

# Surveillance Écologique et Halieutique Site de Gravelines

Novembre 2012 - Octobre 2013



Amphipode du benthos intertidal de Gravelines– *Bathyporeia pilosa*  
(Photo : Aurélie Foveau)



## FICHE DOCUMENTAIRE

<b>Numéro d'identification du rapport :</b> RST-ODE/LITTORAL/LER/BL/14.01		<b>date de publication</b> Avril 2014
<b>Diffusion :</b> libre <input type="checkbox"/> restreinte <input type="checkbox"/> interdite <input type="checkbox"/>		<b>nombre de pages</b> 160
<b>Validé par :</b> Groupe de lecture Ifremer et EDF		<b>bibliographie</b> (Oui / <del>Non</del> )
<b>Version du document :</b> Définitive		<b>illustration(s)</b> (Oui / <del>Non</del> )
<b>langue du rapport</b> Français		
<b>Titre et sous-titre du rapport :</b> Surveillance écologique du site de production électronucléaire de Gravelines Novembre 2012– Octobre 2013		
<b>Titre traduit :</b> Ecological monitoring of the Gravelines nuclear power plant November 2012 – October 2013		
<b>Auteur(s) principal(aux) :</b> ANTAJAN Elvire DELESMONT Régis FOVEAU Aurélie HERVIO-HEATH Dominique LEFEBVRE Alain LOOTS Christophe LUCZAK Christophe	<b>Organisme / Direction / Service, laboratoire</b> Ifremer Boulogne  GEMEL Ifremer Brest Ifremer Boulogne Ifremer Boulogne Station Marine de Wimereux	
<b>Collaborateur(s) :</b> BLONDEL Camille DUQUESNE Vincent GEVAERT François HEBERT Pascale LEFEBVRE Valérie LOUIS Wilfried VERIN Françoise	<b>Organisme / Direction / Service, laboratoire</b> Ifremer Boulogne Ifremer Boulogne Station Marine de Wimereux Ifremer Boulogne Ifremer Boulogne Ifremer Boulogne 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 2013 à 2018		<b>Marchés :</b> EDF : C4493C0850 Ifremer : 13/6210102/MF
<b>Organisme commanditaire :</b> Electricité de France (E.D.F.) – Production transport – CNPE Gravelines BP 149 - 59820 Gravelines		
<b>Organisme(s) réalisateur(s) :</b> Institut Français de Recherche pour l'Exploitation durable de la MER (Ifremer) – 150, quai Gambetta 62200 Boulogne-sur-Mer Station Marine de Wimereux – 28, avenue Foch – 62930 Wimereux Flandres Analyses – Port 2551, quai des monitors, 59000 Dunkerque Groupe d'Étude des Milieux Estuariens et Littoraux (Gémel) – 115, Quai Jeanne d'Arc, 80230 Saint Valéry		
<b>Responsable scientifique :</b> ANTAJAN Elvire Ifremer Boulogne-sur-Mer		
<b>Cadre de la recherche :</b> Surveillance des centrales nucléaires littorales et estuariennes		
<b>Projet :</b> Impacts des Grands Aménagements IGA <b>Campagne océanographique :</b> IGA Gravelines 2013 – N/O : L'Émeraude		

**Résumé**

Ce travail constitue le 36<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 36<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.

**Mots-clés :**

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

**Keywords :**

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

**Commentaire**

Ce document doit être cité de la manière suivante :

Antajan E, Delesmont R, Foveau A, Hervio-Heath D, Lefebvre A, Loots C, Luczak C (2010) Surveillance écologique et halieutique du site de Gravelines, novembre 2012 – octobre 2013. Ifremer RST.ODE/LITTORAL/LER/BL14.01, avril 2014, 160p



## RÉSUMÉ & CONCLUSIONS

### Période de surveillance Novembre 2012 – Octobre 2013

#### Généralités et bilan du fonctionnement du CNPE

La stratégie de surveillance du milieu reste inchangée depuis 1993 pour l'ensemble des compartiments étudiés. Les deux campagnes pélagiques ont eu lieu le 28 juin et le 23 septembre 2013.

Pour la période de novembre 2012 à octobre 2013, la puissance électrique produite par le CNPE correspondait en moyenne hebdomadaire à l'équivalent de 3,2 à 6 tranches de 900 MWe, nécessitant un débit d'eau de mer pour le refroidissement des condenseurs de 158 à 240 m<sup>3</sup>/s. L'échauffement hebdomadaire moyen mesuré au canal de rejet était de 10,6°C.

Le procédé d'électrochloration du circuit de refroidissement permettant de lutter contre le développement de salissures biologiques a été mis en fonctionnement pendant 6 mois seulement. De très faibles concentrations de bromoforme, composé chimique issu du processus de chloration, ont été mesurées mais cela reste trois fois inférieur à la limite maximale autorisée par l'arrêté ministériel du 7 novembre 2003 (J.O. du 13 janvier 2004). 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 3,5 %.

#### Climatologie et Hydrologie

La tendance au refroidissement des eaux observée depuis 2010 se confirme cette année. Les températures moyennes de mars à juin étant les plus basses depuis 1986. La période de plus forte précipitation reste l'automne (octobre à décembre), mais en 2013 les mois de mars et de juillet ont également connus de fortes précipitations qui associées à des vents de Nord-Est ont contribué à une dessalure de l'eau mesurée au canal de prise (< 33).

Aucune température supérieure à 30°C, de novembre à mai, et à 35°C, de juin à octobre, n'a été enregistrée au point *rejet* 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-I).

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 du CNPE reste toujours géographiquement limitée.

#### 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 (< 60). 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 71 % et 81 % d'isolement au niveau des canaux de prise et de rejet. *Vibrio damsela* était la deuxième espèce la plus isolée (respectivement 12 et 6 % aux canaux de prise et de rejet). Une seule souche de *Vibrio cholerae* a été isolée sur cette période de surveillance (le 03/01/2013), mais elle n'était pas agglutinable par les sérums anti-*Vibrio cholerae* O1 et anti-*Vibrio cholerae* O139 et était, de plus, non-halophile stricte, ce qui permet de la différencier des souches épidémiques présentant un risque sanitaire.

## Phytoplancton

Cette année était caractérisée par un développement phytoplanctonique plus précoce et de relativement moindre ampleur, dominé par la famille des diatomées ou bacillariophytes, sauf lors des proliférations de la prymnésiophytes *Phaeocystis globosa*. Cette espèce classifiée comme susceptible d'altérer le fonctionnement de l'écosystème du fait de la forte production de biomasse qu'elle induit, n'a été observée qu'entre fin avril et fin mai 2013 avec une abondance maximale de seulement  $4,5 \cdot 10^6$  cellules par litre, soit 13 fois moins qu'en 2010. 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.

La surveillance du milieu récepteur des eaux chaudes de rejet du CNPE montre une dégradation du phytoplancton dans le canal de rejet et au point *contrôle* probablement dû à l'action conjuguée des effets mécaniques, de la hausse de température et de la chloration lors du transit. Ces effets restent toutefois très localisés et ne sont plus détectés au point *référence*. Les changements observés dans la composition spécifique du phytoplancton ne correspondent 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 sont le reflet de la variabilité saisonnière et pluri-annuelle de la dynamique du phytoplancton.

## Zooplancton

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 2010. Même si le nombre d'individus collectés reste faible, la période de présence s'est étendue d'août à mars, avec une période de reproduction qui semble être plus importante en automne.

Les appendiculaires sont habituellement représentés par une seule espèce, *Oikopleura dioica*, mais cette année l'espèce *Fritillaria borealis* caractéristique des eaux côtières continentales de la baie sud de la Mer du Nord était également présente en abondance sans doute à la faveur de température plus froide et d'une salinité plus faible.

La surveillance du milieu récepteur des eaux chaudes de rejet du CNPE montre que les fortes différences d'abondance que l'on observe parfois aux points *radeau* ou *contrôle* restent très localisées, et que les abondances et la composition zooplanctoniques aux points *référence* et *prise*, non-impactés par les rejets du CNPE, sont conformes au cycle saisonnier des espèces dans la région.

## Zooplancton halieutique

Les abondances d'œufs et larves de sole et de sprat étaient très faibles comme observé depuis plusieurs années ( $< 3 \text{ ind.m}^{-3}$ ).

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

## Benthos intertidal

Les sédiments de l'estran du Petit-Fort-Philippe sont majoritairement constitués de sables fins et moyens. On ne note pas, en 2013, d'évolution majeure de la morphologie de l'estran.

La richesse spécifique était en progression cette année aussi, comme depuis 2009, avec dix taxa supplémentaires comptabilisés. Par contre les densités de la macrofaune benthique ont diminué du

fait notamment de la diminution d'espèces grégaires comme les populations de *Peringia ulvae* et *Corophium arenarium*.

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**

Les sédiments au point B (situé en dehors de l'impact courantologique de la centrale) sont majoritairement de sables fins, alors que ceux du point C (impacté par le panache de rejet de la centrale) sont composés essentiellement de sables moyens. Aux deux points la fraction grossière (gravier) reste toujours très faible alors que la composition en pélites, absentes au point C, marque au point B le cycle saisonnier, plus importante en automne qu'en été.

Si la richesse spécifique au deux points était en baisse cette année par rapport aux années précédentes, la densité et la biomasse étaient par contre plus importantes signe d'un recrutement important dans le macrobenthos. Au point B on a relevé notamment le très bon recrutement du bivalve *Macoma baltica* et des annélides polychètes *Lanice conchilega*, *Scoloplos armiger*, *Eumida sanguinea* et *Spiophanes bombyx*. Au point C les espèces vasicoles font place aux espèces sabulicoles comme l'annélide polychète *Nephtys cirrosa* et le crabe *Portumnus latipes*.

Si le déficit en densité et biomasse est toujours important entre le point B et C, du fait de l'impact du courant des eaux de rejet de la centrale au point C, on constate néanmoins que le peuplement du point C reste stable dans le temps et similaire à ce que l'on retrouve ailleurs dans la région sur des sédiments sableux. De plus le déficit observé, lié au changement de structure granulométrique des sédiments au débouché du canal de rejet, ne semble pas s'étendre au-delà de quelques centaines de mètres.



## Sommaire

### Préambule

1.	PRÉSENTATION DU SITE – STRATÉGIE D’ÉTUDE .....	13
1.1.	Rappel sur le site .....	15
1.2.	Hydrographie.....	15
1.3.	Description des installations.....	16
1.4.	Fonctionnement de la centrale .....	17
1.5.	Chloration.....	20
1.6.	Stratégie d’échantillonnage.....	23
1.7.	Éléments de conclusion .....	26
2.	CLIMATOLOGIE ET HYDROLOGIE .....	29
2.1.	Climatologie .....	31
2.2.	Hydrologie .....	33
2.3.	Éléments de conclusion .....	40
3.	ÉTUDE BACTÉRIOLOGIQUE.....	43
2.4.	Bactériologie .....	45
2.5.	Campagnes pélagiques.....	54
2.6.	Éléments de conclusion .....	55
4.	PHYTOPLANCTON ET BIOMASSE CHLOROPHYLLIENNE .....	61
4.1.	Introduction .....	62
4.2.	Méthodologie.....	63
4.3.	Chlorophylle a et pourcentage de chlorophylle active au point prise.....	64
4.4.	Abondance, composition du phytoplancton et indices de diversité au point prise ...	66
4.5.	Campagnes pélagiques.....	70
4.6.	Dynamique de développement du phytoplancton à méso-échelle .....	73
4.7.	Éléments de conclusion .....	74
5.	ZOOPLANCTON .....	79
5.1.	Méthodologie.....	81
5.2.	Surveillance au canal d’amenée .....	83
5.3.	Surveillance du milieu récepteur .....	92
5.4.	Éléments de conclusion .....	96
6.	ICHTYOPLANCTON ET LARVES DE CREVETTE GRISE .....	99
6.1.	Introduction .....	101
6.2.	Matériels et méthodes.....	101
6.3.	Résultats- Discussion.....	103
6.4.	Éléments de conclusion .....	110
7.	LE DOMAINE BENTHIQUE INTERTIDAL .....	113
7.1.	Introduction .....	115
7.2.	Matériels et méthodes.....	115
7.3.	Terminologie utilisée .....	118
7.4.	Résultats .....	118
7.5.	Conclusions sur l’évolution de l’estran du Petit-Fort-Philippe.....	129
7.6.	Éléments de conclusion .....	131
8.	LE DOMAINE BENTHIQUE SUBTIDAL .....	145
8.1.	Introduction .....	147
8.2.	Matériels et méthodes.....	147
8.3.	Résultats .....	147
8.4.	Éléments de conclusion .....	154



## Préambule

La commande d'exécution passée par EDF-CNPE de Gravelines à Ifremer (document référencé 5100--4200466386) pour les 5 années 2013 à 2018 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 2012 - 2013,

- L'état d'avancement a été adressé à EDF le 29 juin 2013
- L'édition provisoire du rapport annuel a été transmise à EDF le 8 février 2013.
- L'édition définitive du rapport scientifique annuel fait l'objet du présent document prenant en compte les remarques formulées sur la version provisoire.

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

L'étude, dite d'**Avant-projet**, ayant pour but d'évaluer les principales caractéristiques écologiques du site pressentit 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 2013, 33<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 le fonctionnement de la centrale, la climatologie, l'hydrologie, le zooplancton et la coordination de l'ensemble des études sur ce site,
- **Aurélié FOVEAU** (GEMEL<sup>2</sup>), pour le benthos intertidal
- **Régis DELESMONT & Dominique HERVIO-HEATH** (RBE-SG2M-LSEM<sup>3</sup>), pour l'étude de la bactériologie,
- **Alain LEFEBVRE** (ODE-LER-LERBL), pour le phytoplancton,
- **Christophe LOOTS** (RBE-HMMN-RHBL<sup>4</sup>), pour l'ichtyoplancton,
- **Christophe LUCZAC** (Station Marine de Wimereux), pour le benthos 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> Groupe d'Étude des Milieux Estuariens et Littoraux (GEMEL)

<sup>3</sup> Département des Ressources Biologiques et Environnement (RBE), Unité Environnement, Microbiologie et Phycotoxines (EMP), Laboratoire Santé Environnement et Microbiologie (LSEM)

<sup>4</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







Les débits mensuels de l'Aa sont plus importants en automne et en hiver (maximum 17,5 m<sup>3</sup>/s en janvier, figure 1.2).

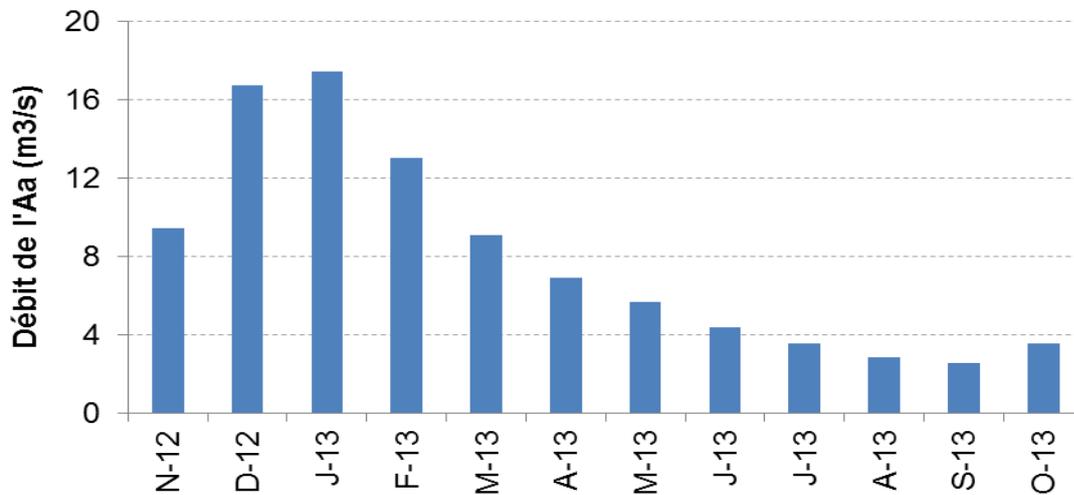


Figure 1.2 Débits mensuels de l'Aa pour la période 2012-2013  
(Données DREAL Nord-Pas-de-Calais)

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 réacteurs d'une puissance électrique unitaire d'environ 900 MWe. Le circuit de refroidissement est alimenté en eau de mer prélevée dans l'avant-port de Dunkerque et son débit est de 40 m<sup>3</sup> par seconde et par tranche. Le débit nominal total du rejet est ainsi de 240 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>/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 1.3).

<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.

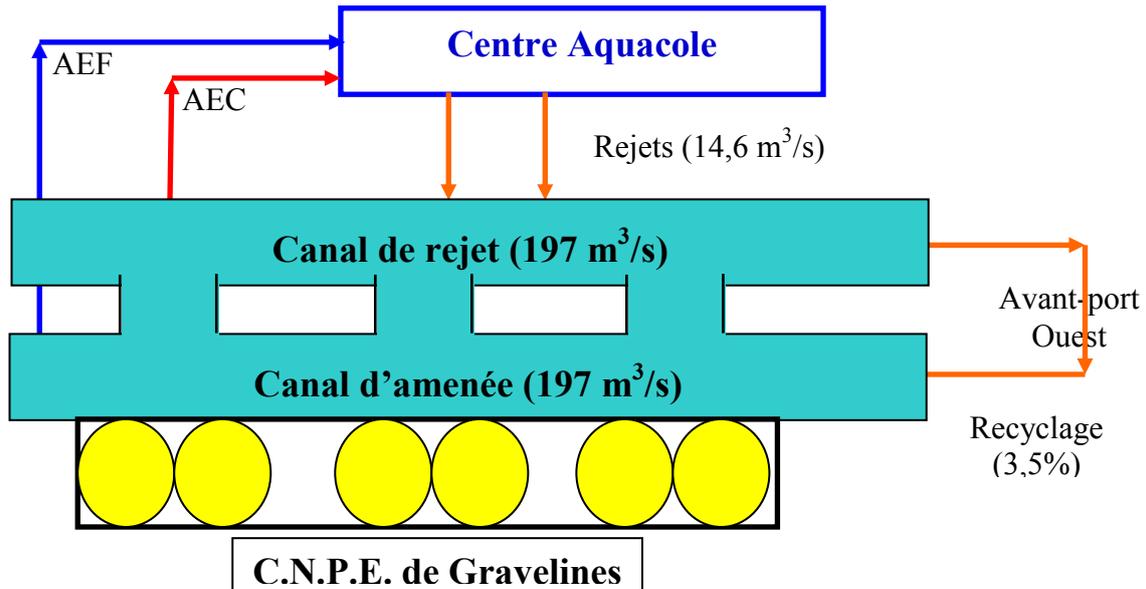


Figure 1.3 Schéma de la circulation de l'eau sur le site de Gravelines (Valeurs chiffrées en 2013)  
(AEC : Alimentation Eau Chaude (11,5 m<sup>3</sup>/s) - AEF : Alimentation Eau Froide (3,1 m<sup>3</sup>/s))

#### 1.4. Fonctionnement de la centrale

Ce paragraphe est réalisé à partir des données de fonctionnement communiquées par le CNPE de Gravelines. Les données de températures fournies par EDF proviennent des thermographes situés dans le canal de prise d'eau (en amont des installations, thermographe n°10) et dans le canal de rejet (en aval des installations dans une zone où la dilution des apports thermiques est réalisée, thermographe n°11).

En 2012-2013, la puissance électrique produite par le CNPE correspondait en moyenne hebdomadaire à l'équivalent de 3,2 à 6 tranches de 900 MW (figure 1.4 et tableau 1.1). La production était comme à l'habitude plus importante en saison froide. La puissance moyenne de la période était de 4063 MW, soit l'équivalent de 4,5 tranches. Les débits d'eau de mer de refroidissement des condenseurs ont varié de 158 à 240 m<sup>3</sup>/s, soit les débits unitaires de pompage de 4 à 6 tranches (figure 1.4 et tableau 1.1). Le débit moyen calculé sur une base hebdomadaire était de 197 m<sup>3</sup>/s, soit l'équivalent du débit de pompage de 4,9 tranches.

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 variations de production électrique 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 2012-2013, ces variations ont été relativement faibles (figure 1.5 et tableau 1.1) :

Échauffement hebdomadaire moyen calculé par EDF :  $9,9 \pm 1,0$  °C

Échauffement hebdomadaire moyen mesuré par EDF :  $10,6 \pm 1,0$  °C

Échauffement hebdomadaire ponctuel mesuré par Flandres Analyses :  $9,1 \pm 1,4$  °C (cf. § 2.1)

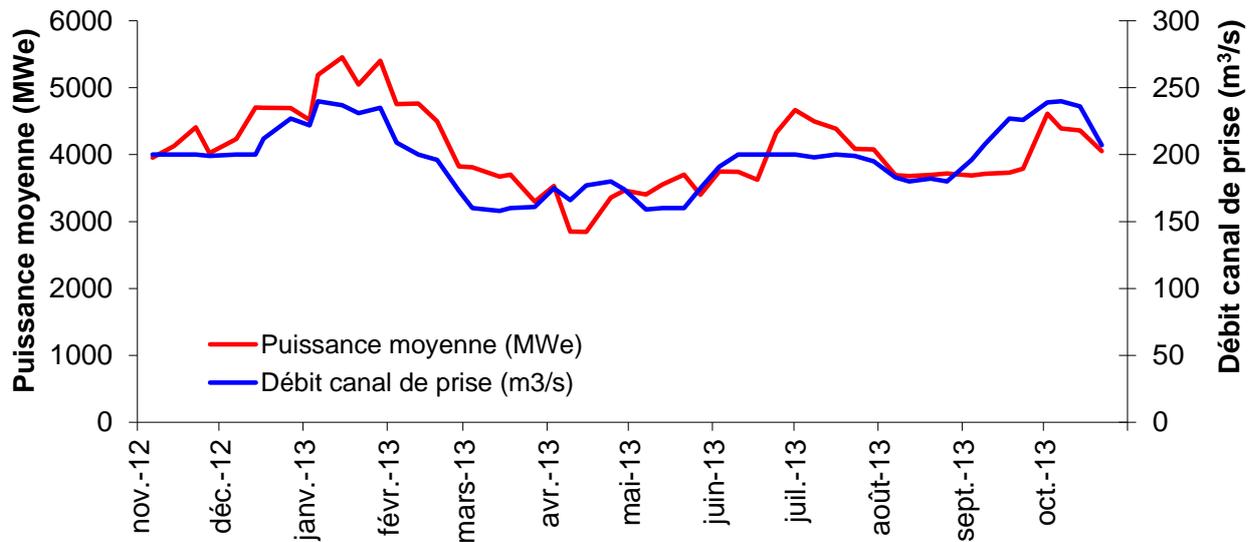


Figure 1.4 Fonctionnement de la centrale de Gravelines pour la période 2012-2013

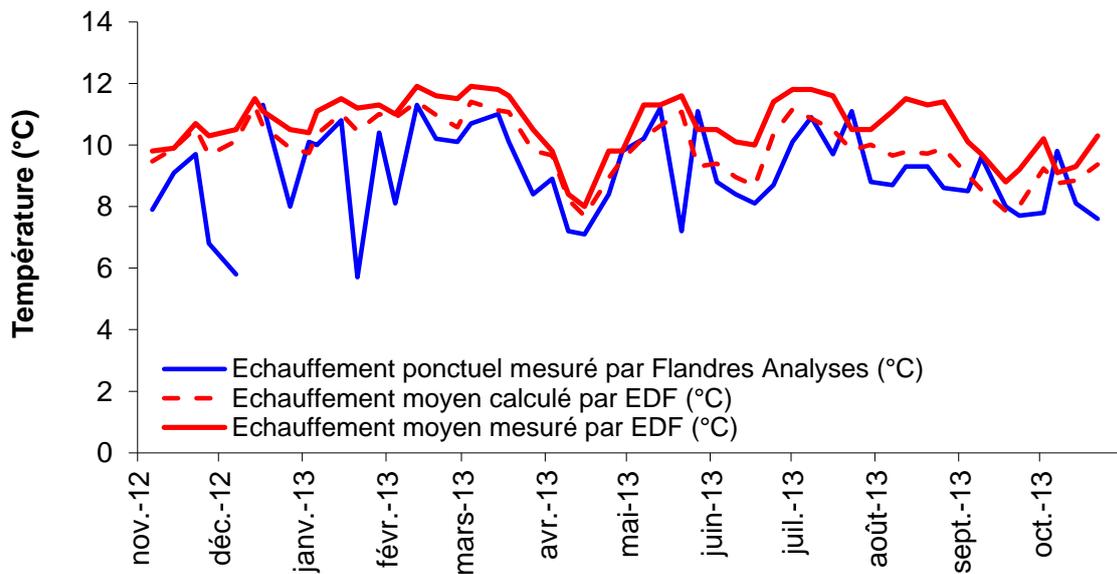


Figure 1.5 Comparaison entre les échauffements calculés et mesurés au canal de rejet (L'échauffement ponctuel mesuré le 14/12/2012 étant anormalement bas, la valeur a été supprimée)

L'écart moyen entre l'échauffement calculées et mesurées au canal de rejet par EDF était de 0,7 °C.

**Tableau 1.1. Fonctionnement de la centrale en 2012-2013  
(Débit et puissance calculés à partir des données fournies par EDF)**

Année	Semaine		Puissance moyenne MW	Débit canal m <sup>3</sup> /s	Echauffement moyen		Echauffement ponctuel mesuré par Flandres Analyses (°C)
	du	au			calculé par EDF (°C)	mesuré par EDF (°C)	
2012	29-oct	04-nov	3718	200	8.9	9.3	7.0
	05-nov	11-nov	3958	200	9.5	9.8	7.9
	12-nov	18-nov	4131	200	9.9	9.9	9.1
	19-nov	25-nov	4410	200	10.5	10.7	9.7
	26-nov	02-déc	4022	199	9.7	10.3	6.8
	03-déc	09-déc	4234	200	10.1	10.5	5.8
	10-déc	16-déc	4706	200	11.3	11.5	
	17-déc	23-déc	4703	212	10.6	11.1	11.3
	24-déc	30-déc	4697	227	9.9	10.5	8.0
	2013	31-déc	06-janv	4517	222	9.7	10.4
07-janv		13-janv	5194	240	10.4	11.1	10.0
14-janv		20-janv	5457	237	11.0	11.5	10.8
21-janv		27-janv	5048	231	10.5	11.2	5.7
28-janv		03-févr	5405	235	11.0	11.3	10.4
04-févr		10-févr	4754	209	10.9	11.0	8.1
11-févr		17-févr	4766	200	11.4	11.9	11.3
18-févr		24-févr	4496	196	11.0	11.6	10.2
25-févr		03-mars	3823	173	10.6	11.5	10.1
04-mars		10-mars	3813	160	11.4	11.9	10.7
11-mars		17-mars	3673	158	11.1	11.8	11.0
18-mars		24-mars	3702	160	11.1	11.6	10.1
25-mars		31-mars	3301	161	9.8	10.5	8.4
01-avr		07-avr	3533	175	9.7	9.8	8.9
08-avr		14-avr	2852	166	8.2	8.4	7.2
15-avr		21-avr	2845	177	7.7	8.0	7.1
22-avr		28-avr	3358	180	8.9	9.8	8.4
29-avr		05-mai	3466	174	9.5	9.8	9.8
06-mai		12-mai	3404	159	10.2	11.3	10.2
13-mai		19-mai	3552	160	10.6	11.3	11.2
20-mai		26-mai	3703	160	11.1	11.6	7.2
27-mai		02-juin	3401	175	9.3	10.5	11.1
03-juin		09-juin	3749	191	9.4	10.5	8.8
10-juin		16-juin	3744	200	9.0	10.1	8.4
17-juin		23-juin	3623	200	8.7	10.0	8.1
24-juin		30-juin	4327	200	10.4	11.4	8.7
01-juil		07-juil	4665	200	11.2	11.8	10.1
08-juil		14-juil	4497	198	10.9	11.8	10.9
15-juil		21-juil	4386	200	10.5	11.6	9.7
22-juil		28-juil	4088	199	9.8	10.5	11.1
29-juil		04-août	4079	195	10.0	10.5	8.8
05-août		11-août	3692	183	9.7	11.1	8.7
12-août	18-août	3679	180	9.8	11.5	9.3	
19-août	25-août	3697	182	9.7	11.3	9.3	
26-août	01-sept	3719	180	9.9	11.4	8.6	
02-sept	08-sept	3691	196	9.0	10.1	8.5	
09-sept	15-sept	3712	208	8.5	9.7	9.6	
16-sept	22-sept	3731	227	7.9	8.8	8.0	
23-sept	29-sept	3790	226	8.0	9.2	7.7	
30-sept	06-oct	4613	239	9.2	10.2	7.8	
07-oct	13-oct	4390	240	8.8	9.1	9.8	
14-oct	20-oct	4363	236	8.8	9.3	8.1	
21-oct	27-oct	4051	207	9.4	10.3	7.6	
		MIN	2845	158	7.7	8.0	5.7
		MAX	5457	240	11.4	11.9	11.3
		Moyenne	4056	197	9.9	10.6	9.0
		écart-type			1.0	1.0	1.4

## 1.5. 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. Sur la période 2012-2013, de l'oxydant résiduel, exprimé en chlore total<sup>1</sup>, n'a été détecté que durant les prélèvements du 16/07/2013 au 12/08/2013 à des concentrations de l'ordre de 0,1 mg.l<sup>-1</sup> et uniquement au canal de rejet.

La disparition du chlore s'accompagne de la formation de composés chimiques stables, les trihalométhanes<sup>2</sup> (essentiellement le bromoforme) et d'autres composés en quantités beaucoup plus faibles comme les bromo-phénols<sup>3</sup>. La figure 1.6 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'a pas été détecté dans le canal de rejet entre le 7/12/2012 et le 21/05/2013. Quelques faibles valeurs positives ont cependant été dosées durant cette période mais elles ne semblent pas pouvoir provenir de la centrale en raison des valeurs supérieures dans l'eau du canal d'amenée à celles du canal de rejet.

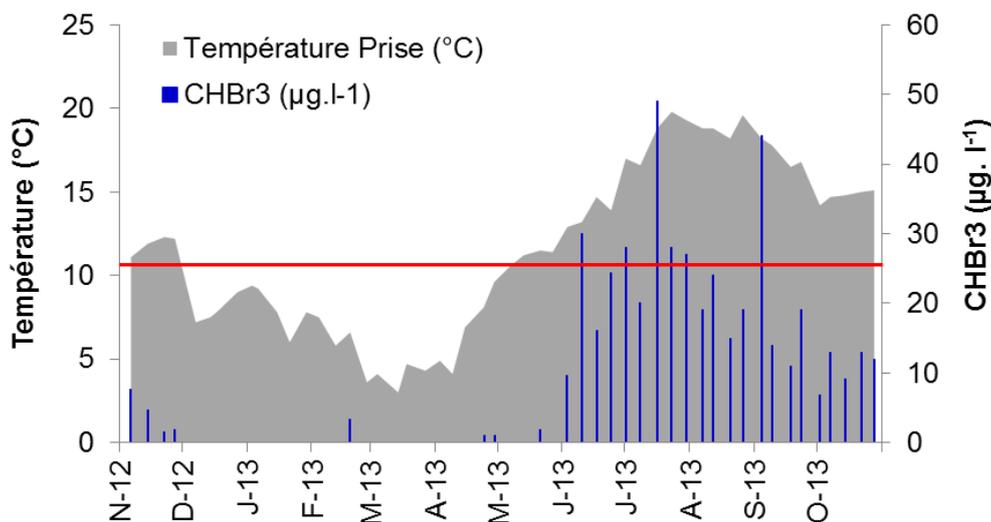


Figure 1.6 Concentration du bromoforme au canal de rejet en relation avec la température de l'eau au canal de prise

En période de chloration, le bromoforme représente habituellement à Gravelines environ 97 % des haloformes formés. En 2013, il est le seul haloforme mis en évidence en raison de seuils de détection plus élevés pour les autres composés que lors des études précédentes. La concentration moyenne de bromoforme était de 15,8 µg.l<sup>-1</sup> (figure 1.6 et tableau 1.2). Cette concentration moyenne est voisine des valeurs habituellement observées les années précédentes (environ 10 à 20 µg.l<sup>-1</sup>). Cette concentration correspond pour la période de chloration de 7 mois à la production d'environ 56 tonnes de bromoforme.

<sup>1</sup> Le chlore est mesuré selon la méthode spectrophotométrique d'absorption moléculaire à la DPD (diéthyl-p-phenylènediamine) par le laboratoire Flandres Analyses.

<sup>2</sup> Les trihalométhanes ont été mesurés par chromatographie en phase gazeuse avec détection par spectrométrie de masse (NF EN ISO 10301) par le laboratoire Flandres Analyses.

<sup>3</sup> Les bromo-phénols ont été mesurés par chromatographie en phase gazeuse (NF EN ISO 6468) par le laboratoire LICAAL

**Tableau 1.2 Concentration hebdomadaire du chlore résiduel et des haloformes aux canaux de prise et de rejet pour la période 2012-2013**

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

Date	Canal d'amenée				Canal de rejet			
	Chlore tot.DPD (mg.l <sup>-1</sup> )	CHCl <sub>2</sub> Br (µg.l <sup>-1</sup> )	CHClBr <sub>2</sub> (µg.l <sup>-1</sup> )	CHBr <sub>3</sub> (µg.l <sup>-1</sup> )	Chlore tot.DPD (mg.l <sup>-1</sup> )	CHCl <sub>2</sub> Br (µg.l <sup>-1</sup> )	CHClBr <sub>2</sub> (µg.l <sup>-1</sup> )	CHBr <sub>3</sub> (µg.l <sup>-1</sup> )
06/11/12	-	<0.02	<0.02	0.4	<0.03	<0.02	0.2	7.7
14/11/12	-	<0.02	<0.02	0.2	<0.03	<0.02	0.1	4.7
22/11/12	-	<0.02	<0.02	0.2	<0.03	<0.02	0.1	1.5
27/11/12	-	<0.02	<0.02	0.1	<0.03	<0.02	<0.02	1.9
07/12/12	-	<0.02	<0.02	<0.10	<0.03	<0.02	<0.02	<0.10
14/12/12	-	<0.02	<0.02	<0.10	<0.03	<0.02	<0.02	<0.10
17/12/12	-	<0.02	<0.02	<0.10	<0.03	<0.02	<0.02	<0.10
27/12/12	-	<0.02	<0.02	<0.10	<0.03	<0.02	<0.02	<0.10
03/01/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	<1
06/01/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	<1
15/01/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	<1
21/01/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	<1
29/01/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	<1
04/02/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	<1
12/02/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	<1
19/02/13	<0.1	<1	<1	7.3	<0.1	<1	<1	3.4
27/02/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	<1
04/03/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	<1
14/03/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	<1
18/03/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	<1
27/03/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	<1
03/04/13	<0.1	<1	<1	1.8	<0.1	<1	<1	<1
09/04/13	<0.1	<1	<1	1.2	<0.1	<1	<1	<1
15/04/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	<1
24/04/13	<0.1	<1	<1	4.9	<0.1	<1	<1	1.0
29/04/13	<0.1	<1	<1	2.5	<0.1	<1	<1	1.0
07/05/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	<1
13/05/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	<1
21/05/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	1.9
27/05/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	<1
03/06/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	9.6
10/06/13	<0.1	<1	<1	2.4	<0.1	<1	<1	30.0
17/06/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	16.0
24/06/13	<0.1	<1	<1	5.1	<0.1	<1	<1	24.3
01/07/13	<0.1	<1	<1	1.6	<0.1	<1	<1	28.0
08/07/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	20.0
16/07/13	<0.1	<1	<1	<1	0.13	1.5	<1	49.0
23/07/13	<0.1	<1	<1	<1	0.12	<1	<1	28.0
30/07/13	<0.1	<1	<1	1.6	0.10	<1	<1	27.0
07/08/13	<0.1	<1	<1	<1	0.13	<1	<1	19.0
12/08/13	<0.1	<1	<1	<1	0.10	<1	<1	24.0
20/08/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	15.0
26/08/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	19.0
04/09/13	<0.1	<1	<1	4.8	<0.1	<1	<1	44.0
09/09/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	14.0
18/09/13	<0.1	<1	<1	1.7	<0.1	<1	<1	11.0
23/09/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	19.0
02/10/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	6.8
07/10/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	13.0
14/10/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	9.1
22/10/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	13.0
28/10/13	<0.1	<1	<1	<1	<0.1	<1	<1	12.0

La persistance du bromoforme en mer permet également de quantifier le pourcentage d'eau de refroidissement qui passe une seconde fois dans la centrale (« taux de recirculation »). La valeur calculée en 2012-2013 était de 3,5 %. 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.

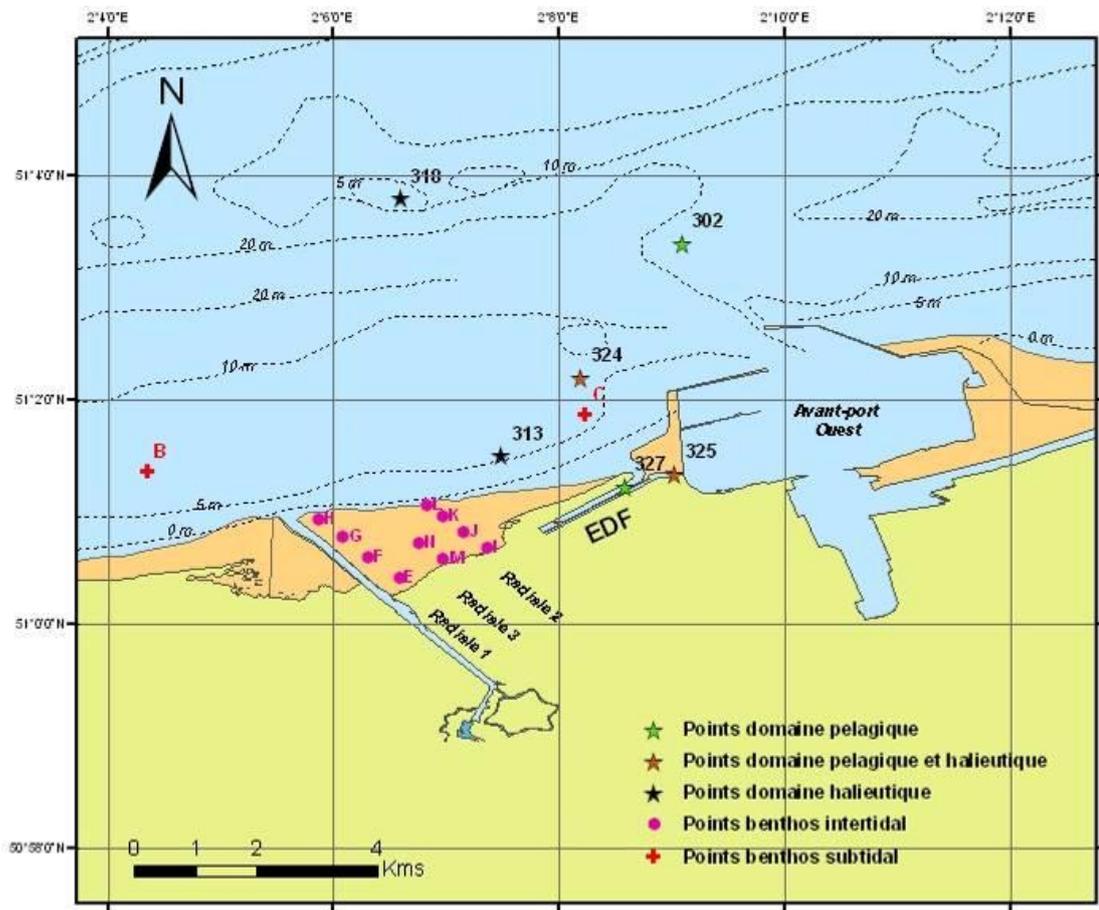
Des recherches de bromo-phénols, composés issus de la chloration, de masses molaires plus importantes que les trihalométhanes, ont été réalisées de façon mensuelle. Les dosages ont été réalisés en chromatographie en phase gazeuse après dérivation. Habituellement de faibles quantités de 2,4,6 tribromo-phénol étaient détectées durant la saison de chloration. En 2012-2013, la concentration moyenne de ce composé est de 100 ng.l<sup>-1</sup> en saison de chloration (tableau 1.3). En 2013, des seuils de quantification plus bas pour ces dosages ont été obtenus par le laboratoire ce qui a permis la mise en évidence des di- et mono-bromo-phénols.

**Tableau 1.3 Dosages des bromo-phénols au canal de rejet (valeurs en ng.l<sup>-1</sup>)**

Date	2,4,6-tribromo-phénol	2,6-dibromo-phénol	2,4-dibromo-phénol	4-bromo-phénol	3-bromo-phénol	2-bromo-phénol
06/11/2012	70.1	<50.0	<50.0	<1000.0	<1000.0	<1000.0
07/12/2012	<10.0	<50.0	<50.0	<1000.0	<1000.0	<1000.0
29/01/2013	2.3	6.8	15.9	<2.0	<2.0	<2.0
04/02/2013	<2.0	6.1	6.7	<2.0	<2.0	2.4
18/03/2013	8.5	2.0	3.1	5.0	4.8	2.0
03/04/2013	9.6	<2.0	4.3	4.3	4.0	<2.0
27/05/2013	19.2	2.0	2.0	<2.0	<2.0	6.0
03/06/2013	13.4	2.0	2.0	2.0	2.0	8.6
30/07/2013	105.8	3.2	3.2	<2.0	<2.0	27.8
07/08/2013	157.9	241.2	<2.0	<2.0	<2.0	41.3
23/09/2013	208.7	2.0	3.2	<2.0	<2.0	48.1
02/10/2013	87.6	2.0	2.0	<2.0	<2.0	50.1
28/10/2013	136.8	<2.0	2.0	<2.0	<2.0	41.9

## 1.6. 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 1.7.



Station (Réf. Quadrigé)	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 1.7 Localisation des points de prélèvements tous domaines d'études confondus



La liste de l'ensemble des travaux réalisés sur ces points de novembre 2012 à octobre 2013 est résumée dans le tableau 1.4.

**Tableau 1.4 Ensemble des travaux réalisés lors de la surveillance 2012-2013**

2012-2013	Paramètres	Périodicité par point			
<b>DOMAINE PÉLAGIQUE</b>		<b>Prise</b>	<b>Rejet</b>	<b>Contrôle</b>	<b>Référence</b>
	Température	hebdo.	hebdo.	28/06/13 23/09/13	
	Salinité	hebdo.	hebdo.	28/06/13 23/09/13	
<b>Chimie</b>	Sels nutritifs azotés	hebdo.	hebdo.		
	Chlore, haloformes et bromoformes	hebdo.	hebdo.		
	Bromophénols		mensuel		
<b>Bactériologie</b>	Vibrions halophiles	hebdo.	hebdo.	28/06/13 23/09/13	
<b>Phytoplancton</b>	Pigments chlorophylliens Flore totale	hebdo.	28/06/13 23/09/13		
<b>Zooplancton</b>	Méso-zooplancton	mensuel	28/06/13 23/09/13		
<b>DOMAINE HALIEUTIQUE</b>		<b>Prise</b>	<b>Côte</b>	<b>Contrôle</b>	<b>Large</b>
<b>Ichtyoplancton</b>	Soles et sprats (œufs et larves)	25/03/13 10/04/13 16/05/13 29/05/13	10/04/13 16/05/13		
<b>Macrofaune</b>	Crevettes grises	25/03/13 10/04/13 16/05/13 29/05/13	10/04/13 16/05/13		
<b>DOMAINE BENTHIQUE</b>		<b>E-F-G-H</b>	<b>M-N</b>	<b>I-J-K-L</b>	<b>B-C</b>
<b>Benthos intertidal</b>	Sédiment (granulométrie) Macrofaune	27/06/13			
<b>Benthos subtidal</b>	Sédiment (granulométrie) Macrofaune				26/06/13 20/09/13 08/10/13

### 1.6.1. 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 2013 elles ont été réalisées le 28 juin pour la mission printanière et le 23 septembre pour la mission automnale, à bord du navire de pêche l'*Emeraude*. Lors de chaque mission quatre points sont étudiés (tableau 1.5) :

- Le point *prise* (situé à l'entrée du canal d'amenée de la centrale) ;
- Le point *radeau* (situé plus en amont dans le canal de rejet par rapport au point *rejet* suivi hebdomadairement et qui se trouve en sortie du canal) ;

- 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 1.5 Dates et horaires des campagnes pélagiques 2013**

Date	Pleine mer (heure locale)	Coeff. de marée	Prise	Radeau	Contrôle	Référence
28/06/13	17 :11	85	17 :15	15 :55	16 :50	16 :05
23/09/13	15 :40	88	15 :00	14 :25	15 :12	16 :00

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.

### **1.6.2. Domaine halieutique**

La surveillance du zooplancton halieutique comprend quatre campagnes:

- 2 campagnes à quatre points en mer (10 avril et 16 mai 2013) selon un gradient côte-large dans le milieu récepteur.
- 2 campagnes au canal de prise (25 mars et 29 mai 2013).

### **1.6.3. 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 27 juin 2013.

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. Cette année seulement trois campagnes ont pu être réalisées : 26 juin, 20 septembre et 8 novembre 2013).



### 1.7. 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 6 mois sur 12 au cours de la période 2012-2013, et uniquement lorsque la température de l'eau au canal d'amenée était supérieure à 10°C.

En raison d'une évolution dans les seuils analytiques, le bromoforme est le seul haloforme mis en évidence cette année avec une concentration moyenne de 16,1  $\mu\text{g.l}^{-1}$ . Cette concentration moyenne, voisine de celles observées les années précédentes, reste très inférieure à la limite maximale autorisée de 50  $\mu\text{g.l}^{-1}$  (Arrêté ministériel du 7 novembre 2003) mais représente toutefois une production annuelle de l'ordre de 57 tonnes d'haloformes. Les dosages d'haloformes (et en particulier du plus abondant d'entre eux, le bromoforme), permettent, outre leur rôle de traceur de la chloration, de mesurer l'étendue du panache de rejet et d'estimer le taux de recirculation de l'eau de refroidissement (3,5 % cette année).

