

Laboratoire Environnement côtier & Ressources aquacoles (LER)

Coordonnateur : Elvire Antajan

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

Janvier 2011 – LER/BL/RST/11/01

Surveillance Écologique et Halieutique Site de Gravelines

Novembre 2009 - Octobre 2010



Colonie de *Phaeocystis globosa* (espèce phytoplanctonique)
(Photo : Elvire Antajan)

FICHE DOCUMENTAIRE

Numéro d'identification du rapport : LER/BL/RST/11/01 Diffusion : libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte <input type="checkbox"/> interdite <input type="checkbox"/> Validé par : Groupe de lecture Ifremer Version du document : Définitive	date de publication Mai 2011 nombre de pages 148 bibliographie (Oui / Non) Non illustration(s) (Oui / Non) Non langue du rapport Français
Titre et sous-titre du rapport : Surveillance écologique du site de production électronucléaire de Gravelines Novembre 2009 – Octobre 2010 Titre traduit : Ecological monitoring of the Gravelines nuclear power plant November 2009 – October 2010	
Auteur(s) principal(aux) : ANTAJAN Elvire DELESMONT Régis DEWARUMEZ Jean Marie LEFEBVRE Alain LOOTS Christophe LUCZAK Christophe	Organisme / Direction / Service, laboratoire Ifremer Boulogne Institut Pasteur/Gravelines Station Marine de Wimereux Ifremer Boulogne Ifremer Boulogne Station Marine de Wimereux
Collaborateur(s) : BLONDEL Camille DELESMONT Edith DUQUESNE Vincent HEBERT Pascale LE ROY Didier LOOTS Christophe LOUIS Wilfried MENU Dominique PHILIPPON Xavier VERIN Françoise	Organisme / Direction / Service, laboratoire Ifremer Boulogne Institut Pasteur/Gravelines Ifremer Boulogne Ifremer Boulogne Ifremer Boulogne Ifremer Boulogne Ifremer Boulogne Station Marine de Wimereux Ifremer Brest Ifremer Boulogne
Titre du contrat de recherche : Surveillance du milieu marin et des ressources vivantes autour des CNPE du littoral pour la période 2006 à 2012 Organisme commanditaire : Electricité de France (E.D.F.) – Production transport – CNPE Gravelines BP 149 - 59820 Gravelines Organisme(s) réalisateur(s) : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation durable de la MER (Ifremer) Boulogne – 150, quai Gambetta BP 699 – 62321 Boulogne sur mer Ifremer Centre de Brest – BP 70 – 29280 Plouzané Institut Pasteur de Gravelines – Route du Grand Colombier – 59820 Gravelines Station Marine de Wimereux – 28, avenue Foch BP 80 – 62930 Wimereux	Marchés : EDF : C349C65050 Ifremer : 07/1216504/MF
Responsable scientifique : ANTAJAN Elvire Ifremer Boulogne	
Cadre de la recherche : Surveillance des centrales nucléaires littorales et estuariennes Programme : Surveillance et évaluation de la qualité du milieu marin Projet : Impacts des Grands Aménagements IGA Campagne océanographique : IGA Gravelines 2010 – N/O : L'Emeraude	

Résumé

Ce travail constitue le 33^e rapport de surveillance du site électronucléaire de Gravelines dont la grande puissance énergétique est assurée par le fonctionnement de 6 tranches. Ce site, implanté sur le littoral, présente une prise d'eau de mer assurant le refroidissement du système et un rejet côtier d'eau chaude en surface. Le fonctionnement de la centrale a débuté en 1980 et elle a atteint la puissance maximale en 1986. La surveillance concerne les domaines pélagique (hydrologie, microbiologie, phytoplancton, zooplancton), halieutique (larves et œufs de Sole, de Sprat et crevettes grises), et benthique (intertidal et subtidal). La stratégie de surveillance est basée sur une approche spatiale et temporelle (i) Etude de l'impact immédiat par comparaison de la station « Prise d'eau » et de la station « Canal de rejet » sur une surface limitée (ii) Etude de l'évolution à moyen ou à long terme du milieu marin par rapport à une situation de référence (échelle locale).

Abstract

This is the 33th annual surveillance report concerning the nuclear power plant of Gravelines. Its very high power level results from six plant units located on the shore and is characterised by a cooling system with a coastal surface input and output. The production of electricity began in 1980 and reached maximum in 1986. Surveys concern monitoring of pelagic system (hydrology, microbiology, phytoplankton, zooplankton), fish populations (larvae and eggs of Sole and Sprat) or crustaceans (shrimps), and benthic macrofauna (intertidal and subtidal). This survey deals with spatial and temporal approaches (i) study of the direct impact by comparison of the input and output seawater stations, (ii) study of medium and long term evolution of the area by comparison with a reference station.

See review of the main results in the next section

Mots-clés :

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

Keywords :

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



RÉSUMÉ & CONCLUSIONS

Période de surveillance Novembre 2009 – Octobre 2010

Généralités

La stratégie reste inchangée pour l'ensemble des compartiments étudiés.
Les campagnes pélagiques ont eu lieu le 2 juin et le 27 septembre 2010.

Chloration

Le procédé d'électrochloration du circuit de refroidissement permettant de lutter contre le développement de salissures biologiques a été mis en fonction pendant 8 mois. Les composés chimiques formés durant ce processus étaient essentiellement bromés et le plus abondant était le bromoforme (97,8 % du total des produits dérivés) avec une concentration moyenne de 12,5 µg/L, conforme à ce qui était mesuré lors des périodes de surveillance précédentes. Le 2-4-6 bromophénol a été détecté régulièrement en saison de chloration (maximum 0,09 µg/L). 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 %.

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 28 (moyenne géométrique annuelle). La tendance à la baisse observée en 2009 (facteur de 43) se confirme donc cette année, de même que l'augmentation des cycles annuels. Les évolutions climatiques (hivers plus froids) et l'activité ralentie de l'aquaculture sur le site peuvent être des facteurs d'explication.

Vibrio alginolyticus reste l'espèce dominante observée sur le site avec 69,7 % d'isolement au niveau du canal de rejet. L'augmentation de la diversité des espèces présentes depuis le développement des activités aquacoles est confirmée cette année. Toutefois et comme depuis le début de la surveillance du site de Gravelines, les deux sérotypes de *V. cholerae* Nag présentant un risque sanitaire n'ont jamais été mis en évidence sur le site.

Phytoplancton

Cette année était caractérisée par une concentration en chlorophylle exceptionnellement forte fin mars (60 mg/m³). La prymnésiophyceée *Phaeocystis globosa*, classifiée comme susceptible d'altérer le fonctionnement de l'écosystème, a dominé la communauté phytoplanctonique entre mars et juin. L'abondance maximale observée le 14 avril avec 57.10⁶ cellules par litre était 2 fois plus élevée que l'an passé. En dehors des périodes de proliférations de *P. globosa*, les échantillons étaient dominés, par ordre décroissant de la fraction qu'ils représentaient, par les diatomées, les dinoflagellés, les cryptophycées, les dictyochophycées, les prasinophycées et les chlorophycées.

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

Zooplancton

Au mois de juin une prolifération exceptionnelle du dinoflagellé hétérotrophe, *Noctiluca scintillans* (méroplanctonique), représentait 96 % du zooplancton global (49 191 ind. m⁻³). Cela a conduit à l'observation d'un phénomène d'eau rouge dans le port ouest de Dunkerque et autour de la centrale de Gravelines.

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

L'impact de la centrale, s'il est réel pour certains groupes, comme les larves d'échinodermes, reste cependant très localisé au niveau du canal de rejet. Les variations d'abondance entre la côte (prise) et plus au large (référence) montre la difficulté d'évaluer si les différences observées sont dues à la variabilité naturelle du système ou à un effet directe de la centrale.

Zooplancton halieutique

Contrairement aux années précédentes, il apparaît que les campagnes d'échantillonnage réalisées en 2010 n'ont pas couvert la période du pic de ponte pour la sole et le sprat, qui semblait plutôt centrée sur le mois de mai. De ce fait, les abondances des larves observées en 2010 ont été extrêmement faibles pour la sole et nulles pour le sprat.

La crevette grise, présente toujours des effectifs très faibles depuis la reprise des comptages en 2001 et par rapport à l'ensemble des valeurs obtenues avant 1990. Toutefois les prélèvements zooplanctoniques (chapitre 5) montrent que cette espèce est davantage présente sur le site de Gravelines en période estivale (110 zoés par 10 m³ en juin).

Benthos intertidal

On ne note pas, en 2010, d'évolution de la morphologie de l'estran. Les résultats des analyses granulométriques ne font pas apparaître d'évolution majeure des sédiments intertidaux.

Cette année la richesse spécifique était stable par rapport à 2008 et 2009 (28 taxons), par contre, la densité globale était en forte diminution du fait de la régression des populations de *Hydrobia ulvae*, *Corophium arenarium*, et *Bathyporeia elegans*.

L'estran de Gravelines conserve l'intégralité de ses capacités productives à moyen terme et une certaine stabilité même si des oscillations autour d'une situation moyenne sont perceptibles et récurrentes.

Benthos subtidal

Le cycle sédimentaire classique (teneur en pélites du sédiment élevée et quasi constante, sables fins dominants en période hivernale et sables moyens en période estivale et printanière) au point B (dit non impacté) a été observé en 2010. Les caractéristiques granulométriques du point C (dit impacté) étaient classiques (absence de pélites).

L'étude de la composition bionomique des peuplements permet de mettre en évidence 57 taxons au point B et 28 taxons au point C. L'impact engendré par la mise en service de la centrale, constaté grâce à la comparaison des points avant la mise en œuvre du système de circulation d'eau nécessaire au refroidissement de l'installation, reste important sur les peuplements subtidaux au point C. Le déficit de densité et de biomasse entre le point C et le point B reste considérable en 2010 (respectivement, 96,1 et 98,1 %). Cependant, il faut noter que le peuplement installé au point C est tout à fait semblable, tant au point de vue de la composition faunistique qu'en ce qui concerne la densité et la biomasse globales, à ceux établis sur les sédiments similaires dans la région. De plus, la zone de déficit est localisée au débouché du canal de rejet et ne s'étend pas au-delà de quelques centaines de mètres. Enfin, ce déficit est uniquement dû à l'action de la courantologie.

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

Sommaire

Préambule

1.	PRÉSENTATION DU SITE – STRATÉGIE D'ÉTUDE	15
1.1.	Rappel sur le site	17
1.2.	Hydrographie.....	17
1.3.	Description des installations.....	18
1.4.	Stratégie d'échantillonnage	19
2.	FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE ET HYDROLOGIE	23
2.1.	Fonctionnement de la Centrale.....	25
2.2.	Hydrologie.....	28
2.3.	Éléments de conclusion	34
3.	ÉTUDE DE LA CHLORATION ET BACTÉRIOLOGIE.....	35
3.1.	Chloration.....	37
3.2.	Bactériologie	38
3.3.	Campagnes pélagiques	46
3.4.	Éléments de conclusion	47
4.	PHYTOPLANCTON ET BIOMASSE CHLOROPHYLLIENNE	53
4.1.	Introduction	55
4.2.	Méthodologie	55
4.3.	Chlorophylle <i>a</i> et pourcentage de chlorophylle active au point <i>prise</i>	56
4.4.	Abondance, composition du phytoplancton et indices de diversité au point <i>prise</i>	58
4.5.	Campagnes pélagiques	63
4.6.	Dynamique de développement du phytoplancton à méso-échelle	66
4.7.	Éléments de conclusion	67
5.	ZOOPLANCTON	71
5.1.	Méthodologie	73
5.2.	Surveillance au canal d'amenée	74
5.3.	Surveillance du milieu récepteur.....	83
5.4.	Éléments de conclusion	87
6.	ICHTYOPLANCTON ET LARVES DE CREVETTE GRISE	89
6.1.	Introduction	91
6.2.	Matériels et méthodes.....	91
6.3.	Résultats- Discussion	94
6.4.	Éléments de conclusion	103
7.	LE DOMAINE BENTHIQUE INTERTIDAL	105
7.1.	Introduction	107
7.2.	Matériels et méthodes.....	107
7.3.	Terminologie utilisée.....	107
7.4.	Résultats	108
7.5.	Conclusion sur l'évolution de l'estran	117
7.6.	Éléments de conclusion	120
8.	LE DOMAINE BENTHIQUE SUBTIDAL	129
8.1.	Introduction	131
8.2.	Matériels et méthodes.....	131
8.3.	Résultats	131
8.4.	Étude des populations d' <i>Abra alba</i> et de <i>Tellina fabula</i> du point <i>B</i> ..	140
8.5.	Éléments de conclusion	143

Préambule

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

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

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

Concernant la surveillance scientifique de la CNPE de Gravelines réalisée au cours de l'année 2010,

- L'état d'avancement a été adressé à EDF le 30 juin 2010
- L'édition provisoire du rapport annuel a été transmise à EDF le 28 février 2010.
- L'édition définitive du rapport scientifique annuel fait l'objet du présent document prenant en compte les remarques formulées sur la version provisoire.

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

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

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

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

Au cours de 2010, 30^{ème} année de fonctionnement de la Centrale, les études réalisées sur le site de Gravelines ont été menées sous la responsabilité de :

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

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

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

1. PRÉSENTATION DU SITE – STRATÉGIE D'ÉTUDE

Auteurs : R. Delesmont, E. Antajan

Collaborateurs : E. Delesmont

1.1. Rappel sur le site

Le site de Gravelines est situé à l'ouest de la Mer du Nord, à proximité du Détroit du Pas de Calais. Cette situation, alliée à la faible profondeur des eaux, a pour conséquence un hydrodynamisme important (Anonyme, 1968¹). L'onde de marée est du type semi-diurne avec une amplitude moyenne voisine de 4,5 m. Les courants de marée sont alternatifs et parallèles à la côte (Anonyme, 1968) (figure 1.1).

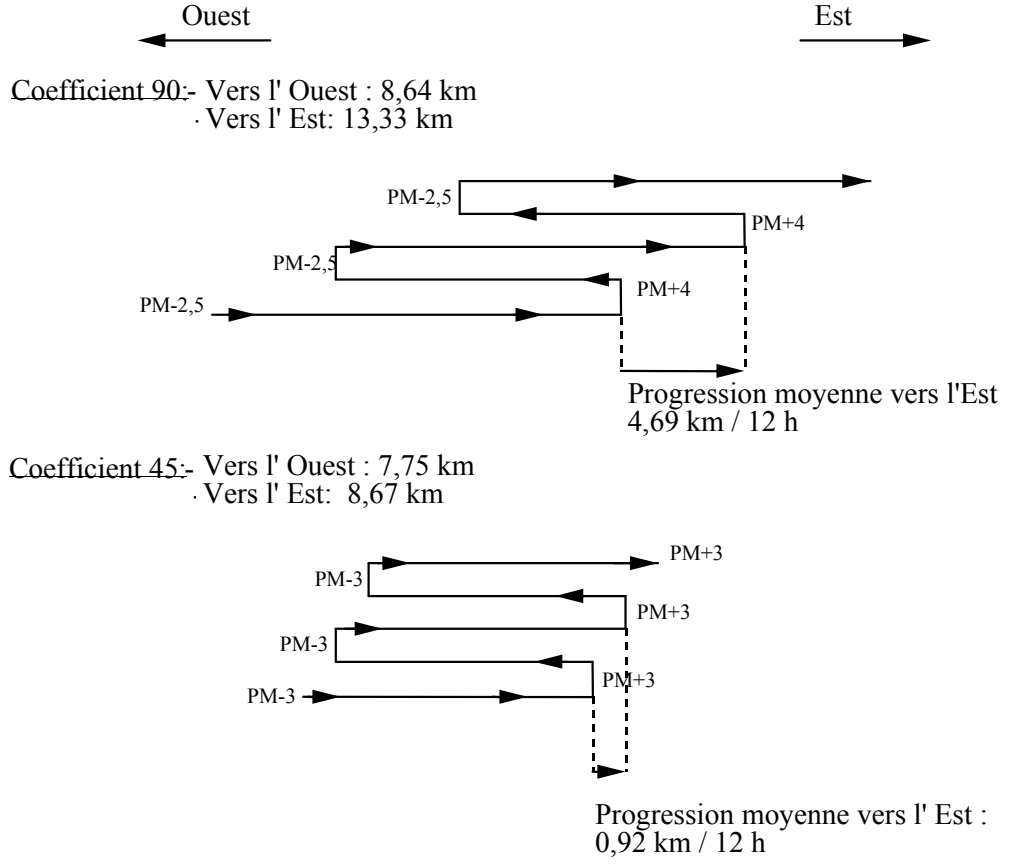


Figure 1.1 Schéma des courants de marée devant Dunkerque

1.2. Hydrographie

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

- Débits moyens estimés :
- Canal de Dunkerque : 4,6 m³/s
 - Fleuve Aa : 7,5 m³/s
 - Canaux de Calais : 3,0 m³/s

L'influence de ces cours d'eau n'est pas prépondérante sur la qualité de l'eau de mer transitant par la centrale. Les dessalures significatives observées sur le site ont lieu par temps sec, quand le vent

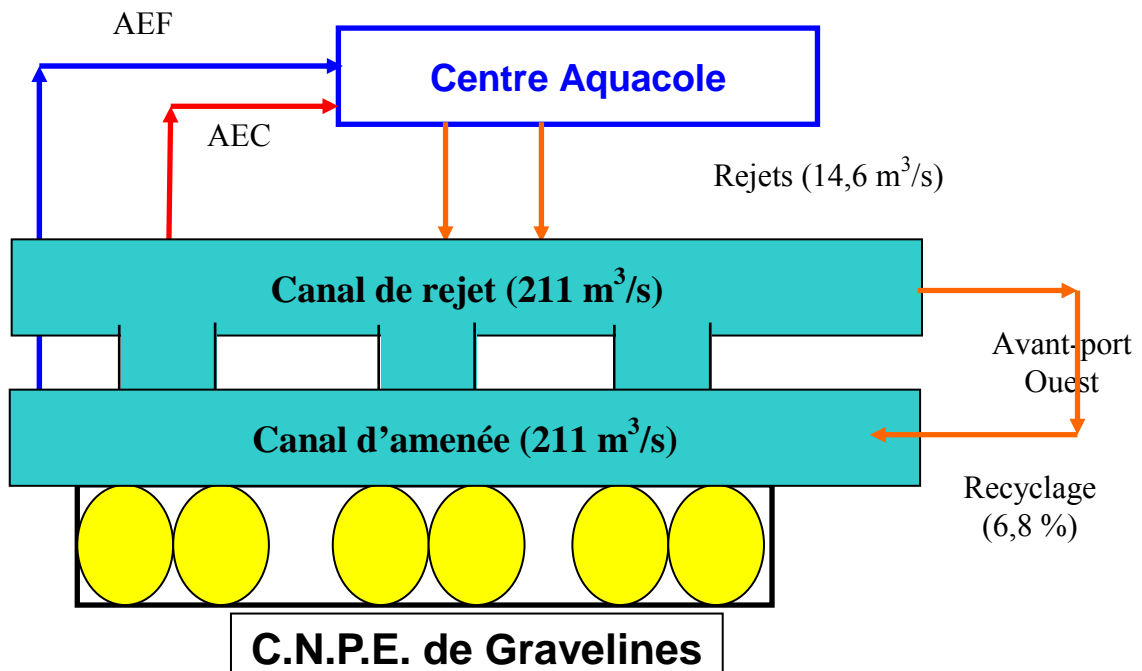
¹ Anonyme, 1968. Courants de marée dans la Manche et sur les côtes de l'Atlantique. Ed. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, Paris, 287 p.

de nord-est, établi sur de longues périodes, modifie les courants et amène sur le site des eaux de la côte belge (Belgrano *et al.*, 1990¹).

1.3. Description des installations

Le Centre Nucléaire de Production d'Électricité (CNPE) de Gravelines est composé de six tranches d'une puissance unitaire de 900 MW. Le circuit de refroidissement est alimenté en eau de mer prélevée dans l'avant port de Dunkerque et son débit est de 40 m^3 par seconde et par tranche. Le débit nominal total du rejet est ainsi de 240 m^3 par seconde. L'eau réchauffée est rejetée dans un canal à ciel ouvert qui se déverse à la côte.

Depuis 1984, des installations aquacoles utilisent une partie de cette eau tiède ($11,5 \text{ m}^3/\text{s}$) pour l'élevage de bars et de daurades. La production actuelle est de l'ordre de 2000 tonnes de poisson par an. Actuellement, les débits utilisés par la ferme aquacole sont en augmentation avec la mise en service d'une seconde station de pompage. Le rejet des eaux de la ferme aquacole se fait dans le canal de rejet de la centrale. Depuis l'été 2003, un second rejet situé plus en amont sur le canal de rejet est en service. Les effets observés au rejet de la centrale sont donc la résultante des influences conjuguées des deux installations, la centrale électrique et la ferme aquacole (figure 1.2).



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

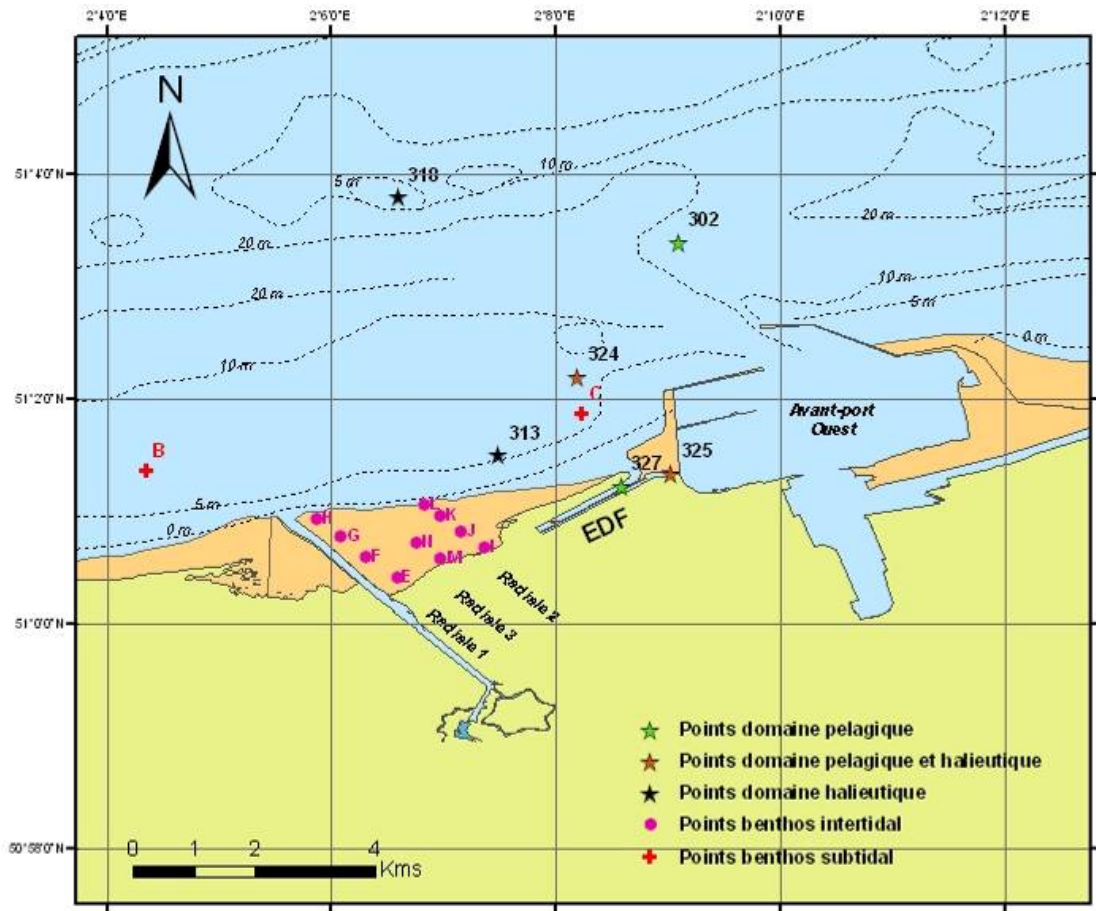
AEF : Alimentation Eau Froide ($3,1 \text{ m}^3/\text{s}$)

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

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

1.4. Stratégie d'échantillonnage

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



Station (Réf. 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 1.3 Localisation des points de prélèvements tous domaines d'études confondus

La liste de l'ensemble des travaux réalisés sur ces points de novembre 2009 à octobre 2010 est résumée dans le tableau 1.1.

Tableau 1.1 Ensemble des travaux réalisés lors de la surveillance 2009-2010

2009-2010	Paramètres	Périodicité par point			
		Prise	Rejet	Contrôle	Référence
DOMAINE PÉLAGIQUE					
Hydrologie	Température	hebdo.	hebdo.	02/06/10 27/09/10	
	Salinité	02/06/10 27/09/10			
Chimie	Sels nutritifs azotés	hebdo.	hebdo.		
	Chlore, haloformes et bromoformes	hebdo.	hebdo.		
	Bromophénols		mensuel		
Bactériologie	Vibrions halophiles	hebdo.	hebdo.	02/06/10 27/09/10	
Phytoplancton	Pigments chlorophylliens Flore totale	hebdo.	02/06/10 27/09/10		
Zooplancton	Méso-zooplancton	mensuel	02/06/10 27/09/10		
DOMAINE HALIEUTIQUE					
Ichtyoplancton	Soles et sprats (œufs et larves)	26/03/10	19/04/10 11/05/10		
		19/04/10			
		26/04/10			
		11/05/10			
Macrofaune	Crevettes grises	26/03/10	19/04/10 11/05/10		
		19/04/10			
		26/04/10			
		11/05/10			
DOMAINE BENTHIQUE					
Benthos intertidal	Sédiment (granulométrie)	E-F-G-H	M-N	I-J-K-L	B-C
	Macrofaune				
Benthos subtidal	Sédiment (granulométrie)				20/01/10
	Macrofaune				27/04/10
					30/06/10
					08/10/10

1.4.1. Domaine pélagique

Deux campagnes annuelles sont réalisées pour le suivi de l'impact du rejet de la centrale par la comparaison des prélèvements selon un axe côte-large. En 2010 elles ont été réalisées le 2 juin pour la mission printanière et le 27 septembre pour la mission automnale, à bord du navire de pêche l'*Emeraude*. Lors de chaque mission quatre points sont étudiés (tableau 1.2) :

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

Tableau 1.2 Dates et horaires des campagnes pélagiques 2010

Date	Pleine mer (heure locale)	Coeff. de marée	Prise	Rejet	Contrôle	Référence
02/06/10	17 :14	57	18 :00	16 :50	16 :35	17 :35
27/09/10	15 :34	76	15 :30	14 :35	15 :20	16 :00

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

1.4.2. Domaine halieutique

La surveillance du zooplancton halieutique comprend quatre campagnes:

- 2 campagnes à quatre points en mer (19 avril et 11 mai 2010) selon un gradient côte-large dans le milieu récepteur.
- 2 campagnes au canal d'amenée (26 mars et 26 avril 2010).

1.4.3. Domaine benthique

En zone intertidale, une campagne annuelle comprenant deux radiales de 4 points et 1 radiale à 2 points de hauts niveaux, couvrant l'ensemble de la zone intertidale comprise entre l'estuaire de l'Aa et la route de Dunes (estran Petit-Fort-Philippe), a été réalisée le 10 juin 2010 .

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 (20 janvier, 27 avril, 30 juin et 8 octobre 2010).

2. FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE ET HYDROLOGIE

Auteur : R. Delesmont

Collaboratrice : E. Delesmont

2.1. Fonctionnement de la Centrale

Ce paragraphe est réalisé à partir des données de fonctionnement communiquées par la Centrale de Gravelines. La centrale de Gravelines comprend six réacteurs d'une puissance électrique unitaire d'environ 900 MW. En 2009-2010, la puissance électrique produite par la centrale correspondait en moyenne hebdomadaire à l'équivalent de 3,7 à 6 tranches de 900 MW/h (figure 2.1 et tableau 2.1). La production était comme à l'habitude plus importante en saison froide. La puissance moyenne de la période était de 4352 MW/h, soit l'équivalent de 4,8 tranches.

