

Laboratoire Environnement côtier & Ressources aquacoles (LER)

Coordonnateur : Elvire Antajan

Auteurs : Elvire Antajan, Dominique Hervio-Heath, Alain Lefebvre, Christophe Loots, Christophe Luczak

Mars 2013 – LER/BL/RST/13/01

# Surveillance Écologique et Halieutique Site de Gravelines

Novembre 2011 - Octobre 2012



Ichtyoplancton de Gravelines : larve de hareng  
(Photo : Karl Van Ginderdeuren)



## FICHE DOCUMENTAIRE

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Numéro d'identification du rapport</b> : LER/BL/RST/13//01<br><br><b>Diffusion</b> : libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte <input type="checkbox"/> interdite <input type="checkbox"/><br><br><b>Validé par</b> : Groupe de lecture Ifremer<br><br><b>Version du document</b> : Définitive                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>date de publication</b><br>Avril 2013<br><b>nombre de pages</b><br>149<br><b>bibliographie</b> (Oui / <del>Non</del> )<br><br><b>illustration(s)</b> (Oui / <del>Non</del> )<br><br><b>langue du rapport</b> Français                                    |
| <b>Titre et sous-titre du rapport</b> :<br>Surveillance écologique du site de production électronucléaire de Gravelines<br>Novembre 2011– Octobre 2012<br><b>Titre traduit</b> :<br>Ecological monitoring of the Gravelines nuclear power plant<br>November 2011 – October 2012                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Auteur(s) principal(aux)</b> :<br>ANTAJAN Elvire<br>HERVIO-HEATH Dominique<br>LEFEBVRE Alain<br>LOOTS Christophe<br>LUCZAK Christophe                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>Organisme / Direction / Service, laboratoire</b><br>Ifremer Boulogne<br>Ifremer Brest<br>Ifremer Boulogne<br>Ifremer Boulogne<br>Station Marine de Wimereux                                                                                              |
| <b>Collaborateur(s)</b> :<br>BLONDEL Camille<br>CABOCHE Josselin<br>DUQUESNE Vincent<br>GEVAERT François<br>HEBERT Pascale<br>JANQUIN Marie-Andrée<br>LEFEBVRE Valérie<br>LOUIS Wilfried<br>VERIN Françoise                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Organisme / Direction / Service, laboratoire</b><br>Ifremer Boulogne<br>Ifremer Boulogne<br>Ifremer Boulogne<br>Station Marine de Wimereux<br>Ifremer Boulogne<br>Station Marine de Wimereux<br>Ifremer Boulogne<br>Ifremer Boulogne<br>Ifremer Boulogne |
| <b>Titre du contrat de recherche</b> : Surveillance du milieu marin et des ressources vivantes autour des CNPE du littoral pour la période 2006 à 2012<br><br><b>Organisme commanditaire</b> :<br>Electricité de France (E.D.F.) – Production transport – CNPE Gravelines BP 149 - 59820 Gravelines<br><b>Organisme(s) réalisateur(s)</b> :<br>Institut Français de Recherche pour l'Exploitation durable de la MER (Ifremer) Boulogne – 150, quai Gambetta BP 699 – 62321 Boulogne sur mer<br>Ifremer Centre de Brest – BP 70 – 29280 Plouzané<br>Station Marine de Wimereux – 28, avenue Foch BP 80 – 62930 Wimereux<br>Eurofins IPL Nord | <b>Marchés</b> :<br>EDF : C349C65050<br>Ifremer : 07/1216504/MF                                                                                                                                                                                             |
| <b>Responsable scientifique</b> : ANTAJAN Elvire Ifremer Boulogne sur Mer                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Cadre de la recherche</b> : Surveillance des centrales nucléaires littorales et estuariennes<br><b>Programme</b> : Surveillance et évaluation de la qualité du milieu marin<br><b>Projet</b> : Impacts des Grands Aménagements IGA<br><b>Campagne océanographique</b> : IGA Gravelines 2012 – N/O : L'Emeraude                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                             |

**Résumé**

Ce travail constitue le 35<sup>e</sup> 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 35<sup>th</sup> 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, and 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 2011 – Octobre 2012

#### Généralités

La stratégie reste inchangée pour l'ensemble des compartiments étudiés.  
Les campagnes pélagiques ont eu lieu le 18 juin et le 27 septembre 2012.

#### Hydrologie

Aucune température supérieure à 30°C n'a été enregistrée au cours de cette période et le transit de l'eau dans la centrale s'est traduit par un échauffement moyen hebdomadaire qui est toujours resté inférieur à 12°C, conformément à l'arrêté ministériel du 7 novembre 2003 (J.O. du 13 janvier 2004, article 19).

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.

#### Chloration

Le procédé d'électrochloration du circuit de refroidissement permettant de lutter contre le développement de salissures biologiques a été mis en fonctionnement pendant 8 mois. Les composés chimiques formés durant ce processus étaient essentiellement bromés et le plus abondant était le bromoforme (98,3 % du total des produits dérivés) avec une concentration moyenne de 9,5 µg.l<sup>-1</sup>, en baisse par rapport aux périodes de surveillance précédentes. De faible quantité de 2-4-6 bromo-phénol a été détectée en saison de chloration. 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 7,3 %.

#### 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 toujours plus important au printemps (avril à juin >100). Néanmoins la tendance annuelle à la baisse observée depuis 2009 se confirme cette année aussi. 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 91,3 % et 86 % d'isolement au niveau des canaux de prise et de rejet. Au canal de rejet, l'espèce la plus fréquente après *V. alginolyticus* était *V. parahaemolyticus* (12.2%) alors que cette espèce ne représentait que 0.6 % des espèces au point prise. 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 plus tardif et de moindre ampleur. La prolifération de la prymnésiofycée *Phaeocystis globosa*, classifiée comme susceptible d'altérer le fonctionnement de l'écosystème, n'a été observée qu'au mois d'avril 2012 avec une abondance maximale de seulement 7.10<sup>6</sup> cellules par litre, soit plus de 5 fois moins élevée qu'en 2010. 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, une prolifération exceptionnelle, tant par l'abondance ((max 45 000 ind. m<sup>-3</sup>) que la durée (5 mois), du dinoflagellé hétérotrophe, *Noctiluca scintillans*, a été observé d'avril à août 2012. 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 permis de confirmer la présence sur le site de l'espèce de copépode, *Pseudodiaptomus marinus*, découverte sur le site de Gravelines en 2011.

La surveillance du milieu récepteur des eaux chaudes de rejet montre que les points *prise* 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* ou *contrôle* restent donc très localisées.

## Zooplancton halieutique

Les abondances d'œufs et larves de sole et de sprat étaient très faibles comme observé depuis plusieurs années (<2 ind.m<sup>-3</sup>).

La crevette grise, présente toujours des effectifs faibles pendant cette période de l'année même si depuis trois années consécutives on observe une augmentation des stades zoés.

## Benthos intertidal

On ne note pas, en 2012, 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. Les abondances sont revenues à des niveaux équivalant à ceux observés avant 2010, du fait notamment de la progression des populations de *Peringia ulvae*, *Corophium arenarium*, et *Bathyporeia elegans*.

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 et en automne, sables fins dominants) au point B (dit non impacté) a été observé en 2012. 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 62 taxons au point B et 33 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 2012 (respectivement, 98,3 et 98,4 %). 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 .....                                       | 12  |
| 1.1. | Rappel sur le site .....                                                             | 14  |
| 1.2. | Hydrographie .....                                                                   | 14  |
| 1.3. | Description des installations.....                                                   | 15  |
| 1.4. | Stratégie d’échantillonnage .....                                                    | 16  |
| 2.   | FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE ET HYDROLOGIE .....                                    | 20  |
| 2.1. | Fonctionnement de la Centrale .....                                                  | 22  |
| 2.2. | Hydrologie.....                                                                      | 25  |
| 2.3. | Éléments de conclusion .....                                                         | 32  |
| 3.   | ÉTUDE DE LA CHLORATION ET BACTÉRIOLOGIE .....                                        | 34  |
| 3.1. | Chloration.....                                                                      | 36  |
| 3.2. | Bactériologie .....                                                                  | 38  |
| 3.3. | Campagnes pélagiques .....                                                           | 45  |
| 3.4. | Éléments de conclusion .....                                                         | 45  |
| 4.   | PHYTOPLANCTON ET BIOMASSE CHLOROPHYLLIENNE .....                                     | 50  |
| 4.1. | Introduction .....                                                                   | 52  |
| 4.2. | Méthodologie .....                                                                   | 53  |
| 4.3. | Chlorophylle a et pourcentage de chlorophylle active au point prise .....            | 54  |
| 4.4. | Abondance, composition du phytoplancton et indices de diversité au point prise ..... | 56  |
| 4.5. | Campagnes pélagiques .....                                                           | 59  |
| 4.6. | Dynamique de développement du phytoplancton à méso-échelle.....                      | 65  |
| 4.7. | Éléments de conclusion .....                                                         | 66  |
| 5.   | ZOOPLANCTON .....                                                                    | 73  |
| 5.1. | Méthodologie .....                                                                   | 75  |
| 5.2. | Surveillance au canal d’amenée .....                                                 | 76  |
| 5.3. | Surveillance du milieu récepteur.....                                                | 87  |
| 5.4. | Éléments de conclusion .....                                                         | 90  |
| 6.   | ICHTYOPLANCTON ET LARVES DE CREVETTE GRISE .....                                     | 92  |
| 6.1. | Introduction .....                                                                   | 94  |
| 6.2. | Matériels et méthodes.....                                                           | 94  |
| 6.3. | Résultats- Discussion .....                                                          | 96  |
| 6.4. | Éléments de conclusion .....                                                         | 103 |
| 7.   | LE DOMAINE BENTHIQUE INTERTIDAL .....                                                | 104 |
| 7.1. | Introduction .....                                                                   | 106 |
| 7.2. | Matériels et méthodes.....                                                           | 106 |
| 7.3. | Résultats .....                                                                      | 107 |
| 7.4. | Conclusion sur l’évolution de l’estran .....                                         | 117 |
| 7.5. | Éléments de conclusion .....                                                         | 120 |
| 8.   | LE DOMAINE BENTHIQUE SUBTIDAL .....                                                  | 129 |
| 8.1. | Introduction .....                                                                   | 131 |
| 8.2. | Matériels et méthodes.....                                                           | 131 |
| 8.3. | Résultats .....                                                                      | 131 |
| 8.4. | Étude des populations d’Abra alba et de Tellina fabula du point B .....              | 140 |
| 8.5. | Éléments de conclusion .....                                                         | 144 |

## 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'effluents liquides et gazeux pour l'exploitation du site nucléaire de Gravelines* ».

Concernant la surveillance scientifique du CNPE de Gravelines réalisée au cours de la période 2011 - 2012,

- L'état d'avancement a été adressé à EDF le 29 juin 2012
- 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 2012, 32<sup>ème</sup> année de fonctionnement de la Centrale, les études réalisées sur le site de Gravelines ont été menées sous la responsabilité de :

- **Elvire ANTAJAN** (ODE-LER-LERBL<sup>1</sup>), pour l'hydrologie, la chloration, le zooplancton et la coordination de l'ensemble des études sur ce site,
- **Dominique HERVIO-HEATH** (RBE-SG2M-LSEM<sup>2</sup>), pour l'étude de la bactériologie,
- **Alain LEFEBVRE** (DOP-LER-BL), pour le phytoplancton,
- **Christophe LOOTS** (RBE-HMMN-RHBL<sup>3</sup>), pour l'ichtyoplancton,
- **Christophe LUDZAC** (Station Marine de Wimereux), pour le benthos intertidal et subtidal.

<sup>1</sup> Département Océanographie et Dynamique des Ecosystèmes(ODE), Unité Littoral (LER), Laboratoire Environnement littoral et Ressources aquacoles – Boulogne sur Mer (LER/BL)

<sup>2</sup> Département des Ressources Biologiques et Environnement (RBE), Unité Environnement, Microbiologie et Phycotoxines (EMP), Laboratoire Santé Environnement et Microbiologie (LSEM)

<sup>3</sup> Unité Halieutique Manche Mer du Nord (HMMN), laboratoire Ressources Halieutique de Boulogne sur Mer (RH/BL)

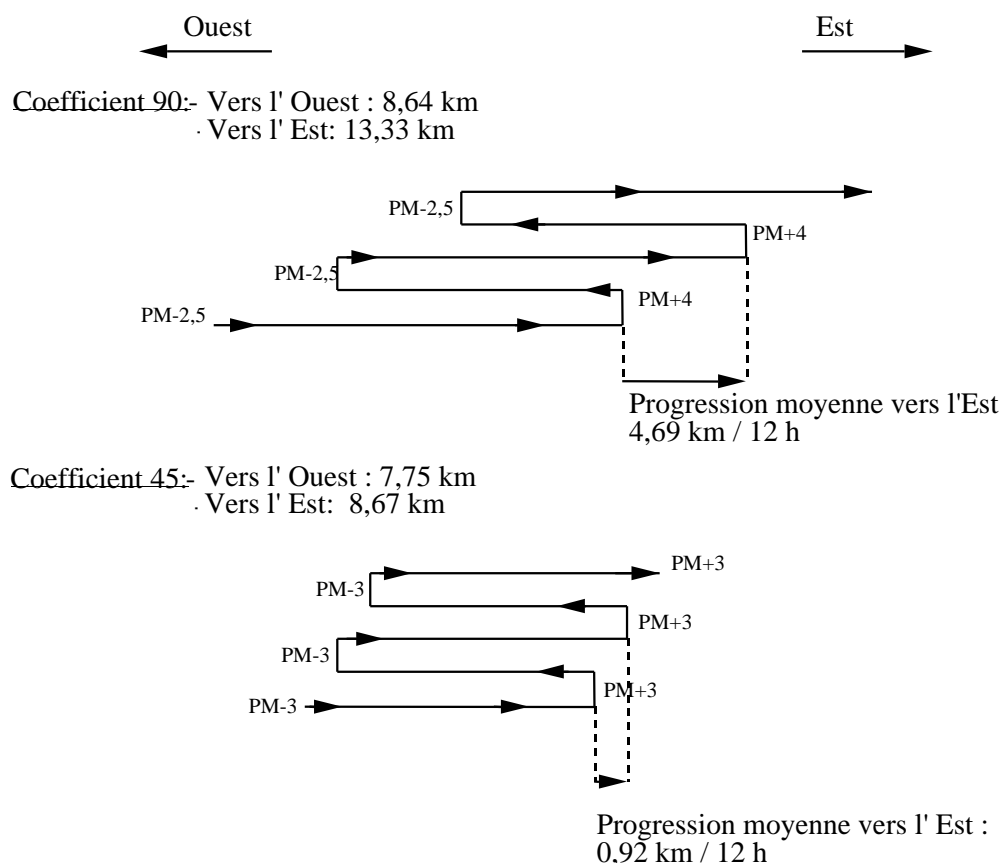
## 1. PRÉSENTATION DU SITE – STRATÉGIE D'ÉTUDE

Auteur : E. Antajan



## 1.1. Rappel sur le site

Le site de Gravelines est situé à l'ouest de la Mer du Nord, à proximité du Détroit du Pas de Calais. Cette situation, alliée à la faible profondeur des eaux, a pour conséquence un hydrodynamisme important (Anonyme, 1968<sup>1</sup>). L'onde de marée est du type semi-diurne avec une amplitude moyenne voisine de 4,5 m. Les courants de marée sont alternatifs et parallèles à la côte (Anonyme, 1968) (figure 1.1).



**Figure 1.1 Schéma des courants de marée devant Dunkerque**

## 1.2. Hydrographie

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

Débits moyens estimés :

Canal de Dunkerque : 4,6 m<sup>3</sup>/s  
 Fleuve Aa : 7,5 m<sup>3</sup>/s

<sup>1</sup> Anonyme, 1968. Courants de marée dans la Manche et sur les côtes de l'Atlantique. Ed. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, Paris, 287 p.

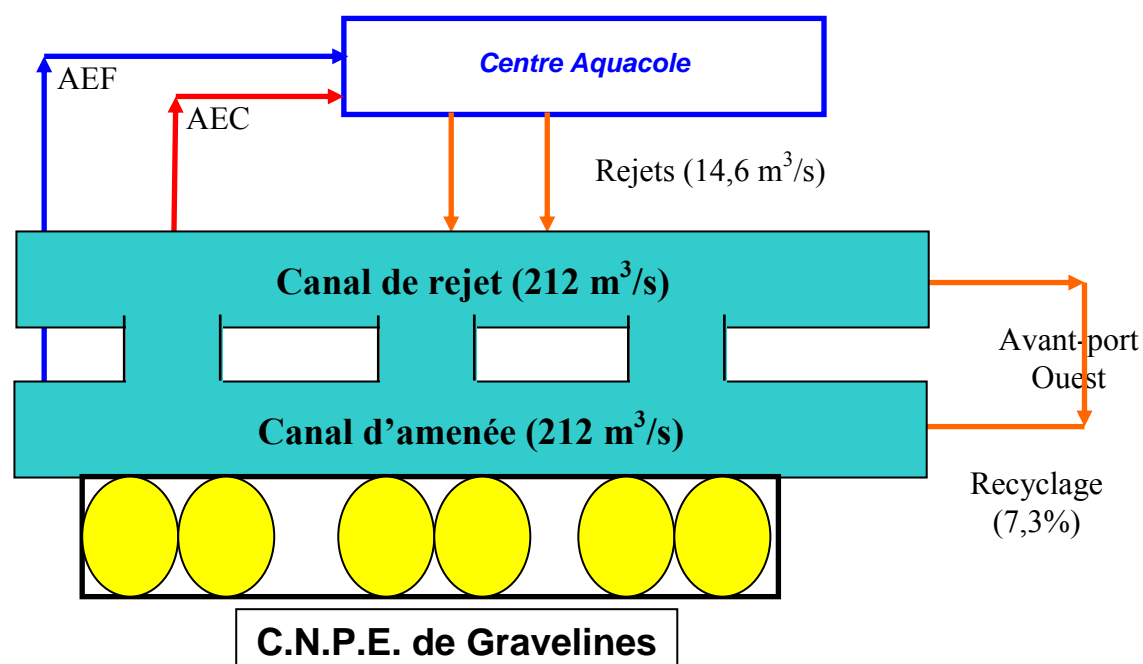
Canaux de Calais :  $3,0 \text{ m}^3/\text{s}$

L'influence de ces cours d'eau n'est pas prépondérante sur la qualité de l'eau de mer transitant par la centrale. Les dessalures significatives observées sur le site ont lieu par temps sec, quand le vent de nord-est, établi sur de longues périodes, modifie les courants et amène sur le site des eaux de la côte belge (Belgrano *et al.*, 1990<sup>1</sup>).

### 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  $40 \text{ m}^3$  par seconde et par tranche. Le débit nominal total du rejet est ainsi de  $240 \text{ m}^3$  par seconde. L'eau réchauffée est rejetée dans un canal à ciel ouvert qui se déverse à la côte.

Depuis 1984, des installations aquacoles utilisent une partie de cette eau tiède ( $11,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) pour l'élevage de bars et de daurades. La production actuelle est de l'ordre de 2000 tonnes de poisson par an. Les débits utilisés par la ferme aquacole ont augmenté depuis 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, le CNPE et la ferme aquacole (figure 1.2).

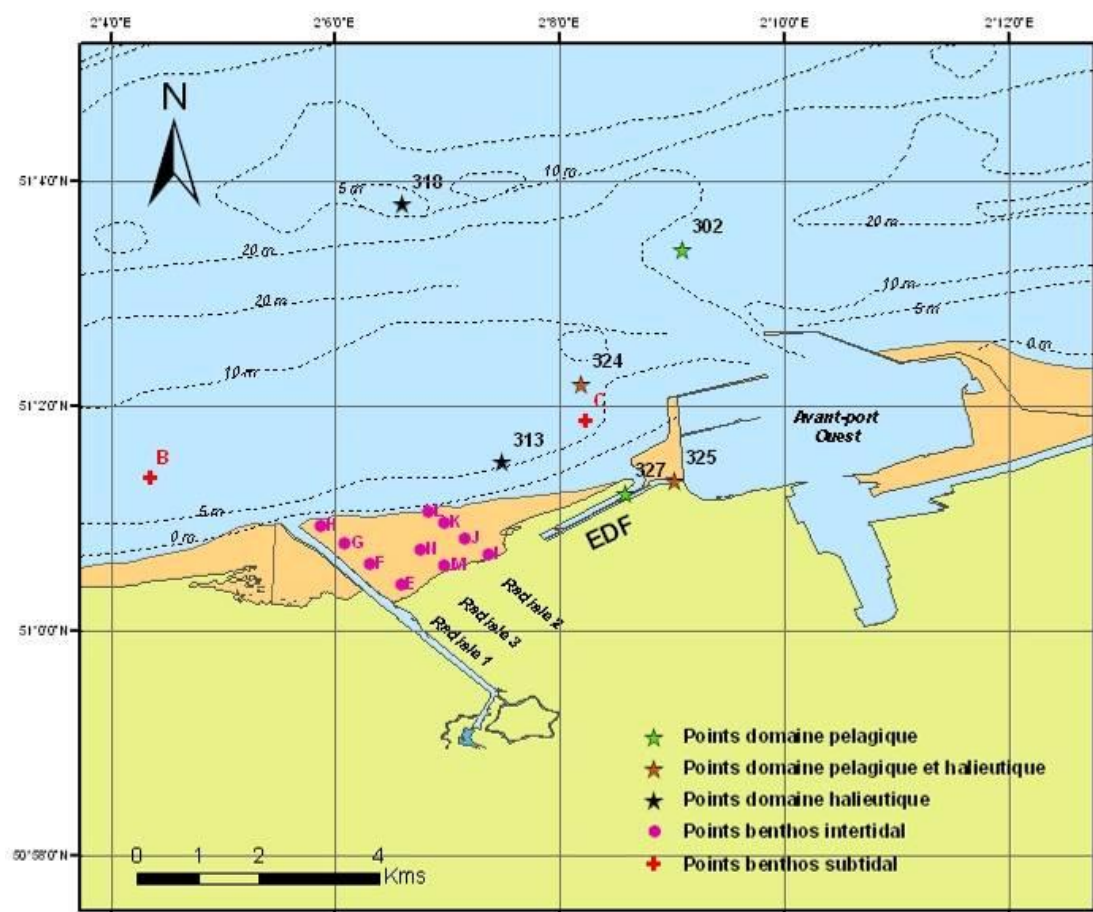


**Figure 1.2 Schéma de la circulation de l'eau sur le site de Gravelines (Valeurs chiffrées en 2012)**  
(AEC : Alimentation Eau Chaude ( $11,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) - AEF : Alimentation Eau Froide ( $3,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ))

<sup>1</sup> 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<br>(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 2011 à octobre 2012 est résumée dans le tableau 1.1.

**Tableau 1.1 Ensemble des travaux réalisés lors de la surveillance 2011-2012**

| 2011-2012                  | Paramètres                               | Périodicité par point |                      |                      |           |
|----------------------------|------------------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------|
|                            |                                          | Prise                 | Rejet                | Contrôle             | Référence |
| <b>DOMAINE PÉLAGIQUE</b>   |                                          |                       |                      |                      |           |
| Hydrologie                 | Température                              | hebdo.                | hebdo.               | 18/06/12<br>27/09/12 |           |
|                            | Salinité                                 | 18/06/12<br>27/09/12  |                      |                      |           |
| Chimie                     | Sels nutritifs azotés                    | hebdo.                | hebdo.               |                      |           |
|                            | Chlore, haloformes et bromoformes        | hebdo.                | hebdo.               |                      |           |
|                            | Bromophénols                             |                       | mensuel              |                      |           |
| Bactériologie              | Vibrions halophiles                      | hebdo.                | hebdo.               | 18/06/12<br>27/09/12 |           |
| Phytoplancton              | Pigments chlorophylliens<br>Flore totale | hebdo.                | 18/06/12<br>27/09/12 |                      |           |
| Zooplancton                | Méso-zooplancton                         | mensuel               | 18/06/12<br>27/09/12 |                      |           |
| <b>DOMAINE HALIEUTIQUE</b> |                                          |                       |                      |                      |           |
| Ichtyoplancton             | Soles et sprats (œufs et larves)         | 10/04/12              | 20/04/12<br>24/05/12 |                      |           |
|                            |                                          | 20/04/12              |                      |                      |           |
|                            |                                          | 03/05/12              |                      |                      |           |
|                            |                                          | 24/05/12              |                      |                      |           |
| Macrofaune                 | Crevettes grises                         | 10/04/12              | 20/04/12<br>24/05/12 |                      |           |
|                            |                                          | 20/04/12              |                      |                      |           |
|                            |                                          | 03/05/12              |                      |                      |           |
|                            |                                          | 24/05/12              |                      |                      |           |
| <b>DOMAINE BENTHIQUE</b>   |                                          |                       |                      |                      |           |
| Benthos intertidal         | Sédiment (granulométrie)                 | E-F-G-H               | M-N                  | I-J-K-L              | B-C       |
|                            | Macrofaune                               |                       |                      |                      |           |
| Benthos subtidal           | Sédiment (granulométrie)<br>Macrofaune   |                       |                      |                      | 10/02/12  |
|                            |                                          |                       |                      |                      | 23/03/12  |
|                            |                                          |                       |                      |                      | 06/07/12  |
|                            |                                          |                       |                      |                      | 14/11/12  |

#### 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 2012 elles ont été réalisées le 18 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 2012**

| Date     | Pleine mer<br>(heure locale) | Coeff. de<br>marée | Prise | Rejet | Contrôle | Référence |
|----------|------------------------------|--------------------|-------|-------|----------|-----------|
| 18/06/12 | 13:10                        | 66                 | 12:10 | 13:50 | 12:35    | 13:20     |
| 27/09/12 | 13:48                        | 69                 | 11:20 | 10:45 | 11:10    | 11:45     |

En complément, des prélèvements hebdomadaires sont réalisés depuis les berges aux canaux de prise d'eau 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 (20 avril et 24 mai 2012) selon un gradient côte-large dans le milieu récepteur.
- 2 campagnes au canal d'amenée (10 avril et 3 mai 2012).

#### **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 6 juillet 2012.

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 (10 février, 23 mars, 6 juillet et 14 novembre 2012).



## 2. FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE ET HYDROLOGIE

Auteur : E. Antajan



## 2.1. Fonctionnement de la Centrale

Ce paragraphe est réalisé à partir des données de fonctionnement communiquées par le Centre Nucléaire de Production d'Électricité de Gravelines. Le CNPE de Gravelines comprend six réacteurs d'une puissance électrique unitaire d'environ 900 MW par heure. En 2011-2012, la puissance électrique produite par le CNPE correspondait en moyenne hebdomadaire à l'équivalent de 2,3 à 5,3 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 3853 MW/h, soit l'équivalent de 4,3 tranches.

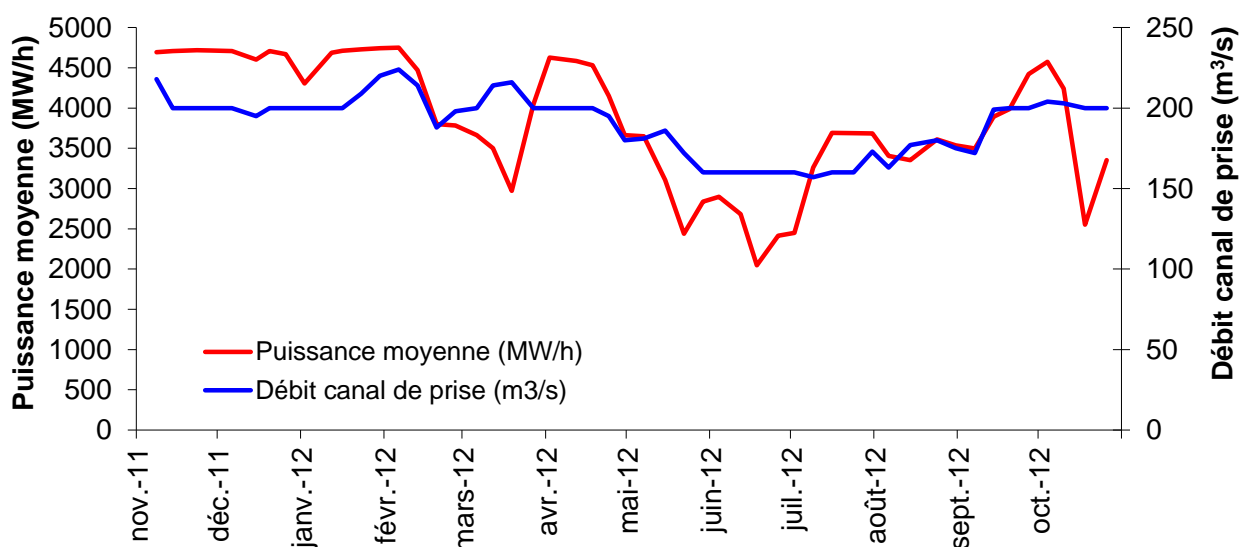


Figure 2.1 Fonctionnement de la centrale de Gravelines pour la période 2011-2012

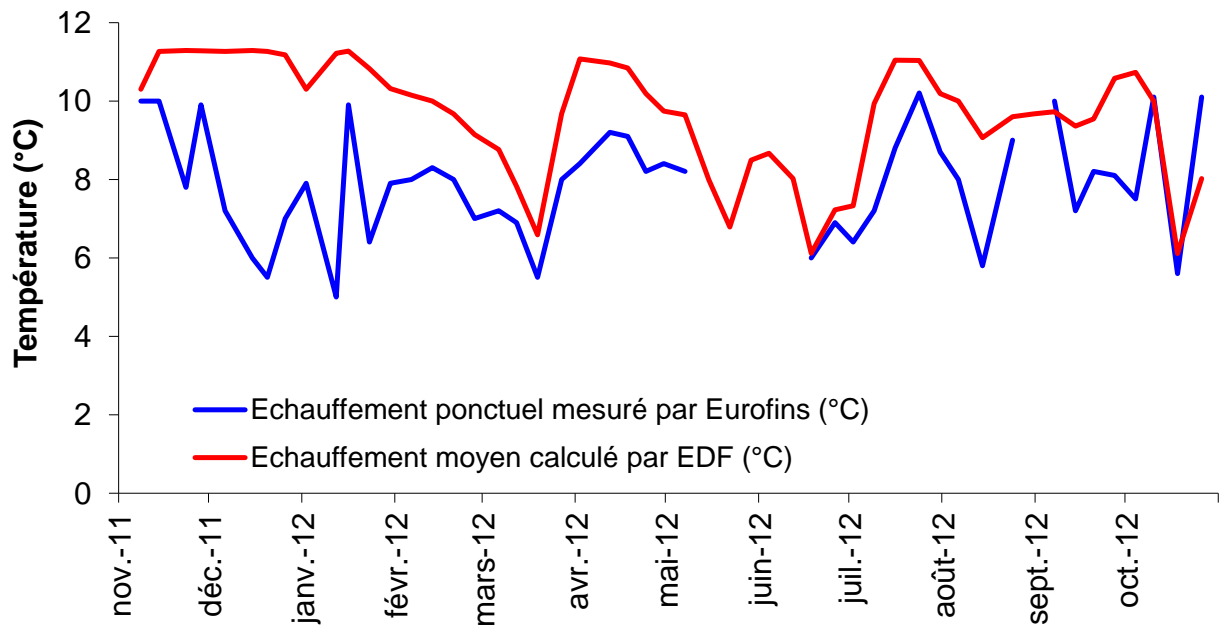
En première approximation, on peut considérer que la production d'un mégawatt électrique s'accompagne de la dissipation dans l'eau de mer de deux mégawatts thermiques. Il est alors possible de calculer un échauffement théorique du rejet de la centrale sur la base des données hebdomadaires de puissance 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 157 à 224 m<sup>3</sup>/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 190 m<sup>3</sup>/s, soit l'équivalent du débit de pompage de 4,8 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 2011-2012, ces variations ont été relativement faibles (figure 2.2 et tableau 2.1) :

Échauffement moyen calculé par EDF :  $9,7 \pm 1,5$  °C

Échauffement moyen (mesures Eurofins au canal de rejet) :  $7,9 \pm 1,4$  °C



**Figure 2.2 Comparaison entre les échauffements calculés et mesurés au canal de rejet**  
 (Les valeurs d'échauffement ponctuel anormalement basses mesurées par Eurofins ont été supprimées)

L'écart moyen des valeurs calculées par EDF et mesurées au point rejet lors de nos prélèvements ponctuels était de 2 °C.

**Tableau 2.1. Fonctionnement de la centrale en 2011-2012**  
**(Débit et puissance calculés à partir des données fournies par EDF)**  
**(Les valeurs d'échauffement ponctuel anormalement basses mesurées par Eurofins ont été**

| Année   | Semaine |         | Puissance moyenne<br>MW/h | Débit canal<br>m <sup>3</sup> /s | Echauffement moyen<br>calculé par EDF (°C) | Echauffement ponctuel<br>mesuré par Eurofins (°C) |
|---------|---------|---------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------|
|         | du      | au      |                           |                                  |                                            |                                                   |
| 2011    | 07-nov  | 13-nov  | 4693                      | 218                              | 10.3                                       | 10                                                |
|         | 14-nov  | 20-nov  | 4708                      | 200                              | 11.3                                       | 10                                                |
|         | 21-nov  | 27-nov  | 4718                      | 200                              | 11.3                                       | 7.8                                               |
|         | 28-nov  | 04-déc  | 4713                      | 200                              | 11.3                                       | 9.9                                               |
|         | 05-déc  | 11-déc  | 4707                      | 200                              | 11.3                                       | 7.2                                               |
|         | 12-déc  | 18-déc  | 4601                      | 195                              | 11.3                                       | 6                                                 |
|         | 19-déc  | 25-déc  | 4707                      | 200                              | 11.3                                       | 5.5                                               |
|         | 26-déc  | 01-janv | 4670                      | 200                              | 11.2                                       | 7                                                 |
| 2012    | 02-janv | 08-janv | 4305                      | 200                              | 10.3                                       | 7.9                                               |
|         | 09-janv | 15-janv | 4687                      | 200                              | 11.2                                       | 5                                                 |
|         | 16-janv | 22-janv | 4710                      | 200                              | 11.3                                       | 9.9                                               |
|         | 23-janv | 29-janv | 4729                      | 209                              | 10.8                                       | 6.4                                               |
|         | 30-janv | 05-févr | 4744                      | 220                              | 10.3                                       | 7.9                                               |
|         | 06-févr | 12-févr | 4750                      | 224                              | 10.1                                       | 8                                                 |
|         | 13-févr | 19-févr | 4472                      | 214                              | 10.0                                       | 8.3                                               |
|         | 20-févr | 26-févr | 3799                      | 188                              | 9.7                                        | 8                                                 |
|         | 27-févr | 04-mars | 3783                      | 198                              | 9.1                                        | 7                                                 |
|         | 05-mars | 11-mars | 3664                      | 200                              | 8.8                                        | 7.2                                               |
|         | 12-mars | 18-mars | 3499                      | 214                              | 7.8                                        | 6.9                                               |
|         | 19-mars | 25-mars | 2973                      | 216                              | 6.6                                        | 5.5                                               |
|         | 26-mars | 01-avr  | 4045                      | 200                              | 9.7                                        | 8                                                 |
|         | 02-avr  | 08-avr  | 4626                      | 200                              | 11.1                                       | 8.4                                               |
|         | 09-avr  | 15-avr  | 4585                      | 200                              | 11.0                                       | 9.2                                               |
|         | 16-avr  | 22-avr  | 4533                      | 200                              | 10.8                                       | 9.1                                               |
|         | 23-avr  | 29-avr  | 4151                      | 195                              | 10.2                                       | 8.2                                               |
|         | 30-avr  | 06-mai  | 3665                      | 180                              | 9.7                                        | 8.4                                               |
|         | 07-mai  | 13-mai  | 3650                      | 181                              | 9.6                                        | 8.2                                               |
|         | 14-mai  | 20-mai  | 3105                      | 186                              | 8.0                                        |                                                   |
|         | 21-mai  | 27-mai  | 2440                      | 172                              | 6.8                                        | 6.8                                               |
|         | 28-mai  | 03-juin | 2838                      | 160                              | 8.5                                        |                                                   |
|         | 04-juin | 10-juin | 2897                      | 160                              | 8.7                                        |                                                   |
|         | 11-juin | 17-juin | 2682                      | 160                              | 8.0                                        |                                                   |
|         | 18-juin | 24-juin | 2046                      | 160                              | 6.1                                        | 6                                                 |
|         | 25-juin | 01-juil | 2414                      | 160                              | 7.2                                        | 6.9                                               |
|         | 02-juil | 08-juil | 2450                      | 160                              | 7.3                                        | 6.4                                               |
|         | 09-juil | 15-juil | 3260                      | 157                              | 9.9                                        | 7.2                                               |
|         | 16-juil | 22-juil | 3692                      | 160                              | 11.0                                       | 8.8                                               |
|         | 23-juil | 29-juil | 3689                      | 160                              | 11.0                                       | 10.2                                              |
|         | 30-juil | 05-août | 3683                      | 173                              | 10.2                                       | 8.7                                               |
|         | 06-août | 12-août | 3406                      | 163                              | 10.0                                       | 8                                                 |
| 13-août | 19-août | 3352    | 177                       | 9.1                              | 5.8                                        |                                                   |
| 20-août | 26-août | 3612    | 180                       | 9.6                              | 9                                          |                                                   |
| 27-août | 02-sept | 3535    | 175                       | 9.7                              |                                            |                                                   |
| 03-sept | 09-sept | 3496    | 172                       | 9.7                              | 10                                         |                                                   |
| 10-sept | 16-sept | 3892    | 199                       | 9.4                              | 7.2                                        |                                                   |
| 17-sept | 23-sept | 3990    | 200                       | 9.5                              | 8.2                                        |                                                   |
| 24-sept | 30-sept | 4421    | 200                       | 10.6                             | 8.1                                        |                                                   |
| 01-oct  | 07-oct  | 4573    | 204                       | 10.7                             | 7.5                                        |                                                   |
| 08-oct  | 14-oct  | 4241    | 203                       | 10.0                             | 10.1                                       |                                                   |
| 15-oct  | 21-oct  | 2553    | 200                       | 6.1                              | 5.6                                        |                                                   |
| 22-oct  | 28-oct  | 3353    | 200                       | 8.0                              | 10.1                                       |                                                   |

supprimées)





## 2.2. Hydrologie

### 2.2.1. Canaux de prise et de rejet

#### 2.2.1.1. Température

Une température minimale de 3,1 °C a été observée le 13/02/12 au point de prise d'eau. Classiquement les températures les plus chaudes, comprises entre 19 et 20°C, ont été relevées à ce point à la fin de l'été, d'août à septembre (figure 2.4). La moyenne annuelle des températures de l'eau au point *prise* était de 12,6 °C.

La période 2011-2012 a été marquée par des températures en baisse par rapport aux moyennes mensuelles observées depuis 1996, confirmant la tendance au refroidissement observée depuis 2010 (figure 2.5).

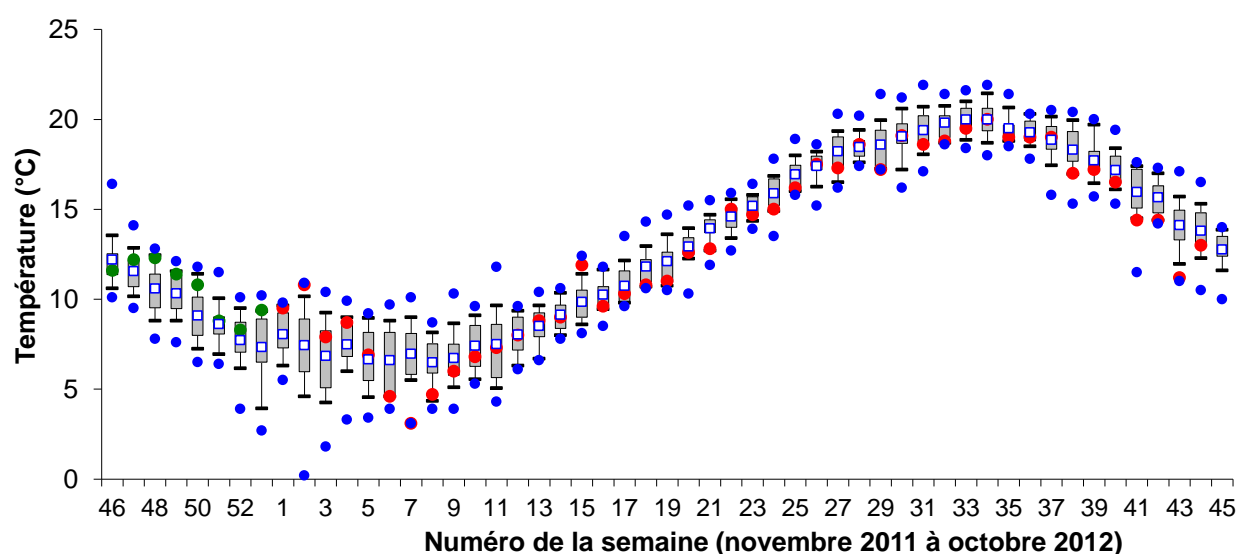


Figure 2.4 Evolution hebdomadaire de la température de l'eau au canal de prise de 1996-2012 (points verts = données 2011 ; points rouges = données 2012 ; points bleus = données extrêmes depuis 1996 ; carrés bleus = moyennes mensuelles depuis 1996)

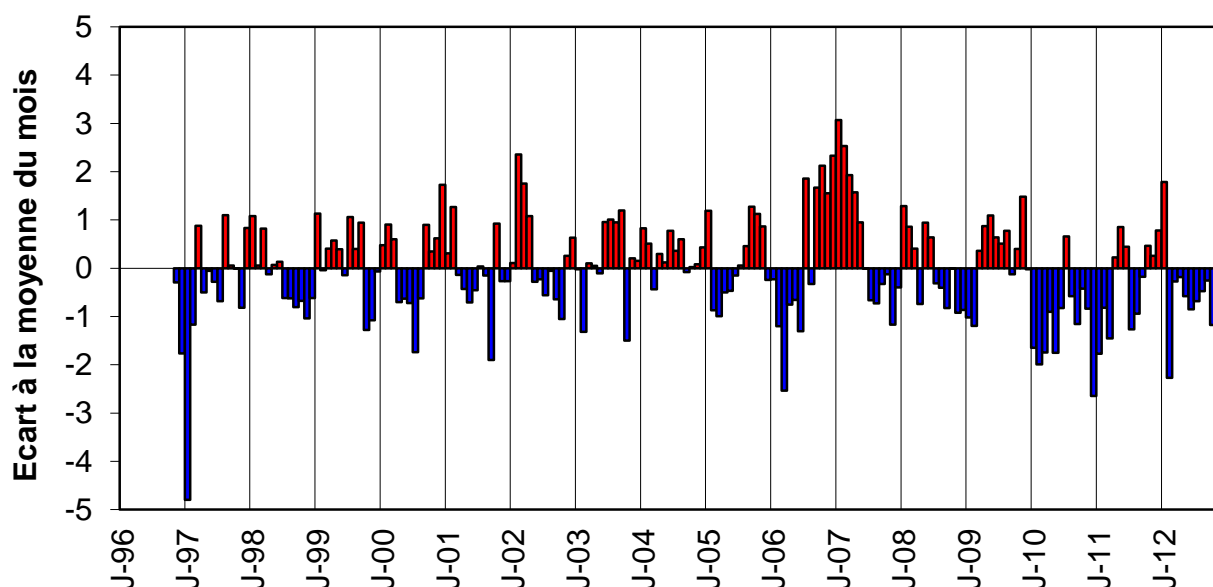


Figure 2.5 Ecart à la moyenne mensuelle des températures de l'eau au canal de prise de 1996 à 2012

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 29°C le 24/08/2012 (figure 2.6).

Le transit de l'eau dans la centrale, calculé sur la base des prélèvements hebdomadaires réalisés, s'est traduit par un échauffement moyen de 7,8 °C, tout à fait dans l'ordre des valeurs observées depuis 1996 ( $8,8 \pm 1,3^\circ\text{C}$ ).

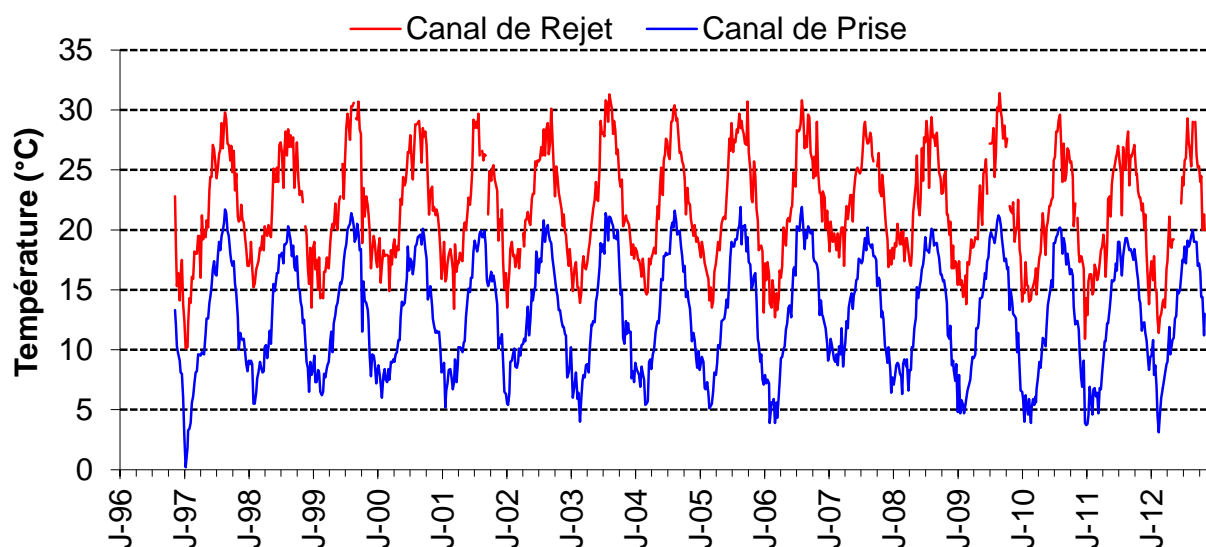
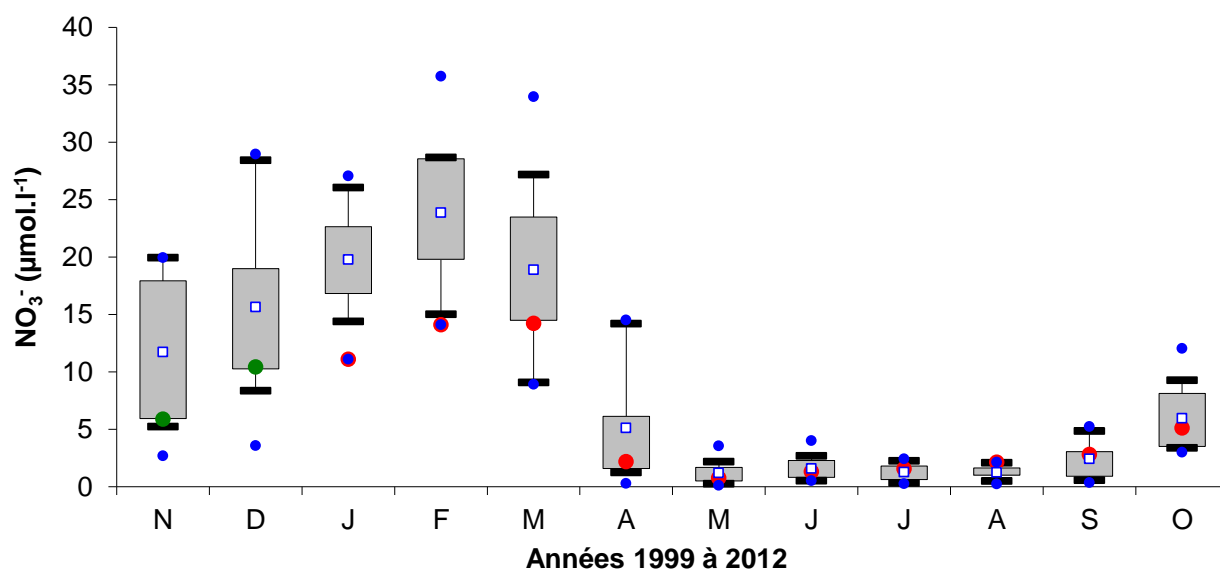


Figure 2.6 Température hebdomadaire de l'eau aux canaux de prise et de rejet de 1996 à 2012

#### 2.2.1.2. Sels nutritifs

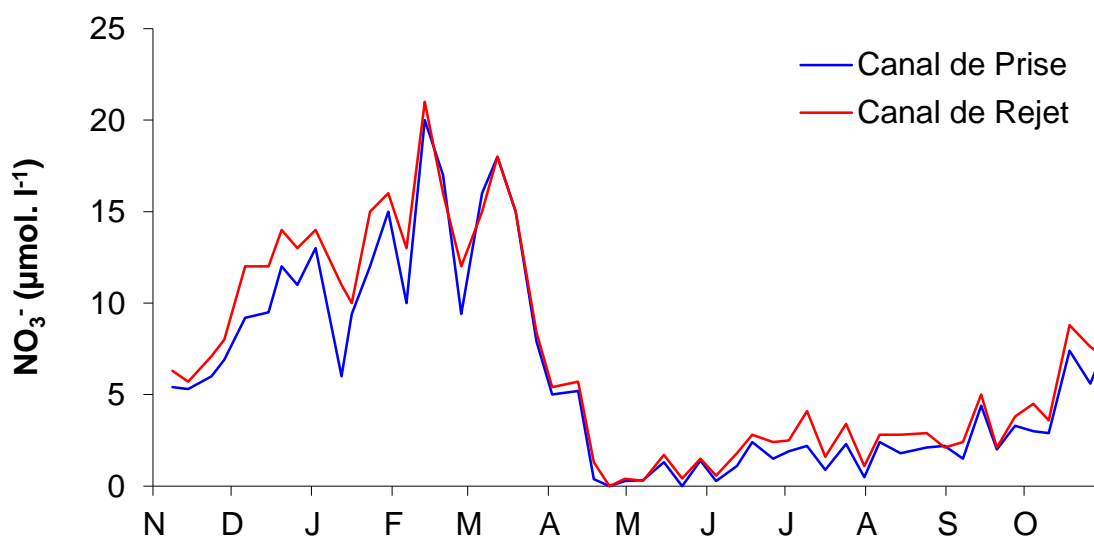
En raison des apports en azote dus à la ferme aquacole implantée sur le site et afin de mieux expliquer les phénomènes au niveau du phytoplancton, des dosages d'azote sont réalisés aux canaux de prise et de rejet. Deux formes d'azote sont mesurées : l'azote réduit ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) et la forme dominante de l'azote oxydé, le nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ).

