

Laboratoire Environnement côtier & Ressources aquacoles (LER)

Coordonnateur : Elvire Antajan

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

Avril 2012 – LER/BL/RST/12/01

Surveillance Écologique et Halieutique Site de Gravelines

Novembre 2010 - Octobre 2011



Copépode du zooplancton de Gravelines – *Pseudodiaptomus marinus*
(Photo : Elvire Antajan)

FICHE DOCUMENTAIRE

Numéro d'identification du rapport : LER/BL/RST/12//01 Diffusion : libre X restreinte <input type="checkbox"/> interdite <input type="checkbox"/> Validé par : Groupe de lecture Ifremer Version du document : Définitive	date de publication Avril 2012 nombre de pages 146 bibliographie (Oui / Non) illustration(s) (Oui / Non) langue du rapport Français
Titre et sous-titre du rapport : Surveillance écologique du site de production électronucléaire de Gravelines Novembre 2010– Octobre 2011 Titre traduit : Ecological monitoring of the Gravelines nuclear power plant November 2010 – October 2011	
Auteur(s) principal(aux) : ANTAJAN Elvire DELESMONT Régis DEWARUMEZ Jean Marie LEFEBVRE Alain LOOTS Christophe LUCZAK Christophe	Organisme / Direction / Service, laboratoire Ifremer Boulogne Eurofins IPL Nord Station Marine de Wimereux Ifremer Boulogne Ifremer Boulogne Station Marine de Wimereux
Collaborateur(s) : BLONDEL Camille CABOCHE Josselin DELESMONT Edith DUQUESNE Vincent GEVAERT François HEBERT Pascale JANQUIN Marie-Andrée LE ROY Didier LOUIS Wilfried VERIN Françoise	Organisme / Direction / Service, laboratoire Ifremer Boulogne Ifremer Boulogne Eurofins IPL Nord Ifremer Boulogne Station Marine de Wimereux Ifremer Boulogne Station Marine de Wimereux Ifremer Boulogne Ifremer Boulogne Ifremer Boulogne
Titre du contrat de recherche : Surveillance du milieu marin et des ressources vivantes autour des CNPE du littoral pour la période 2006 à 2012 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 Institut Pasteur de Gravelines – Route du Grand Colombier – 59820 Gravelines Station Marine de Wimereux – 28, avenue Foch BP 80 – 62930 Wimereux	Marchés : EDF : C349C65050 Ifremer : 07/1216504/MF
Responsable scientifique : ANTAJAN Elvire Ifremer Boulogne	
Cadre de la recherche : Surveillance des centrales nucléaires littorales et estuariennes Programme : Surveillance et évaluation de la qualité du milieu marin Projet : Impacts des Grands Aménagements IGA Campagne océanographique : IGA Gravelines 2011 – N/O : L’Emeraude	

Résumé

Ce travail constitue le 34^e rapport de surveillance du site électronucléaire de Gravelines dont la grande puissance énergétique 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 les domaines pélagique (hydrologie, microbiologie, phytoplancton, zooplancton), halieutique (larves et œufs de Sole, de Sprat et crevettes grises), et benthique (intertidal et subtidal). La stratégie de surveillance est basée sur une approche spatiale et temporelle (i) Etude de l'impact immédiat par comparaison de la station « Prise d'eau » et de la station « Canal de rejet » sur une surface limitée (ii) Etude de l'évolution à moyen ou à long terme du milieu marin par rapport à une situation de référence (échelle locale).

Abstract

This is the 34th 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. Surveys concern monitoring of pelagic system (hydrology, microbiology, phytoplankton, zooplankton), fish populations (larvae and eggs of Sole and Sprat) or crustaceans (shrimps), and benthic macrofauna (intertidal and subtidal). 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 & CONCLUSIONS

Période de surveillance Novembre 2009 – Octobre 2010

Généralités

La stratégie reste inchangée pour l'ensemble des compartiments étudiés.
Les campagnes pélagiques ont eu lieu le 15 juin et le 27 septembre 2011.

Chloration

Le procédé d'électrochloration du circuit de refroidissement permettant de lutter contre le développement de salissures biologiques a été mis en fonction pendant 8 mois. Les composés chimiques formés durant ce processus étaient essentiellement bromés et le plus abondant était le bromoforme (97,8 % du total des produits dérivés) avec une concentration moyenne de $14,2 \mu\text{g.l}^{-1}$, conforme à ce qui était mesuré lors des périodes de surveillance précédentes. De faible quantité de 2-4-6 bromo-phénol a été détecté en saison de chloration (maximum $0,12 \mu\text{g.l}^{-1}$). Les mesures de la persistance du bromoforme dans les dosages ont permis d'évaluer que le pourcentage d'eau de refroidissement qui passe une seconde fois dans la centrale était de 6.3%.

Bactériologie

Le passage de l'eau de mer dans l'ensemble du système constitué par la centrale et les installations aquacoles entraîne une multiplication du nombre de vibrions d'un facteur 50 (moyenne géométrique annuelle). La tendance à la baisse observée depuis 2009 se confirme donc cette année aussi, de même que l'augmentation des cycles annuels. Les évolutions climatiques (hivers plus froids) et l'activité ralentie de l'aquaculture sur le site peuvent être des facteurs d'explication.

Vibrio alginolyticus reste l'espèce dominante observée sur le site avec 73,6 % d'isolement au niveau du canal de rejet. L'augmentation de la diversité des espèces présentes depuis le développement des activités aquacoles est confirmée cette année. Toutefois, et comme depuis le début de la surveillance du site de Gravelines, les deux sérotypes de *V. cholerae* Nag présentant un risque sanitaire n'ont jamais été mis en évidence sur le site.

Phytoplancton

Cette année était caractérisée par un développement phytoplanctonique précoce (dès le mois de février) mais de moindre ampleur (23 g.m^{-3}). La prymnésiofycée *Phaeocystis globosa*, classifiée comme susceptible d'altérer le fonctionnement de l'écosystème, a dominé la communauté phytoplanctonique entre mars et juin. Son abondance maximale observée le 7 mars avec 11.10^6 cellules par litre était 5 fois moins élevée que l'an passé. En dehors des périodes de proliférations de *P. globosa*, les échantillons étaient dominés par les diatomées.

Les genres *Alexandrium*, *Gymnodinium*, *Gyrodinium* et *Pseudonitzschia*, potentiellement responsables de la production de toxines, ont été identifiés dans quelques échantillons. Les résultats du réseau REPHY permettent de conclure à l'absence de toxines en concentrations supérieures aux seuils réglementaires sur le littoral du Nord, Pas de Calais et de la Picardie.

Zooplancton

Cette année, le dinoflagellé hétérotrophe, *Noctiluca scintillans* (méroplanctonique), bien que moins abondant par rapport à 2008 et 2010, a été observé sur une période beaucoup plus étendue allant de mars à août. Il représentait jusque 85 % du zooplancton global au mois de mai. 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.

Les copépodes qui constituaient le taxon dominant de l'holoplancton présentaient une succession saisonnière classique des espèces pour la région. Cette année aura été marquée par la découverte sur le site de Gravelines d'une nouvelle espèce de copépode, d'origine asiatique, *Pseudodiaptomus marinus* très probablement introduite dans la région via les eaux de ballastes des navires marchands. La surveillance du milieu récepteur des eaux chaudes de rejet montre que les points *contrôle* et *référence* sont assez semblables, tant du point de vue de la biomasse sestonique que de l'abondance et de la proportion des différents groupes zooplanctoniques. Les différences que l'on observe parfois avec le point *rejet* restent donc très localisées.

Zooplancton halieutique

L'échantillonnage 2011 ne nous a pas permis de couvrir la période de ponte de la sole qui était plus précoce cette année. Comme depuis 2009, les abondances de larves observées en 2011 ont été très faibles. Pour le sprat, même si l'abondance des oeufs était faible cette année encore, celle des larves était la plus importante depuis 2006.

La crevette grise, présente toujours des effectifs faibles pendant cette période de l'année même si les abondances de 2011 étaient les plus importantes depuis 2006. Toutefois les prélèvements zooplanctoniques (chapitre 5) montrent que cette espèce est davantage présente sur le site de Gravelines en période estivale (17 zoés par m³ début septembre).

Benthos intertidal

On ne note pas, en 2011, d'évolution de la morphologie de l'estran. Les résultats des analyses granulométriques ne font pas apparaître d'évolution majeure des sédiments intertidaux.

Cette année la richesse spécifique était stable par rapport aux années précédentes (29 taxons), par contre, la densité globale était 2 à 3 fois plus importante qu'en 2010 du fait de la progression des populations de *Hydrobia ulvae*, *Corophium arenarium*, et *Bathyporeia elegans*. Il semblerait que la forte pluviométrie pendant la période de reproduction de ces espèces, avec pour conséquence un débit plus important de l'Aa et donc une dessalure de la partie haute de l'estran ait été favorable au développement de ces espèces.

L'estran de Gravelines 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.

Benthos subtidal

Le cycle sédimentaire classique (teneur en pélites du sédiment plus élevée en été, sables fins dominants) au point B (dit non impacté) a été observé en 2011. Les caractéristiques granulométriques du point C (dit impacté) étaient classiques (absence de pélites).

L'étude de la composition bionomique des peuplements permet de mettre en évidence 63 taxons au point B et 22 taxons au point C. L'impact engendré par la mise en service de la centrale, constaté grâce à la comparaison des points 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 et de biomasse entre le point C et le point B reste considérable en 2011 (respectivement, 96,9 et 96,6 %). Cependant, il faut noter que le peuplement installé au point C est tout à fait semblable, tant au point de vue de la composition faunistique qu'en ce qui concerne la densité et la biomasse globales, à ceux établis sur les sédiments similaires dans la région. De plus, la zone de déficit est localisée au débouché du canal de rejet et ne s'étend pas au-delà de quelques centaines de mètres. Enfin, ce déficit est uniquement dû à l'action de la courantologie.

Les populations à *Abra alba* et à *Tellina fabula* n'atteignent toujours pas le niveau qu'elles avaient dans les années 80-90. Cela est dû à l'arrivée de l'espèce invasive *Ensis directus* en 1991 dont le

mode de nutrition (suspensivore) lui permet d'avoir un accès prioritaire à la nourriture par rapport à *A. alba* et *T. fabula* qui sont dépositives.

Sommaire

Préambule

1.	PRÉSENTATION DU SITE – STRATÉGIE D'ÉTUDE	13
1.1.	Rappel sur le site	15
1.2.	Hydrographie	15
1.3.	Description des installations.....	16
1.4.	Stratégie d'échantillonnage.....	17
2.	FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE ET HYDROLOGIE	21
2.1.	Fonctionnement de la Centrale	23
2.2.	Hydrologie.....	26
2.3.	Éléments de conclusion	32
3.	ÉTUDE DE LA CHLORATION ET BACTÉRIOLOGIE.....	33
3.1.	Chloration.....	35
3.2.	Bactériologie.....	36
3.3.	Campagnes pélagiques	43
3.4.	Éléments de conclusion	44
4.	PHYTOPLANCTON ET BIOMASSE CHLOROPHYLLIENNE	51
4.1.	Introduction	53
4.2.	Méthodologie.....	54
4.3.	Chlorophylle <i>a</i> et pourcentage de chlorophylle active au point <i>prise</i>	55
4.4.	Abondance, composition du phytoplancton et indices de diversité au point <i>prise</i> ...	57
4.5.	Campagnes pélagiques.....	60
4.6.	Dynamique de développement du phytoplancton à méso-échelle	66
4.7.	Éléments de conclusion	67
5.	ZOOPLANCTON	71
5.1.	Méthodologie.....	73
5.2.	Surveillance au canal d'aménée	75
5.3.	Surveillance du milieu récepteur	84
5.4.	Éléments de conclusion	88
6.	ICHTHYOPLANCTON ET LARVES DE CREVETTE GRISE	91
6.1.	Introduction	93
6.2.	Matériels et méthodes	93
6.3.	Résultats- Discussion.....	95
6.4.	Éléments de conclusion	102
7.	LE DOMAINE BENTHIQUE INTERTIDAL	103
7.1.	Introduction	105
7.2.	Matériels et méthodes.....	105
7.3.	Terminologie utilisée	105
7.4.	Résultats	106
7.5.	Conclusion sur l'évolution de l'estran	116
7.6.	Éléments de conclusion	118
8.	LE DOMAINE BENTHIQUE SUBTIDAL	127
8.1.	Introduction	129
8.2.	Matériels et méthodes.....	129
8.3.	Résultats	129
8.4.	Étude des populations d' <i>Abra alba</i> et de <i>Tellina fabula</i> du point <i>B</i>	138
8.5.	Éléments de conclusion	141

Préambule

La commande d'exécution passée par EDF-CNPE de Gravelines à Ifremer (document référencé 5100-CPC-4200137165) pour les 5 années 2008 à 2012 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 du CNPE de Gravelines réalisée au cours de l'année 2011,

- L'état d'avancement a été adressé à EDF le 6 juillet 2011
- L'édition provisoire du rapport annuel fait l'objet du présent document

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 d'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 2011, 31^{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** (Eurofins IPL Nord), pour l'étude de la chloration et la bactériologie.
- **Alain LEFEBVRE** (DOP-LER-BL), pour le phytoplancton
- **Christophe LOOTS** (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

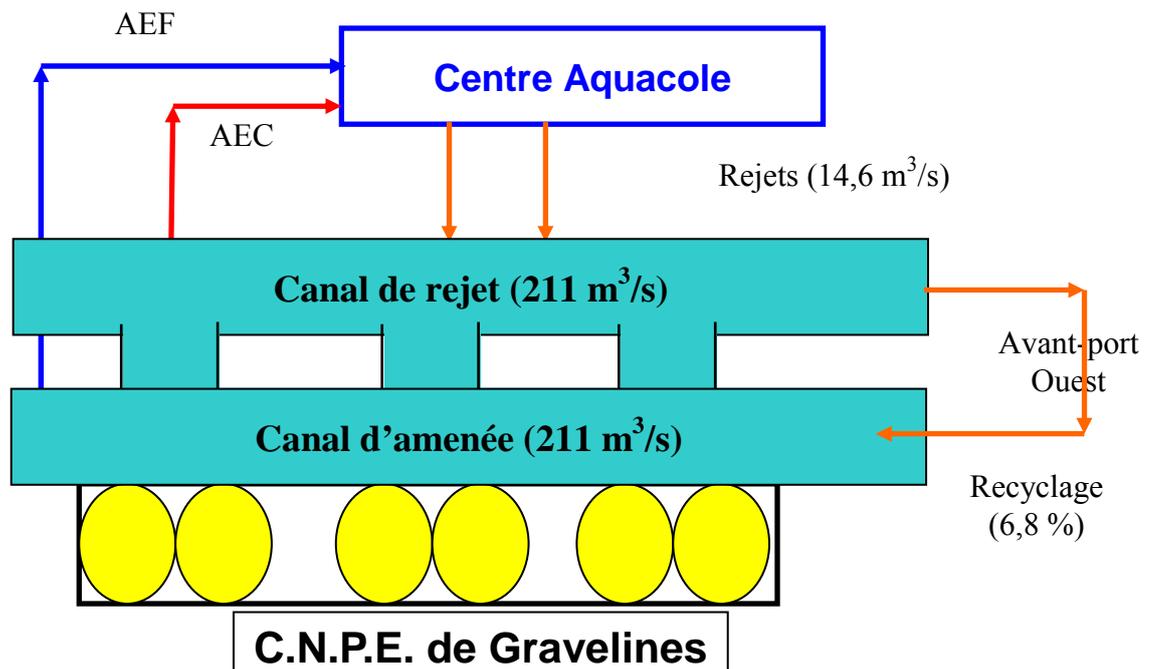
Collaborateurs : E. Delesmont

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 m³ par seconde et par tranche. Le débit nominal total du rejet est ainsi de 240 m³ par seconde. L'eau réchauffée est rejetée dans un canal à ciel ouvert qui se déverse à la côte.

Depuis 1984, des installations aquacoles utilisent une partie de cette eau tiède (11,5 m³/s) 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 m³/s)

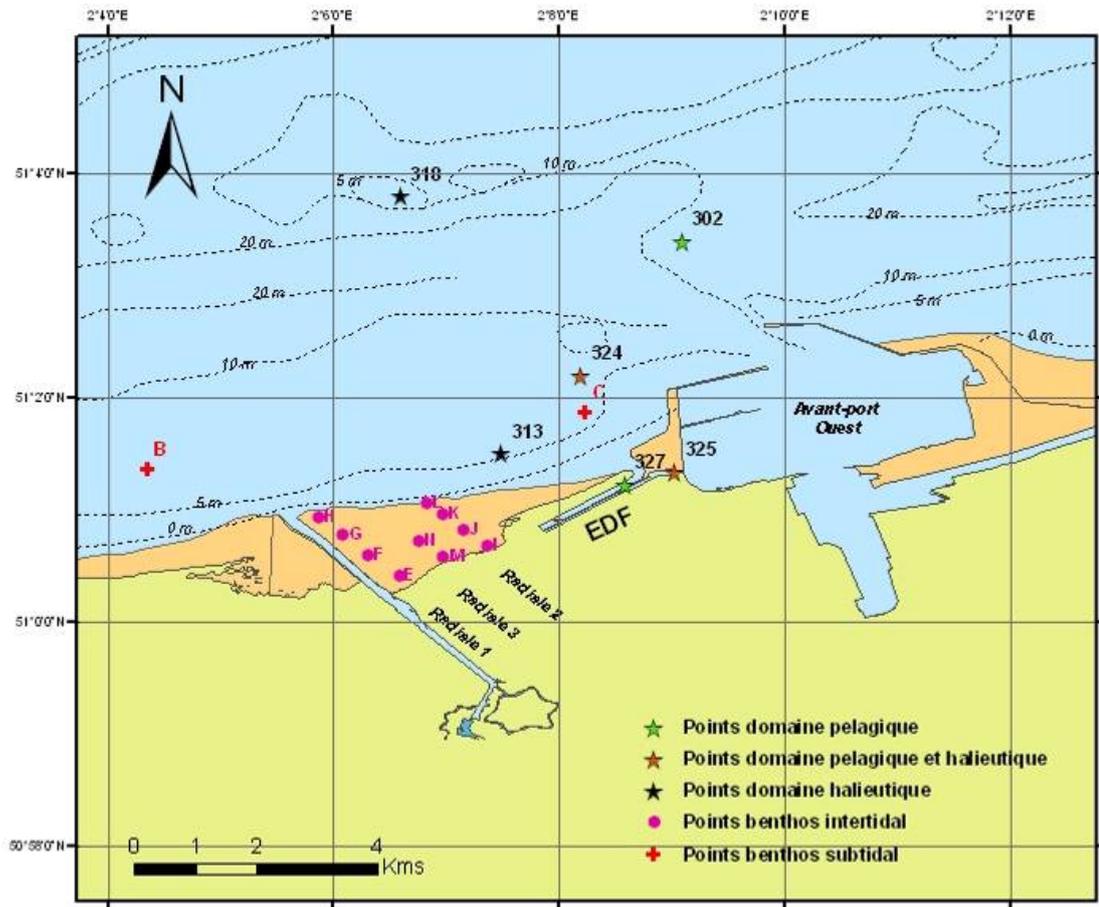
AEF : Alimentation Eau Froide (3,1 m³/s)

Figure 1.2 Schéma de la circulation de l'eau sur le site de Gravelines (Valeurs chiffrées en 2009)

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)
-	51°1'40 N	2°4'60 E	Point B (hors impact)
-	51°1'60 N	2°8'50 E	Point C (impacté)

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

La liste de l'ensemble des travaux réalisés sur ces points de novembre 2010 à octobre 2011 est résumée dans le tableau 1.1.

Tableau 1.1 Ensemble des travaux réalisés lors de la surveillance 2010-2011

2010-2011	Paramètres	Périodicité par point			
		Prise	Rejet	Contrôle	Référence
DOMAINE PÉLAGIQUE					
Hydrologie	Température	hebdo.	hebdo.	15/06/11 27/09/11	
	Salinité	15/06/11 27/09/11			
Chimie	Sels nutritifs azotés	hebdo.	hebdo.		
	Chlore, haloformes et bromoformes	hebdo.	hebdo.		
	Bromophénols		mensuel		
Bactériologie	Vibrions halophiles	hebdo.	hebdo.	15/06/11 27/09/11	
Phytoplancton	Pigments chlorophylliens Flore totale	hebdo.	15/06/11 27/09/11		
Zooplancton	Méso-zooplancton	mensuel	15/06/11 27/09/11		
DOMAINE HALIEUTIQUE		Prise	Côte	Contrôle	Large
Ichtyoplancton	Soles et sprats (œufs et larves)	31/03/11 15/04/11 29/04/11 20/05/11	15/04/11 20/05/11		
Macrofaune	Crevettes grises	31/03/11 15/04/11 29/04/11 20/05/11	15/04/11 20/05/11		
DOMAINE BENTHIQUE		E-F-G-H	M-N	I-J-K-L	B-C
Benthos intertidal	Sédiment (granulométrie) Macrofaune	16/06/11			
Benthos subtidal	Sédiment (granulométrie) Macrofaune				18/02/11 06/04/11 08/07/11 19/09/11

1.4.1. Domaine pélagique

Deux campagnes annuelles sont réalisées selon un axe côte-large pour la surveillance du milieu récepteur des eaux chaudes rejetées par la centrale. En 2011 elles ont été réalisées le 15 juin pour la mission printanière et le 27 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 2011

Date	Pleine mer (heure locale)	Coeff. de marée	Prise	Rejet	Contrôle	Référence
15/06/11	17 :08	86	11 :15	13 :50	12 :45	12 :15
27/09/11	13 :11	91	13 :15	14 :50	13 :10	14 :12

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 (15 avril et 20 mai 2011) selon un gradient côte-large dans le milieu récepteur.
- 2 campagnes au canal d'amenée (31 mars et 29 avril 2011).

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, couvrant l'ensemble de la zone intertidale comprise entre l'estuaire de l'Aa et la route de Dunes (estran Petit-Fort-Philippe), a été réalisée le 16 juin 2011 .

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 (18 février, 6 avril, 8 juillet et 19 septembre 2011).

2. FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE ET HYDROLOGIE

Auteurs : R. Delesmont et E. Antajan

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 d'environ 900 MW. En 2010-2011, la puissance électrique produite par la centrale correspondait en moyenne hebdomadaire à l'équivalent de 3,5 à 6 tranches de 900 MW/h (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 4525 MW/h, soit l'équivalent de 5 tranches.

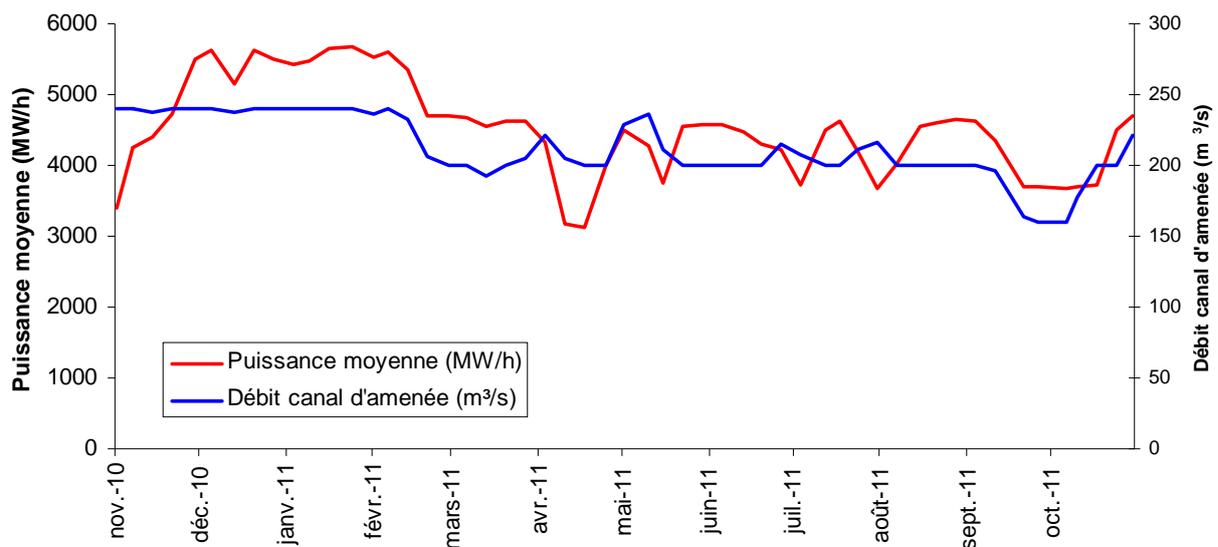


Figure 2.1 Fonctionnement de la centrale de Gravelines pour la période 2010-2011

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 160 à 240 m³/s, soit les débits unitaires de pompage de 4 à 6 tranches (figure 2.1 et tableau 2.1). Le débit moyen calculé sur une base hebdomadaire était de 212 m³/s, soit l'équivalent du débit de pompage de 5,3 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 2010-2011, ces variations ont été relativement faibles (figure 2.2 et tableau 2.1) :

Échauffement moyen calculé par EDF : $10 \pm 1,2$ °C

Échauffement moyen (mesures IPL au canal de rejet) : $9 \pm 1,8$ °C

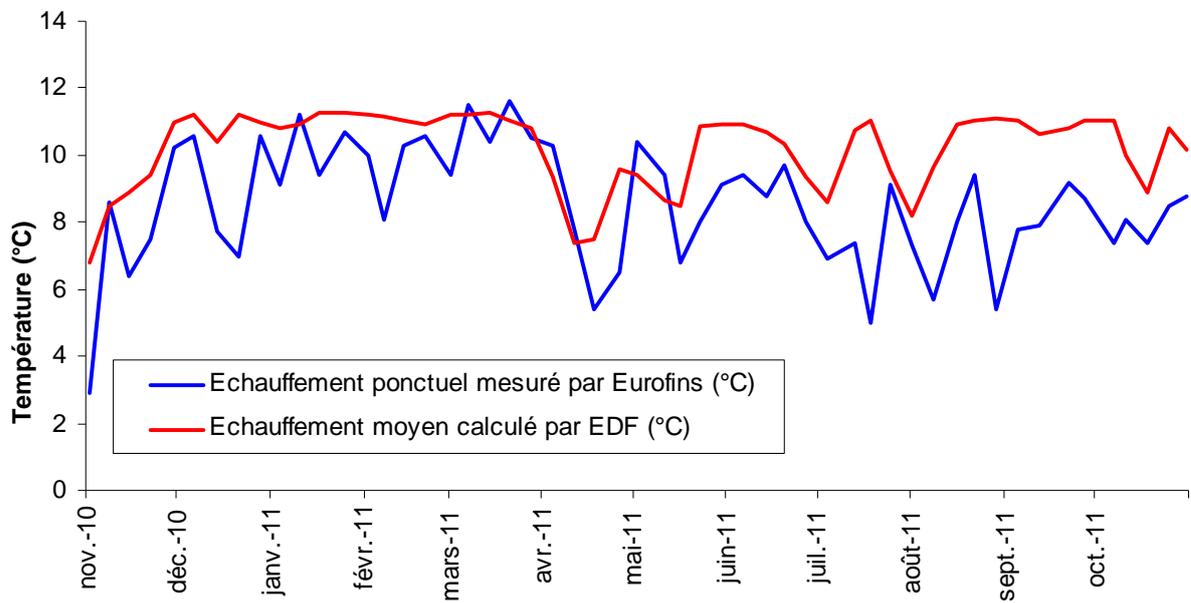


Figure 2.2 Comparaison entre les échauffements calculés et mesurés au canal de rejet

L'écart moyen des valeurs calculées par EDF et mesurées au point rejet lors de nos prélèvements ponctuels était de 1,8 °C.

**Tableau 2.1. Fonctionnement de la centrale en 2009-2010
(Débit et puissance calculés à partir des données fournies par EDF)**

Année	Semaine		Puissance moyenne MW/h	Débit canal m ³ /s	Echauffement moyen calculé par EDF (°C)	Echauffement ponctuel mesuré par IPL (°C)
	du	au				
2010	01-nov	07-nov	3404	240	6.8	2.9
	08-nov	14-nov	4241	240	8.5	8.6
	15-nov	21-nov	4409	238	8.9	6.4
	22-nov	28-nov	4727	240	9.4	7.5
	29-nov	05-déc	5495	240	11.0	10.2
	06-déc	12-déc	5614	240	11.2	10.6
	13-déc	19-déc	5158	237	10.4	7.7
	20-déc	26-déc	5637	240	11.2	7
	27-déc	02-janv	5499	240	11.0	10.6
2011	03-janv	09-janv	5414	240	10.8	9.1
	10-janv	16-janv	5484	240	10.9	11.2
	17-janv	23-janv	5658	240	11.3	9.4
	24-janv	30-janv	5664	240	11.3	10.7
	31-janv	06-févr	5527	236	11.2	10
	07-févr	13-févr	5603	240	11.2	8.1
	14-févr	20-févr	5362	233	11.0	10.3
	21-févr	27-févr	4695	206	10.9	10.6
	28-févr	06-mars	4696	200	11.2	9.4
	07-mars	13-mars	4684	200	11.2	11.5
	14-mars	20-mars	4539	193	11.3	10.4
	21-mars	27-mars	4621	200	11.1	11.6
	28-mars	03-avr	4637	205	10.8	10.5
	04-avr	10-avr	4317	221	9.3	10.3
	11-avr	17-avr	3169	205	7.4	7.8
	18-avr	24-avr	3132	200	7.5	5.4
	25-avr	01-mai	3996	200	9.6	6.5
	02-mai	08-mai	4501	229	9.4	10.4
	09-mai	15-mai	4269	236	8.7	9.4
	16-mai	22-mai	3738	211	8.5	6.8
	23-mai	29-mai	4546	200	10.9	8
	30-mai	05-juin	4575	200	10.9	9.1
	06-juin	12-juin	4575	200	10.9	9.4
	13-juin	19-juin	4473	200	10.7	8.8
	20-juin	26-juin	4312	200	10.3	9.7
	27-juin	03-juil	4215	215	9.4	8
	04-juil	10-juil	3725	208	8.6	6.9
	11-juil	17-juil	4504	200	10.8	7.4
	18-juil	24-juil	4618	200	11.0	5
	25-juil	31-juil	4210	211	9.5	9.1
	01-août	07-août	3686	216	8.2	7.3
	08-août	14-août	4025	200	9.6	5.7
15-août	21-août	4557	200	10.9	8	
22-août	28-août	4607	200	11.0	9.4	
29-août	04-sept	4646	200	11.1	5.4	
05-sept	11-sept	4613	200	11.0	7.8	
12-sept	18-sept	4345	196	10.6	7.9	
19-sept	25-sept	3696	164	10.8	9.2	
26-sept	02-oct	3689	160	11.0	8.7	
03-oct	09-oct	3686	160	11.0	7.4	
10-oct	16-oct	3697	177	10.0	8.1	
17-oct	23-oct	3718	200	8.9	7.4	
24-oct	30-oct	4510	200	10.8	8.5	
31-oct	06-nov	4691	221	10.2	8.8	

2.2. Hydrologie

2.2.1. Canaux d'amenée et de rejet

2.2.1.1. Température

Une température minimale de 3,7 °C a été observée le 28/12/10 au point de prise d'eau. La température de 20 °C, relevées habituellement en été n'a pas été atteinte cette année (figure 2.4). La moyenne annuelle des températures de l'eau au point *prise* était de 12,3 °C, cette valeur est pour la seconde année consécutive en retrait de près d'un degré par rapport aux moyennes habituellement relevées à ce point variant de 12,9 à 13,2 °C.

La période 2010-2011 a été marquée par des températures inhabituellement basses en décembre et de février à mars, confirmant la tendance au refroidissement observé en 2010. On note également un refroidissement marqué lors du mois de juillet (figure 2.5).

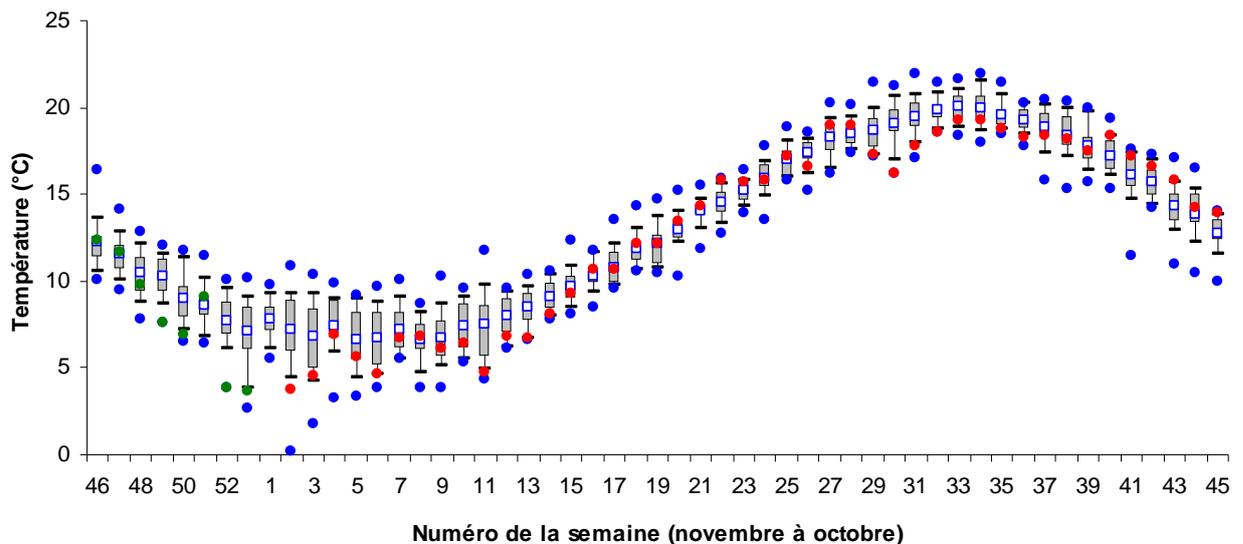


Figure 2.4 Evolution hebdomadaire de la température de l'eau au canal de prise de 1996-2011
(points vert = données 2010 ; points rouges = données 2011 ; points bleus = données extrêmes depuis 1996 ; carré bleu = moyenne)

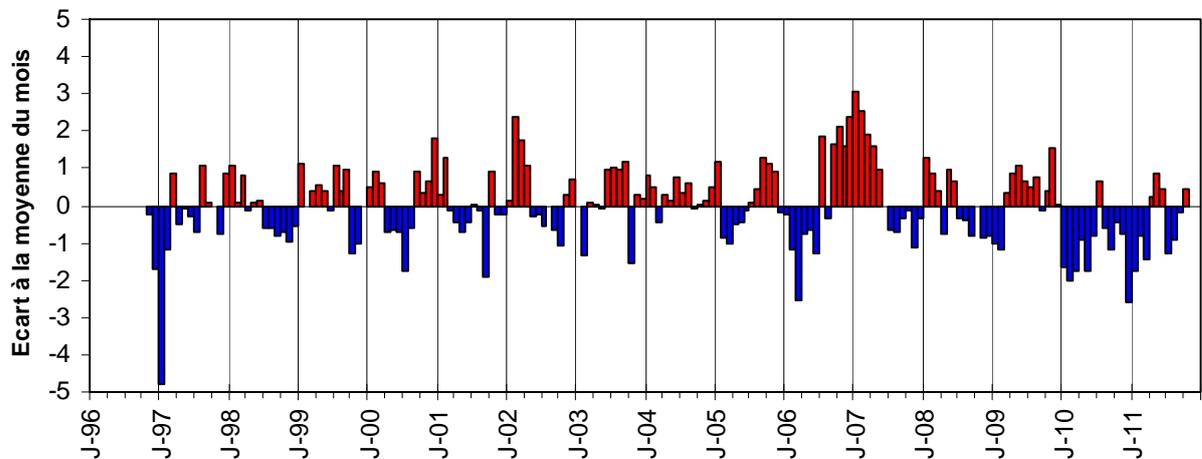


Figure 2.5 Ecarts à la moyenne mensuelle des températures de l'eau au canal de prise de 1996–2011

Au point *rejet*, contrairement à certaines années, aucune température supérieure à 30°C n'a été relevée au cours de cette période. La température maximale enregistrée était de 28,2°C comme lors du cycle précédent.

Le transit de l'eau dans la centrale, calculé sur la base des prélèvements hebdomadaires réalisés, s'est traduit par un échauffement moyen de 8,5 °C, tout à fait dans l'ordre des valeurs observées depuis 1996 (8,8°C).

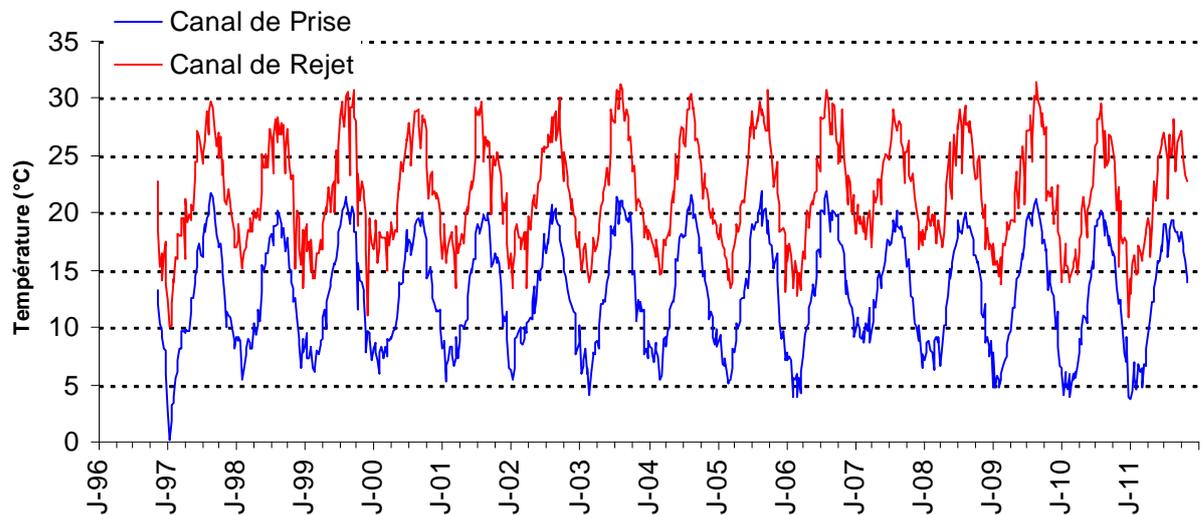


Figure 2.6 Température hebdomadaire de l'eau aux canaux de prise et de rejet de 1996–2011

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 de prise et de rejet. Deux formes d'azote sont mesurées : l'azote réduit ammoniacal (NH_4^+) et la forme dominante de l'azote oxydé, le nitrate (NO_3^-).

Le stock hivernal de nitrates a été totalement épuisé fin mars (figure 2.8 et tableau 2.2) du fait de la prolifération phytoplanctonique (cf figure 4.1). Les concentrations en nitrates sont par la suite restées très faibles par rapport aux années précédentes.

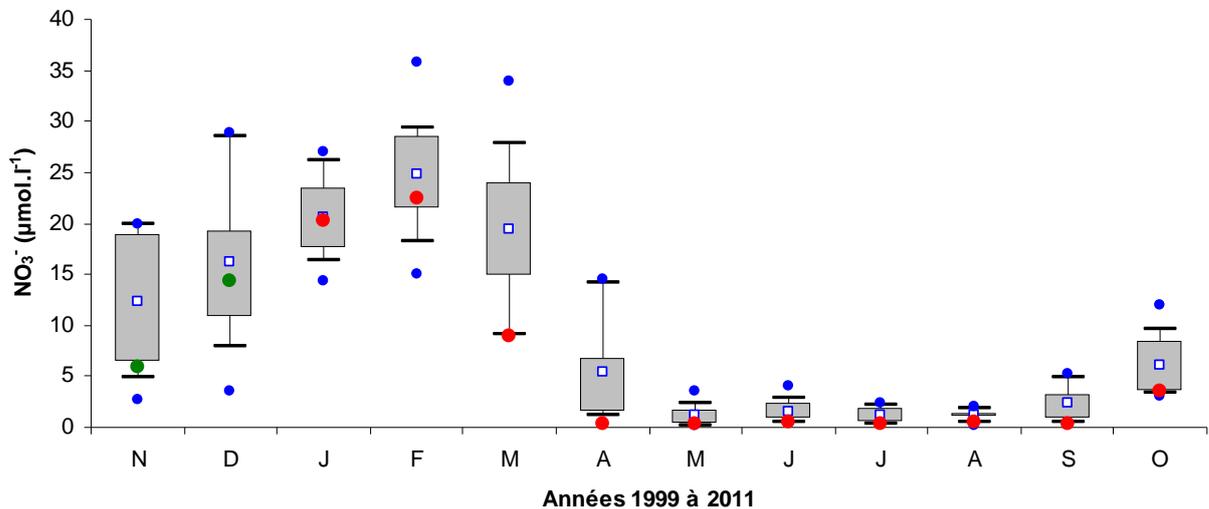


Figure 2.8 Concentration mensuelle en nitrate au canal de prise de 1999-2011
(points vert = données 2010 ; points rouges = données 2011 ; points bleus = données extrêmes depuis 1999 ; carré bleu = moyenne)

Du printemps à l'automne, les concentrations étaient généralement un peu plus élevées au point *rejet* par rapport au point *prise* (figure 2.9). Ce phénomène de faible ampleur a déjà été observé lors des cycles d'étude précédents. En moyenne annuelle, un excédant en nitrate de $0,6 \mu\text{mol.l}^{-1}$ dans le canal de rejet a été observé par rapport au canal de prise.

