

Laboratoire Environnement côtier & Ressources aquacoles (LER)

Coordonnateur : Elvire Antajan

Auteurs : Elvire Antajan, Régis Delesmont, Jean-Marie Dewarumez,
Alain Lefebvre, Christophe Luczak, Caroline Warembourg

Avril 2009 – RST.DOP.LERBL/09.01

ifremer

Surveillance Écologique et Halieutique Site de Gravelines

Novembre 2007 - Octobre 2008



Copépode commun du zooplancton de Gravelines – *Centropages hamatus*
(Photo : E. Antajan)

FICHE DOCUMENTAIRE

Numéro d'identification du rapport : RST.DOP.LERBL/09.01	date de publication Avril 2008
Diffusion : libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte <input type="checkbox"/> interdite <input type="checkbox"/>	nombre de pages 131
Validé par : Groupe de lecture Ifremer - EDF	bibliographie (Oui / Non)
Version du document : Définitive	illustration(s) (Oui / Non)
Titre et sous-titre du rapport : Surveillance écologique et halieutique du site de production électronucléaire de Gravelines Novembre 2007 – Octobre 2008	langue du rapport Français
Titre traduit : Ecological and fisheries monitoring of the Gravelines nuclear power plant November 2007 – October 2008	
Auteur(s) principal(aux) : ANTAJAN Elvire DELESMONT Régis DEWARUMEZ Jean Marie LEFEBVRE Alain LUCZAK Christophe WAREMBOURG Caroline	Organisme / Direction / Service, laboratoire Ifremer / DOP / LER, Boulogne Institut Pasteur / Gravelines Université de Lille / Station Marine de Wimereux Ifremer / DOP / LER, Boulogne Station Marine de Wimereux Ifremer / DOP, DCMMN / HMMN, RH Boulogne
Collaborateur(s) : BLONDEL Camille CABOCHE Josselin DELESMONT Edith DUQUESNE Vincent HEBERT Pascale LE ROY Didier LOOTS Christophe LOUIS Wilfried MENU Dominique PHILIPPON Xavier VERIN Françoise	Organisme / Direction / Service, laboratoire Ifremer / DOP / LER, Boulogne Ifremer / DOP / LER, Boulogne Institut Pasteur / Gravelines Ifremer / DOP / LER, Boulogne Ifremer / DOP / LER, Boulogne Ifremer / DOP, DCMMN / HMMN, RH Boulogne Ifremer / DOP, DCMMN / HMMN, RH Boulogne Ifremer / DOP, DCMMN / HMMN, RH Boulogne Université de Lille / Station Marine de Wimereux Ifremer / DOP / DCB / DYNECO, Pelagos Ifremer / DOP / LER, Boulogne
Titre du contrat de recherche : Surveillance écologique et halieutique du site de production électronucléaire de Gravelines	Marchés : EDF : 5100-CPC-4200137165 Ifremer : 07/1216485/MF
Organisme commanditaire : Electricité de France (E.D.F.) – Production transport – CNPE Gravelines BP 149 - 59820 Gravelines	
Organisme(s) réalisateur(s) : Institut Français de Recherche pour l'exploitation durable de la mer (Ifremer) Boulogne – 150, quai Gambetta BP 699 – 62321 Boulogne sur mer Ifremer Centre de Brest – BP 70 – 29280 Plouzané Ifremer Centre de Nantes – BP 21105 – 44311 Nantes cedex 03 Institut Pasteur de Gravelines – Route du Grand Colombier – 59820 Gravelines Station Marine de Wimereux – 28, avenue Foch BP 80 – 62930 Wimereux	
Responsable scientifique : ANTAJAN Elvire Ifremer/LER/BL	
Cadre de la recherche : Surveillance des centrales nucléaires littorales et estuariennes	
Programme : Surveillance et évaluation de la qualité du milieu marin	Convention :
Projet : Impacts des Grands Aménagements IGA	Autres (préciser) :
Campagne océanographique : (nom de campagne, année, nom du navire)	

Résumé

Ce travail constitue le 31^e rapport de surveillance du site électronucléaire de Gravelines dont la grande puissance 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).

Voir les principaux résultats dans la section suivante

Abstract

This is the 31th annual surveillance report concerning the nuclear power plant of Gravelines. Its very high power level 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.

See review of the main results in the next section

Mots-clés :

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

Keywords :

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

RÉSUMÉ

Période de surveillance Novembre 2007 – Octobre 2008

Généralités

La stratégie reste inchangée pour l'ensemble des compartiments étudiés. Les campagnes pélagiques ont eu lieu le 29 mai et le 29 septembre 2008.

Chloration

La chloration de l'eau du système a été détectée pendant 10 mois. Les composés chimiques formés étaient essentiellement bromés et le plus abondant était le bromoforme (97,8 % du total des produits dérivés) avec une concentration moyenne de 19,6 µg/L, conforme à ce qui était mesuré lors des périodes de surveillance précédentes. Le 2-4-6 bromo-phénol a été détecté régulièrement en saison de chloration (maximum 2,6 µg/L). Les possibilités de sélection et de fixation sur le site d'espèces bactériennes ont été 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 était de 3,5 % (4,7 % en 2006-2007).

Bactériologie

Le passage de l'eau de mer dans l'ensemble du système constitué par la centrale et les installations aquacoles a entraîné une multiplication importante du nombre de vibrions (d'un facteur 120 en moyenne géométrique annuelle, contre 96 à 103 lors de deux périodes de surveillance précédentes). La concentration était de 129 vibrions/L au *canal d'amenée* et de 15 480 vibrions/L au *canal de rejet*. Cette concentration au *canal de rejet* était la deuxième valeur la plus importante enregistrée depuis le début des études de surveillance (précédente valeur importante : 17 460 vibrions/L en 2006-2007). L'amplitude du cycle d'abondance des vibrions était stable dans le *rejet*.

Vibrio alginolyticus reste l'espèce dominante observée sur le site avec 65 % d'isolement au niveau du *canal de rejet*. L'augmentation de la diversité des espèces présentes depuis le développement des activités aquacoles a été confirmée cette année. Les espèces accompagnatrices de *V. alginolyticus*, par ordre d'isolement décroissant, étaient : *V. vulnificus* (13,9 %), *V. fluvialis* (8,3 %), *V. parahaemolyticus* (5,9 %), *V. spp* (4,6 %, regroupant les vibrions non identifiés ou mal discriminés entre *V. Cholerae* et *V. fluvialis*) et *V. damsela* (1,8 %).

Une modification dans l'interprétation des profils biochimiques utilisés pour affecter des noms d'espèces aux vibrions isolés est intervenue en raison de la parution en 2006 d'un nouveau catalogue analytique API 20 E. L'utilisation de ce nouveau catalogue a principalement des incidences pour l'espèce *Vibrio cholerae*. De nombreux germes auparavant classés *V. cholerae* sont maintenant considérés comme mal discriminés entre *V. cholerae* et d'autres espèces (ce qui a pour conséquence de diminuer le nombre de *Vibrio cholerae* isolés sur le site).

Les deux sérotypes de *V. cholerae* Nag présentant un risque sanitaire n'ont jamais été mis en évidence sur le site.

Phytoplancton & Zooplancton

La biomasse phytoplanctonique du site était caractérisée par la concentration en chlorophylle *a*. Celle-ci a évolué entre 0,05 et 45,57 mg/m³ entre 1978 et 2008, toutes saisons confondues. Lors du cycle de surveillance 2007-2008, la concentration maximale était de 39,65 mg/m³ le 14 avril 2008.

La prymnésiofycée *Phaeocystis globosa* a été observée de début mars à la fin du mois de mai. L'abondance maximale observée le 22 avril avec 40 020 250 cellules par litre était la plus importante enregistrée sur la période de 2005 à 2007. En dehors des périodes de proliférations de *P. globosa*, les échantillons étaient dominés, par ordre décroissant de la fraction qu'ils représentaient par, les diatomées, les dinoflagellés, les cryptophycées, les dictyochophycées, les prasinophycées et les chlorophycées.

Aucun épisode toxique défini par la présence des genres *Alexandrium*, *Dinophysis* et *Pseudo-nitzschia* n'a eu lieu.

Au mois de mai une prolifération exceptionnelle du dinoflagellé hétérotrophe, *Noctiluca scintillans* (méroplanctonique), représentait 97 % du zooplancton global (43 731 ind. m⁻³). Cela a conduit à l'observation d'un phénomène d'eau rouge dans le port ouest de Dunkerque et autour de la centrale de Gravelines, qui était cependant moins spectaculaire qu'en 2004 (plus de 100 000 ind. m⁻³).

Les copépodes qui constituaient le taxon dominant de l'holoplancton présentaient une succession saisonnière classique des espèces pour la région. L'abondance des stades larvaires (copépodites) au début du printemps semble indiquer que les adultes ont su mettre à profit la poussée phytoplanktonique printanière des diatomées, alors que par la suite la prolifération de *Phaeocystis globosa* puis des noctiluques a été plutôt néfaste aux copépodites.

Zooplancton halieutique

La précocité de la période de ponte de la sole et du sprat (marsavril) et l'occurrence des effectifs maximums de larves en mai étaient confirmées en 2008.

Les abondances 2008 d'œufs de sole correspondaient à la moyenne des effectifs généralement observés sur le site. Les abondances des larves de sole étaient par contre assez faibles.

Pour le sprat, la reproduction était plus précoce et avait une durée plus longue qu'en 2007 puisque les deux plus fortes abondances étaient observées aux mois de mars et de mai. Comme pour la sole, les abondances de larves de sprat étaient assez faibles.

Les abondances de larves de crevette grise étaient, comme en 2007, assez faibles depuis la reprise des comptages en 2001 et par rapport à l'ensemble des valeurs obtenues avant 1990.

Benthos intertidal

On n'a pas noté, en 2008, d'évolution de la morphologie de l'estran. Les résultats des analyses granulométriques n'ont pas fait apparaître d'évolution majeure des sédiments intertidaux.

Le principal résultat de l'année 2008 a concerné une augmentation non négligeable de la richesse spécifique (28 espèces contre 23 en 2007 et 24 en 2006). Par contre, la densité globale et la biomasse globale étaient en forte diminution.

La régression des espèces à forte affinité pour les eaux saumâtres amorcée en 2006 et 2007 s'est poursuivie en 2008 et traduit la faible influence des apports de la rivière Aa.

Globalement, la biomasse était plutôt établie sur les niveaux supérieurs et moyens supérieurs de la partie ouest de l'estran. La plage de Gravelines présentait une forte capacité de charge avec des fluctuations inter-annuelles marquées.

Benthos subtidal

Le cycle sédimentaire classique (teneur en pélites du sédiment élevée et quasi constante, sables fins dominants en période hivernale et sables moyens en période estivale et printanière) au point B (dit

non impacté) a été observé en 2008. Les caractéristiques granulométriques du point C (dit impacté) étaient classiques (absence de pélites).

L'étude de la composition bionomique des peuplements a permis de mettre en évidence 65 taxons au point B et 28 taxons au point C, avec, respectivement, 7 198 et 107 ind. \cdot m⁻². L'impact engendré par la mise en service de la centrale et constaté grâce à la comparaison des points, historiquement semblables avant la mise en œuvre du système de circulation d'eau nécessaire au refroidissement de l'installation, reste important sur les peuplements subtidaux au point C. Le déficit de densité entre le point C et le point B était considérable en 2008 : 98,5% (ordre de grandeur identique qu'en 2007 et 2006). Le déficit de biomasse (99,3 %) était supérieur à ce qu'il était lors des cycles de surveillance antérieurs (99 % en 2007, 97 % en 2006, 94 % en 2004 et 2005). Cependant, il faut noter que le peuplement installé au point C était 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.

Les populations à *Abra alba* et à *Tellina fabula* n'atteignaient toujours pas le niveau qu'elles avaient dans les années 80-90.

Sommaire

Préambule

1.	PRÉSENTATION DU SITE – STRATÉGIE D'ÉTUDE	5
1.1.	Rappel sur le site	7
1.2.	Hydrographie.....	7
1.3.	Description des installations	8
1.4.	Stratégie d'échantillonnage.....	9
2.	FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE ET HYDROLOGIE	13
2.1.	Fonctionnement de la Centrale.....	15
2.2.	Hydrologie.....	18
3.	ÉTUDE DE LA CHLORATION ET BACTÉRIOLOGIE	23
3.1.	Chloration.....	25
3.2.	Bactériologie	26
3.3.	Campagnes pélagiques	32
3.4.	Éléments de conclusion	34
4.	PHYTOPLANCTON ET BIOMASSE CHLOROPHYLLIENNE	39
4.1.	Introduction	41
4.2.	Méthodologie.....	41
4.3.	Chlorophylle <i>a</i> et phéopigment au canal d'aménée.....	42
4.4.	Phytoplancton	44
4.5.	Campagnes pélagiques	49
4.6.	Dynamique de développement du phytoplancton à méso-échelle.....	53
4.7.	Éléments de conclusion	55
5.	DINOFLAGELLÉS NOCTILUQUES ET ZOOPLANCTON.....	59
5.1.	Méthodologie.....	61
5.2.	Surveillance au canal d'aménée	62
5.3.	Surveillance du milieu récepteur.....	70
5.4.	Éléments de conclusion	73
6.	ZOOPLANCTON HALIEUTIQUE	75
6.1.	Introduction	77
6.2.	Matériels et méthodes.....	77
6.3.	Résultats	79
6.4.	Éléments de conclusion	88
7.	LE DOMAINE BENTHIQUE INTERTIDAL	89
7.1.	Introduction	91
7.2.	Matériels et méthodes.....	91
7.3.	Résultats	92
7.4.	Conclusion sur l'évolution de l'estran.....	101
7.5.	Éléments de conclusion	103
8.	LE DOMAINE BENTHIQUE SUBTIDAL.....	111
8.1.	Introduction	113
8.2.	Matériels et méthodes.....	113
8.3.	Résultats	113
8.4.	Étude des populations d' <i>Albra alba</i> et de <i>Tellina fabula</i>	121
8.5.	Éléments de conclusion	125

Préambule

La commande d'exécution passée par EDF-CNPE de Gravelines à Ifremer (document référencé 5100-CPC-4200137165) pour les 3 années 2008 à 2010 prévoit la fourniture par Ifremer des documents contractuels suivants :

- Un état d'avancement des travaux réalisés au cours du premier semestre de l'année N, à remettre pour le 15 juillet.
- Un rapport annuel, dont la version provisoire est remise le 31 janvier de l'année N + 1.
- Un rapport annuel, dont l'édition définitive est remise au plus tard le 31 mars de l'année N + 1.

Pour le site de Gravelines, les travaux de prélèvement et d'analyses sont réalisés conformément à l'arrêté ministériel du 7 novembre 2003 (J.O. du 13 janvier 2004) « *autorisant Électricité de France à poursuivre les rejets d'affluents liquides et gazeux pour l'exploitation du site nucléaire de Gravelines* ».

Concernant la surveillance scientifique de la CNPE de Gravelines réalisée au cours de l'année 2008,

- L'état d'avancement a été adressé à EDF le 4 juillet 2008
- L'édition provisoire du rapport annuel a été transmise à EDF le 30 janvier 2009.
- L'édition définitive du rapport scientifique annuel fait l'objet du présent document prenant en compte les remarques formulées sur la version provisoire.

Dans le cadre de l'implantation d'une centrale électronucléaire sur le littoral de la commune de Gravelines (département du Nord) et du contexte législatif en vigueur, Électricité de France a confié à l'IFREMER les études écologique et halieutique du milieu marin encadrant ce site.

L'étude, dite d'**Avant-projet**, ayant pour but d'évaluer les principales caractéristiques écologiques du site pressenti pour l'implantation de la centrale, fut réalisée de septembre 1974 à décembre 1975.

L'**étude de Projet**, destinée à établir un bilan écologique de référence avant la mise en service de la centrale, fut conduite de août 1976 à juillet 1977.

L'**étude de surveillance** a commencé en février 1978, soit deux années avant la date de mise en fonctionnement de la première tranche de la centrale (mars 1980) et huit années avant que la Centrale n'ait atteint sa puissance maximale (1986).

Au cours de 2008, 28^{ème} année de fonctionnement de la Centrale, les études réalisées sur le site de Gravelines ont été menées sous la responsabilité de :

- **Elvire ANTAJAN** (DOP-LER-BL¹), pour le zooplancton et la coordination de l'ensemble des études sur ce site.
- **Régis DELESMONT** (Institut Pasteur – Gravelines), pour l'étude de la chloration et la bactériologie.
- **Alain LEFEBVRE** (DOP-LER-BL), pour le phytoplancton
- **Caroline WAREMBOURG** (DOP-HMMN-RH-BL²), pour l'ichtyoplancton
- **Jean-Marie DEWARUMEZ** et **Christophe LUDZAC** (Station Marine de Wimereux), pour le benthos intertidal et subtidal

¹ *Direction des OPération (DOP), Laboratoire Environnement littoral et Ressources aquacoles – Boulogne sur Mer (LER/BL)*

² *Département Halieutique Manche Mer du Nord (HMMN), laboratoire Ressources Halieutique de Boulogne sur Mer (RH/BL)*

1. PRÉSENTATION DU SITE – STRATÉGIE D'ÉTUDE

Auteurs : R. Delesmont, E. Antajan

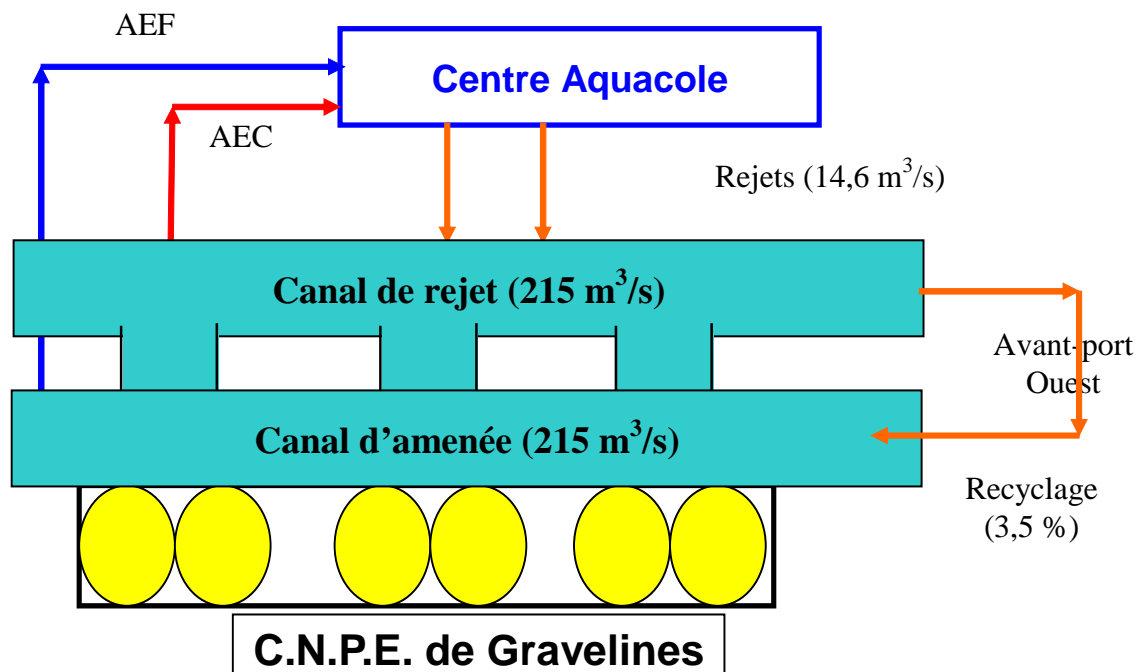
Collaborateurs : E. Delesmont , J. Caboche

L'influence de ces cours d'eau n'est pas prépondérante sur la qualité de l'eau de mer transitant par la centrale. Les dessalures significatives observées sur le site ont lieu par temps sec, quand le vent de nord-est, établi sur de longues périodes, modifie les courants et amène sur le site des eaux de la côte belge (Belgrano *et al.*, 1990¹).

1.3. Description des installations

Le Centre Nucléaire de Production d'Électricité (CNPE) de Gravelines est composé de six tranches d'une puissance unitaire de 900 MW. Le circuit de refroidissement est alimenté en eau de mer prélevée dans l'avant port de Dunkerque et son débit est de 40 m^3 par seconde et par tranche. Le débit nominal total du rejet est ainsi de 240 m^3 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. Actuellement, les débits utilisés par la ferme aquacole sont en augmentation avec la mise en service d'une seconde station de pompage. Le rejet des eaux de la ferme aquacole se fait dans le canal de rejet de la centrale. Depuis l'été 2003, un second rejet situé plus en amont sur le canal de rejet est en service. Les effets observés au rejet de la centrale sont donc la résultante des influences conjuguées des deux installations, la centrale électrique et la ferme aquacole (figure 1.2).



AEC : Alimentation Eau Chaude ($11,5 \text{ m}^3/\text{s}$)

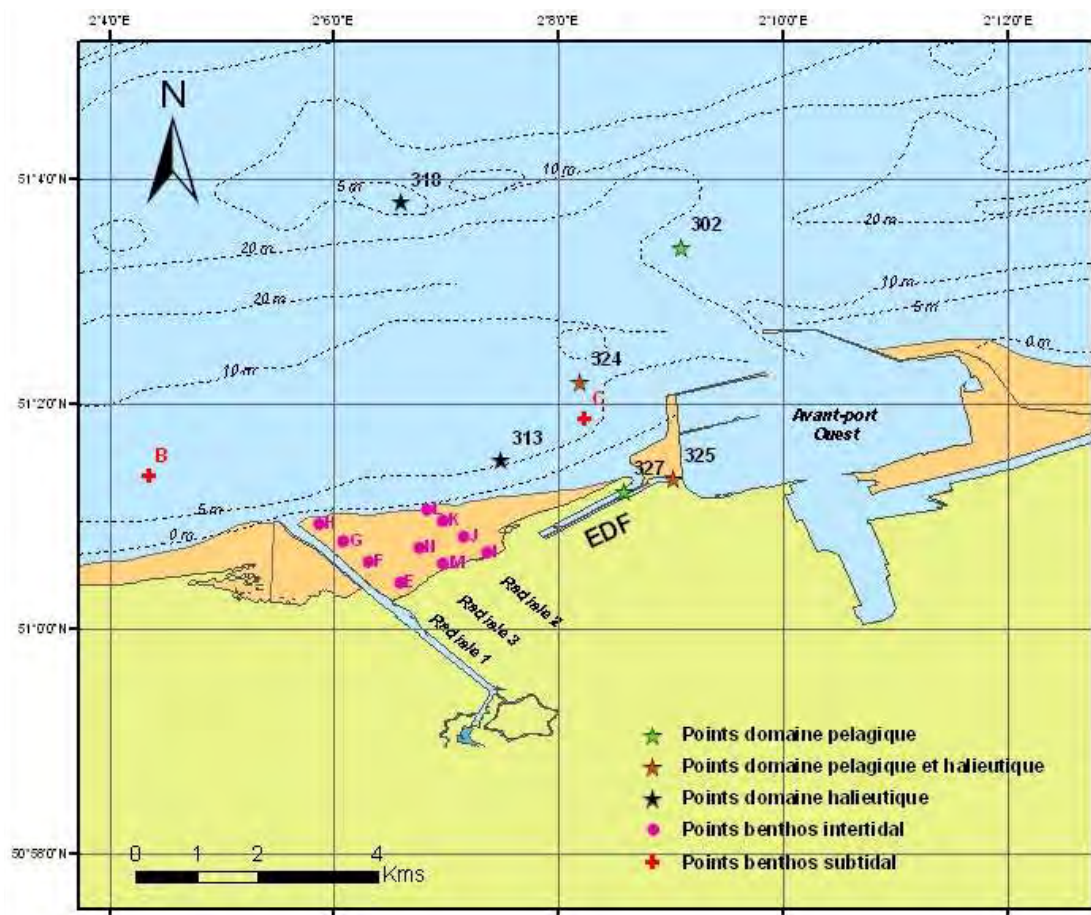
AEF : Alimentation Eau Froide ($3,1 \text{ m}^3/\text{s}$)

Figure 1.2 Schéma de la circulation de l'eau sur le site de Gravelines (Valeurs chiffrées en 2008)

¹ Belgrano A., Vincx M., Dewarumez J. M., Richard A., Craeymeersch J. & C. Heip, 1990. Recruitment of meroplanktonic larvae in the Southern Bight of the North Sea. *Oceanis*, 16 (3): 225-243.

1.4. Stratégie d'échantillonnage

Conformément à la stratégie mise en place pour la surveillance du site de Gravelines, les points échantillonnés sont localisés sur la carte de la figure 1.3.



Station (Réf. Quadrige)	Latitude	Longitude	Libellé
302	51°3'40 N	2°9'10 E	Référence
313	51°1'50 N	2°7'50 E	Côtier
318	51°3'80 N	2°6'60 E	Large
324	51°2'20 N	2°8'20 E	Contrôle
325	51°1'38 N	2°9'10 E	Canal d'amenée (Prise)
327	51°1'26 N	2°8'60 E	Canal de rejet (Rejet)

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

La liste de l'ensemble des travaux réalisés sur ces points est résumée dans le tableau 1.1.

Tableau 1.1 Ensemble des travaux réalisés lors de la surveillance 2008

2008	Paramètres	Périodicité par point			
		Prise	Rejet	Contrôle	Référence
DOMAINE PÉLAGIQUE					
Hydrologie	Température	hebdo.	hebdo.	29/05/08	
	Sels nutritifs : NH_4^+ , NO_3^-			29/09/08	
	Salinité	mensuel	mensuel		
Chloration	Chlore et haloformes	hebdo.	hebdo.	29/05/08 29/09/08	
Bactériologie	Vibrions	hebdo.	hebdo.	29/05/08 29/09/08	
Phytoplancton	Pigments chlorophylliens	hebdo.	hebdo.	29/05/08	
	Flore totale			29/09/08	
Zooplancton	Méso-zooplancton	mensuel	mensuel	29/05/08 29/09/08	
DOMAINE HALIEUTIQUE					
Ichtyoplancton	Soles et sprats (œufs et larves)	25/03/08	10/04/08 16/05/08		
		10/04/08			
		24/04/08			
		16/05/08			
Macrofaune	Crevettes grises	25/03/08	10/04/08 16/05/08		
		10/04/08			
		24/04/08			
		16/05/08			
DOMAINE BENTHIQUE					
Benthos intertidal	Sédiment (granulométrie)	E-F-G-H	M-N	I-J-K-L	B-C
	Macrofaune				
Benthos subtidal	Sédiment (granulométrie) Macrofaune				12/02/08
					22/04/08
					17/06/08
					14/10/08

1.4.1. Domaine pélagique

Deux campagnes annuelles sont réalisées pour le suivi de l'impact du rejet de la centrale par la comparaison des prélèvements selon un axe côte-large. En 2008 elles ont été réalisées le 29 mai pour la mission printanière et le 29 septembre pour la mission automnale, à bord du navire de pêche l'*Emeraude*. Lors de chaque mission quatre points sont étudiés (tableau 1.2) :

- Le point *prise* (situé à l'entrée du canal d'amenée de la centrale) ;
- Le point *rejet* (situé dans le canal de rejet) ;
- Le point *contrôle* (avec échauffement résiduel de 3 à 4°C dans le panache de rejet) ;
- Le point *référence* (situé au large, au-delà de la zone d'influence de la centrale).

Tableau 1.2 Dates et horaires des campagnes pélagiques

Date	Pleine mer (heure locale)	Coef. de marée	Prise	Rejet	Contrôle	Référence
29/05/08	09:20	56	08:10	09:20	09:23	09:50
29/09/08	13:38	95	12:50	15:45	14:30	14:47

En complément, des prélèvements hebdomadaires sont réalisés depuis les berges aux canaux d'amenée et de rejet, ils concernent la bactériologie (vibrions) et l'étude de la chloration. Le phytoplancton et les pigments chlorophylliens sont également échantillonnés hebdomadairement au canal d'amenée. Enfin, le zooplancton est échantillonné mensuellement au canal d'amenée.

1.4.2. Domaine halieutique

La surveillance du zooplancton halieutique comprend quatre campagnes:

- 2 campagnes à quatre points en mer (10 avril et 16 mai 2008) selon un gradient côte-large dans le milieu récepteur.
- 2 campagnes au canal d'amenée (25 mars et 24 avril).

1.4.3. Domaine benthique

En zone intertidale, une campagne annuelle comprenant deux radiales de 4 points et 1 radiale à 2 points de hauts niveaux a été réalisée le 20 juin 2008.

En zone subtidale, la surveillance du peuplement à *Abra alba* consiste en la réalisation de 4 campagnes de deux points, l'un non impacté (Point B), l'autre potentiellement impacté (Point C) par le fonctionnement de la centrale (12 février, 22 avril, 17 juin et 14 octobre 2008).

2. FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE ET HYDROLOGIE

Auteur : R. Delesmont

Collaboratrice : E. Delesmont

2.1. Fonctionnement de la Centrale

Ce paragraphe est réalisé à partir des données de fonctionnement communiquées par la Centrale de Gravelines. La centrale de Gravelines comprend six réacteurs d'une puissance électrique unitaire de 900 MW. En 2007-2008, la puissance électrique produite par la centrale correspondait en moyenne hebdomadaire à l'équivalent de 2,8 à 6,2 tranches de 900 MW (figure 2.1 et tableau 2.1). La production était comme à l'habitude, plus importante en saison froide. La puissance moyenne de la période était de 4 374 MW, soit l'équivalent de 4,9 tranches.

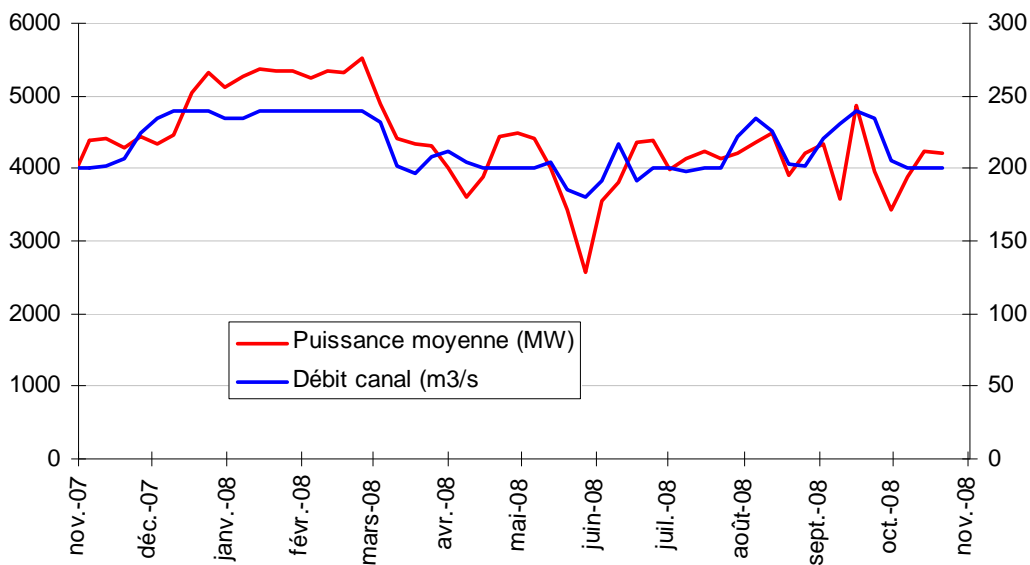


Figure 2.1 Fonctionnement de la centrale de Gravelines

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

Les débits d'eau de mer de refroidissement des condenseurs ont varié de 180 à 240 m³/s, soit les débits unitaires de pompage de 5,4 à 6 tranches (figure 2.1 et tableau 2.1). Le débit moyen calculé sur une base hebdomadaire était de 215 m³/s, soit l'équivalent du débit de pompage de 5,37 tranches.

Les variations de production électriques ne s'accompagnent pas toujours de variations identiques du débit de l'eau de refroidissement pompée ce qui occasionne des variations de l'échauffement de l'eau par transit. Lors de la période 2007-2008, ces variations ont été relativement faibles (figure 2.2 et tableau 2.1) :

Échauffement moyen calculé : $9,73 \pm 0,94$ °C

Échauffement moyen (mesures IPL) : $9,39 \pm 1,71$ °C

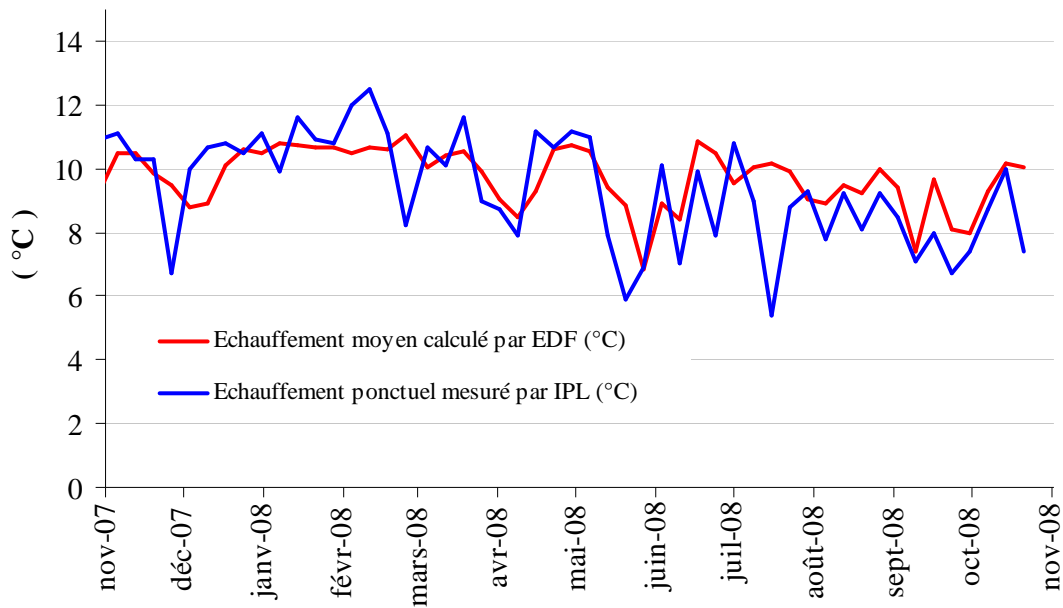


Figure 2.2 Comparaison entre les échauffements calculés et mesurés au rejet

Les échauffements étaient légèrement plus faibles en saison chaude mais cette variation était inférieure à un degré.

Les valeurs que nous avons relevées au point rejet lors de nos prélèvements ponctuels étaient en moyenne inférieures de 0,33 °C aux moyennes hebdomadaires calculées par EDF.

**Tableau 2.1. Fonctionnement de la centrale en 2007-2008
(Débit et puissance calculés à partir des données fournies par EDF)**

	Semaine du	au	Puissance moyenne (MW)	Débit canal (m3/s)	Échauffement moyen calculé par EDF (°C)	Échauffement ponctuel mesuré par IPL (°C)
2007	29/10/07	04/11/07	3890	200	9,3	10,9
	05/11/07	11/11/07	4381	200	10,5	11,1
	12/11/07	18/11/07	4413	202	10,5	10,3
	19/11/07	25/11/07	4275	207	9,9	10,3
	26/11/07	02/12/07	4431	224	9,5	6,7
	03/12/07	09/12/07	4330	235	8,8	10,0
	10/12/07	16/12/07	4461	240	8,9	10,7
	17/12/07	23/12/07	5035	239	10,1	10,8
2008	24/12/07	30/12/07	5315	240	10,6	10,5
	31/12/07	06/01/08	5124	234	10,5	11,1
	07/01/08	13/01/08	5265	234	10,8	9,9
	14/01/08	20/01/08	5374	240	10,7	11,6
	21/01/08	27/01/08	5347	240	10,7	10,9
	28/01/08	03/02/08	5343	240	10,7	10,8
	04/02/08	10/02/08	5243	240	10,5	12,0
	11/02/08	17/02/08	5351	240	10,7	12,5
	18/02/08	24/02/08	5321	240	10,6	11,1
	25/02/08	02/03/08	5533	240	11,0	8,2
	04/03/08	10/03/08	4882	232	10,1	10,7
	11/03/08	17/03/08	4408	202	10,4	10,1
	18/03/08	24/03/08	4334	197	10,5	11,6
	25/03/08	31/03/08	4322	208	9,9	9,0
	01/04/08	07/04/08	4013	212	9,1	8,7
	08/04/08	14/04/08	3614	204	8,5	7,9
	15/04/08	21/04/08	3890	200	9,3	11,2
	22/04/08	28/04/08	4437	200	10,6	10,7
	29/04/08	05/05/08	4486	200	10,7	11,2
	06/05/08	12/05/08	4410	200	10,5	11,0
	13/05/08	19/05/08	4012	204	9,4	7,9
	20/05/08	26/05/08	3429	185	8,9	5,9
	27/05/08	02/06/08	2564	180	6,8	6,9
	03/06/08	09/06/08	3553	191	8,9	10,1
	10/06/08	16/06/08	3801	217	8,4	7,0
	17/06/08	23/06/08	4355	192	10,9	9,9
	24/06/08	30/06/08	4376	200	10,5	7,9
	01/07/08	07/07/08	3977	200	9,5	10,8
	08/07/08	14/07/08	4147	198	10,0	9,0
	15/07/08	21/07/08	4242	200	10,1	5,4
	22/07/08	28/07/08	4139	200	9,9	8,8
	29/07/08	04/08/08	4202	222	9,1	9,3
	05/08/08	11/08/08	4354	234	8,9	7,8
	12/08/08	18/08/08	4484	226	9,5	9,2
19/08/08	25/08/08	3919	203	9,2	8,1	
26/08/08	01/09/08	4210	202	10,0	9,2	
02/09/08	08/09/08	4331	220	9,4	8,5	
09/09/08	15/09/08	3587	231	7,4	7,1	
16/09/08	22/09/08	4862	240	9,7	8,0	
23/09/08	29/09/08	3957	234	8,1	6,7	
30/09/08	06/10/08	3419	206	7,9	7,4	
07/10/08	13/10/08	3878	200	9,3	8,7	
14/10/08	20/10/08	4246	200	10,2	10,0	
21/10/08	27/10/08	4202	200	10,1	7,4	

2.2. Hydrologie

2.2.1. Points canal d'amenée et canal de rejet

2.2.1.1. Température

Au canal d'amenée, la température minimale (6,3 °C) a été observée le 19/02/08. Une température supérieure à 20,0 °C a été relevée à 1 seule occasion le 04/08/08 (20,1 °C ; figure 2.5). Ce maximum est identique à celui de l'année précédente. La moyenne des températures de l'eau au canal d'amenée était de 12,9 °C, cette valeur était presque inférieure de 1,0 °C à celle du cycle précédent mais est semblable aux moyennes habituelles variant de 13,0 à 13,2 °C. L'année 2007-2008 était marquée par des températures élevées en saison froide alors que l'été fut maussade.

Au canal de rejet, aucune température supérieure à 30,0 °C n'a été relevée cette année (maximum 29,4 °C le 04/08/08).

Le transit de l'eau dans la centrale, calculé sur la base des prélèvements hebdomadaires réalisés, se traduit par un échauffement moyen de 9,43 °C, valeur supérieure d'environ 0,5 degrés par rapport aux périodes d'études précédentes.

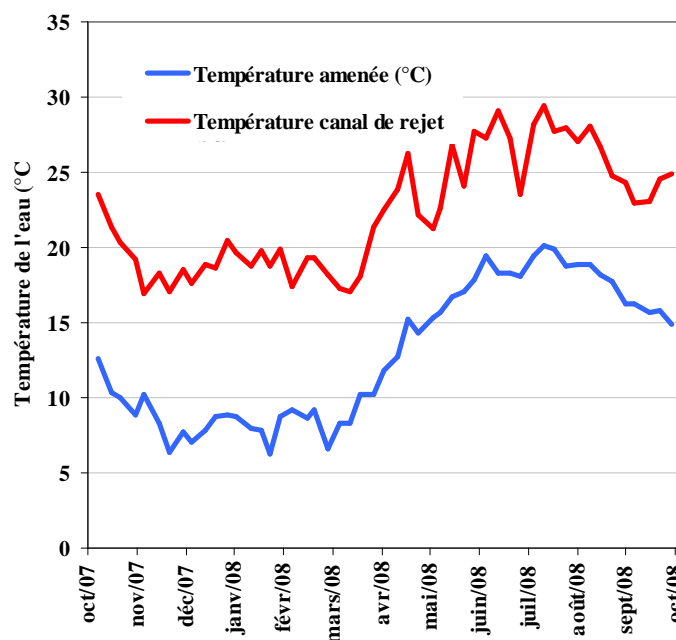


Figure 2.3 Température hebdomadaire de l'eau de mer (°C) aux canaux d'amenée et de rejet pour la période 2007-2008

2.2.1.2. Sels nutritifs

En raison des apports en azote dus à la ferme aquacole implantée sur le site et afin de mieux expliquer les phénomènes au niveau du phytoplancton, des dosages d'azote sont réalisés aux canaux d'amenée et de rejet. Deux formes d'azote sont mesurées : l'azote réduit ammoniacal (NH_4^+) et l'azote oxydé sous forme de nitrate (NO_3^-).

Le stock hivernal de l'azote oxydé, composé principalement de nitrates, a été consommé de février à avril par le phytoplancton. Du printemps à l'automne, les concentrations étaient plutôt plus élevées au canal de rejet qu'au canal d'amenée. Ce phénomène de faible ampleur a déjà été observé lors des sept cycles d'étude précédents. En moyenne annuelle, un apport significatif de nitrate de 1,09 $\mu\text{mol/L}$ a été observé (figure 2.6 et tableau 2.2). Un apport de l'ordre de 2 $\mu\text{mol/L}$ au

maximum avait été observé dans les cycles d'études antérieurs. Ce résultat confirme la stabilité des apports de nitrate signalé lors des précédents cycles de surveillance.

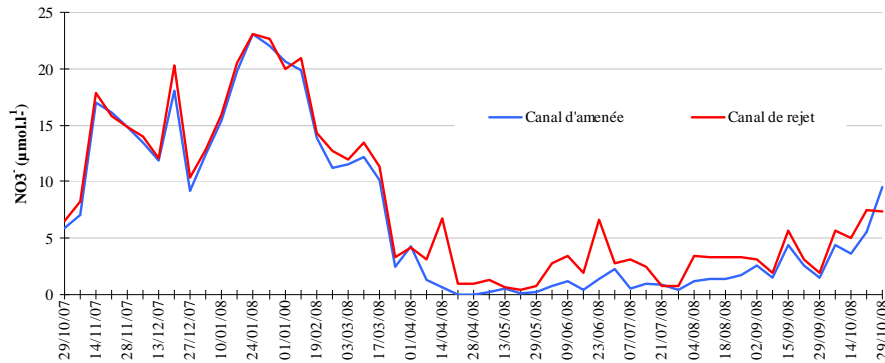


Figure 2.64 Azote oxydé (NO_3^- en $\mu\text{mol/L}$) aux canaux d'amenée et de rejet pour la période 2007-2008

Pour l'ammonium, les constatations étaient identiques à celles de la période précédente (figure 2.7 et tableau 2.2). Les concentrations observées sont restées faibles et aucune variation saisonnière importante ne s'est dégagée si ce n'est une hausse des concentrations accompagnant la dégradation du plancton lors du transit. Les valeurs anormalement élevées (respectivement 19,9 et 38,5 $\mu\text{mol/L}$ au canal d'amenée et canal de rejet) observées le 19/12/07 ont été suivies par une lente décroissance sur plusieurs semaines (confirmant les valeurs analytiques) et pourrait être la conséquence d'un apport important, dans l'avant-port de Dunkerque, d'eau amenée par le canal des dunes. En bilan annuel, le transit s'est traduit cette année par un apport moyen quasiment nul de 0,03 $\mu\text{mol/L}$ (si l'on excepte le résultat anormalement élevé du 19/12/07, le transit se traduit par un déficit de 0,34 $\mu\text{mol/L}$). Les apports de la ferme aquacole ont été peu visibles en termes de bilan. La production d'ammonium par les poissons plus importante en saison chaude semble compensée par la consommation due à la mise en service de la chloration.