Le renouvellement du stock hivernal de nitrates a été très faible cette année, les concentrations de janvier et février représentaient même les plus faibles valeurs depuis 1999 (figure 2.8 et tableau 2.2). La prolifération phytoplanctonique (cf figure 4.1) a entraîné l'épuisement rapide de ce stock dès la fin mars. Les concentrations en nitrates sont par la suite restées très faibles mais dans la moyenne des observations faites depuis 1999.



**Figure 2.8 Evolution des concentrations mensuelles en nitrate au canal de prise de 1999-2012 (points verts = données 2011 ; points rouges = données 2012 ; points bleus = données extrêmes depuis 1999 ; carrés bleus = moyennes mensuelles depuis 1999)**

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  $0,9 \mu\text{mol.l}^{-1}$  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 2011-2012**

Pour l'ammonium, on a observé de très fortes concentrations fin 2011 puis une diminution régulière des concentrations jusqu'au bloom phytoplanctonique printanier (figure 2.10 et tableau 2.2). Une remontée des concentrations est observée à partir de juin avec la fin des proliférations phytoplanctoniques.

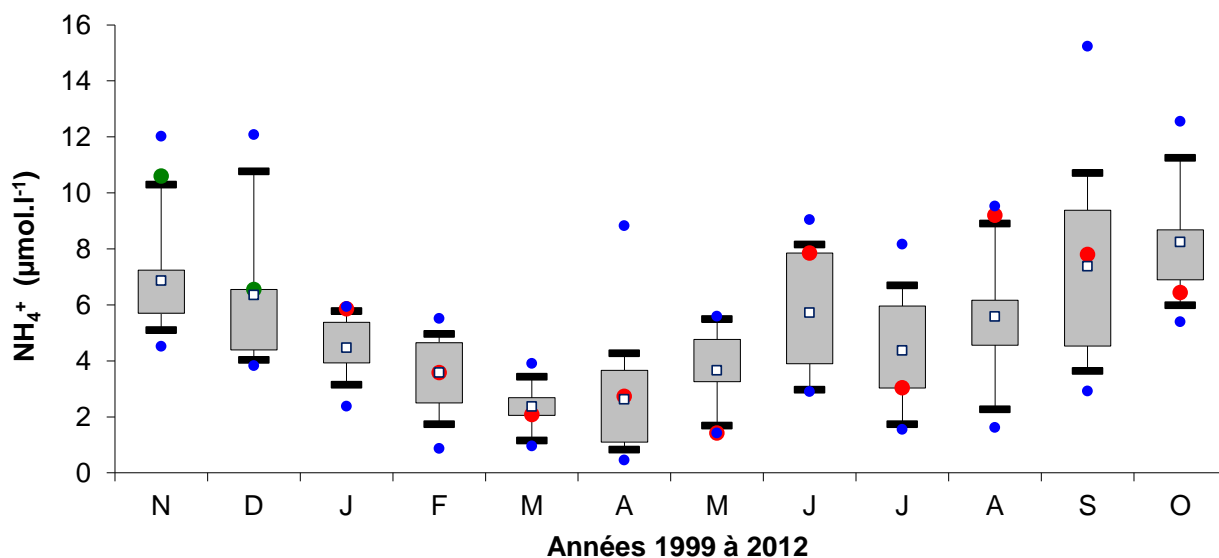


Figure 2.10 Evolution des concentrations mensuelles en ammonium au canal de *prise* de 1999-2012 (points verts = données 2011 ; points rouges = données 2012 ; points bleus = données extrêmes depuis 1999 ; carrés bleus = moyennes mensuelles depuis 1999)

Le transit de l'eau se traduit en moyenne annuelle par un apport en ammonium de  $0,3 \mu\text{mol.l}^{-1}$ , cet apport est concentré sur la période estivale pour devenir quasiment nul en automne-hiver (figure 2.11).

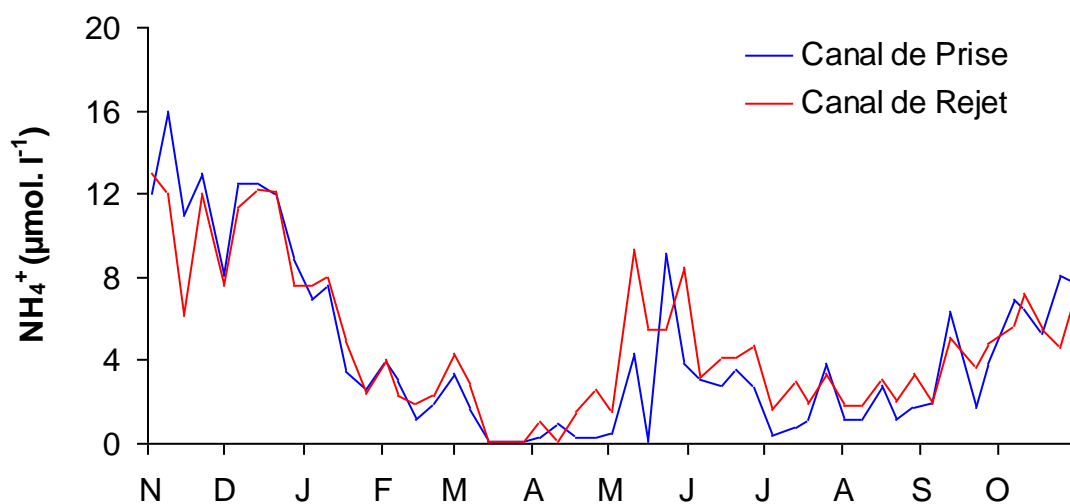


Figure 2.11 Concentration en ammonium aux canaux de *prise* et de *rejet* pour la période 2011-2012

**Tableau 2.2 Concentrations hebdomadaires en ammonium et nitrate aux canaux de prise et de rejet pour la période 2011-2012**

| Date       | Canal d'amenée                  |                                             | Canal de rejet                  |                                             |
|------------|---------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------|
|            | NH4+ ( $\mu\text{mol.l}^{-1}$ ) | NO3 <sup>-</sup> ( $\mu\text{mol.l}^{-1}$ ) | NH4+ ( $\mu\text{mol.l}^{-1}$ ) | NO3 <sup>-</sup> ( $\mu\text{mol.l}^{-1}$ ) |
| 08/11/2011 | 9.4                             | 5.4                                         | 7.4                             | 6.3                                         |
| 14/11/2011 | 11.0                            | 5.3                                         | 9.6                             | 5.7                                         |
| 23/11/2011 | 10.0                            | 6.0                                         | 9.1                             | 7.1                                         |
| 28/11/2011 | 12.0                            | 6.9                                         | 10.0                            | 8.0                                         |
| 06/12/2011 | 11.0                            | 9.2                                         | 9.5                             | 12.0                                        |
| 15/12/2011 | 5.3                             | 9.5                                         | 5.8                             | 12.0                                        |
| 20/12/2011 | 4.9                             | 12.0                                        | 5.2                             | 14.0                                        |
| 26/12/2011 | 5.0                             | 11.0                                        | 6.1                             | 13.0                                        |
| 02/01/2012 | 5.8                             | 13.0                                        | 5.3                             | 14.0                                        |
| 12/01/2012 | 7.7                             | 6.0                                         | 7.8                             | 11.0                                        |
| 16/01/2012 | 4.7                             | 9.4                                         | 6.3                             | 10.0                                        |
| 23/01/2012 | 4.2                             | 12.0                                        | 5.1                             | 15.0                                        |
| 30/01/2012 | 6.9                             | 15.0                                        | 7.2                             | 16.0                                        |
| 06/02/2012 | 5.4                             | 10.0                                        | 6.3                             | 13.0                                        |
| 13/02/2012 | 4.2                             | 20.0                                        | 4.6                             | 21.0                                        |
| 20/02/2012 | 3.2                             | 17.0                                        | 4.2                             | 16.0                                        |
| 27/02/2012 | 1.5                             | 9.4                                         | 3.1                             | 12.0                                        |
| 06/03/2012 | 3.5                             | 16.0                                        | 2.6                             | 15.0                                        |
| 12/03/2012 | 1.2                             | 18.0                                        | 3.2                             | 18.0                                        |
| 19/03/2012 | 0.4                             | 15.0                                        | 0.7                             | 15.0                                        |
| 27/03/2012 | 3.2                             | 7.9                                         | 3.7                             | 8.4                                         |
| 02/04/2012 | 2.1                             | 5.0                                         | 2.9                             | 5.4                                         |
| 12/04/2012 | 5.0                             | 5.2                                         | 9.9                             | 5.7                                         |
| 18/04/2012 | 4.8                             | 0.4                                         | 5.9                             | 1.3                                         |
| 24/04/2012 | 0.9                             | 0.0                                         | 4.0                             | 0.0                                         |
| 30/04/2012 | 0.9                             | 0.3                                         | 2.1                             | 0.4                                         |
| 07/05/2012 | 1.8                             | 0.3                                         | 4.3                             | 0.3                                         |
| 15/05/2012 | 2.0                             | 1.3                                         | 2.4                             | 1.7                                         |
| 22/05/2012 | 1.1                             | 0.0                                         | 1.1                             | 0.4                                         |
| 29/05/2012 | 0.8                             | 1.4                                         | 0.9                             | 1.5                                         |
| 04/06/2012 | 4.8                             | 0.3                                         | 4.6                             | 0.6                                         |
| 12/06/2012 | 5.0                             | 1.1                                         | 3.3                             | 1.8                                         |
| 18/06/2012 | 12.0                            | 2.4                                         | 11.0                            | 2.8                                         |
| 26/06/2012 | 9.6                             | 1.5                                         | 9.4                             | 2.4                                         |
| 02/07/2012 | 0.1                             | 1.9                                         | 0.6                             | 2.5                                         |
| 09/07/2012 | 0.9                             | 2.2                                         | 0.3                             | 4.1                                         |
| 16/07/2012 | 3.9                             | 0.9                                         | 6.1                             | 1.6                                         |
| 24/07/2012 | 4.0                             | 2.3                                         | 6.1                             | 3.4                                         |
| 31/07/2012 | 6.3                             | 0.5                                         | 6.6                             | 1.1                                         |
| 06/08/2012 | 6.4                             | 2.4                                         | 7.4                             | 2.8                                         |
| 14/08/2012 | 13.0                            | 1.8                                         | 10.0                            | 2.8                                         |
| 24/08/2012 | 6.4                             | 2.1                                         | 6.0                             | 2.9                                         |
| 31/08/2012 | 11.0                            | 2.2                                         | 9.4                             | 2.1                                         |
| 07/09/2012 | 6.9                             | 1.5                                         | 6.8                             | 2.4                                         |
| 14/09/2012 | 9.7                             | 4.4                                         | 11.0                            | 5.0                                         |
| 20/09/2012 | 6.1                             | 2.0                                         | 7.5                             | 2.1                                         |
| 27/09/2012 | 8.5                             | 3.3                                         | 9.5                             | 3.8                                         |
| 04/10/2012 | 7.3                             | 3.0                                         | 7.5                             | 4.5                                         |
| 10/10/2012 | 7.2                             | 2.9                                         | 5.9                             | 3.6                                         |
| 18/10/2012 | 4.1                             | 7.4                                         | 7.2                             | 8.8                                         |
| 26/10/2012 | 6.8                             | 5.6                                         | 4.2                             | 7.6                                         |
| 29/10/2012 | 6.8                             | 6.7                                         | 6.3                             | 7.3                                         |

## 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 6,2 °C en juin et de 8,9 °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. Aucune stratification thermique n'a été notée au niveau du point de *référence* en juin et en septembre.

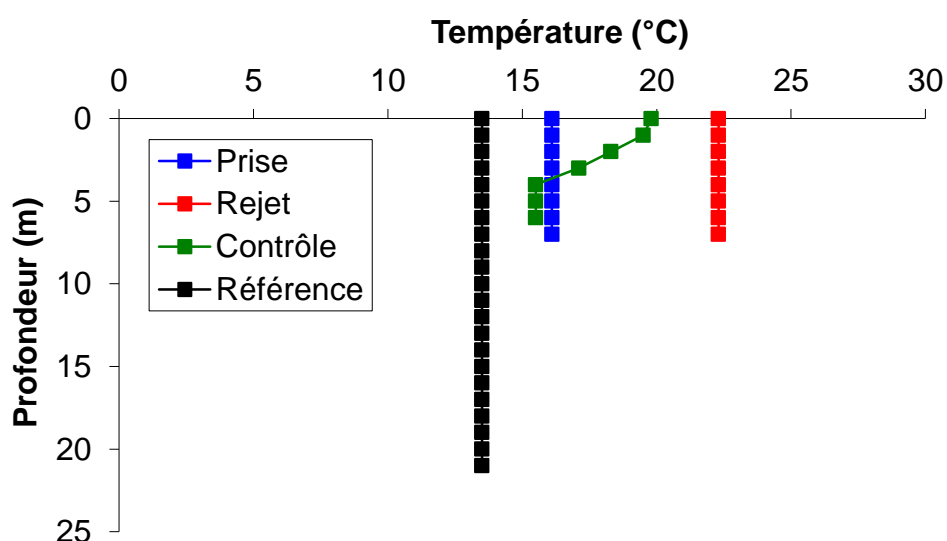


Figure 2.12 Profils de température lors de la campagne de prélèvements du 18/06/2012

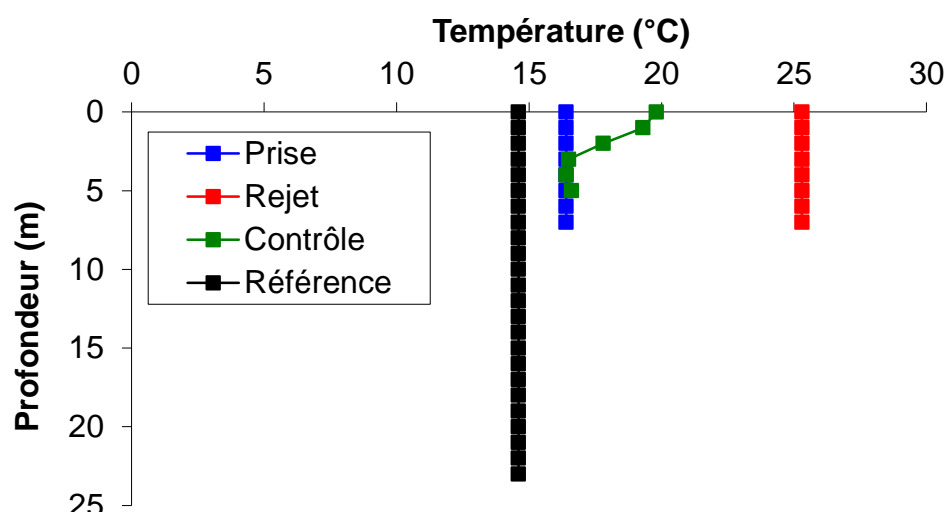


Figure 2.13 Profils de température lors de la campagne de prélèvements du 27/09/2012

### 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 (Figures 2.14 et 2.15) sauf au point

*contrôle* où une augmentation d'un point de la salinité a été observée à mi-profondeur en juin et en septembre. Comme pour la température, les turbulences importantes régnant dans les canaux de prise et de rejet font que leurs salinités sont considérées comme homogènes. Au point *référence* le profil de sonde ne montre pas non plus de stratification dans la colonne d'eau.

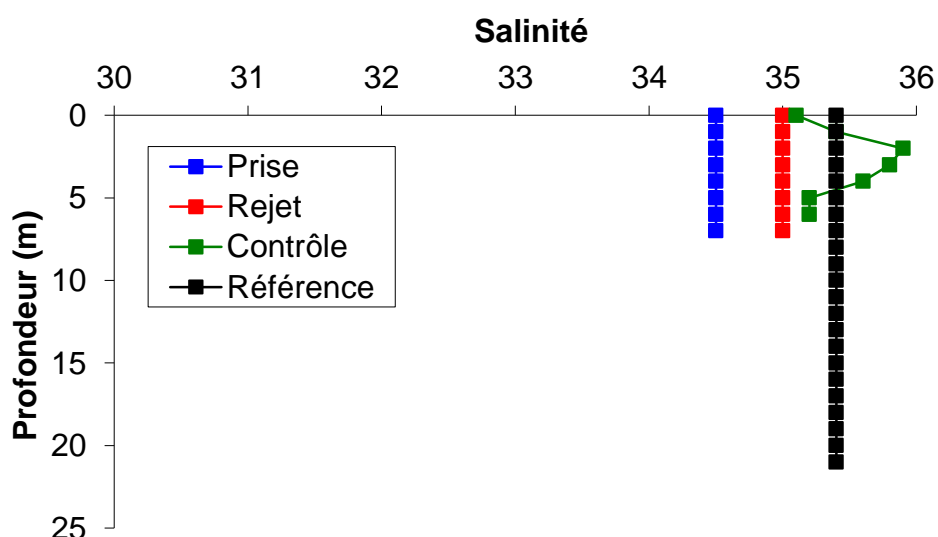


Figure 2.14 Profils de salinité lors de la campagne de prélèvements du 18/06/2012

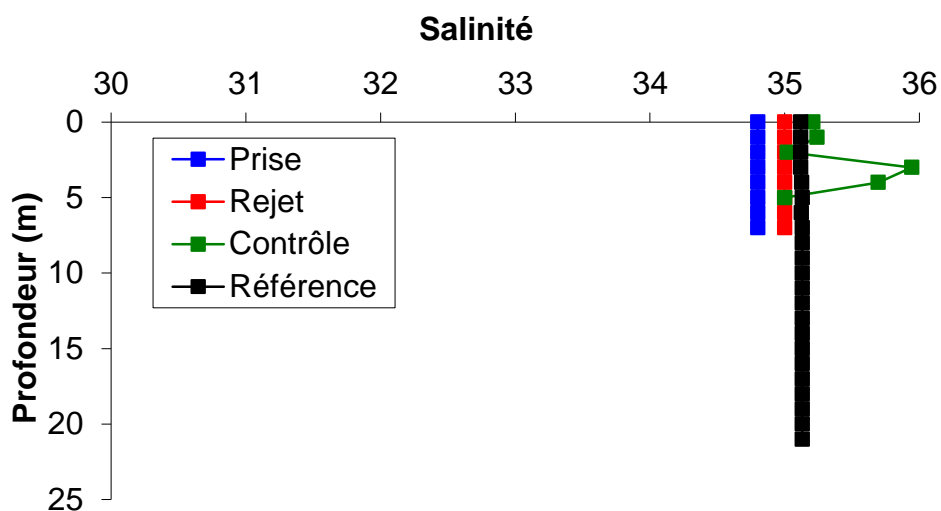


Figure 2.15 Profils de salinité lors de la campagne de prélèvements du 27/09/2012

\* : 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

Aucune température supérieure à 30°C n'a été enregistrée au cours de cette période et le transit de l'eau dans la centrale s'est traduit par un échauffement moyen hebdomadaire qui est toujours resté inférieur à 12°C, conformément à l'arrêté ministériel du 7 novembre 2003 (J.O. du 13 janvier 2004, article 19).

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.





### 3. ÉTUDE DE LA CHLORATION ET BACTÉRIOLOGIE

Auteurs : Elvire Antajan & Dominique Hervio-Heath



### 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 15/12/2011 et le 24/04/2012.

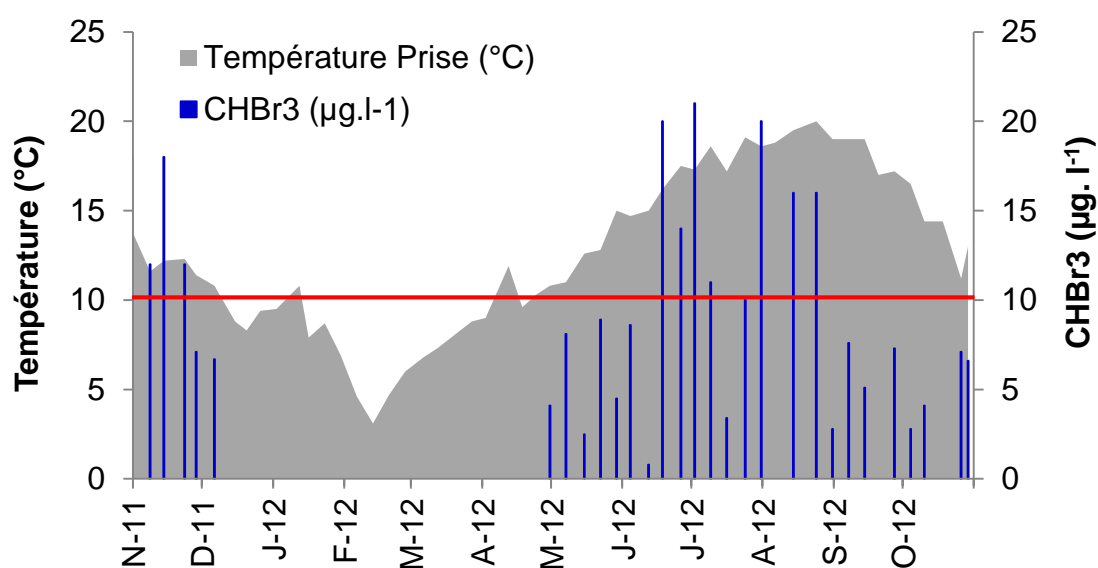


Figure 3.1 Concentration du bromoforme au canal de rejet en relation avec la température de l'eau au canal de prise

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 représentait comme les années précédentes 98,3 % des haloformes formés. La concentration moyenne était de 9,5 µg.l<sup>-1</sup> (figure 3.1 et tableau 3.1). Cette concentration moyenne est plus faible que les valeurs habituellement observées les années précédentes (environ 14 à 20 µg.l<sup>-1</sup>). Cette concentration correspond pour la période de chloration de 8 mois à la production d'environ 35 tonnes de bromoforme.

Parmi les autres haloformes formés, seul le monochlorodibromométhane (CHClBr<sub>2</sub>) a été mis en évidence cette année comme lors de la période précédente au seuil analytique de 0,02 µg.l<sup>-1</sup>. Il représente moins de 2,0 % des haloformes avec une concentration moyenne de 0,24 µg.l<sup>-1</sup>.

| Date       | Canal d'amenée                      |                                     |                                   | Canal de rejet                           |                                     |                                     |                                   |
|------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
|            | CHCl2Br<br>( $\mu\text{g.l}^{-1}$ ) | CHClBr2<br>( $\mu\text{g.l}^{-1}$ ) | CHBr3<br>( $\mu\text{g.l}^{-1}$ ) | Chlore tot.DPD<br>( $\text{mg.l}^{-1}$ ) | CHCl2Br<br>( $\mu\text{g.l}^{-1}$ ) | CHClBr2<br>( $\mu\text{g.l}^{-1}$ ) | CHBr3<br>( $\mu\text{g.l}^{-1}$ ) |
| 31/10/2011 | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              | <0.03                                    | 0.02                                | 0.33                                | 18.00                             |
| 08/11/2011 | <0.02                               | <0.02                               | 0.20                              | 0.05                                     | <0.02                               | 0.19                                | 12.00                             |
| 14/11/2011 | <0.02                               | <0.02                               | 0.70                              | 0.09                                     | 0.02                                | 0.32                                | 18.00                             |
| 23/11/2011 | <0.02                               | <0.02                               | 0.90                              | <0.03                                    | <0.02                               | 0.21                                | 12.00                             |
| 28/11/2011 | <0.02                               | <0.02                               | 0.60                              | <0.03                                    | <0.02                               | 0.14                                | 7.10                              |
| 06/12/2011 | <0.02                               | <0.02                               | 0.80                              | <0.03                                    | <0.02                               | 0.12                                | 6.70                              |
| 15/12/2011 | <0.02                               | <0.02                               | 0.20                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              |
| 20/12/2011 | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              |
| 26/12/2011 | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              |
| 02/01/2012 | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              |
| 12/01/2012 | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              |
| 16/01/2012 | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              |
| 23/01/2012 | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              |
| 30/01/2012 | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              |
| 06/02/2012 | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              |
| 13/02/2012 | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              |
| 20/02/2012 | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              |
| 27/02/2012 | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              |
| 06/03/2012 | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              |
| 12/03/2012 | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              |
| 19/03/2012 | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              |
| 27/03/2012 | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              |
| 02/04/2012 | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              |
| 12/04/2012 | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              |
| 18/04/2012 | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              |
| 24/04/2012 | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              |
| 30/04/2012 | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | 4.10                              |
| 07/05/2012 | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | 8.10                              |
| 15/05/2012 | <0.02                               | <0.02                               | 0.30                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | 2.50                              |
| 22/05/2012 | <0.02                               | <0.02                               | 0.20                              | <0.03                                    | <0.02                               | 0.17                                | 8.90                              |
| 29/05/2012 | <0.02                               | <0.02                               | 0.80                              | <0.03                                    | <0.02                               | 0.10                                | 4.50                              |
| 04/06/2012 | <0.02                               | <0.02                               | 0.70                              | <0.03                                    | <0.02                               | 0.26                                | 8.60                              |
| 12/06/2012 | <0.02                               | <0.02                               | 0.60                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | 0.80                              |
| 18/06/2012 | <0.02                               | <0.02                               | 1.10                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | 20.00                             |
| 26/06/2012 | <0.02                               | <0.02                               | 0.60                              | <0.03                                    | <0.02                               | 0.43                                | 14.00                             |
| 02/07/2012 | <0.02                               | <0.02                               | 0.80                              | <0.03                                    | <0.02                               | 0.63                                | 21.00                             |
| 09/07/2012 | <0.02                               | <0.02                               | 0.90                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | 11.00                             |
| 16/07/2012 | <0.02                               | <0.02                               | 0.40                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | 3.40                              |
| 24/07/2012 | <0.02                               | <0.02                               | 0.50                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | 10.00                             |
| 31/07/2012 | <0.02                               | <0.02                               | 1.60                              | <0.03                                    | 0.02                                | 0.48                                | 20                                |
| 06/08/2012 | <0.02                               | <0.02                               | 0.90                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              |
| 14/08/2012 | <0.02                               | <0.02                               | 0.90                              | <0.03                                    | <0.02                               | 0.38                                | 16.00                             |
| 24/08/2012 | <0.02                               | <0.02                               | 0.70                              | <0.03                                    | 0.02                                | 0.42                                | 16.00                             |
| 31/08/2012 | <0.02                               | <0.02                               | 0.50                              | <0.03                                    | <0.02                               | 0.05                                | 2.80                              |
| 07/09/2012 | <0.02                               | <0.02                               | 0.20                              | <0.03                                    | <0.02                               | 0.19                                | 7.60                              |
| 14/09/2012 | <0.02                               | <0.02                               | 0.40                              | <0.03                                    | <0.02                               | 0.13                                | 5.1                               |
| 20/09/2012 | <0.02                               | <0.02                               | 0.30                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              |
| 27/09/2012 | <0.02                               | <0.02                               | 0.30                              | <0.03                                    | <0.02                               | 0.17                                | 7.30                              |
| 04/10/2012 | <0.02                               | <0.02                               | 0.50                              | <0.03                                    | <0.02                               | 0.07                                | 2.80                              |
| 10/10/2012 | <0.02                               | <0.02                               | 0.20                              | <0.03                                    | <0.02                               | 0.13                                | 4.1                               |
| 18/10/2012 | <0.02                               | <0.02                               | 0.40                              | <0.03                                    | <0.02                               | <0.02                               | <0.1                              |
| 26/10/2012 | <0.02                               | <0.02                               | 0.20                              | <0.03                                    | <0.02                               | 0.2                                 | 7.1                               |
| 29/10/2012 | <0.02                               | <0.02                               | 0.10                              | <0.03                                    | <0.02                               | 0.17                                | 6.6                               |

**Tableau 3.1 Concentration hebdomadaire du chlore résiduel et des haloformes aux canaux de prise et de rejet pour la période 2011-2012**

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

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 va-

leur calculée en 2011-2012 était de 7,3 %. 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.

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 3.2). Parmi les autres tri-bromo phénols recherchés seul le 2,4-dibromophénol a été détecté cette année au mois de septembre ( $0,25 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ).

**Tableau 3.2 Dosages des bromo-phénols au canal de rejet (valeurs en  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ )  
(en avril la mesure n'a pas été effectuée)**

|            | 2,4,6-tribromo-phénol | 2,6-dibromo-phénol | 2,4-dibromo-phénol | 4-bromo-phénol | 3-bromo-phénol | 2-bromo-phénol |
|------------|-----------------------|--------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|
| 23/11/2011 | 0.03                  | <0.05              | <0.05              | <1             | <1             | <1             |
| 06/12/2011 | <0.01                 | <0.05              | <0.05              | <1             | <1             | <1             |
| 02/01/2012 | <0.01                 | <0.05              | <0.05              | <1             | <1             | <1             |
| 06/02/2012 | <0.01                 | <0.05              | <0.05              | <1             | <1             | <1             |
| 06/03/2012 | <0.01                 | <0.05              | <0.05              | <1             | <1             | <1             |
| -          | -                     | -                  | -                  | -              | -              | -              |
| 15/05/2012 | <0.01                 | <0.05              | <0.05              | <1             | <1             | <1             |
| 04/06/2012 | <0.01                 | <0.05              | <0.05              | <1             | <1             | <1             |
| 02/07/2012 | 0.03                  | <0.05              | <0.05              | <1             | <1             | <1             |
| 06/08/2012 | 0.02                  | <0.05              | <0.05              | <1             | <1             | <1             |
| 07/09/2012 | 0.04                  | <0.05              | 0.25               | <1             | <1             | <1             |
| 04/10/2012 | 0.03                  | <0.05              | <0.05              | <1             | <1             | <1             |

### 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<sup>er</sup> trimestre), leur maximum est observé à la fin de l'été (3<sup>ème</sup> 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)<sup>1</sup>. En cas de suspicion de *Vibrio cholerae*, des tests d'agglutinations supplémentaires sont effectués (sérogroupes O1 et O139).

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 API20E. L'utilisation de ce nouveau catalogue a surtout des incidences en ce qui concerne l'espèce *Vibrio cholerae*. De nombreux germes auparavant classés *V. cholerae* sont maintenant considérés comme mal-discriminés entre *V. cholerae* et d'autres espèces ce qui a pour conséquence de diminuer le nombre de *Vibrio cholerae* isolés sur le site. Ceci permet d'écarter du groupe *V. cholerae*, un certain nombre de souches de l'environnement très éloignées du véritable *V. cholerae* épidémique.

### 3.2.2. Aspect quantitatif

A la prise d'eau, on a observé des valeurs d'abondance totale en vibrions fin 2011 supérieures à celles enregistrées à la même période entre 1997 et 2010. Les abondances relevées sur le reste de la période sont généralement inférieures à celles observées précédemment (figure 3.2). Cette tendance est également observée à partir du mois de février au canal de rejet (figure 3.3).

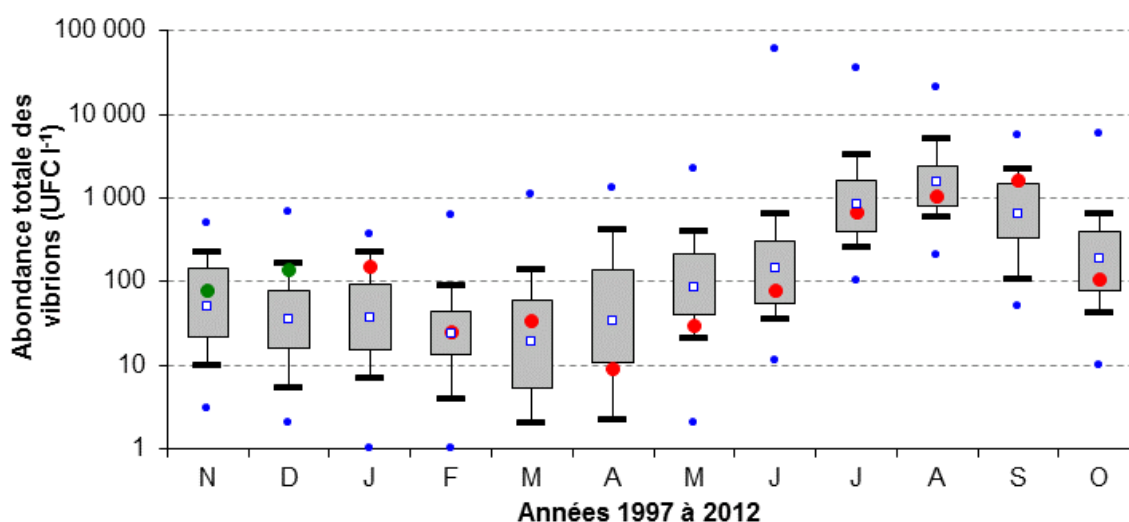
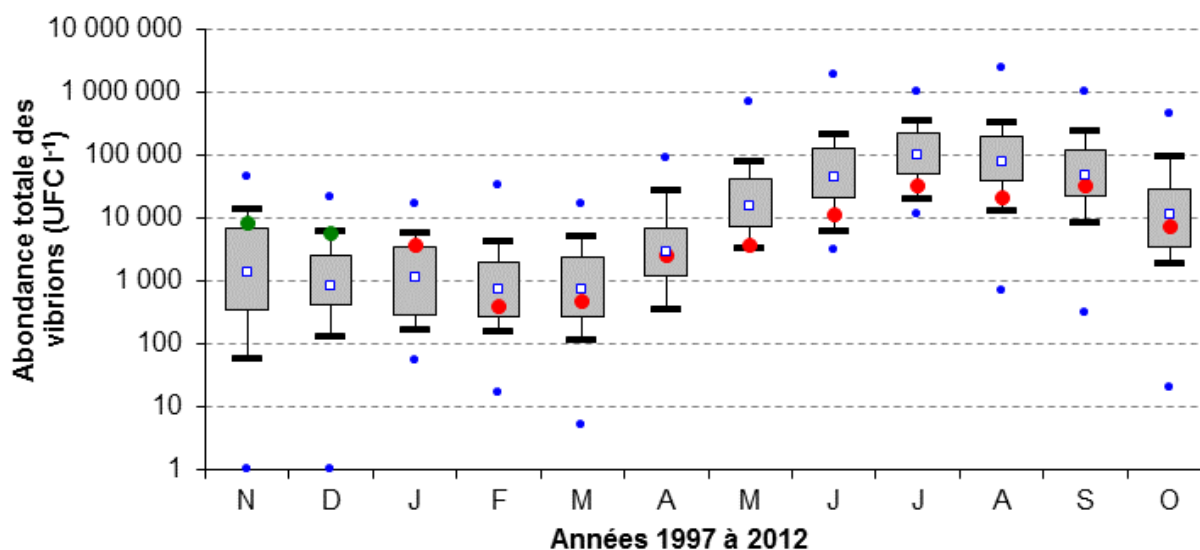


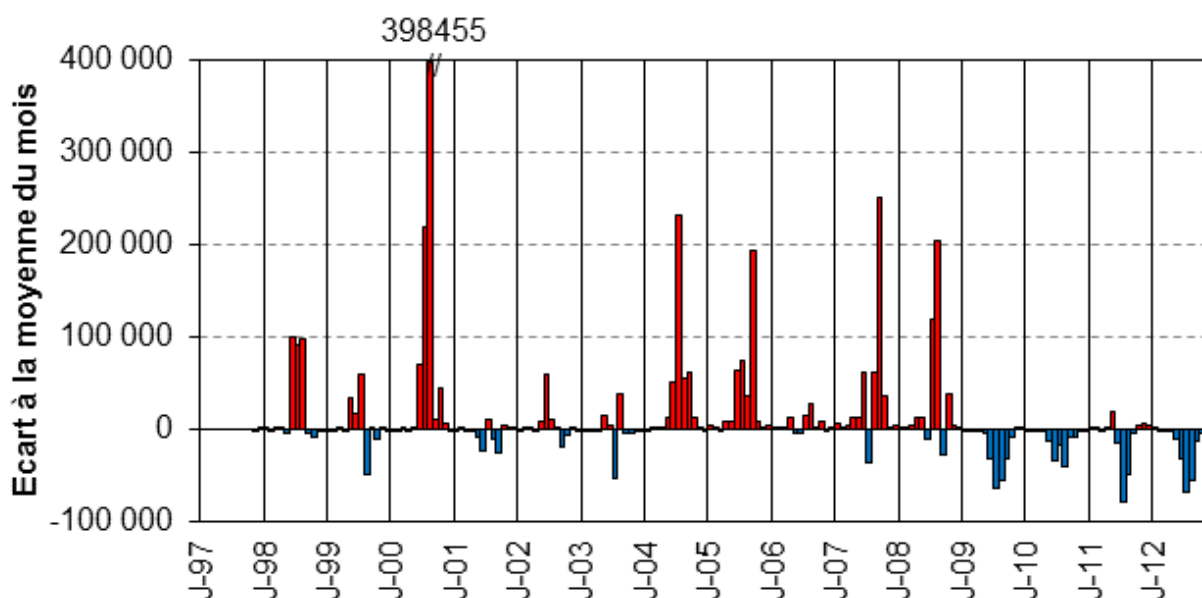
Figure 3.2 Evolution mensuelle de l'abondance totale des vibrions au canal de prise de 1997 à 2012. (points verts = données 2011 ; points rouges = données 2012 ; points bleus = données extrêmes depuis 1997 ; carrés bleus = moyennes géométriques depuis novembre 1997)

<sup>1</sup> 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



**Figure 3.3** Evolution mensuelle de l'abondance totale des vibrions au canal de rejet de 1997 à 2012. (points verts = données 2011 ; points rouges = données 2012 ; points bleus = données extrêmes depuis 1997 ; carrés bleus = moyennes géométriques depuis novembre 1997)

La période 2011-2012 a été marquée par des abondances en vibrions en baisse par rapport aux moyennes géométriques mensuelles relevées depuis 1997, confirmant la tendance observée depuis 2009 (figure 3.4).



**Figure 3.4** Ecarts à la moyenne géométrique mensuelle des abondances totales de vibrions au canal de rejet de 1997 à 2012

Entre le point *prise* et le point *rejet*, l'abondance moyenne annuelle des vibrions était multipliée par 46,5 (figures 3.5 et 3.6). Les variations des abondances moyennes mensuelles entre les deux points étaient les plus faibles en février et mars 2012 (facteur de multiplication de 15,4 et 13,8, respectivement) et les plus élevées en avril, mai et juin 2012 (facteur de



multiplication 234, 121.4 et 138.2, respectivement). Le facteur de multiplication annuel est inhabituellement faible et comparable à celui des trois périodes de mesures précédentes (2008-2009 à 2010-2011).

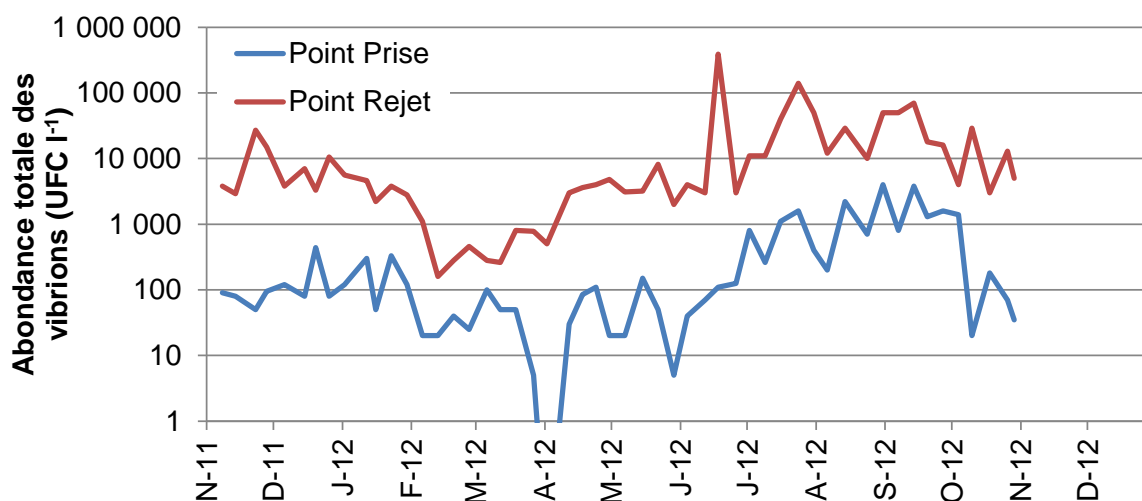


Figure 3.5 Abondance hebdomadaire des vibrions cultivables à 37 °C aux canaux de prise et de rejet (Vibrions par litre en échelle logarithmique)

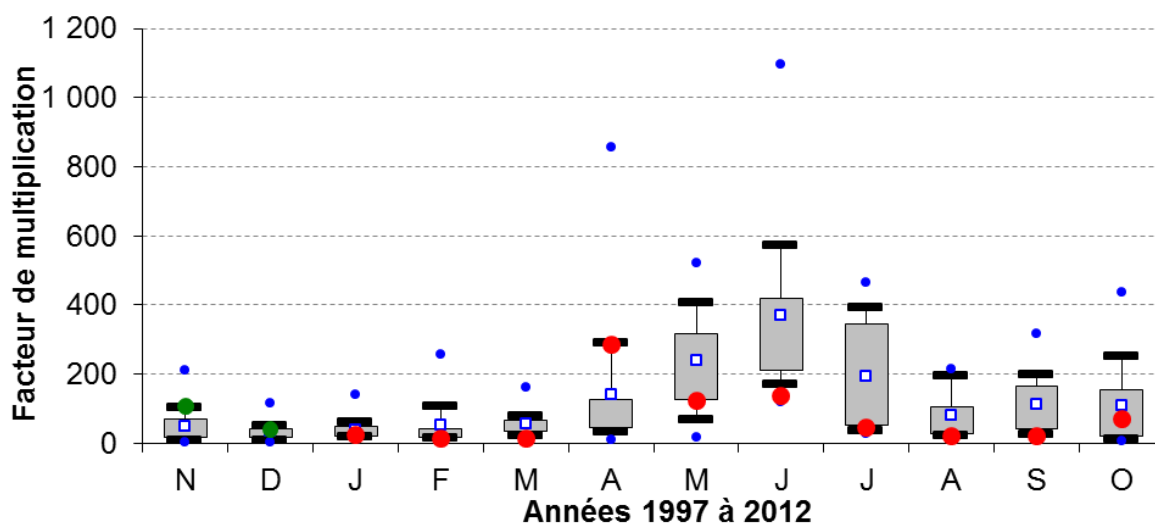


Figure 3.6 Facteur de multiplication des vibrions entre les canaux de prise et de rejet de 1997 à 2012 (points verts = données 2011 ; points rouges = données 2012 ; points bleus = données extrêmes depuis 1997 ; carrés bleus = moyennes depuis novembre 1997)

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 jusqu'en 2008. Cependant l'amplitude des cycles annuels se réduisait régulièrement, ce qui est clairement mise en évidence en traitant les concentrations en vibrions trimestre par trimestre (figure 3.7) : stabilisation des abondances du 3<sup>ème</sup> trimestre (juillet-septembre), et augmentation des deux premiers trimestres sur la même période. Entre 2008 et 2010 des abondances inhabituellement basses viennent contredire cette tendance. Les valeurs du troisième trimestre sont en baisse modérée alors que la diminution des concentrations est plus importante lors des autres

trimestres d'étude. Depuis 2011 les abondances estivales se maintiennent sans atteindre toutefois les maxima d'avant 2008 (sauf au 4<sup>ème</sup> trimestre, octobre-décembre). Suite à l'augmentation des abondances en vibrions observée en 2011 en hiver, printemps et automne, les abondances semblent se stabiliser en 2012. Plusieurs facteurs peuvent contribuer à ces fluctuations d'abondances en vibrions. Les basses températures de l'eau observée en 2009 et 2012 jouent sûrement un rôle important dans les faibles concentrations observées 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.