Des seuils de quantification plus bas ont permis de détecter en très faibles concentrations une gamme plus large de bromo-phénols au canal de rejet.







## 2. CLIMATOLOGIE ET HYDROLOGIE

Auteur : E. Antajan





## 2.1. Climatologie

Le Nord-Pas-de-Calais bénéficie d'un climat tempéré océanique avec des amplitudes thermiques saisonnières faibles et des précipitations qui ne sont négligeables en aucune saison. Le climat de la région Nord se distingue aussi par sa caractéristique septentrionale. L'ensoleillement est réduit, les hivers sont assez froids et les pluies hivernales durables.

### 2.1.1. Précipitations

Le cumul des précipitations mesurées sur la station Météo France de Dunkerque (51°03'N et 2°20'E, altitude 11m) s'est élevé à 693 mm pour la période d'étude (figure 2.1). Les mois de novembre et décembre 2012 et octobre 2013 ont été très humides avec de fortes précipitations (> 100 mm). Il y a eu également de fortes précipitations en mars (61 mm) et en juillet (49 mm, dont 30 mm en 24h le 27/07/2013).

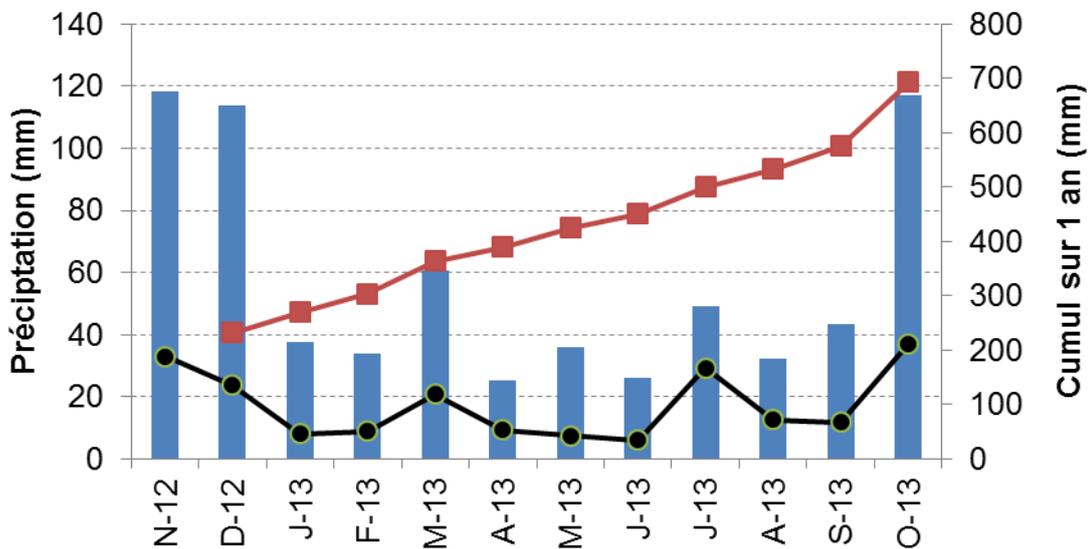


Figure 2.1 Précipitations sur Dunkerque pour la période 2012-2013 : cumul mensuel (bleu), cumul annuel (rouge), cumul maximal en 24h (noir)  
(Données météo-France)

### 2.1.2. Force et direction des vents

La vitesse et la direction mensuelles des vents sur la région de Dunkerque sont représentées sous forme de roses des vents figure 2.2. De novembre 2012 à Janvier 2013, les vents de sud à Sud-Ouest étaient dominants. De février à juillet 2013, les vents de Nord-Est étaient dominants (sauf au mois de mai). En septembre et octobre les vents étaient assez faibles.

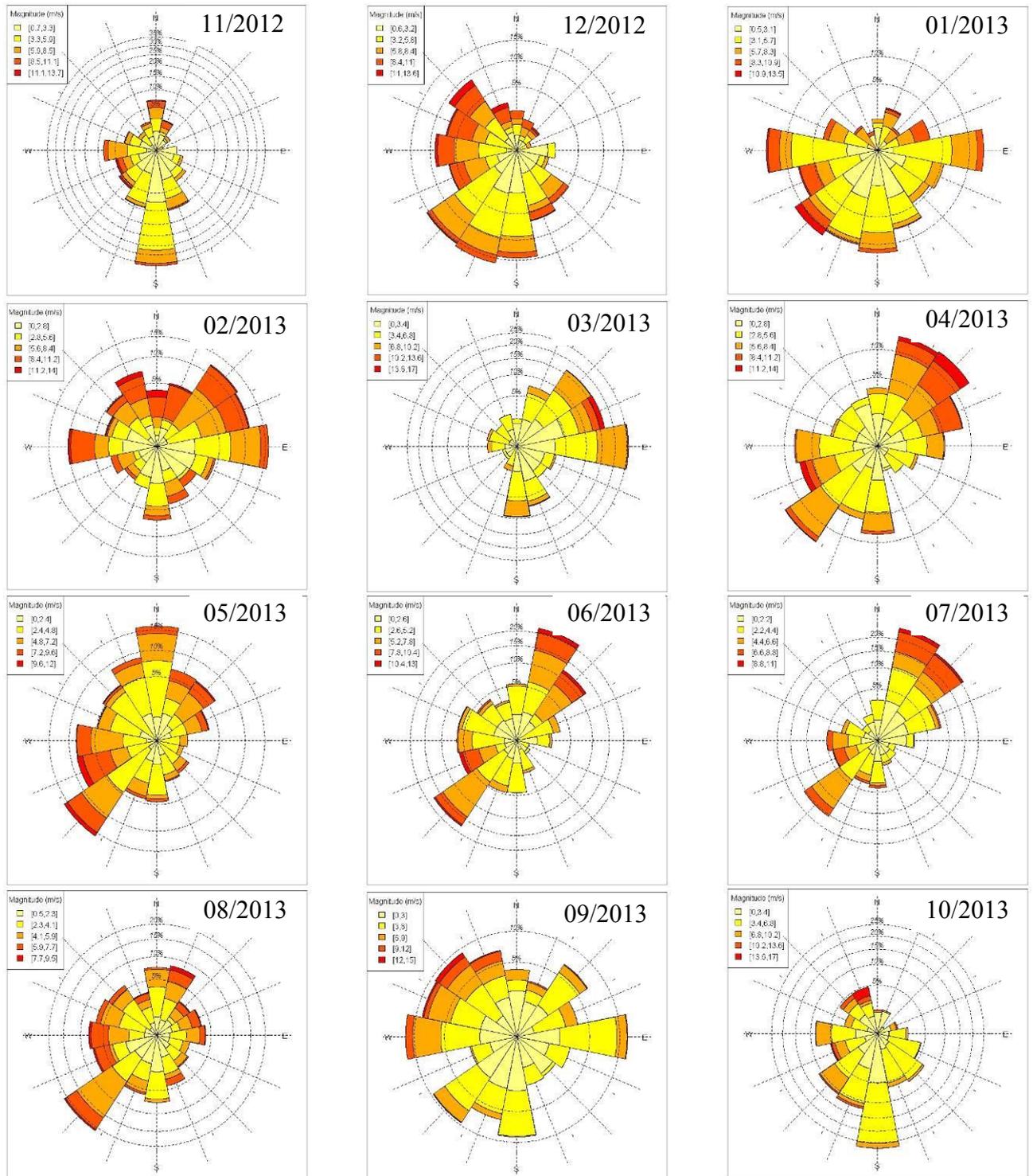


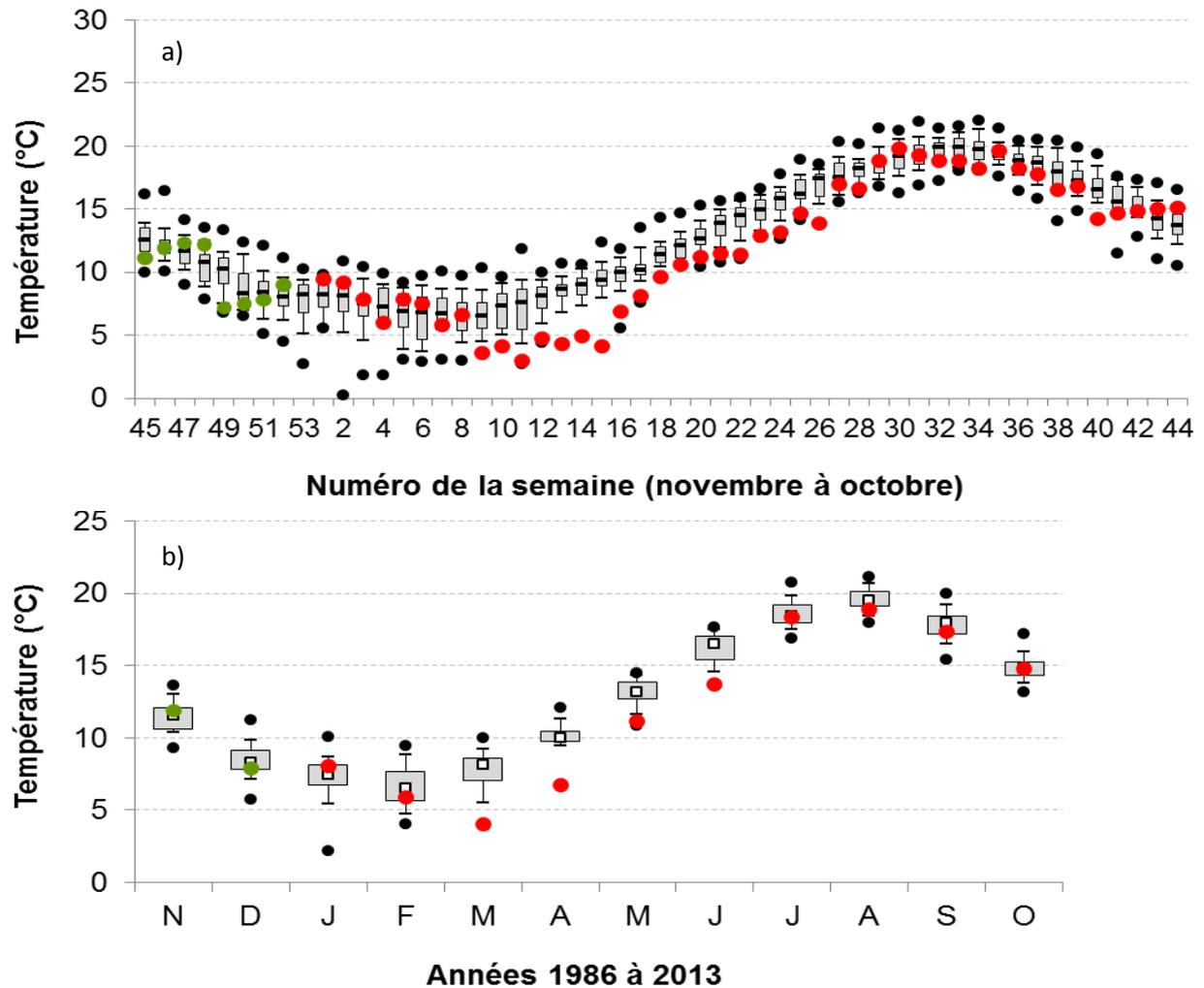
Figure 2.2 Roses des vents mensuelles sur Dunkerque pour la période 2012-2013  
(Données météo-France)

## 2.2. Hydrologie

### 2.2.1. Canaux de prise et de rejet

#### 2.2.1.1. Température

Une température minimale de 3 °C a été observée le 14/03/13 au point de prise d'eau. Le printemps 2013 a en effet été le plus froid observé depuis 1986 (figure 2.3). Les températures les plus chaudes, comprises entre 18 et 20°C, ont été relevées entre fin juillet et début septembre. La moyenne annuelle des températures de l'eau au point *prise* était de 11,6 °C.



**Figure 2.3** Température hebdomadaire (a) et mensuelle (b) de l'eau au canal de prise de 1986-2013 (points verts = données 2012 ; points rouges = données 2013 ; points noirs = données extrêmes depuis 1986 ; carrés noirs = médiane depuis 1986)

La période 2012-2013 a été marquée par des températures en baisse par rapport aux moyennes mensuelles observées depuis 1986, confirmant la tendance au refroidissement observée depuis 2010 (figure 2.4).

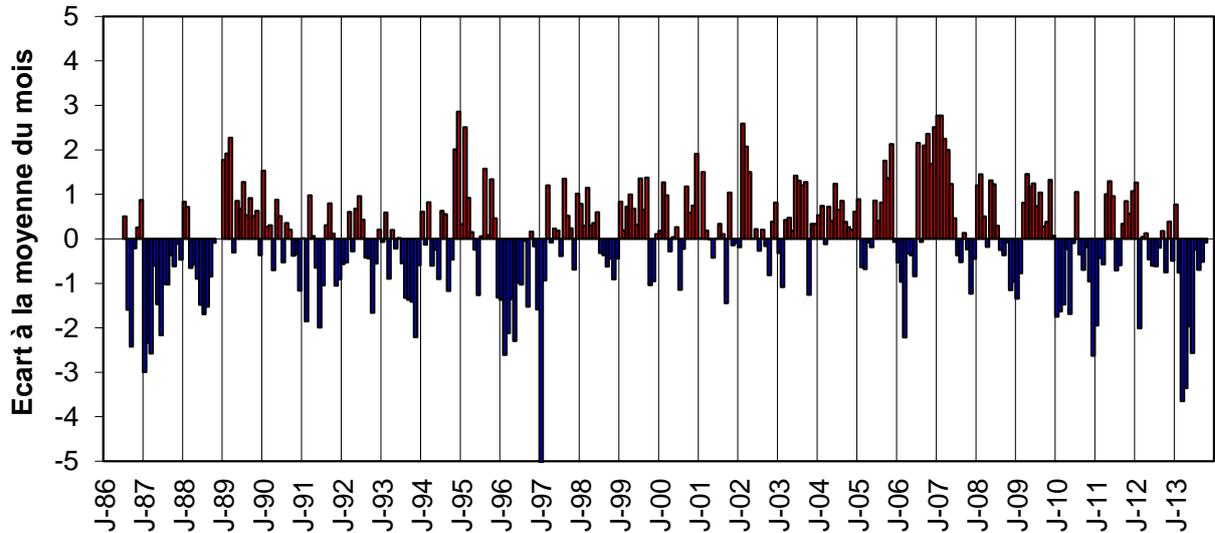


Figure 2.4 Écarts à la moyenne mensuelle des températures de l'eau au canal de prise de 1986 à 2013

Au point *rejet*, la température maximale enregistrée était de 30,9°C le 23/07/2013 (figure 2.5). Le reste du temps la température au point *rejet* était inférieure à 30°C.

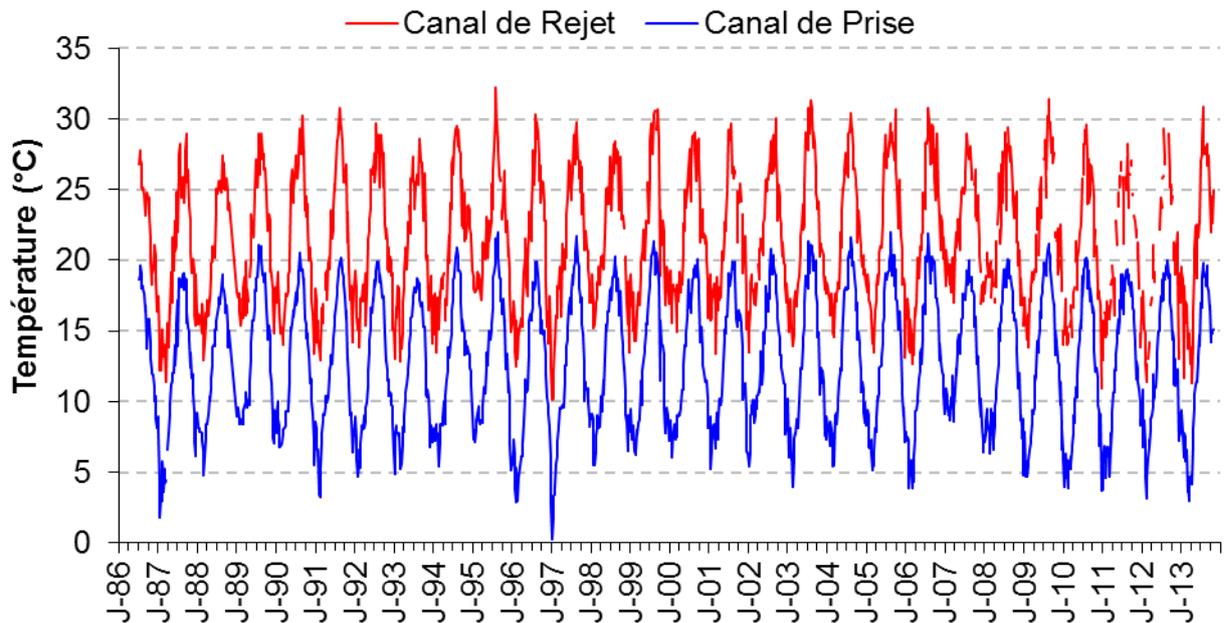
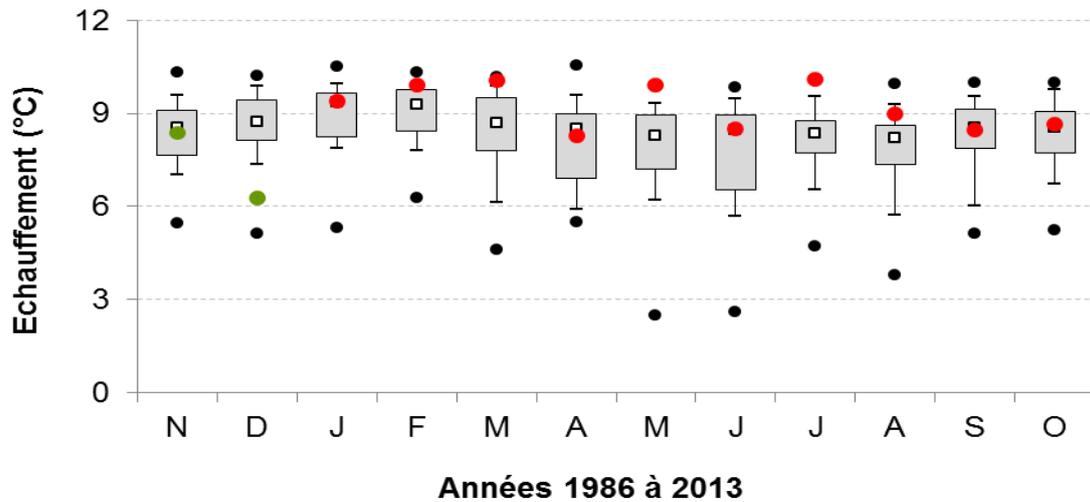


Figure 2.5 Température hebdomadaire de l'eau aux canaux de prise et de rejet de 1986 à 2013

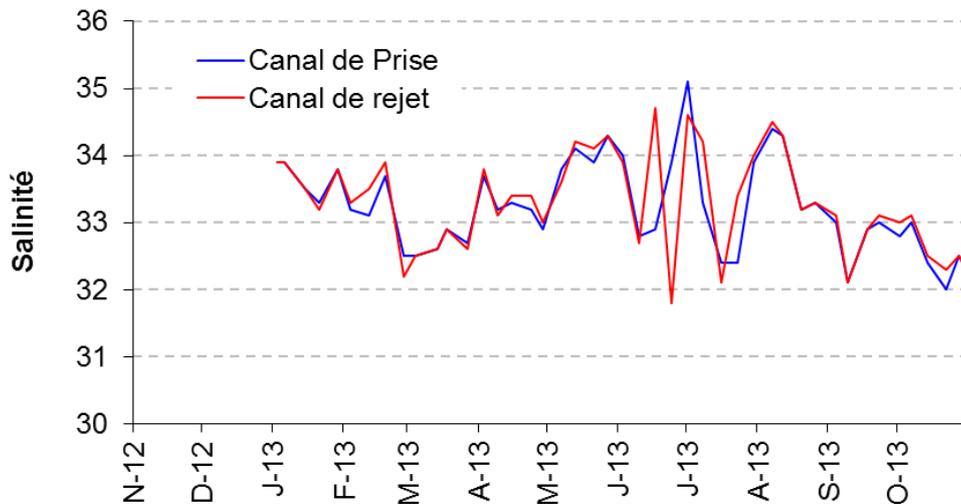
Le transit de l'eau dans la centrale, calculé sur la base des prélèvements hebdomadaires réalisés de novembre 2012 à octobre 2013, s'est traduit par un échauffement moyen de  $9,1 \text{ °C} \pm 1,4 \text{ °C}$ , tout à fait dans l'ordre des valeurs observées depuis le début du suivi hebdomadaire en juillet 1986 ( $8,8 \pm 1,3 \text{ °C}$ ). L'échauffement moyen mesuré est toujours resté inférieur à 12°C et reste assez stable sur l'année (figure 2.6).



**Figure 2.6 Écart mensuel des températures entre les canaux de prise et de rejet de 1986 à 2013**  
(points verts = données 2012 ; points rouges = données 2013 ; points noirs = données extrêmes depuis 1986 ; carrés noirs = médiane depuis 1986)

### 2.2.1.2. Salinité

Depuis janvier 2013 ce paramètre est mesuré hebdomadairement aux canaux de prise et de rejet (figure 2.7)<sup>1</sup>. Sur cette période la salinité<sup>2</sup> de l'eau était comprise entre 35 et 32.



**Figure 2.7 Salinité hebdomadaire de l'eau aux canaux de prise et de rejet en 2013**

Des dessalures en mars et en juillet ont été observées suite à de fortes précipitations et des vents d'Est à Nord-Est qui ont pu contribuer à ramener des eaux dessalées provenant de l'estuaire de l'Escaut. De même de fin août à octobre, on observe une chute de la salinité (de 34,5 à 32) probablement du fait des fortes précipitations d'octobre et de la faiblesse des vents. A part sur

<sup>1</sup> La salinité ne fait pas partie des paramètres à suivre dans le cadre de l'arrêté ministérielle du 7 novembre 2003 (J.O. du 13 janvier 2004), mais comme il s'agit d'un paramètre important pour la compréhension de l'évolution du milieu, ce paramètre sera dorénavant suivi hebdomadairement.

<sup>2</sup> 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.

la période de juin et juillet, les mesures de salinité de l'eau sont assez semblables entre les canaux de prise et de rejet.

### 2.2.1.3. 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. Trois formes d'azote sont mesurées : l'azote réduit ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ), et deux formes d'azote oxydés, le nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) et le nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ).

On a observé une diminution régulière des concentrations en ammonium jusqu'au bloom phytoplanctonique printanier (figure 2.8 et tableau 2.1). Une remontée des concentrations est observée à partir de juin avec la fin des proliférations phytoplanctoniques.

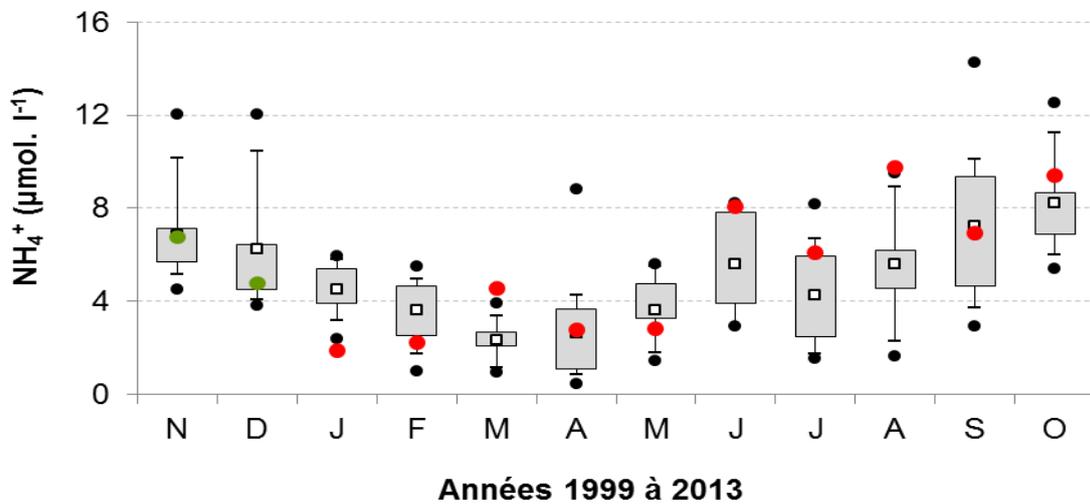


Figure 2.8 Évolution des concentrations mensuelles en ammonium au canal de prise de 1999-2013 (points verts = données 2012 ; points rouges = données 2013 ; points noirs = données extrêmes depuis 1999 ; carrés noirs = médiane depuis 1999)

Le transit de l'eau se traduit en moyenne annuelle par un apport en ammonium de  $1,1 \mu\text{mol.l}^{-1}$ , cet apport est concentré sur la période estivale pour devenir quasiment nul en automne-hiver (figure 2.9).

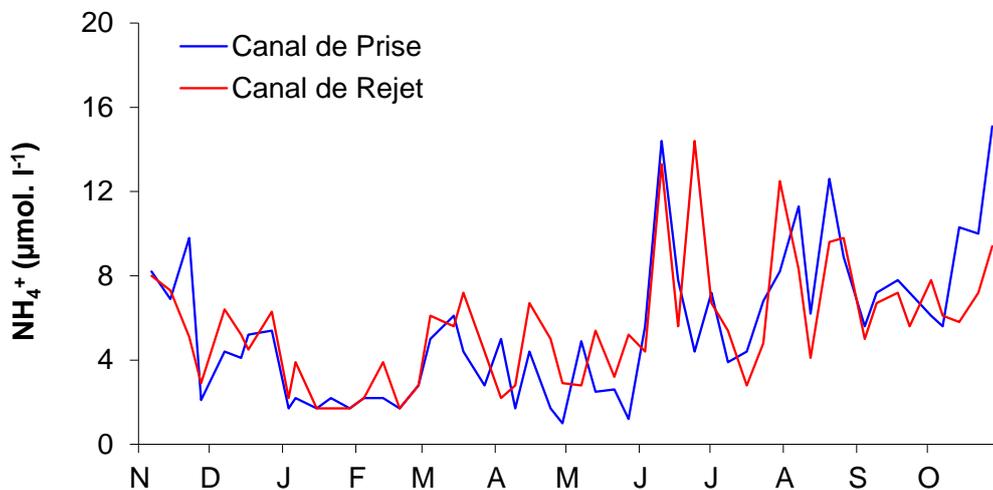


Figure 2.9 Concentration en ammonium aux canaux de prise et de rejet pour la période 2012-2013

Le renouvellement du stock hivernal de nitrate, le plus abondant des azotes oxydés, était conforme à ce que l'on observe depuis 1999 (figure 2.10 et annexe 2.1). La prolifération phytoplanctonique (cf. figure 4.2) a entraîné l'épuisement de ce stock fin avril seulement, soit un mois plus tard qu'en 2012. Les concentrations en nitrates sont par la suite restées très faibles jusqu'en septembre.

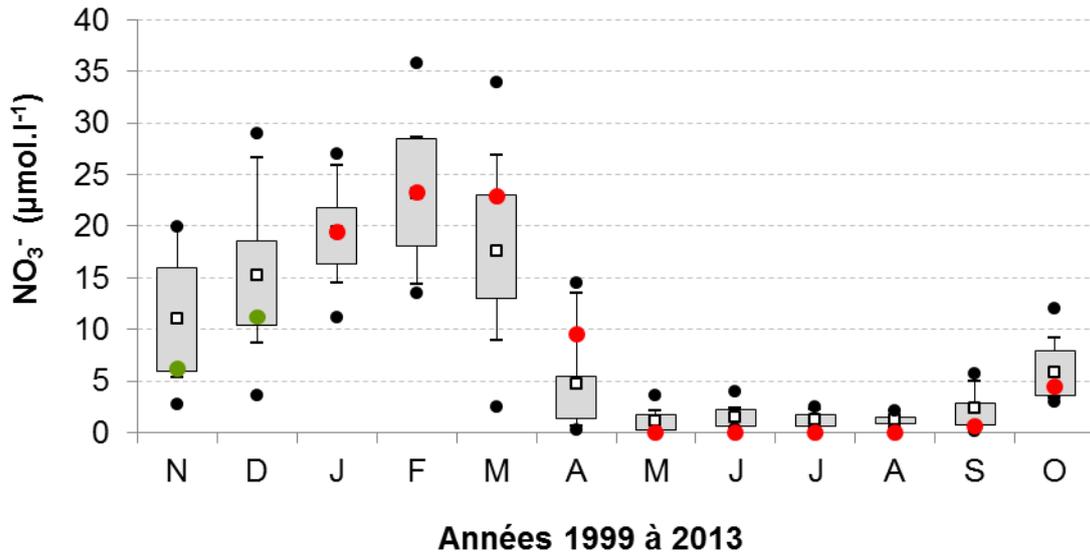


Figure 2.10 Évolution des concentrations mensuelles en nitrate au canal de prise de 1999-2013 (points verts = données 2012 ; points rouges = données 2013 ; points noirs = données extrêmes depuis 1999 ; carrés noirs = médiane depuis 1999)

En moyenne annuelle, un excédant en nitrate de  $0,5 \mu\text{mol.l}^{-1}$  dans le canal de rejet a été observé par rapport au canal de prise (figure 2.11).

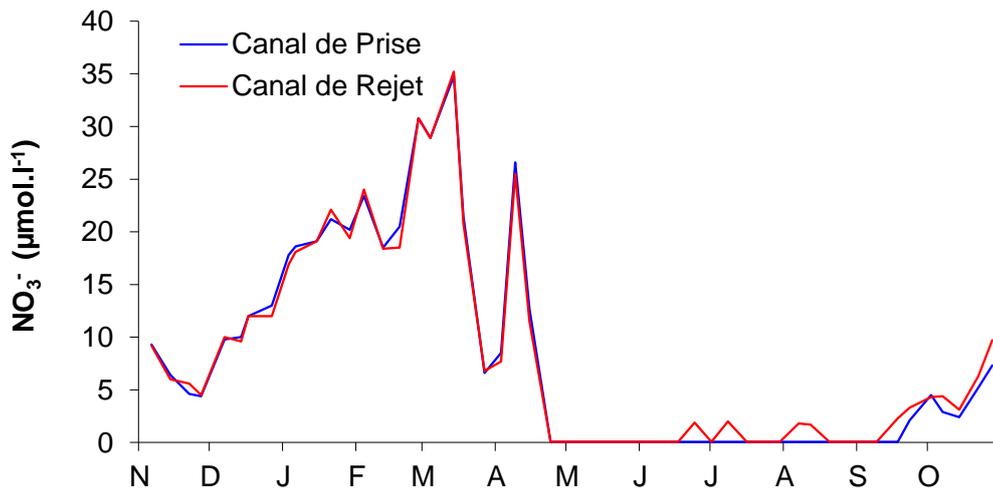


Figure 2.11 Concentration en nitrate aux canaux de prise et de rejet pour la période 2012-2013

Les concentrations en nitrite étaient assez faibles toute l'année 2013 ( $< 1 \mu\text{mol.l}^{-1}$ ), sauf en fin d'année 2012 (figure 2.12). La différence de concentration en nitrite aux canaux de prise et de rejet est surprenante et n'est pas expliquée. Pour la période 2013 cette différence est très faible, puisqu'en moyenne annuelle, un excédant en nitrite de  $0,09 \mu\text{mol.l}^{-1}$  a été mesuré.

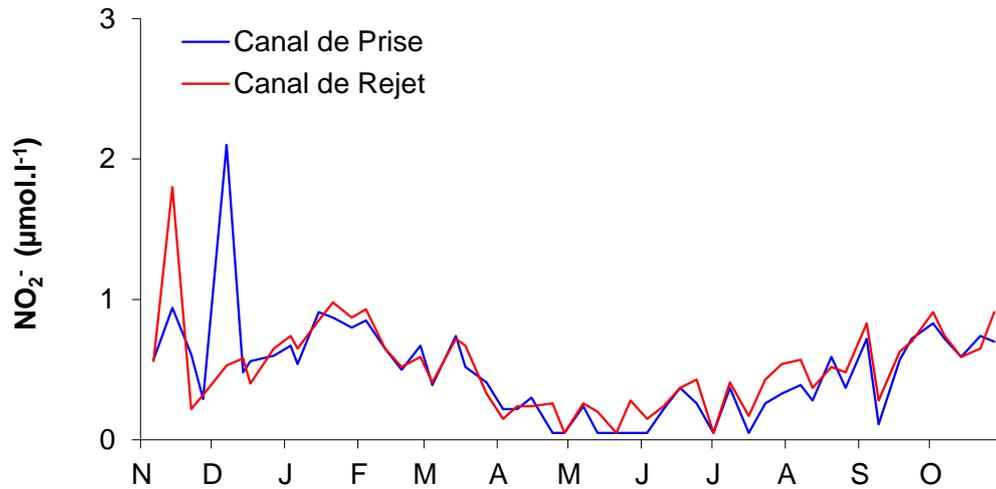


Figure 2.12 Concentration en nitrite aux canaux de prise et de rejet pour la période 2012-2013

## 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 10,1 °C en juin et de 8 °C en septembre (figures 2.13 et 2.14). Au point *contrôle*, la stratification thermique verticale habituelle du panache de rejet a été observée lors de la campagne de juin mais pas en septembre. Aucune stratification thermique n'a été notée au niveau du point de *référence* en juin et en septembre. La température au point *référence* en juin était plus froide de 3°C par rapport au point *prise* contre seulement 0,5°C en septembre.

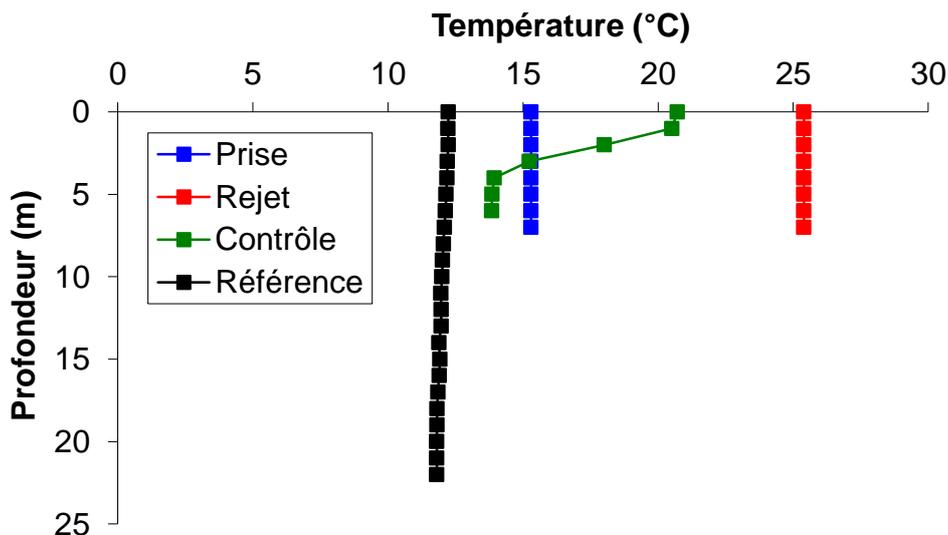


Figure 2.13 Profils de température lors de la campagne de prélèvements du 28/06/2013

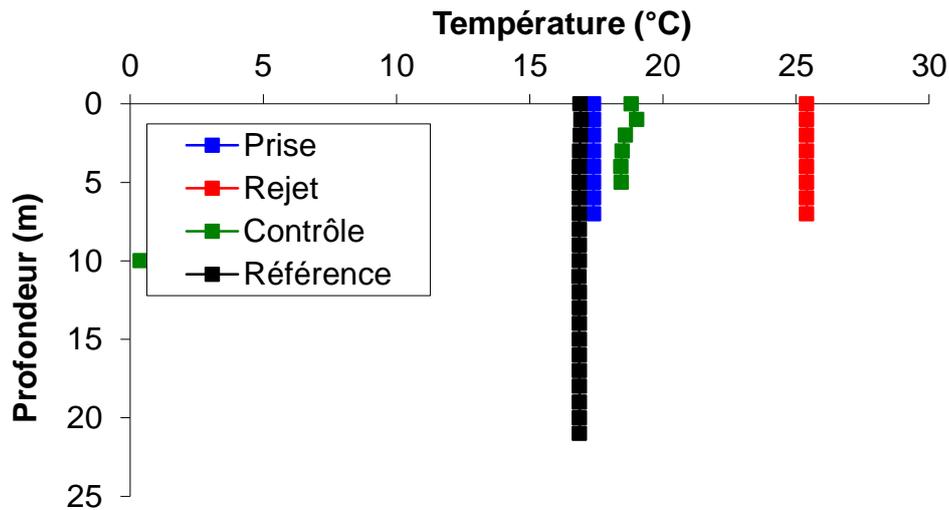


Figure 2.14 Profils de température lors de la campagne de prélèvements du 23/09/2013

#### 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 2.15 et 2.16) 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 2.15 Profils de salinité lors de la campagne de prélèvements du 28/06/2013

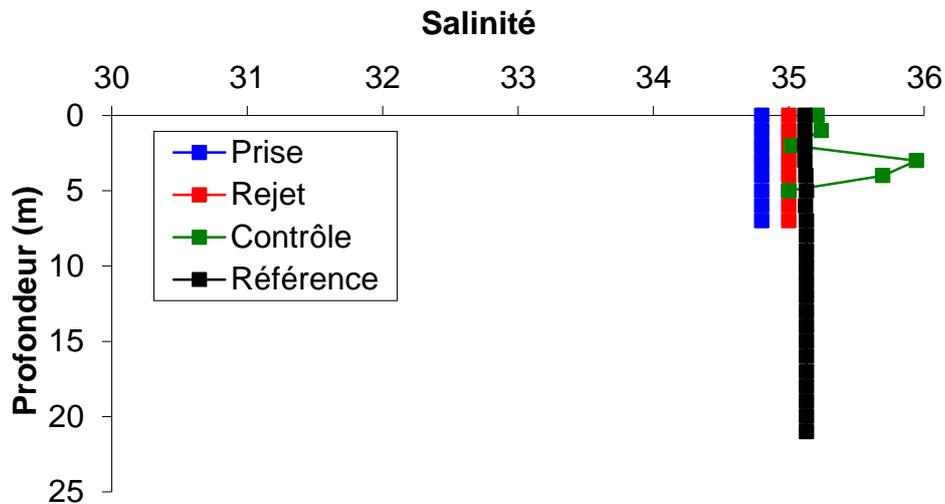


Figure 2.16 Profils de salinité lors de la campagne de prélèvements du 23/09/2013

### 2.3. Éléments de conclusion

La période 2012-2013 a été marquée par des températures en baisse par rapport aux moyennes mensuelles observées depuis 1986, confirmant la tendance au refroidissement observée depuis 2010. La période de plus forte précipitation reste l'automne (octobre à décembre), mais en 2013 les mois de mars et de juillet ont également connus de fortes précipitations qui associées à des vents de Nord-Est ont contribué à une dessalure de l'eau mesurée au canal de prise ( $< 33$ ).

Aucune température supérieure à  $30^{\circ}\text{C}$ , de novembre à mai, et à  $35^{\circ}\text{C}$ , de juin à octobre, n'a été enregistrée au point *rejet* 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  $12^{\circ}\text{C}$ , conformément à l'arrêté ministériel du 7 novembre 2003 (J.O. du 13 janvier 2004, article 19-I).

Les températures mesurées au point *référence* n'ont pas indiqué un réchauffement des eaux par rapport au point *prise*, et les profils de salinité ne montre pas de stratification de la colonne d'eau, comme au point *contrôle*, ce qui montre bien que l'étendue du panache de rejet du CNPE reste toujours géographiquement limitée.

Les concentrations des sels azotés ne sont que très faiblement augmentés dans le canal de rejet du CNPE par rapport au canal de prise. La reconstitution hivernale des stocks de sels azotés s'est fait suivant l'ordre attendu, correspondant aux différentes formes successives de reminéralisation de l'azote : l'ammonium (maximum en octobre), premier stade de la reminéralisation, est oxydé en nitrite (maximum en décembre) puis en nitrate (maximum en février/mars) par les bactéries nitrifiantes abondantes dans les eaux littorales.

**Annexe 2.1 Concentrations hebdomadaires en ammonium et nitrate et nitrite aux canaux de prise et de rejet pour la période 2012-2013**

Date	Canal d'amenée			Canal de rejet		
	NH4+ ( $\mu\text{mol.l}^{-1}$ )	NO3 <sup>-</sup> ( $\mu\text{mol.l}^{-1}$ )	NO2 <sup>-</sup> ( $\mu\text{mol.l}^{-1}$ )	NH4+ ( $\mu\text{mol.l}^{-1}$ )	NO3 <sup>-</sup> ( $\mu\text{mol.l}^{-1}$ )	NO2 <sup>-</sup> ( $\mu\text{mol.l}^{-1}$ )
06/11/2012	8.20	9.30	0.57	8.00	9.20	0.56
14/11/2012	6.90	6.40	0.94	7.30	6.00	1.80
22/11/2012	9.80	4.60	0.61	5.10	5.60	0.22
27/11/2012	2.10	4.40	0.29	2.90	4.50	0.32
07/12/2012	4.40	9.80	2.10	6.40	10.00	0.53
14/12/2012	4.10	10.00	0.48	5.20	9.60	0.58
17/12/2012	5.20	12.00	0.56	4.50	12.00	0.40
27/12/2012	5.40	13.00	0.60	6.30	12.00	0.65
03/01/2013	1.70	17.80	0.67	2.20	16.90	0.74
06/01/2013	2.20	18.60	0.54	3.90	18.10	0.65
15/01/2013	1.70	19.10	0.91	1.70	19.10	0.85
21/01/2013	2.20	21.20	0.87	1.70	22.10	0.98
29/01/2013	1.70	20.20	0.80	1.70	19.40	0.87
04/02/2013	2.20	23.40	0.85	2.20	24.00	0.93
12/02/2013	2.20	18.50	0.65	3.90	18.40	0.65
19/02/2013	1.70	20.50	0.50	1.70	18.50	0.52
27/02/2013	2.80	30.80	0.67	2.80	30.80	0.59
04/03/2013	5.00	28.90	0.39	6.10	28.90	0.41
14/03/2013	6.10	34.80	0.74	5.60	35.20	0.72
18/03/2013	4.40	21.50	0.52	7.20	20.80	0.67
27/03/2013	2.80	6.60	0.41	4.40	6.80	0.33
03/04/2013	5.00	8.50	0.22	2.20	7.70	0.15
09/04/2013	1.70	26.60	0.22	2.80	25.50	0.24
15/04/2013	4.40	12.70	0.30	6.70	11.50	0.24
24/04/2013	1.70	0.05	0.05	5.00	0.05	0.26
29/04/2013	1.00	0.05	0.05	2.90	0.05	0.05
07/05/2013	4.90	0.05	0.24	2.80	0.05	0.26
13/05/2013	2.50	0.05	0.05	5.40	0.05	0.20
21/05/2013	2.60	0.05	0.05	3.20	0.05	0.05
27/05/2013	1.20	0.05	0.05	5.20	0.05	0.28
03/06/2013	5.60	0.05	0.05	4.40	0.05	0.15
10/06/2013	14.40	0.05	0.22	13.30	0.05	0.24
17/06/2013	7.80	0.05	0.37	5.60	0.05	0.37
24/06/2013	4.40	0.05	0.26	14.40	1.90	0.43
01/07/2013	7.20	0.05	0.05	6.70	0.05	0.05
08/07/2013	3.90	0.05	0.37	5.40	2.00	0.41
16/07/2013	4.40	0.05	0.05	2.80	0.05	0.17
23/07/2013	6.80	0.05	0.26	4.80	0.05	0.43
30/07/2013	8.20	0.05	0.33	12.50	0.05	0.54
07/08/2013	11.30	0.05	0.39	8.30	1.80	0.57
12/08/2013	6.20	0.05	0.28	4.10	1.70	0.37
20/08/2013	12.60	0.05	0.59	9.60	0.05	0.52
26/08/2013	8.90	0.05	0.37	9.80	0.05	0.48
04/09/2013	5.60	0.05	0.72	5.00	0.05	0.83
09/09/2013	7.20	0.05	0.11	6.70	0.05	0.28
18/09/2013	7.80	0.05	0.57	7.20	2.30	0.63
23/09/2013	7.20	2.10	0.72	5.60	3.30	0.70
02/10/2013	6.10	4.50	0.83	7.80	4.30	0.91
07/10/2013	5.60	2.90	0.72	6.10	4.40	0.74
14/10/2013	10.30	2.40	0.59	5.80	3.10	0.59
22/10/2013	10.00	5.20	0.74	7.20	6.30	0.65
28/10/2013	15.10	7.30	0.70	9.40	9.70	0.91



### 3. ÉTUDE BACTÉRIOLOGIQUE

Auteurs : Régis Delesmont & Elvire Antajan  
Collaboratrice : Dominique Hervio-Heath





## 2.4. 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 (réchauffement des eaux, chloration, etc.) 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>ième</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.

### 2.4.1. Dénombrement et identification des espèces de *Vibrio* cultivables à 37°C

La méthode d'analyse est en place sur le site depuis 1984. La méthode d'analyse maintenant appliquée sur l'ensemble des sites en bord de mer depuis 2008 est celle décrite par Touron & Delesmont (2007)<sup>1</sup>.

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 sur une membrane de porosité 0,45  $\mu\text{m}$ . Pour chaque échantillon plusieurs filtrations sont réalisées avec des volumes variables suivant la saison et l'historique du point de prélèvement, ils varient de 0,01 ml à 500 ml. 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). 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'écartier du groupe *V. cholerae*, un certain nombre de souches de l'environnement très éloignées du véritable *V. cholerae* épidémique.

<sup>1</sup> Touron A et Delesmont R (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

### 2.4.2. Aspect quantitatif

Les concentrations en vibrions dans les canaux de prise et de rejet suivent le cycle annuel normal caractérisé par un maximum estival et un minimum hivernal (figure 3.1). Les concentrations au rejet sont toujours supérieures à celles de la prise d'eau (à l'exception du 14/10/2013).

