3	3	
	<i>Venerupis pullastra</i>	67	12	8	69	
	<i>Spisula subtruncata</i>		3	4	4	
	<i>Macoma balthica</i>		2	9	8	
	<i>Tellina fabula</i>	10	13	10	27	
	<i>Abra alba</i>	44	75	66	762	
	<i>Ensis directus</i>	6	5	13	41	
		<i>Mytilus edulis</i>				1
	Crustacés	<i>Leucothoe incisa</i>		2	78	
<i>Melita obusata</i>				99	1	
<i>Urothoe poseidonis</i>		3	2	2		
<i>Atylus falcatus</i>		1		2		
<i>Atylus swammerdami</i>		10	2	18		
<i>Erichthonius brasiliensis</i>				1		
<i>Diastylis bradyi</i>		1	14	1		
<i>Crangon crangon</i>				21		
<i>Polydora holsatus</i>				43	2	
		<i>Acrocnida brachiata</i>		2	1	3
Echinodermes	<i>Ophiura ophiura</i>				1	
	<i>Ophiura albida</i>	202	28	17	89	
	<i>Echinocardium cordatum</i>			1		
	TOTAL	740	489	5886	5377	

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

		19/01/2001	10/05/2001	03/07/2001	13/10/2001
Cnidaires	<i>Sagartia troglodytes</i>		4,19	3,48	
Némertes	<i>Cerebratulus sp.</i>	0,11			
Annélides Polychètes	<i>Spiophanes bombyx</i>	0,02		0,07	
	<i>Notomastus latericeus</i>	0,21	0,21	1,9	2,59
	<i>Arenicola marina</i>			0,25	0,12
	<i>Phyllodoce mucosa</i>	0,06			
	<i>Sthenelais boa</i>			0,09	1,75
	<i>Eunereis longissima</i>	0,06			38,82
	<i>Glycera alba</i>	0,20	0,21	0,12	0,27
	<i>Nephtys lombergii</i>	0,84	0,27	0,43	0,63
	<i>Owenia fusiformis</i>	0,09	3,62	5,7	17,78
	<i>Pectinaria koreni</i>	26,84	0,13	0,6	28,76
	<i>Lanice conchilega</i>	0,04		34,91	20,71
	<i>Flabelligera affinis</i>	0,04			
Mollusques	<i>Crepidula fornicata</i>				0,07
	<i>Lunatia alderi</i>		0,08		
	<i>Nassarius reticulatus</i>	14,52	30,25	17,05	44,96
	<i>Venerupis pullastra</i>	7,43	14,13	14,58	51,19
	<i>Spisula subtruncata</i>		1,14	0,28	0,98
	<i>Mya arenaria</i>				0,12
	<i>Mytilus edulis</i>				0,02
	<i>Macoma balthica</i>		0,68	0,36	0,55
	<i>Tellina fabula</i>	0,13	0,33	0,06	0,23
	<i>Abra alba</i>	0,58	17,98	7,89	24,31
	<i>Ensis directus "entiers"</i>		0,02		2,37
	<i>Ensis directus "cassés"</i>	0,20	0,91	4,43	48,39
Crustacés	<i>Crangon crangon</i>			0,02	
	<i>Polydora holsatus</i>			0,28	8,21
	<i>Ophiura ophiura</i>				0,094
	<i>Ophiura albida</i>	0,30	0,26	0,12	2,55
	<i>Echinocardium cordatum</i>			8,85	
Divers	divers	0,17	0,38	0,11	0,17
	TOTAL	51,84	74,79	101,58	295,644

Tabl. 8.3. Station B, biomasse en g.m².

Station C

La station C permet de visualiser l'impact de la centrale sur le peuplement à *Abra alba* dans le champ proche du rejet. Le lessivage des fines du sédiment par les eaux rejetées par la centrale, parfaitement matérialisé par les analyses granulométriques, provoque la disparition des espèces vasicoles. Cependant certains recrutements observés à la station B peuvent être observés, en résonance, de manière atténuée à la station 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 2001 à la station C confirment à la fois l'impact de la centrale sur les peuplements benthiques du champ proche de la centrale mais aussi la stabilité de cet impact au cours du temps. Le maintien du peuplement en place confirme la constance de la perturbation. *Nephtys cirrosa* demeure l'espèce la plus importante du peuplement établi à cette station. Elle représente 64 % des individus récoltés et 71% de la biomasse à cette station en 2001.