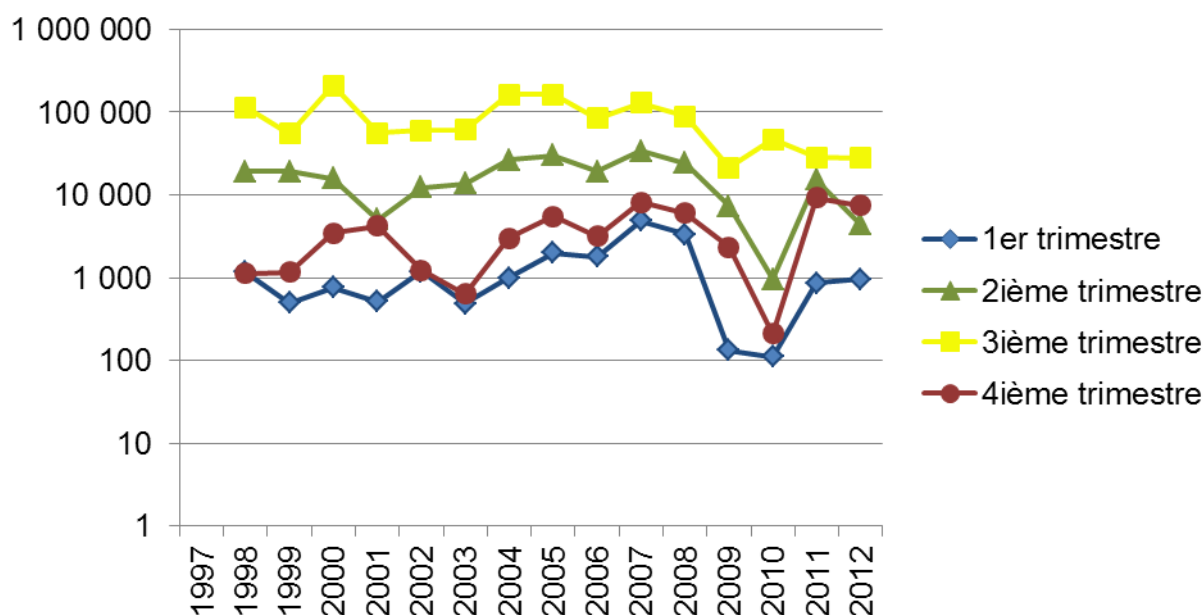


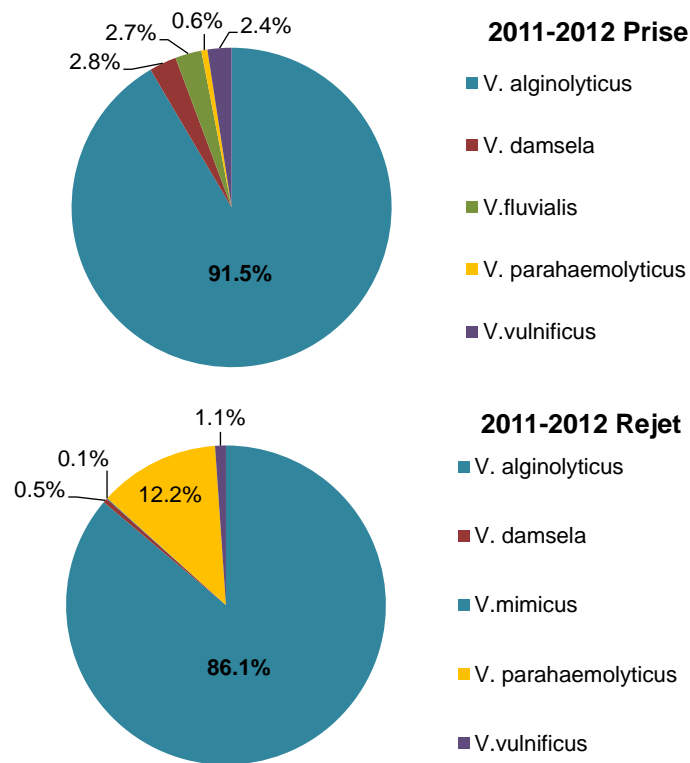
Figure 3.7 Moyenne géométrique des abondances en vibrions classées par trimestre de 1998 à 2012 (Vibrions par litre)

### 3.2.3. Aspect qualitatif

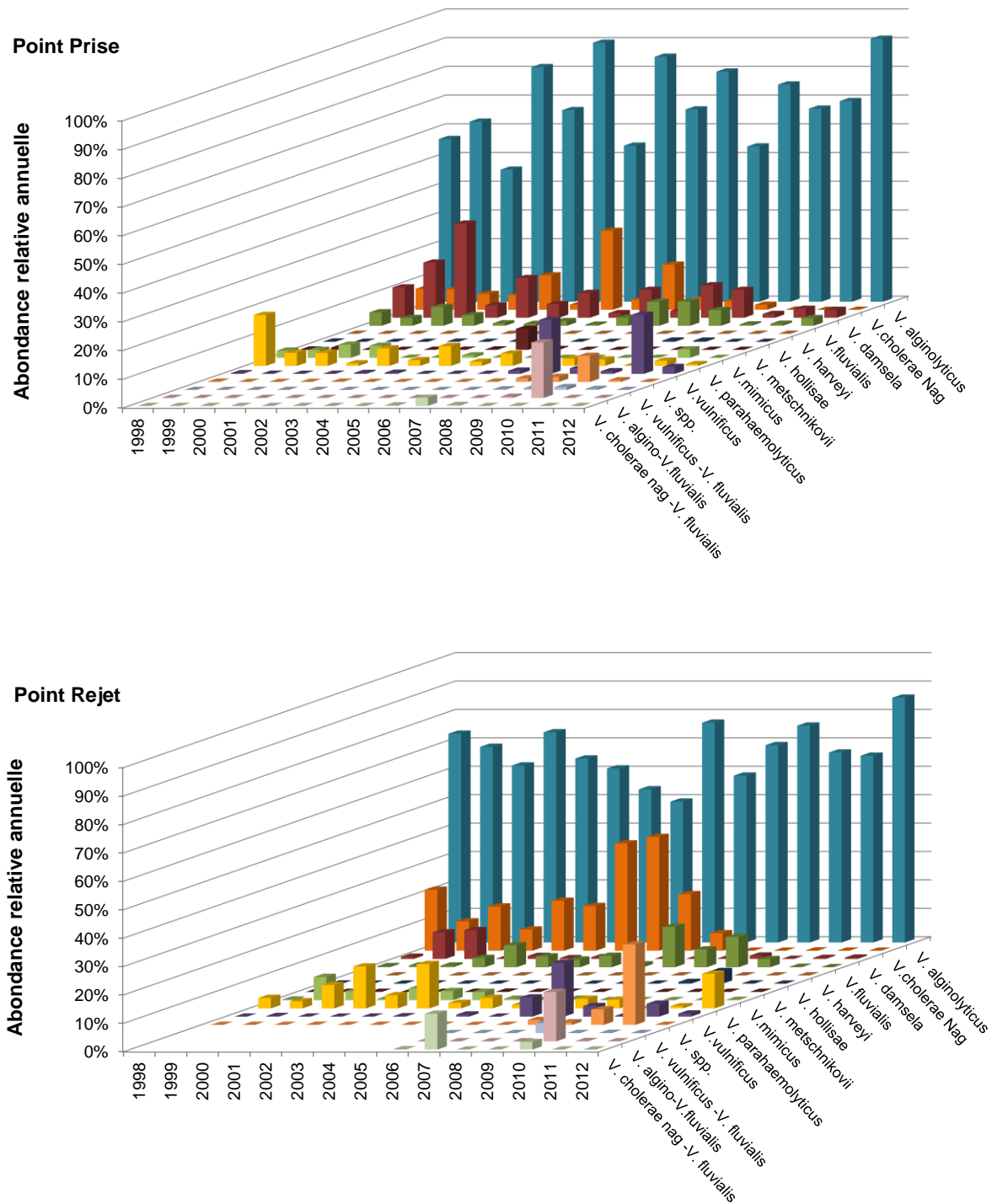
Avant 1984, la quasi-totalité de la flore des vibrions isolés sur le site était représentée par *Vibrio alginolyticus*. Parallèlement au développement de l'aquaculture sur le site, une diversité croissante des espèces de vibrions a été observée. Nous observons actuellement peu de différence dans la composition de la microflore entre la prise d'eau et le rejet si ce ne sont des modifications de pourcentages des espèces rares mais cela est peu significatif. En 2011-2012, *Vibrio alginolyticus* restait l'espèce la plus souvent isolée. Elle représentait 92% et 86% de l'ensemble des *Vibrio* spp. isolés (figures 3.8 et 3.9) aux canaux de prise d'eau et de rejet, respectivement, ce qui était très supérieur aux valeurs enregistrées précédemment (de 54 à 76% et de 59 à 77% entre 2006 et 2011, respectivement).

En 2012, quatre espèces de *Vibrio* spp. (*Vibrio damsela*, *Vibrio fluvialis*, *V. vulnificus* et *V. parahaemolyticus*) étaient présentes au canal de prise d'eau mais chacune en faible proportion. Au canal de rejet, l'espèce la plus fréquente après *V. alginolyticus* était *V. parahaemolyticus* (12.2%). Trois autres espèces (*V. vulnificus*, *Vibrio mimicus* et *V. damsela*) étaient également présentes mais très minoritaires.

*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 isoléments. Elle n'a pas été isolée en 2012.



**Figure 3.8 Pourcentages moyens d'isolement des diverses espèces de vibrions aux canaux de prise et de rejet pour la période 2011-2012**



**Figure 3.9 Évolution de l'abondance relative des diverses espèces de vibrions de 1998 à 2012 aux canaux de prise d'eau et de rejet (moyennes des pourcentages d'abondances hebdomadaires) (V. spp = Vibrions non-identifiés. Les associations d'espèces ne sont déterminées que depuis 2006 suite à la parution d'une nouvelle nomenclature API)**

### 3.3. Campagnes pélagiques

Les concentrations en vibrions mesurées en septembre sont supérieures à celles mesurées en juin sauf au point rejet (figure 3.9). Au mois de juin 2012, la concentration en *Vibrio* spp. était maximale au point de rejet et la multiplication des vibrions était importante entre le point radeau et le point rejet. En septembre 2012, la concentration en vibrions était maximale au point radeau. Les concentrations observées au point de contrôle en juin et septembre 2012 illustrent l'effet de dilution observé à ce point en aval du canal de rejet de la centrale.

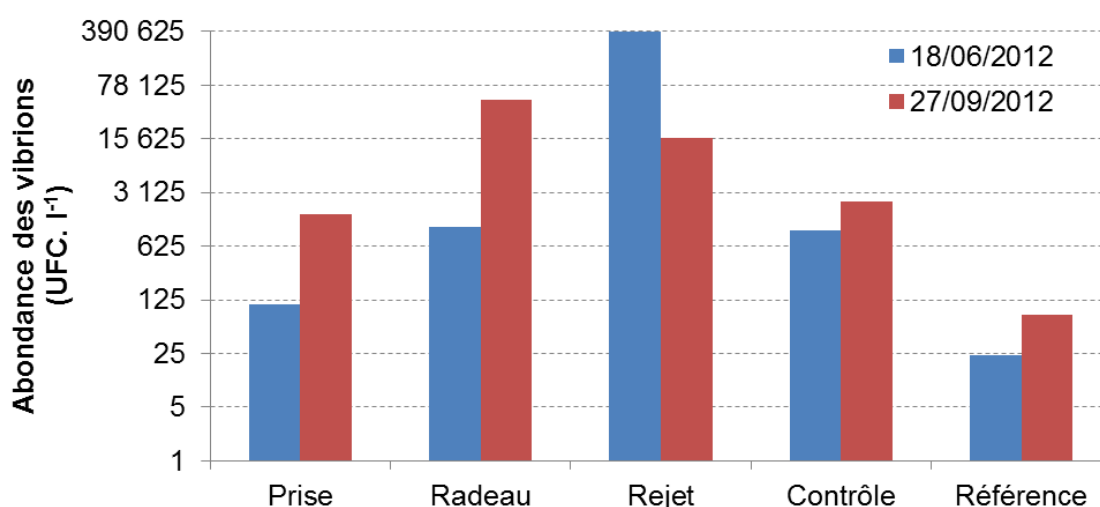


Figure 3.9 Campagnes pélagiques – Vibrions par litre pour chaque point

### 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 2011-2012, 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 (J.O. du 13 janvier 2004, article 17). Les composés chimiques formés étaient essentiellement bromés et le plus abondant était le bromoforme (98,3 % du total des haloformes) avec une concentration moyenne de 9,8 µg.l<sup>-1</sup>. Cette concentration moyenne, inférieure à celles observées les années précédentes, reste en deçà de la limite maximale autorisée de 50 µg.l<sup>-1</sup> mais représente toutefois une production annuelle de l'ordre de 43 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 (7,3 % cette année).

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 vibriens a été observée dans les eaux de rejet. Actuellement on constate cependant peu de modification dans la composition de la flore des vibriens lors du transit de l'eau. *Vibrio alginolyticus* reste toutefois l'espèce majoritaire dans le canal de prise d'eau et de rejet de la centrale avec 92 et 86% des isollements.

Une modification dans l'interprétation des profils biochimiques utilisés pour affecter des noms d'espèces aux vibriens isolés est intervenue en 2006 en raison de la parution d'un nouveau catalogue analytique API 20E. 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). Aucune souche de *Vibrio cholerae* n'a été isolée en 2011-2012.

## Annexe 3.1 Bactériologie -mesures hebdomadaires au point canal de prise (vibrions par litre)

| N° semaine | Date       | Température (°C) | Vibrions Totaux à 37°C | V. alginolyticus | V. cholerae Nag | V. damsela | V. fluvialis | V. harveyi | V. hollisae | V. metschnikovii | V. mimicus | V. parahaemolyticus | V. vulnificus | V. spp. | V. vulnificus -V. fluvialis | V. algin-V.fluvialis | V. cholerae nag -V. fluvialis |
|------------|------------|------------------|------------------------|------------------|-----------------|------------|--------------|------------|-------------|------------------|------------|---------------------|---------------|---------|-----------------------------|----------------------|-------------------------------|
| 46         | 08/11/2011 | 11.6             | 90                     | 90               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 47         | 14/11/2011 | 12.2             | 80                     | 15               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 15                  | 50            | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 48         | 23/11/2011 | 12.3             | 50                     | 50               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 49         | 28/11/2011 | 11.4             | 95                     | 50               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 45            | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 50         | 06/12/2011 | 10.8             | 120                    | 30               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 90            | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 51         | 15/12/2011 | 8.8              | 80                     | 80               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 52         | 20/12/2011 | 8.3              | 440                    | 100              | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 340                 | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 53         | 26/12/2011 | 9.4              | 80                     | 80               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 1          | 02/01/2012 | 9.5              | 120                    | 120              | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 2          | 12/01/2012 | 10.8             | 300                    | 80               | 0               | 220        | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 3          | 16/01/2012 | 7.9              | 50                     | 10               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 40            | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 4          | 23/01/2012 | 8.7              | 330                    | 130              | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 200           | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 5          | 30/01/2012 | 6.9              | 120                    | 40               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 80            | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 6          | 06/02/2012 | 4.6              | 20                     | 20               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 7          | 13/02/2012 | 3.1              | 20                     | 20               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 8          | 20/02/2012 | 4.7              | 40                     | 40               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 9          | 27/02/2012 | 6.0              | 25                     | 25               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 10         | 06/03/2012 | 6.8              | 100                    | 100              | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 11         | 12/03/2012 | 7.3              | 50                     | 50               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 12         | 19/03/2012 | 8.0              | 50                     | 20               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 30            | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 13         | 27/03/2012 | 8.8              | 5                      | 5                | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 14         | 02/04/2012 | 9.0              | 0                      | 0                | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 15         | 12/04/2012 | 11.9             | 30                     | 30               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 16         | 18/04/2012 | 9.6              | 85                     | 85               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 17         | 24/04/2012 | 10.3             | 110                    | 0                | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 110           | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 18         | 30/04/2012 | 10.8             | 20                     | 20               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 19         | 07/05/2012 | 11.0             | 20                     | 12               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 8                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 20         | 15/05/2012 | 12.6             | 150                    | 65               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 85            | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 21         | 22/05/2012 | 12.8             | 50                     | 50               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 22         | 29/05/2012 | 15.0             | 5                      | 5                | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 23         | 04/06/2012 | 14.7             | 40                     | 40               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 24         | 12/06/2012 | 15.0             | 70                     | 70               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 25         | 18/06/2012 | 16.2             | 110                    | 0                | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 110                 | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 26         | 26/06/2012 | 17.5             | 125                    | 125              | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 27         | 02/07/2012 | 17.3             | 800                    | 800              | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 28         | 09/07/2012 | 18.6             | 260                    | 240              | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 20                  | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 29         | 16/07/2012 | 17.2             | 1 100                  | 1 100            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 30         | 24/07/2012 | 19.1             | 1 600                  | 1 600            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 31         | 31/07/2012 | 18.6             | 400                    | 400              | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 32         | 06/08/2012 | 18.8             | 200                    | 200              | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 33         | 14/08/2012 | 19.5             | 2 200                  | 2 200            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 34         | 24/08/2012 | 20               | 700                    | 700              | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 35         | 31/08/2012 | 19               | 4 000                  | 4 000            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 36         | 07/09/2012 | 19               | 800                    | 400              | 0               | 400        | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 37         | 14/09/2012 | 19               | 3 800                  | 3 800            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 38         | 20/09/2012 | 17               | 1 300                  | 1 300            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 39         | 27/09/2012 | 17.2             | 1 600                  | 1 000            | 0               | 0          | 600          | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 40         | 04/10/2012 | 16.5             | 1 400                  | 1 400            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 41         | 10/10/2012 | 14.4             | 20                     | 20               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 42         | 18/10/2012 | 14.4             | 180                    | 180              | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 43         | 26/10/2012 | 11.2             | 70                     | 70               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |
| 44         | 29/10/2012 | 13               | 35                     | 35               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                    | 0                             |

## Annexe 3.2 Bactériologie -mesures hebdomadaires au point canal de rejet (vibrions par litre)

| N° semaine | Date       | Température (°C) | Vibrions Totaux à 37°C | V. alginolyticus | V. cholerae Nag | V. damsela | V. fluvialis | V. harveyi | V. hollisae | V. metschnikovii | V. mimicus | V. parahaemolyticus | V. vulnificus | V. spp. | V. vulnificus - V. fluvialis | V. alginolyticus - V. fluvialis | V. cholerae nag - V. fluvialis |
|------------|------------|------------------|------------------------|------------------|-----------------|------------|--------------|------------|-------------|------------------|------------|---------------------|---------------|---------|------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 46         | 08/11/2011 | 21.6             | 3 800                  | 3 800            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 47         | 14/11/2011 | 22.2             | 2 900                  | 2 600            | 0               | 100        | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 200           | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 48         | 23/11/2011 | 20.1             | 27 000                 | 27 000           | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 49         | 28/11/2011 | 21.3             | 15 000                 | 15 000           | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 50         | 06/12/2011 | 18.0             | 3 800                  | 3 800            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 51         | 15/12/2011 | 14.8             | 7 000                  | 7 000            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 52         | 20/12/2011 | 13.8             | 3 300                  | 2 500            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 800           | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 53         | 26/12/2011 | 16.4             | 10 600                 | 4 000            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 6 600         | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 1          | 02/01/2012 | 17.4             | 5 600                  | 4 000            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 1 600         | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 2          | 12/01/2012 | 15.8             | 4 600                  | 4 600            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 3          | 16/01/2012 | 17.8             | 2 200                  | 0                | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 2 200         | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 4          | 23/01/2012 | 15.1             | 3 800                  | 600              | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 3 200         | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 5          | 30/01/2012 | 14.8             | 2 800                  | 1 300            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 1 500         | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 6          | 06/02/2012 | 12.6             | 1 100                  | 300              | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 800        | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 7          | 13/02/2012 | 11.4             | 160                    | 160              | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 8          | 20/02/2012 | 12.7             | 280                    | 160              | 0               | 120        | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 9          | 27/02/2012 | 13.0             | 460                    | 460              | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 10         | 06/03/2012 | 14.0             | 280                    | 280              | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 11         | 12/03/2012 | 14.2             | 260                    | 260              | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 12         | 19/03/2012 | 13.5             | 800                    | 200              | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 600           | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 13         | 27/03/2012 | 16.8             | 780                    | 780              | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 14         | 02/04/2012 | 17.4             | 500                    | 500              | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 15         | 12/04/2012 | 21.1             | 3 000                  | 800              | 0               | 1 600      | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 600           | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 16         | 18/04/2012 | 18.7             | 3 600                  | 3 600            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 17         | 24/04/2012 | 18.5             | 4 000                  | 2 200            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 1 800               | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 18         | 30/04/2012 | 19.2             | 4 800                  | 4 800            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 19         | 07/05/2012 | 19.2             | 3 100                  | 2 700            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 400                 | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 20         | 15/05/2012 | 16.1             | 3 200                  | 3 200            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 21         | 22/05/2012 | 19.6             | 8 200                  | 6 800            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 1 400         | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 22         | 29/05/2012 | 18.6             | 2 000                  | 2 000            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 23         | 04/06/2012 | 18.9             | 4 000                  | 4 000            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 24         | 12/06/2012 | 15.5             | 3 000                  | 3 000            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 25         | 18/06/2012 | 22.2             | 390 000                | 270 000          | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 120 000             | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 26         | 26/06/2012 | 24.4             | 3 000                  | 3 000            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 27         | 02/07/2012 | 23.7             | 11 000                 | 11 000           | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 28         | 09/07/2012 | 25.8             | 11 000                 | 9 000            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 2 000               | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 29         | 16/07/2012 | 26.0             | 40 000                 | 40 000           | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 30         | 24/07/2012 | 29.3             | 140 000                | 140 000          | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 31         | 31/07/2012 | 27.3             | 50 000                 | 50 000           | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 32         | 06/08/2012 | 26.8             | 12 000                 | 12 000           | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 33         | 14/08/2012 | 25.3             | 29 000                 | 29 000           | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 34         | 24/08/2012 | 29.0             | 10 000                 | 7 000            | 0               | 3 000      | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 35         | 31/08/2012 | 22.3             | 50 000                 | 50 000           | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 36         | 07/09/2012 | 29.0             | 50 000                 | 50 000           | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 37         | 14/09/2012 | 26.2             | 70 000                 | 70 000           | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 38         | 20/09/2012 | 25.2             | 18 000                 | 18 000           | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 39         | 27/09/2012 | 25.3             | 16 000                 | 16 000           | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 40         | 04/10/2012 | 24.0             | 4 000                  | 4 000            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 41         | 10/10/2012 | 24.5             | 29 000                 | 29 000           | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 42         | 18/10/2012 | 20.0             | 3 000                  | 3 000            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 43         | 26/10/2012 | 21.3             | 13 000                 | 13 000           | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |
| 44         | 29/10/2012 | 20.0             | 5 000                  | 5 000            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                            | 0                               | 0                              |



### Annexe 3.3 Campagnes pélagiques. Bactériologie (Vibrions par litre)

|          |           | Température (°C) | Vibrions Totaux à 37°C | V. alginolyticus | V. cholerae Nag | V. damsela | V. fluvialis | V. harveyi | V. hollisae | V. metschnikovii | V. mimicus | V. parahaemolyticus | V. vulnificus | V. spp. | V. vulnificus -V. fluvialis | V. alginolyticus -V. fluvialis | V. cholerae nag -V. fluvialis |
|----------|-----------|------------------|------------------------|------------------|-----------------|------------|--------------|------------|-------------|------------------|------------|---------------------|---------------|---------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 18/06/12 | Prise     | 16.1             | 110                    | 0                | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 110           | 0       | 0                           | 0                              | 0                             |
|          | Radeau    | 22.3             | 1 100                  | 1 100            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                              | 0                             |
|          | Rejet     | 22.2             | 390 000                | 270 000          | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 120 000             | 0             | 0       | 0                           | 0                              | 0                             |
|          | Contrôle  | 19.8             | 1 000                  | 800              | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 200           | 0       | 0                           | 0                              | 0                             |
|          | Référence | 13.5             | 24                     | 12               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 12            | 0       | 0                           | 0                              | 0                             |
| 27/09/12 | Prise     | 16.4             | 1 600                  | 1 000            | 0               | 0          | 600          | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                              | 0                             |
|          | Radeau    | 25.3             | 50 000                 | 50 000           | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                              | 0                             |
|          | Rejet     | 25.1             | 16 000                 | 16 000           | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                              | 0                             |
|          | Contrôle  | 19.8             | 2 400                  | 2 400            | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                              | 0                             |
|          | Référence | 14.6             | 80                     | 80               | 0               | 0          | 0            | 0          | 0           | 0                | 0          | 0                   | 0             | 0       | 0                           | 0                              | 0                             |

#### **4. PHYTOPLANCTON ET BIOMASSE CHLOROPHYLLIENNE**

Auteur : A. Lefebvre

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



#### 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 (1966<sup>1</sup>) 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 (1958<sup>2</sup>). 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, 1958<sup>3</sup>). Les résultats sont exprimés en nombre de cellules par litre.

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

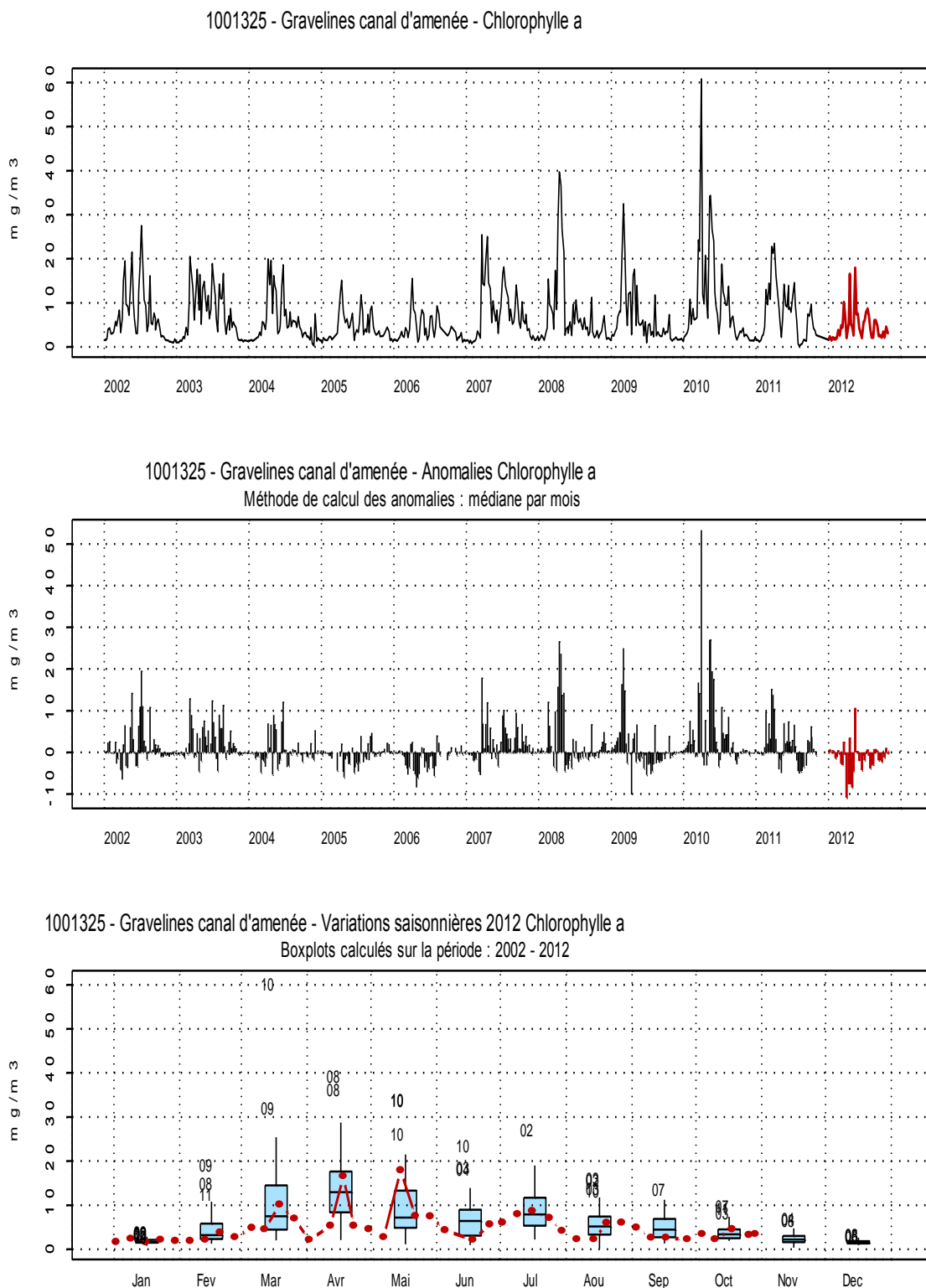
<sup>2</sup> Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitt. Int. Ver. Limnol., 9: 1-38

<sup>3</sup> 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<sub>a</sub>) était caractérisé par sa précocité en 2009 et par son ampleur en 2010 (60,76 mg.m<sup>-3</sup> dans l'échantillon du 31/3/2010, soit la concentration la plus importante mesurée pour les 12 dernières années). Lors du cycle de surveillance 2011-2012, le schéma d'évolution de la concentration était conforme à ce qui est habituellement observé dans les écosystèmes côtiers tempérés, c'est à dire avec de faibles valeurs hivernales et une augmentation de la biomasse phytoplanctonique au printemps (dès le mois de mars avec des valeurs < 5 mg.m<sup>-3</sup> jusqu'au 13/3 puis 10,08 mg.m<sup>-3</sup> le 19/03). La concentration maximale était atteinte le 15/5 (17,90 mg.m<sup>-3</sup>), ce qui fait de 2012 une année à concentration relativement faible, comme observée entre 2003 et 2006 (approximativement entre 15 et 20 mg.m<sup>-3</sup>) (figure 4.1. et annexes 1, 2). On peut noter des concentrations > 10 mg.m<sup>-3</sup> le 19/3 et le 18/4. Au printemps, il n'existe pas de schéma d'évolution inscrit dans la durée, avec une phase d'augmentation de la biomasse puis une phase de diminution étalée sur plusieurs semaines ; les développements phytoplanctoniques sont plutôt tardifs, modérés et fugaces, ce qui se traduit par des anomalies négatives de la concentration en chlorophylle *a* (comparaison des valeurs du cycle 2012 à la médiane mensuelle sur la période 2002-2012) (figure 4.1). Par ailleurs, on observe une augmentation de biomasse selon un schéma d'évolution moins brutale au cours de l'été 2012 (valeurs comprises entre 5 et 10 mg.m<sup>-3</sup> entre la fin du mois de juin et juillet, puis à la fin du mois d'août).

Le pourcentage de chlorophylle active (figure 4.2. et annexe 1) était compris entre 20 et 100. Les valeurs étaient globalement plus fortes au cours de cette période de surveillance.



**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 2012 (en rouge les données de l'année 2012) (Les résultats mensuels atypiques sont indiqués par les 2 derniers chiffres de l'année concernée).**

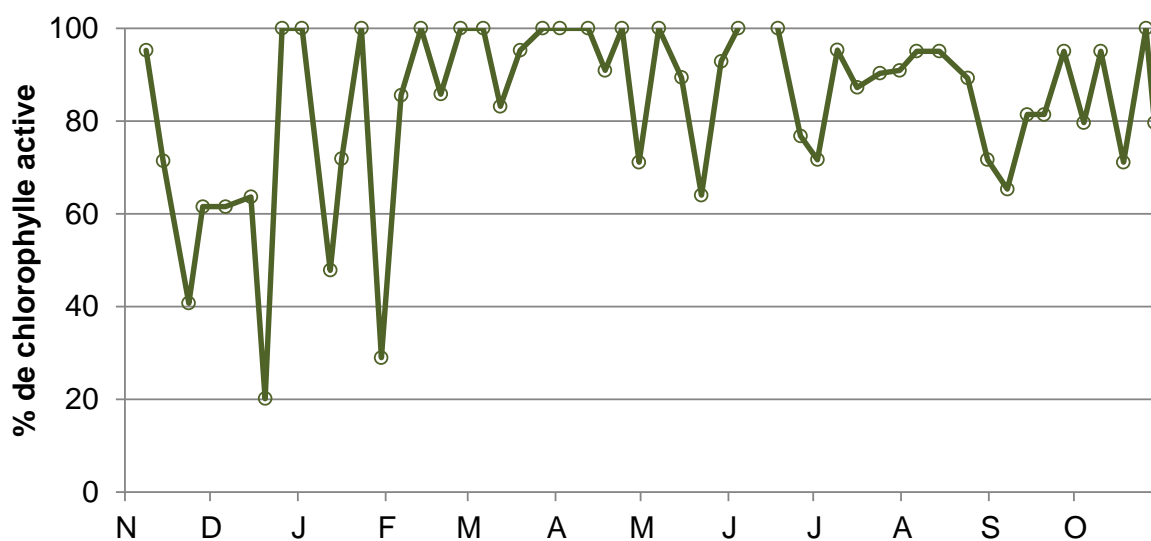


Figure 4.2 Pourcentage hebdomadaire de chlorophylle active au point *prise* au cours de la période 2011-2012.

#### 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 :



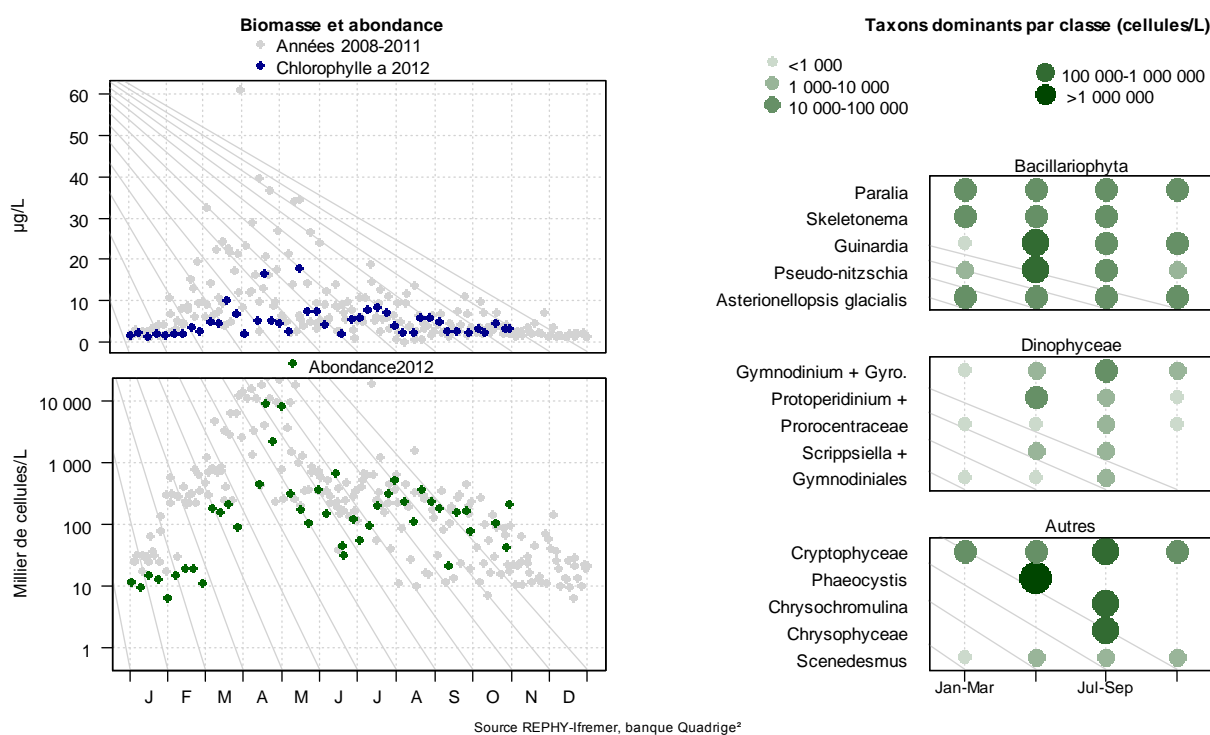
- quand le nombre d'espèces est faible,
- quand le nombre d'espèces est élevé, mais quelques espèces dominant.

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 2600 et près de  $58 \cdot 10^6$  cellules par litre entre 2008 et 2012 (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 bacillariophycées, sauf lors de la prolifération de la prymnésiofycée *Phaeocystis globosa*.

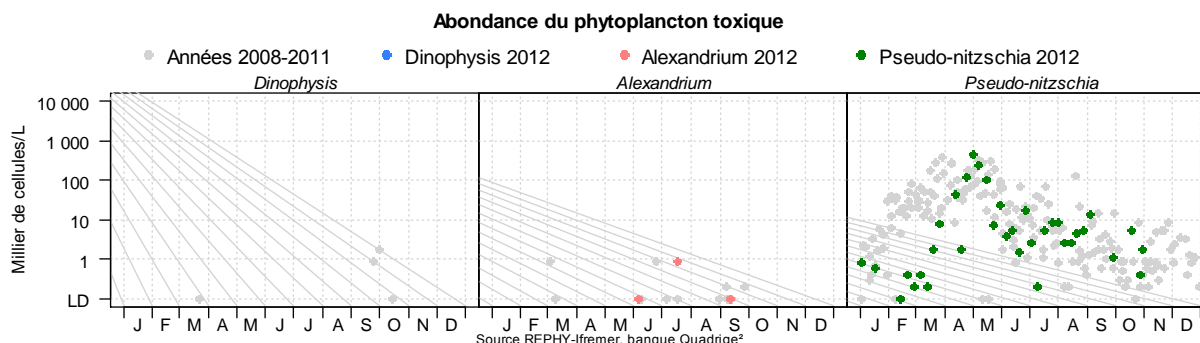
Les taxons dominants, pour trois familles (ex-diatomées ou bacillariophytes, dinophyceae et autres) et leur présence (qualitative ou quantitative) par trimestre, ont été définis au point *prise* et pour la période de surveillance 2011-2012 (figure 4.3).



**Figure 4.3** Évolution de la biomasse, l'abondance totale et la composition phytoplanctonique entre 2008 et 2012 et classement des taxons dominants par trimestre au point *prise*.

Les abondances des principaux genres contenant des espèces potentiellement productrices de phycotoxines sont présentées pour le point *prise* (figure 4.4). Les genres *Alexandrium* et *Pseudo-nitzschia* sont parfois échantillonnés au point *prise*. Le genre *Pseudo-nitzschia*, groupe des fines, complexe *delicatissima* est le groupe le plus régulièrement échantillonné. Par son abondance, ce genre peut contribuer à la chute de l'indice de Shannon (le 12/4, le 23/4 et le 30/4) (figure 4.5). Malgré la présence en concentration parfois élevé de ce groupe (au-dessus du seuil d'alerte de 300 000 cellules par litre), il faut 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 2008-2011 (points gris) et pour l'année 2012 (points de couleurs).

L'étude de l'évolution de l'indice de Shannon sur la période 2000-2012 permet de mettre en évidence un schéma général (Annexe 2) avec une chute importante de l'indice généralement observé au mois d'avril et moindre en mai. Cette chute est principalement liée à la prolifération de *Phaeocystis globosa* à cette période. Les indices sont généralement moins importants en début d'année qu'en fin d'année ; la communauté phytoplanctonique est alors bien diversifiée. A l'échelle pluri-annuelle, il n'apparaît pas de différence majeure entre les années étudiées, ni de tendance quant à l'évolution de l'indice de Shannon, ce qui permet de conclure à l'absence d'évolution de la diversité planctonique sur cette période.

Au cours de la période de surveillance novembre 2011 – octobre 2012, l'indice de Shannon a évolué entre 0,11 et 3,86 (figure 4.5 et annexe 1). Le schéma de variation est comparable à celui des périodes de surveillance précédentes et au schéma général mis en évidence pour la période 2000-2012, c'est à dire que les valeurs les plus élevées, représentatives d'une communauté diversifiée composée de taxons équi-dominants, sont plutôt observées de septembre à février et de juin à octobre. La chute de l'indice lors du mois d'avril 2012 (échantillons des 12, 18, 23 et 30/4) est principalement liée à la dominance de la prymnésiofycée *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 produit dans l'écosystème peut conduire à des dysfonctionnements des compartiments pélagiques et/ou benthiques (hypo~ ou anoxie, mortalités de la faune benthique,...). Alors qu'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), ce taxon n'est échantillonné en 2012 que lors du mois d'avril. L'abondance de ce taxon était comprise entre 329 088 cellules par litre le 12/4 et plus de  $7 \cdot 10^6$  cellules par litre le 30/4) (maximum proche de  $9 \cdot 10^6$  cellules par litre le 18/4).

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)<sup>1</sup> 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 entre mars et juillet 2012. Ceci est expliqué par la dominance d'un ou plusieurs taxons au sein de la communauté phytoplanctonique :

26/3 : dominance de cryptophycées (54 374 cellules par litre) et de *Chaetoceros socialis* (13 155 cellules par litre),

29/5 : dominance de *Guinardia delicatula* (308 704 cellules par litre),

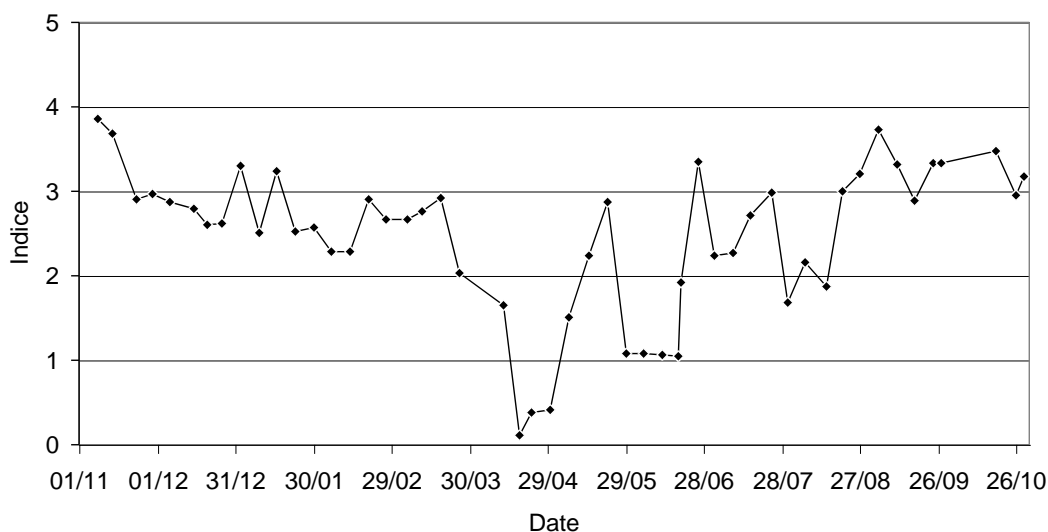
05/6 : dominance de *Guinardia delicatula* (125 620 cellules par litre),

12/6 : dominance de *Leptocylindrus danicus* (576 189 cellules par litre),

18/6 : dominance de cryptophycées (35 957 cellules par litre),

30/7 : dominance de *Chrysochromuline sp.* (392 900 cellules par litre) et de cryptophycées (31 572 cellules par litre) .

L'année 2012 est ainsi caractérisée par une présence régulière et importante de cryptophycées, alors que ce sont des coscinodiscophycées, des médiophycées, des bacillariophycées qui sont habituellement responsables de la chute de l'indice (exemples : *Rhizosolenia imbricata*, *Guinardia striata*, *Leptocylindrus danicus*, *Thalassiosira rotula*, *Asterionellopsis glacialis*).



**Figure 4.5** Évolution de l'indice de Shannon au point *prise* au cours de la période novembre 2011 - octobre 2012.

#### 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 2012 ont eu lieu les 18 juin et 27 septembre.

<sup>1</sup> 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.

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 uniquement pour la campagne de juin.

#### 4.5.1. Pigments chlorophylliens

Lors de la campagne du 18 juin 2012, la concentration en chlorophylle *a* totale était globalement très faible par rapport à ce qui est mesuré habituellement à cette saison. La dynamique du bloom (tardif, de faible amplitude) explique ce schéma. Au point *rejet*, la concentration en chlorophylle *a* totale était légèrement, et classiquement, inférieure à celle du point *prise* (figure 4.6. et annexe 4). Les concentrations de surface aux points *contrôle* et *référence* étaient très proches, ne permettant pas de mettre en évidence le classique gradient décroissant de la côte vers le large. Aucune différence de concentration entre le fond et la surface n'a été mesurée pour le point *contrôle*. Cette différence était très faible pour le point *référence* ( $< 0,3 \text{ mg.m}^{-3}$ ).

Le 27 septembre 2012, la concentration en chlorophylle *a* totale était plus importante à la côte qu'au large. Au point *contrôle*, la concentration en chlorophylle *a* totale entre le fond et la surface est différente ( $\Delta c \text{ f/s} = + 0,75 \text{ mg.m}^{-3}$ ). Comme en 2011, la concentration au fond est supérieure à celle observée en surface, signe potentielle d'une stratification de la masse d'eau. Les valeurs étant faibles, on ne peut pas réellement conclure à une distribution très différente de la biomasse phytoplanctonique sur la verticale. Cette différence fond - surface existait aussi au point *référence* ( $\Delta \text{réf f/s} = - 0,21 \text{ mg.m}^{-3}$ ). La concentration à mi-profondeur est plus faible ( $0,28 \text{ mg.m}^{-3}$ ) qu'en surface et au fond.

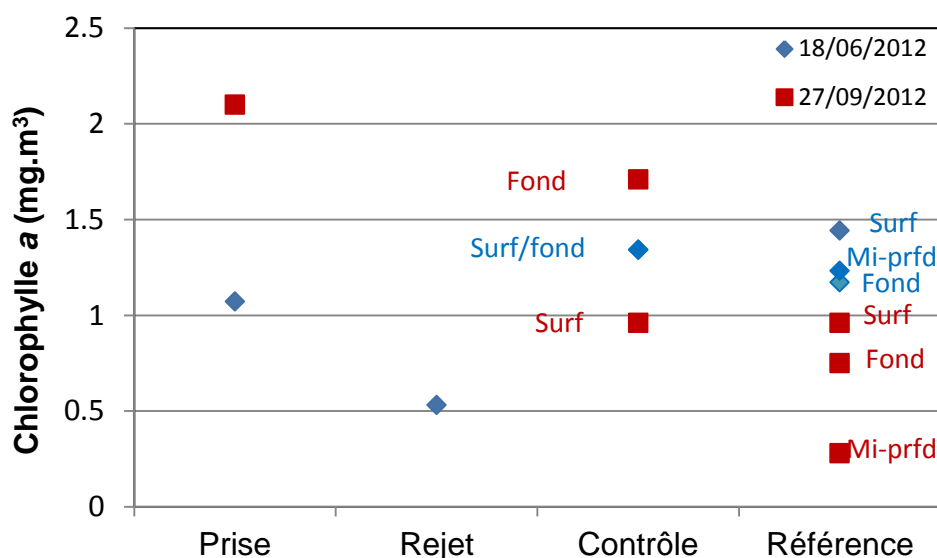
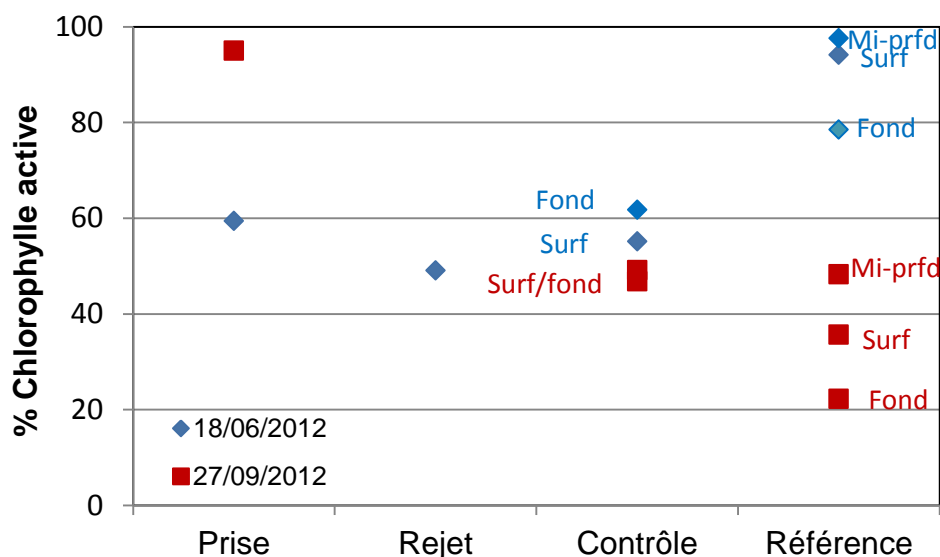


Figure 4.6 Évolution spatiale de la concentration en chlorophylle *a* ( $\text{mg.m}^{-3}$ ) lors des campagnes pélagiques 2012

Le pourcentage de chlorophylle active (phytoplancton non dégradé) était compris entre 49 et 98 % et entre 22 et 49 %, respectivement, lors des campagnes de juin et de septembre 2012

(figure 4.7. et annexe 5). Les valeurs de la campagne printanière reflètent la phase de post-bloom. Les valeurs de septembre correspondent à celle de la fin de la période productive.



**Figure 4.7** Évolution spatiale du pourcentage de chlorophylle active lors des deux campagnes pélagiques 2012

#### 4.5.2. Phytoplancton

Les échantillons prélevés lors des campagnes de juin et de septembre 2012 contenaient entre 6 et 22 taxons (entre 19 et 30 taxons en 2011) (tableau 4.1). Les différences observées entre les différentes périodes de surveillance ne correspondent pas à une diminution de la diversité phytoplanctonique sur le site (voir l'évolution à long terme de l'indice de Shannon) mais 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, comme habituellement, dominait alors l'écosystème au détriment des bacillariophytes (ex-diatomées).

**Tableau 4.1** Évolution spatiale du nombre total d'espèces phytoplanctoniques en surface lors des campagnes pélagiques du 18 juin et du 27 septembre 2012.

| Campagnes | Points       |              |                 |                  |
|-----------|--------------|--------------|-----------------|------------------|
|           | <i>Prise</i> | <i>Rejet</i> | <i>Contrôle</i> | <i>Référence</i> |
| 15/06/12  | 6            | 11           | 11              | 12               |
| 27/09/12  | 22           | 15           | 11              | 21               |

La famille des diatomées (Bacillariophytes) regroupant les classes des bacillariophycées, des médiophycées et des coscinophycées dominent habituellement la communauté phytoplanctonique lors des deux campagnes pélagiques. Lors des campagnes 2012, les cryptophycées sont particulièrement dominantes (tableau 4.2). La communauté était

également composée de cellules de la classe des crysophycées, des dinophycées, des dictyocophycées, des prasinophycées 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 phéopigments (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 de la baie sud de la Mer du Nord et de la Manche orientale.

Les taxons contribuant significativement à l'abondance totale lors des campagnes pélagiques du 18 juin et du 27 septembre 2012 sont présentés dans le tableau 4.3. Des seuils arbitraires de plusieurs dizaines ou centaines de milliers de cellules par litre en juin et en septembre ont été définis pour élaborer cette liste. Lors de la campagne de juin 2012, ce sont les cryptophycées, *Protoperdinium sp.*, *Guinardia delicatula* et *Pseudo-nitzschia* (groupe des fines, complexe *delicatissima*) qui présentaient les plus fortes abondances. En septembre 2012, ce sont les cryptophycées, *Meuniera membranacea*, *Paralia sulcata*, *Plagiogramma sp.*, *Delphineis sp.*, *Chrysochromulina sp.*, *Paralia sulcata* qui contribuaient le plus à l'abondance cellulaire totale.