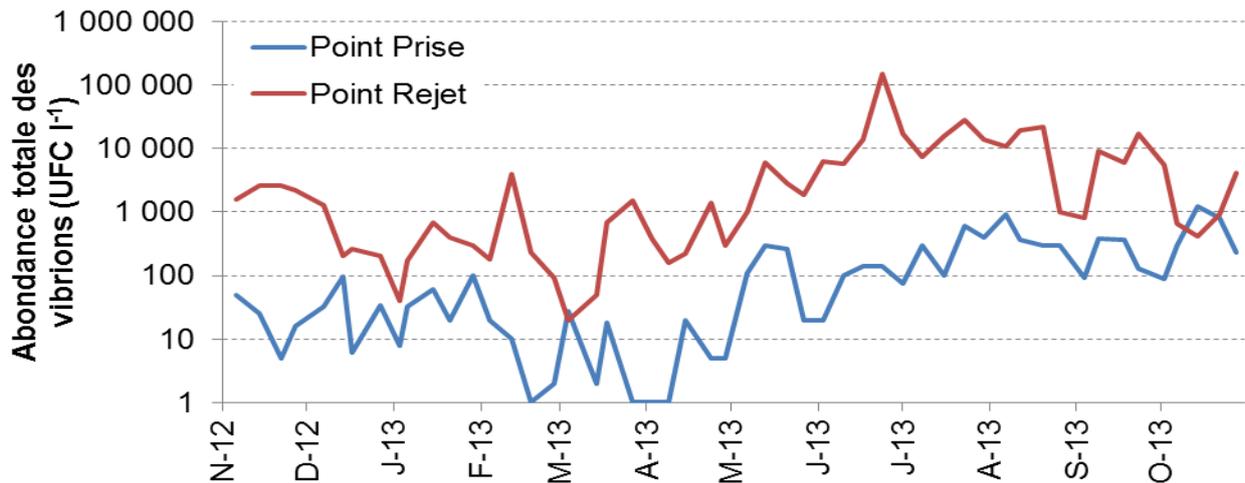


Figure 3.1 Abondance hebdomadaire des vibrions cultivables à 37 °C aux canaux de prise et de rejet (Vibrions par litre en échelle logarithmique)

A la prise d'eau, on a observé de février à septembre des valeurs d'abondance totale en vibrions inférieures aux moyennes géométriques mensuelles (rapport des moyennes du logarithme des concentrations) enregistrées depuis 1997, à l'exception des mois de mai et octobre (figure 3.2). Un déficit très marqué a également été observé sur toute l'année 2013 au canal de rejet (figure 3.3).

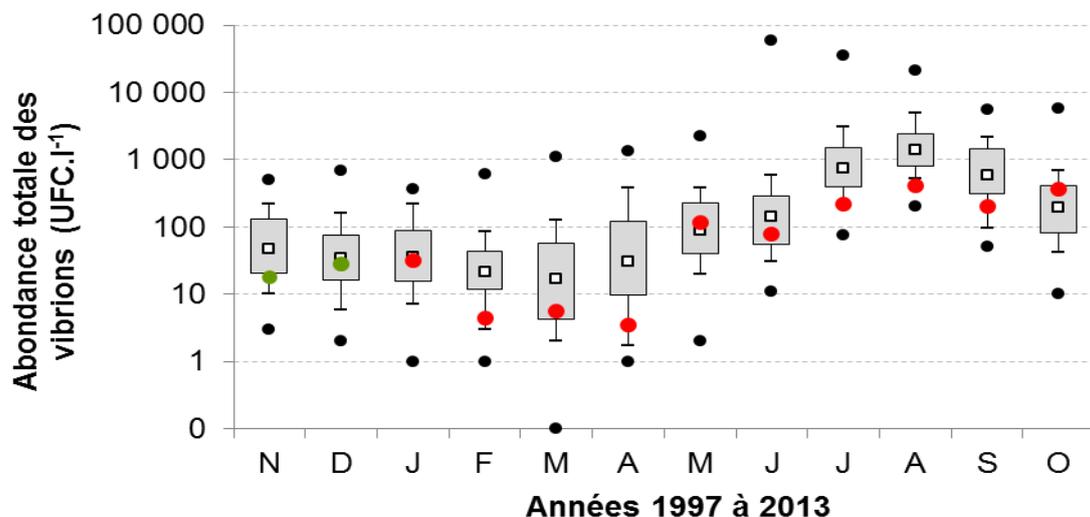
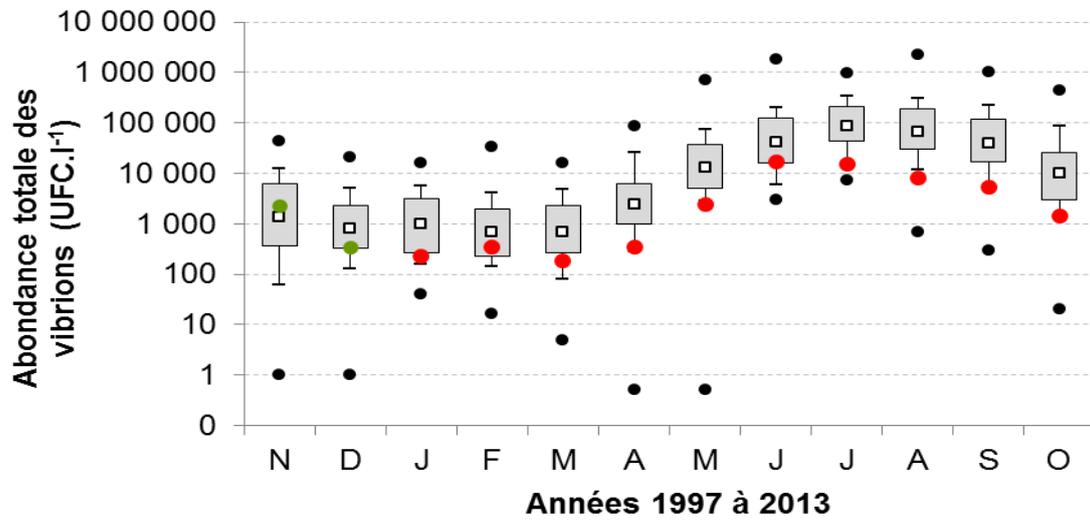
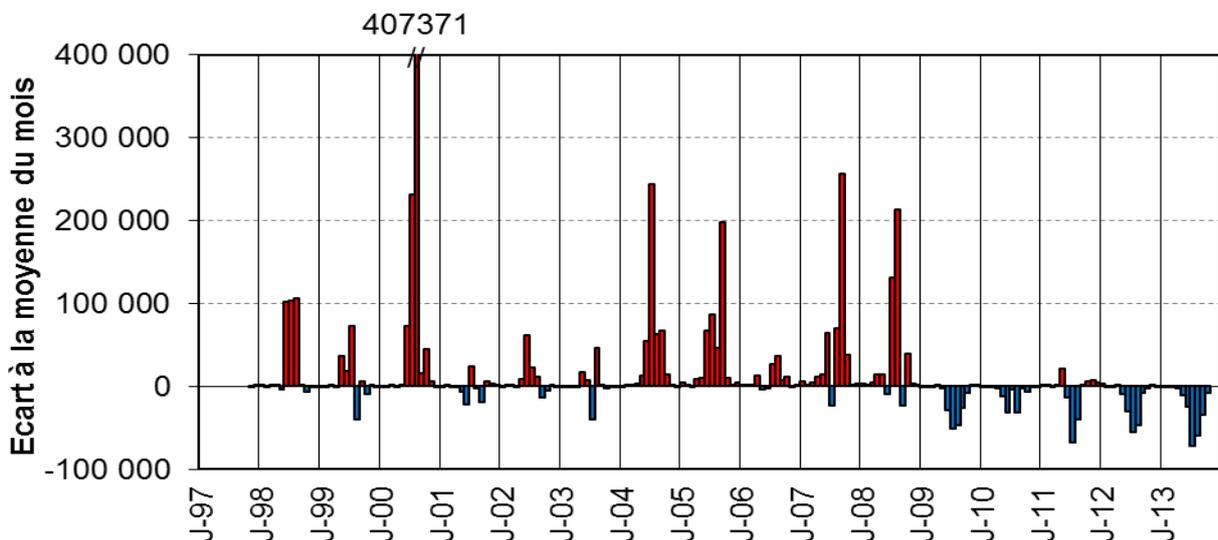


Figure 3.2 Evolution mensuelle de l'abondance totale des vibrions au canal de prise de 1997 à 2013 (points verts = données 2012 ; points rouges = données 2013 ; points noirs = données extrêmes depuis 1997 ; carrés noirs = moyennes géométriques depuis novembre 1997)



**Figure 3.3 Evolution mensuelle de l'abondance totale des vibrions au canal de rejet de 1997 à 2013**  
(points verts = données 2012 ; points rouges = données 2013 ; points noirs = données extrêmes depuis 1997 ; carrés noirs = moyennes géométriques depuis novembre 1997)

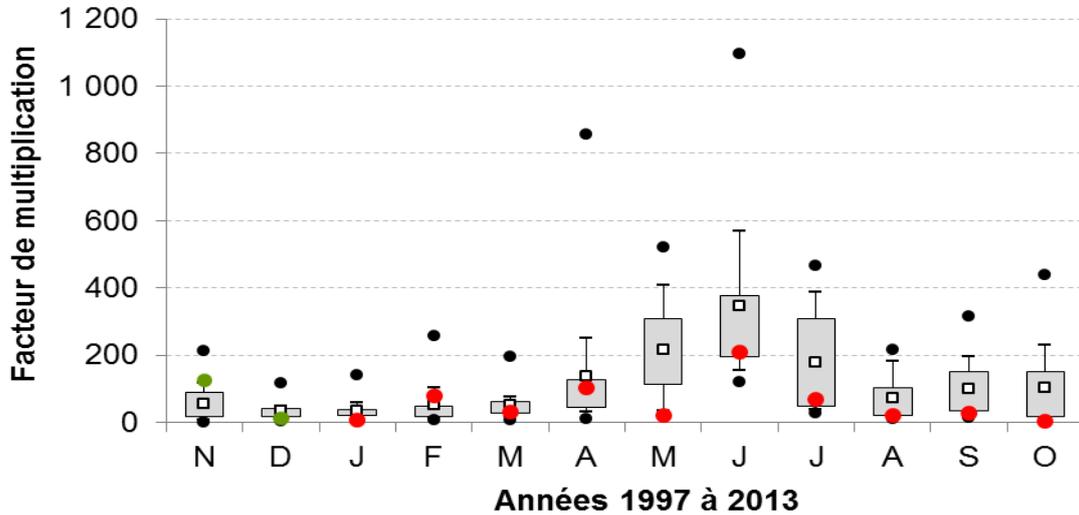
La période 2012-2013 a donc été marquée par des abondances en vibrions en baisse par rapport aux moyennes géométriques mensuelles relevées depuis 1997, notamment au canal de rejet, confirmant la tendance observée depuis 2009 (figure 3.4).



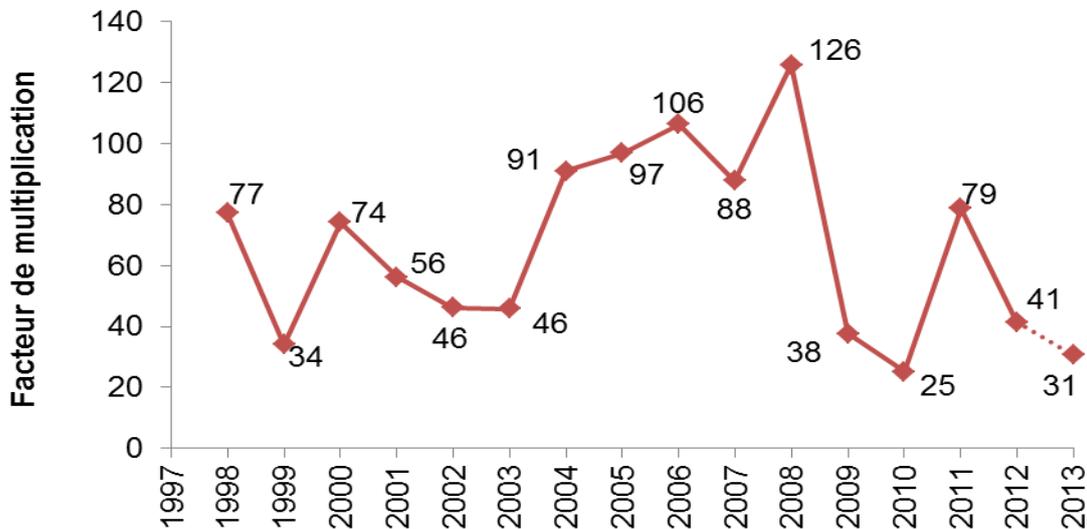
**Figure 3.4 Écart à la moyenne géométrique mensuelle des abondances totales de vibrions au canal de rejet de 1997 à 2013**

Entre le point *prise* et le point *rejet*, la moyenne géométrique de l'abondance annuelle des vibrions était multipliée par 31,8 en 2013 (figure 3.6). Le facteur de multiplication mensuel des vibrions entre les canaux de prise et rejet (figure 3.5) était plus faible en janvier et octobre 2013 (respectivement 7,1 et 3,9) et plus élevé en novembre 2012, avril et juin 2013 (respectivement 124,2, 102,4 et 209,9). Le facteur de multiplication moyen par année reste donc faible mais

comparable à ce que l'on observe depuis 2009 (figure 3.6). Il se traduit par une concentration au canal de rejet de 1 475 vibrions par litre en moyenne géométrique annuelle en 2013. La plus grande valeur enregistrée à ce jour était de 9 215 vibrions par litre en 2007-2008.



**Figure 3.5 Facteur de multiplication mensuel des vibrions entre les canaux de prise et de rejet de 1997 à 2013**  
(points verts = données 2012 ; points rouges = données 2013 ; points noirs = données extrêmes depuis 1997 ; carrés noirs = moyennes géométriques depuis novembre 1997)



**Figure 3.6 Facteur de multiplication annuel des vibrions entre les canaux de prise et de rejet de 1997 à 2013**

La température de l'eau de mer est, depuis le début des études de surveillance, le facteur du milieu expliquant le mieux les variations de la concentration en vibrions (figure 3.7). En moyenne, sur la période 1997-2012, un accroissement de la température de l'eau de 5.7 °C se traduit par une abondance en vibrions environ 10 fois plus grande. Pour les mesures réalisées aux canaux de prise et de rejet lors de ce cycle d'étude, cet accroissement est un peu plus faible que celui observé historiquement car un accroissement d'un facteur 10 en vibrions est obtenu pour un échauffement de 7.1 °C.

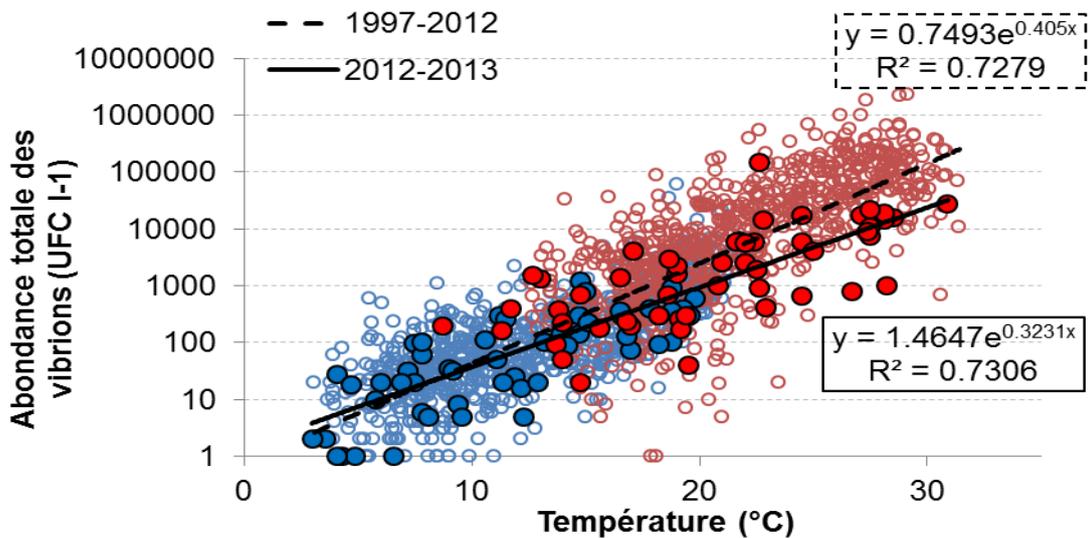


Figure 3.7 Relation entre température et concentration en vibrions aux canaux de prise (bleu) et de rejet (rouge) pour les périodes 1997-2012 (cercles vides) et 2012-2013 (cercles pleins)

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 (figure 3.8).

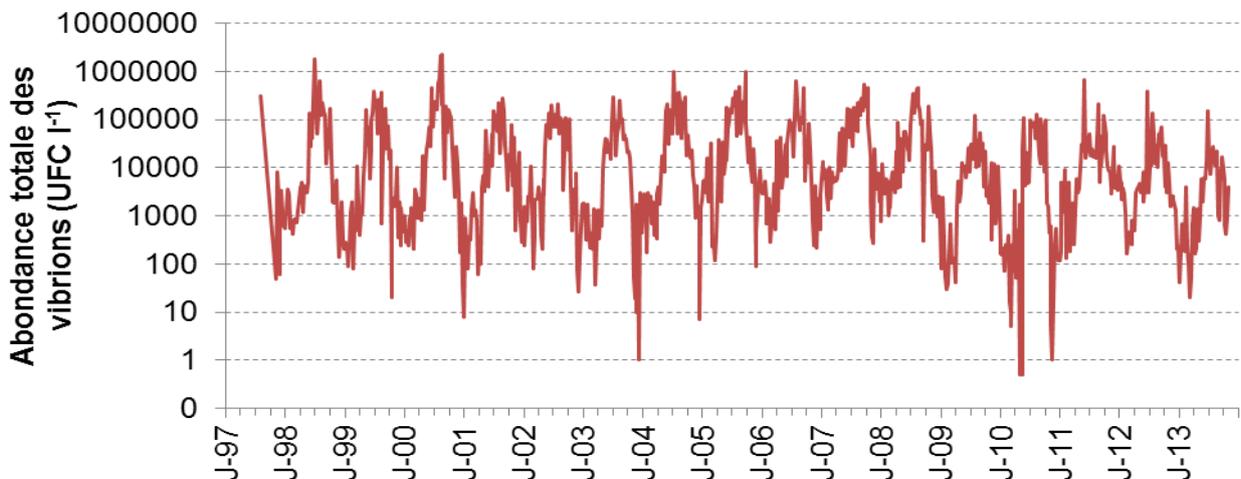


Figure 3.8 Moyennes géométriques des abondances en vibrions au canal de rejet depuis 1997

Cependant l'amplitude des cycles annuels se réduisait régulièrement, ce qui est clairement mis en évidence en traitant les concentrations en vibrions trimestre par trimestre (figure 3.9) : stabilisation des abondances du 3<sup>ième</sup> trimestre (juillet-septembre), et augmentation des deux premiers trimestres sur la même période. Entre 2008 et 2010 des abondances inhabituellement basses venaient contredire cette tendance. Les valeurs du troisième trimestre étaient en baisse modérée alors que la diminution des concentrations était plus importante lors des autres trimestres d'étude. En 2011 et 2012 les abondances se maintenaient sans atteindre toutefois les maxima d'avant 2008 (sauf au 4<sup>ième</sup> trimestre, octobre-décembre). En 2013 on a observé une nouvelle baisse des abondances pour les 4 trimestres. Plusieurs facteurs peuvent contribuer à ces fluctuations d'abondances en vibrions. Les basses températures de l'eau observée entre

2009 et 2013 jouent sûrement un rôle important dans les faibles concentrations observées comme le montre la figure 3.10, 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. Cette influence serait surtout sensible sur les concentrations hivernales. Le rôle exact de l'aquaculture est difficile à estimer car le fonctionnement de ces installations est complexe : les augmentations de production se sont accompagnées d'évolutions dans les techniques d'élevage. La diminution du tonnage produit de 2500 tonnes par an à 1500 tonnes envisagée actuellement va peut-être entraîner une nouvelle évolution.

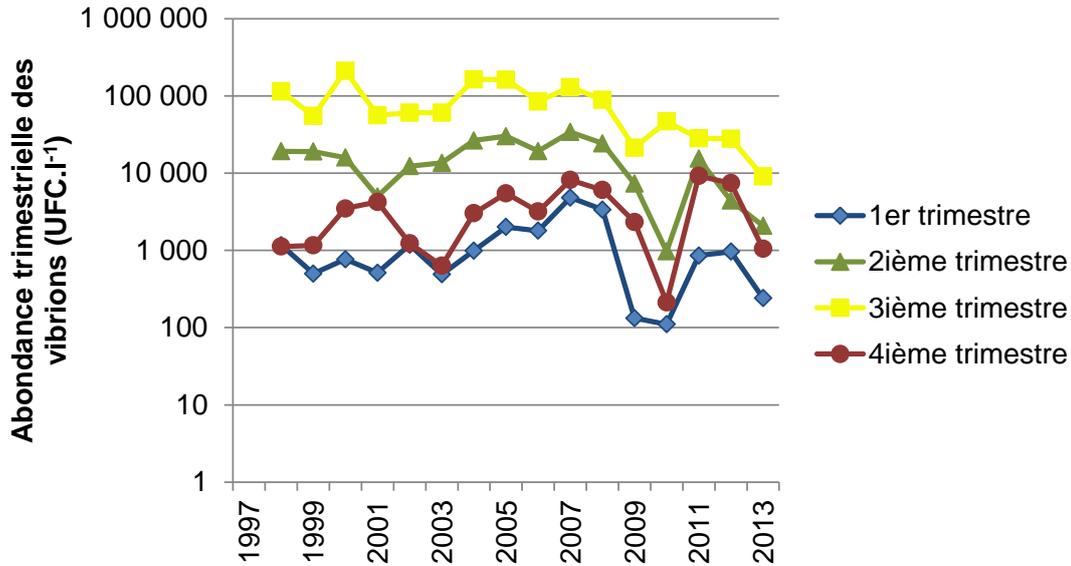


Figure 3.9 Moyennes géométriques des abondances en vibrions au canal de rejet, classées par trimestre de 1998 à 2013

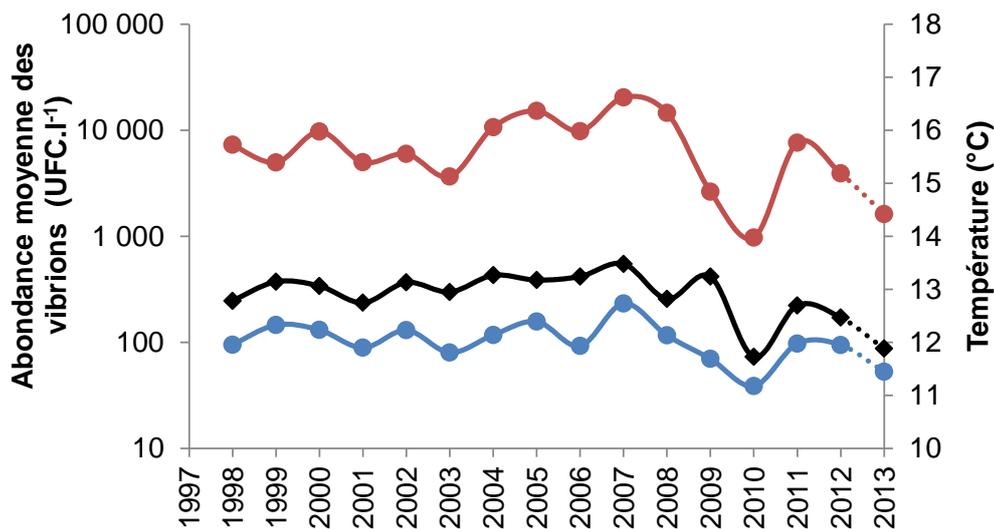


Figure 3.10 Moyennes géométriques annuelles des abondances en vibrions au canaux de prise (bleu) et de rejet (rouge) comparées à la température moyenne de l'eau au canal de prise (noir) de 1998 à 2013

### 2.4.3. 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 accompagnée de différences dans la répartition de ces espèces entre le canal de prise et le rejet. 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 2012-2013, *V. alginolyticus* restait l'espèce la plus souvent isolée. Elle représentait 71% et 81% de l'ensemble des *Vibrio* spp. isolés (figures 3.11 et 3.12) aux canaux de prise d'eau et de rejet, respectivement, ce qui pour le point rejet, était très supérieur à la moyenne observée depuis 1998 (67% ; figure 3.13).

Pour la période 2012-2013, *Vibrio damsela* était la deuxième espèce la plus isolée au canal de prise comme au canal de rejet (respectivement 12 et 6 %). D'autres espèces ou groupe d'espèces de vibrion (*Vibrio fluvialis*, *V. hollisae*, *V. parahaemolyticus*, *V. vulnificus* et *Vibrio* spp.) étaient également présents 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. Il n'a été isolé qu'une seule fois en 2012-2013 dans le canal de prise (03/01/2013). Cette souche de *Vibrio cholerae* isolée sur le site n'était pas agglutinable par les sérums anti-*Vibrio cholerae* O1 et anti-*Vibrio cholerae* O139 et était, de plus, non-halophile stricte, ce qui permet de la différencier des souches épidémiques.



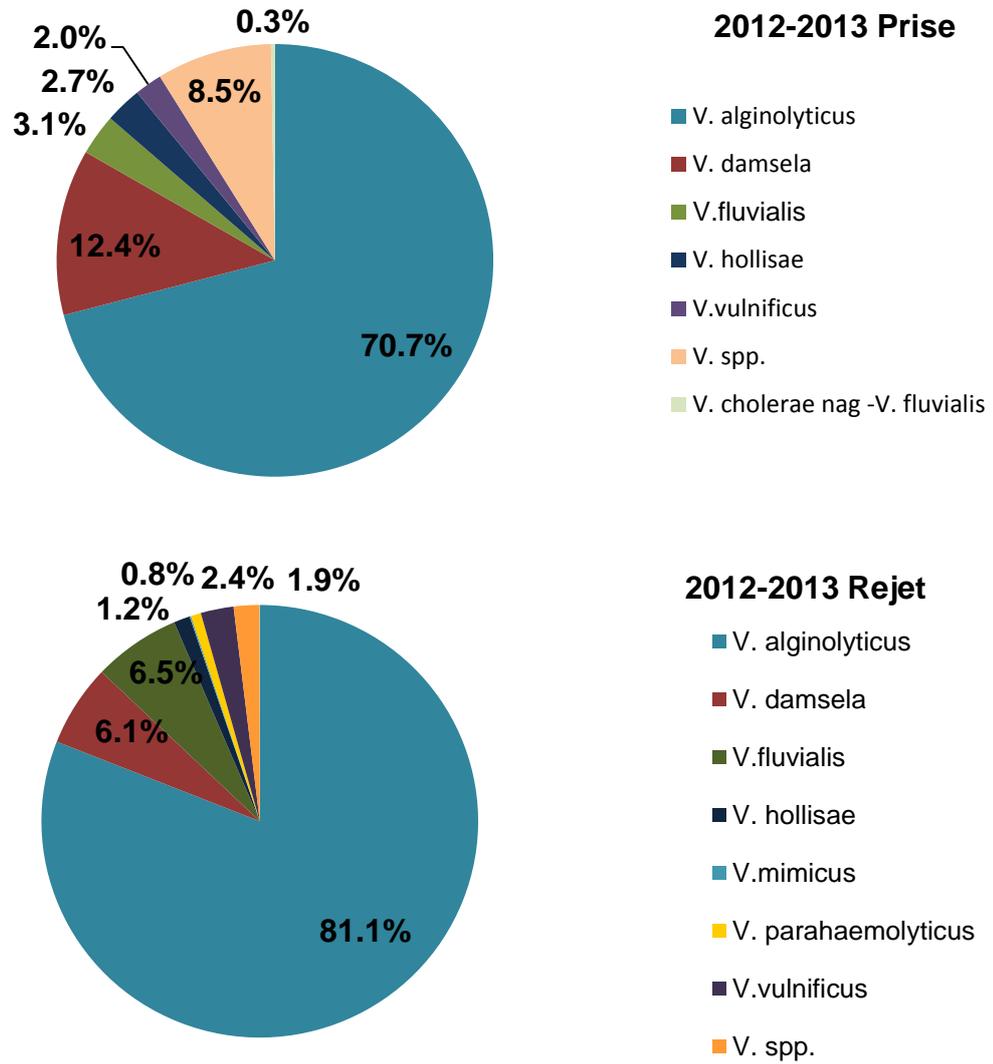
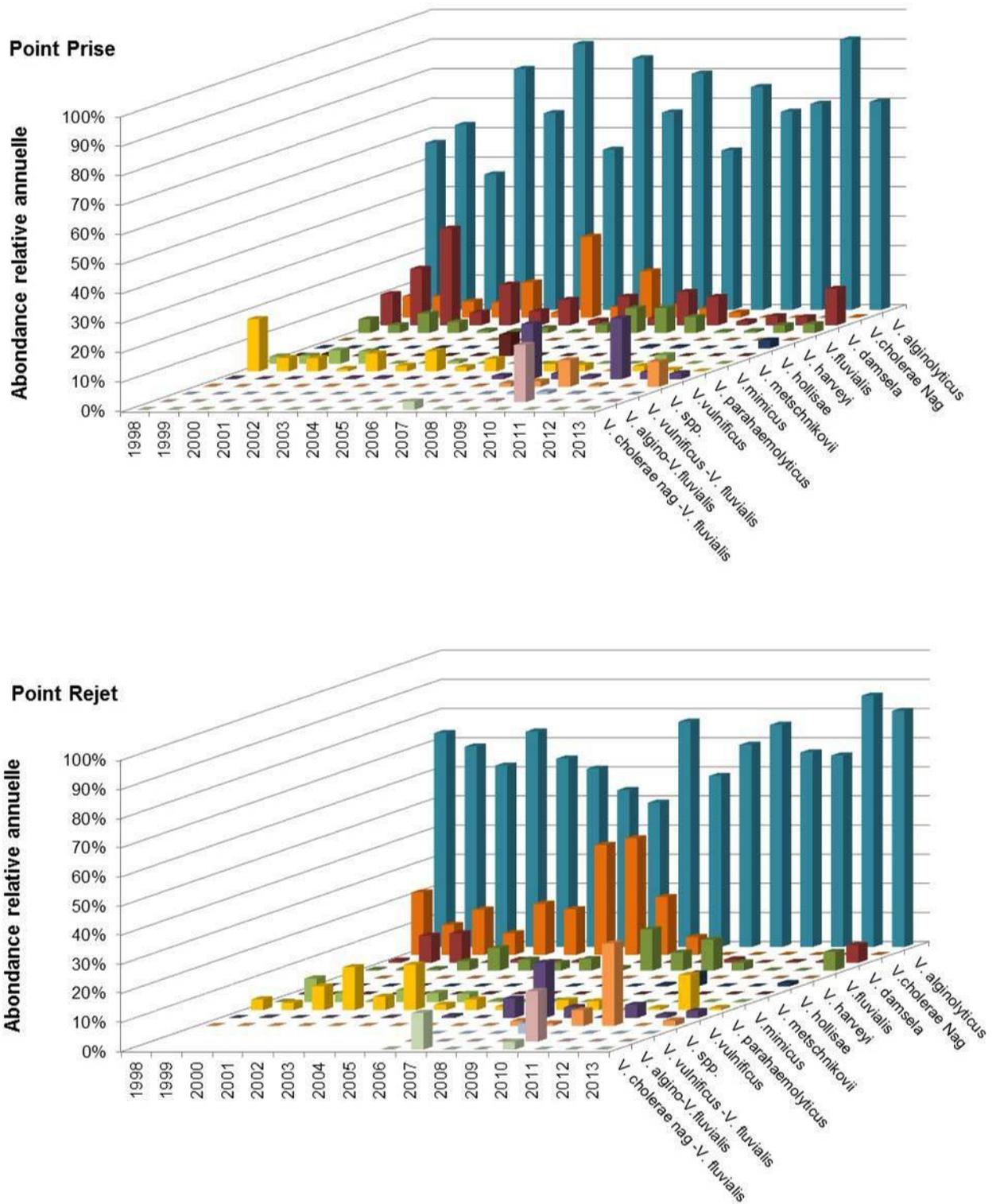
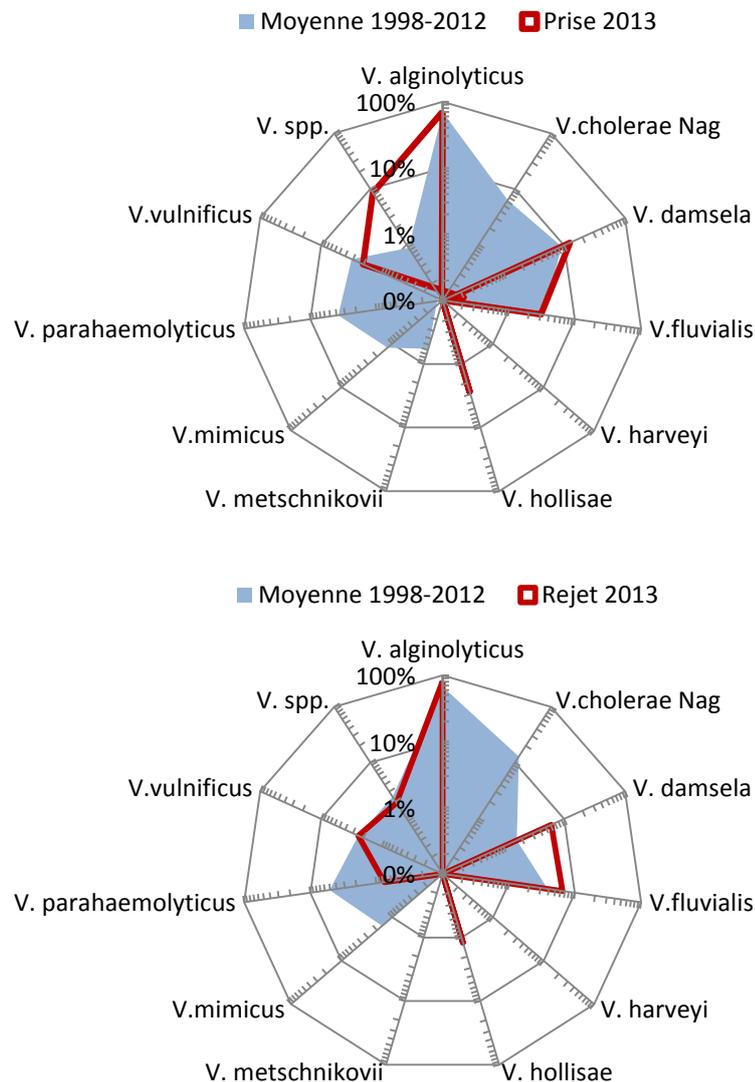


Figure 3.11 Pourcentages moyens d'isolement des diverses espèces de vibrions aux canaux de prise et de rejet pour la période 2012-2013



**Figure 3.12** Évolution de l'abondance relative des diverses espèces de vibrions de 1998 à 2013 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)



**Figure 3.13** Distribution des espèces de vibrions aux canaux de prise et de rejet en 2012-2013 comparée à la diversité moyenne 1998-2012

En moyenne géométrique, *Vibrio alginolyticus* reste l'espèce qui se multiplie le plus par transit dans les installations de la centrale, avec un facteur moyen de multiplication de 48,3 entre le point *prise* et le point *rejet*. Cette valeur est en retrait par rapport à celle des périodes antérieures qui avaient mis en évidence un facteur de multiplication moyen de 69,4 (période 1997-2012). Les facteurs de multiplication des autres espèces de vibrions lors du transit sont difficilement quantifiables compte tenu du faible nombre de mises en évidence réalisées.

## 2.5. Campagnes pélagiques

Les données relatives aux campagnes de surveillance pélagique de juin et de septembre 2013 sont présentées en figure 3.12 et en annexe 3.3. Au niveau du radeau, la multiplication des vibrions n'est pas amorcée en juin en raison de la subsistance d'oxydant résiduel mais doit se produire dans la partie terminale du canal de rejet, ce qui explique que la concentration en

*Vibrio* spp. était plus importante au point *contrôle*. En septembre, la situation est différente et une importante augmentation des vibrions est enregistrée dès le point *radeau*. La concentration observée au point *contrôle* illustre l'effet de dilution observé à ce point en aval du canal de rejet de la centrale.

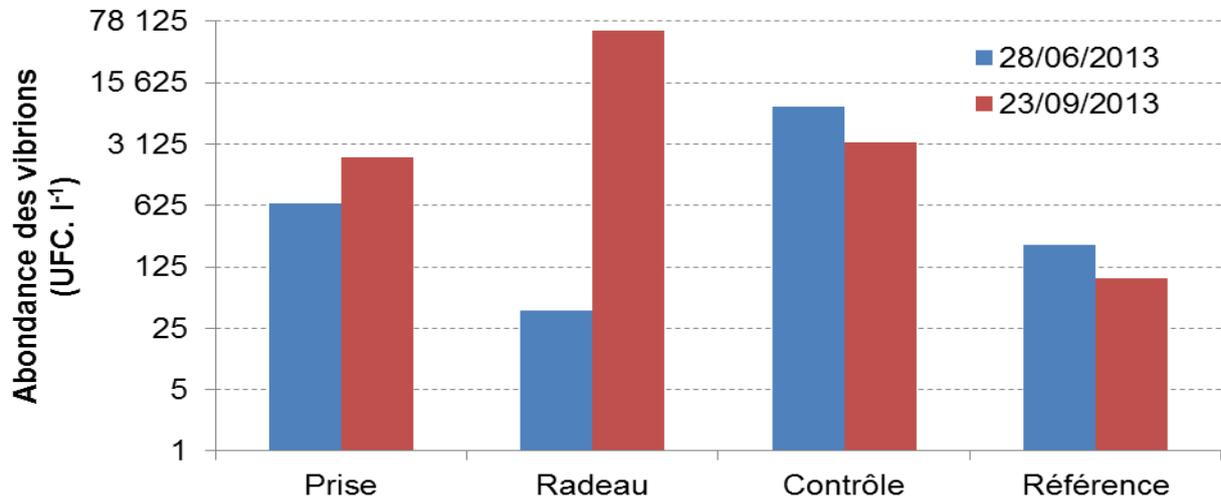


Figure 3.12 Campagnes pélagiques – Vibrions par litre pour chaque point

## 2.6. Éléments de conclusion

Le passage de l'eau dans l'ensemble constitué par la centrale électrique et les installations aquacoles a entraîné une multiplication du nombre des vibrions d'un facteur 32 en moyenne géométrique annuelle. La diminution du facteur de multiplication observée depuis 2009 a donc été confirmée cette année.

Les concentrations maximales de vibrions observées en période estivale dans le canal de rejet ont été relativement stables depuis la mise en service des six tranches de la centrale (1986), alors que, suite à l'augmentation de l'abondance des vibrions hors période estivale, l'amplitude du cycle annuel se réduisait. Depuis 2008, on observe une diminution générale de l'abondance des vibrions sur l'ensemble du cycle. Des hivers plus rigoureux et/ou une activité ralentie de l'aquaculture sur le site peuvent être des facteurs d'explication.

Une modification dans l'interprétation des profils biochimiques utilisés pour affecter des noms d'espèces aux vibrions isolés est intervenue en 2006 en raison de la parution d'un nouveau catalogue analytique API 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'écarter du groupe *V. cholerae*, un certain nombre de souches de l'environnement très éloignées du véritable *V. cholerae* épidémique). En 2012-2013, *V. cholerae* non épidémique a été isolé une fois seulement au canal de prise d'eau.

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 dans les eaux de rejet. Actuellement on constate cependant peu de modification dans la composition de la flore des vibrions lors du transit de l'eau. *Vibrio alginolyticus* reste toutefois l'espèce majoritaire dans le canal de prise d'eau et de rejet de la centrale avec 71 et 81% des isoléments.

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

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
06/11/2012	11.1	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14/11/2012	11.9	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22/11/2012	12.3	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27/11/2012	12.2	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07/12/2012	7.2	32	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14/12/2012	7.5	98	98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17/12/2012	7.8	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27/12/2012	9.0	34	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03/01/2013	9.4	8	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06/01/2013	9.2	32	0	0	22	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15/01/2013	7.8	62	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	24
21/01/2013	6.0	20	16	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29/01/2013	7.8	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0
04/02/2013	7.5	20	6	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12/02/2013	5.8	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19/02/2013	6.6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27/02/2013	3.6	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04/03/2013	4.1	28	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14/03/2013	3.0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18/03/2013	4.7	18	2	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27/03/2013	4.3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03/04/2013	4.9	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09/04/2013	4.1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15/04/2013	6.9	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24/04/2013	8.1	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29/04/2013	9.6	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07/05/2013	10.6	110	30	0	10	0	0	0	0	0	0	0	60	0	10	0
13/05/2013	11.2	300	0	0	100	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21/05/2013	11.5	260	40	0	120	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
27/05/2013	11.4	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03/06/2013	12.9	20	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0
10/06/2013	13.2	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0
17/06/2013	14.7	140	10	0	80	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0
24/06/2013	13.9	140	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01/07/2013	17.0	74	10	0	0	0	0	0	0	0	4	0	60	0	0	0
08/07/2013	16.6	300	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16/07/2013	18.8	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23/07/2013	19.8	600	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30/07/2013	19.3	400	200	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07/08/2013	18.8	900	900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12/08/2013	18.8	360	240	0	0	0	0	0	0	0	0	120	0	0	0	0
20/08/2013	18.2	300	100	0	0	0	0	0	0	0	0	200	0	0	0	0
26/08/2013	19.6	300	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04/09/2013	18.2	93	86	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0
09/09/2013	17.8	390	170	0	0	0	0	220	0	0	0	0	0	0	0	0
18/09/2013	16.5	360	280	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23/09/2013	16.8	130	20	0	40	0	0	0	0	0	70	0	0	0	0	0
02/10/2013	14.2	90	80	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07/10/2013	14.7	300	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14/10/2013	14.8	1 210	1 200	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22/10/2013	15	800	500	0	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28/10/2013	15.1	230	230	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)

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
06/11/2012	19.0	1 600	1 600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14/11/2012	21.0	2 600	2 600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22/11/2012	22.0	2 600	2 600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27/11/2012	19.0	2 200	2 200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07/12/2012	13.0	1 300	1 300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14/12/2012	8.7	200	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17/12/2012	19.1	260	260	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27/12/2012	17.0	200	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03/01/2013	19.5	40	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06/01/2013	19.2	170	130	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15/01/2013	18.6	680	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	490	0	0	140
21/01/2013	11.7	400	360	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0
29/01/2013	18.2	300	80	0	100	0	0	0	0	0	70	0	50	0	0	0
04/02/2013	15.6	180	80	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12/02/2013	17.1	4 000	3 100	0	0	900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19/02/2013	16.8	232	52	0	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27/02/2013	13.7	92	68	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04/03/2013	14.8	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14/03/2013	14.0	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18/03/2013	14.8	700	300	0	0	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27/03/2013	12.7	1 500	1 500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03/04/2013	13.8	380	320	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09/04/2013	11.3	160	80	0	0	0	0	0	0	80	0	0	0	0	0	0
15/04/2013	14.0	220	220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24/04/2013	16.5	1 400	600	0	0	0	0	0	0	0	0	800	0	0	0	0
29/04/2013	19.4	300	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07/05/2013	20.8	1 000	200	0	0	0	0	0	0	0	0	800	0	0	0	0
13/05/2013	22.4	5 900	5 700	0	0	0	0	0	0	0	100	100	0	0	0	0
21/05/2013	18.7	2 880	2 400	0	160	0	0	0	0	0	0	320	0	0	0	0
27/05/2013	22.5	1 900	1 300	0	500	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
03/06/2013	21.7	6 200	0	0	1 100	0	0	0	0	0	400	0	4 700	0	0	0
10/06/2013	21.6	5 800	1 400	0	0	0	0	0	0	0	200	4 200	0	0	0	0
17/06/2013	22.8	14 100	14 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0
24/06/2013	22.6	150 000	130 000	0	20 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01/07/2013	27.1	17 028	14 028	0	0	0	0	0	0	0	0	3 000	0	0	0	0
08/07/2013	27.5	7 300	5 800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 500	0	0	0
16/07/2013	28.5	16 000	12 000	0	0	0	0	4 000	0	0	0	0	0	0	0	0
23/07/2013	30.9	28 000	28 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30/07/2013	28.1	14 000	14 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07/08/2013	27.5	11 000	11 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12/08/2013	28.1	19 000	19 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20/08/2013	27.5	22 000	0	0	0	21 000	0	0	0	0	1 000	0	0	0	0	0
26/08/2013	28.2	1 000	0	0	0	0	0	0	0	0	1 000	0	0	0	0	0
04/09/2013	26.7	800	800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09/09/2013	27.4	9 090	8 545	0	0	0	0	545	0	0	0	0	0	0	0	0
18/09/2013	24.5	6 000	4 000	0	0	2 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23/09/2013	24.5	17 000	17 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02/10/2013	22.0	5 600	5 600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07/10/2013	24.5	650	600	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14/10/2013	22.9	420	400	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22/10/2013	22.6	900	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	300	0	0	0
28/10/2013	25.0	4 100	3 100	0	1 000	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
28/06/13	Prise	15.3	660	540	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Radeau	25.4	40	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Contrôle	20.7	8 400	0	0	0	600	0	0	0	0	0	7 800	0	0	0	0
	Référence	12.2	220	220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23/09/13	Prise	17.4	2 200	2 200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Radeau	24.6	62 000	62 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Contrôle	18.8	3 300	1 700	0	0	0	0	0	0	0	1 600	0	0	0	0	0
	Référence	16.9	92	33	0	13	0	0	0	0	0	0	46	0	0	0	0







#### 4. PHYTOPLANCTON ET BIOMASSE CHLOROPHYLLIENNE

Auteur : A. Lefebvre

Collaborateurs : E. Antajan, 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. 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 (Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE), Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (2008/56/CE)) ou dans les conventions de mers régionales (ex. convention d'Oslo et de Paris - 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 de prise d'eau), *radeau* (situé en amont du 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

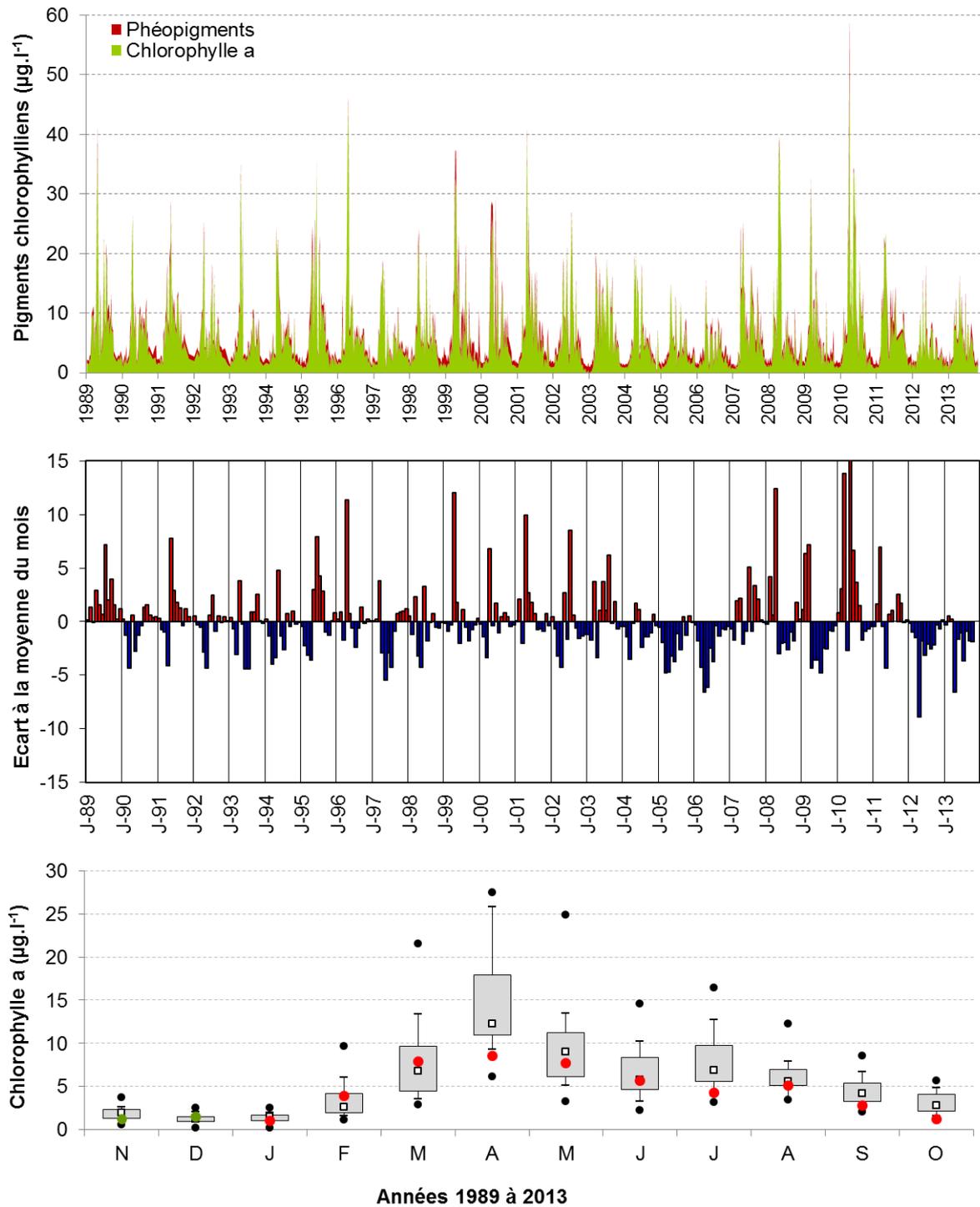
### 4.3. Chlorophylle a et pourcentage de chlorophylle active au point prise

La biomasse phytoplanctonique, exprimé via la concentration en chlorophylle *a*, présente un cycle saisonnier très marqué et est caractérisée par une forte variabilité inter-annuelle (Figure 4.1 A, C et annexes 1). Au cours des derniers cycles de surveillance, nous avons pu noter un cycle de développement de la biomasse phytoplanctonique plus précoce en 2009, très ample en 2010 (60,76  $\mu\text{g.l}^{-1}$  en mars, soit la concentration la plus importante depuis le début de la surveillance) puis d'ampleur moyenne (2011) voire faible (2012) ensuite.