La campagne de janvier 2001 met en évidence les caractéristiques du peuplement à l'étiage : la densité est la plus faible (108 ind.m⁻²), la richesse spécifique est également faible : 9 espèces. Le peuplement est dominé par *Nephtys cirrosa* (54 ind.m⁻²) (Tabl. 8.4.). Les autres espèces importantes sont *Scolelepis squamata* (31 ind.m⁻²), *Phyllodoce mucosa* (12 ind.m⁻²) et *Gastrosaccus spinifer* (5 ind.m⁻²). La biomasse est faible : 0,66 g.m⁻² (Tabl. 8.5.).

En mai 2001, le peuplement se diversifie, la richesse spécifique augmente (20 espèces) tout comme la densité : 142 ind.m⁻² (Tabl. 8.4.). On ne note pas cette année de résonance du recrutement de *Lanice conchilega*. Le peuplement est dominé par deux espèces : *Nephtys cirrosa* (90 ind.m⁻²) et *Portunus latipes* (20 ind.m⁻²). L'augmentation de la richesse spécifique et de la densité globale n'entraînent pas une augmentation de la biomasse, celle-ci est même inférieure à la biomasse hivernale : 0,62 g.m⁻² (Tabl. 8.5.). Les espèces les plus contributives à l'élaboration de la biomasse sont *Nephtys cirrosa* (0,25 g.m⁻²) et *Portunus latipes* (0,32 g.m⁻²). La biomasse de *Nephtys cirrosa* semble faible mais la grande majorité des individus récoltés sont, en fait, des juvéniles de taille moyenne de 2 cm.

En juillet 2001, la richesse spécifique diminue légèrement (17 espèces) tandis que la densité augmente (161 ind.m⁻²) (Tabl. 8.4.). L'absence du recrutement de *Lanice conchilega* se confirme (2 ind.m⁻²). L'espèce dominante est *Nephtys cirrosa* (88 ind.m⁻²). Comme en 2000, les autres espèces importantes sont *Spiophanes bombyx* (27 ind.m⁻²) et *Spio martinensis* (24 ind.m⁻²). Ces deux espèces auront comme en 2000 disparu à l'automne. La biomasse est inférieure à celle de mai (0,05g.m⁻²) (Tabl. 8.5.). Les autres espèces contributives à l'élaboration de la biomasse sont *Portunus latipes* (0,20g.m⁻²), *Lanice conchilega* (0,07g.m⁻²) et *Hyperoplus lanceolatus* (0,36 g.m⁻²).

La campagne d'octobre 2001 met en évidence une forte augmentation de la biomasse en même temps qu'une diminution de la densité et de la richesse

spécifique. En fait, il s'agit du retour vers le peuplement hivernal. Cette augmentation de la biomasse est surtout due à *Nephtys cirrosa*, les individus récoltés proviennent du recrutement printanier mais sont de plus grande taille. Les espèces les plus importantes sont *Nephtys cirrosa* : 92 % des individus (110 ind.m²) et *Portumnus latipes* : 3% (4 ind.m²) (Tabl. 8.4.). Trois espèces représentent la quasi-totalité de la biomasse, 89 % pour *Nephtys cirrosa* (1,33 g.m²), 6% pour *Portumnus latipes* (0,09 g.m²) et 5% pour *Crangon crangon* (0,07 g.m²) (Tabl. 8.5.).

Le déficit en densité de peuplement et en biomasse à la station C par rapport à la station témoin B reste considérable. L'impact de la centrale sur les peuplements benthiques reste donc très fort dans le champ proche de la centrale. Il provoque un déficit de 96% de la densité (densité moyenne de 132 ind.m² à la station C contre 3123 ind.m² à la station B) et de 99,4% de la biomasse (0,84g.m² à la station C contre 130,96 g.m² à la station B).