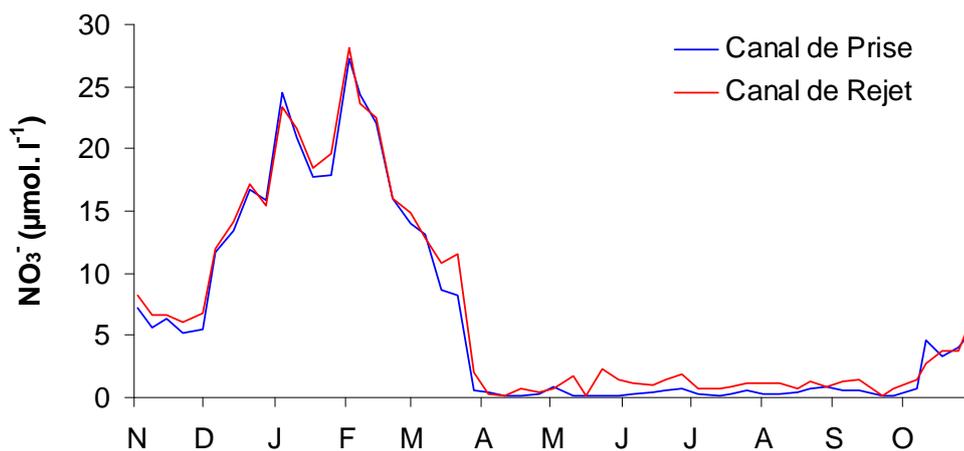


Figure 2.9 Concentration en nitrate aux canaux de prise et de rejet pour la période 2010-2011

Pour l'ammonium, on a observé de très fortes concentrations fin 2010 puis une diminution régulière des concentrations jusqu'au bloom phytoplanctonique printanier (figure 2.10 et tableau 2.2). Une remontée des concentrations est observée en mai-juin avec la fin des proliférations phytoplanctoniques.

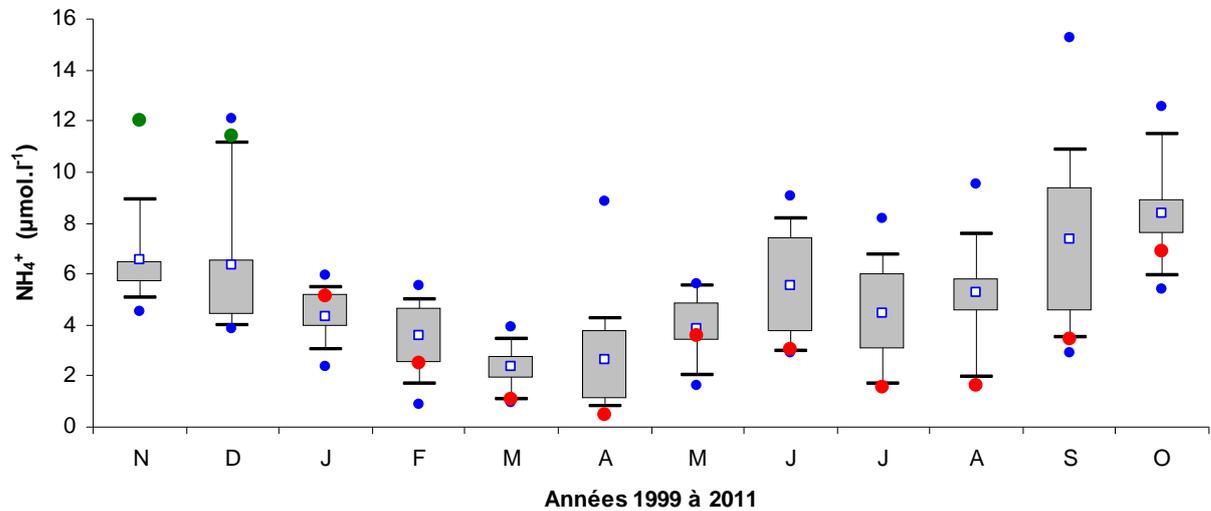


Figure 2.10 Concentration mensuelle en ammonium au canal de *prise* pour la période 2010-2011 (points vert = données 2010 ; points rouges = données 2011 ; points bleus = données extrêmes depuis 1999 ; carré bleu = moyenne)

Le transit de l'eau se traduit en moyenne annuelle par un apport en ammonium de $0.37 \mu\text{mol.l}^{-1}$, cet apport est concentré sur la période estivale pour devenir quasiment nul en automne-hiver (figure 2.11).

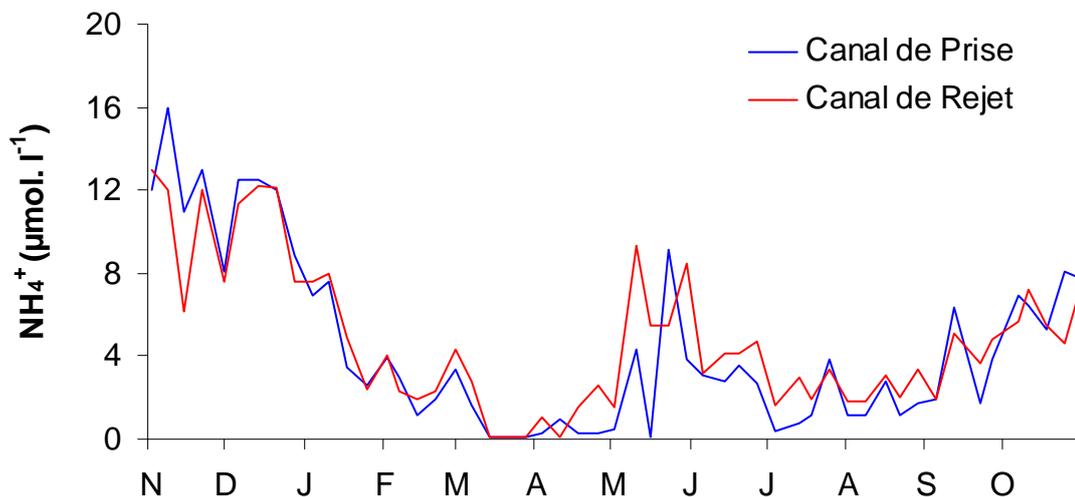


Figure 2.11 Concentration en ammonium aux canaux de *prise* et de *rejet* pour la période 2010-2011

Tableau 2.2 Évolution hebdomadaire des concentrations en sels nutritifs aux canaux de prise et de rejet pour la période 2010-2011

Date	Canal d'amenée		Canal de rejet	
	NH4+ ($\mu\text{mol.l}^{-1}$)	NO3 ⁻ ($\mu\text{mol.l}^{-1}$)	NH4+ ($\mu\text{mol.l}^{-1}$)	NO3 ⁻ ($\mu\text{mol.l}^{-1}$)
02/11/10	12.0	7.2	13.0	8.2
08/11/10	16.0	5.6	12.0	6.6
15/11/10	11.0	6.3	6.2	6.6
22/11/10	13.0	5.2	12.0	6.1
30/11/10	8.1	5.5	7.6	6.7
06/12/10	12.5	11.7	11.4	11.9
14/12/10	12.5	13.4	12.2	14.2
21/12/10	12.0	16.7	12.1	17.1
28/12/10	8.8	15.9	7.6	15.5
04/01/11	6.9	24.5	7.6	23.3
10/01/11	7.6	20.9	8.0	21.6
17/01/11	3.5	17.7	4.9	18.4
25/01/11	2.6	18.0	2.4	19.7
02/02/11	3.9	27.2	4.0	28.1
07/02/11	3.0	24.4	2.3	23.6
14/02/11	1.2	22.1	1.9	22.5
21/02/11	1.9	16.1	2.3	16.1
01/03/11	3.4	14.0	4.3	14.9
07/03/11	1.6	13.1	2.8	12.8
14/03/11	0.1	8.6	0.1	10.8
21/03/11	0.1	8.3	0.1	11.5
28/03/11	0.1	0.5	0.1	2.1
04/04/11	0.3	0.4	1.1	0.3
11/04/11	1.0	0.2	0.1	0.1
18/04/11	0.3	0.2	1.5	0.7
26/04/11	0.3	0.3	2.6	0.4
02/05/11	0.5	0.9	1.5	0.7
11/05/11	4.3	0.1	9.3	1.7
16/05/11	0.1	0.1	5.5	0.1
23/05/11	9.1	0.1	5.5	2.3
30/05/11	3.8	0.1	8.5	1.4
06/06/11	3.1	0.3	3.2	1.1
14/06/11	2.8	0.4	4.1	1.0
20/06/11	3.6	0.6	4.1	1.4
27/06/11	2.7	0.7	4.7	1.9
04/07/11	0.4	0.3	1.6	0.7
13/07/11	0.8	0.1	3.0	0.7
18/07/11	1.2	0.3	1.9	0.9
25/07/11	3.8	0.6	3.4	1.2
01/08/11	1.2	0.3	1.8	1.1
08/08/11	1.2	0.3	1.8	1.1
16/08/11	2.8	0.4	3.1	0.7
22/08/11	1.2	0.7	2.0	1.3
29/08/11	1.7	0.8	3.4	0.9
05/09/11	1.9	0.6	1.9	1.3
12/09/11	6.3	0.6	5.1	1.4
22/09/11	1.7	0.1	3.7	0.1
27/09/11	3.8	0.1	4.8	0.7
07/10/11	6.9	0.7	5.7	1.5
11/10/11	6.4	4.6	7.2	2.8
18/10/11	5.3	3.3	5.5	3.8
25/10/11	8.1	4.1	4.6	3.8
31/10/11	7.8	5.4	7.0	6.3

2.2.2. Campagnes pélagiques

2.2.2.1. Température

En raison des turbulences importantes régnant dans les canaux de prise et de rejet, leurs températures sont considérées comme homogènes. La différence de température entre le point *prise* et le point *rejet* était de 9,3 °C en juin et de 8,8 °C en septembre (figures 2.12 et 2.13). Au point *contrôle*, la stratification thermique verticale habituelle du panache de rejet a été observée lors des campagnes de juin et de septembre malgré la faible profondeur. Le gradient de température surface-fond était de 5,9 °C pour la campagne de mai et de 5,4°C pour la campagne de septembre. Une stratification de très faible ampleur a été observée au niveau du point de *référence* en juin (0,3°C). Aucune stratification thermique n'a été notée en septembre.

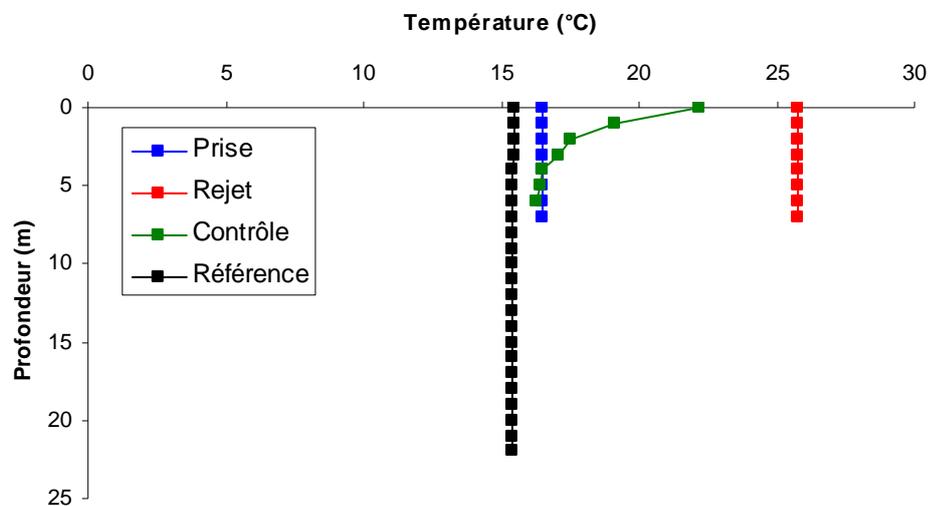


Figure 2.12 Profils de température lors de la campagne de prélèvements du 15/06/2011

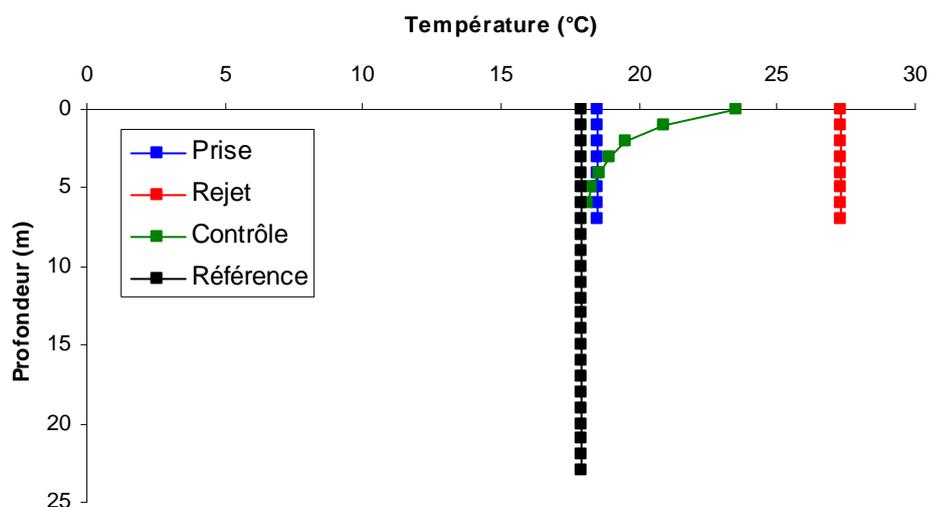


Figure 2.13 Profils de température lors de la campagne de prélèvements du 27/09/2011

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).

Tableau 2.3 Salinités mesurées lors de la campagne pélagique du 15 juin 2011

Point	Prise	Rejet	Contrôle	Référence
Surface	34,6	34,7	35,3	35,4

Tableau 2.4 Salinités mesurées lors de la campagne pélagique du 29 septembre 2009

Point	Prise	Rejet	Contrôle	Référence
Surface	34.3	34.2	34,3	34,4

* : 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.

2.3. Éléments de conclusion

On observe un apport moyen sur l'année de $0,60 \mu\text{mol.l}^{-1}$ de nitrate. Les faibles apports observés dans le canal de rejet depuis trois ans sont probablement liés à la baisse d'activité de la ferme aquacole.

Les températures mesurées au point *référence* n'ont pas indiqué un réchauffement des eaux par rapport au point *prise*, ce qui montre bien que l'étendue du panache de rejet reste toujours géographiquement très limitée. De faibles concentrations en bromoforme sont néanmoins régulièrement mesurées au point *référence*.

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, les trihalométhanes (essentiellement le bromoforme) et d'autres composés en quantités beaucoup plus faibles comme le tri-bromo phénol. La figure 3.1 permet de visualiser la concentration en bromoforme en relation avec la température de l'eau au canal de prise. On constate que la chloration a été interrompue dès que la température à la prise d'eau est descendue en dessous de 10°C.

Le bromoforme n'est pas détecté dans le canal de rejet entre le 30/11/2010 et le 04/04/2011 (les données de bromoformes entre le 4 et 18 juillet 2011 sont manquantes).

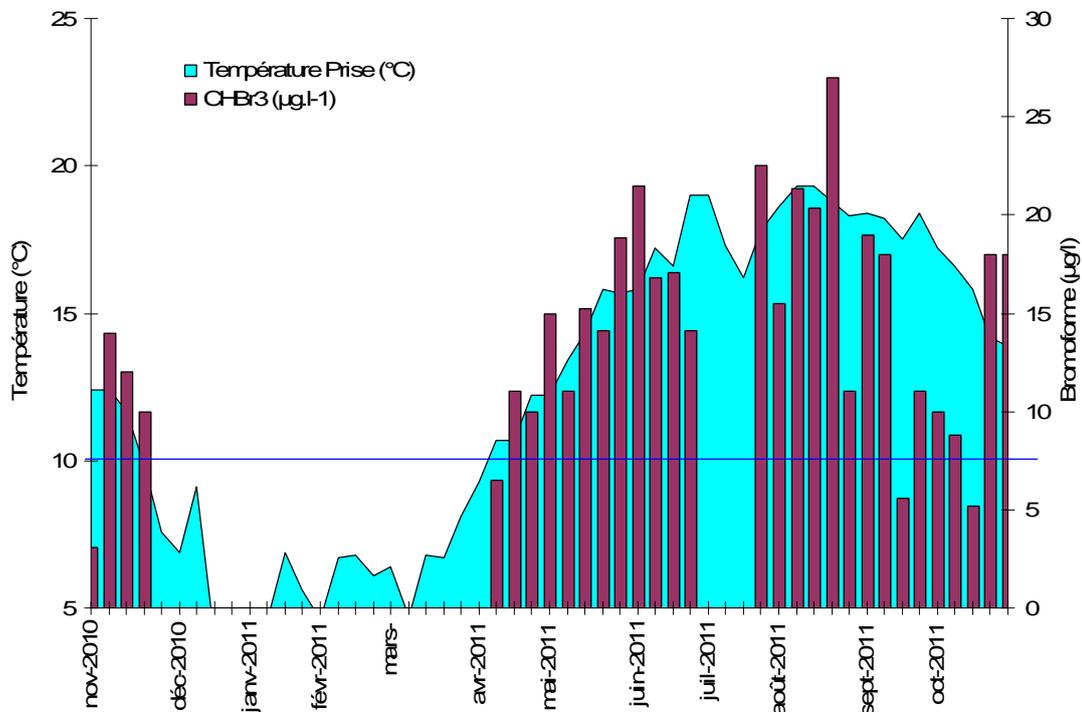


Figure 3.1 Concentration du bromoforme au canal de rejet en relation avec la température de l'eau au canal de prise

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. En période de chloration, il représente comme les années précédentes 97,8 % des haloformes formés. La concentration moyenne est de 14,2 µg.l⁻¹ (figure 3.1 et tableau 3.1). Cette concentration moyenne était voisine des valeurs habituellement observées les années précédentes (environ 14 à 20 µg.l⁻¹). Cette concentration correspond pour la période de chloration de 8 mois à la production d'environ 50 tonnes de bromoforme.

Parmi les autres haloformes formés, seul le monochlorodibromométhane (CHClBr₂) est mis en évidence cette année comme lors de la période précédente au seuil analytique de 0,02µg.l⁻¹. Il représente 2,0 % des haloformes avec une concentration moyenne de 0,29 µg.l⁻¹.

La persistance du bromoforme en mer permet également de quantifier le pourcentage d'eau de refroidissement qui passe une seconde fois dans la centrale (« taux de recirculation »). La valeur calculée en 2010-2011 est de 6,3%. Ce pourcentage a une grande importance sur le plan bactériologique car le recyclage de l'eau du rejet permet de sélectionner et de fixer sur le site des espèces bactériennes. Les dosages des haloformes effectués lors des deux campagnes annuelles en mer montre toutefois que les concentrations diminuent rapidement dès que l'on s'éloigne du panache de rejet de la centrale (tableau 3.2)

Des recherches de bromo-phénols, composés issus de la chloration de masses molaires plus importantes 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 détectées durant la saison de chloration (tableau 3.3). Les autres tri-bromo phénols recherchés n'ont pas été détectés cette année comme lors des périodes précédentes.

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 (1^{er} trimestre), leur maximum est observé à la fin de l'été (3^{ème} trimestre). 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. Dénombrement et identification des espèces de *Vibrio* cultivables à 37°C

La méthode d'analyse est en place sur le site depuis 1984. Elle est maintenant appliquée sur l'ensemble des sites en bord de mer depuis 2008.

Les échantillons d'eau prélevés dans des flacons stériles contenant du thiosulfate de sodium pour neutraliser les oxydants résiduels, sont maintenus au frais ($\leq 10^{\circ}\text{C}$) et à l'obscurité pendant leur transport jusqu'au laboratoire pour analyse. L'eau homogénéisée par agitation des flacons est ensuite filtrée (1, 10, 100 ml et 1L) sur une membrane de porosité 0,45 μm . Chaque filtre est ensuite déposé sur une gélose sélective TCBS (Thiosulfate-Citrate-sels Biliaires-Saccharose DIFCO) et incubé pendant 24h à 37°C.

Les colonies caractéristiques cultivant sur gélose TCBS sont ensuite dénombrées par types morphologiques et soumises à des tests biochimiques pour identification (gram, oxydase, halophilie, galerie d'identification API20E ; Touron & Delesmont 2007)¹. En cas de suspicion de *Vibrio cholerae*, des tests d'agglutinations supplémentaires sont effectués (sérogroupes 01 et 0139).

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

¹ Touron, A., and R. Delesmont. 2007. Procédure Technique DRD/P77/Vib - Recherche et dénombrement de *Vibrio* spp. et de dix espèces de *Vibrio*, dans les eaux marines et estuariennes, p. 12. EDF R&D - LNHE

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.

3.2.2. Aspect quantitatif

Au point *prise*, la concentration moyenne des vibrions en 2010-2011 était en moyenne géométrique (rapport des moyennes du logarithme des concentrations) de 70 par litre. Cette valeur est comparable aux chiffres obtenus lors des deux années précédentes, chiffres nettement inférieurs aux moyennes des années antérieures (figure 3.2 et tableau 3.4).

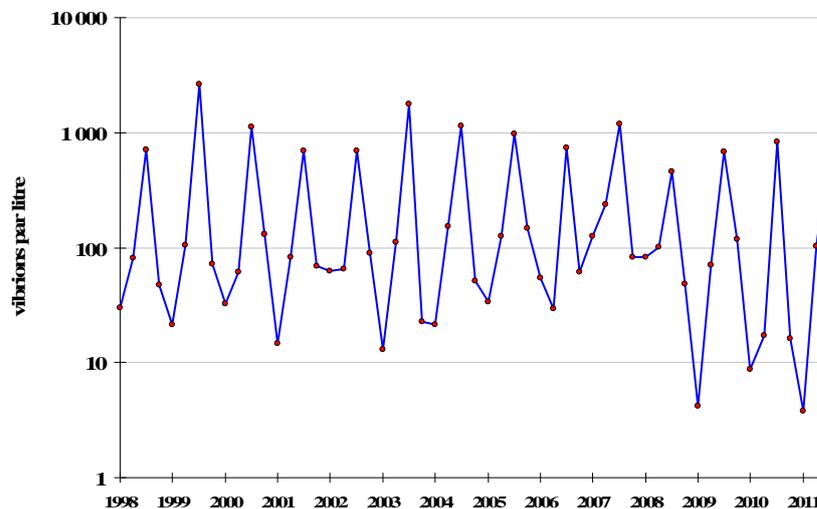


Figure 3.2 Moyenne géométrique trimestrielle des dénombrements hebdomadaires de vibrions au canal de prise de 1998-2011

Entre le point *prise* et le point *rejet*, la concentration en vibrions était en moyenne géométrique annuelle multipliée par 50. Ce facteur de multiplication est inhabituellement faible pour la troisième fois (43 en 2008-2009 ; 28 en 2009-2010). Il se traduit par une concentration au canal de rejet de 3512 vibrions par litre en moyenne géométrique (figure 3.3 et tableau 3.5). Le déficit au point de rejet était le plus important lors des périodes de froid inhabituelles de fin 2010 et de juillet 2011. La plus grande valeur enregistrée à ce jour était de 17 460 vibrions par litre en 2006-2007 (figure 3.4).

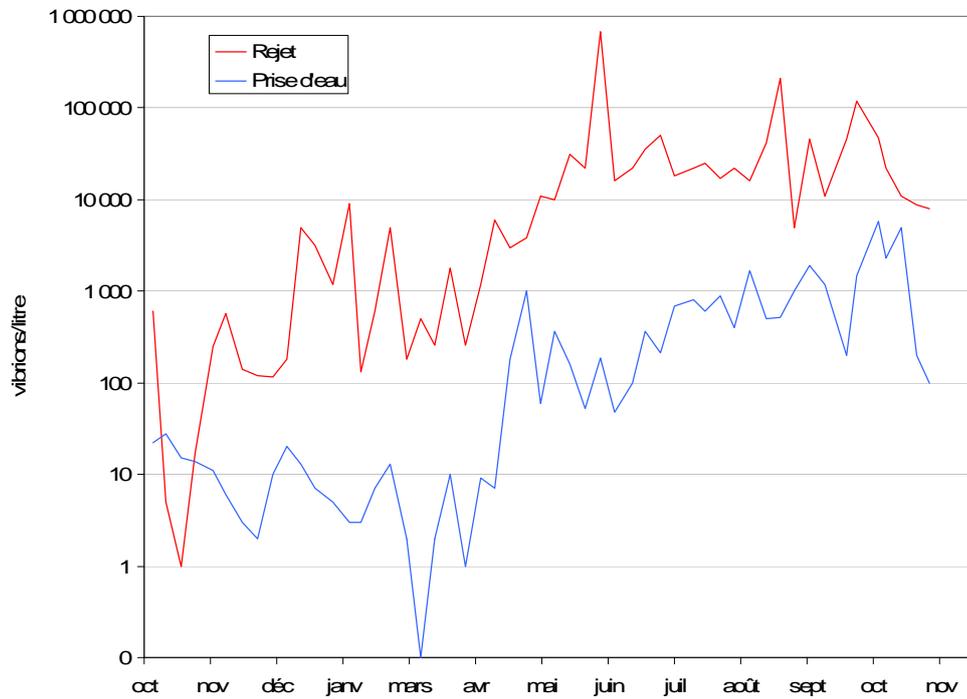


Figure 3.3 Abondance des vibrions cultivables à 37 °C aux canaux de prise et de rejet (Vibrions par litre en échelle logarithmique)

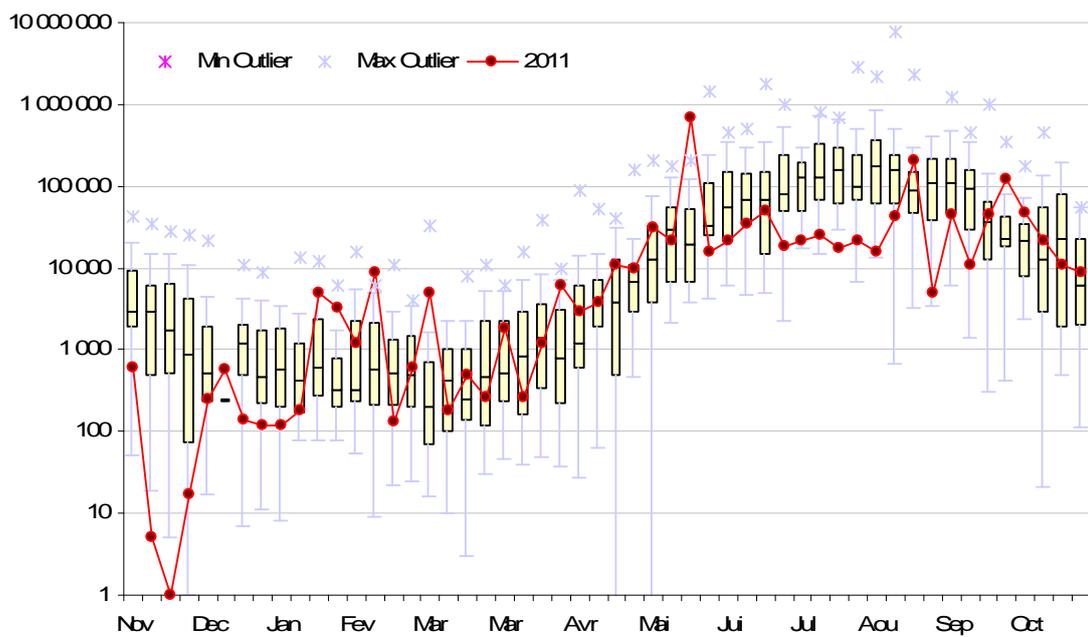


Figure 3.4 Evolution hebdomadaire des vibrions cultivables à 37 °C au canal de rejet en 2010-2011 par rapport à la période 1990-2010 (Vibrions par litre en échelle logarithmique)

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 8 °C se traduit par une abondance en vibrions environ 10 fois plus grande (figure 3.5).

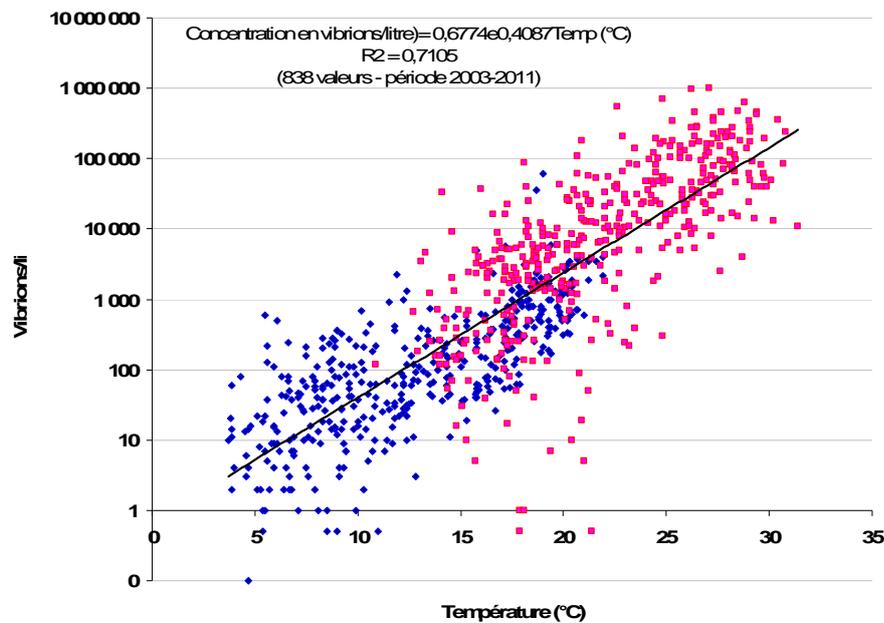


Figure 3.5 Relations entre température et concentration en vibrions par litre de 2003 à 2011 aux canaux d'amenée (bleu) et de rejet (rouge)

En dépit de variations liées aux conditions climatiques, l'abondance maximale des vibrions observée en période estivale dans le canal de rejet était relativement stable depuis la mise en service des six tranches de la centrale de Gravelines en 1986 (figure 3.6 ; flèches noires) et le développement de l'aquaculture (figure 3.6 ; flèches bleues : phase expérimentale en 1984 puis extensions en 1991, 1992 et 2003). Cependant, l'amplitude des cycles annuels se réduisait régulièrement depuis 1985, indiquant une augmentation des abondances de vibrions hors période estivale, ce qui est clairement mise en évidence en traitant les concentrations en vibrions trimestre par trimestre (figure 3.7) : stabilisation des abondances du 3^{ième} trimestre (juillet-septembre) depuis 1985, et augmentation des abondances pour les trois autres trimestres sur la même période.

Toutefois, depuis 2008 des abondances inhabituellement basses viennent contredire la tendance observée depuis 1985. Les valeurs des deuxième et troisième trimestres sont en baisse modérée alors que la diminution des concentrations est plus importante lors des premier et quatrième trimestres d'étude.

Les basses températures de l'eau observée cette année jouent sûrement un rôle important dans ces faibles concentrations mais on peut également envisager une influence du ralentissement des activités de la ferme aquacole (depuis 2009) et/ou des évolutions dans son fonctionnement hydraulique.

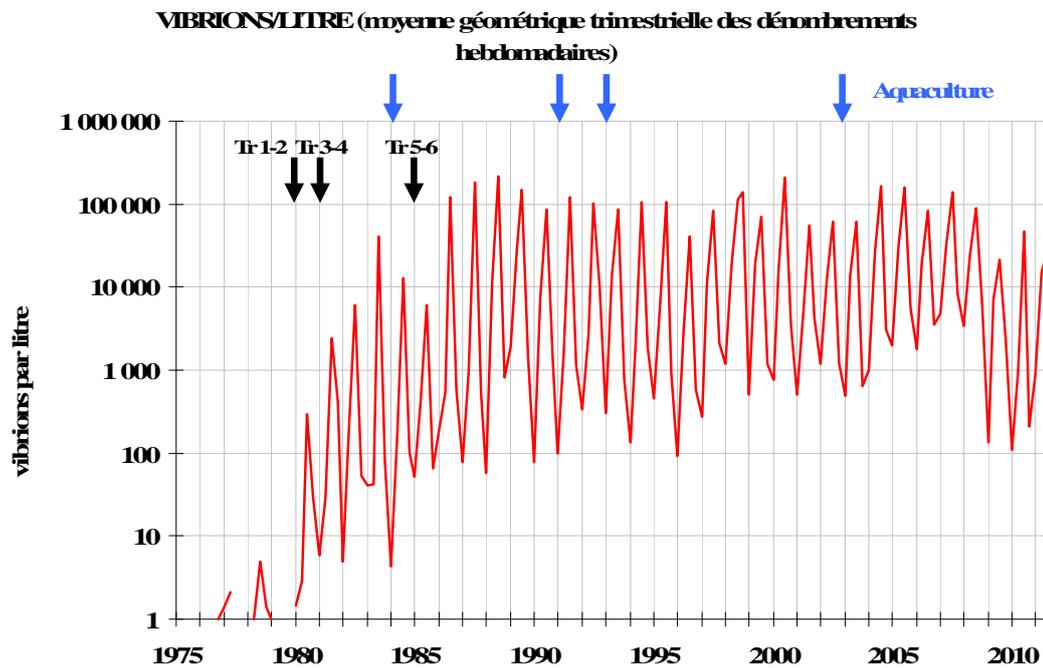


Figure 3.6 Moyenne géométrique des abondances trimestrielles dans le canal de rejet de 1976 à 2011
 (Flèches noires : mise en service des différentes tranches du CNPE : 1-2, 3-4 puis 5-6)
 (Flèches bleues : début expérimentation des installations aquacoles en 1984, puis phases d'agrandissement)

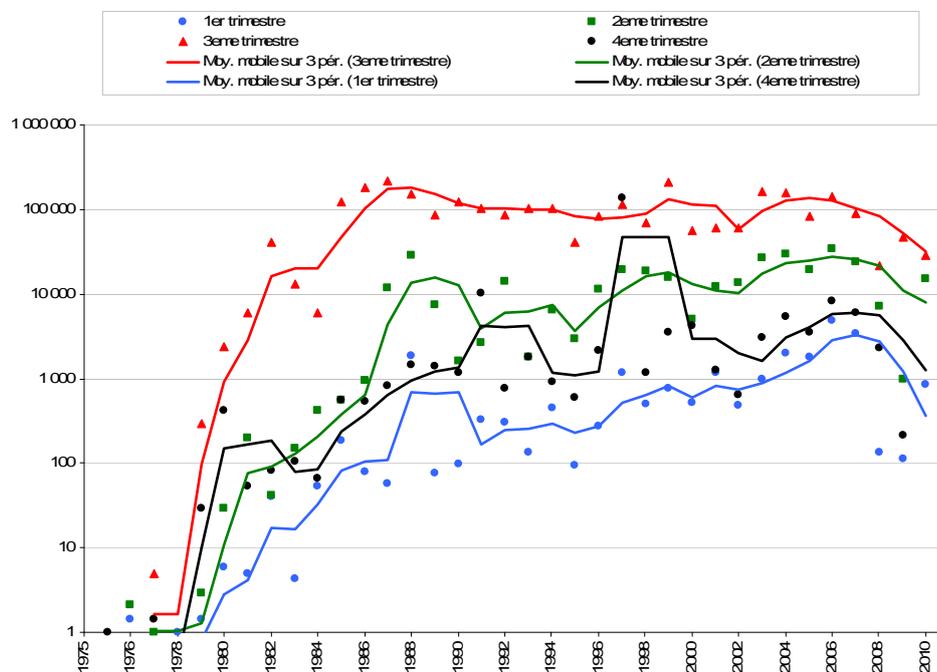


Figure 3.7 Moyenne géométrique des abondances en vibrions classées par trimestre de 1976 à 2011
 (Vibrions par litre)

3.2.3. Aspect qualitatif

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. Nous observons actuellement peu de différence dans la composition de la microflore entre la prise d'eau et le rejet si ce n'est des modifications de pourcentages des espèces rares mais cela est peu significatif. En 2010-2011 au canal de rejet, *Vibrio alginolyticus* restait l'espèce la plus souvent isolée avec un pourcentage moyen d'isolement de 73.6 % (figures 3.8 et 3.9) ce qui confirme l'augmentation observée chaque année pour cette espèce depuis 2006 (de 59.7 à 69.7 % entre 2006 et 2009)

En 2011, la seconde espèce la plus fréquente après *V. alginolyticus* au canal de rejet était *Vibrio vulnificus*.

Vibrio cholerae non agglutinable (Nag), qui était par le passé la seconde espèce par ordre d'importance, avait vu son pourcentage chuter depuis 2006-2007 où il représentait 4.6% des isolements. Elle n'a été mise en évidence que rarement au point *prise* (1%) et pas isolée au point *rejet*.

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 ne sont, de plus, non-halophiles strictes, ce qui permet de les différencier des souches épidémiques.

En moyenne géométrique, *Vibrio alginolyticus* reste l'espèce la plus adaptée aux conditions actuelles du site avec un facteur moyen de multiplication proche de 56 entre le point *prise* et le point *rejet* (figure 3.10). Cette valeur est en retrait pour la troisième année consécutive depuis les périodes antérieures qui avaient mis en évidence des facteurs de multiplication variant de 100 à 200. Les facteurs de multiplication des autres espèces de vibrions lors du transit étaient plus faibles, 15 au maximum (*V. hollisae*), mais la signification de ces chiffres est faible car basée sur des mises en évidence moins fréquentes.

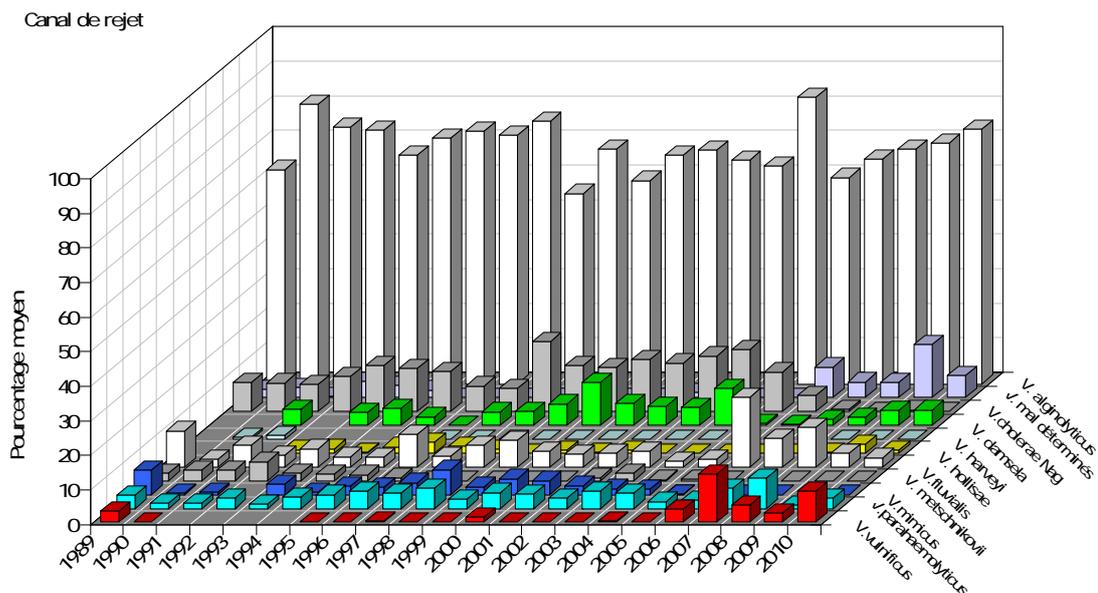
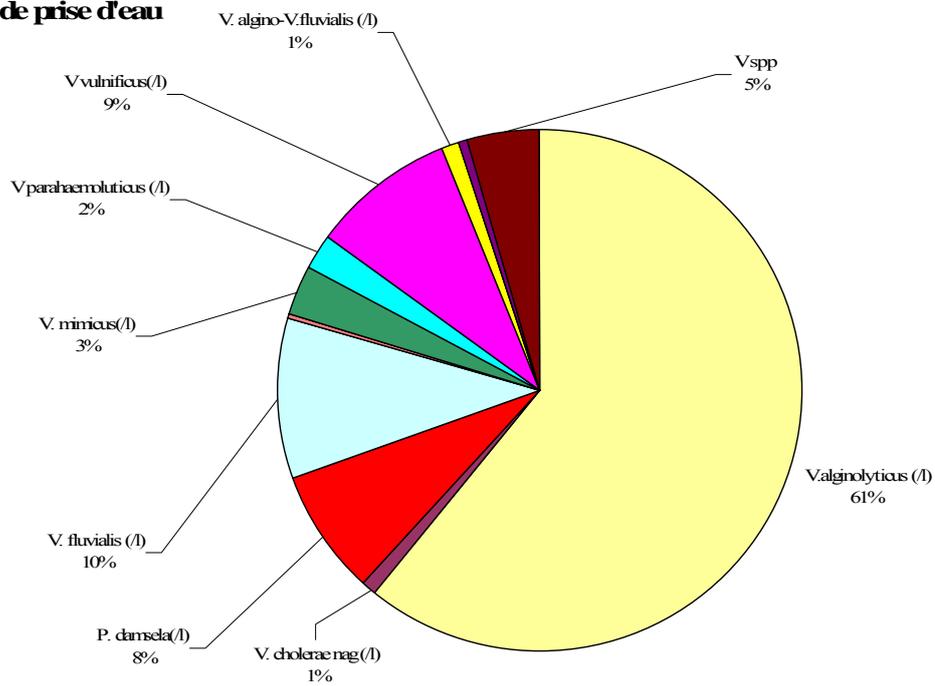


Figure 3.8 Évolution de l'abondance relative des diverses espèces de vibrions de 1989 à 2011 au canal de rejet (moyennes des pourcentages d'abondances hebdomadaires)
(Pour les années : par exemple, 2006 signifie période de novembre 2006 à octobre 2007)

Canal de prise d'eau



Canal de rejet

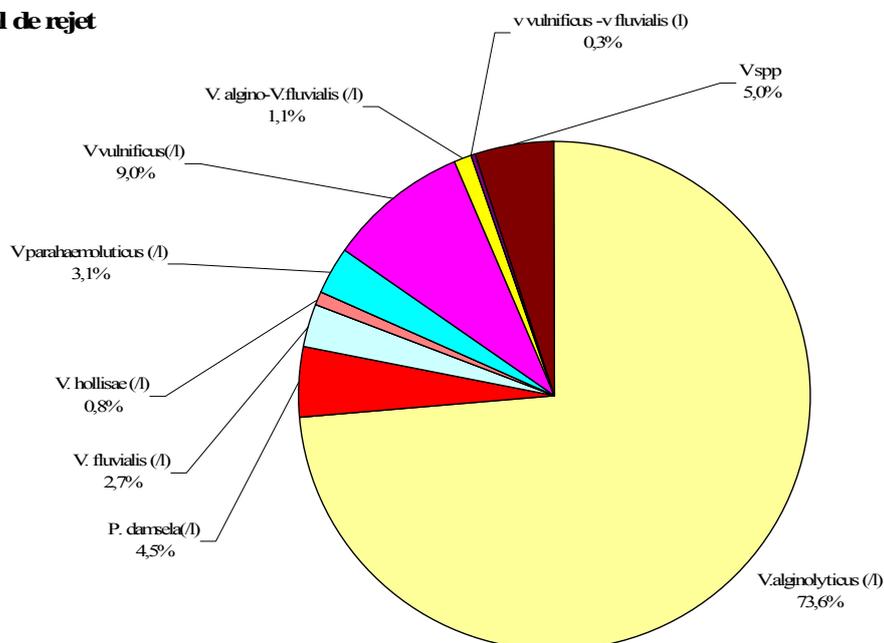


Figure 3.9 Pourcentages moyens d'isolement des diverses espèces de vibrions aux canaux de prise et de rejet pour la période 2010-2011

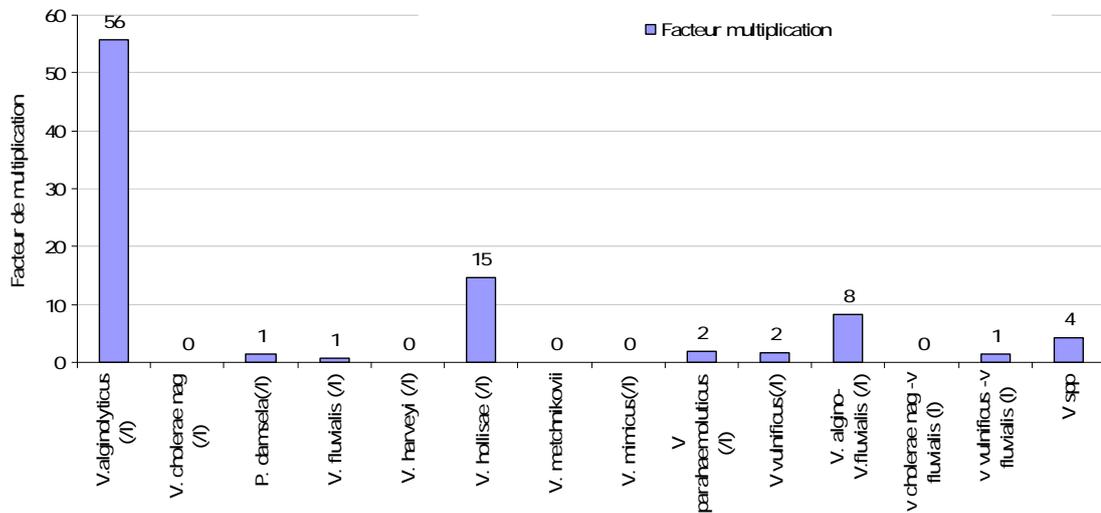


Figure 3.10 Facteur de multiplication d'abondance des vibrions entre les canaux de prise et de rejet

3.3. Campagnes pélagiques

La multiplication des vibrions mesurée est importante dès le point *radeau* (situé dans la partie amont du canal de rejet sur le radeau de pompage) alors qu'elle n'est habituellement qu'amorcée en raison de la subsistance d'oxydant résiduel et se poursuit dans la partie terminale du canal de rejet (figure 3.11 et tableau 3.2). La dilution l'emporte au point contrôle lors de la campagne de juin ; par contre des concentrations supérieures à celles mesurées au point *radeau* sont observées au point *contrôle* en septembre.