**Tableau 4.2 Répartition par classe des abondances phytoplanctoniques (nombre de cellules par litre) observées lors des campagnes pélagiques du 18 juin et du 27 septembre 2012 (/ : groupe non observé ; X : échantillon non disponible). (~ph pour ~phycées, représentant la classe taxonomique - exemple : Bacillarioph = Bacillariophycées)**

| date    | points                  | Bacillarioph | Ciliés | Coscinoph | Cryptoph | Crysoph | Dinoph | Médioph | Euglenoph | Chloroph | Pennales | Dictyocoph | Prasinoph | Prymnesioph | Total  |
|---------|-------------------------|--------------|--------|-----------|----------|---------|--------|---------|-----------|----------|----------|------------|-----------|-------------|--------|
| 18-juin | Prise surface           | 2000         | /      | /         | 35957    |         | /      | /       | /         | /        | /        | /          |           | /           | 37957  |
| 18-juin | Canal de rejet surface  | 1400         | /      | /         | 800      |         | 200    | /       | /         | /        | /        | /          |           | /           | 2400   |
| 18-juin | Contrôle surface        | 1000         | /      | /         | /        |         | 200    | /       | /         | /        | /        | /          |           | /           | 1200   |
| 18-juin | Contrôle fond           |              |        |           |          |         |        |         |           |          |          |            |           |             | 2300   |
| 18-juin | Référence surface       | 30341        | /      | /         | 33326    |         | 4585   | /       | /         | /        | /        | /          |           | /           | 68252  |
| 18-juin | Référence mi-profondeur | 5300         | /      | /         | 14300    |         | 100    | /       | /         | /        | /        | /          |           | /           | 19700  |
| 18-juin | Référence fond          | 7600         | /      | /         | 12300    |         | 2000   | /       | /         | /        | /        | /          |           | 2600        | 24500  |
| 27-sept | Prise surface           | 47658        | /      | /         | 4385     | /       | 877    | /       | /         | /        | /        | /          | 3508      | 1754        | 58182  |
| 27-sept | Canal de rejet surface  | 23982        | /      | /         | 6139     | /       | 2631   | /       | /         | /        | /        | /          | /         | /           | 32752  |
| 27-sept | Contrôle surface        | 4785         | /      | /         | 13155    | 8770    | 1754   | /       | /         | /        | /        | /          | /         | /           | 28464  |
| 27-sept | Contrôle fond           | X            | X      | X         | X        | X       | X      | X       | X         | X        | X        | X          | X         | X           | X      |
| 27-sept | Référence surface       | 24779        | /      | /         | 76299    | /       | 6239   | /       | /         | /        | /        | 1754       | /         | 38588       | 147659 |
| 27-sept | Référence mi-profondeur | X            | X      | X         | X        | X       | X      | X       | X         | X        | X        | X          | X         | X           | X      |
| 27-sept | Référence fond          | X            | X      | 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 18 juin et du 27 septembre 2012 (pour comparaison qualitative uniquement) (X : échantillon non disponible).**

| Points                         | 18 juin 2012                                                                                                                                                                    | 27 septembre 2012                                                                                                         |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Prise</i>                   | Cryptophycées (35957), <i>Proto-peridinium sp.</i> (5262)                                                                                                                       | <i>Meuniera membranacea</i> (21048), <i>Paralia sulcata</i> (14032), <i>Plagiogramma sp.</i> (9647), Cryptophycées (4385) |
| <i>Rejet</i>                   | Cryptophycées (800), <i>Proto-peridinium sp.</i> (600), <i>Naviula sp.</i> (500)                                                                                                | <i>Delphineis sp.</i> (22802), <i>Paralia sulcata</i> (14909), Cryptophycées (6139), <i>Rhizosolenia imbricata</i> (4365) |
| <i>Contrôle surface</i>        | <i>Pseudo-nitzschia</i> (groupe des fines) (1100)                                                                                                                               | Cryptophycées (13155), chrysophycées (8770)                                                                               |
| <i>Contrôle fond</i>           | Cryptophycées (900), <i>Paralia sulcata</i> (700)                                                                                                                               | X                                                                                                                         |
| <i>Référence surface</i>       | Cryptophycées (33326), <i>Guinardia delicatula</i> (28064)                                                                                                                      | Cryptophycées (76299), <i>Chrysochromulina sp.</i> (38588), <i>Paralia sulcata</i> (11401)                                |
| <i>Référence mi-profondeur</i> | Cryptophycées (14300), <i>Guinardia delicatula</i> (4400), <i>Pseudo-nitzschia</i> (groupe des fines) (2800), <i>Heterosigma sp.</i> (2300), <i>Prorocentrum minimum</i> (2000) | X                                                                                                                         |
| <i>Référence fond</i>          | Cryptophycées (12400), <i>Guinardia delicatula</i> (6200), <i>Phaeocystis globosa</i> (2600), <i>Prorocentrum sp.</i> (1200)                                                    | 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 sélectionnées. 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.*, 2002<sup>1</sup> ; Gohin *et al.*, 2008<sup>2</sup>).

Par rapport à une climatologie établie sur la période 1998-2007, le bloom de 2012 apparaissait plus tardif avec une initiation du développement d'une forte biomasse phytoplanctonique en baie sud de la Mer du Nord, à l'ouest du Cotentin et dans la partie orientale des côtes anglaises en mars (Figure 4.8). L'extension de ce développement à l'échelle de la Manche orientale et sur la côte est du Royaume-Uni a été observée en mai. Les concentrations restent importantes dans la bande côtière en juin et juillet, puis diminuent pour ne plus être localisées que dans les zones des panaches des fleuves (Seine, Somme) en septembre.

---

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> Gohin F., Saulquin B., Oger-Jeaneret 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.

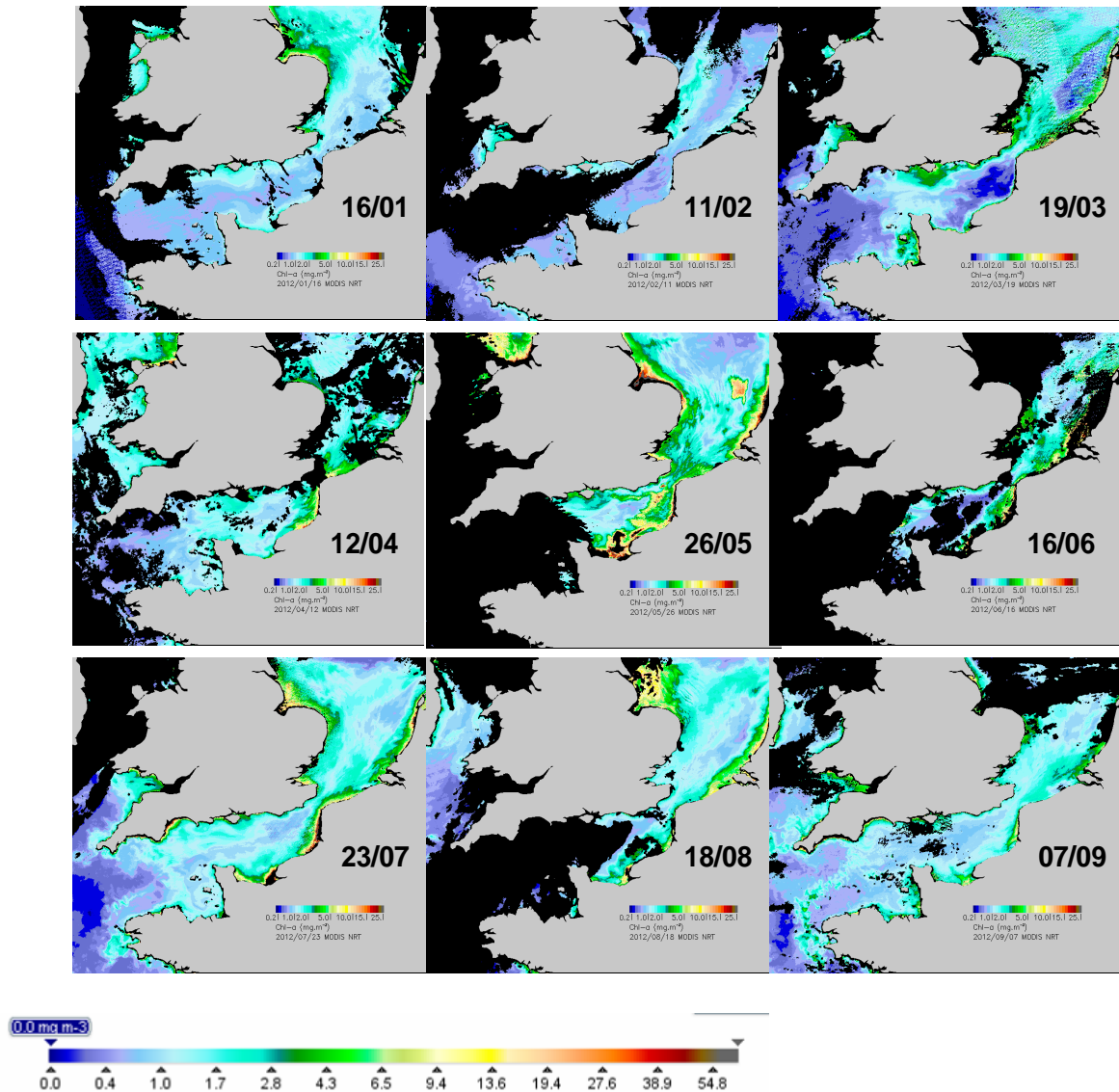


Figure 4.8 Illustration à méso-échelle de la dynamique de développement phytoplanctonique en 2012 via l'estimation de la concentration en chlorophylle *a* par le capteur MODIS (algorithme OC5 IFR) (Masque noir : terre ou couverture nuageuse).

#### 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 l'année 2009 a été marquée par une valeur exceptionnellement forte de la concentration en chlorophylle *a* ( $60,76 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  le 31/03/2010), les années 2011 comme 2012 ont été caractérisées par un développement plus tardif et d'ampleur moindre (maximum de  $23,46 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  le 04/4/2011 et de  $17,90 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  le 15/5/2012).

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 la famille des diatomées ou bacillariophytes, sauf lors des proliférations de la prymnésiophytes *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. Elle contribue fortement à la chute de l'indice de diversité de Shannon au cours du mois d'avril 2012.

Le faible nombre de taxons observé lors des campagnes pélagiques ne correspond pas à un changement de la diversité phytoplanctonique sur le site lié aux activités anthropiques et plus particulièrement de celles du CNPE de Gravelines, mais est le reflet de la variabilité saisonnière de la dynamique du phytoplancton. En effet, les campagnes se font lors de périodes prédéfinies et ne tiennent pas compte de cette variabilité. Les concentrations en chlorophylle *a* lors de la campagne de juin était très comparable à celles de la campagne de septembre indiquant que cette première campagne s'est déroulée après le bloom printanier.

Les genres *Alexandrium*, *Gymnodinium*, *Gyrodinium* et *Pseudonitzschia*, dont certaines espèces sont potentiellement responsables de la production de toxines néfastes pour la faune et/ou pour la santé humaine (par ingestion de coquillages ayant concentré ces 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, du Pas de Calais et de la Picardie.

Les résultats acquis lors des deux campagnes pélagiques sont destinés à mettre en évidence les variations phytoplanctoniques spatiales sur le site du CNPE. La variabilité s'est avérée être plus importante à l'échelle saisonnière qu'à l'échelle spatiale (gradient côte / large et fond / surface). Le transit du phytoplancton dans la centrale pourrait porter atteinte à la structure des cellules phytoplanctoniques. Cependant cet impact serait 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 ( $\text{mg.m}^{-3}$ ), concentration en chlorophylle *a* ( $\text{mg.m}^{-3}$ ) et en phaeopigment ( $\text{mg.m}^{-3}$ ), pourcentage de chlorophylle active et indices de Shannon (*les résultats des 4 premières colonnes sont acquis sur un échantillon d'eau différent de celui nécessaire au calcul du résultat de l'indice de Shannon*) (- : données non disponibles).

| date       | chlorophylle totale | chlorophylle a non dégradée | phéopigments | Chlorophylle active | Indice de Shannon |
|------------|---------------------|-----------------------------|--------------|---------------------|-------------------|
| 08/11/2011 | 3.36                | 3.20                        | 0.16         | 95.24               | 3.86              |
| 14/11/2011 | 2.24                | 1.60                        | 0.64         | 71.43               | 3.68              |
| 23/11/2011 | 2.70                | 1.10                        | 1.60         | 40.74               | 2.90              |
| 28/11/2011 | 2.60                | 1.60                        | 1.00         | 61.54               | 2.98              |
| 06/12/2011 | 2.60                | 1.60                        | 1.00         | 61.54               | 2.88              |
| 15/12/2011 | 3.30                | 2.10                        | 1.20         | 63.64               | 2.80              |
| 20/12/2011 | 2.63                | 0.53                        | 2.10         | 20.15               | 2.60              |
| 26/12/2011 | 1.60                | 1.60                        | 0.00         | 100.00              | 2.62              |
| 02/01/2012 | 1.60                | 1.60                        | 0.00         | 100.00              | 3.30              |
| 12/01/2012 | 2.30                | 1.10                        | 1.20         | 47.83               | 2.50              |
| 16/01/2012 | 1.53                | 1.10                        | 0.43         | 71.90               | 3.23              |
| 23/01/2012 | 2.10                | 2.10                        | 0.00         | 100.00              | 2.52              |
| 30/01/2012 | 1.83                | 0.53                        | 1.30         | 28.96               | 2.58              |
| 06/02/2012 | 1.87                | 1.60                        | 0.27         | 85.56               | 2.29              |
| 13/02/2012 | 2.10                | 2.10                        | 0.00         | 100.00              | 2.28              |
| 20/02/2012 | 3.73                | 3.20                        | 0.53         | 85.79               | 2.91              |
| 27/02/2012 | 2.70                | 2.70                        | 0.00         | 100.00              | 2.66              |
| 06/03/2012 | 4.80                | 4.80                        | 0.00         | 100.00              | 2.67              |
| 12/03/2012 | 4.45                | 3.70                        | 0.75         | 83.15               | 2.76              |
| 19/03/2012 | 10.08               | 9.60                        | 0.48         | 95.24               | 2.92              |
| 27/03/2012 | 6.90                | 6.90                        | 0.00         | 100.00              | 2.03              |
| 02/04/2012 | 2.10                | 2.10                        | 0.00         | 100.00              | -                 |
| 12/04/2012 | 5.30                | 5.30                        | 0.00         | 100.00              | 1.65              |
| 18/04/2012 | 16.50               | 15.00                       | 1.50         | 90.91               | 0.11              |
| 24/04/2012 | 5.30                | 5.30                        | 0.00         | 100.00              | 0.37              |
| 30/04/2012 | 4.50                | 3.20                        | 1.30         | 71.11               | 0.41              |
| 07/05/2012 | 2.70                | 2.70                        | 0.00         | 100.00              | 1.51              |
| 15/05/2012 | 17.90               | 16.00                       | 1.90         | 89.39               | 2.23              |
| 22/05/2012 | 7.50                | 4.80                        | 2.70         | 64.00               | 2.87              |
| 29/05/2012 | 7.43                | 6.90                        | 0.53         | 92.87               | 1.07              |
| 04/06/2012 | 4.30                | 4.30                        | 0.00         | 100.00              | 1.07              |
| 12/06/2012 | -                   | -                           | -            | -                   | 1.07              |
| 18/06/2012 | 2.10                | 2.10                        | 0.00         | 100.00              | 1.05              |
| 26/06/2012 | 5.60                | 4.30                        | 1.30         | 76.79               | 3.35              |
| 02/07/2012 | 6.00                | 4.30                        | 1.70         | 71.67               | 2.24              |
| 09/07/2012 | 7.87                | 7.50                        | 0.37         | 95.30               | 2.27              |
| 16/07/2012 | 8.60                | 7.50                        | 1.10         | 87.21               | 2.71              |
| 24/07/2012 | 7.09                | 6.40                        | 0.69         | 90.27               | 2.98              |
| 31/07/2012 | 4.07                | 3.70                        | 0.37         | 90.91               | 1.68              |
| 06/08/2012 | 2.21                | 2.10                        | 0.11         | 95.02               | 2.15              |
| 14/08/2012 | 2.21                | 2.10                        | 0.11         | 95.02               | 1.87              |
| 24/08/2012 | 5.94                | 5.30                        | 0.64         | 89.23               | 3.00              |
| 31/08/2012 | 6.00                | 4.30                        | 1.70         | 71.67               | 3.20              |
| 07/09/2012 | 4.90                | 3.20                        | 1.70         | 65.31               | 3.74              |
| 14/09/2012 | 2.58                | 2.10                        | 0.48         | 81.40               | 3.32              |
| 20/09/2012 | 2.58                | 2.10                        | 0.48         | 81.40               | 2.89              |
| 27/09/2012 | 2.21                | 2.10                        | 0.11         | 95.02               | 3.34              |
| 04/10/2012 | 3.39                | 2.70                        | 0.69         | 79.65               | -                 |
| 10/10/2012 | 2.21                | 2.10                        | 0.11         | 95.02               | -                 |
| 18/10/2012 | 4.50                | 3.20                        | 1.30         | 71.11               | 3.48              |
| 26/10/2012 | 3.20                | 3.20                        | 0.00         | 100.00              | 2.95              |
| 29/10/2012 | 3.39                | 2.70                        | 0.69         | 79.65               | 3.17              |

**ANNEXE 2** : Paramètres de tendance centrale et de dispersion de concentrations en chlorophylle *a* pour chaque mois de l'année 2012, puis pour chaque année de la période 2002-2012

| Mois | Moyenne | Ecart type | Minimum | Premier quartile | Médiane | Troisième quartile | Maximum | Nombre de données |
|------|---------|------------|---------|------------------|---------|--------------------|---------|-------------------|
| 1    | 1.87    | 0.33       | 1.53    | 1.60             | 1.83    | 2.10               | 2.30    | 5                 |
| 2    | 2.60    | 0.83       | 1.87    | 2.04             | 2.40    | 2.96               | 3.73    | 4                 |
| 3    | 6.56    | 2.59       | 4.45    | 4.71             | 5.85    | 7.70               | 10.08   | 4                 |
| 4    | 6.74    | 5.61       | 2.10    | 4.50             | 5.30    | 5.30               | 16.50   | 5                 |
| 5    | 8.88    | 6.42       | 2.70    | 6.25             | 7.47    | 10.10              | 17.90   | 4                 |
| 6    | 4.00    | 1.77       | 2.10    | 3.20             | 4.30    | 4.95               | 5.60    | 3                 |
| 7    | 6.73    | 1.77       | 4.07    | 6.00             | 7.09    | 7.87               | 8.60    | 5                 |
| 8    | 4.09    | 2.17       | 2.21    | 2.21             | 4.08    | 5.96               | 6.00    | 4                 |
| 9    | 3.07    | 1.23       | 2.21    | 2.49             | 2.58    | 3.16               | 4.90    | 4                 |
| 10   | 3.34    | 0.81       | 2.21    | 3.20             | 3.39    | 3.39               | 4.50    | 5                 |

| Années | Moyenne | Ecart type | Minimum | Premier quartile | Médiane | Troisième quartile | Maximum | Nombre de données |
|--------|---------|------------|---------|------------------|---------|--------------------|---------|-------------------|
| 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   | 7.01    | 5.90       | 0.10    | 2.44             | 5.77    | 9.66               | 23.46   | 52                |
| 2012   | 4.79    | 3.51       | 1.53    | 2.21             | 4.07    | 5.97               | 17.90   | 43                |

**ANNEXE 3** : Paramètre de tendance centrale et de dispersion pour l'indice de Shannon (A) pour la période 2000-2012, (B) par années et (C) pour chaque mois pour la période 2000-2012.

(A)

| Moyenne | Ecart type | Minimum | Premier quartile | Médiane | Troisième quartile | Maximum | Nombre de données |
|---------|------------|---------|------------------|---------|--------------------|---------|-------------------|
| 2.40    | 0.99       | 0.02    | 1.87             | 2.61    | 3.11               | 4.18    | 661               |

(B)

| Année | Moyenne | Ecart type | Minimum | Premier quartile | Médiane | Troisième quartile | Maximum | Nombre de données |
|-------|---------|------------|---------|------------------|---------|--------------------|---------|-------------------|
| 2000  | 2.21    | 1.01       | 0.03    | 1.84             | 2.43    | 2.84               | 3.82    | 44                |
| 2001  | 2.15    | 1.10       | 0.04    | 1.36             | 2.44    | 3.03               | 3.72    | 53                |
| 2002  | 2.30    | 0.82       | 0.24    | 1.99             | 2.32    | 2.80               | 3.97    | 54                |
| 2003  | 2.23    | 0.97       | 0.10    | 1.75             | 2.49    | 2.82               | 3.71    | 53                |
| 2004  | 2.65    | 0.84       | 0.28    | 2.05             | 3.02    | 3.23               | 3.90    | 52                |
| 2005  | 2.42    | 0.81       | 0.10    | 1.90             | 2.51    | 2.95               | 4.07    | 49                |
| 2006  | 2.41    | 0.92       | 0.06    | 1.98             | 2.56    | 3.08               | 4.08    | 53                |
| 2007  | 2.49    | 0.91       | 0.16    | 2.10             | 2.62    | 3.18               | 3.83    | 50                |
| 2008  | 2.50    | 1.13       | 0.06    | 1.74             | 2.74    | 3.47               | 4.17    | 53                |
| 2009  | 2.68    | 1.02       | 0.02    | 2.33             | 2.88    | 3.40               | 4.16    | 53                |
| 2010  | 2.13    | 1.19       | 0.04    | 1.14             | 2.60    | 3.06               | 4.04    | 52                |
| 2011  | 2.60    | 1.08       | 0.23    | 2.14             | 2.82    | 3.40               | 4.18    | 52                |
| 2012  | 2.36    | 0.91       | 0.11    | 1.90             | 2.58    | 2.99               | 3.74    | 43                |

(C)

| Mois | Moyenne | Ecart type | Minimum | Premier quartile | Médiane | Troisième quartile | Maximum | Nombre de données |
|------|---------|------------|---------|------------------|---------|--------------------|---------|-------------------|
| 1    | 2.62    | 0.74       | 0.24    | 2.17             | 2.61    | 3.17               | 4.04    | 59                |
| 2    | 2.57    | 0.58       | 0.84    | 2.24             | 2.60    | 2.97               | 3.61    | 50                |
| 3    | 2.05    | 1.11       | 0.06    | 1.24             | 2.37    | 2.94               | 3.84    | 58                |
| 4    | 0.98    | 1.02       | 0.03    | 0.11             | 0.43    | 1.81               | 3.70    | 55                |
| 5    | 1.64    | 0.95       | 0.02    | 0.89             | 1.60    | 2.43               | 3.59    | 58                |
| 6    | 2.31    | 0.84       | 0.28    | 1.56             | 2.40    | 2.90               | 4.02    | 58                |
| 7    | 2.43    | 0.91       | 0.10    | 1.99             | 2.53    | 3.06               | 4.05    | 53                |
| 8    | 2.62    | 0.83       | 0.27    | 2.21             | 2.76    | 3.20               | 3.89    | 54                |
| 9    | 3.03    | 0.63       | 1.27    | 2.79             | 3.10    | 3.43               | 4.17    | 58                |
| 10   | 3.05    | 0.65       | 0.74    | 2.79             | 3.12    | 3.50               | 4.18    | 54                |
| 11   | 3.03    | 0.57       | 1.75    | 2.74             | 3.09    | 3.42               | 4.07    | 51                |
| 12   | 2.53    | 0.61       | 1.03    | 2.19             | 2.60    | 2.88               | 3.71    | 53                |

**ANNEXE 4** : Variabilité spatiale de la biomasse chlorophyllienne ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )

| Points            | 18/06/2012 | 27/09/2012 |
|-------------------|------------|------------|
| Prise             | 1.07       | 2.1        |
| Rejet             | 0.53       | X          |
| Contrôle surface  | 1.34       | 0.96       |
| Contrôle fond     | 1.34       | 1.71       |
| Référence surface | 1.44       | 0.96       |
| Référence milieu  | 1.23       | 0.28       |
| Référence fond    | 1.17       | 0.75       |

**ANNEXE 5 : Variabilité spatiale de la concentration en phéopigments ( $\text{mg.m}^{-3}$ )  
et de la chlorophylle active (%)**

| <b>Points</b>     | <b>18/06/2012</b> | <b>27/09/2012</b> |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| Prise             | 0.73 - 59.44      | 0.11 - 95.02      |
| Rejet             | 0.55 - 49.07      | X                 |
| Contrôle surface  | 1.09 - 55.14      | 1.09 - 46.83      |
| Contrôle fond     | 0.83 - 61.75      | 1.77 - 49.14      |
| Référence surface | 0.09 - 94.12      | 1.73 - 35.69      |
| Référence milieu  | 0.03 - 97.62      | 1.37 - 48.30      |
| Référence fond    | 0.32 - 78.53      | 2.62 - 22.26      |



## 5. ZOOPLANCTON

Auteur : Elvire Antajan

Collaborateurs : J. Caboche, V. Duquesne, F. Gevaert, M-A. Janquin, V. Lefebvre, 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 2012 elles ont été réalisées le 18 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 m<sup>2</sup>, hauteur 261 cm, cylindro-conique, vide de maille 200 µm – Tranter 1968<sup>1</sup>).

- 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<sup>-1</sup>.
- Pour les prélèvements à terre aux points *prise* (depuis le pont enjambant le canal d'amenée) et *rejet* (depuis le radeau amarré au canal de rejet), le filet est maintenu à un mètre sous la surface en raison du courant et des remous qui homogénéisent la colonne d'eau.

<sup>1</sup> 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.

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 (m<sup>3</sup>).

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 (m<sup>3</sup>).

### 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 1983<sup>1</sup>). Le sous-échantillon est alors placé dans une cuve de Dolffus et dénombré dans sa totalité à la loupe binoculaire (grossissement maximum X 80) en éclairage diascopique. Le dénombrement s'arrête lorsque une classe de tri (*Temora longicornis* : femelle, mâle ou copépodite ; *Oikopleura dioica* ; nauplii de cirripèdes...) atteint un minimum de 100 individus. D'après Frontier (1972)<sup>2</sup> 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<sup>-3</sup>).

La bibliographie utilisée pour l'identification des zooplanctontes est très variée et inclue notamment : les fiches d'identification du plancton CIEM – (1939-1986), un manuel d'identification du zooplancton côtier (Todd *et al.*, 1996<sup>3</sup>), et des clés de détermination pour des groupes spécifiques tels que les copépodes pélagiques (Rose 1933<sup>4</sup>, Boxshall & Halsey 2004<sup>5</sup>) ou les larves de décapodes (Martin, 2001<sup>6</sup>) par exemple.

## 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

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

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

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

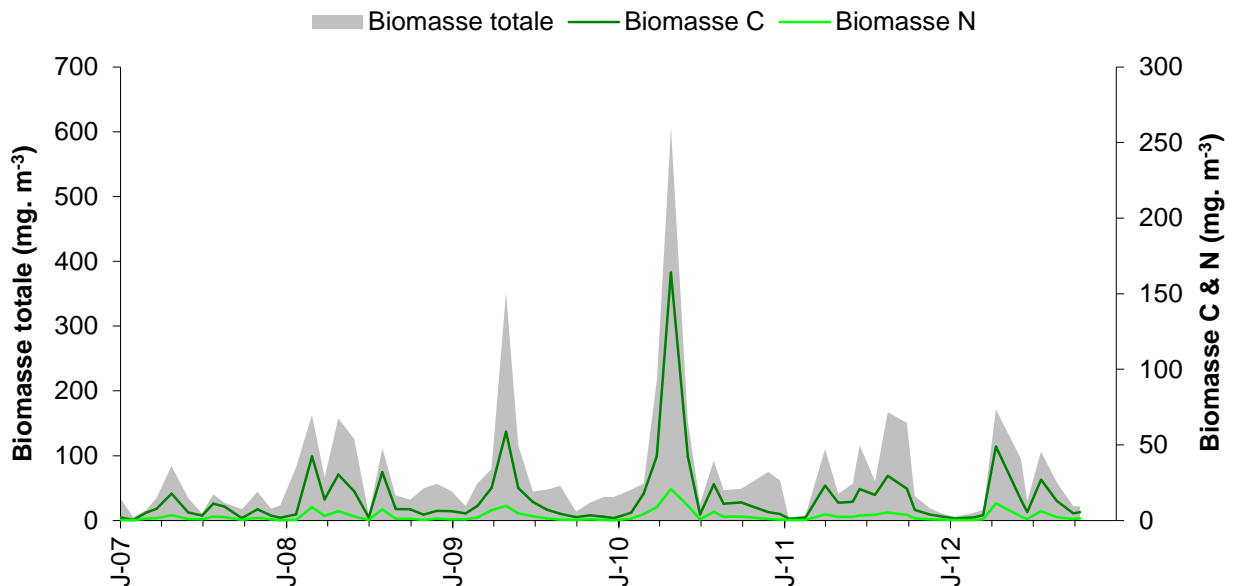
<sup>4</sup> Rose M. (1933) Faune de France, 26. Copépodes pélagiques. Ed. Lechevalier, Paris, pp. 374 .

<sup>5</sup> Boxshall G.A. & Halsey S.H., 2004. - An introduction to copepod diversity . The Ray Society , (Part 1): pp. I-XV, 1-421. (Partl.II): pp. V-VII, 422-966

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

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 2012 comme en 2011, la biomasse sestonique était plus faible au printemps qu'en 2009 et 2010 qui étaient caractérisées par une forte prolifération de *Phaeocystis globosa* (figure 5.1, cf. chapitre IV). Cette année la biomasse sestonique était plus importante en avril et en juillet, respectivement 171,3 et 106.2 mg·m<sup>-3</sup>.



**Figure 5.1 : Évolution mensuelle de la biomasse sestonique (poids sec, poids C et poids N) au point *Prise* entre janvier 2007 et octobre 2012**

On n'observe pas de relation entre la biomasse sestonique et l'abondance zooplanctonique 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 et 6 en 2012. Le rapport C/N peut habituellement caractériser un compartiment tel que le zooplancton (rapport C/N ~ 4-5 ; Mauchline, 1998<sup>1</sup>) ou le phytoplancton (C/N ≥ 6 ; Biddanda & Benner, 1997<sup>2</sup>).

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

<sup>2</sup> 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

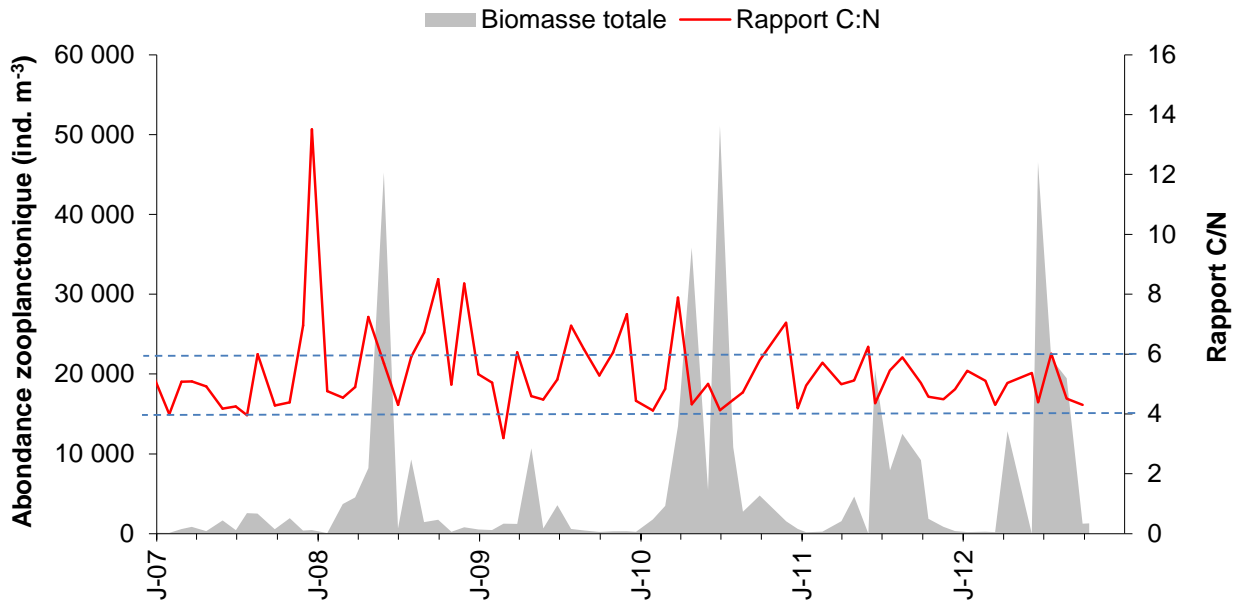


Figure 5.2 : Évolution mensuelle l'abondance zooplanctonique et du rapport C/N du seston au point *Prise* entre janvier 2007 et octobre 2012

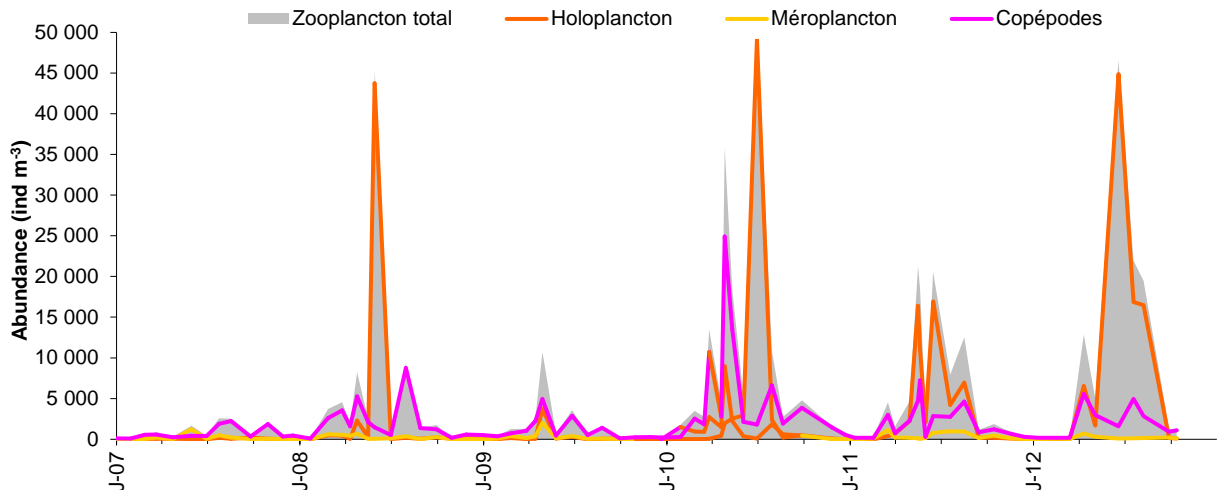
La forte remise en suspension des sédiments sur le site (sable, débris coquilliers, fragments d'algues,...) du fait de la faible profondeur et du courant important à l'entrée du canal, ou bien les proliférations algales contribuent à ce que le rapport C/N mesuré au point *prise* soit parfois  $> 6$ . 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 2012 sont présentés sur la figure 5.3 avec ceux des cinq années précédentes, et sont exprimés en nombre d'individus par  $m^3$  d'eau de mer. Les plus faibles abondances ont été observées en mars 2012 ( $< 193 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Deux pics d'abondance des zooplanctontes ont été observés d'avril à août ( $> 10\,000 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-3}$ ) dû à une prolifération de noctiluques (dinoflagellés hétérotrophes) exceptionnelle par sa durée dans le temps (5 mois).

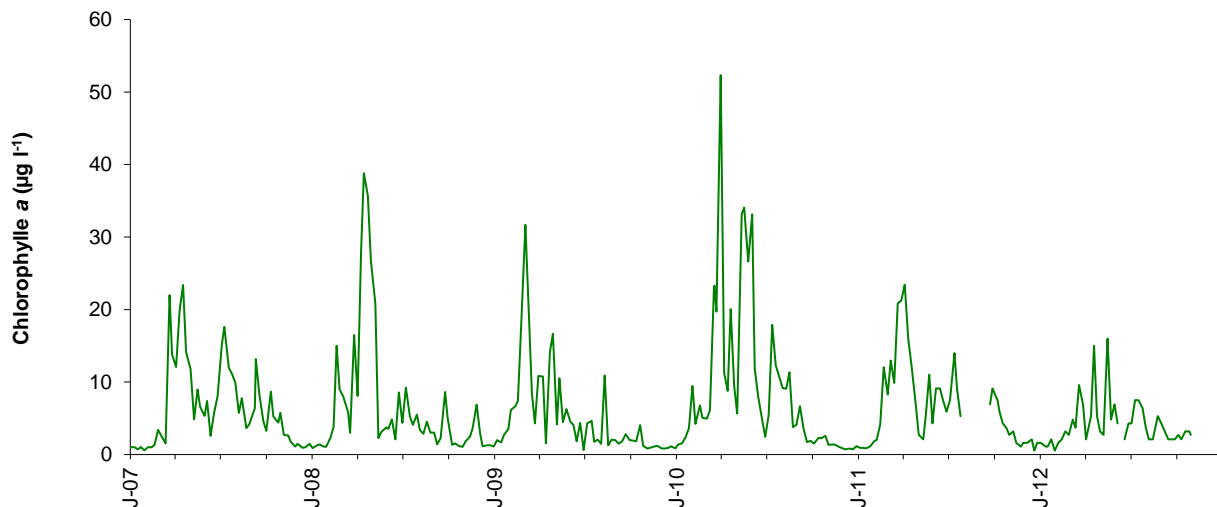
Les fortes augmentations de l'abondance totale par rapport à 2007 sont la conséquence du changement de filet à plancton utilisé pour les prélèvements réguliers au point *prise*. Le petit filet qui était utilisé auparavant à terre avait une plus petite ouverture et une forme conique qui le rendaient plus 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 1968<sup>1</sup>).

<sup>1</sup> 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 2012**

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 2012**

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 2012, l'holoplancton représentait généralement plus de 77 % du zooplancton total (Figure 5.5). Cette fraction était essentiellement composée de crustacés copépodes (70 à 90 %, 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).

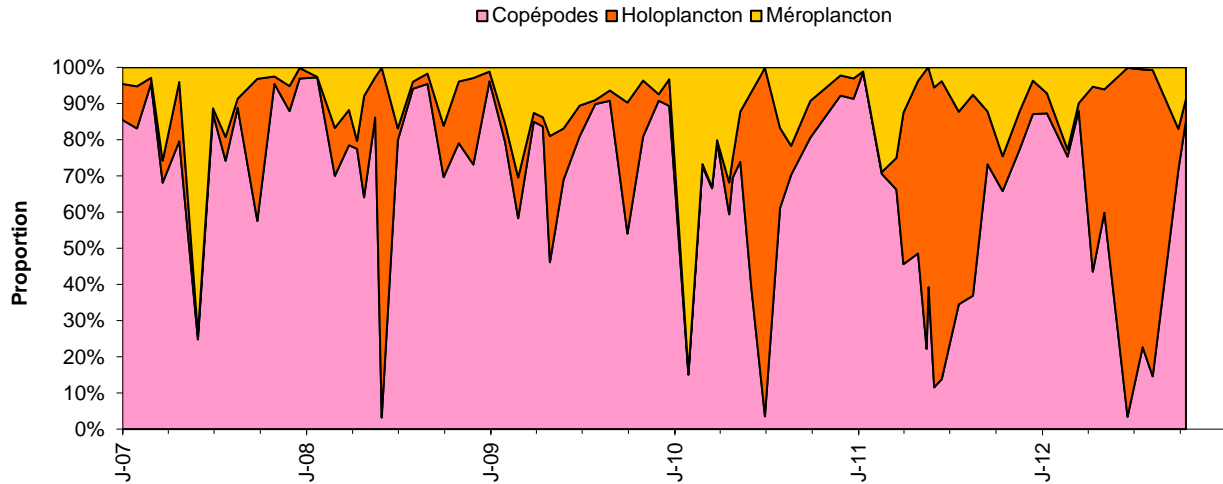


Figure 5.5 : Proportion de copépodes, d'holoplancton et de méroplancton dans le zooplancton total au point prise entre janvier 2007 et octobre 2012

Par opposition à l'holoplancton, le méroplancton constitue la fraction temporaire du zooplancton. Il regroupe les organismes dont seule une partie du cycle vital est planctonique. Il s'agit principalement de larves à vie pélagique émises par de nombreuses espèces à phase adulte benthique errante (crabes, annélides...) ou fixée : annélides, mollusques (moules...) et crustacés cirripèdes (balanes...), nombreux sur l'estran rocheux. Le méroplancton est aussi constitué de phases pélagiques d'espèces fixées (méduses, qui représentent les phases sexuées libres de cnidaires), ou bien des œufs et larves de poissons qui ne peuvent encore lutter contre les courants. Il est donc de fait plus abondant au printemps, pendant les périodes de reproduction des espèces benthiques (figure 5.5 et tableau 5.1).

Tableau 5.1 : Abondance et dominance des principaux groupes zooplanctoniques au point prise au cours de la période de surveillance 2011-2012

|                           | 17/11/2011           |           | 13/12/2011           |           | 10/01/2012           |           | 20/02/2012           |           | 13/03/2012           |           | 10/04/2012           |           | 03/05/2012           |           | 18/06/2012           |            | 18/07/2012           |           | 07/08/2012           |           | 27/09/2012           |           | 12/10/2012           |           |      |    |
|---------------------------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|------------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|------|----|
|                           | ind. m <sup>-3</sup> | %         | ind. m <sup>-3</sup> | %         | ind. m <sup>-3</sup> | %         | ind. m <sup>-3</sup> | %         | ind. m <sup>-3</sup> | %         | ind. m <sup>-3</sup> | %         | ind. m <sup>-3</sup> | %         | ind. m <sup>-3</sup> | %          | ind. m <sup>-3</sup> | %         | ind. m <sup>-3</sup> | %         | ind. m <sup>-3</sup> | %         | ind. m <sup>-3</sup> | %         |      |    |
| <b>HOLOPLANCTON</b>       |                      |           |                      |           |                      |           |                      |           |                      |           |                      |           |                      |           |                      |            |                      |           |                      |           |                      |           |                      |           |      |    |
| Noctiluques               | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 6451                 | 53        | 1382                 | 30         | 44844                | 97        | 16361                | 75        | 16468                | 85        | 0                    | 0         | 0    | 0  |
| Cténaires                 | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 1                    | 0         | 0                    | 0          | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0    | 0  |
| Cladocères                | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 8                    | 0         | 8                    | 0          | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 12                   | 0         | 0                    | 0         | 0    | 0  |
| Copépodes                 | 664                  | 88        | 285                  | 90        | 173                  | 94        | 187                  | 97        | 170                  | 98        | 5585                 | 46        | 2968                 | 64        | 1585                 | 3          | 4969                 | 23        | 2839                 | 15        | 897                  | 86        | 897                  | 86        | 1099 | 94 |
| Mysidacés                 | 4                    | 0         | 2                    | 1         | 2                    | 1         | 1                    | 0         | 3                    | 2         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 7                    | 0          | 1                    | 0         | 0                    | 0         | 3                    | 0         | 3                    | 0         | 7    | 1  |
| Appendiculaires           | 33                   | 4         | 27                   | 9         | 8                    | 4         | 3                    | 2         | 1                    | 0         | 90                   | 1         | 302                  | 6         | 18                   | 0          | 483                  | 2         | 0                    | 0         | 90                   | 9         | 51                   | 4         | 0    | 0  |
| Chaetognathes             | 54                   | 7         | 1                    | 0         | 1                    | 1         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 8                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0          | 1                    | 0         | 0                    | 0         | 49                   | 5         | 18                   | 2         | 0    | 0  |
| <b>Holoplancton total</b> | <b>754</b>           | <b>88</b> | <b>315</b>           | <b>96</b> | <b>184</b>           | <b>93</b> | <b>192</b>           | <b>77</b> | <b>174</b>           | <b>90</b> | <b>12144</b>         | <b>95</b> | <b>4659</b>          | <b>94</b> | <b>46455</b>         | <b>100</b> | <b>21813</b>         | <b>99</b> | <b>19319</b>         | <b>99</b> | <b>1038</b>          | <b>83</b> | <b>1175</b>          | <b>91</b> |      |    |
| <b>MÉROPLANCTON</b>       |                      |           |                      |           |                      |           |                      |           |                      |           |                      |           |                      |           |                      |            |                      |           |                      |           |                      |           |                      |           |      |    |
| Cnidaires                 | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 90                   | 13        | 23                   | 8         | 0                    | 0          | 1                    | 1         | 0                    | 0         | 3                    | 1         | 0                    | 0         | 0    | 0  |
| Annélides                 | 6                    | 6         | 6                    | 48        | 0                    | 0         | 0                    | 1         | 1                    | 4         | 318                  | 46        | 136                  | 45        | 18                   | 26         | 36                   | 28        | 23                   | 16        | 15                   | 7         | 26                   | 23        | 0    | 0  |
| Bryozoaires               | 73                   | 71        | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 11                   | 19        | 12                   | 60        | 57                   | 8         | 8                    | 2         | 4                    | 5          | 0                    | 0         | 6                    | 4         | 87                   | 41        | 16                   | 14        | 0    | 0  |
| Mollusques                | 5                    | 5         | 1                    | 6         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 38                   | 12        | 15                   | 21         | 0                    | 0         | 82                   | 56        | 21                   | 10        | 28                   | 25        | 0    | 0  |
| Cirripèdes                | 11                   | 10        | 2                    | 16        | 0                    | 0         | 40                   | 71        | 2                    | 9         | 106                  | 15        | 68                   | 23        | 11                   | 16         | 89                   | 70        | 35                   | 24        | 54                   | 25        | 15                   | 13        | 0    | 0  |
| Ostracodes                | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0          | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0    | 0  |
| Décapodes                 | 1                    | 1         | 0                    | 3         | 11                   | 80        | 3                    | 4         | 4                    | 19        | 16                   | 2         | 23                   | 7         | 18                   | 26         | 1                    | 1         | 0                    | 0         | 23                   | 11        | 2                    | 2         | 0    | 0  |
| Isopodes                  | 2                    | 2         | 0                    | 3         | 1                    | 6         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0          | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 3                    | 1         | 2                    | 2         | 0    | 0  |
| Amphipodes                | 1                    | 1         | 2                    | 16        | 0                    | 3         | 0                    | 1         | 1                    | 4         | 0                    | 0         | 8                    | 2         | 0                    | 0          | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 3                    | 1         | 0                    | 0         | 0    | 0  |
| Cumacés                   | 1                    | 1         | 1                    | 6         | 1                    | 9         | 1                    | 2         | 0                    | 2         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0          | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0    | 0  |
| Echinodermes              | 5                    | 5         | 0                    | 0         | 0                    | 3         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 98                   | 14        | 0                    | 0         | 4                    | 5          | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 3                    | 1         | 25                   | 22        | 0    | 0  |
| Ascidiacées (têtar)       | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 1         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0          | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0    | 0  |
| Téléostéens               | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 1                    | 1         | 0                    | 2         | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 0                    | 0          | 0                    | 0         | 0                    | 0         | 3                    | 1         | 0                    | 0         | 0    | 0  |
| <b>Méroplancton total</b> | <b>103</b>           | <b>12</b> | <b>12</b>            | <b>4</b>  | <b>14</b>            | <b>7</b>  | <b>56</b>            | <b>23</b> | <b>19</b>            | <b>10</b> | <b>686</b>           | <b>5</b>  | <b>302</b>           | <b>6</b>  | <b>70</b>            | <b>0</b>   | <b>127</b>           | <b>1</b>  | <b>147</b>           | <b>1</b>  | <b>213</b>           | <b>17</b> | <b>113</b>           | <b>9</b>  |      |    |
| <b>Zooplancton total</b>  | <b>858</b>           |           | <b>327</b>           |           | <b>198</b>           |           | <b>249</b>           |           | <b>193</b>           |           | <b>12830</b>         |           | <b>4961</b>          |           | <b>46525</b>         |            | <b>21940</b>         |           | <b>19465</b>         |           | <b>1251</b>          |           | <b>1288</b>          |           |      |    |

### 5.2.2.1. L'holoplancton

#### Les copépodes

Les copépodes, représentaient le groupe taxinomique majeur de l'holoplancton, en dehors des noctiluques (figure 5.6). Les plus faibles abondances de copépodes ont été observées de janvier à mars ( $< 200 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-3}$ ) et les plus fortes en avril et juillet 2012 (5 585 et 4 968  $\text{ind.}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Un hiver froid, en dessous des normales saisonnières, peut expliquer les faibles abondances de copépodes observées de décembre à mars 2012, par rapport aux cinq années précédentes (Figure 5.7).