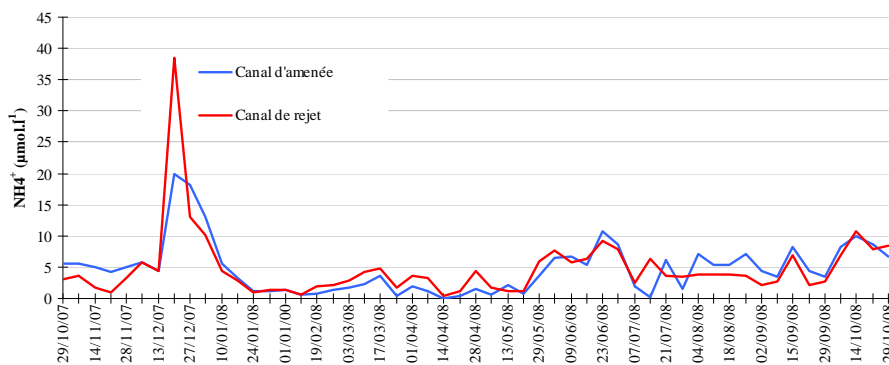


Figure 2.5 Ammonium (NH_4^+ en $\mu\text{mol/L}$) aux canaux d'amenée et de rejet pour la période 2007-2008

Tableau 2.2 Évolution temporelle des concentrations en sels nutritifs aux canaux d'amenée et de rejet

Date	Canal d'amenée		Canal de rejet	
	NH ₄ ⁺ (µmol.l ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (µmol.l ⁻¹)	NH ₄ ⁺ (µmol.l ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (µmol.l ⁻¹)
29/10/07	5,5	5,9	3,1	6,5
05/11/07	5,5	7,1	3,6	8,2
14/11/07	5,0	17,0	1,8	17,8
19/11/07	4,3	16,1	1,0	15,8
28/11/07	5,1	14,8	3,4	14,9
03/12/07	5,8	13,5	5,7	14,0
13/12/07	4,3	11,8	4,5	12,1
19/12/07	19,9	18,1	38,5	20,3
27/12/07	18,2	9,2	13,0	10,4
02/01/08	13,1	12,4	10,1	12,9
10/01/08	5,5	15,4	4,4	15,9
16/01/08	3,2	19,8	2,8	20,5
24/01/08	1,1	23,1	0,9	23,1
29/01/08	1,1	22,0	1,3	22,6
01/01/00	1,3	20,6	1,4	19,9
13/02/08	0,6	19,9	0,5	20,9
19/02/08	0,8	13,9	1,9	14,3
25/02/08	1,3	11,2	2,1	12,7
03/03/08	1,7	11,5	2,8	11,9
13/03/08	2,4	12,2	4,2	13,4
17/03/08	3,7	10,1	4,7	11,3
25/03/08	0,5	2,5	1,7	3,3
01/04/08	2,0	4,3	3,7	4,2
08/04/08	1,1	1,3	3,2	3,1
14/04/08	0,0	0,7	0,5	6,8
22/04/08	0,5	0,0	1,1	1,0
28/04/08	1,6	0,0	4,5	1,0
07/05/08	0,7	0,2	1,7	1,3
13/05/08	2,2	0,5	1,2	0,6
19/05/08	0,8	0,2	1,2	0,4
29/05/08	3,7	0,2	5,9	0,7
02/06/08	6,5	0,8	7,6	2,8
09/06/08	6,6	1,2	5,7	3,4
16/06/08	5,3	0,5	6,3	1,9
23/06/08	10,7	1,4	9,2	6,6
01/07/08	8,6	2,3	7,8	2,8
07/07/08	2,0	0,6	2,5	3,1
15/07/08	0,3	1,0	6,3	2,5
21/07/08	6,2	0,9	3,7	0,8
29/07/08	1,5	0,4	3,4	0,8
04/08/08	7,1	1,2	3,8	3,4
11/08/08	5,3	1,4	3,9	3,3
18/08/08	5,3	1,4	3,9	3,3
28/08/08	7,0	1,7	3,7	3,3
02/09/08	4,4	2,5	2,1	3,1
08/09/08	3,4	1,5	2,6	1,9
15/09/08	8,3	4,4	7,0	5,6
24/09/08	4,4	2,5	2,1	3,1
29/09/08	3,4	1,5	2,6	1,9
08/10/08	8,3	4,4	7,0	5,6
14/10/08	10,0	3,7	10,7	5,1
22/10/08	8,6	5,5	7,8	7,5
29/10/08	6,6	9,5	8,5	7,3

2.2.2. Campagnes pélagiques

2.2.2.1. Température

En raison des turbulences importantes régnant dans les *canaux d'amenée* et *de rejet*, leurs températures sont considérées comme homogènes. La différence de température entre le canal d'amenée et le canal de rejet était de 6,5 °C en mai et de 6,9 °C en septembre. Au point *contrôle*, la stratification thermique verticale habituelle du panache de rejet a été observée lors des campagnes de mai et de septembre malgré la faible profondeur (figures 2,8 et 2,9). Le gradient de température surface-fond était de 4,3 °C pour la campagne de mai alors qu'aucune stratification n'a été observée en septembre. Une stratification de moindre ampleur a été observée au niveau du point de *référence* (figures 2.8 et 2.9) : les écarts maximum entre surface et fond n'étaient que de 0,2 °C.

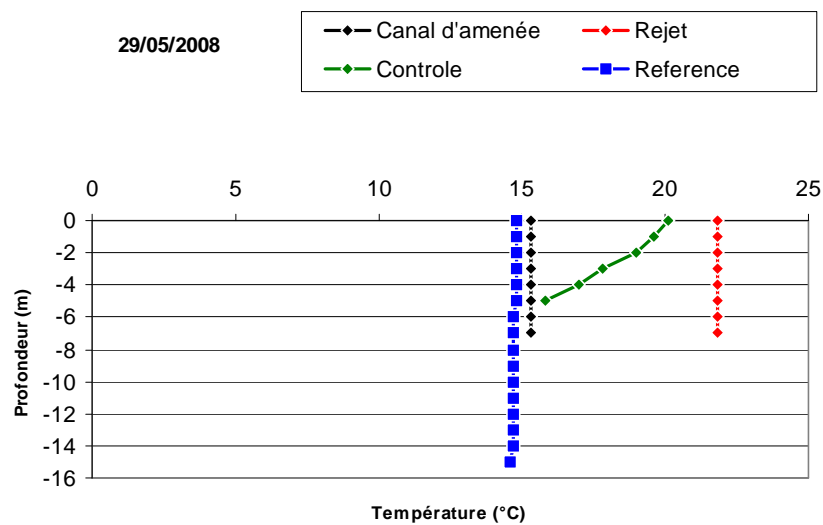


Figure 2.6 Profils de température lors de la campagne de prélèvements du 29/05/2008

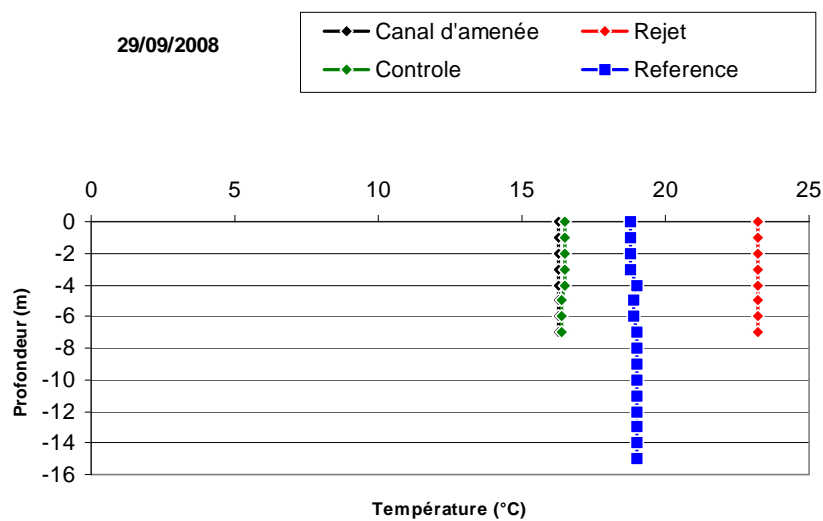


Figure 2.7 Profils de température lors de la campagne de prélèvements du 29/09/2008

2.2.2.2. Salinité

Lors des deux campagnes pélagiques, les mesures de salinité mettaient en évidence une grande homogénéité de l'ensemble de la zone d'étude (tableaux 2.3 et 2.4). Seul, un léger gradient côte-large était perceptible. La salinité était forte, supérieure à 34*, c'est à dire sans influence côtière nette lors des deux campagnes (tableaux 2.3 et 2.4).

Tableau 2.3 Salinités mesurées lors de la campagne pélagique du 29 mai 2008

Profondeur (m)	Canal d'amenée	Rejet	Contrôle	Référence
Surface	34,1	34,1	34,0	34,2

Tableau 2.4 Salinités mesurées lors de la campagne pélagique du 29 septembre 2008

Profondeur (m)	Canal d'amenée	Rejet	Contrôle	Référence
Surface	34,3	34,3	34,3	34,5

* : La salinité est exprimée par un nombre sans dimension qui est un rapport de conductivité (P.S.U. ou « *Practical Salinity Unit* »). Sur le plan pratique, elle est proche du gramme par kilogramme d'eau.

3. ÉTUDE DE LA CHLORATION ET BACTÉRIOLOGIE

Auteur : Delesmont R.

Collaboratrice : Delesmont E.

3.1. Chloration

Afin de limiter les proliférations biologiques, du chlore produit par électrolyse de l'eau de mer est injecté dans les circuits de refroidissement. L'oxydant injecté est consommé de façon rapide par l'eau de mer. Cette disparition s'accompagne de la formation de composés chimiques stables, essentiellement des trihalométhanes (essentiellement du bromoforme) et d'autres composés en quantités beaucoup plus faibles comme le tribromophénol. La figure 3.1 permet de visualiser la concentration en bromoforme en relation avec la température de l'eau au canal d'amenée.

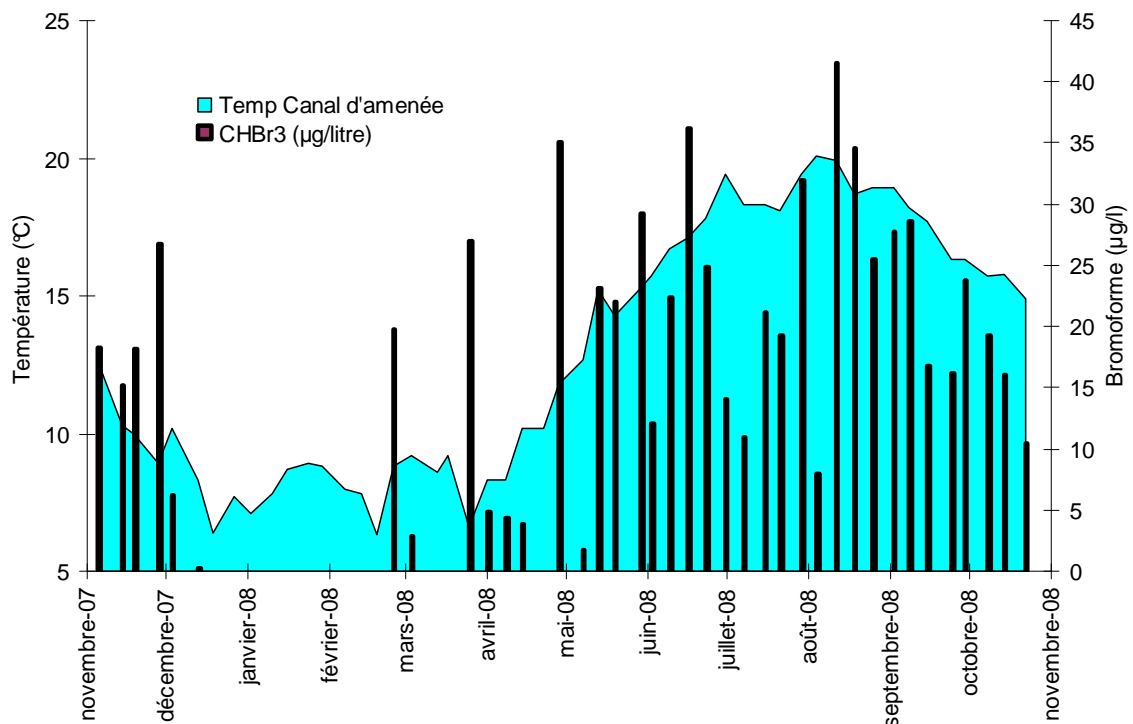


Figure 3.1 Bromoforme (en µg/L) au canal de rejet (histogrammes) en relation avec la température (en °C) de l'eau au canal d'amenée (courbe)

En se basant sur les résultats du dosage du bromoforme au canal de rejet, on observe que la chloration a été mise en œuvre durant 10 mois. A deux exceptions près, le bromoforme n'est pas détecté entre le 19/12/07 et le 19/02/08. 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 représentait cette année 97,7 % des haloformes avec une concentration moyenne de 19,9 µg/L (figure 3.1 et tableau 3.1). Cette concentration moyenne était voisine des valeurs habituellement observées les années précédentes (environ 14 à 18,8 µg/L).

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

- monochlorodibromométhane (CHClBr_2) : 1,96 % du total formé avec une concentration moyenne de 0,28 µg/L

- dichlorobromométhane (CHCl_2Br) : 0,29 % du total formé avec une concentration moyenne de 0,04 µg/L

Ces concentrations moyennes étaient du même ordre que les valeurs habituellement observées sur le site.

La persistance du bromoforme en mer permet également de quantifier le pourcentage d'eau de refroidissement qui passe une seconde fois dans la centrale (« taux de re-circulation »). La valeur calculée en 2007-2008 était de 3,5 % au cours de la période de chloration. Ce pourcentage a une grande importance sur le plan bactériologique car le recyclage de l'eau du rejet permet de sélectionner et de fixer sur le site des espèces bactériennes.

Des recherches de bromo-phénols, composés issus de la chloration de masse, plus importants que les trihalométhanes, 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 régulièrement détectées durant la saison de chloration (tableau 3.2). Le 2,4-di-bromo-phénol a été mis en évidence le 03/03/08. Le prélèvement du 02/01/08 a mis en évidence la totalité des produits recherchés. L'origine de ces composés inhabituels est probablement à rechercher ailleurs que dans la chloration des eaux de la centrale.

3.2. Bactériologie

Depuis 1989, les études bactériologiques portent uniquement sur les vibrions. En effet, cette catégorie de bactéries marines est particulièrement sensible aux modifications du milieu engendrées par le fonctionnement de la centrale et par d'importantes activités aquacoles en constant développement sur le site même du rejet. Les mesures ne concernent que les vibrions capables de cultiver à 37 °C, ces bactéries marines pouvant présenter des caractères pathogènes pour l'homme. Dans le milieu marin, l'abondance des vibrions varie avec la température de l'eau : peu nombreux en hiver, leur maximum est observé à la fin de l'été. À Gravelines, le transit de l'eau de mer dans la centrale (et les installations aquacoles) entraîne une importante multiplication des vibrions qui amplifie le cycle naturel d'abondance de ces bactéries.

3.2.1. Aspect quantitatif

Au canal d'amenée, la concentration moyenne des vibrions en 2008 était de 129 par litre, valeur proche de celles enregistrées lors des périodes précédentes (105 à 128 vibrions/L) contrairement à 2006-2007 où une concentration moyenne de 206 vibrions/litre avait été mesurée (tableaux 3.3 et 3.4). Entre le canal d'amenée et le canal de rejet, leur nombre était, en moyenne géométrique (rapport des moyennes du logarithme des concentrations) annuelle, multiplié par 120. La concentration au canal de rejet était de 15 480 vibrions/L en moyenne géométrique (figure 3.3) soit la seconde valeur par ordre d'importance enregistrée depuis le début des études de surveillance (précédente valeur importante : 17 460 vibrions/L en 2006-2007). Cette concentration est particulièrement importante depuis le cycle de surveillance 2004-2005.

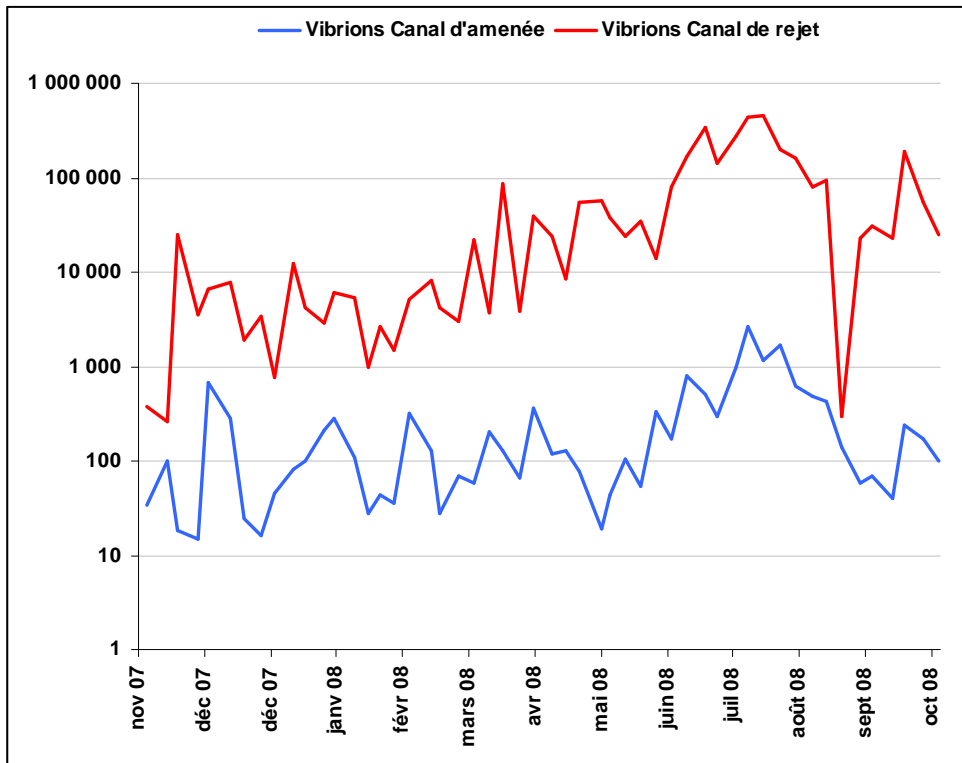


Figure 3.2 Abondance des vibrions cultivables à 37 °C
(Vibrions/L en échelle logarithmique)

La température de l'eau de mer est, depuis le début des études de surveillance, le facteur du milieu expliquant le mieux les variations de la concentration en vibrions. Au-dessus de 4 °C, un accroissement de la température de l'eau de 6 °C se traduit par une abondance en vibrions environ 10 fois plus grande (figure 3.2 – tableaux 3.4 et 3.5). Pour les mesures réalisées aux canaux d'amenée et de rejet lors de ce cycle d'étude, les relations entre concentration en vibrions et température sont résumées sur la figure 3.3.

En dépit de variations liées aux conditions climatiques, l'abondance des vibrions dans le canal de rejet est relativement stable depuis la mise en service des six tranches de la centrale de Gravelines (figure 3.4 ; flèches noires).

Le développement de l'aquaculture (phase expérimentale en 1984 puis extensions en 1991, 1992 et 2003) ne semble pas avoir eu d'influence majeure sur les vibrions en termes d'abondance. Si les concentrations maximales observées semblent se stabiliser, l'amplitude des cycles annuels semble se réduire. La clémence des hivers et le développement de l'aquaculture pourraient être à l'origine de ce phénomène (Fig. 3.4).

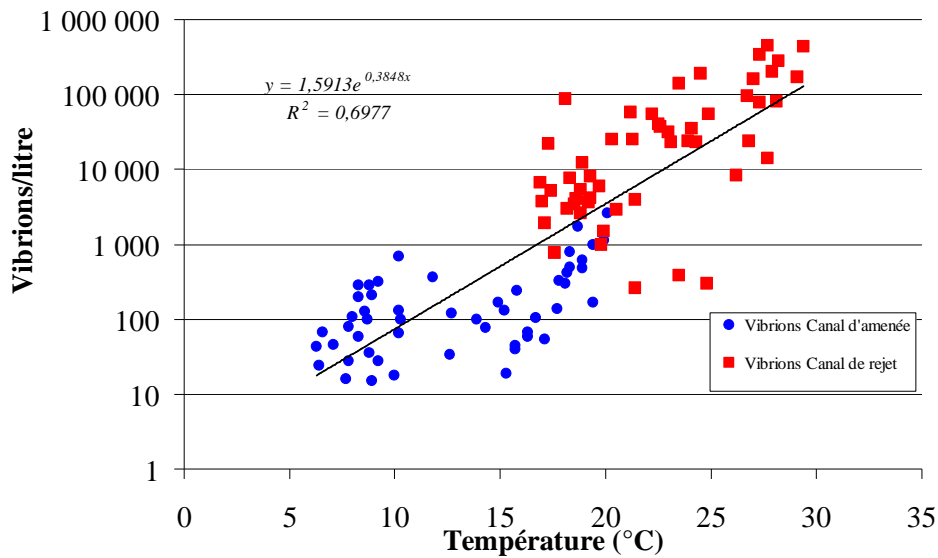


Figure 3.3 Relations entre température et concentration en vibrions aux canaux d'amenée et de rejet

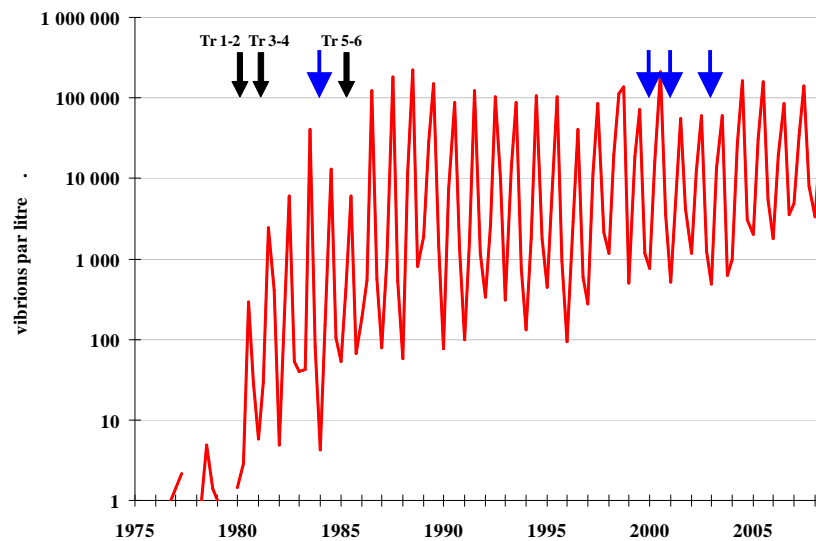


Figure 3.4 Moyenne géométrique des abondances trimestrielles de 1976 à 2008 (Vibrions par litre)
 (Flèches noires : mise en service des différentes tranches du CNPE : 1-2, 3-4 puis 5-6)
 (Flèches bleues : début d'expérimentation des installations aquacoles en 1984, puis phases d'agrandissement)

En traitant les concentrations en vibrions trimestre par trimestre depuis le début des études, on confirme la stabilisation des concentrations estivales et la croissance constante des concentrations hivernales (figure 3.5).

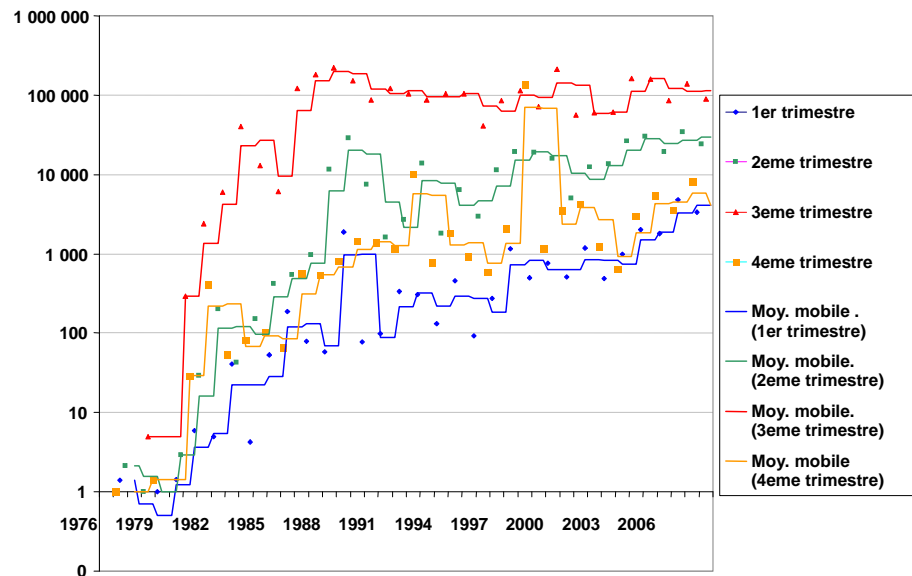


Figure 3.5. Moyenne géométrique des abondances en vibrions classées par trimestre de 1976 à 2008 (Vibrions par litre)

3.2.2. Aspect qualitatif

Une modification dans l'interprétation des profils biochimiques utilisés pour affecter des noms d'espèces aux vibrions isolés est intervenue en 2006 suite à la parution d'un nouveau catalogue analytique API 20 E. L'utilisation de ce nouveau catalogue a surtout des incidences en ce qui concerne l'espèce *Vibrio cholerae*. De nombreux germes auparavant classés *V. cholerae* sont maintenant considérés comme mal-discriminés entre *V. cholerae* et d'autres espèces ce qui a pour conséquence de diminuer le nombre de *Vibrio cholerae* isolés sur le site. Ceci permet d'écartier du groupe *V. cholerae*, un certain nombre de souches de l'environnement très éloignées du véritable *V. cholerae* épidémique.

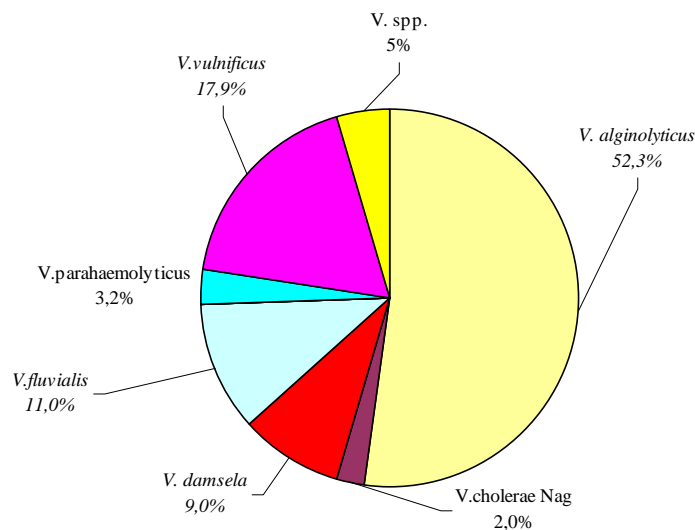
Avant 1984, la quasi totalité de la flore des vibrions isolés sur le site était représentée par *Vibrio alginolyticus*. Parallèlement au développement de l'aquaculture sur le site, une diversité croissante des espèces de vibrions a été observée. En 2007-2008, au canal de rejet, *Vibrio alginolyticus* restait encore l'espèce la plus souvent isolée avec un pourcentage moyen d'isolement de 65,0 % (figure 3.6) (59,7 % en 2006-2007). En 2008, la seconde espèce la plus fréquente après *V. alginolyticus* était *V. vulnificus* avec un pourcentage d'isolement de 13,9 %. *Vibrio cholerae* non agglutinable (Nag), qui était la seconde espèce par ordre d'importance, avait vu son pourcentage chuter à 4,6 % au canal de rejet en 2006-2007. Ce pourcentage décroît encore cette année pour atteindre 0,6 % (figure 3.6). Cette évolution n'est donc pas uniquement due aux modifications des clés d'identification. Les souches de *Vibrio cholerae* isolées sur le site ne sont pas agglutinables par les sérums anti-*Vibrio cholerae* O1 et anti-*Vibrio cholerae* O139 et sont, de plus, halophiles strictes, ce qui permet de les différencier des souches épidémiques.

Les autres espèces mises en évidence en 2007-2008 au canal de rejet étaient par ordre d'importance : *V. fluvialis* (8,3 %), *V. parahaemolyticus* (5,9 %), *V. spp* (4,6 %, regroupant les vibrions non identifiés ou mal discriminés entre *V. cholerae* et *V. fluvialis*) et *V. damsela* (1,8 %). Ces pourcentages sont à rapprocher des valeurs moyennes pour l'ensemble de la période 1989 à 2006 au canal de rejet.

<i>V. alginolyticus</i>	68,6 %	<i>V. cholerae</i> Nag	11,8 %
<i>V. fluvialis</i>	5,6 %	<i>V. damsela</i>	4,8 %
<i>V. parahaemolyticus</i>	3,5 %	<i>V. mimicus</i>	2,8 %
<i>V. vulnificus</i>	0,7 %		

La répartition des genres de Vibrions entre le canal d'aménée et le canal de rejet était particulière en 2007-2008 et rejoignent les observations de 2006-2007 : les différences entre les deux points concernant *Vibrio alginolyticus* étaient plus faibles que lors des périodes précédentes. Ce germe est habituellement très dominant en été et moindre en hiver. L'hiver tempéré et l'été frais et humide de 2008 peuvent être à l'origine de ces pourcentages inhabituels.

Canal d'aménée



Canal de rejet

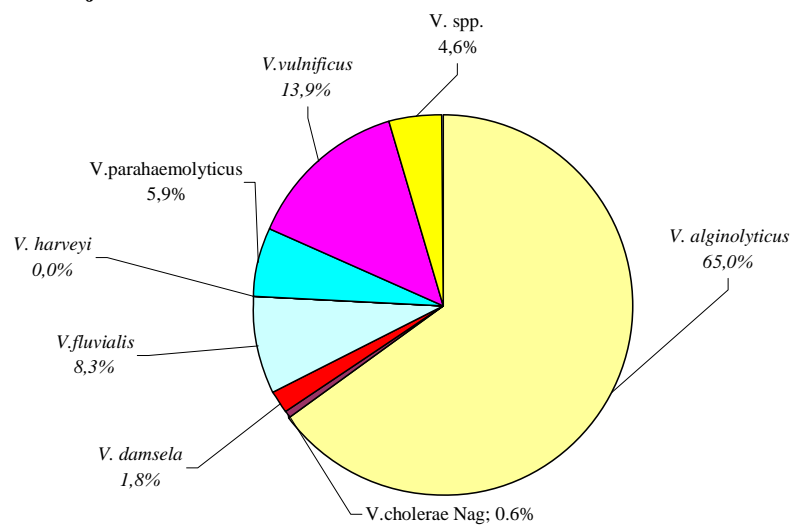


Figure 3.6. Pourcentages moyens d'isolement des diverses espèces de vibrions aux canaux d'aménée et de rejet pour la période 2007-2008

En moyenne géométrique, *Vibrio alginolyticus* reste l'espèce la plus adaptée aux conditions actuelles du site avec un facteur moyen de multiplication de 160 entre le canal d'amenée et le canal de rejet (moyenne des rapports du logarithme des concentrations) (figures 3.7 et 3.8). *Vibrio cholerae* Nag qui occupe depuis quelques années la seconde place par l'importance de sa multiplication sur le site, a cette année un facteur de multiplication de 1,2 entre les deux points de prélèvement (moyenne géométrique des logarithmes des concentrations). Ce facteur est en baisse depuis trois ans alors qu'il était auparavant proche de celui mesuré pour *Vibrio alginolyticus*. Ce facteur est affecté par le changement de codeur microbiologique mais sa faiblesse avait été également observée avec l'ancien codage d'identification. Les conditions de cette période ont été particulièrement favorables à *V. parahaemolyticus* avec un facteur de multiplication moyen de 26,6. En ce qui concerne les autres espèces mises en évidence sur le site, des facteurs de multiplication calculés ont été également important pour *V. vulnificus* (19,2) et *V. fluvialis* (11,4).

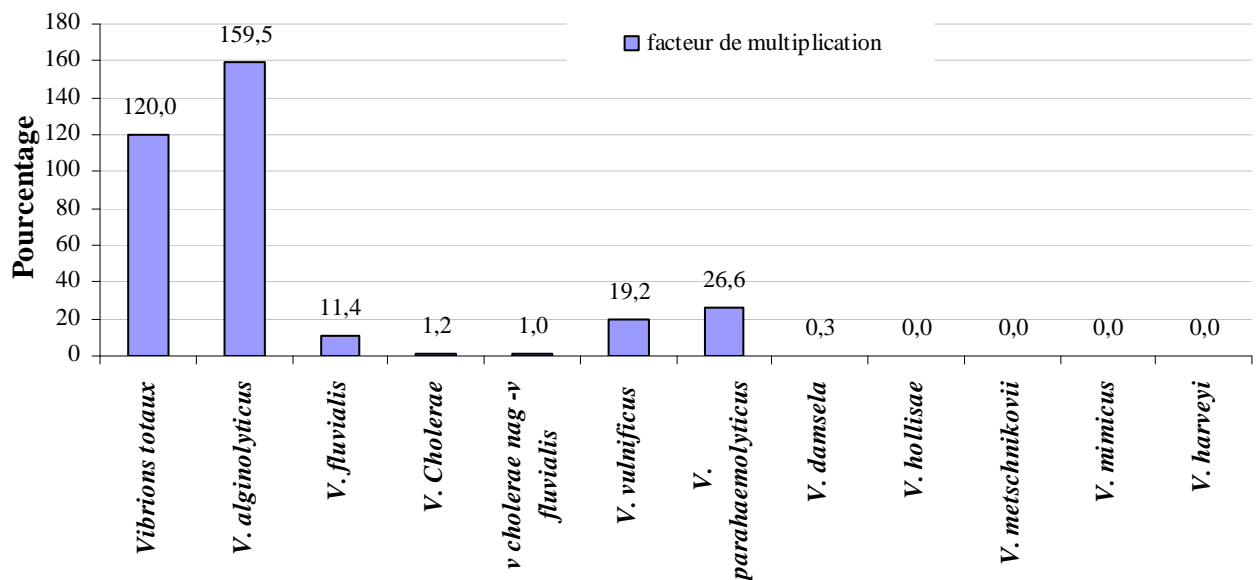


Figure. 3.7. Rapport (%) des concentrations moyennes des diverses espèces de vibrions entre le canal d'amenée et le canal de rejet (Axe des abscisses : espèces du genre *Vibrio*)

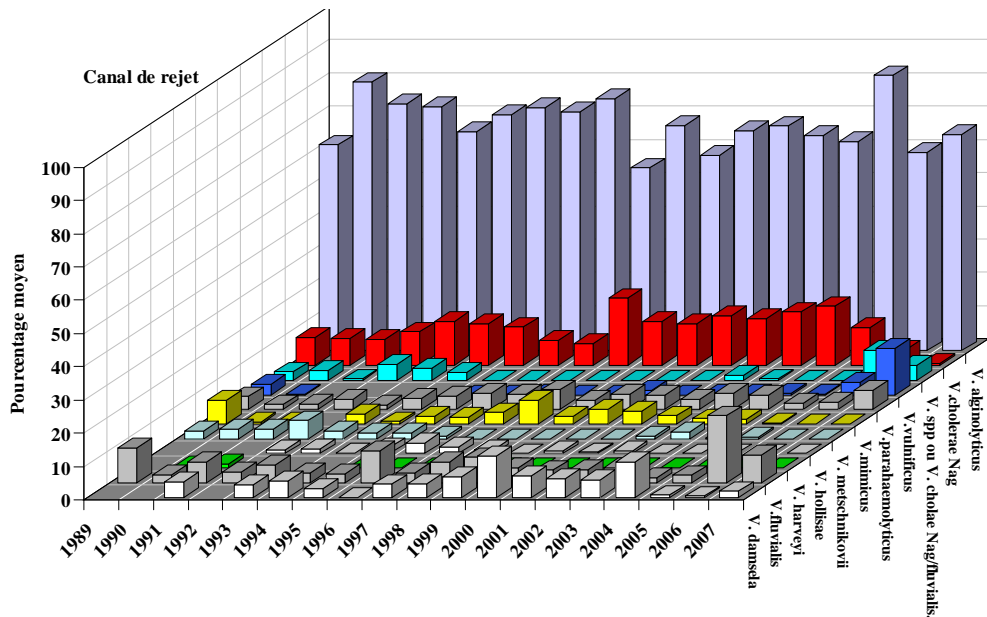


Figure 3.8. Évolution de l'abondance relative des diverses espèces de vibrions de 1989 à 2008 au point canal de rejet (moyennes des pourcentages d'abondances hebdomadaires)
(Pour les années : par exemple, 2006 signifie période de novembre 2006 à octobre 2007)

3.3. Campagnes pélagiques

Les données relatives aux campagnes de surveillance pélagique de mai et de septembre 2008 ainsi que les résultats des études bactériologiques et de la chloration sont résumés dans le tableau 3.3 et les figures 3.9, 3.10 et 3.11. Lors de ces campagnes un point supplémentaire (point *radeau*) est réalisé dans la partie amont du canal de rejet sur le radeau de pompage, à l'extrémité de la partie rectiligne du canal d'où se font les prélèvements au filet à plancton (cf. chapitre 5).

Les températures observées au *canal d'amenée* (figure 3.9) étaient très proches de celles relevées au point *référence* en surface lors des deux campagnes. On a remarqué un échauffement voisin de zéro au point *contrôle* de la campagne de septembre.

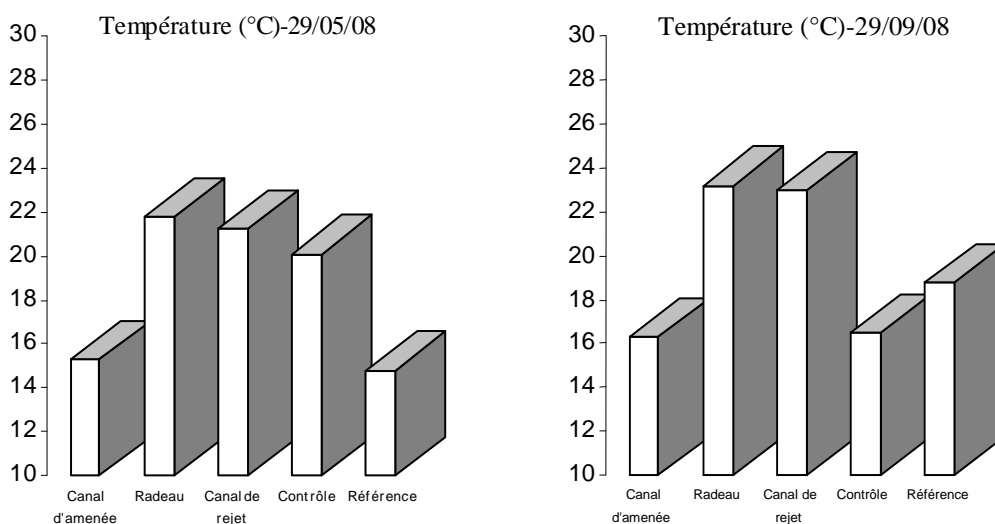


Figure 3.9 Campagnes pélagiques – Températures de surface (en °C) pour chaque point

Au niveau du *radeau*, la multiplication des vibrions n'était qu'amorcée en raison de la subsistance d'oxydant résiduel. Cette augmentation des concentrations en vibrions se poursuivait de manière importante dans la partie terminale du *canal de rejet*. La dilution l'emportait au point *contrôle* et des concentrations voisines de celles du niveau naturel ont été retrouvées au point *référence* (figure 3.10).

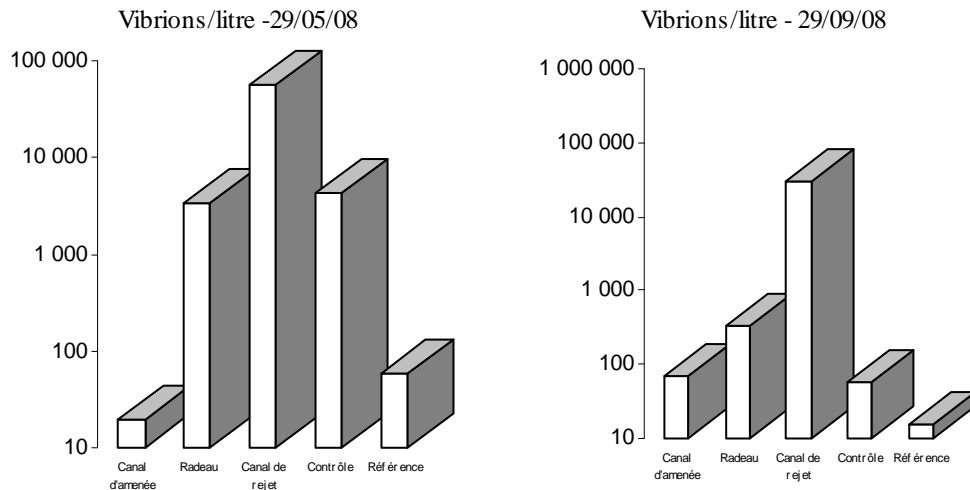
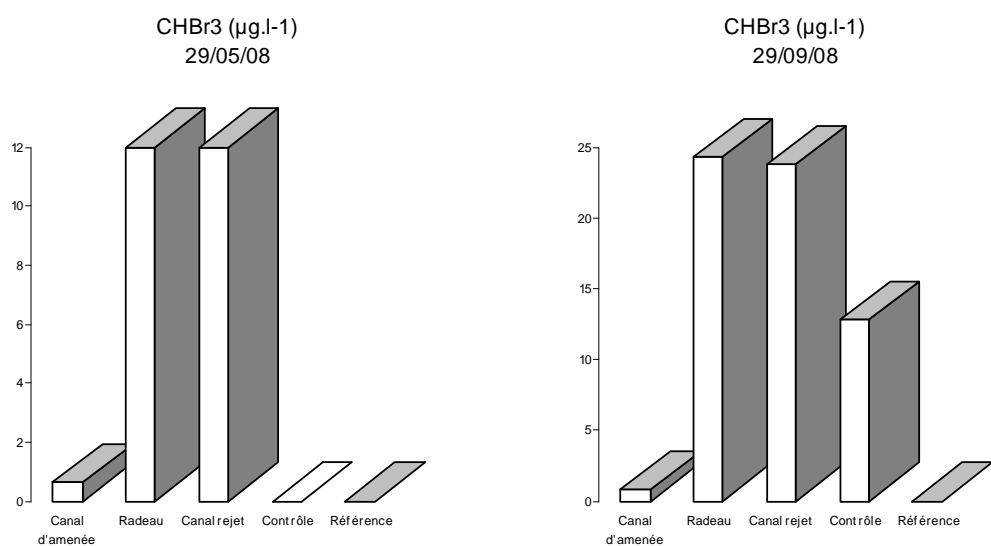


Figure 3.10 Campagnes pélagiques – Vibrions par litre pour chaque point

Lors des deux campagnes, le bromoforme n'a pas été quantifiable sur le point de *référence*. Des différences peu significatives existaient entre les points *radeau* et *canal de rejet* (figure 3.11). Figure



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

3.4. Éléments de conclusion

Les résultats obtenus cette année précisent et confirment les observations de ces dernières années d'étude de surveillance écologique du site de Gravelines. Une modification dans la stratégie d'échantillonnage est intervenue cette année pour des raisons liées à la sécurité : les prélèvements hebdomadaires ont été réalisés à marée basse et non plus à mi-marée depuis novembre 2006 en raison des dangers présentés par le point de prélèvement au rejet.

La chloration de l'eau a été en service durant 10 mois sur 12 au cours de la période 2007-2008. Les composés chimiques formés étaient essentiellement bromés et le plus abondant était le bromoforme avec une concentration moyenne de 19,6 µg/L (97,8 % du total des haloformes). Cette concentration moyenne était voisine de celles observées les années précédentes (environ 14 à 18,8 µg/L).

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 re-circulation de l'eau de refroidissement (3,5 % en 2007-2008). Le 2,4,6-tribromo-phénol a été mis en évidence cette année de façon régulière en saison de chloration avec des concentrations parfois relativement élevées

Le passage de l'eau dans l'ensemble constitué par la centrale électrique et les installations aquacoles a entraîné une multiplication importante du nombre des vibrions (d'un facteur 120 en moyenne géométrique). Les concentrations de vibrions dans le canal de rejet ont été relativement stables depuis la mise en service des six tranches de la centrale (1986). Cependant l'amplitude du cycle annuel semble se réduire depuis quelques années. Les évolutions climatiques et le développement de l'aquaculture sur le site peuvent être des facteurs d'explication.

Une modification dans l'interprétation des profils biochimiques utilisés pour affecter des noms d'espèces aux vibrions isolés est intervenue en 2006 en raison de la parution d'un nouveau catalogue analytique API 20 E. L'utilisation de ce nouveau catalogue a principalement des incidences pour l'espèce *Vibrio cholerae*. De nombreux germes auparavant classés *V. cholerae* sont maintenant considérés comme mal-discriminés entre *V. cholerae* et d'autres espèces (Ceci permet d'écarter du groupe *V. cholerae*, un certain nombre de souches de l'environnement très éloignées du véritable *V. cholerae* épidémique).

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. *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 65 % des isollements. Au rejet, *Vibrio vulnificus* est l'espèce la plus fréquemment isolée après *V. alginolyticus* avec un pourcentage de 13,9 %. Le pourcentage d'isolement de *V. cholerae* très faible cette année, est de 0,62 % alors que le plus grand pourcentage d'isolement de *V. cholerae* avait été relevé en 2004-2005 (24,2 %). Les souches de *Vibrio cholerae* isolées sur le site ne sont pas agglutinables par les sérums anti-*Vibrio cholerae* O1 et anti-*Vibrio cholerae* O139 ce qui permet de les distinguer des souches épidémiques. En ce qui concerne *Vibrio cholerae*, il convient de rappeler que cette espèce comprend environ 140 sérotypes et que seulement deux de ces sérotypes présentent un risque sanitaire important (O1 et O139). Ces derniers n'ont jamais été mis en évidence sur le site de Gravelines.