Lors du cycle de surveillance 2012-2013, 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 (valeurs  $< 3 \mu\text{g.l}^{-1}$  jusqu'au 19/02) et une augmentation de la biomasse phytoplanctonique au printemps (9,53  $\mu\text{g.l}^{-1}$  le 27/02). Ceci fait de 2013, une année précoce en termes de développement de la biomasse phytoplanctonique. La concentration maximale était atteinte le 24/04 (15,30  $\mu\text{g.l}^{-1}$ ), ce qui fait également de 2013 une année à concentration relativement faible, comme observée entre 2003 et 2006 (approximativement entre 15 et 20  $\mu\text{g.l}^{-1}$ ). On peut noter des concentrations de l'ordre de 10  $\mu\text{g.l}^{-1}$  le 18/03, le 13/05 et le 24/06.

Comme 2012, l'année 2013 présente presque exclusivement des anomalies négatives au regard de la moyenne calculée pour la période 1989-2013 (Figure 4.1 B). Ceci a également été noté en 2005 et en 2006.

Le pourcentage de chlorophylle active (annexe 1) était compris entre 29 et 96. Les valeurs les plus fortes sont observées entre février et mai (de l'ordre de 80 à 90 %), indicatrices d'une population phytoplanctonique en plein développement. La deuxième quinzaine du mois de juillet 2013 se caractérise également par de fortes valeurs du pourcentage de chlorophylle active. On observe alors un maximum de 96,45 %.



**Figure 4.1 (A) Concentration en chlorophylle a au point prise, (B) anomalies des concentrations par rapport à la moyenne mensuelle et (C) évolution mensuelles des concentrations pour la période 1989 à 2013** (points verts = données 2012 ; points rouges = données 2013 ; points noirs = données extrêmes depuis 1989 ; carrés noirs = moyennes depuis novembre 1989).

#### 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 ( $N_i = N$ ).

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 :

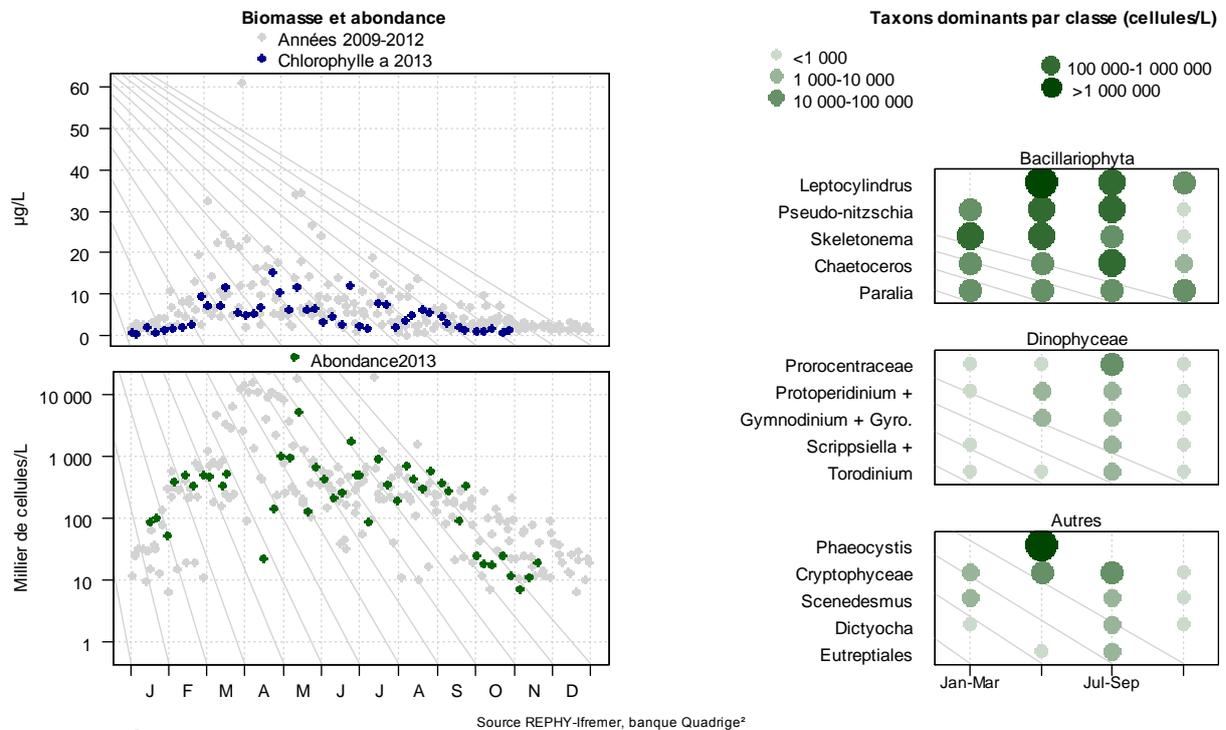
- quand le nombre d'espèces est faible,
- quand le nombre d'espèces est élevé, mais quelques espèces dominant.

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

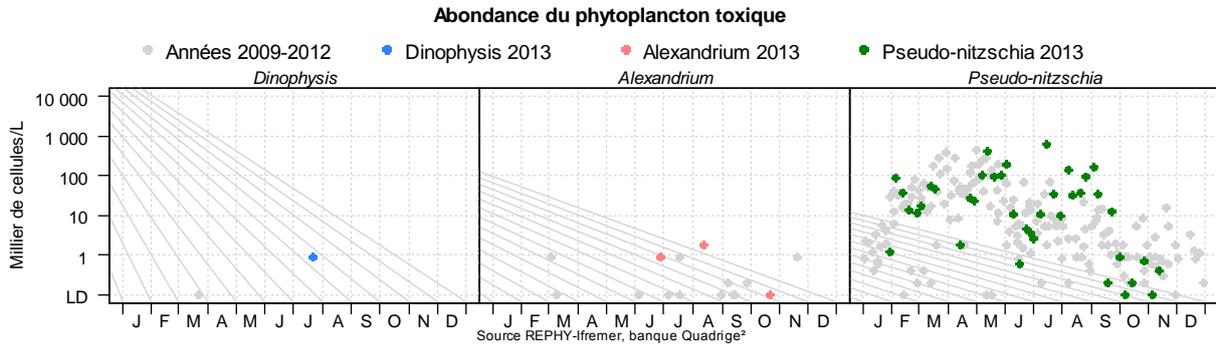
L'abondance phytoplanctonique totale a fluctué entre un minimum de 6300 (en 2011) et un maximum de près de  $58.10^6$  cellules par litre (en 2010) entre 2009 et 2013 (figure 4.2). Les concentrations maximales de l'ordre de plusieurs millions de cellules par litres étaient liées au développement massif de la prymnésiofycée *Phaeocystis globosa*. La communauté phytoplanctonique était dominée par les diatomées ou bacillariophycées, sauf lors de la prolifération de la prymnésiofycée.

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 l'année 2013 (figure 4.2).



**Figure 4.2** Évolution de la biomasse, de l'abondance totale et de la composition phytoplanctonique entre 2009 et 2013 et classement des taxons dominants par trimestre au point *prise* pour l'année 2013.

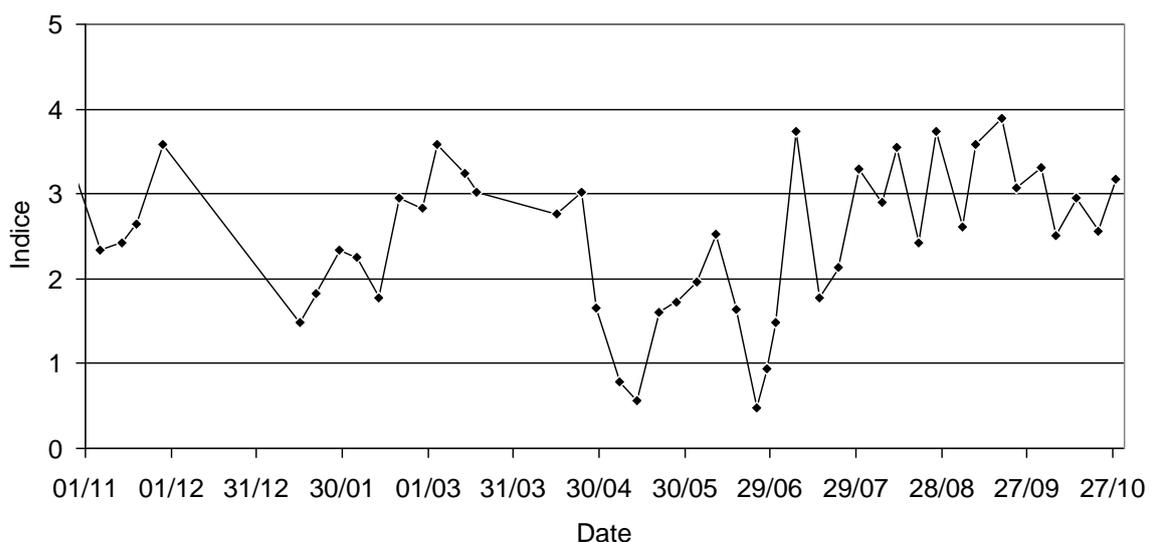
Les abondances des principaux genres contenant des espèces potentiellement productrices de phycotoxines sont présentées pour le point *prise* (figure 4.3). Les genres *Alexandrium* et *Pseudo-nitzschia* sont régulièrement échantillonnés au point *prise*. La présence de *Dynophysis* est plutôt exceptionnelle. 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 (figure 4.4). 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 4.3** Abondances des principaux genres contenant des espèces productrices de phycotoxines pour le point prise pour la période 2009-2012 (points gris) et pour l'année 2013 (points de couleurs).

L'étude de l'évolution de l'indice de Shannon sur la période 2008-2013 permet de mettre en évidence un schéma général (Annexe 2) avec une chute importante de l'indice généralement observé lors des mois d'avril et de mai. Cette chute est principalement liée à la prolifération de *Phaeocystis globosa* (Planche 1). 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. Les valeurs sont comprises entre 0,02 et 4,18 (Annexe 2).

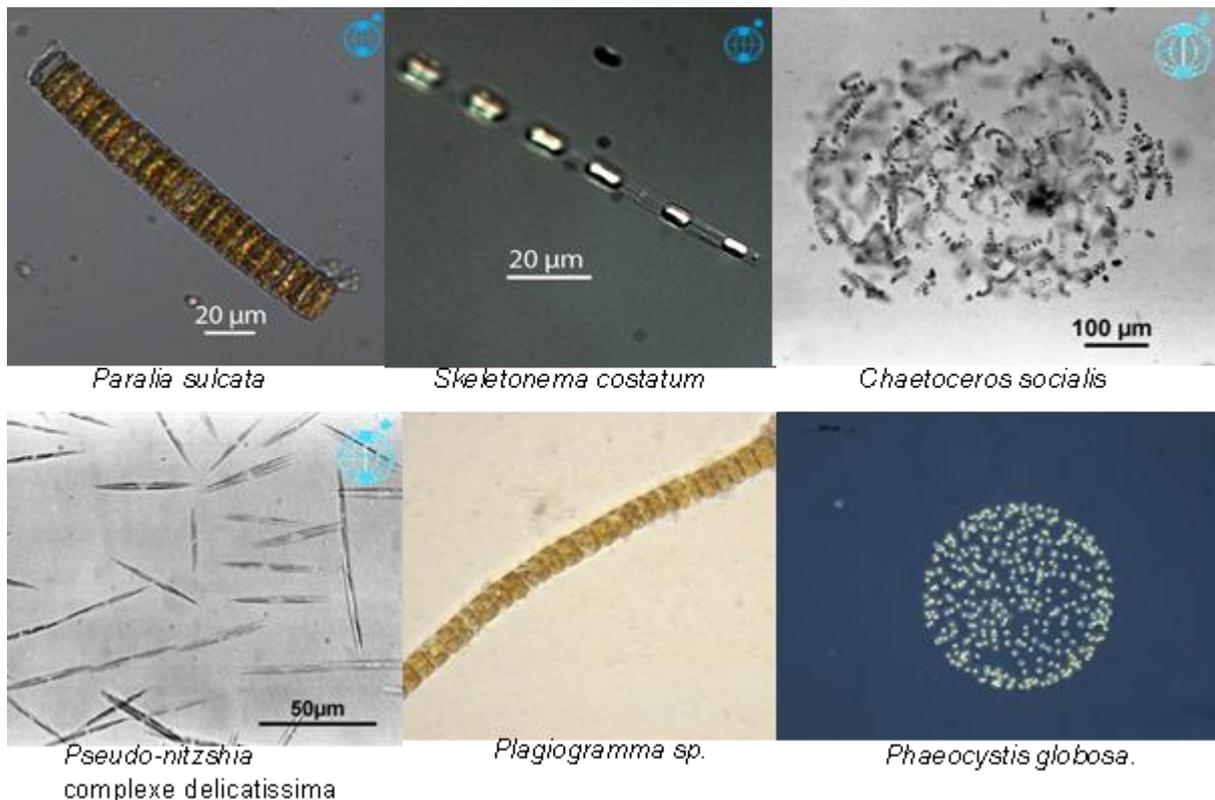
Au cours de la période de surveillance novembre 2012 - octobre 2013, l'indice de Shannon a évolué entre 0,48 et 3,89 (figure 4.4 et annexe 2). Le schéma de variation est comparable à celui des périodes de surveillance précédentes, c'est à dire que les valeurs les plus élevées, représentatives d'une communauté diversifiée composée de taxons équi-dominants, sont plutôt observées de septembre à février et de juin à octobre.



**Figure 4.4** Évolution de l'indice de Shannon au point prise au cours de la période comprise entre novembre 2012 et octobre 2013.

Au cours de la période de surveillance 2012-2013, la chute de l'indice est expliquée par la dominance d'un ou plusieurs taxons (Planche 1) au sein de la communauté phytoplanctonique :

- 15/01/2013 : dominance de *Paralia sulcata* (60 500 cellules.l<sup>-1</sup>) et de *Plagiogramma* sp. (9 700 cellules.l<sup>-1</sup>).
- 21/01/2013 : dominance de *Skeletonema costatum* (67 000 cellules.l<sup>-1</sup>) et de *Plagiogramma* sp. (11 000 cellules.l<sup>-1</sup>).
- 12/02/2013 : dominance de *Skeletonema costatum* (366 586 cellules.l<sup>-1</sup>), de *Pseudo-nitzschia*, complexe delicatissima (27 187 cellules.l<sup>-1</sup>), de *Pseudo-nitzschia*, groupes des larges (10 525 cell/L), de *Plagiogramma* sp. (13 155 cellules.l<sup>-1</sup>) et de *Chaetoceros* sp. (13 155 cellules.l<sup>-1</sup>).
- Entre le 29/4 et le 13/05/2013 : dominance de *Phaeocystis globosa* (maximum de plus de 4.10<sup>6</sup> cellules.l<sup>-1</sup> le 13/05).
- 27/05/2013 : dominance de *Phaeocystis globosa* (468 342 cell/L) et de *Pseudo-nitzschia*, complexe delicatissima (105 240 cellules.l<sup>-1</sup>).
- 03/06/2013 : dominance de *Pseudo-nitzschia*, complexe delicatissima (197 325 cellules.l<sup>-1</sup>) et de *Skeletonema costatum* (167 507 cellules.l<sup>-1</sup>).
- Entre le 17/06 et le 01/07/2013 : dominance de *Leptocylindrus danicus* (maximum de plus de 1,5.10<sup>6</sup> cellules.l<sup>-1</sup> le 24/06).



**Planche 1. Taxons dominants lors des chutes de l'indice de Shannon au point prise  
vue au microscope optique**

(sources : <http://www.gtresearchnews.gatech.edu>, <http://planktonnet.awi.de>, <http://www.marinespecies.org>)



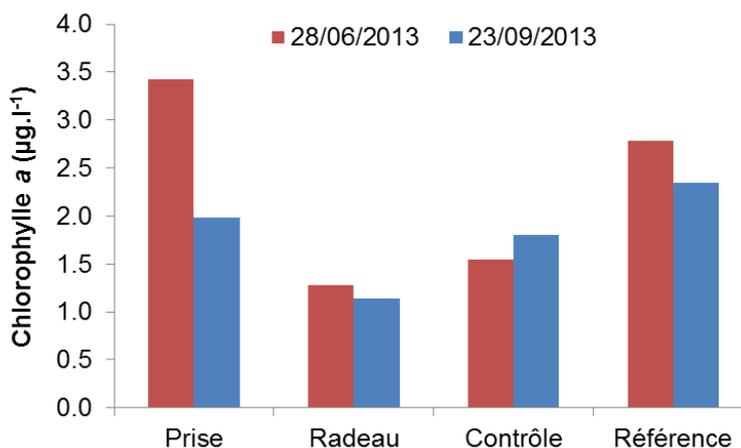
Rappelons que *Phaeocystis globosa* (Planche 1) présente un cycle de vie complexe, polymorphe dont le développement passe de cellules isolées à la formation de colonies dont la dégradation (par vieillissement ou par action physique du vent ou de la marée) conduit à la formation d'une mousse abondante 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,...). 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).

#### 4.5. Campagnes pélagiques

Les campagnes pélagiques permettent de comparer la biomasse et l'abondance phytoplanctonique en 4 points de prélèvement (*prise*, *radeau*, *contrôle* et *référence*) diversement concernés par les rejets d'eau chaude de la centrale. Les campagnes de 2013 ont eu lieu les 28 juin et 23 septembre.

##### 4.5.1. Pigments chlorophylliens

Lors des deux campagnes pélagiques, la concentration en chlorophylle *a* au point *radeau* était classiquement inférieure à celle du point *prise* (figure 4.5 et annexe 3). La concentration augmente ensuite progressivement au point *contrôle* et au point *référence*. En juin, conformément à l'existence d'un gradient décroissant de la côte vers le large dans ce type d'écosystème la concentration en chlorophylle *a* au point *prise* était plus importante qu'au



point *référence*.

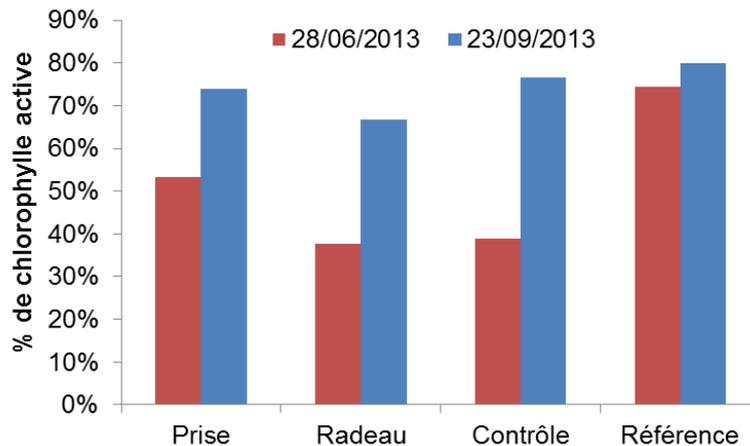
Figure 4.5 Évolution spatiale de la concentration en chlorophylle *a* (µg.l<sup>-1</sup>)

<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.



**lors des campagnes pélagiques de 2013.**

Le pourcentage de chlorophylle active (phytoplancton non dégradé) était compris entre 39 et 74 % et entre 67 et 80 %, respectivement, lors des campagnes de juin et de septembre 2013 (figure 4.6 et annexe 3). Les valeurs de la campagne printanière reflètent la phase de post-bloom, lorsque la population phytoplanctonique est vieillissante et que les produits de dégradation liés à la consommation par le zooplancton sont plus abondants.



**Figure 4.6 Évolution spatiale du pourcentage de chlorophylle active lors des deux campagnes pélagiques de 2013.**

Le transit des masses d'eaux dans la centrale entraîne une dégradation physique ou une altération d'ordre physiologique des cellules phytoplanctoniques, ce qui se traduit 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 *radeau*. Quoiqu'il en soit, ce phénomène reste limité dans l'espace, puisque ces effets ne sont plus visibles au point *référence*, et n'impacte donc pas la communauté phytoplanctonique à l'échelle de l'écosystème de la baie sud de la Mer du Nord et de la Manche orientale.

#### **4.5.2. Phytoplancton**

Les échantillons prélevés lors de la campagne de juin 2013 contenaient entre 16 et 28 taxons (entre 19 et 30 taxons en 2011, entre 6 et 22 en 2012 pour les campagnes de juin et de septembre) (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 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 28 juin et du 23 septembre 2013 (- : échantillon non disponible).**

Campagnes	Points			
	<i>Prise</i>	<i>Radeau</i>	<i>Contrôle</i>	<i>Référence</i>
28/06/13	21	16	28	18
23/09/13	-	-	-	-

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 de la campagne de juin 2013, la communauté était essentiellement composée (par ordre croissant d'abondance) de cellules de la classe des bacillariophycées, des cryptophycées, des dinoflagellés et des chlorophycées (Tableau 4.2).

Les taxons contribuant significativement à l'abondance totale lors de la campagne pélagique de juin 2013 sont présentés dans le tableau 4.3. Des seuils arbitraires de plusieurs dizaines ou centaines de milliers de cellules par litre ont été définis pour élaborer cette liste.

**Tableau 4.2 Répartition par classe taxonomique des abondances phytoplanctoniques (nombre de cellules par litre) observées lors des campagnes pélagiques du 28 juin 2013**

(/ : groupe non observé)

28 juin 2013	Cryptophycées	Bacillariophycées	Dinoflagellés	Chlorophycées
<b>Prise</b>	1 754	23 679	3 808	/
<b>Radeau</b>	/	30 618	964	/
<b>Contrôle</b>	11 400	41 857	6 239	7 016
<b>Référence</b>	3 508	51 089	1 077	/

**Tableau 4.3 Taxons présentant les plus fortes abondances relatives (seuils arbitraires et liste par ordre décroissant d'abondance) lors des campagnes pélagiques du 28 juin 2013**

Points	28 juin 2013
<b>Prise</b>	<i>Leptocylindrus danicus</i> (434 115 cellules.l <sup>-1</sup> ) (88 % des cellules observées)
<b>Radeau</b>	<i>Leptocylindrus danicus</i> (434 115 cellules.l <sup>-1</sup> ) (80 % des cellules observées), <i>Chaetoceros sp.</i> (18 417 cellules.l <sup>-1</sup> ) et <i>Ceratoneis closterium</i> (15 786 cellules.l <sup>-1</sup> ).
<b>Contrôle</b>	<i>Leptocylindrus danicus</i> (434 115 cellules.l <sup>-1</sup> ) (65 % des cellules observées), <i>Paralia sulcata</i> (21 040 cellules.l <sup>-1</sup> ), <i>Ceratoneis closterium</i> (12 270 cellules.l <sup>-1</sup> ), Cryptophyceae (11 400 cellules.l <sup>-1</sup> ).
<b>Référence</b>	<i>Leptocylindrus danicus</i> (299 000 cellules.l <sup>-1</sup> ) (80 % des cellules observées), <i>Paralia sulcata</i> (33 326 cellules.l <sup>-1</sup> ).

#### 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 4.7) 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>).

Le bloom de 2013 apparaît précoce et d'amplitude moyenne. La dynamique spatiale est classique avec une initiation du développement d'une forte biomasse phytoplanctonique en baie sud de la Mer du Nord et dans la partie orientale des côtes anglaises dès février. L'extension de ce développement à l'échelle de la Manche orientale et sur la côte est du Royaume-Uni a été observée dès avril. Les concentrations restent importantes dans la bande côtière en juin et juillet, puis diminuent pour ne plus être localisées que dans les zones de panache des fleuves (Seine, Somme) dès le mois d'août. Cette plus forte production à proximité des fleuves, mais plus tardive, s'explique par une limitation par la lumière en début de saison (en raison de fortes turbidités) alors que les nutriments sont disponibles.

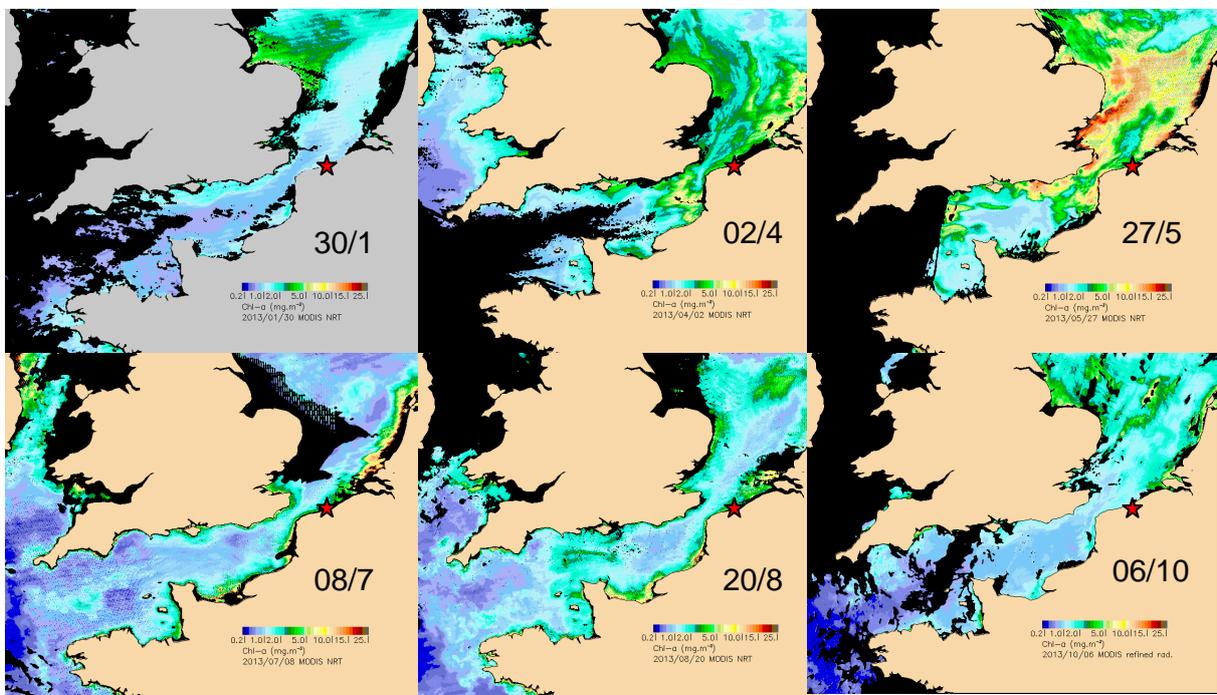


Figure 4.7 Illustration à méso-échelle de la dynamique de développement phytoplanctonique en 2013 via l'estimation de la concentration en chlorophylle *a* par le capteur MODIS (algorithme OC5 IFR) (Masque noir : terre ou couverture nuageuse, étoile rouge : emplacement du CNPE)

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

#### 4.7. Éléments de conclusion

Le suivi hebdomadaire au point *prise* confirme l'évolution classique 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 la mise en place du suivi hebdomadaire en 1989 et en accord avec la dynamique des écosystèmes tempérés. 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. Lors des cycles de surveillance précédents, nous avons pu noter que l'année 2009 était marquée par une précocité du bloom et une valeur exceptionnellement forte de la concentration en chlorophylle *a* (60,76  $\mu\text{g.l}^{-1}$  le 31/03/2010), alors que les années 2011 et 2012 ont été caractérisées par un développement plus tardif et d'ampleur moindre (maximum de 23,46  $\mu\text{g.l}^{-1}$  le 04/04/2011 et de 17,90  $\mu\text{g.l}^{-1}$  le 15/05/2012). Le développement de la biomasse phytoplanctonique a été précoce et de relativement faible ampleur en 2013. La concentration en chlorophylle *a* a atteint un maximum de 15,30  $\mu\text{g.l}^{-1}$  le 24/04/2013.

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 menées en Manche orientale et en baie sud de la Mer du Nord. Ainsi, la communauté phytoplanctonique était dominée par la famille des diatomées ou bacillariophytes, sauf lors des proliférations de la prymnésiophyces *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. L'espèce a été échantillonnée entre fin avril et fin mai au point prise avec un maximum d'abondance de plus de  $4,5 \cdot 10^6$  cellules par litre à la mi-mai. L'espèce contribue fortement à la chute de l'indice de diversité de Shannon au cours du mois de mai 2013. Son développement est plus tardif et moindre par rapport à celui observé en 2012 (maximum proche de  $9 \cdot 10^6$  cellules par litre le 18/04/2012).

Les changements observés au sein de la communauté phytoplanctonique ne correspondent 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 sont le reflet de la variabilité saisonnière et pluri-annuelle de la dynamique du phytoplancton.

Les genres *Alexandrium*, *Gymnodinium*, *Gyrodinium* et *Pseudo-nitzschia*, 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 sur le littoral du Nord, du Pas de Calais et de la Picardie ont permis de conclure à l'absence de toxines en concentrations supérieures aux seuils réglementaires.

Les résultats acquis lors des deux campagnes pélagiques sont destinés à mettre en évidence les variations phytoplanctoniques spatiales sur le site du CNPE. La hausse de la température, la chloration et les effets mécaniques lors du transit du phytoplancton dans la centrale, porte atteinte à la structure des cellules phytoplanctoniques, cependant cet impact reste très localisé spatialement et ne peut donc pas avoir de conséquence sur la dynamique des communautés phytoplanctoniques à l'échelle de fonctionnement de l'écosystème.

**Annexe 1 : Concentration hebdomadaire des pigments chlorophylliens au point prise et indices de Shannon des espèces phytoplanctoniques (les résultats des 3 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 a	phéopigments	Chlorophylle active	Indice de Shannon
jj/mm/aaaa	$\mu\text{g.l}^{-1}$	$\mu\text{g.l}^{-1}$	%	Sans unité
06/11/2012	0.53	1.30	28.96	2.33
14/11/2012	2.10	0.85	71.19	2.42
22/11/2012	1.10	0.80	57.89	2.65
27/11/2012	1.10	0.43	71.90	3.58
07/12/2012	2.10	0.85	71.19	-
14/12/2012	1.60	0.27	85.56	-
17/12/2012	1.10	0.80	57.89	-
27/12/2012	1.10	0.80	57.89	-
03/01/2013	0.62	0.24	72.09	-
06/01/2013	0.44	0.14	75.86	-
15/01/2013	2.07	1.67	55.35	1.49
21/01/2013	0.64	0.27	70.33	1.82
29/01/2013	1.51	0.96	61.13	2.34
04/02/2013	1.57	0.44	78.11	2.26
12/02/2013	1.90	0.63	75.10	1.78
19/02/2013	2.56	0.16	94.12	2.95
27/02/2013	9.53	1.19	88.90	2.83
04/03/2013	7.17	0.54	93.00	3.58
14/03/2013	7.16	0.96	88.18	3.24
18/03/2013	11.84	0.99	92.28	3.02
27/03/2013	5.45	0.57	90.53	-
03/04/2013	4.81	0.68	87.61	-
09/04/2013	5.16	0.77	87.02	-
15/04/2013	6.84	0.37	94.87	2.77
24/04/2013	15.30	0.97	94.04	3.02
29/04/2013	10.50	0.42	96.15	1.66
07/05/2013	6.35	0.75	89.44	0.78
13/05/2013	11.80	1.38	89.53	0.56
21/05/2013	6.21	1.68	78.71	1.60
27/05/2013	6.47	0.71	90.11	1.73
03/06/2013	3.32	0.43	88.53	1.96
10/06/2013	4.64	1.40	76.82	2.53
17/06/2013	2.67	0.71	78.99	1.64
24/06/2013	11.98	2.09	85.15	0.48
28/06/2013	3.42	3.01	53.19	0.93
01/07/2013	2.21	1.01	68.63	1.48
08/07/2013	1.78	0.91	66.17	3.74
16/07/2013	7.89	0.29	96.45	1.77
23/07/2013	7.50	0.32	95.91	2.14
30/07/2013	1.98	0.62	76.15	3.29
07/08/2013	3.60	1.02	77.92	2.89
12/08/2013	4.96	0.58	89.53	3.55
20/08/2013	6.23	2.20	73.90	2.42
26/08/2013	5.58	1.40	79.94	3.74
04/09/2013	4.45	1.16	79.32	2.61
09/09/2013	3.13	0.86	78.45	3.58
18/09/2013	2.06	1.21	63.00	3.89
23/09/2013	1.49	0.67	68.98	3.07
02/10/2013	0.95	0.66	59.01	3.31
07/10/2013	1.06	0.63	62.72	2.51
14/10/2013	1.63	0.52	75.81	2.96
22/10/2013	0.85	0.59	59.03	2.56
28/10/2013	1.45	1.20	54.72	3.17

**Annexe 2 : Paramètre de tendance centrale et de dispersion pour l'indice de Shannon (A) pour la période 2008-2013 et la période de surveillance de novembre 2012 à octobre 2013, puis (B) par années et (C) pour chaque mois pour la période 2008-2013.**

(A)

	Moyenne	Écart-type	Minimum	Premier quartile	Médiane	Troisième quartile	Maximum	Nombre de données
2008-2013	2.46	1.05	0.02	1.82	2.75	3.19	4.18	300
Nov. 2012 Oct. 2013	2.57	0.86	0.48	1.89	2.77	3.26	3.89	51

(B)

Année	Moyenne	Écart-type	Minimum	Premier quartile	Médiane	Troisième quartile	Maximum	Nombre de données
2008	2.50	1.13	0.06	1.74	2.74	3.47	4.15	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	2.40	0.89	0.11	1.98	2.58	2.99	3.74	47
2013	2.46	0.89	0.48	1.78	2.56	3.07	3.89	43

(C)

Mois	Moyenne	Écart-type	Minimum	Premier quartile	Médiane	Troisième quartile	Maximum	Nombre de données
1	2.81	0.77	1.29	2.34	2.67	3.30	4.04	25
2	2.85	0.44	1.78	2.61	2.87	3.08	3.60	24
3	2.02	1.20	0.11	1.22	1.83	3.02	3.84	25
4	0.81	0.95	0.04	0.11	0.27	1.65	3.02	25
5	1.30	0.82	0.02	0.71	1.29	1.70	3.48	26
6	2.25	0.97	0.48	1.48	2.43	2.86	4.02	30
7	2.58	0.87	0.27	2.16	2.65	3.16	4.05	26
8	2.81	0.72	0.83	2.34	2.88	3.32	3.87	27
9	3.25	0.57	1.76	3.05	3.32	3.62	4.16	25
10	3.13	0.47	2.04	2.82	3.17	3.48	4.18	25
11	3.07	0.47	2.19	2.85	2.98	3.43	3.93	24
12	2.88	0.40	2.00	2.65	2.83	2.97	3.71	18

**Annexe 3 : Concentrations en pigments chlorophylliens lors des campagnes pélagiques**

<b>Date</b>	<b>Heure</b>	<b>Point</b>	<b>Chlorophylle a (<math>\mu\text{g.l}^{-1}</math>)</b>	<b>Pheopigments (<math>\mu\text{g.l}^{-1}</math>)</b>	<b>% chlorophylle active</b>
28/06/2013	17:15	Prise	3.42	3.01	53
28/06/2013	15:55	Radeau	1.28	2.12	38
28/06/2013	16:50	Contrôle	1.55	2.45	39
28/06/2013	16:05	Référence	2.78	0.96	74
23/09/2013	15:00	Prise	1.98	0.70	74
23/09/2013	14:25	Radeau	1.14	0.57	67
23/09/2013	15:12	Contrôle	1.80	0.55	77
23/09/2013	16:00	Référence	2.35	0.59	80



## 5. ZOOPLANCTON

Auteur : Elvire Antajan

Collaborateurs : V. Duquesne, F. Gevaert, 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 de manière indirecte des changements fondamentaux dans l'environnement océanique affectant les conditions hydrologiques ou le phytoplancton par exemple. 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 2013 elles ont été réalisées le 28 juin pour la mission printanière et le 23 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 *radeau* (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* depuis 1993. 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

Depuis 2008, 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 – Fraser 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>.

---

<sup>1</sup> Fraser JH (1968) Smaller mesozooplankton, report of Working Party No.2. In: Tranter DJ (ed), Standardization of zooplankton sampling methods at sea, Part II. Monogr. Oceanogr. Methodol. 2, Zooplankton Sampling. UNESCO (United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization) Press, Paris, pp 153-159..

- Pour les prélèvements à terre aux points *prise* (depuis le pont enjambant le canal de prise d'eau) et *radeau* (depuis le radeau amarré au canal de rejet), le filet est maintenu à deux mètres sous la surface en raison du courant et des remous qui homogénéisent la colonne d'eau (la profondeur dans les canaux étant de sept mètres).

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.

Le petit filet qui était utilisé avant 2008 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>).

### 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>2</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>3</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

<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.

<sup>2</sup> Motoda S (1959). Devices of simple plankton apparatus. Memoirs. Faculty of Fisheries. Hokkaido University 7, 73-94.

<sup>3</sup> Frontier (1972) Calcul de l'erreur sur un comptage de zooplancton. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 8, pp. 121-132.

du zooplancton côtier (Todd *et al.*, 1996<sup>1</sup>), et des clés de détermination pour des groupes spécifiques tels que les copépodes pélagiques (Rose 1933<sup>2</sup>, Boxshall & Halsey 2004<sup>3</sup>) ou les larves de décapodes (Martin, 2001<sup>4</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 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 2013, et comme depuis 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 février et mars, respectivement 104,9 et 172,7 mg·m<sup>-3</sup>.

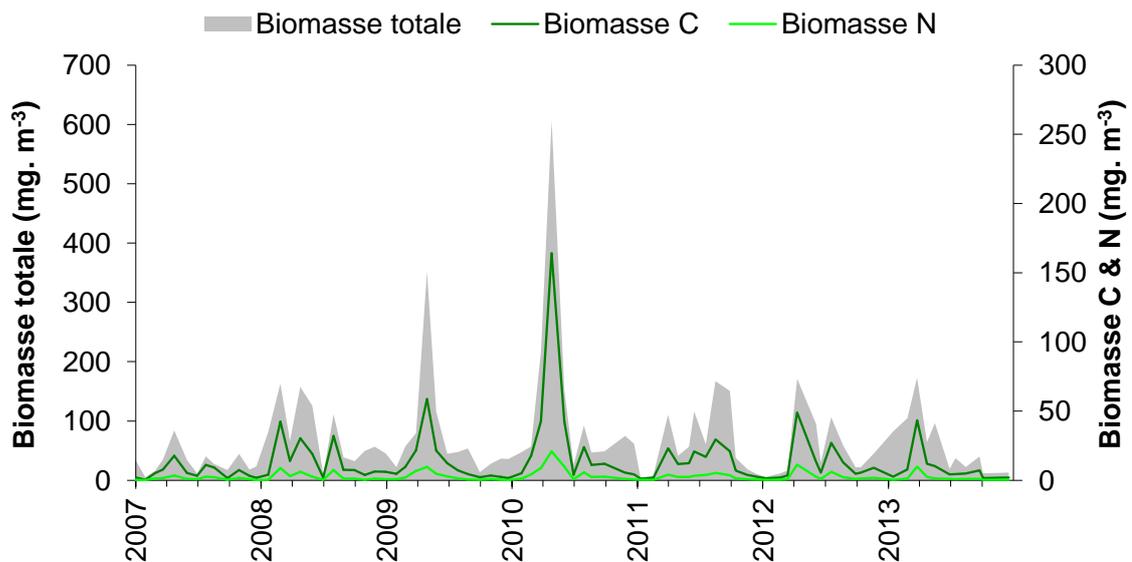


Figure 5.1 : Évolution mensuelle de la biomasse sestonique (poids sec, poids C et poids N) au point *Prise* entre janvier 2007 et octobre 2013

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 8 en 2013. Le rapport C/N peut habituellement caractériser un

<sup>1</sup> Todd CD, Laverrack MS, Boxshall GA (1996) Coastal marine zooplankton – a practical manual for students. Cambridge University Press, pp. 106.

<sup>2</sup> Rose M. (1933) Faune de France, 26. Copépodes pélagiques. Ed. Lechevalier, Paris, pp. 374 .

<sup>3</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>4</sup> Martin J (2001) Les larves des crustacés décapodes des côtes françaises de la Manche. IFREMER, France, pp. 175.

compartiment tel que le zooplancton (rapport C/N ~ 4-5 ; Mauchline, 1998<sup>1</sup>) ou le phytoplancton (C/N  $\geq$  6 ; Biddanda & Benner, 1997<sup>2</sup>).

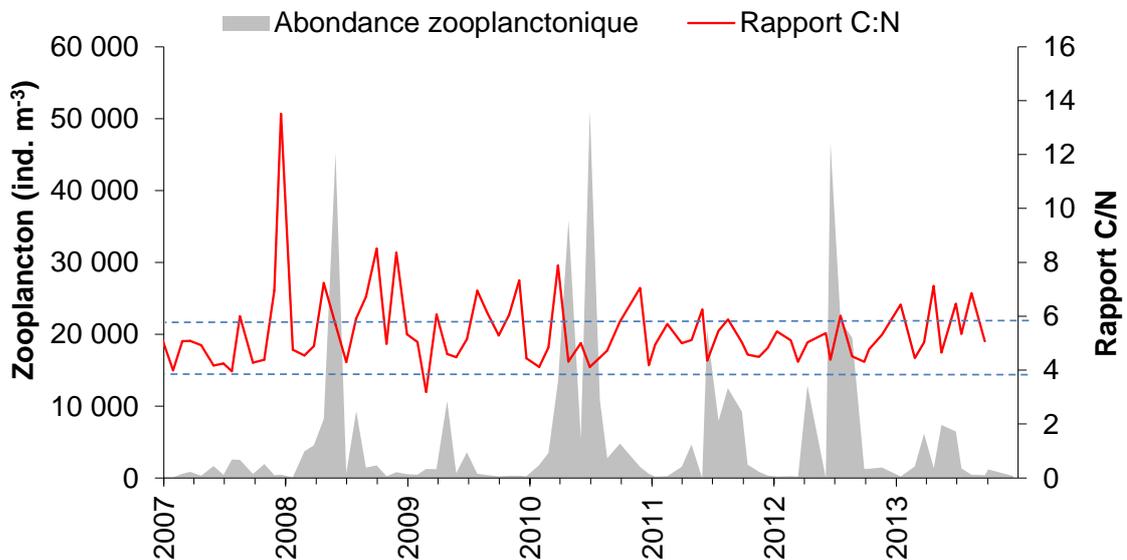


Figure 5.2 : Évolution mensuelle l'abondance zooplanctonique et du rapport C/N du seston au point *Prise* entre janvier 2007 et octobre 2013

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 2013 sont présentés sur la figure 5.3 Les plus faibles abondances ont été observées en hiver et en automne ( $< 800 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Les plus fortes abondances ont été observées en mars et de mai à juin (maximum à  $7\,370 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-3}$ ) et étaient dues pour l'essentiel aux organismes holoplanctoniques que sont les copépodes. Ces fortes abondances ont correspondues aux augmentations de la biomasse chlorophyllienne (figure 5.4), avec un décalage de 15 jours à un mois, temps nécessaire à l'intégration de la production primaire par le zooplancton (surtout si l'on tient compte uniquement des copépodes).