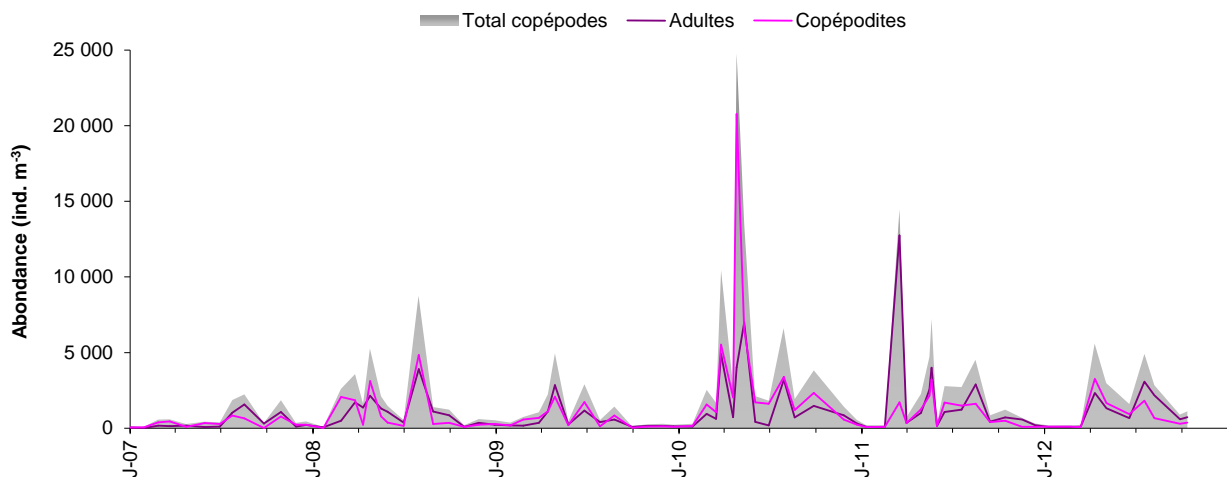


Figure 5.6 : Évolution de l'abondance des copépodes (adultes et copépodites) au point prise entre janvier 2007 et octobre 2012

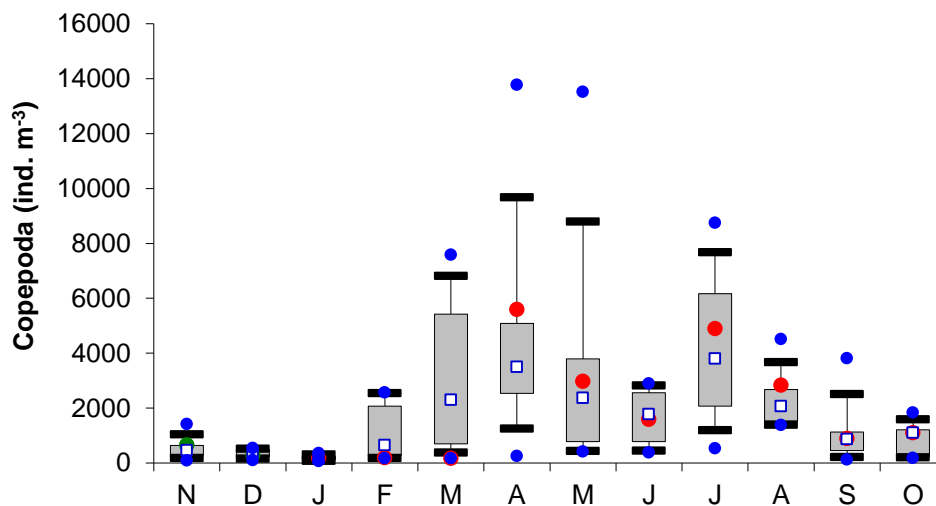


Figure 5.7 : Evolution de l'abondance mensuelle des copépodes (adultes et copépodites) au point prise entre janvier 2007 et octobre 2012

(points verts = données 2011 ; points rouges = données 2012 ; points bleus = données extrêmes depuis 2007 ; carré bleu = médiane)

L'augmentation de l'abondance des espèces printanières *Pseudocalanus elongatus*, *Centropages hamatus* et *Temora longicornis* à été plus tardif cette année (avril), du fait des faibles températures de février et mars (figures 5.8 et 5.9). Les abondances estivales des copépodes (dont celles d'*Acartia clausi* et *Euterpina acutifrons*) étaient dans la moyenne des observations des années précédentes.

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 (40 à 100 %) 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)<sup>1</sup>, a publié une description détaillée de la forme présente sur les sites de Gravelines, de Penly et de Paluel.

<sup>1</sup> 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

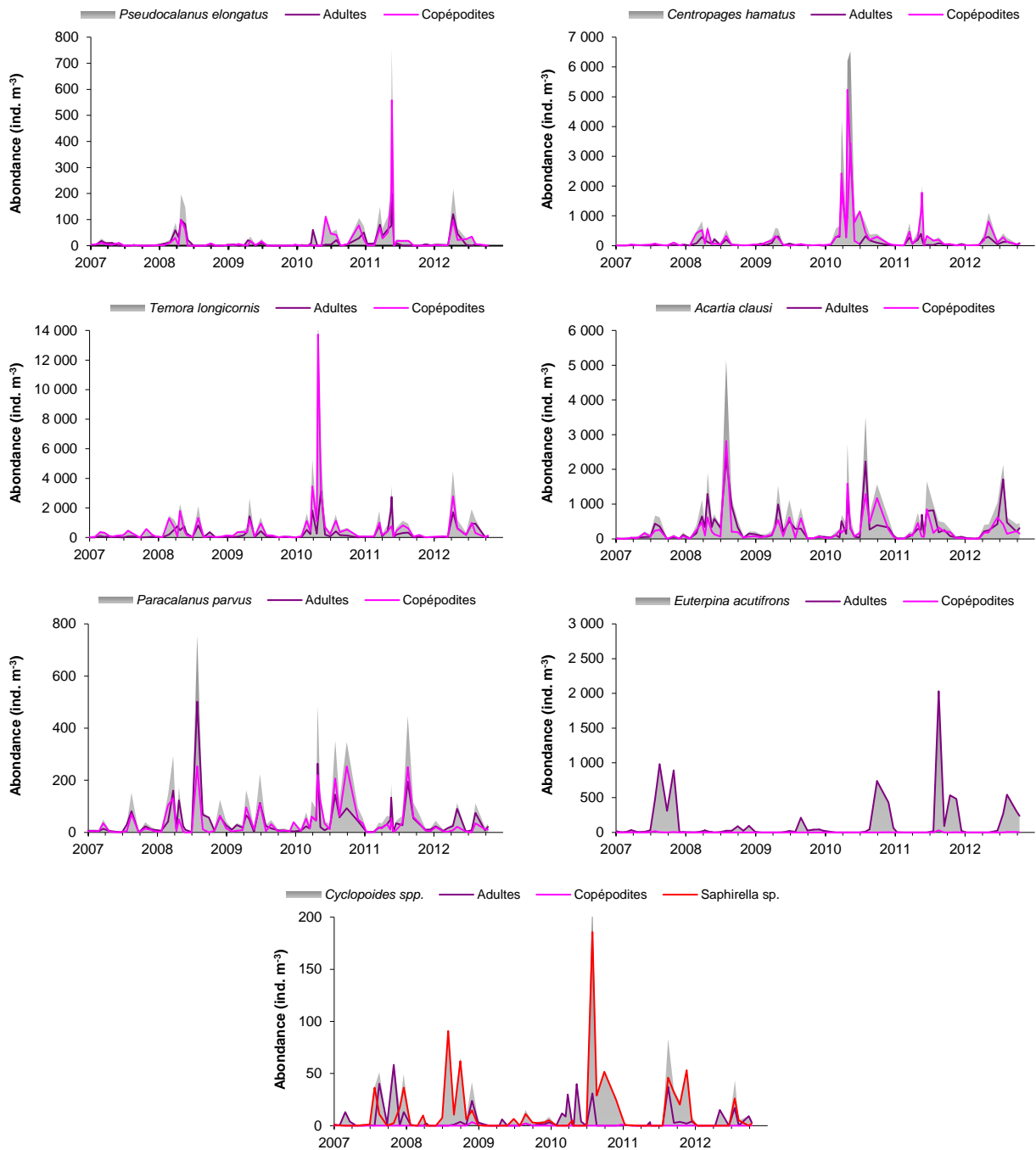
En 2012, chacune des espèces de copépode observées sur le site de Gravelines respectait sa répartition saisonnière habituelle (figure 5.9).

Cette année a permis également de confirmer la présence d'une nouvelle espèce de copépode d'origine asiatique, *Pseudodiaptomus marinus*, qui avait été signalée pour la première fois sur le site de Gravelines en 2011 (Brylinski et al. 2012<sup>1</sup>). Le faible nombre d'individus collectés (de 1 à 5 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., 2012). Cette espèce continuera de faire 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.

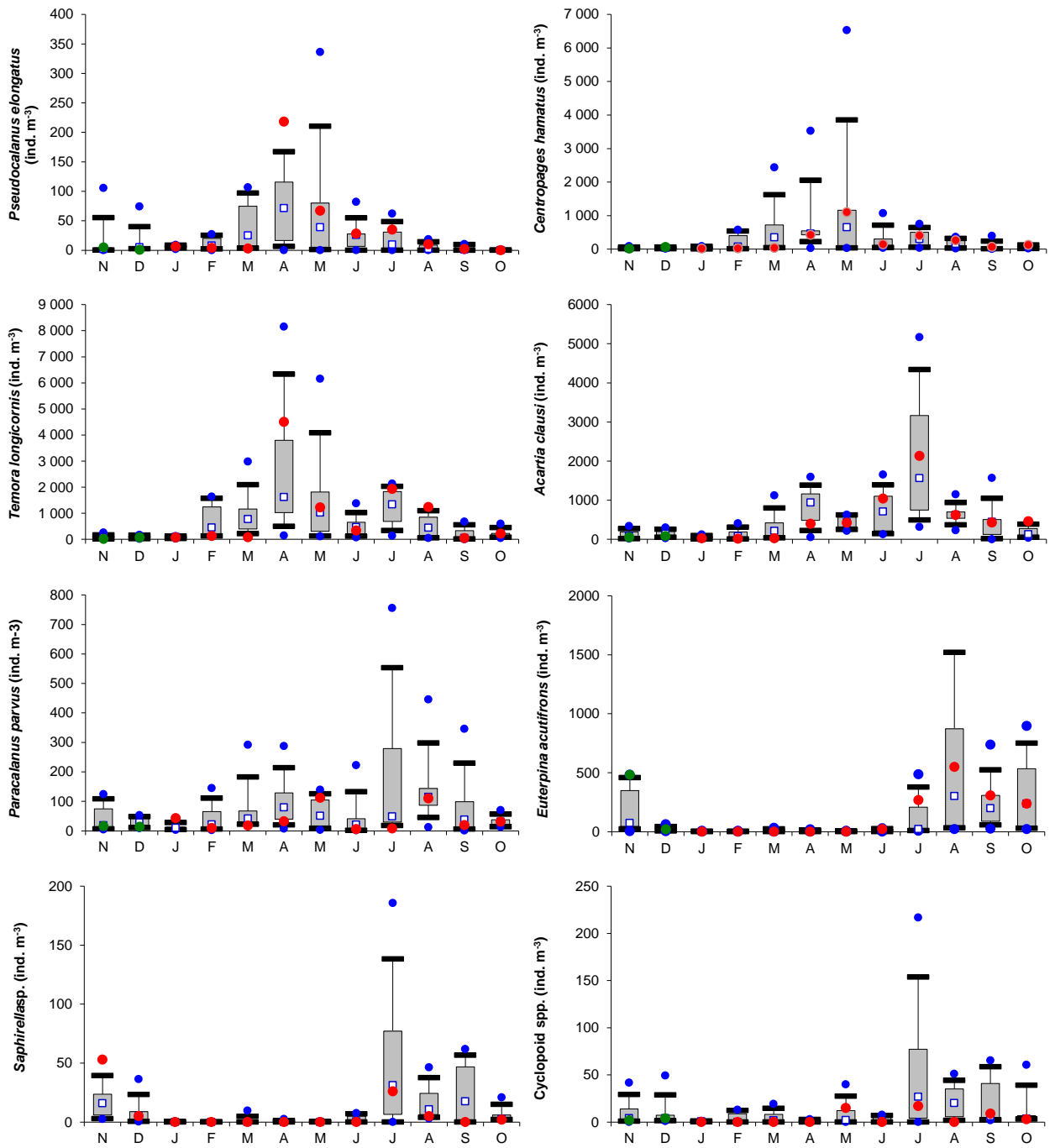
**Tableau 5.2 : Nombre d'individus observés et abondance de *Pseudodiaptomus marinus* au cours de la période de surveillance 2010-2012**

| Date       | Nom Centrale | Nom Point | Taxon                          | Stade      | Sexe    | Nb indiv. | Ab (ind. m <sup>3</sup> ) |
|------------|--------------|-----------|--------------------------------|------------|---------|-----------|---------------------------|
| 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                       |
| 17/11/2011 | Gravelines   | Prise     | <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | Adulte     | Mâle    | 2         | 1                         |
| 17/11/2011 | Gravelines   | Prise     | <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | Copépodite | ND      | 4         | 2                         |
| 13/12/2011 | Gravelines   | Prise     | <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | Adulte     | Femelle | 1         | 0                         |
| 13/12/2011 | Gravelines   | Prise     | <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | Adulte     | Mâle    | 5         | 1                         |
| 27/09/2012 | Gravelines   | Rejet     | <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | Copépodite | ND      | 2         | 13                        |
| 27/09/2012 | Gravelines   | Contrôle  | <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | Adulte     | Femelle | 4         | 6                         |
| 27/09/2012 | Gravelines   | Contrôle  | <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | Adulte     | Mâle    | 1         | 1                         |
| 27/09/2012 | Gravelines   | Contrôle  | <i>Pseudodiaptomus marinus</i> | Copépodite | ND      | 5         | 7                         |

<sup>1</sup> 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 Aquatic Invasions 7(4): 577-584.



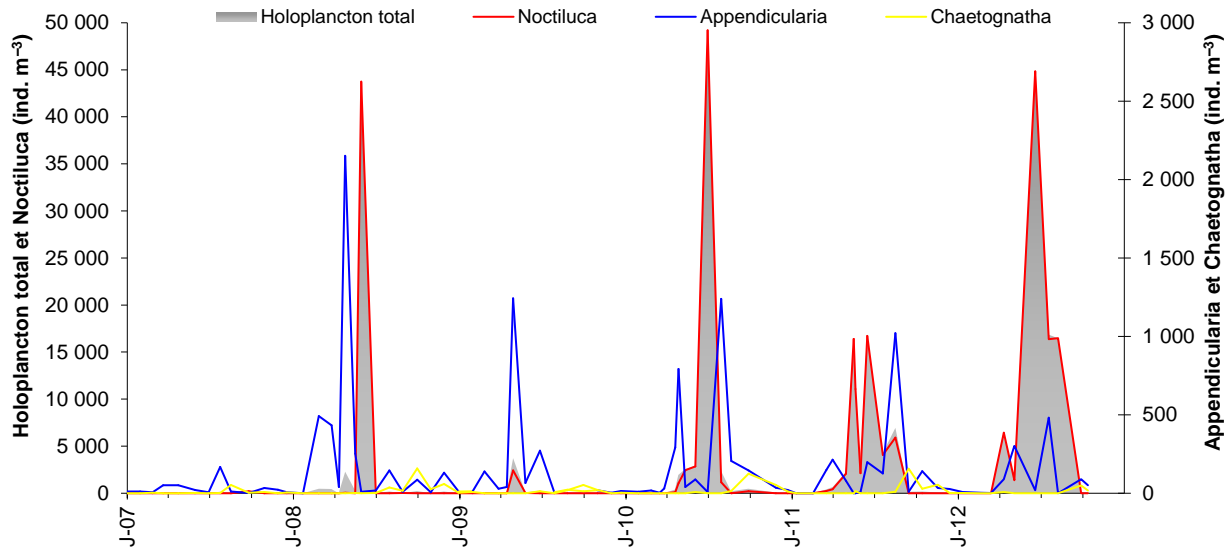
**Figure 5.8 : Abondance (adultes et copépodites) des principales espèces de copépodes au point prise entre janvier 2007 et octobre 2012**



**Figure 5.9 : Evolution de l'abondance mensuelle des principales espèces de copépodes au point prise entre janvier 2007 et octobre 2012 (points verts = données 2011 ; points rouges = données 2012 ; points bleus = données extrêmes depuis 2007 ; carré bleu = médiane)**

### Les autres espèces holoplanctoniques

En dehors des copépodes d'autres espèces holoplanctoniques ont présenté des abondances parfois importantes en 2012 (figures 5.10 et 5.11) :



**Figure 5.10 : Abondance de certaines espèces holoplanctoniques au point prise entre janvier 2007 et octobre 2012**

Les **noctiluques** *Noctiluca scintillans* (dinoflagellés hétérotrophes), ont été très abondants dès le mois d'avril ( $\sim 6\,400 \text{ ind. m}^{-3}$ ), et ont atteint une abondance exceptionnelle de  $44\,844 \text{ ind. m}^{-3}$  en juin. Cette prolifération a perduré jusqu'au mois de août avec des abondances bien supérieures à celles observées habituellement (Figure 5.11). Ceci pourrait expliquer en partie la diminution concomitante (i) des copépodes adultes avec qui ils sont en compétition pour l'ingestion du phytoplancton, et (ii) des copépodites dont ils se nourrissent parfois ainsi que des œufs de copépodes, d'où une plus grande mortalité et moins de copépodites (photo 5.1).



**Photo 5.1 : Ingestion d'œufs, de nauplii et de copépodites par *Noctiluca scintillans* (photos : Elvire Antajan)**

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 2012, ce groupe représentait entre 1 et 9 % de l'holoplancton.

Les **chætognathes** du genre *Parasagitta* sont carnivores et se nourrissent principalement aux dépens des stocks de copépodes. Comme d'habitude, ils étaient plus abondants en automne ( $49 \text{ ind. m}^{-3}$  en septembre ; figures 5.10 et 5.11). Les individus récoltés dans nos échantillons sont généralement juvéniles, les rares adultes identifiés appartenait à l'espèce *Parasagitta setosa*.

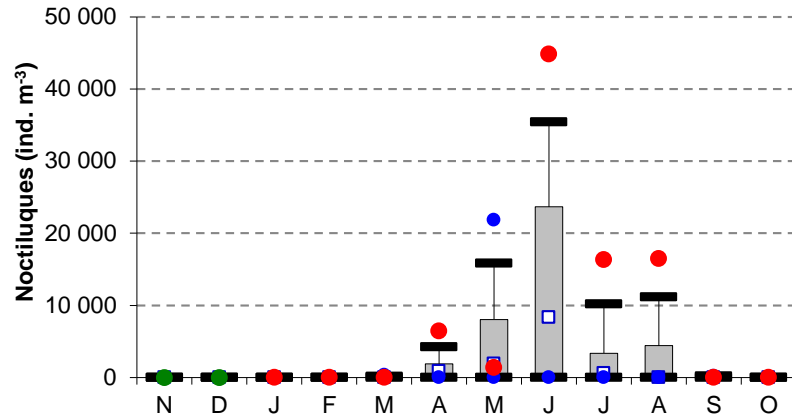


Figure 5.11 : Evolution de l'abondance mensuelle des noctiluques au point *prise* entre janvier 2007 et octobre 2012

(points verts = données 2011 ; points rouges = données 2012 ; points bleus = données extrêmes depuis 2007 ; carré bleu = médiane)

#### 5.2.2.2. Le méroplancton

En 2012, la fraction méroplanctonique représentait entre 1 et 23 % du zooplancton total (figure 5.12).

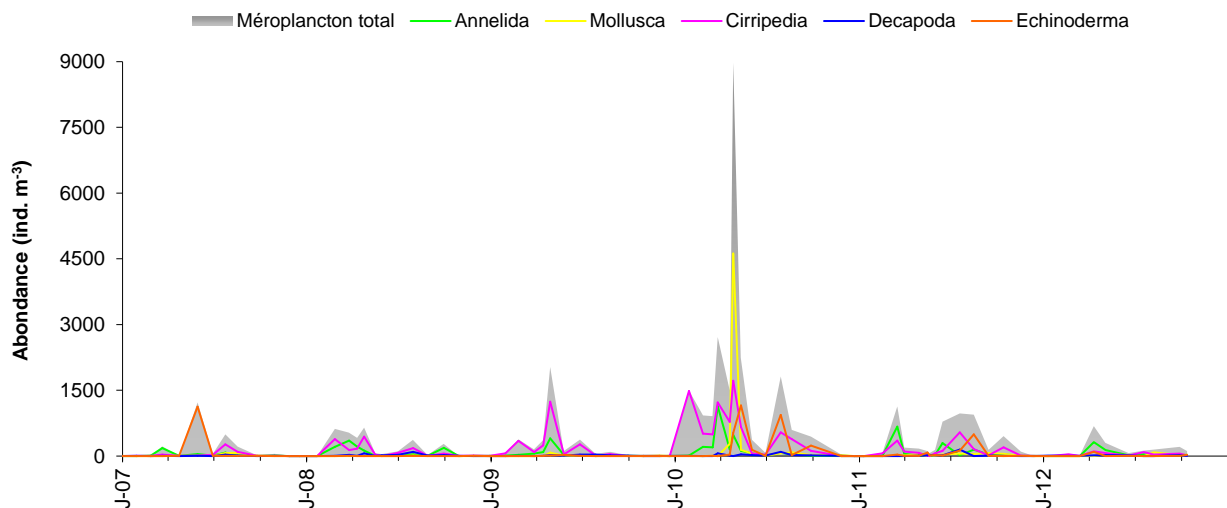


Figure 5.12 : Abondance de certaines espèces méroplanctoniques au point *prise* entre janvier 2007 et octobre 2012

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 2012, les deux missions ont été effectuées respectivement le 18 juin et le 27 septembre.

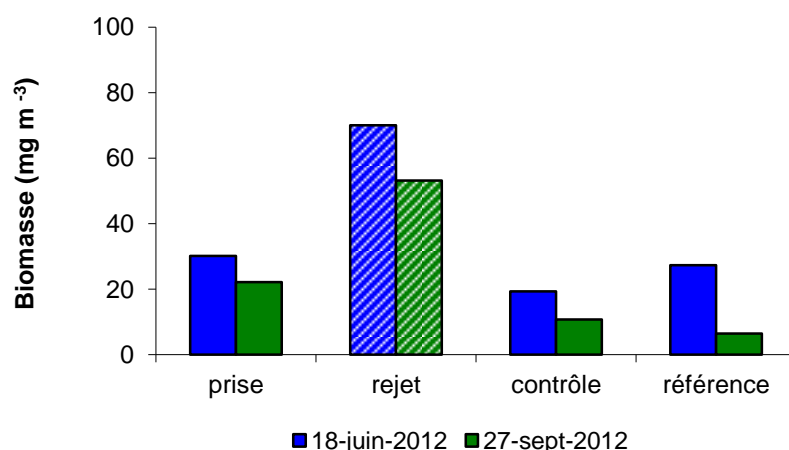
Les conditions d'accès au point *rejet* (décalage entre l'heure de prélèvement à ce point par rapport au point *prise*) et de prélèvement (mauvais déploiement du filet depuis le radeau) rendent ce prélèvement souvent difficile à comparer avec les autres. En témoigne les volumes d'eau filtrés au point *rejet*, 6 et 1 m<sup>3</sup> respectivement en juin et septembre, bien inférieurs aux autres points de prélèvements (Tableau 5.3). 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<br>prélèvement | Volume<br>filtrée (m <sup>3</sup> ) |
|------------|-----------|----------------------|-------------------------------------|
| 18/06/2012 | Prise     | 12:10                | 11.9                                |
| 18/06/2012 | Rejet     | 13:50                | 6.0                                 |
| 18/06/2012 | Contrôle  | 12:35                | 14.8                                |
| 18/06/2012 | Référence | 13:20                | 26.8                                |
| 27/09/2012 | Prise     | 11:20                | 31.0                                |
| 27/09/2012 | Rejet     | 10:45                | 0.8                                 |
| 27/09/2012 | Contrôle  | 11:10                | 38.5                                |
| 27/09/2012 | Référence | 11:45                | 34.9                                |

#### 5.3.1. Biomasse sestonique

En juin et septembre la biomasse sestonique était deux à trois fois plus importante au point *rejet* par rapport aux autres points de prélèvement (figure 5.12), probablement du fait des conditions d'échantillonnage. En dehors de ce point, la biomasse sestonique était moins abondante au large (*référence*) par rapport au point *prise* en septembre.



**Figure 5.12 : Évolution de la biomasse sestonique au cours des deux missions de surveillance 2012**

Comme expliqué plus haut, les rapports  $C/N \geq 6$  (figure 5.13) indiquent ici aussi que le seston filtré au point *rejet* contenait une fraction importante de débris végétaux et minéraux (sables), tout comme au point *contrôle* en septembre.

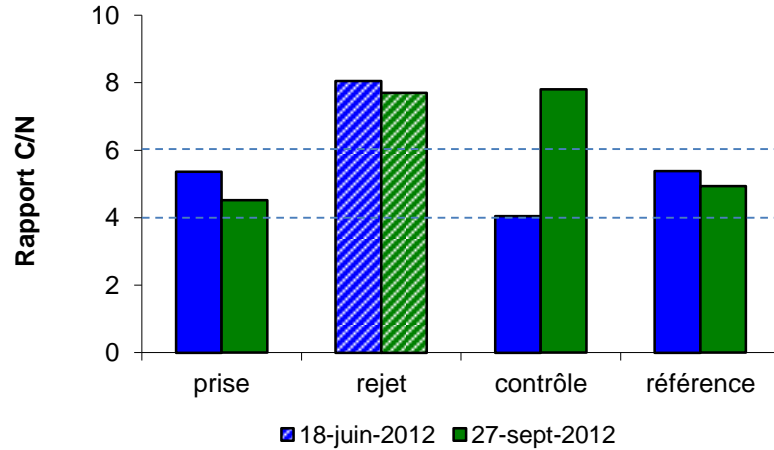


Figure 5.13 : Évolution du rapport C/N du seston au cours des deux missions de surveillance 2012

### 5.3.2. Abondance et composition du zooplancton

La mission de juin coïncidait avec la prolifération des noctiluques (1648 à 44 844 ind. $\cdot$ m<sup>-3</sup>, soit 22 à 96 % 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 les deux années précédentes).

En septembre, l'abondance zooplanctonique était également plus importante à la côte qu'au large. Les proportions entre copépodes, autres holoplancton et méroplancton étaient toutefois du même ordre (hors point *rejet*).

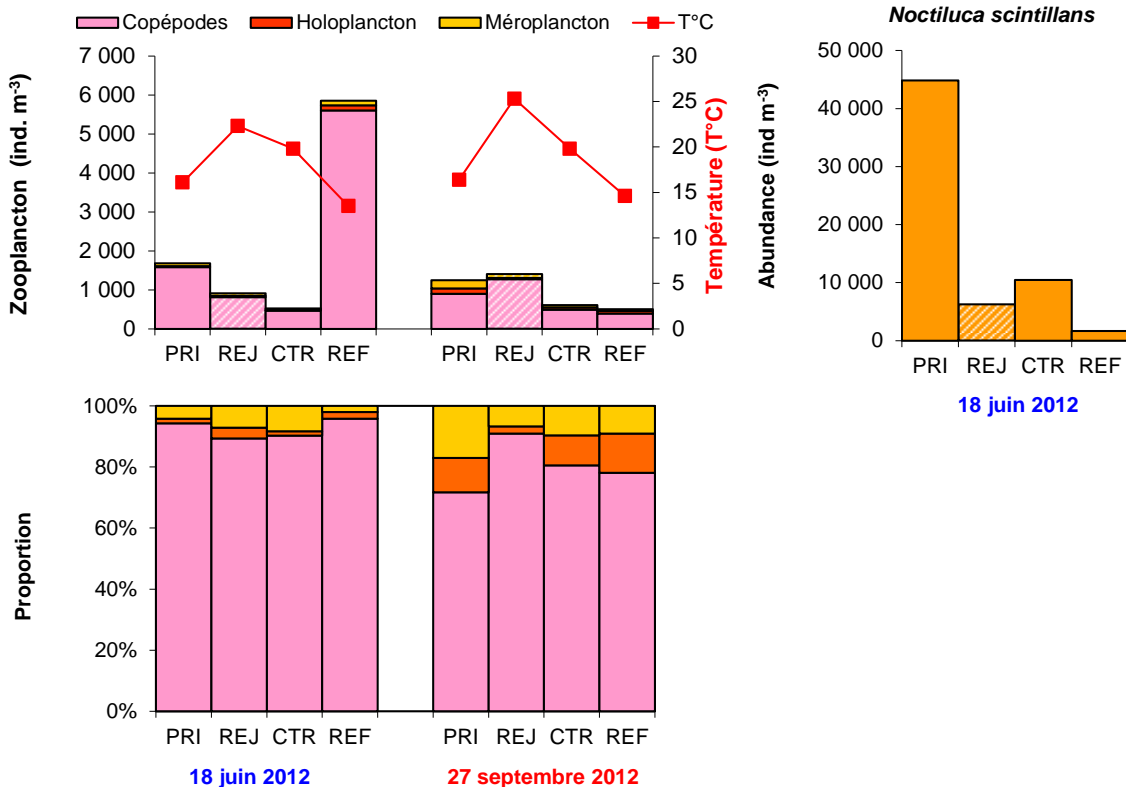


Figure 5.14 : Abondance et proportion des copépodes, de l'holoplancton et du méroplancton au cours des deux missions de surveillance 2012 (Les noctiluques de juin sont représentées à part des holoplanctontes)



### 5.3.2.1. L'holoplancton

#### Les copépodes

Abondance et proportion de copépodes de stade adultes et copépodites étaient à peu près similaires entre les points de prélèvement en septembre. En juin les abondances et la proportion d'adultes étaient par contre plus importantes au point *référence* probablement du fait des plus faibles concentrations de noctiluques par rapport à la côte (Figure 5.15).

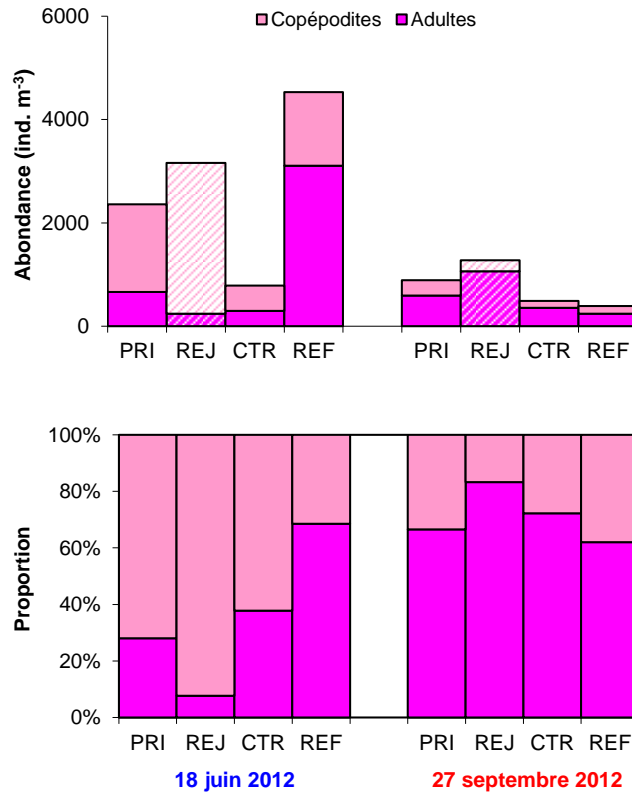


Figure 5.15 : Abondance et proportion des stades de copépodes au cours des deux missions de 2012

#### Les autres espèces holoplanctoniques

L'abondance des appendiculaires était plus importante en juin au point *référence* (figure 5.16). En septembre les abondances des appendiculaires et des chaetognathes étaient plus faibles aux points *rejet* et *contrôle*.

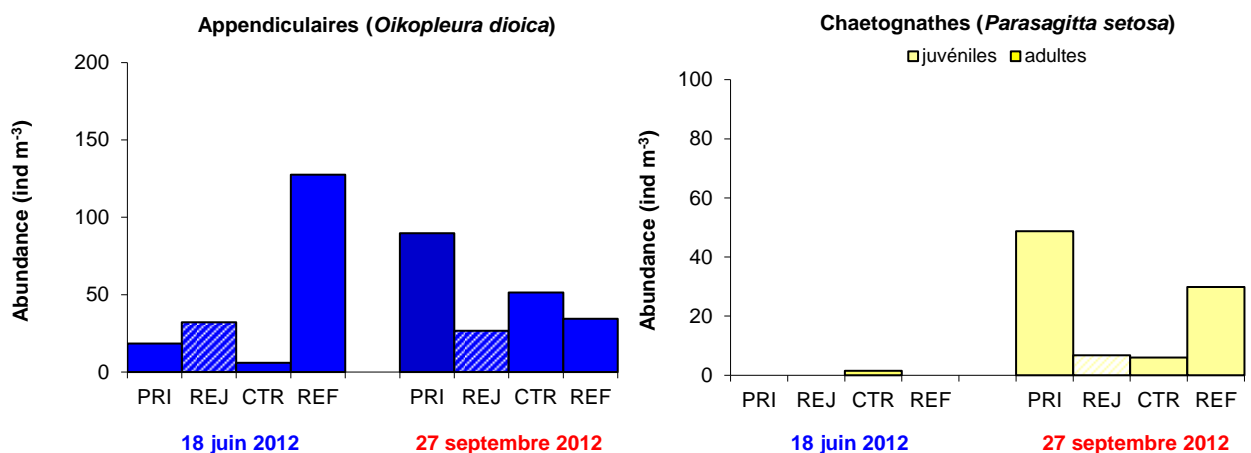


Figure 5.16 : Abondance des appendiculaires et des chaetognathes au cours des deux missions de 2012

## 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 les abondances au point *rejet* de juin et de septembre doivent là encore être considérées avec précaution.

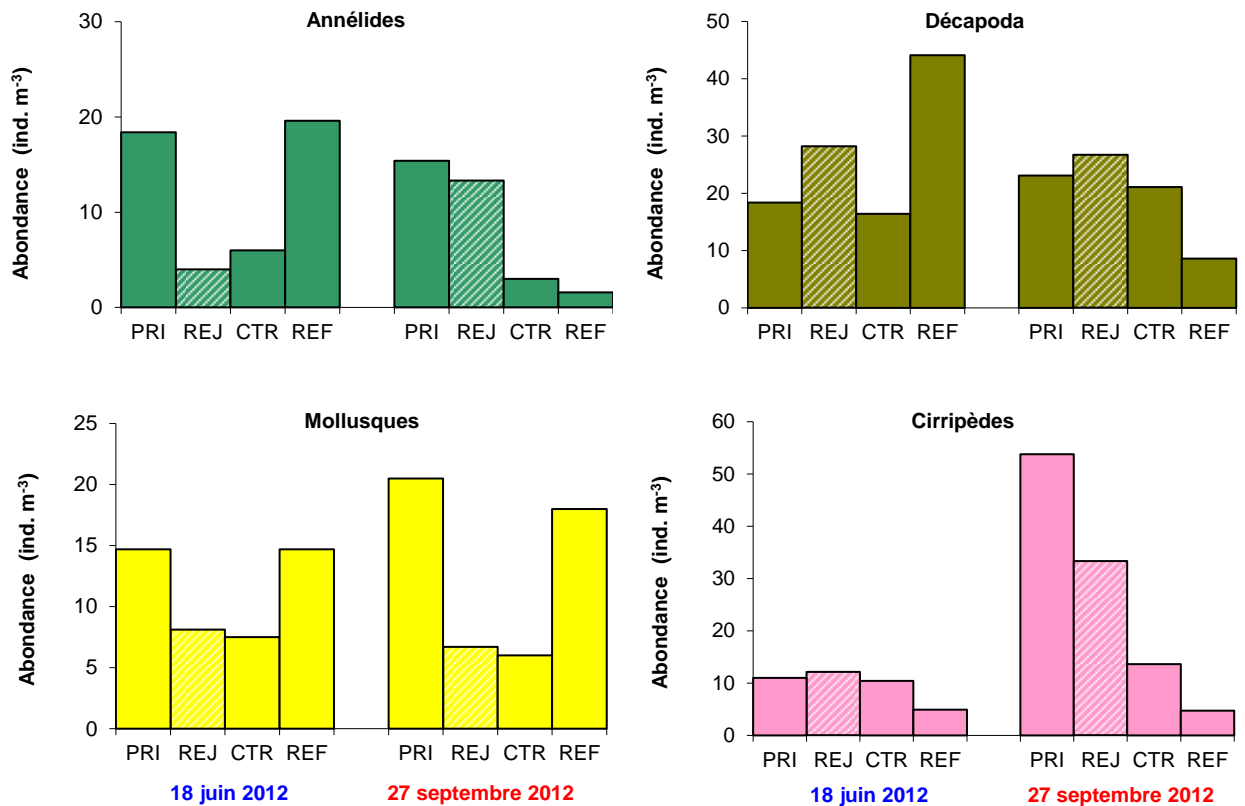


Figure 5.17 : Abondance des principaux groupes méroplanctoniques au cours des deux missions de 2012

Si pour quelques cas les abondances entre les points *rejet* et *contrôle* étaient plus faibles, celles des points *prise* et *référence* montraient qu'en dehors de la zone d'influence du rejet du CNPE les abondances étaient semblables (cf. mollusques). Il est toutefois important de rappeler qu'en ce qui concerne les larves méroplanctoniques d'organismes benthiques, celles-ci sont généralement plus concentrées près des côtes où elles vont sédimenter pour s'établir.

### 5.4. Éléments de conclusion

Comme en 2011, la biomasse sestonique mesurée sur l'année présentait des valeurs plus faibles au printemps qu'auparavant, sans doute à cause d'une prolifération moins importante de *Phaeocystis globosa*. Le rapport C/N du seston était compris entre 4 et 6 ce qui indique que le zooplancton était une fraction importante de ce seston, sans pour autant que l'on puisse faire correspondre les biomasses sestoniques aux abondances zooplanctoniques.

L'abondance zooplanctonique était caractérisée par les organismes holoplanctoniques (> 77 %). Généralement les copépodes sont les principaux représentants de ce groupe, mais cette année une prolifération exceptionnelle (de part sa durée et son abondance) du dinoflagellé hétérotrophe, *Noctiluca scintillans*, du mois d'avril au mois d'août est venu perturber ce schéma. Les noctiluques ont représenté jusque 96 % du zooplancton global en juin. La succession des espèces de copépodes au cours de l'année 2012 était toutefois conforme à celle des années précédentes. Cette année aura permis de confirmer la présence sur le site de Gravelines de l'espèce de copépode, *Pseudodiaptomus marinus*, découverte en 2011. 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 *prise* 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 les points *rejet* ou *contrôle* 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)

Campagnes : Valérie LEFEBVRE (RH/BL)

Elvire ANTAJAN (LER/BL)

Josselin CABOCHE (RH/BL)

Jean DUYTSCHÉ (RH/BL)

Tri des échantillons : Wilfried LOUIS (RH/BL)

Jean DUYTSCHÉ (RH/BL)



## 6.1. Introduction

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)<sup>1</sup>.

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 µm).

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

Deux réplicats 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,  $\alpha$  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

Quatre campagnes annuelles sont réalisées. 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 entre les mois de 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 2012, les campagnes se sont déroulées entre le 10 avril et le 24 mai (tableau 6.1). Lors de la campagne du 20 avril, les volumes filtrés au point Côte étaient extrêmement faibles, certainement à cause d'un colmatage important en raison du bloom de *Phaeocystis globosa*. Les abondances observées à ce point et à cette date seront donc à interpréter avec précaution.

**Tableau 6.1. Caractéristiques des campagnes d'échantillonnage de l'ichtyoplancton et des larves de crevette grise sur le site de Gravelines en 2012**

| N° de campagne | Date   | Point    | Réplicats | Heure du prélèvement | Température surface (°C) | Salinité | Durée du trait (min) | Volume filtré (m <sup>3</sup> ) |    |      |
|----------------|--------|----------|-----------|----------------------|--------------------------|----------|----------------------|---------------------------------|----|------|
| 272            | 10-avr | Prise    | 1         | 14:12                | 9.7                      | 33.8     | 5                    | 78.0                            |    |      |
|                |        |          | 2         | 14:32                |                          |          | 5                    | 65.7                            |    |      |
| 273            | 20-avr | Prise    | 1         | 11:33                | 10.1                     | 34.4     | 3                    | 23.5                            |    |      |
|                |        |          | 2         | 11:59                |                          |          | 3                    | 24.5                            |    |      |
|                |        | Côte     | 1         | 12:01                | 9.9                      | 34.8     | 3                    | 5.0                             |    |      |
|                |        |          | 2         |                      |                          |          |                      | 7.5                             |    |      |
|                |        | Contrôle | 1         | 12:26                | 9.9                      | 35.1     | 2                    | 36.7                            |    |      |
|                |        |          | 2         |                      |                          |          |                      | 46.4                            |    |      |
|                |        | Large    | 1         | 12:50                | 9.2                      | 35.3     | 3                    | 42.8                            |    |      |
|                |        |          | 2         |                      |                          |          |                      | 56.1                            |    |      |
|                |        | 274      | 03-mai    | Prise                | 1                        | 09:43    | 11.1                 | 34.5                            | 10 | 33.7 |
|                |        |          |           |                      | 2                        | 09:59    |                      |                                 | 10 | 37.1 |
| 275            | 24-mai | Prise    | 1         | 13:40                | 13.6                     | 34.7     | 10                   | 87.6                            |    |      |
|                |        |          | 2         | 13:55                |                          |          | 10                   | 81.1                            |    |      |
|                |        | Côte     | 1         | 15:00                | 14.8                     | 35.0     | 5                    | 148.3                           |    |      |
|                |        |          | 2         |                      |                          |          |                      | 142.6                           |    |      |
|                |        | Contrôle | 1         | 15:15                | 13.3                     | 35.1     | 5                    | 132.9                           |    |      |
|                |        |          | 2         |                      |                          |          |                      | 134.7                           |    |      |
|                |        | Large    | 1         | 15:35                | 12.8                     | 35.2     | 5                    | 154.0                           |    |      |
|                |        |          | 2         |                      |                          |          |                      | 150.0                           |    |      |

#### 6.2.4. Conservation, identification et dénombrement

Les échantillons collectés ont été conservés dans des flacons de deux litres pré-remplis d'une sauce de conservation formolée (concentration finale, 0,9 % ; Mastail et Battaglia 1978<sup>1</sup>, Lelièvre *et al.* 2010<sup>2</sup>).

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<sup>3</sup>) 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<sup>-3</sup>).

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

### 6.3. Résultats- Discussion

#### 6.3.1. La sole (*S. solea*)

Les abondances des œufs et des larves de sole pour l'année 2012 sont présentées dans le tableau 6.2 et la figure 6.1.

En 2012, les abondances les plus fortes pour les œufs et larves ont été observées lors des deux premières campagnes, notamment aux points *Prise* et *Contrôle*. Ce sont majoritairement des œufs non embryonnés qui ont été observés. Lors de la dernière campagne, les abondances étaient très faibles. Quelques larves ont été observées aux points *Prise*, *Côte* et *Large* le 20 avril et au point *Prise* le 3 mai.

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> 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.

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

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

<sup>5</sup> 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<sup>-3</sup>) des œufs (NE, Non Embryonnés ; E, Embryonnés) et des larves de sole sur le site de la centrale de Gravelines en 2012

| N° de campagne | Point    | Réplicats | Total œufs  | Œufs NE     | Œufs E      | Larves      |
|----------------|----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 272            | Prise    | 1         | 1,59        | 1,19        | 0,40        | 0,03        |
|                |          | 2         | 1,13        | 0,84        | 0,29        | 0,02        |
|                |          | Moyenne   | <b>1,36</b> | <b>1,01</b> | <b>0,34</b> | <b>0,02</b> |
| 273            | Prise    | 1         | 3,11        | 1,92        | 1,19        | 0,00        |
|                |          | 2         | 3,92        | 2,45        | 1,47        | 0,16        |
|                |          | Moyenne   | <b>3,51</b> | <b>2,18</b> | <b>1,33</b> | <b>0,08</b> |
|                | Côte     | 1         | 3,60        | 2,60        | 1,00        | 0,40        |
|                |          | 2         | 2,38        | 1,46        | 0,93        | 0,26        |
|                |          | Moyenne   | <b>2,99</b> | <b>2,03</b> | <b>0,96</b> | <b>0,33</b> |
|                | Contrôle | 1         | 2,91        | 2,50        | 0,41        | 0,00        |
|                |          | 2         | 2,63        | 2,35        | 0,28        | 0,02        |
|                |          | Moyenne   | <b>2,77</b> | <b>2,43</b> | <b>0,34</b> | <b>0,01</b> |
|                | Large    | 1         | 1,82        | 1,35        | 0,47        | 0,02        |
|                |          | 2         | 1,41        | 1,28        | 0,12        | 0,04        |
|                |          | Moyenne   | <b>1,61</b> | <b>1,32</b> | <b>0,30</b> | <b>0,03</b> |
| 274            | Prise    | 1         | 1,37        | 0,48        | 0,89        | 0,00        |
|                |          | 2         | 1,35        | 0,76        | 0,59        | 0,11        |
|                |          | Moyenne   | <b>1,36</b> | <b>0,62</b> | <b>0,74</b> | <b>0,05</b> |
| 275            | Prise    | 1         | 0,09        | 0,06        | 0,03        | 0,00        |
|                |          | 2         | 0,02        | 0,02        | 0,00        | 0,00        |
|                |          | Moyenne   | <b>0,06</b> | <b>0,04</b> | <b>0,02</b> | <b>0,00</b> |
|                | Côte     | 1         | 0,26        | 0,16        | 0,11        | 0,00        |
|                |          | 2         | 0,07        | 0,04        | 0,04        | 0,00        |
|                |          | Moyenne   | <b>0,17</b> | <b>0,10</b> | <b>0,07</b> | <b>0,00</b> |
|                | Contrôle | 1         | 1,13        | 0,84        | 0,29        | 0,00        |
|                |          | 2         | 0,86        | 0,53        | 0,33        | 0,00        |
|                |          | Moyenne   | <b>0,99</b> | <b>0,68</b> | <b>0,31</b> | <b>0,00</b> |
|                | Large    | 1         | 0,54        | 0,39        | 0,15        | 0,00        |
|                |          | 2         | 0,45        | 0,35        | 0,10        | 0,00        |
|                |          | Moyenne   | <b>0,49</b> | <b>0,37</b> | <b>0,12</b> | <b>0,00</b> |

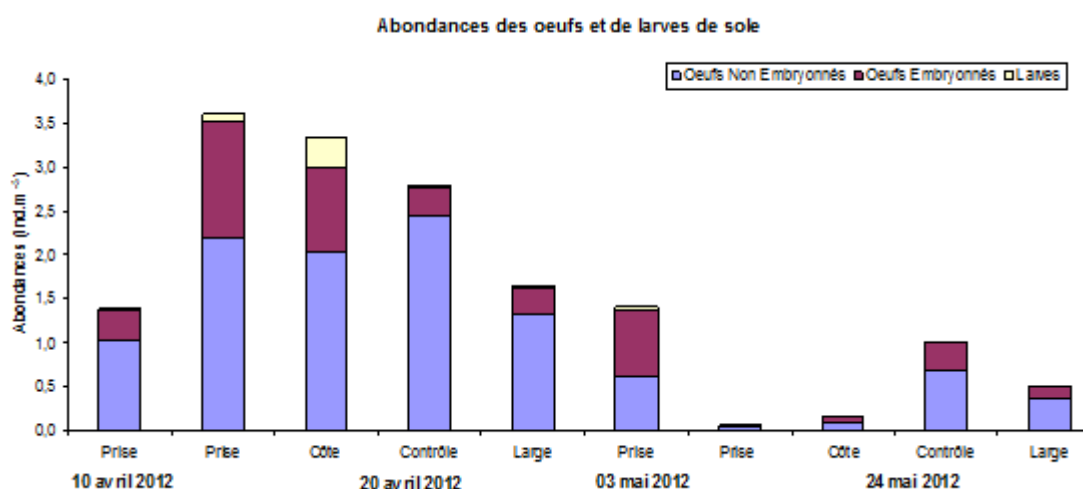
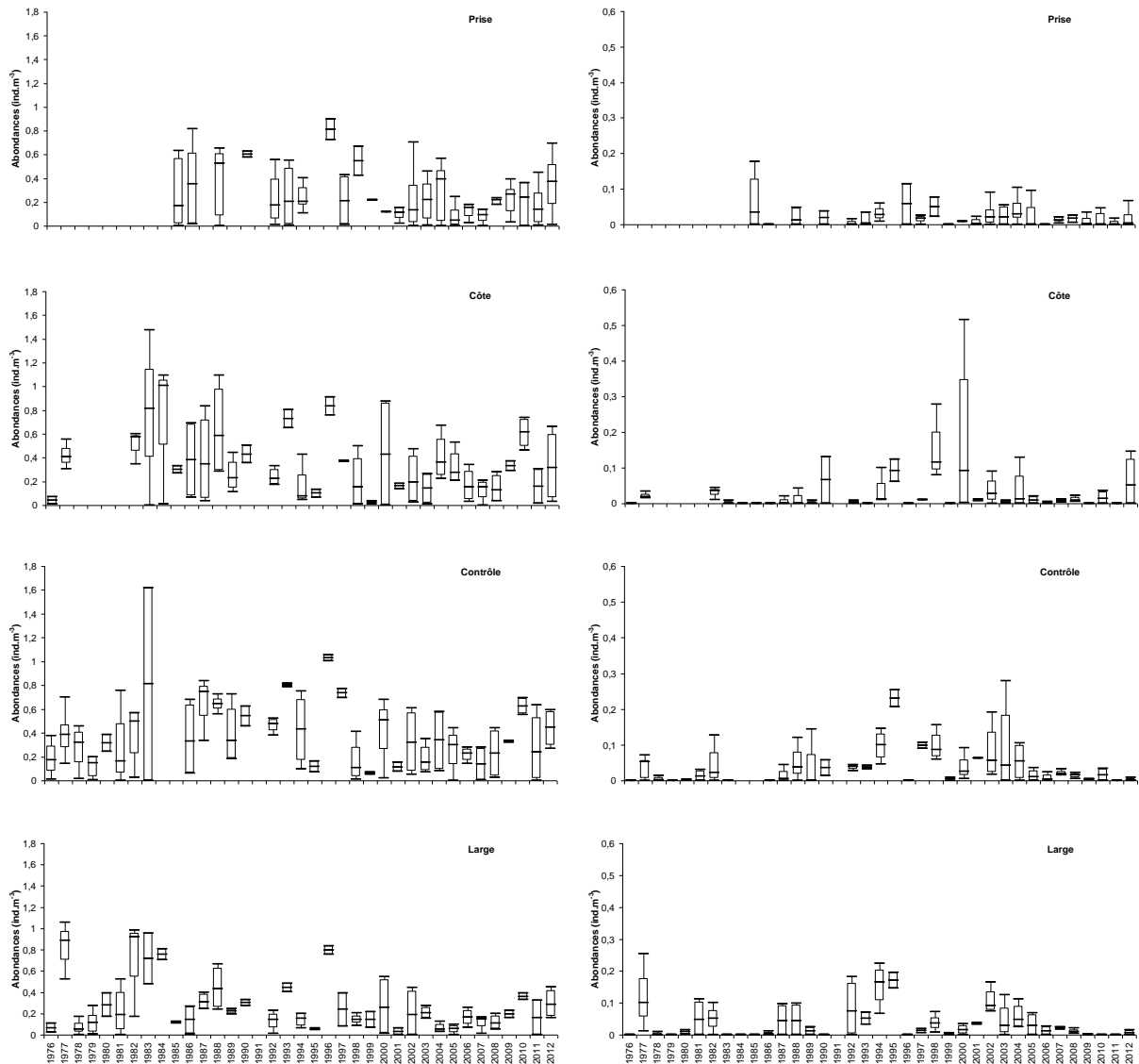


Figure 6.1 Abondances totales (moyennes des deux réplicats en ind.m<sup>-3</sup>) des œufs et larves de sole sur le site de Gravelines en 2012 en fonction de la date et du point de prélèvement

L'évolution des abondances des œufs et larves de sole observés depuis 1976 sur le site de Gravelines est présentée figure 6.2.