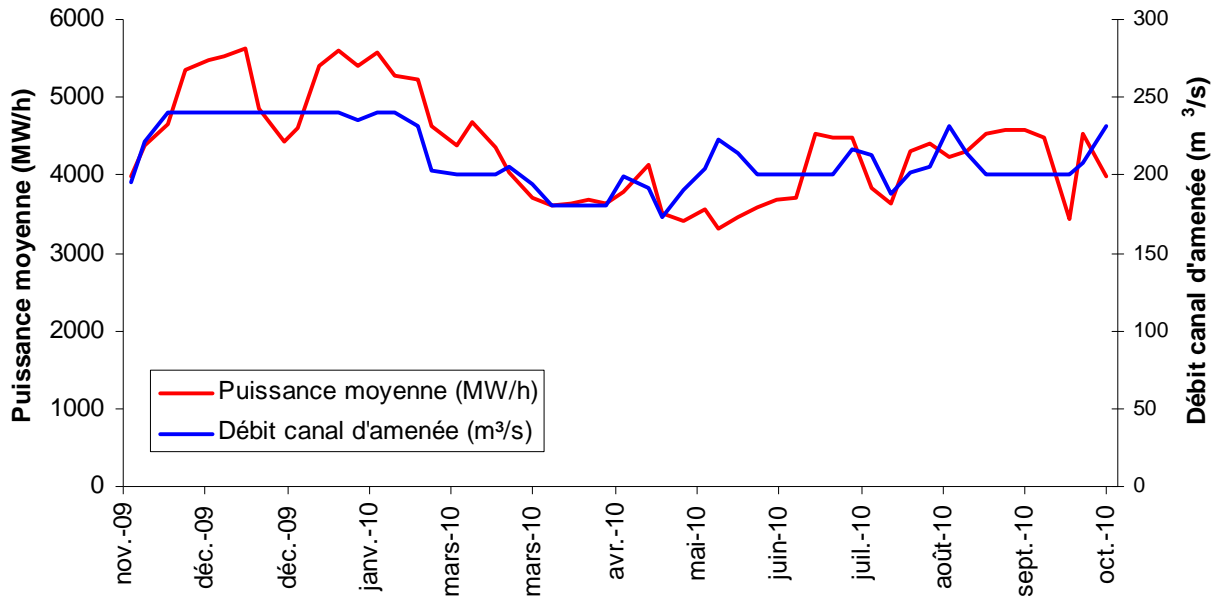


Figure 2.1 Fonctionnement de la centrale de Gravelines pour la période 2008-2009

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

Les débits d'eau de mer de refroidissement des condenseurs ont varié de 173 à 240 m³/s, soit les débits unitaires de pompage de 4,3 à 6 tranches (figure 2.1 et tableau 2.1). Le débit moyen calculé sur une base hebdomadaire était de 211 m³/s, soit l'équivalent du débit de pompage de 5,3 tranches.

Les variations de production électriques ne s'accompagnent pas toujours de variations identiques du débit de l'eau de refroidissement pompée ce qui occasionne des variations de l'échauffement de l'eau par transit. Lors de la période 2009-2010, ces variations ont été relativement faibles (figure 2.2 et tableau 2.1) :

Échauffement moyen calculé par EDF : $9,8 \pm 1,0$ °C

Échauffement moyen (mesures IPL au canal de rejet) : $8,7 \pm 1,5$ °C

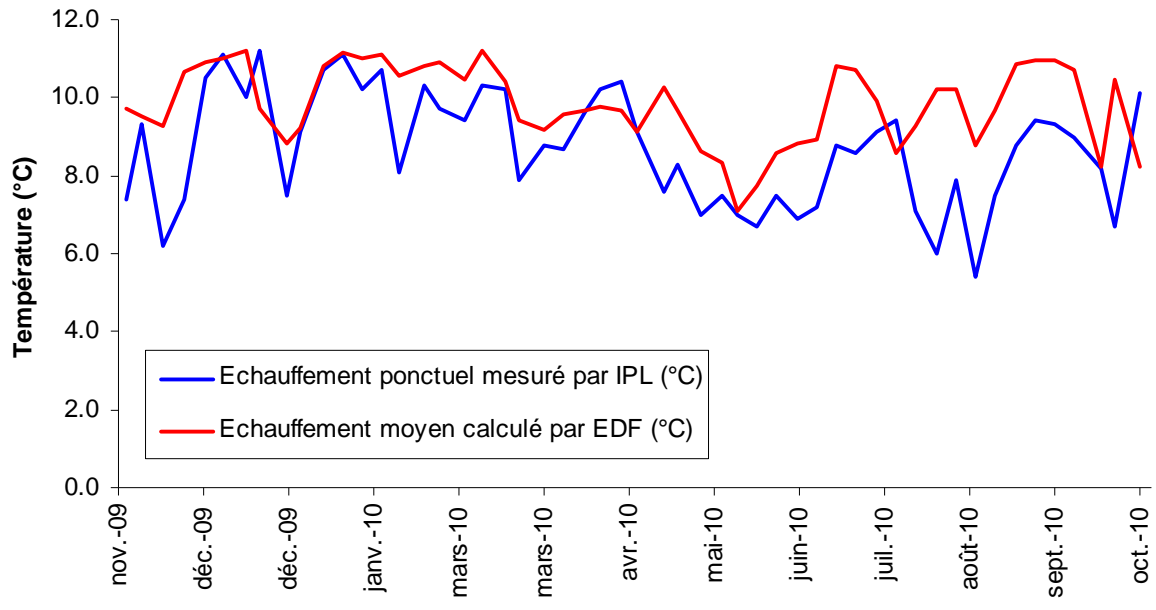


Figure 2.2 Comparaison entre les échauffements calculés et mesurés au canal de rejet

L'écart moyen des valeurs calculées par EDF et mesurées au point rejet lors de nos prélèvements ponctuels était de 1,3 °C.

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

Année	Semaine		Puissance moyenne MW/h	Débit canal m ³ /s	Echauffement moyen calculé par EDF (°C)	Echauffement ponctuel mesuré par IPL (°C)
	du	au				
2009	02-nov	08-nov	3985	196	9.7	7.4
	09-nov	15-nov	4388	221	9.5	9.3
	16-nov	22-nov	4648	240	9.3	6.2
	23-nov	29-nov	5345	240	10.7	7.4
	30-nov	06-déc	5475	240	10.9	10.5
	07-déc	13-déc	5523	240	11.0	11.1
	14-déc	20-déc	5625	240	11.2	10.0
	21-déc	27-déc	4863	240	9.7	11.2
	28-déc	03-janv	4435	240	8.8	7.5
2010	04-janv	10-janv	4614	240	9.2	9.1
	11-janv	17-janv	5413	240	10.8	10.7
	18-janv	24-janv	5600	240	11.2	11.1
	25-janv	31-janv	5408	235	11.0	10.2
	01-févr	07-févr	5581	240	11.1	10.7
	08-févr	14-févr	5286	240	10.5	8.1
	15-févr	21-févr	5232	232	10.8	10.3
	22-févr	28-févr	4620	203	10.9	9.7
	01-mars	07-mars	4375	200	10.5	9.4
	08-mars	14-mars	4689	200	11.2	10.3
	15-mars	21-mars	4363	200	10.4	10.2
	22-mars	28-mars	4043	205	9.4	7.9
	29-mars	04-avr	3713	194	9.2	8.8
	05-avr	11-avr	3599	180	9.6	8.7
	12-avr	18-avr	3645	180	9.7	9.6
	19-avr	25-avr	3678	180	9.8	10.2
	26-avr	02-mai	3641	180	9.7	10.4
	03-mai	09-mai	3788	199	9.1	9.1
	10-mai	16-mai	4126	192	10.3	7.6
	17-mai	23-mai	3500	173	9.7	8.3
	24-mai	30-mai	3421	190	8.6	7.0
	31-mai	06-juin	3558	204	8.3	7.5
	07-juin	13-juin	3304	223	7.1	7.0
	14-juin	20-juin	3469	214	7.8	6.7
	21-juin	27-juin	3589	200	8.6	7.5
	28-juin	04-juil	3693	200	8.8	6.9
	05-juil	11-juil	3721	200	8.9	7.2
	12-juil	18-juil	4527	200	10.8	8.8
	19-juil	25-juil	4483	200	10.7	8.6
	26-juil	01-août	4479	216	9.9	9.1
	02-août	08-août	3829	213	8.6	9.4
09-août	15-août	3635	188	9.3	7.1	
16-août	22-août	4316	202	10.2	6.0	
23-août	29-août	4398	206	10.2	7.9	
30-août	05-sept	4226	231	8.8	5.4	
06-sept	12-sept	4318	214	9.7	7.5	
13-sept	19-sept	4531	200	10.8	8.8	
20-sept	26-sept	4575	200	10.9	9.4	
27-sept	03-oct	4580	200	11.0	9.3	
04-oct	10-oct	4477	200	10.7	9.0	
11-oct	17-oct	3442	200	8.2	8.2	
18-oct	24-oct	4542	208	10.4	6.7	
25-oct	31-oct	3996	232	8.2	10.1	

2.2. Hydrologie

2.2.1. Canaux d'amenée et de rejet

2.2.1.1. Température

Une température minimale de 3,9 °C a été observée le 17/02/10 au point *prise*. Des températures légèrement supérieures à 20 °C ont été relevées fin juillet et début août 2010 (figure 2.3). La moyenne des températures de l'eau au point *prise* était de 12,1 °C, cette valeur est en retrait de près d'un degré par rapport aux moyennes habituellement relevées à ce point variant de 12,9 à 13,2 °C.

Au point *rejet*, contrairement aux années précédentes, aucune température supérieure à 30°C n'a été relevée.

Le transit de l'eau dans la centrale, calculé sur la base des prélèvements hebdomadaires réalisés, se traduit par un échauffement moyen de 8,7 °C, tout à fait dans l'ordre des valeurs.

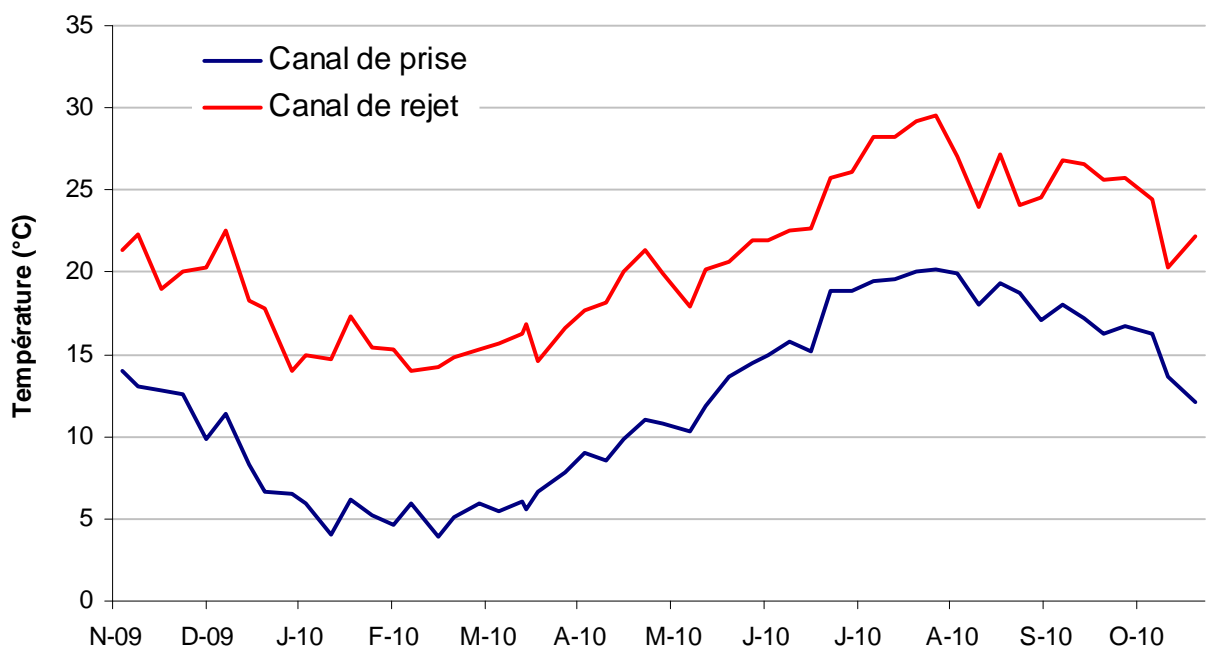


Figure 2.3 Température hebdomadaire de l'eau de mer (°C) aux canaux d'amenée et de rejet pour la période 2009-2010

Durant la période de décembre 2009 à juin 2010 les valeurs de températures étaient parmi les plus basses enregistrées au point *prise* depuis 1990 (figure 2.4).

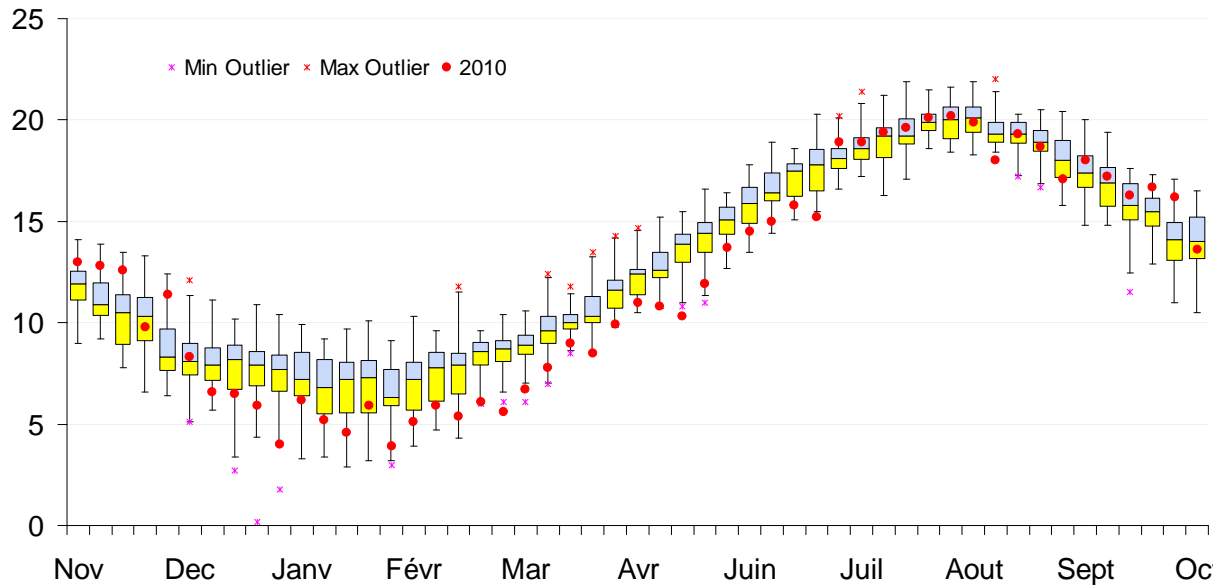


Figure 2.4 Evolution hebdomadaire de la température (°C) de l'eau mesurée au canal de prise entre 1990 et 2010

2.2.1.2. Sels nutritifs

En raison des apports en azote dus à la ferme aquacole implantée sur le site et afin de mieux expliquer les phénomènes au niveau du phytoplancton, des dosages d'azote sont réalisés aux canaux d'amenée et de rejet. Deux formes d'azote sont mesurées : l'azote réduit ammoniacal (NH_4^+) et l'azote oxydé NO_x comprenant le nitrate (NO_3^-) plus le nitrite (NO_2^-).

Le stock hivernal de l'azote oxydé, composé principalement de nitrates, a été totalement épuisé début avril seulement par le phytoplancton, probablement du fait des températures plus basses de cette année qui ont retardé la poussée printanière. Du printemps à l'automne, les concentrations étaient plutôt plus élevées au point *rejet* par rapport au point *prise* (figure 2.5 et tableau 2.2). Ce phénomène de faible ampleur a déjà été observé lors des cycles d'étude précédents. En moyenne annuelle, un apport en azote oxydé de $0,45 \mu\text{mol/L}$ a été observé (figure 2.6). Un apport de l'ordre de $2 \mu\text{mol/L}$ au maximum avait été observé dans les cycles d'études antérieurs.

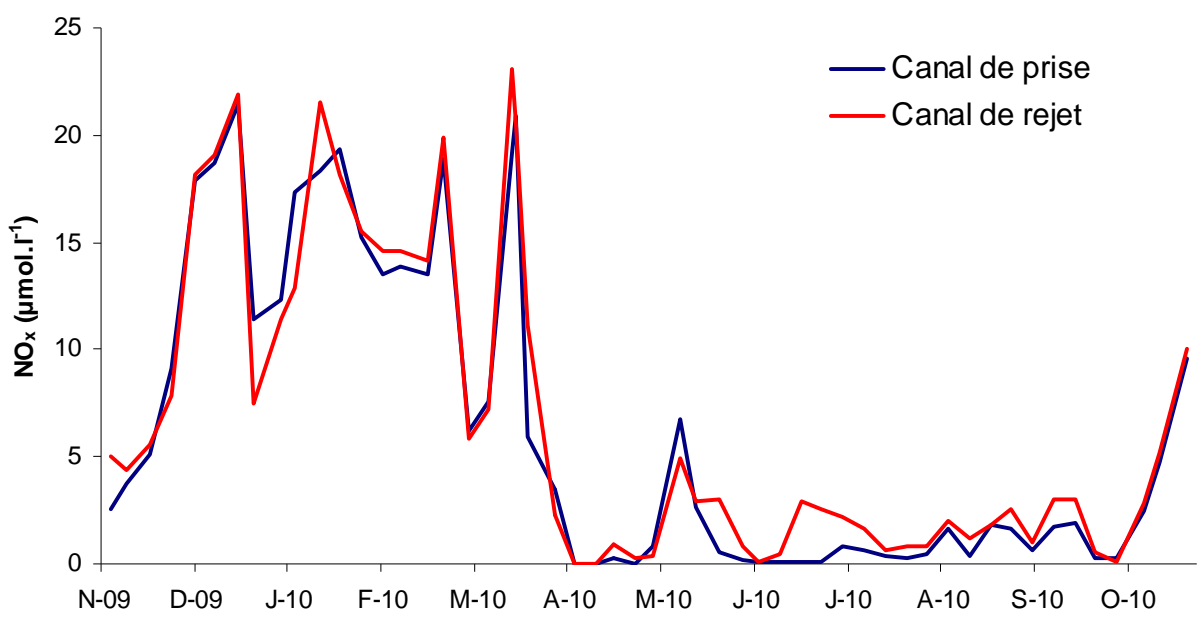


Figure 2.5 Concentration en azote oxydé aux canaux de prise et de rejet pour la période 2009 à 2010

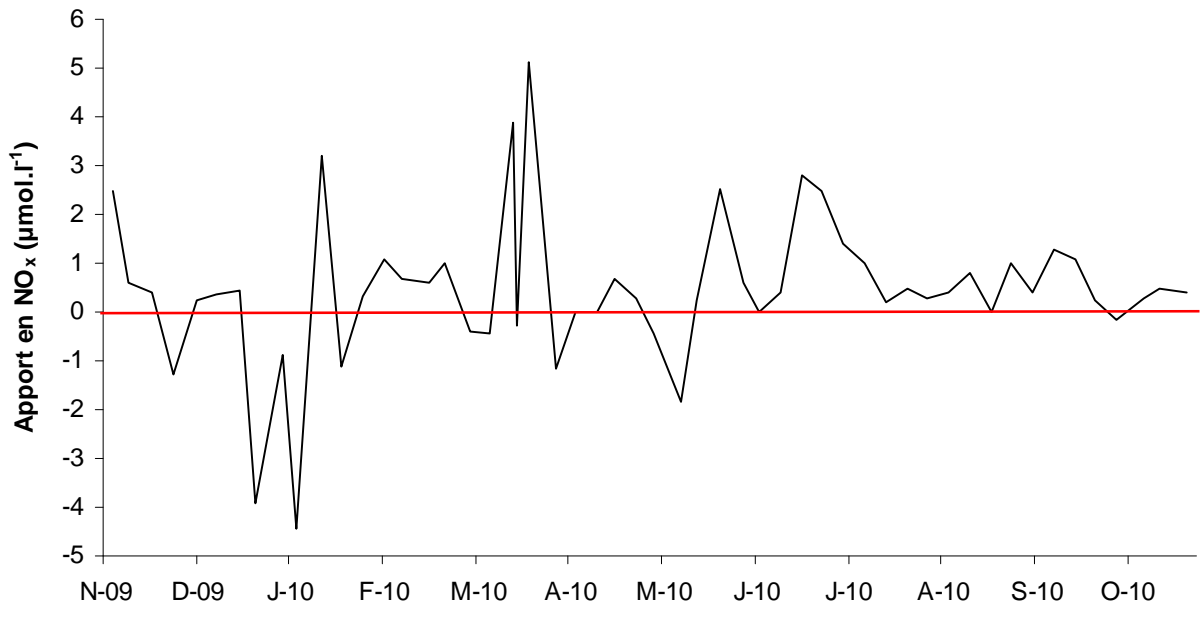


Figure 2.6 Apport par transit en azote oxydé pour la période 2009 à 2010

Pour l'ammonium, Le cycle d'étude a permis d'observer des concentrations élevées inhabituelles durant l'été (figure 2.7 et tableau 2.2).

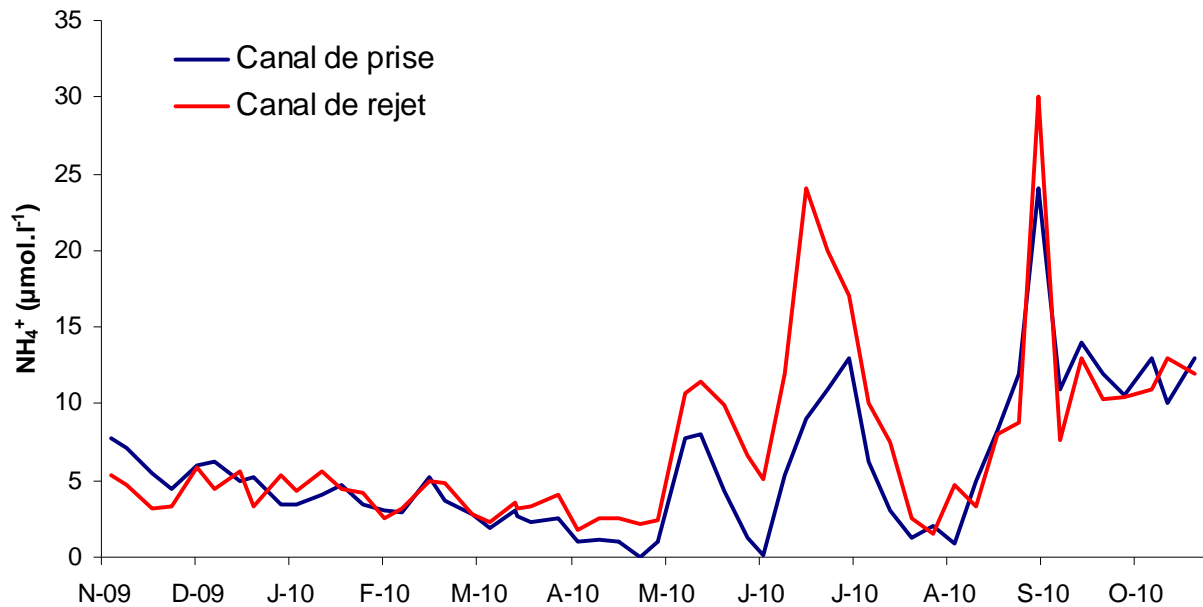


Figure 2.7 Concentration en ammonium aux canaux de prise et de rejet pour la période 2009-2010

Le transit de l'eau se traduit par un apport en ammonium, cet apport va en croissant de février à juin pour devenir quasiment nul en automne-hiver (figures 2.8). En bilan annuel, le transit s'est traduit cette année par un apport moyen 1,3 µmol/L.

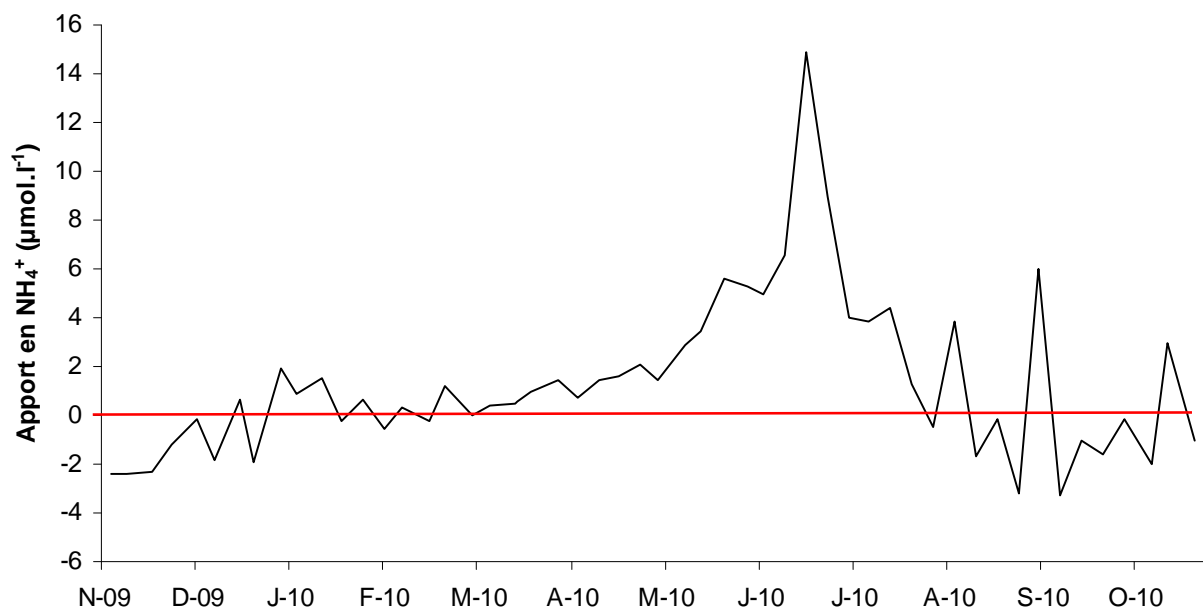


Figure 2.8 Apport par transit en ammonium pour la période 2009 à 2010

Tableau 2.2 Évolution temporelle des concentrations en sels nutritifs aux canaux de prise et de rejet

Date	Canal d'amenée		Canal de rejet	
	NH4 ⁺ (µmol.l ⁻¹)	NOx (µmol.l ⁻¹)	NH4 ⁺ (µmol.l ⁻¹)	NOx (µmol.l ⁻¹)
04/11/09	7.8	2.5	5.4	5.0
09/11/09	7.1	3.7	4.7	4.4
17/11/09	5.5	5.2	3.1	5.6
24/11/09	4.5	9.1	3.3	7.8
02/12/09	6.0	17.9	5.8	18.2
08/12/09	6.3	18.7	4.5	19.1
16/12/09	5.0	21.4	5.6	21.9
21/12/09	5.2	11.4	3.3	7.5
30/12/09	3.5	12.3	5.4	11.5
04/01/10	3.4	17.3	4.3	12.9
12/01/10	4.1	18.4	5.6	21.6
19/01/10	4.7	19.3	4.5	18.2
26/01/10	3.5	15.2	4.1	15.5
02/02/10	3.1	13.5	2.5	14.6
08/02/10	2.9	13.9	3.2	14.6
17/02/10	5.2	13.5	4.9	14.1
22/02/10	3.7	18.9	4.9	19.9
03/03/10	2.8	6.2	2.8	5.8
09/03/10	2.0	7.6	2.3	7.2
17/03/10	3.0	19.2	3.5	23.1
18/03/10	2.6	20.9	3.2	20.6
22/03/10	2.3	6.0	3.3	11.1
31/03/10	2.6	3.5	4.0	2.3
07/04/10	1.0	0.0	1.7	0.0
14/04/10	1.1	0.0	2.6	0.0
20/04/10	1.0	0.2	2.6	0.9
27/04/10	0.1	0.0	2.2	0.3
03/05/10	1.0	0.8	2.5	0.3
12/05/10	7.8	6.7	10.7	4.9
17/05/10	8.0	2.7	11.5	2.9
25/05/10	4.3	0.5	9.9	3.0
02/06/10	1.3	0.2	6.6	0.8
07/06/10	0.1	0.1	5.1	0.1
14/06/10	5.4	0.1	12.0	0.5
21/06/10	9.1	0.1	24.0	2.9
28/06/10	11.0	0.1	20.0	2.6
05/07/10	13.0	0.8	17.0	2.2
12/07/10	6.2	0.6	10.0	1.6
19/07/10	3.1	0.4	7.5	0.6
26/07/10	1.3	0.3	2.6	0.8
02/08/10	2.0	0.5	1.5	0.8
09/08/10	0.8	1.6	4.7	2.0
16/08/10	5.0	0.4	3.3	1.2
23/08/10	8.2	1.8	8.1	1.8
30/08/10	12.0	1.6	8.8	2.6
06/09/10	24.0	0.6	30.0	1.0
13/09/10	11.0	1.7	7.7	3.0
20/09/10	14.0	1.9	13.0	3.0
27/09/10	11.9	0.3	10.3	0.6
04/10/10	10.6	0.3	10.4	0.1
13/10/10	13.0	2.5	11.0	2.8
18/10/10	10.0	4.7	13.0	5.2
27/10/10	13.0	9.6	12.0	10.0

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 7,6 °C en juin et de 9,2 °C en septembre (figures 2.9 et 2.10). Au point *contrôle*, la stratification thermique verticale habituelle du panache de rejet a été observée lors des campagnes de juin et de septembre malgré la faible profondeur. Le gradient de température surface-fond était de 4,6 °C pour la campagne de mai et de 4,0°C pour la campagne de septembre. Une stratification de très faible ampleur a été observée au niveau du point de *référence* en juin (0,3°C). Aucune stratification thermique n'a été notée en septembre.