Tableau 3.1 Chlore résiduel et haloformes

Date	Canal d'amenée			Canal de rejet			
	CHCl2Br (µg/litre)	CHClBr2 (µg/litre)	CHBr3 (µg/litre)	Chlore tot.DPD (mg/litre)	CHCl2Br (µg/litre)	CHClBr2 (µg/litre)	CHBr3 (µg/litre)
05/11/2007	<0,05	<0,05	1,0	<0,05	<0,05	0,35	18,3
14/11/2007	<0,05	0,06	<0,5	0,07	0,12	0,23	15,2
19/11/2007	<0,05	<0,05	<0,5	<0,05	<0,05	0,33	18,1
28/11/2007	<0,05	<0,05	0,9	<0,05	0,06	0,45	26,7
03/12/2007	<0,05	<0,05	<0,5	<0,05	<0,05	0,12	6,2
13/12/2007	<0,05	<0,05	<0,5	0,15	<0,05	<0,05	0,2
19/12/2007	<0,05	<0,05	<0,5	0,1	<0,05	<0,05	<0,5
27/12/2007	<0,05	<0,05	<0,5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,5
02/01/2008	<0,05	<0,05	<0,5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,5
10/01/2008	<0,05	<0,05	<0,5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,5
16/01/2008	<0,05	<0,05	<0,5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,5
24/01/2008	<0,05	<0,05	<0,5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,5
29/01/2008	<0,05	<0,05	<0,5	0,1	<0,05	<0,05	<0,5
07/02/2008	<0,05	<0,05	<0,5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,5
13/02/2008	<0,05	<0,05	<0,5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,5
19/02/2008	<0,05	<0,05	<0,5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,5
25/02/2008	<0,05	<0,05	<0,5	0,15	<0,05	0,21	19,8
03/03/2008	<0,05	<0,05	<0,5	<0,05	<0,05	<0,05	2,8
13/03/2008	<0,05	<0,05	<0,5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,5
17/03/2008	<0,05	<0,05	<0,5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,5
25/03/2008	<0,05	<0,05	<0,5	0,1	<0,05	0,52	27,0
01/04/2008	<0,05	<0,05	<0,5	-	<0,05	0,08	4,9
08/04/2008	<0,05	<0,05	<0,5	<0,05	<0,05	<0,05	4,4
14/04/2008	<0,05	<0,05	<0,5	<0,05	<0,05	<0,05	3,9
22/04/2008	<0,05	<0,05	<0,5	0,19	<0,05	0,07	<0,5
28/04/2008	<0,05	<0,05	0,8	<0,05	<0,05	0,61	35,0
07/05/2008	<0,05	<0,05	0,8	<0,05	<0,05	<0,05	1,8
13/05/2008	<0,05	0,12	0,7	<0,05	0,13	0,42	23,1
19/05/2008	<0,05	0,26	1,0	0,1	0,07	0,46	22,0
29/05/2008	<0,05	<0,05	<0,5	<0,05	0,06	0,68	29,2
02/06/2008	<0,05	<0,05	0,7	-	<0,05	0,25	12,0
09/06/2008	<0,05	<0,05	<0,5	<0,05	<0,05	0,45	22,4
16/06/2008	<0,05	<0,05	<0,5	<0,05	0,09	0,91	36,2
23/06/2008	<0,05	<0,05	0,5	0,08	0,05	0,55	24,9
30/06/2008	<0,05	<0,05	1,2	<0,05	<0,05	0,35	14,0
07/07/2008	<0,05	<0,05	0,7	<0,05	<0,05	0,28	11,0
15/07/2008	<0,05	0,05	1,2	0,07	0,11	0,52	21,1
21/07/2008	<0,05	<0,05	1,7	<0,05	0,18	0,41	19,3
29/07/2008	<0,05	<0,05	1,9	<0,05	0,17	0,62	32,0
04/08/2008	<0,05	<0,05	0,9	<0,05	<0,05	0,01	8,0
11/08/2008	<0,05	<0,05	1,9	0,18	0,07	0,98	41,5
18/08/2008	<0,05	<0,05	3,2	<0,05	0,19	0,71	34,5
25/08/2008	<0,05	<0,05	1,8	<0,05	0,08	0,56	25,5
02/09/2008	<0,05	<0,05	1,1	<0,05	0,17	0,57	27,7
08/09/2008	<0,05	<0,05	<0,5	<0,05	0,06	0,62	28,6
15/09/2008	<0,05	<0,05	0,9	<0,05	0,19	0,36	16,8
24/09/2008	<0,05	<0,05	0,5	<0,05	0,20	0,34	16,2
29/09/2008	<0,05	<0,05	0,8	<0,05	<0,05	0,59	23,8
08/10/2008	<0,05	<0,05	<0,5	<0,05	<0,05	0,31	19,3
14/10/2008	<0,05	<0,05	0,5	<0,05	<0,05	0,32	16,0
22/10/2008	<0,05	<0,05	<0,5	<0,05	0,05	0,21	10,5
29/10/2008	<0,05	<0,05	0,8	<0,05	0,14	0,08	4,6

Tableau 3.2 Dosages des bromo-phénols au point canal de rejet (valeurs en µg/L)

	2,4,6-tribromo-phénol	2,6-dibromo-phénol	2,4-dibromo-phénol	4-bromo-phénol	3-bromo-phénol	2-bromo-phénol
05/11/2007	2,6	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
03/12/2007	0,24	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
02/01/2008	1,5	1,3	0,42	2	2	2
13/02/2008	<001	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
03/03/2008	0,15	0,1	<0,05	<1	<1	<1
01/04/2008	<001	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
07/05/2008	0,08	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
09/06/2008	0,02	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
07/07/2008	0,04	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
11/08/2008	0,1	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
09/09/2008	0,08	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
14/10/2008	0,04	<0,05	<0,05	<1	<1	<1

Tableau 3.3. Campagnes pélagiques. Bactériologie (Vibrions par Litre) et chloration

Date	Point	Température (°C)	Vibrions (37° C/litre)							Haloformes			
			Vibrions totaux	<i>V. alginolyticus</i>	<i>V. cholerae</i> Neg	<i>V. damsela</i>	<i>V. fluvialis</i>	<i>V. vulnificus</i>	<i>V. parahaemolyticus</i>	<i>V. spp</i>	CHCl ₂ Br (µg/litre)	CHClBr ₂ (µg/litre)	CHBr ₃ (µg/litre)
29/05/08	Canal d'aménée	15,3	19	11			5		3		<0,05	<0,05	0,66
	Radeau	21,8	3 400	2 100			200		1 100		0,05	0,35	19,2
	Canal rejet	21,2	57 000	33 000				12 000	12 000		<0,05	0,25	12,0
	Contrôle	20,1	4 400	2 000		400	500			1 500	*	*	*
	Référence	14,8	58	30			18	10			<0,05	0,19	<0,5
29/09/08	Canal d'aménée	16,3	68	54				2	12		<0,05	<0,05	0,8
	Radeau	23,2	330	200				130			0,07	0,42	24,3
	Canal rejet	23,0	31 000	31 000							<0,05	0,59	23,8
	Contrôle	16,5	56	28					2	26	<0,05	0,20	12,9
	Référence	18,8	15	11			2			2	<0,05	<0,05	<0,5

* : Flacon cassé

Tableau 3.4 Bactériologie -mesures hebdomadaires au point canal d'aménée (vibrions/L)

Date	Température (°C)	Vibrions totaux/litre	<i>V. alginolyticus</i> /litre	<i>V. cholerae</i> nag - <i>fluviatilis</i>	<i>V. cholerae</i> Nag/litre	<i>V. damsela</i> /litre	<i>V. fluviatilis</i> /litre	<i>V. harveyi</i> /litre	<i>V. hollisae</i> /litre	<i>V. metschnikovii</i> /litre	<i>V. mimicus</i> /litre	<i>V. parahaemolyticus</i> /litre	<i>V. vulnificus</i> /litre	<i>V. spp.</i> /litre
05/11/07	12,6	34	9	0	6	0	0	0	0	0	0	18	0	1
14/11/07	10,3	98	58	2	2	2	26	0	0	0	0	8	0	0
19/11/07	10,0	18	9	0	7	1	0	0	0	0	0	0	1	0
28/11/07	8,9	15	8	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0
03/12/07	10,2	680	620	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0
13/12/07	8,3	280	160	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	70
19/12/07	6,4	24	16	0	0	0	6	0	0	0	0	0	2	0
27/12/07	7,7	16	12	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
02/01/08	7,1	46	36	0	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0
10/01/08	7,8	80	38	0	0	16	12	0	0	0	0	0	14	0
16/01/08	8,7	98	18	44	0	20	4	0	0	0	0	12	0	0
24/01/08	8,9	210	52	0	0	36	22	0	0	0	0	30	70	0
29/01/08	8,8	280	10	0	0	20	220	0	0	0	0	0	0	30
07/02/08	8,0	108	58	0	0	6	0	0	0	0	0	0	44	0
13/02/08	7,8	28	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	14
19/02/08	6,3	43	37	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0
25/02/08	8,8	36	32	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0
03/03/08	9,2	320	90	0	0	20	0	0	0	0	0	10	200	0
13/03/08	8,6	128	24	0	0	10	6	0	0	0	0	0	88	0
17/03/08	9,2	28	10	0	0	3	0	0	0	0	0	0	15	0
25/03/08	6,6	68	40	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	4
01/04/08	8,3	58	48	0	0	4	4	0	0	0	0	0	2	0
08/04/08	8,3	200	100	0	0	10	10	0	0	0	0	0	80	0
14/04/08	10,2	129	25	0	0	2	0	0	0	0	0	2	100	0
22/04/08	10,2	66	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	4
28/04/08	11,8	360	80	0	0	0	20	0	0	0	0	20	240	0
07/05/08	12,7	120	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50
13/05/08	15,2	130	90	0	0	0	20	0	0	0	0	0	20	0
19/05/08	14,3	78	49	0	0	0	23	0	0	0	0	3	3	0
29/05/08	15,3	19	11	0	0	0	5	0	0	0	0	3	0	0
02/06/08	15,7	44	12	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0
09/06/08	16,7	106	46	0	0	36	18	0	0	0	0	0	0	6
16/06/08	17,1	54	22	0	6	26	0	0	0	0	0	0	0	0
23/06/08	17,8	330	50	0	0	100	0	0	0	0	0	0	180	0
30/06/08	19,4	170	114	0	0	8	0	0	0	0	0	0	48	0
07/07/08	18,3	800	400	0	0	100	200	0	0	0	0	0	100	0
15/07/08	18,3	500	60	0	0	350	60	0	0	0	0	0	30	0
21/07/08	18,1	300	80	0	0	110	0	0	0	0	0	0	110	0
29/07/08	19,4	980	730	0	0	150	0	0	0	0	0	100	0	0
04/08/08	20,1	2 600	1 200	0	400	300	100	0	0	0	0	0	600	0
11/08/08	19,9	1 140	620	0	0	0	120	0	0	0	0	140	260	0
18/08/08	18,7	1 700	1 700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25/08/08	18,9	620	180	0	0	200	120	0	0	0	0	0	120	0
02/09/08	18,9	480	320	0	0	40	40	0	0	0	0	0	80	0
08/09/08	18,2	420	380	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0
15/09/08	17,7	140	120	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0
24/09/08	16,3	58	56	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
29/09/08	16,3	68	54	0	0	0	0	0	0	0	0	12	2	0
08/10/08	15,7	40	30	0	0	2	0	0	0	0	0	2	4	2
14/10/08	15,8	240	190	0	0	10	0	0	0	0	0	10	0	30
22/10/08	14,9	170	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	40
29/10/08	13,9	100	58	0	0	0	6	0	0	0	0	0	36	0

Tableau 3.5. Bactériologie - mesures hebdomadaires au point canal de rejet (vibrions/L)

Date	Température (°C)	Vibrions totaux /litre	<i>V. alginolyticus</i> /litre	<i>V. cholerae</i> nag - <i>fluviatilis</i>	<i>V. cholerae</i> Nag/litre	<i>V. damsela</i> /litre	<i>V. fluviatilis</i> /litre	<i>V. harveyi</i> /litre	<i>V. hollisae</i> /litre	<i>V. metschnikovii</i> /litre	<i>V. mimicus</i> /litre	<i>V. parahaemolyticus</i> /litre	<i>V. vulnificus</i> /litre	<i>V. spp.</i> /litre
05/11/07	23,5	380	160	140	20	0	40	0	0	0	0	0	20	0
14/11/07	21,4	262	50	0	32	110	0	0	0	0	0	70	0	0
19/11/07	20,3	25 000	24 000	0	0	0	1 000	0	0	0	0	0	0	0
28/11/07	19,2	3 600	2 500	0	200	100	700	0	0	0	0	100	0	0
03/12/07	16,9	6 700	3 800	0	600	0	700	0	0	0	0	1 400	200	0
13/12/07	18,3	7 700	6 500	0	0	0	400	0	0	0	0	0	800	0
19/12/07	17,1	1 900	1 700	0	0	100	0	0	0	0	0	100	0	0
27/12/07	18,5	3 400	3 400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02/01/08	17,6	760	520	0	0	20	120	0	0	0	0	100	0	0
10/01/08	18,9	12 100	12 100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16/01/08	18,6	4 100	1 300	0	0	500	1 000	0	0	0	0	1 300	0	0
24/01/08	20,5	2 900	2 200	0	0	0	0	0	0	0	0	100	600	0
29/01/08	19,7	6 000	1 400	0	0	0	200	0	0	0	0	600	900	2 900
07/02/08	18,8	5 400	1 300	0	0	300	600	0	0	0	0	800	1 200	1 200
13/02/08	19,8	1 000	660	0	0	0	100	0	0	0	0	100	140	0
19/02/08	18,8	2 600	1 700	0	0	0	100	0	0	0	0	200	0	600
25/02/08	19,9	1 500	800	0	0	0	600	0	0	0	0	100	0	0
03/03/08	17,4	5 200	2 600	0	0	0	1 100	0	0	0	0	0	1 000	500
13/03/08	19,3	8 100	6 200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 900	0
17/03/08	19,3	4 200	2 500	0	0	0	1 100	0	0	0	0	600	0	0
25/03/08	18,2	3 000	2 300	0	0	0	700	0	0	0	0	0	0	0
01/04/08	17,3	22 000	16 000	0	0	1 000	0	0	0	0	0	3 000	2 000	0
08/04/08	17,0	3 700	1 600	0	0	500	1 600	0	0	0	0	0	0	0
14/04/08	18,1	88 000	40 000	0	0	0	0	0	0	0	0	7 000	41 000	0
22/04/08	21,4	3 900	2 400	0	0	0	700	0	0	0	0	0	500	300
28/04/08	22,5	40 000	9 000	0	0	0	0	0	0	0	0	1 000	30 000	0
07/05/08	23,9	24 000	21 000	0	0	0	0	0	0	0	0	3 000	0	0
13/05/08	26,2	8 400	7 300	0	0	0	1 100	0	0	0	0	0	0	0
19/05/08	22,2	55 000	35 000	0	0	0	0	0	0	0	0	6 000	14 000	0
29/05/08	21,2	57 000	33 000	0	0	0	0	0	0	0	0	12 000	12 000	0
02/06/08	22,6	37 000	34 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3 000
09/06/08	26,8	24 000	12 000	0	0	0	4 000	0	0	0	0	1 000	7 000	0
16/06/08	24,1	35 000	31 000	0	0	0	4 000	0	0	0	0	0	0	0
23/06/08	27,7	14 000	6 000	0	0	0	1 000	0	0	0	0	2 000	5 000	0
30/06/08	27,3	79 000	72 000	0	0	5 000	0	0	0	0	0	0	2 000	0
07/07/08	29,1	170 000	120 000	0	0	0	20 000	0	0	0	0	0	30 000	0
15/07/08	27,3	340 000	300 000	0	0	0	20 000	0	0	0	0	0	20 000	0
21/07/08	23,5	140 000	110 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30 000	0
29/07/08	28,2	280 000	160 000	0	0	0	100 000	0	0	0	0	20 000	0	0
04/08/08	29,4	430 000	270 000	0	0	0	10 000	0	0	0	0	0	150 000	0
11/08/08	27,7	450 000	440 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10 000	0
18/08/08	27,9	200 000	150 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50 000	0
25/08/08	27,0	160 000	30 000	0	0	0	20 000	0	0	0	0	0	110 000	0
02/09/08	28,1	80 000	20 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20 000	40 000
08/09/08	26,7	94 000	92 000	0	0	0	2 000	0	0	0	0	0	0	0
15/09/08	24,8	300	240	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	10
24/09/08	24,3	23 000	20 000	0	0	0	0	0	0	0	0	3 000	0	0
29/09/08	23,0	31 000	31 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/10/08	23,1	23 000	16 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6 000	1 000
14/10/08	24,5	190 000	100 000	0	0	0	10 000	0	0	0	0	40 000	40 000	0
22/10/08	24,9	55 000	20 000	0	0	0	0	0	0	0	0	5 000	30 000	0
29/10/08	21,3	25 000	12 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7 000	6 000

4. PHYTOPLANCTON ET BIOMASSE CHLOROPHYLLIENNE

Auteurs : A. Lefèbvre, E. Antajan

Collaborateurs : P. Hébert, C. Blondel, V. Duquesne

4.1. Introduction

Le phytoplancton étant le premier maillon de la chaîne alimentaire, il est important de suivre son évolution dans les eaux marines. Les observations régulières en un même lieu montrent des variations d'abondance de grande amplitude au cours de l'année, chaque espèce ayant un cycle annuel qui lui est propre. On observe chaque année des proliférations algales ('blooms') sans qu'il soit toujours possible de prévoir la date et la durée du phénomène. Certaines espèces contiennent des toxines dangereuses pour l'homme, les coquillages ou les poissons. Dans les zones de climat tempéré, la croissance du phytoplancton peut être limitée par deux types de facteurs : les facteurs physiques (température, éclairage, turbulence, turbidité des masses d'eau...) et les facteurs nutritionnels (nitrates, phosphate, silicate...). Au cours des périodes post-automnales, la température et surtout l'ensoleillement diminuent, limitant la croissance du phytoplancton. Ceci permet la reconstitution des stocks de sels nutritifs par la minéralisation de la matière organique qui est favorisée par les apports fluviaux. A la fin de l'hiver, l'abondance des sels nutritifs, l'allongement des jours, de l'ensoleillement et le réchauffement progressif de l'eau sont favorables au développement du phytoplancton. Dans le secteur côtier non soumis à des apports terrigènes significatifs, les sels nutritifs sont consommés par le phytoplancton, ce qui diminue leur concentration. Pendant la période estivale, on observe les dinoflagellés, dont la croissance et les besoins nutritionnels sont moindres. Une efflorescence accessoire de diatomées peut intervenir en automne.

4.2. Méthodologie

4.2.1. Stratégie de prélèvements du phytoplancton

Le phytoplancton et la biomasse chlorophyllienne sont habituellement suivis lors des campagnes de prélèvements hydrologiques du printemps et de l'automne. Ils permettent de comparer les valeurs des prélèvements aux points *prise* (canal d'amenée), *rejet* (canal de rejet) et *contrôle* (situé dans la tache thermique). Ces 3 points sont comparés à un point *référence* éloigné de la centrale et caractéristique du milieu marin hors influence de la centrale.

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

Les prélèvements d'eau se font en surface à l'aide d'un seau. Pour la mesure des pigments chlorophylliens un litre d'eau est conservé au frais et à l'abri de la lumière. Pour connaître la composition spécifique et l'abondance du phytoplancton cent ml d'eau environ, sont fixés au lugol (2,5 ml/L).

4.2.2. Mesure des pigments chlorophylliens

La méthode de Lorenzen (1967¹) est appliquée pour définir les concentrations en chlorophylle *a* et en phéopigments qui sont respectivement des indicateurs de la biomasse et de la qualité phytoplanctonique. Les échantillons d'eau de un litre sont filtrés sur des filtres en fibre de verre Whatman GF/C de 47 mm. Les pigments chlorophylliens concentrés sur ces filtres sont ensuite extraits dans un solvant (acétone à 90 %). Après centrifugation de 20 minutes à 6000 tr/mn,

¹ Lorenzen C.J., 1967. Determination of chlorophyll and pheopigments : spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.*, 12 : 343-346

l'absorbance du surnageant est mesurée par spectrophotométrie à 665 et 750 nm, ce qui permet d'obtenir le taux de chlorophylle *a* (son pic d'absorbance se situe à 665 nm). Le surnageant est acidifié (par de l'acide chlorhydrique, 0,3 mol/L) et la quantité de phéopigments est alors déterminée en mesurant l'absorbance aux mêmes longueurs d'onde. Les concentrations des deux paramètres sont exprimées en mg/m³ (précision ± 0,01).

4.2.3. Composition spécifique et dénombrement du phytoplancton

Un volume de 10 ml, prélevé dans les échantillons d'eau fixé au lugol, est mis à décanter pendant au moins 12 heures dans une cuve de sédimentation, selon la méthode d'Utermöhl (1958¹). La caractérisation spécifique du phytoplancton et leur dénombrement s'effectuent au moyen d'un microscope inversé IX-51 Olympus (× 40 à × 600). Un minimum de 100 cellules sont dénombrées afin d'obtenir une précision d'au moins ± 20 % (Lund, 1958²). Les résultats sont exprimés en nombre de cellules par litre.

4.3. Chlorophylle *a* et phéopigment au canal d'amenée

La chlorophylle *a* est un indicateur de la biomasse phytoplanctonique et les phéopigments constituent un indicateur qualitatif de l'état physiologique des cellules phytoplanctoniques, de la composition du phytoplancton et des interactions entre le phytoplancton et le zooplancton (phénomène de broutage).

La période de surveillance 2007-2008 s'est caractérisée par une concentration comprise entre 1,50 et 39,65 mg/m³ (maxima de 25,43 et 15,49 mg/m³ lors des périodes précédentes, illustrant la forte variabilité interannuelle) (figure 4.1 et annexe 1).

La concentration fut classiquement faible entre novembre 2007 et le début du mois de février 2008. Un développement précoce de biomasse phytoplanctonique a été observé le 19 février (15,40 mg/m³). Le bloom principal s'est produit au mois d'avril lors duquel la concentration a atteint 39,65 mg/m³ (le 14 avril) puis a diminué progressivement jusqu'à la mi-mai (concentrations inférieures à 6 mg/m³). Des développements relativement importants de biomasse se sont produits le 23 juin (9,64 mg/m³) et le 7 juillet (10,66 mg/m³). Le reste de la période s'est caractérisé par des valeurs de concentration inférieures à 7 mg/m³, sauf le 24 septembre (11,23 mg/m³; figure 4.1). Ce type de bloom dit automnal est caractéristique des systèmes tempérés mais n'est pas systématique.

(Voir le paragraphe 4.3.2. pour l'identification des taxons phytoplanctoniques responsables de ces augmentations de biomasse).

¹ Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitt. Int. Ver. Limnol., 9: 1-38

² Lund, J.W.G., KIPLING, C., LE CREN, E.D. 1958. The inverted microscope method of estimating algal number and the statistical basis of estimations by counting. Hydrobiologia 11: 143-178

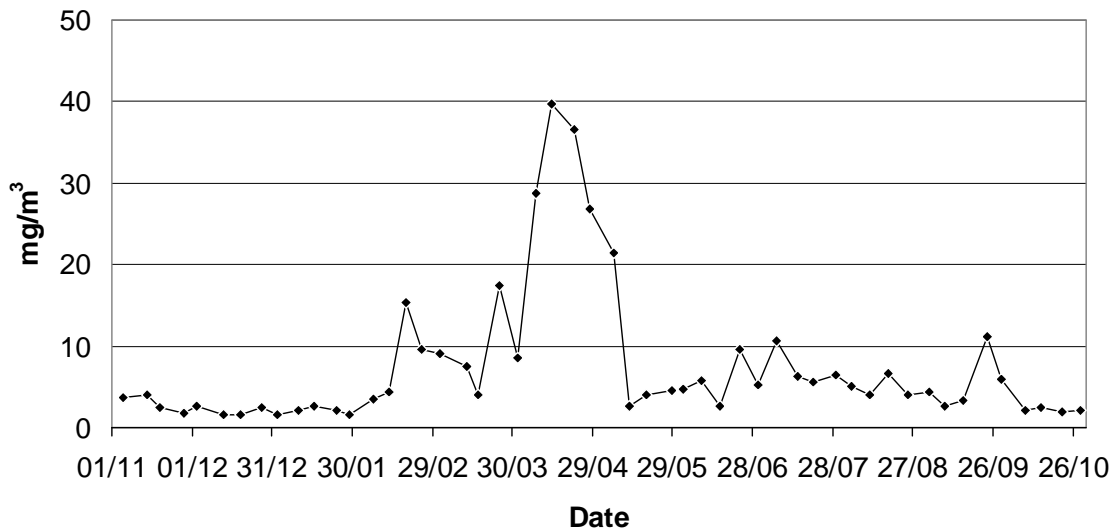


Figure 4.1 Évolution des concentrations de surface en chlorophylle *a* (mg/m^3) au point *prise* au cours de la période 2007-2008

Le pourcentage de chlorophylle active (rapport de la concentration en chlorophylle *a* sur la concentration en chlorophylle *a* et phéopigments) est un indicateur de l'état physiologique des cellules phytoplanctoniques, de la composition du phytoplancton et des interactions entre le phytoplancton et le zooplancton herbivore.

Au point *prise*, ce pourcentage a évolué entre 51 et 100 au cours de la période de surveillance 2007-2008 (figure 4.2. et annexe 1). Le minimum absolu a été observé en octobre 2008. Il reflète le minimum d'activité chlorophyllienne classiquement observé en cette période hivernale. Le maximum a été mesuré au mois d'avril 2008 (période du bloom principal) (figure 4.2. et annexe 1). Globalement, l'activité chlorophyllienne a été plus soutenue de février à juillet (valeurs supérieures à 80 %).

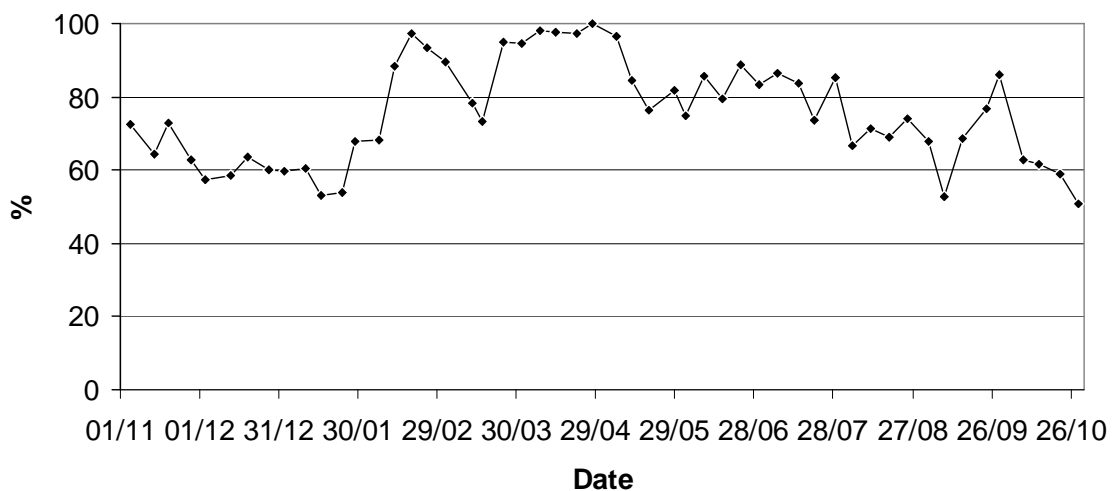


Figure 4.2 Évolution du pourcentage de chlorophylle active au point *prise* au cours de la période 2007-2008

4.4. Phytoplancton

4.4.1. Abondance, composition du phytoplancton au point prise

Lors du cycle de surveillance mis en œuvre entre novembre 2007 et octobre 2008, l'abondance phytoplanctonique globale a évolué entre 9 300 et plus de 4.10^7 cellules par litre (2 500 et $1,35.10^7$ cellules par litre lors du cycle précédent) au point *prise* (figure 4.3). Les valeurs étaient de l'ordre de quelques milliers de cellules par litre entre novembre 2007 et le début du mois de février 2008. Les concentrations les plus importantes ont été relevées au cours du mois d'avril et du mois de mai (plusieurs millions de cellules par litre en raison de la présence de *Phaeocystis globosa* – voir sections suivantes). Elles sont demeurées élevées pour le reste de l'année (globalement quelques centaines de milliers de cellules par litre).

La proportion des différents taxons évolue au cours d'un cycle biologique. Les principales classes phytoplanctoniques échantillonnées au cours du cycle 2007–2008 étaient celles des chlorophycées, des chrysophycées, des cryptophycées, des diatomées, des dictyochophycées, des dinoflagellées, des prasinophycées, des prymnésiohycées et des raphidophycées.

Les diatomées, en période de non-prolifération de *Phaeocystis*, ont dominé le compartiment phytoplanctonique.

Le genre *Phaeocystis* a été observé de début mars à la fin du mois de mai. Ce taxon a été observé en forte concentration ($> 10^6$ cellules par litre) dans les échantillons de la fin du mois de mars au mois de mai 2008. L'abondance maximale a été observée le 22 avril avec 40 020 250 cellules par litre (maximum de 13 318 656 cellules par litre le 23 avril 2007).

4.4.2. Indice de SANDERS

4.4.2.1. Principe

L'indice biologique d'une espèce est l'addition des rangs occupés par cette espèce pour toutes les dates (dates auxquelles l'espèce a été dénombrée). Le rang de l'espèce pour une date donnée est fonction de sa dominance par rapport à celles des autres espèces présentes.

L'indice biologique est calculé selon la méthode de Sanders (1960¹). Pour chaque date, les espèces sont classées en fonction de leur abondance. La plus abondante, donc la plus dominante à cette date, est notée 10. La seconde 9, la troisième 8 jusqu'à la dixième 1, les suivantes étant notées 0. Ainsi pour chaque date, 10 espèces sont classées. Pour chaque espèce, les notes obtenues à toutes les dates sont additionnées et leur somme correspond à l'indice de Sanders rencontré dans les tableaux de résultats. Guille (1970²) propose la classification biocénotique suivante des espèces, en fonction de la valeur de l'indice de SANDERS, pour un site donné :

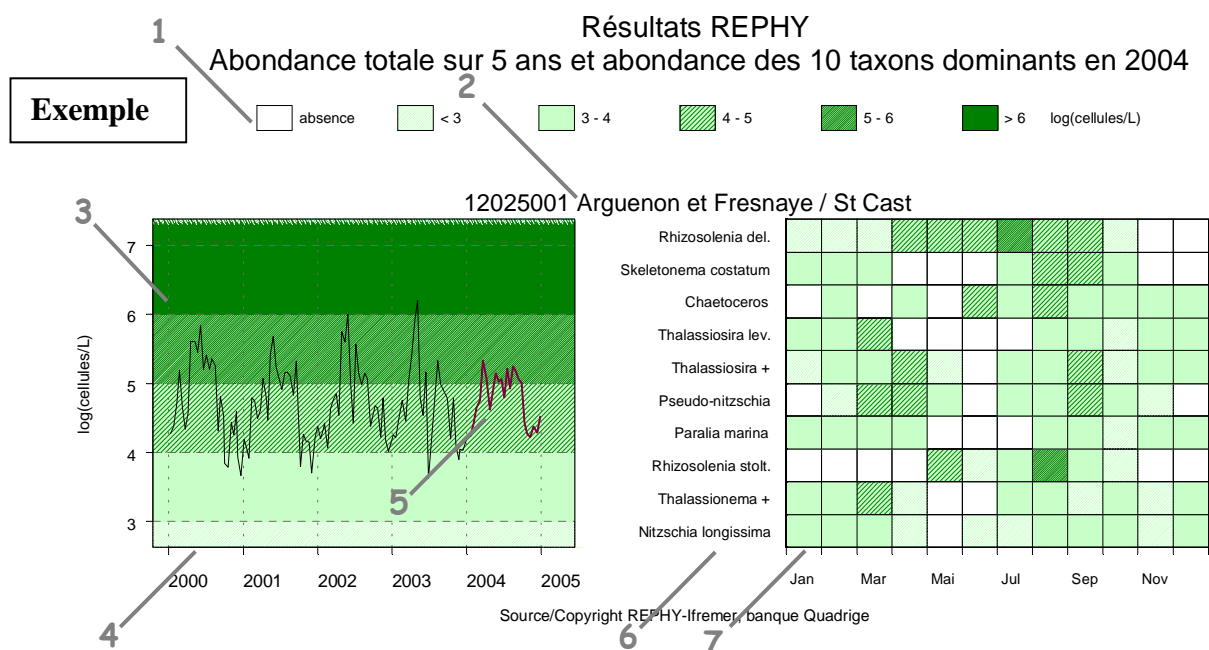
- Les espèces classées dans les dix premières sont appelées espèces préférantes du site.
- Les espèces classées dans les dix suivantes sont les espèces accompagnatrices du site.
- Les espèces dont l'indice de SANDERS est égal à 0 sont dites accessoires du site.

¹ Sanders, H.L., 1960. Benthic studies in Buzzards Bay III. The structure of the soft-bottom community. Limnology and Oceanography, Vol. 5 (2): 138-153

² Guille, A, 1970. Bionomics of the benthos of the continental plateau of the French Catalan coast. II. The macrofauna communities. Vie Milieu (B). Vol. 21, (I-B): 149-280

Les 10 taxons dominants, ou préférants, pour le point *prise* et par trimestre pour l'année considérée sont représentés dans un tableau qui indique une classe d'abondance. Ces taxons sont ordonnés de haut en bas en fonction de leur indice de Sanders. Le taxon en première ligne est jugé le plus caractéristique du point pour l'année considérée. Lorsque différentes classes phytoplanctoniques sont mentionnées dans le tableau, les diatomées sont libellées en bleu foncé, les dinoflagellés en magenta, les cryptophycées en bleu vif, les prymnésiofycées en vert et les autres espèces en noir. Au cours de ce cycle d'étude, seules des diatomées ont été mises en évidence dans les dix premiers rangs.

Un graphique de flores totales sur 5 ans est systématiquement associé à un tableau présentant les 10 taxons dominants de la dernière année, afin de décrire la diversité floristique du point.



- 1 Légende. Les chiffres correspondent à la puissance de 10 du dénombrement ; par exemple, « 3-4 » indiquent des valeurs comprises entre 10³ et 10⁴, soit entre 1 000 et 10 000 cellules par litre.
- 2 Point (identifiant) Site (libellé) / Point (libellé).
- 3 Somme des taxons dénombrés dans les flores totales (sauf ciliés).
L'étendue de l'échelle verticale est commune à tous les graphiques.
L'unité est exprimée en « log(cellules/L) ». Par exemple, « 6 » indique 10⁶, soit un million de cellules par litre
- 4 La période d'observation s'étend du 01/10/2000 au 31/10/2005.
- 5 Les observations de l'année 2005 sont mises en relief au moyen d'une couleur rouge.
- 6 Les 10 taxons dominants, de l'année 2005 pour ce point, sont représentés dans un tableau qui indique la classe d'abondance par mois.
Le libellé des taxons est placé en en-tête de ligne (ce sont des libellés abrégés, les libellés exacts, ainsi que leur classe, sont indiqués dans le tableau des taxons dominants).
Ces taxons sont ordonnés de haut en bas en fonction de leur indice de Sanders (le taxon en première ligne est jugé le plus caractéristique du point pour l'année 2005).
- 7 Les mois de l'année 2005 sont placés en en-tête de colonne.

4.4.2.2. Résultats

Le calcul de l'indice de Sanders confirme la dominance des diatomées au niveau du compartiment phytoplanctonique échantillonné au point *prise* (tableau 4.1). La partie droite de la figure 4.3 permet de visualiser les variations saisonnières des taxons préférants du site. Contrairement à la période de surveillance précédente, le genre *Phaeocystis* apparaît dans la liste des espèces préférantes à l'échelle de l'année pour ce cycle de surveillance. *Phaeocystis* apparaît comme le septième taxon préférant avec une abondance particulièrement importante entre mars et mai.

Certaines espèces vont contribuer de manière très significative à la biomasse estimée grâce à la mesure de la concentration en chlorophylle *a* (paragraphe 4.2.). Ce type de relation entre abondance et biomasse chlorophyllienne ne tient pas compte de la taille des cellules qui peut être un facteur déterminant : un grand nombre de petites cellules peut correspondre à une biomasse chlorophyllienne aussi importante qu'un nombre moins important de grosses cellules. Les gammes de taille pour une espèce donnée disponibles dans la littérature sont relativement importantes et ne permettent pas, en l'état actuel des informations disponibles d'approfondir ce type d'approche. A titre d'information, le ou les taxons dont l'abondance cellulaire est maximale ou très forte par rapport aux autres lors de certains maxima de concentration en chlorophylle *a* sont présentés ci-dessous :

- maximum de chlorophylle *a* du 19/02/2008 :

Skeletonema costatum (120 149 cellules par litre) ; *Chaetoceros* (57 882 cellules par litre) ; *Thalassiosira rotula* (41 219 cellules par litre)

- maximum de chlorophylle *a* du 25/03/2008 :

Phaeocystis globosa (6 345 360 cellules par litre)

- maximum de chlorophylle *a* du 08/04/2008 :

Phaeocystis globosa (2 772 000 cellules par litre)

- maximum de chlorophylle *a* du 14/04/2008 :

Phaeocystis globosa (17 870 000 cellules par litre)

- maximum de chlorophylle *a* du 22/04/2008 :

Phaeocystis globosa (40 020 250 cellules par litre)

- maximum de chlorophylle *a* du 28/04/2008 :

Phaeocystis globosa (22 040 000 cellules par litre)

- maximum de chlorophylle *a* du 07/05/2008 :

Phaeocystis globosa (9 156 576 cellules par litre)

- maximum de chlorophylle *a* du 23/06/2008 :

Rhizosolenia imbricata + *styliformis* (78 053 cellules par litre) ; *Chaetoceros* (18 417 cellules par litre) ; *Asterionellopsis glacialis* (11 401 cellules par litre)

- maximum de chlorophylle *a* du 07/07/2008 :

Guinardia delicatula (245 560 cellules par litre) ; *Chaetoceros didymus* + *protuberans* (107 871 cellules par litre) ; *Chaetoceros curvicetus* + *debilis* + *pseudocurvicetus* (61 390 cellules par litre) ; *Chaetoceros* sp. (42 973 cellules par litre)

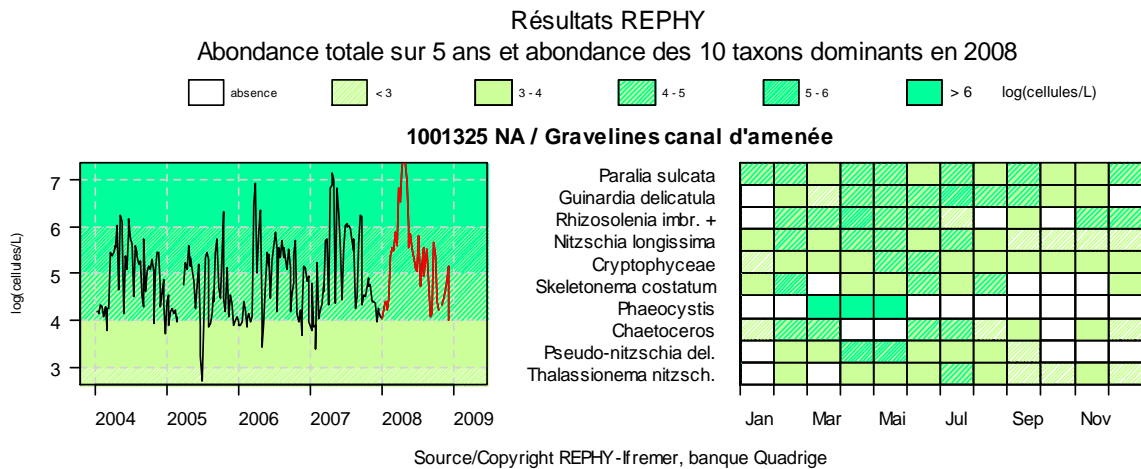


Figure 4.3. Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2004 et 2008 et classement des 10 taxons dominants (Indice de Sanders) par mois au point prise

Tableau 4.1 Liste des taxons dominants pour la période 2007-2008 au points prise, rejet, contrôle et référence REPHY - Taxons dominants - signification des libellés

Intitulé graphe	Intitulé Quadrige	Classe
Cryptophyceae	<i>Cryptophyceae</i>	<i>Cryptophyceae</i>
Chaetoceros	<i>Chaetoceros</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Guinardia delicatula	<i>Guinardia delicatula</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Nitzschia longissima	<i>Nitzschia longissima</i> 0	<i>Diatomophyceae</i>
Paralia sulcata	<i>Paralia sulcata</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Pseudo-nitzschia del.	<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Rhizosolenia imbr. +	<i>Rhizosolenia imbricata + styliformis</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Skeletonema costatum	<i>Skeletonema costatum</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Thalassionema nitzsch.	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Phaeocystis	<i>Phaeocystis</i>	<i>Prymnesiophyceae</i>

4.4.3. Indice de SHANNON

4.4.3.1. Principe

La diversité des éléments d'une communauté est une « qualité » qui s'impose d'emblée à l'analyse. En fait, la notion recouvre deux aspects :

- (1) le nombre de catégories d'éléments : nombre de taxons distincts ; on dénombre couramment les espèces (on parlera alors de *diversité spécifique*), dans d'autres cas les genres (*diversité générique*), etc.
- (2) la régularité : façon plus ou moins égale ou inégale selon laquelle les individus, pour un nombre de catégories (par exemple espèces) donné, se répartissent entre celles-ci.

La seconde notion est plus élaborée que le simple « nombre d'espèces ». Elle correspond cependant à l'intuition courante : si, parmi les espèces dénombrées, l'une d'entre elles (ou un très petit nombre) représente la plus grande partie des individus recensés, les autres étant beaucoup plus rares, on tend à dire que la communauté est « peu diversifiée ». Si au contraire on rencontre un grand nombre d'espèces moyennement abondantes, on tend à qualifier la communauté de « très diversifiée ».

L'indice de diversité, retenu ici pour caractériser la diversité spécifique, est l'indice de Shannon, noté H.

$$H = - \sum P_i \log_2(P_i)$$

avec P_i , la fréquence de l'espèce i dans l'échantillon, soit $P_i = (N_i / N)$

N_i est l'effectif de l'espèce i dans l'échantillon et N l'effectif total ($\sum N_i = N$).

L'indice de diversité donne une information synthétique sur la richesse spécifique et l'équilibre du peuplement considéré. Toutefois, il dépend à la fois du nombre d'espèces et de leurs abondances relatives, donc une faible valeur peut traduire deux situations différentes :

- quand le nombre d'espèces est faible,
- quand le nombre d'espèces est élevé, mais quelques espèces dominent.

Il est généralement admis que la diversité est faible lorsque l'indice de Shannon est proche de 0,5. On dit qu'elle est forte lorsque l'indice est voisin de 6.

4.4.3.2. Résultats

L'indice de Shannon a évolué entre 0,06 et 4,00 au canal d'amenée au cours de cette période de surveillance (entre 0,16 et 3,81 lors de la période précédente) (figure 4.4 et annexe 1).

Les plus forts indices sont le reflet d'une communauté phytoplanctonique plus ou moins diversifiée avec des taxons équi-dominants. Ce schéma s'applique de novembre 2007 à février 2008 puis de juin à octobre 2008.

Les minima sont le reflet de la dominance d'un ou plusieurs taxons de la communauté échantillonnée (figure 4.4 et annexe 1). La chute de l'indice observée le 16 janvier 2008 était liée à la prolifération de la diatomée *Paralia sulcata* (20 400 cellules par litre). L'indice était particulièrement faible de mars à mai, période de dominance de la prymnésiofycée *Phaeocystis globosa* (plusieurs millions de cellules par litre ; voir section 4.3.2.) sur le reste de la communauté phytoplanctonique (diatomées notamment ; quelques centaines de milliers de cellules par litre).

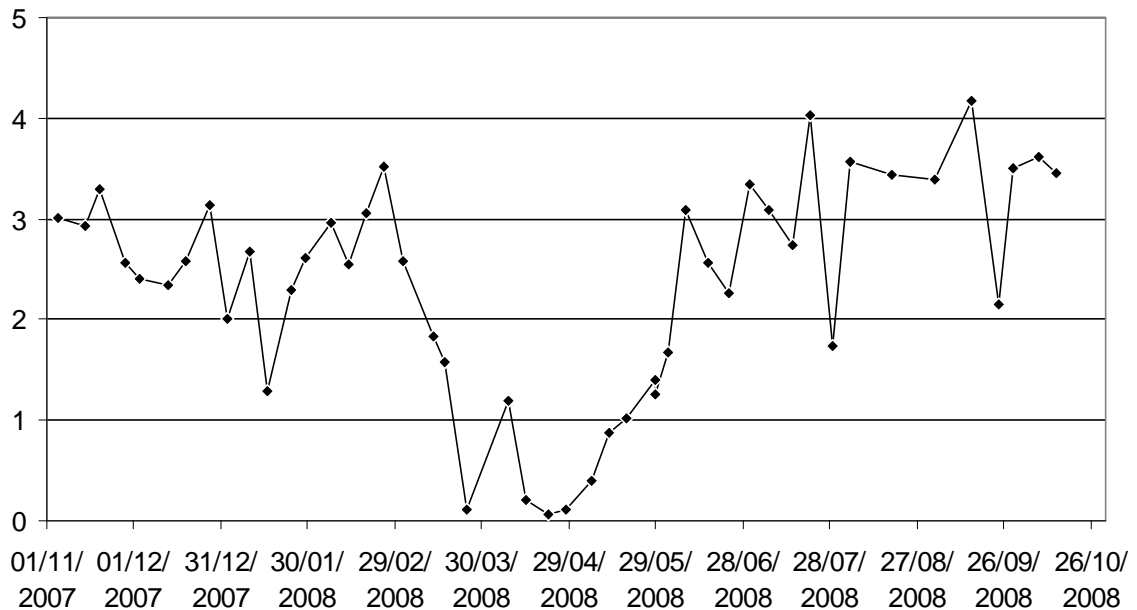


Figure 4.4 Évolution de l'indice de Shannon au point *prise* au cours de la période 2007-2008

4.5. Campagnes pélagiques

Les campagnes pélagiques se caractérisent par un échantillonnage au niveau des 4 points de surveillance et ont eu lieu le 29 mai et le 29 septembre 2008.