**Figure 6.2 : Abondances log-transformées des œufs (gauche) et larves (droite) de sole aux points Prise, Côte, Contrôle et Large du site de Gravelines observées entre mars et mai depuis 1976**

Pour les œufs, il y a une différence significative ( $p < 0,001$ ) entre le point *Large* et les points *Côte* et *Contrôle*, ainsi qu'entre le point *Prise* et *Contrôle*. Les abondances montrent une grande variabilité au cours du temps, particulièrement aux points *Prise*, *Côte*, et *Contrôle*. Au point *Prise*, les données sont difficilement interprétables avant 2002. Il n'y a pas de tendance claire qui apparaît mais peut être des abondances légèrement plus faibles à la fin de la série qu'au début.

Pour les larves, les abondances observées sont plus faibles que pour les œufs et notamment lors de ces sept dernières années à part peut-être au point *Prise* qui est échantillonné plus fréquemment que les autres points. Il y a une différence significative entre les points *Contrôle* et *Large* et entre les points *Côte* et *Prise*.

### 6.3.2. Le sprat (*S. sprattus*)

Les abondances des œufs et larves de sprat pour l'année 2012 sont présentés dans le tableau et la figure 6.3. En 2012, une abondance très importante d'œufs de sprat a été observée au point *Large* lors de la campagne du 24 mai. Ce sont majoritairement des œufs non embryonnés qui ont été collectés. Quelques larves ont également été collectées aux points *Prise*, *Côte* et *Contrôle* lors de cette campagne.

**Tableau 6.3. Abondances (ind.m<sup>-3</sup>) des œufs (NE, non embryonnés ; E, embryonnés) et des larves de sprat sur le site de Gravelines en 2012**

| N° de campagne | Point    | Réplicats      | Total œufs   | Œufs NE     | Œufs E      | Larves      |
|----------------|----------|----------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| 272            | Prise    | 1              | 0,58         | 0,29        | 0,28        | 0,00        |
|                |          | 2              | 0,50         | 0,29        | 0,21        | 0,00        |
|                |          | <b>Moyenne</b> | <b>0,54</b>  | <b>0,29</b> | <b>0,25</b> | <b>0,00</b> |
| 273            | Prise    | 1              | 0,30         | 0,00        | 0,30        | 0,00        |
|                |          | 2              | 0,61         | 0,33        | 0,29        | 0,00        |
|                |          | <b>Moyenne</b> | <b>0,45</b>  | <b>0,16</b> | <b>0,29</b> | <b>0,00</b> |
|                | Côte     | 1              | 0,20         | 0,20        | 0,00        | 0,00        |
|                |          | 2              | 0,27         | 0,13        | 0,13        | 0,00        |
|                |          | <b>Moyenne</b> | <b>0,23</b>  | <b>0,17</b> | <b>0,07</b> | <b>0,00</b> |
|                | Contrôle | 1              | 0,33         | 0,27        | 0,05        | 0,00        |
|                |          | 2              | 0,43         | 0,32        | 0,11        | 0,00        |
|                |          | <b>Moyenne</b> | <b>0,38</b>  | <b>0,30</b> | <b>0,08</b> | <b>0,00</b> |
|                | Large    | 1              | 1,87         | 1,56        | 0,30        | 0,00        |
|                |          | 2              | 1,82         | 1,46        | 0,36        | 0,00        |
|                |          | <b>Moyenne</b> | <b>1,84</b>  | <b>1,51</b> | <b>0,33</b> | <b>0,00</b> |
| 274            | Prise    | 1              | 0,71         | 0,30        | 0,42        | 0,00        |
|                |          | 2              | 0,49         | 0,13        | 0,35        | 0,00        |
|                |          | <b>Moyenne</b> | <b>0,60</b>  | <b>0,22</b> | <b>0,38</b> | <b>0,00</b> |
| 275            | Prise    | 1              | 0,37         | 0,06        | 0,31        | 0,17        |
|                |          | 2              | 0,30         | 0,00        | 0,30        | 0,00        |
|                |          | <b>Moyenne</b> | <b>0,33</b>  | <b>0,03</b> | <b>0,30</b> | <b>0,09</b> |
|                | Côte     | 1              | 1,36         | 0,22        | 1,14        | 0,01        |
|                |          | 2              | 0,55         | 0,14        | 0,41        | 0,01        |
|                |          | <b>Moyenne</b> | <b>0,95</b>  | <b>0,18</b> | <b>0,77</b> | <b>0,01</b> |
|                | Contrôle | 1              | 3,45         | 0,67        | 2,78        | 0,08        |
|                |          | 2              | 3,77         | 0,62        | 3,15        | 0,03        |
|                |          | <b>Moyenne</b> | <b>3,61</b>  | <b>0,65</b> | <b>2,97</b> | <b>0,06</b> |
|                | Large    | 1              | 13,19        | 9,40        | 3,79        | 0,00        |
|                |          | 2              | 11,74        | 8,80        | 2,93        | 0,00        |
|                |          | <b>Moyenne</b> | <b>12,46</b> | <b>9,10</b> | <b>3,36</b> | <b>0,00</b> |

Abondances des œufs et de larves de sprat

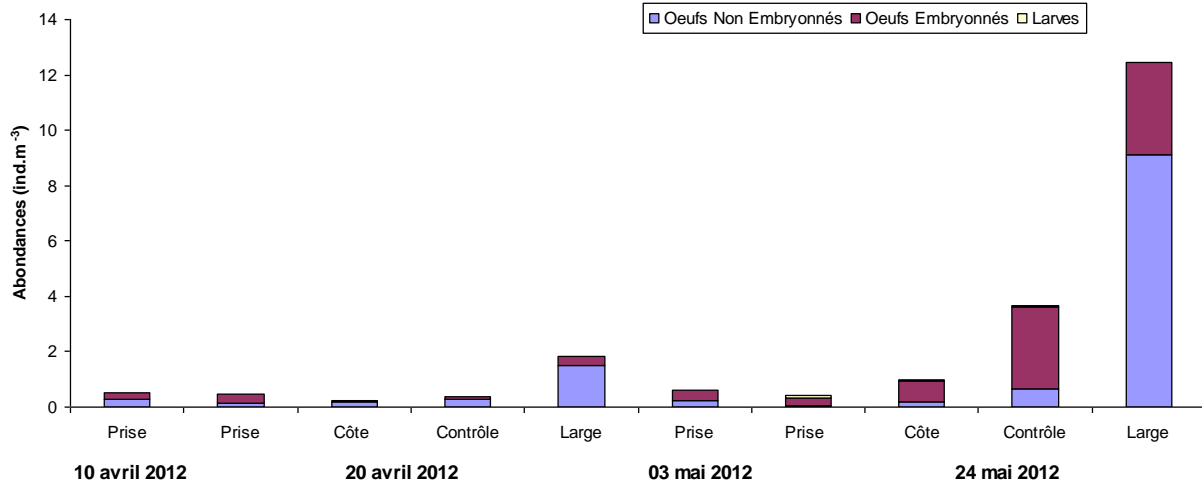


Figure 6.3. Abondances totales (moyennes des deux réplicats en ind.m-3) des œufs et des larves de sprat sur le site de Gravelines en 2012 en fonction de la date et du point de prélèvement

L'évolution des abondances des œufs et larves de sprat sur le site de la centrale de Gravelines depuis 1976 est présentée figure 6.4.

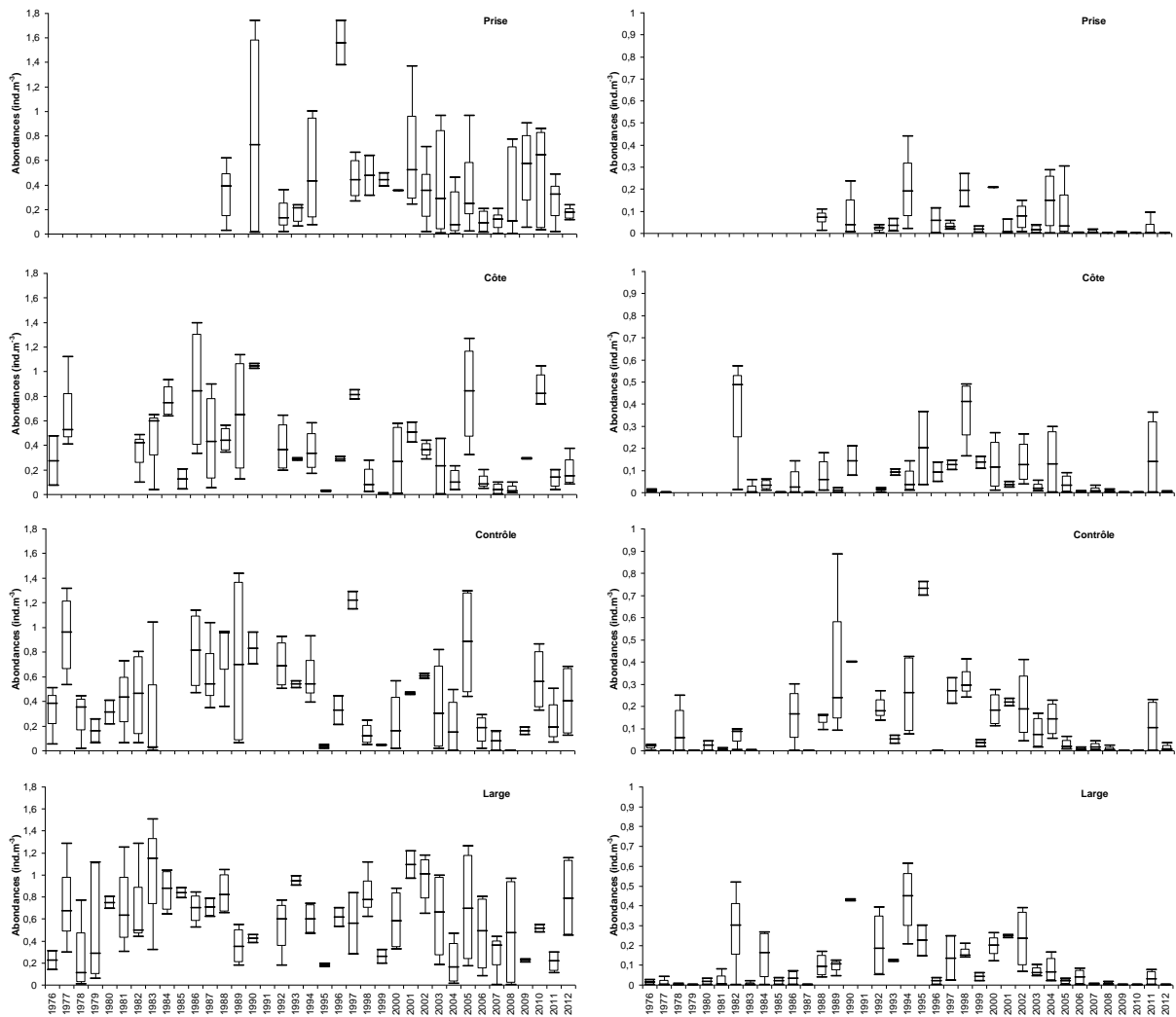


Figure 6.4 : Abondances log-transformées des œufs (gauche) et larves (droite) de sole aux points Prise, Côte, Contrôle et Large du site de Gravelines observées entre mars et mai depuis 1976

Pour les œufs, le point large est significativement différent des autres points et les abondances observées y sont généralement plus élevées. Une grande variabilité est observée par année et entre les années. Les abondances semblent moins élevées à la fin de la série qu'au début. De nouveau, au point prise, les données sont difficilement interprétables avant 2002.

Pour les larves, il y a une différence significative entre le point contrôle et les points côte et prise. Les abondances sont plus faibles que pour les larves et notamment au début et à la fin de la série.

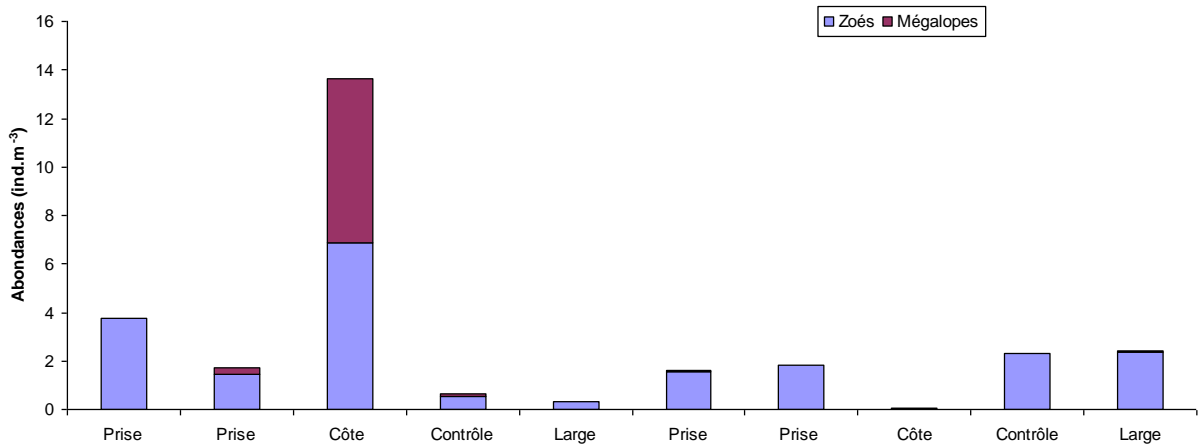
### 6.3.3. La crevette grise (*C. crangon*)

Les abondances de zoés et mégalopes de crevette grise sur le site de la centrale de Gravelines en 2012 sont présentées dans le tableau 6.4 et figure 6.5.

Tableau 6.4. Abondances (ind.m<sup>-3</sup>) de zoés et mégalopes de crevette grise sur le site de Gravelines en 2012

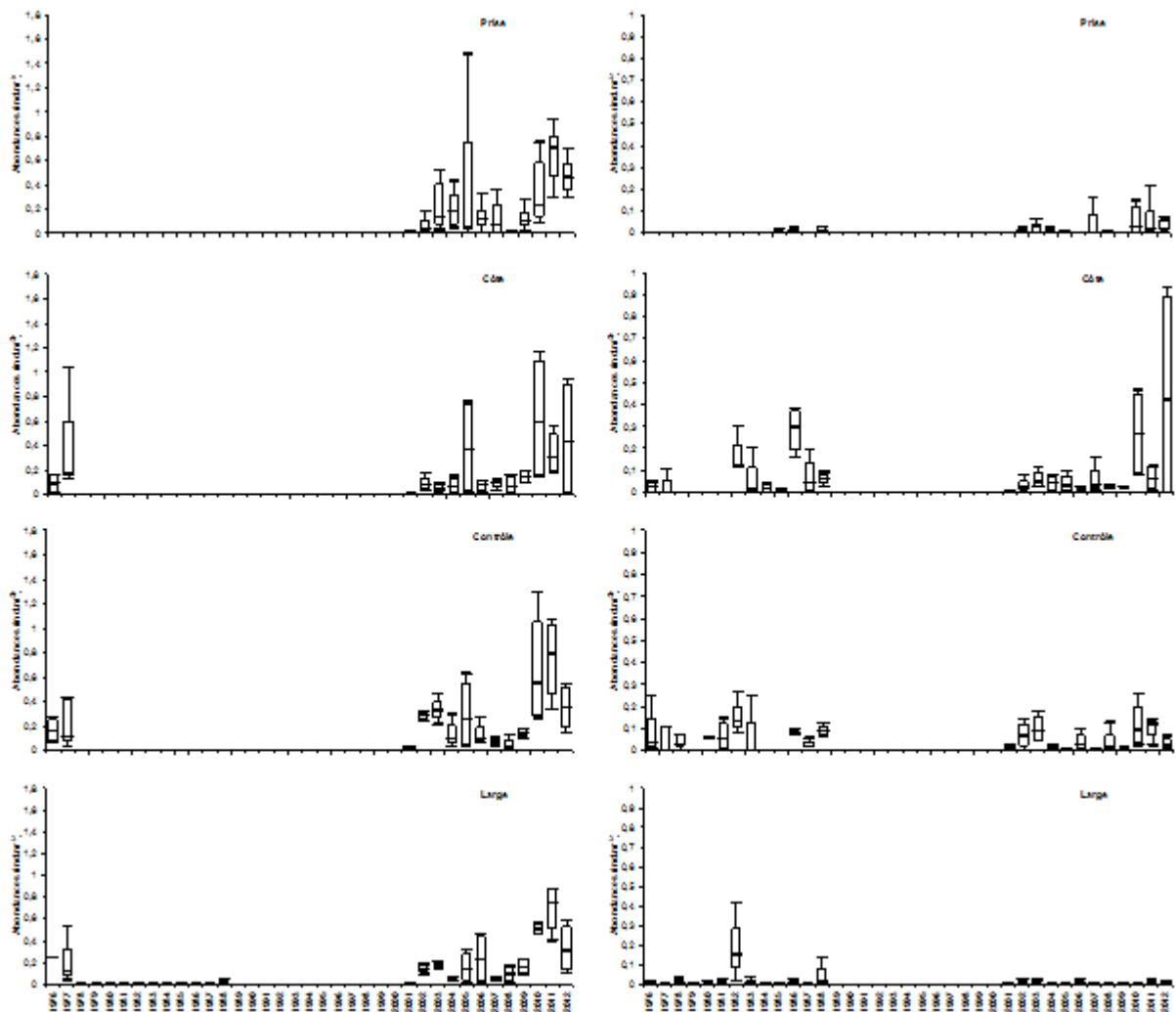
| N° de campagne | Point    | Réplicats      | Zoés        | Mégalopes   |
|----------------|----------|----------------|-------------|-------------|
| 272            | Prise    | 1              | 4,02        | 0,03        |
|                |          | 2              | 3,47        | 0,03        |
|                |          | <b>Moyenne</b> | <b>3,75</b> | <b>0,03</b> |
| 273            | Prise    | 1              | 1,83        | 0,17        |
|                |          | 2              | 1,02        | 0,37        |
|                |          | <b>Moyenne</b> | <b>1,42</b> | <b>0,27</b> |
|                | Côte     | 1              | 7,79        | 7,59        |
|                |          | 2              | 5,96        | 5,96        |
|                |          | <b>Moyenne</b> | <b>6,88</b> | <b>6,78</b> |
|                | Contrôle | 1              | 0,41        | 0,16        |
|                |          | 2              | 0,65        | 0,09        |
|                |          | <b>Moyenne</b> | <b>0,53</b> | <b>0,12</b> |
|                | Large    | 1              | 0,26        | 0,00        |
|                |          | 2              | 0,43        | 0,00        |
|                |          | <b>Moyenne</b> | <b>0,34</b> | <b>0,00</b> |
| 274            | Prise    | 1              | 2,17        | 0,12        |
|                |          | 2              | 0,97        | 0,00        |
|                |          | <b>Moyenne</b> | <b>1,57</b> | <b>0,06</b> |
| 275            | Prise    | 1              | 1,96        | 0,01        |
|                |          | 2              | 1,64        | 0,05        |
|                |          | <b>Moyenne</b> | <b>1,80</b> | <b>0,03</b> |
|                | Côte     | 1              | 0,05        | 0,00        |
|                |          | 2              | 0,01        | 0,00        |
|                |          | <b>Moyenne</b> | <b>0,03</b> | <b>0,00</b> |
|                | Contrôle | 1              | 2,53        | 0,02        |
|                |          | 2              | 2,08        | 0,02        |
|                |          | <b>Moyenne</b> | <b>2,30</b> | <b>0,02</b> |
|                | Large    | 1              | 1,90        | 0,02        |
|                |          | 2              | 2,88        | 0,03        |
|                |          | <b>Moyenne</b> | <b>2,39</b> | <b>0,02</b> |

En 2012, les abondances les plus fortes ont été observées au point côte lors de la campagne du 20 avril. Ceci est dû à des problèmes de colmatage et de sous-estimation du volume filtré qui entraînent une sur-estimation des abondances. Par ailleurs, les abondances sont généralement élevées au point prise lors de toutes les campagnes et aux points contrôle et large lors de la dernière campagne. Les abondances des zoés étaient beaucoup plus élevées que celles des mégalopes.



**Figure 6.5** Abundances (moyennes sur les deux répliqués en ind.m<sup>-3</sup>) des zoés et mégalopes de crevette grise sur le site de la centrale de Gravelines en 2012 en fonction de la date et du point de prélèvement

L'évolution des abondances de zoés et mégalopes de crevette grise sur le site de la centrale de Gravelines depuis 1976 est présentée au niveau de la figure 6.6.



**Figure 6.6** : Abondances log-transformées des zoés (gauche) et mégalopes (droite) de crevette grise aux points Prise, Côte, Contrôle et Large du site de Gravelines observées entre mars et mai depuis 1976

Pour les zoés, il n'y a pas de différence significative entre les points ce qui sous-entend une évolution similaire des abondances au cours du temps au niveau des quatre points. Les abondances observées sont plus élevées notamment au cours de ces trois dernières années.

Pour les mégalopes, il y a une différence significative entre le point côte et les points large et prise, due à une surestimation de l'abondance au niveau de ce point en 2012. De manière générale, les abondances semblent plus élevées au point côte et contrôle qu'aux deux autres points et particulièrement ces trois dernières années. Les abondances sont très faibles au point large.

#### 6.4. Eléments de conclusion

En 2012, les abondances observées d'œufs et de larves de sole ont été supérieures aux trois années précédentes. Depuis 1976, ces abondances sont dans la moyenne haute des abondances observées depuis le début de la série sauf pour les larves aux points *Contrôle* et *Large*. Les abondances sont généralement faibles et celles des larves plus que celles des œufs.

Pour le sprat, les abondances observées en 2012 ont été supérieures à celles observées les années précédentes notamment au point *Large*. De manière générale, les abondances sont supérieures pour les œufs et sont également supérieures à celles de la sole. Pour les larves, les abondances observées étaient plutôt faibles comme depuis ces six dernières années.

Pour la crevette grise, les abondances des zoés en 2012 étaient supérieures à celles des mégalopes comme pour les autres années. Ces abondances sont depuis trois ans supérieures à celles observées depuis le début de la série.

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.

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. De plus, les abondances observées au point *Prise* ne sont pas interprétables avant 2002 et l'échantillonnage deux fois par an pour les points *Côte*, *Contrôle* et *Large* reste très insuffisant et conduit à une variabilité élevée chaque année, ce qui rend difficile l'interprétation de l'évolution à long terme.

## 7. LE DOMAINE BENTHIQUE INTERTIDAL

Auteurs : Rolet C., Luczak C., Dewarumez J.-M.

Collaborateurs : Menu D., Serreau V.





## 7.1. Introduction

Les études écologiques menées depuis 1973 sur l'estran de Petit Fort Philippe ont permis d'avoir une bonne connaissance des facteurs qui déterminent l'organisation, la répartition et l'évolution des peuplements benthiques intertidaux. Ces peuplements sont sous l'influence directe de deux principaux facteurs de l'environnement : la salinité et la teneur en fines du sédiment. Il a été démontré également que l'impact thermique de la centrale pouvait jouer un rôle important dans la structuration bionomique de l'estran, et ce, notamment, au niveau de deux populations d'Annélides Polychètes de la famille des Spionidiens : *Spio martinensis* et *Pygospio elegans*. Ces deux populations se répartissent sur l'estran en fonction de leur préférence thermique, *Pygospio elegans* étant plus thermophile que *Spio martinensis*. Il faut néanmoins relativiser l'ampleur de cet impact dans la mesure où l'exclusion réciproque des deux populations n'est pas systématique et que la densité de population des deux espèces varie fortement. Les modifications bionomiques mises en évidence sur l'estran de Gravelines peuvent être expliquées dans une large mesure par les évolutions respectives de ces trois facteurs. Ces altérations sont particulièrement évidentes au niveau des populations de la partie supérieure de l'estran et notamment de celles du peuplement des espèces vasicoles et d'eaux saumâtres. Les niveaux inférieurs de l'estran sont caractérisés depuis plusieurs années par une grande stabilité bionomique qui ne peut être remise en cause temporairement que par la résonance dans ces niveaux des phénomènes qui se déroulent dans le milieu subtidal proche. Ces phénomènes sont toujours indépendants du fonctionnement de la centrale.

## 7.2. Matériels et méthodes

La stratégie d'échantillonnage a été modifiée lors de l'étude 2000. En effet, étant donnée la stabilité bionomique des niveaux inférieurs depuis plusieurs années, ne révélant par ailleurs aucun impact de la centrale, il avait été décidé de porter davantage notre attention sur la continuité de l'impact mis en évidence dans les niveaux supérieurs de l'estran et de 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 (cf. chapitre 1, figure 1.3). 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 6 juillet 2012. 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.

### 7.2.1. 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.

### 7.3. Résultats

#### 7.3.1. Composition taxonomique

31 taxons ont été récoltés sur les trois radiales en 2012. Ils se répartissaient comme suit :

- 1 Némerte
- 1 Oligochète
- 10 Annélides Polychètes
  - 4 errantes
  - 6 sédentaires
- 4 Mollusques
  - 1 Gastéropode
  - 3 Bivalves
- 12 Crustacés
  - 2 Isopodes
  - 5 Amphipodes
  - 1 Mysidacé
  - 2 Décapodes
  - 2 Cumacés
- 1 Insecte
- 1 Pycnogonide
- 1 Poisson (larve)

Ces 31 taxons correspondent à 11173 individus récoltés sur les trois radiales (Tableau 7.1). Ce résultat est en nette progression par rapport à 2011 (7152 individus récoltés). Depuis 2008, le nombre d'espèces restait stable : 28 taxons en 2008, 29 en 2009, 28 en 2010, 29 en 2011. Une légère augmentation a lieu en 2012 avec 31 taxons récoltés. Si au niveau de la richesse spécifique on peut noter une relative stabilité sur les 5 dernières années, il n'en va pas de même pour la densité globale, les effectifs ont fortement chuté entre 2008 et 2010. Les effectifs progressent à nouveau depuis 2011. La très forte diminution enregistrée en 2010 était imputable à plusieurs espèces mais surtout à *Peringia ulvae* : 4 exemplaires récoltés contre près de 3000 en 2009. En 2011, 1300 individus ont été récoltés et 7846 pour l'année 2012.

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 sédimentaire. En 2012, 9 individus seulement ont été récoltés sur 4 des points.

**Tableau 7.1 Nombre d'individus (par 0,25 m<sup>2</sup>) des peuplements benthiques récoltés depuis 2003**

| Année | Radiale 1 | Radiale 2 | Radiale 3 | Richesse spécifique | Abondance totale |
|-------|-----------|-----------|-----------|---------------------|------------------|
| 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             |
| 2012  | 8880      | 487       | 1806      | 31                  | 11173            |

Entre 2003 et 2007 *Peringia ulvae* représentait plus de 75% du total des individus récoltés (Tableau 7.2). En 2008 elle représentait 23% des effectifs, 6% en 2009 (absente de 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 réalisées dans la région de Calais n'avaient pas montré de chutes brutales des populations de cette espèce. En 2011, *P. ulvae* était présent sur 7 des 10 points de prélèvement et représentait 17,9% des effectifs ce qui semblerait indiquer que la population amorçait un retour vers une situation habituelle. Cette hypothèse s'est confirmée en 2012 puisque l'espèce était présente sur 6 des 10 points et représentait 70,2% des effectifs.

**Tableau 7.2 Proportion de *Peringia ulvae* dans les peuplements benthiques observés depuis 2001**

| Année | Proportion (%) |
|-------|----------------|
| 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           |
| 2012  | 70,2           |

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 et 2012 dans la partie ouest de l'estran (radiales 1 et 2).

Les populations des espèces à forte affinité pour les eaux saumâtres (Oligochètes, Nématodes et les Annélides Polychètes *Ophelia rathkei* et *Hediste diversicolor*) avaient régressé de 2006 à 2009 puis augmenté en 2010. En 2011, seul un individu d'*Hediste diversicolor* avait été récolté sur la radiale 1. En 2012, 6 individus d'Oligochètes ont été récoltés sur l'ensemble de l'estran (points E et F de la radiale 1 et point M de la radiale 3).

### 7.3.2. Radiale 1

#### 7.3.2.1. 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 en 2011 : augmentation de la densité de *Corophium arenarium* et de la teneur en pélites. La tendance reste identique en 2012 avec 1,61% de pélites, teneur en légère diminution et concomitante avec la diminution de la densité des amphipodes *Corophium arenarium* sur ce point.

**Tableau 7.3 Caractéristiques granulométriques au point E de la radiale 1 depuis 1999**

| %<br>pondéraux | 1999  | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Pélites        | 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  | 1,61  |
| Sables fins    | 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 | 40,29 |
| Sables moyens  | 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 | 54,80 |

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 2012 elle représente encore près de 97% 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 (0,62% de pélites au point F contre 1,61% au point E) et les sables moyens sont légèrement dominants par rapport aux sables fins (Annexe 7.1).

#### 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 quelque peu différent. Au point G, les sables fins représentent près de 52% des sédiments et les sables moyens seulement 44%, les pélites étant absentes. Au point H, les sables fins représentent 58% et les sables moyens presque 40%. La teneur en pélites est faible mais présente (0,28%) (Annexe 7.1).

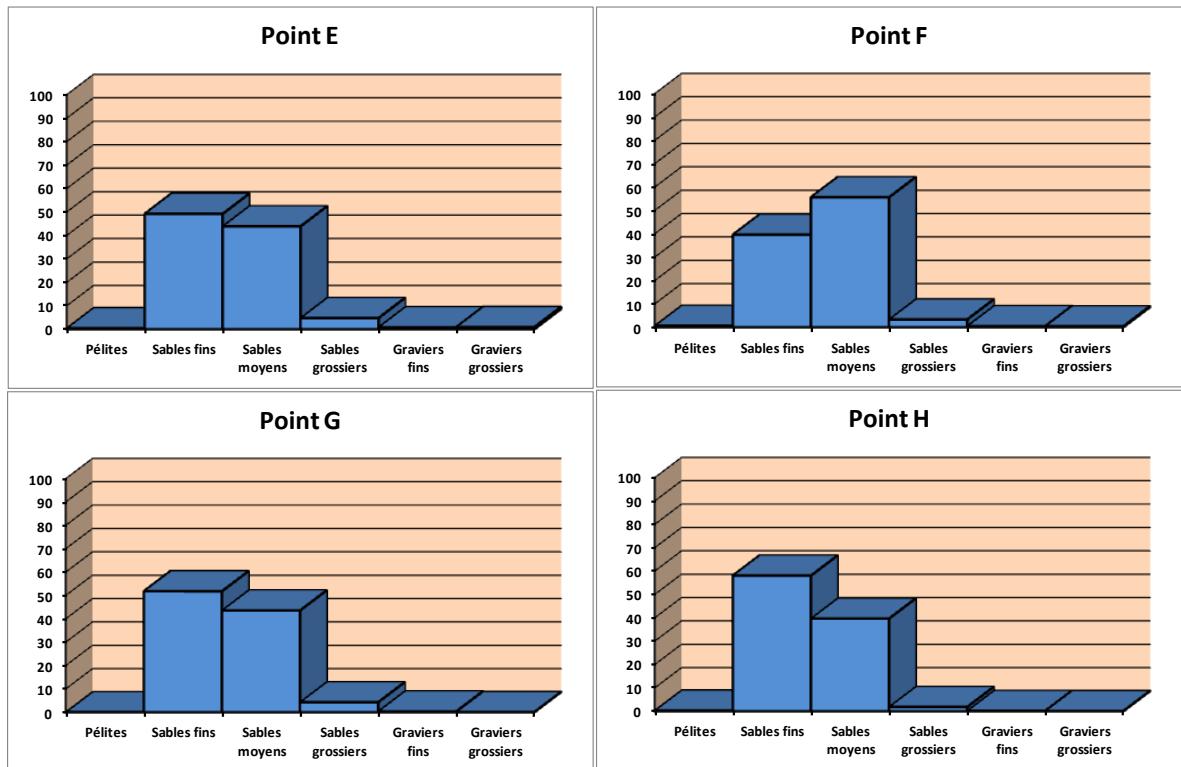


Figure 7.1 Radiale 1, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux) en 2012

### 7.3.2.2. Densité et biomasse des peuplements benthiques

#### Point E

En 2008, la population de *Peringia ulvae* avait considérablement chuté au point E. Ce phénomène s'était confirmé en 2009. La population ne représentait plus en 2009 que 19% des effectifs. En 2010, seuls 3 individus ont été récoltés à ce point et en 2011 la densité augmente à 808 ind.m<sup>-2</sup>. En 2012, la densité de *Peringia ulvae* est de 25776 ind.m<sup>-2</sup> et atteint donc un niveau de densité semblable à celle des années 1989 et 2003. De 2003 à 2007, les densités observées pour cette espèce avaient été exceptionnelles (> 27000 ind.m<sup>-2</sup>). L'augmentation de la densité observée en 2004 était due au recrutement. En 2005, on était en présence de la même cohorte, les individus étaient de plus grande taille. La densité globale d'individus au point E atteignait 5912 ind.m<sup>-2</sup> en 2008 ; contre 57140 ind.m<sup>-2</sup> en 2007 et 59888 ind.m<sup>-2</sup> en 2006. Elle remontait à 11872 ind.m<sup>-2</sup> en 2009 grâce à l'augmentation de la population de *Corophium arenarium*. La densité de *Corophium arenarium* chute drastiquement en 2010 avec 42 ind.m<sup>-2</sup>, augmente en 2011 avec 4436 ind.m<sup>-2</sup> (plus forte valeur depuis 12 ans) et re-diminue en 2012 avec 1800 ind.m<sup>-2</sup>.

**Tableau 7.4 Densité (ind.m<sup>-2</sup>) des espèces dominantes au point E de la radiale 1 depuis 2001**

| Densité (ind.m <sup>-2</sup> ) | 2001 | 2002 | 2003   | 2004   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008  | 2009 | 2010 | 2011 | 2012  |
|--------------------------------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|------|------|------|-------|
| <i>Peringia ulvae</i>          | 8    | 120  | 27 416 | 53 312 | 43 420 | 57 828 | 54 612 | 4 792 | 2268 | 12   | 808  | 25776 |
| <i>Spio martinensis</i>        | 40   | 20   | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 588   | 0    | 156  | 236  | 0     |
| <i>Pygospio elegans</i>        | 0    | 0    | 8      | 0      | 0      | 0      | 92     | 0     | 192  | 0    | 0    | 24    |
| <i>Eurydice affinis</i>        | 0    | 20   | 12     | 16     | 420    | 468    | 88     | 0     | 20   | 12   | 576  | 376   |
| <i>Bathyporeia pilosa</i>      | 8    | 0    | 0      | 0      | 12     | 1 132  | 896    | 0     | 0    | 0    | 508  | 384   |
| <i>Corophium arenarium</i>     | 120  | 40   | 100    | 4      | 156    | 368    | 1428   | 528   | 9376 | 42   | 4436 | 1800  |

La biomasse globale enregistrée en 2008 avait fortement régressé (2,5 g.m<sup>-2</sup>). En 2009, elle était deux fois plus importante (5,6 g.m<sup>-2</sup>), et en 2010 elle n'était plus que de 0,07 g.m<sup>-2</sup>. En 2011, elle atteint 2,9 g.m<sup>-2</sup>. Elle est multipliée par 4 en 2012 avec 13,25 g.m<sup>-2</sup> à cause de la forte densité de *Peringia ulvae*. En effet, les évolutions de la biomasse sont souvent liées à la densité des individus de *Peringia 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 (*Macoma balthica* et *Cerastoderma edule*) mais aussi à l'influence plus ou moins grande de la dessalure causée par l'Aa et à son impact sur la densité des espèces euryhalines. *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 de ces deux bivalves était de 79%. En 2009, *Macoma balthica* était absente et *Cerastoderma edule* représentait plus de 96% de la biomasse. En 2012, les deux espèces sont présentes sur le point F. *Cerastoderma edule* représente 65% de la biomasse totale sur le point et *Macoma balthica* seulement 0,15%.

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). 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 drastiquement diminué (12 ind.m<sup>-2</sup> au lieu de 228 ind.m<sup>-2</sup> en 2006). Depuis 2008, la population semble se stabiliser : 52 ind.m<sup>-2</sup> en 2008, 60 ind.m<sup>-2</sup> en 2009, 72 ind.m<sup>-2</sup> en 2010, 52 ind.m<sup>-2</sup> en 2011 et 64 ind.m<sup>-2</sup> en 2012. Il faut noter que cette espèce est exploitée par les pêcheurs à pied, ce qui peut entraîner des fluctuations selon les années.

**Tableau 7.5 Densité (ind.m<sup>-2</sup>) des espèces dominantes au point F de la radiale 1 depuis 2001**

| Densité (ind.m <sup>-2</sup> ) | 2001 | 2002  | 2003   | 2004   | 2005  | 2006 | 2007  | 2008  | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|--------------------------------|------|-------|--------|--------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|
| <i>Hediste diversicolor</i>    | 116  | 48    | 100    | 264    | 20    | 4    | 0     | 0     | 4    | 16   | 4    | 0    |
| <i>Spio martinensis</i>        | 88   | 8     | 4      | 0      | 0     | 0    | 0     | 208   | 0    | 0    | 4    | 0    |
| <i>Pygospio elegans</i>        | 8    | 0     | 0      | 4      | 40    | 0    | 4     | 0     | 0    | 0    | 0    | 4    |
| <i>Ophelia rathkei</i>         | 64   | 92    | 8      | 8      | 24    | 0    | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    |
| <i>Peringia ulvae</i>          | 12   | 3 404 | 11 448 | 12 120 | 9 336 | 448  | 4 064 | 4     | 8    | 4    | 3184 | 4192 |
| <i>Cerastoderma edule</i>      | 236  | 248   | 32     | 36     | 108   | 228  | 12    | 52    | 60   | 72   | 52   | 64   |
| <i>Macoma balthica</i>         | 316  | 1 040 | 404    | 356    | 220   | 32   | 4     | 20    | 0    | 168  | 16   | 12   |
| <i>Corophium arenarium</i>     | 0    | 4     | 12     | 80     | 176   | 8    | 8     | 4 824 | 0    | 56   | 84   | 192  |

*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'était pas maintenue en 2011. En 2012, 3 individus juvéniles ont été récoltés (Annexe 7.2).

Comme au point E la régression de la population de *Peringia ulvae* observée en 2008 et 2009 s'était confirmée en 2010. En 2011, on note également une évolution parallèle des populations de *P. ulvae* aux points E et F. En 1998, nous avons noté que la population de *P. ulvae* gagnait les moyens niveaux supérieurs. En 1999, ce phénomène se confirmait et s'amplifiait, néanmoins comme la densité globale de *P. ulvae* restait équivalente dans les niveaux supérieurs de la partie ouest de l'estran (13380 ind.m<sup>2</sup> en 1998 contre 14084 ind.m<sup>2</sup> 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 *P. ulvae* régressait sur la totalité des niveaux supérieurs tout en restant cependant la plus importante au point F. En 2001, la population de *P. ulvae* disparaissait complètement du point F (12 ind.m<sup>2</sup> pour une biomasse de 2,2 mg.m<sup>-2</sup>). 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 de grandeur que dans la période 1998-2000 (11448 ind.m<sup>2</sup>). En 2004, la situation restait analogue au niveau de la densité et régressait légèrement en 2005. En 2006, comme signalé plus haut, la population s'était réinstallée dans les niveaux supérieurs, la densité n'était plus que de 448 ind.m<sup>2</sup> 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 (entre 4 et 8 ind.m<sup>2</sup>). En 2011, la population se réinstalle avec 3184 ind.m<sup>2</sup>. En 2012, la population est maintenue et on observe une légère augmentation de la densité avec 4192 ind.m<sup>2</sup> (Tableau 7.5).

De 2006 à 2008, *Hediste diversicolor* n'a plus été récolté à ce point, tout comme les autres espèces à affinité « eaux saumâtres » (Oligochètes et Nématodes). 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. En 2012, seul un oligochète a été récolté au point F (Annexe 7.2).

### 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 avaient 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 richesse spécifique, une faible densité et une faible biomasse.



En 2012, les points G et H présentent respectivement 5 et 13 espèces, une densité faible avec 17 ind.m<sup>2</sup> au point G et 39 ind.m<sup>2</sup> au point H. La biomasse reste très faible au point G avec 264,4 mg.m<sup>2</sup> mais est plus importante au point H (986,2 mg.m<sup>2</sup>) grâce à la présence de l'Annélide Polychète *Nephtys cirrosa* mais surtout du mollusque bivalve *Donax vittatus*.

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 augmenté la densité globale. Rien de tel ne s'est passé depuis 2009, *Donax vittatus* n'a plus été récolté sur cette radiale. En 2012, deux individus de *Donax vittatus* ont été récoltés au point H pour une biomasse de 622,8 mg.m<sup>2</sup>.

### 7.3.3. Radiale 2

#### 7.3.3.1. Caractéristiques granulométriques du sédiment

Les caractéristiques granulométriques du sédiment aux quatre points la radiale 2 sont représentés sur la figure 7.2 (voir aussi Annexe 7.1). 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. Les sables fins et moyens présentent à peu près les mêmes teneurs (49% et 44% respectivement). La teneur en pélites est de 0,43% (Annexe 7.1).

#### 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. En effet, ce point présente des teneurs en sables fins et moyens identiques (49% et 48,5% du sédiment) et une absence de pélites (Annexe 7.1).

#### 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. En effet, ces deux points présentent les teneurs les plus élevées en sables fins de l'estran de Petit-Fort-Philippe, à savoir 70% pour le point K et 65% pour le point L (Annexe 7.1).

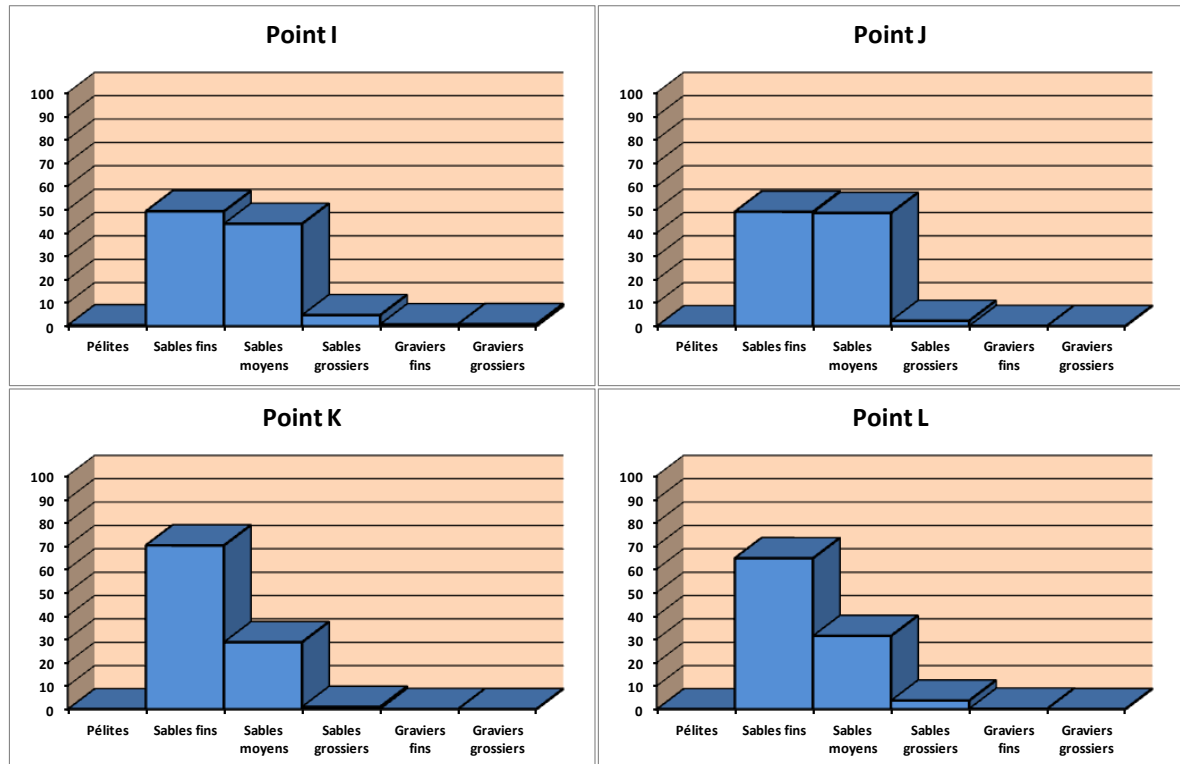


Figure 7.2 Radiale 2, Caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux) en 2012

### 7.3.3.2. Densité et biomasse des peuplements benthiques

#### Point I

La population de *Peringia ulvae* avait complètement disparu du point I en 2009. Cette situation s'était confirmée en 2010. En 2011 et 2012 la population reste à un niveau très faible (Tableau 7.6). En 2008, la densité de la population de *Peringia ulvae* atteignait 388 ind.m<sup>-2</sup>.

Après de fortes augmentations en 1998 (1468 ind.m<sup>-2</sup>) et 1999 (2620 ind.m<sup>-2</sup>), la densité de population de *P. ulvae* avait fortement diminué en 2000 (680 ind.m<sup>-2</sup>). 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.m<sup>-2</sup> 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.m<sup>-2</sup>). 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 *Peringia ulvae* se confirme donc bien au point I.

Tableau 7.6 Densité (ind.m<sup>-2</sup>) des espèces dominantes au point I de la radiale 2 depuis 2000

| Densité (ind.m <sup>-2</sup> ) | 2000  | 2001  | 2002 | 2003  | 2004  | 2005 | 2006 | 2007 | 2008  | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|--------------------------------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| <i>Oligochètes</i>             | 4     | 816   | 0    | 2 396 | 12    | 32   | 4    | 0    | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    |
| <i>Pygospio elegans</i>        | 4     | 3 440 | 332  | 168   | 936   | 96   | 0    | 40   | 3 032 | 52   | 4    | 1036 | 20   |
| <i>Spio martinensis</i>        | 0     | 0     | 0    | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    |
| <i>Peringia ulvae</i>          | 680   | 900   | 72   | 832   | 876   | 40   | 52   | 8    | 388   | 0    | 0    | 28   | 24   |
| <i>Corophium arenarium</i>     | 3 348 | 3 916 | 140  | 220   | 3 772 | 280  | 380  | 836  | 2 100 | 1492 | 528  | 172  | 460  |
| <i>Bathyporeia pilosa</i>      | 4     | 4     | 0    | 36    | 4     | 4    | 8    | 308  | 72    | 1416 | 432  | 496  | 900  |
| <i>Eurydice affinis</i>        | 48    | 4     | 0    | 268   | 0     | 12   | 56   | 44   | 44    | 368  | 104  | 96   | 112  |

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 (2100 ind.m<sup>-2</sup>). 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. Une tendance à l'augmentation est observée en 2012 avec 460 ind.m<sup>-2</sup> (Tableau 7.6).