		19/01/2001	10/05/2001	03/07/2001	13/10/2001	
Némertes	<i>Tetrastemma helvolum</i>		1			
	<i>Micrura</i> sp				1	
Sipunculiens	<i>Golfingia minuta</i>		1			
Annélides	<i>Scolelepis squamata</i>	31	1			
Polychètes	<i>Spio martinensis</i>		3	24	1	
	<i>Spiophanes bombyx</i>		1	27		
	<i>Micromaldane ornithochaeta</i>	1	1			
	<i>Capitella capitata</i>		3			
	<i>Arenicola marina</i>			1		
	<i>Ophelia borealis</i>			1		
	<i>Eteone longa</i>		2	3		
	<i>Phyllodoce mucosa</i>	12	2	1		
	<i>Nephtys cirrosa</i>	54	90	88	110	
	<i>Lumbrineris fragilis</i>		1			
	<i>Lanice conchilega</i>		1	2		
	Crustacés	<i>Eurydice pulchra</i>			1	
		<i>Urothoe elegans</i>			2	
		<i>Bathyporeia elegans</i>		2		1
<i>Bathyporeia pelagica</i>			1			
<i>Pontocrates altamarinus</i>			4			
<i>Corophium sextonae</i>			1	2		
<i>Microprotopus maculatus</i>			1			
<i>Gastrosaccus spinifer</i>		5	4			
<i>Diastylis bradyi</i>				1		
<i>Pseudocuma longicornis</i>		1		1		
<i>Crangon crangon</i>				2	1	
<i>Pisidia longicornis</i>		1				
<i>Portunus latipes</i>		2	20	3	4	
Echinodermes	<i>Ophiura albida</i>	1		1	1	
	<i>Ophiothrix fragilis</i>		2			
Poissons	<i>Hyperoplus lanceolatus</i>			1		
	Total	108	142	161	119	

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

		19/01/2001	10/05/2001	03/07/2001	13/10/2001	
Némertes	<i>Tetrastemma helvolum</i>		0,3			
	<i>Micrura</i> sp				0,1	
Sipunculiens	<i>Golfingia minuta</i>		0,1			
Annélides	<i>Scoletepis squamata</i>	24,8	0,3			
Polychètes	<i>Spio martinensis</i>		0,5	1,1	0,1	
	<i>Spiophanes bombyx</i>		0,4	1,8		
	<i>Micromaldane ornithochaeta</i>	0,3	0,2			
	<i>Capitella capitata</i>		0,4			
	<i>Arenicola marina</i>			19,2		
	<i>Ophelia borealis</i>			1,9		
	<i>Eteone longa</i>		0,2	0,4		
	<i>Phyllodoce mucosa</i>	8,3	0,7	0,5		
	<i>Nephtys cirrosa</i>	563,7	250,0	235,7	1330,2	
	<i>Lumbrineris fragilis</i>		12,6			
	<i>Lanice conchilega</i>		16,7	71,3		
	Crustacés	<i>Eurydice pulchra</i>			0,8	
		<i>Urothoe elegans</i>			0,8	
<i>Bathyporeia elegans</i>			0,5		0,2	
<i>Bathyporeia pelagica</i>			0,3			
<i>Pontocrates altamarinus</i>			4,0			
<i>Corophium sextonae</i>			0,4	0,3		
<i>Microprotopus maculatus</i>			0,3			
<i>Gastrosaccus spinifer</i>		7,1	3,1			
<i>Diastylis bradyi</i>				0,2		
<i>Pseudocuma longicornis</i>		0,2		0,2		
<i>Crangon crangon</i>				2,1	74,2	
<i>Pisidia longicornis</i>		0,8				
<i>Portunus latipes</i>		52,9	314,9	195,5	90,9	
Echinodermes	<i>Ophiura albida</i>	0,3		0,3	0,6	
	<i>Ophiothix fragilis</i>		12,5			
Poissons	<i>Hyperoplus lanceolatus</i>			51,4		
	Total	658,4	618,4	583,5	1496,3	

Tabl. 8.5. Station C, biomasse en mg. m⁻³.

8.4. ETUDE DES POPULATIONS DE *ABRA ALBA* ET DE *TELLINA FABULA*

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

La population de *Abra alba* est connue pour ses fluctuations brutales, liées 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 calqué sur celui de la température donc sans doute, en fait, sur les N.A.O. (North Atlantic Oscillations). Cette espèce a présenté en 1998 et 1999 de bons recrutements (1249 ind.m² et 1068 ind.m²) alors que depuis 1991 seuls deux recrutements importants avaient été mis en évidence sans maintien de la population. En 2000, la population s'est maintenue à un niveau de densité de 700 à 800 ind.m².