<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

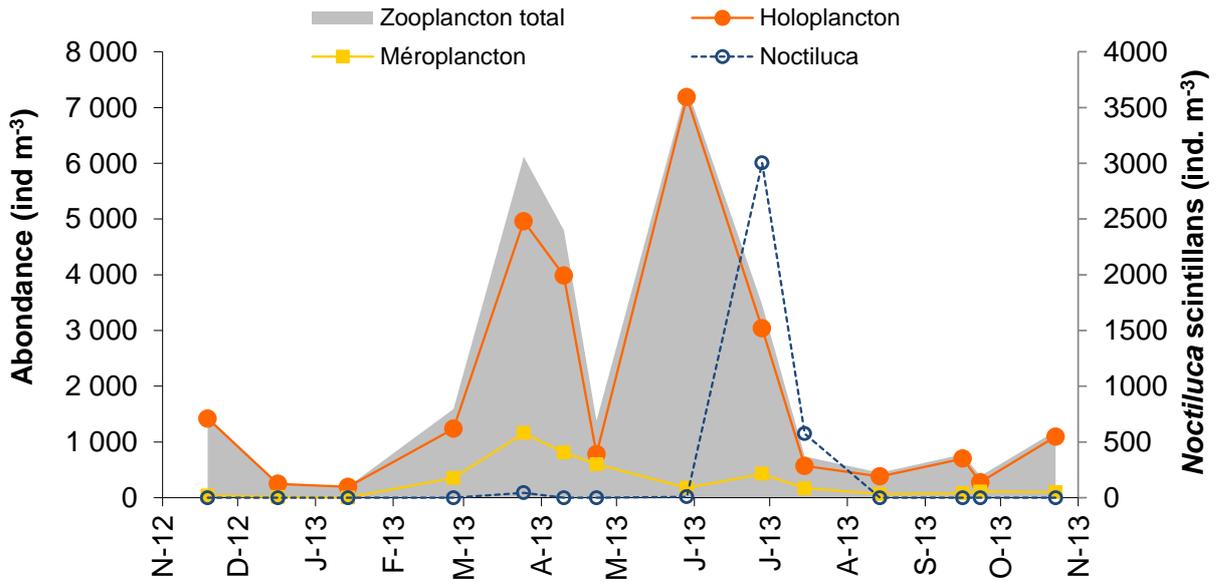


Figure 5.3 : Évolution de l'abondance des zooplanctons, du méroplancton et de *Noctiluca scintillans* au point prise entre novembre 2012 et octobre 2013

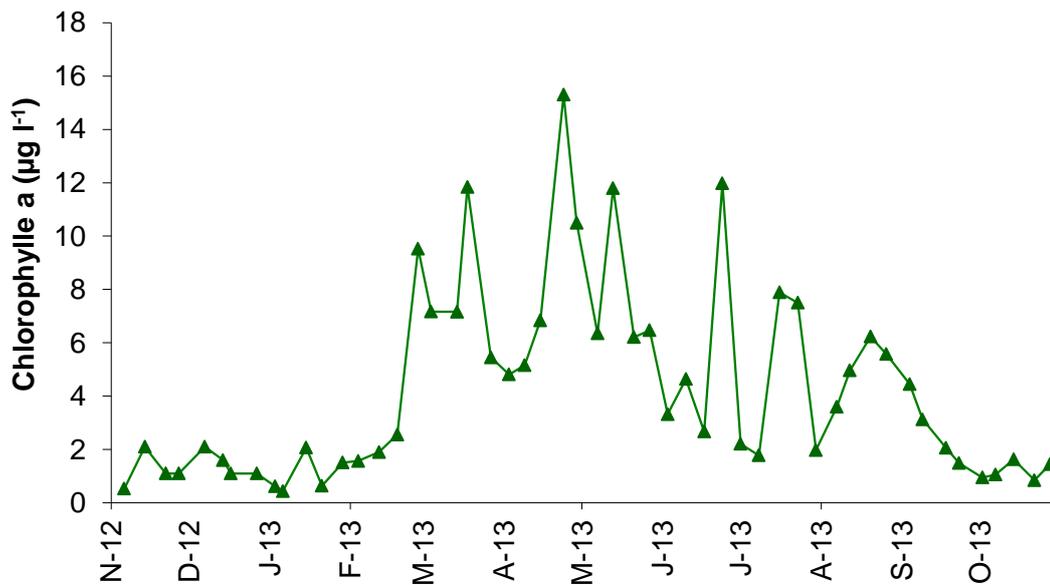


Figure 5.4 : Évolution de la concentration en chlorophylle a au point prise entre novembre 2012 et octobre 2013

Si l'on compare avec les abondances observées depuis 1993, on constate que généralement les plus fortes abondances zooplanctoniques sont observées au mois de mai ce qui s'est confirmé en 2013 (figures 5.5 et 5.6). Les abondances estivales de cette année étaient par contre assez faibles, malgré le peu d'abondance de noctiluques, *Noctiluca scintillans* (dinoflagellés hétérotrophes) cette année (maximum 3 000 ind. m<sup>-3</sup> en juin ; figures 5.5 et 5.6). En effet, ces organismes se nourrissent de phytoplancton et de microzooplancton, et sont donc des compétiteurs pour les holoplanctontes (copépodes et appendiculaires notamment), dont ils peuvent limiter la présence.

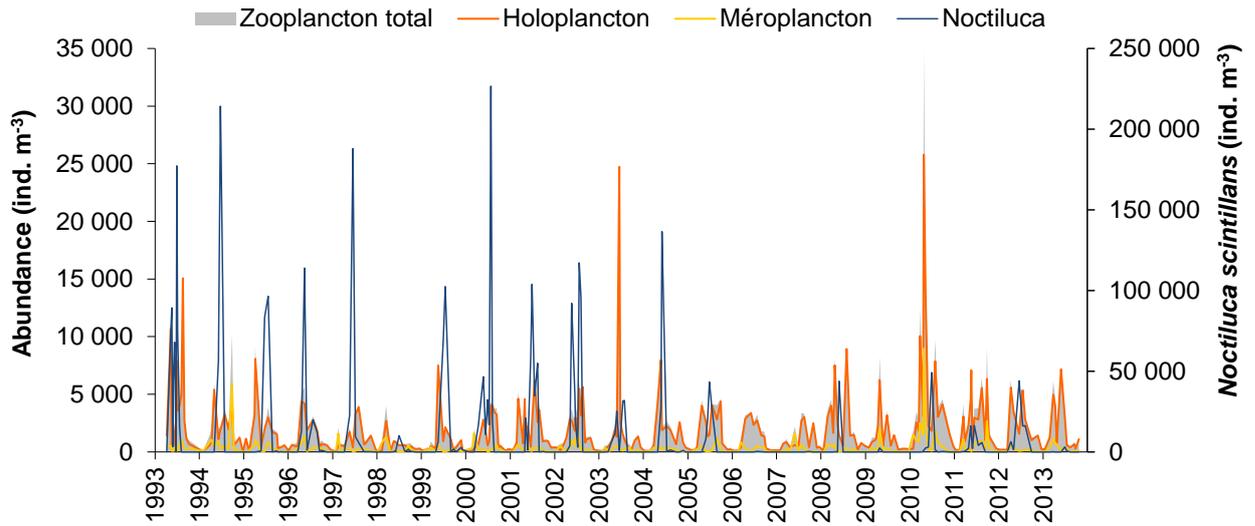


Figure 5.5 : Évolution de l'abondance du zooplancton et de ses fractions holo- et méroplanctonique au point prise de 1993 à 2013

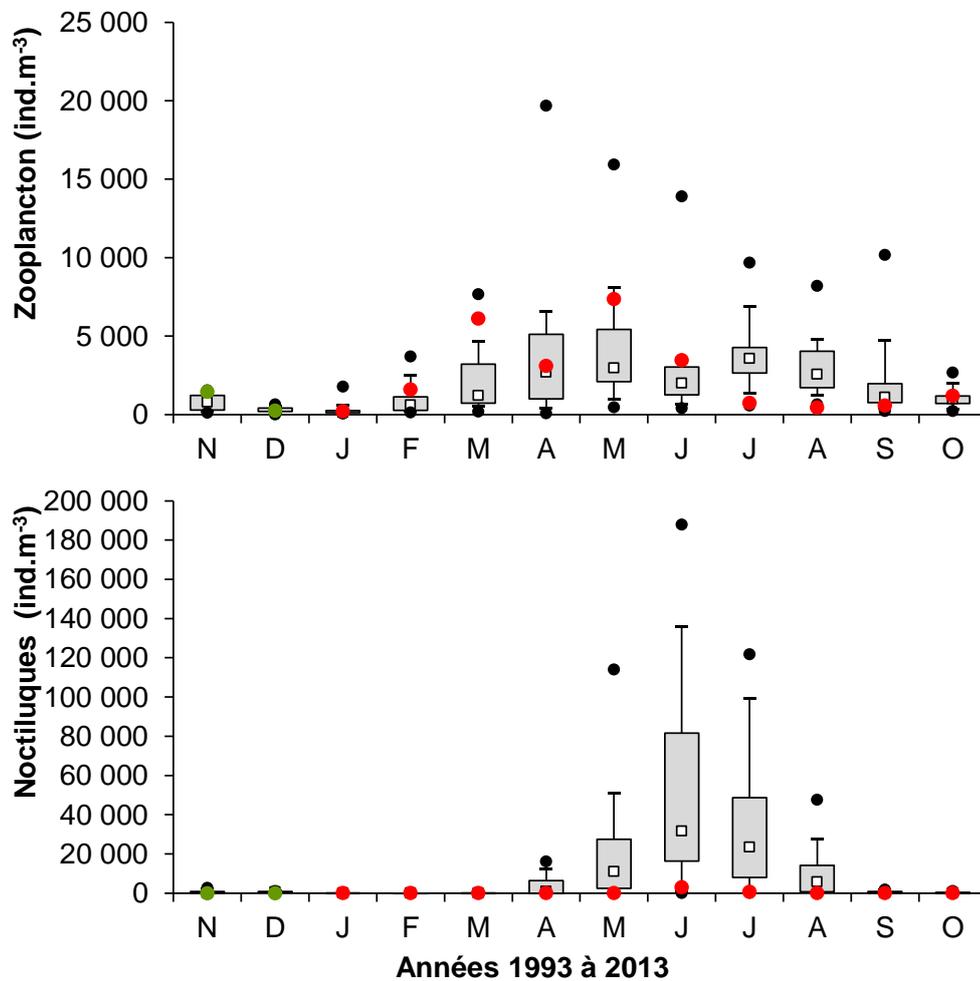


Figure 5.6 : Evolution mensuelle de l'abondance du zooplancton et des noctiluques au point prise de 1993 à 2013 (points verts = données 2012 ; points rouges = données 2013 ; points noirs = données extrêmes depuis 1993 ; carrés noirs = médiane)

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 2013, l'holoplancton représentait généralement plus de 70 % du zooplancton total. Cette fraction était essentiellement composée de crustacés copépodes (50 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 (figure 5.3 et tableau 5.1).

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 5.3 et tableau 5.1).

**Tableau 5.1 : Abondance et dominance des principaux groupes zooplanctoniques au point prise au cours de la période de surveillance 2012-2013**

	19/11/2012	17/12/2012	14/01/2013	25/02/2013	25/03/2013	10/04/2013	23/04/2013	29/05/2013	28/06/2013	15/07/2013	14/08/2013	16/09/2013	23/09/2013	23/10/2013
	ind. m <sup>-3</sup>													
<b>HOLOPLANCTON</b>														
Noctiluques	0	0	0	0	0	44	1	0	0	9	3003	50	575	50
Cténaires	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cladocères	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Copépodes	1237	87	232	93	186	95	1153	93	4738	95	3973	100	499	64
Mysidacés	4	0	2	1	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0
Appendiculaires	168	12	15	6	9	5	82	7	222	4	11	0	282	36
Chaetognathes	9	1	1	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
<b>Holoplancton total</b>	<b>1418</b>	<b>97</b>	<b>249</b>	<b>95</b>	<b>195</b>	<b>97</b>	<b>1237</b>	<b>78</b>	<b>5004</b>	<b>81</b>	<b>3987</b>	<b>83</b>	<b>781</b>	<b>57</b>
<b>MÉROPLANCTON</b>														
Cnidaires	0	0	0	0	3	1	11	1	0	0	3	0	9	5
Annélides	1	2	1	10	2	35	88	25	709	61	294	36	255	42
Bryozoaires	16	41	2	15	1	15	2	0	44	4	119	15	0	0
Mollusques	7	18	7	52	0	4	0	0	67	6	94	12	40	7
Cirripèdes	7	18	1	6	0	8	257	73	321	28	259	32	293	49
Ostracodes	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Décapodes	0	0	0	1	0	2	3	1	3	0	35	4	2	0
Isopodes	2	4	1	8	1	15	2	0	0	0	2	0	9	5
Amphipodes	2	4	0	2	1	12	0	0	0	0	4	0	0	0
Cumacés	3	8	1	5	0	2	0	0	0	0	4	0	0	0
Echinodermes	1	2	0	0	0	0	0	0	4	0	3	0	18	10
Ascidiacées (tétard)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1
Téléostéens	0	0	0	2	0	8	0	0	3	0	9	5	10	2
<b>Méroplancton total</b>	<b>40</b>	<b>3</b>	<b>13</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>354</b>	<b>22</b>	<b>1158</b>	<b>19</b>	<b>811</b>	<b>17</b>	<b>600</b>	<b>43</b>
<b>Zooplancton total</b>	<b>1458</b>	<b>262</b>	<b>201</b>	<b>1590</b>	<b>6162</b>	<b>4798</b>	<b>1381</b>	<b>7370</b>	<b>6469</b>	<b>1315</b>	<b>448</b>	<b>778</b>	<b>389</b>	<b>1195</b>

### 5.2.2.1. L'holoplancton

#### Les copépodes

Les copépodes, représentaient le groupe taxinomique majeur de l'holoplancton, en dehors des noctiluques (figures 5.7 et 5.8). Les plus faibles abondances de copépodes ont été observées en janvier (< 200 ind.·m<sup>-3</sup>) et les plus fortes en mai 2013 (6 976 ind.·m<sup>-3</sup>). Des valeurs exceptionnellement faibles ont été observées de juillet à septembre (< 500 ind.·m<sup>-3</sup>), malgré des conditions environnementales correctes à cette période (température de l'eau et biomasse phytoplanctonique).

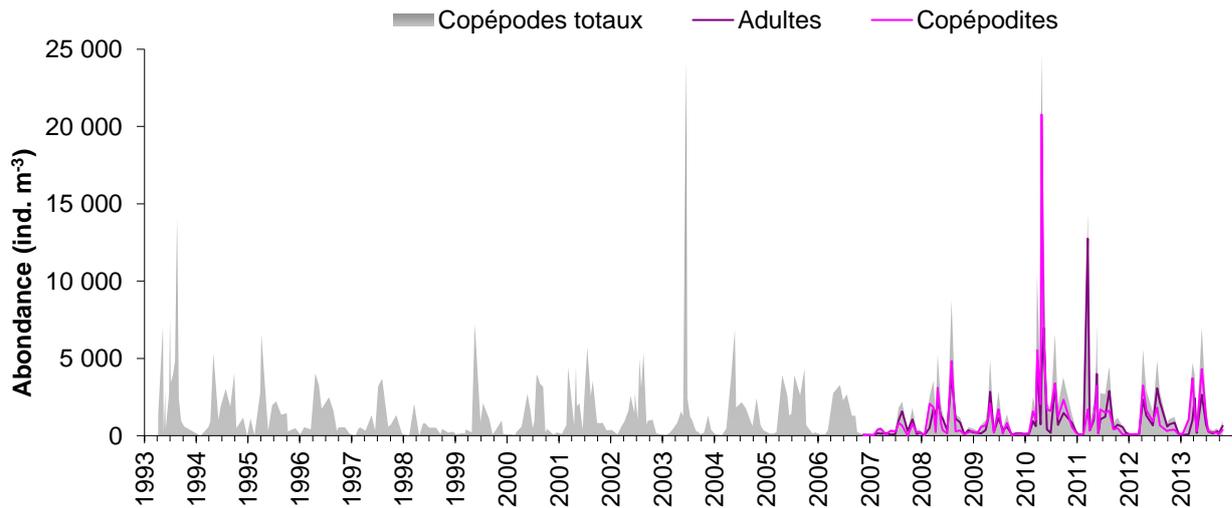


Figure 5.7 : Évolution de l'abondance des copépodes (adultes et copépodites) au point prise entre janvier 1993 et octobre 2013

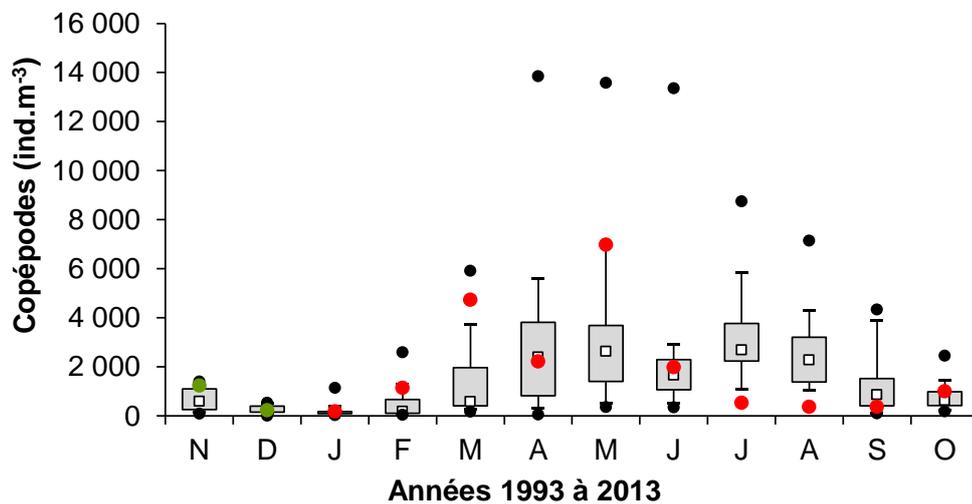


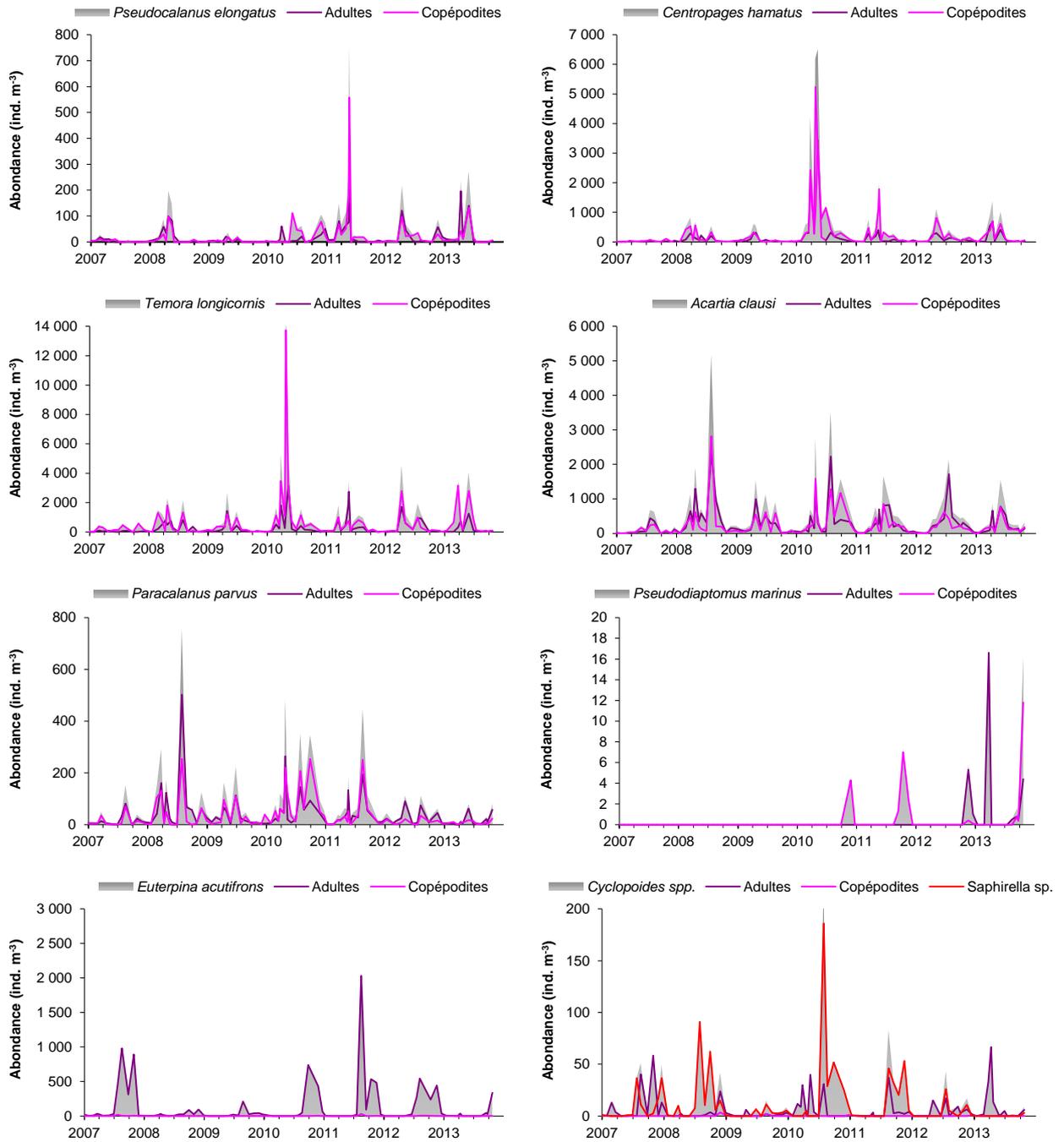
Figure 5.8 : Evolution de l'abondance mensuelle des copépodes (adultes et copépodites) au point prise de 1993 à 2013

(points verts = données 2012 ; points rouges = données 2013 ; points noirs = données extrêmes depuis 1993 ; carré noirs = médiane)

Les espèces printanières *Pseudocalanus elongatus*, *Centropages hamatus* et *Temora longicornis* sont apparues dès le mois de mars, et leurs abondances ont progressés jusque début juin (figures 5.9 et 5.10). Les abondances estivales des copépodes (dont celles d'*Acartia clausi* et *Euterpina acutifrons*) étaient par contre plus faibles que les 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. Ces espèces étaient également peu présentes cette année.

<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



**Figure 5.9 : Abundance (adultes et copépodites) des principales espèces de copépodes au point prise entre janvier 2007 et octobre 2013**

Signalée pour la première fois sur le site de Gravelines en 2010 (Brylinski et al. 2012<sup>1</sup>), l'espèce de copépode d'origine asiatique, *Pseudodiaptomus marinus*, était présente dans nos échantillons d'août à décembre, et également au mois de mars (annexe 5.1). Malgré un nombre d'individus collectés toujours faible (1 à 11 par échantillon, soit 0,1 à 11,8 ind.·m<sup>-3</sup>) la période d'observation n'est plus restreinte à l'automne et l'hiver. Les jeunes stades copépodites étaient plus abondants en septembre et en octobre.

En 2013, chacune des espèces de copépode observées sur le site de Gravelines respectait sa répartition saisonnière habituelle (figure 5.9).

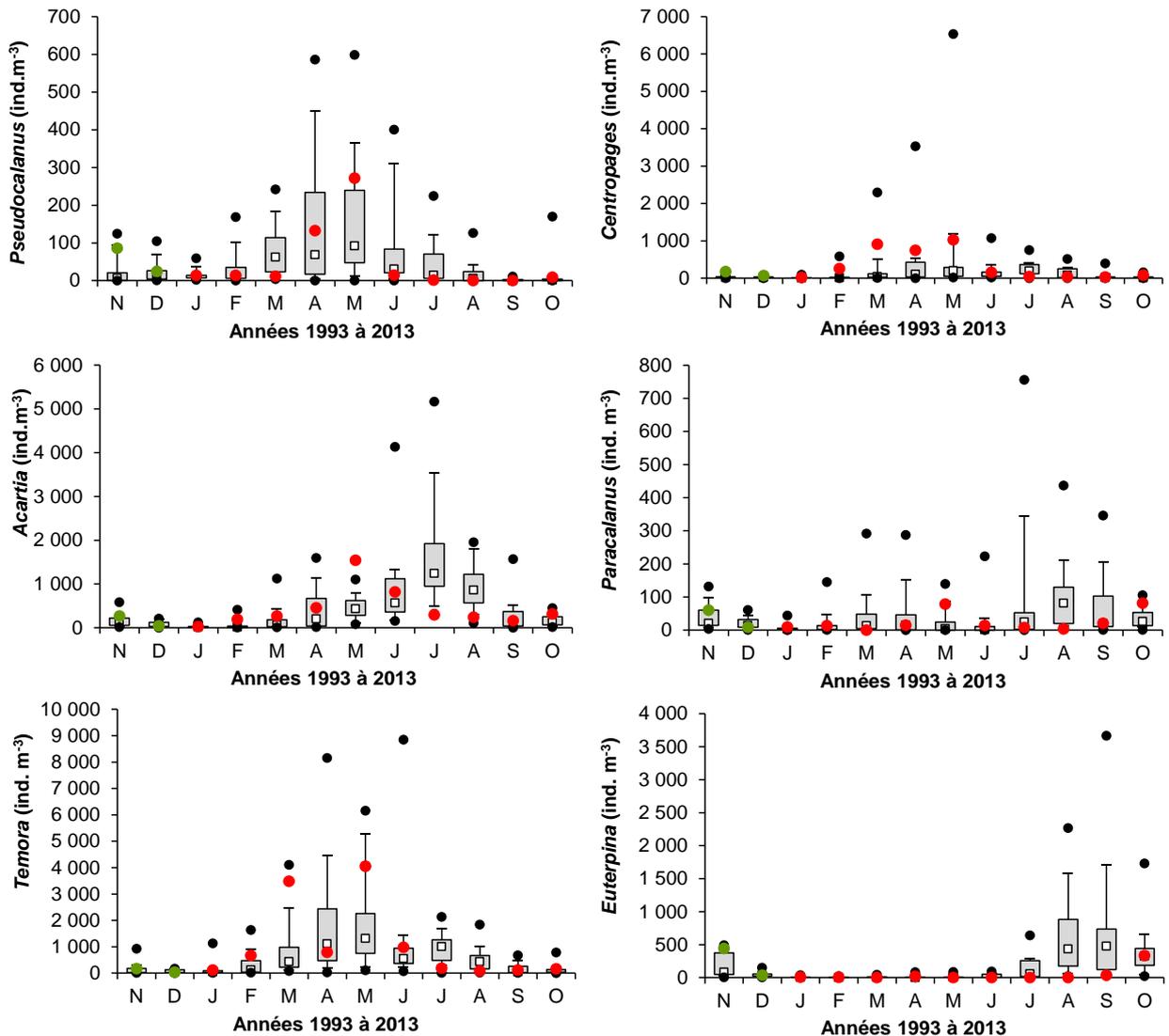


Figure 5.10 : Evolution de l'abondance mensuelle des principales espèces de copépodes au point prise entre janvier 1993 et octobre 2013

(points verts = données 2012 ; points rouges = données 2013 ; points noirs = données extrêmes depuis 1993 ; carré noirs = médiane)

<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.

### Les autres espèces holoplanctoniques

En dehors des copépodes d'autres espèces holoplanctoniques ont présenté des abondances parfois importantes en 2013 (figure 5.11) :

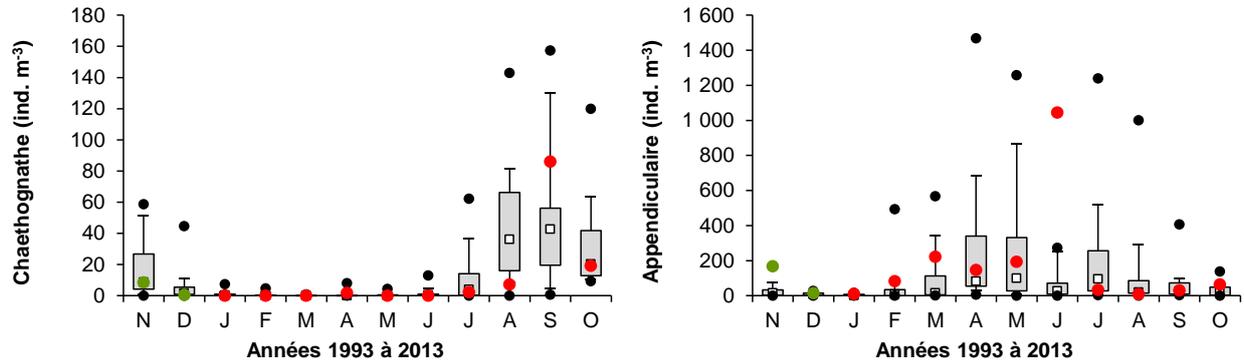


Figure 5.11 : Abondance des chaetognathes et des appendiculaires au point prise entre janvier 1993 et octobre 2013

Les **appendiculaires** (chordés) sont des organismes filtreurs, en partie phytophages. Leur abondance dépend des fluctuations du phytoplancton et de la température de l'eau. Présent toute l'année ce groupe représentait entre 1 et 36 % de l'holoplancton. Habituellement une seule espèce est présente dans nos échantillons, *Oikopleura dioica* favorisée par des peuplements phytoplanctoniques abondants et des températures élevées, mais cette année, comme en 1995 et 2006, l'espèce *Fritillaria borealis* était également présente (figure 5.12). Cette espèce est caractéristique des eaux côtières continentales moins salées (<34) venant de la baie sud de la Mer du Nord, alors que *O. dioica* est plutôt caractéristique des eaux de la Manche centrale ayant une salinité plus élevée<sup>1</sup>. Les températures printanières en baisse cette année sont aussi plus favorables à cette espèce qui aura donc pu proliférer durant les poussées phytoplanctoniques de mars, avril et juin.

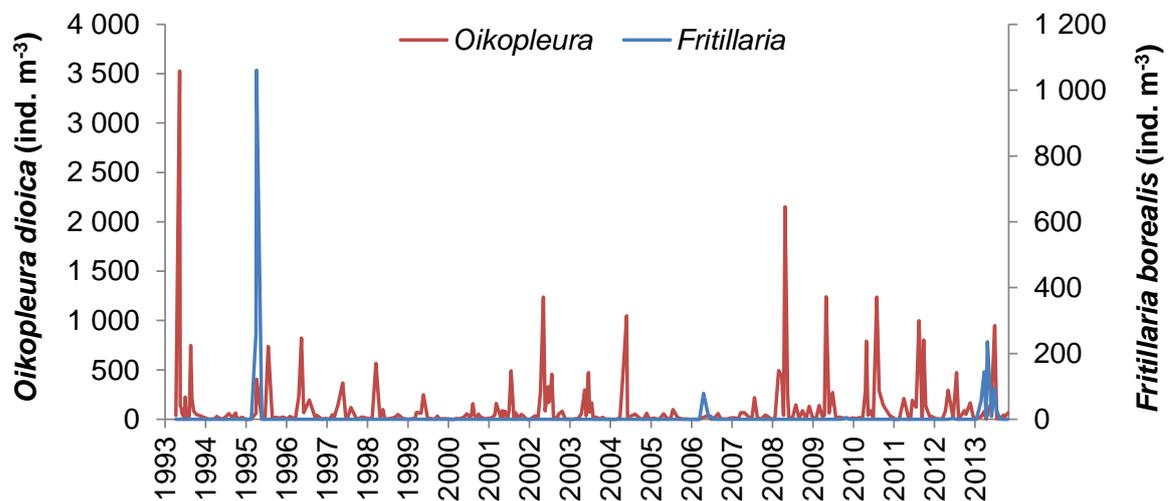


Figure 5.12 : Abondance des chaetognathes et des appendiculaires au point prise entre janvier 1993 et octobre 2013

<sup>1</sup> Wyatt T. (1973) The Biology of *Oikopleura dioica* and *Fritillaria borealis* in the southern bigth. Mar. Biol. 22:137-158

Les **chætognathes** du genre *Parasagitta* sont carnivores et se nourrissent principalement aux dépens des stocks de copépodes. Comme d'habitude, ils étaient plus abondants à la fin de l'été et en automne ( $138 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-3}$  en septembre). Les individus récoltés dans nos échantillons sont généralement juvéniles, les rares adultes identifiés appartenait à l'espèce *Parasagitta setosa*.

### 5.2.2.2. Le méroplancton

En 2012, la fraction méroplanctonique représentait entre 2 et 43 % du zooplancton total (figure 5.3 et tableau 5.1) et était plus importante au printemps (larves d'annélides polychaetes et de cirripèdes essentiellement). 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 (figure 5.13).

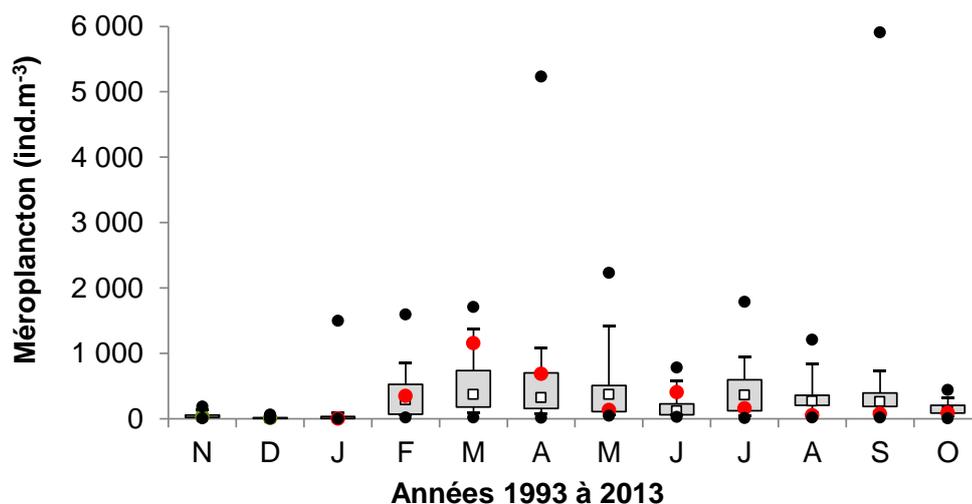


Figure 5.13 : Abondance du méroplancton au point prise entre janvier 1993 et octobre 2013

### 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 2013, les deux missions ont été effectuées respectivement le 28 juin et le 23 septembre.

Les conditions de prélèvement au point *radeau* situé en amont du canal de rejet (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 *radeau*, souvent inférieurs aux autres points de prélèvements (Tableau 5.2). 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 5.2 : Heure des prélèvements et volume d'eau filtré avec le filet WP2

Date	Heure	Point	Volume filtré (m <sup>3</sup> )	
			Abondance	Biomasse
28/06/2013	17:15	Prise	13.7	18.8
28/06/2013	15:55	Radeau	6.5	4.4
28/06/2013	16:50	Contrôle	15.1	15.3
28/06/2013	16:05	Référence	24.6	15.8
23/09/2013	15:00	Prise	20.4	16.9
23/09/2013	14:25	Radeau	13.4	4.1
23/09/2013	15:12	Contrôle	13.9	22.3
23/09/2013	16:00	Référence	30.2	30.4

### 5.3.1. Biomasse sestonique

En juin la biomasse sestonique était trois fois plus importante au point *radeau* par rapport aux autres points de prélèvement (figure 5.14), probablement du fait des conditions d'échantillonnage. Lors des deux campagnes de prélèvement, la biomasse sestonique était moins abondante au point *contrôle*.

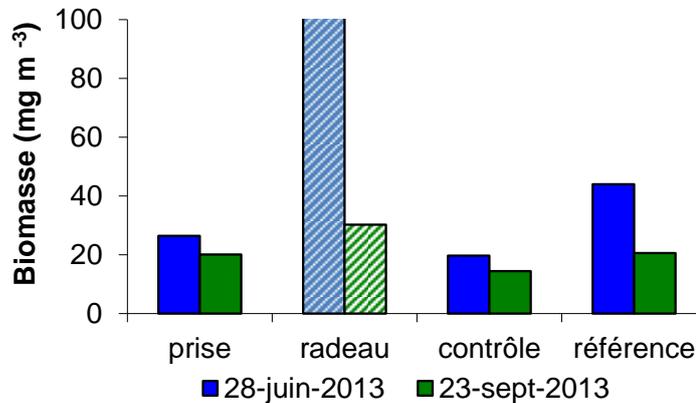


Figure 5.14 : Évolution de la biomasse sestonique au cours des deux missions de surveillance 2013

Comme expliqué plus haut, les rapports C/N  $\geq 6$  (figure 5.15) indiquent ici aussi que le seston filtré au point *radeau* contenait une fraction importante de débris végétaux et minéraux (sables), tout comme au point *prise* en septembre.

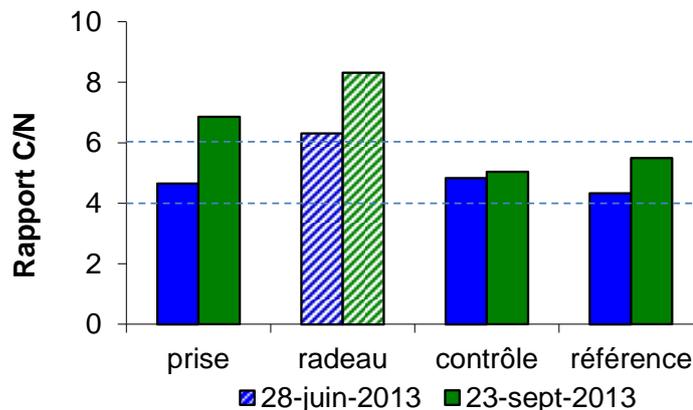
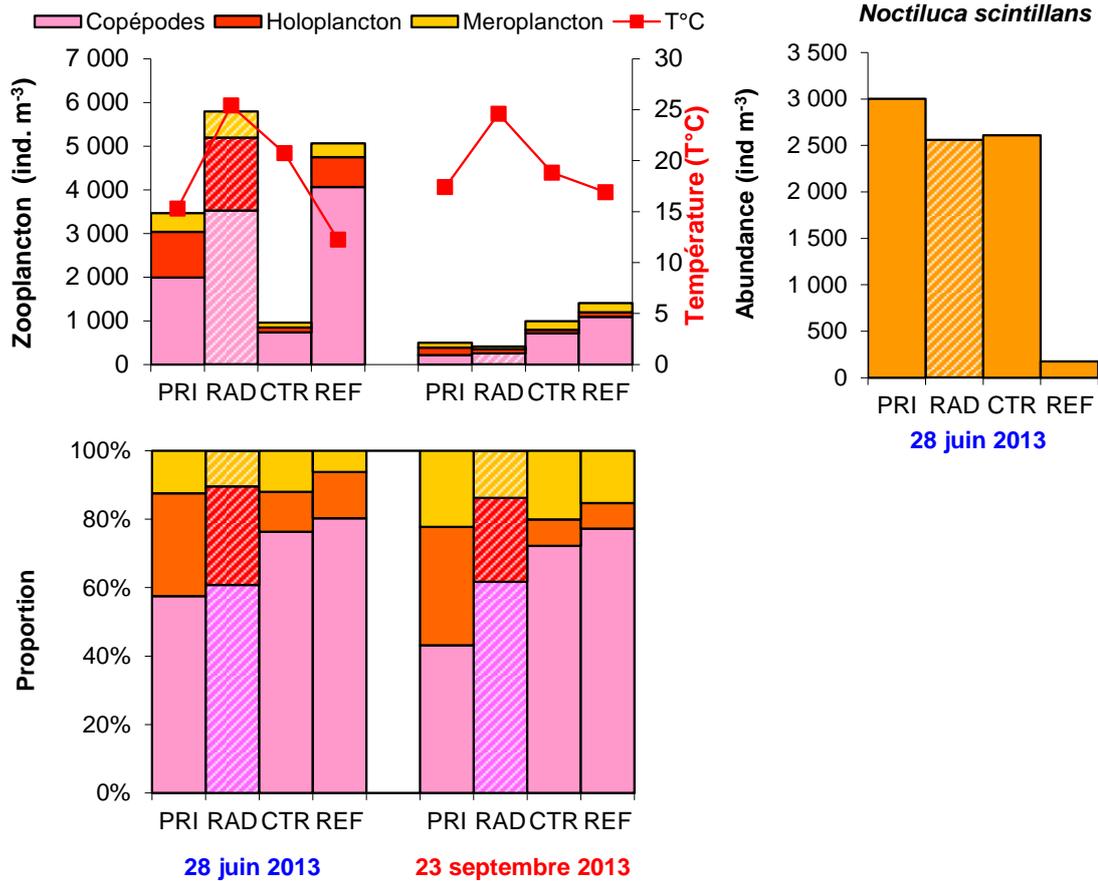


Figure 5.15 : Évolution du rapport C/N du seston au cours des deux missions de surveillance 2013

### 5.3.2. Abondance et composition du zooplancton

La mission de juin coïncidait avec la prolifération des noctiluques (175 à 3 003 ind. $\cdot$ m<sup>-3</sup> ; figures 5.16). 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 trois années précédentes). Les forts vents de Nord-Est du mois de juin ont accentué ce phénomène, si bien que les noctiluques étaient très peu présents au point référence.



**Figure 5.16 : Abondance et proportion des copépodes, de l'holoplancton et du méroplancton au cours des deux missions de surveillance 2013 (Les noctiluques de juin sont représentés à part du zooplancton)**

Les abondances zooplanctoniques des principaux groupes taxinomiques étaient plus importantes au point *référence* par rapport au point *prise* lors des deux missions de surveillance. La différence entre ces deux points peu ou pas impactés par les rejets d'eaux chaudes du CNPE, est plutôt à imputer à leur positionnement géographique (enclavement du point *prise* dans le port ouest de Dunkerque, profondeur plus importante au point *référence* et brassage plus important). La présence des noctiluques à la côte explique aussi le fait que les copépodes aient été plus abondants au point *référence*. Même si les abondances dans le panache du rejet du CNPE au point *contrôle* étaient plus faibles par rapport au point *prise*, on constate que cet impact est très localisé et ne s'étend pas jusque au point *référence*.

### 5.3.2.1. L'holoplancton

#### Les copépodes

En juin les abondances et la proportion d'adultes étaient plus importantes au point *référence* probablement du fait des plus faibles concentrations de noctiluques par rapport à la côte. (figure 5.17). En septembre, par contre les proportions entre copépodes adultes et jeunes stades copépodites étaient équivalentes entre les quatre points de prélèvements.

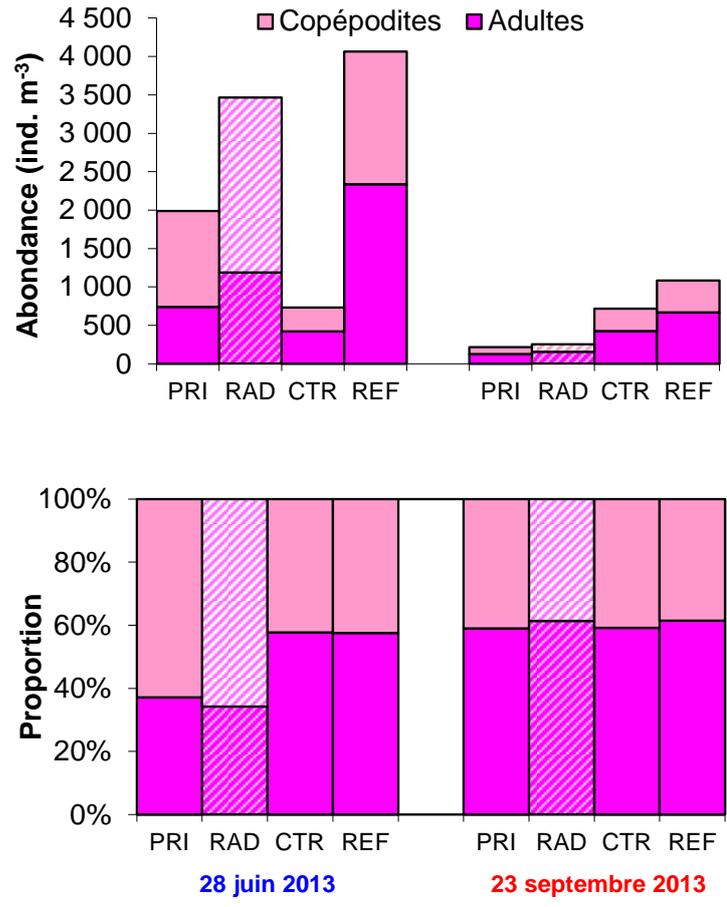


Figure 5.17 : Abondance et proportion des stades de copépodes au cours des deux missions de 2012

Les autres espèces holoplanctoniques

Le même déficit en abondance au point *contrôle* a été observé pour les appendiculaires (*Oikopleura dioica*) en juin et les chaetognathes en septembre (figure 5.18). Toutefois les abondances au point *référence* montrent bien que ce déficit se limitait au panache de rejet du CNPE.