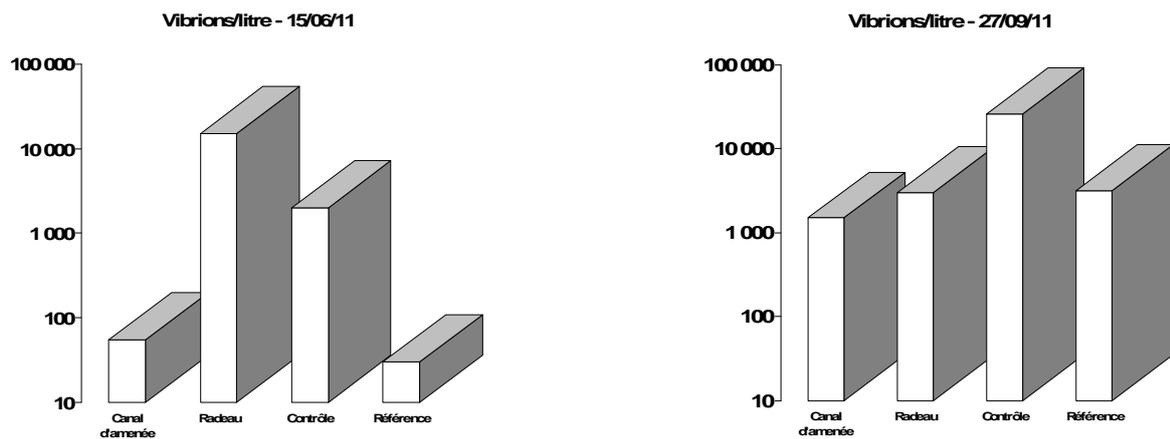


Figure 3.11 Campagnes pélagiques – Vibrions par litre pour chaque point

Lors des deux campagnes, le bromoforme a pu être quantifié sur tous les points prélevés (tableau 3.2). Au point *référence*, les concentrations étaient plus faibles qu'au point *prise* (figure 3.12) mais cependant mesurables ce qui montre une influence du rejet sur ce point.

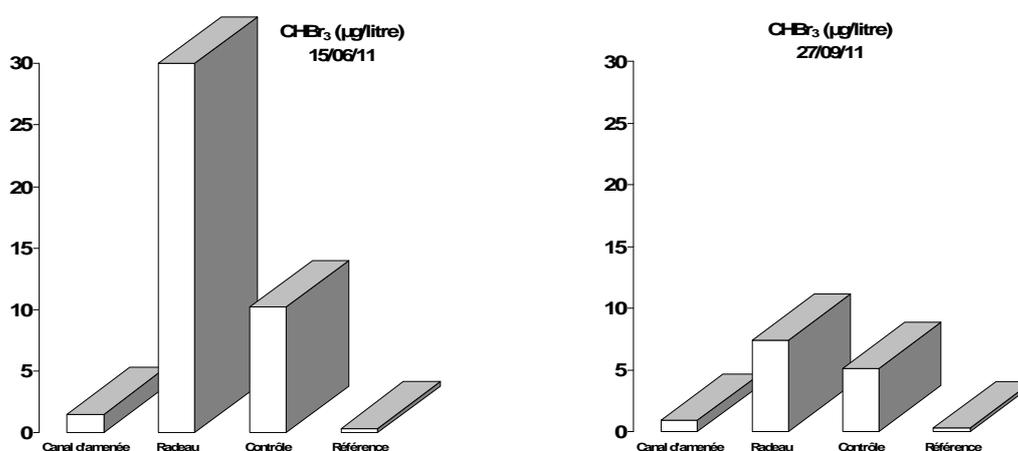


Figure 3.12 Campagnes pélagiques – Bromoforme ($\mu\text{g.l}^{-1}$) en surface pour chaque point

3.4. Éléments de conclusion

Le procédé d'électrochloration du circuit de refroidissement permettant de lutter contre le développement de salissures biologiques a été mis en service durant 8 mois sur 12 au cours de la période 2010-2011, et uniquement lorsque la température de l'eau au canal d'amenée était supérieure à 10°C conformément à la prescription de l'arrêté ministériel du 7 novembre 2003 (article 17). Les composés chimiques formés étaient essentiellement bromés et le plus abondant était le bromoforme avec une concentration moyenne de 14,2 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (97,8 % du total des haloformes). Cette concentration moyenne, voisine de celles observées les années précédentes, reste très inférieure à la limite maximale autorisée de 50 $\mu\text{g.l}^{-1}$ mais représente toutefois une production annuelle de l'ordre de 50 tonnes d'haloformes. Parmi les tri-bromo-phénols, seul le 2,4,6-tribromo-phénol a été mis en évidence en faible concentration comme lors des périodes précédentes. 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 (6,3 % cette année).

Le passage de l'eau dans l'ensemble constitué par la centrale électrique et les installations aquacoles a entraîné une multiplication du nombre des vibrions (d'un facteur 50 en moyenne géométrique annuelle). La diminution du facteur de multiplication observée sur les deux périodes précédentes (43 et 28 fois) a donc été confirmée cette année. Les concentrations maximales de vibrions observées en période estivale dans le canal de rejet avaient été relativement stables depuis la mise en service des six tranches de la centrale (1986), alors que, suite à l'augmentation de l'abondance des vibrions hors période estivale, l'amplitude du cycle annuel se réduisait. Depuis 2008, on observe une diminution générale de l'abondance des vibrions sur l'ensemble du cycle annuel et plus particulièrement en saison froide. Des hivers plus rigoureux et/ou une activité ralentie de l'aquaculture sur le site peuvent être des facteurs d'explication.

Avant 1984, la quasi totalité de la flore des vibrions isolés sur le site était représentée par *Vibrio alginolyticus*. Parallèlement au développement de l'aquaculture sur le site, une diversi-

té croissante des espèces de vibrions a été observée dans les eaux de rejet. Actuellement on constate cependant peu de modification dans la composition de la flore des vibrions lors du transit de l'eau. *Vibrio alginolyticus* reste toutefois l'espèce majoritaire dans le rejet de la centrale avec 73,6 % des isollements.

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'écartier du groupe *V. cholerae*, un certain nombre de souches de l'environnement très éloignées du véritable *V. cholerae* épidémique). En 2010-2011, *Vibrio cholerae* non épidémique a été isolé avec une fréquence faible de 1% uniquement sur la prise d'eau.

Tableau 3.1 Concentration hebdomadaire du chlore résiduel et des haloformes aux canaux de prise et de rejet pour la période 2010-2011

(‘<’ indique que la valeur est inférieure au seuil de détection mentionné)

Date	Canal d'amenée			Canal de rejet			
	CHCl2Br (µg.l-1)	CHClBr2 (µg.l-1)	CHBr3 (µg.l-1)	Chlore tot.DPD (mg.l-1)	CHCl2Br (µg.l-1)	CHClBr2 (µg.l-1)	CHBr3 (µg.l-1)
02-nov-10	<0,02	0,02	0,80	<0,03	<0,02	0,06	3,10
08-nov-10	<0,02	<0,02	0,50	<0,03	0,03	0,38	14,00
15-nov-10	<0,02	0,02	0,80	<0,03	0,02	0,30	12,00
22-nov-10	<0,02	<0,02	0,50	<0,03	<0,02	0,23	10,00
30-nov-10	<0,02	<0,02	<0,1	<0,03	<0,02	<0,02	<0,1
06-déc-10	<0,02	<0,02	<0,1	<0,03	<0,02	<0,02	<0,1
14-déc-10	<0,02	<0,02	<0,1	<0,03	<0,02	<0,02	<0,1
21-déc-10	<0,02	<0,02	<0,1	<0,03	<0,02	<0,02	<0,1
28-déc-10	<0,02	<0,02	<0,1	<0,03	<0,02	<0,02	<0,1
04-janv-11	<0,02	<0,02	<0,1	<0,03	<0,02	<0,02	<0,1
10-janv-11	<0,02	<0,02	<0,1	<0,03	<0,02	<0,02	<0,1
17-janv-11	<0,02	<0,02	<0,1	<0,03	<0,02	<0,02	<0,1
25-janv-11	<0,02	<0,02	<0,1	<0,03	<0,02	<0,02	<0,1
02-févr-11	<0,02	<0,02	<0,1	<0,03	<0,02	<0,02	<0,1
07-févr-11	<0,02	<0,02	<0,1	<0,03	<0,02	<0,02	<0,1
14-févr-11	<0,02	<0,02	<0,1	<0,03	<0,02	<0,02	<0,1
21-févr-11	<0,02	<0,02	<0,1	<0,03	<0,02	<0,02	<0,1
01-mars-11	<0,02	<0,02	<0,1	<0,03	<0,02	<0,02	<0,1
07-mars-11	<0,02	<0,02	<0,1	<0,03	<0,02	<0,02	<0,1
14-mars-11	<0,02	<0,02	<0,1	<0,03	<0,02	<0,02	<0,1
21-mars-11	<0,02	<0,02	<0,1	<0,03	<0,02	<0,02	<0,1
28-mars-11	<0,02	<0,02	<0,1	<0,03	<0,02	<0,02	<0,1
04-avr-11	<0,02	<0,02	<0,1	<0,03	<0,02	<0,02	<0,1
11-avr-11	<0,02	<0,02	0,10	<0,03	<0,02	0,16	6,50
18-avr-11	<0,02	<0,02	0,30	<0,03	<0,02	0,23	11,00
26-avr-11	<0,02	<0,02	0,30	<0,03	<0,02	0,21	10,00
02-mai-11	<0,02	<0,02	0,00	<0,03	<0,02	0,39	15,00
11-mai-11	<0,02	<0,02	0,50	<0,03	<0,02	0,34	11,00
16-mai-11	<0,02	<0,02	0,71	<0,03	<0,02	0,34	15,21
23-mai-11	<0,02	<0,02	1,28	<0,03	0,03	0,38	14,14
30-mai-11	<0,02	<0,02	1,37	<0,03	0,02	0,46	18,86
06-juin-11	<0,02	<0,02	0,28	<0,03	<0,02	0,36	21,46
14-juin-11	<0,02	<0,02	1,83	<0,03	0,02	0,39	16,78
20-juin-11	<0,02	<0,02	1,31	<0,03	0,02	0,35	17,04
27-juin-11	<0,02	<0,02	0,66	<0,03	0,02	0,32	14,14
04-juil-11	-	-	-	<0,03	-	-	-
13-juil-11	-	-	-	<0,03	-	-	-
18-juil-11	-	-	-	<0,03	-	-	-
25-juil-11	<0,02	<0,02	0,77	<0,03	0,02	0,43	22,54
01-août-11	<0,02	<0,02	0,45	<0,03	<0,02	0,31	15,47
08-août-11	<0,02	0,04	2,43	<0,03	0,03	0,46	21,35
16-août-11	<0,02	<0,02	1,31	<0,03	0,02	0,44	20,37
22-août-11	<0,02	0,02	1,20	<0,03	<0,02	0,43	27,00
29-août-11	<0,02	0,03	2,00	<0,03	<0,02	0,17	11,00
05-sept-11	<0,02	0,02	1,10	<0,03	<0,02	0,33	19,00
12-sept-11	<0,02	0,02	1,20	<0,03	<0,02	0,29	18,00
22-sept-11	<0,02	0,02	1,10	<0,03	<0,02	0,09	5,60
27-sept-11	<0,02	<0,02	1,00	<0,03	<0,02	0,18	11,00
07-oct-11	<0,02	<0,02	0,70	<0,03	<0,02	0,15	10,00
11-oct-11	<0,02	<0,02	0,75	<0,03	<0,02	0,13	8,80
18-oct-11	<0,02	<0,02	0,80	<0,03	<0,02	0,06	5,20
25-oct-11	<0,02	0,02	1,10	<0,03	<0,02	0,39	18,00
31-oct-11	<0,02	<0,02	0,7	<0,03	<0,02	0,33	18,00

Tableau 3.2 Campagnes pélagiques. Bactériologie (Vibrions par litre) et chloration
 ('<' indique que la valeur est inférieure au seuil de détection mentionné)

Date	Point	Température (°C)	Vibrions				Haloformes		
			vibrions totaux	<i>V.alginolyticus</i>	<i>V.damsela</i>	<i>V.vulnificus</i>	CHCl ₂ Br (µg.l ⁻¹)	CHClBr ₂ (µg.l ⁻¹)	CHBr ₃ (µg.l ⁻¹)
15/06/11	Canal d'aménée	16,5	55	10	40	40	<0,02	0,04	1,52
	Radeau	25,8	15 000	15 000	-	-	<0,02	0,6	30,15
	Contrôle	22,5	2 000	2 000	-	-	<0,02	0,2	10,2
	Référence	15,6	30	30	-	-	<0,02	<0,02	0,33
27/09/11	Canal d'aménée	18,5	1 500	1 300	-	200	<0,02	<0,02	0,9
	Radeau	27,3	3 000	3 000	-	-	<0,02	0,1	7,4
	Contrôle	23,5	26 000	16 000	-	10 000	<0,02	0,09	5,1
	Référence	17,9	3 200	3 200	-	-	<0,02	<0,02	0,3

Tableau 3.3 Dosages des bromo-phénols au canal de rejet (valeurs en µg.l⁻¹)

	2,4,6-tribromo-phénol	2,6-dibromo-phénol	2,4-dibromo-phénol	4-bromo-phénol	3-bromo-phénol	2-bromo-phénol
02/11/2010	0,03	<	<	<	<	<
02/12/2010	<	<	<	<	<	<
04/01/2011	<	<	<	<	<	<
07/02/2011	<	<	<	<	<	<
01/03/2011	<	<	<	<	<	<
04/04/2011	<	<	<	<	<	<
02/05/2011	0,12	<	<	<	<	<
06/06/2011	0,05	<	<	<	<	<
21/07/2011	0,08	<	<	<	<	<
05/09/2011	<	<	<	<	<	<

Tableau 3.4 Bactériologie -mesures hebdomadaires au point canal de prise (vibrions par litre)

Date	Température(°C)	vibrions totaux(/l)	V.alginolyticus (/l)	V. cholerae nag (/l)	P. damsela(/l)	V. fluvialis (/l)	V. harveyi (/l)	V. hollisae (/l)	V. metchnikovii (/l)	V. mimicus(/l)	V. parahaemoliticus (/l)	V vulnificus(/l)	V. algin-V.fluvialis (/l)	v cholerae nag -v fluvialis (/l)	v vulnificus -v fluvialis (/l)	V spp (/l)
02-nov-10	12,4	22	18			2		2								
08-nov-10	12,4	28	18		4											6
15-nov-10	11,7	15	13										1		1	
22-nov-10	9,8	14	11		2											1
30-nov-10	7,6	11	6		1	1										3
06-déc-10	6,9	6	3	1								1	1			
14-déc-10	9,1	3	3													
21-déc-10	3,9	2	2													
28-déc-10	3,7	10	5	3												2
04-janv-11	3,8	20	3			17										
10-janv-11	4,5	13	6			7										
17-janv-11	6,9	7	7													
25-janv-11	5,6	5	2			1							2			
02-févr-11	4,6	3	2			1										
07-févr-11	6,7	3	1		1	1										
14-févr-11	6,8	7	3			4										
21-févr-11	6,1	13	5		2	6										
01-mars-11	6,4	2	1			1										
07-mars-11	4,7	0														
14-mars-11	6,8	2	1			1										
21-mars-11	6,7	10	9													1
28-mars-11	8,1	1	1													
04-avr-11	9,3	9	9													
11-avr-11	10,7	7	3			2				1		1				
18-avr-11	10,7	180	40							130		10				
26-avr-11	12,2	1 000	500			100						300		100		
02-mai-11	12,2	60	50			10										
09-mai-11	13,4	360	140		60	40						120				
16-mai-11	14,3	160	50		10	10						10				80
23-mai-11	15,8	53			20						33					
30-mai-11	15,7	187	127		40											20
06-juin-11	15,8	48	12			4										32
14-juin-11	17,2	100	40		20						30					10
20-juin-11	16,6	367	227		140											
27-juin-11	19,0	210	80		40						10	50				30
04-juil-11	19,0	700	600							100						
13-juil-11	17,3	800	500		300											
18-juil-11	16,2	600	600													
25-juil-11	17,8	900	900													
01-août-11	18,6	400	100		100							200				
08-août-11	19,3	1 700	200									1 500				
16-août-11	19,3	500	100									400				
22-août-11	18,8	517	250							134		133				
29-août-11	18,3	1 000	1 000													
05-sept-11	18,4	1 900	1 700									200				
12-sept-11	18,2	1 200	300							600		300				
22-sept-11	17,5	200	200													
27-sept-11	18,4	1 500	1 300									200				
07-oct-11	17,2	5 800	3 400									2 400				
11-oct-11	16,6	2 300	2 300													
18-oct-11	15,8	5 000	5 000													
25-oct-11	14,2	200	20		180											
31-oct-11	13,9	100	100													

Tableau 3.5 Bactériologie -mesures hebdomadaires au point canal de rejet (vibrions par litre)

Date	Température(°C)	vibrions totaux(/l)	V.alginolyticus (/l)	V. cholerae nag (/l)	P. damsela(/l)	V. fluvialis (/l)	V. harveyi (/l)	V. hollisae (/l)	V. metchnikovii (/l)	V. mimicus(/l)	V paraaemoliticus (/l)	V vulnificus(/l)	V. alginolyticus -V.fluvialis (/l)	v cholerae nag -v fluvialis (/l)	v vulnificus -v fluvialis (/l)	V spp (/l)
02-nov-10	15,3	600	333			200						67				
08-nov-10	21,0	5	1			1										3
15-nov-10	18,1	1	1													
22-nov-10	17,3	17	14								2		1			
30-nov-10	17,8	250	250													
06-déc-10	17,5	563	375					63					125			
14-déc-10	16,8	141	60		40			20			20				1	
21-déc-10	10,9	120	120													
28-déc-10	14,3	117	117													
04-janv-11	12,9	180	40		60	70										10
10-janv-11	15,7	5 000	3 200			1 800										
17-janv-11	16,3	3 200	3 200													
25-janv-11	16,3	1 200	800		200								200			
02-févr-11	14,6	9 000	8 000										1 000			
07-févr-11	14,8	134	67		67											
14-févr-11	17,1	600	533		67											
21-févr-11	16,7	5 000	5 000													
01-mars-11	15,8	180	120								40					20
07-mars-11	16,2	501	438			63										
14-mars-11	17,2	260	200		40											20
21-mars-11	18,3	1 800	1 800													
28-mars-11	18,6	260	260													
04-avr-11	19,6	1 200	800		400											
11-avr-11	18,5	6 000	3 000					1 000				1 000			1 000	
18-avr-11	16,1	3 000	1 100		300							1 600				
26-avr-11	18,7	3 800	800								2 600	400				
02-mai-11	22,6	11 000	3 000		1 000							7 000				
09-mai-11	22,8	10 000	6 000		2 000							2 000				
16-mai-11	21,1	31 000	8 000													23 000
23-mai-11	23,8	22 000	19 000													3 000
30-mai-11	24,8	690 000	240 000													450 000
06-juin-11	25,2	16 000	11 000									2 000				3 000
14-juin-11	26,0	22 000	11 000								10 000					1 000
20-juin-11	26,3	35 000	35 000													
27-juin-11	27,0	50 000	50 000													
04-juil-11	25,9	18 000	16 000		2 000											
13-juil-11	24,7	22 000	22 000													
18-juil-11	21,2	25 000	25 000													
25-juil-11	26,9	17 000	17 000													
01-août-11	25,9	22 000	9 000									12 000				1 000
08-août-11	25,0	16 000	3 000									13 000				
16-août-11	27,3	42 000	20 000									22 000				
22-août-11	28,2	210 000	210 000													
29-août-11	23,7	5 000	5 000													
05-sept-11	26,2	46 000	46 000													
12-sept-11	26,1	11 000	11 000													
22-sept-11	26,7	46 000	46 000													
27-sept-11	27,1	120 000	120 000													
07-oct-11	24,6	48 000	48 000													
11-oct-11	24,7	22 000	22 000													
18-oct-11	23,2	11 000	11 000													
25-oct-11	22,7	8 800										8 800				
31-oct-11	22,7	8 000	8 000													

4. PHYTOPLANCTON ET BIOMASSE CHLOROPHYLLIENNE

Auteur : A. Lefebvre

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

4.1. Introduction

Le phytoplancton représente l'ensemble des algues microscopiques qui flottent dans les eaux. C'est le premier maillon de la chaîne alimentaire dans l'écosystème marin. Le phytoplancton représente environ 50 % de la production primaire globale. 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 a un cycle annuel qui lui est propre. On observe chaque année des blooms sans qu'il soit réellement possible de prévoir exactement la date et la durée du phénomène. Il existe environ 4000 espèces phytoplanctoniques au niveau mondial : certaines d'entre elles (environ 250) peuvent proliférer de façon importante en formant des eaux rouges, brunes ou vertes, d'autres espèces (environ 70) sont toxiques pour la faune marine ou pour l'homme par consommation de coquillages (processus de bioaccumulation de toxines), mais la plupart d'entre elles sont totalement inoffensives.

La dynamique des communautés phytoplanctoniques se caractérise par la succession d'assemblage d'espèces selon des schémas pouvant présenter une forte variabilité spatio-temporelle. La succession de ces assemblages est principalement contrôlée par les conditions environnementales et par la réponse des populations phytoplanctoniques à leurs variations. La diversité et la dynamique des populations phytoplanctoniques résultent d'interactions complexes entre des facteurs hydrodynamiques, physico-chimiques et biologiques.

Dans les zones de climat tempéré, la croissance du phytoplancton peut être limitée par deux types de facteurs : les facteurs physiques (température, éclaircissement, turbulence, turbidité des masses d'eau...) et les facteurs nutritionnels dont nous avons pu noter les variations dans le chapitre précédent (§2.2). 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 intervient en automne.

Le phytoplancton s'adapte à des perturbations naturelles ou induites par l'homme, en modifiant sa physiologie, son taux de croissance et l'espèce dominante. Il peut donc être utilisé comme indicateurs de changements de qualité des eaux à courts et longs termes. Il est couramment utilisé comme indicateur ou élément de qualité environnementale aussi bien dans les programmes de monitoring que dans les directives européennes (dir. 2000/60/CE ou Directive Cadre sur l'Eau) ou dans les conventions de mers régionales (ex. convention OSPAR). De plus, le phytoplancton peut représenter une menace lorsqu'il est responsable de floraisons toxiques. Les floraisons peuvent provoquer des colorations des eaux, l'asphyxie ou le déclin de la végétation. Les aérosols qui s'en dégagent peuvent avoir des conséquences directes sur la santé humaine. Les déchets et mucus associés peuvent s'accumuler sur les rives et obstruer les filets de pêches. Les coquillages peuvent être contaminés et les poissons tués lors de ces floraisons. Ainsi en réponse à des apports excessifs de nutriments, le développement du phytoplancton peut provoquer des dysfonctionnements au sein des

écosystèmes pélagiques et benthiques (diminution de la concentration en oxygène, mortalité,...). C'est le processus d'eutrophisation.

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 trois 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 100 ml d'eau environ, sont fixés au lugol (2,5 ml par litre d'eau de mer).

4.2.2. Mesure des pigments chlorophylliens

La méthode trichromatique du SCOR-UNESCO (1966¹) est appliquée pour définir les concentrations brutes en chlorophylle *a*, indicateur de la biomasse phytoplanctonique, et le pourcentage de chlorophylle active qui permet de caractériser l'importance de la biomasse phytoplanctonique dotée de pigments photosynthétiques actifs par rapport au phytoplancton en voie de dégradation. 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, l'absorbance du surnageant est mesurée par spectrophotométrie.

4.2.3. Composition spécifique et dénombrement du phytoplancton

Un volume de 10 ml, prélevé dans les échantillons d'eau fixée au lugol, est mis à décanter pendant au moins 12 heures dans une cuve de sédimentation, selon la méthode d'Utermöhl (1958²). La caractérisation spécifique du phytoplancton et leur dénombrement s'effectuent au moyen d'un microscope inversé IX-51 Olympus ($\times 40$ à $\times 600$). Un minimum de 100 cellules est dénombré afin d'obtenir une précision d'au moins $\pm 20\%$ (Lund, 1958³). Les résultats sont exprimés en nombre de cellules par litre.

¹ SCOR-UNESCO. 1966. Determination of photosynthetic pigments in sea water. UNESCO Monographs on Oceanographic Methodology, 1. Paris, France. 69 pp.

² Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitt. Int. Ver. Limnol., 9: 1-38

³ 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

4.3. Chlorophylle *a* et pourcentage de chlorophylle active au point *prise*

Le cycle de développement de la biomasse phytoplanctonique, exprimé via la concentration en chlorophylle *a* (chl_a) était caractérisé par sa précocité en 2009 et par son ampleur en 2010 (60,76 mg.m⁻³ dans l'échantillon du 31/03/2010, soit la concentration la plus importante mesurée pour les 11 dernières années – annexe 2). Lors du cycle de surveillance 2010-2011, le schéma d'évolution de la concentration était classique au printemps avec une augmentation conséquente de la biomasse phytoplanctonique dès le mois de février. La concentration maximale était atteinte le 4/4/2011 (23,46 mg.m⁻³), ce qui fait de 2011 une année précoce à concentration intermédiaire (figure 4.1. et annexes 1, 2).

Les concentrations étaient plus élevées qu'habituellement entre mai et juillet 2011 (annexes 1 et 2). Le bloom automnal était bien marqué avec une concentration en chlorophylle totale de 10,50 mg.m⁻³ le 27/09/2011. Ceci se traduit par des anomalies positives de la concentration en chlorophylle *a* (comparaison des valeurs du cycle 2010-2011 à la médiane mensuelle sur la période 2000-2010) (figure 4.1 B) et par des concentrations supérieures à la médiane voire au troisième quartile calculé sur la période 2000-2011 (figure 4.1 C).

Le pourcentage de chlorophylle active (figure 4.2. et annexe 1) était compris entre 5,88 et 100. Les valeurs étaient globalement supérieures à 40 %, sauf lors du mois d'août et des deux premières semaines de septembre lors desquels elles étaient particulièrement faibles (< 20 %). Ainsi, à cette période, les cellules phytoplanctoniques étaient vieillissantes, dégradées ou broutées par le zooplancton.

Gravelines canal d'amenée - Chlorophylle a

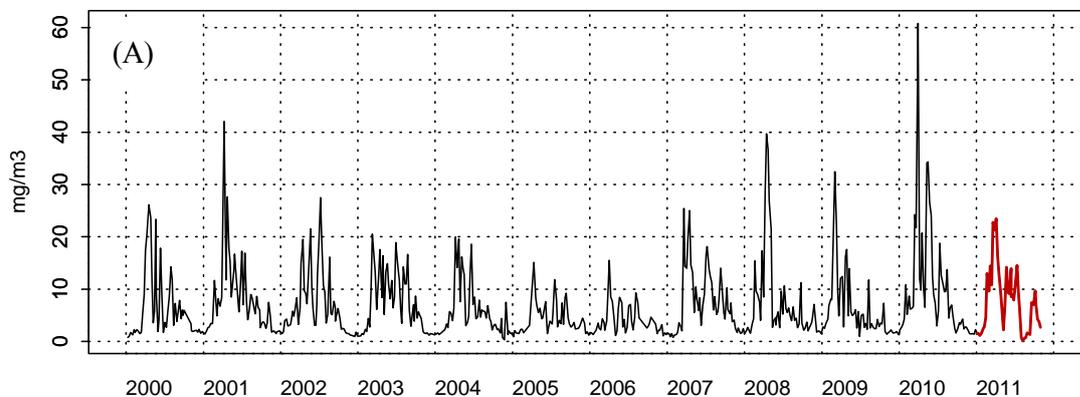
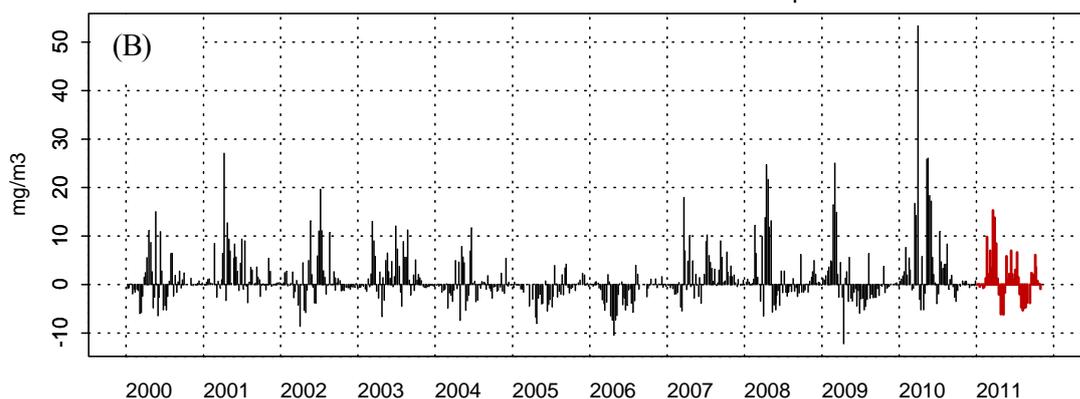
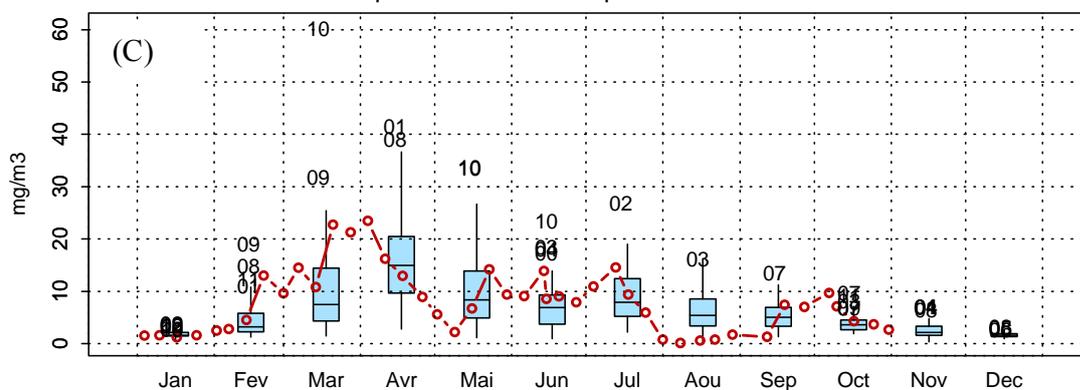
1001325 - Gravelines canal d'amenée - Anomalies Chlorophylle a
Méthode de calcul des anomalies : médiane par mois1001325 - Gravelines canal d'amenée - Variations saisonnières 2011 Chlorophylle a
Boxplots calculés sur la période : 2000 - 2011

Figure 4.1 (A) Evolution de la concentration en chlorophylle a ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) au point prise, (B) anomalies de concentration par rapport à la médiane mensuelle et (C) boîtes de dispersion mensuelles pour la période 2000 à 2011 (en rouge les données de l'année 2011) (Les résultats mensuels atypiques sont indiqués par les 2 derniers chiffres de l'année concernée).

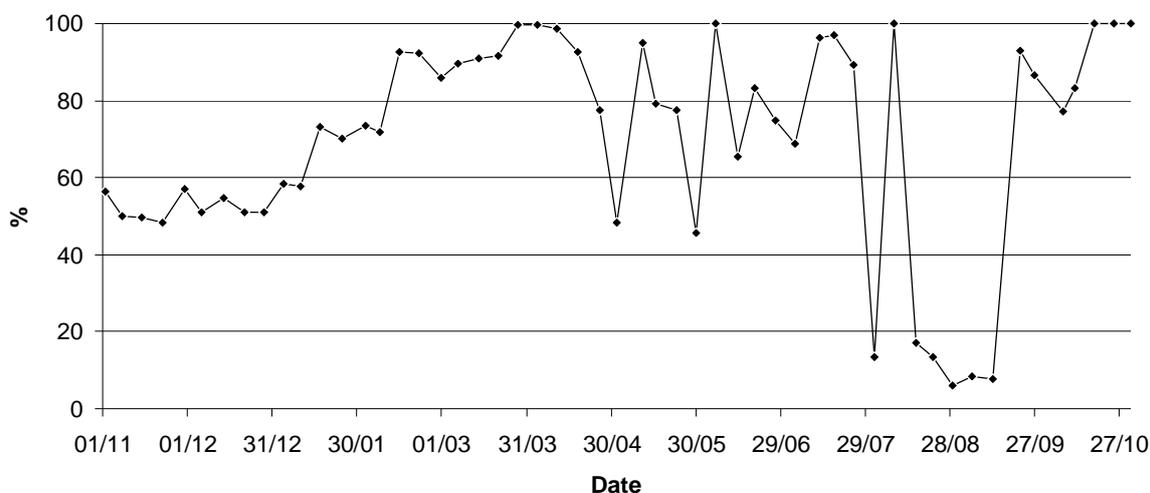


Figure 4.2 Pourcentage de chlorophylle active au point prise au cours de la période 2010-2011.

4.4. Abondance, composition du phytoplancton et indices de diversité au point prise

4.4.1. Principe de l'indice de Shannon

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.

4.4.2. Résultats

L'abondance phytoplanctonique totale a fluctué entre 2500 et près de $58 \cdot 10^6$ cellules par litre entre 2007 et 2011 (figure 4.3). Les concentrations maximales de l'ordre de plusieurs millions de cellules par litres étaient liées au développement massif de *Phaeocystis globosa*. La communauté phytoplanctonique était dominée par les diatomées ou bacillariophytes, sauf lors de la prolifération de la prymnésiophyce *Phaeocystis globosa*.

Les taxons dominants au point *prise* pour la période de surveillance 2010-2011 ont été définis pour trois familles (ex-diatomées ou bacillariophycées, dinoflagellés et autres) (voir la méthode dans la section 1.4.1) (figure 4.3).

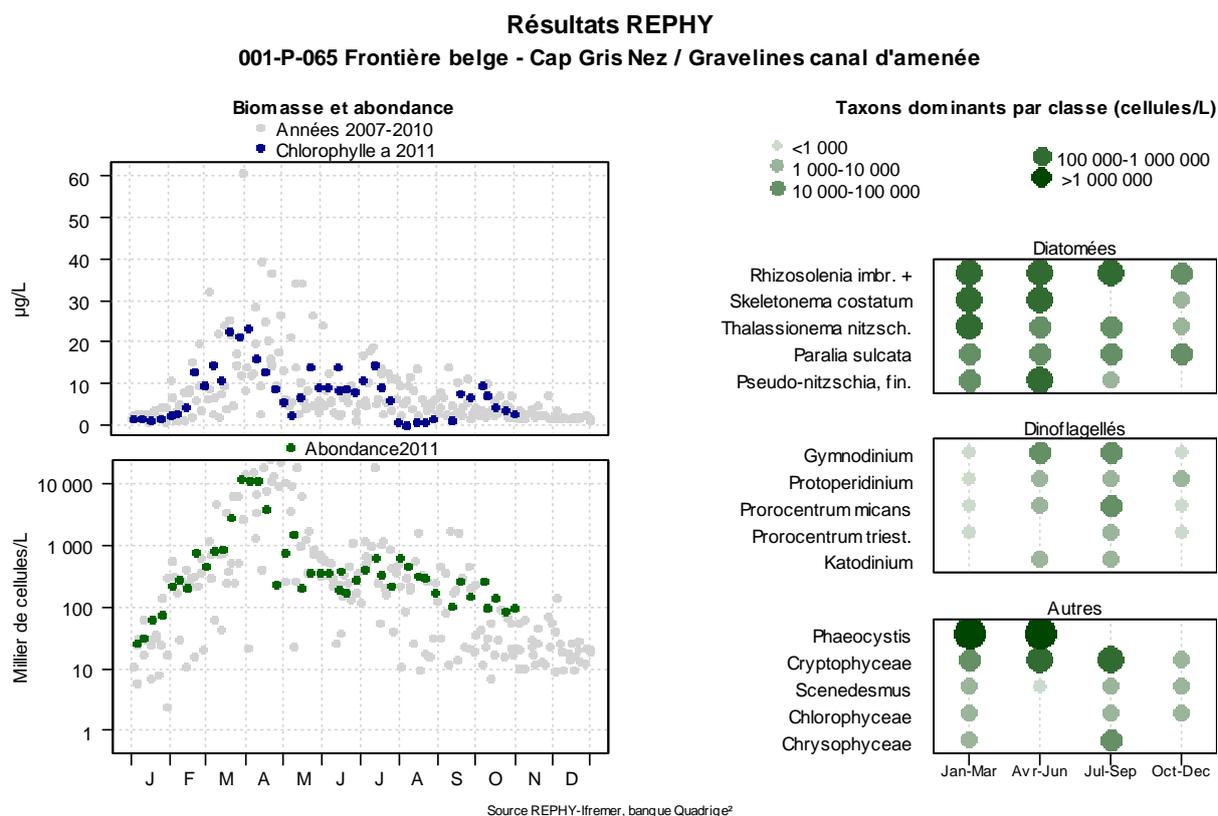


Figure 4.3 Évolution de la biomasse, l'abondance totale et la composition phytoplanctonique entre 2007 et 2011 et classement des taxons dominants par trimestre au point *prise*.

Les abondances des principaux genres contenant des espèces productrices de phycotoxines sont présentées pour le point *prise* (figure 4.4). Les genres *Alexandrium* et *Pseudo-nitzschia* étaient couramment échantillonnés au point *prise*. Le genre *Pseudo-nitzschia*, groupe des

fines, complexe *delicatissima* était responsable de la chute de l'indice de Shannon le 26/4 et le 2/5/2011 (181539 et 69283 cellules par litre, respectivement) (figure 4.5). Il faut cependant noter que les résultats du réseau REPHY ont permis de conclure à l'absence de toxines en concentrations supérieures aux seuils réglementaires sur le littoral du Nord, Pas de Calais et de la Picardie.