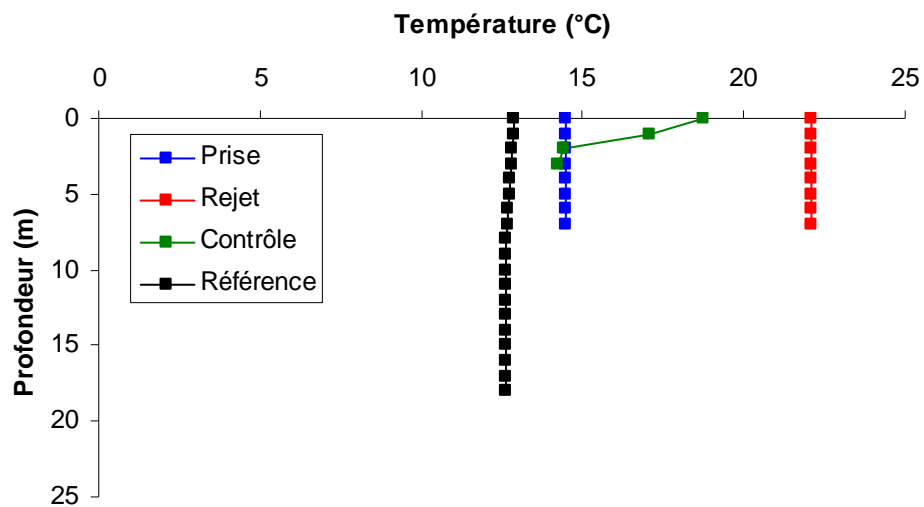


Figure 2.9 Profils de température lors de la campagne de prélèvements du 02/06/2010

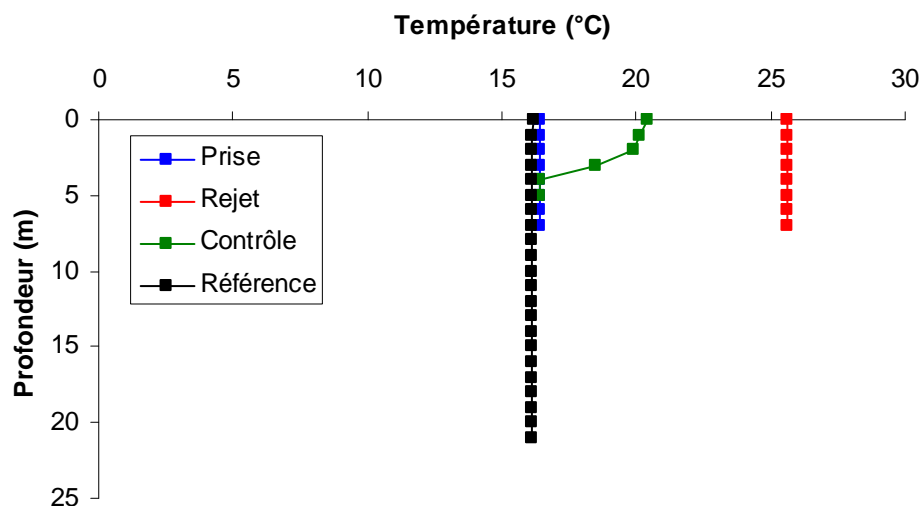


Figure 2.10 Profils de température lors de la campagne de prélèvements du 27/09/2010

2.2.2.2. Salinité

Lors des deux campagnes pélagiques, les mesures de salinité* mettaient en évidence une grande homogénéité de l'ensemble de la zone d'étude (tableaux 2.3 et 2.4).

Tableau 2.3 Salinités mesurées lors de la campagne pélagique du 25 mai 2009

Profondeur (m)	Prise	Rejet	Contrôle	Référence
Surface	33.1	33.1	33.0	33.3

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

Profondeur (m)	Prise	Rejet	Contrôle	Référence
Surface	34.5	34.5	34,4	34,6

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

2.3. Éléments de conclusion

On observe un apport moyen sur l'année de 0,45 $\mu\text{mol/L}$ d'azote oxydé, en baisse depuis deux ans sans doute à cause de la baisse d'activité de la ferme aquacole.

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

3. ÉTUDE DE LA CHLORATION ET BACTÉRIOLOGIE

Auteur : Delesmont R.

Collaboratrice : Delesmont E.

3.1. Chloration

Afin de limiter les proliférations biologiques, du chlore produit par électrolyse de l'eau de mer est injecté dans les circuits de refroidissement. L'oxydant injecté est consommé de façon rapide par l'eau de mer. Cette disparition s'accompagne de la formation de composés chimiques stables, essentiellement des trihalométhanes (essentiellement du bromoforme) et d'autres composés en quantités beaucoup plus faibles comme le tri-bromo phénol. La figure 3.1 permet de visualiser la concentration en bromoforme en relation avec la température de l'eau au canal de prise. On constate que la chloration a été interrompue dès que la température à la prise d'eau est descendue en dessous de 10°C.

Le bromoforme n'est pas détecté dans l'eau de mer du rejet entre le 16/12/2009 et le 20/04/2010.

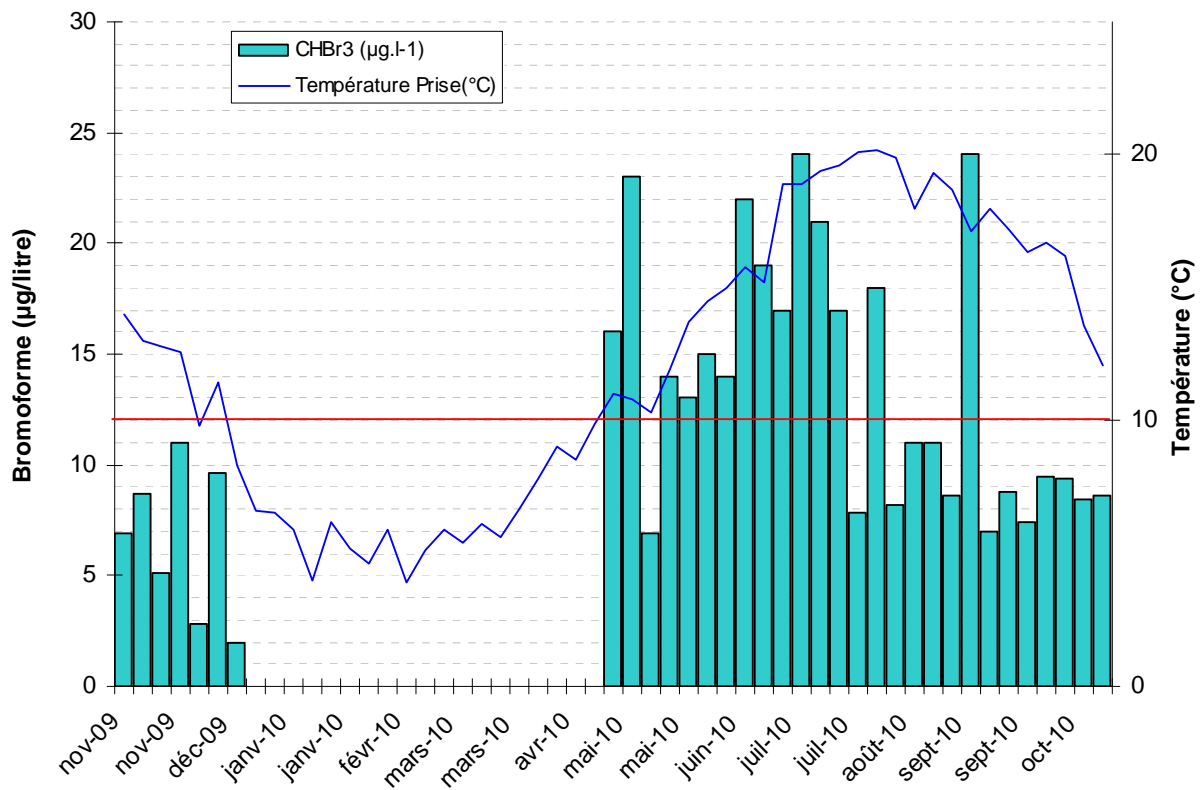


Figure 3.1 Bromoforme (en µg/L) au canal de rejet (histogrammes) en relation avec la température (en °C) de l'eau au canal de prise (courbe)

La disparition du chlore s'accompagne de la formation de dérivés stables. Le bromoforme est, en eau de mer, le plus abondant de ces produits de réaction. En période de chloration, il représentait comme l'année précédente 97,8 % des haloformes formés avec une concentration moyenne de 12,5 µg/L (figure 3.1 et tableau 3.1). Cette concentration moyenne était voisine des valeurs habituellement observées les années précédentes (environ 14 à 20 µg/L). Cette concentration correspond pour la période de chloration de 8 mois à la production d'environ 50 tonnes de bromoforme.

Parmi les autres haloformes formés, seul le monochlorodibromométhane (CHClBr₂) est mis en évidence cette année comme lors de la période précédente au seuil analytique de 0,02µg/litre. Il représente 2,1% des haloformes avec une concentration moyenne de 0,27µg/litre.

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 2009-2010 est de 3% valeur proche des valeurs habituelles alors que le cycle précédent avait fourni une valeur inhabituellement élevée de 6,8%. Ce pourcentage a une grande importance sur le plan bactériologique car le recyclage de l'eau du rejet permet de sélectionner et de fixer sur le site des espèces bactériennes.

Des recherches de bromo-phénols, composés issus de la chloration de masses molaires plus importantes que les trihalométhanes, ont été réalisées de façon mensuelle. Les dosages ont été réalisés en chromatographie en phase gazeuse après dérivation. De faibles quantités de 2,4,6 tri-bromo phénol ont été détectées durant la saison de chloration (tableau 3.2). Les autres tri-bromo phénols recherchés n'ont pas été détectés cette année comme en 2008-2009.

3.2. Bactériologie

Depuis 1989, les études bactériologiques portent uniquement sur les vibrions. En effet, cette catégorie de bactéries marines est particulièrement sensible aux modifications du milieu engendrées par le fonctionnement de la centrale et par d'importantes activités aquacoles en constant développement sur le site même du rejet. Les mesures ne concernent que les vibrions capables de cultiver à 37 °C, ces bactéries marines pouvant présenter des caractères pathogènes pour l'homme. Dans le milieu marin, l'abondance des vibrions varie avec la température de l'eau : peu nombreux en hiver (1^{er} trimestre), leur maximum est observé à la fin de l'été (3^{ème} trimestre). À Gravelines, le transit de l'eau de mer dans la centrale (et les installations aquacoles) entraîne une importante multiplication des vibrions qui amplifie le cycle naturel d'abondance de ces bactéries.

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

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

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

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

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

3.2.2. Aspect quantitatif

Au point *prise*, la concentration moyenne des vibrions en 2009-2010 était en moyenne géométrique de 57 par litre, valeur nettement plus faible que les valeurs habituelles et encore plus faible que la moyenne 2008-2009 de 64 vibrions/litre. (figures 3.2 et 3.3, et tableaux 3.3 et 3.4).

Entre le point *prise* et le point *rejet*, leur nombre était, en moyenne géométrique annuelle (rapport des moyennes du logarithme des concentrations), multiplié par 28. Ce facteur de multiplication est inhabituellement faible pour la seconde fois (64 en 2008-2009). Il se traduit par une concentration au canal de 2014 vibrions/L en moyenne géométrique. La plus grande valeur enregistrée à ce jour était de 17 460 vibrions/L en 2006-2007.

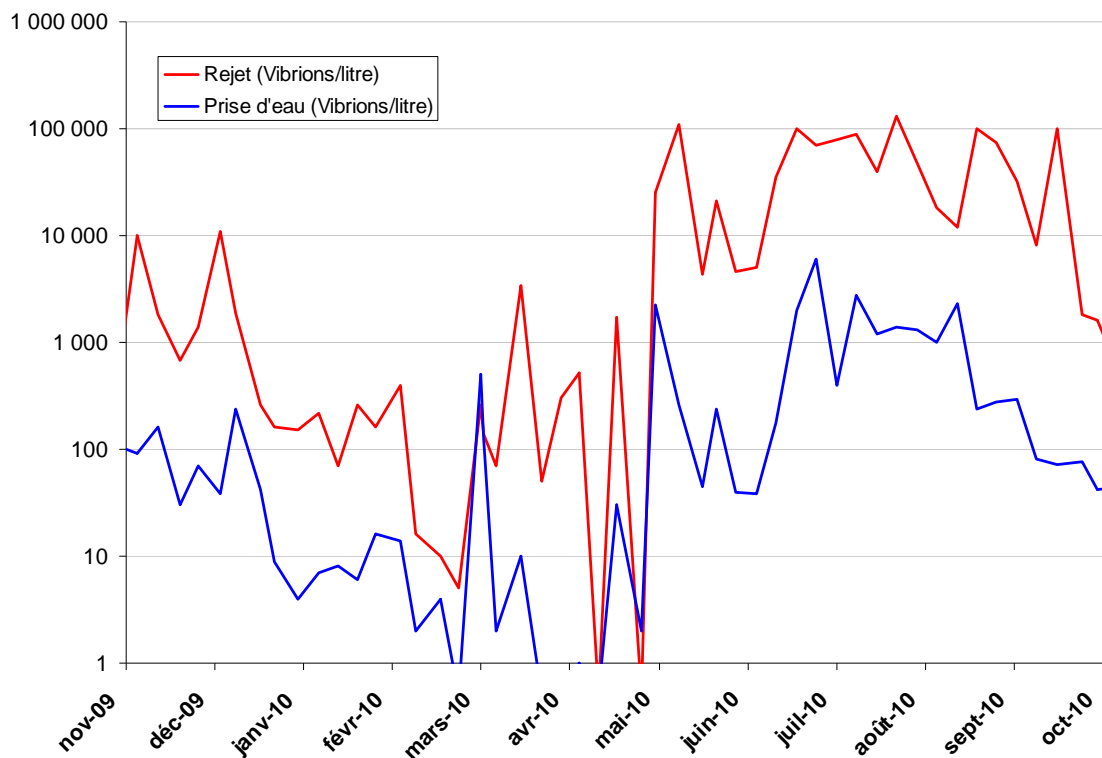


Figure 3.2 Abondance des vibrions cultivables à 37 °C aux canaux de prise et de rejet (Vibrions/L en échelle logarithmique)

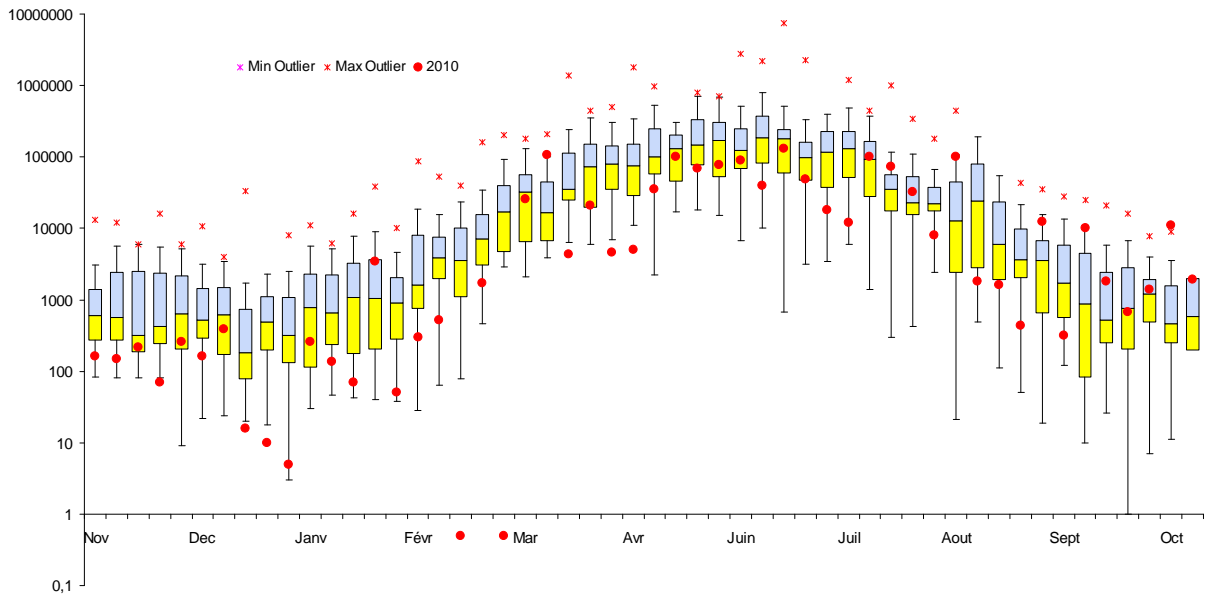


Figure 3.3 Evolution hebdomadaire des vibrions cultivables à 37 °C au canal de prise entre 1990 et 2009 (Vibrions/L en échelle logarithmique)

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

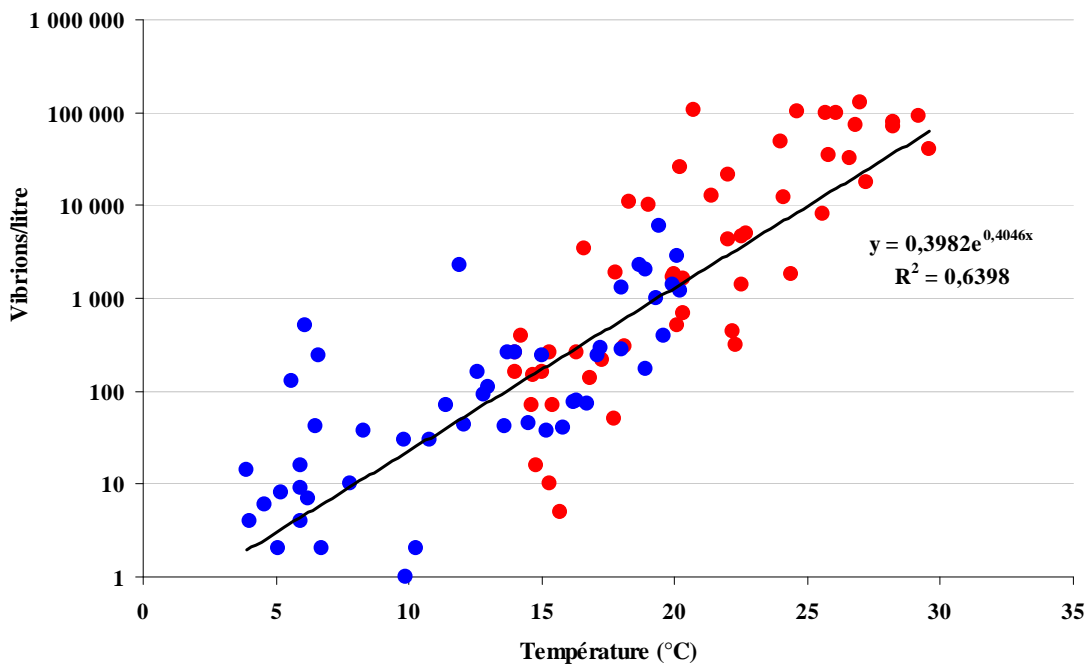


Figure 3.4 Relations entre température et concentration en vibrions aux canaux d'amenée (bleu) et de rejet (rouge)

En dépit de variations liées aux conditions climatiques, l'abondance maximale des vibrions observée en période estivale dans le canal de rejet était relativement stable depuis la mise en service des six tranches de la centrale de Gravelines en 1986 (figure 3.5 ; flèches noires) et le développement de l'aquaculture (figure 3.5 ; flèches bleues : phase expérimentale en 1984 puis extensions en 1991, 1992 et 2003). Cependant, l'amplitude des cycles annuels se réduisait régulièrement depuis 1985, indiquant une augmentation des abondances de vibrions hors période estivale, ce qui est clairement mise en évidence en traitant les concentrations en vibrions trimestre par trimestre (figure 3.6) : stabilisation des abondances du 3^{ème} trimestre (juillet-septembre) depuis 1985, et augmentation des abondances pour les trois autres trimestres sur la même période.

Toutefois, depuis 2008 des abondances inhabituellement basses viennent contredire la tendance observée depuis 1985. Les valeurs des 3^{ème} et 4^{ème} trimestres sont en baisses modérées alors que la diminution des concentrations est importante lors des deux premiers trimestres d'étude. Ces deux trimestres sont ceux qui sont marqués par les plus fortes baisses de températures comme le montrent les graphes des écarts à la moyenne (figures 3.7 et 3.8). Des hivers plus froids ainsi qu'un ralentissement des activités de la ferme aquacole (depuis 2009) et/ou des évolutions dans son fonctionnement hydraulique pourraient expliquer les baisses de concentrations en vibrion observées.

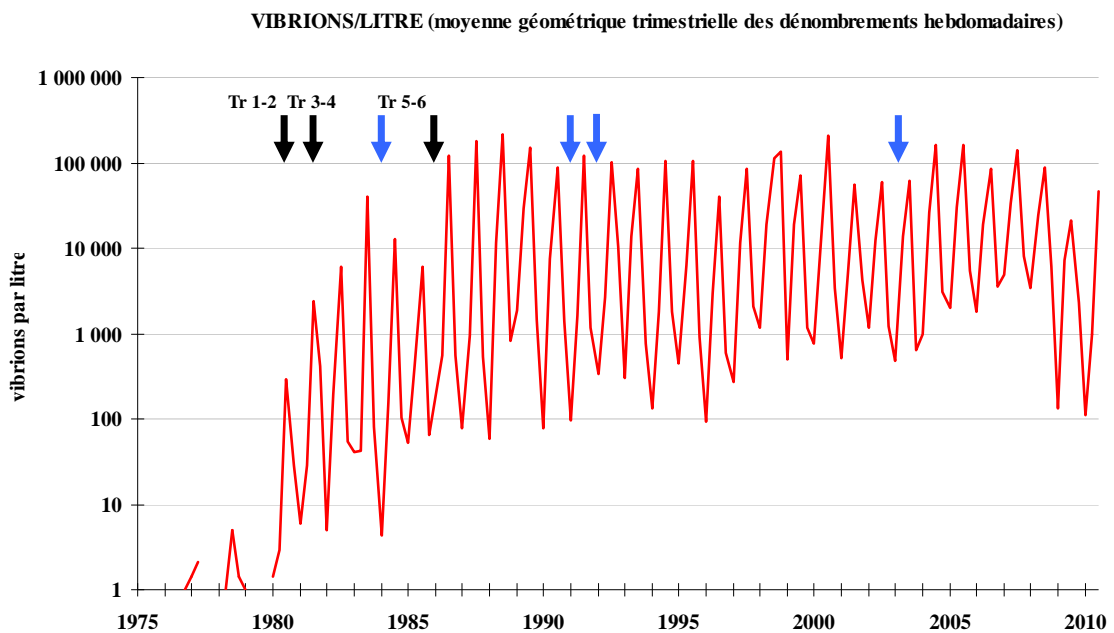


Figure 3.5 Moyenne géométrique des abondances trimestrielles dans le canal de rejet de 1976 à 2009
 (Flèches noires : mise en service des différentes tranches du CNPE : 1-2, 3-4 puis 5-6)
 (Flèches bleues : début d'expérimentation des installations aquacoles en 1984, puis phases d'agrandissement)

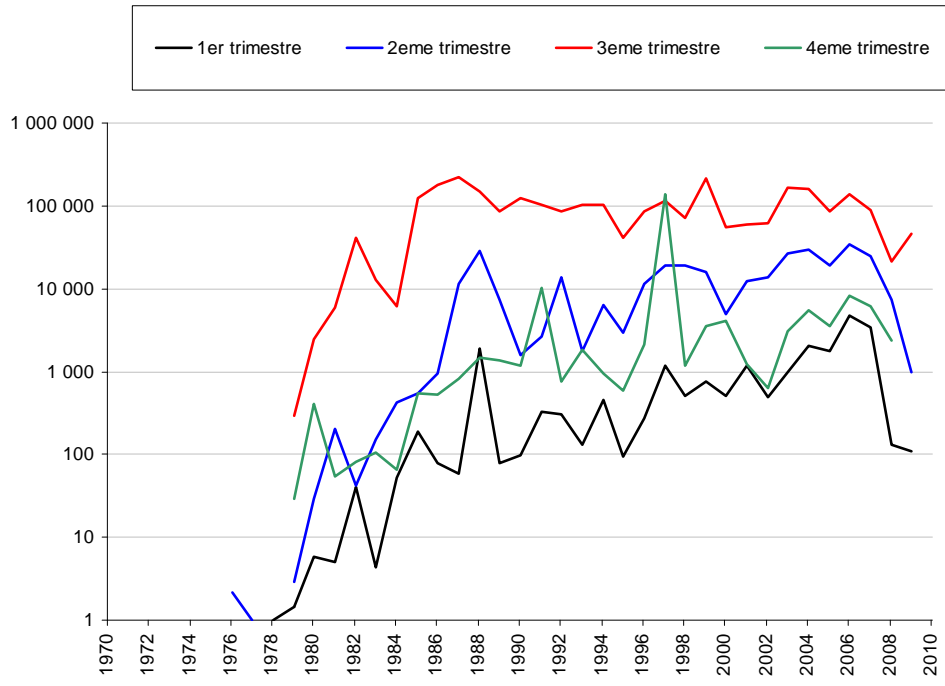


Figure 3.6. Moyenne géométrique des abondances en vibrions classées par trimestre de 1976 à 2010 (Vibrions par litre)

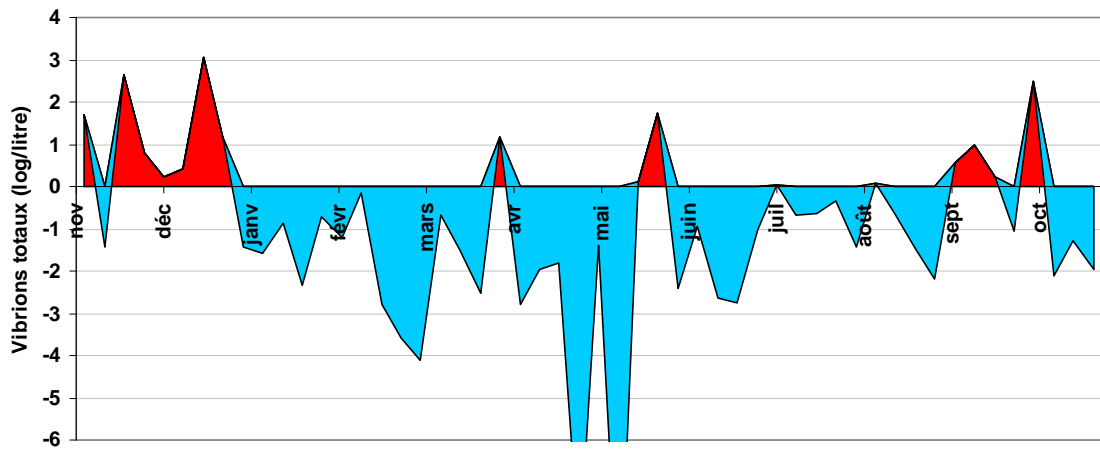


Figure 3.7 Ecart des concentrations en vibrions (/L) au rejet en 2009-2010 par rapport aux moyennes 1990-2009

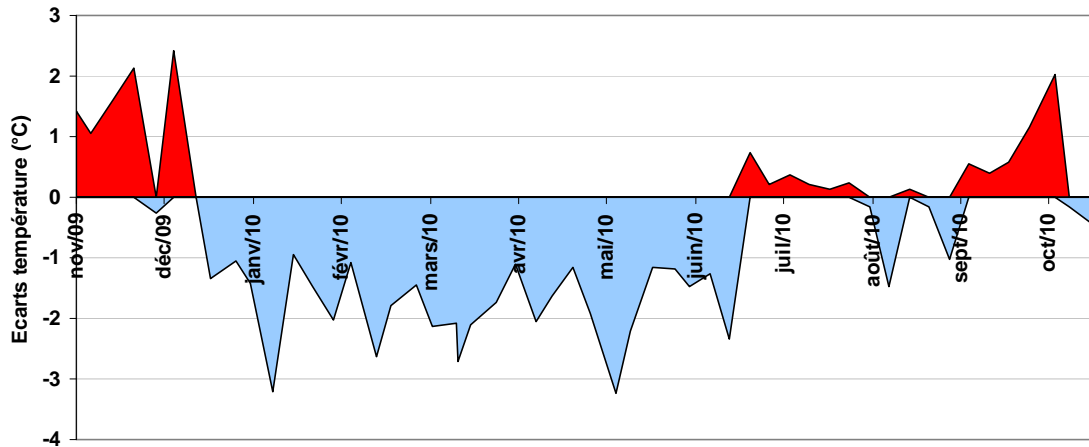


Figure 3.8 Écarts des températures à la prise en 2009-2010 par rapport aux moyennes 1990-2009

3.2.3. Aspect qualitatif

Avant 1984, la quasi totalité de la flore des vibrions isolés sur le site était représentée par *Vibrio alginolyticus*. Parallèlement au développement de l'aquaculture sur le site, une diversité croissante des espèces de vibrions a été observée. Nous observons actuellement peu de différence dans la composition de la microflore entre la prise d'eau et le rejet si ce n'est des modifications de pourcentages des espèces rares mais cela est peu significatif. En 2009-2010 au canal de rejet, *Vibrio alginolyticus* restait l'espèce la plus souvent isolée avec un pourcentage moyen d'isolement de 69,7 % (figure 3.9) en proportion croissante depuis trois ans (59,7 % en 2006-2007, 65% en 2007-2008 et 67,8% en 2008-2009).