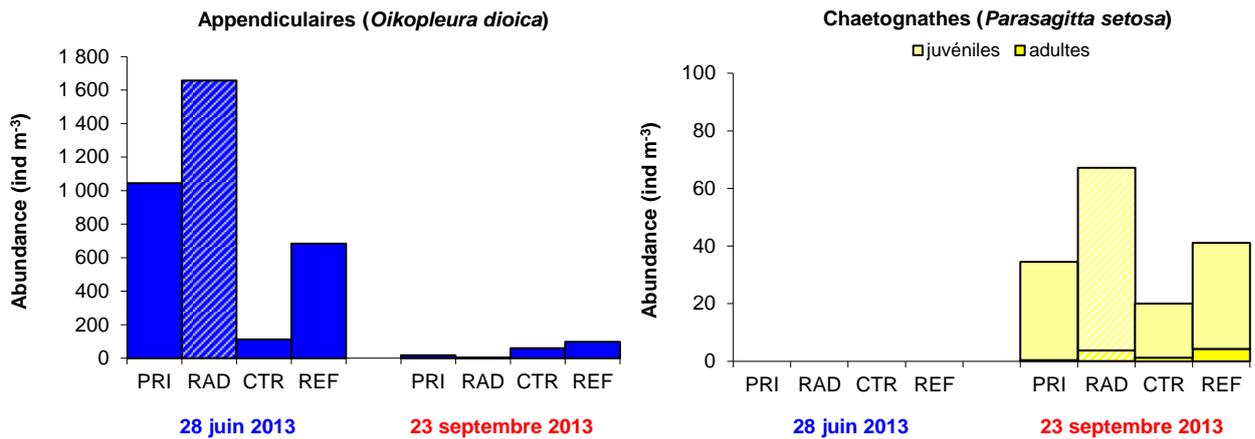


Figure 5.18 : Abondance des appendiculaires et des chaetognathes au cours des deux missions de 2013

Le Méroplancton

Les variations d'abondance du méroplancton lors des deux sorties en mer annuelles ne peuvent s'étudier que sur quelques groupes (figure 5.19).

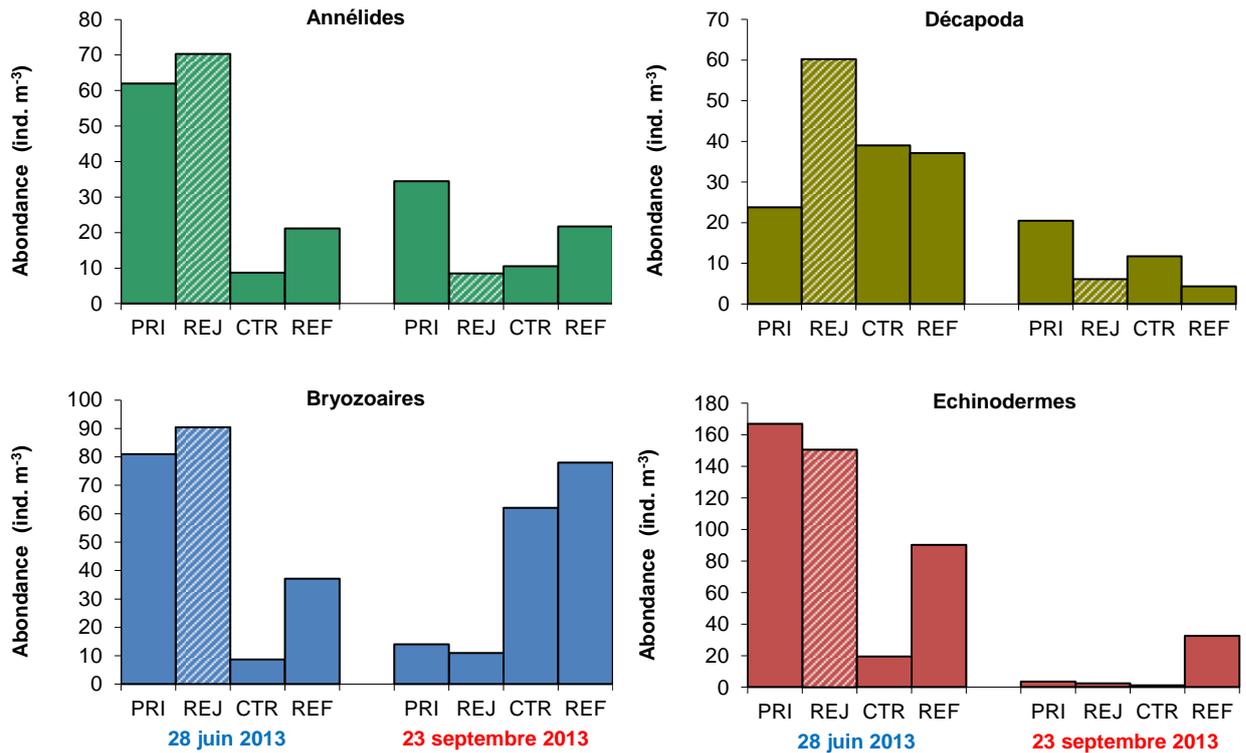


Figure 5.19 : Abondance des principaux groupes méroplanctoniques au cours des deux missions de 2013

Rappelons qu'en ce qui concerne les larves méroplanctoniques d'organismes benthiques, celles si sont généralement plus concentrées près des côtes où elles vont sédimenter pour s'établir. Si pour certaines espèces les abondances au point *contrôle* en juin étaient très faibles, celles des points *prise* et *référence* montraient qu'en dehors de la zone d'influence du rejet du CNPE les abondances étaient normales.

#### 5.4. Éléments de conclusion

Comme les deux années précédentes, 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 8 ce qui indique que même si le zooplancton était une fraction importante de ce seston, il devait aussi y avoir des fragments d'algues. Ce qui explique la non correspondance des biomasses sestoniques aux abondances zooplanctoniques.

L'abondance zooplanctonique était caractérisée par les organismes holoplanctoniques (> 70 %). Comme souvent les copépodes étaient les principaux représentant de ce groupe (50 à 90%), même si en période de prolifération des noctiluques leur abondance à la côte diminuait. Contrairement à l'année passée, la prolifération du dinoflagellé hétérotrophe, *Noctiluca scintillans*, a été peu importante en 2013 et très restreinte dans le temps (en juin). La succession des espèces de copépodes au cours de l'année 2013 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 2010. Bien qu'encore peu abondante dans nos échantillons sa période de présence semble s'étendre (août à mars), et sa période de reproduction semble être la fin de l'été et le début de l'automne.

La surveillance du milieu récepteur des eaux de rejet du CNPE montre que les fortes différences d'abondance que l'on observe parfois aux points *radeau* ou *contrôle* restent très localisées. La situation géographique particulière du point *prise* (à l'intérieur du port ouest de Dunkerque) par

rapport au point *référence* situé plus au large explique aussi les différences d'abondances que l'on peut observer sans que cela soit en lien avec les activités du CNPE.

**Annexe 5.1 : Nombre d'individus observés et abondance de *Pseudodiaptomus marinus* au cours de la période de surveillance 2010-2013**

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	Radeau	<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	1.0
17/11/2011	Gravelines	Prise	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Copépodite	ND	4	2.0
13/12/2011	Gravelines	Prise	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Adulte	Femelle	1	0.0
13/12/2011	Gravelines	Prise	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Adulte	Mâle	5	1.0
27/09/2012	Gravelines	Radeau	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Copépodite	ND	2	13.0
27/09/2012	Gravelines	Contrôle	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Adulte	Femelle	4	6.0
27/09/2012	Gravelines	Contrôle	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Adulte	Mâle	1	1.0
27/09/2012	Gravelines	Contrôle	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Copépodite	ND	5	7.0
19/11/2012	Gravelines	Prise	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Adulte	Femelle	11	4.5
19/11/2012	Gravelines	Prise	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Adulte	Mâle	2	0.8
19/11/2012	Gravelines	Prise	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Copépodite	ND	1	0.4
17/12/2012	Gravelines	Prise	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Adulte	Femelle	7	0.7
17/12/2012	Gravelines	Prise	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Adulte	Mâle	3	0.3
17/12/2012	Gravelines	Prise	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Copépodite	ND	1	0.1
25/03/2013	Gravelines	Prise	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Adulte	Femelle	4	11.1
25/03/2013	Gravelines	Prise	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Adulte	Mâle	2	5.5
14/08/2013	Gravelines	Prise	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Adulte	Femelle	1	0.5
16/09/2013	Gravelines	Prise	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Adulte	Femelle	1	0.8
16/09/2013	Gravelines	Prise	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Copépodite	ND	1	0.8
23/09/2013	Gravelines	Contrôle	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Copépodite	ND	7	8.2
23/09/2013	Gravelines	Prise	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Adulte	Mâle	1	0.4
23/09/2013	Gravelines	Prise	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Copépodite	ND	1	0.4
23/09/2013	Gravelines	Radeau	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Copépodite	ND	1	1.2
23/09/2013	Gravelines	Référence	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Copépodite	ND	3	6.5
23/10/2013	Gravelines	Prise	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Adulte	Femelle	1	1.5
23/10/2013	Gravelines	Prise	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Adulte	Mâle	2	3.0
23/10/2013	Gravelines	Prise	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Copépodite	ND	8	11.8



## 6. ICTHYOPLANCTON ET LARVES DE CREVETTE GRISE

Auteur : Christophe LOOTS (RH – BL)

Campagnes : Valérie LEFEBVRE (RH/BL)

Elvire ANTAJAN (LER/BL)

Wilfried LOUIS (RH/BL)

Benoit GOMEZ (RH/BL)

Tri des échantillons : Wilfried LOUIS (RH/BL)

Valérie LEFEBVRE (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 répliqués 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 2013, les campagnes se sont déroulées entre le 25 Mars et le 29 Mai (tableau 6.1). Lors de la campagne du 16 Mai, les volumes filtrés au point *contrôle* apparaissent très faibles, certainement à cause d'un colmatage important en raison du bloom de *Phaeocystis globosa*. Les abondances observées à ce point 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 du CNPE de Gravelines au printemps 2013**

N° de campagne	Date	Point	Répliqués	Heure du prélèvement	Température surface (°C)	Salinité	Durée du trait (min)	Volume filtré (m³)
289	25-mars	Prise	1	10:16	4.6	34.4	10	87.3
			2	10:35			10	91.5
290	10-avr	Prise	1	11:20	5.0	31.9	11	155.1
			2	11:42			9	93.1
		Côte	1	13:12	5.7	32.0	5	115.4
			2					121.1
		Contrôle	1	13:40	5.3	32.4	5	139.3
			2					139.5
		Large	1	14:05	5.1	32.8	5	171.3
			2					184.2
291	16-mai	Prise	1	13:32	12.3	34.2	4	38.6
			2	13:56			5	42.2
		Côte	1	15:54	13.0	34.2	5	122.1
			2					176.1
		Contrôle	1	16:11	11.1	34.2	3	27.3
			2					31.7
		Large	1	16:45	10.5	34.3	2	52.3
			2					56.7
292	29-mai	Prise	1	14:52			10	112.0
			2	15:17			11	66.6

#### 6.2.4. Conservation, identification et dénombrement

Les échantillons collectés ont été conservés dans des flacons de deux litres pré-remplis d'une solution 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 le printemps 2013 sont présentées dans le tableau 6.2 et la figure 6.1.

En 2013, les abondances les plus fortes d'œufs et de larves de sole ont été observées lors des deux dernières campagnes du 16 et 29 mai 2013. Des abondances étonnamment élevées ont été observées au point contrôle. Ces abondances élevées peuvent être expliquées par les volumes filtrés particulièrement faibles observés à ce point le 16 mai du fait du colmatage des filets. Comme les années précédentes, de très faibles abondances de larves ont été observées, principalement aux points contrôle et large lors du 16 mai.

Pour les œufs, 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. L'année 2013 montre des abondances légèrement plus faibles que les années précédentes notamment aux points *prise* et *côte*.

Pour les larves, les abondances observées sont plus faibles que pour les œufs. L'année 2013 confirme des abondances faibles qui sont observées depuis les huit dernières années. Une partie de la variabilité inter-annuelle observée peut certainement être expliquée par la période d'échantillonnage qui ne suffit pas à couvrir la période de présence des larves.

<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 du CNPE de Gravelines au printemps 2013

N° de campagne	Point	Réplicats	Total œufs	Œufs NE	Œufs E	Larves
289	Prise	1	0.16	0.16	0.00	0.00
		2	0.14	0.14	0.00	0.00
		<b>Moyenne</b>	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
290	Prise	1	0.01	0.01	0.00	0.00
		2	0.00	0.00	0.00	0.00
		<b>Moyenne</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
	Côte	1	0.04	0.04	0.00	0.00
		2	0.07	0.06	0.01	0.00
		<b>Moyenne</b>	<b>0.06</b>	<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	<b>0.00</b>
	Contrôle	1	0.00	0.00	0.00	0.00
		2	0.04	0.04	0.00	0.00
		<b>Moyenne</b>	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
	Large	1	0.01	0.01	0.00	0.00
		2	0.00	0.00	0.00	0.00
		<b>Moyenne</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
291	Prise	1	0.75	0.41	0.34	0.03
		2	1.04	0.64	0.40	0.05
		<b>Moyenne</b>	<b>0.90</b>	<b>0.53</b>	<b>0.37</b>	<b>0.04</b>
	Côte	1	1.07	0.77	0.30	0.01
		2	0.52	0.38	0.14	0.00
		<b>Moyenne</b>	<b>0.80</b>	<b>0.58</b>	<b>0.22</b>	<b>0.01</b>
	Contrôle	1	4.24	3.11	1.13	0.11
		2	3.53	2.84	0.69	0.00
		<b>Moyenne</b>	<b>3.89</b>	<b>2.98</b>	<b>0.91</b>	<b>0.06</b>
	Large	1	1.78	1.49	0.29	0.06
		2	0.93	0.19	0.74	0.12
		<b>Moyenne</b>	<b>1.36</b>	<b>0.84</b>	<b>0.52</b>	<b>0.09</b>
292	Prise	1	0.40	0.25	0.15	0.00
		2	0.86	0.48	0.38	0.00
		<b>Moyenne</b>	<b>0.63</b>	<b>0.37</b>	<b>0.27</b>	<b>0.00</b>

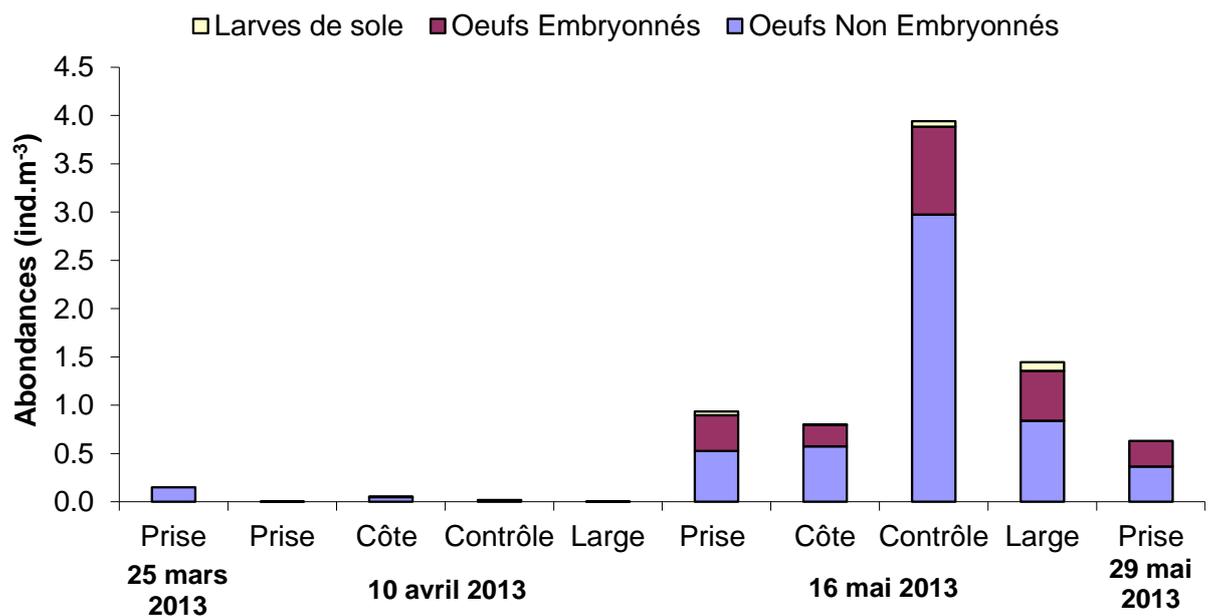
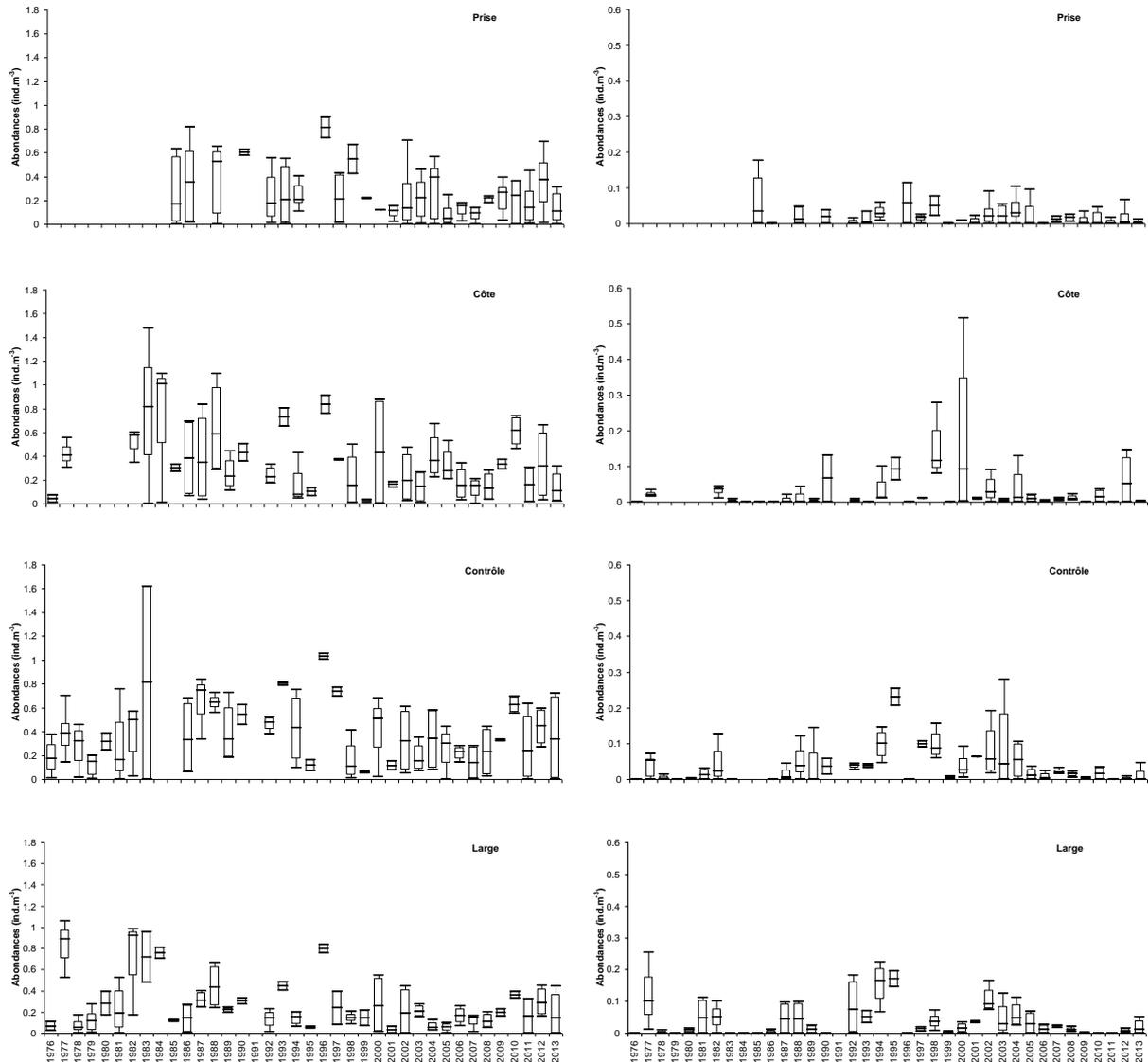


Figure 6.1 Abondances totales (moyennes des deux réplicats en ind.m<sup>-3</sup>) des œufs et larves de sole sur le site du CNPE de Gravelines au printemps 2013 en fonction de la date et du point de prélèvement

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 observées aux points *prise*, *côte*, *contrôle* et *large* du site du CNPE de Gravelines entre mars et mai depuis 1976

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

Les abondances des œufs et larves de sprat pour le printemps 2013 sont présentées dans le tableau et la figure 6.3.

En 2013, les abondances les plus fortes ont été observées lors des deux premières campagnes du 25 mars et 10 avril, notamment aux points *large* et *contrôle*. Ce sont principalement des œufs non-embryonnés qui ont été observés. Des abondances très faibles de larves ont été observées au point *large* lors de la campagne du 16 mai.

Tableau 6.3. Abondances (ind.m<sup>-3</sup>) des œufs (NE, non embryonnés ; E, embryonnés) et des larves de sprat sur le site du CNPE de Gravelines au printemps 2013

N° de campagne	Point	Réplicats	Total œufs	Œufs NE	Œufs E	Larves
289	Prise	1	1.50	1.35	0.15	0.00
		2	1.17	1.15	0.02	0.00
		Moyenne	<b>1.34</b>	<b>1.25</b>	<b>0.09</b>	<b>0.00</b>
290	Prise	1	0.94	0.72	0.22	0.00
		2	1.00	0.70	0.30	0.00
		Moyenne	<b>0.97</b>	<b>0.71</b>	<b>0.26</b>	<b>0.00</b>
	Côte	1	1.10	0.93	0.17	0.00
		2	1.29	1.11	0.18	0.00
		Moyenne	<b>1.20</b>	<b>1.02</b>	<b>0.18</b>	<b>0.00</b>
	Contrôle	1	2.87	2.66	0.21	0.00
		2	1.93	1.82	0.11	0.00
		Moyenne	<b>2.40</b>	<b>2.24</b>	<b>0.16</b>	<b>0.00</b>
	Large	1	2.93	2.85	0.08	0.00
		2	3.04	3.00	0.04	0.00
		Moyenne	<b>2.99</b>	<b>2.93</b>	<b>0.06</b>	<b>0.00</b>
291	Prise	1	0.13	0.10	0.03	0.03
		2	0.09	0.02	0.07	0.02
		Moyenne	<b>0.11</b>	<b>0.06</b>	<b>0.05</b>	<b>0.03</b>
	Côte	1	0.09	0.02	0.07	0.00
		2	0.04	0.01	0.03	0.00
		Moyenne	<b>0.07</b>	<b>0.02</b>	<b>0.05</b>	<b>0.00</b>
	Contrôle	1	0.18	0.07	0.11	0.00
		2	0.13	0.00	0.13	0.00
		Moyenne	<b>0.16</b>	<b>0.04</b>	<b>0.12</b>	<b>0.00</b>
	Large	1	0.90	0.63	0.27	0.06
		2	1.47	0.92	0.55	0.18
		Moyenne	<b>1.19</b>	<b>0.78</b>	<b>0.41</b>	<b>0.12</b>
292	Prise	1	1.07	0.03	1.04	0.00
		2	2.00	0.02	1.98	0.00
		Moyenne	<b>1.54</b>	<b>0.03</b>	<b>1.51</b>	<b>0.00</b>

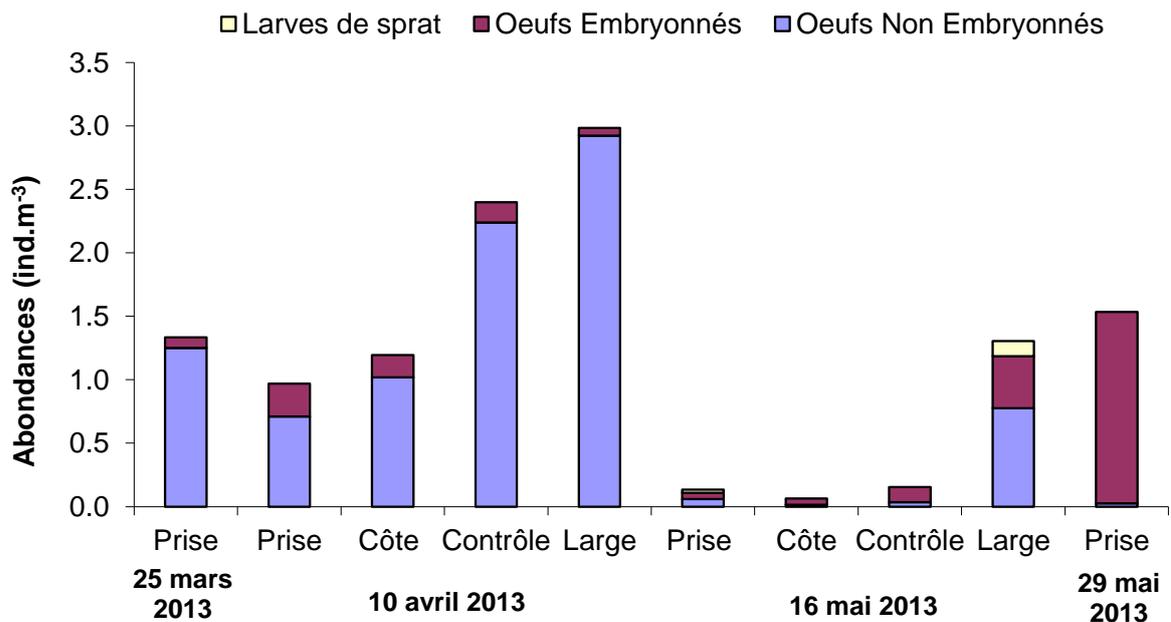


Figure 6.3. Abondances totales (moyennes des deux réplicats en ind.m<sup>-3</sup>) des œufs et des larves de sprat sur le site du CNPE de Gravelines au printemps 2013 en fonction de la date et du point de prélèvement

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.

Pour les œufs, les abondances observées au point large sont généralement plus élevées qu'aux autres points. Les abondances semblent moins élevées à la fin de la série qu'au début. L'année 2013 est dans la tendance des années précédentes. De nouveau, au point *prise*, les données sont difficilement interprétables avant 2002.

Pour les larves, les abondances observées sont extrêmement faibles tout au long de la série et le sont particulièrement ces dernières années. Comme pour la sole, une partie de la variabilité inter-annuelle observée peut certainement être expliquée par la période d'échantillonnage qui ne suffit pas à couvrir entièrement la période de présence des larves.

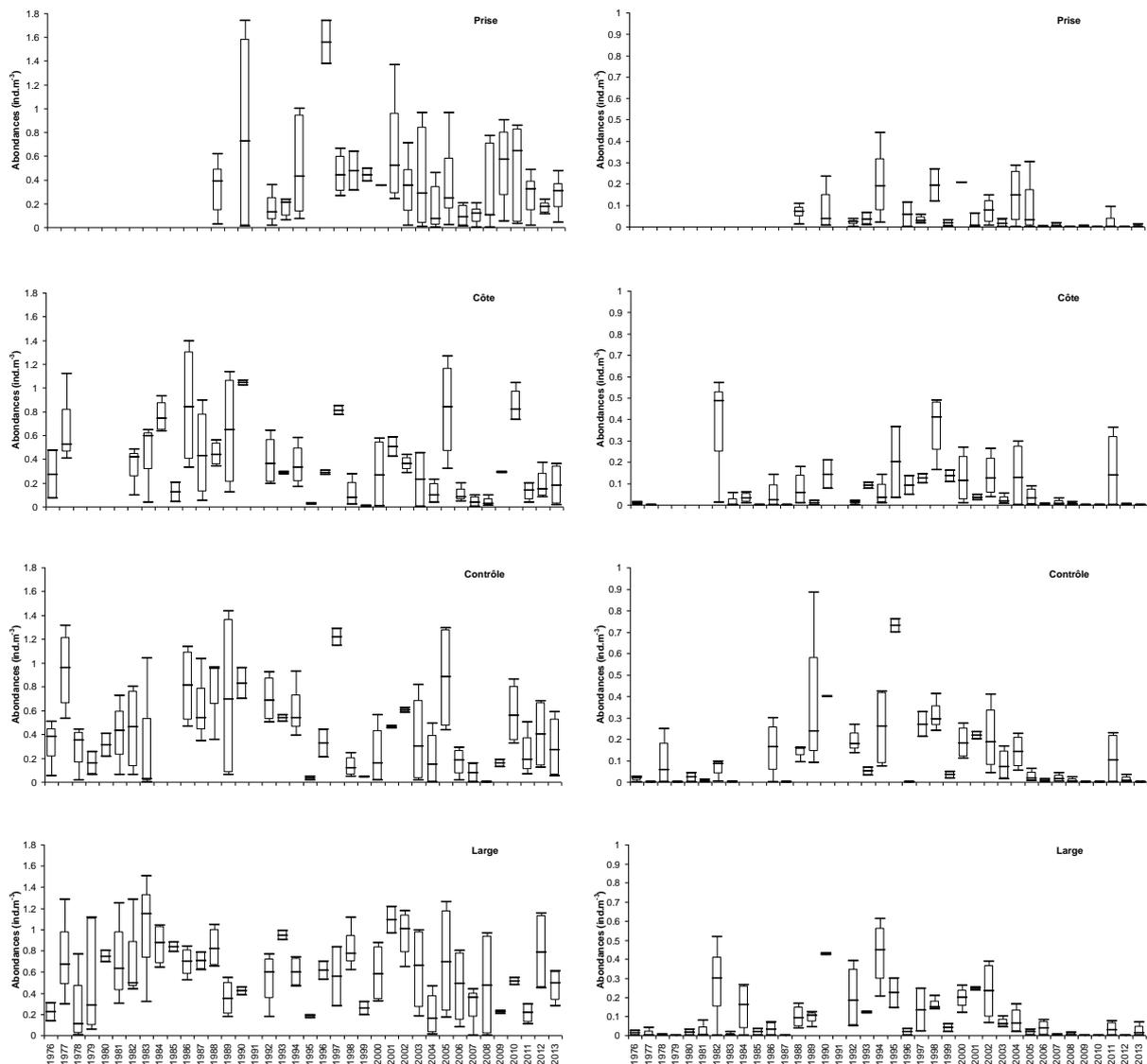


Figure 6.4 : Abondances log-transformées des œufs (gauche) et larves (droite) de sprat observées aux points *prise*, *côte*, *contrôle* et *large* du site du CNPE de Gravelines entre mars et mai depuis 1976

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

Les abondances de zoés et mégalopes de crevette grise sur le site du CNPE de Gravelines en 2013 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 du CNPE de Gravelines au printemps 2013

N° de campagne	Point	Réplicats	Zoés	Mégalopes
272	Prise	1	0.03	0.01
		2	0.07	0.02
		Moyenne	<b>0.05</b>	<b>0.02</b>
273	Prise	1	3.74	0.32
		2	2.86	0.28
		Moyenne	<b>3.30</b>	<b>0.30</b>
	Côte	1	0.95	5.61
		2	0.99	6.80
		Moyenne	<b>0.97</b>	<b>6.21</b>
	Contrôle	1	0.91	0.57
		2	0.99	0.47
		Moyenne	<b>0.95</b>	<b>0.52</b>
	Large	1	1.39	0.12
		2	1.75	0.12
		Moyenne	<b>1.57</b>	<b>0.12</b>
275	Prise	1	0.39	0.21
		2	0.38	0.09
		Moyenne	<b>0.39</b>	<b>0.15</b>
	Côte	1	0.00	0.00
		2	0.00	0.00
		Moyenne	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
	Contrôle	1	1.46	0.15
		2	1.10	0.13
		Moyenne	<b>1.28</b>	<b>0.14</b>
	Large	1	0.36	0.00
		2	0.39	0.00
		Moyenne	<b>0.38</b>	<b>0.00</b>
274	Prise	1	3.68	0.16
		2	6.19	0.20
		Moyenne	<b>4.94</b>	<b>0.18</b>

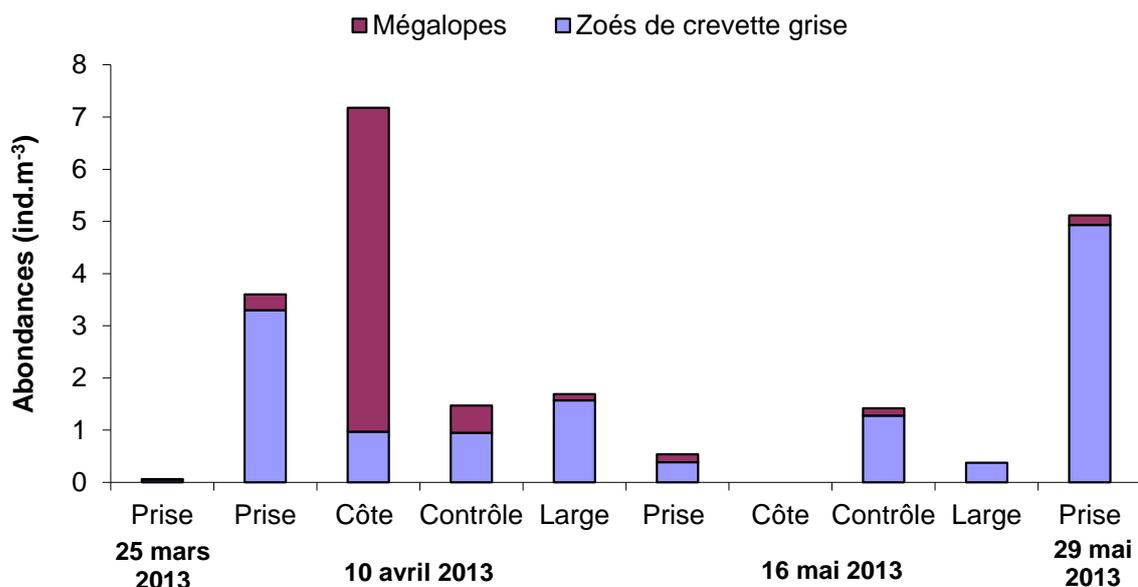


Figure 6.5 Abondances (moyennes sur les deux réplicats en ind.m<sup>-3</sup>) des zoés et mégalopes de crevette grise sur le site du CNPE de Gravelines au printemps 2013 en fonction de la date et du point de prélèvement

En 2013, ce sont principalement des zoés qui ont été observées, notamment au point prise le 25 mars et le 29 mai. Il est à noter que des fortes abondances de mégalopes ont été observées au point *côte* le 10 avril.

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

Les abondances observées depuis 1976 confirment une tendance à l'augmentation du nombre de zoés et mégalopes de crevette grise sur le site du CNPE de Gravelines depuis ces quatre dernières années.

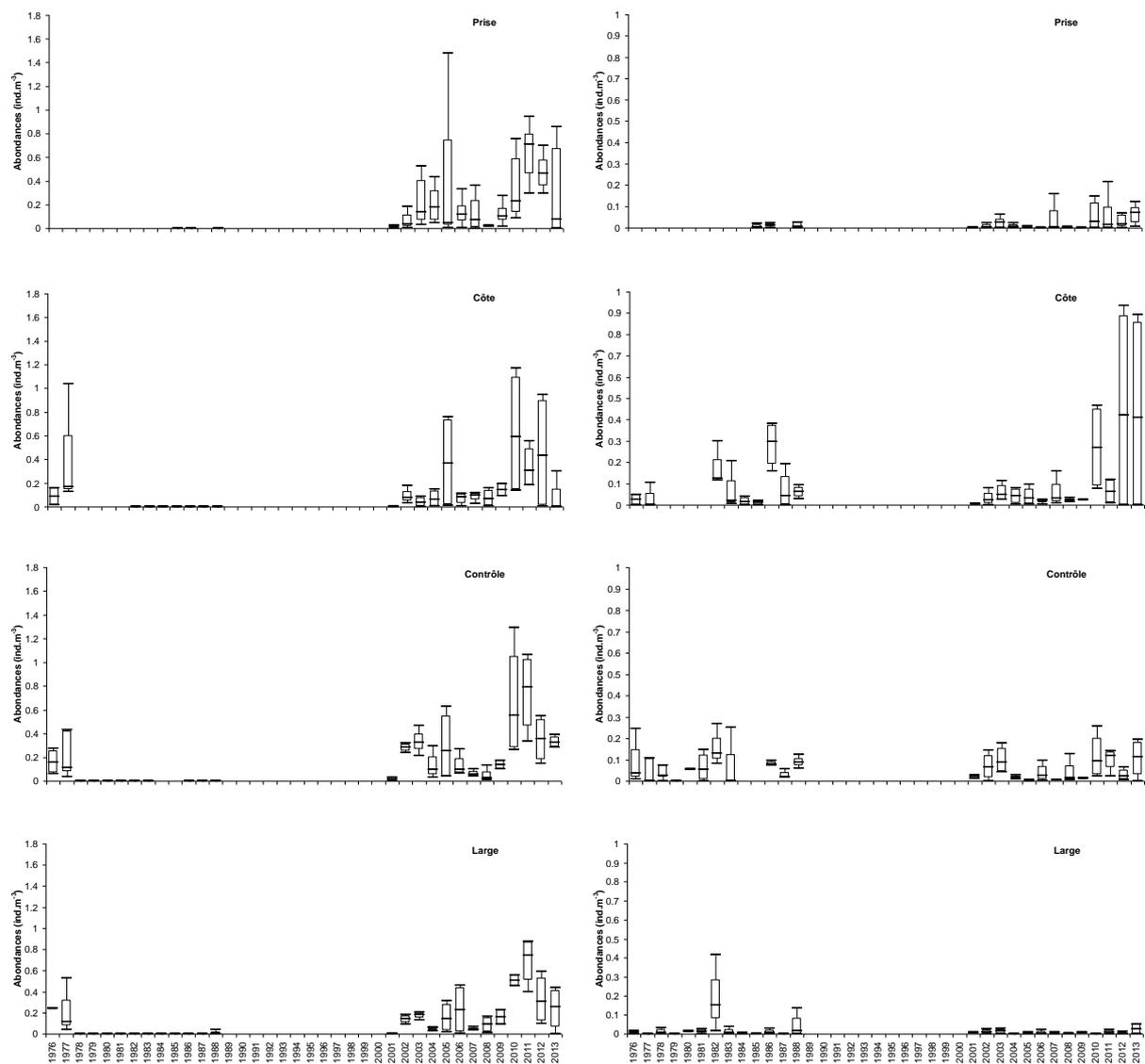


Figure 6.6 : Abondances log-transformées des zoés (gauche) et mégalopes (droite) de crevette grise observées aux points *prise*, *côte*, *contrôle* et *large* du site du CNPE de Gravelines entre mars et mai depuis 1976

#### 6.4. Éléments de conclusion

En 2013, les abondances observées d'œufs et de larves de sole, même si elles semblent plus faibles, restent dans la même gamme que celles observées les années précédentes. Comme pour les autres années, les abondances de larves restent faibles.

Pour le sprat, les abondances observées en 2013 sont également dans la tendance basse des années précédentes. Les abondances des larves sont également très faibles.

Pour la crevette grise, les abondances des zoés en 2013 étaient supérieures à celles des mégalopes comme pour les autres années sauf au niveau du point *côte* lors de la première sortie. Ces abondances sont supérieures à celles observées depuis le début de la série, ce qui laisse supposer une recrudescence depuis quelques années des phases larvaires de crevette grise au niveau du CNPE de Gravelines.

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. Afin de mieux suivre la dynamique saisonnière des œufs et larves de sole et de sprat et de crevette grise, et de pouvoir comparer cette dynamique d'un point de vue inter-annuel, il serait nécessaire d'allonger la période d'échantillonnage en mer de début mars à fin juin et d'augmenter la fréquence d'échantillonnage à 2 fois par mois. Ceci représenterait 8 campagnes au total contre 2 actuellement.





## 7. LE DOMAINE BENTHIQUE INTERTIDAL

Auteurs : Foveau A., Talleux J.D., Sartorius A.



## 7.1. Introduction

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

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

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

## 7.2. Matériels et méthodes

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

### 7.2.1. Plan d'échantillonnage

La campagne a eu lieu le 27 juin 2013. Sur chacune des 10 stations échantillonnées, 13 répliqués ont été effectués à l'aide d'un carottier de 16 cm de diamètre, ce qui représente une surface d'échantillonnage de 0,26 m<sup>2</sup> (surface identique à celle réalisée les années précédentes), et vont servir à la caractérisation de la faune en place. Une quatorzième carotte a été faite afin de caractériser la granulométrie du sédiment. Les coordonnées et les heures de chacune des carottes ont été relevées (annexe 7.1) et une photographie a également été prise pour définir la typologie de la zone (figure 7.1). Le positionnement des prélèvements est présenté à la figure 7.2.

Les prélèvements pour la faune ont été tamisés sur un tamis à vide de maille carrée de 1 mm et placés dans des pots. Ils ont par la suite été fixés au formol neutralisé à 5 %, additionné de rose bengale.

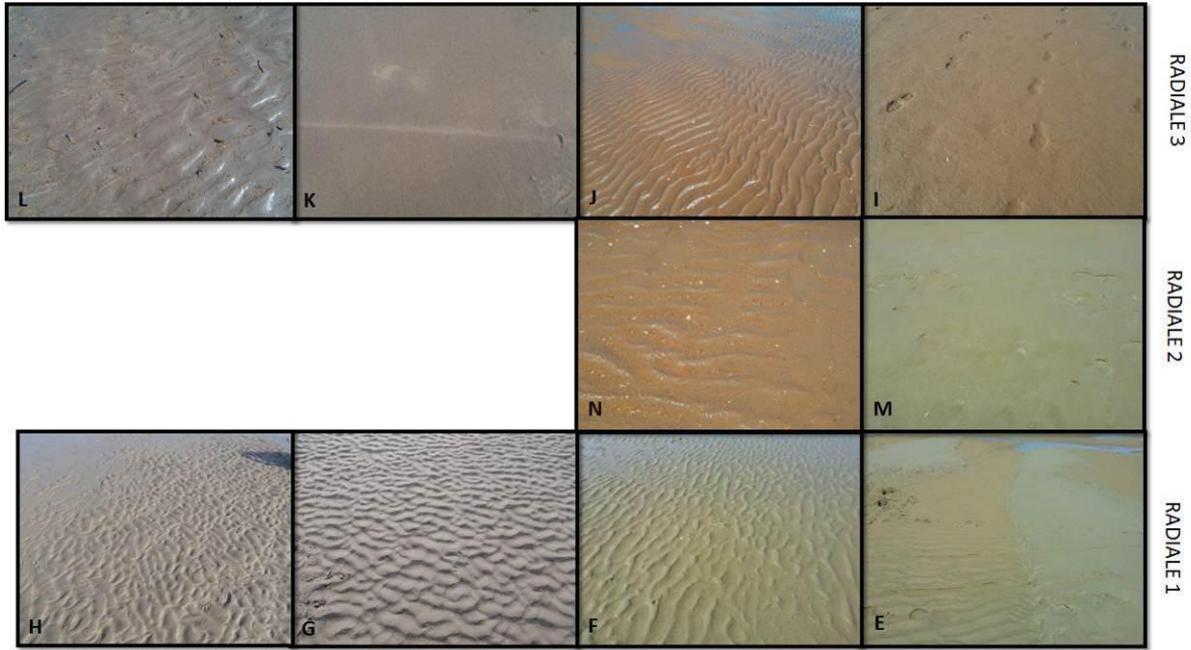


Figure 7.1 : Photographies de chaque station



Figure 7.2 : Positions des prélèvements du benthos intertidal (coordonnées en Lambert 1 en m). Source : Ortho Littorale 2000.

### 7.2.2. *Granulométrie*

Avant d'être mis à sécher, le sédiment doit être parfaitement dessalé. En effet, toute trace de sel provoque par cristallisation des agrégats de grains de sable. Le sédiment a donc été rincé par trois lavages successifs à l'eau douce puis séché à l'étuve pendant 48 h à 110°C. Etant donné les teneurs en particules très fines, le sédiment a d'abord été tamisé sur un tamis de vide de maille 50 µm. La fraction ainsi obtenue a ensuite été séchée et pesée à part. Une série de 19 tamis de type AFNOR (allant de 5 cm à 50 µm de vide de maille, suivant une progression géométrique de raison  $^{10}\sqrt{10}$ ) a été utilisée.

Au vu des types sédimentaires, un tamisage manuel a été effectué sur les deux premiers vides de maille (5 et 2 mm). Le tamisage mécanique a été réalisé en plaçant le reste des tamis par ordre décroissant de vide de maille en deux colonnes vibrantes successives, avec une amplitude de 5 :

Tamis de 1,6 mm à 315 µm pendant 15 minutes,

Tamis de 250 à 50 µm pendant 15 minutes.

Chaque refus de tamis a été pesé avec une précision de 0,01 g près.

La masse de la fraction inférieure à 50 µm a été calculée en additionnant la valeur de la pesée du sédiment ayant traversé le tamis de 50 µm lors du tamisage mécanique et la valeur de la pesée du sédiment recueilli par décantation lors du tamisage préalable effectué sur les sédiments envasés.

Les résultats ont ensuite été ramenés en pourcentage du poids total de l'échantillon. Le pourcentage de fines du sédiment ainsi que son taux d'humidité ont également été notés.

Les différentes mesures de tamis ont ensuite été regroupées en six classes :

Pélites : fraction inférieure à 50 µm,

Sables fins : fractions de 50 à 160 µm,

Sables moyens : fractions de 200 à 400 µm,

Sables grossiers : fractions de 500 µm à 1,6 mm,

Graviers fins : fraction de 2 mm,

Graviers grossiers : fraction de 5 mm.

### 7.2.3. *Matière organique*

La teneur en matière organique se mesure par « perte au feu ». La fraction tamisée inférieure à 63 µm, dont le poids est connu, a été conservée pour être ensuite portée à calcination à 465°C pendant 6 h. Les échantillons sont alors à nouveau pesés. La teneur de MO (Matière Organique) est finalement calculée par cette équation :

Teneur en MO (%) =  $[(PS-PV)-(PC-PV)] \times 100 / (PS-PV)$ , avec PS le Poids Sec, PV le poids du contenant utilisé pour la mesure et PC le Poids de Cendres.