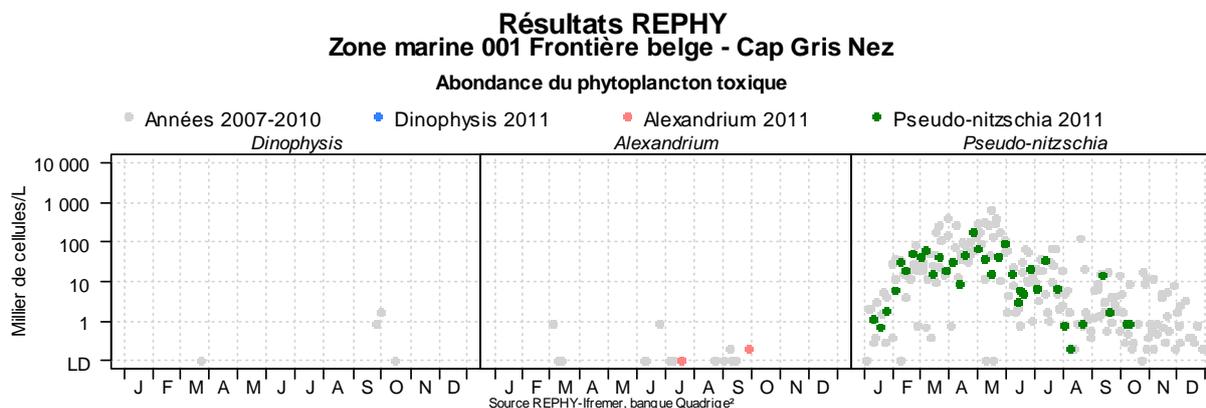


Figure 4.4 Abondances des principaux genres contenant des espèces productrices de phycotoxines pour le point *prise* pour la période 2007-2010 (points gris) et pour l'année 2011 (points de couleurs).

L'indice de Shannon a évolué entre 0,22 et 4,18 au cours de la période de surveillance novembre 2010 – octobre 2011 (figure 4.5 et annexe 1). Le schéma de variation est comparable à celui des périodes de surveillance précédentes, c'est à dire que les valeurs les plus élevées, représentatives d'une communauté diversifiée composée de taxons équidominants, sont plutôt observées de novembre à février et de juin à octobre. La chute de l'indice lors des mois de mars, d'avril et du début du mois de mai est principalement liée à la dominance de la prymnésiophyce *Phaeocystis globosa*. Cette espèce présente un cycle de vie complexe, polymorphe dont le développement passe de cellules isolées à la formation de colonies dont la dégradation (par vieillissement ou par action physique du vent ou de la marée) conduit à la formation d'une mousse abondante et nauséabonde. Ce taxon est reconnu comme à l'origine de problème d'eutrophisation du type HAB-HB, c'est à dire « Harmful Algal Bloom - High Biomass ». L'excès de biomasse injecté dans l'écosystème peut conduire à des dysfonctionnements des compartiments pélagiques et/ou benthiques (hypo~ ou anoxie, mortalités,...). En 2011, l'espèce était présente dans les échantillons au point *prise* du début du mois de mars au début du mois de mai (jusqu'en juillet en 2011). L'abondance de ce taxon était comprise entre 188 555 cellules par litre le 7/3/2011 et plus de $11 \cdot 10^6$ cellules par litre le 28/3/2011) (maximum de plus de $57 \cdot 10^6$ cellules par litre le 14/04/2010).

Afin de mieux appréhender les conséquences d'une telle prolifération de *Phaeocystis globosa*, il faut savoir que le groupe Eutrophisation de la convention d'Oslo et de Paris (OSPAR) pour la protection de l'Atlantique nord-est estime que l'abondance de *Phaeocystis* devient néfaste pour l'intégrité de l'écosystème au-delà d'une concentration de 10^6 cellules par litre. Plus récemment, Lancelot et al. (2009)¹ ont défini ce seuil comme étant de $25 \cdot 10^6$ cellules par litre pour les eaux côtières belges (baie sud de la Mer du Nord).

En dehors de la chute majeure de l'indice de Shannon liée à la prolifération de *Phaeocystis globosa*, différentes autres chutes de l'indice ont été observées lors des mois de mai, juillet et

¹ Lancelot C., Rousseau V. & N. Gypens, 2009. Ecologically based indicators for *Phaeocystis* disturbance in eutrophied Belgian coastal waters (Southern North Sea) based on field observations and ecological modelling. *Journal of Sea Research*, 61 (1-2): 44-49.

août 2011. Ceci est expliqué par la dominance d'un ou plusieurs taxons au sein de la communauté phytoplanctonique :

16/05 : dominance de cryptophycées (166 630 cellules par litre),

23/5 : dominance de *Skeletonema costatum* (225 389 cellules par litre),

13/7 au 29/8 : dominance de *Rhizosolenia imbricata* (entre 99 978 et 407 932 cellules par litre), ponctuellement renforcé par la présence de cryptophycées (138 800 cellules par litre le 16/8).

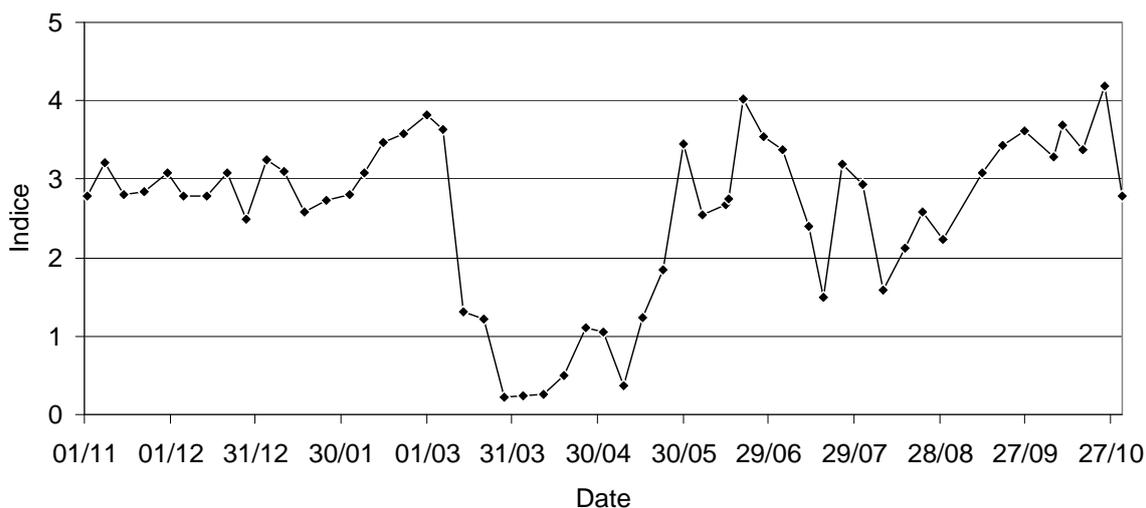


Figure 4.5 Évolution de l'indice de Shannon au point *prise* au cours de la période novembre 2010 - octobre 2011.

4.5. Campagnes pélagiques

Les campagnes pélagiques permettent de comparer la biomasse et l'abondance phytoplanctonique en 4 points de prélèvement (*prise*, *rejet*, *contrôle* et *référence*) diversement concernés par les rejets d'eau chaude de la centrale. Les campagnes de 2011 ont eu lieu les 15 juin et 27 septembre.

Pour les points *prise* et *rejet*, les prélèvements ne concernaient que la sub-surface alors qu'ils ont été 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. Pigments chlorophylliens

Lors de la campagne du 15 juin 2011, la concentration en chlorophylle *a* totale au point *rejet* était légèrement supérieure à celle du point *prise* (figure 4.6. et annexe 3). Ce schéma a été également observé en 2009 alors qu'en 2010, la concentration au point *rejet* était inférieure à celle du point *prise*. Les concentrations de surface aux points *contrôle* et *référence* étaient conformes à l'existence d'un gradient décroissant de la côte vers le large. La différence de concentration entre le fond et la surface était importante pour le point *contrôle* (Δc f/s = + 3,2 mg.m⁻³) avec une valeur plus forte au fond. Elle était faible pour le point *référence* (< 1,0 mg.m⁻³).

Le 27 septembre 2011, le schéma était plus classique, avec une concentration au *rejet* inférieure à celle de la *prise* ($\Delta p/r = -1,7 \text{ mg.m}^{-3}$). La différence fond - surface pour le point *contrôle* était très importante ($\Delta c \text{ f/s} = +4,9 \text{ mg.m}^{-3}$). Elle était moindre au point *référence* ($\Delta \text{réf f/s} < 1,0 \text{ mg.m}^{-3}$).

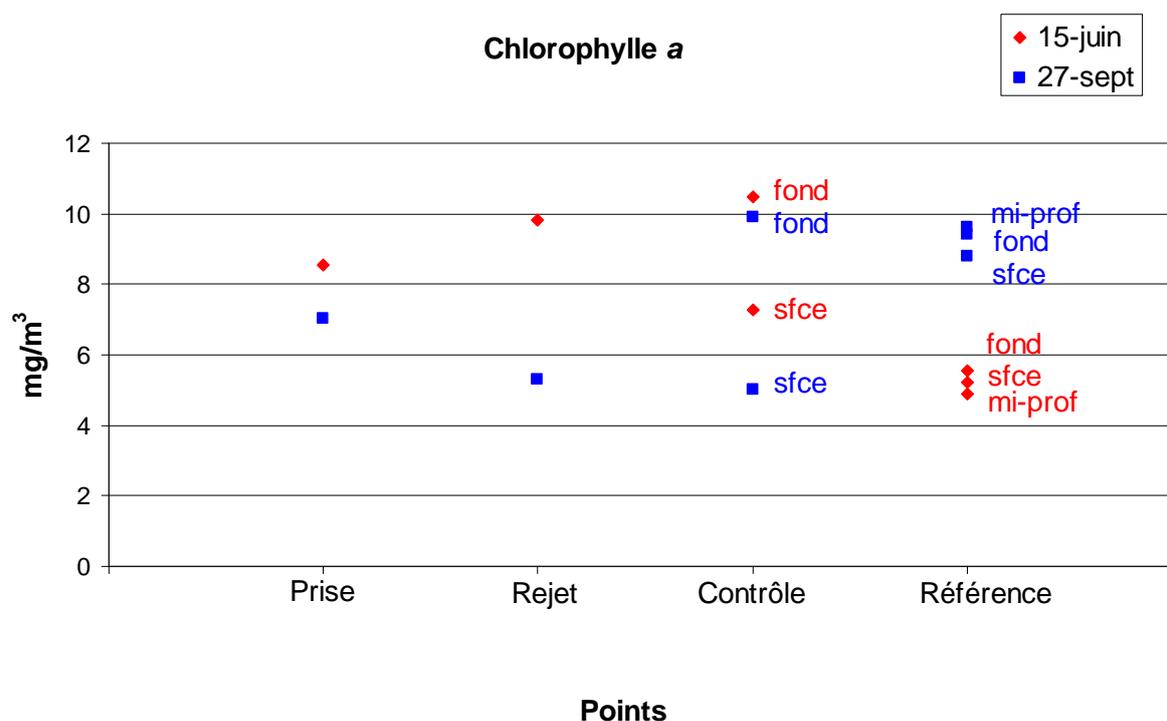


Figure 4.6 Évolution spatiale de la concentration en chlorophylle a (mg.m^{-3}) lors des campagnes pélagiques 2011.

Le pourcentage de chlorophylle active (phytoplancton non dégradé) était supérieur à 60 % lors des deux campagnes annuelles (figure 4.7. et annexe 4). La proportion de phytoplancton non dégradé était de même ordre de grandeur entre les points de prélèvement lors de chaque sortie. Seuls les prélèvements de fond au point *contrôle* présentaient une proportion en chlorophylle active plus faible qu'en surface (5 et 16 % de différence en juin et septembre respectivement).

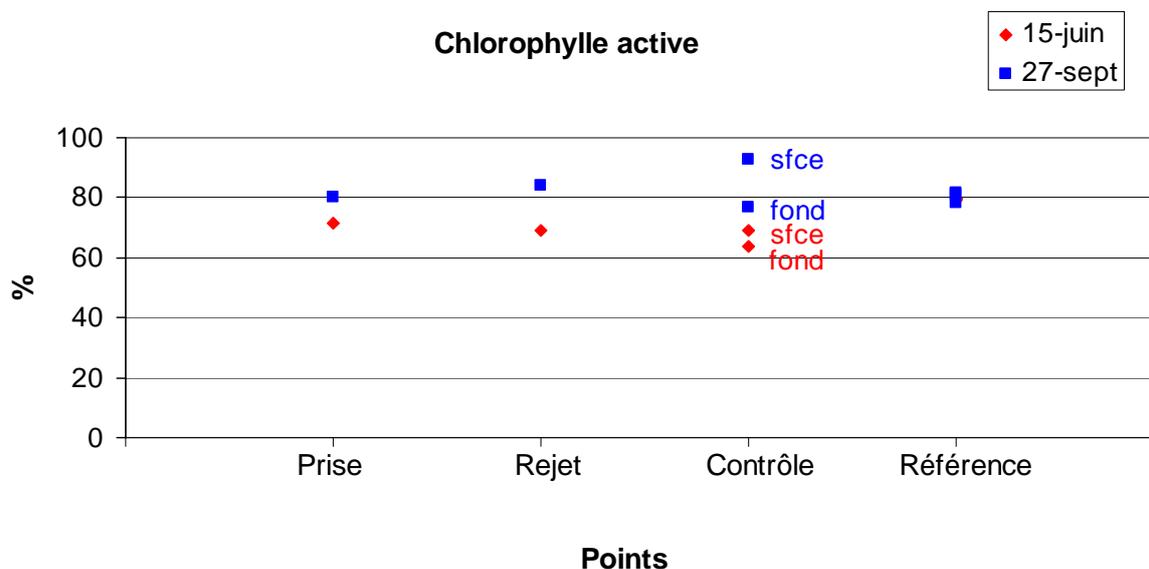


Figure 4.7 Évolution spatiale du pourcentage de chlorophylle active lors des campagnes pélagiques 2011
(Les données sont très proches au point référence – voir l'annexe 4 pour le détail).

4.5.2. Phytoplancton

Les échantillons prélevés lors des campagnes de juin et de septembre 2011 contenaient entre 19 et 30 taxons (tableau 4.1). Les différences observées entre les différentes périodes de surveillance sont davantage liées à la variabilité inter-annuelle de la dynamique phytoplanctonique et du phasage entre cette dynamique et le moment du prélèvement qu'à un effet du fonctionnement de la centrale. La campagne printanière s'est déroulée après l'efflorescence de *Phaeocystis globosa* qui dominait alors l'écosystème au détriment des bacillariophytes.

Tableau 4.1 Évolution spatiale du nombre total d'espèces phytoplanctoniques en surface lors des campagnes pélagiques du 15 juin et du 27 septembre 2011 (X : échantillon non disponible).

Campagnes	Points			
	Prise	Rejet	Contrôle	Référence
15 juin 2011	29	19	29	29
27 septembre 2011	28	19	X	30

Les diatomées (Bacillariophytes) regroupant les classes des bacillariophycées, des médiophycées et des coscinophycées dominaient la communauté phytoplanctonique lors des deux campagnes pélagiques (tableau 4.2). La communauté était également composée de cellules de la classe des ciliés, des cryptophycées, des dinophycées, des euglénophycées, des chlorophycées et des prymnésiofycées. La variabilité spatiale (côte / large ou surface/ fond) des concentrations cellulaires lors des campagnes pélagiques était, au plus, de l'ordre de grandeur de la variabilité saisonnière et était généralement plus faible. Le transit des masses d'eaux dans la centrale devrait provoquer théoriquement une dégradation physique ou physiologique des cellules phytoplanctoniques, ce qui devrait se traduire par une diminution

de la concentration cellulaire, de la concentration en chlorophylle *a* voire une augmentation de la concentration en phaeopigments (baisse du pourcentage de chlorophylle active) entre les points *prise* et *rejet*. Les conditions d'accès à l'intérieur du site du CNPE pour les équipes techniques et les contraintes d'utilisation des moyens nautiques rendent difficile la synchronisation entre les prélèvements en mer (pour les points *contrôle* et *référence*) et ceux depuis la terre (pour les points *prise* et *rejet*), ce qui rend très difficile l'appréciation de cet impact. Quoiqu'il en soit, il devrait être limité dans l'espace et ne devrait pas provoquer d'impact majeur sur la communauté phytoplanctonique à l'échelle de fonctionnement de l'écosystème.

Les taxons contribuant significativement à l'abondance totale lors des campagnes pélagiques du 15 juin et du 27 septembre 2011 sont présentés dans le tableau 4.3. Des seuils arbitraires de plusieurs dizaines ou centaines de milliers de cellules par litre en juin, et de plusieurs milliers de cellules par litre en septembre ont été définis pour élaborer cette liste. Lors de la campagne de juin 2011, ce sont les cryptophycées, *Rhizosolenia imbricata* + *styliformis*, *Guinardia striata*, *Leptocylindrus danicus*, *Pseudo-nitzschia* (groupe des *fines*, complexe *delicatissima*) qui présentaient les plus fortes abondances. En septembre 2011, ce sont *Rhizosolenia imbricata* + *styliformis*, *Thalassiosira rotula*, *Asterionellopsis glacialis*, les cryptophycées, *Chaetoceros socialis* f. *radians*, *Paralia sulcata* qui contribuaient le plus à l'abondance cellulaire totale.

Tableau 4.2 Répartition par classe des abondances phytoplanctoniques (cellules par litre) observées lors des campagnes pélagiques du 15 juin et du 27 septembre 2011 (/ : groupe non observé ; X : échantillon non disponible). (~ph. pour ~phycées, représentant la classe taxonomique - exemple : Bacillarioph. = Bacillariophycées)

date	points	Bacillarioph.	Ciliés	Coscinoph.	Cryptoph.	Dinoph.	Médioph.	Euglenoph.	Chloroph.	Pennales	Dictyocoph.	Prymnesioph.	Total
15/06	<i>Prise surface</i>	29006	877	182328	135400	17936	25633	/	/	/	/	/	391180
15/06	<i>Canal de rejet surface</i>	25046	3508	423412	2631	9070	5262	/	/	/	/	/	468929
15/06	<i>Contrôle surface</i>	41541	877	136797	53490	3231	28264	200	/	/	/	/	264400
15/06	<i>Contrôle fond</i>	42088	3508	218088	57880	600	37706	877	10520	/	/	/	371267
15/06	<i>Référence surface</i>	49050	2631	171737	200500	10724	25248	/	/	/	/	/	459890
15/06	<i>Référence mi-profondeur</i>	88314	5262	233100	183300	6239	25150	877	/	/	/	/	542242
15/06	<i>Référence fond</i>	14909	/	120149	107982	877	5262	/	/	/	/	/	249179
27/09	<i>Prise surface</i>	3931	1754	60382	10524	2931	63190	877	4385	877	/	/	148851
27/09	<i>Canal de rejet surface</i>	64896	/	65690	2631	877	25571	/	/	/	877	/	160542
27/09	<i>Contrôle surface</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
27/09	<i>Contrôle fond</i>	55251	/	84415	22802	100	232919	877	/	/	/	18417	414781
27/09	<i>Référence surface</i>	220231	200	180073	107900	16958	68404	/	/	/	/	/	593766
27/09	<i>Référence mi-profondeur</i>	17532	2631	110925	11401	3908	59428	/		5262		/	211087
27/09	<i>Référence fond</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X



Tableau 4.3 Taxons présentant les plus fortes abondances relatives (seuils arbitraires et liste par ordre décroissant d'abondance) lors des campagnes pélagiques du 15 juin et du 27 septembre 2011 (pour comparaison qualitative uniquement) (X : échantillon non disponible).

Points	15 juin 2011	27 septembre 2011
<i>Prise</i>	Cryptophycées, <i>Rhizosolenia imbricata</i> + <i>styliformis</i> , <i>Guinardia striata</i>	<i>Thalassiosira rotula</i> , <i>Rhizosolenia imbricata</i> + <i>styliformis</i>
<i>Rejet</i>	<i>Rhizosolenia imbricata</i> + <i>styliformis</i>	<i>Rhizosolenia imbricata</i> + <i>styliformis</i> , <i>Delphineis sp.</i> , <i>Asterionellopsis glacialis</i>
<i>Contrôle surface</i>	Cryptophycées, <i>Rhizosolenia imbricata</i> + <i>styliformis</i> , <i>Guinardia striata</i> , <i>Leptocylindrus danicus</i>	X
<i>Contrôle fond</i>	<i>Rhizosolenia imbricata</i> + <i>styliformis</i> , <i>Guinardia striata</i> , Cryptophycées	<i>Plagiogramma sp.</i> , <i>Rhizosolenia imbricata</i> + <i>styliformis</i> , <i>Asterionellopsis glacialis</i>
<i>Référence surface</i>	Cryptophycées, <i>Rhizosolenia imbricata</i> + <i>styliformis</i>	<i>Asterionellopsis glacialis</i> , <i>Rhizosolenia imbricata</i> + <i>styliformis</i> , Cryptophycées
<i>Référence mi-profondeur</i>	Cryptophycées, <i>Rhizosolenia imbricata</i> + <i>styliformis</i> , <i>Guinardia striata</i> , <i>Pseudo-nitzschia</i> (groupe des fines, complexe <i>delicatissima</i>)	<i>Rhizosolenia imbricata</i> + <i>styliformis</i> , <i>Chaetoceros socialis f. radians</i> , <i>Paralia sulcata</i>
<i>Référence fond</i>	Cryptophycées, <i>Rhizosolenia imbricata</i> + <i>styliformis</i> , <i>Guinardia sp.</i>	X

4.6. Dynamique de développement du phytoplancton à méso-échelle

Afin d'appréhender la dynamique des efflorescences phytoplanctoniques à une échelle moins régionale et ainsi pouvoir situer les phénomènes observés lors de ce cycle de surveillance à l'échelle de fonctionnement de l'écosystème Manche – baie sud de la Mer du Nord, 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 (figure 4.8) correspondent à une représentation de l'estimation de la concentration en chlorophylle *a* à partir de paramètres optiques acquis par le capteur MODIS (Gohin *et al.*, 2002¹ ; Gohin *et al.*, 2008²).

Ces résultats illustrent un développement phytoplanctonique très important lors du mois de mars le long des côtes de la Manche orientale et de la baie sud de la mer du Nord (figure 4.8). Ce développement s'est intensifié ensuite en Mer du Nord et sur les côtes anglaises (avril, mai). A la fin du mois de mai, alors que ce développement de biomasse s'atténuait en Mer du Nord, il prenait de l'ampleur en baie de Seine. Lors des mois de juillet à octobre, les développements phytoplanctoniques étaient de moindres ampleurs et étaient, pour le côté français, très localisés à la zone côtière de la Manche orientale.

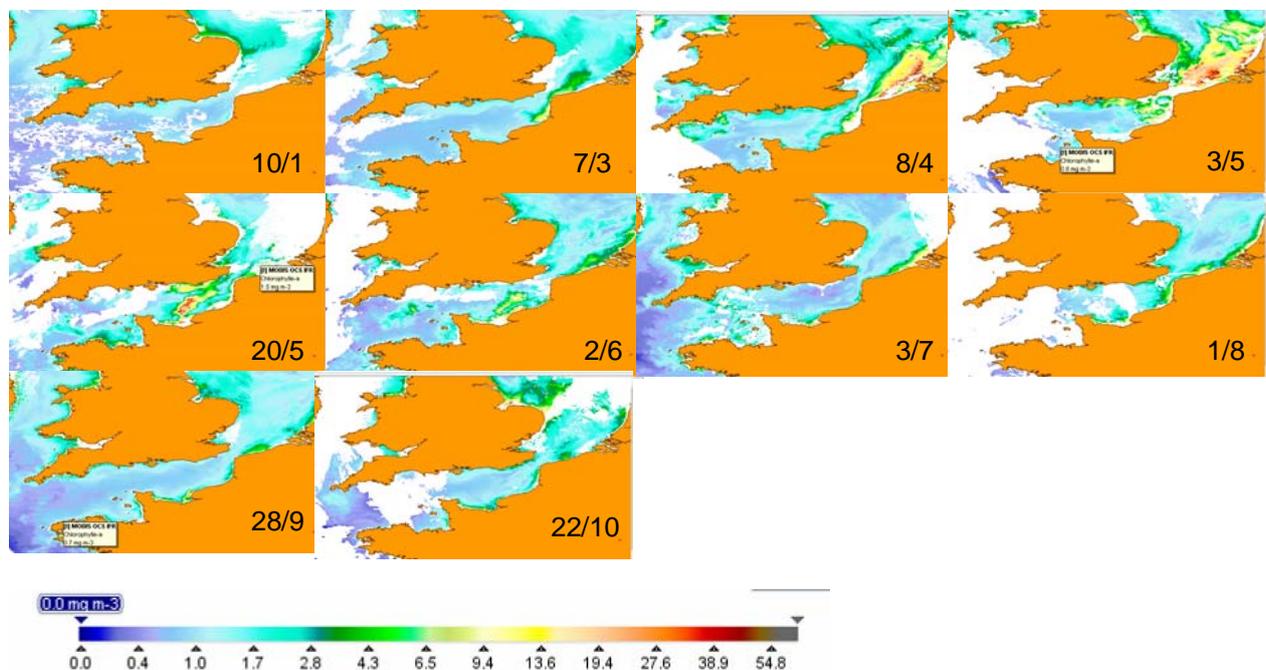


Figure 4.8 Illustration à méso-échelle de la dynamique de développement phytoplanctonique en 2011 via l'estimation de la concentration en chlorophylle *a* par le capteur MODIS (algorithme OC5 IFR) (Masque noir : terre ou couverture nuageuse).

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.

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 de la chlorophylle active ainsi que de l'évolution de l'abondance phytoplanctonique par rapport à la connaissance acquise sur le site depuis 1973. Les plus fortes différences qui ont pu être observées par rapport à un schéma théorique de fonctionnement d'un tel écosystème de zone tempérée étaient liées à une forte variabilité inter-annuelle dont les mécanismes de contrôle sont complexes, multi-paramètres et multi-échelles. Alors que la période de surveillance 2008-2009 était caractérisée par un bloom printanier précoce, la période 2009-2010 été marquée par une valeur exceptionnellement forte de la concentration en chlorophylle *a* (60,76 mg.m⁻³ le 31/03/2010). En 2011, la biomasse phytoplanctonique s'est développée dès le mois de février mais l'ampleur était moindre (23,46 mg.m⁻³ le 4/4). Le bloom automnal, caractéristique des systèmes tempérés mais non systématique, était d'ampleur significative en 2011 (10,5 mg.m⁻³ le 7/10).

La succession des espèces phytoplanctoniques était conforme aux connaissances acquises sur le site via les réseaux de surveillance, les études et les activités de recherches. Ainsi, la communauté phytoplanctonique était dominée par les diatomées ou bacillariophytes, sauf lors des proliférations de la prymnésiophytées *Phaeocystis globosa*. Cette espèce est caractéristique de la zone et son développement excessif est reconnu comme pouvant conduire à des dysfonctionnements des écosystèmes benthiques et pélagiques. Les genres *Alexandrium*, *Gymnodinium*, *Gyrodinium* et *Pseudonitzschia*, dont certaines espèces sont potentiellement responsables de la production de toxines, ont été identifiés dans quelques échantillons. Il faut toutefois noter que les résultats acquis dans le cadre du réseau phytoplancton & phycotoxines (REPHY) mis en œuvre par l'Ifremer ont permis de conclure à l'absence de toxines en concentrations supérieures aux seuils réglementaires sur le littoral du Nord, Pas de Calais et de la Picardie.

Les résultats acquis lors des deux campagnes pélagiques sont destinés à mettre en évidence un éventuel impact (thermique, mécanique) du fonctionnement de la centrale sur le phytoplancton. Les conditions d'accès au site de prélèvements à terre et les contraintes d'utilisation des moyens nautiques font qu'un décalage important a été noté entre les prélèvements à terre et en mer ce qui rend très difficile l'interprétation des résultats dont la variabilité est généralement plus importante à l'échelle saisonnière qu'à l'échelle spatiale (gradient côte / large et fond / surface). Le transit du phytoplancton dans la centrale provoque une altération des pigments photosynthétiques et peut porter atteinte à la structure des cellules phytoplanctoniques. Cependant cet impact est très localisé spatialement et ne devrait pas avoir de conséquence sur la communauté phytoplanctonique à l'échelle de fonctionnement de l'écosystème.

ANNEXE 1 : Surveillance hebdomadaire au point *prise* : concentration totale en chlorophylle (mg.m^{-3}), concentration en chlorophylle *a* (mg.m^{-3}) et en phaeopigment (mg.m^{-3}), pourcentage de chlorophylle active et indices de Shannon (*les résultats des 4 premières colonnes sont acquis sur un échantillon différent de celui nécessaire au calcul du résultat de l'indice de Shannon*) (- : données non disponibles).

date	chlorophylle totale mg/m^3	chlorophylle a non dégradée mg/m^3	phaeopigment mg/m^3	Chlorophylle active %	Indice de Shannon Sans unité
02/11/10	2.38	1.34	1.04	56.30	2.78
08/11/10	2.76	1.38	1.38	50.00	3.20
15/11/10	2.75	1.37	1.38	49.82	2.80
22/11/10	2.23	1.08	1.15	48.43	2.85
30/11/10	1.51	0.86	0.65	56.95	3.08
06/12/10	1.41	0.72	0.69	51.06	2.78
14/12/10	1.48	0.81	0.67	54.73	2.79
21/12/10	1.37	0.70	0.67	51.09	3.08
28/12/10	2.28	1.16	1.12	50.88	2.49
04/01/11	1.56	0.91	0.65	58.33	3.24
10/01/11	1.58	0.91	0.67	57.59	3.11
17/01/11	1.16	0.85	0.31	73.28	2.57
25/01/11	1.58	1.11	0.47	70.25	2.73
02/02/11	2.50	1.84	0.66	73.60	2.80
07/02/11	2.80	2.01	0.79	71.79	3.08
14/02/11	4.50	4.17	0.33	92.67	3.46
21/02/11	13.02	12.02	1.00	92.32	3.58
01/03/11	9.64	8.29	1.35	86.00	3.82
07/03/11	14.47	12.97	1.50	89.63	3.63
14/03/11	10.83	9.86	0.97	91.04	1.31
21/03/11	22.73	20.86	1.87	91.77	1.21
28/03/11	21.28	21.21	0.07	99.67	0.22
04/04/11	23.46	23.42	0.04	99.83	0.24
11/04/11	16.21	16.00	0.21	98.70	0.26
18/04/11	12.96	12.00	0.96	92.59	0.49
26/04/11	8.90	6.90	2.00	77.53	1.10
02/05/11	5.60	2.70	2.90	48.21	1.05
11/05/11	2.21	2.10	0.11	95.02	0.37
16/05/11	6.70	5.30	1.40	79.10	1.24
23/05/11	14.20	11.00	3.20	77.46	1.85
30/05/11	9.40	4.30	5.10	45.74	3.46
06/06/11	9.11	9.10	0.01	99.89	2.55
14/06/11	13.90	9.10	4.80	65.47	2.68
20/06/11	9.00	7.50	1.50	83.33	4.02
27/06/11	7.90	5.90	2.00	74.68	3.54
04/07/11	10.90	7.50	3.40	68.81	3.38
13/07/11	14.53	14.00	0.53	96.35	2.40
18/07/11	9.37	9.10	0.27	97.12	1.50
25/07/11	5.94	5.30	0.64	89.23	3.19
01/08/11	0.75	0.10	0.75	13.33	2.94
08/08/11	0.10	0.10	0.10	100.00	1.59
16/08/11	0.59	0.10	0.59	16.95	2.12
22/08/11	0.75	0.10	0.75	13.33	2.59
29/08/11	1.70	0.10	1.70	5.88	2.23
05/09/11	1.20	0.10	1.20	8.33	-
12/09/11	1.30	0.10	1.30	7.69	3.08
22/09/11	7.43	6.90	0.53	92.87	3.43
27/09/11	10.50	9.10	1.40	86.67	3.62
07/10/11	9.70	7.50	2.20	77.32	3.28
11/10/11	7.10	5.90	1.20	83.10	3.68
18/10/11	4.30	4.30	0.96	100.00	3.37
25/10/11	3.70	3.70	0.37	100.00	4.18
31/10/11	2.70	2.70	0.10	100.00	2.78

ANNEXE 2 : Paramètres de tendance centrale et de dispersion de concentrations en chlorophylle *a* pour chaque mois de l'année 2011, puis pour chaque année de la période 2000-2011

Mois	Moyenne	Ecart type	Minimum	Premier quartile	Médiane	Troisième quartile	Maximum	Nombre de données
1	1.92	0.88	0.77	1.47	1.58	2.13	4.31	53
2	4.69	4.02	1.24	2.28	3.23	5.64	19.64	46
3	10.73	10.22	1.50	4.57	7.48	13.84	60.76	51
4	16.43	8.64	2.82	9.73	14.99	20.37	42.03	50
5	10.29	7.56	1.13	5.01	8.35	13.86	34.33	54
6	7.51	4.83	0.98	3.79	6.90	9.23	24.05	56
7	9.34	5.48	2.22	5.21	7.90	12.42	27.50	53
8	6.21	3.92	0.10	3.45	5.40	8.46	16.63	51
9	5.39	2.61	1.30	3.38	5.06	6.93	14.00	50
10	4.10	1.96	1.93	2.70	3.60	4.49	10.25	49
11	2.67	1.62	0.33	1.63	2.14	3.25	7.50	46
12	1.73	0.59	0.98	1.39	1.59	1.89	3.73	48

Année	Moyenne	Ecart type	Minimum	Premier quartile	Médiane	Troisième quartile	Maximum	Nombre de données
2000	6.39	6.48	0.79	1.95	3.72	8.33	26.06	50
2001	8.07	7.50	1.44	3.22	5.95	10.00	42.03	52
2002	6.72	5.97	0.98	2.45	5.10	8.75	27.50	55
2003	7.37	5.62	1.02	1.91	5.97	11.63	20.47	53
2004	5.70	5.03	0.33	2.19	4.38	6.91	19.94	52
2005	4.46	3.18	0.91	2.35	3.33	5.57	15.07	45
2006	4.11	2.95	1.06	2.14	3.26	4.64	15.49	46
2007	7.54	6.17	0.77	2.44	5.81	10.73	25.43	52
2008	7.37	8.45	1.50	2.67	4.21	7.38	39.65	54
2009	6.12	6.22	0.98	2.44	3.47	6.94	32.45	52
2010	9.85	10.93	1.37	2.76	6.39	11.38	60.76	52
2011	7.81	6.08	0.10	2.43	7.27	10.85	23.46	44

ANNEXE 3 : Variabilité spatiale de la biomasse chlorophyllienne ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)

	Concentrations en chlorophylle <i>a</i> ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	
	15 juin 2011	27 septembre 2011
Points		
<i>Prise</i>	8,54	7,02
<i>Rejet</i>	9.84	5,31
<i>Contrôle surface</i>	7,26	5,01
<i>Contrôle fond</i>	10,47	9,91
<i>Référence surface</i>	5,23	8,81
<i>Référence milieu</i>	4,91	9,61
<i>Référence fond</i>	5,55	9,41

ANNEXE 4 : Variabilité spatiale de la concentration en phéopigments (mg.m^{-3})
et de la chlorophylle active (%)

	Concentrations en phéopigments (mg.m^{-3}) / chlorophylle active (%)	
	15 juin 2011	27 septembre 2011
Points		
<i>Prise</i>	3,38 – 71,64	1,72 – 80,32
<i>Rejet</i>	4,37 – 69,25	1,00 – 84,15
<i>Contrôle surface</i>	3,28 – 68,88	0,39 – 92,78
<i>Contrôle fond</i>	5,91 – 63,92	2,98 – 76,88
<i>Référence surface</i>	1,35 – 79,48	1,98 – 81,65
<i>Référence milieu</i>	1,29 – 79,19	2,23 – 81,17
<i>Référence fond</i>	1,40 – 79,86	2,64 – 78,09

5. ZOOPLANCTON

Auteur : Elvire Antajan

Collaborateurs : C. Blondel, V. Duquesne, F. Gevaert, M-A. Janquin, F. Vérin

Le zooplancton (du grec *zoon* = animal et *planao* = errer passivement) regroupe l'ensemble des organismes vivants de nature animale vivant en suspension dans l'eau et dont la capacité de nage ne leur permet pas de lutter contre les courants ou d'éviter un obstacle. Le zooplancton est hétérotrophe, c'est à dire qu'il se nourrit de matière vivante, notamment de phytoplancton. Il occupe ainsi une position clé dans la chaîne alimentaire pélagique en permettant le transfert de l'énergie organique produite par le phytoplancton vers les niveaux trophiques supérieurs que sont les poissons, les crustacés benthiques, les oiseaux et les mammifères marins.

Les changements détectables dans l'abondance ou la composition des espèces du zooplancton peuvent refléter des changements fondamentaux dans l'environnement océanique affectant le phytoplancton. Comme un grand nombre d'espèces du zooplancton a une durée de vie relativement courte et qu'elles peuvent avoir un taux de croissance élevé, elles réagissent rapidement aux perturbations environnementales qui influencent la diversité, comme les changements climatiques, les pollutions ponctuelles et la prédation.

5.1. Méthodologie

5.1.1. Stratégie de prélèvements du zooplancton

Deux campagnes annuelles sont réalisées pour la surveillance du milieu récepteur des eaux chaudes rejetées par la centrale. En 2011 elles ont été réalisées le 15 juin pour la mission printanière et le 27 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 (considéré comme non impacté directement par la centrale) 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 environnementales naturelles du milieu 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

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.

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.

5.1.3. Mesure de la biomasse sestonique

Pour la mesure de la biomasse sestonique, les soies congelées 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 (m³).

Les échantillons de poids sec sont par la suite broyés pour être analysés au CHN (NA 2100 Protein CE Instruments, Thermoquest) 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 (m³).

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 copépode ; *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 ± 30 %. Le nombre d'individus comptés est ensuite ramené au volume total de l'échantillon (ind. · m⁻³).

La bibliographie utilisée pour l'identification des zooplanctons est très variée et inclut 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, Boxshall & Halsey 2004⁵) ou les larves de décapodes (Martin, 2001⁶) par exemple.

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 Boxshall G.A. & Halsey S.H., 2004. - An introduction to copepod diversity. The Ray Society, (Part 1): pp. I-XV, 1-421. (Part II): pp. V-VII, 422-966

⁶ Martin J (2001) Les larves des crustacés décapodes des côtes françaises de la Manche. IFREMER, France, pp. 175.

5.2. Surveillance au canal d'amenée

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 (< 20 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.

En 2011, la biomasse sestonique était plus faible au printemps que les deux années précédentes qui étaient caractérisées par une forte prolifération de *Phaeocystis globosa* (figure 5.1, cf. chapitre IV). Cette année la biomasse sestonique était légèrement plus importante vers la fin de l'été, 167,3 et 150,6 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ respectivement en août et septembre.

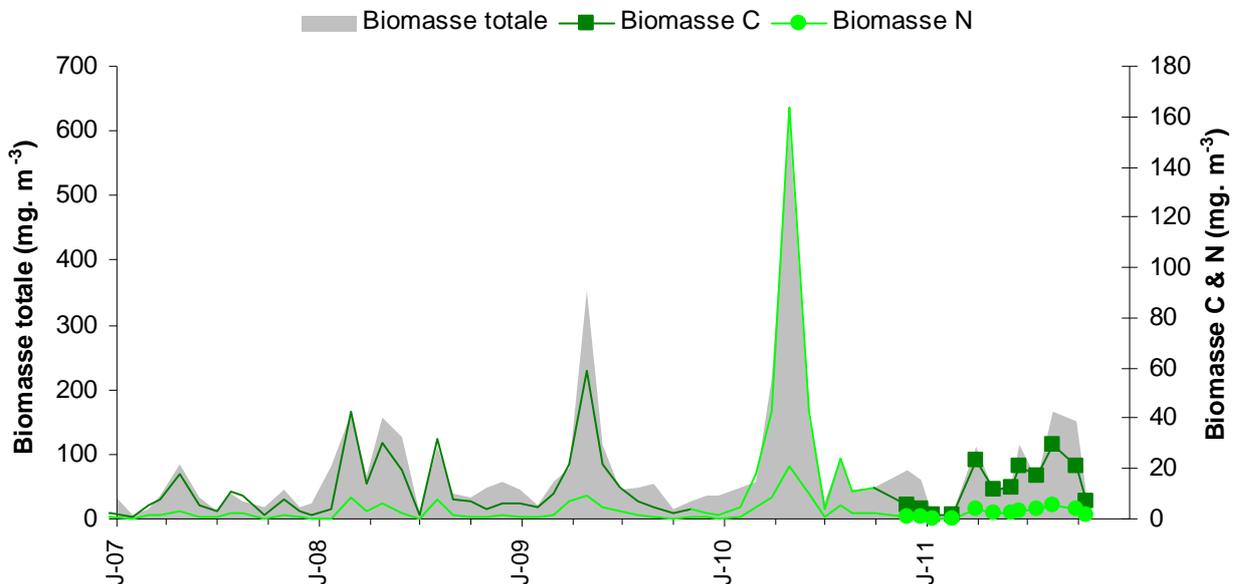


Figure 5.1 : Évolution mensuelle de la biomasse sestonique (poids sec, poids C et poids N) entre janvier 2007 et octobre 2011

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 4,2 et 7,1 en 2011. Le rapport C/N peut habituellement caractériser un compartiment tel que le zooplancton (rapport C/N ~ 4-5 ; Mauchline, 1998¹) ou le phytoplancton (C/N > 6 ; Biddanda & Benner, 1997²).