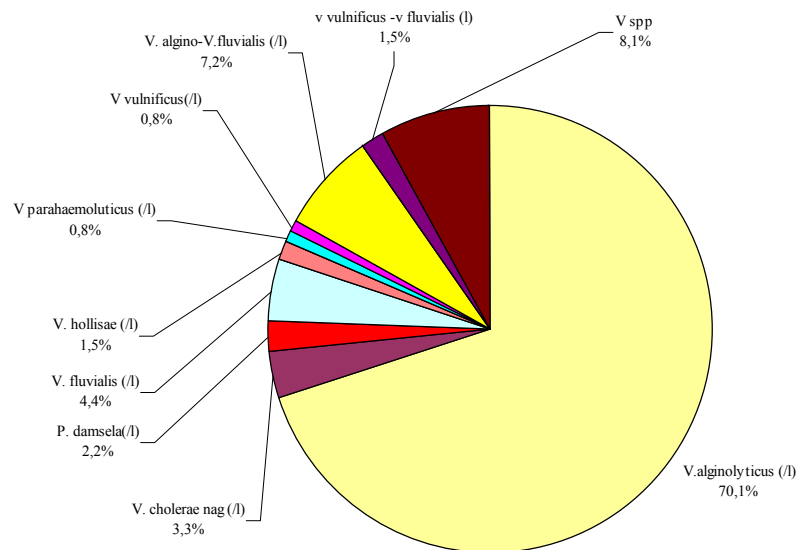
En 2010, la seconde espèce la plus fréquente après *V. alginolyticus* était *Vibrio* spp. qui n'est pas une véritable espèce mais un regroupement des vibrions mal identifiés par notre méthode.

Vibrio cholerae non agglutinable (Nag), qui était par le passé la seconde espèce par ordre d'importance, avait vu son pourcentage chuter à 4,6 % au canal de rejet en 2006-2007, puis à 0,6 % en 2007-2008 et s'annuler en 2008-2009. Elle était présente cette année en faible pourcentage (0,5%). Les souches de *Vibrio cholerae* isolées sur le site n'étaient pas agglutinables par les sérums anti-*Vibrio cholerae* O1 et anti-*Vibrio cholerae* O139 et étaient, de plus, halophiles strictes, ce qui permet de les différencier des souches épidémiques.

En moyenne géométrique, *Vibrio alginolyticus* reste l'espèce la plus adaptée aux conditions actuelles du site avec un facteur moyen de multiplication proche de 31 entre le point *prise* et le point *rejet* (moyenne des rapports du logarithme des concentrations) (figure 3.10 et 3.8). Cette valeur était faible pour la seconde fois après 2008-2009 (facteur 43) alors que les périodes antérieures avaient mis en évidence des facteurs de multiplication variant de 100 à 200.

Les facteurs de multiplication des autres espèces de vibrions lors du transit étaient plus faibles, 6 au maximum, mais ces chiffres se basent sur des mises en évidence moins fréquentes.

Canal de prise d'eau



Canal de rejet

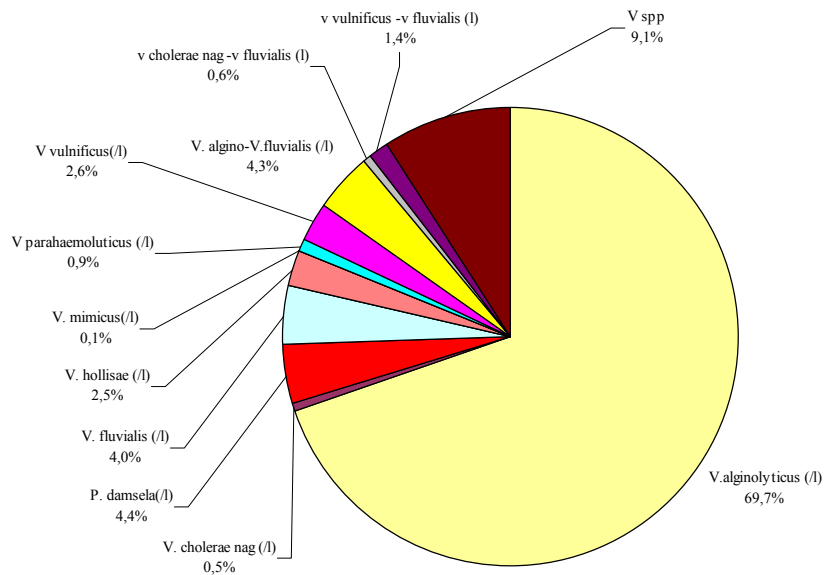


Figure 3.9. Pourcentages moyens d'isolement des diverses espèces de vibrions aux canaux de prise et de rejet pour la période 2009-2010

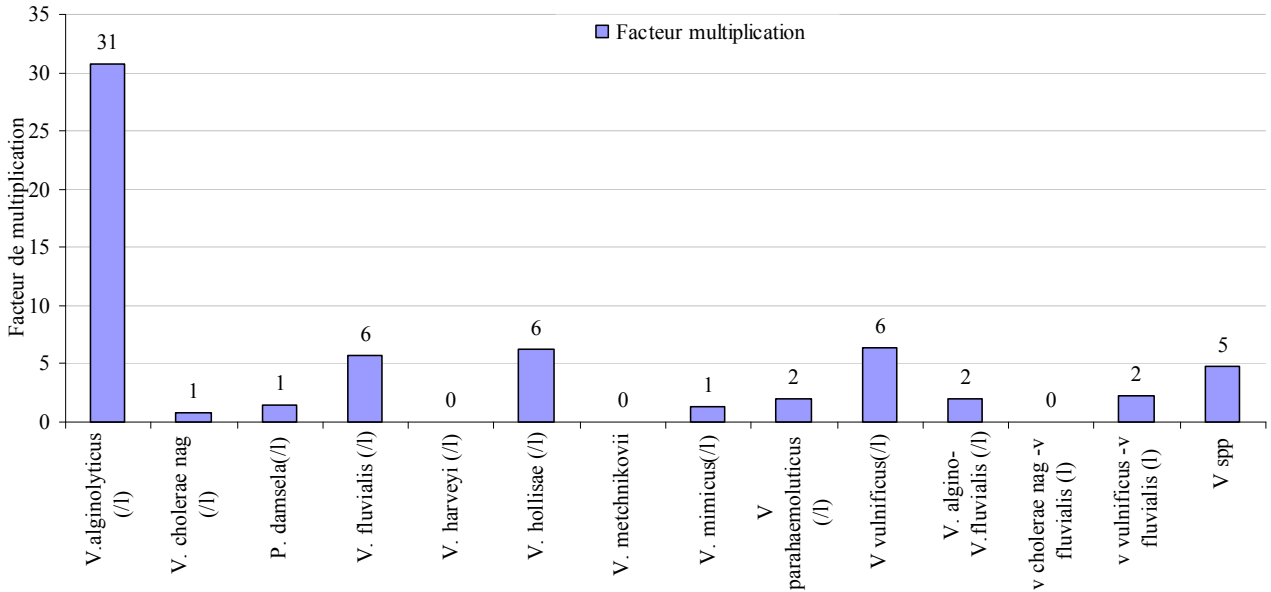


Figure 3.10 Rapport (%) des concentrations moyennes des diverses espèces de vibrions entre le canal d’amenée et le canal de rejet (Axe des abscisses : espèces du genre *Vibrio*)

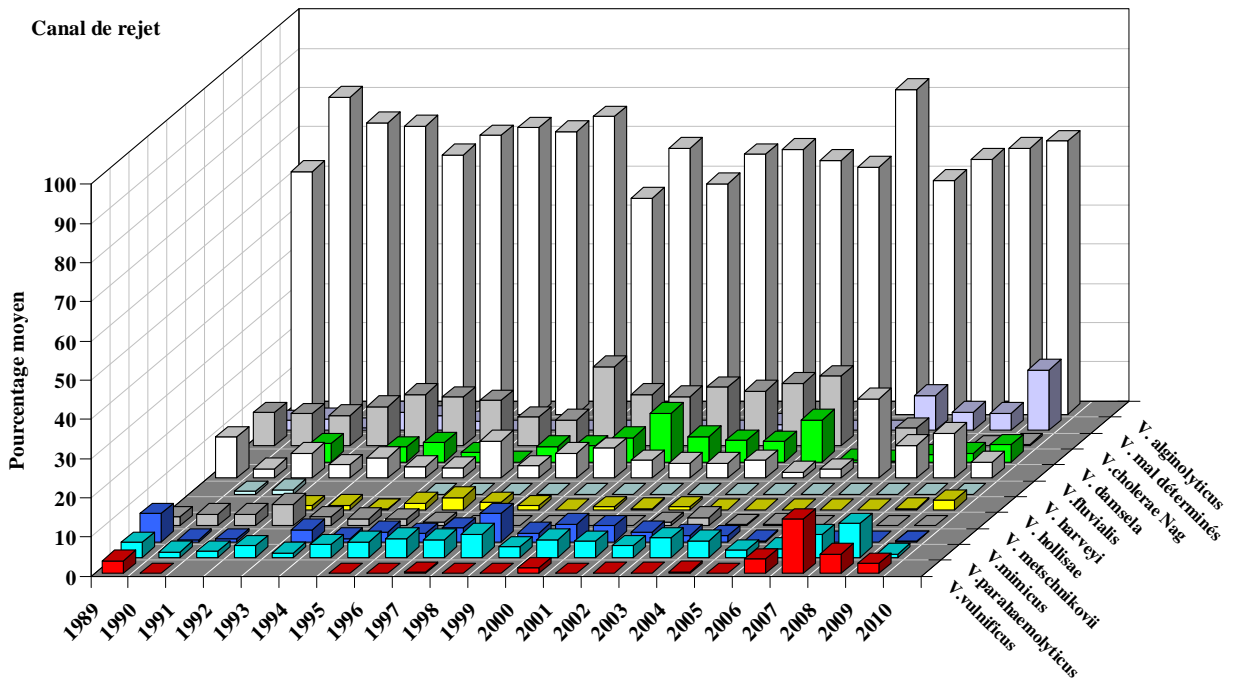


Figure 3.11 Évolution de l’abondance relative des diverses espèces de vibrions de 1989 à 2010 au point canal de rejet (moyennes des pourcentages d’abondances hebdomadaires) (Pour les années : par exemple, 2006 signifie période de novembre 2006 à octobre 2007)

3.3. Campagnes pélagiques

Les données relatives aux campagnes de surveillance pélagique de juin et de septembre 2010 ainsi que les résultats des études bactériologiques et de la chloration sont résumés dans le tableau 3.3 et les figures 3.12, 3.13 et 3.14. Les températures observées au point *prise* (figure 3.12) étaient un peu supérieures à celles relevées au point *référence* en surface lors des deux campagnes. Les deux campagnes étaient marquées par des taux de dilution de l'ordre de 2 entre les points *rejet* et *contrôle*.

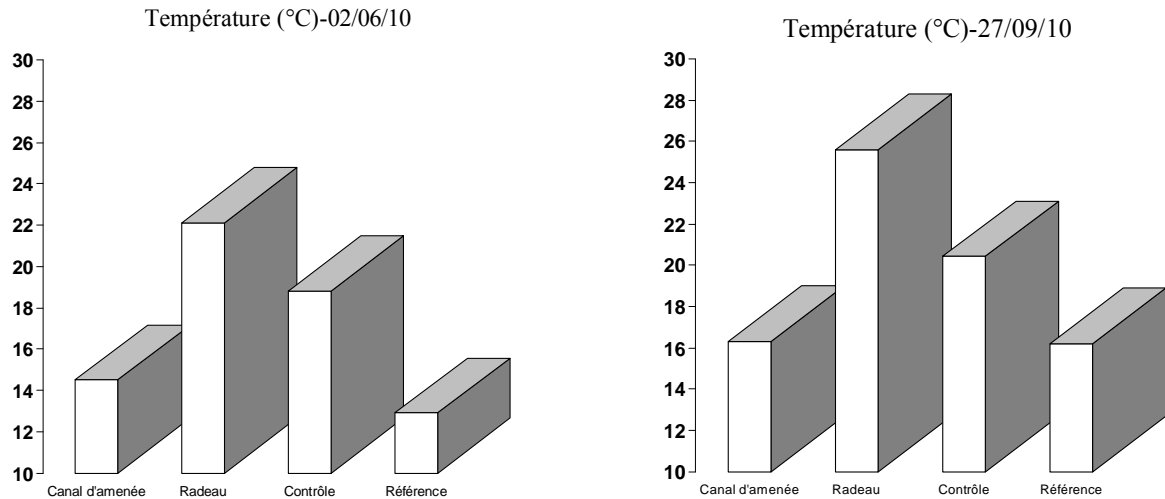


Figure 3.12 Campagnes pélagiques – Températures de surface (en °C) pour chaque point

Au niveau du *radeau*, la multiplication des vibrions mesurée est importante dès le point Radeau alors qu'elle n'est habituellement qu'amorcée en raison de la subsistance d'oxydant résiduel et se poursuit dans la partie terminale du canal de rejet.

La dilution l'emporte au point *contrôle* ; elle est même plus importante que la dilution thermique au point Contrôle en septembre. Des concentrations inférieures à la concentration côtière sont retrouvées au point *référence* (figure 3.13) lors des deux campagnes.

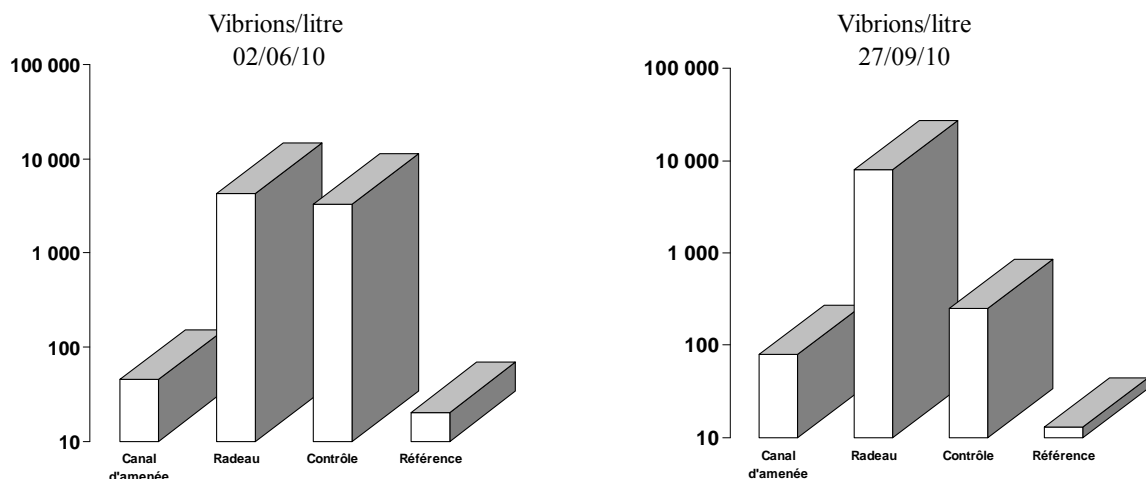


Figure 3.13 Campagnes pélagiques – Vibrions par litre pour chaque point

Lors des deux campagnes, le bromoforme a pu être quantifié sur tous les points prélevés. Au point *référence*, les concentrations étaient faibles mais néanmoins supérieures à celles de la prise d'eau figure 3.14).

Au cours du transit de l'eau, l'évolution des concentrations en bromoforme est très comparable à celle des différences thermiques.

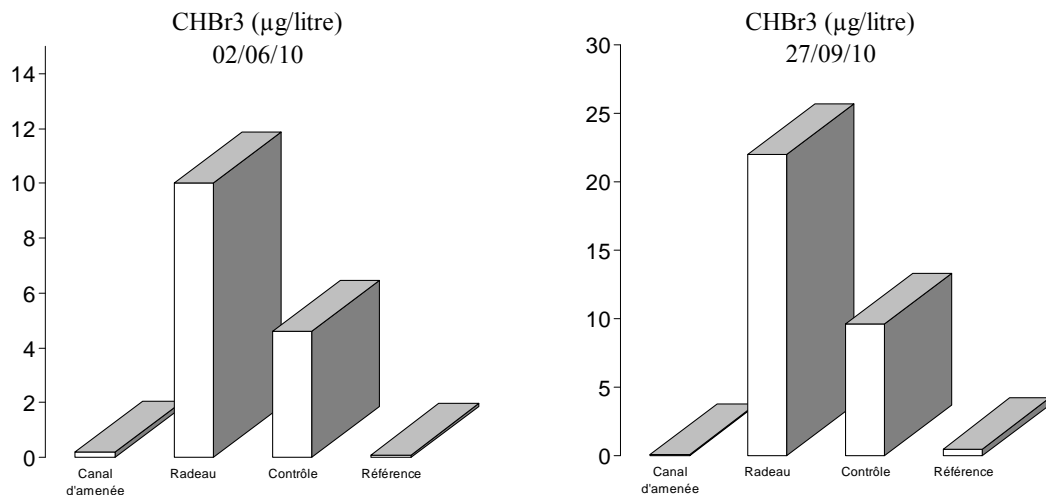


Figure 3.14 Campagnes pélagiques – Bromoforme (µg/L) en surface pour chaque point

3.4. Éléments de conclusion

Le procédé d'électrochloration du circuit de refroidissement permettant de lutter contre le développement de salissures biologiques a été mise en service durant 8 mois sur 12 au cours de la période 2009-2010, et uniquement lorsque la température de l'eau au canal d'amenée était supérieure à 10°C. Les composés chimiques formés étaient essentiellement bromés et le plus abondant était le bromoforme avec une concentration moyenne de 12,5 µg/L (97,8 % du total des haloformes). Cette concentration moyenne est voisine de celles observées les années précédentes et reste très inférieure à la limite maximale autorisée qui est de 50µg/L (Arrêté ministériel du 7 novembre 2003). Parmi les tri-bromo-phénols, seul le 2,4,6-tribromo-phénol a été mis en évidence comme lors des périodes précédentes.

Les dosages d'haloformes (et en particulier du plus abondant d'entre eux, le bromoforme), permettent, outre leur rôle de traceur de la chloration, de mesurer l'étendue du panache de rejet et d'estimer le taux de re-circulation de l'eau de refroidissement (3 % cette année).

Le passage de l'eau dans l'ensemble constitué par la centrale électrique et les installations aquacoles a entraîné une multiplication du nombre des vibrions (d'un facteur 28 en moyenne géométrique annuelle). La diminution du facteur de multiplication observée sur la période 2008-2009 (43 fois) 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 l'amplitude du cycle annuel se réduisait, signe d'une augmentation de l'abondance des vibrions hors période estivale. Cependant depuis 2008 on retrouve l'amplitude observée vers 1995 et on observe une diminution générale de l'abondance des vibrions y compris pendant la période estivale. 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 20 E. L'utilisation de ce nouveau catalogue a principalement des incidences pour l'espèce *Vibrio cholerae*. De nombreux germes auparavant classés *V. cholerae* sont maintenant considérés comme mal-discriminés entre *V. cholerae* et d'autres espèces (Ceci permet d'écarter du groupe *V. cholerae*, un certain nombre de souches de l'environnement très éloignées du véritable *V. cholerae* épidémique). En 2009-2010, *Vibrio cholerae* non épidémique a été isolé avec une fréquence faible de 0,5%.

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 rejet de la centrale avec 69,7 % des isollements.

Tableau 3.1 Chlore résiduel et haloformes

Date	Canal d'amenée			Canal de rejet			
	CHCl2Br (µg.l ⁻¹)	CHClBr2 (µg.l ⁻¹)	CHBr3 (µg.l ⁻¹)	Chlore tot.DPD (mg.l ⁻¹)	CHCl2Br (µg.l ⁻¹)	CHClBr2 (µg.l ⁻¹)	CHBr3 (µg.l ⁻¹)
04/11/09	<0,02	0,7	0,06	0,06	<0,02	0,14	6,90
09/11/09	<0,02	<0,02	0,12	0,12	<0,02	0,21	8,70
17/11/09	<0,02	0,6	<0,05	<0,05	<0,02	0,11	5,10
24/11/09	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	0,23	11,00
02/12/09	<0,02	<0,02	0,04	<0,05	<0,02	0,06	2,80
08/12/09	<0,02	<0,02	0,04	<0,05	<0,02	0,21	9,60
16/12/09	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,05
21/12/09	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,05
30/12/09	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,05
04/01/10	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,05
12/01/10	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,05
19/01/10	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,05
26/01/10	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,05
02/02/10	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,05
08/02/10	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,05
17/02/10	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,05
22/02/10	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,05
03/03/10	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,05
09/03/10	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,05
17/03/10	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,05
18/03/10	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,05
22/03/10	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,05
31/03/10	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,05
07/04/10	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,05
14/04/10	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,05
20/04/10	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,05
27/04/10	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	16,00
03/05/10	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	0,44	23,00
12/05/10	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	0,22	6,90
17/05/10	<0,02	0,7	<0,05	<0,05	<0,02	0,34	14,00
25/05/10	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	0,28	13,00
02/06/10	<0,02	0,6	0,05	0,05	<0,02	0,26	15,00
07/06/10	<0,02	0,7	<0,05	<0,05	<0,02	0,26	14,00
14/06/10	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	0,63	22,00
21/06/10	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	0,67	19,00
28/06/10	<0,02	0,02	0,50	0,06	<0,02	0,55	17,00
05/07/10	<0,02	0,03	1,10	<0,05	0,03	0,69	24,00
12/07/10	<0,02	0,03	0,90	<0,05	0,02	0,41	21,00
19/07/10	<0,02	<0,02	0,70	<0,05	0,02	0,33	17,00
26/07/10	<0,02	0,03	1,50	<0,05	<0,02	0,15	7,80
02/08/10	<0,02	0,03	1,50	<0,05	<0,02	0,36	18,00
09/08/10	<0,02	0,02	1,20	<0,05	<0,02	0,14	8,20
16/08/10	<0,02	<0,02	0,30	<0,05	<0,02	0,17	11,00
23/08/10	<0,02	<0,02	0,80	<0,05	<0,02	0,2	11,00
30/08/10	<0,02	<0,02	0,40	<0,05	<0,02	0,16	8,60
06/09/10	<0,02	<0,02	0,20	<0,05	0,02	0,43	24,00
13/09/10	<0,02	<0,02	0,80	0,07	<0,02	0,15	7,00
20/09/10	<0,02	0,02	0,80	0,05	<0,02	0,17	8,80
27/09/10	<0,02	<0,02	0,20	0,12	<0,02	0,16	7,40
04/10/10	<0,02	<0,02	0,60	<0,05	<0,02	0,18	9,50
13/10/10	<0,02	<0,02	0,10	<0,05	<0,02	0,19	9,40
18/10/10	<0,02	<0,02	0,10	<0,05	<0,02	0,17	8,40
27/10/10	<0,02	<0,02	0,60	<0,05	<0,02	0,2	8,60

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

Date	2,4,6-tribromo-phénol	2,6-dibromo-phénol	2,4-dibromo-phénol	4-bromo-phénol	3-bromo-phénol	2-bromo-phénol
04/11/2009	0,07	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
02/12/2009	0,09	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
04/01/2010	<0,01	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
02/02/2010	<0,01	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
03/03/2010	<0,01	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
07/04/2010	<0,01	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
03/05/2010	0,06	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
02/06/2010	<0,01	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
05/07/2010	0,04	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
02/08/2010	<0,01	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
06/09/2010	<0,01	<0,05	<0,05	<1	<1	<1
04/10/2010	0,03	<0,05	<0,05	<1	<1	<1

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

Date	Point	Température (°C)	Vibrions							Haloformes			
			vibrions totaux	<i>V. alginolyticus</i>	<i>V. fluvialis</i>	<i>V. hollisae</i>	<i>V. parahaemoliticus</i>	<i>V. vulnificus</i>	<i>V. alginov. fluvialis</i>	<i>Vibrio spp</i>	CHCl ₂ Br (µg.l-1)	CHClBr ₂ (µg.l-1)	CHBr ₃ (µg.l-1)
02/06/10	Canal d'amenée	14,5	45	45							<0,02	0,60	0,05
	Radeau	22,1	4 300	4 200			100				<0,02	0,38	22,00
	Contrôle		3 300	600	100		200	2 400			<0,02	0,19	9,60
	Référence		20	15					5		<0,02	<0,02	0,50
27/09/10	Canal d'amenée	16,3	80	30		10			30	10	<0,02	<0,02	0,20
	Radeau	25,8	8 000	5 000		1 000		2 000			<0,02	0,2	10,00
	Contrôle	21,4	251	63			63		125		<0,02	0,1	4,60
	Référence	16,1	13	9	2				2		<0,02	<0,02	0,10