*Bathyporeia pilosa* qui était peu présente à ce point, lors des études précédentes, avait bénéficié en 2009 d'un excellent recrutement (1416 ind.m<sup>-2</sup>). La population a régressé aussi en 2010 mais restait à un niveau historiquement élevé. En 2011, la densité de cette espèce est semblable à celle de 2010. Un bon recrutement a eu lieu en 2012 puisque la population double quasiment ses effectifs avec 900 ind.m<sup>-2</sup> (Tableau 7.6).

La population des Oligochètes (*Enchytraeidae*), qui avait complètement disparu en 2002, s'était rétablie à un niveau de densité très important, le plus fort enregistré à ce point, en 2003 (2396 ind.m<sup>-2</sup>). 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'était réinstallée à ce point mais elle diminue drastiquement en 2012 avec seulement 20 ind.m<sup>-2</sup>.

#### 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 hauts niveaux) étaient dominantes ou présentes tandis que *Bathyporeia sarsi* et *Eurydice pulchra* (espèces de moyens niveaux) étaient absentes. La densité de *Scolecopsis squamata* (espèce de moyens niveaux) 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 régressent sauf celles d'*Eurydice affinis*. En 2012, les populations d'espèces de hauts niveaux, d'*Eurydice affinis* et de *Corophium arenarium*, diminuent. Les populations à *Scolecopsis squamata* réapparaissent en 2012 avec 16 ind.m<sup>-2</sup>. Quant aux densités des populations d'*Eurydice pulchra* et de *Bathyporeia pilosa*, elles sont multipliées par 2,5 et 30 respectivement (Tableau 7.7).

**Tableau 7.7 Densité (ind.m<sup>-2</sup>) des espèces dominantes au point J de la radiale 2 depuis 2000**

| Densité (ind.m <sup>-2</sup> ) | 2000 | 2001  | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006  | 2007 | 2008  | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|--------------------------------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|
| <i>Scolecopsis squamata</i>    | 48   | 28    | 56   | 36   | 24   | 84   | 56    | 0    | 52    | 112  | 12   | 0    | 16   |
| <i>Eurydice affinis</i>        | 0    | 252   | 44   | 160  | 140  | 452  | 220   | 4    | 288   | 144  | 0    | 232  | 132  |
| <i>Eurydice pulchra</i>        | 368  | 4     | 12   | 0    | 0    | 24   | 0     | 488  | 12    | 36   | 36   | 8    | 20   |
| <i>Corophium arenarium</i>     | 4    | 248   | 352  | 4    | 180  | 376  | 112   | 0    | 592   | 304  | 32   | 28   | 4    |
| <i>Bathyporeia pilosa</i>      | 364  | 3 316 | 1056 | 128  | 4    | 226  | 1 184 | 256  | 1 832 | 32   | 64   | 4    | 120  |

La biomasse reste faible depuis plusieurs années avec 0,20 g.m<sup>-2</sup> (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*, *Haustorius arenarius* et *Bathyporeia pelagica*.

Un résultat tout à fait surprenant a été enregistré au point K en 2005, la présence fugace de *Scolelepis squamata* : en très forte densité (964 ind.m<sup>-2</sup>) 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.m<sup>-2</sup>), elle était absente en 2008 tout comme en 2009. En 2010 la densité de cette espèce était de 8 ind.m<sup>-2</sup>. Cette espèce n'a pas été récoltée en 2011 à ce point mais elle est à nouveau récoltée en 2012 avec une densité identique à 2010, c'est-à-dire 8 ind.m<sup>-2</sup> (Annexe 7.4).

En 2011, *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. Elle est réapparue en 2012 avec 3 individus récoltés.

Le cortège spécifique du point L était dominé par *Nephtys cirrosa* dont la densité de population est restée très stable depuis plusieurs années à un niveau d'environ 80 ind.m<sup>-2</sup> (92 ind.m<sup>-2</sup> en 2011). La densité de *N. cirrosa* diminue fortement en 2012 avec 4 ind.m<sup>-2</sup>. La richesse spécifique est élevée à ce point L (13 espèces recensées) mais chaque espèce n'est représentée que par 1 ou 2 individus (Annexe 7.4).

La densité à ces deux points est en général faible (de l'ordre de 100 ind.m<sup>-2</sup>). En 2012, les densités sont respectivement de 60 et 52 ind.m<sup>-2</sup> pour les points K et L. La biomasse à ces deux points est comme habituellement inférieure à 1 g.m<sup>-2</sup> (respectivement 0,04 et 0,11 g.m<sup>-2</sup>). Contrairement aux deux années précédentes, *Donax vittatus* a été récolté au point L en 2012 (1 seul individu) (Annexe 7.4).

#### 7.3.4. Radiale 3

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

##### 7.3.4.1. Caractéristiques granulométriques du sédiment

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

Le sédiment du point M de la radiale 3 est semblable à ceux de la radiale 1 et 2 : légère dominance des sables fins par rapport aux sables moyens, teneur en pélites identique au point E. Le point N, quant à lui, présente des proportions en sables fins et moyens identiques (41 % et 36 % respectivement) mais la teneur en sables grossiers a augmenté par rapport aux années précédentes (15,88 % en 2012 contre 5,41 % en 2011) et est la plus élevée de tout l'estran (Annexe 7.1).

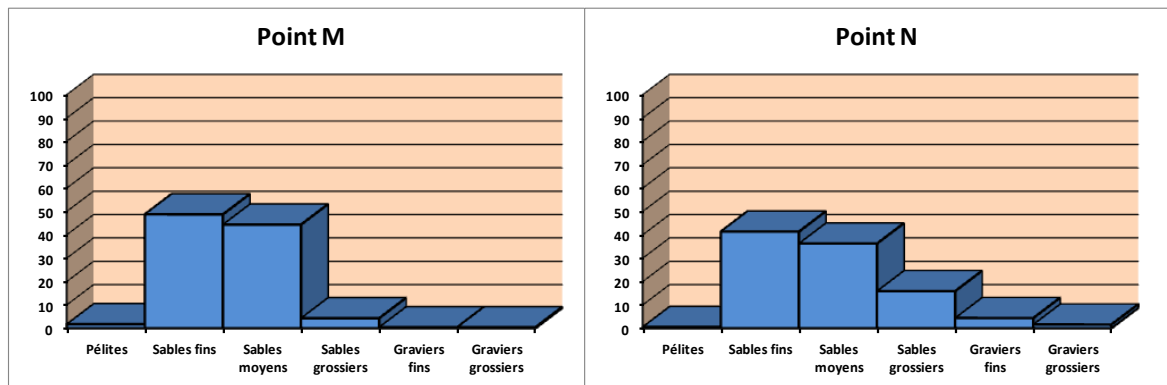


Figure 7.3 Radiale 3, Caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux) en 2012

#### 7.3.4.2. Densité et biomasse des peuplements benthiques

Les résultats obtenus en 2003 et 2005 montraient que pour les espèces typiquement estuariennes *Peringia 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 *Peringia 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 *Peringia 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, *Peringia ulvae* n'a pas été récoltée à ces deux points, confirmant la disparition de cette espèce sur cette zone de l'estran. Cette espèce est de nouveau récoltée en 2012 aux points M et N.

Les résultats enregistrés en 2011 sur la radiale 3 permettent de confirmer le gradient de densité décroissant d'ouest en est pour *Peringia 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 *Peringia ulvae*.

En 2012, les densités de *Bathyporeia pilosa* sont similaires aux radiales 1 et 3 (2528 et 2556 ind.m<sup>-2</sup> respectivement). Les densités de *Corophium arenarium* sont plus importantes à la radiale 3 qu'à la radiale 1 (2480 ind.m<sup>-2</sup> contre 1992 ind.m<sup>-2</sup>). Quant aux densités de *Peringia ulvae*, les densités sont 22 fois plus importantes à la radiale 1 qu'à la radiale 3 (29984 ind.m<sup>-2</sup> contre 1376 ind.m<sup>-2</sup>) (Annexes 7.2 et 7.6).

## 7.4. Conclusion sur l'évolution de l'estran

### 7.4.1. Cas de la partie ouest

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

Tableau 7.8 Densité moyenne (individus pour 0,25 m<sup>-2</sup>) des espèces euryhalines depuis 2000

| Densité (ind.m <sup>-2</sup> ) | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <i>Ophelia ratkhei</i>         | 20   | 16   | 23   | 461  | 2    | 6    | 1    | 0    | 0    | 0    | 3    | 0    | 0    |
| <i>Oligochètes</i>             | 1    | 20   | 184  | 103  | 8    | 12   | 27   | 0    | 2    | 2    | 0    | 0    | 3    |

|                             |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-----------------------------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|
| <i>Hediste diversicolor</i> | 18 | 29 | 12 | 25 | 66 | 5 | 1 | 0 | 0 | 1 | 5 | 1 | 0 |
|-----------------------------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|

Depuis maintenant plusieurs années, l'influence de la dessalure de l'Aa semble rester faible. Les trois espèces typiquement estuariennes sont en régression depuis 2003, en 2007 elles semblaient avoir disparu de la partie ouest de l'estran. En 2008, deux Oligochètes (*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 sont du même ordre qu'en 2007 et 2008. En 2012, la situation est similaire à celle de l'année 2008 avec trois oligochètes récoltés.

#### 7.4.1. 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*. 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 (Tableau 7.9). En 2001 et en 2002, les populations de Spionidés retrouvaient des répartitions diamétralement opposées et conformes à ce que l'on observait au début des années 1990. En 2003, le schéma de répartition de *P. elegans* et de *S. martinensis* a été confirmé. En 2004, *S. martinensis* était absent des niveaux supérieurs de l'estran. Cette espèce n'avait été récoltée qu'au point H. En 2005, *P. elegans* a été récolté sur pratiquement tout l'estran, mais la population était située plutôt dans les niveaux supérieurs de l'estran, sauf au point E de la radiale 1. En 2005 et 2006 *S. martinensis* était complètement absent de l'estran. En 2006, *P. elegans* n'avait été récolté que sur la radiale 2. En 2007, *S. martinensis* n'avait été récolté qu'au point H, tandis que *P. elegans* réapparaissait sur l'estran en cinq points, tous situés en haut niveau ou moyen niveau supérieur, et en fortes densités au point N (488 ind.m<sup>-2</sup>). 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* avait 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.

En 2012, seuls 4 individus de *Spio martinensis* ont été récoltés au point H de la radiale 1, point situé dans les bas niveaux, comme en 2004 et 2007. *Pygospio elegans* est présent sur 5 des 6 points des hauts niveaux mais ses densités restent faibles (de 4 à 28 ind.m<sup>-2</sup>) (Tableau 7.9).

**Tableau 7.9 Densité (ind.m<sup>-2</sup>) des Spionidés depuis 1999**

| Densité (ind.m <sup>-2</sup> ) | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|

|                         |   |    |    |       |     |     |     |     |    |     |       |     |     |      |    |
|-------------------------|---|----|----|-------|-----|-----|-----|-----|----|-----|-------|-----|-----|------|----|
| <i>Spio martinensis</i> | E | 0  | 0  | 40    | 20  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 588   | 0   | 156 | 236  | 0  |
|                         | F | 0  | 0  | 0     | 8   | 84  | 0   | 0   | 0  | 0   | 108   | 0   | 0   | 0    | 0  |
|                         | M | -  | 0  | 0     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0   | 24  | 0    | 0  |
|                         | N | -  | 36 | 0     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 24  | 20  | 0    | 0  |
|                         | I | 0  | 0  | 0     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0   | 0   | 0    | 0  |
|                         | J | 0  | 0  | 24    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0   | 0   | 0    | 0  |
| <i>Pygospio elegans</i> | E | 0  | 0  | 0     | 0   | 8   | 0   | 0   | 0  | 92  | 0     | 192 | 4   | 0    | 24 |
|                         | F | 0  | 0  | 8     | 0   | 0   | 4   | 40  | 40 | 4   | 0     | 0   | 0   | 0    | 4  |
|                         | M | -  | 52 | 124   | 456 | 264 | 0   | 108 | 40 | 72  | 2     | 156 | 0   | 508  | 28 |
|                         | N | -  | 0  | 40    | 68  | 408 | 616 | 208 | 8  | 488 | 0     | 52  | 0   | 332  | 8  |
|                         | I | 60 | 4  | 3 440 | 332 | 168 | 936 | 96  | 0  | 40  | 3 032 | 52  | 0   | 1036 | 20 |
|                         | J | 0  | 16 | 24    | 156 | 0   | 80  | 8   | 0  | 0   | 20    | 0   | 0   | 0    | 0  |

#### 7.4.2. 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 ( $7,20 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) 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 de *Peringia 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 *Peringia ulvae*, *Corophium arenarium*, *Bathyporeia pilosa*) a provoqué une très forte baisse de la biomasse moyenne de l'estran. La biomasse au point F reste à un niveau équivalent à celui de 2009.

En 2011, la biomasse est plus forte. Notamment dans les points des hauts niveaux à l'ouest de l'estran où les espèces comme *Peringia ulvae*, *Corophium arenarium* et *Bathyporeia pilosa* sont 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*.

En 2012, la biomasse moyenne est du même ordre de grandeur qu'en 2008 et 2011 avec  $2,74 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  sur l'ensemble de l'estran. Les points des hauts niveaux à l'ouest de l'estran présentent les biomasses les plus élevées ( $13,25 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  au point E ;  $9,39 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  au point F et  $2,27 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  aux points M et N) (Annexe 7.3 et 7.6). La présence en forte densité de l'espèce *Peringia ulvae* est à relier avec ces fortes biomasses obtenues aux points E et F.

**Tableau 7.10 Biomasse ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) des peuplements benthiques sur l'estran depuis 1998**

| Biomasse ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) | 1998  | 1999  | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  | 2005  | 2006 | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  |
|-------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>E</b>                                  | 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  | 13,25 |
| <b>F</b>                                  | 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 | 9,39  |
| <b>G</b>                                  | 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  | 0,25  |
| <b>H</b>                                  | 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  | 0,99  |
| <b>I</b>                                  | 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  | 0,43  |
| <b>J</b>                                  | 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  | 0,20  |

|                       |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>K</b>              | 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        | 0,16        |
| <b>L</b>              | 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        | 0,43        |
| <b>M</b>              | -           | -           | 1,34        | 0,82        | 0,53        | 2,84        | 9,83        | 3,30        | 5,79        | 2,64        | 2,89        | 3,20        | 1,11        | 2,33        | 1,52        |
| <b>N</b>              | -           | -           | 0,31        | 1,43        | 0,33        | 4,01        | 8,37        | 1,99        | 7,85        | 4,11        | 2,24        | 1,78        | 0,80        | 1,73        | 0,74        |
| <b>Moyenne estran</b> | <b>8,21</b> | <b>7,25</b> | <b>4,31</b> | <b>4,72</b> | <b>7,08</b> | <b>6,64</b> | <b>7,50</b> | <b>5,41</b> | <b>7,20</b> | <b>4,08</b> | <b>2,75</b> | <b>4,30</b> | <b>1,42</b> | <b>2,17</b> | <b>2,74</b> |

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 *Peringia 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.

### 7.5. Éléments de conclusion

On ne note pas, en 2012, d'évolution majeure de la morphologie de l'estran, à l'exception du point N où les teneurs en sables grossiers, graviers fins et graviers grossiers ont augmenté. Les résultats des analyses granulométriques mettent en évidence une homogénéisation des caractéristiques sédimentaires sur l'estran avec une diminution des fines dans les niveaux supérieurs notamment aux points E, F et M. Les phénomènes de bioturbation entrent sans doute aussi en jeu dans l'enrichissement en fines, notamment *Corophium arenarium* qui piège la vase pour fabriquer les tubes dans lesquels il vit.

En 2012, la richesse spécifique est restée stable par rapport à 2009, 2010 et 2011 (31 espèces en 2012, 28 espèces en 2011, 28 en 2010 et 29 en 2009). La densité globale par contre est en forte augmentation du fait de la progression des populations de *Peringia ulvae*, de *Corophium arenarium* et de *Bathyporeia pilosa* dans les niveaux supérieurs de l'estran. La biomasse globale a peu augmenté en 2012 par rapport à 2011 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 2012 tout comme les deux années précédentes 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* réapparaît de nouveau au point F avec la présence de jeunes individus.



**Annexe 7.1 Caractéristiques granulométriques du sédiment aux 10 points intertidaux  
(% pondéraux) en 2012**

| <b>Radiale 1</b>   | Point E | Point F | Point G | Point H |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|
| Graviers grossiers | 0,10    | 0,37    | 0,05    | 0,06    |
| Graviers fins      | 0,43    | 0,46    | 0,34    | 0,14    |
| Sables grossiers   | 2,76    | 3,32    | 4,27    | 1,82    |
| Sables moyens      | 54,80   | 55,63   | 43,56   | 39,65   |
| Sables fins        | 40,29   | 39,59   | 51,78   | 58,05   |
| Pélites            | 1,61    | 0,62    | 0,00    | 0,28    |

| <b>Radiale 2</b>   | Point I | Point J | Point K | Point L |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|
| Graviers grossiers | 0,93    | 0,06    | 0,04    | 0,05    |
| Graviers fins      | 0,83    | 0,13    | 0,08    | 0,22    |
| Sables grossiers   | 4,77    | 2,32    | 1,04    | 3,71    |
| Sables moyens      | 43,86   | 48,49   | 28,70   | 31,39   |
| Sables fins        | 49,18   | 48,99   | 70,12   | 64,63   |
| Pélites            | 0,43    | 0,00    | 0,02    | 0,01    |

| <b>Radiale 3</b>   | Point M | Point N |
|--------------------|---------|---------|
| Graviers grossiers | 0,40    | 1,57    |
| Graviers fins      | 0,44    | 4,36    |
| Sables grossiers   | 4,30    | 15,88   |
| Sables moyens      | 44,37   | 36,26   |
| Sables fins        | 48,74   | 41,36   |
| Pélites            | 1,75    | 0,56    |

Annexe 7.2 Radiale 1, résultats bruts (nombre d'individus par 0,25 m<sup>2</sup>) en 2012

| Radiale 1                       | Point E      | Point F     | Point G   | Point H    | Total        |
|---------------------------------|--------------|-------------|-----------|------------|--------------|
| <b>Némertes</b>                 |              |             |           |            |              |
| <i>Némertes sp.</i>             |              | 4           |           |            | 4            |
| <b>Oligochètes</b>              |              |             |           |            |              |
| <i>Oligochètes sp.</i>          | 2            | 1           |           |            | 3            |
| <b>Annélides Polychètes</b>     |              |             |           |            |              |
| <i>Arenicola marina</i>         |              | 2           |           |            | 2            |
| <i>Eteone longa</i>             |              | 1           |           |            | 1            |
| <i>Magelona johnstoni</i>       |              |             |           | 1          | 1            |
| <i>Nephtys cirrosa</i>          |              |             | 8         | 20         | 28           |
| <i>Pygospio elegans</i>         | 6            | 1           |           |            | 7            |
| <i>Scolelepis squamata</i>      | 12           | 18          | 1         | 1          | 32           |
| <i>Spio martinensis</i>         |              |             |           | 4          | 4            |
| <b>Mollusques</b>               |              |             |           |            |              |
| <i>Cerastoderma edule</i>       |              | 16          |           |            | 16           |
| <i>Donax vittatus</i>           |              |             |           | 2          | 2            |
| <i>Macoma balthica</i>          | 3            | 3           |           |            | 6            |
| <i>Peringia ulvae</i>           | 6444         | 1048        |           | 4          | 7496         |
| <b>Crustacés</b>                |              |             |           |            |              |
| <i>Bathyporeia pelagica</i>     |              |             | 1         |            | 1            |
| <i>Bathyporeia pilosa</i>       | 96           | 535         |           | 1          | 632          |
| <i>Corophium arenarium</i>      | 450          | 48          |           |            | 498          |
| <i>Crangon crangon</i>          |              | 5           | 2         | 1          | 8            |
| <i>Cumopsis goodsiri</i>        |              |             |           | 1          | 1            |
| <i>Eurydice affinis</i>         | 94           | 23          |           |            | 117          |
| <i>Eurydice pulchra</i>         | 7            | 3           |           | 1          | 11           |
| <i>Gammarus sp.</i>             |              |             |           | 1          | 1            |
| <i>Haustorius arenarius</i>     |              |             | 5         |            | 5            |
| Larve de Décapodes              |              | 1           |           | 1          | 2            |
| <b>Pycnogonides</b>             |              |             |           |            |              |
| <i>Nymphon brevirostre</i>      |              |             |           | 1          | 1            |
| <b>Insectes</b>                 |              |             |           |            |              |
| Larves de Diptères              |              | 1           |           |            | 1            |
| <b>Richesse spécifique</b>      | <b>8</b>     | <b>14</b>   | <b>5</b>  | <b>13</b>  | <b>25</b>    |
| <b>Total 0,25 m<sup>2</sup></b> | <b>7114</b>  | <b>1710</b> | <b>17</b> | <b>39</b>  | <b>8880</b>  |
| <b>Total m<sup>2</sup></b>      | <b>28456</b> | <b>6840</b> | <b>68</b> | <b>156</b> | <b>35520</b> |

Annexe 7.3 Radiale 1, résultats bruts (biomasse en mg par 0,25 m<sup>2</sup>) en 2012

| Radiale 1                       | Point E        | Point F       | Point G      | Point H      | Total          |
|---------------------------------|----------------|---------------|--------------|--------------|----------------|
| <b>Némertes</b>                 |                |               |              |              |                |
| <i>Némertes sp.</i>             |                | 3,6           |              |              | 3,6            |
| <b>Oligochètes</b>              |                |               |              |              |                |
| <i>Oligochètes sp.</i>          | 0,2            | 0,1           |              |              | 0,2            |
| <b>Annélides Polychètes</b>     |                |               |              |              |                |
| <i>Arenicola marina</i>         |                | NaN           |              |              | NaN            |
| <i>Eteone longa</i>             |                | 2,5           |              |              | 2,5            |
| <i>Magelona johnstoni</i>       |                |               |              | 0,2          | 0,2            |
| <i>Nephtys cirrosa</i>          |                |               | 42,4         | 79,2         | 121,5          |
| <i>Pygospio elegans</i>         | 0,4            | 0,1           |              |              | 0,5            |
| <i>Scolelepis squamata</i>      | 49,2           | 84,1          | 1,1          | 6,8          | 141,2          |
| <i>Spio martinensis</i>         |                |               |              | 0,3          | 0,3            |
| <b>Mollusques</b>               |                |               |              |              |                |
| <i>Cerastoderma edule</i>       |                | 1527,1        |              |              | 1527,1         |
| <i>Donax vittatus</i>           |                |               |              | 155,7        | 155,7          |
| <i>Macoma balthica</i>          | 3,3            | 3,6           |              |              | 6,9            |
| <i>Peringia ulvae</i>           | 3040,5         | 613,5         |              | 3,3          | 3657,3         |
| <b>Crustacés</b>                |                |               |              |              |                |
| <i>Bathyporeia pelagica</i>     |                |               | 0,3          |              | 0,3            |
| <i>Bathyporeia pilosa</i>       | 19,0           | 89,5          |              | 0,2          | 108,8          |
| <i>Corophium arenarium</i>      | 170,1          | 12,8          |              |              | 182,9          |
| <i>Crangon crangon</i>          |                | 2,0           | 0,4          | 0,2          | 2,6            |
| <i>Cumopsis goodsiri</i>        |                |               |              | 0,2          | 0,2            |
| <i>Eurydice affinis</i>         | 28,2           | 7,1           |              |              | 35,3           |
| <i>Eurydice pulchra</i>         | 1,4            | 1,0           |              | 0,2          | 2,6            |
| <i>Gammarus sp.</i>             |                |               |              | 0,1          | 0,1            |
| <i>Haustorius arenarius</i>     |                |               | 17,5         |              | 17,5           |
| Larve de Décapodes              |                | 0,1           |              | 0,2          | 0,3            |
| <b>Pycnogonides</b>             |                |               |              |              |                |
| <i>Nymphon brevirostre</i>      |                |               |              | 0,1          | 0,1            |
| <b>Insectes</b>                 |                |               |              |              |                |
| Larves de Diptères              |                | 0,5           |              |              | 0,5            |
| <b>Richesse spécifique</b>      | <b>8</b>       | <b>14</b>     | <b>5</b>     | <b>13</b>    | <b>25</b>      |
| <b>Total 0,25 m<sup>2</sup></b> | <b>3312,3</b>  | <b>2347,6</b> | <b>61,6</b>  | <b>246,6</b> | <b>5968,1</b>  |
| <b>Total m<sup>2</sup></b>      | <b>13249,2</b> | <b>9390,5</b> | <b>246,4</b> | <b>986,2</b> | <b>23872,4</b> |

Annexe 7.4 Radiale 2, résultats bruts (nombre d'individus par 0,25 m<sup>2</sup>) en 2012

| Radiale 2                       | Point I     | Point J    | Point K   | Point L   | Total       |
|---------------------------------|-------------|------------|-----------|-----------|-------------|
| <b>Némertes</b>                 |             |            |           |           |             |
| <i>Némertes sp.</i>             |             | 2          |           |           | 2           |
| <b>Annélides Polychètes</b>     |             |            |           |           |             |
| <i>Capitella capitata</i>       |             |            |           | 1         | 1           |
| <i>Nephtys cirrosa</i>          |             |            | 4         | 2         | 6           |
| <i>Nephtys hombergii</i>        |             |            |           | 1         | 1           |
| <i>Pygospio elegans</i>         | 5           |            |           |           | 5           |
| <i>Scolelepis squamata</i>      | 1           | 4          | 2         | 2         | 9           |
| <i>Spiophanes bombyx</i>        |             |            |           | 1         | 1           |
| <b>Mollusques</b>               |             |            |           |           |             |
| <i>Donax vittatus</i>           |             |            |           | 1         | 1           |
| <i>Peringia ulvae</i>           | 6           |            |           |           | 6           |
| <b>Crustacés</b>                |             |            |           |           |             |
| <i>Bathyporeia pelagica</i>     |             |            | 5         |           | 5           |
| <i>Bathyporeia pilosa</i>       | 225         | 30         |           |           | 255         |
| <i>Corophium arenarium</i>      | 115         | 1          |           |           | 116         |
| <i>Crangon crangon</i>          |             |            |           | 1         | 1           |
| <i>Cumopsis longipes</i>        |             |            |           | 1         | 1           |
| <i>Eurydice affinis</i>         | 28          | 33         |           |           | 61          |
| <i>Eurydice pulchra</i>         | 1           | 5          |           |           | 6           |
| <i>Haustorius arenarius</i>     |             |            | 3         |           | 3           |
| Larve de Décapodes              |             |            | 1         |           | 1           |
| <i>Schistomysis spiritus</i>    |             |            |           | 2         | 2           |
| <b>Insectes</b>                 |             |            |           |           |             |
| Larves de Diptères              | 5           |            |           |           | 5           |
| <b>Poissons</b>                 |             |            |           |           |             |
| Larves de poissons              |             |            |           | 1         | 1           |
| <b>Richesse spécifique</b>      | <b>8</b>    | <b>6</b>   | <b>5</b>  | <b>10</b> | <b>21</b>   |
| <b>Total 0,25 m<sup>2</sup></b> | <b>384</b>  | <b>75</b>  | <b>15</b> | <b>13</b> | <b>487</b>  |
| <b>Total m<sup>2</sup></b>      | <b>1536</b> | <b>300</b> | <b>60</b> | <b>52</b> | <b>1948</b> |

Annexe 7.5 Radiale 2, résultats bruts (biomasse en mg par 0,25 m<sup>2</sup>) en 2012

| Radiale 2                       | Point I      | Point J      | Point K      | Point L      | Total         |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| <b>Némertes</b>                 |              |              |              |              |               |
| <i>Némertes sp.</i>             |              | 0,9          |              |              | 0,9           |
| <b>Annélides Polychètes</b>     |              |              |              |              |               |
| <i>Capitella capitata</i>       |              |              |              | 0,4          | 0,4           |
| <i>Nephtys cirrosa</i>          |              |              | 30,8         | 14,0         | 44,8          |
| <i>Nephtys hombergii</i>        |              |              |              | 32,9         | 32,9          |
| <i>Pygospio elegans</i>         | 0,2          |              |              |              | 0,2           |
| <i>Scolelepis squamata</i>      | 1,3          | 28,0         | 4,3          | 1,7          | 35,3          |
| <i>Spiophanes bombyx</i>        |              |              |              | 0,8          | 0,8           |
| <b>Mollusques</b>               |              |              |              |              |               |
| <i>Donax vittatus</i>           |              |              |              | 53,4         | 53,4          |
| <i>Peringia ulvae</i>           | 2,8          |              |              |              | 2,8           |
| <b>Crustacés</b>                |              |              |              |              |               |
| <i>Bathyporeia pelagica</i>     |              |              | 1,0          |              | 1,0           |
| <i>Bathyporeia pilosa</i>       | 47,8         | 6,2          |              |              | 54,0          |
| <i>Corophium arenarium</i>      | 45,8         | 0,4          |              |              | 46,3          |
| <i>Crangon crangon</i>          |              |              |              | 0,3          | 0,3           |
| <i>Cumopsis longipes</i>        |              |              |              | 0,1          | 0,1           |
| <i>Eurydice affinis</i>         | 5,8          | 11,6         |              |              | 17,5          |
| <i>Eurydice pulchra</i>         | 1,0          | 2,8          |              |              | 3,8           |
| <i>Haustorius arenarius</i>     |              |              | 5,0          |              | 5,0           |
| Larve de Décapodes              |              |              | 0,1          |              | 0,1           |
| <i>Schistomysis spiritus</i>    |              |              |              | 1,5          | 1,5           |
| <b>Insectes</b>                 |              |              |              |              |               |
| Larves de Diptères              | 2,3          |              |              |              | 2,3           |
| <b>Poissons</b>                 |              |              |              |              |               |
| Larves de poissons              |              |              |              | 2,0          | 2,0           |
| <b>Richesse spécifique</b>      | <b>8</b>     | <b>6</b>     | <b>5</b>     | <b>10</b>    | <b>21</b>     |
| <b>Total 0,25 m<sup>2</sup></b> | <b>107,1</b> | <b>49,9</b>  | <b>41,2</b>  | <b>107,2</b> | <b>305,5</b>  |
| <b>Total m<sup>2</sup></b>      | <b>428,6</b> | <b>199,7</b> | <b>164,6</b> | <b>428,9</b> | <b>1221,8</b> |

Annexe 7.6 Radiale 3, résultats bruts (nombre d'individus par 0,25 m<sup>2</sup>) en 2012

| <b>Radiale 3</b>                | <b>Point M</b> | <b>Point N</b> | <b>Total</b> |
|---------------------------------|----------------|----------------|--------------|
| <b>Némertes</b>                 |                |                |              |
| <i>Némertes sp.</i>             |                | 1              | 1            |
| <b>Oligochètes</b>              |                |                |              |
| <i>Oligochètes sp.</i>          | 3              |                | 3            |
| <b>Annélides Polychètes</b>     |                |                |              |
| <i>Eteone longa</i>             |                | 1              | 1            |
| <i>Pygospio elegans</i>         | 7              | 2              | 9            |
| <i>Scolelepis squamata</i>      |                | 10             | 10           |
| <i>Spiophanes bombyx</i>        |                | 1              | 1            |
| <b>Mollusques</b>               |                |                |              |
| <i>Peringia ulvae</i>           | 343            | 1              | 344          |
| <b>Crustacés</b>                |                |                |              |
| <i>Bathyporeia pilosa</i>       | 7              | 632            | 639          |
| <i>Corophium arenarium</i>      | 570            | 50             | 620          |
| <i>Eurydice affinis</i>         | 2              | 163            | 165          |
| <i>Eurydice pulchra</i>         | 7              | 6              | 13           |
| <b>Richesse spécifique</b>      | <b>7</b>       | <b>10</b>      | <b>11</b>    |
| <b>Total 0,25 m<sup>2</sup></b> | <b>939</b>     | <b>867</b>     | <b>1806</b>  |
| <b>Total m<sup>2</sup></b>      | <b>3756</b>    | <b>3468</b>    | <b>7224</b>  |

Annexe 7.7 Radiale 3, résultats bruts (biomasse en mg par 0,25 g-m<sup>-2</sup>) en 2012

| Radiale 3                       | Point M       | Point N      | Total         |
|---------------------------------|---------------|--------------|---------------|
| <b>Némertes</b>                 |               |              |               |
| <i>Némertes sp.</i>             |               | 0,5          | 0,5           |
| <b>Oligochètes</b>              |               |              |               |
| <i>Oligochètes sp.</i>          | 0,1           |              | 0,1           |
| <b>Annélides Polychètes</b>     |               |              |               |
| <i>Eteone longa</i>             |               | 0,8          | 0,8           |
| <i>Pygospio elegans</i>         | 0,3           | 0,2          | 0,4           |
| <i>Scolelepis squamata</i>      |               | 20,7         | 20,7          |
| <i>Spiophanes bombyx</i>        |               | 0,4          | 0,4           |
| <b>Mollusques</b>               |               |              |               |
| <i>Peringia ulvae</i>           | 258,9         | 0,6          | 259,5         |
| <b>Crustacés</b>                |               |              |               |
| <i>Bathyporeia pilosa</i>       | 1,7           | 88,0         | 89,7          |
| <i>Corophium arenarium</i>      | 114,9         | 23,9         | 138,9         |
| <i>Eurydice affinis</i>         | 0,9           | 49,4         | 50,2          |
| <i>Eurydice pulchra</i>         | 4,2           | 1,5          | 5,7           |
| <b>Richesse spécifique</b>      | <b>7</b>      | <b>10</b>    | <b>11</b>     |
| <b>Total 0,25 m<sup>2</sup></b> | <b>381,0</b>  | <b>186,0</b> | <b>567,0</b>  |
| <b>Total m<sup>2</sup></b>      | <b>1523,9</b> | <b>744,1</b> | <b>2268,0</b> |





## 8. LE DOMAINE BENTHIQUE SUBTIDAL

Auteurs : Luczak C. & Dewarumez J.-M

Collaborateurs : Menu D & Serreau V.



## 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  $1 \text{ m}^2$  de surface échantillonnée pour les études faunistiques. Un 11<sup>e</sup> 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 l'estimation de la biomasse.

Les quatre campagnes ont été effectuées les 10 février, 23 mars, 06 juillet et 14 novembre 2012.

## 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 %.

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 était dominé par les sables moyens et fins. La fraction grossière restant presque inexistante.

En 2012, la teneur en pélites était minimale en hiver et au printemps (moins de 3%), avec une légère augmentation en été et une valeur maximale en automne (16,84%). Ceux sont toujours les sables fins et moyens qui dominent avec une fraction grossière faible (tableau 8.1 et figure 8.1).

**Tableau 8.1 Caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)**

| <b>Station B</b>   | 10 fév. 2012 | 23 mars 2012 | 06 juil 2012 | 14 nov 2012 |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| Graviers grossiers | 0,26         | 0,45         | 0,69         | 0,25        |
| Graviers fins      | 0,25         | 0,19         | 0,35         | 0,11        |
| Sables grossiers   | 2,38         | 1,55         | 0,81         | 0,52        |
| Sables moyens      | 52,14        | 42,84        | 28,77        | 26,63       |
| Sables fins        | 43,05        | 52,20        | 66,05        | 55,64       |
| Pélites            | 1,92         | 2,78         | 3,34         | 16,84       |

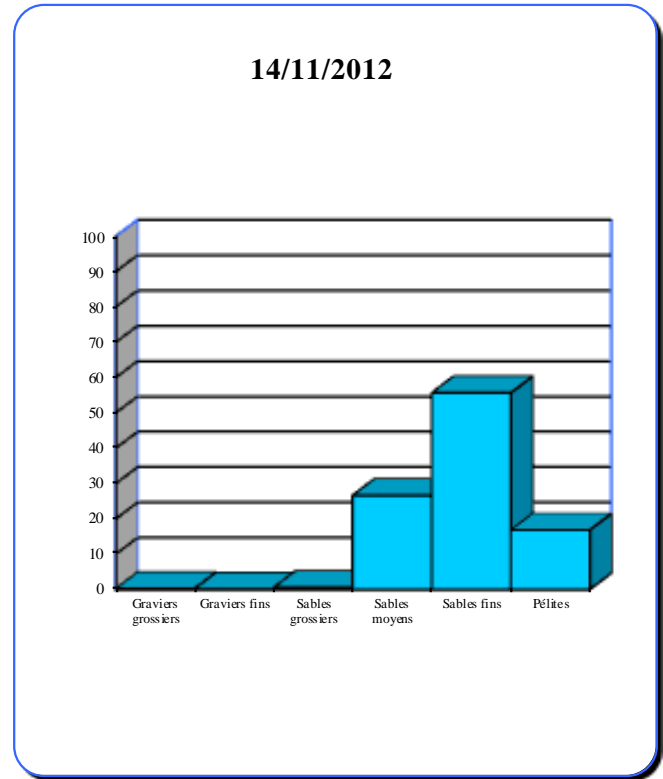
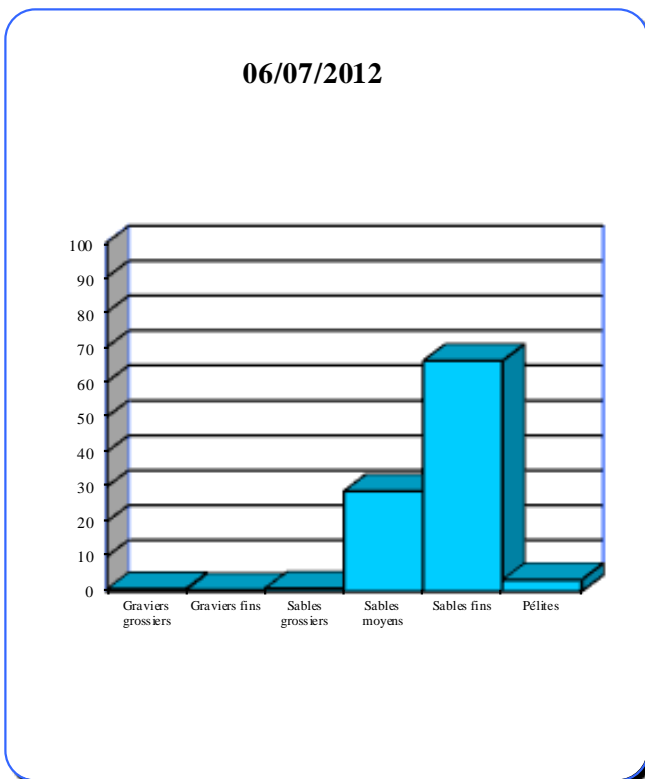
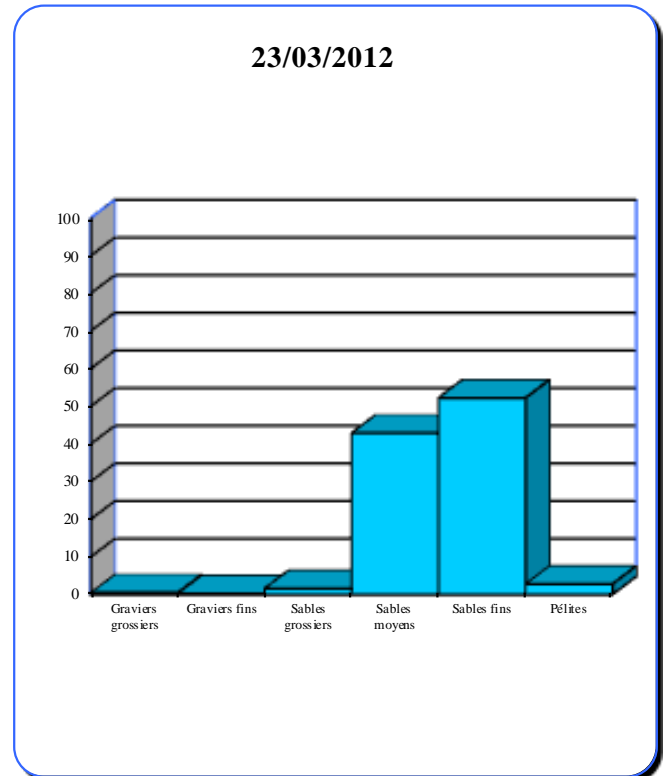
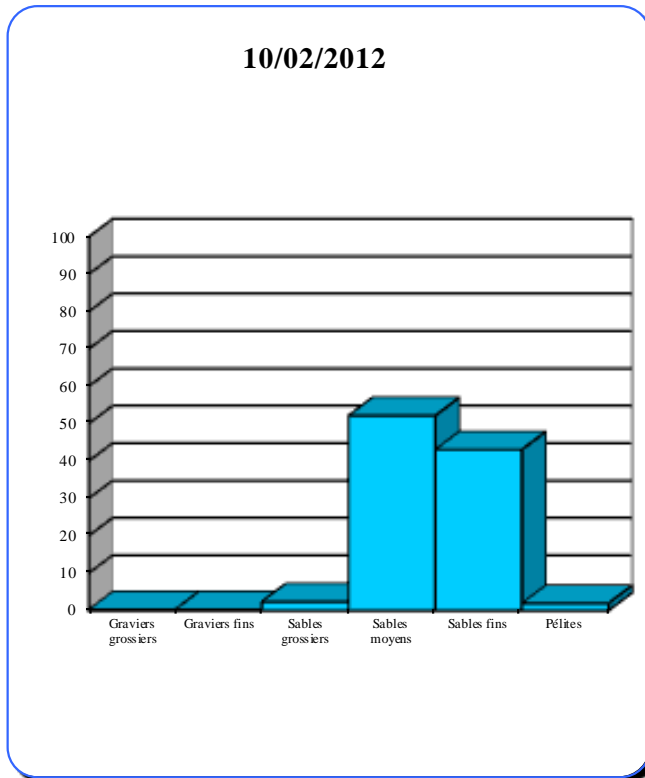
## 8.3.1.2. Point C

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. De plus, le sédiment est complètement dépourvu de pélites.

En 2012,, ce schéma classique a été respecté : sédiment constitué à plus de 99% de sables moyens et fins, absence de pélite et teneurs très faibles en graviers fins et grossiers (maximum de 0,05%) (tableau 8.2 et figure 8.2).

**Tableau 8.2 Caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)**

| <b>Station C</b>   | 10 fév. 2012 | 23 mars 2012 | 06 juil 2012 | 14 nov 2012 |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| Graviers grossiers | 0,00         | 0,01         | 0,02         | 0,02        |
| Graviers fins      | 0,03         | 0,04         | 0,01         | 0,02        |
| Sables grossiers   | 0,22         | 0,58         | 0,38         | 0,29        |
| Sables moyens      | 66,79        | 85,30        | 78,25        | 81,78       |
| Sables fins        | 32,96        | 14,06        | 21,34        | 17,90       |
| Pélites            | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00        |



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

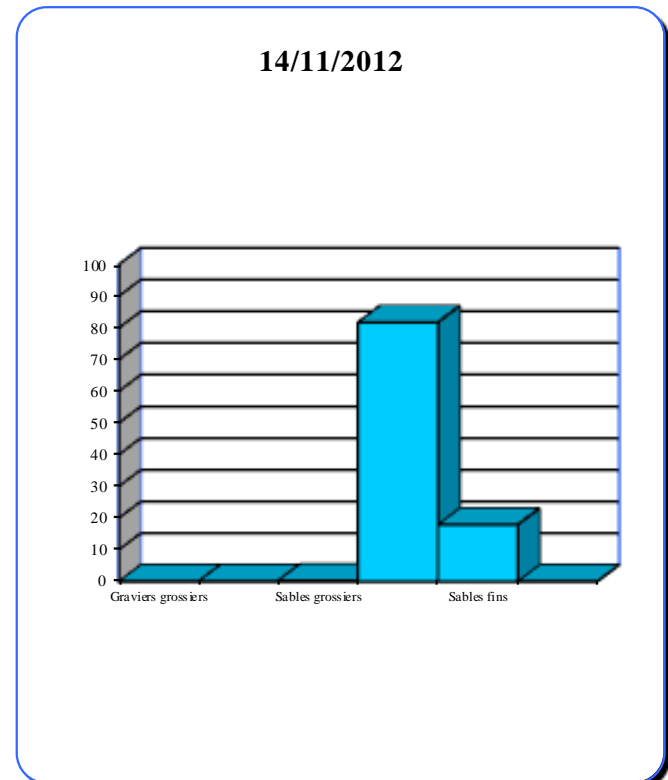
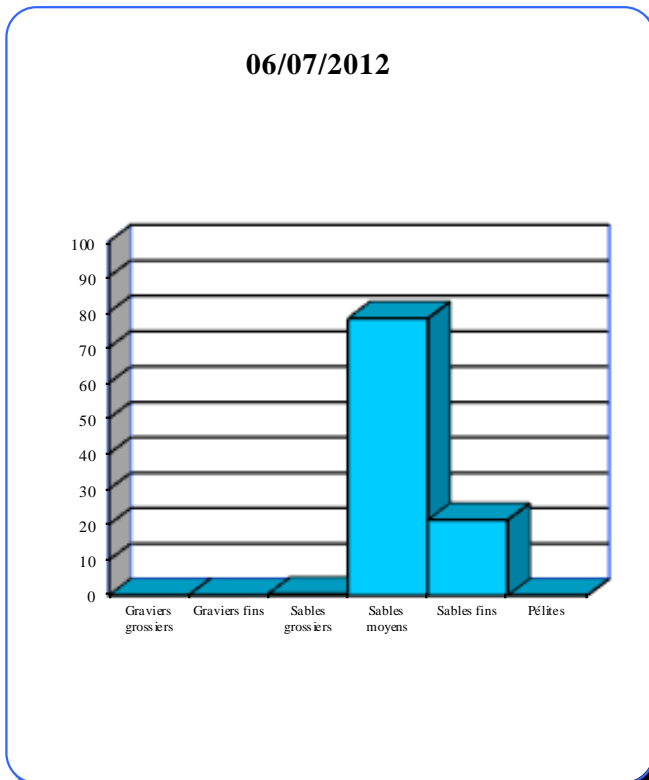
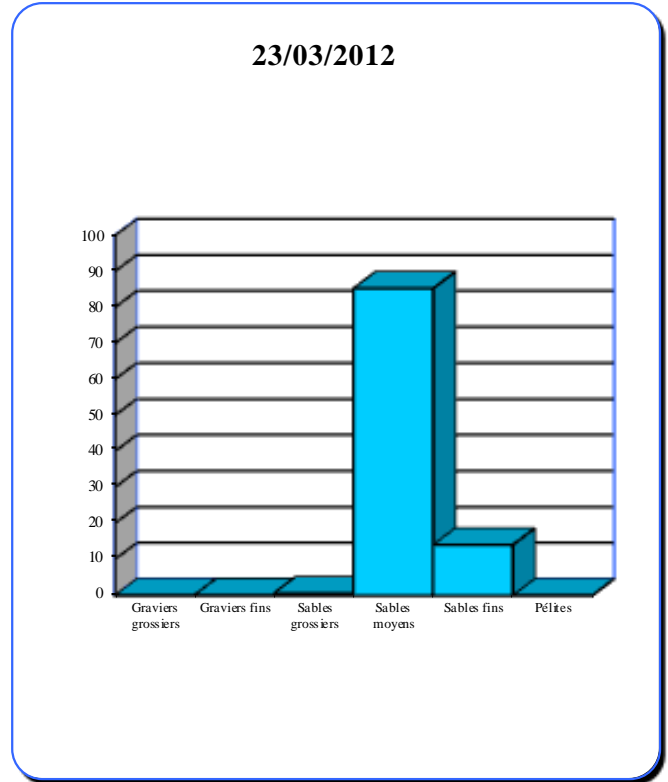
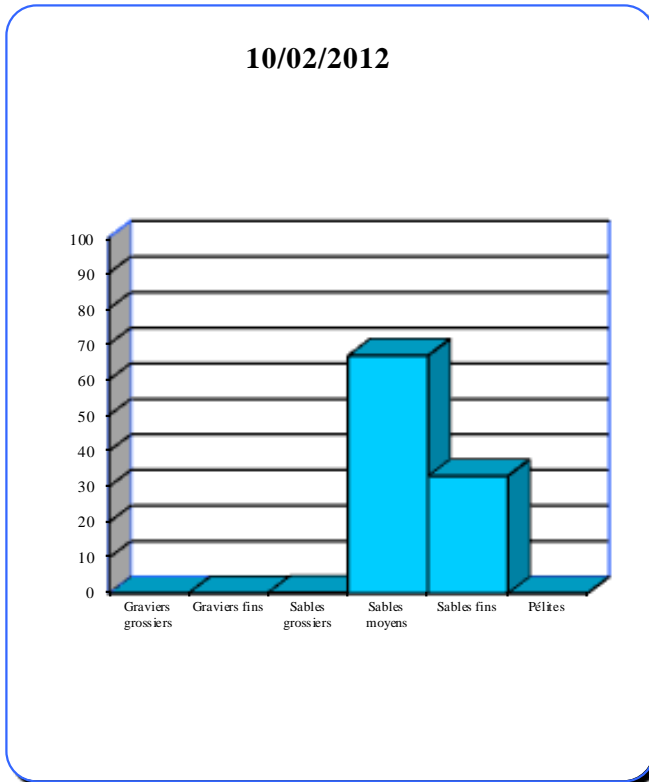


Figure 8.2. Point C, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

### 8.3.2. Composition bionomique

#### 8.3.2.1. Point B

En 2012, l'analyse faunistique a permis de recenser 62 taxons différents au point B, cette richesse spécifique reste relativement stable depuis 2005 (moyenne de 62,12, écart-type : 2,64) (tableau 8.3).