Pour les points *prise* et *rejet*, les prélèvements ne concernent que la sub-surface alors qu'ils sont réalisés au fond et en surface pour le point *contrôle* et au fond, à mi-profondeur et en surface pour le point *référence*.

4.5.1. Chlorophylle *a* & phéopigments

Lors de la campagne du 29 mai, la différence de concentration en chlorophylle *a* entre le rejet et la prise était de $1,4 \text{ mg/m}^3$ (figure 4.5 et annexe 2). La différence de concentration entre la surface et le fond était, comme lors des périodes de surveillance précédentes (et par définition au regard de la stratégie mise en place pour une étude des gradients spatiaux), plus marquée au point *contrôle* ($\Delta = -1,9 \text{ mg/m}^3$) qu'au point *référence* ($\Delta = -0,3 \text{ mg/m}^3$).

En septembre, la différence de concentration en chlorophylle *a* entre le *rejet* et la *prise* était du même ordre de grandeur qu'en mai mais de signe opposé ($-1,5 \text{ mg/m}^3$). Ce résultat met en évidence (i) l'hétérogénéité de la distribution des communautés phytoplanctoniques (d'où un contenu pigmentaire différent) ainsi que (ii) la limite d'une telle approche amont-aval (problème de couplage des sorties dites Terre (*prise* et *rejet*) ou Mer (*contrôle*, *référence*) en raison des modalités d'accès au site), puisque le passage de l'eau de mer dans le système ne peut aboutir à une création de biomasse. Le gradient entre la surface et le fond est légèrement plus important au point *contrôle* ($\Delta = -0,8 \text{ mg/m}^3$) qu'au point *référence* ($\Delta = -0,5 \text{ mg/m}^3$).

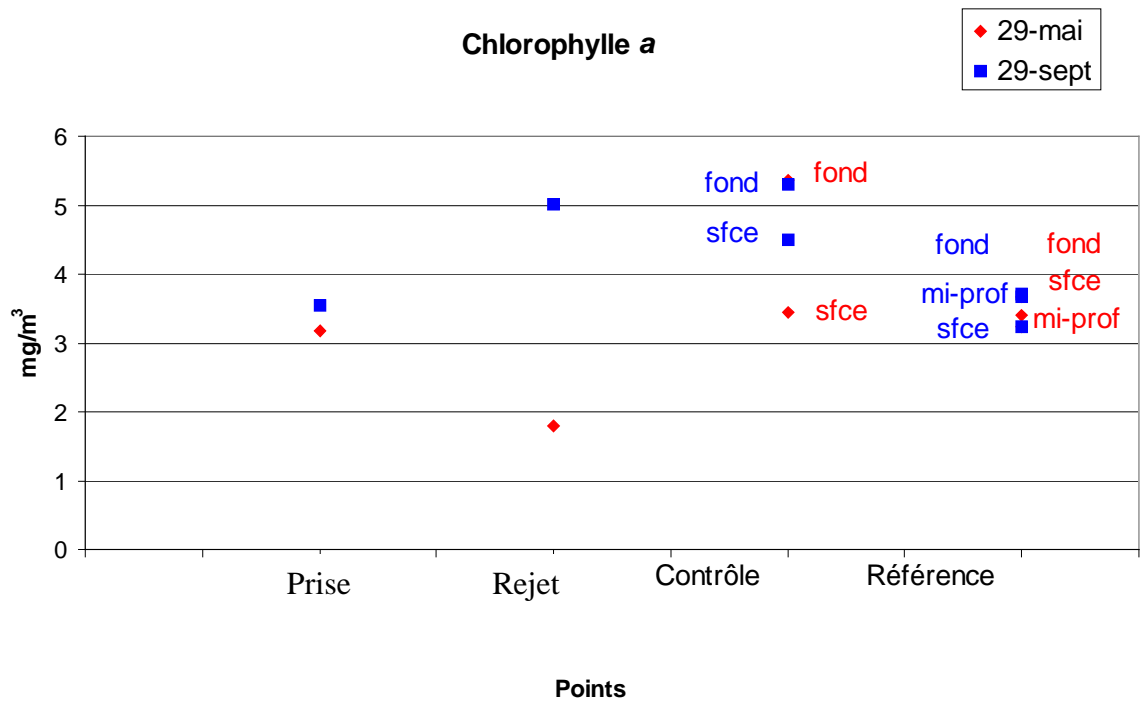


Figure 4.5 Évolution spatiale de la concentration en chlorophylle a (mg/m^3) au cours de la période 2007-2008

Le schéma de distribution de la proportion de chlorophylle active entre les points était globalement le même lors des deux campagnes. On a observé une différence du pourcentage de chlorophylle active entre la *prise* et le *rejet* de $-8,0\%$ et de $+1,8\%$, respectivement, en mai et septembre 2008 (ces différences étaient de $19,7\%$ et $27,0\%$, respectivement, en mai et en septembre 2007) (figure 4.6 et annexe 3). Les différences, en valeur absolue, étaient sensiblement les mêmes entre la *prise* et le point *contrôle* ainsi qu'entre la *prise* et le point *référence* en mai (de l'ordre de 10%). La différence était plus marquée entre le point *prise* et le point *référence* qu'entre le point *prise* et le point *contrôle* en septembre. Les différences entre la surface et le fond aux points *contrôle* et *référence* étaient plus marquées en mai qu'en septembre.

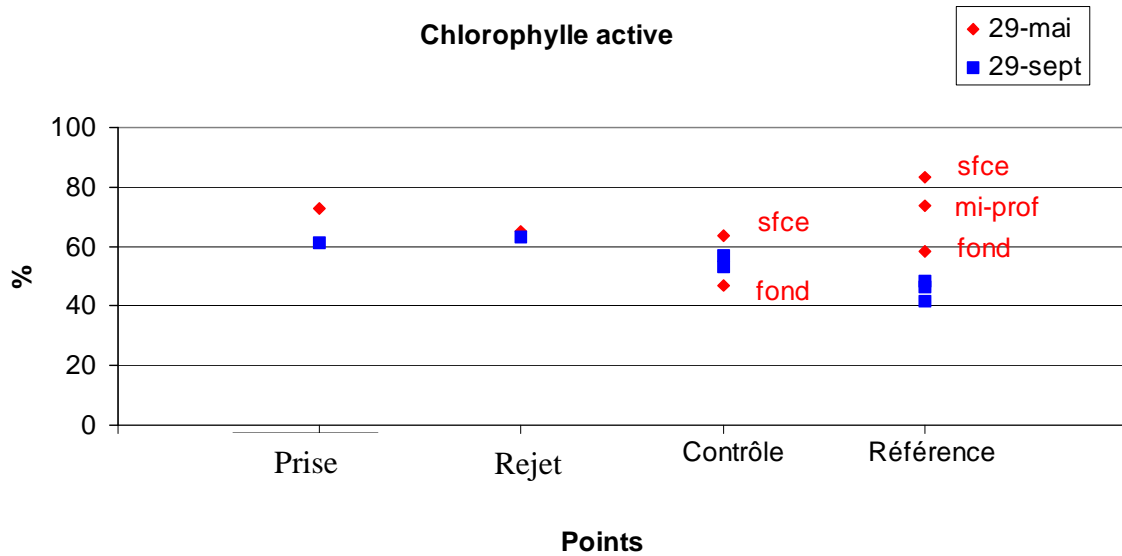


Figure 4.6 Évolution spatiale du pourcentage de chlorophylle active au cours de la période 2007-2008

4.5.2. Phytoplancton

Lors de la campagne du 29 mai, le nombre de taxons identifiés en surface au niveau des 4 points de surveillance était compris entre 15 et 18 (entre 19 et 27 ou entre 11 et 17 lors des campagnes printanières de 2007 ou de 2006) (tableau 4.2). Le 29 septembre, 28 ou 29 taxons ont été répertoriés (l'échantillon au *rejet* n'étant pas disponible, cet intervalle était moins important que lors des périodes précédentes. Il est fort probable que le nombre de taxons soit inférieur à 28 pour ce point).

Tableau 4.2 Évolution spatiale du nombre total d'espèces phytoplanctoniques en surface lors des campagnes pélagiques du 29 mai et du 29 septembre 2008. Le prélèvement au rejet pour le 29/09 n'est pas disponible.

Campagnes	Points			
	<i>Prise</i>	<i>Rejet</i>	<i>Contrôle</i>	<i>Référence</i>
29 mai 2008	18	15	18	15
29 septembre 2008	28	Non Disp.	29	28

Les diatomées dominaient la communauté phytoplanctonique quel que soit le point considéré lors de ces campagnes. Par ailleurs, cette communauté était également constituée de cryptophycées et de dinoflagellés. Les autres classes couramment observées sur le site (Chlorophycées, Chrysophycées, Dictyochophycées, Prasinophycées, Prymnésiophycées) étaient peu représentées ou absentes lors de ces campagnes.

Les taxons contribuant significativement (plusieurs milliers de cellules par litre) à l'abondance totale lors des campagnes pélagiques du 29 mai 2008 et du 29 septembre 2008 sont présentés dans le tableau 4.3

Les différences au niveau du nombre de taxons et la différence de représentativité des familles phytoplanctoniques entre les différents points reflètent davantage une différence de communautés phytoplanctoniques entre la côte et le large et/ou entre la surface et le fond liée aux conditions hydrodynamiques lors des prélèvements (contraintes techniques qui entraîne un étalement de la

campagne d'échantillonnage sur plusieurs heures) qu'une conséquence quelconque du fonctionnement de la centrale.

Tableau 4.3 Taxons présentant les plus fortes abondances (seuils arbitraires et liste par ordre décroissant d'abondance) lors des campagnes pélagiques du 29 mai et du 29 septembre 2008 (pour comparaison qualitative uniquement).

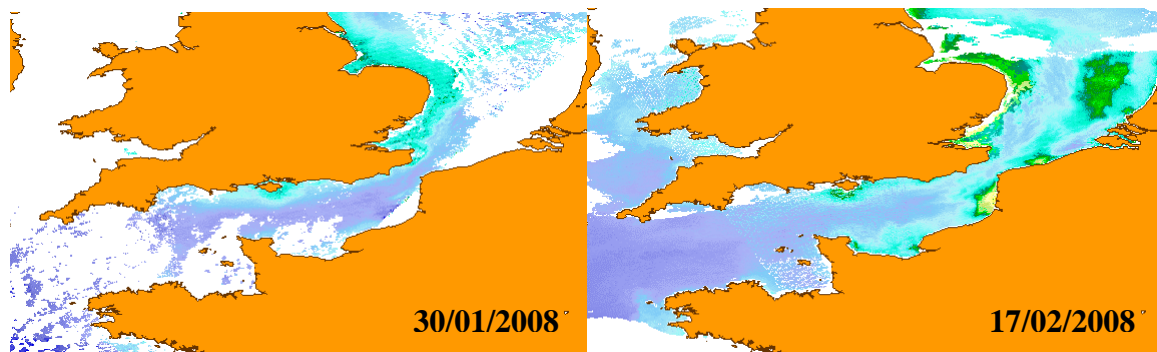
Points / date	29 mai 2008	29 septembre 2008
Prise	<i>Leptocylindrus danicus</i> + <i>curvatulus</i> , <i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> , <i>Guinardia delicatula</i> , <i>Pseudo-nitzschia seriata</i> , <i>Rhizosolenia imbricata</i> + <i>styliformis</i>	<i>Eucampia zodiacus</i> , <i>Leptocylindrus danicus</i> , <i>Rhizosolenia imbricata</i> , <i>Paralia sulcata</i> , <i>Guinardia delicatula</i> , <i>Meuniera membranacea</i> , <i>Odontella sinensis</i> , <i>Thalassiosira rotula</i>
Rejet	<i>Leptocylindrus danicus</i> + <i>curvatulus</i> , <i>Guinardia delicatula</i> ,	Echantillon Non Disponible
Contrôle surface	<i>Leptocylindrus danicus</i> + <i>curvatulus</i> , <i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> , <i>Guinardia delicatula</i> , <i>Skeletonema costatum</i> ,	<i>Eucampia zodiacus</i> , <i>Asterionellopsis glacialis</i> , <i>Paralia sulcata</i> , <i>Leptocylindrus danicus</i> , <i>Lauderia</i> + <i>Schroederella</i> , <i>Guinardia delicatula</i>
Contrôle fond	<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> , <i>Leptocylindrus danicus</i> + <i>curvatulus</i> , <i>Guinardia delicatula</i> , <i>Skeletonema costatum</i> , <i>Paralia sulcata</i> , <i>Scenedesmus sp.</i>	<i>Eucampia zodiacus</i> , <i>Rhizosolenia imbricata</i> + <i>styliformis</i> , <i>Asterionellopsis glacialis</i> , <i>Leptocylindrus danicus</i> , <i>Pseudo-nitzschia sp.</i> , <i>Lauderia</i> + <i>Schroederella</i>
Référence surface	<i>Leptocylindrus danicus</i> + <i>curvatulus</i> , <i>Guinardia delicatula</i> , <i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> , <i>Skeletonema costatum</i> ,	<i>Eucampia zodiacus</i> , <i>Asterionellopsis glacialis</i> , <i>Guinardia delicatula</i> , <i>Leptocylindrus minimus</i> , <i>Chaetoceros socialis</i> + <i>socialis f. radians</i>
Référence mi-profondeur	<i>Leptocylindrus danicus</i> + <i>curvatulus</i> , <i>Guinardia delicatula</i> , <i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> , <i>Skeletonema costatum</i> , <i>Rhizosolenia imbricata</i> + <i>styliformis</i> , <i>Dactyliosolen fragilissimus</i> , <i>Scenedesmus sp.</i>	<i>Eucampia zodiacus</i> , <i>Paralia sulcata</i> , <i>Guinardia delicatula</i> , <i>Leptocylindrus minimus</i> , <i>Lauderia</i> + <i>Schroederella</i> , <i>Pseudo-nitzschia sp.</i> , <i>Rhizosolenia imbricata</i> + <i>styliformis</i> , <i>Meuniera membranacea</i>
Référence fond	<i>Leptocylindrus danicus</i> + <i>curvatulus</i> , <i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> , <i>Guinardia delicatula</i> , <i>Skeletonema costatum</i> , <i>Scenedesmus sp.</i> , <i>Rhizosolenia sp.</i> ,	<i>Eucampia zodiacus</i> , <i>Guinardia delicatula</i> , <i>Pseudo-nitzschia sp.</i> , <i>Paralia sulcata</i> , <i>Leptocylindrus minimus</i>

4.6. Dynamique de développement du phytoplancton à méso-échelle

Afin d'appréhender la dynamique des efflorescences phytoplanctoniques à une échelle moins régionale, un certain nombre d'images satellites ont été extraites de l'interface web Ifremer Nausicaa (NAvigating throUgh Satellite and In situ data over loCAL Areas). Ces images correspondent à une représentation de l'estimation de la concentration en chlorophylle *a* à partir de paramètres optiques acquis par le capteur SeaWIFS (Gohin *et al.*, 2002¹ ; Gohin *et al.*, 2008²).

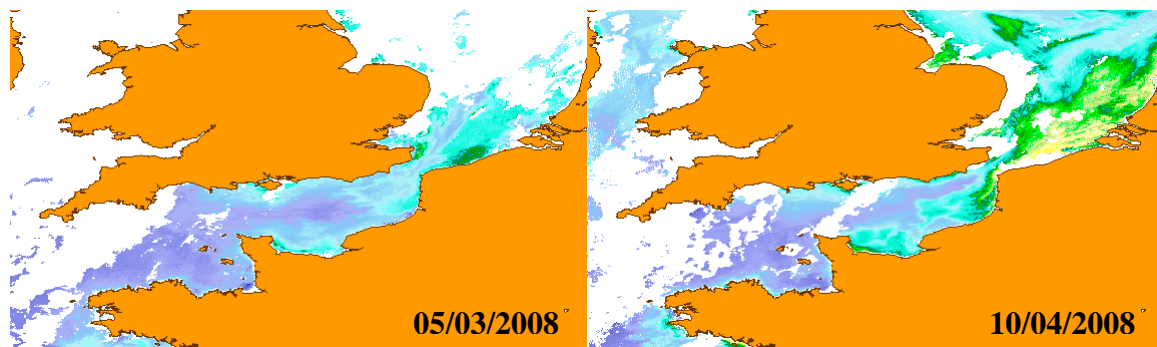
Au mois de janvier, les concentrations en chlorophylle étaient faibles.

A la mi-février, on observait une augmentation de la concentration en chlorophylle *a* au niveau de la Belgique, du Pas-de-Calais et de la côte est de l'Angleterre. Ce développement phytoplanctonique gagnait le large des estuaires des Pays-Bas.



Au début du mois de mars, la biomasse phytoplanctonique était localisée au niveau de la Belgique.

Dès le mois d'avril, on observait une augmentation de la concentration en chlorophylle *a* au niveau de la baie des Veys et du Nord, Pas-de-Calais, Picardie. La concentration devenait très importante dans la baie sud de la Mer du Nord.



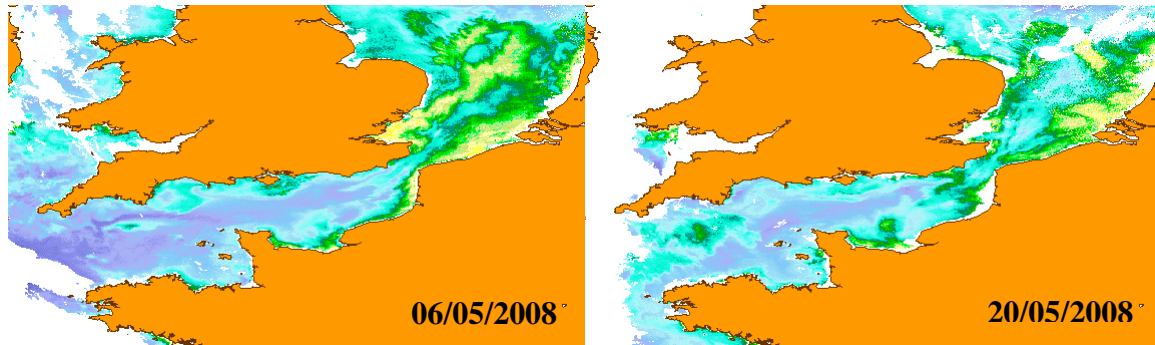
Au début du mois de mai, le bloom était généralisé à tout le littoral de la pointe du Cotentin jusqu'au sud de la Mer du Nord avec toujours une extension vers le large au niveau de la Mer du

¹ Gohin F., Druon J.N. & L. Lampert, 2002. A five channel chlorophyll algorithm applied to SeaWIFS data processed by SeaDAS in coastal waters. *International Journal of Remote Sensing*, 23: 1639-1661

² Gohin F., Saulquin B. , Oger-Jeanneret H., Lozac'h L., Lampert L., Lefebvre A., Riou P. and F. Bruchon, 2008. Using satellite-derived chlorophyll concentrations for monitoring the eutrophication risk of coastal waters. *Remote Sensing of Environment*, 112: 3329-3340.

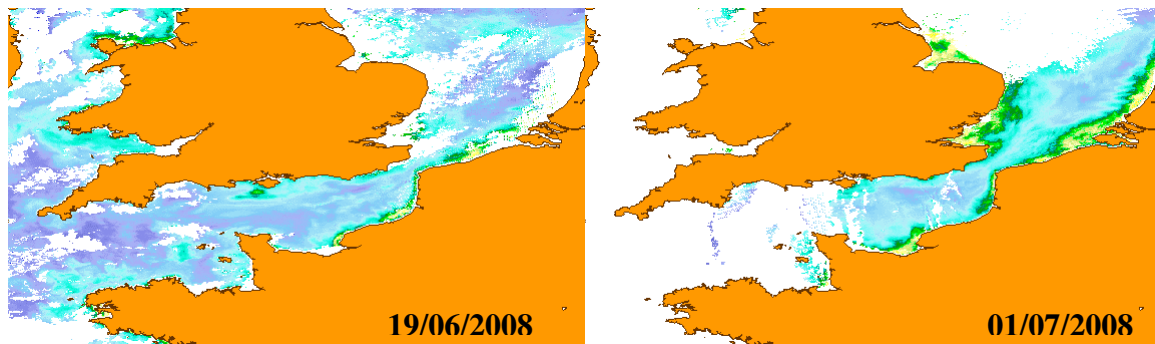
Nord. La zone sous influence de la Tamise présentait des concentrations importantes. La façade sud de l'Angleterre ne présentait pas de développement phytoplanctonique important.

A la fin du mois de mai, l'intensité du bloom diminuait et devenait plus côtier.



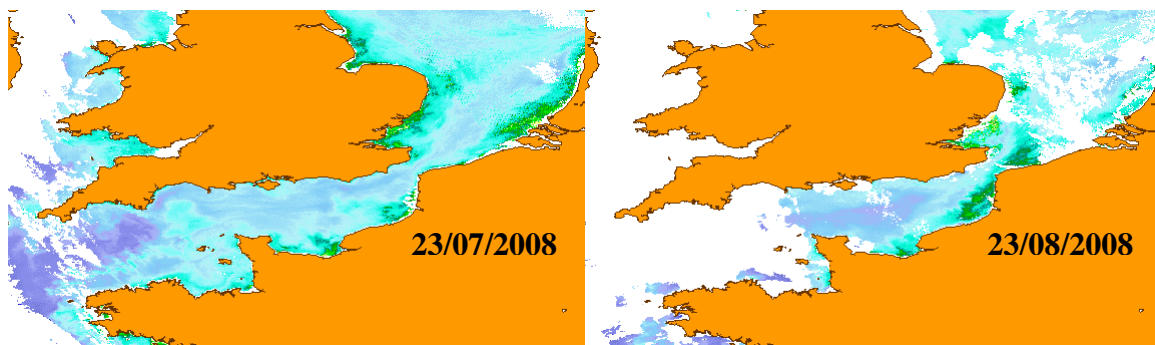
A la fin du mois de juin, le bloom était très côtier et était localisé sur le Pays de Caux, le littoral du Nord Pas-de-Calais Picardie jusqu'à la Belgique.

Au début du mois de juillet, la production était toujours côtière, de la baie de Seine jusqu'au cap d'Antifer puis de la Picardie en passant par le boulonnais et le Nord Pas-de-calais jusqu'aux Pays-Bas.



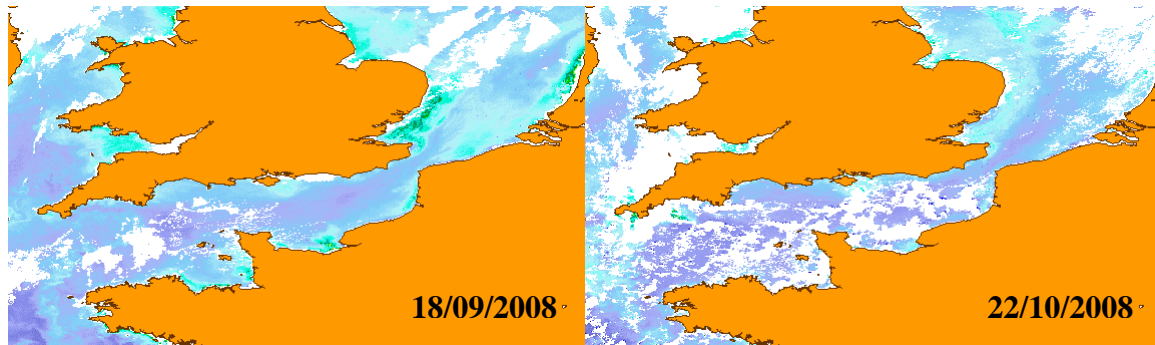
A la fin du mois de juillet, le bloom était de moins en moins important et il ne restait plus que quelques reliquats en baie de Seine orientale, sur les côtes picardes et le boulonnais, aux abords de la Tamise et des Pays-Bas.

A la fin du mois d'août, le schéma était le même mais les concentrations étaient moindres.



A la mi-septembre, les concentrations étaient très faibles. Mais on pouvait observer quelques concentrations légèrement plus fortes : en baie de Seine, aux abords de la Tamise ainsi que sur la côte des Pays-Bas.

A la fin du mois d'octobre, les concentrations étaient de nouveau très faibles.



L'observation de cette dynamique des efflorescences à l'échelle de la Manche et de la baie sud de la Mer du Nord met en évidence que le CNPE de Gravelines ne peut en aucun cas avoir un rôle majeur dans la prolifération du phytoplancton à cette échelle. Néanmoins, localement, certains apports de nutriments via le canal de rejet mais aussi via le réseau de canaux et de waterings de la façade Nord peuvent contribuer à un développement ou à un maintien de la production primaire.

4.7. Éléments de conclusion

Le suivi hebdomadaire au point *prise* met en évidence la conformité de l'évolution de la concentration en chlorophylle *a*, et en phéopigments ainsi que de l'évolution de l'abondance phytoplanctonique par rapport à la connaissance acquise sur le site depuis 1973. Les différences d'amplitude, le nombre plus ou moins important de 'pics' et de 'creux' n'est que le reflet de la très forte variabilité inter-annuelle qui touche ce compartiment phytoplanctonique. Cette forte variabilité s'explique par un ensemble de relations avec d'autres compartiments ou d'autres paramètres physico-chimiques et climatiques, qui ne sera pas approfondis dans ce chapitre.

La concentration maximale en chlorophylle *a*, donc la biomasse phytoplanctonique maximale, a été mesurée le 14 avril 2008 ($39,65 \text{ mg/m}^3$) (maximum de $25,43 \text{ mg/m}^3$ en mars 2007). L'année 2008 était donc une année à forte biomasse phytoplanctonique, et était par conséquent comparable aux années 1993, 1996 et 2001 ($> 40 \text{ mg/m}^3$). Les années 1995, 1999, 2004, 2005, 2006, 2007 étaient des années intermédiaires ($20\text{-}30 \text{ mg/m}^3$) alors que les années 1990 à 1992, 1997, 1998, 2000, 2002, 2003 étaient des années à faible biomasse.

D'autres concentrations de chlorophylle *a* significativement plus importantes, bien que de moindres ampleurs que celle d'avril 2008, ont été observées en février, mars, juin, juillet et septembre 2008.

En dehors des périodes de proliférations de la prymnésiophyces *Phaeocystis globosa*, les échantillons étaient dominés, en ordre décroissant de la fraction qu'ils représentaient, par les diatomées, les dinoflagellés, les cryptophycées, les dictyochophycées, les prasinophycées et les chlorophycées. L'abondance de *Phaeocystis globosa* était encore plus importante que sur la période de 2005 à 2007. Elle atteignait plus de 40 millions de cellules par litre le 22 avril 2008 (13 millions de cellules par litre le 23 avril 2007). Les abondances étaient supérieures à plusieurs millions de cellules par litre de mars à mai au canal d'aménée.

A l'échelle annuelle, les efflorescences phytoplanctoniques hors celle du genre *Phaeocystis*, étaient principalement liées à la prolifération, de manière individuelle ou sous forme d'association des taxons suivants : *Chaetoceros* spp., *Guinardia delicatula*, *Nitzschia longissima*, *Paralia sulcata*, *Pseudonitzschia delicatissima*, *Rhizosolenia imbricata* + *styliformis*, *Skeletonema costatum*, *Thalassionema nitzschioides*.

La campagne pélagique du mois de mai se caractérisait par un déficit de chlorophylle *a*, de phéopigments et du nombre de taxons identifiés (hors cycle saisonnier) entre les points *prise* et *rejet*. Les différences de composition spécifique observées entre les différents points reflétaient davantage la distribution des communautés phytoplanctoniques dans un contexte hydrodynamique particulier (panache thermique) qu'un impact du fonctionnement de la centrale sur ce compartiment biologique.

ANNEXE 1 : Surveillance hebdomadaire au point *prise* : concentrations en chlorophylle *a* (mg/m³) et en phéopigment (mg/m³), pourcentages de chlorophylle active, indices de Shannon (- : absence de résultat – *les résultats des 3 premières colonnes sont acquis sur un échantillon différent de celui nécessaire au calcul du résultat de l'indice de Shannon*).

Date	chlorophylle a	phéopigments	chlorophylle active	Shannon
05/11/2007	3,74	1,03	72,44	3,01
14/11/2007	4,08	1,46	64,26	2,88
19/11/2007	2,43	0,66	72,84	3,06
28/11/2007	1,74	0,65	62,63	2,50
03/12/2007	2,59	1,11	57,19	2,40
13/12/2007	1,55	0,65	58,34	2,31
19/12/2007	1,59	0,58	63,48	2,48
27/12/2007	2,44	0,97	60,05	3,06
02/01/2008	1,5	0,6	59,85	2,01
10/01/2008	2,04	0,8	60,5	2,61
16/01/2008	2,67	1,25	53,12	1,16
24/01/2008	2,02	0,93	54,01	2,18
29/01/2008	1,56	0,5	67,71	2,61
07/02/2008	3,45	1,1	68,09	2,83
13/02/2008	4,33	0,51	88,21	2,52
19/02/2008	15,4	0,4	97,42	3,05
25/02/2008	9,61	0,64	93,33	3,50
03/03/2008	8,98	0,92	89,72	2,58
13/03/2008	7,48	1,63	78,2	1,83
17/03/2008	4,06	1,09	73,28	1,54
25/03/2008	17,34	0,88	94,94	0,11
01/04/2008	8,51	0,45	94,75	1,18
08/04/2008	28,73	0,59	97,96	0,13
14/04/2008	39,65	0,85	97,86	0,21
22/04/2008	36,65	0,98	97,32	0,06
28/04/2008	26,8	0	100	0,11
07/05/2008	21,5	0,72	96,64	0,40
13/05/2008	2,68	0,42	84,37	0,86
19/05/2008	4,09	0,96	76,41	0,99
29/05/2008	4,57	0,84	81,66	1,36
02/06/2008	4,72	1,18	74,94	1,20
09/06/2008	5,67	0,82	85,47	1,44
16/06/2008	2,64	0,54	79,62	3,07
23/06/2008	9,64	1,08	88,75	2,53
30/06/2008	5,24	0,87	83,32	2,05
07/07/2008	10,66	1,44	86,52	3,26
15/07/2008	6,29	1,03	83,65	3,06
21/07/2008	5,53	1,45	73,81	2,69
29/07/2008	6,45	0,94	85,42	4,00
04/08/2008	5,06	1,68	66,83	1,71
11/08/2008	3,99	1,14	71,32	3,47
18/08/2008	6,59	2,05	68,83	3,41

ANNEXE 1 (Suite) : Surveillance hebdomadaire au point *prise* : concentrations en chlorophylle *a* (mg/m³) et en phéopigment (mg/m³), pourcentages de chlorophylle active, indices de Shannon (- : absence de résultat – *les résultats des 3 premières colonnes sont acquis sur un échantillon différent de celui nécessaire au calcul du résultat de l'indice de Shannon*).

Date	chlorophylle a	phéopigments	chlorophylle active	Shannon
25/08/2008	4,06	1,05	74,07	-
02/09/2008	4,44	1,42	67,99	3,40
08/09/2008	2,65	1,26	52,68	-
15/09/2008	3,33	1,05	68,45	4,17
24/09/2008	11,23	2,6	76,81	2,16
29/09/2008	5,84	0,82	85,99	3,51
08/10/2008	2,14	0,8	62,85	3,61
14/10/2008	2,49	0,95	61,78	3,46
22/10/2008	2	0,82	58,81	-
29/10/2008	2,05	1	50,87	-

ANNEXE 2 : Variabilité spatiale de la biomasse chlorophyllienne (mg/m³)

Points	Concentrations moyennes en chlorophylle <i>a</i> (mg/m ³)	
	29 mai 2008	29 septembre 2008
<i>Prise</i>	3,18	3,54
<i>Rejet</i>	1,80	5,01
<i>Contrôle surface</i>	3,44	4,49
<i>Contrôle fond</i>	5,37	5,29
<i>Référence surface</i>	3,40	3,24
<i>Référence milieu</i>	3,24	3,68
<i>Référence fond</i>	3,68	3,72

ANNEXE 3 : Variabilité spatiale de la concentration en phéopigments (mg/m³)

Points	Concentrations en phéopigments (mg/m ³)	
	29 mai 2008	29 septembre 2008
<i>Prise</i>	1,18	2,24
<i>Rejet</i>	0,97	2,94
<i>Contrôle surface</i>	1,98	3,42
<i>Contrôle fond</i>	6,04	4,71
<i>Référence surface</i>	0,69	3,48
<i>Référence milieu</i>	1,16	4,28
<i>Référence fond</i>	2,65	5,25

5. DINOFLAGELLÉS NOCTILUQUES ET ZOOPLANCTON

Auteur : Elvire Antajan

Collaborateurs : Blondel C., Caboche J., Duquesne V., Philippon X., Vérin F., Warembourg C.

Ce chapitre présente l'évolution du zooplancton, maillon de la chaîne alimentaire qui intègre les développements phytoplanctoniques, eux-mêmes dépendants des nutriments disponibles dans l'eau de mer et soumis aux conditions météorologiques.

5.1. Méthodologie

5.1.1. Stratégie de prélèvements du zooplancton

Deux campagnes annuelles sont réalisées pour le suivi de l'impact du rejet de la centrale par la comparaison des prélèvements selon un axe côte-large. En 2008 elles ont été réalisées le 29 mai pour la mission printanière et le 29 septembre pour la mission automnale. Lors de chaque mission quatre points sont étudiés :

- Le point *Prise* (situé à l'entrée du canal d'amenée de la centrale) ;
- Le point *rejet* (situé dans la partie amont du canal de rejet sur le radeau de pompage) ;
- Le point *contrôle* (situé au large du rejet) ;
- Le point *référence* (situé au large, au-delà de la zone d'influence de la centrale).

En complément, les variations saisonnières du zooplancton dans le milieu naturel (non impacté) sont estimées par une surveillance mensuelle au point *prise*. Les résultats obtenus peuvent être comparés aux données de concentration de chlorophylle *a* et de température mesurées au même point selon une fréquence hebdomadaire. Cette surveillance permet de suivre l'évolution du plancton en relation avec les conditions météorologiques et de situer les deux campagnes de prélèvements annuelles par rapport au cycle saisonnier de l'écosystème.

5.1.2. Prélèvements du zooplancton

Les échantillons zooplanctoniques sont collectés à l'aide d'un filet à plancton de type WP2 (ouverture 0,25 m², hauteur 261 cm, cylindro-conique, vide de maille 200 µm – Tranter 1968¹).

- Pour les prélèvements en mer aux points *contrôle* et *référence* le filet est descendu jusqu'à environ trois mètres au dessus du fond puis est ramené à la surface à une vitesse de 1 m·s⁻¹.
- Pour les prélèvements à terre aux points *prise* (depuis le pont enjambant le canal d'amenée) et *rejet* (depuis le radeau amarré au canal de rejet), le filet est maintenu à un mètre sous la surface en raison du courant et des remous qui homogénéisent la colonne d'eau.

Un volucompteur est attaché à l'entrée du filet WP2 afin de connaître précisément le volume d'eau filtré. Pour chaque point de prélèvement deux traits de filet à plancton sont effectués. L'un des deux échantillons collectés sera filtré au laboratoire sur des soies pré-pesées de 100 µm de vide de maille, puis congelées afin d'évaluer la biomasse sestonique (mesure du poids sec et composition en carbone et azote). Le deuxième échantillon est immédiatement formolé en vue du dénombrement et de l'identification des espèces animales.

¹ Tranter, D. J., and P. E. Smith. 1968. Filtration performance. In Reviews on zooplankton sampling methods, Part I (D. J. Tranter, ed.), p. 27-56. Monogr. Oceanogr. Methodol. 2, Zooplankton Sampling. UNESCO (United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization) Press, Paris.

5.1.3. Mesure de la biomasse sestonique

Pour la mesure de la biomasse sestonique, les soies congelés sont mises à l'étuve à 60 °C pendant 48 heures. Les soies comportant le plancton séché sont alors pesées et les poids secs, ou biomasses du seston, déduits. Le poids sec récolté et le volume filtré permettent d'évaluer le poids sec (mg) par unité de volume (m^3).

Les échantillons de poids sec sont par la suite broyés pour être analysés au CHN LECO pour les dosages de carbone (C) et d'azote (N). L'expression des résultats est obtenue en poids carbone (mg C) ou d'azote (mg N) par unité de volume (m^3).

5.1.4. Analyse taxinomique

Les prélèvements zooplanctoniques destinés au dénombrement des espèces animales sont rincés sur un tamis de 200 μm afin d'éliminer le formol et les particules les plus fines qui gênent le comptage du zooplancton. En fonction de la concentration de l'échantillon celui-ci est fractionné en sous-échantillons à la boîte de Motoda (Motoda 1983¹). Le sous-échantillon est alors placé dans une cuve de Dolffus et dénombré dans sa totalité à la loupe binoculaire (grossissement maximum X 80) en éclairage diascopique. Le dénombrement s'arrête lorsque une classe de tri (*Temora longicornis* : femelle, mâle ou copépodite ; *Oikopleura dioica* ; nauplii de cirripèdes....) atteint un minimum de 100 individus. D'après Frontier (1972)² l'erreur relative sur l'estimation du nombre total d'individus est de $\pm 30\%$. Le nombre d'individus comptés est ensuite ramené au volume total de l'échantillon ($ind. \cdot m^{-3}$).

La bibliographie utilisée pour l'identification des zooplanctontes est très variée et inclue notamment : les fiches d'identification du plancton CIEM – (1939-1986), un manuel d'identification du zooplancton côtier (Todd *et al.*, 1996³), et des clés de détermination pour des groupes spécifiques tels que les copépodes pélagiques (Rose, 1933⁴) ou les larves de décapodes (Martin, 2001⁵) par exemple.

5.2. Surveillance au canal d'aménée

5.2.1. Biomasse sestonique

On appelle seston, l'ensemble des particules en suspension dans l'eau qu'elles soient d'origine minérales ou organiques. Dans les eaux du large ou dans des milieux oligotrophes, peu turbides, le seston récolté avec un filet à plancton est essentiellement constitué de zooplancton et sa biomasse peut donc être assimilée à celle du zooplancton. Par contre dans les eaux côtières, souvent peu profondes (< 40 m), avec un fort hydrodynamisme le seston comprend également une part non négligeable de sables, vases, débris végétaux, etc. dû à la remise en suspension des sédiments dans la colonne d'eau. Dans ce cas il est difficile d'attribuer la biomasse sestonique à celle du zooplancton.

¹ Motoda S (1959). Devices of simple plankton apparatus. Memoirs. Faculty of Fisheries. Hokkaido University 7, 73-94.

² Frontier (1972) Calcul de l'erreur sur un comptage de zooplancton. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 8, pp. 121-132.

³ Todd CD, Laverrack MS, Boxshall GA (1996) Coastal marine zooplankton – a practical manual for students. Cambridge University Press, pp. 106.

⁴ Rose M. (1933) Faune de France, 26. Copépodes pélagiques. Ed. Lechevalier, Paris, pp. 374 .

⁵ Martin J (2001) Les larves des crustacés décapodes des côtes françaises de la Manche. IFREMER, France, pp. 175.

En 2008, la biomasse sestonique a augmenté fortement dès le mois de janvier pour atteindre un maximum de $162,8 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ fin février (figure 5.1). La biomasse est restée élevée au printemps ($> 100 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) avant de diminuer fortement au début de l'été pour atteindre un minimum de $9,9 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ fin juin. Un nouveau pic de biomasse a été observé fin juillet ($111,2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) avant les valeurs plus basses de l'automne ($< 50 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$).

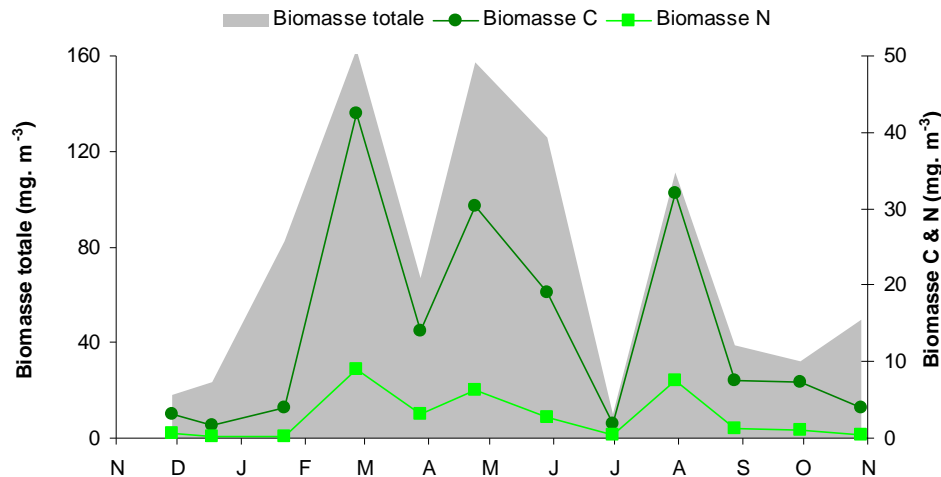


Figure 5.1 : Évolution mensuelle de la biomasse sestonique (poids sec, poids C et poids N) au point prise en 2008

La relation entre biomasse sestonique et abondance zooplanctonique n'est pas toujours directe (cf. figure 5.3) et cela se confirme lorsque l'on considère les rapports C/N des échantillons filtrés de seston (figure 5.2). Ces rapports C/N ont fluctué entre 4,3 et 13,5 en 2008. Le rapport C/N peut habituellement caractériser un compartiment tel que le zooplancton (rapport C/N ~ 4 ; Mauchline, 1998)¹ ou le phytoplancton (C/N > 5).

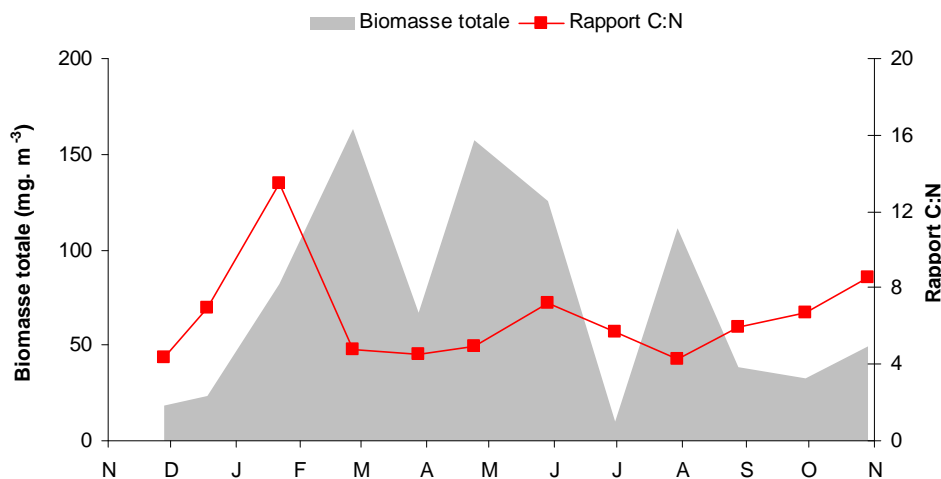


Figure 5.2 : Évolution mensuelle du rapport C/N du seston au point prise en 2008

Sans doute en raison de la contamination potentielle liée à une forte remise en suspension des sédiments sur le site (sable, débris coquilliers, fragments d'algues,...), la biomasse sestonique et le

¹ Mauchline, J. (1998). The biology of calanoid copepods. *Advances in Marine Biology* 33: 1-710

rapport C/N mesurait au point *prise* fin janvier 2008 étaient très élevés et ne peuvent donc pas correspondre au zooplancton très peu abondant à cette période de l'année. Il semble donc difficile d'utiliser, sur le site de Gravelines, la biomasse sestonique comme un indicateur de la biomasse zooplanctonique.

5.2.2. Abondance et composition du zooplancton

Les dénombrements zooplanctoniques totaux effectués en 2008 sont présentés sur la figure 5.3 avec ceux de l'an passé, et sont exprimés en nombre d'individus par m³ d'eau de mer. Les plus faibles abondances ont été observées de novembre 2007 à janvier 2008 (entre 72 et 452 ind.m⁻³). Trois pics d'abondance des zooplanctontes ont été observés entre avril et juillet 2008 avec un spectaculaire maximum de 45 242 ind.m⁻³ lié à la prolifération d'un dinoflagellé hétérotrophe, *Noctiluca scintillans*, qui a entraîné un phénomène d'eau rouge dans le port ouest de Dunkerque et autour de la centrale de Gravelines.

La forte augmentation des abondances entre 2007 et 2008 est très probablement la conséquence du changement de filet à plancton utilisé pour les prélèvements réguliers au point *prise*. Le petit filet qui était utilisé auparavant à terre avait une plus petite ouverture et une forme conique qui le rendaient plus sensible aux effets de colmatage et de reflux, surtout au printemps et en été quand les algues (*Phaeocystis globosa*, *Coscinodiscus* sp...) ou les noctiluques prolifèrent. Le filet WP2, déjà utilisé lors des campagnes à la mer, avec sa plus large ouverture et sa forme cylindro-conique permet d'éviter le reflux dans le filet et est alors mieux adapté pour capturer efficacement le zooplancton d'un point de vue quantitatif.