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

Date	Température(°C)	vibrions totaux	<i>V.alginolyticus</i>	<i>V. cholerae nag</i>	<i>P. damsela</i>	<i>V. fluvialis</i>	<i>V. harveyi</i>	<i>V. hollisae</i>	<i>V. metchnikovii</i>	<i>V. mimicus</i>	<i>V. parahaemoliticus</i>	<i>V. vulnificus</i>	<i>V. alginovulnificus</i>	<i>v cholerae nag -v fluvialis</i>	<i>v vulnificus -v fluvialis</i>	<i>Vibron spp</i>
04-nov-09	14,0	256	16		40	20		20				20				140
09-nov-09	13,0	110	80												10	20
17-nov-09	12,8	92	42								2					48
24-nov-09	12,6	160	100		20											40
02-déc-09	9,8	30	22	6												2
08-déc-09	11,4	70	12	4		4		4			8				34	4
16-déc-09	8,3	38	12	22	2											2
21-déc-09	6,6	240	140		20	60										20
30-déc-09	6,5	42	30									10				2
04-janv-10	5,9	9	5		1	1										2
12-janv-10	4,0	4	1	2												1
19-janv-10	6,2	7	2					1			1		1			2
26-janv-10	5,2	8	8													
02-févr-10	4,6	6	4	1	1											
08-févr-10	5,9	16	14			2										
17-févr-10	3,9	14	13	1												
22-févr-10	5,1	2	2													
03-mars-10	5,9	4	3			1										
09-mars-10	5,4	1	1													
17-mars-10	6,1	502	500								2					
18-mars-10	5,6	126	124	2												
22-mars-10	6,7	2	2													
31-mars-10	7,8	10	5		1	4										
07-avr-10	9,0	1	1													
14-avr-10	8,5	1	1													
20-avr-10	9,9	1	1													
27-avr-10	11,0	1	1													
03-mai-10	10,8	30	28		2											
12-mai-10	10,3	2	1			1										
17-mai-10	11,9	2 240	20					40			20	220				1 940
25-mai-10	13,7	260	180			20		30		10						20
02-juin-10	14,5	45	45													
07-juin-10	15,0	240	120			20										100
14-juin-10	15,8	40	40													
21-juin-10	15,2	38	28		2			2					2			4
28-juin-10	18,9	175	50										125			
05-juil-10	18,9	2 000	2 000													
12-juil-10	19,4	6 000	4 000										2 000			
19-juil-10	19,6	390	380								10					
26-juil-10	20,1	2 800	1 800										1 000			
02-août-10	20,2	1 200	800		200										200	
09-août-10	19,9	1 400	800										600			
16-août-10	18,0	1 300	1 200										100			
23-août-10	19,3	1 000	400		100								500			
30-août-10	18,7	2 300	2 300													
06-sept-10	17,1	240	120			20							100			
13-sept-10	18,0	280	160			20							60		20	20
20-sept-10	17,2	290	290													
27-sept-10	16,3	80	30					10					30			10
04-oct-10	16,7	73	64										9			
13-oct-10	16,2	76	44			20					4		8			
18-oct-10	13,6	42	40								2					
27-oct-10	12,1	44	26	6				8								4

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

Date	Température(° C)	vibrions totaux	<i>V.alginolyticus</i>	<i>V. cholerae nag</i>	<i>P. damsela</i>	<i>V. fluvialis</i>	<i>V. harveyi</i>	<i>V. hollisae</i>	<i>V. metchnikovii</i>	<i>V. mimicus</i>	<i>V. parahaemoliticus</i>	<i>V. vulnificus</i>	<i>V. alginov. fluvialis</i>	<i>v. cholerae nag -v fluvialis</i>	<i>v vulnificus -v fluvialis</i>	Vibrien spp
04-nov-09	21,4	12 500	10 000					1 000				1 000			500	
09-nov-09	22,3	320	180			60						60				20
17-nov-09	19,0	10 000	10 000													
24-nov-09	20,0	1 800	1 600									100				100
02-déc-09	20,3	680	460		20							100			100	
08-déc-09	22,5	1 400	300		800	200									100	
16-déc-09	18,3	11 000	3 000			1 000		2 000			1 000	3 000				1 000
21-déc-09	17,8	1 900	1 700								200					
30-déc-09	14,0	260	100		40	20									80	20
04-janv-10	15,0	160	60			20						20				60
12-janv-10	14,7	150	30		20											100
19-janv-10	17,3	220	180			40										
26-janv-10	15,4	70	30		10							10				20
02-févr-10	15,3	260	220													40
08-févr-10	14,0	160	120			20										20
17-févr-10	14,2	390	350	20												20
22-févr-10	14,8	16	16													
03-mars-10	15,3	10	10													
09-mars-10	15,7	5	5													
17-mars-10	16,3	260	240		20											
18-mars-10	16,8	138	92		10			2								34
22-mars-10	14,6	70	64								2					4
31-mars-10	16,6	3 400	2 700	700												
07-avr-10	17,7	50	10		40											
14-avr-10	18,1	300	180		100	20										
20-avr-10	20,1	520	200			300				20						
27-avr-10	21,4	1	1													
03-mai-10	19,9	1 700	400													1 300
12-mai-10	17,9	1	1													
17-mai-10	20,2	25 400	2 200													23 200
25-mai-10	20,7	108 000	108 000													
02-juin-10	22,0	4 300	4 200								100					
07-juin-10	22,0	21 000	20 000					1 000								
14-juin-10	22,5	4 600	4 400					200								
21-juin-10	22,7	5 000	3 800			200						600				400
28-juin-10	25,8	35 000	32 000			3 000										
05-juil-10	26,1	100 000	50 000										20 000			30 000
12-juil-10	28,2	70 000	40 000										30 000			
19-juil-10	28,2	78 000	51 000			5 000		11 000					11 000			
26-juil-10	29,2	90 000	40 000										30 000	20 000		
02-août-10	29,6	40 000	40 000													
09-août-10	27,0	130 000	80 000										40 000	10 000		
16-août-10	24,0	48 000	25 000										23 000			
23-août-10	27,2	18 000	10 000			3 000		2 000								3 000
30-août-10	24,1	12 000	12 000													
06-sept-10	24,6	101 000	70 000			10 000							20 000			1 000
13-sept-10	26,8	74 000	40 000					34 000								
20-sept-10	26,6	32 000	31 000													1 000
27-sept-10	25,6	8 000	5 000					1 000				2 000				
04-oct-10	25,7	100 000	70 000			10 000							20 000			
13-oct-10	24,4	1 800	600					200			400				200	400
18-oct-10	20,3	1 600	1 500													100
27-oct-10	22,2	440	400												20	20

4. PHYTOPLANCTON ET BIOMASSE CHLOROPHYLLIENNE

Auteur : A. Lefebvre

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

4.1. Introduction

Le phytoplancton représente l'ensemble des algues microscopiques qui flottent dans les eaux. C'est le premier maillon de la chaîne alimentaire dans l'écosystème marin et sa biomasse va dépendre de la disponibilité des nutriments pour sa croissance. 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.

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

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.

4.2. Méthodologie

4.2.1. Stratégie de prélèvements du phytoplancton

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

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

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

4.2.2. Mesure des pigments chlorophylliens

La méthode trichromatique du SCOR-UNESCO (1966¹) est appliquée pour définir les concentrations brutes en chlorophylle *a*, indicateur de la biomasse phytoplanctonique, et le pourcentage de chlorophylle active qui permet de caractériser l'importance de la biomasse phytoplanctonique dotée de pigments photosynthétiques actifs par rapport au phytoplancton en voie de dégradation. Les échantillons d'eau de un litre sont filtrés sur des filtres en fibre de verre Whatman GF/C de 47 mm. Les pigments chlorophylliens concentrés sur ces filtres sont ensuite extraits dans un solvant (acétone à 90 %). Après centrifugation de 20 minutes à 6000 tr/mn, l'absorbance du surnageant est mesurée par spectrophotométrie.

4.2.3. Composition spécifique et dénombrement du phytoplancton

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

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

Le cycle de développement de la biomasse phytoplanctonique, exprimée via la concentration en chlorophylle *a* (chl_a) n'a pas présenté en 2010 la même précocité qu'en 2009. Par contre, c'est l'ampleur du phénomène qui a été particulièrement important lors de ce cycle d'étude (valeur la plus importante mesurée pour les 10 dernières années). En effet, la concentration en chl_a présente une nette augmentation dès la mi-mars pour atteindre une valeur maximale de 60,76 mg/m³ dans l'échantillon du 31/03 (Figure 4.1. et annexe 1). Une chute relative de la concentration en chl_a est observée en avril avec cependant une concentration de 20,75 mg/m³ mesurée le 20/04. Les concentrations sont de l'ordre de 30 mg/m³ en mai, d'un niveau comparable aux valeurs maximales des printemps précédents. Des concentrations en chl_a supérieures à 10 mg/m³ sont relevées lors du mois de juillet 2010. Elles deviennent inférieures à 10 mg/m³ à partir de la fin du mois d'août, puis inférieures à 5 mg/m³ dès la mi-septembre.

Cette dynamique de la concentration en chl_a marquée par des valeurs plus élevées que lors des cycles d'études précédents se traduit par des anomalies positives de la concentration en chl_a en 2010 (Figure 4.1. B). Les concentrations en chl_a sont nettement supérieures aux médianes mensuelles, sinon aux troisièmes quartiles de la série 2000-2010 lors des mois de mars, de mai, de juillet et d'août (Figure 4.1. B et C).

Le pourcentage de chlorophylle active (Figure 4.2. et annexe 1) est compris entre 50 et 60 du début du mois de novembre à la fin du mois de décembre 2009. Les valeurs sont supérieures à 80 % dès la fin du mois de janvier, puis globalement supérieures à 90 % du début du mois de mars au début du mois d'août 2010 (sauf lors de la deuxième quinzaine de juin). Elles diminuent progressivement de 80 à 60 % entre la mi-août et la fin du mois d'octobre 2010.

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

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

³ Lund, J.W.G., KIPLING, C., LE CREN, E.D. 1958. The inverted microscope method of estimating algal number and the statistical basis of estimations by counting. Hydrobiologia 11: 143-178

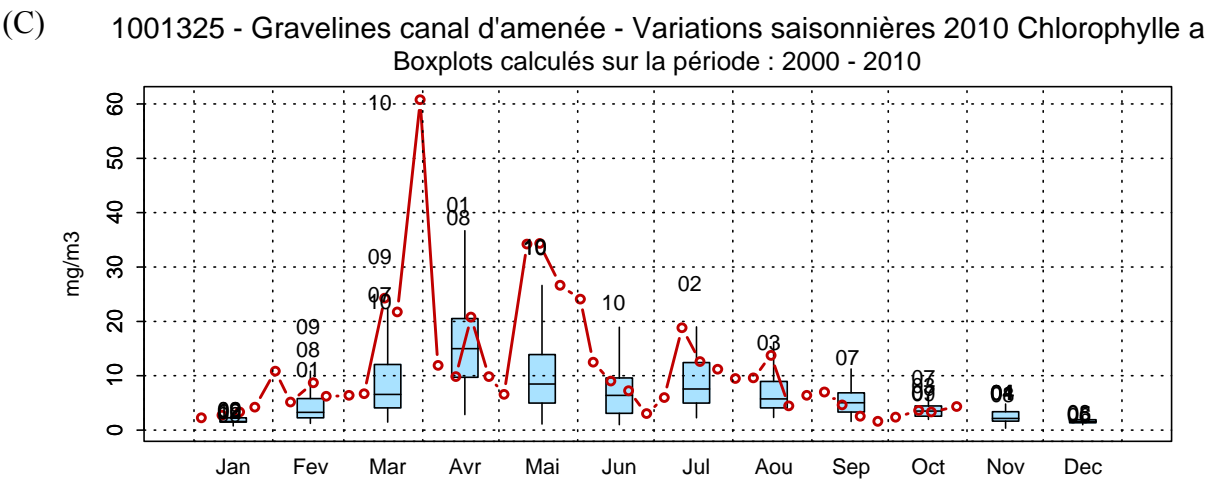
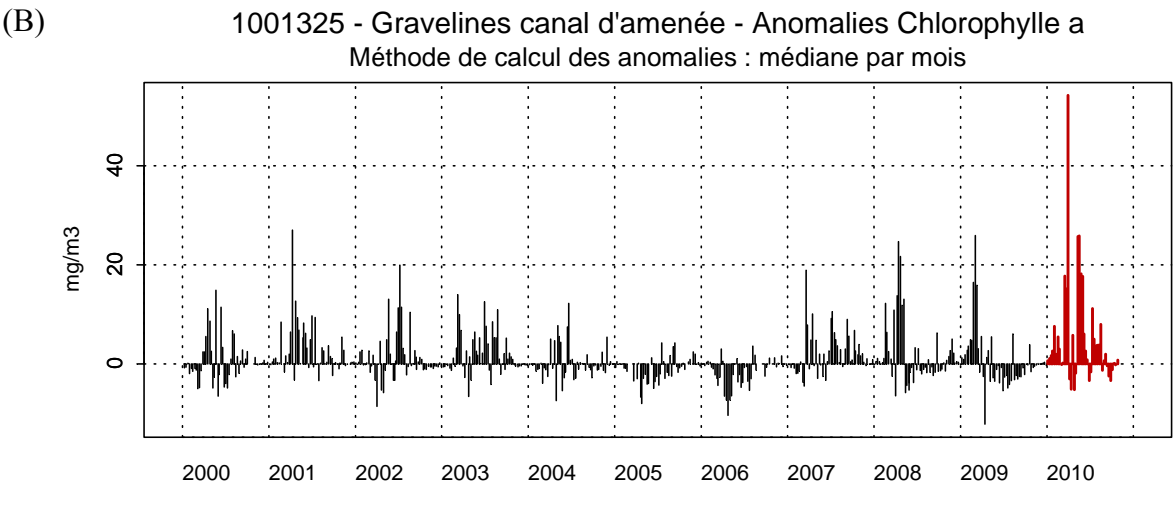
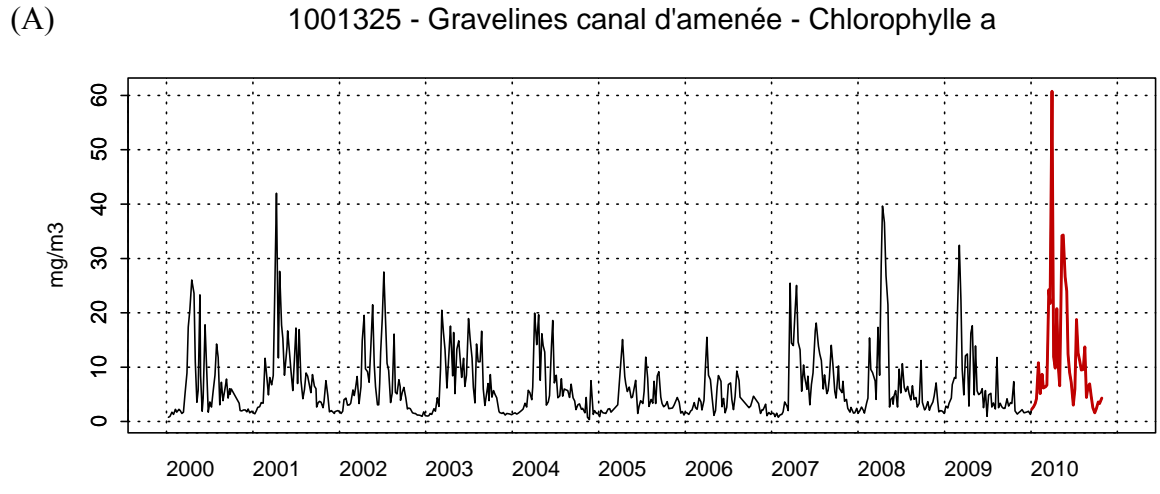


Figure 4.1 (A) Evolution de la concentration en chlorophylle a (mg/m^3) au point prise, (B) anomalies de concentration par rapport à la médiane mensuelle et (C) boîtes de dispersion mensuelles pour la période 2000 à 2010 (en rouge les données de l'année 2010) (Les résultats mensuels atypiques sont indiqués par les 2 derniers chiffres de l'année concernée).

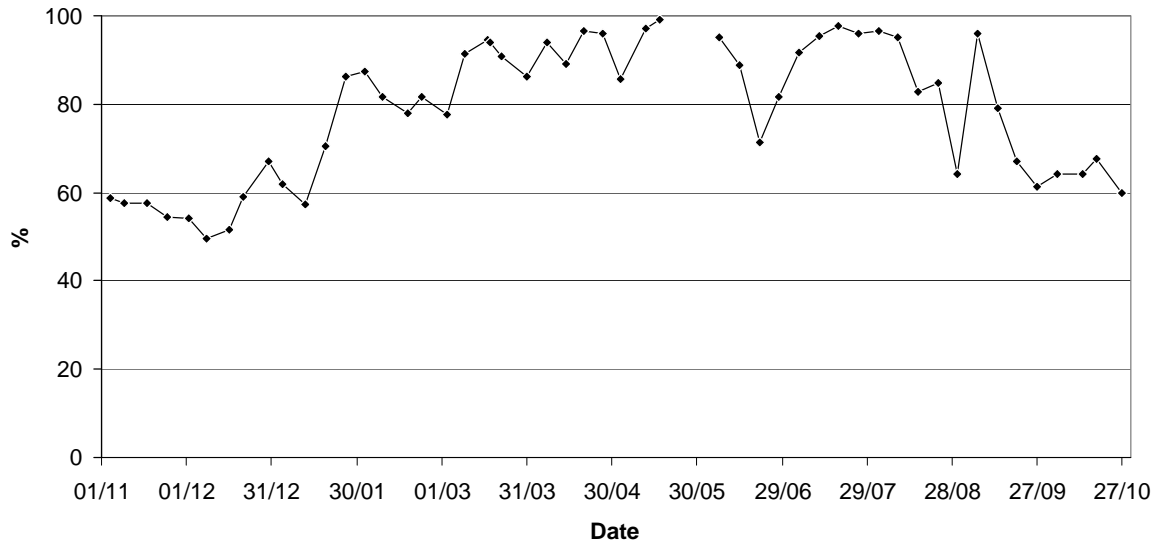


Figure 4.2 Évolution du pourcentage de chlorophylle active au point *prise* au cours de la période 2009-2010

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

4.4.1. Principe de l'Indice de Sanders

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

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

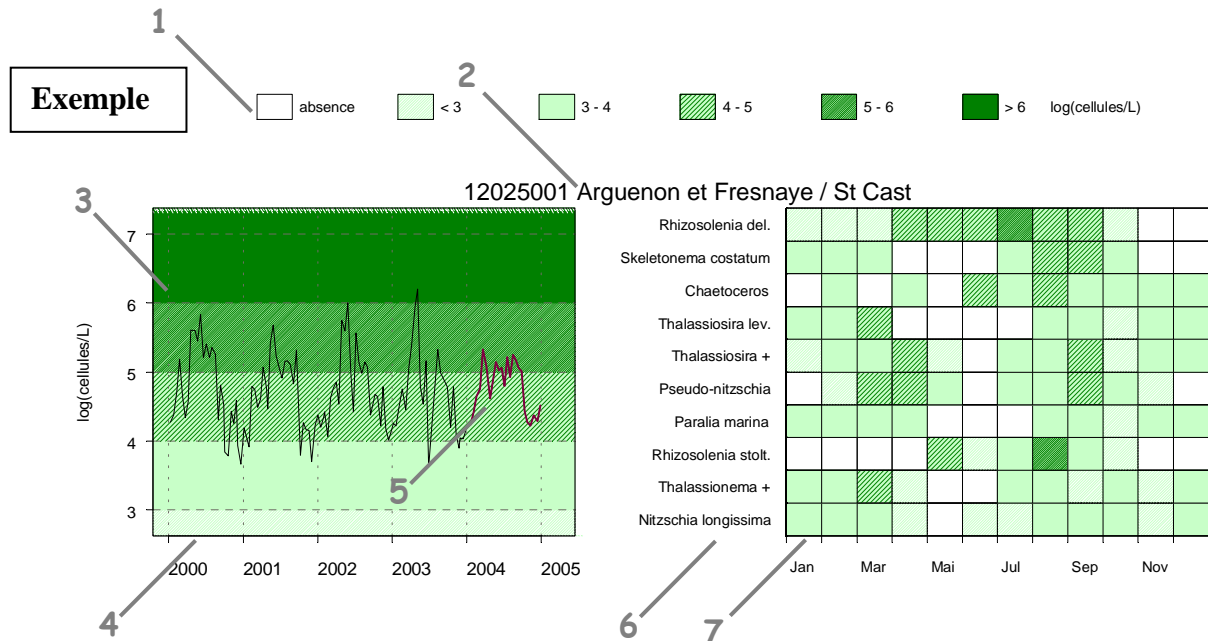
- Les espèces classées dans les dix premières sont appelées espèces préférantes du site.
- Les espèces classées dans les dix suivantes sont les espèces accompagnatrices du site.
- Les espèces dont l'indice de SANDERS est égal à 0 sont dites accessoires du site.

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

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

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

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



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

4.4.2. Principe de l'indice de Shannon

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

- (1) le nombre de catégories d'éléments : nombre de taxons distincts ; on dénombre couramment les espèces (on parlera alors de *diversité spécifique*), dans d'autres cas les genres (*diversité générique*), etc.

(2) la régularité : façon plus ou moins égale ou inégale selon laquelle les individus, pour un nombre de catégories (par exemple espèces) donné, se répartissent entre celles-ci.

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

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

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

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

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

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

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

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

4.4.3. Résultats

L'abondance phytoplanctonique totale fluctue entre 2500 et plus de 57.10^6 cellules par litre entre 2006 et 2010 (Figure 4.3 gauche). Elle est de plus en plus importante ces dernières années. Les concentrations maximales de l'ordre de plusieurs millions de cellules par litres sont liées au développement massif de *Phaeocystis globosa*. La communauté phytoplanctonique est dominée par les diatomées, les cryptophycées (Tableau 4.1), sauf lors de la prolifération de la prymnésiofycée *Phaeocystis globosa*.

Les 10 taxons préférants pour la période de surveillance 2009-2010 et pour le point *prise* ont été définis sur la base du calcul de l'indice de Sanders (Figure 4.3. droite).

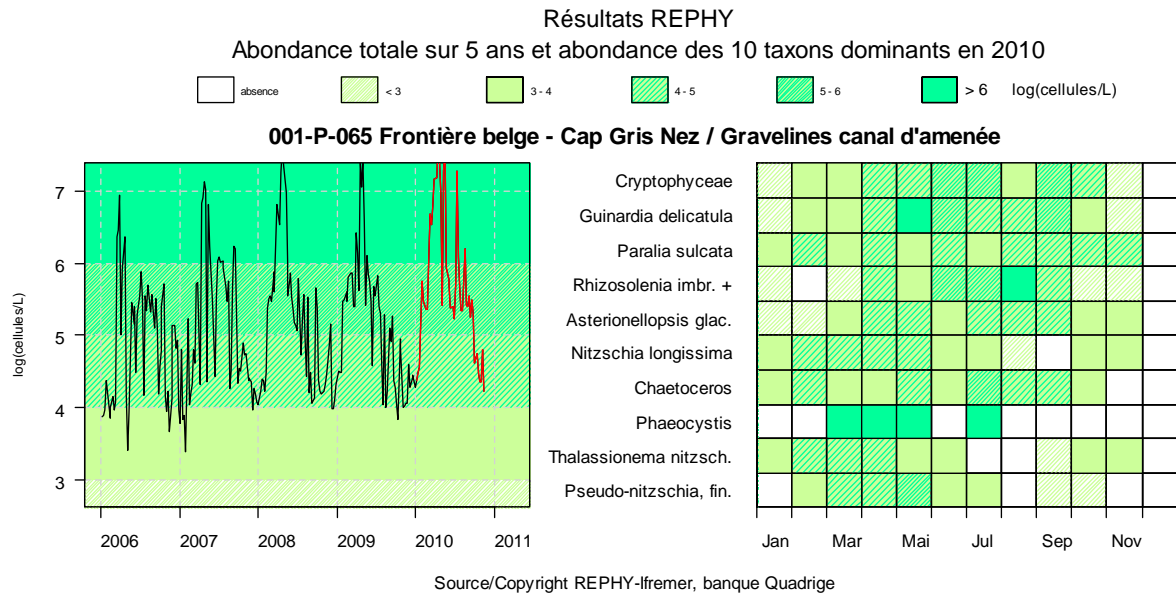


Figure 4.3 Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2006 et 2010 et classement des 10 taxons dominants (Indice de Sanders) par mois au point *prise*

Tableau 4.1 Liste des taxons dominants pour la période 2009-2010 aux points *prise*
(* nouvelle nomenclature : Diatomophyceae = Bacillariophyta, c'est à dire diatomées)

REPHY - Taxons dominants - signification des libellés

Intitulé graphe	Libellé taxon	Classe
Cryptophyceae	<i>Cryptophyceae</i>	<i>Cryptophyceae</i>
Asterionellopsis glac.	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Diatomophyceae</i> *
Chaetoceros	<i>Chaetoceros</i>	<i>Diatomophyceae</i> *
Guinardia delicatula	<i>Guinardia delicatula</i>	<i>Diatomophyceae</i> *
Nitzschia longissima	<i>Nitzschia longissima</i>	<i>Diatomophyceae</i> *
Paralia sulcata	<i>Paralia sulcata</i>	<i>Diatomophyceae</i> *
Pseudo-nitzschia, fin.	<i>Pseudo-nitzschia</i> , groupe des fines, complexe <i>delicatissima</i> (<i>calliantha</i> + <i>delicatissima</i> + <i>pseudodelicatissima</i>)	<i>Diatomophyceae</i> *
Rhizosolenia imbr. +	<i>Rhizosolenia imbricata</i> + <i>styliformis</i>	<i>Diatomophyceae</i> *
Thalassionema nitzsch.	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Diatomophyceae</i> *
Phaeocystis	<i>Phaeocystis</i>	<i>Prymnesiophyceae</i>

L'indice de Shannon évolue entre 0,04 et 4,04 au cours de la période de surveillance novembre 2009 – octobre 2010, conformément aux résultats des années précédentes (Figure 4.4 et annexe 1). Les valeurs les plus élevées, représentatives d'une communauté diversifiée composée de taxons équi-dominants, sont plutôt observées de novembre à février et de juin à octobre (même schéma que pour les périodes de surveillance précédente).

La chute de l'indice lors des mois de mars et d'avril est principalement liée à la dominance de la prymnésiofycée *Phaeocystis globosa*. Cette espèce présente un cycle de vie complexe,

polymorphe dont le développement passe de cellules isolées à la formation de colonies dont la dégradation (par vieillissement ou par action physique du vent ou de la marée) conduit à la formation d'une mousse abondante et nauséabonde. Ce taxon est reconnu comme à l'origine de problème d'eutrophisation du type HAB-HB, c'est à dire « Harmful Algal Bloom - High Biomass ». L'excès de biomasse injecté dans l'écosystème peut conduire à des dysfonctionnements des compartiments pélagiques et/ou benthiques (hypo~ ou anoxie, mortalités,...). En 2010, l'espèce est rencontrée dans les échantillons au point *prise* du début du mois de mars à la mi-juillet. L'abondance de ce taxon est comprise entre 1164 et plus de 57.10^6 cellules par litre (maximum le 14/04/2010). Le groupe Eutrophisation de la convention d'Oslo et de Paris (OSPAR) pour la protection de l'Atlantique nord-est estime que l'abondance de *Phaeocystis* devient néfaste pour l'intégrité de l'écosystème au-delà d'une concentration de 10^6 cellules par litre. Plus récemment, Lancelot et al. (2009)¹ ont défini ce seuil comme étant de 25.10^6 cellules par litre pour les eaux côtières belges (baie sud de la mer du Nord).

En dehors de la chute majeure de l'indice de Shannon liée à la prolifération de *Phaeocystis*, différentes autres chutes de l'indice sont observées entre mai et septembre, période au cours de laquelle une tendance générale à l'augmentation de l'indice est observée. Ainsi, l'indice diminue brutalement le 12 et le 17/05 (env. 0,3), le 12/07 (env. 0,3), le 16/08 (env. 0,8) et le 20/09 (env. 1,7). Ceci est expliqué par la dominance d'un ou plusieurs taxons au sein de la communauté phytoplanctonique :

12 et 17/05 : Dominance de *Phaeocystis globosa*, *Pseudonitzschia* (groupes des fines) et de *Guinardia delicatula*.

12/07 : Dominance de *Phaeocystis globosa*, de *Chaetoceros sp.* et de *Leptocylindrus danicus*.

16/08 : Dominance de *Rhizosolenia imbricata + styliformis*, de *Leptocylindrus minimus*, de *L. danicus*, de *Navicula sp.* et de *Guinardia striata*.

20/09 : Dominance de cryptophycées.