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

² Biddanda B. and Benner R. (1997). Carbon, Nitrogen, and Carbohydrate Fluxes During the Production of Particulate and Dissolved Organic Matter by Marine Phytoplankton. *Limnology and Oceanography*, Vol. 42, No. 3 (May, 1997), pp. 506-518

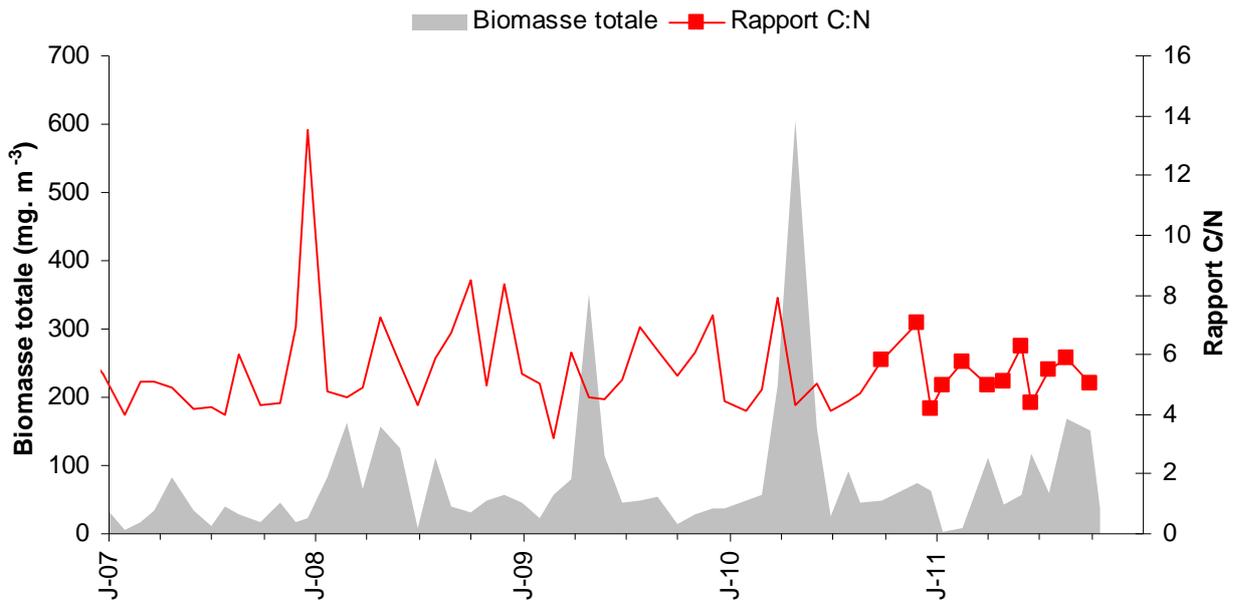


Figure 5.2 : Évolution mensuelle du rapport C/N du seston entre janvier 2007 et octobre 2011

La forte remise en suspension des sédiments sur le site (sable, débris coquilliers, fragments d'algues,...) du fait de la faible profondeur et du courant important à l'entrée du canal, ou bien la prolifération d'algues ont contribué à ce que le rapport C/N mesuré au point *prise* en 2011 soit parfois > 6 . Il semble donc difficile d'utiliser, sur le site de Gravelines, la biomasse sestonique comme une approximation de la biomasse zooplanctonique.

5.2.2. Abondance et composition du zooplancton

Les dénombrements zooplanctoniques totaux effectués en 2011 sont présentés sur la figure 5.3 avec ceux des quatre années précédentes, et sont exprimés en nombre d'individus par m^3 d'eau de mer. Les plus faibles abondances ont été observées en janvier 2011 ($< 176 \text{ ind.} \cdot m^{-3}$). Deux pics d'abondance des zooplanctontes ont été observés en mai et juin ($> 20\,000 \text{ ind.} \cdot m^{-3}$) dû à l'abondance des copépodes mais surtout à une prolifération de noctiluques (dinoflagellés hétérotrophes) comme en 2008 et 2010.

Les fortes augmentations de l'abondance totale par rapport à 2007 sont 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 (Tranter 1968¹).

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.

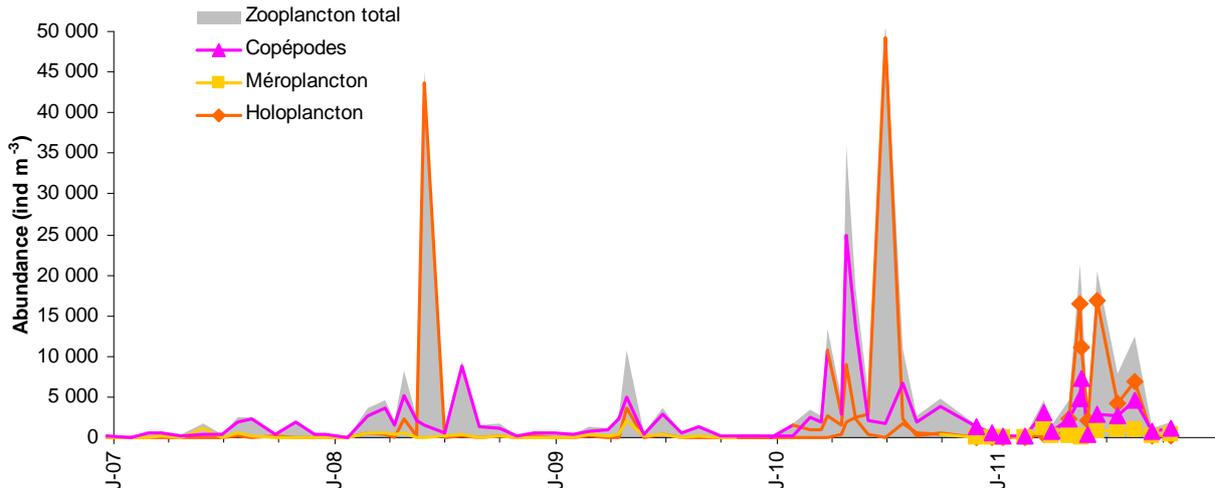


Figure 5.3 : Évolution de l'abondance du zooplancton et de ses fractions holo- et méroplanctonique au point prise entre janvier 2007 et octobre 2011

La coïncidence entre les proliférations des abondances zooplanctoniques et phytoplanctoniques semblent moins évidentes cette année du fait de l'étendue du bloom des noctiluques, 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). On retrouve toutefois ce lien (avec un décalage de 15 jours à un mois, temps nécessaire à l'intégration de la production primaire par le zooplancton) si l'on tient compte uniquement des copépodes.

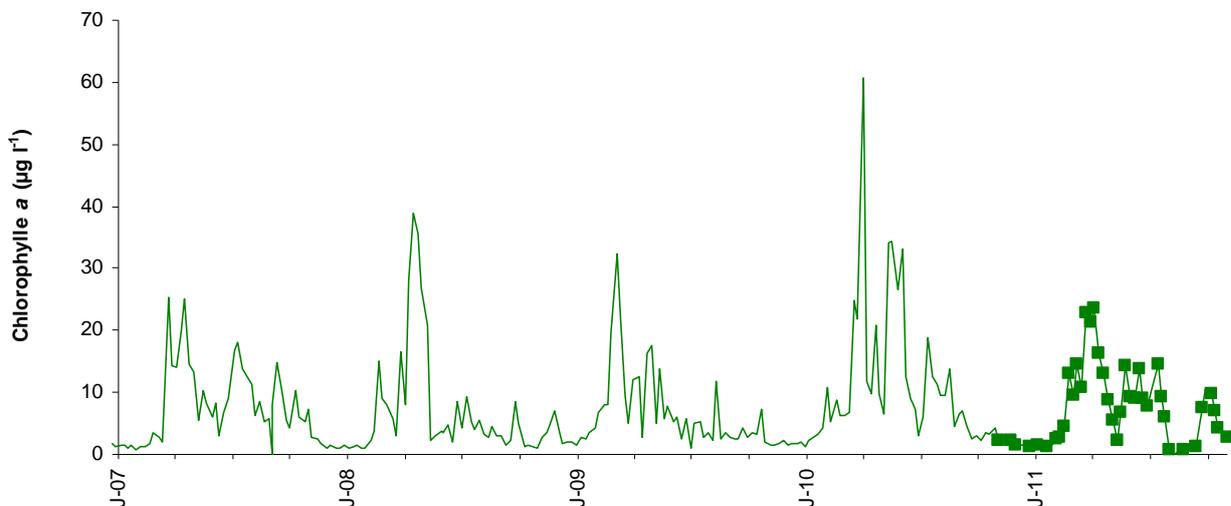


Figure 5.4 : Évolution de la concentration en chlorophylle a au point prise entre janvier 2007 et octobre 2011

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 2011, l'holoplancton représentait généralement plus de 70 % du zooplancton total (Figure 5.5). Cette fraction était essentiellement composée de crustacés copépodes (50 à 100 %, hors prolifération des noctiluques). Selon la saison, s'y ajoutent quelques espèces moins abondantes, appartenant à d'autres embranchements comme les appendiculaires et les chaetognathes. D'autres organismes holoplanctoniques comme les cténaires, les cladocères et les mysidacés ont été très peu présents cette année (tableau 5.1).

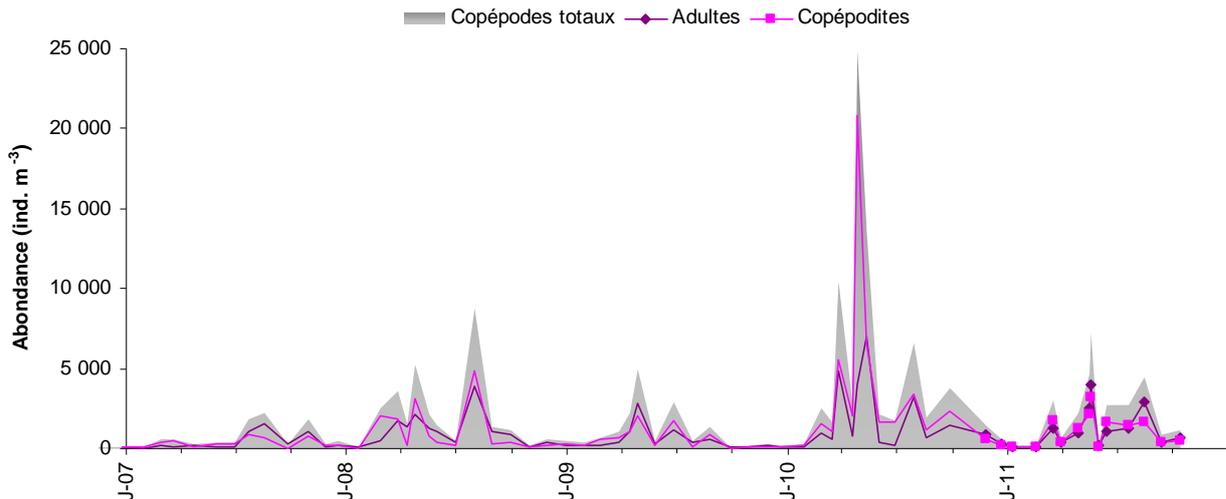


Figure 5.6 : Évolution de l'abondance des copépodes (adultes et copépodites) au point prise entre janvier 2007 et octobre 2011

Alors que les abondances de l'espèce printanière *Pseudocalanus elongatus* étaient plus importantes que ces 4 dernières années de mars à mai, celles de *Centropages hamatus* et *Temora longicornis* étaient dans la moyenne des observations des années précédentes (figures 5.7 et 5.8). La brusque chute des températures au mois de juillet peut expliquer que les abondances estivales des copépodes aient été assez faibles cette année, notamment pour *Acartia clausi* alors que son abondance au mois de juin était plus importante que les quatre années précédentes. A contrario cela a favorisé les espèces automnales, comme *Paracalanus parvus* et *Euterpina acutifrons* qui étaient plus abondants dès le mois d'août.

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 le plus souvent des stades copépodites C1 (50 à 91 %) de la forme *Saphirella* correspondant au stade larvaire pélagique d'individus dont les autres stades de développement sont parasites ou commensaux d'autres espèces d'invertébrés (annélides, bivalves et crustacés). Brylinski (2009)¹, a publié une description détaillée de la forme présente sur les sites de Gravelines, de Penly et de Paluel.

En 2011, chacune des espèces de copépode observées sur le site de Gravelines respectait sa répartition saisonnière habituelle (figure 5.8).

¹ Brylinski J-M., 2009. The pelagic copepods in the Strait of Dover (Eastern English Channel). A commented inventory 120 years after Eugène Canu. Cah. Biol. Mar. 50 :251-260

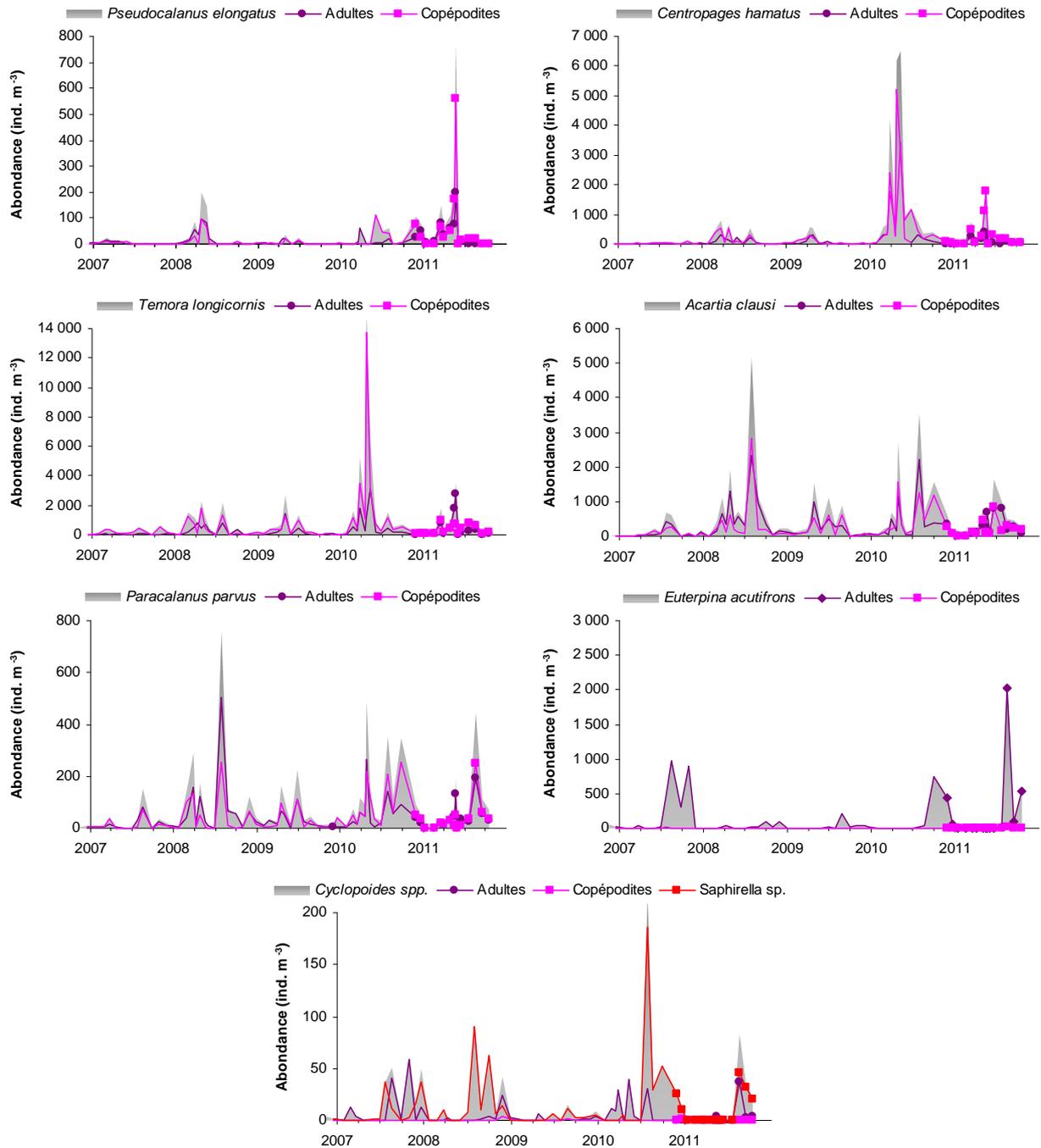


Figure 5.7 : Abondance (adultes et copépodites) des principales espèces de copépodes au point prise entre janvier 2007 et octobre 2011

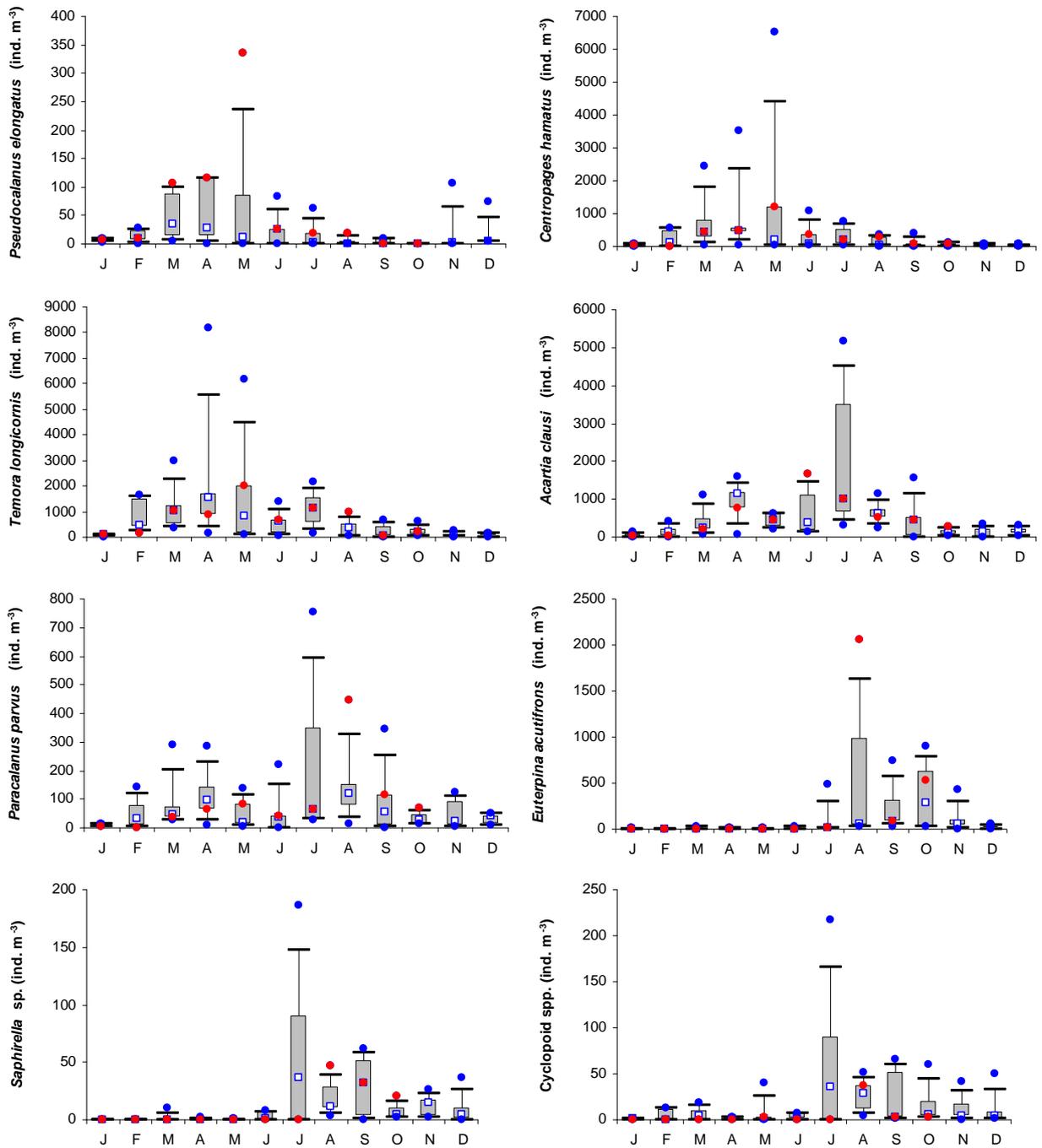


Figure 5.8 : Evolution de l'abondance mensuelle des principales espèces de copépodes au point prise entre janvier 2007 et octobre 2011 (points rouges = données 2011 ; points bleus = données extrêmes depuis 2007 ; carré bleu = médiane)

Cette année, la présence d'une nouvelle espèce de copépode d'origine asiatique, *Pseudodiaptomus marinus*, est signalée pour la première fois sur le site de Gravelines (Tableau 5.2). L'espèce a également été observée dans le port de Calais en janvier et octobre 2010 et en avril 2011 (Brylinski et al., soumis¹). Le faible nombre d'individus collectés (de 1 à 4 par échantillon) ainsi que la capture de femelles ovigères et de stades copépodites suggèrent que l'espèce est capable de survivre et de se reproduire dans la région, mais ne constitue pas encore une population importante. L'hypothèse de son introduction passive via les eaux de ballaste des navires transitant entre le Pacifique nord-ouest et les ports de Calais et Dunkerque semble la plus vraisemblable (Brylinski et al., soumis). Cette espèce fera dorénavant l'objet d'une attention particulière sur le site de Gravelines afin de suivre l'évolution de sa population dans le temps et son impact éventuel sur les espèces endémiques.

Tableau 5.2 : Nombre d'individus observés et abondance de *Pseudodiaptomus marinus* au cours de la période de surveillance 2010-2011

Date	Nom Centrale	Nom Point	Taxon	Stade	Sexe	Nb indiv.	Ab (ind. m ³)
26/11/2010	Gravelines	Prise	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Copépodite	ND	2	4.3
10/01/2011	Gravelines	Prise	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Adulte	Mâle	1	0.2
16/02/2011	Gravelines	Prise	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Adulte	Femelle	1	0.2
14/09/2011	Gravelines	Prise	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Adulte	Femelle	1	1.3
14/09/2011	Gravelines	Prise	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Copépodite	ND	1	1.3
27/09/2011	Gravelines	Rejet	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Copépodite	ND	1	5.5
27/09/2011	Gravelines	Contrôle	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Copépodite	ND	1	2.1
27/09/2011	Gravelines	Référence	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Copépodite	ND	2	3.3
14/10/2011	Gravelines	Prise	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Copépodite	ND	4	7.0

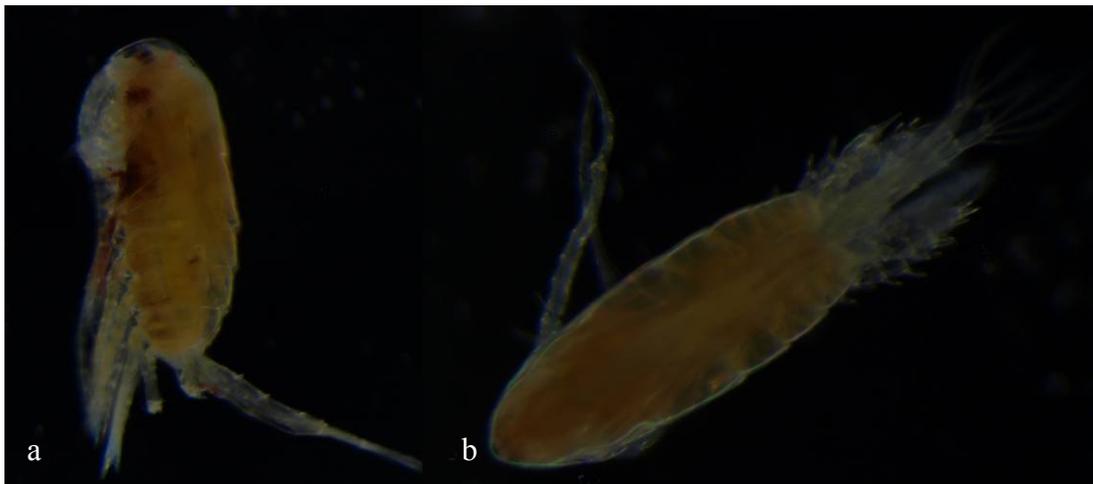


Photo 5.1 : *Pseudodiaptomus marinus* a) femelle vue laterale, b) mâle vue dorsale (Photos : E. Antajan)

Les autres espèces holoplanctoniques

En dehors des copépodes d'autres espèces holoplanctoniques ont présenté des abondances parfois importantes en 2011 (figures 5.9 et 5.10) :

¹ Brylinski J-M., Antajan E., Vincent D., First record of the Asian Copepod *Pseudodiaptomus marinus* Seto 1913 (Copepoda: Calanoida: Pseudodiaptomidae) in the southern bight of the North Sea *soumis dans Aquatic Invasion Journal en février 2012*

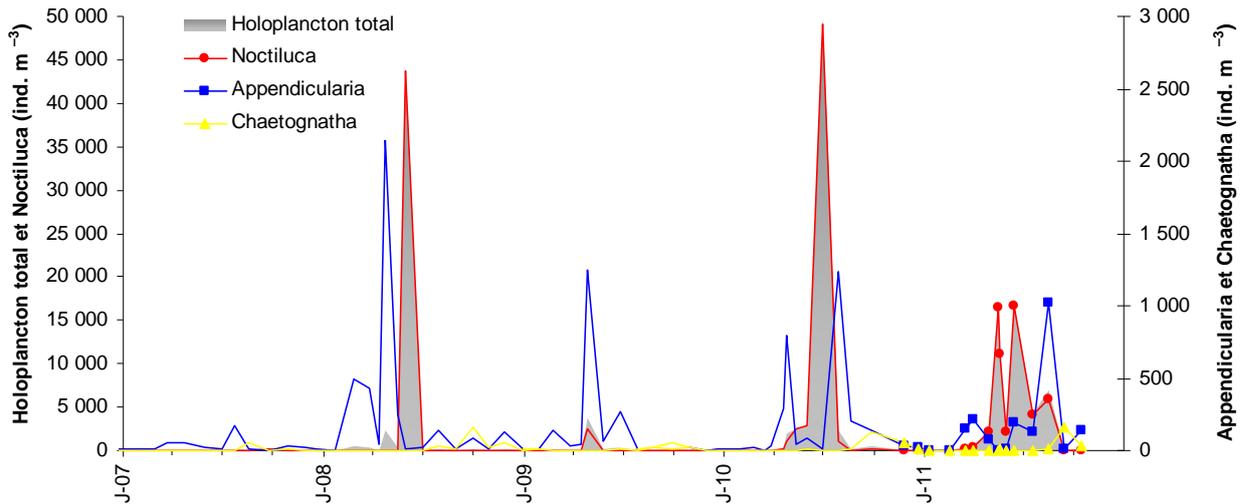


Figure 5.9 : Abondance de certaines espèces holoplanctoniques au point prise entre janvier 2007 et octobre 2011

Les **noctiluques** *Noctiluca scintillans* (dinoflagellés), bien que moins abondant par rapport à 2008 et 2010, ont été présents sur une période plus étendue, de mars à août. Les abondances maximales (16 à 17 000 ind. m⁻³ en mai et juin) étaient trois fois plus faibles qu'en 2010.

Les **appendiculaires** (chordés) sont des organismes filtreurs, en partie phytophages. Leur abondance dépend 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 2011, un maximum de 1 020 ind. m⁻³ a été observé en août ce qui représentait 9 % de l'holoplancton.

Les **chaetognathes** du genre *Parasagitta* sont carnivores et se nourrissent principalement aux dépens des stocks de copépodes. Comme d'habitude, ils étaient plus abondants en automne (157 ind. m⁻³ en septembre ; figures 5.9 et 5.10). Les individus récoltés dans nos échantillons sont généralement juvéniles, les rares adultes identifiés appartenaient à l'espèce *Parasagitta setosa*.

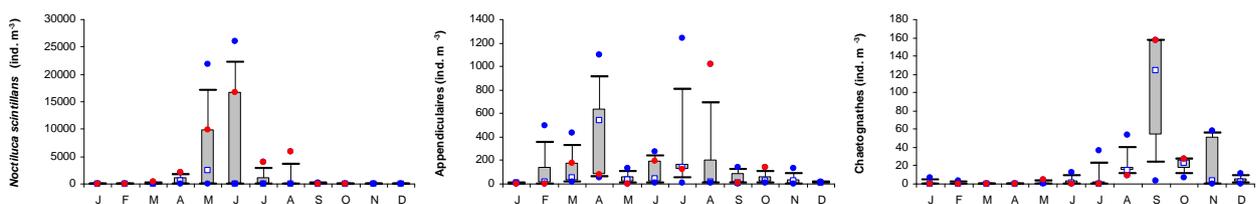


Figure 5.10 : Evolution de l'abondance mensuelle des noctiluques, appendiculaires et chaetognathes au point prise entre janvier 2007 et octobre 2011 (points rouges = données 2011 ; points bleus = données extrêmes depuis 2007 ; carré bleu = médiane)

5.2.2.2. Le méroplancton

En 2011, la fraction méroplanctonique représentait entre 1 et 30 % du zooplancton total.(figure 5.11).

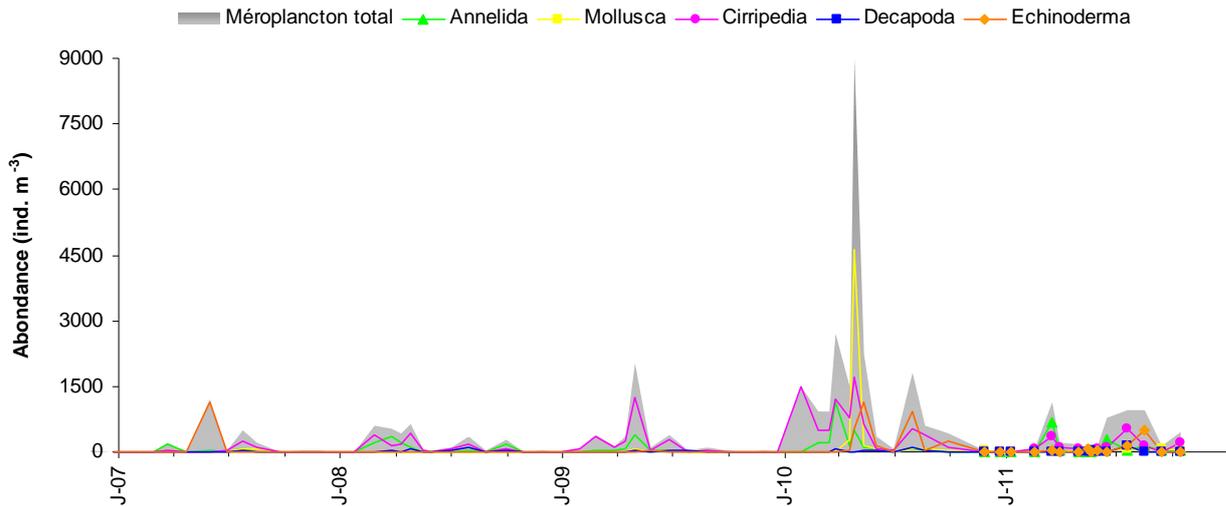


Figure 5.11 : Abondance de certaines espèces méroplanctoniques au point prise entre janvier 2007 et octobre 2011

Les crustacés **cirripèdes** sont des espèces encroûtantes contribuant aux salissures marines. En 2011, les stades larvaires planctoniques de balanes (*nauplii* et stades âgés *cypris*) ont été présents de février à octobre (15 à 86 % du méroplancton avec un maximum de 540 ind. \cdot m⁻³ en septembre).

Les larves d'**annélides** étaient essentiellement représentées par l'espèce des fonds sablo-vaseux *Lanice conchilega* et par des larves de spionidés, dont *Polydora ciliata*. Cette espèce prolifère en perforant les roches calcaires de l'estran (et les huîtres) tout en amassant un tapis de vase sur le littoral. Le maximum d'abondance a été observé en mars (668 ind. \cdot m⁻³).

L'abondance des divers groupes méroplanctoniques est très fluctuante d'une année à l'autre car l'apparition des stades larvaires de ces groupes dans le plancton est assez brève et les prélèvements ne coïncident pas toujours.

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 2011, les deux missions ont été effectuées respectivement le 15 juin et le 27 septembre.

Les conditions d'accès au point *rejet* (décalage entre l'heure de prélèvement à ce point par rapport au point *prise*) et de prélèvement (mauvais déploiement du filet depuis le radeau) rendent ce prélèvement souvent difficile à comparer avec les autres. En témoigne les volumes d'eau filtrés au point *rejet*, 2.3 et 6 m³ respectivement en juin et septembre, contre 20 à 40 m³ aux points *contrôle* et *référence*. De même le volume filtré au point *prise* en juin semble anormalement faible et pourrait être dû à un dysfonctionnement du volucompteur, entraînant une surestimation des abondances. De ce fait dans les figures qui suivent les histogrammes hachurés indiquent que les abondances estimées à ces points doivent être considérées avec précaution.

Tableau 5.3 : Heure des prélèvements et volume d'eau filtré avec le filet WP2

Date	Point	Heure Prélèvement	Volume filtré (m ³)
15/06/2011	Prise	11:15	19.4
15/06/2011	Rejet	13:50	4.3
15/06/2011	Contrôle	12:45	23.2
15/06/2011	Référence	12:15	30.4
27/09/2011	Prise	13:15	4.0
27/09/2011	Rejet	14:50	6.4
27/09/2011	Contrôle	13:10	30.0
27/09/2011	Référence	14:12	41.3

5.3.1. Biomasse sestonique

En juin la biomasse sestonique était trois fois plus importante au point *rejet* par rapport au point *prise* et sept fois plus importante qu'aux points *contrôle* et *référence* deux points situés plus au large (figure 5.12). En septembre, la biomasse sestonique aux points *prise* et *rejet* était également plus forte qu'aux deux autres points de surveillance.

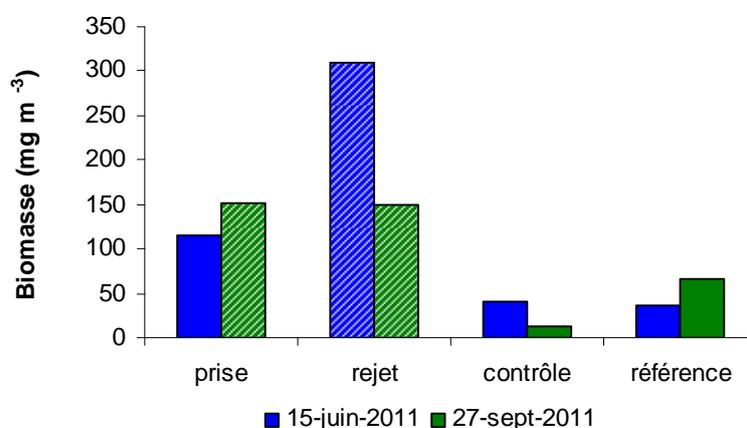


Figure 5.12 : Évolution de la biomasse sestonique au cours des deux missions de surveillance 2011

Comme expliqué plus haut, les rapports C/N > 6 (figure 5.13) indiquent 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...).

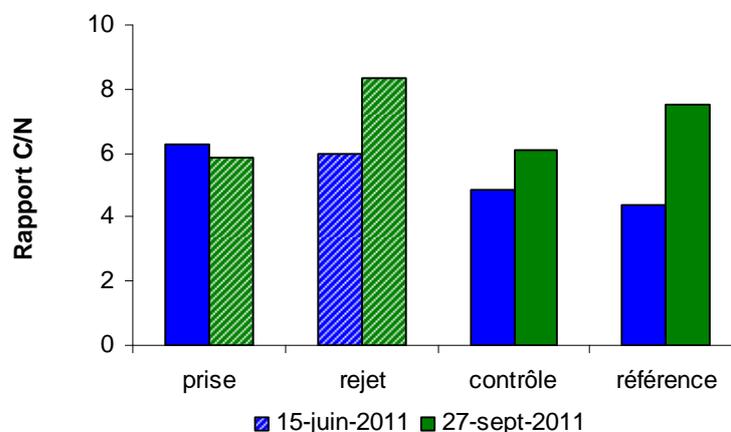


Figure 5.13 : Évolution du rapport C/N du seston au cours des deux missions de surveillance 2011

5.3.2. Abondance et composition du zooplancton

La mission de juin coïncidait avec la prolifération des noctiluques (452 à 16 722 ind. \cdot m⁻³, soit 12 à 81 % de l'holoplancton ; figures 5.14). Comme souvent les noctiluques sont plus abondants à la côte où ils s'accumulent, poussés par les vents et formant le phénomène connue sous le nom de « marée rouge » (ce qui fut le cas cette année comme en 2008 et 2010).

En septembre, l'abondance zooplanctonique était comprise entre 5 564 ind. \cdot m⁻³ au point *prise* et 1 245 ind. \cdot m⁻³ au point *contrôle*. Les proportions entre copépodes, autres holoplancton et méroplancton étaient toutefois du même ordre.

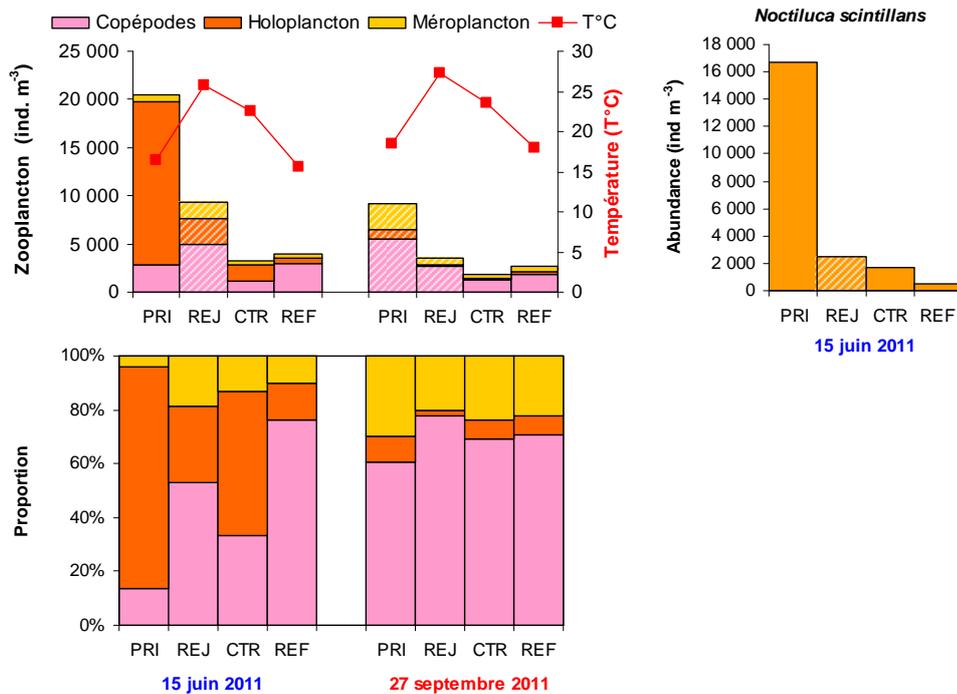


Figure 5.14 : Abondance et proportion des copépodes, de l'holoplancton et du méroplancton au cours des deux missions de surveillance 2011

5.3.2.1. L'holoplancton

Les copépodes

La proportion de copépodes adultes était à peu près similaire entre les points de prélèvement en juin, alors qu'en septembre elle était un peu plus basse au point *référence* (figure 5.15).

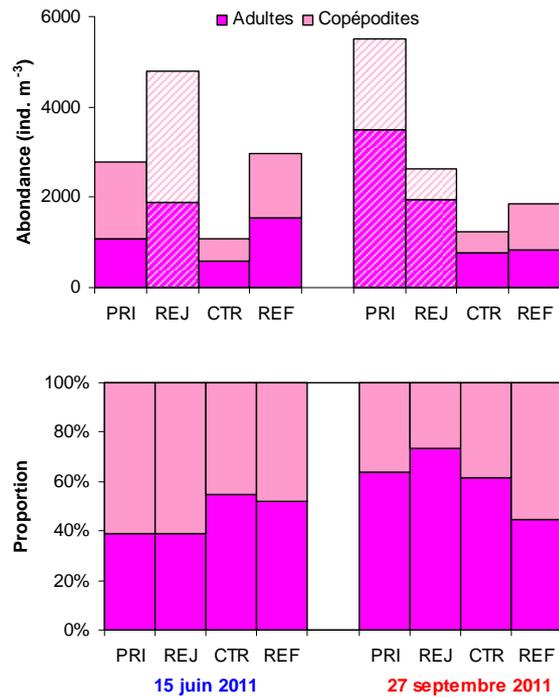


Figure 5.15 : Abondance et proportion entre copépodes adultes et copépodites au cours des deux missions de 2011

Les autres espèces holoplanctoniques

L'abondance des appendiculaires était plus faible en juin au point *contrôle* et *référence* (figure 5.16). En septembre les fortes abondances des appendiculaires et des chaetognathes observaient au point *prise* sont probablement surestimées.

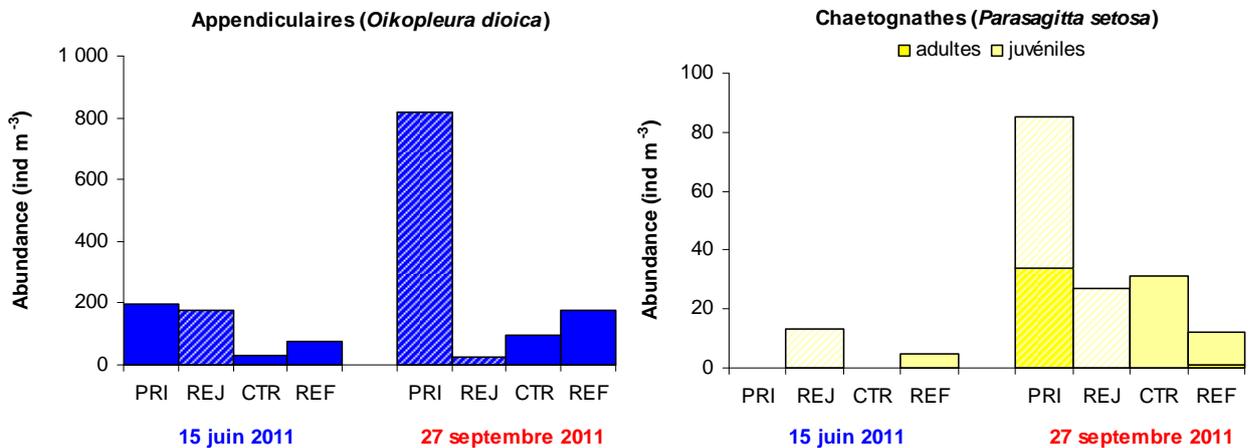


Figure 5.16 : Abondance des appendiculaires et des chaetognathes au cours des deux missions de 2011

Le Méroplancton

Les variations d'abondance du méroplancton lors des deux sorties en mer annuelles ne peuvent s'étudier que sur quelques groupes (figure 5.17). Ici encore l'abondance aux points *rejet* de juin et *prise* et *rejet* de septembre sont probablement surévaluées.

Les abondances des larves méroplanctoniques étaient en général de même ordre de grandeur. Les larves d'annélides et de cirripèdes étaient en général moins abondantes aux points *contrôle* et *référence* par rapport au point *prise* et *rejet*.