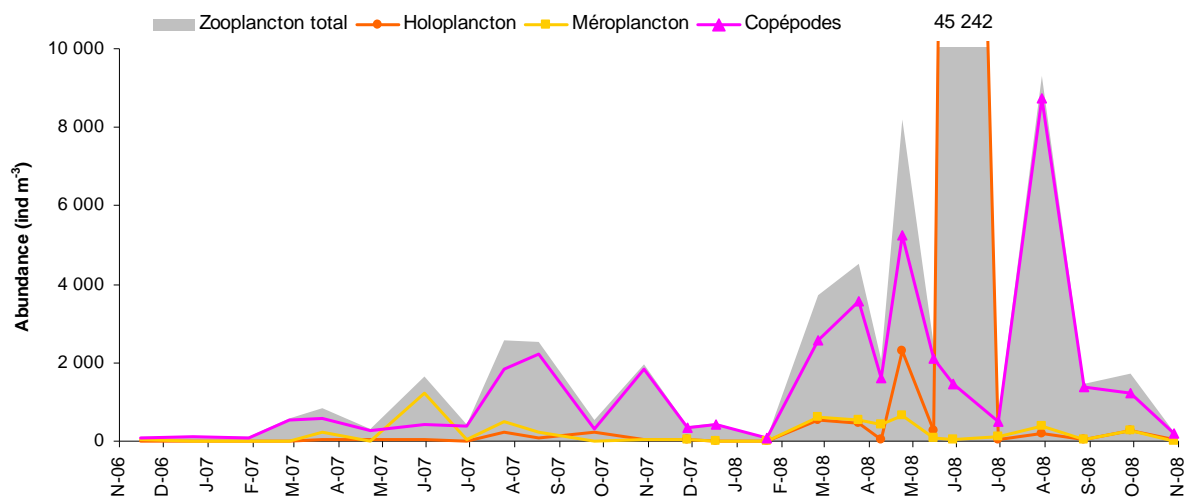


Figure 5.3 : Évolution de l'abondance du zooplancton et de ses fractions holo- et méroplanctonique au point prise entre novembre 2006 et octobre 2008

Les abondances zooplanctoniques ont coïncidé avec les proliférations phytoplanctoniques printanières (avec un décalage de 15 jours à un mois, temps nécessaire à l'intégration de la production primaire par le zooplancton), comme l'indique l'évolution de la concentration en chlorophylle *a* au point *prise* au cours de la même période d'étude (figure 5.4). Le démarrage de la prolifération de *Phaeocystis globosa* début avril, semble avoir affecté l'abondance du zooplancton total qui avait bien profité de la prolifération des petites diatomées formant des chaînes (*Skeletonema costatum*, *Chaetoceros* spp.) à la fin février-début mars.

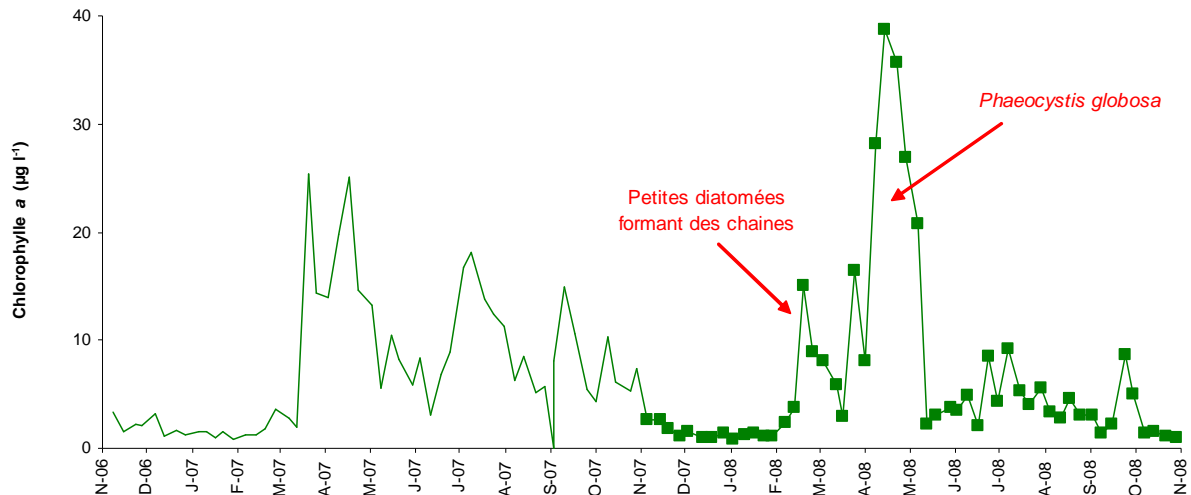


Figure 5.4 : Évolution de la concentration en chlorophylle a au point prise entre novembre 2006 et octobre 2008

Un certain nombre d'espèces accomplisse l'intégralité de leur cycle biologique (œufs, larves, adultes) au sein du milieu pélagique ; ce sont les espèces holoplanctoniques. En 2008, l'holoplancton représentait généralement plus de 80 % du zooplancton total à l'exception du mois de mai (26 %). Cette fraction était essentiellement composée de crustacés copépodes (70 à 100 %), sauf bien sûr pendant la prolifération des noctiluques (figure 5.5). Selon la saison, s'y ajoutent quelques espèces moins abondantes, appartenant à d'autres embranchements comme les cladocères, les appendiculaires et les chaetognathes. D'autres organismes holoplanctoniques comme les cténaires, les cladocères, les ostracodes et les mysidacés ont été très peu présents cette année (tableau 5.1).

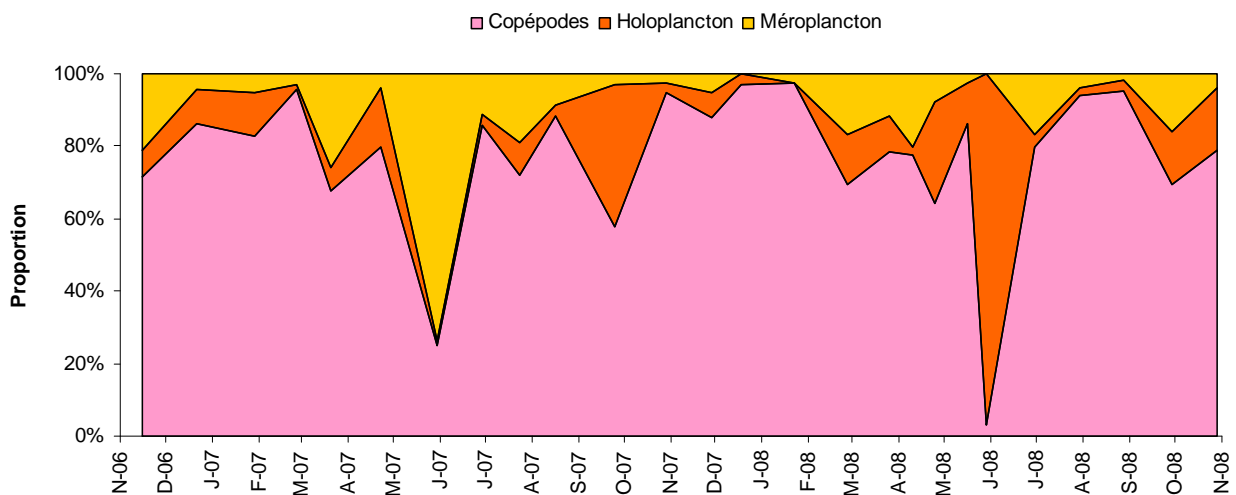


Figure 5.5 : Proportion de copépodes, d'holoplancton et de méroplancton dans le zooplancton total au point prise entre novembre 2006 et octobre 2008

Par opposition à l'holoplancton, le méroplancton constitue la fraction temporaire du zooplancton. Il regroupe les organismes dont seule une partie du cycle vital est planctonique. Il s'agit principalement de larves à vie pélagique émises par de nombreuses espèces à phase adulte benthique errante (crabes, annélides...) ou fixée : annélides, mollusques (moules...) et crustacés cirripèdes (balanes...), nombreux sur l'estran rocheux. Le méroplancton est aussi constitué de

phases pélagiques d'espèces fixées (méduses, qui représentent les phases sexuées libres de cnidaires), ou bien des œufs et larves de poissons qui ne peuvent encore lutter contre les courants. Il est donc de fait plus abondant au printemps, pendant les périodes de reproduction des espèces benthiques (figure 5.5 et tableau 5.1).

Tableau 5.1 : Abondance et dominance des principaux groupes zooplanctoniques au point prise au cours de la période de surveillance 2007-2008

	28/11/2007		18/12/2007		22/01/2008		26/02/2008		25/03/2008		10/04/2008		24/04/2008		16/05/2008		29/05/2008		30/06/2008		30/07/2008		28/08/2008		29/09/2008		29/10/2008	
	ind.	m ⁻³	ind.	m ⁻³	ind.	m ⁻³	ind.	m ⁻³	ind.	m ⁻³	ind.	m ⁻³	ind.	m ⁻³	ind.	m ⁻³	ind.	m ⁻³	ind.	m ⁻³	ind.	m ⁻³	ind.	m ⁻³	ind.	m ⁻³	ind.	m ⁻³
HOLOPLANCTON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	0	0	0	43731	97	0	0	0	0	15	1	0	0	0	0
Noctiluques	1	0	1	0	0	0	0	0	5	0	4	0	86	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clénaïres	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cladocères	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nauplii (copépodes)	0	0	0	0	0	0	26	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0
Copépodes	338	93	438	97	70	100	2571	83	3563	89	1592	97	5262	70	2098	89	1450	3	517	96	8744	98	1379	97	1211	83	183	82
Ostracodés	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
Mysidacés	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Appendiculaires	23	6	7	1	0	0	493	16	433	11	40	2	2152	28	253	11	10	0	17	3	145	2	9	1	87	6	5	2
Chaetognathes	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	36	0	15	1	157	11	26	12
Holoplancton total	364	95	451	100	70	98	3089	83	4005	88	1636	80	7561	92	2369	97	45194	100	538	83	8926	96	1420	98	1462	84	224	96
MÉROPLANCTON	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	6	9	0	0	0	0	30	8	3	12	7	3	0	0
Cnidaires	0	2	0	0	0	0	210	34	350	65	216	52	123	19	4	6	6	13	6	5	36	10	6	23	189	68	1	9
Annélides	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	0	16	24	0	0	1	1	12	3	2	8	4	1
Mollusques	18	90	0	0	0	0	6	1	0	0	0	0	0	0	8	9	0	0	1	1	0	0	0	0	2	1	1	9
Byzozaires	0	0	0	0	0	0	387	62	136	25	169	40	443	68	30	45	0	0	0	0	72	66	181	49	2	8	55	20
Cirripèdes	0	0	0	0	0	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	2
Isopodes	0	0	0	0	0	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amphipodes	0	0	0	33	1	41	2	0	0	0	2	1	12	2	1	1	6	13	2	2	0	0	3	12	2	1	1	11
Cumacés	0	0	0	33	0	18	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Décapodes	0	0	0	33	1	41	6	1	24	5	7	2	61	9	4	6	13	27	25	23	97	26	9	35	21	8	2	20
Echinodermes	0	2	0	0	0	0	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	2	0	0	0	0	0	1
Téléostéens	0	0	0	0	0	0	2	0	19	4	4	1	12	2	0	0	23	47	2	2	6	2	0	0	0	0	0	0
Méropplancton total	20	5	1	0	2	2	620	17	535	12	418	20	652	8	66	3	48	0	109	17	369	4	25	2	279	16	9	4
Zooplancton total	384		452		72		3709		4540		2054		8213		2436		45242		647		9295		1445		1741		233	

5.2.2.1. L'holoplancton

Les copépodes

Les copépodes, qui constituaient le taxon dominant de l'holoplancton, ont montré la même évolution saisonnière que celui-ci (figure 5.6). Les plus faibles abondances de copépodes ont été observées en automne-hiver (70 à 438 ind. \cdot m⁻³) et les plus fortes abondances en mars-avril et juillet (3 000 à 9 000 ind. \cdot m⁻³). La diminution de l'abondance des copépodites (stade larvaire) faisant suite à la prolifération de *Phaeocystis globosa* confirme bien le peu d'appétence des copépodes pour cette algue (Gasparini *et al.*, 2000¹ ; Nesjtgaard *et al.*, 2006²).

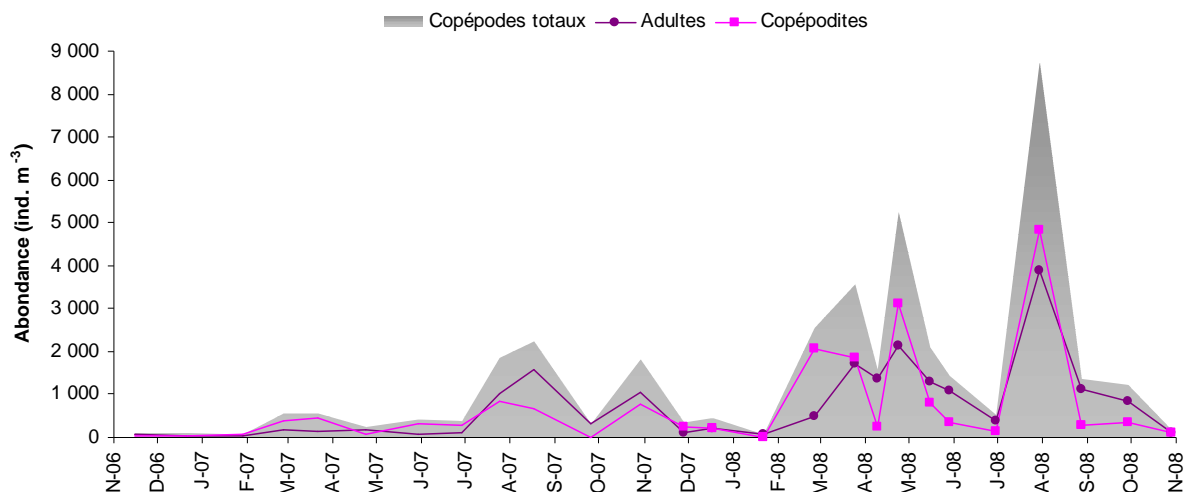


Figure 5.6 : Évolution de l'abondance des copépodes (adultes et copépodites) au point prise entre novembre 2006 et octobre 2008

¹ Gasparini S., Daro M.-H., Antajan E., Tackx M., Rousseau V., Parent J.-Y., Lancelot C. (2000). Mesozooplankton grazing during the *Phaeocystis globosa* bloom in the Southern Bight of the North Sea. *Journal of Sea Research* 43: 345-356.

² Nesjtgaard J.C., Tang K.W., Steinke M., Dutz J., Koski M., Antajan E., Long J.D., 2007. Zooplankton grazing on *Phaeocystis*: a quantitative review and future challenges. *Biogeochemistry* 83: 147-172.

La prédominance des copépodes adultes par rapport aux copépodites est aussi liée à la succession des espèces au cours de l'année (figure 5.7).

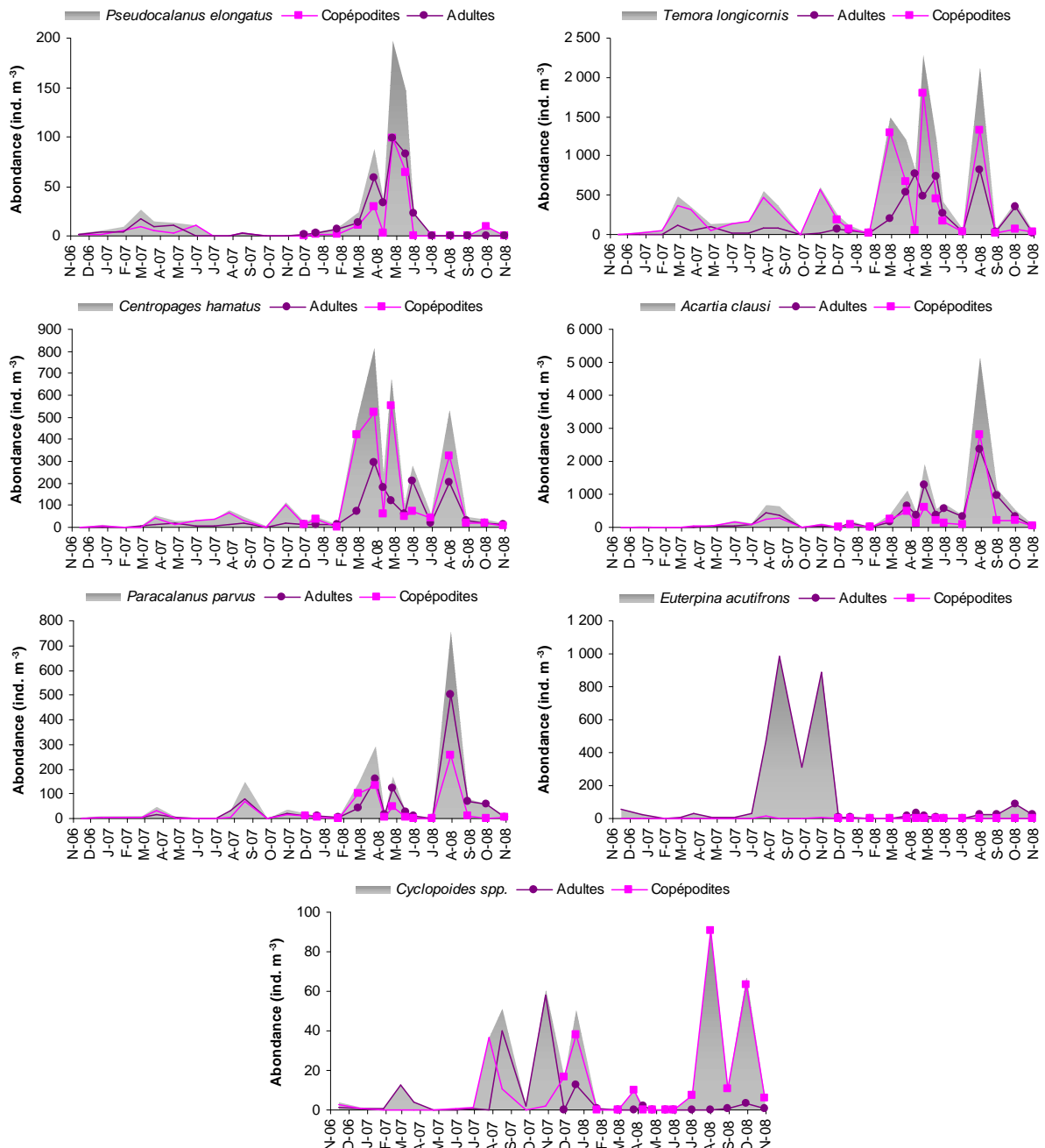


Figure 5.7 : Abondance (adultes et copépodites) des principales espèces de copépodes au point prise entre novembre 2006 et octobre 2008

Aux espèces printanières, *Pseudocalanus elongatus* (30 à 200 ind. m⁻³ de mars à mai) et *Temora longicornis* (800 à 2200 ind. m⁻³), ont succédé des espèces plus estivales comme *Centropages hamatus* (200 à 800 ind. m⁻³ de mars à juillet) et *Acartia clausi* (5 164 ind. m⁻³ fin juillet). *Temora longicornis* a de nouveau montré un maximum d'abondance fin juillet (2 135 ind. m⁻³). La fin de l'été voit apparaître l'espèce qui annonce généralement l'arrivée de la période automnale, *Paracalanus parvus*, avec un maximum de 756 ind. m⁻³ fin juillet. Ces espèces

sont de taille moyenne et correspondent bien à la taille cible des organismes retenus par la maille des filets à plancton (200 à 2 000 μm). Les trois derniers stades copépodites de ces espèces (qui en comptent 5) sont également d'une taille suffisante pour être correctement échantillonnés. Ce qui explique leur importance dans les échantillons.

A la fin de l'été et en automne, des espèces de plus petites tailles apparaissent dans les prélèvements. Il s'agit de diverses espèces de cyclopoïdes (60 à 100 ind. $\cdot\text{m}^{-3}$) le plus souvent des copépodites (> 60 à 100 %) d'espèces parasites dont les autres phases du cycle de vie sont associés à un hôte (non identifié dans cette étude), ou bien d'espèces tycoplanctoniques, c'est-à-dire présente dans le compartiment pélagique de manière accidentelle à la faveur de la remise en suspension des sédiments (suite à du mauvais temps par exemple). L'espèce *Euterpina acutifrons* était bien moins abondante cet automne qu'en 2007 (20 à 80 ind. $\cdot\text{m}^{-3}$). Cette espèce est de plus petite taille que les autres espèces précédemment citées et à un mode de vie étroitement lié aux sédiments. En général seuls les adultes (surtout des femelles) sont collectés dans la colonne d'eau avec les filets à plancton, soit que les copépodites soient trop petits et passent à travers la maille du filet, soit qu'ils vivent trop près du fond pour être collectés.

Les autres espèces holoplanctoniques

En dehors des copépodes d'autres espèces holoplanctoniques ont présenté des abondances parfois importantes en 2008 (figure 5.8) :

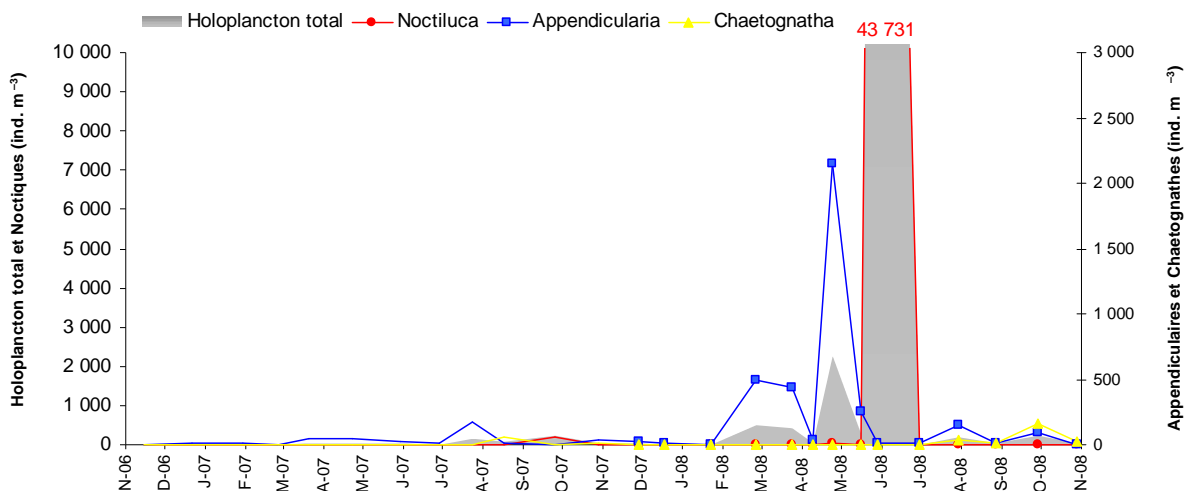


Figure 5.8 : Abondance de certaines espèces holoplanctoniques au point prise entre novembre 2006 et octobre 2008

L'apparition en septembre, période tardive pour l'espèce, des **noctiluques** *Noctiluca scintillans* (dinoflagellés) observée en 2006 et 2007 n'a pas été renouvelée cette année. Une abondance exceptionnelle de 43 731 ind. $\cdot\text{m}^{-3}$ a été observé lors du prélèvement du 29 mai, ce qui rappelle les observations faite en 2005 (43 270 ind. $\cdot\text{m}^{-3}$ en juin). Cette prolifération pourrait expliquer en partie la diminution concomitante (i) des copépodes adultes avec qui ils sont en compétition pour l'ingestion du phytoplancton, et (ii) des copépodites dont ils se nourrissent parfois ainsi que des œufs de copépodes, d'où une plus grande mortalité et moins de copépodites (photo 5.1).



Photo 5.1 : Ingestion d'œufs, de nauplii et de copépodites par *Noctiluca scintillans*

Les **appendiculaires** (chordés) sont des organismes filtreurs, en partie phytophages. Leurs abondances dépendent des fluctuations du phytoplancton et de la température de l'eau. L'espèce *Oikopleura dioica* est favorisée par des peuplements phytoplanctoniques abondants et des températures tempérées. En 2008, deux maximums ont été notés (figure 5.8) : le premier en février-mars (400 à 500 ind. \cdot m⁻³), après le pic de chlorophylle lié aux petites diatomées, le second fin avril (2 152 ind. \cdot m⁻³), après le pic de *Phaeocystis globosa*.

Les **chætognathes** du genre *Parasagitta* sont carnivores et se nourrissent principalement aux dépens des stocks de copépodes. Leur population s'est surtout développée à la fin de l'été (20 à 80 ind. \cdot m⁻³ de août à octobre ; figure 5.8).

5.2.2.2. Le méroplancton

En 2008, la fraction méroplanctonique n'a jamais représenté plus que 20 % du zooplancton total. Contrairement à ce que l'on avait observé en 2007 les larves de mollusques et d'échinodermes ont été très peu présentes dans les échantillons cette année (< 10 % ; figure 5.9).

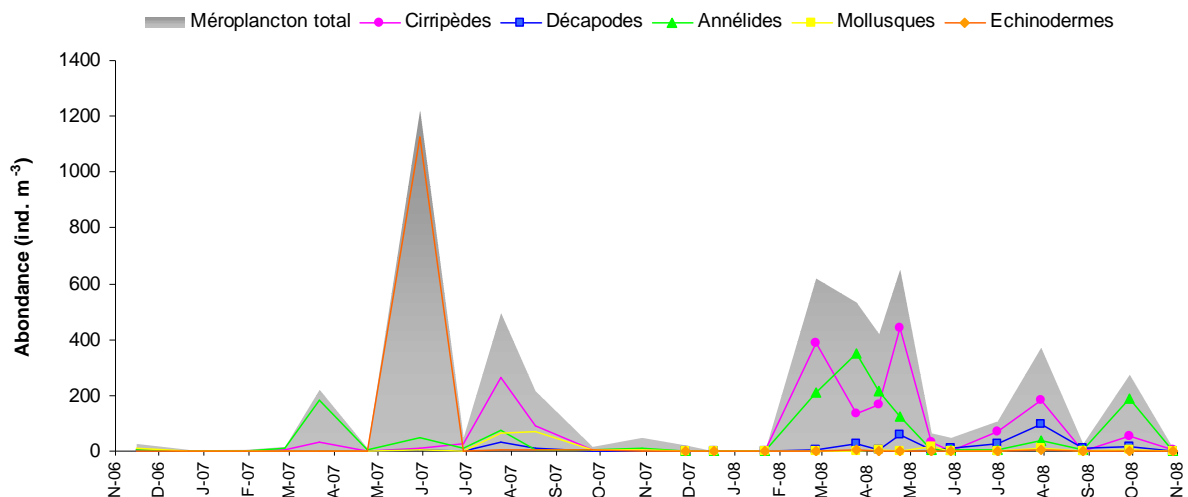


Figure 5.9 : Abondance de certaines espèces méroplanctoniques au point prise entre novembre 2006 et octobre 2008

Les crustacés **cirripèdes** sont des espèces encroûtantes contribuant aux salissures marines. En 2008, leurs stades larvaires planctoniques (*nauplii* et stades âgés *cypris*) ont été observés de fin février à fin avril (100 à 400 ind. \cdot m⁻³) et fin juillet (180 ind. \cdot m⁻³).

Les larves d'**annélides** étaient essentiellement représentées par l'espèce des fonds sablo-vaseux *Lanice conchilega* et par des larves de spionidés (groupe non identifié à l'espèce). Comme pour les

larves de cirripèdes, les larves d'annélides sont apparues de fin février à fin avril (100 à 350 ind. \cdot m⁻³) ainsi que fin septembre (189 ind. \cdot m⁻³).

5.3. Surveillance du milieu récepteur

La surveillance du milieu récepteur est assurée par deux missions annuelles, l'une printanière, l'autre au début de l'automne. En 2008, les deux missions ont été effectuées respectivement le 29 mai et le 29 septembre.

5.3.1. Biomasse sestonique

Lors de la mission de mai, la biomasse sestonique était décroissante du point *prise* (126 mg \cdot m⁻³) au point *contrôle* (14 mg \cdot m⁻³). En septembre, la biomasse était maximale aux points *rejet* et *référence* (respectivement, 178 et 148 mg \cdot m⁻³).

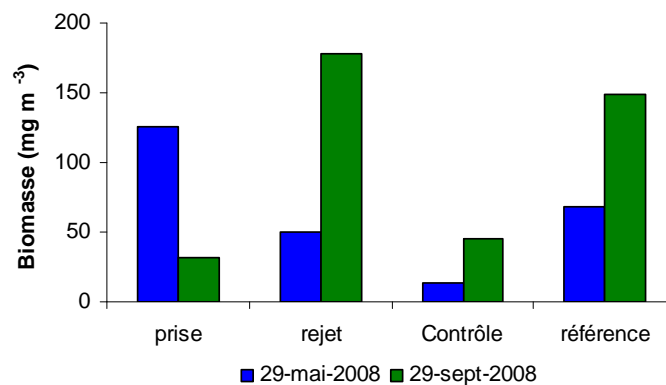


Figure 5.10 : Évolution de la biomasse sestonique au cours des deux missions de surveillance 2008

Comme expliqué plus haut, les rapports C/N > 5 (figure 5.11) indique ici aussi que le seston filtré contenait une fraction importante de débris végétaux et minéraux (sables). Ils ne sont donc pas représentatifs de la variabilité du zooplancton dans la colonne d'eau, mais davantage de la charge particulaire liée aux conditions hydrodynamiques du milieu (courants, remous, faible profondeur d'eau...).

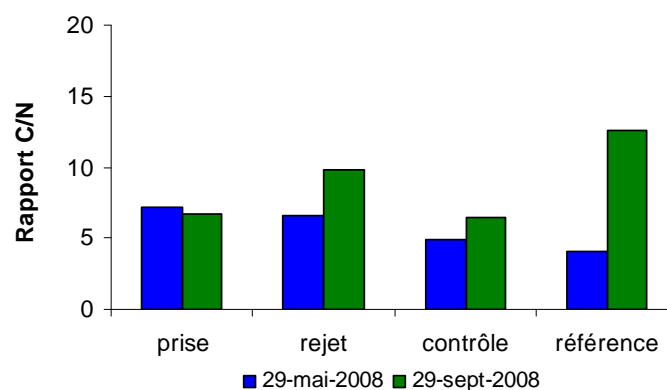


Figure 5.11 : Évolution du rapport C/N du seston au cours des deux missions de surveillance 2008

5.3.2. Abondance et composition du zooplancton

En mai 2008, l'abondance zooplanctonique maximale (figure 5.12) a été observée au point *référence* (2 867 ind. \cdot m⁻³) et la plus faible au point *contrôle* (20 ind. \cdot m⁻³). Comme pour la biomasse sestonique l'abondance était décroissante du point *prise* au point *contrôle*, par contre l'abondance observée au point *référence* ne reflétait pas la biomasse sestonique qui elle était très inférieure au point *prise*. Ceci est sans doute lié aux noctiluques qui étaient 75 fois plus abondant au point *prise* par rapport au point *référence*, d'où une biomasse plus élevée au point *prise* et un rapport C/N de 7,2, alors qu'au point *référence* le rapport C/N était de 4,1 caractéristique des copépodes.

En septembre, l'abondance zooplanctonique maximale était de 2 918 ind. \cdot m⁻³ au point *rejet* et la plus faible de 1006 ind. \cdot m⁻³ au point *référence*. Les proportions entre copépodes, holoplancton (autre que copépodes) et méroplancton étaient du même ordre de grandeur entre les points de prélèvement.

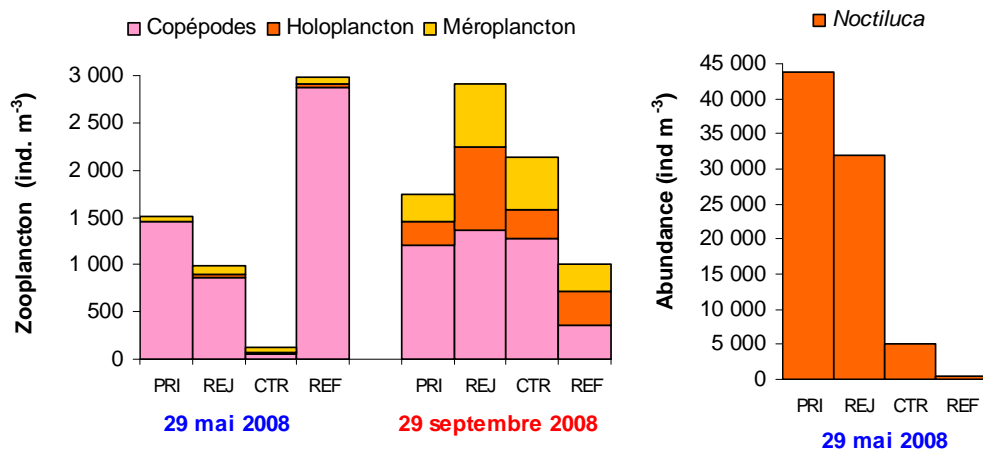


Figure 5.12 : Abondance des copépodes, de l'holoplancton et du méroplancton au cours des deux missions de surveillance 2008 (Les noctiluques ont été représentés à part pour tenir compte de l'échelle d'abondance)

5.3.2.1. L'holoplancton

Les copépodes

La proportion entre les copépodes adultes et les copépodites était assez similaire entre les points de prélèvement lors des deux missions de 2008 (figure 5.13).

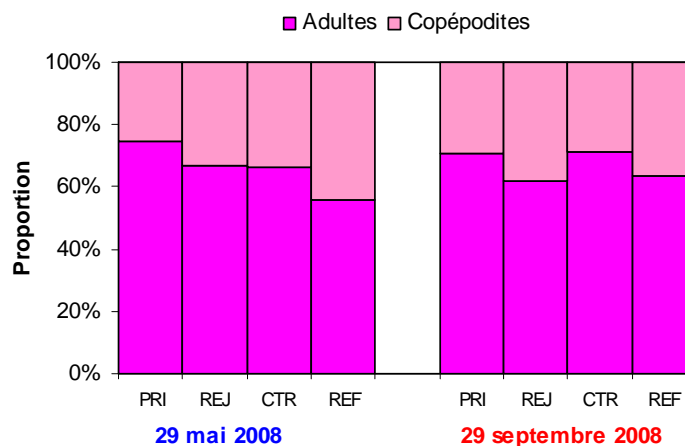


Figure 5.13 : Proportion entre copépodes adultes et copépodites au cours des deux missions de 2008

Les autres espèces holoplanctoniques

En septembre, les abondances d'appendiculaires et de chaetognathes étaient plus importantes au point *rejet* (figure 5.14).

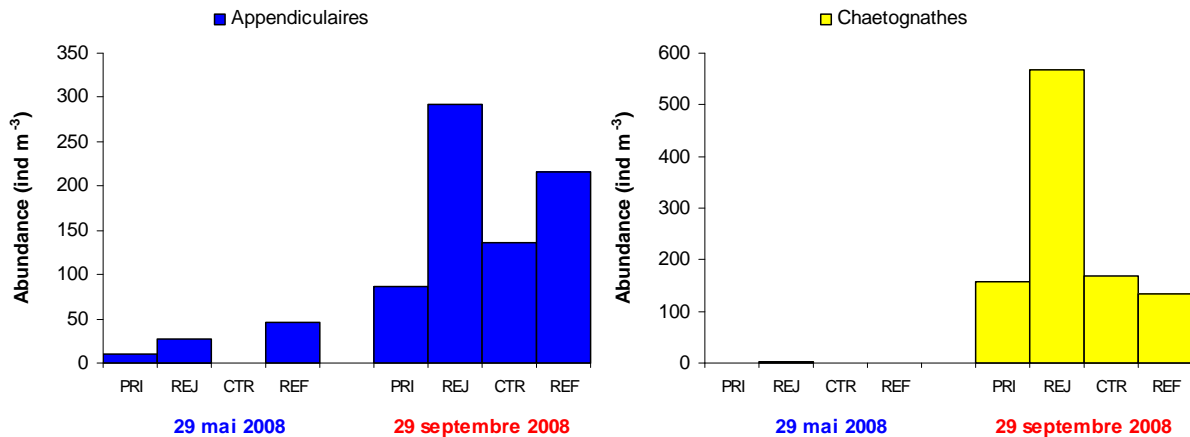


Figure 5.14 : Abondance des appendiculaires et des chaetognathes au cours des deux missions de 2008

Le Méroplancton

Le méroplancton étant présent surtout en septembre, les variations spatiales d'abondance ne peuvent s'étudier que sur quelques groupes (figure 5.15).

L'abondance des larves de cirripèdes était croissante selon un gradient côte-large au mois de mai, alors qu'en septembre, elles étaient plus abondantes au point *rejet*. La même observation d'une abondance plus grande au point *rejet* a été faite pour les larves de décapodes en mai et en septembre. Par contre on a pas observé de différence d'abondance entre les points de prélèvement pour les larves d'annélides. Enfin, l'abondance des larves d'échinodermes étaient croissantes du point *rejet* au point *référence* en septembre.

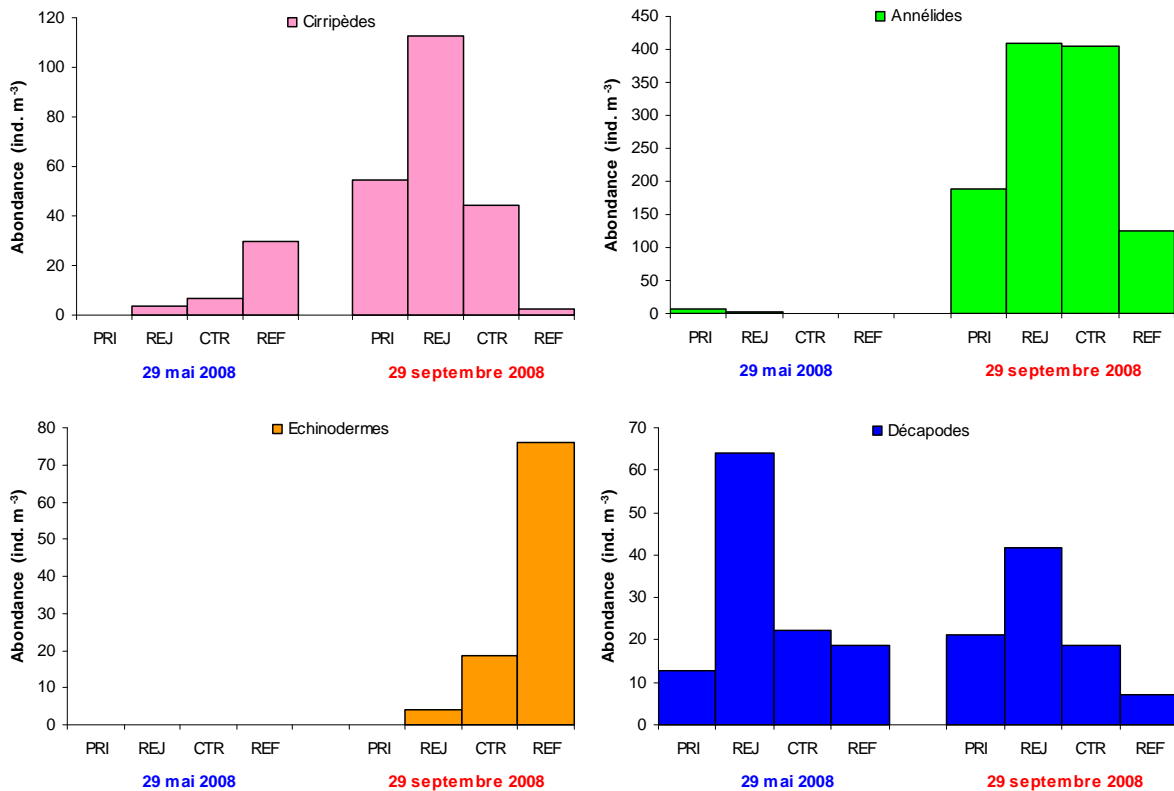


Figure 5.15 : Abondance des principaux groupes méroplanctoniques au cours des deux missions de 2008

5.4. Éléments de conclusion

En raison i) des rapports C/N souvent élevés (> 5) mesurés sur les échantillons filtrés de plancton, ii) du fait que la variance de l'abondance zooplanctonique explique moins de 50 % de la variance de la biomasse sestonique (poids sec), il est préférable de considérer cette biomasse comme une estimation de la charge particulaire de la colonne d'eau plutôt que comme une estimation fiable de la biomasse zooplanctonique. En conséquence, les analyses et les paragraphes concernés ont été ré-intitulés 'biomasse sestonique' pour éviter toute confusion.

L'augmentation de la biomasse sestonique, ainsi que de l'abondance zooplanctonique entre 2007 et 2008 peut s'expliquer par le changement de filet à plancton utilisé pour les prélèvements réguliers au point *prise*. Le petit filet utilisé auparavant a été remplacé par un filet WP2 dont la forme cylindro-conique et les dimensions permettent d'éviter les phénomènes de colmatage et de reflux notamment en période de prolifération algale. Ce changement nous permet également de comparer les prélèvements à la côte avec ceux du large lors des deux missions annuelles en mer sans risque de biais lié à la méthode de collecte.

L'abondance zooplanctonique était caractérisée par les organismes holoplanctoniques ($> 80\%$) essentiellement des copépodes à l'exception du mois de mai où une prolifération exceptionnelle du dinoflagellé hétérotrophe, *Noctiluca scintillans* (méroplanctonique), représentait 97 % du zooplancton global. Cela a conduit à l'observation d'un phénomène d'eau rouge dans le port ouest de Dunkerque et autour de la centrale de Gravelines, qui était cependant moins spectaculaire qu'en 2004 (plus de 100 000 ind. \cdot m⁻³). Au cours de cette période de surveillance, les copépodes ont présenté une succession

saisonnaire classique des espèces pour la région. L'abondance des stades larvaires (copépodites) au début du printemps semble indiquer que les adultes ont su mettre à profit la poussée phytoplanctonique printanière des diatomées, alors que la prolifération de *Pheocystis globosa* puis des noctiluques semble plutôt néfaste aux copépodites.

L'impact du fonctionnement de la centrale sur le compartiment zooplanctonique, s'il existe, reste difficile à estimer. En mai, la concentration des noctiluques était logiquement plus concentrée à la côte (*prise et rejet*) où ils sont entraînés par les vents et les courants de marée. Par contre les copépodes qui ont une capacité de nage plus importante et se répartissent sur toute la colonne d'eau (contrairement aux noctiluques qui sont très concentrés dans les 1^{er} cm de surface) ont tendance à rester plus au large (*référence*) pour éviter la couche des noctiluques. En septembre l'abondance zooplanctonique était plus importante au point *rejet*, toutefois pour les copépodes (groupe dominant) seul le point *référence* présentait une abondance sensiblement plus basse qu'aux trois autres points de prélèvement. Il est difficile d'interpréter les abondances plus élevées de certains groupes au point *rejet* (appendiculaires, chaetognathes, cirripèdes et décapodes). Cependant les différences d'abondance observées entre les points côtiers et plus au large montrent la difficulté d'évaluer si les différences observées sont dues à la variabilité naturelle du système ou à un effet directe de la centrale. Pour palier en partie à ce problème nous avons décidé pour la prochaine année de surveillance (2008-2009) d'évaluer la mortalité des organismes dans les prélèvements lors des deux missions annuelles en mer, sur le principe de ce qui est fait dans le suivi de la centrale nucléaire du Blayais.

6. ZOOPLANCTON HALIEUTIQUE

Auteur : Warembourg C.

Collaborateurs : Antajan E., Le Roy D., Loots C., Louis W.,



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 de biotope. En effet, compte tenu de ses caractéristiques, le site s'inscrit dans une famille d'aires côtières de nutrition, frayères et nourriceries, en particulier pour les espèces halieutiques et notamment 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 enrichie de nombreux apports telluriques. À cet égard, le site est en continuité avec les côtes belges et hollandaises, à la frange méridionale de l'importante frayère de sole de mer du Nord, dont l'épicentre se situe à peine à quelques dizaines de kilomètres au nord-est.

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

6.2. Matériels et méthodes

Le matériel et les méthodes de terrain et de laboratoire sont issus de ceux utilisés depuis le début des études et harmonisés pour l'ensemble des sites d'implantation de centrales nucléaires. Ils sont décrits en détail dans les précédents rapports. Nous les résumons ci-dessous en précisant les particularités de l'année 2008.

6.2.1. Localisation des points de prélèvement

Les prélèvements sont réalisés en trois points situés en mer le long d'une radiale (points 313 : côte, 324 : contrôle et 318 : large) et un point (325) situé à l'entrée du canal d'amenée au niveau du pont enjambant le canal de prise d'eau (cf. figure 1.3 et tableau 1.1).

6.2.2. Rappel succinct

Les prélèvements de zooplancton sont effectués à l'échantillonneur Bongo muni de deux filets de maillage 500 μm (61 cm de diamètre d'ouverture) dont les pêches sont mélangées, à l'exception du point prise situé à l'entrée du canal d'amenée où l'on utilise une armature simple à un seul filet (maillage de 500 μm).

Deux réplicats sont réalisés en chaque point (l'engin est mis à l'eau deux fois successives). Les volumes filtrés sont calculés à partir des indications de volucompteurs *kc-denmark* montés à l'entrée des filets.

Les mesures de température et salinité ont été réalisées au moyen d'une sonde WTW Multi 340i.

6.2.3. Chronologie

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

Comme lors des années précédentes, compte tenu de l'évolution des périodes de ponte, plus précoces depuis quelques années (décalage d'une quinzaine de jours à un mois environ), les dates des campagnes ont été avancées. En 2008, elles se sont ainsi échelonnées du 25 mars au 16 mai. Depuis 2002, et à fins de comparaison, les prélèvements en mer sont complétés de prélèvements réalisés au canal d'amenée. La chronologie, ainsi que les principales caractéristiques des campagnes, figurent dans le tableau 6.1 ci-dessous.