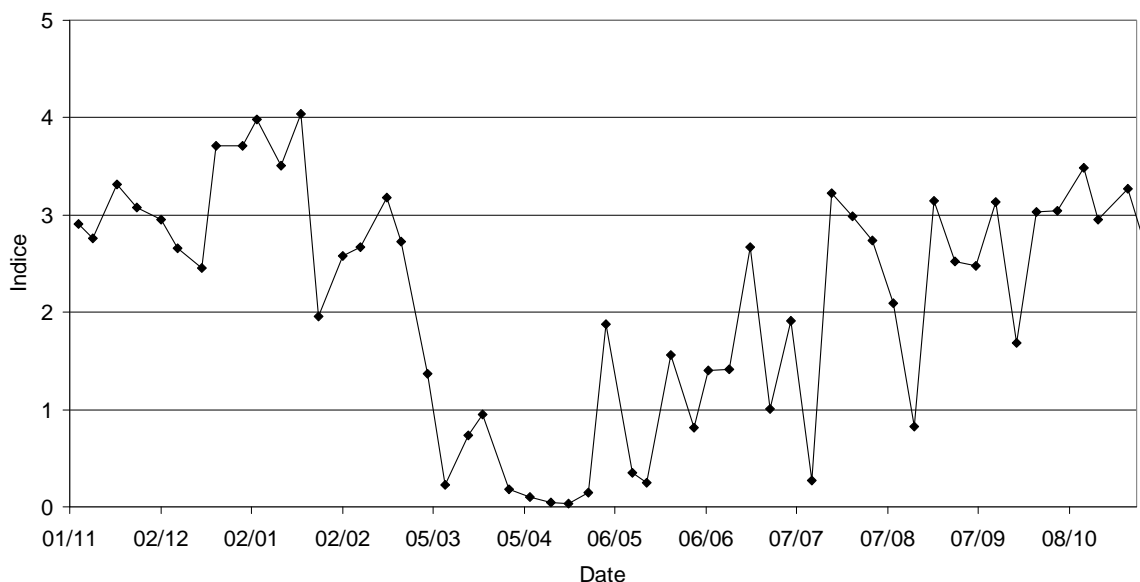


Figure 4.4 Évolution de l'indice de Shannon au point *prise* au cours de la période novembre 2009 - octobre 2010

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

4.5. Campagnes pélagiques

Les campagnes pélagiques permettent de mettre en évidence un impact éventuel de la centrale sur le milieu par la comparaison de 4 points de prélèvement (*prise*, *rejet*, *contrôle* et *référence*) diversement concernés par les rejets d'eau chaude de la centrale. Les campagnes de 2010 ont eu lieu les 2 juin et le 27 septembre.

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

4.5.1. Chlorophylle *a* et phéopigments

Lors de la campagne du 2 juin, la concentration en chlorophylle *a* au point *rejet* était inférieure à celle du point *prise* ($\Delta p/r = - 7,44 \text{ mg/m}^3$) (Figure 4.5. et annexe 2). La distribution des valeurs correspond à un gradient classique décroissant de la côte vers le large. La différence de concentration entre le fond et la surface était importante pour le point *contrôle* ($\Delta c = - 6,6 \text{ mg/m}^3$). Elle est négligeable pour le point *référence*.

Lors de la campagne de 2009, le schéma d'évolution de la concentration en chlorophylle *a* n'était pas conforme aux observations habituelles avec une concentration au point *rejet* qui était supérieure à celle du point *prise*. Le 27 septembre 2010, le schéma est classique. Les concentrations sont plus faibles qu'en juin et la concentration en chlorophylle *a* au point *rejet* était inférieure à celle du point *prise* ($\Delta p/r = - 0,84 \text{ mg/m}^3$) (Figure 4.5. et annexe 2). Les différences fond - surface pour les points *contrôle* et *référence* étaient, respectivement, $\Delta c = 0,60 \text{ mg/m}^3$ et $\Delta \text{réf} = 0,48 \text{ mg/m}^3$.

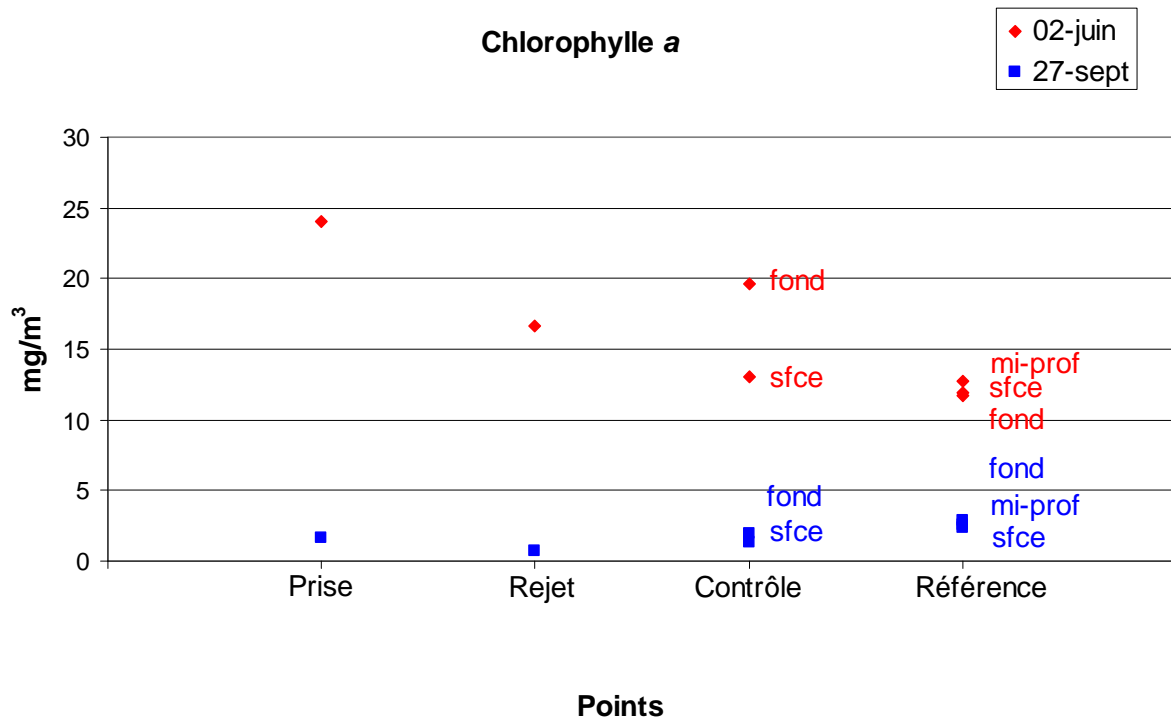


Figure 4.5 Évolution spatiale de la concentration en chlorophylle *a* (mg/m^3) lors des campagnes pélagiques

L'évolution du pourcentage de chlorophylle active était conforme au schéma habituel (Figure 4.6. et annexe 3). Ce pourcentage était supérieur lors du printemps quel que soit le point considéré.

La différence entre la *prise* et le *rejet* est du même ordre de grandeur en juin et septembre (12 %). Le pourcentage de chlorophylle active aux points *contrôle* et *référence* était proche de celui du point *Prise* en juin. Il est du même ordre de grandeur aux points *rejet* et *contrôle* en septembre. La différence fond – surface était relativement faible aux points *référence* et *contrôle* en juin (de l'ordre de 2 %) alors qu'elle était plus importante en septembre (5,7 % au contrôle et 8,8 % à la référence).

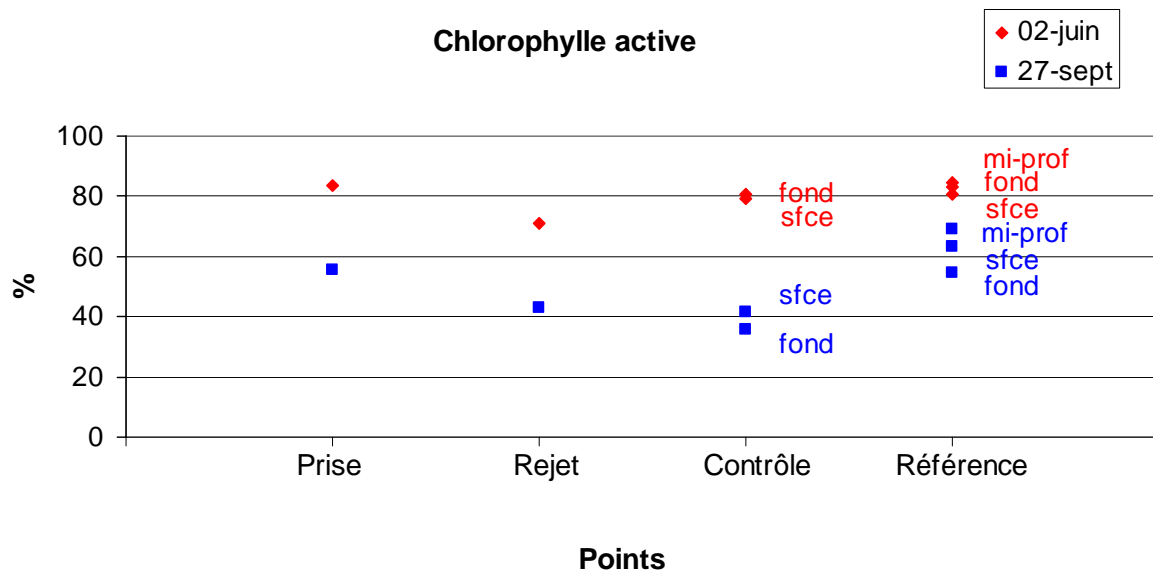


Figure 4.6 Évolution spatiale du pourcentage de chlorophylle active lors des campagnes pélagiques 2010

4.5.2. Phytoplancton

Les échantillons prélevés lors des campagnes de juin et de septembre contenaient, respectivement, entre 10 et 15, et entre 25 et 32 taxons (Tableau 4.2). Ce nombre de taxon est plus faible en 2010 qu'en 2009. Cette différence est davantage liée à la variabilité inter-annuelle de la dynamique phytoplanctonique qu'à un effet du fonctionnement de la centrale. La campagne printanière s'est déroulée après l'efflorescence de *Phaeocystis globosa* qui dominait alors l'écosystème au détriment des diatomées.

Tableau 4.2 Évolution spatiale du nombre total d'espèces phytoplanctoniques en surface lors des campagnes pélagiques du 2 juin et du 27 septembre 2010.

Campagnes	Points			
	<i>Prise</i>	<i>Rejet</i>	<i>Contrôle</i>	<i>Référence</i>
2 juin 2010	14	15	10	12
27 septembre 2010	32	25	30	31

Les diatomées dominaient généralement la communauté phytoplanctonique quel que soit le point considéré lors de ces campagnes (sauf pour le point *prise surface* le 27/09 où les cryptophycées dominent) (Tableau 4.3). La communauté était également composée de dinoflagellés, de cryptophycées en moindre abondance (Tableau 4.3). Les autres classes couramment observées sur

le site (Chlorophycées, Chrysophycées, Dictyochophycées, Prasinophycées) étaient absentes lors de ces campagnes 2010.

Tableau 4.3 Répartition par classe des abondances phytoplanctoniques (cellules par litre) observées lors des campagnes pélagiques du 2 juin et du 27 septembre 2010

date	points	Cryptophycées	Diatomées	Dinoflagellés	Prymnésiophycées	Total
02/06	Prise surface	16663	562257	2641		581561
02/06	Canal de rejet surface		712224	200		712424
02/06	Contrôle surface		497259			497259
02/06	Contrôle fond	9647	320628	1754		332029
02/06	Référence surface	81561	388711	2631		470533
02/06	Référence mi-profondeur	877	188655	100	4200	189632
02/06	Référence fond	36834	378864			415698
27/09	Prise surface	88560	79410	6902		174872
27/09	Canal de rejet surface	2134	20571	6402		29107
27/09	Contrôle surface	38410	41941	5435		85786
27/09	Contrôle fond	877	20379			21256
27/09	Référence surface	103400	133259	23971		139030
27/09	Référence mi-profondeur	10524	61336	2931		65321
27/09	Référence fond	1754	62490	2931		67175

Les taxons contribuant significativement à l'abondance totale lors des campagnes pélagiques du 2 juin et du 27 septembre 2010 sont présentés dans le tableau 4.4. Des seuils arbitraires de plusieurs dizaine ou centaines de milliers de cellules par litre en juin, et de plusieurs milliers de cellules par litre en septembre ont été définis pour élaborer cette liste.

Tableau 4.4 Taxons présentant les plus fortes abondances relatives (seuils arbitraires et liste par ordre décroissant d'abondance) lors des campagnes pélagiques du 2 juin et du 27 septembre 2010 (pour comparaison qualitative uniquement).

Points	2 juin 2010	27 septembre 2010
Prise	<i>Guinardia delicatula</i> , <i>G. flaccida</i> , <i>Cryptophycées</i> , <i>Rhizosolenia</i> <i>styliformis+imbricata</i>	<i>Cryptophycées</i> , <i>Paralia sulcata</i> , <i>Asterionellopsis</i> <i>glacialis</i> , <i>Brockmanniella brockmannii</i>
Rejet	<i>Guinardia delicatula</i> , <i>G. flaccida</i> , <i>Paralia</i> <i>sulcata</i> , <i>Rhizosolenia</i> <i>styliformis+imbricata</i>	<i>Asterionellopsis glacialis</i> , <i>Delphineis</i> sp., <i>Gymnodinium</i> sp., <i>Paralia sulcata</i> , <i>Leptocylindrus</i> <i>minimus</i> , <i>Brockmanniella brockmannii</i> , <i>Navicula</i> sp., <i>Pseudonitzschia</i> (groupe des larges)
Contrôle surface	<i>Guinardia delicatula</i> , <i>G. flaccida</i> , <i>Paralia</i> <i>sulcata</i>	<i>Brockmanniella brockmannii</i> , <i>Cryptophycées</i> , <i>Delphineis</i> sp., <i>Leptocylindrus danicus</i> , <i>Asterionellopsis glacialis</i>
Contrôle fond	<i>Guinardia delicatula</i> , <i>G. flaccida</i> , <i>Rhizosolenia styliformis+imbricata</i>	<i>Plagiogramma</i> sp., <i>Guinardia delicatula</i> , <i>Asterionellopsis glacialis</i> , <i>Paralia</i> <i>sulcata</i> , <i>Odontella sinensis</i> , <i>Chaetoceros</i> sp.
Référence surface	<i>Guinardia delicatula</i> , <i>Cryptophycées</i>	<i>Cryptophycées</i> , <i>Guinardia delicatula</i> , <i>Paralia</i> <i>sulcata</i> , <i>Delphineis</i> sp., <i>Guinardia striata</i> , <i>Gymnodinium</i> sp., <i>Navicula</i> sp.
Référence mi-profondeur	<i>Guinardia delicatula</i> , <i>Rhizosolenia</i> <i>styliformis+imbricata</i> , <i>G. flaccida</i>	<i>Guinardia delicatula</i> , <i>Paralia sulcata</i> , <i>Cryptophycées</i> , <i>Pseudonitzschia</i> (groupe des fines), <i>Brockmanniella brockmannii</i>
Référence fond	<i>Guinardia delicatula</i> , <i>Cryptophycées</i>	<i>Guinardia delicatula</i> , <i>Paralia sulcata</i> , <i>Rhizosolenia</i> <i>styliformis+imbricata</i> , <i>Navicula</i> sp., <i>Bacillaria</i> sp.

4.6. Dynamique de développement du phytoplancton à méso-échelle

Afin d'appréhender la dynamique des efflorescences phytoplanctoniques à une échelle moins régionale, un certain nombre d'images satellites ont été extraites de l'interface web Ifremer NAUSICAA (NAvigating throUgh Satellite and In situ data over loCAL Areas). Ces images correspondent à une représentation de l'estimation de la concentration en chlorophylle *a* à partir de paramètres optiques acquis par le capteur MODIS (Gohin *et al.*, 2002³ ; Gohin *et al.*, 2008⁴).

Ces résultats illustrent un développement phytoplanctonique très important lors des mois de mars et d'avril le long des côtes de la Manche orientale et de la baie sud de la mer du Nord (Figure 4.7). Un développement de moindre ampleur est observé le long des côtes sud et est de l'Angleterre. La biomasse phytoplanctonique demeure importante en zone côtière de la baie sud de la mer du Nord de mai à juillet. De fortes concentration en chlorophylle *a* sont notés à l'ouest de la baie de Seine dès le mois de mai. Le développement phytoplanctonique se généralise à toute la zone côtière de la baie en juillet. Elle devient moins importante en septembre. En octobre, les plus fortes concentrations en chlorophylle *a* sont observées en Manche orientale (au large de la baie de Somme) et en zone côtière de la mer du Nord.

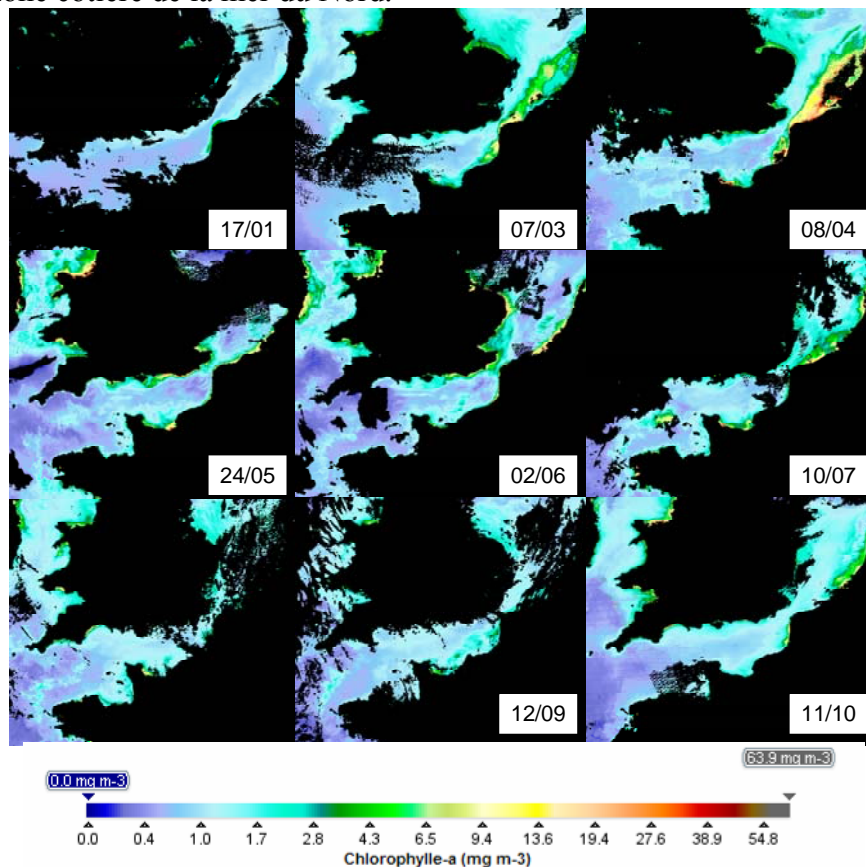


Figure 4.7 Illustration à méso-échelle de la dynamique de développement phytoplanctonique en 2010 via l'estimation de la concentration en chlorophylle *a* par le capteur MODIS (algorithme OC5 IFR) (Masque noir : terre ou couverture nuageuse)

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

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

4.7. Éléments de conclusion

Le suivi hebdomadaire au point *prise* met en évidence la conformité de l'évolution de la concentration en chlorophylle *a*, et en chlorophylle active ainsi que de l'évolution de l'abondance phytoplanctonique par rapport à la connaissance acquise sur le site depuis 1973. Les plus fortes différences qui peuvent être observées par rapport à un schéma théorique de fonctionnement d'un tel écosystème de zone tempérée sont liées à une forte variabilité inter-annuelle dont les mécanismes de contrôle sont complexes, multi-paramètres et multi-échelles. Alors que la période de surveillance 2008-2009 a été caractérisée par un bloom printanier précoce, la période 2009-2010 a été marquée par une valeur exceptionnellement forte de la concentration en chlorophylle *a* (60,76 mg/m³ le 31/03). Un bloom de moindre ampleur, lors duquel les concentrations chlorophylliennes étaient supérieures aux valeurs maximales des années précédentes (> 30 mg/m³) s'est produit lors du mois de mai. La biomasse phytoplanctonique était encore importante en juillet et en août. La communauté phytoplanctonique était caractérisée par une forte abondance des diatomées et parfois de cryptophycées. La prymnésiophycée *Phaeocystis globosa*, classifiée comme susceptible d'altérer le fonctionnement de l'écosystème, domine cette communauté entre mars et juin. La succession des espèces phytoplanctoniques sur le site de la centrale était conforme à ce qui est observé au niveau régional au travers du réseau REPHY. 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.

Les résultats acquis lors des campagnes pélagiques de juin et de septembre mettent en évidence une diminution des concentrations en chlorophylle *a*, donc de la biomasse phytoplanctonique, au point *rejet* ainsi que du pourcentage de chlorophylle *a* active, indiquant une diminution des capacités photosynthétique du phytoplancton. Ce phénomène est lié à l'augmentation de la température de l'eau lors du transit dans la centrale qui entraîne une dégradation de la chlorophylle *a* active en phéopigments. Toutefois, cet impact reste assez localisé puisque le pourcentage de chlorophylle *a* active au point *référence* était équivalent à celui du point *prise* lors des deux campagnes pélagiques de juin et septembre.

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

Date	Chlorophylle <i>a</i> (mg/m ³)	phéopigment (mg/m ³)	% chlorophylle active	Indice de Shannon
04/11/2009	1,38	0,57	58,68	2,90
09/11/2009	1,61	0,68	57,63	2,76
17/11/2009	1,88	0,8	57,63	3,32
24/11/2009	2,18	1	54,34	3,07
02/12/2009	1,6	0,73	54,23	2,95
08/12/2009	1,66	0,84	49,67	2,65
16/12/2009	1,76	0,85	51,60	2,45
21/12/2009	1,89	0,77	59,12	3,71
30/12/2009	1,28	0,42	67,07	3,71
04/01/2010	2,23	0,85	61,92	3,98
12/01/2010	2,7	1,15	57,34	3,50
19/01/2010	3,29	0,98	70,36	4,04
26/01/2010	4,21	0,58	86,23	1,96
02/02/2010	10,83	1,36	87,45	2,58
08/02/2010	5,17	0,94	81,73	2,67
17/02/2010	8,7	1,91	78,01	3,18
22/02/2010	6,18	1,13	81,71	2,73
03/03/2010	6,37	1,42	77,70	1,37
09/03/2010	6,7	0,58	91,27	0,22
17/03/2010	24,23	1,3	94,63	0,74
18/03/2010	24,79	1,5	93,96	-
22/03/2010	21,72	2,01	90,76	0,95
31/03/2010	60,76	8,43	86,12	0,18
07/04/2010	11,91	0,7	94,10	0,10
14/04/2010	9,83	1,08	89,00	0,04
20/04/2010	20,75	0,71	96,58	0,04
27/04/2010	9,8	0,39	96,01	0,14
03/05/2010	6,57	0,94	85,70	1,88
12/05/2010	34,17	1,01	97,05	0,35
17/05/2010	34,33	0,27	99,20	0,25
25/05/2010	26,64	-	100,56	1,56
02/06/2010	33,12	-	104,09	0,82
07/06/2010	12,45	0,59	95,25	1,40
14/06/2010	8,97	1,01	88,75	1,41
21/06/2010	7,23	2,07	71,32	2,66
28/06/2010	3	0,55	81,63	1,01
05/07/2010	5,97	0,49	91,77	1,91
12/07/2010	18,78	0,88	95,29	0,27
19/07/2010	12,59	0,29	92,72	3,22
26/07/2010	11,2	0,46	95,86	2,99
02/08/2010	9,49	0,34	96,42	2,73
09/08/2010	9,56	0,47	95,09	2,09
16/08/2010	13,73	2,37	82,72	0,82
23/08/2010	4,45	0,67	84,88	3,14
30/08/2010	6,41	2,29	64,21	2,53
06/09/2010	6,95	0,27	96,08	2,48
13/09/2010	4,62	0,97	79,05	3,13
20/09/2010	2,53	0,83	67,08	1,68
27/09/2010	3,1	1,2	61,28	3,03
04/10/2010	2,36	0,85	64,09	3,04
13/10/2010	3,6	1,29	64,07	3,49
18/10/2010	3,3	1,07	67,62	2,95
27/10/2010	4,31	1,73	59,86	3,27

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

Points	Concentrations moyennes en chlorophylle <i>a</i> (mg/m ³)	
	2 juin 2010	27 septembre 2010
<i>Prise</i>	24,05	1,60
<i>Rejet</i>	16,61	0,76
<i>Contrôle surface</i>	13,02	1,36
<i>Contrôle fond</i>	19,62	1,96
<i>Référence surface</i>	11,72	2,36
<i>Référence milieu</i>	11,93	2,52
<i>Référence fond</i>	12,70	2,84

ANNEXE 3 : Variabilité spatiale de la concentration en phéopigments (mg/m³)
et de la chlorophylle active (%)

Points	Concentrations en phéopigments (mg/m ³) – chlorophylle active (%)	
	2 juin 2010	27 septembre 2010
<i>Prise</i>	4,76 – 83,48	1,29 – 55,36
<i>Rejet</i>	6,72 – 71,20	1,01 – 42,94
<i>Contrôle surface</i>	3,41 – 79,25	1,92 – 41,46
<i>Contrôle fond</i>	4,63 – 80,91	3,53 – 35,70
<i>Référence surface</i>	2,84 – 80,49	1,37 – 63,27
<i>Référence milieu</i>	2,17 – 84,61	1,12 – 69,23
<i>Référence fond</i>	2,56 – 83,22	2,37 – 54,51

5. ZOOPLANCTON

Auteur : Elvire Antajan

Collaborateurs : Blondel C., Duquesne V., Philippon X., V erin F.

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

Les changements détectables dans l'abondance ou la composition des espèces du zooplancton peuvent refléter des changements fondamentaux dans l'environnement océanique affectant le phytoplancton. Comme un grand nombre d'espèces de 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 le suivi de l'impact du rejet de la centrale par la comparaison des prélèvements selon un axe côte-large. En 2010 elles ont été réalisées le 2 juin pour la mission printanière et le 27 septembre pour la mission automnale. Lors de chaque mission quatre points sont étudiés :

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

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

5.1.2. Prélèvements du zooplancton

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

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

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

mètre sous la surface en raison du courant et des remous qui homogénéisent la colonne d'eau.

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

5.1.3. Mesure de la biomasse sestonique

Pour la mesure de la biomasse sestonique, les soies congelées sont mises à l'étuve à 60 °C pendant 48 heures. Les soies comportant le plancton séché sont alors pesées et les poids secs, ou biomasses du seston, déduits. Le poids sec récolté et le volume filtré permettent d'évaluer le poids sec (mg) par unité de volume (m³).

Les échantillons de poids sec sont par la suite broyés pour être analysés au CHN LECO pour les dosages de carbone (C) et d'azote (N). L'expression des résultats est obtenue en poids carbone (mg C) ou d'azote (mg N) par unité de volume (m³).

5.1.4. Analyse taxinomique

Les prélèvements zooplanctoniques destinés au dénombrement des espèces animales sont rincés sur un tamis de 200 µm afin d'éliminer le formol et les particules les plus fines qui gênent le comptage du zooplancton. En fonction de la concentration de l'échantillon celui-ci est fractionné en sous-échantillons à la boîte de Motoda (Motoda 1983²). Le sous-échantillon est alors placé dans une cuve de Dolffus et dénombré dans sa totalité à la loupe binoculaire (grossissement maximum X 80) en éclairage diascopique. Le dénombrement s'arrête lorsque une classe de tri (*Temora longicornis* : femelle, mâle ou copépode ; *Oikopleura dioica* ; nauplii de cirripèdes...) atteint un minimum de 100 individus. D'après Frontier (1972)³ l'erreur relative sur l'estimation du nombre total d'individus est de ± 30 %. Le nombre d'individus comptés est ensuite ramené au volume total de l'échantillon (ind. · m⁻³).

La bibliographie utilisée pour l'identification des zooplanctons est très variée et inclut notamment : les fiches d'identification du plancton CIEM – (1939-1986), un manuel d'identification du zooplancton côtier (Todd *et al.*, 1996⁴), et des clés de détermination pour des groupes spécifiques tels que les copépodes pélagiques (Rose, 1933⁵) ou les larves de décapodes (Martin, 2001⁶) par exemple.