En 2001, on assiste à une forte régression de la population et ce, jusqu'à l'automne, période à laquelle la densité grâce aux nouvelles recrues atteint 762 ind.m² (Fig. 8.3.). Néanmoins, on n'atteint pas les résultats enregistrés auparavant, notamment dans les années 1982, 1989 et 1996.

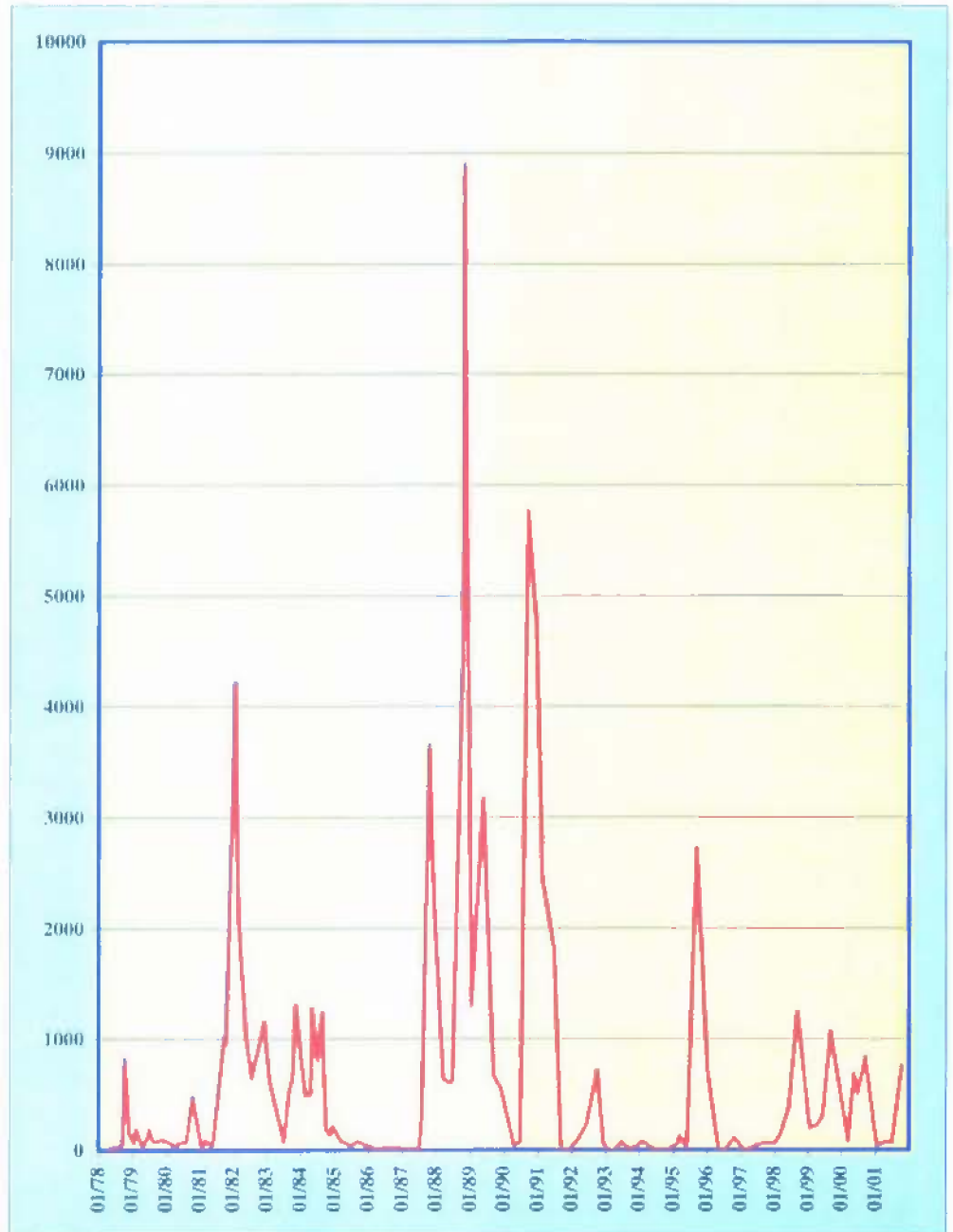


Fig. 8.3. *Abra alba*, évolution de la densité (par m³) de la population entre 1978 et 2001.