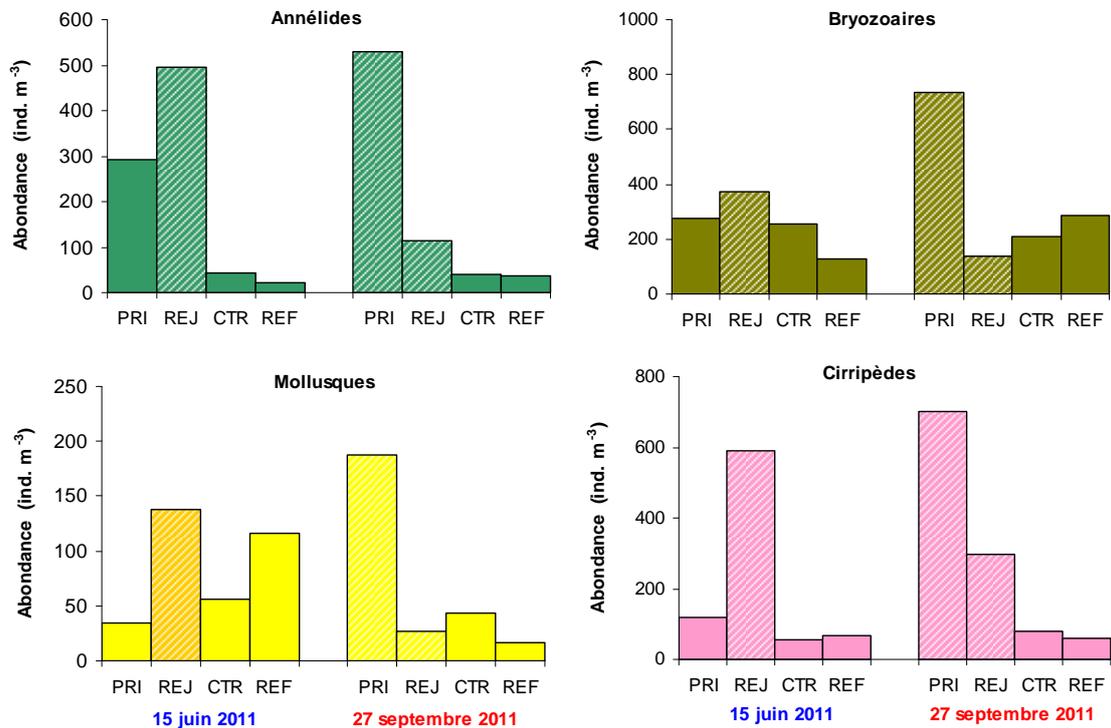


Figure 5.17 : Abondance des principaux groupes méroplanctoniques au cours des deux missions de 2011

5.4. Éléments de conclusion

En raison i) des rapports C/N souvent élevés (> 6) mesurés sur les échantillons filtrés de plancton, ii) du fait que la variance de l'abondance zooplanctonique explique moins de 20 % de la variance de la biomasse sestonique (poids sec), il est préférable de considérer cette biomasse comme une estimation de la charge particulaire $> 100 \mu\text{m}$ de la colonne d'eau plutôt que comme une estimation fiable de la biomasse zooplanctonique.

L'augmentation de la biomasse sestonique, ainsi que de l'abondance zooplanctonique depuis 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. En 2011 la biomasse sestonique mesurée sur l'année présentait des valeurs plus faibles au printemps que les deux années précédentes sans doute à cause d'une prolifération moins importante de *Phaeocystis globosa*.

L'abondance zooplanctonique était caractérisée par les organismes holoplanctoniques ($> 70 \%$), essentiellement des copépodes, à l'exception des mois de mai à août où une prolifération exceptionnelle (de part sa durée plus que son abondance) du dinoflagellé hétérotrophe, *Noctiluca scintillans*, représentait jusque 85 % du zooplancton global. La succession des espèces de copépodes au cours de l'année 2011 était conforme à celle des années précédentes. Cette année aura été marquée par la découverte sur le site de Gravelines d'une nouvelle espèce de copépode, *Pseudodiaptomus marinus*. Cette espèce d'origine

asiatique a très probablement été importée via les eaux de ballastes des navires transitants par les ports de Calais (où elle a également été découverte cette année) et de Dunkerque.

La surveillance du milieu récepteur des eaux chaudes de rejet montre que les points *contrôle* et *référence* sont assez semblables, tant du point de vue de la biomasse sestonique que de l'abondance et de la proportion des différents groupes zooplanctoniques. Les différences que l'on observe parfois avec le point *rejet* restent donc très localisées. La situation géographique particulière du point *canal* (à l'intérieur du port ouest de Dunkerque) par rapport aux deux points du large explique aussi les différences d'abondances que l'on peut observer sans que cela soit en lien avec les rejets d'eaux chaudes de la centrale.

6. ICTHYOPLANCTON ET LARVES DE CREVETTE GRISE

Auteur : Christophe Loots (RH – BL)

Collaborateurs : Elvire Antajan, Wilfried Louis, Emilie Rostiaux, Josselin Caboche, Mouloud Rais

6.1. Introduction

Les eaux côtières de Gravelines présentent les caractéristiques d'une mer épicontinentale enrichie en apports telluriques. Le site de Gravelines s'inscrit dans une famille d'aires côtières de nutrition, de frayères et de nourriceries, en particulier pour les espèces de poissons telles que la sole (*Solea solea*) et le sprat (*Sprattus sprattus*) ainsi que pour certains crustacés comme la crevette grise (*Crangon Crangon*).

La sole commune constitue l'une des grandes ressources halieutiques du secteur. Le site de Gravelines se situe à proximité du barycentre de la frayère de mer du Nord. Les œufs et larves de sole forment ainsi un élément caractéristique du plancton de Gravelines et les cycles annuels d'abondance sont bien reproductibles.

Le sprat, bien que n'étant pas exploité à Gravelines, est une espèce 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 également une espèce caractéristique du site. 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.

L'étude 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.

La présente étude est donc focalisée sur les stades méroplanctoniques (plancton temporaire) pour ces trois espèces, les œufs et larves de sole et de sprat et les zoés et mégalopes de la crevette grise.

6.2. Matériels et méthodes

6.2.1. Localisation des points de prélèvement

Les prélèvements sont réalisés en quatre points (cf. figure 1.3 et tableau 1.1):

- Trois points situés en mer le long d'une radiale, un point *côte* (313), un point *contrôle* (324) et un point *large* (318).
- Un point situé à l'entrée du canal d'amenée, au niveau du pont enjambant le canal de prise d'eau, appelé point *prise* (325).

6.2.2. Méthodes de prélèvement

Pour les points *côte*, *contrôle* et *large*, les prélèvements ont été effectués avec un filet bongo muni de deux filets coniques (diamètre d'ouverture : 60 cm ; maille de 500 µm ; Smith et Richardson, 1977)¹.

¹ Smith P.E., Richardson S. 1977. Standard techniques for pelagic fish egg and larval surveys. FAO Fisheries Technics Pap. 175:100 pp.

Pour le point *prise*, les prélèvements ont été effectués à l'aide d'un filet cylindro-conique (diamètre d'ouverture: 60 cm ; maille de 500 μ m).

Deux répliquats ont été réalisés en chaque point. Les volumes filtrés (V_f) ont été calculés à partir des indications de volucompteurs kc-denmark montés à l'entrée des filets selon la formule :

$$V_f = NTrs \times \alpha \times S$$

avec NTrs le nombre de tours de volucompteur, α le coefficient de conversion du volucompteur (ici $\alpha=0,3$) et S la surface d'ouverture du filet (ici $S=0,28$).

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

6.2.3. Campagnes d'échantillonnage

Il est prévu quatre campagnes par an, deux campagnes où les quatre points sont échantillonnés (avant 2002 seuls les trois points de la radiale étaient échantillonnés durant ces campagnes), qui alternent avec deux campagnes où seul le point *prise* est échantillonné. Ces quatre campagnes sont réalisées de fin mars à mai, afin de couvrir au mieux la période de reproduction de la sole et du sprat, ainsi que la présence des zoés et mégalopes de crevette grise.

En 2011, les campagnes se sont déroulées entre le 31 Mars et le 20 Mai (tableau 6.1) pour tenir compte comme les années précédentes de l'évolution des périodes de ponte, plus précoces depuis quelques années (décalage d'une quinzaine de jours à un mois environ).

Tableau 6.1. Caractéristiques des campagnes d'échantillonnage de l'ichtyoplancton et des larves de crevette grise sur le site de Gravelines en 2011

N° de campagne	Date	Point	Répliquats	Heure du prélèvement	Température surface (°C)	Salinité	Durée du trait (min)	Volume filtré (m ³)
253	31-mars	Prise	1	10h32	9,2	34,0	5	23,0
			2	10h53				20,5
254	15-avr	Prise	1	09h40	11,1	34,1	5	14,2
			2	09h57				26,6
		Côte	1	11h21	11,8	34,2	3	53,3
			2					53,8
Contrôle	1	11h44	11,2	34,2	2	36,2		
	2					14,3		
Large			1	12h04	10,3	34,3	2	65,1
			2					65,6
255	29-avr	Prise	1	10h42	12,5	34,2	10	92,5
			2					94,0
257	20-mai	Prise	1	13h50	14,9	33,8	10	108,7
			2	14h08				99,6
		Côte	1	16h15	15,0	33,9	10	38,1
			2					41,4
Contrôle	1	16h00	14,7	34,0	10	36,5		
	2					46,7		
Large			1	15h10	13,9	34,2	10	79,6
			2					88,6

6.2.4. Conservation, identification et dénombrement

Les échantillons collectés ont été conservés dans des flacons de 2 litres pré-remplis d'une sauce de conservation Battaglia (Mastail et Battaglia, 1978 ; Lelièvre *et al.*, 2010)^{1, 2} contenant du formol concentré à 0,9%.

Les œufs et larves de sole et de sprat ainsi que les stades larvaires (zoés et mégalopes) de crevette grise ont été triés, identifiés et comptés sous loupe binoculaire sur tout ou une partie de l'échantillon. Pour les œufs, deux stades ont été distingués, un stade 'Non Embryonné' (absence d'un embryon formé) et un stade 'Embryonné' (présence d'un embryon formé). Lorsque l'échantillon était trop concentré, un fractionnement à la boîte de Motoda (Motoda, 1983)³ a été réalisé de manière à obtenir un sous-échantillon contenant au moins 100 individus pour chaque groupe identifié (œufs embryonnés de sprat, larves de sole...). Le nombre d'individus comptés a ensuite été ramené au volume total de l'échantillon (ind.m⁻³).

L'identification des œufs et larves de sole et de sprat s'est faite d'après Russel (1976)⁴ et l'identification des stades zoés et mégalopes de crevette grise d'après Martin (2001)⁵.

6.3. Résultats- Discussion

6.3.1. La sole (*S. solea*)

Les abondances des œufs et des larves de sole pour l'année 2011 sont présentées dans le tableau 6.2 et la figure 6.1. En 2011, les abondances les plus fortes en œufs ont été observées lors des campagnes du 31 mars au point *prise* et du 15 avril pour le point *contrôle*. Durant ces campagnes, les œufs non-embryonnés dominaient à plus de 50%. Des abondances très faibles ont été observées lors des campagnes du 29 avril et du 20 mai. Les larves de sole ont été observées en abondance très faible uniquement au point *prise* lors de la campagne du 15 avril 2011.

Les abondances totales d'œufs et de larves de sole au point *prise* depuis 2006 sont présentées respectivement en figures 6.2 et 6.3. En 2011, il semble que la période de ponte ait été en avance par rapport aux autres années puisque les abondances les plus fortes ont été observées fin mars alors que les années précédentes elles avaient été observées plutôt en avril-mai. Les niveaux d'abondances observés en 2011 étaient dans la moyenne de ceux observés depuis 2006. Le maximum observé était supérieur à celui observé en 2006, 2009 et 2010 et inférieur à celui observé en 2007 et 2008. En 2011, les faibles niveaux d'abondances observés des larves de sole étaient comparables à ceux observés depuis 2009.

¹ Mastail, M., Battaglia, A. 1978. Amélioration de la conservation des pigments du zooplancton. Cons. Inter. Explor. Mer (CIEM), Comité de l'Océanographie biologique, L : 20.

² Lelièvre, S., Verrez-Bagnis, V., Jérôme, M., Vaz, S. 2010. PCR-RFLP analyses of formalin-fixed fish eggs for the mapping of spawning areas in the Eastern Channel and Southern North Sea, Journal of Plankton Research; doi: 10.1093/plankt/fbq067.

³ Motoda, S. 1959. Devices of simple plankton apparatus. Memoirs. Faculty of fisheries. Hokkaido University 7, 73-94.

⁴ Russel, F.S. 1976. The Eggs and Planktonic Stages of British Marine Fishes. Academic Press, London-New York-San Francisco, 524 pp.

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

Tableau 6.2. Abondances (ind.m⁻³) des œufs (NE, non embryonnés ; E, embryonnés) et des larves de sole sur le site de Gravelines en 2011

Date	Point	Réplicats	Total œufs	Œufs NE	Œufs E	Larves
31-mars	Prise	1	1,17	0,78	0,39	0,00
		2	1,80	1,17	0,63	0,00
		Moyenne	1,49	0,98	0,51	0,00
15-avr	Prise	1	0,63	0,35	0,28	0,07
		2	0,64	0,34	0,30	0,04
		Moyenne	0,64	0,35	0,29	0,06
	Côte	1	1,02	0,64	0,38	0,00
		2	0,95	0,52	0,43	0,00
		Moyenne	0,99	0,58	0,41	0,00
	Contrôle	1	1,68	0,91	0,77	0,00
		2	3,28	1,95	1,33	0,00
		Moyenne	2,48	1,43	1,05	0,00
	Large	1	1,08	0,68	0,40	0,00
		2	1,12	0,78	0,34	0,00
		Moyenne	1,10	0,73	0,37	0,00
29-avr	Prise	1	0,17	0,09	0,08	0,00
		2	0,14	0,07	0,07	0,00
		Moyenne	0,16	0,08	0,08	0,00
20-mai	Prise	1	0,04	0,03	0,01	0,00
		2	0,01	0,00	0,01	0,00
		Moyenne	0,03	0,02	0,01	0,00
	Côte	1	0,03	0,00	0,03	0,00
		2	0,05	0,00	0,05	0,00
		Moyenne	0,04	0,00	0,04	0,00
	Contrôle	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,11	0,11	0,00	0,00
		Moyenne	0,06	0,06	0,00	0,00
	Large	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

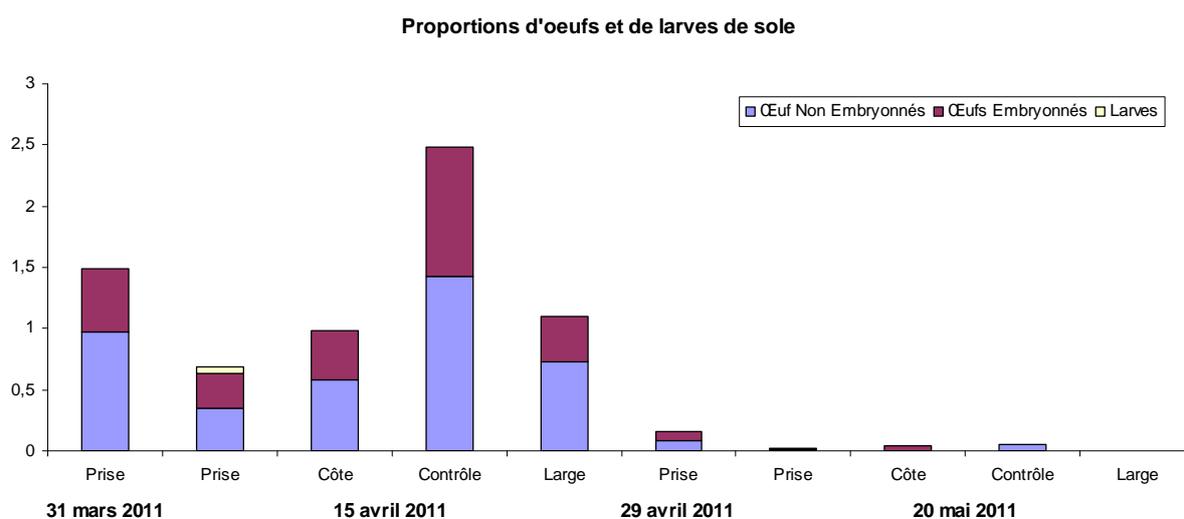


Figure 6.1 Abondances totales (moyennes des deux réplicats en ind.m⁻³) des œufs et larves de sole sur le site de Gravelines en 2011 en fonction de la date et du point de prélèvement

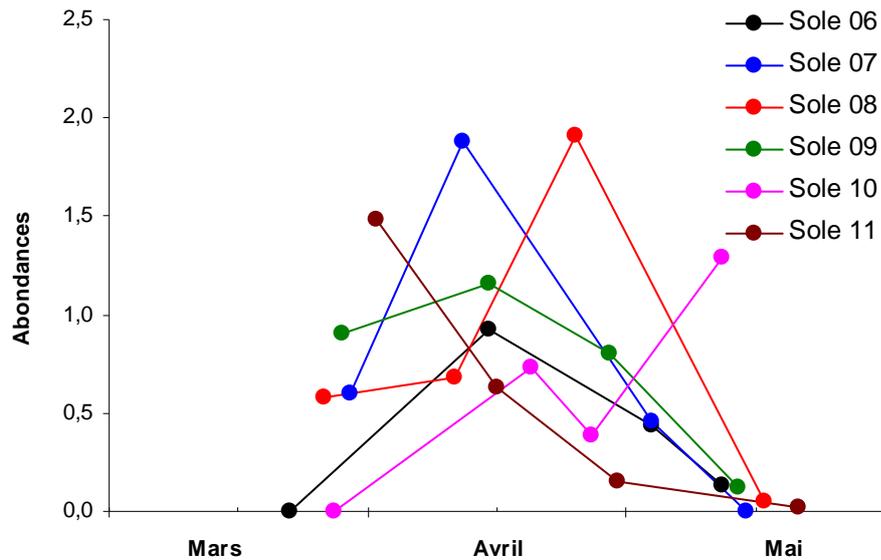


Figure 6.2. Abondances totales (moyennes sur les deux réplicats en ind.m⁻³) des oeufs de sole au point prise sur le site de Gravelines depuis 2006

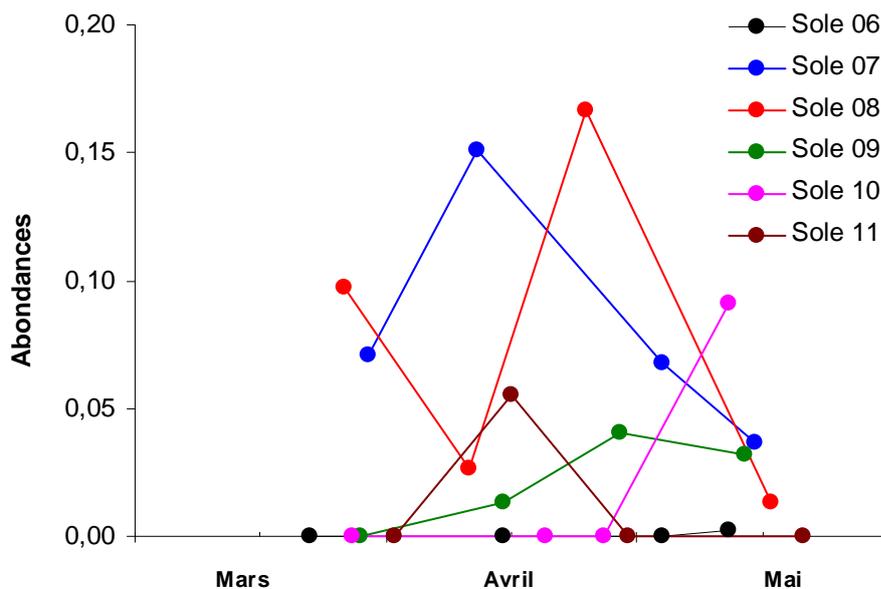


Figure 6.3 Abondances totales (moyennes des deux réplicats en ind.m⁻³) des larves de sole au point prise sur le site de Gravelines depuis 2006

6.3.2. Le sprat (*S. sprattus*)

Les résultats des comptages des oeufs et larves de sprat pour l'année 2011 sont présentés dans le tableau 6.3 et la figure 6.4. En 2011, des abondances importantes d'oeufs et de larves de sprat ont été observées lors des 4 campagnes réalisées. Les abondances maximales d'oeufs observées l'ont été lors des 3 premières campagnes. Durant ces campagnes, les oeufs embryonnés dominaient généralement à l'exception des points *prise* et *contrôle* du 15 avril. Les abondances maximales de larves observées l'ont été lors de la dernière campagne et notamment au point *côte* et au point *contrôle*.

Tableau 6.3. Abondances (ind.m⁻³) des œufs (NE, non embryonnés ; E, embryonnés) et des larves de sprat sur le site de Gravelines en 2011

Date	Point	Réplicats	Total œufs	Œufs NE	Œufs E	Larves
31-mars	Prise	1	1,00	0,39	0,61	0,00
		2	0,78	0,15	0,63	0,00
		Moyenne	0,89	0,27	0,62	0,00
15-avr	Prise	1	2,05	1,41	0,64	0,00
		2	1,32	1,13	0,19	0,00
		Moyenne	1,69	1,27	0,42	0,00
	Côte	1	0,56	0,30	0,26	0,00
		2	0,58	0,28	0,30	0,00
		Moyenne	0,57	0,29	0,28	0,00
	Contrôle	1	0,72	0,39	0,33	0,00
		2	2,17	1,19	0,98	0,00
		Moyenne	1,45	0,79	0,66	0,00
	Large	1	0,97	0,49	0,48	0,00
		2	0,96	0,40	0,56	0,00
		Moyenne	0,97	0,45	0,52	0,00
29-avr	Prise	1	1,20	0,28	0,92	0,00
		2	1,58	0,65	0,93	0,01
		Moyenne	1,39	0,47	0,93	0,01
20-mai	Prise	1	0,04	0,00	0,04	0,19
		2	0,08	0,01	0,07	0,24
		Moyenne	0,06	0,01	0,06	0,22
	Côte	1	0,08	0,00	0,08	0,89
		2	0,22	0,05	0,17	1,30
		Moyenne	0,15	0,03	0,13	1,10
	Contrôle	1	0,38	0,08	0,30	0,69
		2	0,17	0,13	0,04	0,60
		Moyenne	0,28	0,11	0,17	0,65
	Large	1	0,39	0,19	0,20	0,19
		2	0,28	0,21	0,07	0,14
		Moyenne	0,34	0,20	0,14	0,17

Proportions d'œufs et de larves de sprat

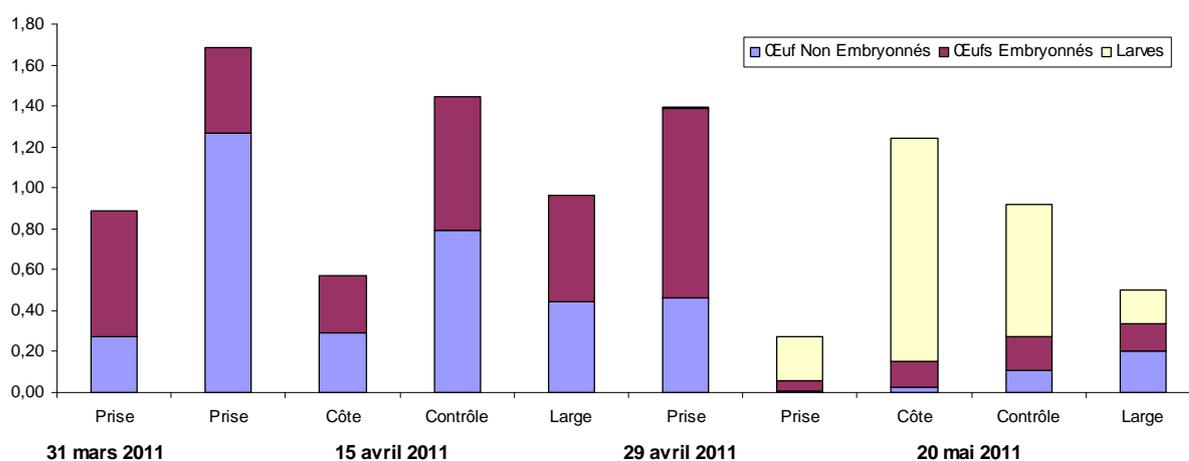


Figure 6.4. Abondances totales (moyennes sur les deux répliquats en ind.m⁻³) des œufs et des larves de sprat sur le site de Gravelines en 2011 en fonction de la date et du point de prélèvement

Les abondances totales d'œufs et de larves de sprat au point *prise* depuis 2006 sont présentées en figures 6.5 et 6.6. Pour les œufs, les abondances observées en 2011 étaient comparables aux abondances observées en 2006, 2007 et 2008 qui étaient plus faibles que celles observées en 2009 et 2010. Pour les larves, le maximum observé en 2011 au mois de mai était largement supérieur aux abondances observées depuis 2006.

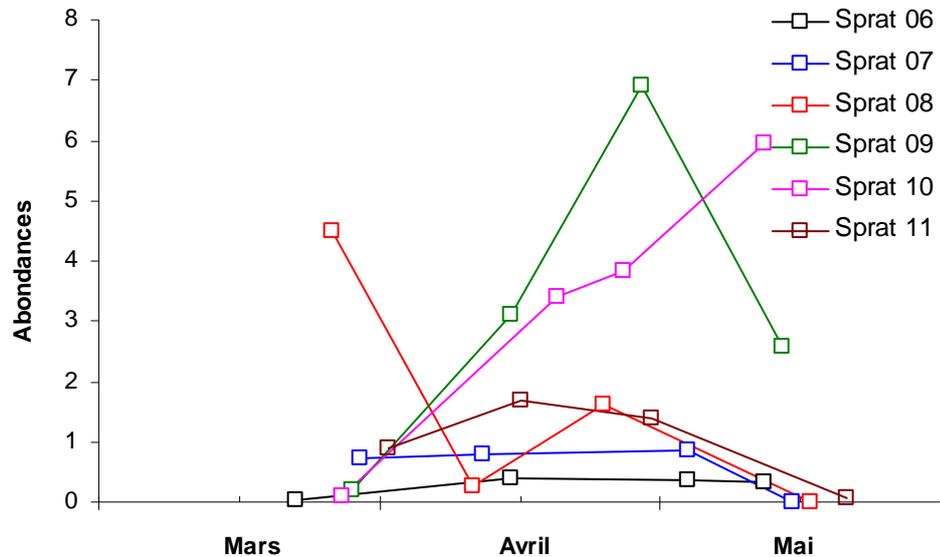


Figure 6.5 Abondances (moyennes sur les deux réplicats en ind.m^{-3}) des œufs de sprat au point prise sur le site de Gravelines depuis 2006

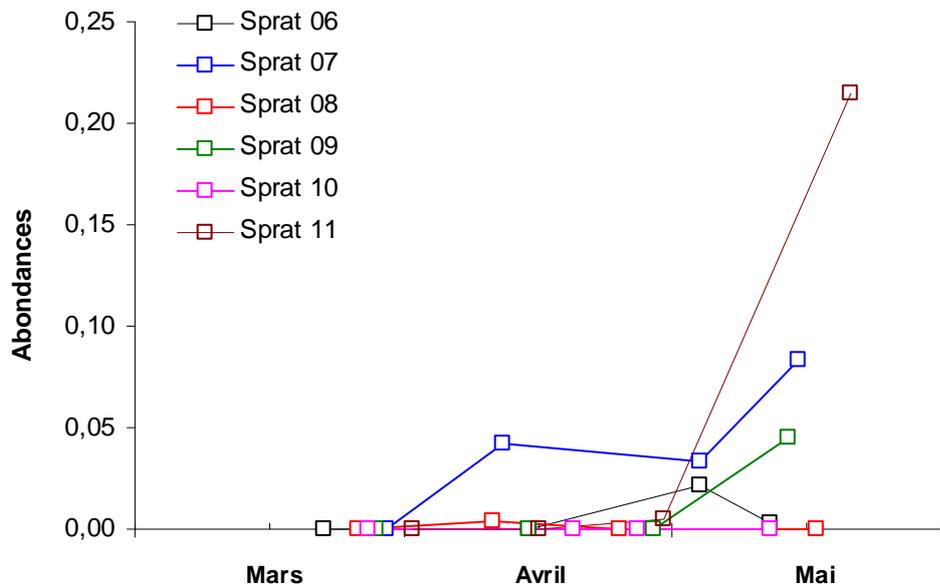


Figure 6.6 Abondances (moyennes sur les deux réplicats en ind.m^{-3}) des larves de sprat au point prise sur le site de Gravelines depuis 2006

6.3.3. La crevette grise (*C. crangon*)

Les abondances de zoés et mégaloques de crevette grise sur le site de Gravelines en 2011 sont présentées dans le tableau 6.4 et la figure 6.7. Les plus fortes abondances observées l'ont été au point *prise* lors des campagnes du 31 mars et 15 avril et aux points *prise*, *contrôle* et *large* lors de la dernière campagne. Durant les quatre campagnes, le stade zoé dominaient largement par rapport au stade mégaloque. Les abondances du stade mégaloque étaient légèrement supérieures lors de la dernière campagne au mois de mai.

Tableau 6.4. Abondances (ind.m⁻³) de zoés et mégaloques de crevette grise sur le site de Gravelines en 2011

Date	Point	Réplicats	Zoés	Mégaloques
31-mars	Prise	1	3,26	0,09
		2	4,34	0,00
		Moyenne	3,80	0,04
15-avr	Prise	1	6,28	0,00
		2	4,32	0,00
		Moyenne	5,30	0,00
	Côte	1	0,53	0,02
		2	0,52	0,04
		Moyenne	0,52	0,03
	Contrôle	1	1,16	0,06
		2	2,93	0,28
		Moyenne	2,04	0,17
	Large	1	3,23	0,00
		2	1,51	0,00
		Moyenne	2,37	0,00
29-avr	Prise	1	0,97	0,04
		2	1,00	0,02
		Moyenne	0,99	0,03
20-mai	Prise	1	3,86	0,43
		2	7,75	0,64
		Moyenne	5,81	0,54
	Côte	1	2,57	0,29
		2	1,64	0,31
		Moyenne	2,11	0,30
	Contrôle	1	10,58	0,38
		2	8,75	0,34
		Moyenne	9,66	0,36
	Large	1	6,32	0,05
		2	6,50	0,05
		Moyenne	6,41	0,05

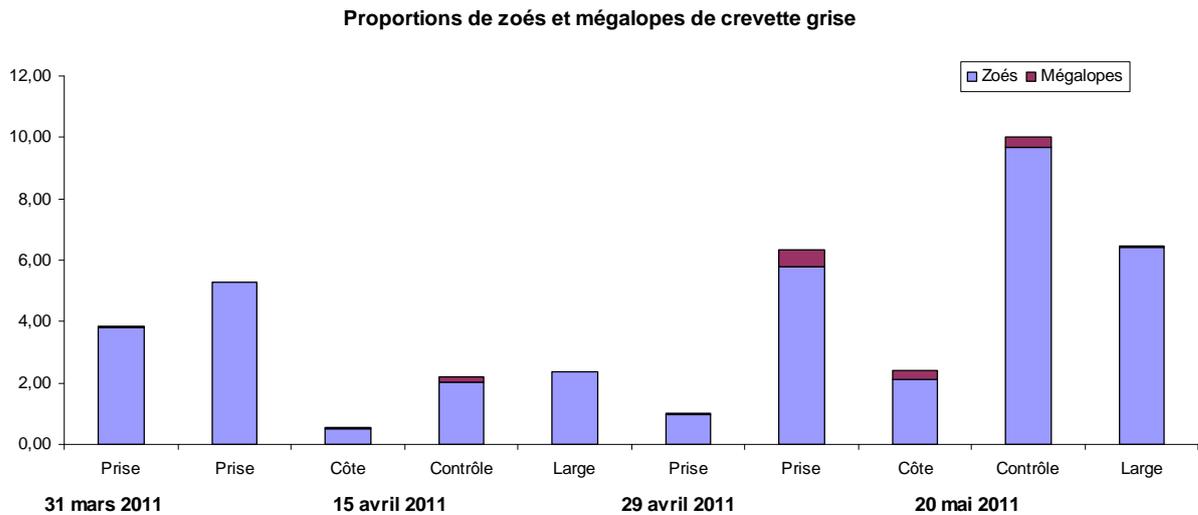


Figure 6.7 Abondances (moyennes sur les deux réplicats en ind.m⁻³) des zoés et mégalopes de crevette grise sur le site de Gravelines en 2011 en fonction de la date et du point de prélèvement

Les abondances de zoés et mégalopes pour le point *prise* depuis 2006 sont présentées en figure 6.8 et 6.9. Les abondances de zoés observées au point *prise* en 2011 sont les plus élevées et largement supérieures à celles observées depuis 2006 à l'exception de la période de fin avril. Pour les mégalopes, les abondances observées jusque fin avril sont faibles et comparables à celles observées depuis 2006. En revanche, les abondances observées en mai en 2011 sont supérieures à celles observées les années précédentes.

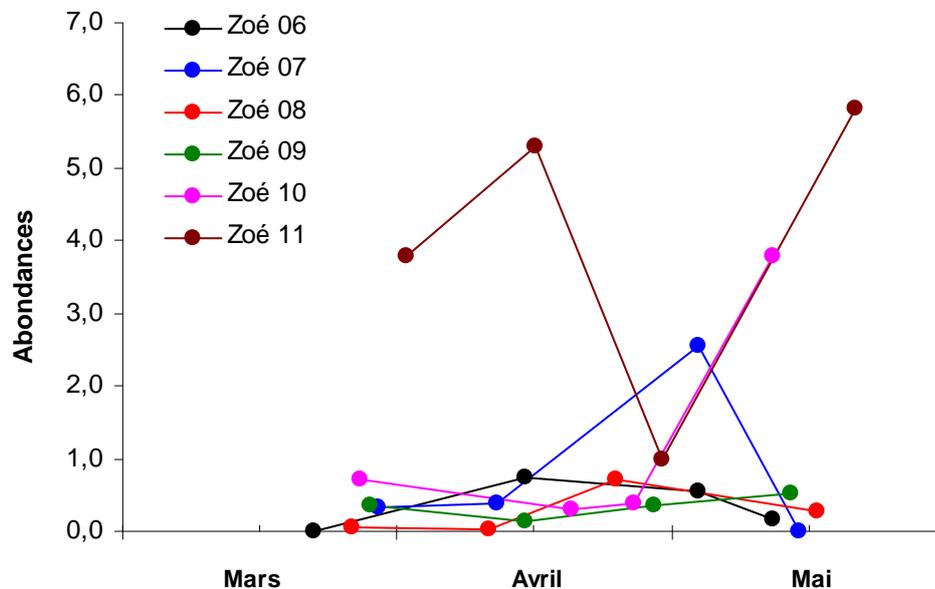


Figure 6.8 Abondances (moyennes sur les deux réplicats en ind.m⁻³) des zoés de crevette grise au point prise de Gravelines depuis 2006

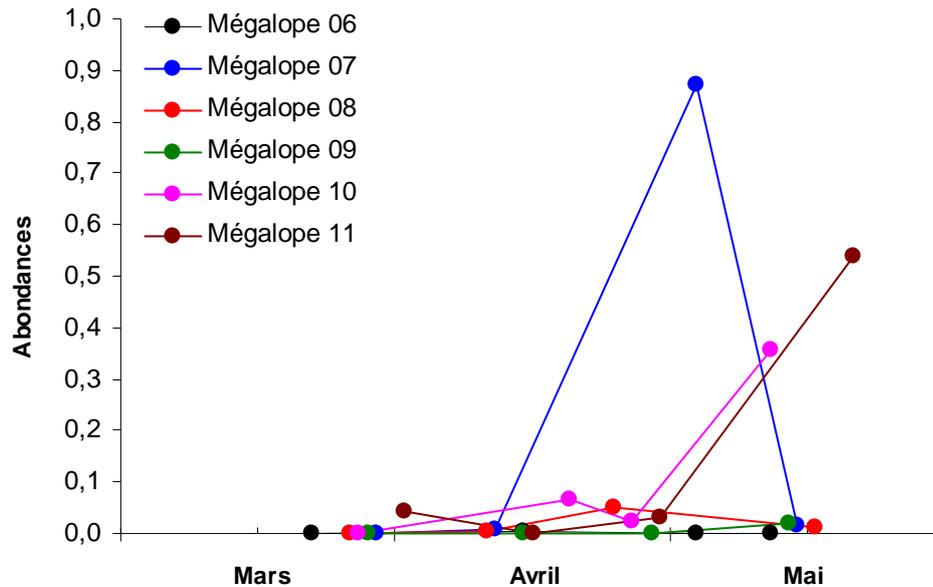


Figure 6.9 Abondances (moyennes sur les deux réplicats en ind.m-3) des mégaloques de crevette grise au point prise de Gravelines depuis 2006

6.4. Eléments de conclusion

Contrairement à 2010, les abondances d'œufs de sole les plus fortes ont été observées au début de la période d'échantillonnage ce qui peut suggérer une ponte plus précoce en 2011 et une couverture insuffisante de la période de ponte par l'échantillonnage. Comme depuis 2009, les abondances de larves observées en 2011 ont été très faibles.

Pour le sprat, l'échantillonnage a permis de montrer la succession des œufs puis des larves au cours de la période étudiée. Les abondances d'œufs observées au point *prise* étaient comparables aux valeurs faibles des années précédentes. En revanche, les abondances des larves ont été parmi les plus fortes observées depuis 2006.

Pour la crevette grise, les abondances de zoés étaient largement supérieures à celles des mégaloques tout le long de la période échantillonnée. Les abondances de zoés et de mégaloques observées en 2011 ont été parmi les plus fortes observées depuis 2006 au point *prise*.

Une analyse rapide de toutes les espèces d'œufs et de larves de poissons présentes dans les échantillons montre des quantités non négligeables d'autres espèces d'œufs (motelles, limande, flet, sardine, anchois...) et de larves (hareng, flet) qu'il serait nécessaire de prendre en compte si l'on veut avoir une vision plus complète de la diversité ichtyoplanctonique présente sur le site de Gravelines.

La surveillance de l'ichtyoplancton n'a pas permis de déceler une évolution anormale de l'abondance et de la succession saisonnière des larves de sole, sprat et crevettes grises qui proviendrait du fonctionnement de la centrale. Cependant, l'échantillonnage tel qu'il est réalisé actuellement ne permet pas de couvrir entièrement la période larvaire de la sole, du sprat et de la crevette grise.

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 16 juin 2011. 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. Terminologie utilisée

Les termes utilisés en écologie benthique ont énormément évolué depuis 1973. Récemment, la multiplication des textes officiels gouvernementaux (notamment les textes de classifications en écologie) a montré un mésusage des termes écologiques ; alors qu'il est indispensable d'avoir une terminologie commune pour les notions les plus couramment employées par le plus grand nombre. Pour le présent chapitre (et le suivant) les définitions suivantes ont été adoptées :

- Population : ensemble des individus d'une même espèce sujets aux mêmes événements démographiques.

- Peuplement : ensemble des populations d'un même niveau taxonomique qui vivent dans le même biotope et qui crée une entité relativement stable et homogène étendue sur une large aire (par exemple, le peuplement des bivalves des sables fins infralittoraux).
- Communauté : ensemble des différentes populations vivant dans des conditions écologiques moyennes dans un endroit donné.
- Assemblage : ensemble des espèces caractérisant un groupe de stations ayant une forte similitude faunistique.

7.4. Résultats

7.4.1. Composition bionomique

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

- 1 Némerte
- 9 Annélides Polychètes
 - 3 errantes
 - 6 sédentaires
- 4 Mollusques
 - 1 Gastéropode
 - 3 Bivalves
- 14 Crustacés
 - 3 Isopodes
 - 8 Amphipodes
 - 1 Mysidacé
 - 2 Décapodes
- 1 Insecte

Ces 29 taxons correspondent à 7152 individus récoltés sur les trois radiales (tableau 7.1). Ce résultat est en nette progression par rapport à 2010 (2558 individus récoltés). Depuis 2008, le nombre d'espèces reste stable : 28 taxons en 2008, 29 taxons en 2009, 28 en 2010 et donc 29 en 2011. Si au niveau de la richesse spécifique on peut noter une certaine stabilité sur les 4 dernières années, il n'en va pas de même pour la densité globale, les effectifs sont été en chute libre entre 2008 et 2010. En 2011 les effectifs progressent à nouveau. La très forte diminution enregistrée en 2010 était imputable à plusieurs espèces mais surtout à *Hydrobia ulvae* : 4 exemplaires récoltés contre près de 3000 en 2009. En 2011, près de 1300 *Hydrobia ulvae* ont été récoltés.

En 2010 on avait noté une récolte inhabituelle de très jeunes individus de *Crangon crangon* (63 individus d'une taille de 7 à 12 mm) sur 6 des 10 points à tous les niveaux que nous avons lié à des modifications de la structure du sédiment. En 2011, 7 individus seulement ont été récoltés sur 5 points.

Tableau 7.1 Nombre d'individus (par 0,25 m²) des peuplements benthiques récoltés depuis 2002

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
2009	3 305	1 224	5 541	29	10 070
2010	1046	363	1149	28	2 558
2011	3444	608	3000	29	7152

Entre 2003 à 2007 *Hydrobia ulvae* représentait plus de 75 % du total des individus récoltés (tableau 7.2). En 2008 elle représentait 23 % des effectifs, 6 % en 2009 (absente sur la radiale 2) et seulement 0.35 % en 2010 (présente uniquement aux points E et F). Cette situation semblait n'être localisée que sur la plage de Petit Fort Philippe. Des analyses effectuées dans la région de Calais n'avaient pas montré de chute aussi brutale des populations de cette espèce. En 2011, *H. ulvae* était présente sur 7 des 10 points de prélèvement et représentait 17,9 % des effectifs. Il semblerait que la population amorce un retour vers une situation plus habituelle.