### 7.2.4. *Identification et dénombrement de la macrofaune benthique*

Au laboratoire, les échantillons de sédiment contenant la macrofaune ont tout d'abord été rincés afin d'éliminer le fixateur (formol). Les échantillons ont été rincés au fur et à mesure de l'avancement des travaux, afin d'éviter toute dégradation des organismes. Ensuite, un tri à vue méticuleux du refus de tamis par la méthode d'agitation-flottaison a permis d'extraire le macrozoobenthos du sédiment. Une première répartition par groupes taxonomiques a été réalisée lors de cette étape.

Les déterminations ont été menées autant que possible jusqu'au niveau spécifique. Elles ont été réalisées sous une loupe binoculaire et, lorsque cela s'avérait nécessaire, sous microscope. En cas d'incertitude quand à l'identification au niveau de l'espèce, le rang taxinomique le plus sûr a été adopté (genre, parfois famille, voire à un niveau nettement supérieur dans le cas des némerthes par exemple). Pour chaque prélèvement, le nombre d'espèces ainsi que le nombre exact d'individus par espèce pour l'endofaune et pour l'épifaune vagile ont été comptabilisés.

### **7.2.5. Biomasse de la macrofaune benthique**

La biomasse de la macrofaune benthique a été déterminée par espèce et par station et exprimée en poids sec libre de cendres (PSLC) selon la méthodologie préconisée par le Benthos Ecology Working Group de l'ICES (Anonyme, 1986) et reprise dans la norme ISO/FDIS 16 665 (2005).

Après comptage des individus de chaque espèce, ceux-ci ont été placés dans des papillotes en aluminium, puis séchés à l'étuve à 75°C pendant 24 à 48h jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Une première pesée, donnant le poids sec, a été effectuée à 0,01 mg près. Ensuite, les papillotes ont été placées au four à 500°C pendant 6h afin de permettre une calcination complète de la matière organique sans altérer la matière minérale (coquilles de Mollusques). Une seconde pesée, donnant le poids de cendres a été effectuée à l'aide de la même balance que lors de l'étape précédente. La différence entre les deux pesées donne le PSLC. Cette méthode permet de s'affranchir des problèmes liés à la teneur en eau des organismes.

## **7.3. Terminologie utilisée**

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

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

## **7.4. Résultats**

### **7.4.1. Granulométrie**

Les analyses granulométriques révèlent des sédiments majoritairement constitués de sables fins et de sables moyens, à l'exception de la station L (figure 7.3).

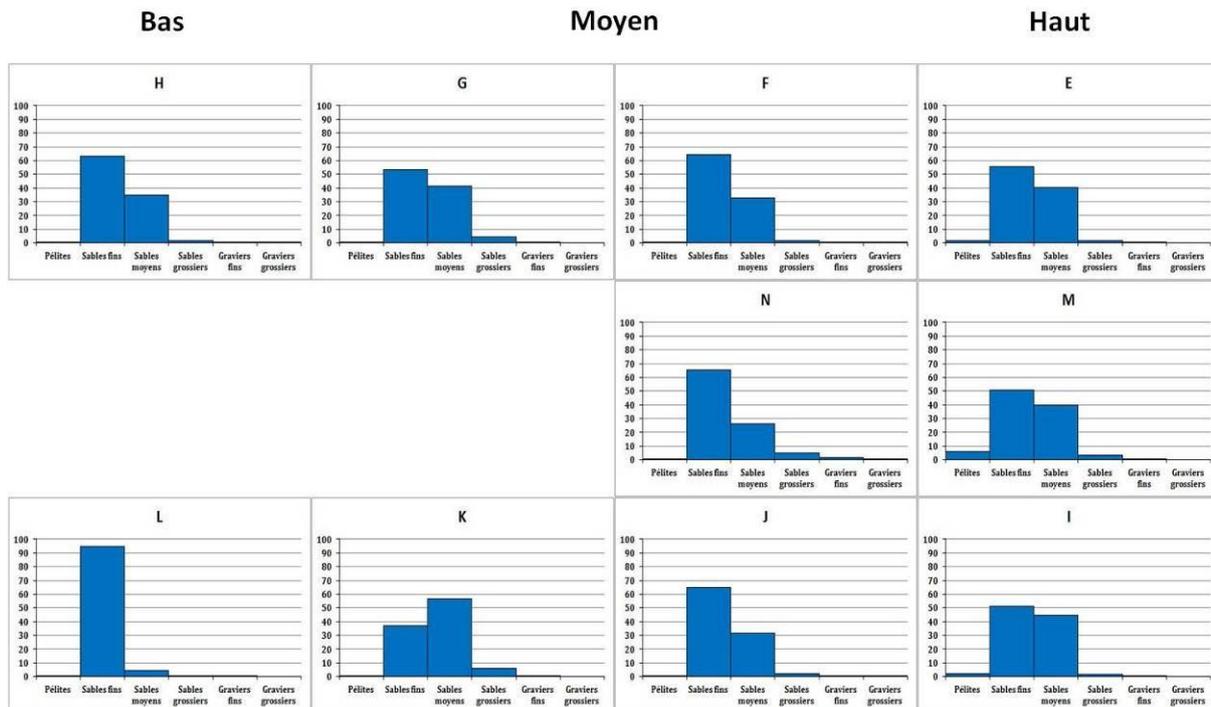


Figure 7.3 : Caractéristiques granulométriques du sédiment (pourcentages pondéraux) en 2013.

La fraction constituée par ces sables représente au minimum 90 % de la composition totale du sédiment. Les particules les plus fines (<63  $\mu\text{m}$ ) ont des proportions plus importantes dans les stations du haut de l'estran (stations E, M et I ; tableau 7.1). La proportion des particules les plus grossières (gravieres fins et gravieres grossiers) est faible (inférieure à 3 %). L'ensemble de ces caractéristiques permet de classer les sédiments selon la classification de Folk en deux catégories : sédiments légèrement graveleux, (g)S et sédiment sableux, (S).

Tableau 7.1 : Autres caractéristiques des sédiments prélevés le 27 juin 2013.

Station	Poids total (g)	Fines (g)	Folk
E	105,27	2,61	(g)S
F	105,82	1,11	(g)S
G	105,41	0,02	(g)S
H	108,10	0,02	(g)S
I	100,65	2,18	S
J	103,10	0,35	(g)S
K	108,02	0,05	(g)S
L	99,19	0,35	(g)S
M	103,97	6,72	(g)S
N	100,68	0,84	(g)S

Depuis les années 2000, dans les parties haute et moyenne de l'estran, les catégories les plus fluctuantes sont les pélites et les gravieres (figure 7.4). Pour les stations de bas d'estran, ce sont les proportions entre les sables fins et moyens qui varient le plus. Globalement, une diminution des particules les plus grossières est constatée au cours de ces 14 années. Ces dernières années, la catégorie qui progresse le plus sont les sables fins.



#### 7.4.2. Composition taxinomique

L'évaluation de la richesse spécifique (noté S) a été effectuée de la même manière que les années précédentes. En 2013, la richesse spécifique sur l'estran de Petit-Fort-Philippe était de 38 taxa, dont un copéode et un ensemble « larves de diptères ».

Ces 38 taxa se décomposaient par ordre décroissant d'importance en arthropodes (16), annélides (13), mollusques (5) et à égale proportion (1) en nématode, némerte, cnidaire et bryozoaire.

A noter en 2013 que deux arthropodes encore jamais rencontrés sur le site ont été identifiés : ce sont les amphipodes *Aora typica* et *Gammaropsis nitida*.

En 2013, la richesse taxinomique a continué son augmentation, après celle observée en 2012, pour revenir au niveau de richesse taxinomique observée en 2000 (figure 7.5).

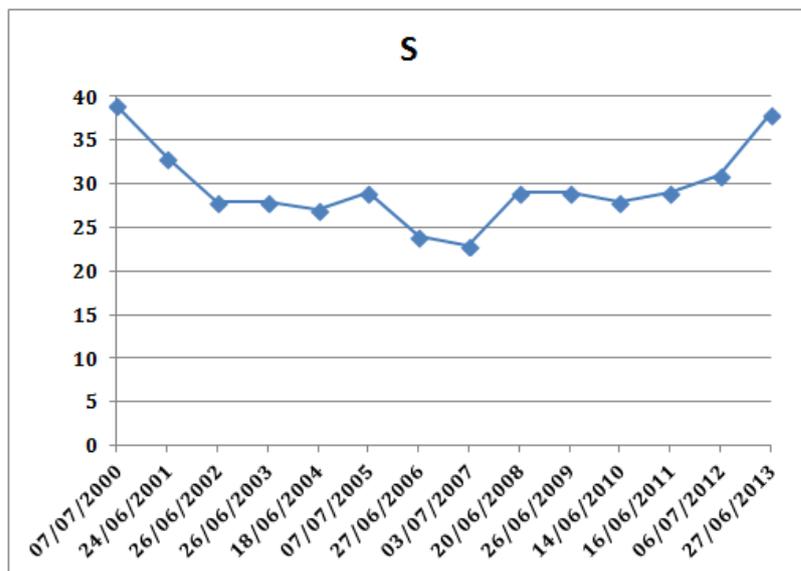


Figure 7.5 : Evolution de la richesse taxinomique (S) depuis 2000

Lorsqu'on observe l'évolution de la richesse spécifique à chaque station depuis 2000 (figure 7.6), on constate qu'en 2013, la richesse taxinomique a augmenté pour les stations G, K, L et M, qu'elle est restée stable pour les stations E et J et a diminué pour les stations F, H, I et N. A noter que les plus fortes variations s'observent sur la radiale 3, située le plus à l'est de l'estran. La station I présente une diminution drastique de la richesse taxinomique avec la présence en 2013 d'une seule espèce (le gastropode *Peringia ulvae*) ; de nombreux prélèvements azoïques ont d'ailleurs été enregistrés sur cette station (10 des 13 prélèvements de faune). La station L, au contraire, montre la plus forte croissance en termes de richesse taxinomique avec une augmentation de 4 espèces.

L'indice de Shannon  $H'$ , calculé pour l'ensemble des stations sur ces 14 dernières années (tableau 7.2) montre une richesse taxinomique très peu diversifiée ( $H' < 1$  bit). Pour l'année 2013, ce calcul de l'indice de Shannon montre une diversité plus élevée pour les stations du bas de l'estran que pour celles du haut de l'estran ; cet indice augmentant des hauts niveaux vers les bas niveaux de l'estran. Pour la moitié des 14 années, l'équitabilité de Pielou, souvent associée à l'indice de Shannon, présente des valeurs élevées, ce qui sous-entend qu'il n'y a pas de dominance d'un taxon sur les autres (tableau 7.2).

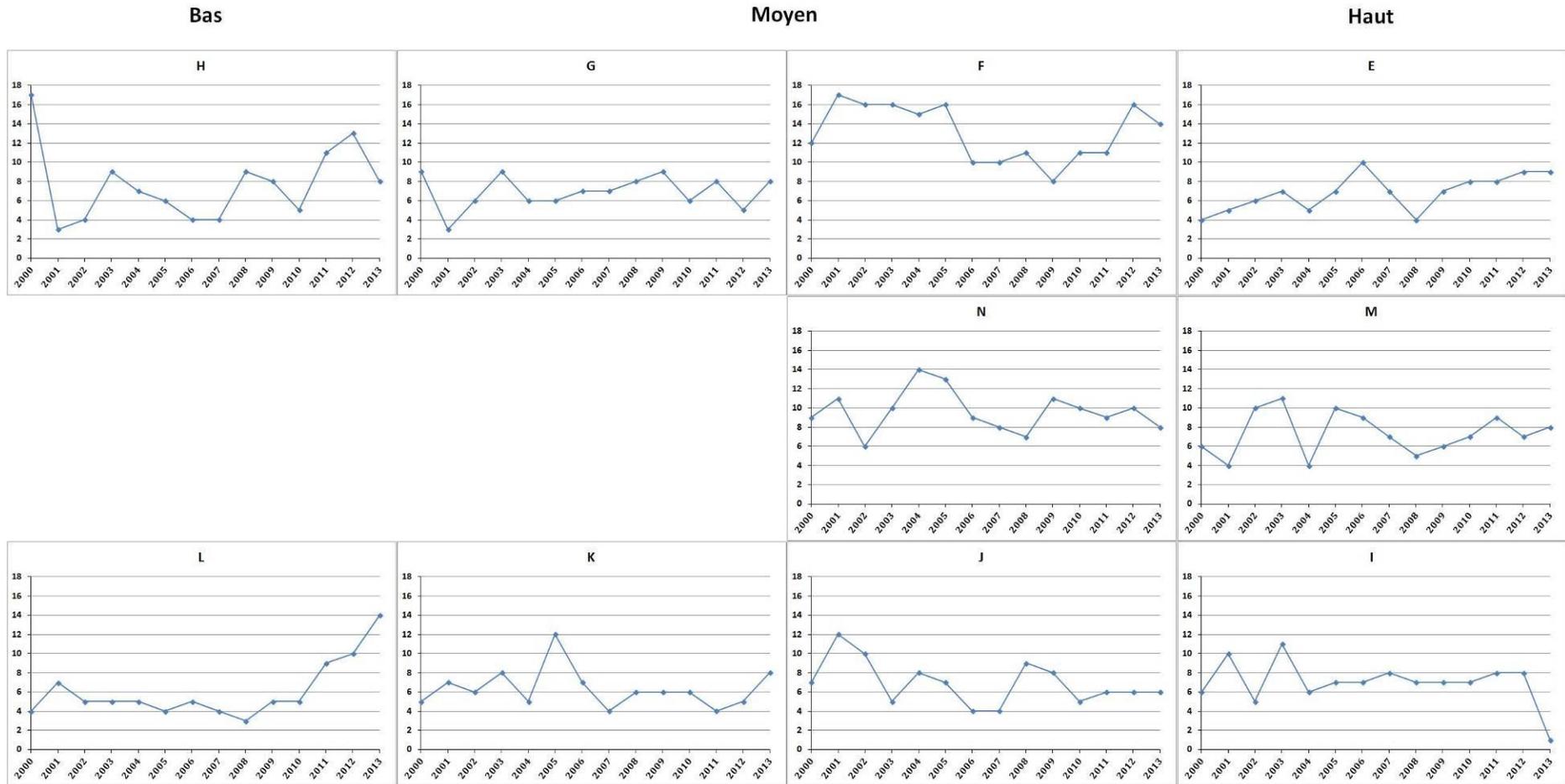


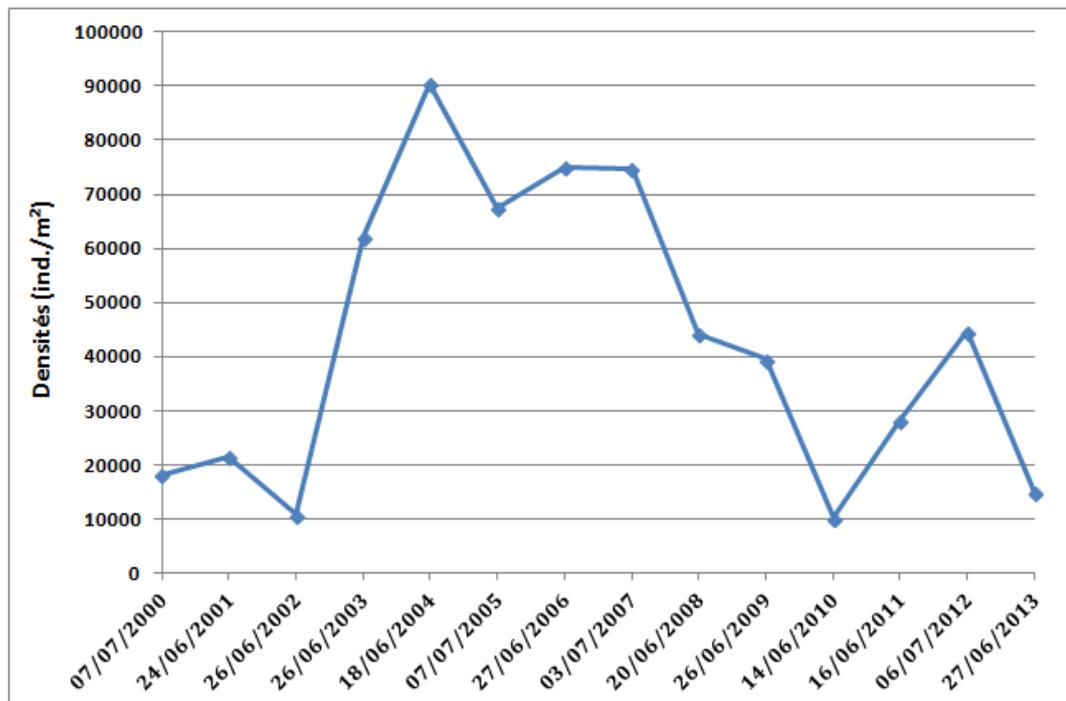
Figure 7.6 : Evolution de la richesse taxinomique du macrozoobenthos par station depuis 2000

Tableau 7.2 : Indices de diversité calculés pour l'ensemble des 10 stations depuis 2000

Dates	Richesse taxonomique	Nombre d'individus	Indice de Shannon	Equitabilité de Pielou
07/07/2000	39	18268	0,624	0,392
24/06/2001	33	21564	0,864	0,569
26/06/2002	28	10780	0,923	0,638
26/06/2003	28	62272	0,476	0,329
18/06/2004	27	90408	0,227	0,159
07/07/2005	29	67460	0,263	0,180
27/06/2006	24	75076	0,311	0,226
03/07/2007	23	74732	0,333	0,245
20/06/2008	29	44304	0,731	0,500
26/06/2009	29	39584	0,439	0,301
14/06/2010	28	10236	0,618	0,427
16/06/2011	29	28208	0,734	0,502
06/07/2012	31	44700	0,435	0,292
27/06/2013	38	14870	0,770	0,487

### 7.4.3. Densités

Les 38 taxa correspondent à 14866 individus récoltés sur les trois radiales (figure 7.7). Ce résultat est en diminution par rapport à 2012 mais revient au même niveau de grandeur qu'en 2010 ou le début des années 2000.

Figure 7.7 : Densités (ind./m<sup>2</sup>) de macrozoobenthos rencontrées sur l'estran depuis 2000

Les plus fortes densités et les plus fortes variations de densités sont observées sur les niveaux haut et moyen supérieur de l'estran (figure 7.8). Elles sont principalement dues aux variations des populations des mollusques *Peringia ulvae* et *Macoma balthica* et de l'arthropode *Corophium arenarium*. En effet, les populations de *P. ulvae* et *C. arenarium*, présentes sur les stations de haut



d'estran (E, F, M, N, I et J), ont vu leurs densités diminuer respectivement d'un facteur 5 et d'un facteur 2 en 2013. En revanche, les *M. balthica* ont vu leurs densités augmenter en 2013 d'un facteur 5 (dû à un fort recrutement au moment de l'échantillonnage).

Les stations des niveaux moyen inférieur et bas enregistrent des densités beaucoup plus faibles et constantes dans le temps (figure 7.8).

#### 7.4.4. Biomasses

En 2013, les biomasses ont diminué sur l'estran par rapport à 2012, atteignant 15,16 gPSLC/m<sup>2</sup> sur toute la zone (figure 7.9). Globalement, depuis 2004, la tendance pour la biomasse est à la diminution sur la totalité de l'estran de Petit-Fort-Philippe.

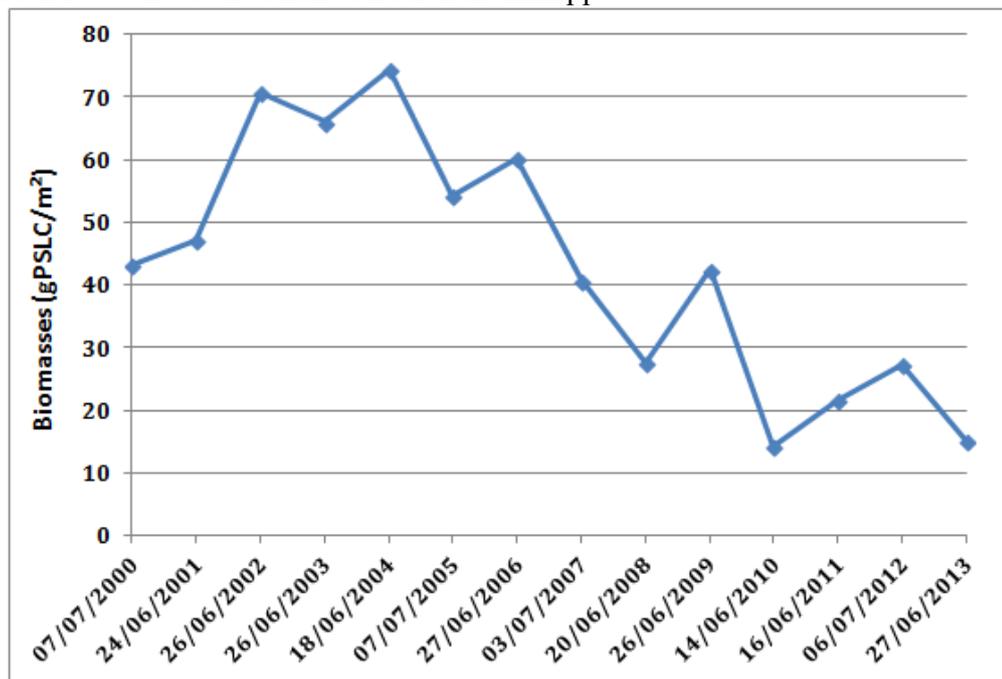


Figure 7.9 : Evolution de la biomasse du macrozoobenthos (gPSLC/m<sup>2</sup>) sur l'estran depuis 2000

Lorsqu'on observe l'évolution des biomasses à chaque station depuis 2000 (figure 7.10), on constate qu'en 2013, les biomasses, bien qu'en diminution, restent les plus élevées sur les stations hautes de l'estran et dans la partie ouest de ce dernier (stations E et F ; figures 7.10 et 7.11). Ces plus fortes biomasses sont liées aux variations de densités des populations précédemment citées.

Les stations basses de l'estran (stations H, K et L) enregistrent des variations de leurs biomasses, notamment liées à la présence ou non dans les prélèvements d'espèces à fortes biomasses, comme par exemple le mollusque *Donax vittatus* ou l'annélide *Nephtys cirrosa*. En 2013 par exemple, à la station L, les biomasses étaient plus élevées qu'en 2012 du fait de l'échantillonnage de plus d'individus de *D. vittatus* et de *N. cirrosa* (figure 7.11).

Sur toutes les autres stations du site, les biomasses restent faibles et stables dans le temps.



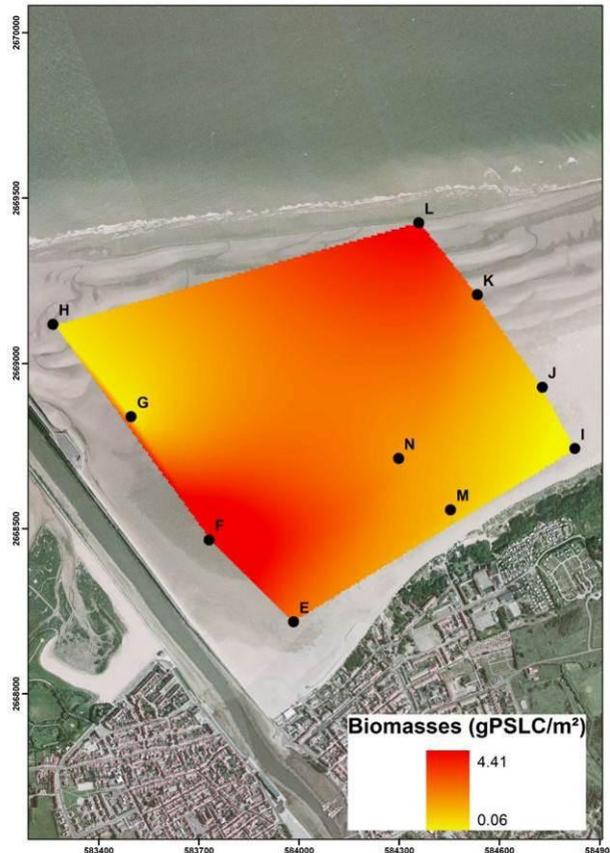


Figure 7.11: Distribution de la biomasse sur l'estran de Petit-Fort-Philippe (interpolation par voisins naturels).  
Source : Ortho Littorale 2000.

#### 7.4.5. Assemblages benthiques

La classification ascendante hiérarchique effectuée sur l'année 2013 met en évidence la présence de 5 assemblages benthiques sur l'estran de Petit-Fort-Philippe (figure 7.12) :

- 1 : groupe constitué des stations aux caractéristiques de haut d'estran : stations E, F et M,
- 2 : groupe constitué des stations aux caractéristiques de niveau moyen supérieur : stations G, J et N,
- 3 : groupe constitué des stations aux caractéristiques de bas d'estran : stations H et K,
- 4 : station I, qui a vu sa richesse taxinomique fortement diminué en 2013,
- 5 : station L, qui a vu sa richesse taxinomique fortement augmenté en 2013.

Les espèces caractéristiques de ces assemblages ont pu être définies pour les groupes 1, 2 et 3 comme suit :

- 1 : les oligochètes de la famille des Enchytraeidae, le nématode *Enoplus brevis* et le mollusque *Peringia ulvae*, toutes des espèces d'affinité estuarienne ou d'eaux saumâtres,
- 2 : les arthropodes *Bathyporeia pilosa* et *Eurydice affinis*, espèces affines des hauts niveaux sur l'estran,
- 3 : les arthropodes *Bathyporeia pelagica* et *Haustorius arenarius*, caractéristiques des milieux dunaires de mi-estran.



**Figure 7.12 : Assemblages benthiques pour l'année 2013**  
**Source : Ortho Littorale 2000.**

Une classification ascendante hiérarchique effectuée sur l'ensemble des stations et sur ces 14 années de suivi depuis le changement de stratégie d'échantillonnage révèle l'existence de cinq groupes sur la zone. Les espèces caractéristiques de ces 5 groupes ont également été recherchées (tableau 7.3) et permettent de distinguer les groupes en fonction du niveau sur l'estran et de la dessalure, que cette dernière soit provoquée par le fleuve Aa ou les eaux de ruissellement.

**Tableau 7.3 : Assemblages définis pour l'ensemble des stations sur les 14 dernières années et leurs espèces caractéristiques**

Groupe	Espèces caractéristiques	Stations attachées
1	<i>Pygospio elegans</i>	E2000, E2001, E2002, E2003, E2004, E2008, E2009, E2010,
	<i>Corophium arenarium</i>	E2013, F2013, I2000, I2001, I2002, I2003, I2004, I2005, I2006,
	<i>Peringia ulvae</i>	I2007, I2008, I2011, I2012, J2002, J2004, M2000, M2001,
	<i>Enoplus brevis</i>	M2002, M2003, M2004, M2005, M2007, M2008, M2009,
	<i>Enchytraeidae</i>	M2012, M2013, N2002, N2003, N2004, N2005
2	<i>Eurydice affinis</i>	E2005, E2006, E2007, E2011, E2012, F2007, F2008, F2012,
	<i>Bathyporeia pilosa</i>	G2004, I2009, I2010, J2001, J2003, J2005, J2006, J2008, J2009,
	<i>Eurydice pulchra</i>	J2010, J2011, J2012, J2013, M2006, M2010, M2011, N2001,
	Larves de diptères	N2006, N2007, N2008, N2009, N2010, N2011, N2012, N2013
3	<i>Cerastoderma edule</i>	F2000, F2001, F2002, F2003, F2004, F2005, F2006, F2009, F2010, F2011, G2000, G2002, G2003, G2006, G2010, G2013, I2013, J2000, J2007, N2000
	<i>Ophelia rathkei</i>	
	<i>Macoma balthica</i>	
	<i>Hediste diversicolor</i>	
	Nemertea	
	<i>Scolelepis (Scolelepis) squamata</i>	
	<i>Spiophanes bombyx</i>	
<i>Liocarcinus pusillus</i>		
4	<i>Bathyporeia sarsi</i>	G2001, G2005, G2007, G2008, G2009, G2011, G2012, H2013,
	<i>Haustorius arenarius</i>	K2000, K2001, K2002, K2004, K2005, K2006, K2007, K2009,
	<i>Bathyporeia pelagica</i>	K2010, K2011, K2012, K2013
5	<i>Nephtys cirrosa</i>	H2000, H2001, H2002, H2003, H2004, H2005, H2006, H2007, H2008, H2009, H2010, H2011, H2012, K2003, K2008, L2000, L2001, L2002, L2003, L2004, L2005, L2006, L2007, L2008, L2009, L2010, L2011, L2012, L2013
	<i>Donax vittatus</i>	
	<i>Magelona johnstoni</i>	
	<i>Lanice conchilega</i>	
	<i>Urothoe poseidonis</i>	
	<i>Diogenes pugilator</i>	
	<i>Cumopsis longipes</i>	
	<i>Lumbrineris tetraura</i>	
	<i>Nephtys hombergii</i>	
	<i>Angulus fabula</i>	
	<i>Ensis directus</i>	

## 7.5. Conclusions sur l'évolution de l'estran du Petit-Fort-Philippe

### 7.5.1. Cas de la partie ouest de l'estran

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.

En 2013, les espèces euryhalines retrouvent des densités comparables à celles observées au début des années 2000 (tableau 7.4). L'augmentation des densités moyennes des espèces euryhalines suggèrent que l'influence d'eaux douces (dessalure du fleuve Aa, eaux de ruissellement consécutives à un hiver et un printemps pluvieux, cf. chapitre 2) s'est faite ressentir sur les populations en place. Cette zone d'influence a d'ailleurs gagné les niveaux moyens de l'estran puisque des espèces euryhalines ont été récoltées à la station G, habituellement caractéristique du niveau moyen de l'estran.

Tableau 7.4 : Densités (ind./0,25 m<sup>2</sup>) des espèces euryhalines depuis 2000

Densités (ind./m <sup>2</sup> )	<i>Ophelia rathkei</i>	Oligochaeta	<i>Hediste diversicolor</i>
2000	20	1	18
2001	16	20	29
2002	23	184	12
2003	461	103	25
2004	2	8	66
2005	6	12	5
2006	1	27	1
2007	0	0	0
2008	0	2	0
2009	0	2	1
2010	3	0	5
2011	0	0	1
2012	0	3	0
2013	5	63	8

### 7.5.2. Cas des spionidés

En 2013, seuls deux individus de *Spio martinensis* ont été récoltés à la station H et à la station L. Ces stations sont situées dans les bas niveaux.

En 2013, 55 individus de l'annélide *Pygospio elegans* ont été récoltés sur quatre des six stations de hauts niveaux (E, F, M et N) et un individu a été récolté sur une station de moyen niveau (G). Les densités rencontrés (de 1 à 39 ind./0,25m<sup>2</sup>) restent faibles, comme ce qui a été observé en 2012 (tableau 7.5).

Tableau 7.5 : Densités (ind./0,25m<sup>2</sup>) des Spionidés depuis 2000

Densités (ind./m <sup>2</sup> )	<i>Spio martinensis</i>						<i>Pygospio elegans</i>					
	E	F	M	N	I	J	E	F	M	N	I	J
2000	0	0	0	36	0	0	0	0	52	0	4	16
2001	40	0	0	0	0	24	0	8	124	40	3 440	24
2002	20	8	0	0	0	0	0	0	456	68	332	156
2003	0	84	0	0	0	0	8	0	264	408	168	0
2004	0	0	0	0	0	0	0	4	0	616	936	80
2005	0	0	0	0	0	0	0	40	108	208	96	8
2006	0	0	0	0	0	0	0	40	40	8	0	0
2007	0	0	0	0	0	0	92	4	72	488	40	0
2008	588	108	0	0	0	0	0	0	2	0	3 032	20
2009	0	0	0	24	0	0	192	0	156	52	52	0
2010	156	0	24	20	0	0	4	0	0	0	0	0
2011	236	0	0	0	0	0	0	0	508	332	1036	0
2012	0	0	0	0	0	0	24	4	28	8	20	0
2013	0	0	0	0	0	0	1	39	12	2	0	0

Le schéma de répartition de ces deux annélides s'observe donc encore cette année : *P. elegans* est plus présent sur la partie est de l'estran et sur les stations de haut niveau alors que *S. martinensis* se situe plutôt dans les stations de bas niveau.

### 7.5.3. Cas de la biomasse

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

En 2013, la biomasse moyenne du macrozoobenthos était du même ordre de grandeur qu'en 2010 avec 1,52 gPSLC/m<sup>2</sup> sur l'ensemble de l'estran et représentait la seconde plus faible valeur de biomasse enregistrée depuis l'année 2000 (tableau 7.6). Les points des hauts niveaux à l'ouest de l'estran présentent les biomasses les plus élevées (1,79 gPSLC/m<sup>2</sup> au point E ; 4,41 gPSLC/m<sup>2</sup> au point F). La présence en densités élevées des espèces *P. ulvae* et *C. arenarium* est à relier avec ces fortes biomasses obtenues aux points E et F. En 2013, une forte biomasse était à noter à la station L due à la présence de *D. vittatus* et *N. cirrosa*.

Tableau 7.6 : Biomasses du macrozoobenthos (gPSLC/m<sup>2</sup>) depuis 2000

Biomasses (gPSLC/m <sup>2</sup> )	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	Moyenne estran
2000	0,05	24,91	0,28	6,56	7,19	0,50	1,28	0,64	1,34	0,31	4,31
2001	0,11	23,61	0,23	0,56	5,83	0,76	0,95	12,91	0,82	1,43	4,72
2002	0,17	67,05	0,09	0,68	0,13	0,59	0,44	0,74	0,53	0,33	7,08
2003	16,24	32,74	2,16	1,30	0,87	0,23	1,57	4,44	2,84	4,01	6,64
2004	11,90	38,09	0,48	0,44	3,68	1,34	0,34	0,55	9,83	8,37	7,50
2005	22,85	18,37	0,77	0,49	0,19	0,58	5,41	0,19	3,30	1,99	5,41
2006	32,1	22,5	0,48	0,26	0,54	0,57	0,89	1,00	5,79	7,85	7,20
2007	24,51	5,99	1,09	0,81	0,52	0,25	0,28	0,64	2,64	4,11	4,08
2008	2,55	14,14	0,58	1,06	2,03	0,83	0,91	0,29	2,89	2,24	2,75
2009	5,60	10,96	0,31	5,53	1,02	0,45	0,29	13,81	3,20	1,78	4,30
2010	0,07	10,20	0,35	0,33	0,47	0,20	0,15	0,53	1,11	0,80	1,42
2011	2,87	12,55	0,25	0,72	0,36	0,10	0,18	0,57	2,33	1,73	2,17
2012	13,25	9,39	0,25	0,99	0,43	0,20	0,16	0,43	1,52	0,74	2,74
2013	1,79	4,41	0,40	0,43	0,04	0,62	1,73	3,34	1,01	1,38	1,52

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 *P. ulvae* ou des espèces sur-dispersées à densité faible mais à forte biomasse comme *D. vittatus*. 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 qui s'y rencontrent.

## 7.6. Éléments de conclusion

En 2013, aucune évolution majeure de la morphologie de l'estran qui pourrait être liée aux activités du CNPE n'était à noter. Les résultats des analyses granulométriques mettaient en évidence une stagnation des caractéristiques sédimentaires sur l'estran avec une stabilité des fines dans les niveaux supérieurs. Les phénomènes de bioturbation entraient sans doute aussi en jeu dans le maintien du taux de fines, notamment *C. arenarium* qui piège la vase pour fabriquer les tubes dans lesquels il vit. Il peut toutefois être signalé l'augmentation sur neuf des dix stations de la proportion des sables fins dans la composition sédimentaire totale.

En 2013, la richesse spécifique a continué la légère progression constatée depuis 2009 (dix taxa supplémentaires comptabilisés). Elle est revenue à un niveau comparable à celui de l'année 2000. Par contre, la densité globale a diminué après deux années consécutives de hausse, certainement du fait des diminutions de densité des espèces grégaires telles que *P. ulvae* ou *C.arenarium*. Parallèlement, la biomasse globale a diminué en 2013, marquant encore plus la tendance à la diminution observée depuis 2004. Toutefois, la répartition de la biomasse sur l'estran est conforme

à ce qui peut être observé sur d'autres estrans à énergie modéré de la région non soumis aux activités du CNPE.

En 2013, deux nouveaux amphipodes ont été récoltés sur le site, sans présenter de caractère de nouveauté pour la région. Il faut noter aussi le retour d'espèces euryhalines telles que *Hediste diversicolor* et *Ophelia rathkei*, révélant l'influence en 2013 de la dessalure et des ruissellements d'eaux douces.

**Annexe 7.1 : Coordonnées des prélèvements pour les dix stations en WGS84. Les valeurs entre parenthèses à côté des X et Y sont les coordonnées moyennes utilisées depuis 2000.**

Agents préleveurs	Radiale Station	1		
		E		
		X (51°00,400)	Y (2°06,534)	Heure (TU + 2)
AS-AF	Prélèvement 1	51°00,401	2°06,529	12h29
AS-AF	Prélèvement 2	51°00,400	2°06,531	12h32
AS-AF	Prélèvement 3	51°00,400	2°06,534	12h34
AS-AF	Prélèvement 4	51°00,400	2°06,533	12h37
AS-AF	Prélèvement 5	51°00,400	2°06,532	12h42
AS-AF	Prélèvement 6	51°00,400	2°06,532	12h45
AS-AF	Prélèvement 7	51°00,401	2°06,532	12h50
AS-AF	Prélèvement 8	51°00,006	2°06,533	12h53
AS-AF	Prélèvement 9	51°00,400	2°06,532	12h57
AS-AF	Prélèvement 10	51°00,398	2°06,532	12h59
AS-AF	Prélèvement 11	51°00,399	2°06,533	13h02
AS-AF	Prélèvement 12	51°00,400	2°06,533	13h05
AS-AF	Prélèvement 13	51°00,401	2°06,534	13h08
AS-AF	Granulo	51°00,399	2°06,533	13h12
Agents préleveurs	Station	F		
		X (51°00,533)		
		Y (2°06,317)	Heure (TU + 2)	
AS-AF	Prélèvement 1	51°00,535	2°06,318	11h10
AS-AF	Prélèvement 2	51°00,536	2°06,318	11h12
AS-AF	Prélèvement 3	51°00,534	2°06,320	11h17
AS-AF	Prélèvement 4	51°00,535	2°06,317	11h22
AS-AF	Prélèvement 5	51°00,535	2°06,319	11h25
AS-AF	Prélèvement 6	51°00,535	2°06,318	11h29
AS-AF	Prélèvement 7	51°00,536	2°06,318	11h33
AS-AF	Prélèvement 8	51°00,535	2°06,318	11h38
AS-AF	Prélèvement 9	51°00,536	2°06,318	11h45
AS-AF	Prélèvement 10	51°00,534	2°06,318	11h49
AS-AF	Prélèvement 11	51°00,535	2°06,318	11h51
AS-AF	Prélèvement 12	51°00,536	2°06,317	11h56
AS-AF	Prélèvement 13	51°00,536	2°06,317	12h00
AS-AF	Granulo	51°00,534	2°06,318	12h05
Agents préleveurs	Station	G		
		X (51°00,734)		
		Y (2°06,117)	Heure (TU + 2)	
AS-AF	Prélèvement 1	51°00,733	2°06,118	10h07
AS-AF	Prélèvement 2	51°00,733	2°06,118	10h08
AS-AF	Prélèvement 3	51°00,733	2°06,118	10h11
AS-AF	Prélèvement 4	51°00,733	2°06,118	10h14
AS-AF	Prélèvement 5	51°00,733	2°06,118	10h18
AS-AF	Prélèvement 6	51°00,732	2°06,119	10h22
AS-AF	Prélèvement 7	51°00,733	2°06,118	10h25
AS-AF	Prélèvement 8	51°00,733	2°06,118	10h28
AS-AF	Prélèvement 9	51°00,733	2°06,118	10h31
AS-AF	Prélèvement 10	51°00,733	2°06,119	10h35
AS-AF	Prélèvement 11	51°00,733	2°06,117	10h38
AS-AF	Prélèvement 12	51°00,733	2°06,117	10h43
AS-AF	Prélèvement 13	51°00,733	2°06,117	10h45
AS-AF	Granulo	51°00,733	2°06,117	10h48
Agents préleveurs	Station	H		
		X (51°00,883)		
		Y (2°05,917)	Heure (TU + 2)	
AS-AF	Prélèvement 1	51°00,882	2°05,920	09h08
AS-AF	Prélèvement 2	51°00,882	2°05,923	09h10
AS-AF	Prélèvement 3	51°00,883	2°05,919	09h13
AS-AF	Prélèvement 4	51°00,882	2°05,923	09h16
AS-AF	Prélèvement 5	51°00,881	2°05,923	09h19
AS-AF	Prélèvement 6	51°00,881	2°05,922	09h21
AS-AF	Prélèvement 7	51°00,881	2°05,923	09h26
AS-AF	Prélèvement 8	51°00,882	2°05,922	09h29
AS-AF	Prélèvement 9	51°00,880	2°05,919	09h32
AS-AF	Prélèvement 10	51°00,881	2°05,919	09h35
AS-AF	Prélèvement 11	51°00,884	2°05,923	09h38
AS-AF	Prélèvement 12	51°00,881	2°05,921	09h40
AS-AF	Prélèvement 13	51°00,882	2°05,922	09h44
AS-AF	Granulo	51°00,880	2°05,921	09h47

## Annexe 7.1 (suite, radiale 2)

Agents préleveurs	Radiale	2		
	Station	M		
		X (51°00,584)	Y (2°06,934)	Heure (TU + 2)
AS-AF	Prélèvement 1	51°00,584	2°06,933	13h34
AS-AF	Prélèvement 2	51°00,584	2°06,933	13h36
AS-AF	Prélèvement 3	51°00,584	2°06,929	13h38
AS-AF	Prélèvement 4	51°00,583	2°06,932	13h41
AS-AF	Prélèvement 5	51°00,583	2°06,693	13h44
AS-AF	Prélèvement 6	51°00,586	2°06,934	13h47
AS-AF	Prélèvement 7	51°00,585	2°06,931	13h50
AS-AF	Prélèvement 8	51°00,585	2°06,934	13h53
AS-AF	Prélèvement 9	51°00,585	2°06,934	13h55
AS-AF	Prélèvement 10	51°00,585	2°06,934	13h57
AS-AF	Prélèvement 11	51°00,585	2°06,934	14h01
AS-AF	Prélèvement 12	51°00,585	2°06,934	14h05
AS-AF	Prélèvement 13	51°00,586	2°06,930	14h08
AS-AF	Granulo	51°00,586	2°06,932	14h11
Agents préleveurs	Station	N		
		X (51°00,683)	Y (2°07,250)	Heure (TU + 2)
	ATR-JDT	Prélèvement 1	51°00,681	2°07,254
ATR-JDT	Prélèvement 2	51°00,680	2°07,252	13h18
ATR-JDT	Prélèvement 3	51°00,681	2°07,251	13h29
ATR-JDT	Prélèvement 4	51°00,680	2°07,249	13h31
ATR-JDT	Prélèvement 5	51°00,681	2°07,250	13h40
ATR-JDT	Prélèvement 6	51°00,680	2°07,247	13h45
ATR-JDT	Prélèvement 7	51°00,681	2°07,247	13h59
ATR-JDT	Prélèvement 8	51°00,682	2°07,248	14h03
ATR-JDT	Prélèvement 9	51°00,682	2°07,249	14h10
ATR-JDT	Prélèvement 10	51°00,681	2°07,250	14h15
ATR-JDT	Prélèvement 11	51°00,682	2°07,251	14h16
ATR-JDT	Prélèvement 12	51°00,685	2°07,253	14h20
ATR-JDT	Prélèvement 13	51°00,686	2°07,252	14h25
ATR-JDT	Granulo	51°00,685	2°07,254	13h16

## Annexe 7.1 (suite et fin, radiale 3)

Agents préleveurs	Radiale Station	3		
		I		
		X (51°00,783)	Y (2°07,167)	Heure (TU + 2)
ATR-JDT	Prélèvement 1	51°00,783	2°07,164	09h01
ATR-JDT	Prélèvement 2	51°00,783	2°07,163	09h10
ATR-JDT	Prélèvement 3	51°00,783	2°07,162	09h12
ATR-JDT	Prélèvement 4	51°00,783	2°07,161	09h13
ATR-JDT	Prélèvement 5	51°00,784	2°07,161	09h15
ATR-JDT	Prélèvement 6	51°00,784	2°07,161	09h17
ATR-JDT	Prélèvement 7	51°00,785	2°07,162	09h35
ATR-JDT	Prélèvement 8	51°00,786	2°07,163	09h36
ATR-JDT	Prélèvement 9	51°00,786	2°07,164	09h38
ATR-JDT	Prélèvement 10	51°00,786	2°07,165	09h39
ATR-JDT	Prélèvement 11	51°00,785	2°07,166	09h40
ATR-JDT	Prélèvement 12	51°00,785	2°07,166	09h57
ATR-JDT	Prélèvement 13	51°00,784	2°07,166	09h59
ATR-JDT	Granulo	51°00,784	2°07,164	10h00
Agents préleveurs	Station	J		
		X (51°00,933)	Y (2°07,000)	Heure (TU + 2)
		ATR-JDT	Prélèvement 1	51°00,932
ATR-JDT	Prélèvement 2	51°00,932	2°07,002	12h16
ATR-JDT	Prélèvement 3	51°00,931	2°07,000	12h18
ATR-JDT	Prélèvement 4	51°00,931	2°07,005	12h20
ATR-JDT	Prélèvement 5	51°00,931	2°07,003	12h26
ATR-JDT	Prélèvement 6	51°00,932	2°07,001	12h29
ATR-JDT	Prélèvement 7	51°00,930	2°07,002	12h32
ATR-JDT	Prélèvement 8	51°00,932	2°07,001	12h38
ATR-JDT	Prélèvement 9	51°00,932	2°07,002	12h42
ATR-JDT	Prélèvement 10	51°00,932	2°07,002	12h45
ATR-JDT	Prélèvement 11	51°00,931	2°07,003	12h46
ATR-JDT	Prélèvement 12	51°00,932	2°07,003	12h48
ATR-JDT	Prélèvement 13	51°00,932	2°07,002	12h50
ATR-JDT	Granulo	51°00,932	2°07,004	12h17
Agents préleveurs	Station	K		
		X (51°01,050)	Y (2°06,850)	Heure (TU + 2)
		ATR-JDT	Prélèvement 1	51°01,050
ATR-JDT	Prélèvement 2	51°01,050	2°06,850	10h22
ATR-JDT	Prélèvement 3	51°01,050	2°06,851	10h26
ATR-JDT	Prélèvement 4	51°01,050	2°06,851	10h30
ATR-JDT	Prélèvement 5	51°01,050	2°06,853	10h32
ATR-JDT	Prélèvement 6	51°01,052	2°06,854	10h34
ATR-JDT	Prélèvement 7	51°01,052	2°06,854	10h37
ATR-JDT	Prélèvement 8	51°01,050	2°06,854	10h42
ATR-JDT	Prélèvement 9	51°01,052	2°06,851	10h44
ATR-JDT	Prélèvement 10	51°01,052	2°06,851	10h45
ATR-JDT	Prélèvement 11	51°01,052	2°06,850	10h47
ATR-JDT	Prélèvement 12	51°01,050	2°06,849	10h49
ATR-JDT	Prélèvement 13	51°01,050	2°06,848	10h53
ATR-JDT	Granulo	51°01,049	2°06,851	10h25
Agents préleveurs	Station	L		
		X (51°00,667)	Y (2°06,800)	Heure (TU + 2)
		ATR-JDT	Prélèvement 1	51°00,665
ATR-JDT	Prélèvement 2	51°00,665	2°06,801	11h06
ATR-JDT	Prélèvement 3	51°00,665	2°06,800	11h07
ATR-JDT	Prélèvement 4	51°00,665	2°06,799	11h11
ATR-JDT	Prélèvement 5	51°00,665	2°06,798	11h15
ATR-JDT	Prélèvement 6	51°00,666	2°06,797	11h18
ATR-JDT	Prélèvement 7	51°00,667	2°06,796	11h22
ATR-JDT	Prélèvement 8	51°00,668	2°06,796	11h25
ATR-JDT	Prélèvement 9	51°00,669	2°06,796	11h29
ATR-JDT	Prélèvement 10	51°00,669	2°06,797	11h33
ATR-JDT	Prélèvement 11	51°00,669	2°06,799	11h38
ATR-JDT	Prélèvement 12	51°00,669	2°06,800	11h42
ATR-JDT	Prélèvement 13	51°00,669	2°06,801	11h45
ATR-JDT	Granulo	51°00,667	2°06,802	11h12

Annexe 7.2 : Caractéristiques granulométriques du sédiment aux 10 points intertidaux (% pondéraux) en 2013

Station	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
%_pélites	1,93	0,87	0,02	0,01	2,13	0,31	0,05	0,29	6,29	0,73
%_sables_fins	55,66	64,35	53,37	63,40	51,35	64,85	37,07	94,92	50,77	65,52
%_sables_moyens	40,58	53,37	41,63	34,75	44,80	31,88	56,60	4,35	39,71	26,29
%_sables_grossiers	1,74	1,75	4,47	1,62	1,72	2,33	5,98	0,38	3,15	5,17
%_graviers_fins	0,09	0,21	0,51	0,11	0,01	0,36	0,29	0,06	0,08	1,88
%_graviers_grossiers	0	0,22	0,00	0,11	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00	0,41
Poids total	105,27	105,82	105,41	108,10	100,65	103,10	108,02	99,19	103,97	100,68
Fines	2,61	1,11	0,02	0,02	2,18	0,35	0,05	0,35	6,72	0,84
Matière organique	0,08	0,05	0,00	0,00	0,17	0,01	0,00	0,01	0,43	0,03
Humidité	21,46	22,43	17,57	21,75	22,17	21,88	18,38	27,07	21,35	24,5
Folk	(g)S	(g)S	(g)S	(g)S	S	(g)S	(g)S	(g)S	(g)S	(g)S

Annexe 7.3 : Radiale 1, résultats bruts (nombre d'individus par 0,25 m<sup>2</sup>) en 2013

Radiale 1	Point E	Point F	Point G	Point H	Total
<b>Annelida</b>					
<i>Enchytraeidae</i>	4	29			33
<i>Hediste diversicolor</i>		8			8
<i>Nephtys cirrosa</i>				4	4
<i>Oligochaeta</i>	1				1
<i>Ophelia rathkei</i>		1	4		5
<i>Pygospio elegans</i>	1	39	2		42
<i>Scolelepis (Scolelepis) squamata</i>	3	7	8	4	22
<i>Spio martinensis</i>				1	1
<i>Spiophanes bombyx</i>				2	2
<b>Arthropoda</b>					
<i>Bathyporeia pelagica</i>			1	3	4
<i>Bathyporeia pilosa</i>		16	201		217
<i>Corophium arenarium</i>	37	10			47
<i>Eurydice affinis</i>	2	3	12		17
<i>Eurydice pulchra</i>			20		20
<i>Haustorius arenarius</i>				5	5
<b>Cnidaria</b>					
<i>Hydractinia echinata</i>		Présence			Présence
<b>Mollusca</b>					
<i>Macoma balthica</i>		142		1	143
<i>Peringia ulvae</i>	479	783			1262
<i>Retusa obtusa</i>		11			11
<b>Nematoda</b>					
<i>Enoplus brevis</i>	6	120			126
<b>Nemertea</b>					
<i>Cerebratulus</i>		9	5	1	15
<b>Insectes</b>					
Diptera-larves	11				11
<b>Richesse spécifique</b>	9	14	8	8	22
<b>Total 0,25 m<sup>2</sup></b>	544	1178	253	21	1996
<b>Total m<sup>2</sup></b>	2176	4712	1012	84	7984

Annexe 7.4 : Radiale 1, résultats bruts (biomasse en mgPSLC par 0,25 m<sup>2</sup>) en 2013. NM : nom mesurée (espèce coloniale ou espèce mise en collection).