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

|                  | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Nombre de taxons | 60   | 62   | 65   | 65   | 57   | 63   | 62   |

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

- 1 Cnidaire
- 3 Némertes
- 30 Annélides Polychètes
- 2 Annélides Oligochètes
- 8 Mollusques
  - 1 Gastéropode
  - 7 Bivalves
- 15 Crustacés
- 3 Echinodermes

Ces 62 taxons représentaient 21 805 individus récoltés. L'abondance totale était de 14 277 en 2011, 10 709 en 2010, 19 141 en 2009 et 28 792 au point B en 2008. Ce chiffre revient donc à une valeur supérieure à 2011 (+ 52,73%) et 2010 et dans l'ordre de grandeur des années 2008 et 2009.

#### 8.3.2.2. Point C

L'analyse faunistique a permis de recenser 33 taxons. La richesse spécifique globale est relativement faible, mais revient au maximum observé en 2005 (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 | 2012 |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Nombre de taxons | 33   | 30   | 18   | 28   | 26   | 28   | 22   | 33   |

Ils se répartissaient comme suit (annexes 8.3 et 8.4)

- 1 Cnidaire
- 2 Némertes
- 10 Annélides Polychètes
- 1 Annélide Oligochète
- 2 Mollusques Bivalves
- 12 Crustacés
- 1 Sipunculien
- 1 Echinoderme
- 3 Poisson

Ces 33 taxons représentaient 378 individus récoltés (442 en 2011, 413 en 2010 et 400 en 2009), ce résultat est donc inférieur à celui des dernières années d'étude.

*Nephtys cirrosa* reste l'espèce dominante du peuplement avec 57 % 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 d'*Ensis directus* en 1991 avait modifié l'organisation du peuplement. Mais, depuis quelques années, il semble apparaître un lent retour à des conditions proches de 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 revenues à des valeurs « habituelles » pour ce secteur concernant 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 soit à une disparition, soit 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 2012 à la station B.

En février 2012, le peuplement était dans un état relativement classique pour une situation hivernale, avec une richesse spécifique (37 espèces – tableau 8.5) dans la moyenne des cinq années précédentes (38,4 espèces), mais une densité très inférieure à la moyennes des cinq dernières années si on ne tient pas compte de l'année 2010 atypique (1860 ind./m<sup>2</sup>). La biomasse de 56,91 g·m<sup>-2</sup> est par contre supérieure à la moyenne des cinq dernières années pour cette saison (42,23 g·m<sup>-2</sup>), ce chiffre est principalement liée à la présence d'*Asterias rubens* (69% de la biomasse).

**Tableau 8.5 Nombre d'espèces (N), densité (nb. ind./m<sup>2</sup>) et biomasse (g/m<sup>2</sup>) des prélèvements benthiques récoltés en janvier- début mars depuis 2005**

|          | Février 2005 | Février 2006 | Février 2007 | Février 2008 | Février 2009 | Janvier 2010 | Février 2011 | Février 2012 |
|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| N        | 45           | 37           | 41           | 39           | 38           | 33           | 41           | 37           |
| densité  | 2 186        | 620          | 817          | 3 311        | 2 691        | 5 306        | 1 613        | 506          |
| biomasse | 37,12        | 16,58        | 14,13        | 50,47        | 38,41        | 63,84        | 44,29        | 56,91        |

Le peuplement était dominé par *Chaetozone setosa* (129 ind.·m<sup>-2</sup>), soit 25,5% de l'abondance totale, suivi de *Abra alba* (69 ind.·m<sup>-2</sup>), *Pariambus typicus* (47 ind.·m<sup>-2</sup>) et *Ophiura albida* (43 ind.·m<sup>-2</sup>). Comme les années antérieures, la présence en densité non négligeable du nécrophage *Nassarius reticulatus* (10 ind.·m<sup>-2</sup>) est à souligner, tout comme, à l'instar de l'hiver 2011 mais en densité moindre, celle de l'étoile de mer *Asterias rubens* (2 ind.·m<sup>-2</sup>). La biomasse globale de 56,91 g·m<sup>-2</sup> était dans les valeurs les plus élevées pour cette période depuis 2005 (tableau 8.5) : 68,9% de cette biomasse était cependant due à une espèce : *Asterias rubens* (39,23 g·m<sup>-2</sup>). Viennent ensuite *Owenia fusiformis* (5,23 g·m<sup>-2</sup>), *Abra alba* (5,23 g·m<sup>-2</sup>) et *Nassarius reticulatus* (4,16 g·m<sup>-2</sup>). Ces trois espèces représentaient 25,70 % de la biomasse totale.

En mars 2012, la richesse spécifique était sensiblement plus élevée, avec 41 espèces, tout comme la densité globale avec 705 ind.m<sup>-2</sup>. Par contre, la biomasse s'effondre atteignant 7,25 g·m<sup>-2</sup> (tableau 8.6).

**Tableau 8.6 : Nombre d'espèces (N), densité (nb. ind./m<sup>2</sup>) et biomasse (g/m<sup>2</sup>) des prélèvements benthiques récoltés en mars (fin) avril-mai depuis 2005**



|          | mars<br>2005 | mai<br>2006 | avril<br>2007 | avril<br>2008 | mai<br>2009 | Avril<br>2010 | Avril<br>2011 | mars<br>2012 |
|----------|--------------|-------------|---------------|---------------|-------------|---------------|---------------|--------------|
| N        | 37           | 39          | 31            | 41            | 41          | 26            | 39            | 41           |
| densité  | 1 389        | 937         | 89 503        | 14 143        | 6 226       | 535           | 910           | 705          |
| biomasse | 56,20        | 21,65       | 53,99         | 32,41         | 29,21       | 19,03         | 33,45         | 7,25         |

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 très limités, voire inexistantes. L'espèce la plus abondante est le Polychète *Spiophanes bombyx* (140 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup>) avec uniquement des individus de petite taille récemment recruté dans la macrobenthos. Suivent *Chaetozone setosa* (107 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup>), *Abra alba* (85 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup>) et *Magelona johnstoni* (74 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup>). Au niveau de la biomasse, seules deux espèces dépassent 1 g $\cdot$ m<sup>-2</sup>: *Abra alba* (3,27 g $\cdot$ m<sup>-2</sup>) et *Ophiura albida* (1,05 g $\cdot$ m<sup>-2</sup>), suivies de *Nassarius reticulatus* (0,82 g $\cdot$ m<sup>-2</sup>). Ces trois espèces représentent près de 71 % de la biomasse totale.

Au mois de juillet 2012, la richesse spécifique n'a pas augmenté, avec 42 espèces récoltées, chiffre dans la moyenne d'une fin de printemps depuis 2005 (moyenne : 41,14 ; écart-type : 7,12 ; Tableau 8.7). La densité a par contre fortement augmenté avec un total de 19 957 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup>, tout comme la biomasse avec une valeur de 59,03 g $\cdot$ m<sup>-2</sup>, valeur supérieure à la moyenne de ces 7 dernières années (48,79 g $\cdot$ m<sup>-2</sup>, écart-type : 30,26) en fin de printemps-début d'été (tableau 8.7).

**Tableau 8.7 Nombre d'espèces (N), densité (nb. ind./m<sup>2</sup>) et biomasse (g/m<sup>2</sup>) des prélèvements benthiques récoltés en juin/juillet depuis 2005**

|          | juin<br>2005 | juin<br>2006 | juin<br>2007 | juin<br>2008 | juin<br>2009 | juin<br>2010 | juillet<br>2011 | juillet<br>2012 |
|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|
| N        | 40           | 40           | 48           | 45           | 35           | 30           | 50              | 42              |
| densité  | 1 166        | 13 959       | 3 331        | 6 909        | 5 325        | 2 251        | 8 058           | 19 957          |
| biomasse | 32,16        | 87,35        | 22,01        | 65,87        | 22,98        | 86,93        | 24,26           | 59,03           |

La forte augmentation en abondance et en biomasse est causée par une phase de recrutement importante dans le macrobenthos, comme l'atteste le faible taille des individus récoltés. La communauté est dominée quantitativement à cette date par : *Lanice conchilega* (8423 ind./m<sup>2</sup>), *Macoma baltica* (4660 ind./m<sup>2</sup>), *Phyllodoce mucosa* (2197 ind./m<sup>2</sup>), *Eumida sanguinea* (1017 ind./m<sup>2</sup>), *Pectinaria koreni* (1009 ind./m<sup>2</sup>) suivis du Bivalve *Abra alba* (974 ind./m<sup>2</sup>). La biomasse est structurée à 80% par *Abra alba* (19,55 g $\cdot$ m<sup>-2</sup>), *Lanice conchilega* (11,70 g $\cdot$ m<sup>-2</sup>), *Nassarius reticulatus* (9,79 g $\cdot$ m<sup>-2</sup>) et *Notomastus latericeus* (6,18 g $\cdot$ m<sup>-2</sup>). A noter le recrutement très important du Bivalve *Macoma baltica*, une première depuis le suivi du secteur et celui notable d'*Ensis directus* avec 100 ind./m<sup>2</sup>.

En novembre 2012, la richesse spécifique baisse quelque peu avec 38 espèces, valeur cependant la plus faible depuis 2005. Par contre, la densité globale diminue de plus de 96% par rapport à juillet avec 637 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup> (tableau 8.8). Cette dernière valeur est très en deçà de la moyenne des cinq dernières années (4 147 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup>). La biomasse est également très inférieure à celle de juillet 2012 avec 25,61 g $\cdot$ m<sup>-2</sup>, ce qui met en évidence une diminution importante du nombre d'individus, donc un maintien très faible des espèces recrutées en juillet.. Cette biomasse est par ailleurs inférieure à la moyenne des années antérieures depuis 2005 (hors 2007) : 44,25 g $\cdot$ m<sup>-2</sup> (écart-type : 18,71).

**Tableau 8.8 Nombre d'espèces (N), densité (nb. ind./m<sup>2</sup>) et biomasse (g/m<sup>2</sup>) des prélèvements benthiques récoltés en septembre-décembre depuis 2005**

|          | septembre 2005 | septembre 2006 | décembre 2007 | octobre 2008 | octobre 2009 | octobre 2010 | septembre 2011 | novembre 2012 |
|----------|----------------|----------------|---------------|--------------|--------------|--------------|----------------|---------------|
| N        | 46             | 47             | 42            | 51           | 47           | 47           | 47             | 38            |
| densité  | 825            | 6 123          | 2 666         | 4 429        | 4 899        | 2 617        | 3 696          | 637           |
| biomasse | 19,29          | 64,22          | 158,97        | 44,66        | 61,19        | 54,14        | 25,64          | 25,61         |

Parmi les espèces qui avaient recruté notablement en juillet 2012, seules trois maintiennent des effectifs relativement conséquents : *Abra alba*, *Macoma baltica* et *Heteromastus filiformis* avec respectivement, 156, 112 et 56 ind.m<sup>-2</sup>. A noter l'augmentation de densité des *Oligochaete sp* (96 ind.m<sup>-2</sup>). La biomasse globale très peu élevée est dominée principalement par des Mollusques : *Abra alba* (20,86 g.m<sup>-2</sup>), *Tellina fabula* (20,86 g.m<sup>-2</sup>) et *Nassarius reticulatus* (8,76 g.m<sup>-2</sup>). Ces trois espèces représentent 81,45% 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 2012 au point C confirment à la fois l'impact de la centrale sur les peuplements benthiques du champ proche de la centrale mais aussi la stabilité de cet impact au cours du temps. Le maintien du peuplement en place confirme la constance de la perturbation. *Nephtys cirrosa* demeure l'espèce la plus importante du peuplement établi à ce point. Il faut toutefois noter à nouveau cette année, à l'instar de 2011, les densités assez fortes de *Portumnus latipes* qui représente 8,7 % des individus récoltés.

La campagne de février 2012 a donné des résultats conformes à ce que l'on peut rencontrer habituellement dans les conditions hivernales. La densité est en augmentation par rapport à 2011 et 2010 : 72 ind.·m<sup>-2</sup> (52 ind.·m<sup>-2</sup> en 2011) c'est une densité qui est de l'ordre de grandeur des valeurs moyennes observées depuis 2005, à savoir 77,7 ind.·m<sup>-2</sup> (tableau 8.9). *Nephtys cirrosa* représente 45,8 % des individus récoltés.

La richesse spécifique est stable par rapport à 2011. Elle avait été en forte diminution en 2008, puis revenue à un niveau équivalent à celui de 2006 en 2009. En 2010 elle est du même ordre que celle de 2005 et 2007.

Le peuplement est dominé par *Nephtys cirrosa* (33 ind.·m<sup>-2</sup>), *Scolelepis squamata* (14 ind.·m<sup>-2</sup>) et *Portumnus latipes* (13 ind.·m<sup>-2</sup>). Ces trois espèces représentent 83,3% de l'abondance totale. La biomasse, légèrement supérieure à celle de 2011, est parmi les plus faibles des 8 dernières années et égale à celle de 2007 (0,4 g.m<sup>-2</sup>). Les espèces les plus contributives à l'élaboration de la biomasse sont *N. cirrosa* (0,19 g.m<sup>-2</sup>) et *Portumnus latipes* (0,16 g.m<sup>-2</sup>).

**Tableau 8.9 Nombre d'espèces (N), densité (nb. ind./m<sup>2</sup>) et biomasse (g/m<sup>2</sup>) des prélèvements benthiques récoltés en hiver depuis 2005**

|          | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| N        | 8    | 13   | 8    | 5    | 12   | 9    | 11   | 11   |
| densité  | 81   | 134  | 60   | 63   | 92   | 62   | 52   | 72   |
| biomasse | 0,6  | 1,3  | 0,4  | 0,8  | 0,6  | 0,7  | 0,3  | 0,4  |

En mars 2012, la densité globale du peuplement a diminué ( $45 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ ) par rapport à février 2012 alors que la richesse spécifique demeure relativement stable (10 espèces) (tableau 8.10). Le peuplement est toujours dominé par : *Nephtys cirrosa* ( $26 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ ), *Scolelepis squamata* ( $6 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ ) et *Portumnus latipes* ( $5 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ ).

La biomasse a augmenté par rapport à février 2012, mais bien qu'elle soit inférieure à celle de 2011, elle est dans la fourchette des valeurs observées au cours de la période 2005-2009. Les espèces qui contribuent le plus à l'élaboration de la biomasse sont *P. latipes* ( $0,22 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) et *N. cirrosa* :  $0,19 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ .

**Tableau 8.10 Nombre d'espèces (N), densité (nb. ind./m<sup>2</sup>) et biomasse (g/m<sup>2</sup>) des prélèvements benthiques récoltés au printemps depuis 2005**

|          | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| N        | 17   | 14   | 13   | 14   | 12   | 16   | 7    | 10   |
| densité  | 312  | 115  | 68   | 61   | 94   | 130  | 111  | 45   |
| biomasse | 0,7  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,7  | 1,3  | 1,0  | 0,5  |

En juillet 2012, la richesse spécifique progresse par rapport à la période printanière (18 espèces), tout comme la densité globale ( $173 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ ), (tableau 8.11). Les espèces dominantes sont *Nephtys cirrosa* ( $109 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ ) et *Spio martinensis* ( $33 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ ). La biomasse est supérieure à celle du mois de mars ( $0,7 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) mais en diminution par rapport à 2010 et 2011. *N. cirrosa* ( $0,63 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ), représente près de 95% de la biomasse totale.

**Tableau 8.11 Nombre d'espèces (N), densité (nb. ind./m<sup>2</sup>) et biomasse (g/m<sup>2</sup>) des prélèvements benthiques récoltés en été depuis 2005**

|          | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| N        | 15   | 12   | 8    | 14   | 9    | 15   | 12   | 18   |
| densité  | 558  | 143  | 85   | 206  | 128  | 136  | 169  | 173  |
| biomasse | 3,9  | 4,0  | 0,5  | 2,6  | 1,0  | 1,8  | 1,3  | 0,7  |

En novembre 2012 la richesse spécifique de la communauté diminue (11 espèces), tout comme la densité de population ( $88 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ ). Ces chiffres restent néanmoins dans la gamme de valeurs observées depuis 2005 pour l'automne (tableau 8.12). La densité de la population de *Nephtys cirrosa* reste importante ( $48 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ ) et les espèces dominantes sont similaires à celles observées au printemps. Les espèces les plus contributives à l'élaboration de la biomasse sont la petite vive *Echiichthys vipera* avec un individu ( $0,3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ; 39 %), *N. cirrosa* ( $0,29 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ; 38 %), et *Portumnus latipes* ( $0,16 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ , 21 %).

**Tableau 8.12 Nombre d'espèces (N), densité (nb. ind./m<sup>2</sup>) et biomasse (g/m<sup>2</sup>) des prélèvements benthiques récoltés en automne depuis 2005**

|          | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| N        | 14   | 8    | 9    | 12   | 8    | 6    | 7    | 11   |
| densité  | 214  | 85   | 39   | 99   | 86   | 85   | 110  | 88   |
| biomasse | 3,8  | 0,7  | 0,7  | 1,2  | 0,9  | 0,5  | 1,7  | 0,8  |

Le déficit en densité au point C par rapport au point témoin B est toujours très important, il atteint 98,3 % (tableau 8.13). Ce déficit reste très élevé depuis 2006. L'impact en terme de biomasse reste aussi très important (98,4 %).

**Tableau 8.13 Déficit de densité (ind.·m<sup>-2</sup>) et biomasse (g·m<sup>-2</sup>) entre les points B et C**

| <b>densités</b>      | Février 2012 | Mars 2012 | Juillet 2012 | Novembre 2012 | <b>2012</b>    |
|----------------------|--------------|-----------|--------------|---------------|----------------|
| Station B            | 506          | 705       | 19 957       | 637           | <b>21 807</b>  |
| Station C            | 72           | 45        | 173          | 88            | <b>378</b>     |
| Déficit (%)          | 85,8         | 93,6      | 99,1         | 86,2          | <b>98,3</b>    |
| <b>Biomasses (g)</b> | Février 2012 | Mars 2012 | Juillet 2012 | Novembre 2012 | <b>2012</b>    |
| Station B            | 56,914       | 7,249     | 59,030       | 25,613        | <b>148,806</b> |
| Station C            | 0,374        | 0,508     | 0,671        | 0,765         | <b>2,319</b>   |
| Déficit (%)          | 99,3         | 93,0      | 98,9         | 97,0          | <b>98,4</b>    |

L'impact de la centrale sur les peuplements benthiques reste donc très fort dans le champ proche de la centrale. Il provoque un déficit de 98,3 % de la densité (densité moyenne de 95 ind.·m<sup>-2</sup> au point C contre 5451 ind.·m<sup>-2</sup> au point B) et de 98,4 % de la biomasse, moyenne annuelle de 0,58 g·m<sup>-2</sup> au point C contre 37,2 g·m<sup>-2</sup> 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.·m<sup>-2</sup> et 1 068 ind.·m<sup>-2</sup>) 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.·m<sup>-2</sup> puis après une forte régression jusqu'à l'automne 2001, la densité, grâce aux nouvelles recrues, avait atteint 762 ind.·m<sup>-2</sup> pour diminuer à nouveau durant l'hiver 2002 et atteindre 611 ind.·m<sup>-2</sup> 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.·m<sup>-2</sup> respectivement en février et avril), puis les densités étaient restées faibles en juin (55 ind.·m<sup>-2</sup>), et le recrutement a eu lieu plus tardivement en automne comme le

soulignaient les 562 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup> 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<sup>-2</sup> en avril et maximum de 1 173 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup> en juin. Les effectifs importants de 2008 ont perduré jusque début 2010 (153 ind. m<sup>-2</sup> en janvier), puis un nouveau recrutement est noté avec près de 600 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup> 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. Les conclusions sont identiques pour 2012.

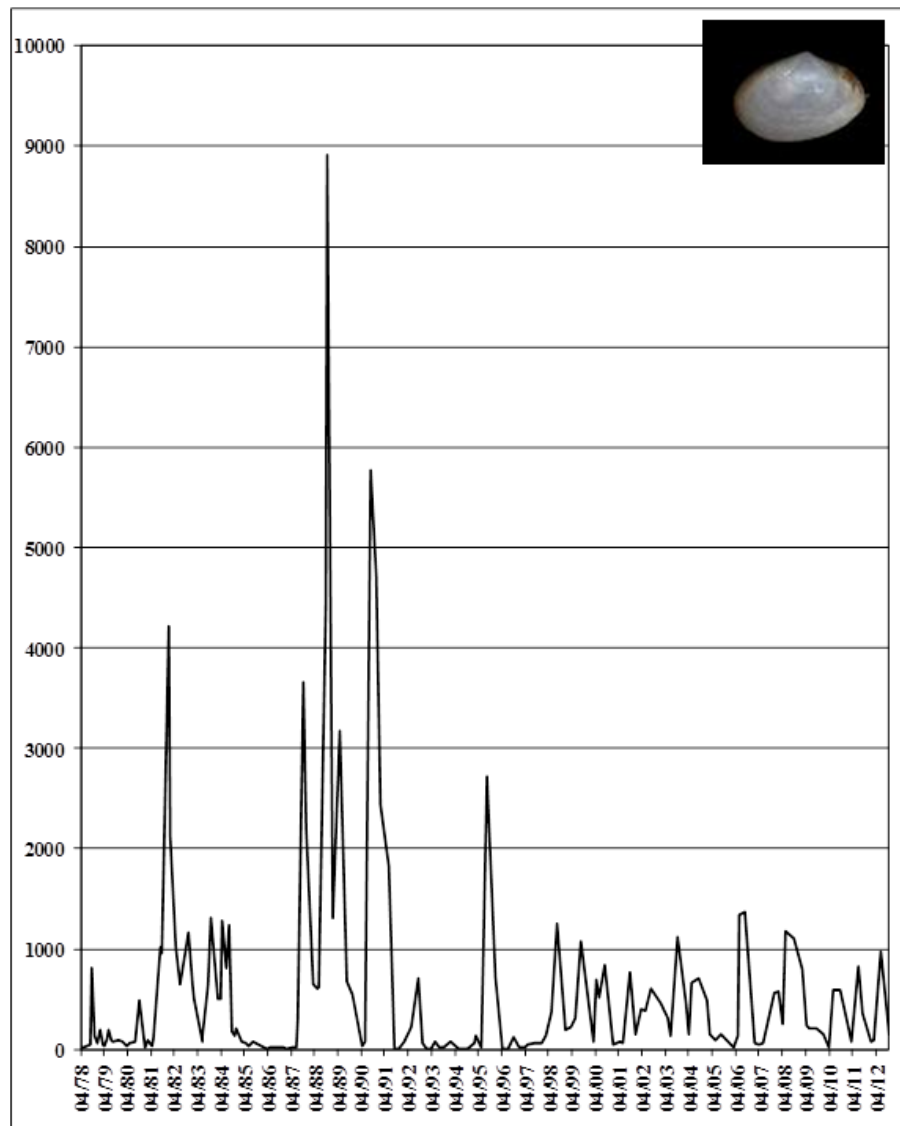


Figure 8.3 *Abra alba*, évolution de la densité (par m<sup>2</sup>) de la population au point B entre 1978 et 2012

#### 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<sup>-2</sup> en 1998 et 83 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup> 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  $50 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ . 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  $43 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$  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  $97 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$  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  $\text{m}^2$ . 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  $24 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ . Peu de changements majeurs en 2008, la population s'était cependant maintenue à un niveau plus élevé avec 48 à  $82 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ . Pour 2009, les densités les plus importantes depuis 1991 ont été observées en février ( $106 \text{ individus m}^{-2}$ ) 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  $25 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$  (figure 8.4). Tout comme pour *Abra alba*, l'évolution de la population de *Tellina fabula* est très proche à ce qui est observé depuis plusieurs années à la station B, 3 à  $38 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ . En 2012, nouveau record de densité atteint depuis 1991 avec  $125 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$  en juillet. Après ce recrutement, l'espèce semble se maintenir avec 29 individus en novembre.

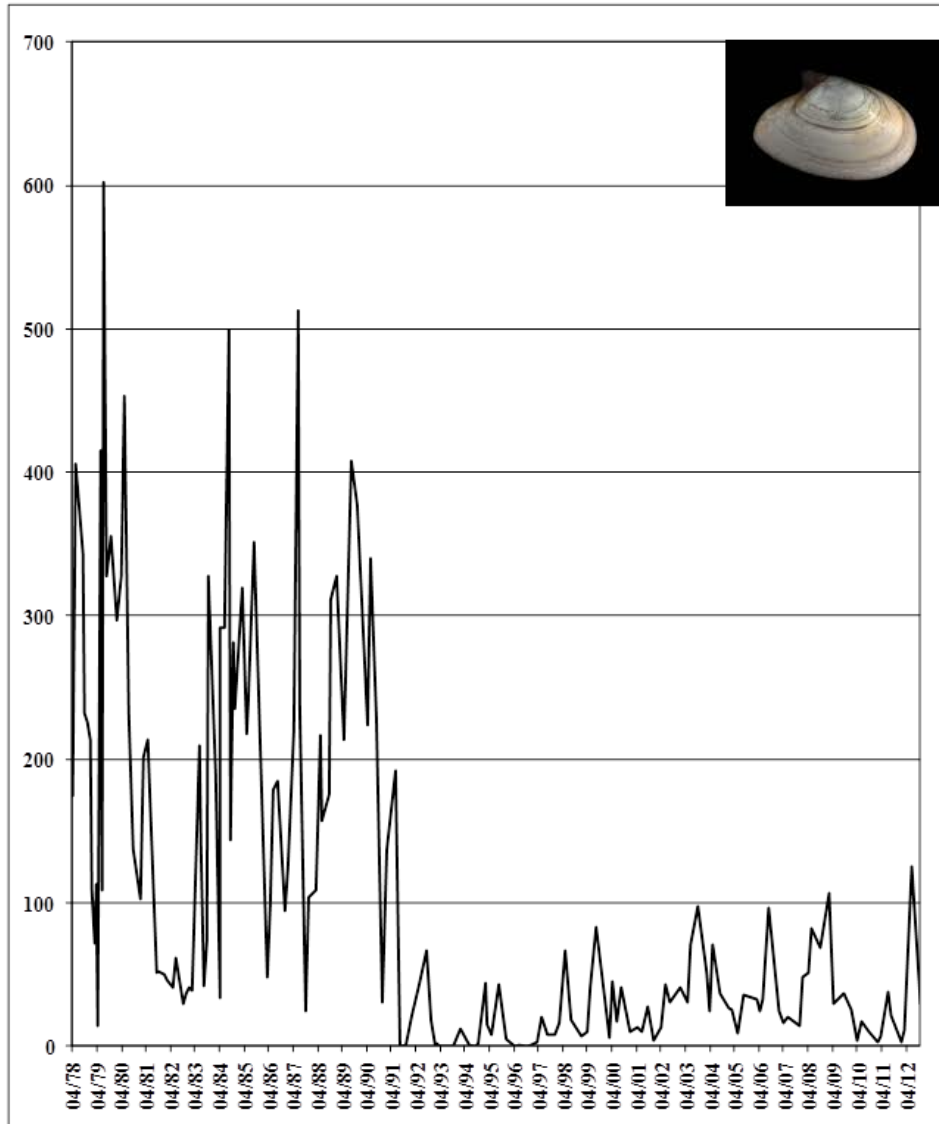


Figure 8.4 *Tellina fabula*, évolution de la densité (par m<sup>2</sup>) de la population au point B entre 1978 et 2012

## 8.5. Éléments de conclusion

Le **point B** a été caractérisé en 2012 par le recrutement massif de *Macoma baltica*, phénomène qui n'avait jamais connu une telle ampleur sur le site depuis le début du suivi. Un recrutement important, notamment d'Annélides Polychètes et de Mollusques Bivalves a été détecté en début d'été. Une mortalité importante des recrues durant la période estivale est observée, diminution des abondances et de la biomasse, mais presque pas de baisse de la richesse spécifique : seules trois espèces ont maintenu des effectifs relativement conséquents : *Abra alba*, *Macoma baltica* et *Heteromastus filiformis*.

Sur le plan global, la richesse spécifique, avec 62 espèces, est conforme à celle observée les années antérieures (moyenne de 62,12 espèce depuis 2005), la densité moyenne de 5451 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup> est supérieure à la moyenne des années antérieures (2005-2011 : 3 581 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup>) et la biomasse moyenne était inférieure à la moyenne des années précédentes avec 37,2 g $\cdot$ m<sup>-2</sup> *contra* 45,7 g $\cdot$ m<sup>-2</sup> pour la période 2005-2011.

Les résultats enregistrés au **point C** révèlent une année 2012 caractérisée par une richesse spécifique atteignant le maximum observé depuis 2005 (33 espèces), mais des valeurs de densités et de biomasse en baisse par rapport aux années précédentes : respectivement 95 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup> *contra* 128 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup> sur la période 2005-2011 et 0,58 g $\cdot$ m<sup>-2</sup> *contra* 1,23 g $\cdot$ m<sup>-2</sup> pour la période 2005-2011.

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, 98,3% et 98,4 %). 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 *Sagartia troglodytes*, *Ophiura albida*, *Mysella bidentata*, *Capitella capitata*, *Phyllodoce mucosa*, *Lanice conchilega*, *Spio martinensis* ou encore *Spiophanes bombyx*. Mais, outre ces espèces à affinité vasicole, certaines espèces sabulicoles caractéristiques des peuplements du large ont aussi été récoltées comme *Gastrosaccus spinifer*, mais également en très faible densité.

Tout comme en 2011, *Portumnus latipes* a été particulièrement abondant : troisième espèce la plus abondante après *Nephtys cirrosa* et *Scolelepis squamata*, et présentant la seconde biomasse globale la plus importante derrière *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, à ceux établis sur les sédiments similaires dans la région. De plus, la zone de déficit est localisée au débouché du canal de rejet et ne s'étend pas au-delà de quelques centaines de mètres. Enfin, ce déficit est uniquement dû à l'action de la courantologie et 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 m<sup>2</sup> (1<sup>ère</sup> partie)

|                                | 10-févr-12       | 23-mars-12      | 06-juil-12       | 14-nov-12        |
|--------------------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|
|                                | 1 m <sup>2</sup> | 1m <sup>2</sup> | 1 m <sup>2</sup> | 1 m <sup>2</sup> |
| <b>Cnidaies</b>                |                  |                 |                  |                  |
| <i>Sagartia troglodytes</i>    | 0                | 1               | 0                | 0                |
| <b>Annélides Polychètes</b>    |                  |                 |                  |                  |
| <i>Arenicola marina</i>        | 0                | 0               | 10               | 1                |
| <i>Capitella capitata</i>      | 1                | 6               | 0                | 0                |
| <i>Heteromastus filiformis</i> | 35               | 12              | 365              | 56               |
| <i>Notomastus latericeus</i>   | 3                | 2               | 139              | 2                |
| <i>Ophelia borealis</i>        | 2                | 1               | 0                | 0                |
| <i>Travisia forbesii</i>       | 0                | 0               | 0                | 1                |
| <i>Scoloplos armiger</i>       | 22               | 19              | 4                | 3                |
| <i>Glycera alba</i>            | 10               | 5               | 18               | 5                |
| <i>Glycera tridactyla</i>      | 0                | 4               | 0                | 1                |
| <i>Psamathe fusca</i>          | 0                | 0               | 0                | 1                |
| <i>Nephtys cirrosa</i>         | 3                | 22              | 0                | 0                |
| <i>Nephtys hombergii</i>       | 11               | 57              | 23               | 36               |
| <i>Nephtys longosetosa</i>     | 2                | 0               | 0                | 3                |
| <i>Eunereis longissima</i>     | 0                | 0               | 32               | 2                |
| <i>Pholoë baltica</i>          | 4                | 5               | 25               | 3                |
| <i>Eteone longa</i>            | 7                | 5               | 5                | 0                |
| <i>Eumida sanguinea</i>        | 0                | 0               | 1017             | 0                |
| <i>Phyllodoce groenlandica</i> | 1                | 0               | 0                | 0                |
| <i>Phyllodoce mucosa</i>       | 2                | 2               | 2197             | 1                |
| <i>Malmgrenia glabra</i>       | 0                | 0               | 16               | 0                |
| <i>Sthenelais boa</i>          | 0                | 1               | 0                | 1                |
| <i>Owenia fusiformis</i>       | 30               | 35              | 4                | 1                |
| <i>Magelona johnstoni</i>      | 12               | 74              | 55               | 11               |
| <i>Aonides paucibranchiata</i> | 0                | 0               | 0                | 1                |
| <i>Spio filicornis</i>         | 0                | 1               | 0                | 0                |
| <i>Spio martinensis</i>        | 1                | 4               | 0                | 26               |
| <i>Spiophanes bombyx</i>       | 22               | 140             | 14               | 2                |
| <i>Chaetozone setosa</i>       | 129              | 107             | 105              | 12               |
| <i>Pectinaria koreni</i>       | 0                | 1               | 1009             | 1                |
| <i>Lanice conchilega</i>       | 1                | 0               | 8423             | 0                |
| <b>Annélides Oligochètes</b>   |                  |                 |                  |                  |
| <i>Enchytraeidae sp</i>        | 2                | 0               | 0                | 0                |
| <i>Oligochaete sp</i>          | 0                | 6               | 3                | 96               |
| <b>Mollusques Gastéropodes</b> |                  |                 |                  |                  |
| <i>Nassarius reticulatus</i>   | 10               | 5               | 26               | 7                |

Annexe 8.1 (suite) : Point B, nombre d'individus par m<sup>2</sup>

|                               | 10-févr-12 | 23-mars-12 | 06-juil-12   | 14-nov-12  |
|-------------------------------|------------|------------|--------------|------------|
| <b>Mollusques Bivalves</b>    |            |            |              |            |
| <i>Donax vittatus</i>         | 2          | 0          | 9            | 8          |
| <i>Mysella bidentata</i>      | 12         | 16         | 326          | 24         |
| <i>Ensis directus</i>         | 1          | 2          | 100          | 1          |
| <i>Abra alba</i>              | 69         | 85         | 974          | 156        |
| <i>Macoma balthica</i>        | 0          | 2          | 4660         | 112        |
| <i>Tellina fabula</i>         | 3          | 11         | 125          | 29         |
| <i>Mya truncata</i>           | 1          | 0          | 4            | 0          |
| <b>Némertes</b>               |            |            |              |            |
| <i>Tubulanus polymorphus</i>  | 0          | 2          | 2            | 0          |
| <i>Cerebratulus sp</i>        | 0          | 2          | 1            | 1          |
| <i>Lineus bilineatus</i>      | 0          | 1          | 0            | 0          |
| <b>Crustacés</b>              |            |            |              |            |
| <i>Crangon crangon</i>        | 0          | 1          | 10           | 1          |
| <i>Polybius arcuatus</i>      | 1          | 0          | 0            | 0          |
| <i>Polybius holsatus</i>      | 1          | 2          | 5            | 0          |
| <i>Schistomysis kervillei</i> | 0          | 1          | 0            | 0          |
| <i>Gastrosaccus spinifer</i>  | 1          | 3          | 2            | 2          |
| <i>Pariambus typicus</i>      | 47         | 6          | 181          | 0          |
| <i>Atylus swammerdami</i>     | 0          | 0          | 4            | 0          |
| <i>Erichtonius punctatus</i>  | 0          | 0          | 1            | 0          |
| <i>Leucothœ incisa</i>        | 4          | 3          | 33           | 4          |
| <i>Melita obtusata</i>        | 6          | 0          | 0            | 0          |
| <i>Bathyporeia elegans</i>    | 0          | 1          | 1            | 1          |
| <i>Urothoë poseidonis</i>     | 0          | 3          | 3            | 10         |
| <i>Bodotria scorpioides</i>   | 0          | 0          | 2            | 0          |
| <i>Cumopsis longipes</i>      | 1          | 0          | 0            | 0          |
| <i>Diastylis bradyi</i>       | 2          | 0          | 7            | 4          |
| <b>Echinodermes</b>           |            |            |              |            |
| <i>Asterias rubens</i>        | 2          | 0          | 0            | 0          |
| <i>Amphiura brachiata</i>     | 0          | 2          | 2            | 2          |
| <i>Ophiura albida</i>         | 43         | 47         | 15           | 9          |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>506</b> | <b>705</b> | <b>19957</b> | <b>637</b> |
| Richesse spécifique           | 37         | 41         | 42           | 38         |

Annexe 8.2 : Point B, biomasse en g.m<sup>-2</sup>

|                                | 10-févr-12       | 23-mars-12      | 06-juil-12       | 14-nov-12        |
|--------------------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|
|                                | 1 m <sup>2</sup> | 1m <sup>2</sup> | 1 m <sup>2</sup> | 1 m <sup>2</sup> |
| <b>Cnidaires</b>               |                  |                 |                  |                  |
| <i>Sagartia troglodytes</i>    |                  | 0,285           |                  |                  |
| <b>Annélides Polychètes</b>    |                  |                 |                  |                  |
| <i>Arenicola marina</i>        |                  |                 | 0,197            | 0,023            |
| <i>Heteromastus filiformis</i> |                  |                 | 0,010            | 0,011            |
| <i>Notomastus latericeus</i>   |                  | 0,007           | 6,184            |                  |
| <i>Scoloplos armiger</i>       | 0,003            | 0,006           |                  |                  |
| <i>Glycera alba</i>            | 0,013            | 0,019           | 0,069            | 0,078            |
| <i>Nephtys hombergii</i>       | 0,011            | 0,205           | 0,099            | 0,140            |
| <i>Nephtys longosetosa</i>     |                  |                 |                  | 0,009            |
| <i>Eunereis longissima</i>     |                  |                 | 0,001            | 0,061            |
| <i>Eumida sanguinea</i>        |                  |                 | 0,044            |                  |
| <i>Phyllodoce mucosa</i>       |                  |                 | 0,052            |                  |
| <i>Owenia fusiformis</i>       | 5,233            | 0,441           |                  | 0,003            |
| <i>Magelona johnstoni</i>      |                  | 0,018           | 0,005            | 0,010            |
| <i>Spiophanes bombyx</i>       |                  | 0,012           |                  |                  |
| <i>Chaetozone setosa</i>       | 0,010            | 0,008           | 0,008            | 0,003            |
| <i>Pectinaria koreni</i>       |                  | 0,001           | 3,419            | 0,003            |
| <i>Lanice conchilega</i>       |                  |                 | 11,704           |                  |
| <b>Mollusques Gastéropodes</b> |                  |                 |                  |                  |
| <i>Nassarius reticulatus</i>   | 4,165            | 0,819           | 9,797            | 1,361            |
| <b>Mollusques Bivalves</b>     |                  |                 |                  |                  |
| <i>Donax vittatus</i>          | 0,001            |                 | 0,024            | 0,142            |
| <i>Mysella bidentata</i>       | 0,005            | 0,004           | 0,076            | 0,005            |
| <i>Ensis directus</i>          | 0,010            | 0,072           | 1,171            | 0,002            |
| <i>Abra alba</i>               | 5,232            | 3,272           | 19,555           | 20,863           |
| <i>Macoma balthica</i>         |                  | 0,368           | 2,474            | 0,768            |
| <i>Tellina fabula</i>          | 0,005            | 0,078           | 0,334            | 1,581            |
| <i>Mya truncata</i>            | 0,371            |                 | 3,050            |                  |
| <b>Némertes</b>                |                  |                 |                  |                  |
| <i>Cerebratulus sp</i>         |                  | 0,013           |                  | 0,027            |
| <b>Crustacés</b>               | 0,004            | 0,006           | 0,022            | 0,009            |
| <i>Crangon crangon</i>         |                  |                 |                  | 0,016            |
| <i>Polybius holsatus</i>       | 0,697            | 0,531           | 0,198            |                  |
| <i>Pariambus typicus</i>       | 0,001            |                 |                  |                  |
| <b>Echinodermes</b>            |                  |                 |                  |                  |
| <i>Asterias rubens</i>         | 39,228           |                 |                  |                  |
| <i>Amphiura brachiata</i>      |                  | 0,027           | 0,054            | 0,086            |
| <i>Ophiura albida</i>          | 1,909            | 1,051           | 0,496            | 0,385            |
| <b>Divers</b>                  | 0,016            | 0,005           | 0,012            | 0,026            |
| Richesse spécifique            | 37               | 41              | 42               | 38               |
| <b>TOTAL</b>                   | <b>56,914</b>    | <b>7,249</b>    | <b>59,056</b>    | <b>25,613</b>    |

Annexe 8.3 : Point C, nombre d'individus par m<sup>2</sup>

|                                | 10-févr-12       | 23-mars-12      | 06-juil-12       | 14-nov-12        |
|--------------------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|
|                                | 1 m <sup>2</sup> | 1m <sup>2</sup> | 1 m <sup>2</sup> | 1 m <sup>2</sup> |
| <b>Cnidaires</b>               |                  |                 |                  |                  |
| <i>Sagartia troglodytes</i>    |                  |                 | 6                |                  |
| <b>Annélides Polychètes</b>    |                  |                 |                  |                  |
| <i>Spio martinensis</i>        | 1                |                 | 33               |                  |
| <i>Spiophanes bombyx</i>       |                  |                 | 2                |                  |
| <i>Scolelepis squamata</i>     | 14               | 6               | 2                | 15               |
| <i>Capitella capitata</i>      |                  |                 | 1                |                  |
| <i>Lumbrineris tetraura</i>    |                  | 1               |                  |                  |
| <i>Hesionura elongata</i>      |                  | 2               |                  |                  |
| <i>Eumida bahusiensis</i>      |                  |                 | 1                |                  |
| <i>Phyllodoce mucosa</i>       | 2                |                 |                  | 1                |
| <i>Nephtys cirrosa</i>         | 33               | 26              | 109              | 48               |
| <i>Lanice conchilega</i>       |                  |                 | 8                |                  |
| <b>Annélides Oligochètes</b>   |                  |                 |                  |                  |
| <i>Tubificoides benedeni</i>   |                  |                 |                  | 1                |
| <b>Mollusques Bivalves</b>     |                  |                 |                  |                  |
| <i>Mysella bidentata</i>       |                  |                 |                  | 1                |
| <i>Mytilus edulis</i>          |                  |                 | 1                |                  |
| <b>Némertes</b>                |                  |                 |                  |                  |
| <i>Lineus bilineatus</i>       |                  |                 | 1                |                  |
| <i>Nemertes sp</i>             | 1                |                 |                  |                  |
| <b>Sipunculiens</b>            |                  |                 |                  |                  |
| <i>Nephasoma minutum</i>       |                  |                 | 2                |                  |
| <b>Crustacés</b>               |                  |                 |                  |                  |
| <i>Eurydice pulchra</i>        | 1                |                 | 1                |                  |
| <i>Urothoe brevicornis</i>     |                  |                 | 1                |                  |
| <i>Bathyporeia elegans</i>     |                  | 1               | 1                | 3                |
| <i>Bathyporeia pelagica</i>    | 3                | 1               |                  |                  |
| <i>Pontocrates altamarinus</i> |                  |                 |                  | 2                |
| <i>Pontocrates arenarius</i>   |                  |                 | 1                |                  |
| <i>Pariambus typicus</i>       |                  |                 |                  | 1                |
| <i>Phtisica marina</i>         |                  |                 | 1                |                  |
| <i>Gastrosaccus spinifer</i>   |                  | 1               |                  | 1                |
| <i>Schistomysis kervillei</i>  | 1                |                 |                  |                  |
| <i>Crangon crangon</i>         | 1                |                 | 1                |                  |
| <i>Portunus latipes</i>        | 13               | 5               | 1                | 14               |
| <b>Echinodermes</b>            |                  |                 |                  |                  |
| <i>Ophiura albida</i>          |                  | 1               |                  |                  |
| <b>Poissons</b>                |                  |                 |                  |                  |
| <i>Echiichthys vipera</i>      |                  |                 |                  | 1                |
| <i>Ammodytes tobianus</i>      |                  | 1               |                  |                  |
| <i>Solea solea</i>             | 2                |                 |                  |                  |
| <b>TOTAL</b>                   | <b>72</b>        | <b>45</b>       | <b>173</b>       | <b>88</b>        |
| Richesse spécifique            | 11               | 10              | 18               | 11               |

Annexe 8.4 : Point C, biomasse en mg·m<sup>-2</sup>

|                                | 10-févr-12       | 23-mars-12      | 06-juil-12       | 14-nov-12        |
|--------------------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|
|                                | 1 m <sup>2</sup> | 1m <sup>2</sup> | 1 m <sup>2</sup> | 1 m <sup>2</sup> |
| <b>Cnidaires</b>               |                  |                 |                  |                  |
| <i>Sagartia troglodytes</i>    |                  |                 | 2                |                  |
| <b>Annélides Polychètes</b>    |                  |                 |                  |                  |
| <i>Spio martinensis</i>        | 0,1              |                 | 3,9              |                  |
| <i>Spiophanes bombyx</i>       |                  |                 | 0,1              |                  |
| <i>Scolelepis squamata</i>     | 11,3             | 11,4            | 0,7              | 8,9              |
| <i>Capitella capitata</i>      |                  |                 | 0,2              |                  |
| <i>Lumbrineris tetraura</i>    |                  | 18,3            |                  |                  |
| <i>Hesionura elongata</i>      |                  | 0,3             |                  |                  |
| <i>Eumida bahusiensis</i>      |                  |                 | 0,7              |                  |
| <i>Phyllodoce mucosa</i>       | 2,0              |                 |                  | 0,1              |
| <i>Nephtys cirrosa</i>         | 193,6            | 194,8           | 635,6            | 295,1            |
| <i>Lanice conchilega</i>       |                  |                 | 2,1              |                  |
| <b>Annélides Oligochètes</b>   |                  |                 |                  |                  |
| <i>Tubificoides benedeni</i>   |                  |                 |                  | 0,1              |
| <b>Mollusques Bivalves</b>     |                  |                 |                  |                  |
| <i>Mysella bidentata</i>       |                  |                 |                  | 0,1              |
| <i>Mytilus edulis</i>          |                  |                 | 0,3              |                  |
| <b>Némertes</b>                |                  |                 |                  |                  |
| <i>Lineus bilineatus</i>       |                  |                 | 18               |                  |
| <i>Nemertes sp</i>             | 2,3              |                 |                  |                  |
| <b>Sipunculiens</b>            |                  |                 |                  |                  |
| <i>Nephasoma minutum</i>       |                  |                 | 0,3              |                  |
| <b>Crustacés</b>               |                  |                 |                  |                  |
| <i>Eurydice pulchra</i>        | 1,4              |                 | 2                |                  |
| <i>Urothoe brevicornis</i>     |                  |                 | 0,9              |                  |
| <i>Bathyporeia elegans</i>     |                  | 0,3             | 0,3              | 1,3              |
| <i>Bathyporeia pelagica</i>    | 0,3              | 0,4             |                  |                  |
| <i>Pontocrates altamarinus</i> |                  |                 |                  | 0,6              |
| <i>Pontocrates arenarius</i>   |                  |                 | 0,3              |                  |
| <i>Pariambus typicus</i>       |                  |                 |                  | 0,1              |
| <i>Phtisica marina</i>         |                  |                 | 0,1              |                  |
| <i>Gastrosaccus spinifer</i>   |                  | 4,9             |                  | 1,1              |
| <i>Schistomysis kervillei</i>  | 2,3              |                 |                  |                  |
| <i>Crangon crangon</i>         | 0,4              |                 | 0,5              |                  |
| <i>Portumnus latipes</i>       | 156,3            | 220,8           | 3,6              | 160,1            |
| <b>Echinodermes</b>            |                  |                 |                  |                  |
| <i>Ophiura albida</i>          |                  | 25,4            |                  |                  |
| <b>Poissons</b>                |                  |                 |                  |                  |
| <i>Echiichthys vipera</i>      |                  |                 |                  | 298              |
| <i>Ammodytes tobianus</i>      |                  | 31,8            |                  |                  |
| <i>Solea solea</i>             | 4,2              |                 |                  |                  |
| <b>TOTAL</b>                   | <b>374,2</b>     | <b>508,4</b>    | <b>671,6</b>     | <b>765,5</b>     |
| Richesse spécifique            | 11               | 10              | 18               | 11               |