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 %
2009	6,2 %
2010	0,35 %
2011	17,9%

Les populations de *Corophium arenarium* et de *Bathyporeia pilosa* qui avaient augmenté de 2006 à 2009 puis fortement régressé en 2010, reviennent à des niveaux équivalents en 2011 dans la partie ouest de l'estran (radiales 1 et 2).

Les populations des espèces à forte affinité pour les eaux saumâtres (*Enchytraeidae*, *Enoplus brevis* et *Ophelia ratkhei* et *Hediste diversicolor*) après avoir régressé de 2006 à 2009 avaient progressé en 2010. En 2011 un seul individu de *Hediste diversicolor* a été récolté sur la radiale 1.

7.4.2. Radiale 1

7.4.2.1. Caractéristiques granulométriques du sédiment

Point E

Des placages de vase sont toujours présents, ils sont 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 sont 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'était encore accentué. En 2009, le sédiment s'était fortement envasé en liaison avec la forte augmentation de la densité de la population de *Corophium arenarium* par effet de bioturbation (tableau 7.3 et figure 7.1). En 2010, la forte diminution des densités de *Corophium arenarium* était concomitante à une diminution de la teneur en pélites. La tendance s'inverse donc en 2011 : augmentation de la densité de *Corophium arenarium* et de la teneur en pélites.

Tableau 7.3 Caractéristiques granulométriques au point E de la radiale 1 depuis 1998

% pondéraux	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Pélites	4,58	3,03	0,62	0,43	1,85	0,23	0,09	0,23	1,70	3,22	0,52	4,05	0,17	1,94
Sables fins	38,28	42,63	35,26	43,38	23,91	33,74	28,41	25,73	24,72	29,13	39,83	38,07	42,93	41,71
Sables moyens	50,33	50,76	52,44	53,00	63,13	61,51	67,47	65,19	70,18	61,68	57,33	55,11	54,50	53,96

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. En 2011 elle représente encore près de 96 % du sédiment.

Point F

Ce point présente comme à l'accoutumée une composition granulométrique proche de celle du point E, toutefois le sédiment est moins envasé qu'au 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. Le sédiment à ces 2 points est semblable : au point G, les sables fins représentent près de 60 % des sédiments et les sables moyens seulement 39 %, et au point H ces deux fractions sédimentaires étaient en proportion équivalentes (respectivement 57 et 41 %).

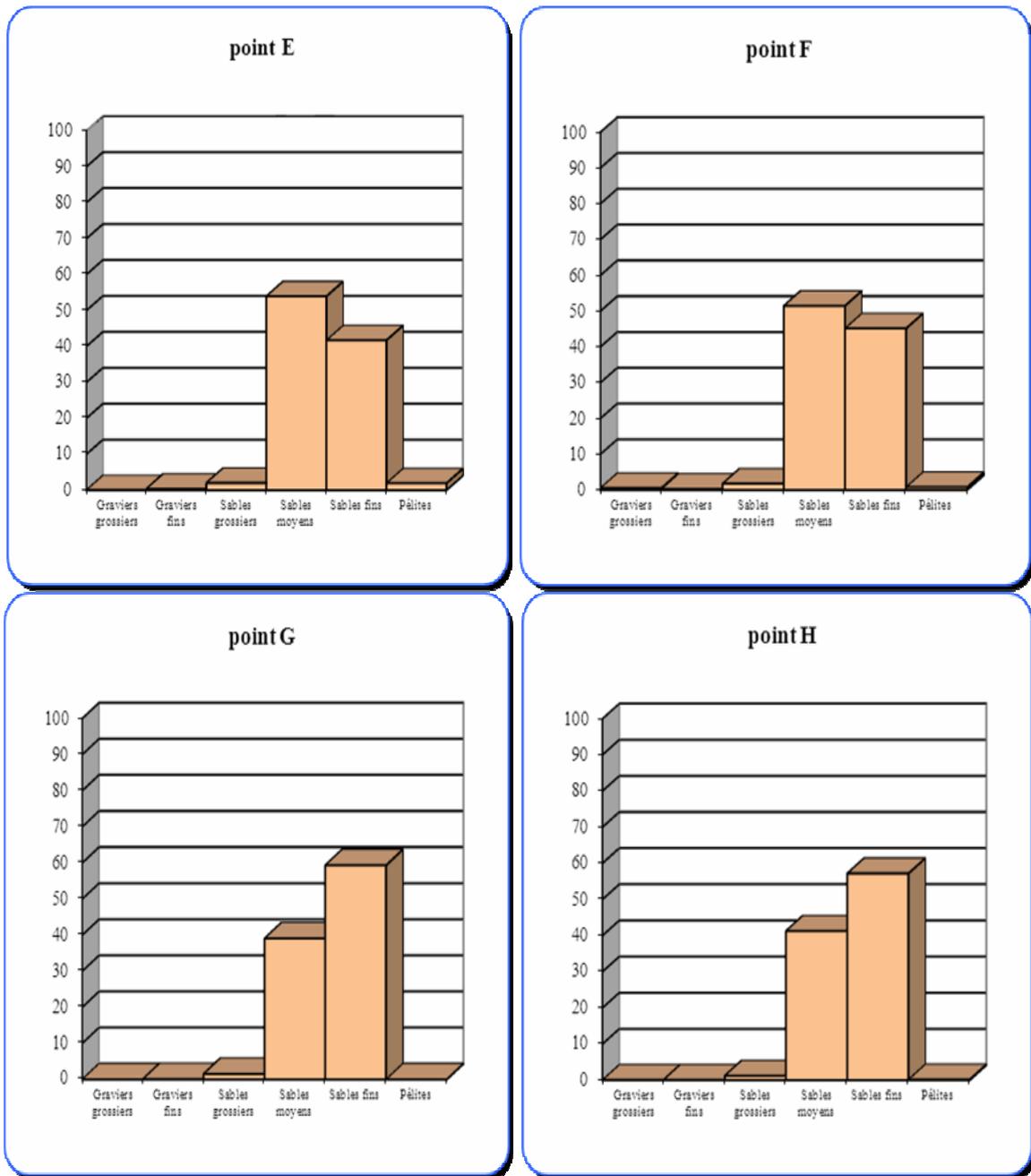


Figure 7.1 Radiale 1, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

7.4.2.2. Densité et biomasse des peuplements benthiques

Point E

En 2008, la population de *Hydrobia ulvae* au point E avait chuté considérablement. Ce phénomène s'était confirmé en 2009. La population ne représentait plus, en 2009, que 19 % des effectifs. En 2010, 3 individus ont été récoltés à ce point. En 2011, la densité est de 808 ind. \cdot m⁻² (tableau 7.4 et annexe 7.2). De 2003 à 2007, les densités observées pour cette espèce avaient été exceptionnelles (> 27 000 ind. \cdot m⁻²) avec un maximum de 57 828 ind. \cdot m⁻² observé en 2006. Un niveau de densité équivalent à celui de 2003 avait été trouvé en 1989 (25 740 ind. \cdot 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). 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. Elle remontait à 11 872 ind. \cdot m⁻² en 2009 grâce à l'augmentation de la population de *Corophium arenarium*. La densité de *Corophium arenarium* n'était plus que de 42 ind. m⁻² en 2010. La densité remonte à 4436 ind. \cdot m⁻² en 2011 la deuxième plus forte valeur depuis 12 ans.

Tableau 7.4 Densité (ind. \cdot m⁻²) des espèces dominantes au point E de la radiale 1 depuis 2000

Densité (ind. \cdot m ⁻²)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<i>Hydrobia ulvae</i>	72	8	120	27 416	53 312	43 420	57 828	54 612	4 792	2268	12	808
<i>Spio martinensis</i>	0	40	20	0	0	0	0	0	588	0	156	236
<i>Pygospio elegans</i>	0	0	0	8	0	0	0	92	0	192	0	0
<i>Eurydice affinis</i>	4	0	20	12	16	420	468	88	0	20	12	576
<i>Bathyporeia pilosa</i>	0	8	0	0	0	12	1 132	896	0	0	0	508
<i>Corophium arenarium</i>	20	120	40	100	4	156	368	1428	528	9376	42	4436

La biomasse globale enregistrée en 2008 avait fortement régressé (2,5 g \cdot m⁻²). En 2009 elle était deux fois plus importante (5,6 g \cdot m⁻²), en 2010 elle n'était plus que 0,07 g \cdot m⁻². En 2011, elle atteint 2.9 g \cdot m⁻² (annexe 7.3). 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 souvent liées à la densité de *Hydrobia ulvae* et de *Corophium arenarium* et à la structure démographique de leurs populations.

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 2009 *Macoma balthica* était absente mais *Cerastoderma edule* représentait plus de 96 % de la biomasse.

En 2008, la population de *Cerastoderma edule* avait progressé par rapport à 2007 avec la présence de jeunes individus, elle est restée au même niveau en 2009 (tableau 7.5 et annexe 7.2). En 2006, on avait noté un recrutement plus important. Deux cohortes étaient présentes : la cohorte 2005 et la cohorte 2006. En 2007 la densité de population avait fortement diminué ; depuis 2008 la population semble se stabiliser 52 ind. \cdot m⁻² en 2008, 60 en 2009, 72 en 2010 et 52 en 2011. Il faut noter que cette population est exploitée par les pêcheurs à pied.

Macoma balthica avait été très abondante à la fin des années 1990 et au début des années 2000. Depuis 2006 elle était en régression et n'avait pas été récoltée en 2009. En 2010, l'espèce est à nouveau présente, la population est constituée de jeunes individus de moins de 6 mm. Cette population ne s'est pas maintenue en 2011 (tableau 7.5).

Comme au point E la régression de la population de *Hydrobia ulvae* observée en 2008 et en 2009 s'était confirmée en 2010. En 2011, on note également une évolution parallèle des populations de *H. ulvae* aux points E et F. 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. \cdot m⁻², en 1998 contre 14 084 ind. \cdot 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. \cdot m⁻² pour une biomasse de 2,2 mg \cdot 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 confirmée en 2003, la densité étant du même ordre que dans la période 1998-2000 (11 448 ind. \cdot 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. \cdot m⁻² au point F. Les résultats de 2007 confirmaient cette tendance même si la densité était en augmentation. Entre 2008 et 2010, la population a été quasi absente du point F, en 2011 la population se réinstalle à ce point.

De 2006 à 2008, *Hediste diversicolor* n'a plus été récoltée à ce point, tout comme les autres espèces à affinité « eaux saumâtres » (les *Enchytraeidae* et *Enoplus brevis*). En 2009, un individu avait été récolté au point F et en 2010, 4 individus avaient été récoltés. En 2011 on revient à une situation similaire à celle de 2006 et 2007.

Tableau 7.5 Densité (ind. \cdot m⁻²) des espèces dominantes au point F de la radiale 1 depuis 2000

Densité (ind. \cdot m ⁻²)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<i>Hediste diversicolor</i>	72	116	48	100	264	20	4	0	0	4	16	4
<i>Spio martinensis</i>	0	88	8	4	0	0	0	0	208	0	0	4
<i>Pygospio elegans</i>	0	8	0	0	4	40	0	4	0	0	0	0
<i>Ophelia rathkei</i>	0	64	92	8	8	24	0	0	0	0	0	0
<i>Hydrobia ulvae</i>	8 448	12	3 404	11 448	12 120	9 336	448	4 064	4	8	4	3184
<i>Cerastoderma edule</i>	32	236	248	32	36	108	228	12	52	60	72	52
<i>Macoma balthica</i>	696	316	1 040	404	356	220	32	4	20	0	168	16
<i>Corophium arenarium</i>	0	0	4	12	80	176	8	8	4 824	0	56	84

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. Rien de tel ne s'est passé depuis 2009, *Donax vittatus* n'a plus été récolté sur cette radiale.

7.4.3. Radiale 2

7.4.3.1. 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). Le sédiment montre un affinement régulier des hauts vers les bas niveaux tout à fait classique. Les résultats sont très proches de ceux enregistrés aux niveaux équivalents sur la radiale 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 et L

Ces points sont situés de l'autre côté du complexe de dunes et de bâches et subissent les remaniements liés à la houle et aux vagues. Le sédiment est en général plus fin que dans les niveaux supérieurs

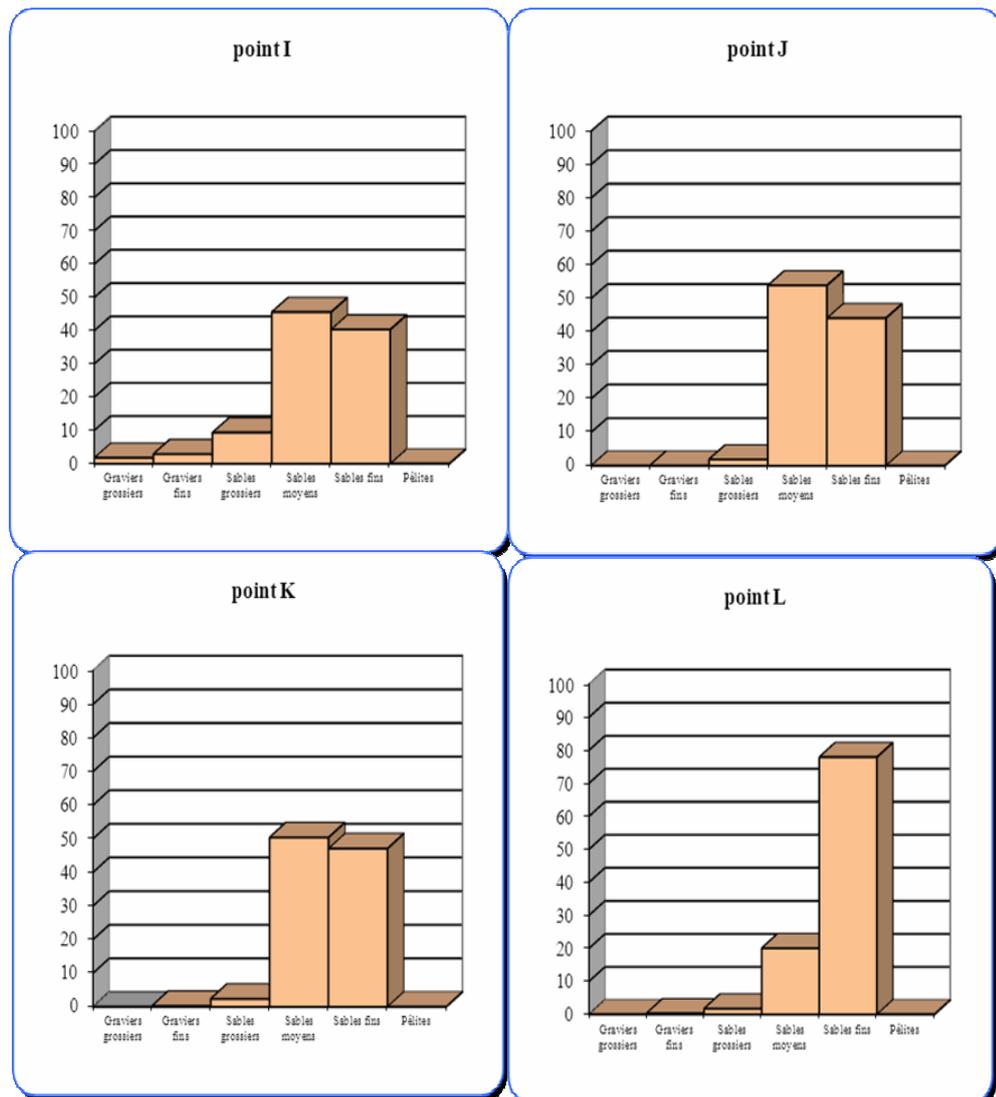


Figure 7.2 Radiale 2, Caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

7.4.3.2. Densité et biomasse des peuplements benthiques

Point I

La population d' *Hydrobia ulvae* avait complètement disparu du point I en 2009 et 2010. En 2011 la population reste à un niveau très faible (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 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 densité de ces 12 dernières années. La tendance à la disparition de la population de *Hydrobia ulvae* se confirme donc bien au point I.

Tableau 7.6 Densité (ind. \cdot m⁻²) des espèces dominantes au point I de la radiale 2 depuis 1999

Densité (ind. \cdot m ⁻²)	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<i>Enchytraeidae</i>	0	4	816	0	2 396	12	32	4	0	0	0	0	0
<i>Pygospio elegans</i>	60	4	3 440	332	168	936	96	0	40	3 032	52	4	1036
<i>Spio martinensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hydrobia ulvae</i>	2 620	680	900	72	832	876	40	52	8	388	0	0	28
<i>Corophium arenarium</i>	1 792	3 348	3 916	140	220	3 772	280	380	836	2 100	1492	528	172
<i>Bathyporeia pilosa</i>	4	4	4	0	36	4	4	8	308	72	1416	432	496
<i>Eurydice affinis</i>	8	48	4	0	268	0	12	56	44	44	368	104	96

La population de *Corophium arenarium* avait elle aussi régressé d'une manière considérable entre 2002 et 2007 (à l'exception de 2004). La densité avait beaucoup augmenté en 2008 (2 100 ind. \cdot m⁻²). Elle était restée à un niveau relativement proche en 2009. En 2010 tout comme sur la radiale 1 la densité de cette espèce avait chuté de manière importante. Mais en 2011 contrairement à ce qui se passe dans la partie ouest de l'estran, la population de *Corophium arenarium* continue à décliner (tableau 7.6).

Bathyporeia pilosa qui était peu présente à ce point, lors des études précédentes, avait bénéficié en 2009 d'un excellent recrutement (1 416 ind. \cdot m⁻²). La population a régressé aussi en 2010 mais restait à un niveau historiquement élevé. En 2011, la densité de cette espèce était semblable à celle de 2010.

La population des *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 ; elle n'est pas réapparue depuis.

La population de *Pygospio elegans* était réapparue en faible densité en 2007 et atteignait quasiment la densité maximale enregistrée pour ce point en 2008, était revenu en 2009 à un niveau équivalent à celui de 2007. En 2010, 1 seul individu avait été récolté à ce point. En 2011, la population s'est réinstallée à ce point.

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) restait 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. En 2009, la situation avait peu évolué, à ceci près que la population de *Bathyporeia pilosa* avait fortement régressé et semblait s'être décalée vers les hauts

niveaux, la situation restait semblable en 2010. En 2011, toutes les populations ont régressé sauf celle de *Eurydice affinis* (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 1999

Densité (ind. \cdot m ⁻²)	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<i>Scolecopsis squamata</i>	28	48	28	56	36	24	84	56	0	52	112	12	0
<i>Eurydice affinis</i>	376	0	252	44	160	140	452	220	4	288	144	0	232
<i>Eurydice pulchra</i>	0	368	4	12	0	0	24	0	488	12	36	36	8
<i>Corophium arenarium</i>	8	4	248	352	4	180	376	112	0	592	304	32	28
<i>Bathyporeia pilosa</i>	0	364	3 316	1056	128	4	226	1 184	256	1 832	32	64	4

La biomasse reste faible depuis plusieurs années, moins de 0,5 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 ont été caractérisés par une très grande stabilité. Oligospécifiques, ils sont 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 *Scolecopsis 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 tout comme en 2009 (annexe 7.4). En 2010 la densité de cette espèce était de 8 ind. \cdot m⁻². Cette espèce n'a pas été récoltée en 2011 à ce point.

Haustorius arenarius, caractéristique des milieux dunaires de mi-estran, n'a pas été récolté comme c'est le cas depuis de nombreuses années au point K.

Le cortège spécifique du point L est dominé par *Nephtys cirrosa* dont la densité de population est resté très stable depuis plusieurs années à un niveau d'environ 80 ind. \cdot m⁻² (92 ind. \cdot m⁻² en 2011 ; annexe 7.4).

La densité à ces deux points est en général faible, de l'ordre de 100 ind. \cdot m⁻². La biomasse à ces deux points est comme habituellement inférieure à 1 g \cdot m⁻² (respectivement 0,18 et 0,57 g \cdot m⁻²). Tout comme en 2010, *Donax vittatus* n'a pas été récolté sur l'estran en 2011.

7.4.4. 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.

7.4.4.1. Caractéristiques granulométriques du sédiment

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

Le sédiment des deux points de la radiale 3 sont très semblables à ceux de la radiale 1 et 2 : légère dominance des sables moyens par rapport aux sables fins et peu de pélites.

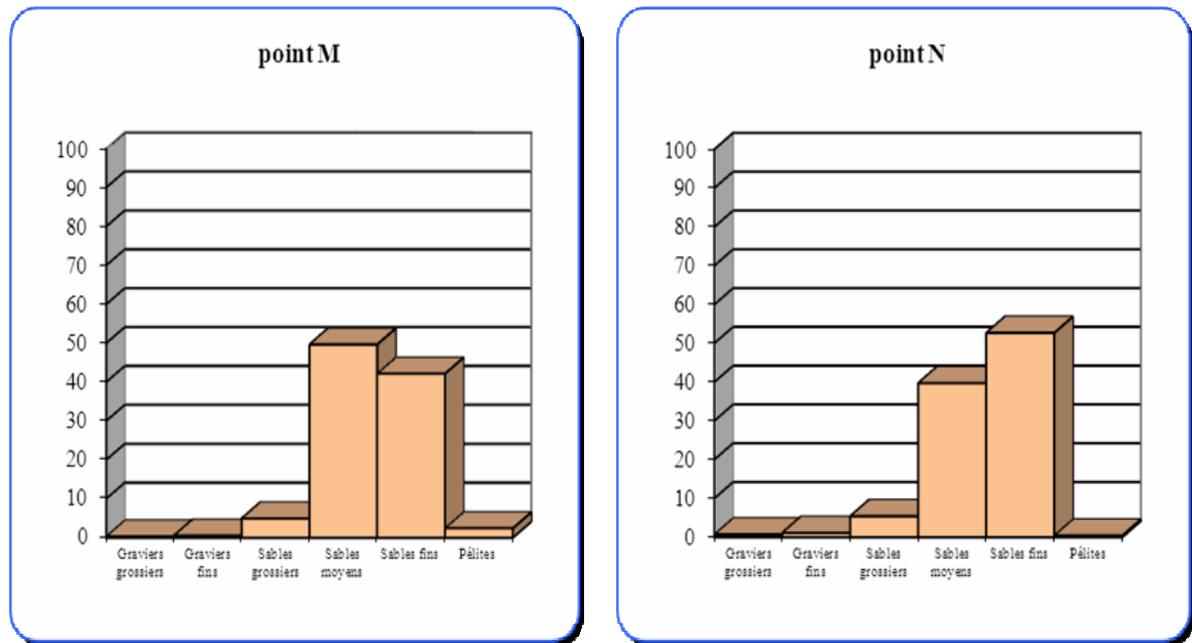


Figure 7.3 Radiale 3, Caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

7.4.4.2. 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 la population de *Hydrobia ulvae* était très dense aux deux points bien que les densités n'atteignaient pas les maximums observés au point E de la radiale 1. En 2009, les résultats obtenus aux points M et N ont confirmé ceux obtenus aux points E et F : disparition presque complète de *Hydrobia ulvae* et augmentation des densités de *Corophium arenarium*. Une augmentation de la densité de *Corophium arenarium* avait déjà été remarquée au point N en 2008. En 2010, *Hydrobia ulvae* n'a pas été récoltée à ces deux points, confirmant la disparition de l'estran de cette espèce.

Les résultats enregistrés en 2011 sur la radiale 3 permettent de confirmer le gradient de densité décroissant d'ouest en est pour *Hydrobia ulvae*, *Corophium arenarium* et *Bathyporeia pilosa*. Les densités les plus fortes étant enregistrées sur la radiale 3 pour *Bathyporeia pilosa* et sur la radiale 1 pour *Corophium arenarium* et *Hydrobia ulvae*.

7.5. Conclusion sur l'évolution de l'estran

7.5.1. 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. \cdot m⁻²) des espèces euryhalines depuis 1999

Densité (ind. \cdot m ⁻²)	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<i>Ophelia rathkei</i>	9	20	16	23	461	2	6	1	0	0	0	3	0
<i>Enchytraeidae</i> sp.	9	1	20	184	103	8	12	27	0	2	2	0	0
<i>Hediste diversicolor</i>	29	18	29	12	25	66	5	1	0	0	1	5	1

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 deux *Enchytraeidae* sp. avaient été récoltés. En 2009, l'influence de la dessalure liée à l'Aa était également quasi inexistante. En 2010, les résultats étaient semblables à ceux de 2009. En 2011, les résultats étaient du même ordre qu'en 2007 et 2008.

7.5.2. 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. \cdot m⁻²). En 2008, on avait 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 faisaient partie des plus importantes observées depuis le début des études. En 2009, *Spio martinensis* n'était plus présent qu'en deux points : N et K. La population de *Pygospio elegans* a régressé fortement, elle était localisée dans les hauts niveaux de l'estran et au point N avec un gradient décroissant d'ouest en est. En 2010 *Pygospio elegans* avait presque complètement disparu de l'estran, l'espèce n'avait été récoltée qu'au point I. Par contre, *Spio martinensis* restait cantonnée sur la partie ouest de l'estran.

En 2011, les deux populations étaient bien isolées *Spio martinensis* à l'ouest sur la radiale 1 mais aussi dans les niveaux inférieurs de la totalité de l'estran et *Pygospio elegans* dans la partie est

(radiales 2 et 3) dans les niveaux supérieurs de l'estran. Les densités (notamment celles de *Pygospio elegans*) étaient en forte progression.

Tableau 7.9 Densité (ind.m⁻²) des spionidés depuis 1998

Densité (ind.m ⁻²)		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<i>Spio martinensis</i>	E	8	0	0	40	20	0	0	0	0	0	588	0	156	236
	F	36	0	0	0	8	84	0	0	0	0	108	0	0	0
	M	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0
	N	-	-	36	0	0	0	0	0	0	0	0	24	20	0
	I	186	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	J	4	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pygospio elegans</i>	E	0	0	0	0	0	8	0	0	0	92	0	192	4	0
	F	0	0	0	8	0	0	4	40	40	4	0	0	0	0
	M	-	-	52	124	456	264	0	108	40	72	2	156	0	508
	N	-	-	0	40	68	408	616	208	8	488	0	52	0	332
	I	0	60	4	3 440	332	168	936	96	0	40	3 032	52	0	1036
	J	0	0	16	24	156	0	80	8	0	0	20	0	0	0

7.5.3. 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. En 2009, la biomasse semblait revenir à un niveau un peu supérieur, mais ceci était dû comme cela a été signalé plus haut à une seule espèce qui contribue pour 1,5 g dans une moyenne globale de 4,3 g soit le tiers. En 2010, la forte régression des espèces principales de l'estran (en particulier *Hydrobia ulvae*, *Corophium arenarium*, *Bathyporeia elegans*) avait provoqué une très forte baisse de la biomasse moyenne de l'estran. La biomasse au point F restait à un niveau équivalent à celui de 2009.

En 2011, la biomasse était plus forte. Notamment dans les points des hauts niveaux à l'ouest de l'estran où les espèces comme *Hydrobia ulvae*, *Corophium arenarium* et *Bathyporeia pilosa* étaient plus abondantes qu'en 2010. Il faut aussi signaler qu'en 2011 tout comme en 2010, on n'a pas observé la présence de plusieurs espèces à forte biomasse comme *Donax vittatus*, *Ensis directus* ou *Ammodytes tobianus*.

Tableau 7.10 Biomasse (g.m⁻²) des peuplements benthiques sur l'estran depuis 1997

Biomasse (g.m ⁻²)	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
E	8,79	19,34	2,36	0,05	0,11	0,17	16,24	11,90	22,85	32,1	24,51	2,55	5,60	0,07	2,87
F	52,64	39,59	48,47	24,91	23,61	67,05	32,74	38,09	18,37	22,5	5,99	14,14	10,96	10,20	12,55
G	0,27	0,40	1,76	0,28	0,23	0,09	2,16	0,48	0,77	0,48	1,09	0,58	0,31	0,35	0,25
H	0,48	0,68	0,83	6,56	0,56	0,68	1,30	0,44	0,49	0,26	0,81	1,06	5,53	0,33	0,72
I	1,72	4,29	2,23	7,19	5,83	0,13	0,87	3,68	0,19	0,54	0,52	2,03	1,02	0,47	0,36
J	0,49	0,35	0,40	0,50	0,76	0,59	0,23	1,34	0,58	0,57	0,25	0,83	0,45	0,20	0,10
K	0,29	0,69	0,52	1,28	0,95	0,44	1,57	0,34	5,41	0,89	0,28	0,91	0,29	0,15	0,18
L	0,28	0,32	1,34	0,64	12,91	0,74	4,44	0,55	0,19	1,00	0,64	0,29	13,81	0,53	0,57
M	-	-	-	1,34	0,82	0,53	2,84	9,83	3,30	5,79	2,64	2,89	3,20	1,11	2,33
N	-	-	-	0,31	1,43	0,33	4,01	8,37	1,99	7,85	4,11	2,24	1,78	0,80	1,73
Moyenne estran	8,12	8,21	7,25	4,31	4,72	7,08	6,64	7,50	5,41	7,20	4,08	2,75	4,30	1,42	2,17

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

7.6. Éléments de conclusion

On ne note pas, en 2011, d'évolution de la morphologie de l'estran. Les résultats des analyses granulométriques mettent en évidence une homogénéisation des caractéristiques sédimentaires sur l'estran avec une augmentation des fines dans les niveaux supérieurs. Les phénomènes de bioturbation entrent sans doute en jeu dans l'enrichissement en fines, notamment *Corophium arenarium* qui piège la vase pour fabriquer les tubes dans lesquels il vit.

En 2011, la richesse spécifique est restée stable par rapport à 2008, 2009 et 2010 (29 espèces en 2011, 28 espèces en 2010, 28 en 2008 et 29 en 2009). La densité globale par contre était en forte augmentation du fait de la progression des populations de *Hydrobia ulvae*, de *Corophium arenarium* et de *Bathyporeia elegans* dans les niveaux supérieurs de l'estran. La biomasse globale a augmenté en 2011 par rapport à 2010 mais reste faible par rapport aux études antérieures. Les espèces qui ont vu leur densité progresser sont toutes à biomasse individuelle faible. Il n'y a pas ou peu eu en 2011 tout comme en 2010 de récolte d'espèces à forte biomasse (*Donax vittatus*, *Ensis directus*, *Lanice conchilega*) dans les niveaux inférieurs de l'estran.

La population de *Cerastoderma edule* se maintient et celle de *Macoma balthica* régresse à nouveau au point F comme observé entre 2006 et 2009.

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

radiale 1	point E	point F	point G	point H
Graviers grossiers	0,04	0,55	0,00	0,05
Graviers fins	0,36	0,29	0,09	0,10
Sables grossiers	2,00	1,77	1,53	1,21
Sables moyens	53,96	51,45	39,04	41,29
Sables fins	41,71	45,14	59,34	57,19
Pélites	1,94	0,80	0,00	0,17

radiale 2	point I	point J	point K	point L
Graviers grossiers	1,76	0,06	0,00	0,01
Graviers fins	2,88	0,08	0,19	0,30
Sables grossiers	9,37	1,88	2,36	1,73
Sables moyens	45,60	53,88	50,37	20,03
Sables fins	40,36	44,10	47,07	77,91
Pélites	0,02	0,00	0,01	0,01

radiale 3	point M	point N
Graviers grossiers	0,30	0,67
Graviers fins	0,51	1,10
Sables grossiers	4,95	5,41
Sables moyens	49,68	39,75
Sables fins	42,16	52,66
Pélites	2,40	0,41

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

Radiale 1	Point E	Point F	Point G	Point H	Total
Némertes					
Némertes sp.			2		2
Annélides Polychètes					
<i>Scolelepis squamata</i>	1	17	1		19
<i>Spio martinensis</i>	59	1	1	3	64
<i>Arenicola marina</i>			1		1
<i>Eteone longa</i>	3		1	2	6
<i>Hediste diversicolor</i>		1			1
<i>Nephtys cirrosa</i>			3	24	27
<i>Owenia fusiformis</i>				1	1
<i>Lanice conchilega</i>				2	2
Mollusques					
<i>Hydrobia ulvae</i>	202	796		2	1000
<i>Cerastoderma edule</i>		13			13
<i>Macoma balthica</i>		4			4
Crustacés					
<i>Eurydice affinis</i>	144	5		1	150
<i>Eurydice pulchra</i>		2			2
<i>Pontocrates altamarinus</i>				2	2
<i>Bathyporeia pelagica</i>				2	2
<i>Bathyporeia pilosa</i>	127	856			983
<i>Bathyporeia sarsi</i>			21		21
<i>Urothoe poseidonis</i>				1	1
<i>Haustorius arenarius</i>			9		9
<i>Corophium arenarium</i>	1109	21			1130
<i>Crangon crangon</i>		1		1	2
Insectes					
Larves de Diptères	2				2
Richesse spécifique	8	11	8	11	23
TOTAL 0,25 m⁻²	1647	1717	39	41	3444
TOTAL m⁻²	6588	6868	156	164	13776

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

Radiale 1	Point E	Point F	Point G	Point H	Total
Némertes					
Némertes sp.			1,1		1,1
Annélides Polychètes					
<i>Scolelepis squamata</i>	9,3	49,1	4,8		63,2
<i>Spio martinensis</i>	5,0	0,2	0,4	0,1	5,7
<i>Arenicola marina</i>			16,8		16,8
<i>Eteone longa</i>	0,7		0,4	0,7	61,8
<i>Hediste diversicolor</i>		19,4			19,4
<i>Nephtys cirrosa</i>			12,5	132,4	144,9
<i>Owenia fusiformis</i>				35,6	35,6
<i>Lanice conchilega</i>				0,1	0,1
Mollusques					
<i>Hydrobia ulvae</i>	107,3	450,2		0,7	558,2
<i>Cerastoderma edule</i>		2355,2			2355,2
<i>Macoma balthica</i>		100,9			100,9
Crustacés					
<i>Eurydice affinis</i>	38,1	3,9		0,2	42,2
<i>Eurydice pulchra</i>		0,5			0,5
<i>Pontocrates altamarinus</i>				0,9	0,9
<i>Bathyporeia pelagica</i>				0,2	0,2
<i>Bathyporeia pilosa</i>	26,5	150,8			177,3
<i>Bathyporeia sarsi</i>			4,5		4,5
<i>Urothoe poseidonis</i>				1,0	1,0
<i>Haustorius arenarius</i>			22,4		22,4
<i>Corophium arenarium</i>	525,6	7,9			533,5
<i>Crangon crangon</i>		0,3		7,4	7,7
Insectes					
Larves de Diptères	5,5				5,5
Richesse spécifique	8	11	8	11	23
TOTALmg/ 0,25 m⁻²	718,0	3138,4	62,9	179,3	4098,6
TOTAL mg/m⁻²	2872,0	12553,6	251,6	717,2	16394,4

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

Radiale 2	Point I	Point J	Point K	Point L	Total
Annélides Polychètes					
<i>Scolelepis squamata</i>	1				1
<i>Pygospio elegans</i>	259				259
<i>Spio martinensis</i>			1	4	5
<i>Nephtys cirrosa</i>			4	23	27
Mollusques					
<i>Hydrobia ulvae</i>	7	2			9
<i>Ensis directus</i>				1	1
Crustacés					
<i>Idotea linearis</i>				1	1
<i>Eurydice affinis</i>	24	58			82
<i>Eurydice pulchra</i>		2			2
<i>Gammarus locusta</i>				13	13
<i>Pontocrates altamarinus</i>				4	4
<i>Bathyporeia pelagica</i>				1	1
<i>Bathyporeia pilosa</i>	124	1			125
<i>Bathyporeia sarsi</i>			5		5
<i>Corophium arenarium</i>	43	7			50
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	1				1
<i>Crangon crangon</i>		1	2	2	5
<i>Portumnus latipes</i>				1	1
Insectes					
Larves de diptères	16				16
Richesse spécifique	7	6	4	9	19
TOTAL .0,25 m⁻²	475	71	12	50	301,7
TOTAL .m⁻²	1900	284	48	200	1206,8

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

Radiale 2	Point I	Point J	Point K	Point L	Total
Annélides Polychètes					
<i>Scolelepis squamata</i>	3,8				3,8
<i>Pygospio elegans</i>	30,0				30,0
<i>Spio martinensis</i>			0,1	0,7	0,8
<i>Nephtys cirrosa</i>			43,0	75,1	118,1
Mollusques					
<i>Hydrobia ulvae</i>	3,2	1,0			4,2
<i>Ensis directus</i>				1,4	1,4
Crustacés					
<i>Idotea linearis</i>				0,4	0,4
<i>Eurydice affinis</i>	3,3	18,6			21,9
<i>Eurydice pulchra</i>		1,4			1,4
<i>Gammarus locusta</i>				9,0	9,0
<i>Pontocrates altamarinus</i>				0,7	0,7
<i>Bathyporeia pelagica</i>				0,2	0,2
<i>Bathyporeia pilosa</i>	22,2	0,2			22,4
<i>Bathyporeia sarsi</i>			1,7		1,7
<i>Corophium arenarium</i>	19,9	3,4			23,3
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	0,4				0,4
<i>Crangon crangon</i>		0,3	0,4	8,0	8,7
<i>Portumnus latipes</i>				46,1	46,1
Insectes					
Larves de diptères	7,2				7,2
Richesse spécifique	7	6	4	9	19
TOTAL .0,25 m⁻²	90,0	24,9	45,2	141,6	608
TOTAL .m⁻²	360,0	99,6	180,8	566,4	1206,8

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

Radiale 3	Point M	Point N	Total
Annélides Polychètes			
<i>Pygospio elegans</i>	127	83	210
<i>Scolelepis squamata</i>	1	10	11
<i>Eteone longa</i>		2	2
<i>Hediste diversicolor</i>	1		1
Mollusques			
<i>Hydrobia ulvae</i>	270	2	272
Crustacés			
<i>Eurydice affinis</i>	123	275	398
<i>Eurydice pulchra</i>	10	51	61
<i>Bathyporeia pilosa</i>	35	1290	1325
<i>Corophium arenarium</i>	648	69	717
Insectes			
Larves de diptères	2	1	2
Richesse spécifique	9	9	10
TOTAL .0,25 m⁻²	1217	1783	3000
TOTAL .m⁻²	4868	7132	12000

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

Radiale 3	Point M	Point N	Total
Annélides Polychètes			
<i>Pygospio elegans</i>	14,1	4,6	18,7
<i>Scolelepis squamata</i>	2,6	31,4	34,0
<i>Eteone longa</i>		1,1	1,1
<i>Hediste diversicolor</i>	4,2		4,2
Mollusques			
<i>Hydrobia ulvae</i>	180,2	0,8	181,0
Crustacés			
<i>Eurydice affinis</i>	34,2	76,5	110,7
<i>Eurydice pulchra</i>	3,9	12,8	16,7
<i>Bathyporeia pilosa</i>	7,7	270,9	278,6
<i>Corophium arenarium</i>	330,8	30,0	360,8
Insectes			
Larves de diptères	3,6	4,0	7,6
Richesse spécifique	9	9	10
TOTAL .0,25 m⁻²	581,3	432,1	1013,4
TOTAL .m⁻²	2325,2	1728,4	4053,6

8. LE DOMAINE BENTHIQUE SUBTIDAL

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

Collaborateurs : Menu D

8.1. Introduction

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

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 *E. 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 18 février, 6 avril, 20 juillet et 19 septembre 2011

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 % et la teneur en sable grossier entre 1 et 3 %.

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. Depuis 2006 le cycle de la teneur en pélites était à nouveau conforme au schéma habituel : augmentation printanière, maximum estival et décroissance à l'automne, avec toutefois des saisons plus ou moins marquées selon les années. Le sédiment est dominé par les sables moyens et fins. Les sables fins sont dominants en période hivernale et les sables moyens en période estivale et printanière. La fraction grossière restant presque inexistante.

En 2011, la structure granulométrique présente à nouveau un cycle annuel avec un maximum de teneur en pélites en période estivale de 8,76 %. Les teneurs en pélites hivernales et printanières sont faibles, inférieures à 2%, (tableau 8.1 et figure 8.1).

Tableau 8.1 Caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

Station B	18 fév. 2011	6 avr 2011	20 juil 2011	16 sept 2011
Graviers grossiers	1,41	2,41	0,78	0,18
Graviers fins	0,46	0,26	0,31	0,09
Sables grossiers	0,94	11,12	0,94	0,81
Sables moyens	30,78	34,83	26,75	46,51
Sables fins	64,69	50,10	62,45	50,04
Pélites	1,71	1,28	8,76	2,37

8.3.1.2. Point C

Le sédiment du point C est en général dominé par les sables moyens et fins. Ces deux classes représentent toujours plus de 95 % 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 %).

En 2011, la teneur en sables moyens était très importante et quasi-constante tout au long de l'année (de 77 à 89 %). La teneur en sables fins et moyens n'était jamais inférieure à 97%. La teneur en graviers fins et grossiers était toujours très faible, elle était un peu plus importante en juillet (0,34%) mais cette valeur était due à la présence de quelques débris coquillers. Le sédiment était complètement dépourvu de pélites.