Tableau 6.1 Caractéristiques des campagnes 'Zooplankton halieutique' sur le site de Gravelines en 2008
(- : absence de résultat)

N° de campagne	Date	Point	Température surface (°C)	Salinité Surface (P.S.U.)	Répliquats	Heure du prélèvement	Durée du trait (min)	Volume filtré (m ³)
237	25 mars	Prise	7,3	33,2	1	13h55	15	142,29
					2	14h23	15	174,47
238	10 avril	Prise	9,7	32,8	1	13h55	10	135,98
					2	14h20	10	154,74
		Rejet	10,2	33,3	1	15h45	6	331,58
					2	16h10	6	351,84
		Contrôle	9,6	33,3	1	16h30	8	281,43
					2	16h45	6	271,26
		Référence	8,9	33,5	1	17h07	6	348,85
					2	17h25	6	378,84
239	24 avril	Prise	10,8	33,2	1	14h36	5	72,24
					2	14h50	7	52,15
240	16 mai	Prise	14,6	33,3	1	08h36	7	73,82
					2	-	-	-
		Rejet	15,3	33,7	1	10h43	6	334,65
					2	11h00	6	225,59
		Contrôle	14,8	33,8	1	11h17	6	214,36
					2	11h36	6	156,24
		Référence	13,6	33,9	1	12h01	6	289,85
					2	12h21	6	252,41

Il faut noter que le volume filtré était faible pour le prélèvement au canal d'amenée du 24 avril, en raison du colmatage des filets lié à la prolifération de l'algue phytoplanctonique *Phaeocystis globosa*. De ce fait, les résultats d'abondances des espèces étudiées doivent être considérés avec nuance.

6.3. Résultats

6.3.1. La sole *Solea solea* (Linné, 1758) = *Solea vulgaris* (Quensel, 1806)

La sole commune constitue l'une des grandes ressources halieutiques du secteur. Le site est inclus dans une famille d'aires de reproduction, à proximité du barycentre de la frayère de mer du Nord (De Clerck et Van de Velde, 1973¹). Les œufs et larves de sole forment ainsi un élément caractéristique du plancton de Gravelines et les cycles annuels d'abondance sont bien reproductibles.

**Tableau 6.2 Abondances des œufs et des larves de sole à Gravelines en 2008
(en nombre par 10 m³)**

Date	Point	Réplicats	Total œufs	Œufs stade 1	Œufs stade 2	Larves
25 mars	325	1	6,60	1,30	5,30	0,60
		2	5,00	0,90	4,10	1,40
		Moyenne	5,80	1,10	4,70	1,00
10 avril	325	1	6,54	1,69	4,85	0,15
		2	7,17	3,23	3,94	0,39
		Moyenne	6,86	2,46	4,40	0,27
	313	1	6,45	3,56	2,90	0,06
		2	8,95	6,25	2,70	0,14
		Moyenne	7,70	4,91	2,80	0,10
	324	1	17,55	12,65	4,90	0,36
		2	14,60	9,66	4,94	0,48
		Moyenne	16,08	11,15	4,92	0,42
	318	1	5,62	3,15	2,47	0,23
		2	4,28	2,40	1,87	0,50
		Moyenne	4,95	2,78	2,17	0,37
24 avril	325	1	23,80	12,89	10,91	0,00
		2	14,47	7,79	6,68	3,34
		Moyenne	19,13	10,34	8,79	1,67
16 mai	325	1	0,54	0,00	0,54	0,14
		2	0,80	0,49	0,31	0,53
		Moyenne	0,85	0,44	0,41	0,40
	313	1	0,90	0,39	0,51	0,27
		2	0,80	0,49	0,31	0,53
		Moyenne	0,85	0,44	0,41	0,40
	324	1	1,49	0,79	0,70	0,33
		2	0,64	0,13	0,51	0,13
		Moyenne	1,07	0,46	0,61	0,23
	318	1	1,52	0,35	1,17	0,14
		2	1,15	0,16	0,99	0,16
		Moyenne	1,33	0,25	1,08	0,15

6.3.1.1. Oeufs

Depuis 2002, et afin de mieux encadrer le pic de ponte, les prélèvements sont programmés pour avoir lieu dès la fin du mois de mars. En 2008, l'examen des effectifs lors des campagnes successives a indiqué un bon recouvrement du pic de ponte (tableau 6.2 et figure 6.1). Avec un pic de 16 et 19 œufs par 10 m³ respectivement le 10 avril au point *contrôle* et le 24 avril au point *prise*, les abondances de 2008 étaient supérieures à celles de 2006 et 2007 où les abondances étaient particulièrement faibles pour le site (< 10 œufs par 10 m³). Depuis environ une décennie et hormis les valeurs exceptionnelles de 1996 (plus d'une centaine d'œufs par 10 m³), les abondances se situent plutôt dans la partie basse de la moyenne des effectifs du site.

¹ De Clerck R. et Van de Velde J., 1973.- A study of the spawning and nursery areas of sole along the belgian coasts.- Cons. Int. Explor. Mer, Comité des Poissons de fond (Nord), F : 34

Cette année la période de ponte était moins étendue qu'en 2006 et 2007, les abondances lors de la deuxième sortie en mer (16 mai) étant comprises entre 0 et 1,33 œufs par 10 m³. Indice d'un éloignement de la période maximale de ponte, la proportion des stades 2 (œufs à embryon développé) était comprise entre 48 et 100 % le 16 mai contre 30 à 64 % lors de la mission du 10 avril (figure 6.2). Par contre, en 2008, aucun gradient croissant de la côte vers le large de la proportion d'œufs de stade 2 n'a été observé lors des missions d'avril et de mai, comme on aurait pu s'y attendre conformément à la biologie de cette espèce à ponte côtière dans les zones septentrionales, gradient qui avait été observé en 2007.

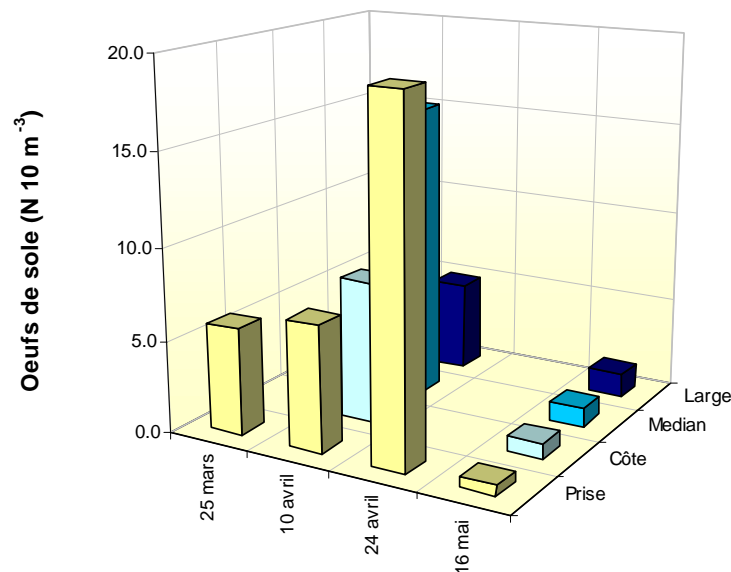


Figure 6.1 Abondance des œufs de sole à Gravelines en 2008 en fonction de la date et du point de prélèvement

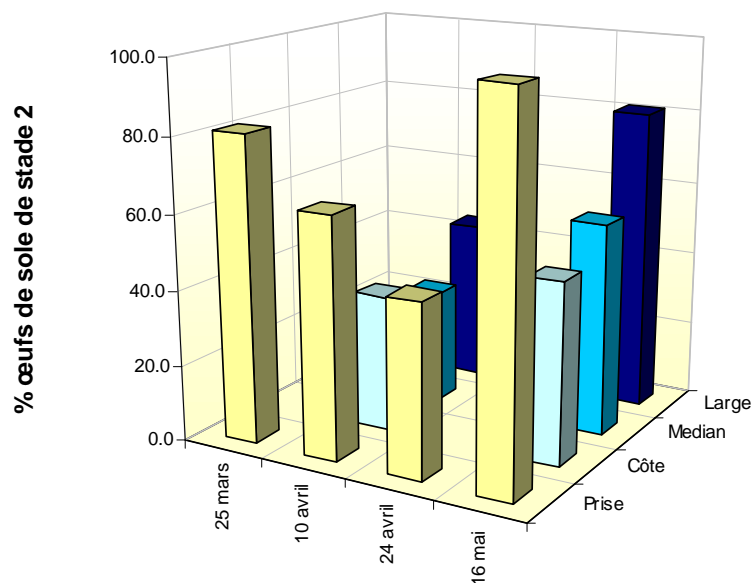


Figure 6.2 Proportion d'œufs de sole de stade 2 à Gravelines en 2008 en fonction de la date et du point de prélèvement

6.3.1.2. Larves

Comme pour les œufs, les larves de sole présentait un pic d'abondance le 24 avril au point *prise* avec 1,66 larves par 10 m^3 , soit une abondance constante par rapport à ce qui a été observé en 2007 et 2,5 fois plus qu'en 2006. Les effectifs étaient croissants du point *côte* au point *Large* lors de la mission en mer du 10 avril et décroissants lors de la mission en mer du 16 mai.

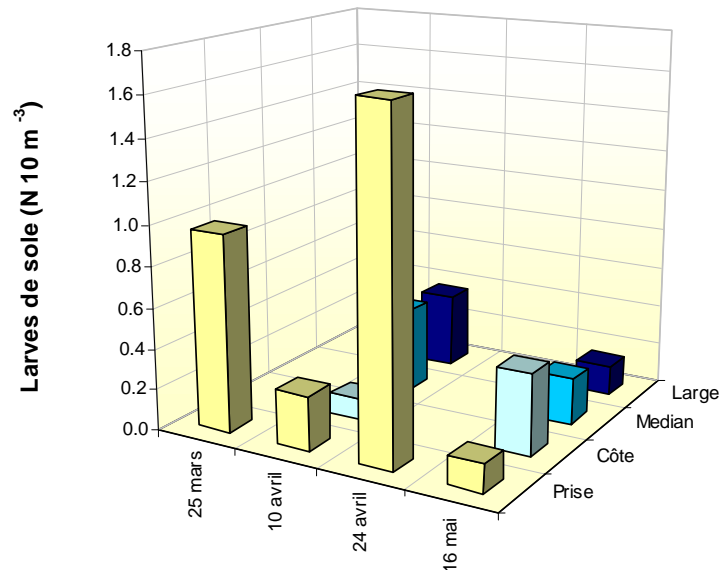


Figure 6.3 Abondance des larves de sole à Gravelines en 2008 en fonction de la date et du point de prélèvement

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

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

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

6.3.2.1. Œufs

L'abondance maximale a été observée lors de la mission du mois d'avril au point *large* avec 76 œufs par 10 m^3 , conformément au comportement reproducteur de cette espèce pélagique qui fraye à quelque distance de la côte (Tableau 6.3 et Figure 6.4). Cette année, la reproduction semble avoir été plus précoce que les années précédentes, comme en 2007, mais également plus étalée dans le temps (de mars à mai). Lors du prélèvement de mars au point *prise* l'abondance moyenne des œufs atteignait déjà 45 œufs par 10 m^3 . La proportion d'œufs de stade 2 dans les échantillons a décliné de 97 à 29 % de mars à mai, ce qui confirme bien qu'en mai nous étions déjà à la fin de la période de ponte (Figure 6.5).

Tableau 6.3 Abondance des œufs et des larves de sprat à Gravelines en 2008 (en nombre par 10 m³)

Date	Point	Réplicats	Total œufs	Œufs stade 1	Œufs stade 2	Larves
25 mars	325	1	41,10	0,60	40,50	0,00
		2	48,80	2,00	46,80	0,00
		Moyenne	44,95	1,30	43,65	0,00
10 avril	325	1	2,50	1,25	1,25	0,07
		2	2,78	0,84	1,94	0,00
		Moyenne	2,64	1,05	1,59	0,04
	313	1	0,81	0,09	0,72	0,00
		2	0,40	0,14	0,26	0,00
		Moyenne	0,61	0,12	0,49	0,00
	324	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		Moyenne	0,00	0,00	0,00	0,00
	318	1	0,03	0,00	0,03	0,00
		2	0,63	0,26	0,37	0,00
		Moyenne	0,33	0,13	0,20	0,00
24 avril	325	1	8,93	1,98	6,94	0,00
		2	23,37	11,13	12,24	0,00
		Moyenne	16,15	6,56	9,59	0,00
16 mai	325	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		Moyenne	0,00	0,00	0,00	0,00
	313	1	0,18	0,09	0,09	0,27
		2	2,53	1,42	1,11	0,22
		Moyenne	1,35	0,75	0,60	0,25
	324	1	0,00	0,00	0,00	0,47
		2	0,00	0,00	0,00	0,13
		Moyenne	0,00	0,00	0,00	0,30
	318	1	82,11	59,06	23,05	0,41
		2	71,31	49,76	21,55	0,20
		Moyenne	76,71	54,41	22,30	0,31

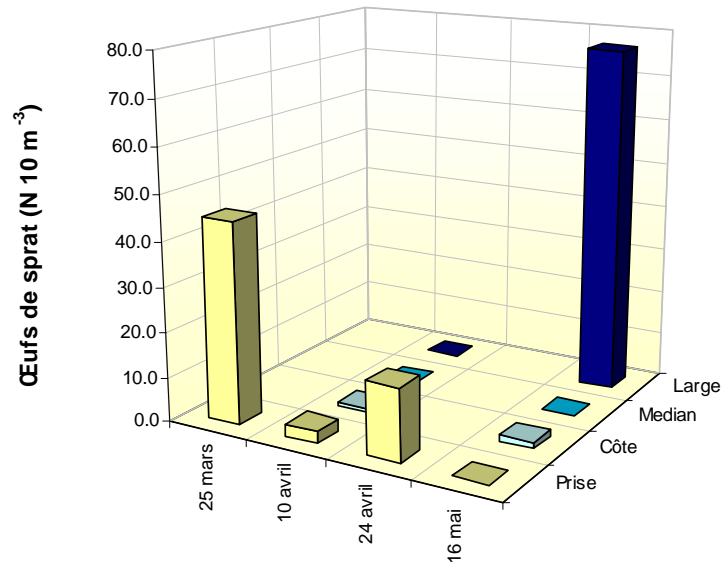


Figure 6.4 Abondance des œufs de sprat à Gravelines en 2008 en fonction de la date et du point de prélèvement

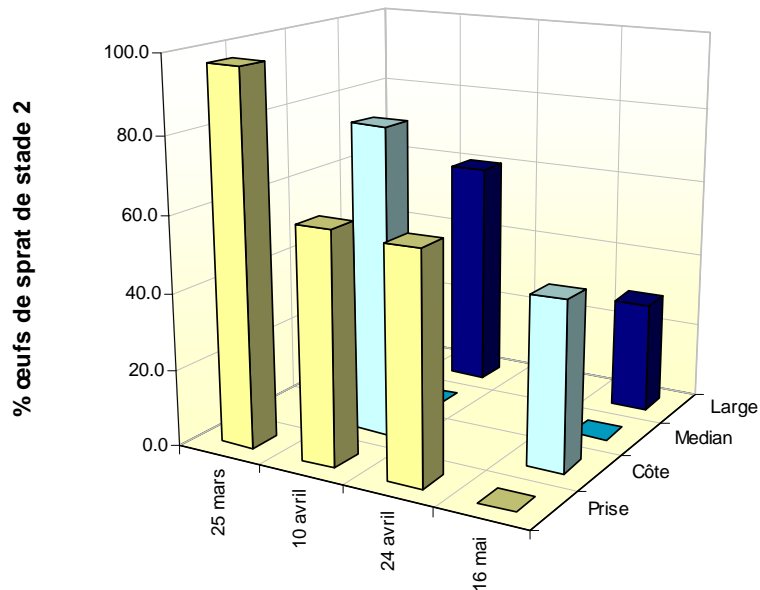


Figure 6.5 Proportion d'œufs de sprat de stade 2 à Gravelines en 2008 en fonction de la date et du point de prélèvement

6.3.2.2. Larves

Tout comme en 2006 et 2007, les abondances observées en 2008 ont encore montré une baisse drastique des larves de sprat qui en sont à leur niveau le plus faible jamais noté sur le site (figure 6.6). Les effectifs atteignent à peine un pic de 0,3 larves par 10 m^3 au point *large* lors de la mission du 16 mai. Ces larves sont même absentes des échantillons prélevés en mer (du point *côte* au point *large*) du 10 avril et du prélèvement au canal d'amenée le 24 avril.

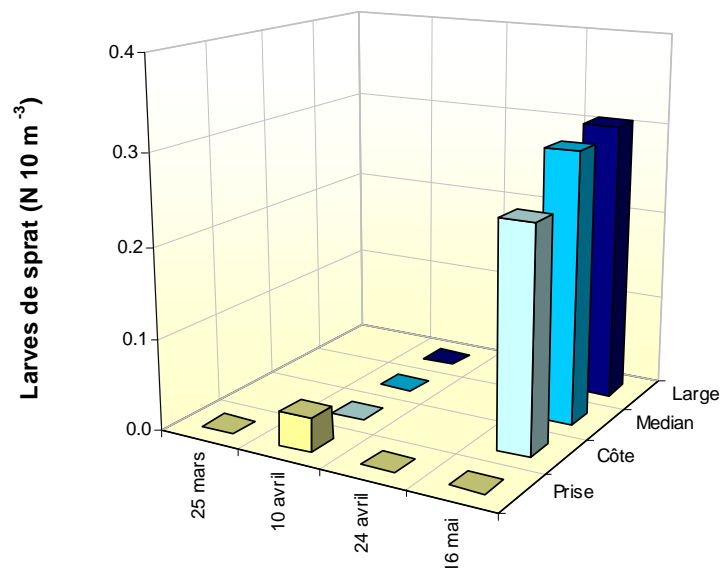


Figure 6.6 Abondance des larves de sprat à Gravelines en 2008 en fonction de la date et du point de prélèvement

6.3.3 Évolution des abondances des œufs et larves de poisson depuis 2007 à Gravelines

6.3.2.3. Œufs

La figure 6.7 reprend les abondances des œufs des 2 espèces de poissons étudiées sur l'ensemble des points de prélèvements du site de Gravelines et permet une comparaison des deux dernières années d'étude.

Au point *prise*, on note une tendance à une légère augmentation des abondances d'œufs des 2 espèces de poisson étudiées entre 2007 et 2008, avec cependant une augmentation beaucoup plus importante concernant les œufs de sprat entre les mois de mars 2007 et mars 2008.

Aux points *côte* et *contrôle* par contre, on remarque une diminution des abondances des œufs de ces deux espèces entre les deux années d'étude, et en particulier une disparition des œufs de sprat dans les prélèvements du point *contrôle* en 2008.

Au point *large* les abondances des œufs de sole diminuent entre 2007 et 2008 alors que les abondances des œufs de sprat suivent la tendance inverse.

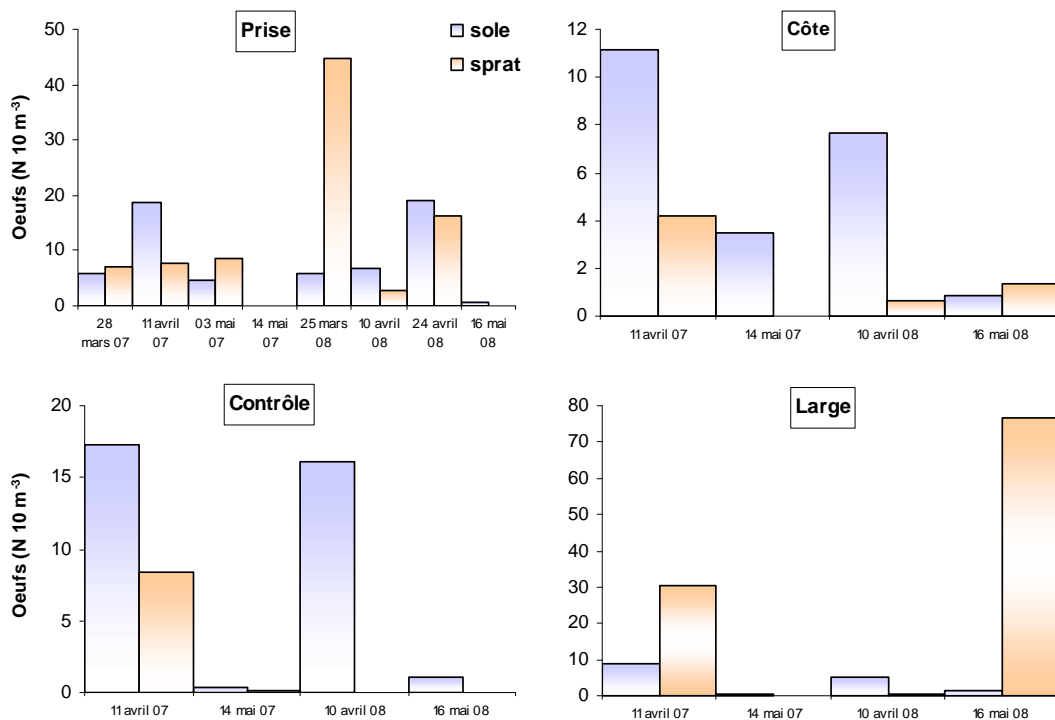


Figure 6.7 Abondance des œufs de sole et de sprat en 2007 et 2008 en fonction de la date et du point de prélèvement

6.3.2.4. Larves

Les abondances des larves de sole et de sprat en 2007 et 2008 sont regroupées sur la figure 6.8.

Au point *prise*, on note une tendance à une légère diminution des abondances de larves des 2 espèces avec cependant une diminution beaucoup plus marquée concernant les larves de sprat (présence de ces larves pour seulement un échantillon sur 4 en 2008).

Aux points *côte*, *contrôle* et *large*, on remarque également une diminution des abondances des larves de ces deux espèces entre les deux années d'étude, et en particulier une disparition des larves de sprat dans les prélèvements des trois points en avril 2008.

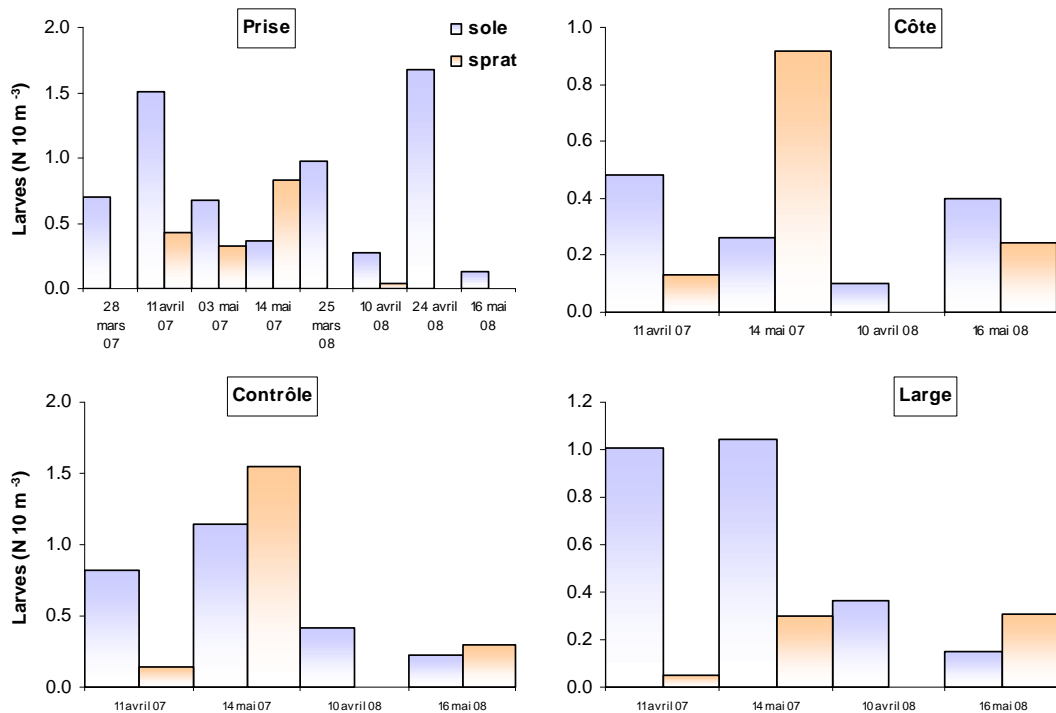


Figure 6.8 Abondance des larves de sole et de sprat en 2007 et 2008 en fonction de la date et du point de prélèvement

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

L'étude des zoés de la crevette grise avait cessé en 1989, au moment de la dernière réactualisation du programme de surveillance qui avait conduit à l'abandon des campagnes de suivi des phases benthiques de poissons plats sur le site, auxquelles la crevette était associée sur le plan méthodologique. Les présomptions de raréfaction de l'espèce font à nouveau croître depuis quelques années l'intérêt pour la crevette grise. L'échantillonnage a repris en 2001.

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

La période de reproduction de la crevette grise est très étendue et ses zoés sont *a priori* présentes tout au long de l'année. Chaque femelle pond en fait plusieurs fois par an ; cependant, selon plusieurs auteurs, la reproduction s'effectue selon un rythme saisonnier qui conduit globalement à un maximum de zoés en été et un minimum en hiver (Meixner, 1968¹).

¹ Meixner R., 1968.- Reproduction of the sand shrimp *Crangon crangon* (L.) - Fish. Rep. FAO, 57 (2) : 259-264

Tableau 6.4 Densités de zoés et mégalopes de crevette grise à Gravelines en 2008 (en nombre par 10 m³)

Date	Point	Repliquat	Zoés	Mégalopes	
25 mars	325	1	0,60	0,00	
		2	0,30	0,00	
		Moyenne	0,45	0,00	
10 avril	325	1	0,29	0,07	
		2	0,26	0,00	
		Moyenne	0,28	0,04	
	313	1	0,27	0,30	
		2	0,11	0,54	
		Moyenne	0,19	0,42	
	324	1	0,53	0,07	
		2	0,18	0,33	
		Moyenne	0,36	0,20	
	318	1	0,20	0,11	
		2	0,98	0,05	
		Moyenne	0,59	0,08	
24 avril	325	1	7,93	0,99	
		2	6,12	0,00	
		Moyenne	7,03	0,50	
16 mai	325	1	2,84	0,14	
		313	1	4,34	0,80
			2	3,32	0,49
	Moyenne		3,83	0,64	
	324	1	0,56	3,36	
		2	3,52	0,26	
		Moyenne	2,04	1,81	
	318	1	4,73	0,07	
		2	3,88	0,04	
		Moyenne	4,30	0,05	

6.3.2.5. Zoés (larves)

À Gravelines, les zoés sont généralement présentes toute l'année, mais surtout de mars à septembre avec un pic d'avril à juin. Leurs abondances pouvaient atteindre plusieurs dizaines par 10 m³ avec des pics de 100 à 200 dans les années 1980. En comparaison, les abondances relevées depuis 2001, année de la reprise des comptages, sont très faibles (sauf en 2005). Comme l'an passé, les abondances des zoés de la crevette grise en 2008 étaient faibles pour le site : le maximum observé le 24 avril au point *prise* (7 larves par 10 m³ ; tableau 6.4 et figure 6.9). Pour les autres dates, les abondances restent inférieures à 0,6 larves par 10 m³ en mars et avril et inférieures à 4,5 larves par 10 m³ pour la mission en mer du mois de mai.

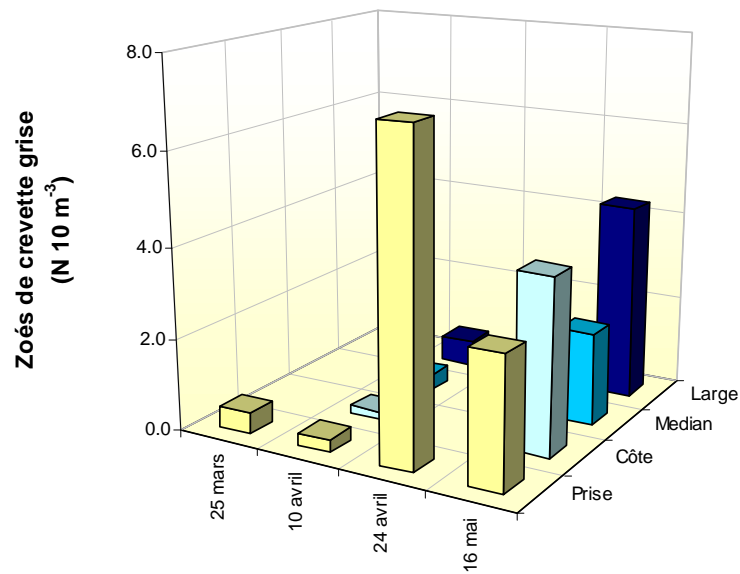


Figure 6.9 Abondance des zoés de la crevette grise *Crangon crangon* à Gravelines en 2008 en fonction de la date et du point de prélèvement

6.3.2.6. Mégalopes (post-larves)

Comme pour les zoés, le maximum d'abondance pour les mégalopes de crevette grise a été observé le 16 mai au point *contrôle* avec un pic de 1,8 mégalopes par 10 m³. Pour les autres prélèvements les abondances étaient inférieures à 0,5 post-larve par 10 m³, effectifs très loin d'atteindre les abondances observées durant les années 80 (jusqu'à 25 par 10 m³), bien qu'il soit difficile d'évaluer l'état d'une population sur la base de quatre prélèvements annuels.

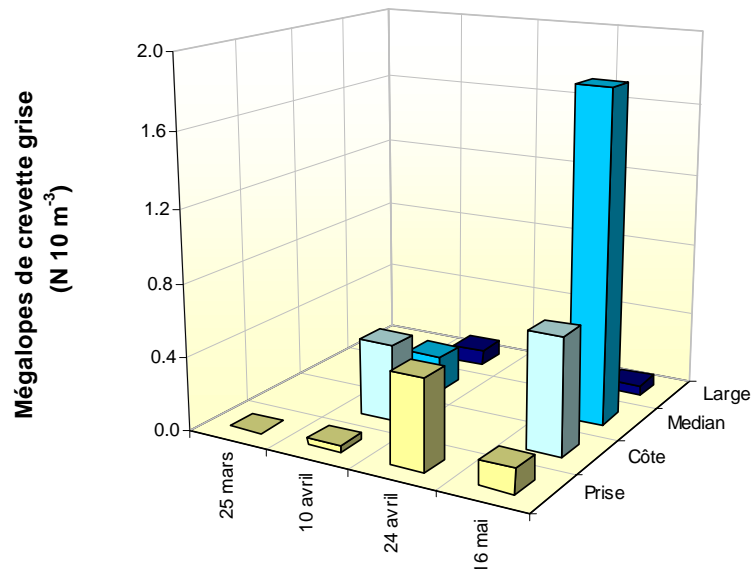


Figure 6.9 Abondance des mégalopes de la crevette grise *Crangon crangon* à Gravelines en 2008 en fonction de la date et du point de prélèvement

6.4. Éléments de conclusion

Conformément à la tendance à la précocité qui s'est installée depuis quelques années, la période de ponte de la sole et du sprat étaient centrée sur le mois d'avril, et les effectifs maximums de larves ont été observés en mai.

Avec une abondance maximale d'œufs de **sole** égale à 16 par 10 m³ en avril, les valeurs de 2008 étaient légèrement inférieures à celles de l'année précédente (19 par 10 m³ en avril 2007) et se situaient dans la moyenne des effectifs du site (10 à 30 œufs par 10 m³). Pour les larves, les abondances (< 2 par 10 m³) étaient faibles pour le site.

Pour le **sprat**, la reproduction semblait plus précoce et avoir une durée plus longue qu'en 2007 puisque les deux plus fortes abondances ont été observées lors de la première sortie (au point *prise*, 45 œufs par 10 m³ le 25 mars) et de la dernière sortie en mer (au point *large*, 76 œufs par 10 m³ le 16 mai).

Enfin, la **crevette grise**, présentait toujours des effectifs faibles depuis la reprise des comptages en 2001 et par rapport à l'ensemble des valeurs obtenues avant 1990.

7. LE DOMAINE BENTHIQUE INTERTIDAL

Auteur : Dewarumez J.-M.

Collaborateur : Menu D.



7.1. Introduction

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

Ces peuplements sont sous l'influence directe de deux principaux facteurs de l'environnement : la salinité et la teneur en fines du sédiment. Il a été démontré également que l'impact thermique de la centrale pouvait jouer un rôle important dans la structuration bionomique de l'estran, et ce, notamment, au niveau de deux populations d'Annélides Polychètes de la famille des Spionidiens : *Spio martinensis* et *Pygospio elegans*. Ces deux populations se répartissent sur l'estran en fonction de leur préférence thermique, *P. elegans* étant plus thermophile que *S. martinensis*. Il faut néanmoins relativiser l'ampleur de cet impact dans la mesure où l'exclusion réciproque des deux populations n'est pas systématique et que la densité de population des deux espèces varie fortement.

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

7.2. Matériels et méthodes

La stratégie d'échantillonnage a été modifiée lors de l'étude 2000. En effet, étant donnée la stabilité bionomique des niveaux inférieurs depuis plusieurs années, ne révélant par ailleurs aucun impact de la centrale, il avait été décidé de porter davantage notre attention sur la continuité de l'impact mis en évidence dans les niveaux supérieurs de l'estran et de délaissier les niveaux inférieurs. Dans ce but, deux points en haut niveau (point M) et en moyen niveau supérieur (point N) sur une nouvelle radiale située entre les deux radiales précédemment étudiées ont été rajoutés en 2000. Cependant, lors des campagnes réalisées depuis 2000 nous avons conservé la grille d'échantillonnage des niveaux inférieurs du fait du recrutement de *Donax vittatus*, espèce qui n'avait pas été récoltée depuis de nombreuses années sur l'estran.

La campagne a eu lieu le 20 juin 2008. L'échantillonnage a encore cette année porté sur les 10 points, dans la mesure où il nous semble dommage d'interrompre une série qui dure maintenant depuis plus de 30 ans.

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

7.3. Résultats

7.3.1. Composition bionomique

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

- 1 Némerte
- 1 Nématode
- 1 Annélide Oligochète
- 10 Annélides Polychètes
 - 4 errantes
 - 6 sédentaires
- 5 Mollusques
 - 1 Gastéropode
 - 4 Bivalves
- 10 Crustacés
 - 2 Isopodes
 - 1 Cumacé
 - 4 Amphipodes
 - 1 Mysidacé
 - 2 Décapodes
- 1 Insecte

Ces 28 taxons correspondent à 11 079 individus récoltés sur les trois radiales. Ce résultat était inférieur aux six années précédentes (tableau 7.1). Il reste néanmoins très largement supérieur à celui enregistré en 2002. L'année 2002 avait été caractérisée par un fort appauvrissement des populations benthiques de l'estran à la fois en richesse spécifique et en densité de population. Par contre l'année 2003 avait vu les peuplements revenir à un état normal de densité qui s'était maintenu par la suite. En 2006, les densités étaient restées au même niveau qu'en 2005, alors que le nombre d'espèces chutait fortement de 30 espèces récoltées en 2005 à 24 espèces en 2006. En 2008 il est remonté à 28 taxons.

Tableau 7.1 : Nombre d'individus des peuplements benthiques récoltés depuis 2004

Année	Radiale 1	Radiale 2	Radiale 3	Richesse spécifique	Abondance totale
2002	1 579	674	434	28	2 687
2003	10 772	1 335	3 441	28	15 548
2004	17 347	1 638	3 979	28	22 964
2005	13 679	725	1 966	30	16 370
2006	15 870	735	2 224	24	18 829
2007	16 430	530	2 259	23	19 219
2008	6 454	2 466	2 159	28	11 079

En 2008 la population de *Hydrobia ulvae* était présente à 6 stations, les 6 stations supérieures de l'estran mais ne représentait plus que 23 % des effectifs alors que depuis 2003 elle représentait plus 75 % du total des individus récoltés (tableau 7.2). En 2006, l'espèce avait été récoltée sur 8 stations sur 10 et elle représentait 95 % des individus récoltés. Seules les années 2001 et 2002 ont montrés des effectifs aussi faibles.

Tableau 7.2 : Proportion d'*Hydrobia ulvae* dans les peuplements benthiques observés depuis 2000

Année	Proportion
2000	63,9 %
2001	6,3 %
2002	36,8 %
2003	75,8 %
2004	88,1 %
2005	91,7 %
2006	95,0 %
2007	80,0 %
2008	23,0 %

La forte augmentation des populations de *Corophium arenarium* et de *Bathyporeia pilosa* observée en 2006 et en 2007 s'est confirmée en 2008.

Les espèces à forte affinité pour les eaux saumâtres (*Enchytraeidae*, *Enoplus brevis* et *Ophelia ratkhei* et *Hediste diversicolor*) avaient fortement régressé en 2006 cette tendance avait été largement confirmée en 2007. On note en 2008, la même absence de ces espèces d'eaux saumâtres : 1 *Hediste diversicolor*, 2 *Enchytraeidae* sp et 1 *Enoplus brevis* ont été récoltés sur les 3 radiales.

7.3.2. Radiale 1

7.3.2.1. Caractéristiques granulométriques du sédiment

Point E

Des placages de vase étaient toujours présents, ils étaient localisés au-dessus de ce niveau et surtout vers l'est, entre le point E et le point M. Les sédiments à proximité du chenal de l'Aa étaient peu envasés, très meubles et fluents. Lors de la campagne de 2000, nous avons noté un fort appauvrissement en pélites du sédiment qui s'était confirmé en 2001, la teneur en pélites n'était plus alors que de 0,43 %. En 2002, la teneur en pélites augmentait de nouveau pour atteindre 1,85 % du poids total du sédiment. En 2003, la teneur en pélites revenait à un niveau comparable à celui de 2001, puis en 2004 la teneur en pélites chutait de manière significative. En 2006, les sables moyens restaient dominants et la teneur en pélites remontait légèrement. En 2007 le sédiment s'affinait par augmentation de la teneur en pélites et en sables fins et par diminution de la teneur en sables moyens. En 2008 le phénomène s'est accentué encore (tableau 7.3 et figure 7.1).

Tableau 7.3 : Caractéristiques granulométriques au point E de la radiale 1 depuis 1997

% pondéraux	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Pélites	0,04	4,58	3,03	0,62	0,43	1,85	0,23	0,09	0,23	1,70	3,22	0,52
Sables fins	31,61	38,28	42,63	35,26	43,38	23,91	33,74	28,41	25,73	24,72	29,13	39,83
Sables moyens	64,72	50,33	50,76	52,44	53,00	63,13	61,51	67,47	65,19	70,18	61,68	57,33

La fraction fine du sédiment (sables moyens et fins + pélites) représente toujours plus de 90 % du poids total du sédiment depuis la campagne de 2001 (94 % en 2007 et presque 98 % en 2008).

Point F

Ce point présentait comme à l'accoutumer la même composition granulométrique que pour le point E.

Points G et H

Ces points, situés plus bas sur l'estran, présentaient des proportions en sables moyens et fins différentes de celles des deux points précédents. Au point G, les sables moyens représentaient un peu plus de 70 % des sédiments et seulement 23 % de sables fins, alors qu'au point H ces deux fractions sédimentaires étaient en proportion équivalente (47 à 48 %).

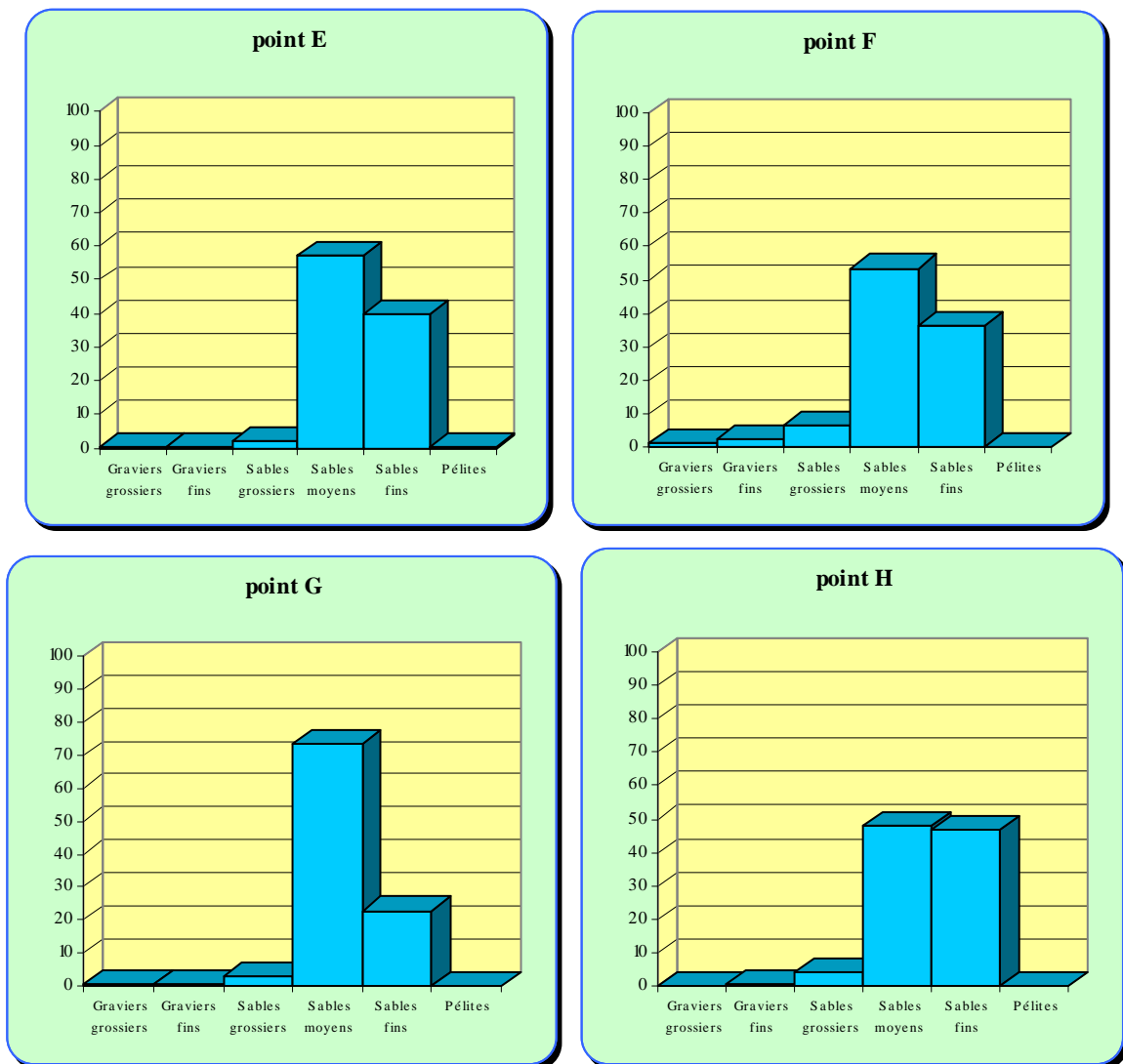


Figure 7.1. Radiale 1, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

7.3.2.2. Densité et biomasse des peuplements benthiques

Point E

En 2008, la population de *Hydrobia ulvae* au point E a chuté considérablement. La population ne représente plus que 9 % de ce qu'elle était en 2007 (tableau 7.4 et annexe 7.2). Depuis 2003 les densités observées pour cette espèce étaient exceptionnelles ($> 27\,416 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$) avec un maximum de $57\,828 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ observé en 2006. Un niveau de densité équivalent à celui de 2003 avait été trouvé en 1989 ($25\,740 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$). L'augmentation de la densité observée en 2004 était due au

recrutement (poids moyen individuel est de 0,22 mg). En 2005 on était en présence de la même cohorte, les individus étaient de plus grande taille (poids moyen individuel de 0,52 mg).

Tableau 7.4 : Densité (ind. \cdot m⁻²) des espèces dominantes au point E de la radiale 1 depuis 1998

Densité (ind. \cdot m ⁻²)	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<i>Hydrobia ulvae</i>	17 584	2 028	72	8	120	27 416	53 312	43 420	57 828	54 612	4 792
<i>Spio martinensis</i>	8	0	0	40	20	0	0	0	0	0	588
<i>Pygospio elegans</i>	0	0	0	0	0	8	0	0	0	92	0
<i>Eurydice affinis</i>	48	364	4	0	20	12	16	420	468	88	0
<i>Bathyporeia pilosa</i>	16	3 688	0	8	0	0	0	12	1 132	896	0
<i>Corophium arenarium</i>	40	184	20	120	40	100	4	156	368	1428	528

La densité globale d'individus au point E atteignait 5 912 ind. \cdot m⁻² en 2008; contre 57 140 ind. \cdot m⁻² en 2007, et 59 888 ind. \cdot m⁻² en 2006. C'est en fait une diminution des densités de population de toutes les espèces, qui n'est pas compensé par l'augmentation de la population de *Spio martinensis*. La population d'*Hydrobia ulvae* ne contribuait plus que pour 81 % de la densité globale contre 92 % en 2007 et 97 % en 2006. Alors qu'en 1999, 2000, 2003, 2004, 2005, 2006 et 2007, *Spio martinensis* n'avait plus été récoltée à ce point, en 2008 sa densité était la plus forte jamais enregistrée à ce point.

La biomasse globale enregistrée en 2008 a fortement régressé (2,5 g \cdot m⁻²; annexe 7.3) par rapport à ce que l'on observait depuis 2003 (valeurs comprises entre 16,2 et 24,5 g \cdot m⁻²). Pour mémoire, la biomasse n'était que de 0,17 g \cdot m⁻² en 2002, de 0,11 g \cdot m⁻² en 2001 et de 0,05 g \cdot m⁻² en 2000. Les évolutions de la biomasse sont liées à la densité de *Hydrobia ulvae* et à la structure démographique de sa population. La densité de *Corophium arenarium* régresse à nouveau après avoir été en très forte augmentation en 2007.