Radiale1	Point E	Point F	Point G	Point H	Total
<b>Annelida</b>					
<i>Enchytraeidae</i>	0,22	1,06			1,28
<i>Hediste diversicolor</i>		126,13			126,13
<i>Nephtys cirrosa</i>				28,18	28,18
<i>Oligochaeta</i>	NM				NM
<i>Ophelia rathkei</i>		0,19	0,60		0,79
<i>Pygospio elegans</i>	0,15	2,86	0,14		3,15
<i>Scolelepis (Scolelepis) squamata</i>	34,31	27,58	35,89	30,42	128,20
<i>Spio martinensis</i>				0,11	0,11
<i>Spiophanes bombyx</i>				0,34	0,34
<b>Arthropoda</b>					
<i>Bathyporeia pelagica</i>			0,15	0,78	0,93
<i>Bathyporeia pilosa</i>		3,31	42,28		45,59
<i>Corophium arenarium</i>	20,4	4,10			24,50
<i>Eurydice affinis</i>	0,47	0,89	4,58		5,94
<i>Eurydice pulchra</i>			11,88		11,88
<i>Haustorius arenarius</i>				33,8	33,80
<b>Cnidaria</b>					
<i>Hydractinia echinata</i>		NM			NM
<b>Mollusca</b>					
<i>Macoma balthica</i>		585,91		1,29	587,20
<i>Peringia ulvae</i>	385,31	337,58			722,89
<i>Retusa obtusa</i>		3,597			3,60
<b>Nematoda</b>					
<i>Enoplus brevis</i>	0,24	3,16			3,40
<b>Nemertea</b>					
<i>Cerebratulus</i>		6,9	5,64	12,01	24,55
<b>Insectes</b>					
Diptera-larves	7,007				7,01
<b>Richesse spécifique</b>	9	14	8	8	22
<b>Total 0,25 m<sup>2</sup></b>	448,11	1103,25	101,16	106,93	1759,45
<b>Total m<sup>2</sup></b>	1792,43	4413,01	404,63	427,72	7037,78

Annexe 7.5 : Radiale 2, résultats bruts (nombre d'individus par 0,25 m<sup>2</sup>) en 2013

Radiale2	Point I	Point J	Point K	Point L	Total
<b>Annelida</b>					
<i>Arenicola marina</i>		1			1
<i>Eteone longa</i>			1		1
<i>Lanice conchilega</i>				1	1
<i>Magelona johnstoni</i>				1	1
<i>Nephtys cirrosa</i>				21	21
<i>Scolelepis (Scolelepis) squamata</i>			49	4	53
<i>Spio martinensis</i>				2	2
<b>Arthropoda</b>					
<i>Aora typica</i>				1	1
<i>Bathyporeia pelagica</i>			6		6
<i>Bathyporeia pilosa</i>		330			330
<i>Bathyporeia sarsi</i>			13		13
<i>Copepoda</i>				1	1
<i>Corophium arenarium</i>		181			181
<i>Crangon crangon</i>				8	8
<i>Diogenes pugilator</i>				1	1
<i>Eurydice affinis</i>		26	1		27
<i>Gammaropsis nitida</i>		1			1
<i>Haustorius arenarius</i>			3		3
<i>Pseudocuma (Pseudocuma) longicorne</i>				1	1
<i>Vaunthompsonia cristata</i>				1	1
<b>Bryozoa</b>					
<i>Electra pilosa</i>				Présence	Présence
<b>Mollusca</b>					
<i>Donax vittatus</i>				4	4
<i>Mytilus edulis</i>				3	3
<i>Peringia ulvae</i>	5	13			18
<b>Nematoda</b>					
<i>Enoplus brevis</i>			1		1
<b>Nemertea</b>					
<i>Cerebratulus</i>			2		2
<b>Richesse spécifique</b>	1	6	8	14	26
<b>Total 0,25 m<sup>2</sup></b>	5	552	76	48	681
<b>Total m<sup>2</sup></b>	20	2208	304	196	2728

Annexe 7.6 : Radiale 2, résultats bruts (biomasse en mgPSLC par 0,25 m<sup>2</sup>) en 2013. NM : nom mesurée (espèce coloniale ou espèce mise en collection).

	Point I	Point J	Point K	Point L	Total
<b>Annelida</b>					
<i>Arenicola marina</i>		NM			NM
<i>Eteone longa</i>			NM		NM
<i>Lanice conchilega</i>				NM	NM
<i>Magelona johnstoni</i>				NM	NM
<i>Nephtys cirrosa</i>				91,58	91,58
<i>Scolelepis (Scolelepis) squamata</i>			413,52	9,30	422,82
<i>Spio martinensis</i>				0,32	0,32
<b>Arthropoda</b>					
<i>Aora typica</i>					NM
<i>Bathyporeia pelagica</i>			0,94		0,94
<i>Bathyporeia pilosa</i>		79,56			79,56
<i>Bathyporeia sarsi</i>			4,38		4,38
<i>Copepoda</i>				NM	NM
<i>Corophium arenarium</i>		61,5			61,50
<i>Crangon crangon</i>				5,73	5,73
<i>Diogenes pugilator</i>				NM	NM
<i>Eurydice affinis</i>		5,85	0,28		6,13
<i>Gammaropsis nitida</i>		NM			NM
<i>Haustorius arenarius</i>			9,94		9,94
<i>Pseudocuma (Pseudocuma) longicorne</i>				NM	NM
<i>Vaunthompsonia cristata</i>				NM	NM
<b>Bryozoa</b>					
<i>Electra pilosa</i>				NM	NM
<b>Mollusca</b>					
<i>Donax vittatus</i>				729,01	729,01
<i>Mytilus edulis</i>				0,18	0,18
<i>Peringia ulvae</i>	9,5	7,18			16,68
<b>Nematoda</b>					
<i>Enoplus brevis</i>			0,06		0,06
<b>Nemertea</b>					
<i>Cerebratulus</i>			2,39		2,39
<b>Richesse spécifique</b>	1	6	8	14	26
<b>Total 0,25 m<sup>2</sup></b>	9,50	154,09	431,50	836,12	1431,22
<b>Total m<sup>2</sup></b>	38,00	616,37	1726,01	3344,48	5724,86

Annexe 7.7 : Radiale 3, résultats bruts (nombre d'individus par 0,25 m<sup>2</sup>) en 2013

<b>Radiale 3</b>	<b>Point M</b>	<b>Point N</b>	<b>Total</b>
<b>Annelida</b>			
<i>Enchytraeidae</i>	29		29
<i>Pygospio elegans</i>	2	12	14
<b>Arthropoda</b>			
<i>Bathyporeia pilosa</i>		57	57
<i>Corophium arenarium</i>	113	350	463
<i>Eurydice affinis</i>		39	39
<i>Eurydice pulchra</i>		1	1
<b>Mollusca</b>			
<i>Mytilus edulis</i>	1		1
<i>Peringia ulvae</i>	185	236	421
<b>Nematoda</b>			
<i>Enoplus brevis</i>	4	2	6
<b>Insectes</b>			
<i>Dolichopodidae</i>	1		1
Diptera-larves	5	2	7
<b>Richesse spécifique</b>	8	8	11
<b>Total 0,25 m<sup>2</sup></b>	340	699	1039
<b>Total m<sup>2</sup></b>	1360	2796	4156

Annexe 7.8 : Radiale 3, résultats bruts (biomasse en mgPSLC par 0,25 m<sup>2</sup>) en 2013. NM : nom mesurée (espèce coloniale ou espèce mise en collection).

Radiale 3	Point M	Point N	Total
<b>Annelida</b>			
<i>Enchytraeidae</i>	1,33		1,33
<i>Pygospio elegans</i>	0,19	0,45	0,64
<b>Arthropoda</b>			
<i>Bathyporeia pilosa</i>		13,12	13,12
<i>Corophium arenarium</i>	37,2	170,90	208,10
<i>Eurydice affinis</i>		8,35	8,35
<i>Eurydice pulchra</i>		1,33	1,33
<b>Mollusca</b>			
<i>Mytilus edulis</i>	NM		NM
<i>Peringia ulvae</i>	206,63	149,76	359,39
<b>Nematoda</b>			
<i>Enoplus brevis</i>	0,14	0,14	0,28
<b>Insectes</b>			
<i>Dolichopodidae</i>	NM		NM
Diptera-larves	8,00	1,27	9,27
<b>Richesse spécifique</b>	8	8	11
<b>Total 0,25 m<sup>2</sup></b>	253,49	345,32	598,81
<b>Total m<sup>2</sup></b>	1013,96	1381,29	2395,25





## 8. LE DOMAINE BENTHIQUE SUBTIDAL

Auteur : Luczak C.

Collaborateurs : Menu D, Butelle K. & 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 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.

## 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 m<sup>2</sup>) correspondant à 1 m<sup>2</sup> 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.

Suite au retard de mise en place de la convention de recherche (juillet 2013) et aux conditions en mer, seules deux campagnes ont pu être effectuées en 2013 les 20 septembre et 08 octobre 2013, auxquelles ont été ajoutées les données d'une troisième date antérieure à la convention : le 26 juin 2013. Etant donné la proximité des campagnes automnales, les résultats sont redondants et seules seront interprétées les données du 08 octobre 2013 (analyse/interprétation identiques pour les données de septembre 2013). Nous avons donc deux situations saisonnières cette année : printemps et automne.

## 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. Les sables fins étaient dominants en période hivernale et les sables moyens en période estivale et printanière. La fraction grossière restait presque inexistante. En 2009, les teneurs en pélites étaient faibles en hiver (1,46 %) moyennes jusqu'au début de l'été (~5 %) et fortes en automne (12,79 %). Le sédiment reste dominé par les sables fins et moyens. La fraction grossière (graviers) est toujours très faible, 0,7 % au maximum.

En 2010, les teneurs en pélites étaient restées élevées pendant toute l'année (entre 8 et 13 %). Le sédiment était dominé par les sables moyens et fins (toujours plus de 80 % au total). Les fractions grossières étaient demeurées faibles.

En 2011, la structure granulométrique présentait à nouveau un cycle annuel avec un maximum de teneur en pélites en période estivale de 8,76 %. Les teneurs en pélites hivernales et printanières étaient faibles, inférieures à 2%.

Nous avons observé en 2013 le même schéma qu'en 2012 c'est à dire, des valeurs élevées de pélites en été avec une valeur maximale en automne (10,59%). Ce sont toujours les sables fins et moyens qui dominaient (au-delà de 85%) avec une fraction grossière faible (tableau 8.1 et figure 8.1).

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

<b>Station B</b>	26 juin 2013	20 sept. 2013	08 oct. 2013
Graviers grossiers	0,33	0,15	0,13
Graviers fins	0,09	0,48	0,52
Sables grossiers	0,90	1,12	1,22
Sables moyens	22,89	26,44	25,44
Sables fins	70,05	61,66	62,10
Pélites	5,74	10,15	10,59

### 8.3.1.2. Point C

Le sédiment du point C est en général dominé par les sables moyens et fins. Ces deux classes représentent toujours plus de 95 % du poids total du sédiment, les sables moyens représentant 64 à 78 % du sédiment et les sables fins de 21 à 35 %. Le sédiment est totalement dépourvu de pélites (de 0,00 à 0,01 %). Depuis 2009 cette description est à peu de chose près restée toujours valable. Toutefois au printemps le sédiment semblait être passé par une phase transitoire d'affinement avec prépondérance des sables fins (58 %) et très léger envasement (0,1 %). En 2013 tout comme en 2012, maintien à un schéma classique : 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 0,03%) (tableau 8.2 et figure 8.2).

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

<b>Station C</b>	26 juin 2013	20 sept 2013	08 oct 2013
Graviers grossiers	0,01	0,01	0,00
Graviers fins	0,01	0,02	0,03
Sables grossiers	0,24	0,31	0,30
Sables moyens	78,40	69,44	64,91
Sables fins	21,33	30,22	34,76
Pélites	0,00	0,00	0,00

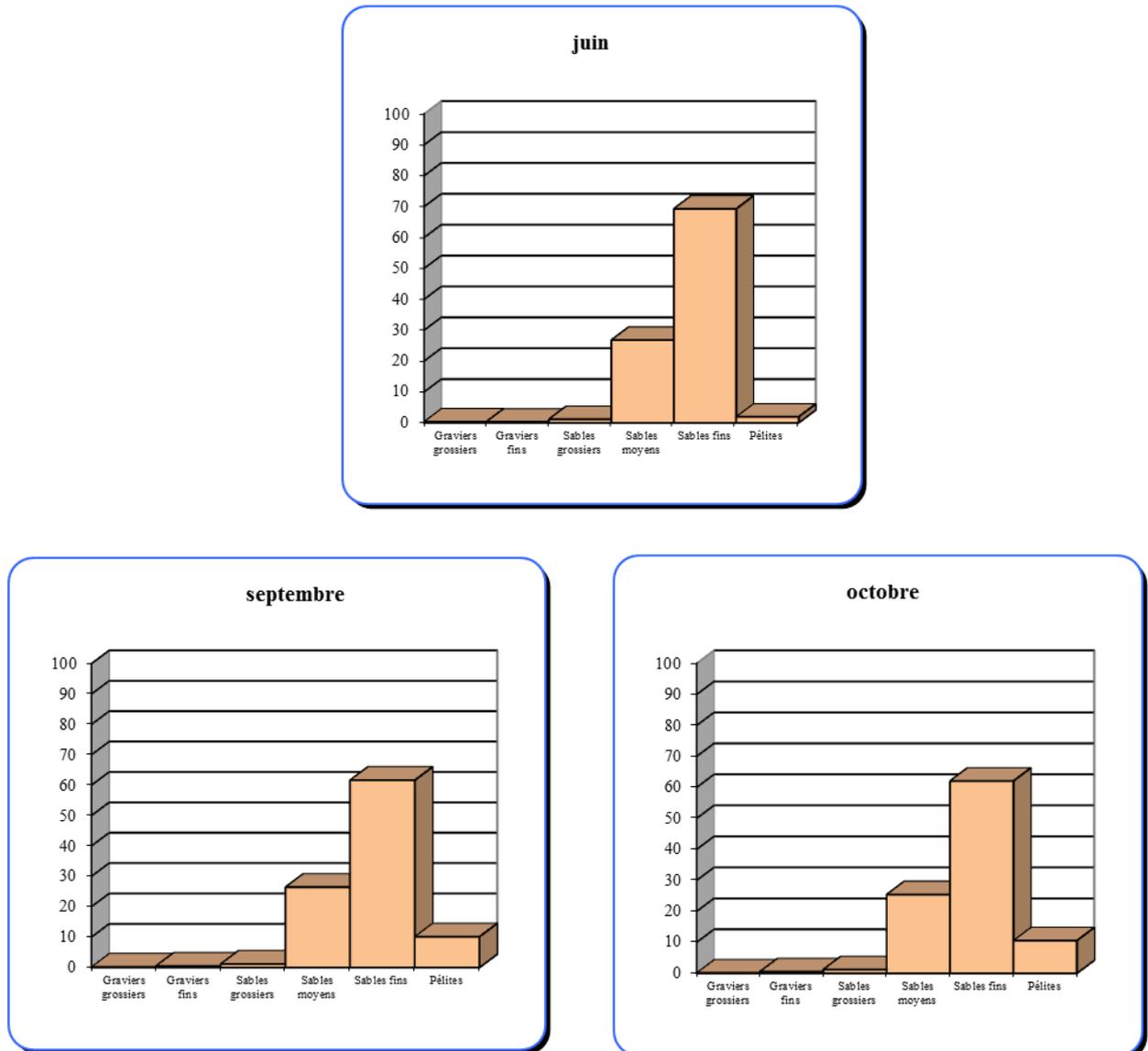


Figure 8.1 Point B, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

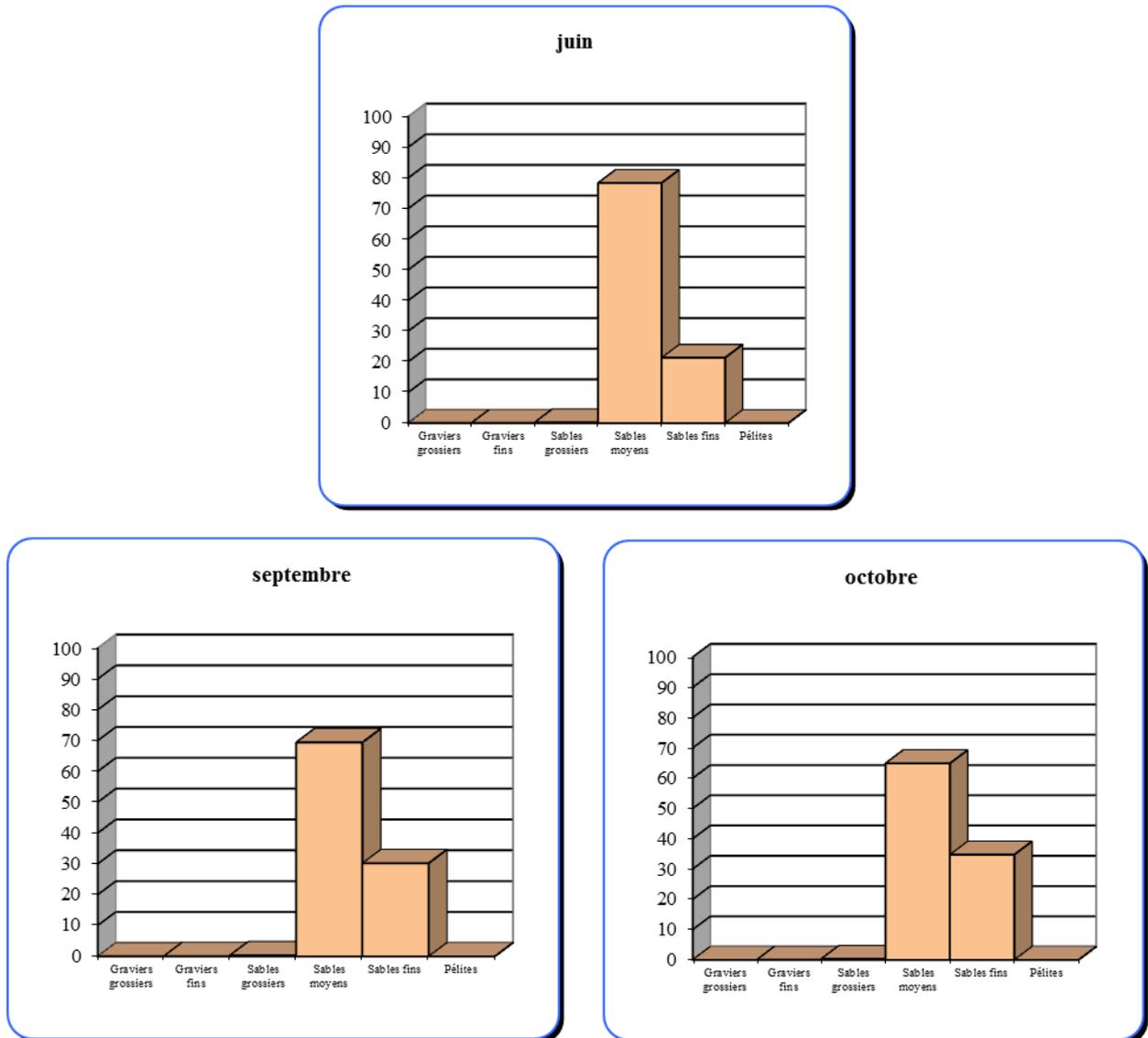


Figure 8.2. Point C, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

### 8.3.2. Composition bionomique

#### 8.3.2.1. Point B

En 2013, l'analyse faunistique a permis de recenser 55 taxons différents au point B, cette richesse spécifique était significativement plus faible que la moyenne depuis 2006 (62 ; écart-type : 2,83) (tableau 8.3) et proche de celle de 2010.

**Tableau 8.3 Nombre des taxons des prélèvements benthiques récoltés depuis 2006 au point B**

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Nombre de taxons	60	62	65	65	57	63	62	55

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

- 1 Cnidaire
- 3 Némertes
- 24 Annélides Polychètes
- 13 Mollusques
  - 2 Gastéropode
  - 11 Bivalves
- 11 Crustacés
- 3 Echinodermes

Ces 55 taxons représentaient cependant 69 381 individus récoltés, Ce qui est nettement supérieur à ce que l'on a observé sur le site depuis 2007. Ceci est principalement dû au recrutement massif de plusieurs espèces.

#### 8.3.2.2. Point C

L'analyse faunistique a permis de recenser 17 taxons. La richesse spécifique globale était relativement faible, et revenait au minimum observé en 2007 (tableau 8.4).

**Tableau 8.4 Nombre des taxons des prélèvements benthiques récoltés depuis 2006 au point C**

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Nombre de taxons	30	18	28	26	28	22	33	17

Ils se répartissaient comme suit (annexes 8.3 et 8.4)

- 1 Cnidaire
- 8 Annélides Polychètes
- 3 Mollusques Bivalves
- 5 Crustacés

Ces 17 taxons représentaient 514 individus récoltés (378 en 2012, 442 en 2011, 413 en 2010 et 400 en 2009), ce résultat est donc bien supérieur à celui des dernières années d'étude.

*Nephtys cirrosa* reste l'espèce dominante du peuplement avec près de 61% 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 2013 à la station B.

Au mois de juin 2013, la richesse spécifique était de 40 espèces récoltées, chiffre dans la moyenne d'une fin de printemps depuis 2005 (moyenne : 41,25 ; écart-type : 6,60 ; Tableau 8.5). La densité était cependant très importante avec un total de 26 463 ind.m<sup>-2</sup>, tout comme la biomasse avec une valeur de 79,43 g.m<sup>-2</sup>, valeur supérieure à la moyenne des 8 dernières années (50,07 g.m<sup>-2</sup>, écart-type : 28,25) en fin de printemps-début d'été sans atteindre les valeurs de biomasse de 2006 et 2010 (tableau 8.5).

**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 juin/juillet depuis 2005**

	juin 2005	juin 2006	juin 2007	juin 2008	juin 2009	juin 2010	juillet 2011	juillet 2012	Juin 2013
N	40	40	48	45	35	30	50	42	40
densité	1 166	13 959	3 331	6 909	5 325	2 251	8 058	19 957	26463
biomasse	32,16	87,35	22,01	65,87	22,98	86,93	24,26	59,03	79,43

Les fortes valeurs d'abondance et de biomasse ont été causées par une phase de recrutement importante dans le macrobenthos, comme l'atteste la faible taille des individus récoltés. La communauté était dominée quantitativement à cette date par des « jeunes » : *Macoma baltica* avec près de 50% des individus récoltés (13175 ind./m<sup>2</sup>), *Lanice conchilega* (8905 ind./m<sup>2</sup>), *Scoloplos armiger* (1344 ind./m<sup>2</sup>), *Eumida sanguinea* (1018 ind./m<sup>2</sup>) et *Spiophanes bombyx* (690 ind./m<sup>2</sup>). La biomasse était structurée à 90% par *M. balthica* (32,08 g.m<sup>-2</sup>), *L.conchilega* (26,46 g.m<sup>-2</sup>), *A. alba* (8,23 g.m<sup>-2</sup>) et *Nassarius reticulatus* (4,8 g.m<sup>-2</sup>). A noter le recrutement très important du bivalve *M. balthica* pour la seconde année consécutive.

En octobre 2013, la richesse spécifique a augmenté avec 50 espèces, valeur supérieure à la moyenne depuis 2005 (45,63 ; écart-type : 3,93). La densité globale a très peu diminué par rapport à juin avec 22 932 ind.m<sup>-2</sup> (tableau 8.6). Cette dernière valeur était très au-delà de la moyenne des huit dernières années (3 133 ind.m<sup>-2</sup>). La biomasse était supérieure à celle de juin 2013 avec 91,8 g.m<sup>-2</sup>, ce qui met en évidence une augmentation de taille des individus recrutés au printemps avec une mortalité faible. Il faut y ajouter le recrutement majeur cet été de plusieurs espèces. Cette biomasse

était par ailleurs nettement supérieure à la moyenne des années antérieures depuis 2005: 56,71 g·m<sup>-2</sup> (écart-type : 44,75).

**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 septembre-décembre depuis 2005**

	septembre 2005	septembre 2006	décembre 2007	octobre 2008	octobre 2009	octobre 2010	septembre 2011	novembre 2012	Octobre 2013
N	46	47	42	51	47	47	47	38	50
densité	825	6 123	2 666	4 429	4 899	2 617	3 696	637	22 932
biomasse	19,29	64,22	158,97	44,66	61,19	54,14	25,64	25,61	91,80

Parmi les espèces qui avaient recruté notablement en juin 2013, se maintiennent avec des effectifs relativement conséquents : *Macoma balthica*, *Scoloplos armiger*, *Spiophanes bombyx* et *Phyllodoce mucosa* avec respectivement, 6638, 2181, 971 et 596 ind.m<sup>-2</sup>. A noter plusieurs recrutements massifs cet été avec *Notomastus latericeus* (3306 ind.m<sup>-2</sup>), *Ophiura albida* (983 ind.m<sup>-2</sup>) et surtout *Abra alba*, qui, avec 6041 ind.m<sup>-2</sup>, présentait la seconde densité la plus importante depuis 1978. La biomasse globale de 91,8 g·m<sup>-2</sup> restait de fait très élevée ; elle était dominée principalement par des mollusques : *Abra alba* (26,08 g·m<sup>-2</sup>), *Macoma balthica* (14,72 g·m<sup>-2</sup>) et les polychètes *Notomastus latericeus* (17,88 g·m<sup>-2</sup>) et *Lanice conchilega* (9,69 g·m<sup>-2</sup>). Ces quatre espèces représentaient 74,47% de la biomasse totale.

### 8.3.3.2. Point C

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

Les résultats enregistrés en 2013 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. L'annélide polychète, *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 et 2012, les densités assez fortes du crabe, *Portumnus latipes*, qui représentait 10,1 % des individus récoltés

En juin 2013, la richesse spécifique de 15 espèces était conforme à la moyenne des huit dernières années (12,87 ± 3,31 espèces), tout comme la densité globale (211 *contra* une moyenne de 199 ± 149 ind.·m<sup>-2</sup> – période 2005-2012), (tableau 8.7). Les espèces dominantes étaient *Nephtys cirrosa* (110 ind.·m<sup>-2</sup>) et *Spio martinensis* (75 ind.·m<sup>-2</sup>). La biomasse était inférieure à la moyenne de la période 2005-2012 : 1,1 g·m<sup>-2</sup> *contra* 1,97 ± 1,38 g·m<sup>-2</sup> mais en augmentation par rapport à 2012 et proche de celles de 2009 et 2011. *Nephtys cirrosa* (0,65 g·m<sup>-2</sup>), représentait plus de 59 % de la biomasse totale suivi de *Portumnus latipes* (0,36 g·m<sup>-2</sup>) qui en représentaient près de 33%.

**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 été depuis 2005**

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
N	15	12	8	14	9	15	12	18	15
densité	558	143	85	206	128	136	169	173	211
biomasse	3,9	4,0	0,5	2,6	1,0	1,8	1,3	0,7	1,1

En octobre 2013 la richesse spécifique de la communauté était plus faible (9 espèces), tout comme la densité de population (139 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup>). Ces chiffres restent néanmoins dans la gamme de valeurs observées depuis 2005 pour l'automne, voire même supérieure pour la densité (tableau 8.8). La densité de la population de *Nephtys cirrosa* restait importante (92 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup>) et les espèces dominantes étaient similaires à celles observées au printemps. Les espèces les plus contributives à l'élaboration de la biomasse étaient *N. cirrosa* (0,75 g $\cdot$ m<sup>-2</sup>; 49 %), et *Portumnus latipes* (0,31g $\cdot$ m<sup>-2</sup>, 21 %).

**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 automne depuis 2005**

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
N	14	8	9	12	8	6	7	11	9
densité	214	85	39	99	86	85	110	88	139
biomasse	3,8	0,7	0,7	1,2	0,9	0,5	1,7	0,8	1,5

Le déficit en densité au point C par rapport au point témoin B est toujours très important, il dépasse systématiquement 99 % (tableau 8.9). Ce déficit reste très élevé depuis 2006. L'impact en terme de biomasse reste aussi très important (98,5 %).

**Tableau 8.9 Déficit de densité (ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup>) et biomasse (g $\cdot$ m<sup>-2</sup>) entre les points B et C**

<b>densités</b>	Jun 2013	Sept. 2013	Octobre 2013	<b>2013</b>
Station B	26463	19986	22932	<b>69381</b>
Station C	211	164	139	<b>514</b>
Déficit (%)	99,2	99,1	99,4	<b>99,2</b>
<b>Biomasses (g)</b>	Jun 2013	Sept. 2013	Octobre 2013	<b>2013</b>
Station B	79,43	86,50	91,8	<b>257,73</b>
Station C	1,1	1,21	1,53	<b>3,84</b>
Déficit (%)	98,6	98,6	98,3	<b>98,5</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 99,2% de la densité (densité moyenne de 171 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup> au point C contre 23 127 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup> au point B) et de 98,5 % de la biomasse, moyenne annuelle de 1,3 g $\cdot$ m<sup>-2</sup> au point C contre 85,9 g $\cdot$ m<sup>-2</sup> au point B.

#### 8.4. Éléments de conclusion

Le **point B**, situé en dehors de l'impact courantologique de la centrale, a été caractérisé en 2013, tout comme en 2011, par le recrutement massif de *Macoma balthica*, 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 (*Lanice conchilega*, *Scoloplos armiger*, *Eumida sanguinea*). Une mortalité relativement faible des recrues durant la période estivale a été observée (sauf pour *E. sanguinea* et *L. conchilega*), mais il y a eu une augmentation de la richesse spécifique avec des recrutements importants et se maintenant en été/début d'automne sur les espèces : *Notomastus latericeus*, *Ophiura albida* et surtout *Abra alba* qui a atteint la seconde densité la plus importante en octobre 2013 depuis le début de suivi en 1978. Sur le plan global, la richesse spécifique, avec 55 espèces, était inférieure à celle observée les années antérieures (moyenne de 62 espèces depuis 2005), mais la densité moyenne de 23 127 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup> était nettement supérieure à celle des années antérieures (2005-2011 : 3 581 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup>) et la biomasse moyenne était également supérieure à la moyenne des années précédentes avec 85,9 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**, impacté par les eaux de rejet de la centrale, révèlent une année 2013 caractérisée par une richesse spécifique (15 espèces) nettement plus faible qu'en 2012 (32 espèces), mais des valeurs de densités et de biomasse en augmentation par rapport aux années précédentes : respectivement 171 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup> *contra* 128 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup> sur la période 2005-2011 et 1,28 g $\cdot$ m<sup>-2</sup> *contra* 1,23 g $\cdot$ m<sup>-2</sup> pour la période 2005-2011. Tout comme en 2011 et 2012, *Portumnus latipes* a été particulièrement abondant : troisième espèce la plus abondante après *Nephtys cirrosa* et *Spio martinensis*, et présentait la seconde biomasse globale la plus importante derrière *N. cirrosa*.

Les peuplements qui s'établissent au point C sont toujours du type sabulicole, du fait de l'intensité du courant dans le panache de rejet de la centrale qui va limiter la remise en suspension de sédiments fins, et le déficit en densité et biomasse est toujours considérable par rapport au point B non impacté par les rejets de la centrale (respectivement, 99,2% et 98,5 %). 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*, *Capitella capitata*, *Macoma balthica*, *Lanice conchilega*, *Scoloplos armiger*, *Donax vittatus* ou encore *Spiophanes bombyx*.

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 globale, 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.

Annexe 8.1 : Point B, nombre d'individus par m<sup>2</sup> (1<sup>ère</sup> partie)

	26-juin-13	20-sept-13	08-oct-13
	1m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup>
<b>Cnidaires</b>			
<i>Sagartia troglodytes</i>	0	1	2
<b>Annélides Polychètes</b>			
<i>Arenicola marina</i>	1	0	0
<i>Capitella capitata</i>	0	0	2
<i>Heteromastus filiformis</i>	25	0	346
<i>Notomastus latericeus</i>	17	3410	3306
<i>Scoloplos armiger</i>	1344	2120	2181
<i>Glycera alba</i>	9	70	71
<i>Psamathe fusca</i>	0	0	1
<i>Nephtys cirrosa</i>	0	1	1
<i>Nephtys hombergii</i>	27	210	181
<i>Nephtys longosetosa</i>	0	0	1
<i>Eunereis longissima</i>	2	84	136
<i>Pholoë baltica</i>	5	51	126
<i>Eumida sanguinea</i>	1018	30	10
<i>Phyllodoce groenlandica</i>	5	1	1
<i>Phyllodoce mucosa</i>	361	618	596
<i>Malmgrenia arenicolae</i>	3	1	0
<i>Malmgrenia glabra</i>	20	5	1
<i>Sthenelais boa</i>	0	15	27
<i>Owenia fusiformis</i>	0	64	122
<i>Magelona johnstoni</i>	1	5	13
<i>Spiophanes bombyx</i>	690	801	971
<i>Chaetozone setosa</i>	7	88	114
<i>Pectinaria koreni</i>	5	61	52
<i>Lanice conchilega</i>	8905	208	134
<b>Mollusques Gastéropodes</b>			
<i>Crepidula fornicata</i>	0	0	6
<i>Nassarius reticulatus</i>	30	49	49

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

	26-juin-13	20-sept-13	08-oct-13
<b>Mollusques Bivalves</b>			
<i>Donax vittatus</i>	6	8	11
<i>Lutraria angustior</i>	0	25	22
<i>Spisula solida</i>	0	0	1
<i>Spisula subtruncata</i>	0	0	1
<i>Mysella bidentata</i>	82	379	490
<i>Ensis directus</i>	34	110	110
<i>Abra alba</i>	382	4852	6041
<i>Macoma balthica</i>	13175	6025	6638
<i>Tellina fabula</i>	20	55	51
<i>Venerupis pullastra</i>	0	27	32
<i>Mya arenaria</i>	1	0	0
<b>Némertes</b>			
<i>Tubulanus polymorphus</i>	0	0	3
<i>Cerebratulus sp</i>	0	3	4
<i>Lineus bilineatus</i>	0	1	1
<b>Crustacés</b>			
<i>Crangon crangon</i>	22	12	7
<i>Pagurus bernhardus</i>	1	0	3
<i>Polybius holsatus</i>	52	8	4
<i>Portumnus latipes</i>	0	0	1
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	5	9	3
<i>Pariambus typicus</i>	65	20	37
<i>Aora gracilis</i>	2	0	0
<i>Atylus swammerdami</i>	61	8	2
<i>Leucothé incisa</i>	42	1	10
<i>Melita obtusata</i>	18	2	0
<i>Urothoë poseidonis</i>	2	2	4
<b>Echinodermes</b>			
<i>Amphiura brachiata</i>	6	0	1
<i>Ophiura albida</i>	5	35	22
<i>Ophiura ophiura</i>	1	1	0
<i>Ophiura albida "jeunes"</i>	6	510	983
<b>TOTAL</b>	<b>26463</b>	<b>19986</b>	<b>22932</b>
Richesse spécifique	40	42	50

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

	26-juin-13	20-sept-13	08-oct-13
	1m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup>	0,9 m <sup>2</sup>
<b>Cnidaires</b>			
<i>Sagartia troglodytes</i>		0,010	0,018
<b>Annélides Polychètes</b>			
<i>Arenicola marina</i>	0,008		
<i>Heteromastus filiformis</i>	0,003		0,024
<i>Notomastus latericeus</i>	0,184	16,544	17,883
<i>Scoloplos armiger</i>	0,040	0,520	0,559
<i>Glycera alba</i>	0,122	0,200	0,166
<i>Nephtys hombergii</i>	0,483	1,001	0,917
<i>Eunereis longissima</i>	0,027	0,997	1,558
<i>Pholoë baltica</i>		0,002	0,009
<i>Eumida sanguinea</i>	0,154	0,005	
<i>Phyllodoce mucosa</i>	0,073	0,405	0,449
<i>Malmgrenia glabra</i>	0,006		
<i>Sthenelais boa</i>		0,544	0,694
<i>Owenia fusiformis</i>		0,200	0,360
<i>Magelona johnstoni</i>			0,003
<i>Spiophanes bombyx</i>	0,040	0,266	0,322
<i>Chaetozone setosa</i>		0,010	0,011
<i>Pectinaria koreni</i>	0,010	0,360	0,320
<i>Lanice conchilega</i>	26,464	13,099	9,692
<b>Mollusques Gastéropodes</b>			
<i>Crepidula fornicata</i>			0,005
<i>Nassarius reticulatus</i>	4,798	4,665	4,504
<b>Mollusques Bivalves</b>			
<i>Donax vittatus</i>	0,151	0,666	0,778
<i>Lutraria angustior</i>		0,397	0,441
<i>Spisula solida</i>			0,010
<i>Spisula subtruncata</i>			0,009
<i>Mysella bidentata</i>	0,021	0,081	0,089
<i>Ensis directus</i>	2,955	5,947	4,893
<i>Abra alba</i>	8,229	20,294	26,078
<i>Macoma balthica</i>	32,078	13,888	14,717
<i>Tellina fabula</i>	0,411	0,492	0,549
<i>Venerupis pullastra</i>		0,444	0,513
<i>Mya arenaria</i>	1,231		
<b>Némertes</b>			
<i>Cerebratulus sp</i>		0,025	0,032
<b>Crustacés</b>			
<i>Crangon crangon</i>	0,087	0,380	0,430
<i>Pagurus bernhardus</i>	1,045		0,246
<i>Polybius holsatus</i>	0,149	1,203	1,018
<i>Amphipodes</i>	0,019	0,008	0,007
<b>Echinodermes</b>			
<i>Amphiura brachiata</i>	0,241		0,048
<i>Ophiura albida</i>		2,841	2,735
<i>Ophiura albida "jeunes".</i>	0,393	0,998	1,702
<i>divers</i>	0,005	0,008	0,015
<b>TOTAL</b>	<b>79,428</b>	<b>86,500</b>	<b>91,805</b>
Richesse spécifique	40	42	50

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

	26-juin-13	20-sept-13	08-oct-13
	1 m <sup>2</sup>	1m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup>
<b>Cnidaires</b>			
Sagartia troglodytes	1	1	1
<b>Annélides Polychètes</b>			
Capitella capitata	1	0	0
Scoloplos armiger	2	0	0
Glycera tridactyla	1	0	1
Nephtys cirrosa	110	111	92
Eteone longa	2	3	0
Syllidae sp.	1	1	0
Spio martinensis	75	20	17
Lanice conchilega	1	0	0
<b>Mollusques Bivalves</b>			
Donax vittatus	0	2	1
Macoma balthica	1	0	0
Mya arenaria	0	0	1
<b>Crustacés</b>			
Crangon crangon	3	2	1
Portumnus latipes	7	21	24
Atylus swammerdami	3	2	1
Erichtonius punctatus	1	0	0
Bathyporeia pelagica	2	1	0
<b>TOTAL</b>	<b>211</b>	<b>164</b>	<b>139</b>
Richesse spécifique	15	10	9

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

	26-juin-13	20-sept-13	08-oct-13
	1 m <sup>2</sup>	1m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup>
<b>Cnidaires</b>			
Sagartia troglodytes	0,16	0,38	0,45
<b>Annélides Polychètes</b>			
Capitella capitata	0,14		
Scoloplos armiger	0,1		
Glycera tridactyla	11,97		197,58
Nephtys cirrosa	650,48	740,5	749,11
Eteone longa	0,43	0,51	
Syllidae sp.	0,26	0,18	
Spio martinensis	6,58	3,5	2,62
Lanice conchilega	67,71		
<b>Mollusques Bivalves</b>			
Donax vittatus		121,8	134,04
Macoma balthica	0,06		
Mya arenaria	0,02		113,31
<b>Crustacés</b>			
Crangon crangon	0,93	18,18	23,51
Portumnus latipes	361,33	320,55	310,87
Atylus swammerdami	0,33	0,31	0,06
Erichtonius punctatus	0,03		
Bathyporeia pelagica	0,84	0,77	
<b>TOTAL</b>	<b>1101,37</b>	<b>1206,68</b>	<b>1531,55</b>
Richesse spécifique	15	10	9