Tableau 8.2 Caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

Station C	18 fév. 2011	6 avr 2011	20 juil 2011	16 sept 2011
Graviers grossiers	0,00	0,00	0,21	0,00
Graviers fins	0,00	0,07	0,13	0,01
Sables grossiers	0,26	1,26	1,78	0,19
Sables moyens	80,04	77,15	89,35	81,76
Sables fins	19,69	21,52	8,53	18,04
Pélites	0,01	0,00	0,00	0,00

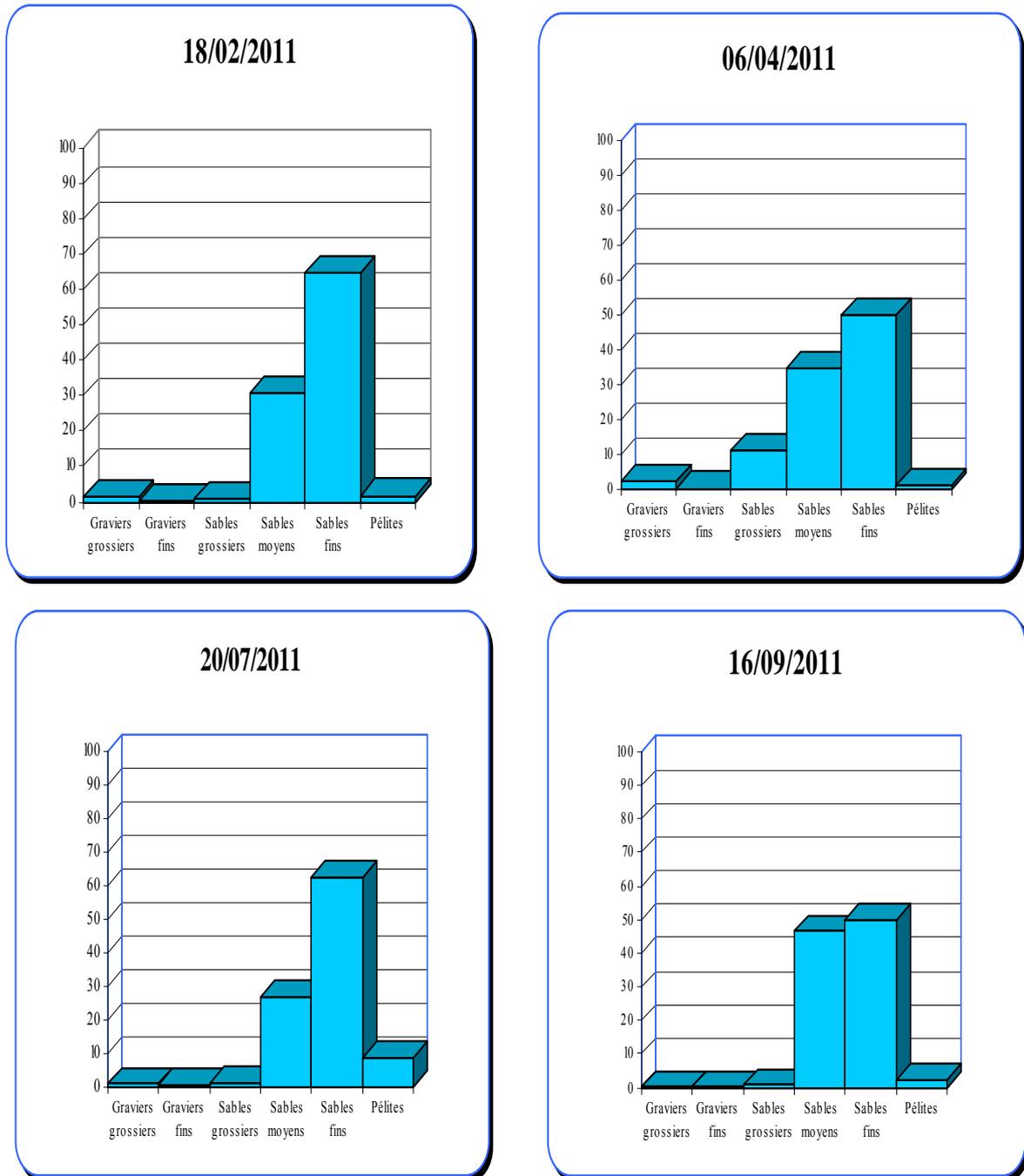


Figure 8.1 Point B, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

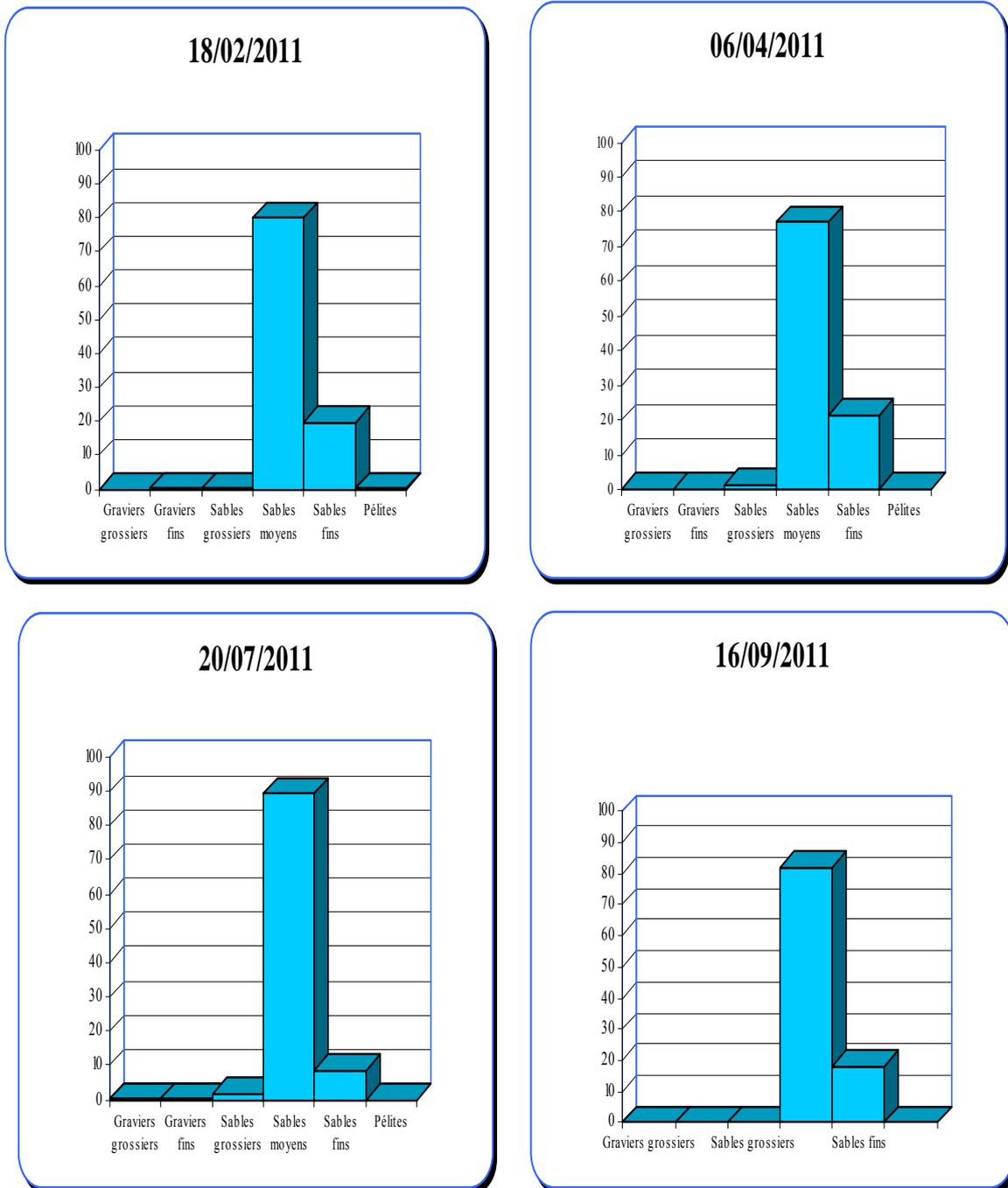


Figure 8.2. Point C, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

8.3.2. Composition bionomique

8.3.2.1. Point B

En 2011, l'analyse faunistique a permis de recenser 63 taxons différents au point B, cette richesse spécifique reste relativement stable depuis 2005 (tableau 8.3).

Tableau 8.3 Nombre des taxons des prélèvements benthiques récoltés depuis 2005 au point B

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Nombre de taxons	63	60	62	65	65	57	63

Ils se répartissaient comme suit (annexes 8.1 et 8.2) :

- 1 Cnidaire
- 4 Némertes
- 29 Annélides Polychètes
- 8 Mollusques
 - 1 Gastéropode
 - 7 Bivalves
- 18 Crustacés
- 3 Echinodermes

Ces 63 taxons représentaient 14 277 individus récoltés. L'abondance totale au point B était de 10 709 en 2010, 19 141 en 2009 et 28 792 en 2008. Ce chiffre revient donc à une valeur supérieure à 2010 (+ 33,31%) mais reste inférieur à 2008 et 2009, après une valeur importante en 2007 qui était due au recrutement très important de *Lanice conchilega* en avril de cette même année (près de 89 000 individus).

8.3.2.2. Point C

L'analyse faunistique a permis de recenser 22 taxons. La richesse spécifique globale était faible, du même ordre qu'en 2007, alors qu'en 2008, 2009 et 2010 elle était restée stable mais supérieure (tableau 8.4).

Tableau 8.4 Nombre des taxons des prélèvements benthiques récoltés depuis 2005 au point C

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Nombre de taxons	33	30	18	28	26	28	22

Ils se répartissaient comme suit (annexes 8.3 et 8.4)

- 9 Annélides Polychètes
 - 6 sédentaires
 - 3 errantes
- 1 Mollusque Bivalve
- 11 Crustacés
 - 2 Mysidacés
 - 5 Amphipodes
 - 2 Cumacés
 - 2 Décapodes
- 1 Poisson

Ces 22 taxons représentaient 442 individus récoltés (413 en 2010 et 400 en 2009), ce résultat est très proche de celui des 10 dernières années d'étude si l'on excepte les années 2004 et 2005.

Nephtys cirrosa reste l'espèce dominante du peuplement avec 59 % des individus récoltés.

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 2011 à la station B.

En février 2011, le peuplement était dans un état relativement classique pour une situation hivernale, avec une richesse spécifique (41 espèces – tableau 8.5) supérieure à la moyenne des cinq années précédentes (37,6 espèces), et une densité légèrement inférieure à la moyennes des cinq dernières années si on ne tient pas compte de l'année 2010 atypique (1860 ind/m²). La biomasse était dans la moyenne des dernières années pour cette saison.

Tableau 8.5 Nombre d'espèces (N), densité (nb. ind./m²) et biomasse (g/m²) des prélèvements benthiques récoltés en janvier- début mars depuis 2005

	Février 2005	Février 2006	Février 2007	Février 2008	Février 2009	Janvier 2010	Février 2011
N	45	37	41	39	38	33	41
densité	2 186	620	817	3 311	2 691	5 306	1 613
biomasse	37,12	16,58	14,13	50,47	38,41	63,84	44,29

Le peuplement était dominé par *Owenia fusiformis* (539 ind.m⁻²), soit 33,42% de l'abondance totale, suivi de *Ensis directus* (273 ind.m⁻²), *Abra alba* (207 ind.m⁻²), *Eumida sanguinea* (93 ind.m⁻²) et *Ophiura albida* (70 ind.m⁻²). Enfin, comme les années antérieures, la présence en densité assez importante du nécrophage *Nassarius reticulatus* (21 ind.m⁻²) est à souligner, tout comme, cet hiver 2011, celle de l'étoile de mer *Asterias rubens* (16 ind.m⁻²). La biomasse globale de 44,29 g.m⁻² était du même ordre de grandeur que la moyenne de la même période depuis 2005 (tableau 8.5). Comme en janvier 2010, cette biomasse était due principalement à deux espèces : *Ensis directus* (16,52 g.m⁻²) et *Owenia fusiformis* (10,37 g.m⁻²). Ces deux espèces représentaient 60,72 % de la biomasse totale.

En avril 2011, la richesse spécifique était restée stable, avec 39 espèces, par contre la densité globale avait chuté à 910 ind.m⁻² comme la biomasse qui atteignait 33,45 g.m⁻² (tableau 8.6). Ces chiffres sont proches de ceux de 2009 et restent dans les valeurs moyennes de ces 5 dernières années (35,41 g.m⁻²).

Tableau 8.6 : Nombre d'espèces (N), densité (nb. ind./m²) et biomasse (g/m²) des prélèvements benthiques récoltés en mars (fin) avril-mai depuis 2005

	mars 2005	mai 2006	avril 2007	avril 2008	mai 2009	Avril 2010	Avril 2011
N	37	39	31	41	41	26	39
densité	1 389	937	89 503	14 143	6 226	535	910
biomasse	56,20	21,65	53,99	32,41	29,21	19,03	33,45

Ces chiffres faibles correspondent à l'étiage hivernal dans la cinétique de la communauté, les densités à la sortie de l'hiver sont faibles et les premiers recrutements sont encore faibles. L'espèce la plus abondante était le polychète *Lanice conchilega* (230 ind.m⁻²) avec uniquement des individus de petites tailles récemment recrutés dans la macrobenthos. Suivent *Owenia fusiformis* (147 ind.m⁻²), *Mysella bidentata* (109 ind.m⁻²) et *Abra alba* (75 ind.m⁻²). Au niveau de la biomasse, une espèce dominait : l'étoile de mer *Asterias rubens* (19,98 g.m⁻²), suivie de *Nassarius reticulatus* (3,78 g.m⁻²) et *Owenia fusiformis* (3,32 g.m⁻²). Ces trois espèces représentaient près de 81 % de la biomasse totale.

Au mois de juillet 2011, la richesse spécifique avait notablement augmenté, avec 50 espèces récoltées, chiffre le plus important en fin de printemps depuis 2005 (Tableau 8.7). La densité avait également fortement augmenté avec un total de 8 058 ind.m⁻², cependant la biomasse avec une valeur faible de 24,26 g.m⁻² était nettement inférieure à la moyenne de ces dernières années (52,88 g.m⁻²) en fin de printemps-début d'été (tableau 8.7).

Tableau 8.7 Nombre d'espèces (N), densité (nb. ind./m²) et biomasse (g/m²) des prélèvements benthiques récoltés en juin depuis 2005

	juin 2005	juin 2006	juin 2007	juin 2008	Juin 2009	Juin 2010	Juillet 2011
N	40	40	48	45	35	30	50
densité	1 166	13 959	3 331	6 909	5 325	2 251	8 058
biomasse	32,16	87,35	22,01	65,87	22,98	86,93	24,26

La forte augmentation en diversité spécifique et en abondance et la biomasse proportionnellement faible ont été causées par une phase de recrutement importante dans le macrobenthos, comme l'atteste la faible taille des individus récoltés et notamment des annélides polychètes qui dominaient la communauté à cette date : *Phyllodoce mucosa* (1703 ind./m²), *Lanice conchilega* (1492 ind./m²), *Eumida sanguinea* (1034 ind./m²), *Spiophanes bombyx* (1021 ind./m²) suivis du Bivalve *Abra alba* (817 ind./m²). La biomasse peu élevée était structurée à 73,2% par *Abra alba* (8,39 g.m⁻²), *Lanice conchilega* (5,92 g.m⁻²) et *Asterias rubens* (3,44 g.m⁻²), cette dernière espèce n'étant représentée que par 3 individus (annexe 8.1). A noter la diminution importante en abondance et en biomasse d'*Ensis directus* depuis le début de l'année (voir annexes 8.1 et 8.2).

En septembre 2011, la richesse spécifique restait stable avec 47 espèces, stabilité à remarquer depuis 2005. Par contre, la densité globale diminuait de plus de 54% par rapport à juillet avec 3 696 ind.m⁻² (tableau 8.8). Cette dernière valeur reste cependant proche de la moyenne des cinq dernières années (4 147 ind.m⁻²). La biomasse était sensiblement identique à celle de juillet 2011

avec $25,64 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, ce qui tend à mettre en évidence une diminution importante du nombre d'individus, ceux présents étant de plus grande taille. Cette biomasse était par contre inférieure à la moyenne des années antérieures (à période équivalente, c'est-à-dire décembre exclus du calcul) : $48,70 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$.

Tableau 8.8 Nombre d'espèces (N), densité (nb. ind./m²) et biomasse (g/m²) des prélèvements benthiques récoltés en septembre-décembre depuis 2005

	septembre 2005	septembre 2006	décembre 2007	octobre 2008	octobre 2009	octobre 2010	Septembre 2011
N	46	47	42	51	47	47	47
densité	825	6 123	2 666	4 429	4 899	2 617	3 696
biomasse	19,29	64,22	158,97	44,66	61,19	54,14	25,64

Un recrutement important d'*Ophiura albida* a été observé ($785 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$), ainsi qu'un autre recrutement moins important de *Heteromastus filiformis* : $326 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$. *Phyllodoce mucosa*, *Abra alba*, *Spiophanes bombyx* et *Scoloplos armiger* ont maintenu des populations élevées depuis juillet avec respectivement, 647, 359, 284 et $269 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$. A noter à nouveau la poursuite de la diminution du couteau américain *Ensis directus*. La biomasse globale peu élevée était dominée principalement par des carnivores/nécrophages : *Asterias rubens*, un seul individu représentant $5,1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, et *Nassarius reticulatus* atteignant ses densités et biomasses les plus élevées de l'année : 62 individus pour $8,76 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Ces deux espèces (63 individus) représentaient 54% de la biomasse totale et mettent en évidence une forte mortalité estivale dans la communauté chez les individus recrutés en fin de printemps.

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 2010 au point C confirmaient 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. Il faut toutefois noter cette année les densités fortes de *Portumnus latipes* qui représentait 14 % des individus récoltés.

La campagne de février 2011 a donné des résultats conformes à ce que l'on peut rencontrer habituellement dans les conditions hivernales. Toutefois la densité était en diminution par rapport à 2010 : $52 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ ($62 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ en 2010) c'était la plus faible densité rencontrée depuis plus de 10 ans (tableau 8.9). *Nephtys cirrosa* représentait 63 % des individus récoltés.

La richesse spécifique a augmenté par rapport à 2010. Elle avait été en forte diminution en 2008, puis revenue à un niveau équivalent à celui de 2006 en 2009.

Le peuplement était dominé par *N. cirrosa* ($33 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$) et *Portumnus latipes* ($9 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$). La biomasse était la plus faible de ces 6 dernières années et proche de celle de 2007 ($0,3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$). Les

espèces les plus contributives à l'élaboration de la biomasse étaient *N. cirrosa* (0,15 g·m⁻²) et *Portumnus latipes* (0,12 g·m⁻²).

Tableau 8.9 Nombre d'espèces (N), densité (nb. ind./m²) et biomasse (g/m²) des prélèvements benthiques récoltés en hiver depuis 2005

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
N	8	13	8	5	12	9	11
densité	81	134	60	63	92	62	52
biomasse	0,6	1,3	0,4	0,8	0,6	0,7	0,3

En avril 2011, la densité globale du peuplement a plus que doublé (111 ind·m⁻²) par rapport à février 2011 alors que la richesse spécifique a diminué fortement (7 espèces). Le peuplement était toujours dominé par : *Nephtys cirrosa* (76 ind·m⁻²) et *Portumnus latipes* (22 ind·m⁻²) (tableau 8.10).

La biomasse était un peu inférieure à celle de 2010, mais supérieure à celles de la période 2005-2009. Les espèces qui contribuaient le plus à l'élaboration de la biomasse étaient *P. latipes* (0,50 g·m⁻²) et *N. cirrosa* : 0,42 g·m⁻².

Tableau 8.10 Nombre d'espèces (N), densité (nb. ind./m²) et biomasse (g/m²) des prélèvements benthiques récoltés au printemps depuis 2005

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
N	17	14	13	14	12	16	7
densité	312	115	68	61	94	130	111
biomasse	0,7	0,5	0,5	0,5	0,7	1,3	1,0

En juillet 2011, la richesse spécifique a progressé par rapport à la période printanière (12 espèces), tout comme la densité globale (169 ind·m⁻²), (tableau 8.11). Les espèces dominantes étaient *Nephtys cirrosa* (65 ind·m⁻²), *Spio martinensis* (44 ind·m⁻²), *Scolelepis squamata* (40 ind·m⁻²), et *Portumnus latipes* (14 ind·m⁻²). La biomasse était légèrement supérieure à celle du mois d'avril (1,3 g·m⁻²), en diminution par rapport à 2010 malgré la récolte d'un exemplaire de *Hyperoplus lanceolatus*. *N. cirrosa* (0,84 g·m⁻²), *Hyperoplus lanceolatus* (0,27 g·m⁻²) et *Portumnus latipes* (0,14 g·m⁻²) représentaient 98% de la biomasse totale.

Tableau 8.11 Nombre d'espèces (N), densité (nb. ind./m²) et biomasse (g/m²) des prélèvements benthiques récoltés en été depuis 2005

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
N	15	12	8	14	9	15	12
densité	558	143	85	206	128	136	169
biomasse	3,9	4,0	0,5	2,6	1,0	1,8	1,3

En septembre 2011 la richesse spécifique de la communauté diminue fortement (7 espèces), tout comme la densité de population (110 ind. \cdot m⁻²), qui reste toutefois supérieure à celle des 5 dernières années (tableau 8.12). La densité de la population de *Nephtys cirrosa* restait supérieure à celle du printemps (86 ind. \cdot m⁻²). Les espèces les plus contributives à l'élaboration de la biomasse étaient *Portunus latipes* (0,98 g \cdot m⁻²; 58 %), *N. cirrosa* (0,38 g \cdot m⁻²; 22 %), et *Hyperoplus lanceolatus* (0,34g \cdot m⁻², 20 %).

Tableau 8.12 Nombre d'espèces (N), densité (nb. ind./m²) et biomasse (g/m²) des prélèvements benthiques récoltés en automne depuis 2005

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
N	14	8	9	12	8	6	7
densité	214	85	39	99	86	85	110
biomasse	3,8	0,7	0,7	1,2	0,9	0,5	1,7

Le déficit en densité au point C par rapport au point témoin B était encore très important, il atteint 96,9 % (tableau 8.13). Ce déficit reste très élevé depuis 2006. L'impact en terme de biomasse reste aussi très important (96,6 %).

Tableau 8.13 Déficit de densité (ind. \cdot m⁻²) et biomasse (g \cdot m⁻²) entre les points B et C

densités	Février 2011	Avril 2011	Juillet 2011	Septembre 2011	2011
Station B	1613	910	8058	3696	14277
Station C	52	111	169	110	442
Déficit (%)	96,8	87,8	97,9	97,0	96,9
Biomasses (g)	Février 2011	Avril 2011	Juillet 2011	Septembre 2011	2011
Station B	44,290	33,448	24,262	25,644	127,644
Station C	0,334	1,004	1,272	1,699	4,299
Déficit (%)	99,2	97,0	94,8	93,4	96,6

L'impact de la centrale sur les peuplements benthiques reste donc très fort dans le champ proche de la centrale. Il provoque un déficit de 96,9 % de la densité (densité moyenne de 111 ind. \cdot m⁻² au point C contre 3569 ind. \cdot m⁻² au point B) et de 96,6 % de la biomasse, moyenne annuelle de 1,07 g \cdot m⁻² au point C contre 31,91 g \cdot m⁻² au point B.

8.4. Étude des populations d'*Abra alba* et de *Tellina fabula* du point B

Ces deux espèces de bivalves sont typiques des sables fins envasés. Disparues du point C du fait du lessivage des sédiments, leurs populations font toujours l'objet d'un suivi particulier au point B dans le cadre du suivi écologique de la Centrale.

8.4.1. Étude de la population de *Abra alba*

La population d'*Abra alba* est connue pour ses fluctuations brutales, liées à son caractère pionnier. Ces fluctuations peuvent être attribuées au recrutement ou à des migrations passives. La dynamique de la population de cette espèce est basée sur un cycle de 7 à 8 ans. Cette espèce a présenté en 1998 et 1999 de bons recrutements (1 249 ind. \cdot m⁻² et 1 068 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. 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 était 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. Les effectifs importants de 2008 ont perduré jusque début 2010 (153 ind. m⁻² en janvier), puis un nouveau recrutement a été noté avec près de 600 ind. \cdot m⁻² en juin avec un maintien en octobre (figure 8.3). Pas de changement de dynamique pour cette espèce en 2011, espèce dont l'évolution apparaît paradoxalement très prévisible depuis plus de 10 ans, baisse des effectifs en fin d'hiver, recrutement dans le macrozoobenthos au printemps/été et maintien des recrues en automne.

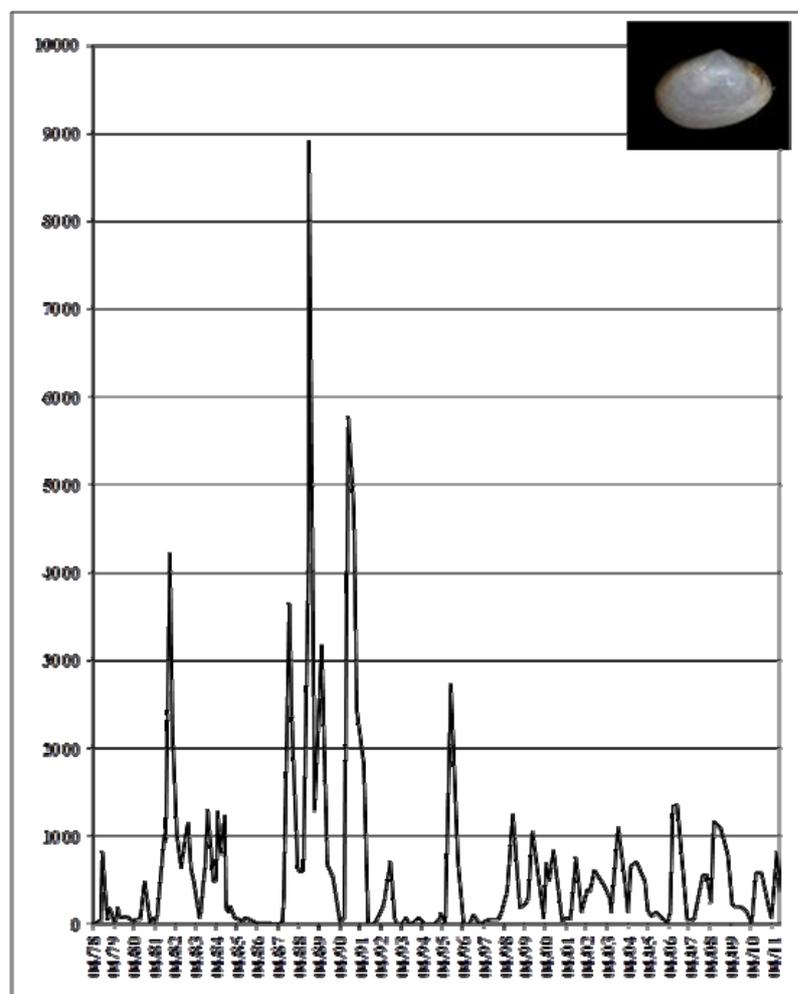


Figure 8.3 *Abra alba*, évolution de la densité (par m²) de la population au point B entre 1978 et 2011

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 résultait d'un recrutement peu important au printemps mais qui s'était 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'était cependant maintenue à un niveau plus élevé avec 48 à 82 ind. \cdot m⁻². Pour 2009, les densités les plus importantes depuis 1991 ont été observées en février (106 individus m⁻²) puis stabilité des effectifs autour d'une trentaine d'individus. En 2010, les effectifs diminuent avec un retour à une situation proche de celle de 2007, 4 à 25 ind. \cdot m⁻² (figure 8.4). Tout comme pour *Abra alba*, l'évolution de la population de *Tellina fabula* cette année était très proche de ce qui est observé depuis plusieurs années à la station B, 3 à 38 ind. \cdot m⁻².

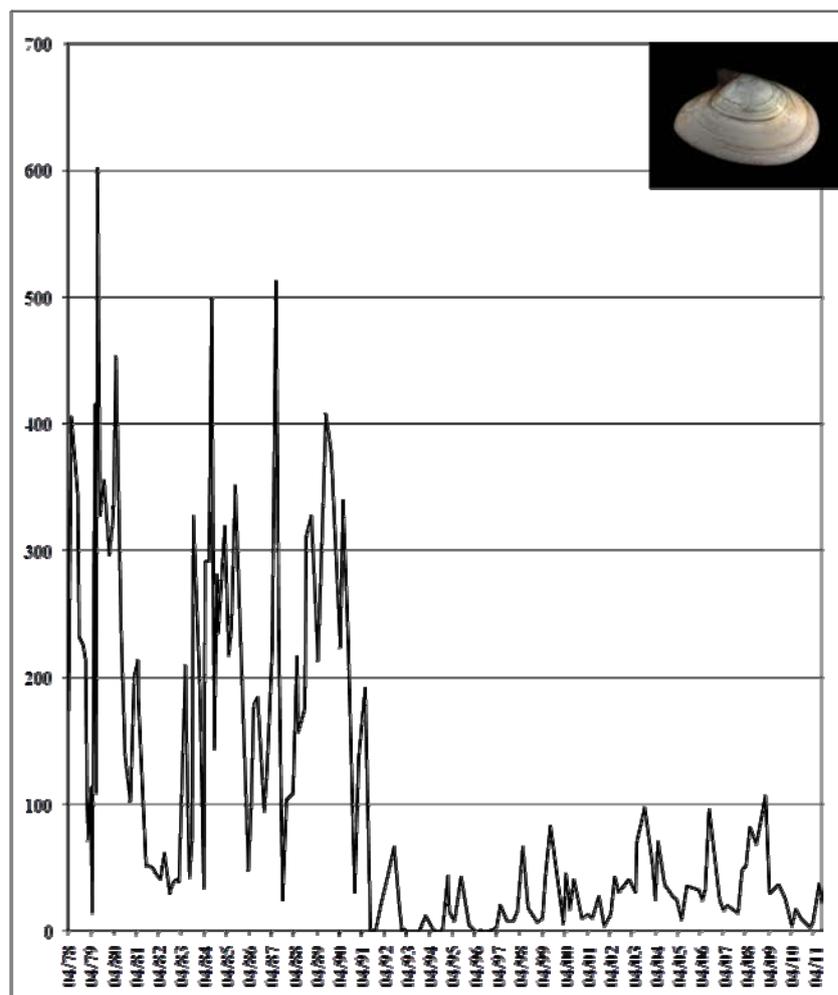


Figure 8.4 *Tellina fabula*, évolution de la densité (par m²) de la population au point B entre 1978 et 2011

8.5. Éléments de conclusion

Le **point B** (dit non impacté) a été caractérisé en 2011 par la diminution du couteau américain *Ensis directus* après son recrutement massif de 2009. Un recrutement important, notamment d'annélides polychètes a été détecté en début d'été, et en automne pour l'ophiure *Ophiura albida*. Une mortalité importante des recrues durant la période estivale a été observée, diminution des abondances et de la biomasse, mais pas de baisse de la richesse spécifique. L'importance surtout en biomasse des carnivores/nécrophages en septembre 2011 illustre ce phénomène.

Sur le plan global, la richesse spécifique apparaît « conforme » aux années antérieures (depuis 2005), la densité moyenne de 3 569 ind. \cdot m⁻² est du même ordre que la moyenne des années antérieures (2005-2010 : 3 365 ind. \cdot m⁻²) et la biomasse moyenne était inférieure à la moyenne des années précédentes avec 31,91 g \cdot m⁻² contre 48,03 g \cdot m⁻² pour la période 2005-2010.

Les résultats enregistrés au **point C** (dit impacté) révèlent une année 2011 caractérisée par des valeurs de richesse spécifique, de densités et de biomasse en baisse par rapport aux années précédentes. Les peuplements qui s'établissent à ce point sont toujours du type sabulicole et le déficit en densité et biomasse est toujours considérable par rapport au point B (respectivement, 96,9% et 96,6 %). Ce déficit est du même ordre que celui des études précédentes.

Les espèces récoltées en zone non impactée peuvent être trouvées au point C mais en densité beaucoup plus faible (quelques individus), comme par exemple cette année *Pectinaria koreni*, *Amphiura brachiata*, *Lanice conchilega*, *Spio martinensis* ou *Spiophanes bombyx*. Mais, de plus, outre ces espèces à affinité vasicole, certaines espèces sabulicoles caractéristiques des peuplements du large ont aussi été récoltées comme *Ophelia borealis* et *Gastrosaccus spinifer*, elles aussi en très faible densité.

La présence de juvéniles de *Crangon crangon* observée sur l'estran et le point C en 2010 ne s'est pas confirmée en 2011. Par contre en 2011, *Portumnus latipes* a été particulièrement abondant : deuxième espèce la plus abondante après *Nephtys cirrosa* et présentant une biomasse globale très proche de celle de *Nephtys cirrosa*.

Cependant, il faut aussi rappeler que le peuplement installé au point C est tout à fait semblable, tant du point de vue de la composition faunistique que de la densité et de 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 courantomologie et que rien ne permet de penser que l'on puisse être en présence d'un autre impact du rejet.

Du fait de l'apparition en 1991 de *Ensis directus* la densité des populations d'*Abra alba* et de *Tellina fabula* au point B n'atteignaient toujours pas en 2011 le niveau qu'elles avaient au cours des années 80 et 90.

Annexe 8.1 : Point B, nombre d'individus par m² (1^{ère} partie)

	18-févr-11	06-avr-11	20-juil-11	16-sept-11
	1 m ²	1m ²	1 m ²	1 m ²
Cnidaires				
<i>Sagartia troglodytes</i>	1	0	1	1
Annélides Polychètes				
<i>Capitella capitata</i>	18	45	4	5
<i>Capitella tripartita</i>	0	1	0	0
<i>Heteromastus filiformis</i>	12	33	73	326
<i>Notomastus latericeus</i>	12	6	9	99
<i>Ophelia borealis</i>	1	0	0	0
<i>Scoloplos armiger</i>	3	0	270	269
<i>Glycera alba</i>	0	0	0	42
<i>Glycera celtica</i>	0	1	0	0
<i>Nephtys cirrosa</i>	0	0	2	2
<i>Nephtys hombergii</i>	25	20	85	56
<i>Nephtys longosetosa</i>	2	0	0	0
<i>Eunereis longissima</i>	1	2	507	22
<i>Pholoë baltica</i>	32	22	13	25
<i>Eteone longa</i>	0	0	12	2
<i>Eteone picta</i>	1	2	29	7
<i>Eumida sanguinea</i>	93	11	1034	2
<i>Phyllodoce groenlandica</i>	0	0	6	2
<i>Phyllodoce mucosa</i>	9	2	1703	647
<i>Malmgrenia arenicolae</i>	0	1	2	0
<i>Malmgrenia glabra</i>	0	5	22	0
<i>Sthenelais boa</i>	12	1	43	7
<i>Syllidae sp.</i>	0	0	0	1
<i>Owenia fusiformis</i>	539	147	92	205
<i>Magelona johnstoni</i>	0	0	55	60
<i>Spio martinensis</i>	2	14	0	6
<i>Spiophanes bombyx</i>	21	12	1021	284
<i>Chaetozone setosa</i>	20	19	15	182
<i>Pectinaria koreni</i>	3	0	54	20
<i>Lanice conchilega</i>	33	230	1492	6
Mollusques Gastéropodes				
<i>Nassarius reticulatus</i>	21	21	10	62

Annexe 8.1 (suite) : Point B, nombre d'individus par m²

	18-févr-11	06-avr-11	20-juil-11	16-sept-11
Mollusques Bivalves				
<i>Spisula subtruncata</i>	0	0	1	0
<i>Mysella bidentata</i>	65	109	64	12
<i>Ensis directus</i>	273	32	21	8
<i>Abra alba</i>	207	75	817	359
<i>Macoma balthica</i>	2	3	7	1
<i>Tellina fabula</i>	3	7	38	21
<i>Venerupis pullastra</i>	0	0	0	1
Némertes				
<i>Tubulanus polymorphus</i>	0	0	2	16
<i>Cerebratulus sp</i>	0	0	3	4
<i>Lineus bilineatus</i>	1	0	0	0
<i>Némerte sp</i>	0	0	2	0
Crustacés				
<i>Crangon crangon</i>	0	0	8	14
<i>Pagurus bernhardus</i>	2	1	0	0
<i>Polybius arcuatus</i>	9	0	3	0
<i>Polybius holsatus</i>	0	0	48	1
<i>Schistomysis kervillei</i>	1	0	1	0
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	0	2	5	5
<i>Pariambus typicus</i>	22	9	281	13
<i>Ampelisca brevicornis</i>	0	0	1	10
<i>Atylus swammerdami</i>	27	2	31	8
<i>Parajassa pelagica</i>	3	2	0	0
<i>Leucothë incisa</i>	11	0	9	50
<i>Melita obtusata</i>	25	21	25	2
<i>Pontocrates altamarinus</i>	1	1	0	0
<i>Bathyporeia guillamsonniana</i>	0	1	2	6
<i>Urothoë poseidonis</i>	0	2	20	0
<i>Bodotria scorpioides</i>	3	3	36	5
<i>Diastylis bradyi</i>	0	1	5	5
<i>Idotea linearis</i>	6	0	0	0
Echinodermes				
<i>Asterias rubens</i>	16	10	3	1
<i>Amphiura brachiata</i>	5	9	1	1
<i>Ophiura albida</i>	70	25	14	28
<i>Ophiura albida "jeunes".</i>	0	0	56	785
TOTAL	1613	910	8058	3696
Richesse spécifique	41	39	50	47

Annexe 8.2 : Point B, biomasse en g.m⁻²

	18-févr-11	06-avr-11	20-juil-11	16-sept-11
	1 m ²	1m ²	1 m ²	1 m ²
Cnidaires				
<i>Sagartia troglodytes</i>	0,623		0,122	0,807
Annélides Polychètes				
<i>Heteromastus filiformis</i>				0,075
<i>Notomastus latericeus</i>	0,071	0,006		0,225
<i>Scoloplos armiger</i>				0,109
<i>Glycera alba</i>				0,093
<i>Nephtys hombergii</i>	0,166	0,179	0,435	0,268
<i>Eunereis longissima</i>	0,006	0,041	0,463	0,041
<i>Eumida sanguinea</i>	0,030	0,004	0,193	
<i>Phyllodoce mucosa</i>	0,011		0,534	0,643
<i>Sthenelais boa</i>	0,092	0,001	0,040	0,030
<i>Owenia fusiformis</i>	10,370	3,317	0,484	2,126
<i>Spiophanes bombyx</i>		0,009	0,241	0,133
<i>Chaetozone setosa</i>				0,047
<i>Pectinaria koreni</i>	0,032		0,354	0,158
<i>Lanice conchilega</i>	0,102	0,021	5,922	
Mollusques Gastéropodes				
<i>Nassarius reticulatus</i>	3,173	3,784	1,011	8,762
Mollusques Bivalves				
<i>Mysella bidentata</i>	0,016	0,042	0,014	0,004
<i>Ensis directus entiers</i>	9,159	0,436	0,051	0,044
<i>Ensis directus cassés</i>	7,365	1,691	0,502	0,579
<i>Abra alba</i>	1,438	1,526	8,387	4,816
<i>Macoma balthica</i>	0,108	0,141	0,019	0,000
<i>Tellina fabula</i>	0,017	0,037	0,168	0,089
<i>Venerupis pullastra</i>				0,002
Némertes				
<i>Cerebratulus sp</i>			0,038	0,040
<i>Lineus bilineatus</i>	0,008			
Crustacés	0,018	0,010	0,055	0,012
<i>Crangon crangon</i>				0,030
<i>Pagurus bernhardus</i>	0,107	0,032		0,041
<i>Polybius arcuatus</i>	1,184			
<i>Polybius holsatus</i>			0,795	
<i>Idotea linearis</i>	0,026			
Echinodermes				
<i>Asterias rubens</i>	7,106	19,979	3,445	5,096
<i>Amphiura brachiata</i>	0,162	0,706	0,045	0,192
<i>Ophiura albida</i>	2,874	1,437	0,823	1,012
<i>Ophiura albida "jeunes"</i>				0,126
Divers	0,029	0,049	0,120	0,047
Richesse spécifique	41	39	50	47
TOTAL	44,290	33,448	24,262	25,644

Annexe 8.3 : Point C, nombre d'individus par m²

	18/02/2011	06/04/2011	20/07/2011	16/09/2011
Annélides Polychètes				
<i>Scolelepis squamata</i>	2	1	20	
<i>Spiophanes bombyx</i>		3		
<i>Spio martinensis</i>	1	4	44	
<i>Ophelia borealis</i>	1			
<i>Eteone longa</i>			4	
<i>Phyllodoce mucosa</i>				1
<i>Nephtys cirrosa</i>	33	76	65	86
<i>Lanice conchilega</i>			1	
<i>Pectinaria koreni</i>	1			
Mollusques				
<i>Tellina tenuis</i>	1			
Crustacés				
<i>Pontocrates altamarinus</i>			1	
<i>Atylus swammerdami</i>				1
<i>Bathyporeia elegans</i>		4	1	2
<i>Bathyporeia pelagica</i>			1	2
<i>Haustorius arenarius</i>			1	
<i>Schistomysis kervillei</i>	1		4	
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	1			
<i>Bodotria scorpioides</i>			1	
<i>Vaunthompsonia cristata</i>	1			
<i>Crangon crangon</i>	1	1	2	
<i>Portumnus latipes</i>	9	22	14	18
Echinodermes				
<i>Amphiura brachiata</i>	1			
Poissons				
<i>Hyperoplus lanceolatus</i>			1	1
Richesse spécifique	11	7	12	7
Total ·m⁻²	52	111	169	110

Annexe 8.4 : Point C, biomasse en mg·m⁻²

	18/02/2011	06/04/2011	20/07/2011	16/09/2011
Annélides Polychètes				
<i>Scolelepis squamata</i>	0,9	1,2	5,1	
<i>Spiophanes bombyx</i>		0,1		
<i>Spio martinensis</i>	0,9	0,5	4,0	
<i>Ophelia borealis</i>	0,9			
<i>Eteone longa</i>			0,8	
<i>Phyllodoce mucosa</i>				0,2
<i>Nephtys cirrosa</i>	153,6	420,9	838,2	376,7
<i>Lanice conchilega</i>			2,4	
<i>Pectinaria koreni</i>	0,2			
Mollusques				
<i>Tellina tenuis</i>	21,4			
Crustacés				
<i>Pontocrates altamarinus</i>			0,3	
<i>Atylus swammerdami</i>				0,2
<i>Bathyporeia elegans</i>		2,0	0,6	0,5
<i>Bathyporeia pelagica</i>			0,2	0,6
<i>Haustorius arenarius</i>			5,8	
<i>Schistomysis kervillei</i>	2,3		3,1	
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	1,4			
<i>Bodotria scorpioides</i>			0,2	
<i>Vaunthompsonia cristata</i>	0,2			
<i>Crangon crangon</i>	27,5	79,7	0,6	
<i>Portumnus latipes</i>	123,3	499,9	141,4	984,7
Echinodermes				
<i>Amphiura brachiata</i>	1,4			
Poissons				
<i>Hyperoplus lanceolatus</i>			267,9	336,3
Richesse spécifique	11	7	12	7
Total ·m⁻²	334,0	1004,3	1271,6	1699,2