Point F

C'est à ce point que les plus fortes variations tant en biomasse qu'en densité ont pu être mises en évidence depuis le début des études. Ces variations concernent également la composition faunistique du peuplement. Ces évolutions sont surtout liées aux populations de mollusques bivalves (*Cerastoderma edule* et *Macoma balthica*) 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.

Cerastoderma edule et *Macoma balthica* représentaient plus de 93 % de la biomasse totale à ce point en 2006 et 49 % en 2007. En 2008, la contribution à la biomasse de ces deux mollusques était de 79 %.

En 2008, la population de *Cerastoderma edule* a progressé légèrement par rapport à 2007 avec une la présence de jeunes individus (tableau 7.5 et annexe 7.2). Elle était restée remarquablement stable entre 2001 et 2002 après avoir connu une forte régression entre 1998 et 2000. En 2003, aucun des individus récoltés n'appartenait à la cohorte 2000. En 2004, la densité n'évoluait pas mais tous les individus récoltés étaient de la cohorte 2003. En 2005, on notait un recrutement faible, mais significatif. En 2006, on notait un recrutement plus important. Deux cohortes étaient présentes : la cohorte 2005 et la cohorte 2006 qui représente 70 % de la population. En 2007 la densité de population avait encore diminué pour arriver à un niveau non rencontré depuis plus de 10 ans, de très nombreuses coquilles vides étaient présentes sur l'estran au niveau de cette station.

Tableau 7.5 : Densité (ind. \cdot m⁻²) des espèces dominantes au point F de la radiale 1 depuis 1998

Densité (ind. \cdot m ⁻²)	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
---	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

<i>Hediste diversicolor</i>	56	116	72	116	48	100	264	20	4	0	0
<i>Spio martinensis</i>	36	0	0	88	8	4	0	0	0	0	208
<i>Pygospio elegans</i>	0	0	0	8	0	0	4	40	0	4	0
<i>Ophelia rathkei</i>	588	24	0	64	92	8	8	24	0	0	0
<i>Hydrobia ulvae</i>	9 176	26 140	8 448	12	3 404	11 448	12 120	9 336	448	4 064	4
<i>Cerastoderma edule</i>	800	144	32	236	248	32	36	108	228	12	52
<i>Macoma balthica</i>	168	748	696	316	1 040	404	356	220	32	4	20
<i>Corophium arenarium</i>	0	0	0	0	4	12	80	176	8	8	4 824

Les résultats de biomasse de *Cerastoderma edule* ont confirmés cette évolution démographique. La biomasse de cette espèce progressait de 2003 à 2006, passant de 4,5 à 12,5 g·m⁻². En 2007 elle n'était plus que de 2,8 g·m⁻² et cette année elle était de 10,6 g·m⁻² (annexe 7.3).

Macoma balthica avait bénéficié d'un recrutement très important à l'automne 2001. En 2002, la densité et la biomasse de cette espèce étaient les plus fortes enregistrées depuis plusieurs années (1 040 ind·m⁻² et 39,7 g·m⁻²; tableau 7.5) du fait du maintien de la cohorte de 2000. En 2003, la disparition de la cohorte 2000 provoquait une diminution importante des densités. En 2004, la classe dominante était celle des individus de 2001. En 2005 la densité diminuait encore, du fait de la disparition de la cohorte 2001, et un nouveau recrutement était mis en évidence. En 2006, il ne restait plus que quelques individus de la cohorte 2005. La densité de cette espèce était très faible en comparaison des études antérieures (32 ind·m⁻²) et en 2007, la population avait quasiment disparu (4 ind·m⁻²). En 2008, elle n'était que de 20 ind·m⁻² et la biomasse seulement de 0,6 g·m⁻² (annexe 7.3).

Comme au point E la population de *Hydrobia ulvae* était en régression importante cette année. En 1998, nous avons noté que la population de *H. ulvae* gagnait les moyens niveaux supérieurs. En 1999, ce phénomène se confirmait et s'amplifiait, néanmoins comme la densité globale de *H. ulvae* restait équivalente dans les niveaux supérieurs de la partie ouest de l'estran (13 380 ind·m⁻², en 1998 contre 14 084 ind·m⁻² en 1999), nous avons conclu que cette espèce se redistribuait sur l'estran. Les résultats obtenus en 2000 semblaient infirmer cette hypothèse car la population de *H. ulvae* régressait sur la totalité des niveaux supérieurs tout en restant cependant la plus importante au point F. En 2001, la population de *H. ulvae* disparaissait complètement au point F (12 ind·m⁻² pour une biomasse de 2,2 mg·m⁻²). L'espèce réapparaissait en 2002 à un niveau de densité, certes inférieur à celui des années 1998 et 1999, mais suffisant pour permettre la régénération de la population. Cette implantation s'est confirmé en 2003, la densité étant du même ordre que dans la période 1998-2000 (11 448 ind·m⁻²). En 2004 la situation restait analogue au niveau de la densité et régressait légèrement en 2005. En 2006, comme signalé plus haut, la population s'était réinstallée dans les niveaux supérieurs, la densité n'était plus que de 448 ind·m⁻² au point F. Les résultats de 2007 confirmaient cette tendance même si la densité était en augmentation. On ne peut confirmer aucune tendance pour 2008 dans la mesure où seul 1 individu a été récolté, sa biomasse était de 0,6 mg.

En 2008, les populations de *Corophium arenarium*, de *Bathyporeia pilosa* et de *Spio martinensis* étaient en très forte progression (tableau 7.5 et annexe 7.2).

En 2006, la population de *Hediste diversicolor* avait fortement régressé, tout comme les autres espèces à affinité « eaux saumâtres » (les *Enchytraeidae* et *Enoplus brevis* qui avait totalement disparu). Aucune de ces trois espèces n'avait été récoltée en 2007 ; seuls 2 *Enchytraeidae* sp ont été récoltés en 2008.

Points G et H

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

Depuis 2004, le peuplement en place est beaucoup moins diversifié qu'auparavant, très faible densité et faible richesse spécifique, avec comme corollaire une faible biomasse. En 2008 la récolte de quelques juvéniles de *Lanice conchilega* au point H fait légèrement augmenter la densité globale (148 ind. \cdot m⁻² au point G et 276 ind. \cdot m⁻² au point H ; annexe 7.2). Aucun *Donax vittatus* n'a été récolté au point H depuis 2003 et cela s'est confirmé cette année.

7.3.3. Radiale 2

7.3.3.1. Caractéristiques granulométriques du sédiment

Les caractéristiques granulométriques du sédiment aux quatre points la radiale 2 sont représentés sur la figure 7.2 (voir aussi annexe 7.1).

Point I

Les résultats de ce point sont le reflet des actions combinées du rejet de la centrale situé à proximité et de l'influence des eaux douces de ruissellement.

Point J

Situé à proximité immédiate du complexe de dunes et de bâches situé à mi-estran. Il a été pendant plusieurs années, le siège d'un lent phénomène d'érosion qui a éliminé du sédiment les particules fines avec pour conséquence de faire évoluer le peuplement installé à ce point vers des aspects caractéristiques de moyens niveaux inférieurs.

Point K

Les résultats de ce point sont le reflet des actions combinées du rejet de la centrale situé à proximité et de l'influence des eaux douces de ruissellement.

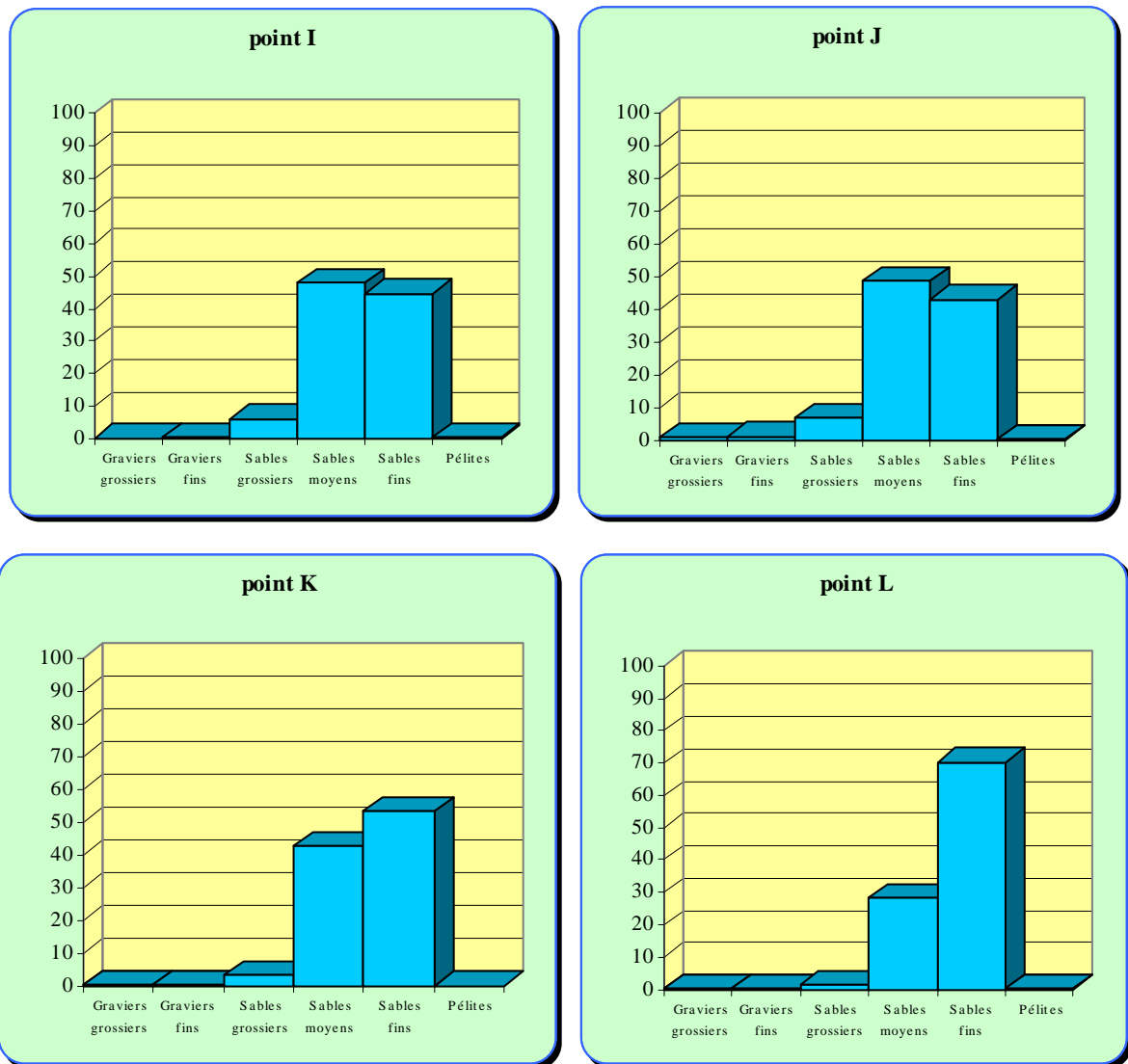


Figure 7.2. Radiale 2, Caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

7.3.3.2. Densité et biomasse des peuplements benthiques

Point I

En 2008, la densité de la population de *Hydrobia ulvae* était 50 fois plus importante qu'en 2007 (tableau 7.6 et annexe 7.4). Après de fortes augmentations en 1998 (1 468 ind. \cdot m⁻²) et 1999 (2 620 ind. \cdot m⁻²), la densité de la population de *H. ulvae* avait fortement diminué en 2000 (680 ind. \cdot m⁻²). La population était alors constituée d'individus de grande taille (poids moyen par individu de 0,8 mg en 2000). La densité de population était remontée en 2001 à 900 ind. \cdot m⁻² et nous avons conclu à un vieillissement de la population sans nouveau recrutement. En 2002, la population avait quasiment disparu de ce point (72 ind. \cdot m⁻²). En 2003 et 2004, la population semblait s'être reconstituée au même niveau que pendant les années 2000-2001 à ceci près que la population était constituée de très jeunes individus (0,25 mg de poids moyen individuel en 2003). Entre 2005 et 2007, la population de cette espèce était en forte régression, la plus faible de ces 12 dernières années.

Tableau 7.6 : Densité (ind. \cdot m⁻²) des espèces dominantes au point I de la radiale 2 depuis 1997

Densité (ind. \cdot m ⁻²)	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<i>Enchytraeidae</i>	212	104	0	4	816	0	2 396	12	32	4	0	0
<i>Pygospio elegans</i>	1 144	0	60	4	3 440	332	168	936	96	0	40	3 032
<i>Spio martinensis</i>	0	186	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hydrobia ulvae</i>	204	1 468	2 620	680	900	72	832	876	40	52	8	388
<i>Corophium arenarium</i>	1 508	7 004	1 792	3 348	3 916	140	220	3 772	280	380	836	2 100
<i>Bathyporeia pilosa</i>	4	40	4	4	4	0	36	4	4	8	308	72
<i>Eurydice affinis</i>	36	0	8	48	4	0	268	0	12	56	44	44

La population de *Corophium arenarium* avait elle aussi régressé d'une manière considérable entre 2002 et 2007 (à l'exception de 2004). La densité a bien augmenté en 2008 (2 100 ind. \cdot m⁻²) et on retrouve ainsi les densités des années antérieures à 2002 (tableau 7.6).

La population de *Enchytraeidae*, qui avait complètement disparu en 2002, s'était rétablie à un niveau de densité très important, le plus fort enregistré à ce point, en 2003 (2 396 ind. \cdot m⁻²). Depuis 2004 la population avait fortement diminué pour disparaître totalement en 2007 comme en 2008.

Par contre, la population de *Pygospio elegans* est réapparue en faible densité en 2007 et atteignait quasiment la densité maximale enregistrée pour ce point en 2008 (3 032 ind. \cdot m⁻²).

Point J

Depuis 1997, le cortège spécifique du peuplement installé à ce point était constitué à la fois d'espèces caractéristiques des niveaux supérieurs et d'espèces inféodées aux moyens niveaux inférieurs. En 2001, le peuplement de ce point était constitué majoritairement d'espèces inféodées aux niveaux supérieurs de l'estran. Ce schéma a peu évolué entre 2001 et 2006, *Corophium arenarium* et *Eurydice affinis* (espèces de haut niveau) étaient dominantes ou présentes tandis que *Bathyporeia sarsi* et *Eurydice pulchra* (espèces de moyen niveau) étaient absentes. La densité de *Scolecopsis squamata* (espèces de moyen niveau) reste moyenne. En 2007, un retour vers la structure d'avant 2001 semblait s'amorcer avec de fortes densités de *E. pulchra* et de *Bathyporeia pilosa* ; la différence principale étant l'absence de *S. squamata*. En 2008 le schéma observé était celui de la situation de 2001 et de 2002 (tableau 7.7 et annexe 7.4).

Tableau 7.7 : Densité (ind. \cdot m⁻²) des espèces dominantes au point J de la radiale 2 depuis 1997

Densité (ind. \cdot m ⁻²)	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<i>Scolecopsis squamata</i>	4	0	28	48	28	56	36	24	84	56	0	52
<i>Eurydice affinis</i>	188	36	376	0	252	44	160	140	452	220	4	288
<i>Eurydice pulchra</i>	20	32	0	368	4	12	0	0	24	0	488	12
<i>Corophium arenarium</i>	80	132	8	4	248	352	4	180	376	112	0	592
<i>Bathyporeia pilosa</i>	988	0	0	364	3 316	1056	128	4	226	1 184	256	1 832

La biomasse, qui restait faible depuis plusieurs années est en hausse très légère en 2008 : 0,8 g \cdot m⁻² (annexe 7.5).

Points K et L

Pendant plusieurs années, les peuplements établis dans les niveaux inférieurs de la radiale 2 étaient caractérisés par une très grande stabilité. Oligospécifiques, ils étaient dominés par des espèces classiquement rencontrées à ces niveaux : *Nephtys cirrosa* et *Haustorius arenarius*.

Un résultat tout à fait surprenant a été enregistré au point K en 2005, la présence fugace de *Scolelepis squamata* : en très forte densité (964 ind. \cdot m⁻²) en juillet et son absence totale en août 2005 lors d'un prélèvement de contrôle. L'espèce était présente en faible densité à ce point en 2007 (16 ind. \cdot m⁻²), elle était absente en 2008 (annexe 7.4). *Donax vittatus* a été récolté au point K seulement, de même que *Haustorius arenarius*, amphipode caractéristique des milieux dunaires de mi-estran que l'on trouve toujours à ce point.

Le cortège spécifique du point L était dominé par *Nephtys cirrosa* (76 ind. \cdot m⁻² ; annexe 7.4).

La biomasse à ces deux points était inférieure à 1 g \cdot m⁻².

7.3.4. 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.

7.3.4.1. Caractéristiques granulométriques du sédiment

Les caractéristiques granulométriques du sédiment aux deux points la radiale 3 sont représentés sur la figure 7.3 (voir aussi annexe 7.1).

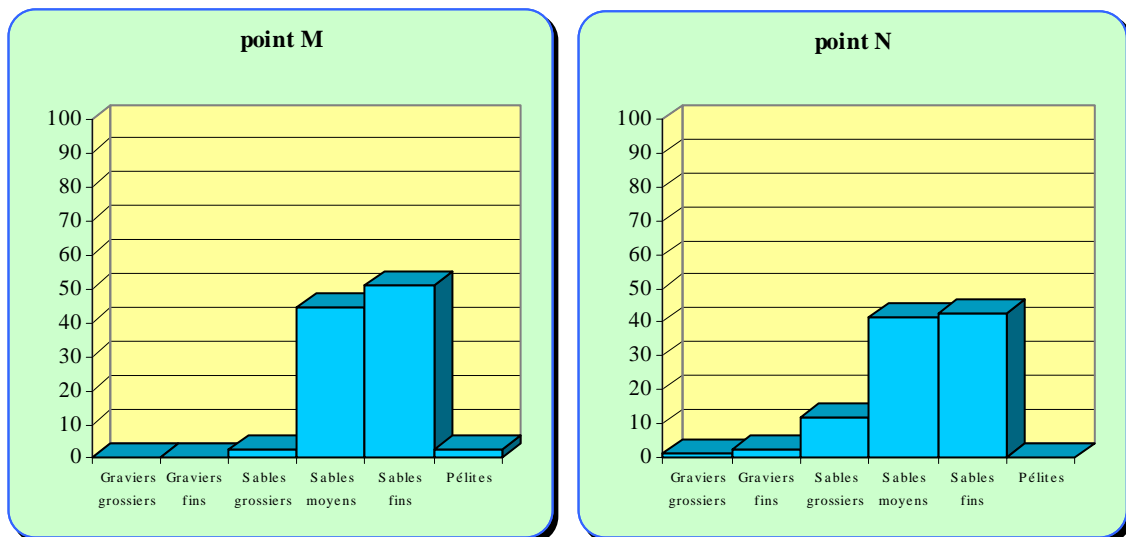


Figure 7.3. Radiale 3, Caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

7.3.4.2. Densité et biomasse des peuplements benthiques

Les résultats obtenus en 2003 et 2005 montraient que pour les espèces typiquement estuariennes *Hydrobia ulvae*, *Hediste diversicolor*, *Macoma balthica*, *Cerastoderma edule* et *Ophelia ratkhei* les gradients de répartition étaient décroissants d'ouest en est et que pour *Corophium arenarium* et *Bathyporeia pilosa* les gradients étaient inverses. En 2006 et 2007 les choses semblaient moins nettes. En 2008 on note l'importance de la population de *H. ulvae* aux deux points bien que les densités n'atteignaient pas les maximums observés au point E de la radiale 1 (annexe 7.6). A noter cette année, l'augmentation de la densité de *Corophium arenarium* au point N.

7.4. Conclusion sur l'évolution de l'estran

7.4.1. Cas de la partie ouest

Les peuplements typiquement estuariens ont disparu de la partie ouest de l'estran dès la mise en service de la centrale. La disparition de la dune hydraulique a entraîné le lessivage des fines, mais l'influence de la dessalure causée par l'Aa reste importante. Néanmoins les populations d'espèces euryhalines présentent une très grande variabilité dans le temps (tableau 7.8).

Tableau 7.8 : Densité moyenne (ind.m⁻²) des espèces euryhalines depuis 1997

Densité (ind.m ⁻²)	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<i>Ophelia ratkhei</i>	115	148	9	20	16	23	461	2	6	1	0	0
<i>Enchytraeidae</i> sp.	4	0	9	1	20	184	103	8	12	27	0	2
<i>Hediste diversicolor</i>	17	14	29	18	29	12	25	66	5	1	0	0

Depuis maintenant plusieurs années, l'influence de la dessalure de l'Aa semble rester faible. Les trois espèces typiquement estuariennes sont en régression depuis 2003, en 2007 elles semblaient avoir disparu de la partie ouest de l'estran. En 2008 seuls 2 *Enchytraeidae* sp. ont été récoltés.

7.4.2. Cas des Spionidés

Le principe de la séparation spatiale des populations de *Spio martinensis* et de *Pygospio elegans*, très marquée jusqu'en 1995, a été remis en cause en 1996 du fait de la complète disparition de *S. martinensis* (tableau 7.9). En 1997, la situation semblait être redevenue normale avec séparation parfaite des deux populations, bien que les densités de *S. martinensis* aient été encore faibles et que cette espèce ait été récoltée au bas niveau de la radiale 2. En 1998, la disparition complète de *P. elegans* et la colonisation de la totalité de l'estran par *S. martinensis* remettaient en cause la séparation des deux populations. En 1999, la situation évoluait encore, *S. martinensis* disparaissait des niveaux supérieurs de l'estran tandis que *P. elegans* réapparaissait au point I de la radiale 2. En 2001 et en 2002, les populations de spionidés retrouvaient des répartitions diamétralement opposées et conformes à ce que l'on observait au début des années 1990. En 2003, le schéma de répartition de *P. elegans* et de *S. martinensis* a été confirmé. En 2004, *S. martinensis* était absent des niveaux supérieurs de l'estran. Cette espèce n'avait été récoltée qu'au point H. En 2005, *P. elegans* a été récolté sur pratiquement tout l'estran, mais la population était située plutôt dans les niveaux supérieurs de l'estran, sauf au point E de la radiale 1. En 2005 et 2006 *S. martinensis* était complètement absent de l'estran. En 2006, *P. elegans* n'avait été récolté que sur la radiale 2. En 2007, *S. martinensis* n'avait été récolté qu'au point H, tandis que *P. elegans* réapparaissait sur l'estran en cinq points, tous situés en haut niveau ou moyen niveau supérieur, et en fortes densités au point N (488 ind.m⁻²). En 2008, on a observé de nouveau une claire séparation des deux

populations *S. martinensis* le long de l'Aa et *P. elegans* à partir du point M. Les densités de *P. elegans* au point I faisait partie des plus importantes observées depuis le début des études.

Tableau 7.9 : Densité (ind.m⁻²) des spionidés depuis 1996

Densité (ind.m ⁻²)	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
<i>Spio martinensis</i>	E	0	76	8	0	0	40	20	0	0	0	0	588	
	F	0	196	36	0	0	0	8	84	0	0	0	108	
	M	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	
	N	-	-	-	-	36	0	0	0	0	0	0	0	
	I	0	0	186	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	J	0	60	4	0	0	24	0	0	0	0	0	0	
<i>Pygospio elegans</i>	E	32	0	0	0	0	0	8	0	0	0	92	0	
	F	672	0	0	0	0	8	0	4	40	40	4	0	
	M	-	-	-	-	52	124	456	264	0	108	40	72	2
	N	-	-	-	-	0	40	68	408	616	208	8	488	0
	I	64	1 144	0	60	4	3 440	332	168	936	96	0	40	3 032
	J	4	0	0	0	16	24	156	0	80	8	0	0	20

7.4.3. Cas de la biomasse

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

La biomasse moyenne de l'estran calculée en 2007 était très inférieure à celle de 2006 (7,20 g.m⁻²) et celle des années 2002 à 2005 (tableau 7.10). En 2008, la biomasse moyenne était la plus faible jamais enregistrée sur l'estran. Cette biomasse était principalement établie sur les niveaux supérieurs et moyens supérieurs de la partie ouest de l'estran (points E, F, M, et N). La forte régression des populations d'*Hydrobia ulvae* a provoqué une forte chute de la densité qui n'a pas été compensée par les autres espèces.

Tableau 7.10 : Biomasse (g.m⁻²) des peuplements benthiques sur l'estran depuis 2006

Biomasse (g.m ⁻²)	1996	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
E	8,68	11,82	8,79	19,34	2,36	0,05	0,11	0,17	16,24	11,90	22,85	32,1	24,51	2,55
F	25,94	31,16	52,64	39,59	48,47	24,91	23,61	67,05	32,74	38,09	18,37	22,5	5,99	14,14
G	0,44	0,47	0,27	0,40	1,76	0,28	0,23	0,09	2,16	0,48	0,77	0,48	1,09	0,58
H	0,29	0,31	0,48	0,68	0,83	6,56	0,56	0,68	1,30	0,44	0,49	0,26	0,81	1,06
I	1,49	2,34	1,72	4,29	2,23	7,19	5,83	0,13	0,87	3,68	0,19	0,54	0,52	2,03
J	0,48	0,48	0,49	0,35	0,40	0,50	0,76	0,59	0,23	1,34	0,58	0,57	0,25	0,83
K	1,03	1,06	0,29	0,69	0,52	1,28	0,95	0,44	1,57	0,34	5,41	0,89	0,28	0,91
L	1,84	1,91	0,28	0,32	1,34	0,64	12,91	0,74	4,44	0,55	0,19	1,00	0,64	0,29
M	-	-	-	-	-	1,34	0,82	0,53	2,84	9,83	3,30	5,79	2,64	2,89
N	-	-	-	-	-	0,31	1,43	0,33	4,01	8,37	1,99	7,85	4,11	2,24
Moyenne estran	5,02	6,19	8,12	8,21	7,25	4,31	4,72	7,08	6,64	7,50	5,41	7,20	4,08	2,75

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

Cette étude confirme que la forte capacité de charge de la plage de Gravelines peut être soumise à des évolutions fortes d'une année sur l'autre en fonction du maintien de population à forte biomasse, comme en l'occurrence *Hydrobia ulvae*. Depuis 2004, la biomasse est répartie comme dans les systèmes classiques des estrans à énergie modérée dans lesquels la biomasse est plus forte dans les niveaux supérieurs grâce aux espèces euryhalines que l'on y rencontre.

7.5. Éléments de conclusion

On ne note pas, en 2008, d'évolution de la morphologie de l'estran. Les résultats des analyses granulométriques ne font pas apparaître d'évolution majeure des sédiments intertidaux.

Le principal résultat de l'année 2008 concernait une augmentation non négligeable de la richesse spécifique (28 espèces, contre 23 en 2007 et 24 en 2006). La densité globale et la biomasse globale étaient par contre en forte diminution.

L'appauvrissement faunistique de la plage que nous avons constaté en 2002 ne s'était pas confirmé en 2003. Nous n'avons d'ailleurs pas trouvé d'explication pertinente (granulométrie ou activité de la centrale) à l'évolution constatée. En 2004, nous constatons un développement extraordinaire de la population de *Hydrobia ulvae*. La partie ouest de l'estran avait été le lieu d'un recrutement très important de cette espèce. Ce recrutement était de moins en moins sensible au fur et à mesure que l'on s'éloignait du point E. Le schéma de 2005 pour cette espèce restait identique à ceci près qu'il n'y avait pas eu de recrutement important en 2005 et que les individus récoltés appartenant à la même cohorte 2004, leur biomasse avait augmenté naturellement. En 2006, on assistait à une nouvelle redistribution des cohortes sur l'estran : les individus les plus grands issus de la cohorte 2004 (biomasse individuelle supérieure à 1 mg) s'étaient redistribués sur les niveaux moyens, voire inférieurs. En 2007, les individus de la cohorte 2006 et quelques recrues de 2005 se sont redistribués dans les niveaux supérieurs de l'estran où l'on trouvait les plus fortes densités quelque soit la radiale.

L'étude 2008 a montré que les gradients de répartition de certaines espèces pouvaient être remis en cause :

- Répartition décroissante ouest-est pour *Hydrobia ulvae*, mais avec un maximum au centre de la zone d'étude.
- Répartition décroissante ouest-est pour *Corophium arenarium*, mais avec un minimum au centre de la zone d'étude.
- Population de *Bathyporeia pilosa* fortement développée sur la partie ouest de l'estran, notamment au point F

D'autres études récurrentes que nous menons dans la partie française de la mer du Nord ont montré que les peuplements benthiques littoraux et sublittoraux avaient été affectés en 2007. Il semblerait que les populations n'aient pas eu les capacités, du fait de leurs faibles densités, d'avoir un niveau de recrutement important. Ce peut n'être qu'un phénomène transitoire. On peut penser qu'il s'agit de la conséquence d'un phénomène à plus grande échelle que celle de l'impact de la centrale. Mais on peut penser également que l'estran conserve l'intégralité de ses capacités productives à moyen terme et une certaine stabilité même si des oscillations autour d'une situation moyenne sont perceptibles et récurrentes. Il nous semble de plus en plus important de traiter l'ensemble des données enregistrées depuis le début des études.

**Annexe 7.1 : Caractéristiques granulométriques du sédiment aux 10 points intertidaux
(% pondéraux)**

radiale 1	point E	point F	point G	point H
Graviers grossiers	0,10	1,35	0,64	0,05
Graviers fins	0,09	2,09	0,49	0,68
Sables grossiers	2,13	6,58	2,96	4,36
Sables moyens	57,33	53,51	73,27	47,92
Sables fins	39,83	36,44	22,64	46,93
Pélites	0,52	0,03	0,00	0,06

radiale 2	point I	point J	point K	point L
Graviers grossiers	0,18	0,64	0,35	0,05
Graviers fins	0,69	1,14	0,33	0,13
Sables grossiers	6,12	6,60	3,29	1,36
Sables moyens	47,95	48,60	42,67	28,15
Sables fins	44,65	42,99	53,34	70,32
Pélites	0,40	0,03	0,02	0,00

radiale 3	point M	point N
Graviers grossiers	0,19	1,30
Graviers fins	0,07	2,58
Sables grossiers	2,44	12,04
Sables moyens	44,21	41,44
Sables fins	50,61	42,62
Pélites	2,47	0,03

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

Radiale 1	Point E	Point F	Point G	Point H
Annélides Oligochètes				
<i>Enchytraeidae</i> sp.		2		
Annélides Polychètes				
<i>Scolelepis squamata</i>	1	52	1	
<i>Spio martinensis</i>	147	52	12	1
<i>Magelona johnstoni</i>				1
<i>Capitella capitata</i>				1
<i>Eteone longa</i>		4		1
<i>Nephtys cirrosa</i>			11	28
<i>Lumbrineris tetraura</i>				1
<i>Lanice conchilega</i>				33
Mollusques				
<i>Hydrobia ulvae</i>	1 198	1		
<i>Macoma balthica</i>		5		
<i>Cerastoderma edule</i>		13		
Crustacés				
<i>Eurydice affinis</i>		844		
<i>Eurydice pulchra</i>		90	1	
<i>Cumopsis longipes</i>				1
<i>Bathyporeia pilosa</i>		2 601		
<i>Bathyporeia sarsi</i>			5	
<i>Haustorius arenarius</i>			5	
<i>Corophium arenarium</i>	132	1 206		
<i>Gastrosaccus spinifer</i>			1	2
<i>Portumnus latipes</i>			1	
Richesse spécifique	4	11	8	9
TOTAL 0,25 m ⁻²	1 478	4 870	37	69
TOTAL m ⁻²	5 912	19 480	148	276

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

Radiale 1	Point E	Point F	Point G	Point H
Annélides Oligochètes				
<i>Enchytraeidae</i> sp.		0,1		
Annélides Polychètes				
<i>Scolelepis squamata</i>	6,7	56,8	10,2	
<i>Spio martinensis</i>	6,7	2,7	0,4	0,1
<i>Magelona johnstoni</i>				2,5
<i>Capitella capitata</i>				0,1
<i>Eteone longa</i>		1,1		0,3
<i>Nephtys cirrosa</i>			57,1	209,6
<i>Lumbrineris tetraura</i>				2,0
<i>Lanice conchilega</i>				48,4
Mollusques				
<i>Hydrobia ulvae</i>	550,6	0,6		
<i>Macoma balthica</i>		146,0		
<i>Cerastoderma edule</i>		2 638,2		
Crustacés				
<i>Eurydice affinis</i>		93,0		
<i>Eurydice pulchra</i>		26,8	0,4	
<i>Cumopsis longipes</i>				0,1
<i>Bathyporeia pilosa</i>		346,0		
<i>Bathyporeia sarsi</i>			1,6	
<i>Haustorius arenarius</i>			25,5	
<i>Corophium arenarium</i>	74,4	224,8		
<i>Gastrosaccus spinifer</i>			1,8	3,1
<i>Portumnus latipes</i>			46,9	
Richesse spécifique	4	11	8	9
TOTAL 0,25 m ⁻²	638,4	3 535,0	145,5	266,2
TOTAL m ⁻²	2 553,6	14 140,0	582,0	1 064,8

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

Radiale 2	Point I	Point J	Point K	Point L
Némertes				
Némertes sp.		1		
Nématodes				
<i>Enoplus brevis</i>	1			
Annélides Polychètes				
<i>Scolelepis squamata</i>		13		
<i>Pygospio elegans</i>	758	5	2	
<i>Capitella capitata</i>				
<i>Eteone longa</i>	1			
<i>Nephtys cirrosa</i>			17	12
<i>Lanice conchilega</i>			7	
Mollusques				
<i>Hydrobia ulvae</i>	97	3		
<i>Donax vittatus</i>			1	
<i>Tellina tenuis</i>				1
Crustacés				
<i>Eurydice affinis</i>	11	72		
<i>Eurydice pulchra</i>		3		
<i>Haustorius arenarius</i>			3	
<i>Bathyporeia pilosa</i>	17	458		
<i>Bathyporeia sarsi</i>			1	
<i>Corophium arenarium</i>	525	148		
<i>Crangon crangon</i>				1
Insectes				
Larves de diptères		1		
Richesse spécifique	7	9	6	3
TOTAL .0,25 m ⁻²	1 410	704	31	14
TOTAL .m ⁻²	5 640	2 816	124	56

Annexe 7.5 : Radiale 2, résultats bruts (biomasse en mg par 0,25 m²)

Radiale 2	Point I	Point J	Point K	Point L
Némertes				
Némertes sp		1,0		
Nématodes				
<i>Enoplus brevis</i>	0,1			
Annélides Polychètes				
<i>Scolelepis squamata</i>		33,9		
<i>Pygospio elegans</i>	18,7	0,5	0,1	
<i>Capitella capitata</i>				
<i>Eteone longa</i>	0,3			
<i>Nephtys cirrosa</i>			177,5	55,9
<i>Lanice conchilega</i>			13,1	
Mollusques				
<i>Hydrobia ulvae</i>	147,1	1,4		
<i>Donax vittatus</i>			21,1	
<i>Tellina tenuis</i>				15,9
Crustacés				
<i>Eurydice affinis</i>	1,5	19,4		
<i>Eurydice pulchra</i>		1,0		
<i>Haustorius arenarius</i>			15,3	
<i>Bathyporeia pilosa</i>	1,7	74,6		
<i>Bathyporeia sarsi</i>			0,3	
<i>Corophium arenarium</i>	339,1	73,8		
<i>Crangon crangon</i>				0,2
Insectes				
Larves de diptères		2,6		
Richesse spécifique	7	9	6	3
TOTAL .0,25 m ⁻²	508,5	208,2	227,4	72,0
TOTAL .m ⁻²	2034,0	832,8	909,6	288,0

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

Radiale 3	Point M	Point N
Annélides Polychètes		
<i>Pygospio elegans</i>	2	
<i>Scolelepis squamata</i>		10
<i>Eteone longa</i>		1
<i>Hediste diversicolor</i>		1
Mollusques		
<i>Hydrobia ulvae</i>	1 077	227
Crustacés		
<i>Eurydice affinis</i>		113
<i>Eurydice pulchra</i>	2	
<i>Bathyporeia pilosa</i>	1	718
<i>Corophium arenarium</i>	4	307
Richesse spécifique	5	7
TOTAL .0,25 m ⁻²	1 089	1 377
TOTAL .m ⁻²	4 356	5 508

Annexe 7.8 : Radiale 3, résultats bruts (biomasse en mg par 0,25 g·m⁻²)

Radiale 3	Point M	Point N
Annélides Polychètes		
<i>Pygospio elegans</i>	0,1	
<i>Scolelepis squamata</i>		74,3
<i>Eteone longa</i>		0,2
<i>Hediste diversicolor</i>		6,4
Mollusques		
<i>Hydrobia ulvae</i>	720,2	87,1
Crustacés		
<i>Eurydice affinis</i>		21,5
<i>Eurydice pulchra</i>	0,5	
<i>Bathyporeia pilosa</i>	0,3	202,1
<i>Corophium arenarium</i>	0,7	168,3
Richesse spécifique	5	7
TOTAL .0,25 m ⁻²	721,8	559,9
TOTAL .m ⁻²	2887,2	2239,6

8. LE DOMAINE BENTHIQUE SUBTIDAL

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

Collaborateur : Menu D.

8.1. Introduction

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

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

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

8.2. Matériels et méthodes

Deux points, l'un impacté (point C) et l'autre non impacté (point B) sont échantillonnés à chaque saison. L'échantillonnage consiste à effectuer 10 prélèvements à la benne Van Veen ($0,1 \text{ m}^2$) correspondant à 1 m^2 de surface échantillonnée pour les études faunistiques. Un 11^e échantillon est prélevé aux fins d'analyses granulométriques. Le sédiment est tamisé sur une maille circulaire de 1 mm. La faune est identifiée autant que possible au niveau spécifique.

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

Les quatre campagnes ont été effectuées les 12 février, 22 avril, 17 juin et 14 octobre 2008

8.3. Résultats

8.3.1. Analyses granulométriques

8.3.1.1. Point B

Une altération sédimentologique a été mise en évidence au point B au printemps 1991. Le sédiment comportait une importante fraction d'éléments grossiers. Cette altération s'est progressivement résorbée par envasement et ensablement. En 1998, le sédiment était redevenu tout à fait normal, présentant des taux de pélites variant de 1,1 à 9,7 %. La teneur en sable grossier restait comprise entre 1 et 3 %. En 1999, le sédiment s'est considérablement envasé, la teneur en pélites variant entre 10 et 36 %. En 2000, le sédiment est resté fortement envasé (de 6,7 à 11,3 %). Le cycle habituel de pélites semblait aussi s'être inversé : les teneurs les plus fortes étaient rencontrées en hiver et au printemps. En 2001, le schéma était identique : teneurs en pélites de 5,6 à 14,5 % et cycle inversé. En 2002, le schéma classique (teneurs en pélites maximales en été - environ 9 % - et minimales en hiver et au printemps - de 2 à 5 %) semblait se remettre en place. Le sédiment était dominé par les sables fins et moyens (89 à 94 % du sédiment), la part d'éléments fins (sables moyens + sables fins + pélites) représentant entre 98,5 et 99,5 % du sédiment. Les résultats de 2003 confirmaient la

remise en place du cycle : la teneur en pélites était maximale au cours de la période printemps-été (7,67 à 9,57 %) et minimale en automne-hiver (environ 5,5 %). Le sédiment était généralement dominé par les sables fins et moyens (81 à 93 % du sédiment).

En 2004 le schéma était identique : teneur maximum du sédiment en pélites en printemps-été (15,5 % pondéral) et minimum hivernal (3,8 %). Le sédiment était largement dominé par les sables fins (plus de 56%) et la fraction fine du sédiment (sables moyens + sables fins + pélites) n'était jamais inférieure à 93% du poids total du sédiment.

En 2005, le cycle sédimentaire semblait se mettre en place jusqu'au printemps, puis la teneur en pélites chutait en été pour revenir à des valeurs caractéristiques de la période hivernale. Nous avons relié cette diminution avec l'absence complète de recrutement de *Lanice conchilega* (phénomène général sur les côtes de la baie sud de la mer du Nord en 2005), l'action bioturbatrice de cette espèce permettait le maintien en place des pélites.

En 2006 le cycle de la teneur en pélites est à nouveau conforme au schéma habituel : augmentation printanière, maximum estival et décroissance à l'automne. Par contre on note au cours de l'année une oscillation des catégories granulométriques dominantes, les sables fins et moyens. Cette oscillation est moins importante qu'il n'y paraît dans la mesure où elle est due en fait à l'importance de deux classes granulométriques situées à la limite des deux catégories [0,16-0,2 mm] et [0,2-0,25mm].

En 2007, le cycle de la teneur en pélites du sédiment se maintenait : augmentation de la teneur au printemps (10,4 %) et en été (12,2 %) puis diminution en automne (9,4 %) et en hiver (10,2 %). Les différences entre les saisons étaient toutefois moins marquées qu'habituellement. Le sédiment était constitué de sables moyens et fins en proportions semblables sauf en hiver. La fraction grossière était quasi inexistante.

En 2008, le cycle était identique, la teneur en pélites du sédiment était toujours très élevée et quasi constante (entre 9,2 et 11,5 %), la teneur était légèrement plus forte en période hivernale et automnale. Le sédiment était dominé par les sables moyens et fins. Les sables fins étaient dominants en période hivernale et les sables moyens en période estivale et printanière. La fraction grossière restait presque inexistante (figure 8.1 et annexe 8.1).

8.3.1.2. Point C

Le sédiment du point C reste dominé par les sables moyens et fins. Ces deux classes représentaient au minimum 98 % du poids total du sédiment, les sables moyens représentant 82 à 89 % du sédiment et les sables fins de 9 à 17 %. Le sédiment est totalement dépourvu de pélites (de 0,00 à 0,01 %).

Cette description était toujours valable en 2008 : les sables moyens dominaient (64 à 90 %) du sédiment. Les sables fins variaient entre 4 et 32 % du sédiment. Il faut noter un affinement du sédiment en période hivernale. Le sédiment était à la fois dépourvu de pélites et d'éléments grossiers (figure 8.2 et annexe 8.1).