5.2. Surveillance au canal d'aménée

5.2.1. Biomasse sestonique

On appelle seston, l'ensemble des particules en suspension dans l'eau qu'elles soient d'origine minérales ou organiques. Dans les eaux du large ou dans des milieux oligotrophes, peu turbides, le seston récolté avec un filet à plancton est essentiellement constitué de zooplancton et sa biomasse

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

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

⁴ Todd CD, Laverrack MS, Boxshall GA (1996) Coastal marine zooplankton – a practical manual for students. Cambridge University Press, pp. 106.

⁵ Rose M. (1933) Faune de France, 26. Copépodes pélagiques. Ed. Lechevalier, Paris, pp. 374.

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

peut donc être assimilée à celle du zooplancton. Par contre dans les eaux côtières, souvent peu profondes (< 40 m), avec un fort hydrodynamisme le seston comprend également une part non négligeable de sables, vases, débris végétaux, etc. dû à la remise en suspension des sédiments dans la colonne d'eau. Dans ce cas il est difficile d'attribuer la biomasse sestonique à celle du zooplancton.

En 2010, la biomasse sestonique était très importante au printemps avec un maximum de $606,1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ fin avril pendant le bloom de *Phaeocystis globosa* (figure 5.1). La biomasse est restée élevée en mai ($> 100 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) avant de diminuer fortement au début de l'été avec un minimum de $26,1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ fin juin.

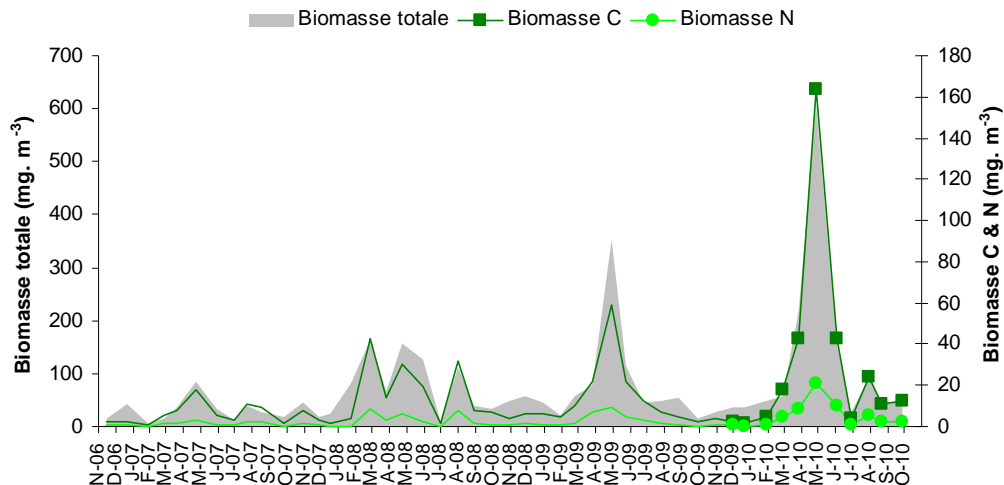


Figure 5.1 : Évolution mensuelle de la biomasse sestonique (poids sec, poids C et poids N) entre novembre 2006 et octobre 2010

La relation entre biomasse sestonique et abondance zooplanctonique n'est pas toujours directe (cf. figure 5.3) et cela se confirme lorsque l'on considère les rapports C/N des échantillons filtrés de seston (figure 5.2). Ces rapports C/N ont fluctué entre 4,1 et 7,9 en 2010. Le rapport C/N peut habituellement caractériser un compartiment tel que le zooplancton (rapport C/N ~ 4 ; Mauchline, 1998¹) ou le phytoplancton (C/N > 5).

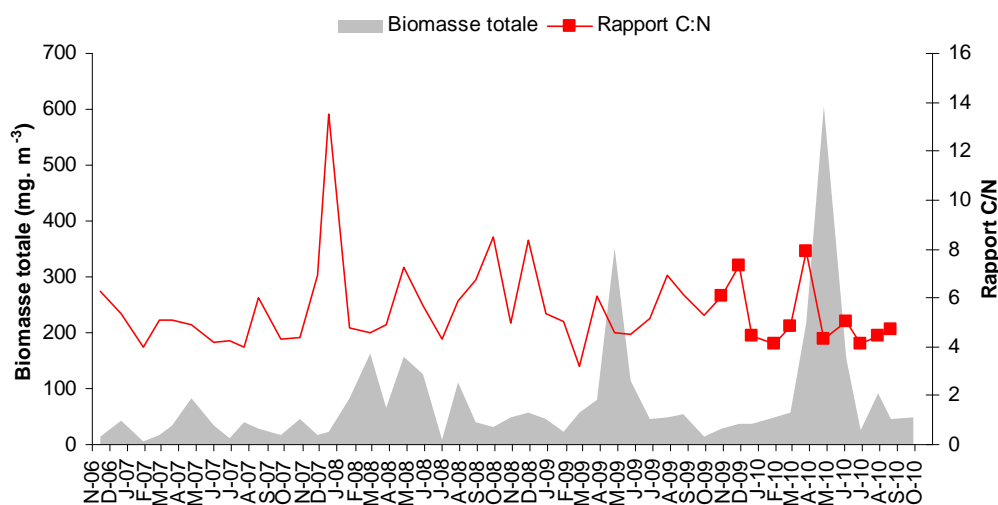


Figure 5.2 : Évolution mensuelle du rapport C/N du seston entre novembre 2006 et octobre 2010

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

La forte remise en suspension des sédiments sur le site (sable, débris coquilliers, fragments d'algues,...) du fait de la faible profondeur et du courant important à l'entrée du canal, ou bien la prolifération d'algue comme *Phaeocystis globosa* (fin avril), ont contribué à ce que le rapport C/N mesurait au point *prise* en 2010 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 2010 sont présentés sur la figure 5.3 avec ceux des trois années précédentes, et sont exprimés en nombre d'individus par m^3 d'eau de mer. Les plus faibles abondances ont été observées fin 2009 ($< 300 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-3}$). Deux pics d'abondance de zooplancton ont été observés en avril et juin (respectivement, $35\,827 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-3}$ et $51\,075 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-3}$). Le premier étant dû à l'abondance des copépodes et le second à une prolifération de noctiluques (dinoflagellés hétérotrophes) comme en 2008.

Les fortes augmentations de l'abondance par rapport à 2007 sont la conséquence du changement de filet à plancton utilisé pour les prélèvements réguliers au point *prise*. Le petit filet qui était utilisé auparavant à terre avait une plus petite ouverture et une forme conique qui le rendaient plus sensible aux effets de colmatage et de reflux, surtout au printemps et en été quand les algues (*Phaeocystis globosa*, *Coscinodiscus* sp...) ou les noctiluques prolifèrent. Le filet WP2, déjà utilisé lors des campagnes à la mer, avec sa plus large ouverture et sa forme cylindro-conique permet d'éviter le reflux dans le filet et est alors mieux adapté pour capturer efficacement le zooplancton d'un point de vue quantitatif (Tranter 1968¹).

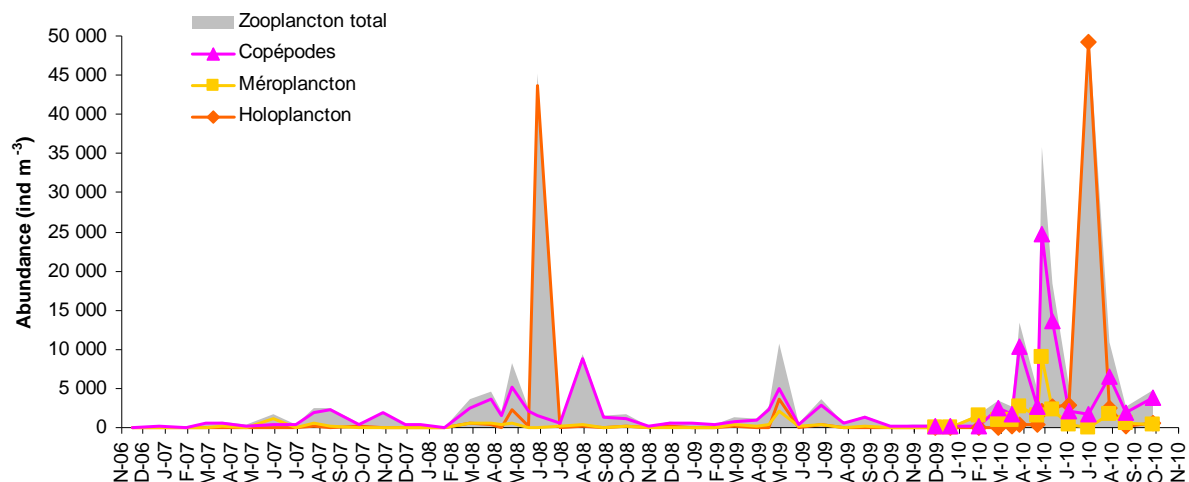


Figure 5.3 : Évolution de l'abondance du zooplancton et de ses fractions holo- et méroplanctonique au point *prise* entre novembre 2006 et octobre 2010

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

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

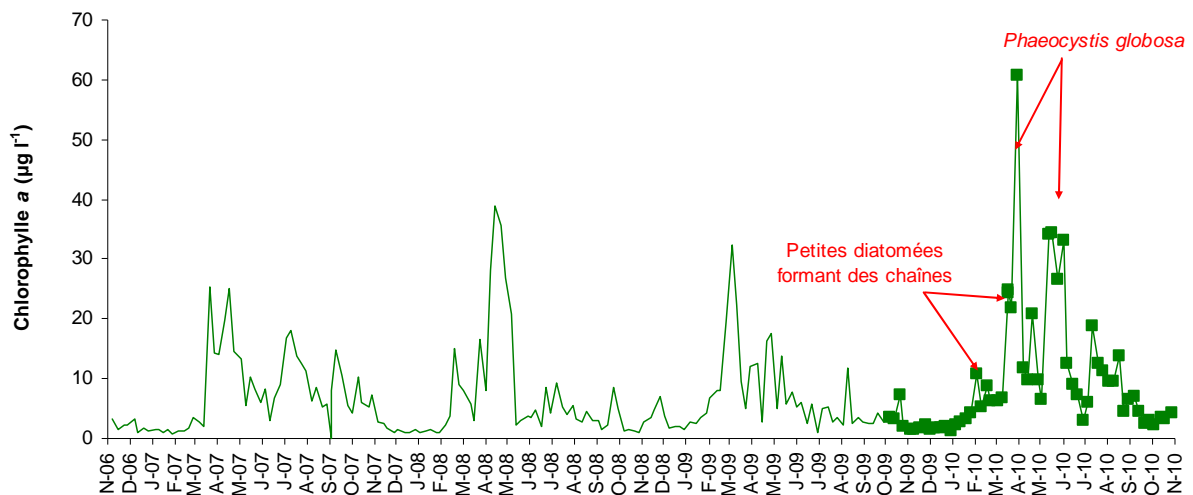


Figure 5.4 : Évolution de la concentration en chlorophylle a au point prise entre novembre 2006 et octobre 2010

Un certain nombre d'espèces accomplit l'intégralité de leur cycle biologique (œufs, larves, adultes) au sein du milieu pélagique ; ce sont les espèces holoplanctoniques. En 2010, l'holoplancton représentait généralement plus de 70 % du zooplancton total (Figure 5.5). Cette fraction était essentiellement composée de crustacés copépodes (46 à 96 %). Selon la saison, s'y ajoutent quelques espèces moins abondantes, appartenant à d'autres embranchements comme les appendiculaires et les chaetognathes. D'autres organismes holoplanctoniques comme les cténaïres, les cladocères et les mysidacés ont été très peu présents cette année (tableau 5.1).

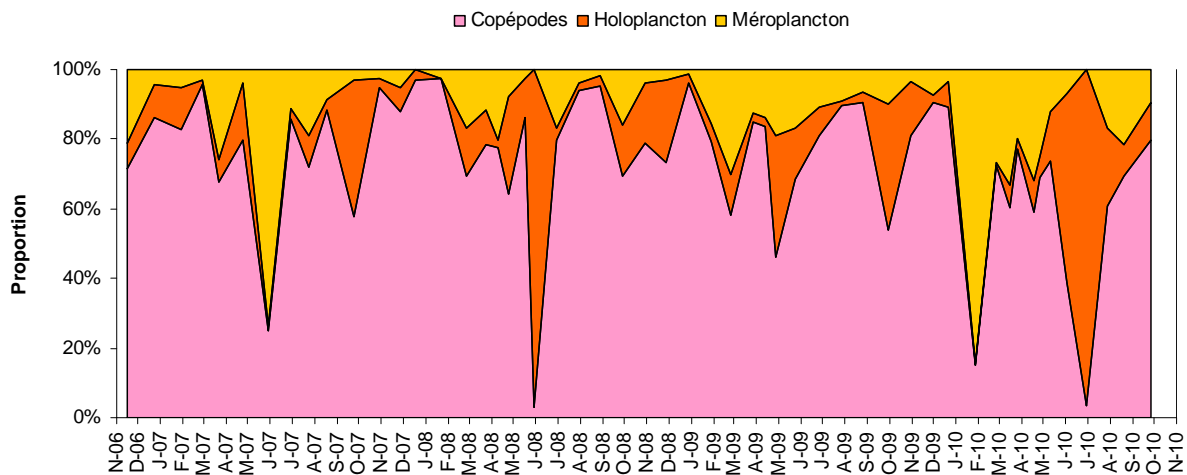


Figure 5.5 : Proportion de copépodes, d'holoplancton et de méroplancton dans le zooplancton total au point prise entre novembre 2006 et octobre 2010

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

est donc de fait plus abondant au printemps, pendant les périodes de reproduction des espèces benthiques (figure 5.5 et tableau 5.1).

Tableau 5.1 : Abondance et dominance des principaux groupes zooplanctoniques au point prise au cours de la période de surveillance 2009-2010

	30/11/2009	21/12/2009	28/01/2010	25/02/2010	16/03/2010	26/03/2010	19/04/2010	26/04/2010	11/05/2010	02/06/2010	29/06/2010	29/07/2010	20/08/2010	27/09/2010
	ind. m ⁻³	ind. m ⁻³	ind. m ⁻³	ind. m ⁻³	ind. m ⁻³	ind. m ⁻³	ind. m ⁻³	ind. m ⁻³	ind. m ⁻³	ind. m ⁻³	ind. m ⁻³	ind. m ⁻³	ind. m ⁻³	ind. m ⁻³
HOLOPLANCTON														
Noctiluques	0	0	0	0	0	0	101	1056	2448	2843	49191	1156	0	212
Cténaires	0	0	0	6	6	30	6	10	0	0	0	0	0	5
Cladocères	0	0	0	0	0	0	15	88	60	4	0	0	0	0
Nauplii (copépodes)	0	0	0	12	172	299	25	132	60	11	0	31	29	36
Copépodes	278	208	267	2514	1663	10420	2765	24773	13516	2118	1799	6595	1903	3809
Ostracodes	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0
Mysidacés	2	1	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Appendiculaires	4	15	9	18	3	30	292	792	40	88	8	1239	207	144
Chaetognathes	0	3	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	14	124
Holoplancton total	284	226	280	2549	1844	10809	3204	26850	16123	5071	50998	9021	2153	4330
MÉROPLANCTON														
Cnidaires	0	0	0	0	0	35	88	40	4	0	0	0	19	0
Annélides	2	8	7	210	200	1135	151	484	119	59	12	72	38	5
Mollusques	9	38	1	0	6	0	277	4620	139	55	12	62	86	21
Bryozoaires	4	16	1	210	200	209	186	1452	40	2	0	83	24	46
Cirripèdes	7	30	0	1485	509	492	776	1716	657	29	55	537	384	119
Isopodes	1	4	1	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0
Amphipodes	0	2	0	0	0	0	5	0	20	22	4	21	0	0
Cumacés	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4	1	10	0	0
Décapodes	0	0	3	3	0	60	10	0	40	22	6	93	24	15
Echinodermes	0	0	0	0	6	0	35	528	1155	51	140	939	19	237
Téléostéens	0	2	0	0	3	0	20	88	40	2	11	0	0	0
Méroplancton total	23	8	1499	930	913	2687	1496	8976	2249	372	77	1817	596	444
Zooplancton total	307	233	1779	3479	2757	13496	4699	35827	18373	5443	51075	10837	2748	4774

5.2.2.1. L'holoplancton

Les copépodes

Les copépodes, qui constituaient le taxon dominant de l'holoplancton, ont montré la même évolution saisonnière que celui-ci (figure 5.6). Les plus faibles abondances de copépodes ont été observées fin 2009 et début janvier 2010 ($< 300 \text{ ind. m}^{-3}$) et les plus fortes abondances en mars-avril et mai 2010 (10 000 à 25 000 ind. m^{-3}). La diminution de l'abondance des copépodites (stade larvaire) faisant suite à la prolifération de *Phaeocystis globosa* confirme bien le peu d'appétence des copépodes pour cette algue (Gasparini *et al.*, 2000¹ ; Nesjgaard *et al.*, 2006²).

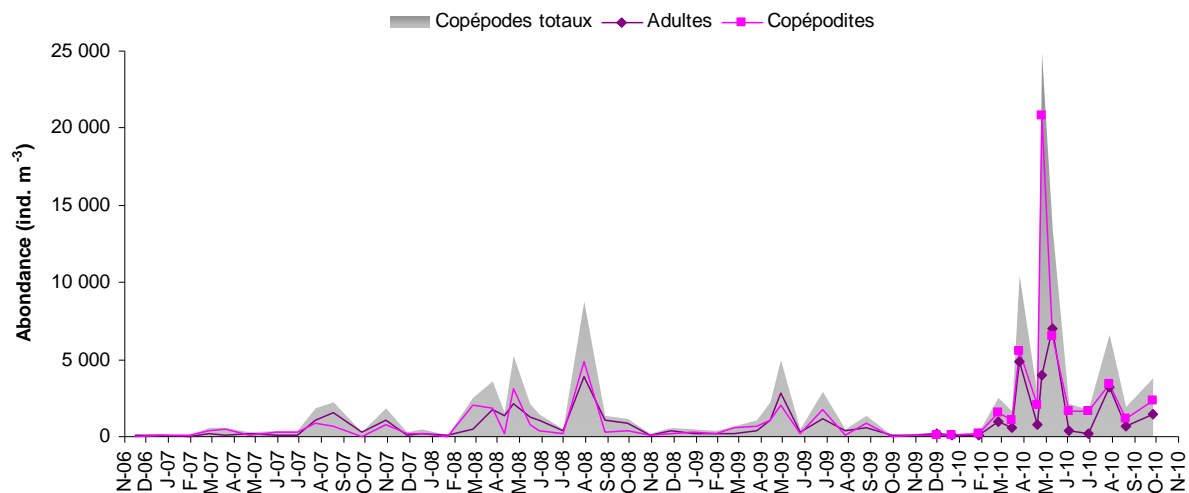


Figure 5.6 : Évolution de l'abondance des copépodes (adultes et copépodites) au point prise entre novembre 2006 et octobre 2010

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

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

L'augmentation de l'abondance observait sur la communauté des copépodes en 2010 par rapport à 2009 a concerné toutes les espèces habituellement observées sur ce site (figures 5.7 et 5.8). Pour *Temora longicornis* et *Centropages hamatus* ces abondances étaient même bien plus importantes que lors des trois dernières années. Ces abondances, ainsi que celles de *Pseudocalanus elongatus*, *Acartia clausi* et *Paracalanus parvus* étaient caractérisées par une forte proportion de jeunes stades copépodites. Ces espèces sont de taille moyenne et correspondent bien à la taille cible des organismes retenus par la maille des filets à plancton (200 à 2 000 μm). Les trois derniers stades copépodites de ces espèces (qui en comptent 5) sont également d'une taille suffisante pour être correctement échantillonnés. La prolifération des colonies de *Phaeocystis globosa* qui provoque un colmatage plus ou moins rapide des filets à plancton peut également permettre aux deux plus jeunes stades, de plus petite taille, d'être retenus ce qui peut expliquer l'abondance des copépodites dans les échantillons.

A la fin de l'été et en automne, des espèces de plus petites tailles apparaissent dans les prélèvements. Il s'agit de diverses espèces de cyclopoïdes le plus souvent des stades copépodites C1 (67 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)¹, a publié cette année une description détaillée de la forme présente sur les sites de Gravelines, de Penly et de Paluel. L'espèce automnale *Euterpina acutifrons* était bien présente mais en faible abondance également. Cette espèce est de plus petite taille que les autres espèces précédemment citées et à un mode de vie étroitement lié aux sédiments. En général seuls les adultes (surtout des femelles) sont collectés dans la colonne d'eau avec les filets à plancton, soit que les copépodites soient trop petits et passent à travers la maille du filet, soit qu'ils vivent trop près du fond pour être collectés.

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

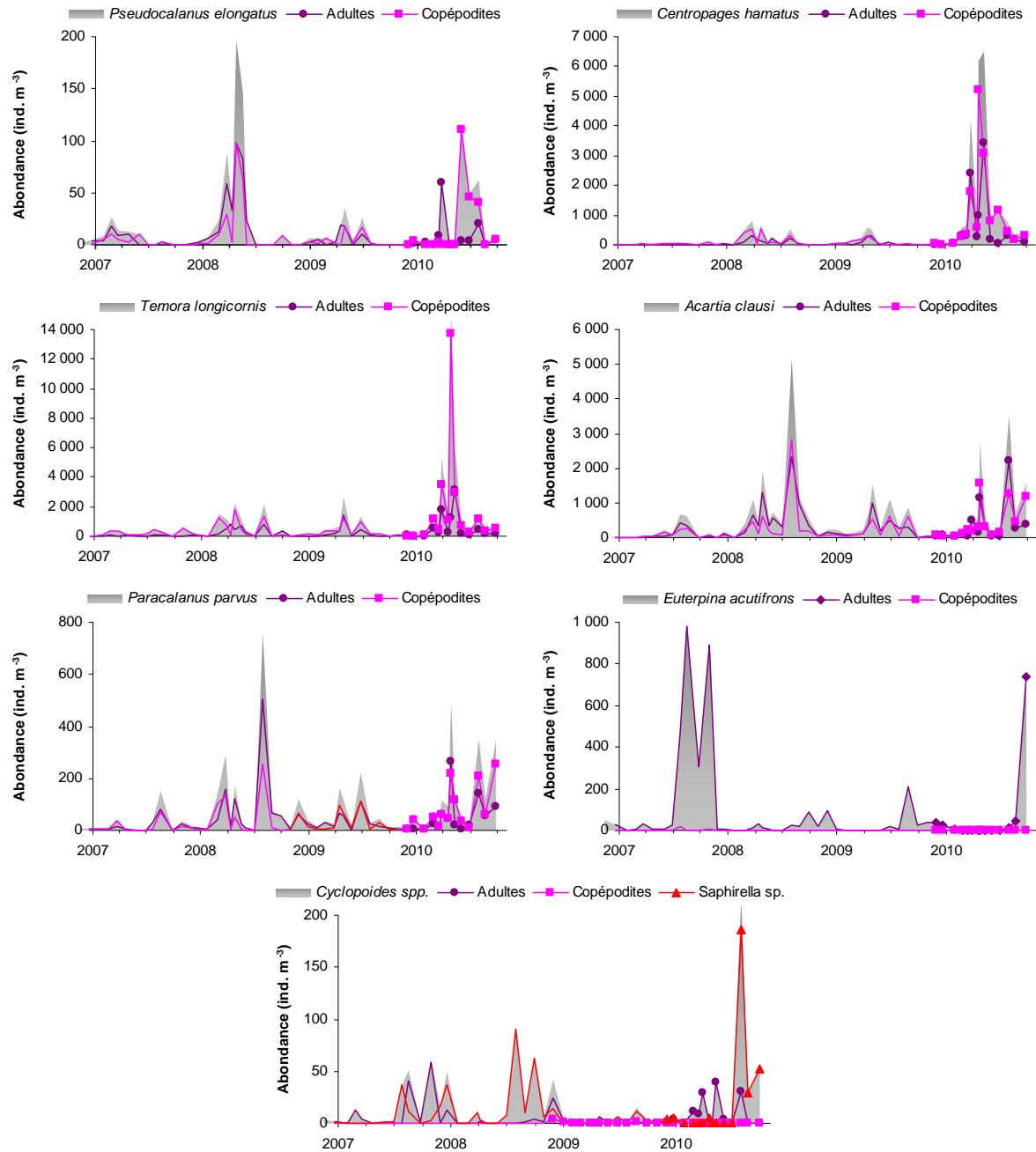


Figure 5.7 : Abondance (adultes et copépodites) des principales espèces de copépodes au point prise entre novembre 2006 et octobre 2010

En 2010, chacune des espèces de copépode observées sur le site de Gravelines respectait sa répartition saisonnière habituelle (figure 5.8).