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

Cette espèce n'est pas une espèce pionnière et sa densité habituelle n'atteint jamais celle de *Abra alba*. La densité de cette espèce était restée à un niveau très faible en 1997 et avait bénéficié en 1998 et 1999 de recrutements un peu meilleurs (66 ind.m² en 1998 et 83 ind.m² en 1999). Le recrutement ne s'était pas maintenu par la suite au cours des deux années. En 2000, la population reste à un niveau faible toute l'année : inférieure à 50 ind.m².

En 2001, les densités sont encore inférieures à celles de 2000 (Fig. 8.4.), la population est constituée de très petits individus (cf. la biomasse). La cohorte des individus de l'année dominait aussi en 2000. 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.

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

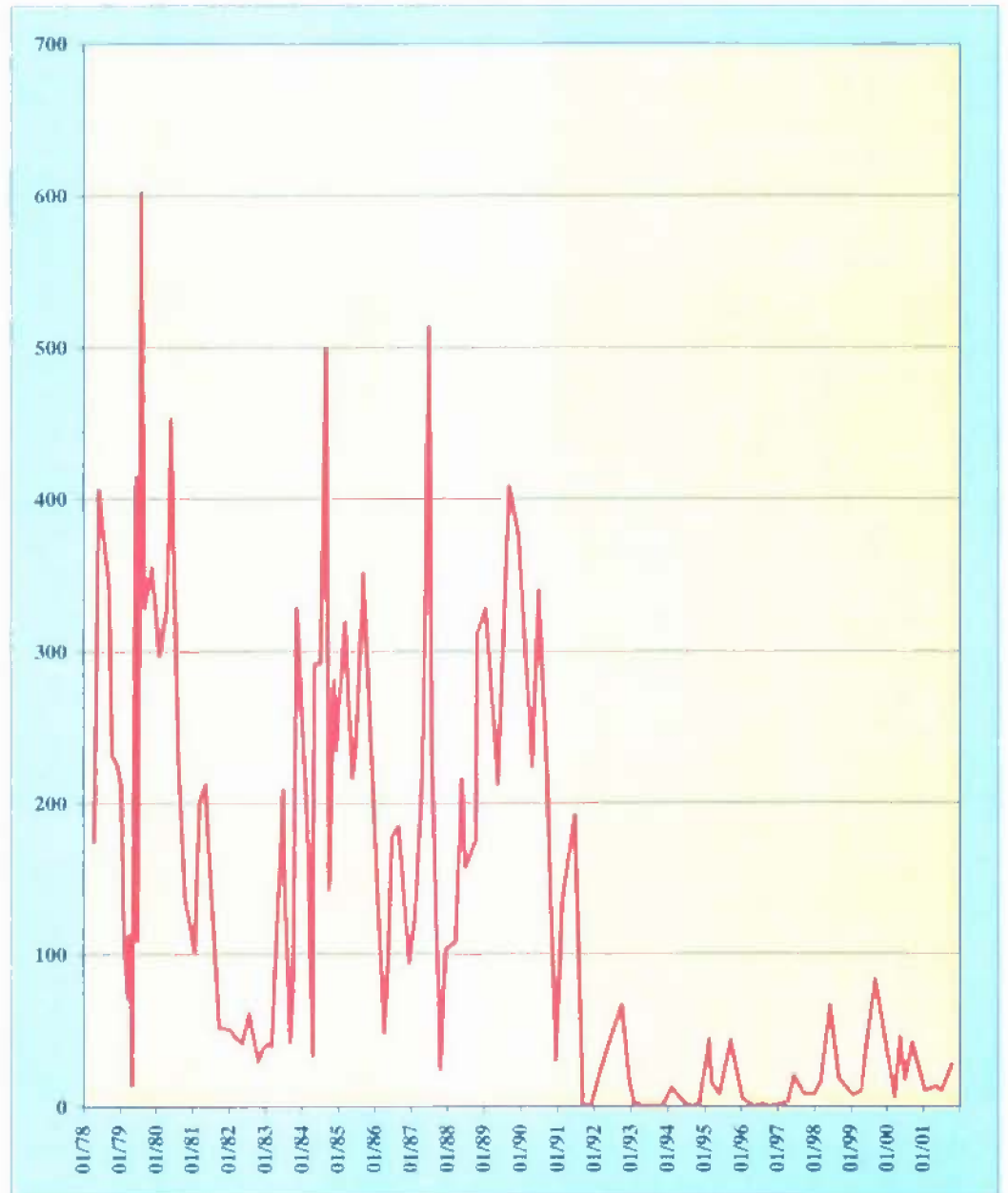


Fig. 8.4. *Tellina fabula*, évolution de la densité de la population (par m²) entre 1978 et 2001.