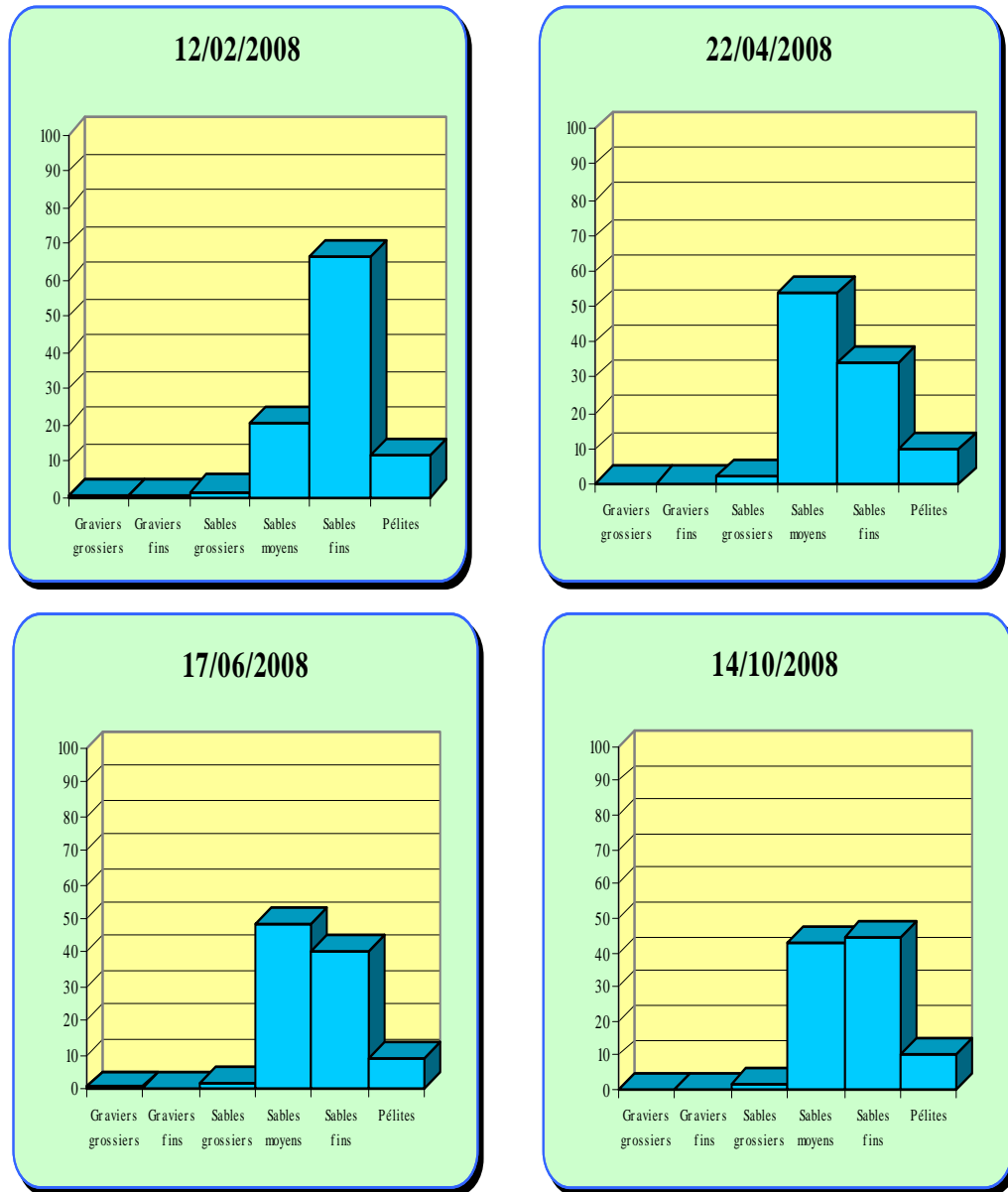


Figure 8.1. Point B, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

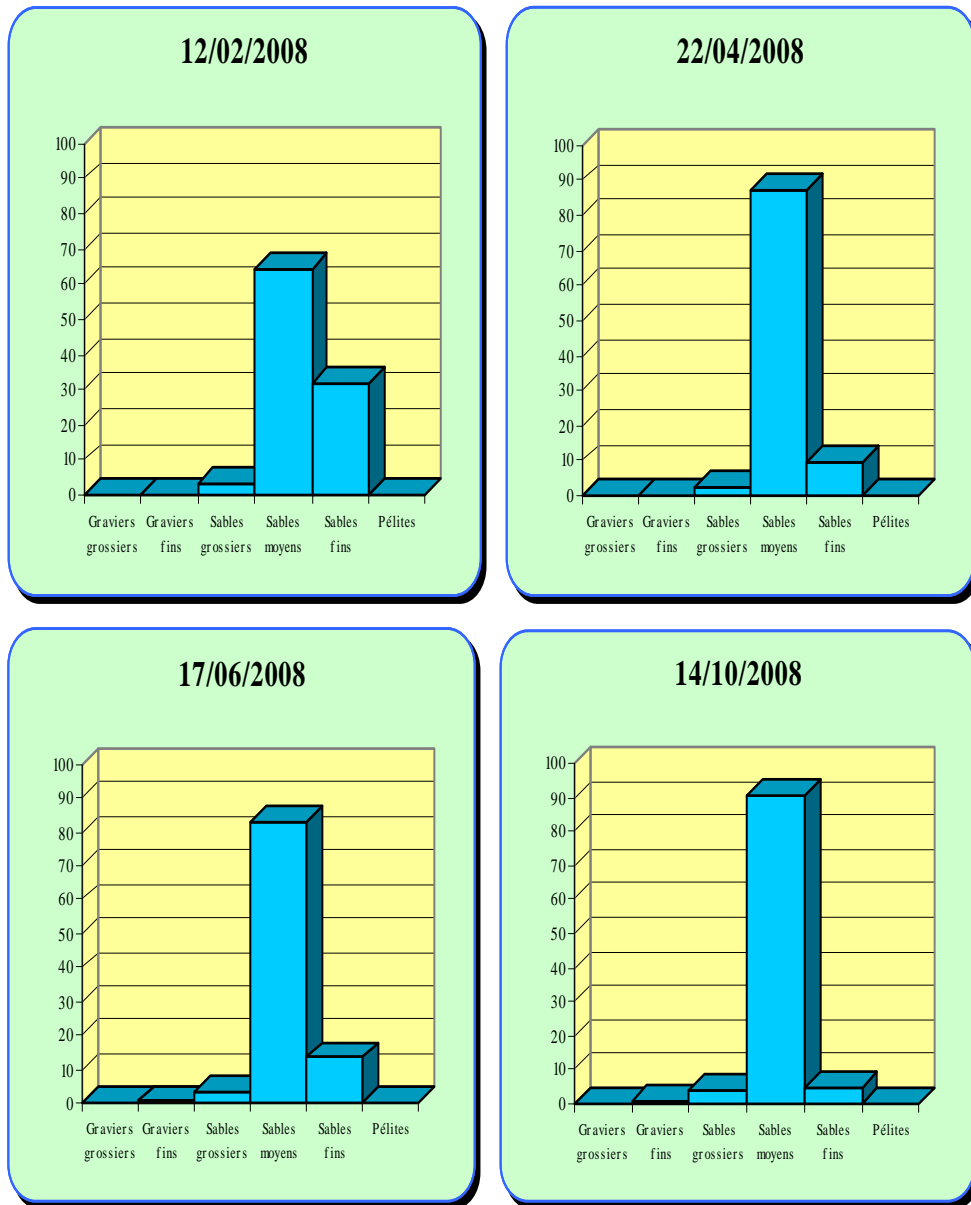


Figure 8.2. Point C, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

8.3.2. Composition bionomique

8.3.2.1. Point B

En 2008, l'analyse faunistique a permis de recenser 65 taxons différents au point B (62 taxons avaient été récoltés au point B en 2007 et 60 en 2006). Ils se répartissaient comme suit (annexes 8.2 et 8.3) :

- 2 Cnidaires
- 3 Némertes
- 1 Annélide Oligochète (sp.)
- 28 Annélides Polychètes
 - 13 sédentaires
 - 15 errantes
- 14 Mollusques
 - 3 Gastéropodes
 - 11 Bivalves
- 14 Crustacés
- 3 Echinodermes Ophiurides

Ces 65 taxons représentaient 28 792 individus récoltés. L'abondance totale était de 96 317 en 2007 et 21 639 au point B en 2006. Ce chiffre revient donc à une valeur proche de celle de 2006 après une valeur importante en 2007 qui était due au recrutement très important de *Lanice conchilega* en avril 2007 (près de 89 000 individus).

8.3.2.2. Point C

L'analyse faunistique a permis de recenser 28 taxons différents. En 2007 18 taxons avaient été récoltés, en 2006, 30 taxons, 33 en 2005, 38 en 2004, 29 en 2003 et 26 en 2002. On revient donc à un niveau de richesse spécifique normal après la baisse de 2007. Les 28 taxons se répartissaient comme suit (annexes 8.4 et 8.5):

- 1 Némerte
- 10 Annélides Polychètes
 - 6 sédentaires
 - 4 errantes
- 2 Mollusques Bivalves
- 11 Crustacés
 - 1 Isopode
 - 1 Cumacé
 - 1 Mysidacé
 - 6 Amphipodes
 - 2 Décapodes
- 3 Echinodermes Ophiurides
- 1 Poisson

Ces 28 taxons représentaient 454 individus récoltés, la densité totale était de 252 en 2007, de 477 en 2006, de 1 165 en 2005, de 715 en 2004, de 409 en 2003 et de 466 en 2002. Après une période de 2 ans pendant laquelle sa densité globale a été en augmentation, le peuplement installé à la sortie du rejet de la centrale était revenu en 2006 à des niveaux de densité équivalents aux années 2002 et

2003. En 2007 la densité globale avait fortement diminué. En 2008 on est revenu à la situation rencontrée en 2006.

Nephtys cirrosa était l'espèce dominante du peuplement avec 67 % des individus récoltés (56 % en 2007, 60 % en 2006, 32 % en 2005, 45 % en 2004 et 72 % en 2003).

La faible richesse spécifique et la faible densité du peuplement sur une période annuelle viennent confirmer les résultats obtenus au niveau de l'estran dont cette station n'est pas très éloignée.

8.3.3. Résultats

8.3.3.1. Point B

Ce point est représentatif du peuplement à *Abra alba*. Il est situé en dehors de l'impact courantologique de la centrale. C'est en ce point qu'ont été mis en évidence les basculements bionomiques caractéristiques de ce peuplement. Ces basculements pour importants qu'ils soient ne remettent jamais en cause la structuration du peuplement, organisé autour d'une dizaine d'espèces.

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

Phénomène relativement rare dans le cas d'espèces invasives, *Ensis directus* a été intégré au cortège spécifique du peuplement alors que l'on assiste en général plutôt à une prédominance qui tend à limiter les populations des autres espèces. Il est à noter la disparition du couteau *Ensis arcuatus* depuis 1991 dans les prélèvements de la zone. Cette espèce n'a toujours pas été observée en 2008 à la station B.

En février 2008, le peuplement était normalement à l'étiage hivernal. La richesse spécifique était du même ordre de grandeur que les années antérieures avec **39 espèces** (contre 41 et 37 respectivement en 2006 et 2007). Mais la densité globale, avec **3 311 ind. \cdot m⁻²**, était nettement supérieure à 2007 (817 ind. \cdot m⁻²), et même nettement plus élevée que la densité globale de mars 2005 (1 389 ind. \cdot m⁻²). Le peuplement était dominé par de jeunes *Owenia fusiformis* (988 ind. \cdot m⁻²), *Mysella bidentata* (700 ind. \cdot m⁻²), *Abra alba* (568 ind. \cdot m⁻²), *Nephtys hombergii* (281 ind. \cdot m⁻²) et *Pectinaria koreni* (168 ind. \cdot m⁻²). La biomasse globale de 50,47 g \cdot m⁻² était largement supérieure à celle de février 2006 et 2007 (respectivement, 16,58 g \cdot m⁻² et 14,13 g \cdot m⁻²) et se rapprochait même des 56,2 g \cdot m⁻² de mars 2005. Cette biomasse était due principalement à six espèces : *Ensis directus* (11,06 g \cdot m⁻²), *O. fusiformis* (9,6 g \cdot m⁻²), *Nassarius reticulatus* (8,25 g \cdot m⁻²), *A. alba* (7,94 g \cdot m⁻²), *P. koreni* (5,41 g \cdot m⁻²) et *N. hombergii* (2,6 g \cdot m⁻²). Ces six espèces représentaient 88,9 % de la biomasse totale. A noter que la biomasse des *Ensis directus* « cassés » était nettement sous-estimée dans la mesure où seules les parties antérieures ont été prélevées (cette remarque vaut également pour les autres dates de prélèvement). Ce Solenidae contribuait donc encore davantage à la biomasse. Enfin, comme les années antérieures, la présence en densité assez importante du nécrophage *Nassarius reticulatus* (65 ind. \cdot m⁻²) est à souligner.

En avril 2008, la richesse spécifique avait peu augmenté, avec 41 espèces. Mais la densité globale avait énormément augmenté, avec 14 143 ind. \cdot m⁻². Cette densité était due au recrutement en abondance de l'Annélide *Lanice conchilega* avec 12 531 individus, soit 88,6 % de l'abondance totale. Les autres densités étaient plus faibles : *Owenia fusiformis* (515 ind. \cdot m⁻² – recrutement récent), *Mysella bidentata* (254 ind. \cdot m⁻²), *Abra alba* (249 ind. \cdot m⁻²) et *Nephtys hombergii*

(239 ind. \cdot m⁻²). La biomasse globale était cependant plus faible qu'en février avec 32,41 g \cdot m⁻² et elle était essentiellement constituée de *Owenia fusiformis* (6,97 g \cdot m⁻²), suivi de *Abra alba* (6,63 g \cdot m⁻²), *Ensis directus* (4,04 g \cdot m⁻²) et *Lanice conchilega* (3,67 g \cdot m⁻²). Ces quatre espèces représentaient 65,67 % de la biomasse totale. Le peuplement était à l'étiage à cette date, d'où la biomasse faible qui ne bénéficiait pas de l'augmentation importante des densités de certaines espèces fraîchement recrutées, donc de petite taille.

Au mois de **juin 2008**, la richesse spécifique avait augmenté, avec **45 espèces** récoltées. La densité avait diminué de manière significative par rapport au mois d'avril avec un total de **6 909 ind. \cdot m⁻²**. Cette diminution était due à la mortalité importante des jeunes *Lanice conchilega* recrutés en avril (2 345 ind. \cdot m⁻²). Quelques espèces présentaient cependant un recrutement détectable : *Abra alba* (1 173 ind. \cdot m⁻²), *Mysella bidentata* (966 ind. \cdot m⁻²), *Eumida sanguinea* (430 ind. \cdot m⁻²), *Pectinaria koreni* (380 ind. \cdot m⁻²) et *Phyllodoce mucosa* (347 ind. \cdot m⁻²). La population d'*Owenia fusiformis* se maintenait à une densité équivalente à celle d'avril avec 549 ind. \cdot m⁻². Ces sept espèces représentaient 84,1 % de l'ensemble des organismes récoltés à cette date. Il faut également remarquer les densités toujours non négligeable de *Nassarius reticulatus* (43 ind. \cdot m⁻²), sans doute en lien avec une mortalité importante de jeunes recrues, donc une ressource alimentaire abondante. La biomasse globale était la plus importante de l'année avec 65,87 g \cdot m⁻². Cette valeur est la seconde la plus importante de ces cinq dernières années à pareille époque derrière 2006 (87,3 g \cdot m⁻²). L'espèce qui y contribuait le plus était *L. conchilega* (20,01 g \cdot m⁻²), suivi ensuite de *A. alba*, *E. directus* et *O. fusiformis* avec respectivement 13,48, 8,29 et 6,44 g \cdot m⁻². Ces quatre espèces représentaient 73,2 % de la biomasse totale.

En **octobre 2008**, la richesse spécifique augmentait à nouveau pour atteindre **51 espèces**. Par contre, la densité globale chutait de plus de 35 % par rapport à juin avec **4 429 ind. \cdot m⁻²**. Les espèces les plus abondantes étaient celles issues du recrutement printanier: *Abra alba* (1 101 ind. \cdot m⁻²), *Mysella bidentata* (899 ind. \cdot m⁻²), *Phyllodoce mucosa* (430 ind. \cdot m⁻²) et *Owenia fusiformis* (400 ind. \cdot m⁻²). S'y ajoutaient *Ophiura albida* (309 ind. \cdot m⁻²), *Nephtys hombergii* (175 ind. \cdot m⁻²), *Leucothoe incisa* (159 ind. \cdot m⁻²) et *Heteromastus filiformis* (157 ind. \cdot m⁻²) avec de jeunes recrues. *Pectinaria koreni* présentait une densité importante également (179 ind. \cdot m⁻²), mais les individus étaient de grande taille. A noter, comme en 2006 et 2007, la disparition quasi totale de *Lanice conchilega*. La biomasse globale diminuait également significativement par rapport à celle de juin avec 44,66 g \cdot m⁻². Les principales espèces constituant cette biomasse étaient : *A. alba* (9,10 g \cdot m⁻²), *O. fusiformis* (8,13 g \cdot m⁻²), *Ensis directus* (5,62 g \cdot m⁻²), *Nassarius reticulatus* (5,53 g \cdot m⁻²) et *P. koreni* (3,67 g \cdot m⁻²). Elles représentaient 71,8 % de la biomasse totale.

8.3.3.2. Point C

Le point C permet de visualiser l'impact de la centrale sur le peuplement à *Abra alba* dans le champ proche du rejet. Le lessivage des fines du sédiment par les eaux rejetées par la centrale, parfaitement matérialisé par les analyses granulométriques, provoque la disparition des espèces vasicoles. Cependant certains recrutements observés au point B peuvent être observés, en résonance, de manière atténuée au point C. Ce phénomène a déjà été observé plusieurs fois, par exemple en 1991 avec *Ensis directus* et en 2000 avec *Lanice conchilega*.

Les résultats enregistrés en 2008 au point C ont confirmé à la fois l'impact de la centrale sur les peuplements benthiques du champ proche de la centrale mais aussi la stabilité de cet impact au cours du temps. Le maintien du peuplement en place confirme la constance de la perturbation. *Nephtys cirrosa* demeure l'espèce la plus importante du peuplement établi à ce point.

Pendant la campagne 2007, le peuplement établi au point C avait été caractérisé par une baisse générale de tous les indices biocénotiques : densité, richesse spécifique et biomasse. Mais les variations de ces paramètres se déroulaient dans une logique écologique respectant les saisons.

La campagne de **février 2008** a donné des résultats similaires à ce que l'on peut rencontrer habituellement dans les conditions hivernales. La densité était faible (**53 ind. \cdot m⁻²**) de l'ordre de celles des années 2004, 2005 et 2007 (58, 81 et 60 ind. \cdot m⁻²) mais bien inférieures à celles enregistrées en 2006 (134 ind. \cdot m⁻²) et au début des années 2001 (108 ind. \cdot m⁻²), 2002 (106 ind. \cdot m⁻²) et 2003 (122 ind. \cdot m⁻²). *Nephtys cirrosa* représentait 67 % des individus récoltés (56 % en 2007, 60 en 2006, 79 % en 2005, 74 % en 2004 et 84 % en 2003). La richesse spécifique était en forte diminution par rapport à 2006 et à 2007 : **5 espèces** contre 8 en 2007, 13 en 2006 (8 espèces en 2004 et 2005, 11 en 2003, 12 en 2002 et 9 en 2001). Le peuplement était dominé par *N. cirrosa* (47 individus. \cdot m⁻²), et *Portumnus latipes* (3 ind. \cdot m⁻²) Ces deux espèces représentaient 94 % de la densité globale. La biomasse était légèrement supérieure à celle de 2007 (0,8 g. \cdot m⁻² contre 0,4 g. \cdot m⁻²) mais nettement inférieure à celle de 2006 (1,26 g. \cdot m⁻²). Les espèces les plus contributives à l'élaboration de la biomasse étaient *N. cirrosa* (0,45 g. \cdot m⁻²) et *P. latipes* (0,15 g. \cdot m⁻²).

En **avril 2008** le peuplement se diversifiait, la richesse spécifique augmentait (**14 espèces**), ainsi que la densité globale (**61 ind. \cdot m⁻²**). Le peuplement était dominé par : *Nephtys cirrosa* (36 ind. \cdot m⁻², contre 28 en 2007, 77 en 2006, 70 en 2005, 75 en 2004, 63 en 2003 en 2003 et 60 en 2002). D'autres espèces étaient également récoltées mais en densité faible et les individus récoltés étaient des juvéniles de *Lanice conchilega* (9 ind. \cdot m⁻²) et *Portumnus latipes* (2 ind. \cdot m⁻²). La présence d'une autre espèce, *Equis arcuatus*, était tout à fait significative, et récoltée pour la deuxième fois sur le site depuis 1991 date de l'arrivée de *Equis directus*. La première récolte date de 2007. Les espèces qui contribuaient le plus à l'élaboration de la biomasse sont *N. cirrosa* : 0,29 g. \cdot m⁻² (0,11 g. \cdot m⁻² 0,35 g. \cdot m⁻² en 2006, 0,49 g. \cdot m⁻² en 2005, 0,57 g. \cdot m⁻² en 2004 et 0,54 g. \cdot m⁻² en 2003) et *E. arcuatus* (0,08 g. \cdot m⁻²).

En **juin 2008**, la richesse spécifique est resté stable (**14 espèces**), mais la densité globale a augmenté (**206 ind. \cdot m⁻²**). En 2006 et 2007 on avait observé une diminution de la richesse spécifique et de la densité. Les espèces dominantes étaient *Nephtys cirrosa* (138 ind. \cdot m⁻²) et *Spio martinensis* (47 ind. \cdot m⁻²). Signalons que les individus récoltés étaient encore des juvéniles. La biomasse était supérieure à celle du mois d'avril (2,6 g. \cdot m⁻²). *N. cirrosa* (1,98 g. \cdot m⁻²) *Lumbrineris tetraura* (0,43 g. \cdot m⁻²) et *Portumnus latipes* (0,17 g. \cdot m⁻²) représentaient 99 % de la biomasse totale.

En **octobre 2008** la densité de la communauté évoluait peu (**12 espèces**), la densité de population chutait à **99 ind. \cdot m⁻²**. La densité de la population de *Nephtys cirrosa* restait supérieure à celle du printemps (83 ind. \cdot m⁻²). Les espèces les plus contributives à l'élaboration de la biomasse étaient *N. cirrosa* (0,98 g. \cdot m⁻², 82 %) et *Portumnus latipes* (0,20 g. \cdot m⁻², 17 %).

Le déficit en densité au point C par rapport au point témoin B est encore très important, il atteint 98,5 %, ordre de grandeur identique aux années 2006 et 2007 (tableau 8.1). Ce déficit reste donc très élevé depuis 2006. L'impact en terme de biomasse reste considérable (déficit de plus de 99 %).

Tableau 8.1 : Déficit de densité (ind. \cdot m⁻²) entre les points B et C

densités	Février 2008	Avril 2008	Juin 2008	Octobre 2008	2008
Station B	3311	14143	6909	4429	28792
Station C	63	61	206	99	429
Déficit	98,1 %	99,6 %	97 %	97,8 %	98,5 %
Biomasses (g)					
Station B	50,470	32,412	65,870	44,659	193,411
Station C	0,815	0,469	2,595	1,194	1,288
Déficit	98,4 %	98,6 %	96 %	97,3 %	99,3 %

L'impact de la centrale sur les peuplements benthiques reste donc très fort dans le champ proche de la centrale. Il provoque un déficit de 98,5 % de la densité (densité moyenne de 107 ind. \cdot m⁻² au point C contre 7 198 ind. \cdot m⁻² au point B) et de 99,3 % de la biomasse, moyenne annuelle de 0,32 g \cdot m⁻² au point C contre 48,35 g \cdot m⁻² au point B.

8.4. Étude des populations d'*Albra alba* et de *Tellina fabula*

8.4.1. Étude de la population de *Albra alba*

La population d'*Albra alba* est connue pour ses fluctuations brutales, liées à son caractère pionnier. Ces fluctuations peuvent être attribuées au recrutement ou à des migrations passives. La dynamique de la population de cette espèce est basée sur un cycle de 7 à 8 ans. Cette espèce a présenté en 1998 et 1999 de bons recrutements (1 249 ind. \cdot m⁻² et 1068 ind. \cdot m⁻²) alors que depuis 1991 seuls deux recrutements importants avaient été mis en évidence sans maintien de la population. En 2000, la population s'était maintenue à un niveau de densité de 700 à 800 ind. \cdot m⁻² puis après une forte régression jusqu'à l'automne 2001, la densité, grâce aux nouvelles recrues, avait atteint 762 ind. \cdot m⁻² pour diminuer à nouveau durant l'hiver 2002 et atteindre 611 ind. \cdot m⁻² à l'automne de la même année. En 2003, la population diminuait de nouveau durant la période hivernale pour atteindre seulement 139 ind. \cdot m⁻² en juillet. Un important recrutement était cependant noté au début de l'automne et les densités atteignaient 1 116 ind. \cdot m⁻² en octobre. Une telle abondance n'avait pas été atteinte depuis septembre 1999. De 2004 à 2006, on a observé le cycle habituel, soit une diminution des densités à la fin de l'hiver début du printemps puis un recrutement en juin avec un maintien en automne. En 2007, un scénario différent était observé, avec une diminution classique en fin d'hiver-début de printemps (68 et 45 ind. \cdot m⁻² respectivement en février et avril), puis les densités étaient restées faibles en juin (55 ind. \cdot m⁻²), et le recrutement a eu lieu plus tardivement en automne comme le soulignaient les 562 ind. \cdot m⁻² observés en décembre.

En 2008, le cycle observé de 2004 à 2006 est apparu de nouveau mais avec des densités plus élevées : minimum de 249 ind. \cdot m⁻² en avril et maximum de 1 173 ind. \cdot m⁻² en juin (figure 8.3).

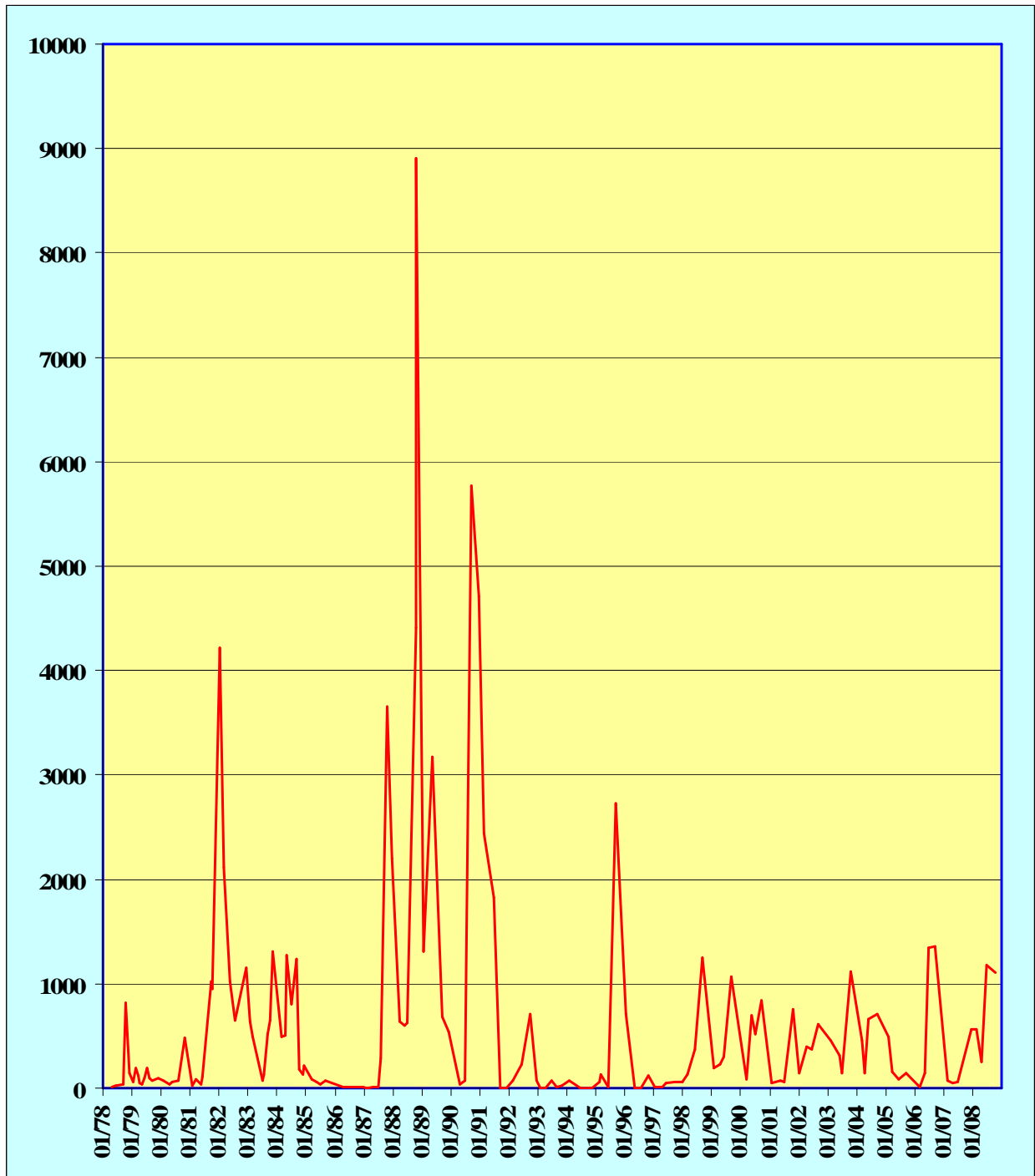


Figure 8.3. *Abra alba*, évolution de la densité (par m²) de la population entre 1978 et 2008

8.4.2. Étude de la population de *Tellina fabula*

Cette espèce n'est pas une espèce pionnière et sa densité habituelle n'atteint jamais celle d'*Abra alba*. La diminution drastique de ses densités coïncide avec l'arrivée du couteau américain *Ensis directus* en 1991. La densité de cette espèce était restée à un niveau très faible en 1997 et avait bénéficié en 1998 et 1999 de recrutements légèrement meilleurs (66 ind. \cdot m⁻² en 1998 et 83 ind. \cdot m⁻² en 1999). Le recrutement ne s'était pas maintenu au cours des deux années suivantes. En 2000, la population était restée à un niveau faible toute l'année, et inférieure à 50 ind. \cdot m⁻². En 2001, les densités étaient encore inférieures à celles de 2000 et la population était constituée de très petits individus. En 2002, le scénario était assez proche de celui de 2001, avec un maximum de 43 ind. \cdot m⁻² en juin. En 2005, comme en 2004, la quasi-totalité des individus était de petite taille. Une fois de plus, tout se passe donc comme si les recrues (en nombre limité d'ailleurs) ne trouvaient pas localement les conditions nécessaires à leur survie au delà de quelques semaines à quelques mois. En effet, avec 97 ind. \cdot m⁻² en octobre 2003, densité la plus élevée depuis 1991, la question se posait de la possibilité d'une réimplantation de l'espèce de façon plus importante sur le site. Les chiffres de 2005 confirmaient l'interprétation de 2004 et montraient qu'il n'en était rien. En 2006, la densité d'octobre 2003 était presque atteinte en septembre avec 96 individus par m². Cette densité résulte d'un recrutement peu important au printemps mais qui s'est maintenu durant l'été. En 2007, les effectifs revenaient à des valeurs faibles mais stables durant toute l'année avec 14 à 24 ind. \cdot m⁻². Peu de changements majeurs en 2008, la population s'est maintenue cependant à un niveau plus élevé avec 48 à 82 ind. \cdot m⁻² (figure 8.4).

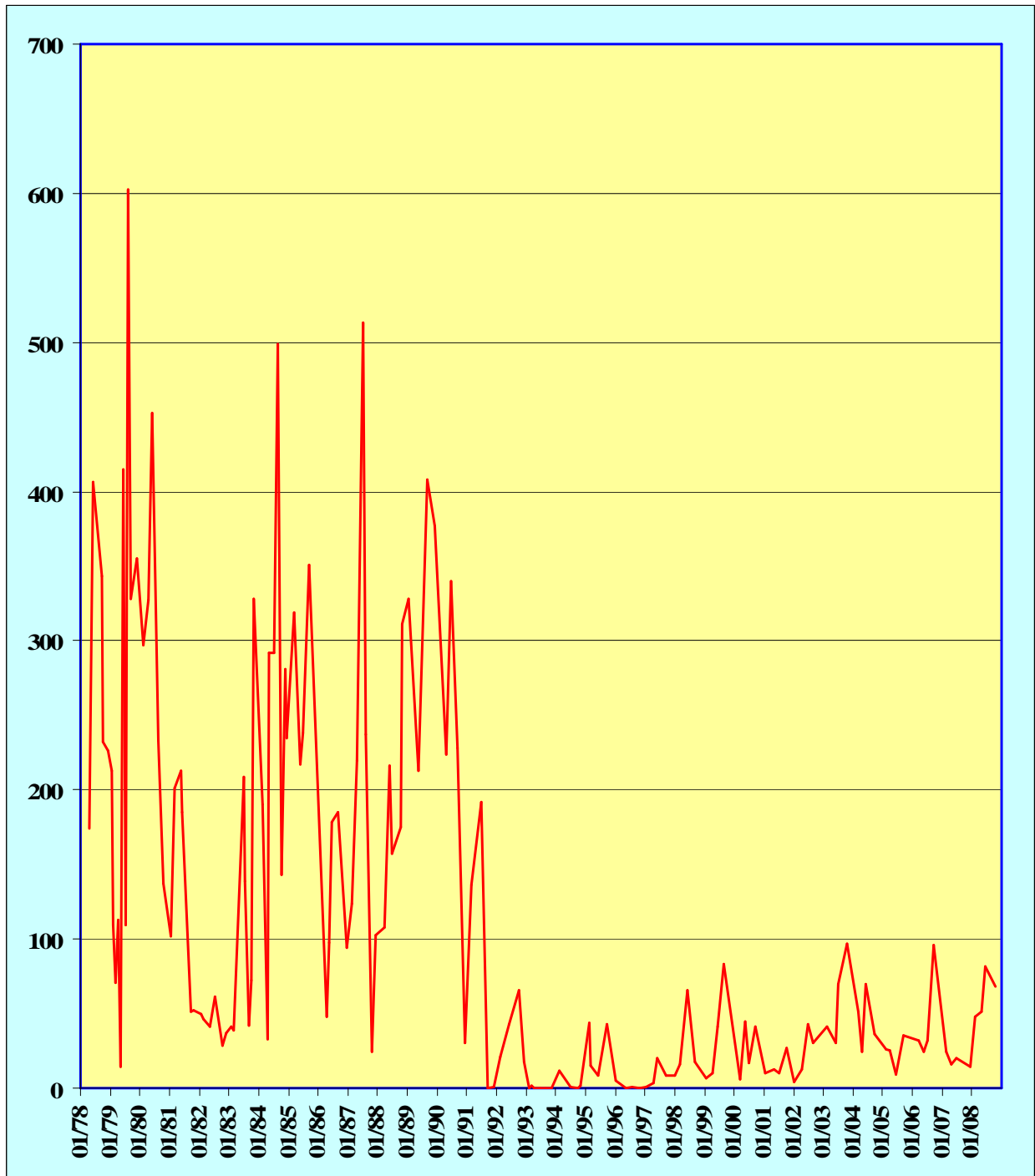


Figure 8.4. *Tellina fabula*, évolution de la densité (par m²) de la population entre 1978 et 2008

8.5. Éléments de conclusion

Le point B a été caractérisé en 2008 par les recrutements en début et fin de printemps des espèces habituelles : *Lanice conchilega*, *Eumida sanguinea*, *Pectinaria koreni*, *Abra alba*, *Phyllodoce mucosa*, *Mysella bidentata*, *Ophiura albida*. La population de *L. conchilega* ne s'est pas maintenue au cours de l'été, phénomène habituel, et deux espèces apparaissaient en octobre en densités plus importantes : *Leucothoe incisa* et *Heteromastus filiformis*.

Sur le plan global, la densité moyenne de 7 198 ind. \cdot m⁻² était supérieure à celles de 2006 et 2005 (respectivement, 5 410 et 1 391 ind. \cdot m⁻²) mais inférieure à 2007 (moyenne de 24 079 ind. \cdot m⁻²). Ce fait s'explique par le recrutement important de *Lanice conchilega* en avril 2008, population qui s'est maintenue jusqu'en juin, recrutement qui était encore plus important en 2007 à la même période. La biomasse moyenne était en baisse par rapport à 2007 avec 48,35 g \cdot m⁻² (contre 62,25 g \cdot m⁻²) et, malgré un bon recrutement, elle est restée bien inférieure aux valeurs atteintes en 2003 et 2001 avec respectivement 128,29 g \cdot m⁻² et 130,96 g \cdot m⁻². La richesse spécifique avec 65 espèces correspondait au niveau des années antérieures (à part 2004) ; elle était de 62 et 60 espèces respectivement en 2007 et 2006, 73 en 2004, 67 en 2003 et 63 en 2005.

Les résultats enregistrés au point C révèle une année 2008 caractérisée par des résultats un peu plus élevés qu'en 2007 au niveau de la richesse spécifique, des densités et de la biomasse, mais encore en retrait par rapport à 2006. En fait les résultats étaient très proches de ceux enregistrés pendant les années 2001 à 2003. Les peuplements qui établis à ce point étaient toujours du type sabulicole et le déficit en densité et biomasse était toujours considérable par rapport au point B (respectivement, 98,5 % et 99,3 %). Ce déficit apparaît plus important que les années précédentes (surtout antérieures à 2006).

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

La densité des populations d'*Abra alba* et de *Tellina fabula* n'atteignaient toujours pas le niveau qu'elles avaient au cours des années 80 et 90.

Annexe 8.1 : Caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

Station B	12 févr 2008	22 avr 2008	17 juin 2008	14 oct 2008
Graviers grossiers	0,19	0,22	0,47	0,13
Graviers fins	0,14	0,20	0,17	0,18
Sables grossiers	1,42	2,18	1,59	1,38
Sables moyens	20,41	53,59	48,59	43,00
Sables fins	66,33	34,06	40,00	44,66
Pélites	11,51	9,75	9,17	10,65

Station C	12 févr 2008	22 avr 2008	17 juin 2008	14 oct 2008
Graviers grossiers	0,07	0,13	0,03	0,38
Graviers fins	0,20	0,34	0,49	0,87
Sables grossiers	3,22	2,59	3,16	4,09
Sables moyens	64,61	87,30	82,98	90,12
Sables fins	31,87	9,64	13,33	4,53
Pélites	0,03	0,00	0,01	0,00

Annexe 8.2 : Point B, nombre d'individus par m² (1^{ère} partie)

	12/02/08	22/04/08	17/06/08	14/10/08
Cnidaires				
<i>Edwardsia sp</i>			1	
<i>Sagartia troglodytes</i>	2	5	3	4
Annélides Polychètes				
<i>Arenicola marina</i>			1	
<i>Capitella capitata</i>			2	2
<i>Heteromastus filliformis</i>	3		2	157
<i>Notomastus latericeus</i>	112	4	134	135
<i>Glycera alba</i>				6
<i>Glycera tridactyla</i>			2	4
<i>Goniadella bobretzkii</i>			1	1
<i>Nephtys cirrosa</i>	4	2	1	1
<i>Nephtys hombergii</i>	281	239	225	175
<i>Nephtys longosetosa</i>	4	1	1	1
<i>Eunereis longissima</i>	2	3	15	5
<i>Pholoë baltica</i>	22	8	27	41
<i>Eteone longa</i>		1		
<i>Eteone picta</i>	2		1	3
<i>Eumida sanguinea</i>		4	430	27
<i>Phyllodoce groenlandica</i>			7	3
<i>Phyllodoce mucosa</i>			347	430
<i>Malmgrenia glabra</i>		26	14	2
<i>Sigalion mathildae</i>		1		
<i>Sthenelais boa</i>	7	4		4
<i>Syllidae sp.</i>		1	1	
<i>Owenia fusiformis</i>	988	515	549	400
<i>Magelona johnstoni</i>	1	1	3	
<i>Spio martinensis</i>				3
<i>Spiophanes bombyx</i>	106	34	14	42
<i>Chaetozone setosa</i>	7	2	3	59
<i>Pectinaria koreni</i>	168	39	380	179
<i>Lanice conchilega</i>	2	12531	2345	30
Annélides Oligochètes				
<i>Enchytraeidae sp</i>	7			
Mollusques Gastéropodes				
<i>Crepidula fornicata</i>				1
<i>Nassarius reticulatus</i>	65	16	43	49
<i>Euspira pulchella</i>				1

Annexe 8.2 (suite) : Point B, nombre d'individus par m²

	12/02/08	22/04/08	17/06/08	14/10/08
Mollusques Bivalves				
<i>Donax vittatus</i>		2		
<i>Lutraria angustior</i>	1			1
<i>Spisula subtruncata</i>	1	3	5	
<i>Montacuta ferruginosa</i>	1			
<i>Mysella bidentata</i>	700	254	966	899
<i>Ensis directus</i>	41	12	18	14
<i>Abra alba</i>	568	249	1173	1101
<i>Abra nitida</i>		1		
<i>Macoma balthica</i>	3	2	1	1
<i>Tellina fabula</i>	48	51	82	68
<i>Venerupis pullastra</i>	1		1	2
Némertes				
<i>Tubulanus polymorphus</i>	1			
<i>Cerebratulus sp</i>	1		15	4
<i>Lineus bilineatus</i>				6
Crustacés				
<i>Crangon crangon</i>	2	1	3	11
<i>Pagurus bernhardus</i>	3	1		1
<i>Corystes cassivelaunus</i>				1
<i>Polybius holsatus</i>		3	4	11
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	6	6	4	9
<i>Pariambus typicus</i>		19		15
<i>Ampelisca brevicornis</i>		1	1	
<i>Atylus falcatus</i>	1		2	1
<i>Atylus swammerdami</i>	2	1	9	2
<i>Leucothé incisa</i>	21	6	23	159
<i>Melita palmata</i>		1	1	
<i>Urothoë poseidonis</i>	3	8	1	9
<i>Bodotria scorpioides</i>				5
<i>Diastylis bradyi</i>		29		17
Echinodermes				
<i>Amphiura brachiata</i>	11		5	11
<i>Ophiura albida</i>	112	54	43	309
<i>Ophiura ophiura</i>	1	2		7
TOTAL /m²	3311	14143	6909	4429
Richesse spécifique	39	41	45	51

Annexe 8.3 : Point B, biomasse en g.m⁻²

	12/02/08	22/04/08	17/06/08	14/10/08
Cnidaires				
<i>Edwardsia</i> sp.			0,489	
<i>Sagartia troglodytes</i>	0,654	1,955	0,623	2,035
Annélides Polychètes				
<i>Heteromastus filiformis</i>				0,013
<i>Notomastus latericeus</i>	1,098	0,011	1,714	2,247
<i>Arenicola marina</i>			0,030	
<i>Glycera alba</i>				0,098
<i>Glycera tridactyla</i>			0,054	0,042
<i>Nephtys hombergii</i>	2,596	2,613	2,861	2,684
<i>Eunereis longissima</i>	0,002	0,089		0,296
<i>Eumida sanguinea</i>			0,144	
<i>Sthenelais boa</i>	0,094	0,158		0,110
<i>Malmgrenia glabra</i>			0,006	
<i>Phyllodoce mucosa</i>			0,067	0,292
<i>Phyllodoce groenlandica</i>			0,016	0,003
<i>Owenia fusiformis</i>	9,600	6,972	6,438	8,134
<i>Spiophanes bombyx</i>	0,017			
<i>Pectinaria koreni</i>	5,407	1,478	2,378	3,666
<i>Lanice conchilega</i>	0,019	3,670	20,010	0,166
Mollusques				
<i>Nassarius reticulatus</i>	8,249	2,311	3,634	5,527
<i>Crepidula fornicata</i>				0,003
<i>Lutraria lutraria</i>	0,035			
<i>Lutraria angustior</i>				0,053
<i>Donax vittatus</i>		0,003		
<i>Spisula subtruncata</i>	0,001	0,183	0,300	
<i>Mysella bidentata</i>	0,418	0,222	0,591	0,599
<i>Ensis directus</i> "entiers"	1,424	0,066	3,718	0,039
<i>Ensis directus</i> "cassés"	9,632	3,977	4,570	5,582
<i>Abra alba</i>	7,939	6,629	13,479	9,104
<i>Abra nitida</i>		0,006		
<i>Macoma balthica</i>	0,618	0,155	0,096	0,000
<i>Venerupis pullastra</i>	0,041		0,112	0,006
<i>Tellina fabula</i>	0,327	0,568	0,541	0,555
Némerte				
<i>Lineus bilineatus</i>				0,126
<i>Cerebratulus</i> sp	0,044		0,092	0,053
Crustacés				
<i>Polybius holsatus</i>			0,198	0,103
<i>Pagurus bernardus</i>	0,117	0,105		0,138
<i>Leucothoe incisa</i>				0,023
Echinodermes				
<i>Amphiura brachiata</i>	0,695		0,364	0,380
<i>Ophiura albida</i>	1,157	0,794	3,320	1,674
<i>Ophiura ophiura</i>	0,250	0,386		0,836
divers	0,039	0,061	0,027	0,073
Richesse spécifique	39	41	45	51
TOTAL	50,470	32,412	65,870	44,659

Annexe 8.4 : Point C, nombre d'individus par m²

	12/02/2008	22/04/2008	17/06/2008	14/10/2008
Nemertes				
Némerte sp		1		2
Annélides Polychètes				
<i>Spiophanes bombyx</i>			3	
<i>Spio martinensis</i>		1	47	1
<i>Cirratulus cirratus</i>			1	
<i>Syllis gracilis</i>				1
<i>Phyllodoce mucosa</i>			1	
<i>Eteone longa</i>			1	
<i>Nephtys cirrosa</i>	47	36	138	83
<i>Scoletoma impatiens</i>				1
<i>Lumbrineris tetraura</i>			3	
<i>Lanice conchilega</i>		9	1	1
Mollusques				
<i>Abra alba</i>				1
<i>Ensis arcuatus</i>		1		
Crustacés				
<i>Eurydice pulchra</i>				1
<i>Diastylis bradyi</i>		1		
<i>Atylus falcatus</i>		3		
<i>Atylus swammerdami</i>			3	
<i>Corophium sextonae</i>		2	1	
<i>Bathyporeia elegans</i>	1	1		1
<i>Bathyporeia pelagica</i>		1		
<i>Pontocrates altamarinus</i>	1	1		
<i>Gastrosaccus spinifer</i>		1	3	
<i>Crangon crangon</i>			1	
<i>Portumnus latipes</i>	3	2	2	5
Echinodermes				
<i>Ophiura albida</i>				1
<i>Ophiura ophiura</i>			1	
<i>Ophiothrix fragilis</i>				1
Poissons				
<i>Ammodytes lanceolatus</i>	1	1		
Richesse spécifique	5	14	14	12
Total · m⁻²	53	61	206	99

Annexe 8.5 : Point C, biomasse en mg·m⁻²

	12/02/2008	22/04/2008	17/06/2008	14/10/2008
Nemertes				
Némerte sp		0,2		0,1
Annélides Polychètes				
<i>Spiophanes bombyx</i>			0,6	
<i>Spio martinensis</i>		0,1	10,0	0,3
<i>Cirratulus cirratus</i>			0,7	
<i>Syllis gracilis</i>				0,2
<i>Phyllodoce mucosa</i>			0,1	
<i>Eteone longa</i>			0,4	
<i>Nephtys cirrosa</i>	447,9	286,4	1976,2	976,6
<i>Scoletoma impatiens</i>				3,5
<i>Lumbrineris tetraura</i>			431,9	
<i>Lanice conchilega</i>		0,5	3,0	6,0
Mollusques				
<i>Abra alba</i>				3,2
<i>Ensis arcuatus</i>		84,1		
Crustacés				
<i>Eurydice pulchra</i>				0,2
<i>Diastylis bradyi</i>		0,8		
<i>Atylus falcatus</i>		1,0		
<i>Atylus swammerdami</i>			0,7	
<i>Corophium sextonae</i>		0,2	0,1	
<i>Bathyporeia elegans</i>	0,2	0,4		0,5
<i>Bathyporeia pelagica</i>		0,3		
<i>Pontocrates altamarinus</i>	0,6	0,2		
<i>Gastrosaccus spinifer</i>		0,8	3,7	
<i>Crangon crangon</i>			0,2	
<i>Portumnus latipes</i>	151,9	20,5	167,1	202,3
Echinodermes				
<i>Ophiura albida</i>				0,1
<i>Ophiura ophiura</i>			0,7	
<i>Ophiothrix fragilis</i>				6,6
Poissons				
<i>Ammodytes lanceolatus</i>	214,1	57,4		
Richesse spécifique	5	14	14	12
Total ·m⁻²	814,7	468,9	2595,4	1193,6