8.5. ELEMENTS DE CONCLUSION

La station B a été le siège de plusieurs recrutements simultanés : *Lanice conchilega*, *Notomastus latericeus* et *Spiophanes bombyx*. Ces recrutements ont été plus tardifs que lors des études précédentes et seul les recrutements de *Lanice conchilega* et de *Notomastus latericeus* se sont maintenus à l'automne. Le recrutement de *Abra alba* n'a été perçu qu'en octobre. Du fait de ces recrutements et de la présence de certaines espèces à forte biomasse individuelle comme *Venerupis pullastra* et *Ensis directus*, la biomasse est restée à un niveau élevé sans pour cela atteindre la valeur de septembre 2000 (692 g.m⁻²).

On n'a pas assisté cette année, à la station C, à un phénomène de résonance du recrutement de la station B. Les peuplements qui y sont établis sont toujours du type sabulicole et le déficit en densité et biomasse est toujours considérable. Cependant il faut rappeler que le peuplement installé à la station 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.

Après une forte chute de la densité, la population de *Abra alba* semble se réimplanter à l'automne tandis que la population de *Tellina fabula* reste à un niveau faible de densité toute l'année, inférieur même à ce qu'il était en 2000. La population de *Tellina fabula* ne réussit pas à se réinstaller sur le site malgré l'arrivée régulière de jeunes recrues, il est vrai en densité faible à chaque recrutement.

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXE

SITE DE GRAVELINES

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

ET

RAPPORTS ANNUELS IFREMER 1986 - 2000

Rapports 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, 1ère partie : zooplanctonologie halieutique. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, édit., Nantes pour EDF. 1981.
- 1982. Site de Gravelines. Etude de surveillance écologique des ressources halieutiques année 1980. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, édit., Nantes pour EDF. 1981.
- 1982. Site de Gravelines. Etude de surveillance écologique des ressources halieutiques, année 1981. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, édit., Nantes pour EDF. 1982.
- 1983. Site de Gravelines. Etude de surveillance écologique des ressources halieutiques, année 1982. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, édit., Nantes pour EDF. 1983.
- 1984. Site de Gravelines. Etude de surveillance écologique des ressources halieutiques, année 1983. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, édit., Nantes pour EDF. 1984.
- 1985. Site de Gravelines. Etude de surveillance écologique des ressources halieutiques, année 1984. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, édit., Nantes pour EDF. 1985.

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

- 1986. Site de Gravelines. Etude de surveillance écologique et halieutique (novembre 1984 - octobre 1985) IFREMER / Brest / Nantes / Ouistreham / Station marine de Wimereux / Institut Pasteur de Lille. DERO 86.09.EL pour EDF. 1986. (2 volumes).
- 1987. Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1985 - octobre 1986) IFREMER / Brest / Nantes / Ouistreham / Station marine de Wimereux / Institut Pasteur de Lille. DERO 87.06.EL pour EDF. 1987. 157 p.
- 1988. Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1986 - octobre 1987) IFREMER / Brest / Nantes / Ouistreham / Station marine de Wimereux / Institut Pasteur de Gravelines. DERO 88.17.EL pour EDF. 1988. 156 p.
- 1989. Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1987 - octobre 1988) IFREMER / Station marine de Wimereux / Institut Pasteur de Gravelines. DERO 89.08.EL pour EDF. 1989. 153 p.
- 1990. Site de Gravelines. Surveillance écologique et halieutique (novembre 1988 - octobre 1989) IFREMER DRO 90.12.EL pour EDF. 1990. 120 p.

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

Nota :

Un rapport préliminaire paraissait chaque année en janvier et le rapport annuel paraissait en avril. Ce rapport préliminaire n'existera plus à partir de 2002.

Citations des auteurs : le grand nombre d'auteurs impliqués dans la rédaction des rapports cités ci-dessus ne nous a pas permis de lister l'ensemble. Il est admis que :

1^{er} cas : si un auteur est cité dans une bibliographie et texte de publication, il doit l'être de la manière suivante .

Exemple d'un texte de benthos subtidal cité

J.M. DEWARUMEZ et D. MENU 1990 Benthos Subtidal (ch. VIII p 97-120)

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

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

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