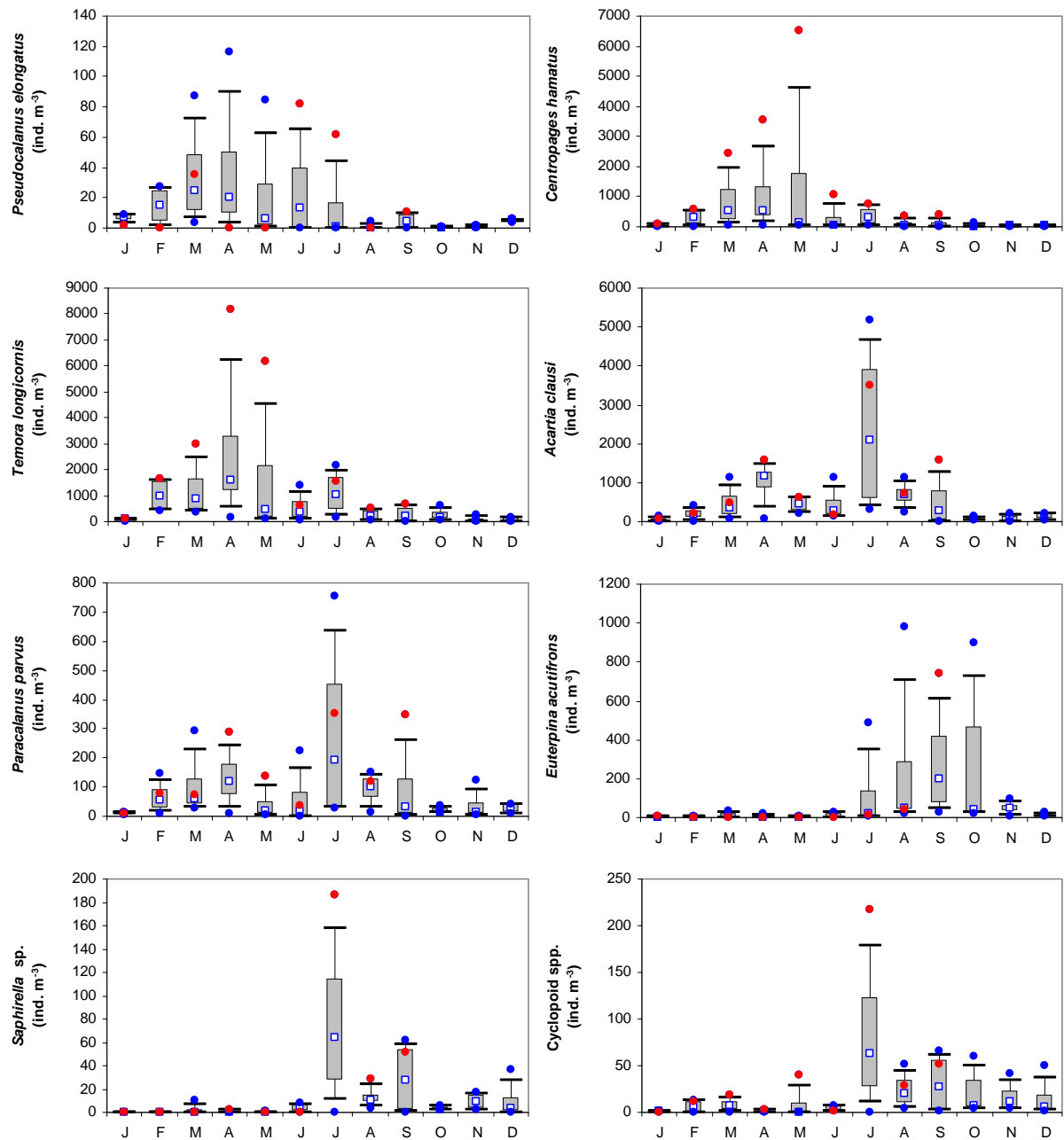


Figure 5.8 : Evolution de l'abondance mensuelle des principales espèces de copépodes au point prise entre novembre 2006 et octobre 2010

(points rouges = données 2010 ; points bleus = données extrêmes depuis 2006 ; carré bleu = médiane)

Les autres espèces holoplanctoniques

En dehors des copépodes d'autres espèces holoplanctoniques ont présenté des abondances parfois importantes en 2010 (figure 5.9) :

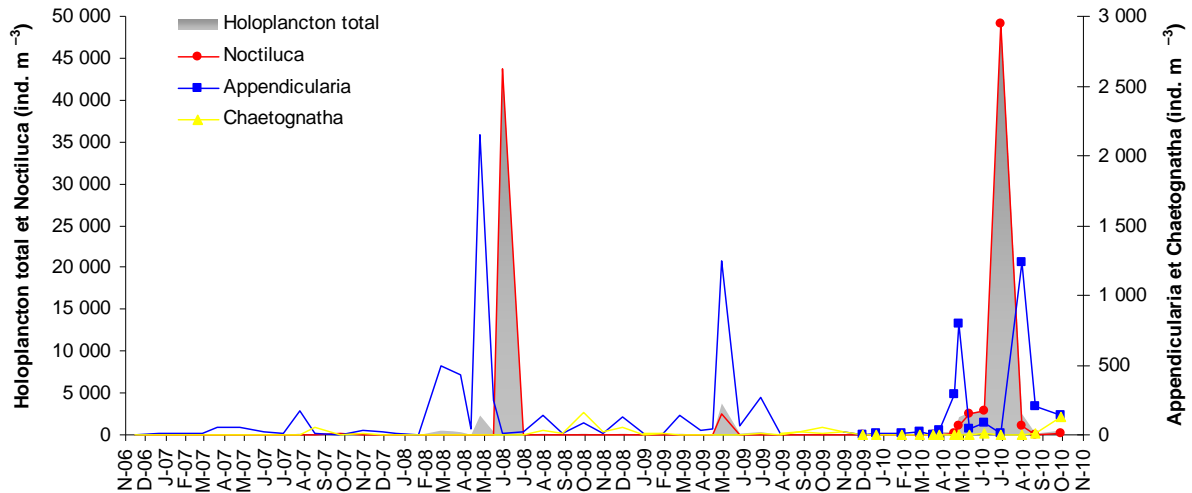


Figure 5.9 : Abondance de certaines espèces holoplanctoniques au point prise entre novembre 2006 et octobre 2010

Les **noctiluques** *Noctiluca scintillans* (dinoflagellés) ont été abondant à partir du mois de mai ($\sim 2\,500 \text{ ind. m}^{-3}$), et ont atteint une abondance exceptionnelle de $49\,191 \text{ ind. m}^{-3}$ à la fin juin, ce qui rappelle les observations faite en 2005 et 2008 ($\sim 43\,000 \text{ ind. m}^{-3}$). Cette prolifération pourrait expliquer en partie la diminution concomitante (i) des copépodes adultes avec qui ils sont en compétition pour l'ingestion du phytoplancton, et (ii) des copépodites dont ils se nourrissent parfois ainsi que des œufs de copépodes, d'où une plus grande mortalité et moins de copépodites (photo 5.1).



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

Les **appendiculaires** (chordés) sont des organismes filtreurs, en partie phytophages. Leurs abondances dépendent des fluctuations du phytoplancton et de la température de l'eau. L'espèce *Oikopleura dioica* est favorisée par des peuplements phytoplanctoniques abondants et des températures tempérées. En 2010, un maximum de $1\,239 \text{ ind. m}^{-3}$ a été observé en juillet ce qui représentait 14 % de l'holoplancton.

Les **chætognathes** du genre *Parasagitta* sont carnivores et se nourrissent principalement aux dépens des stocks de copépodes. Leur population est plus abondante en automne (124 ind. m^{-3} en septembre ; figure 5.9). Les individus récoltés dans nos échantillons sont généralement juvéniles, les rares adultes identifiés appartenaient à l'espèce *Parasagitta setosa*.

Le cténaire *Mnemiopsis leidyi* qui avait été trouvé pour la première fois sur le site de Gravelines en 2009, n'a pas été retrouvé cette année.

5.2.2.2. Le méroplancton

En 2010, la fraction méroplanctonique représentait entre 1 et 80 % du zooplancton total. Contrairement aux deux années précédentes les larves de mollusques et d'échinodermes ont été très abondantes dans les échantillons cette année (figure 5.10). Les larves de **mollusques bivalves** représentaient plus de 50% du méroplancton fin avril (4 620 ind. \cdot m⁻³). Pour les larves d'**échinodermes** deux pics d'abondance ont pu être observés cette année, l'un de larve d'*Asterias rubens* (stade *bipinnaria* ; entre 500 et 1200 ind. \cdot m⁻³ de fin avril à mi-mai), l'autre de larves d'ophiure (stade *ophioluteus* ; 939 ind. \cdot m⁻³ fin juillet).

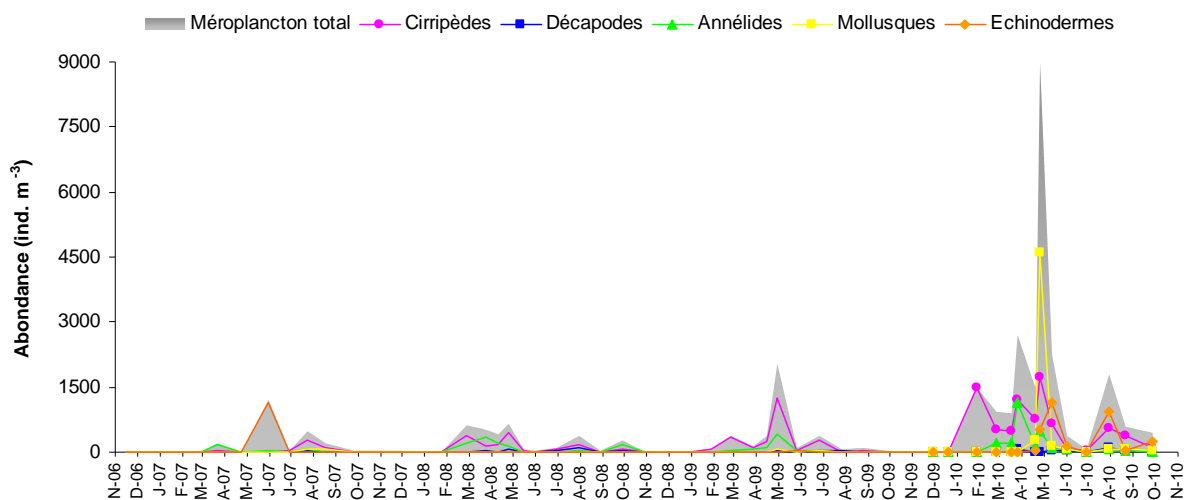


Figure 5.10 : Abondance de certaines espèces méroplanctoniques au point prise entre novembre 2006 et octobre 2010

Les crustacés **cirripèdes** sont des espèces encroûtantes contribuant aux salissures marines. En 2010, leurs stades larvaires planctoniques de balanes (*nauplii* et stades âgés *cypris*) ont été présents en abondance toute l'année (15 à 99 % du méroplancton avec un maximum de 1 485 ind. \cdot m⁻³ en janvier).

Les larves d'**annélides** étaient essentiellement représentées par l'espèce des fonds sablo-vaseux *Lanice conchilega* et par des larves de spionidés, dont *Polydora ciliata*. Cette espèce prolifère en perforant les roches calcaires de l'estran (et les huîtres) tout en amassant un tapis de vase sur le littoral. Le maximum d'abondance a été observé fin mars (1 135 ind. \cdot m⁻³).

5.3. Surveillance du milieu récepteur

La surveillance du milieu récepteur est assurée par deux missions annuelles, l'une printanière, l'autre au début de l'automne. En 2010, les deux missions ont été effectuées respectivement le 2 juin et le 27 septembre. Afin de compléter ce travail nous avons également profité des sorties en mer pour les prélèvements ichtyoplanctoniques (cf. chapitre 6) pour effectuer un prélèvement zooplanctonique supplémentaire au point *large* afin de comparer l'abondance zooplanctonique avec celle du point *prise*. Ces prélèvements supplémentaires ont été réalisés le 19 avril.

5.3.1. Biomasse sestonique

En juin la biomasse sestonique était deux fois plus importante aux points *canal* et *rejet* par rapport aux deux points situés plus au large (figure 5.11). En septembre, la biomasse sestonique au point *rejet* était plus forte qu'aux trois autres points de surveillance.

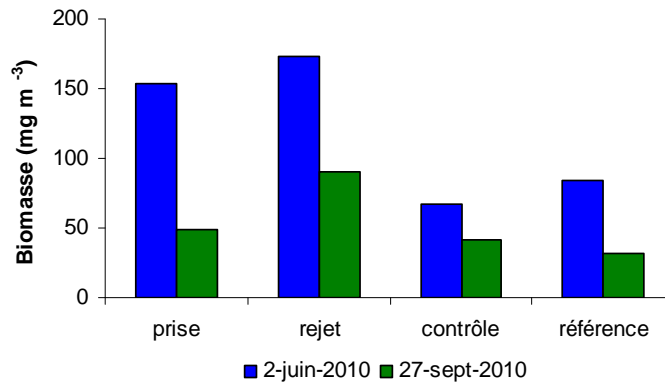


Figure 5.11 : Évolution de la biomasse sestonique au cours des deux missions de surveillance 2010

Comme expliqué plus haut, les rapports C/N > 5 du point *rejet* (figure 5.12) indiquent ici aussi que le seston filtré contenait une fraction importante de débris végétaux et minéraux (sables). Ils ne sont donc pas représentatifs de la variabilité du zooplancton dans la colonne d'eau, mais davantage de la charge particulaire liée aux conditions hydrodynamiques du milieu (courants, remous, faible profondeur d'eau...).

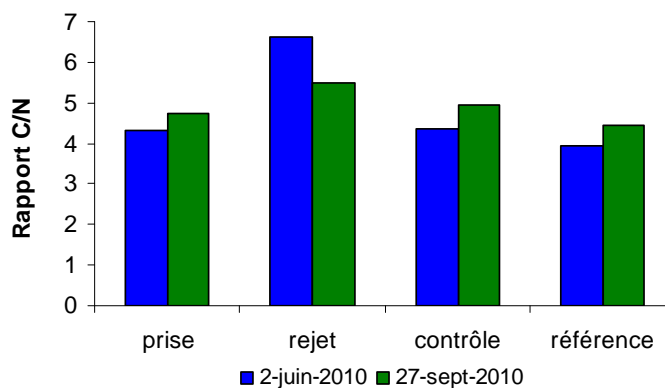


Figure 5.12 : Évolution du rapport C/N du seston au cours des deux missions de surveillance 2010

5.3.2. Abondance et composition du zooplancton

La mission de début juin coïncidait avec le démarrage de la prolifération des noctiluques (1 500 à 4 000 ind. \cdot m⁻³, soit 25 à 55 % de l'holoplancton ; figure 5.13). Comme souvent les noctiluques sont plus abondants à la côte où ils s'accumulent, poussés par les vents et formant le phénomène connue sous le nom de « marée rouge » (ce qui fut le cas cette année comme en 2008). L'abondance des noctiluques était donc logiquement plus faible au point *référence* (104 ind. \cdot m⁻³). L'abondance des copépodes était à contrario croissante de la côte vers le large où la pression de compétition et/ou prédation par les noctiluques était moindre.

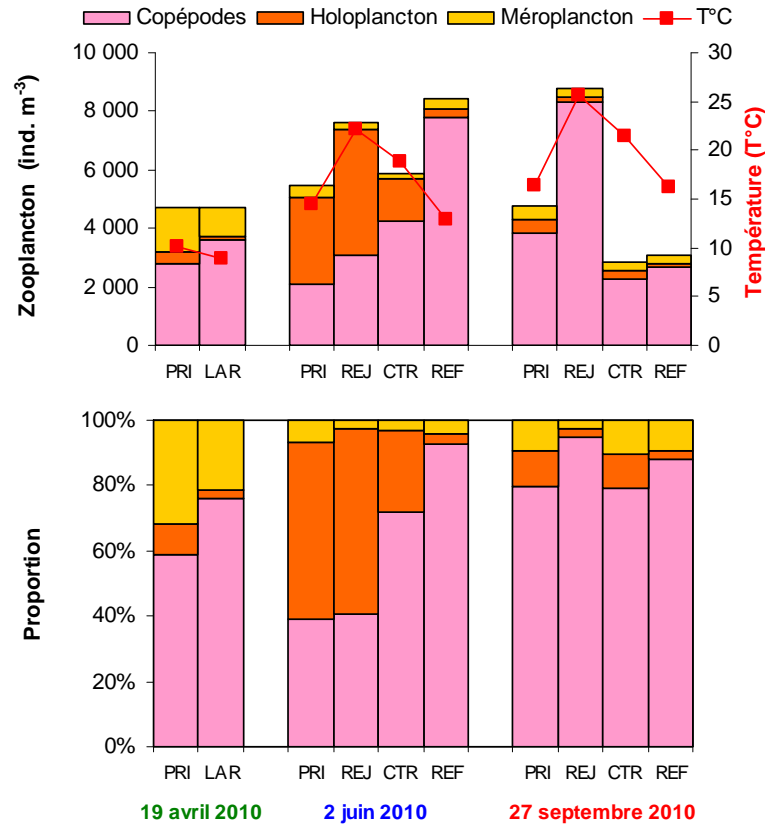


Figure 5.12 : Abondance et proportion des copépodes, de l'holoplancton et du méroplancton au cours des trois missions de surveillance 2010

En septembre, l'abondance zooplanctonique maximale était de $8\,752 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-3}$ au point *rejet* et les plus faibles aux points *contrôle* et *référence* ($3\,000 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-3}$). Les proportions entre copépodes, autres holoplancton et méroplancton étaient toutefois du même ordre.

Lors de la mission du mois d'avril les abondances zooplanctonique étaient les mêmes au point *prise* et au large. La proportion de larves méroplanctoniques de cirripède (larves de balanes) était toutefois plus importante à la côte, d'où elles sont émises, qu'au point *large*.

5.3.2.1. L'holoplancton

Les copépodes

La proportion entre les copépodes adultes et les copépodites était assez similaire entre les points de prélèvement lors des missions de juin et septembre 2010 (figure 5.13). En avril cependant le point *large* présentait un peu moins de copépodites que le point *prise* (20 % de moins). Les trois espèces dominantes étaient toutefois les mêmes, à savoir, *Temora longicornis*, *Centropages hamatus* et *Acartia clausi*.

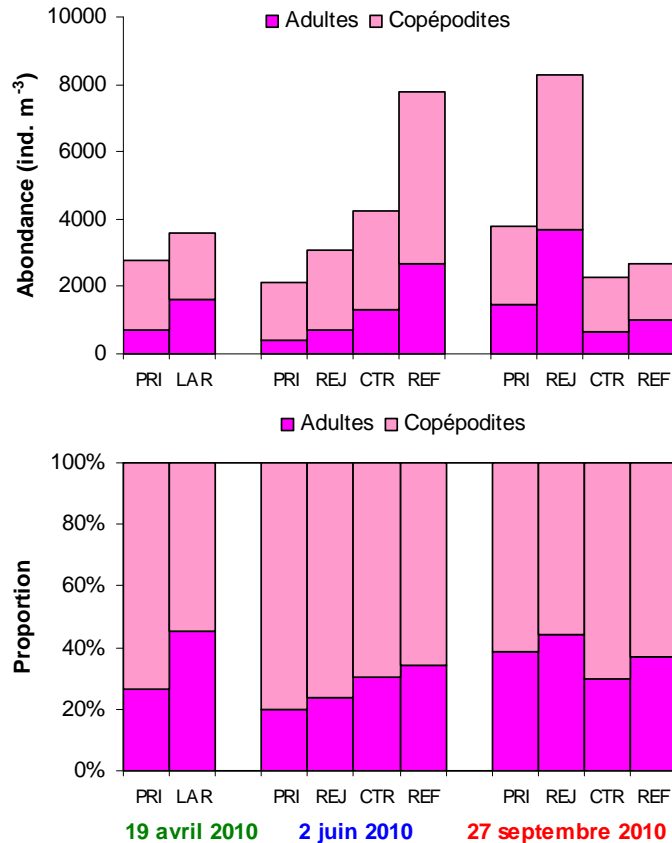


Figure 5.13 : Abondance et proportion entre copépodes adultes et copépodites au cours des trois missions de 2010

Les autres espèces holoplanctoniques

L'abondance des appendiculaires était plus faible en juin au point *contrôle* et en septembre au point *référence*. En avril l'abondance des appendiculaires était également 5 fois plus faible au large qu'à la côte.

Les chaetognathes présents lors de la campagne de septembre étaient 3 fois plus abondants au point *canal*, leur faible abondance au point *contrôle* reste inexplicée.

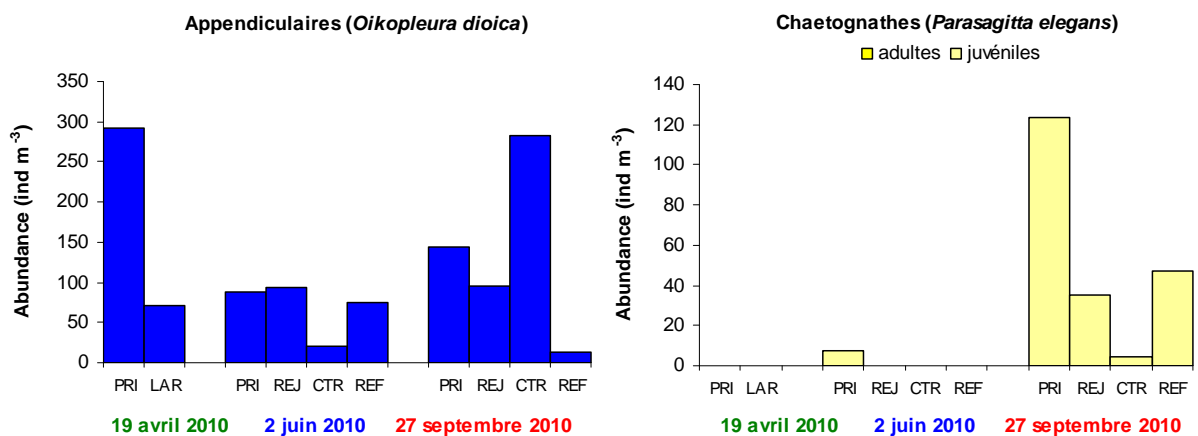


Figure 5.14 : Abondance des appendiculaires et des chaetognathes au cours des deux missions de 2010

Le Méroplancton

Le méroplancton étant présent surtout au début du printemps (mars-avril), les variations d'abondance lors des deux sorties en mer annuelles ne peuvent s'étudier que sur quelques groupes (figure 5.15).

Au mois de juin l'abondance des larves d'échinoderme était similaire aux points *prise* et *référence* mais plus faible dans le rejet et au point *contrôle*. En septembre l'abondance des larves d'échinoderme au point *rejet* était nulle, comme l'année passée, alors qu'elles étaient assez abondantes aux trois autres points ($> 200 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-3}$), ce qui indiquerait une moindre résistance de ces organismes au passage dans la centrale.

Comme expliqué plus haut les larves de balanes (cirripèdes) sont souvent plus abondantes près des côtes sur les points de faible profondeur qu'aux points du large, de même pour les larves d'annélides polychètes.

Les larves de décapodes au point *contrôle* en juin et septembre étaient un peu moins abondantes qu'au trois autres points.

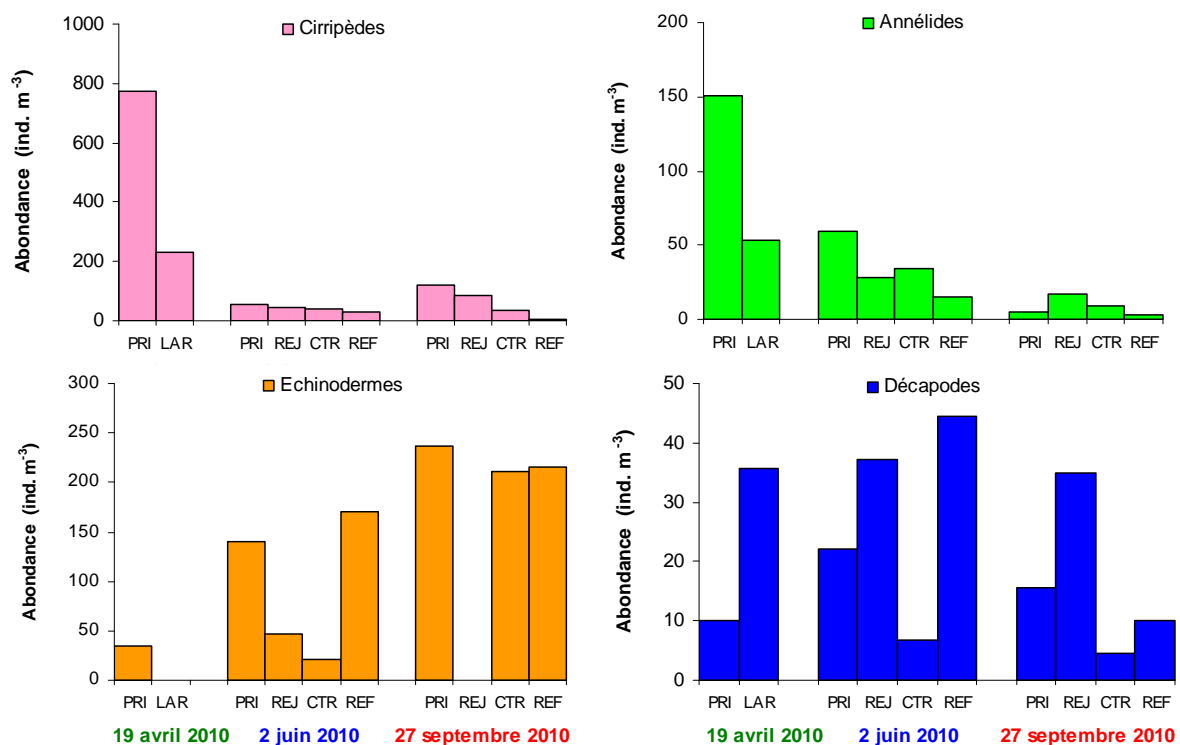


Figure 5.15 : Abondance des principaux groupes méroplanctoniques au cours des deux missions de 2010

5.4. Éléments de conclusion

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

L'augmentation de la biomasse sestonique, ainsi que de l'abondance zooplanctonique depuis 2008 peut s'expliquer par le changement de filet à plancton utilisé pour les prélèvements réguliers au point *prise*. Le petit filet utilisé auparavant a été remplacé par un filet WP2 dont la forme cylindro-conique et les dimensions permettent d'éviter les phénomènes de colmatage et de reflux notamment

en période de prolifération algale. Ce changement nous permet également de comparer les prélèvements à la côte avec ceux du large lors des deux missions annuelles en mer sans risque de biais lié à la méthode de collecte. En 2010 la biomasse sestonique mesurée sur l'année présentait des valeurs très importantes d'avril à mai, signe d'une production algale (*Phaeocystis globosa*) et zooplanctonique importante.

L'abondance zooplanctonique était caractérisée par les organismes holoplanctoniques (> 70 %) essentiellement des copépodes à l'exception du mois de juin où une prolifération exceptionnelle du dinoflagellé hétérotrophe, *Noctiluca scintillans*, représentait 96 % du zooplancton global. Cela a conduit à l'observation d'un phénomène d'eau rouge dans le port ouest de Dunkerque et autour de la centrale de Gravelines, qui était cependant moins spectaculaire qu'en 2004 (plus de 100 000 ind. \cdot m⁻³). Au cours de cette période de surveillance, les copépodes ont été plus abondants que lors des trois dernières années, notamment les deux espèces printanières *Centropage hamatus* et *Temora longicornis*. La succession des espèces de copépodes au cours de l'année 2010 était conforme à celle des années précédentes. L'abondance des stades larvaires (copépodites) au début du printemps semble indiquer que les adultes ont su mettre à profit la poussée phytoplanctonique printanière des diatomées, alors que la prolifération de *Phaeocystis globosa* suivi de celle des noctiluques semble plutôt néfaste aux copépodites comme aux adultes moins abondants au mois de juin. Les larves méroplanctoniques étaient cette année caractérisées par des abondances très importantes de larve de bivalves fin avril, de larves de l'étoile de mer *Asterias rubens* en mai et de larves d'ophiure en juillet. Le suivi mensuel au point *prise* n'a pas permis de déceler une évolution anormale de l'abondance et de la succession saisonnière des espèces qui proviendrait du fonctionnement de la centrale.

L'impact du fonctionnement de la centrale sur le compartiment zooplanctonique, s'il existe, reste difficile à estimer comme le montre le fait que certains groupes soient plus abondants au point *rejet* qu'au point *prise* (copépodes, larves de décapodes). Pour certains groupes toutefois l'impact de la centrale semble réel, comme pour les larves d'ophiure (échinodermes) absentes au point *rejet* lors de la campagne de septembre. Toutefois dans ce cas l'impact reste très localisé puisque les points *prise*, *contrôle* et *référence* présentaient des abondances fortes et de même importance. Les différences d'abondance observées entre les points côtiers et plus au large, comme lors de la mission du mois d'avril, montrent la difficulté d'évaluer si les différences observées sont dues à la variabilité naturelle du système ou à un effet direct de la centrale.

6. ICHTYOPLANCTON ET LARVES DE CREVETTE GRISE

Auteur : Christophe Loots (RH – BL)

Collaborateurs : Elvire Antajan, Wilfried Louis, Didier Le Roy

6.1. Introduction

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

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

Le sprat, bien que n'étant pas exploité à Gravelines, est une espèce très représentative des peuplements du secteur et régulièrement présente dans le plancton. L'abondance de ses phases œufs et larves, jointe à la reproductibilité des cycles d'abondance en fait également une espèce caractéristique du site. En effet, bien que pélagique et migrateur, le sprat forme des populations relativement inféodées à un secteur donné. Celles-ci s'égrènent le long des côtes du sud de la mer du Nord, essentiellement les côtes belges et hollandaises.

L'étude de **la crevette grise** avait cessé en 1989, au moment de la dernière réactualisation du programme de surveillance qui avait conduit à l'abandon des campagnes de suivi des phases benthiques de poissons plats sur le site, auxquelles la crevette était associée sur le plan méthodologique. Les présomptions de raréfaction de l'espèce font à nouveau croître depuis quelques années l'intérêt pour la crevette grise. L'échantillonnage a repris en 2001. Le substrat sablo-vaseux du site de Gravelines lui est particulièrement favorable et les densités de zoés y étaient nettement supérieures à celles relevées sur d'autres sites de Manche, comme Penly, Paluel ou Flamanville. La période de reproduction de la crevette grise est très étendue et ses zoés sont a priori présentes tout au long de l'année.

La présente étude est donc focalisée sur les stades méroplanctoniques (plancton temporaire) pour ces trois espèces, les œufs et larves de sole et de sprat et les zoés et mégaloopes 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 : 61 cm ; maille de 500 µm ; Smith et Richardson, 1977)¹ dont les pêches ont été mélangées.

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

Pour le point *prise*, les prélèvements ont été effectués à l'aide d'un filet bongo muni d'un filet cylindro-conique (diamètre d'ouverture: 61 cm ; maille de 500 μ m).

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

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

avec NTrs le nombre de tours de volucompteur, α le coefficient de conversion du volucompteur (ici $\alpha=0.3$) et S la surface d'ouverture du filet (ici $S=0,29224666$).

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

6.2.3. Campagnes d'échantillonnage

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

En 2010, les campagnes se sont déroulées entre le 26 Mars et le 11 Mai (tableau 6.1) pour tenir compte comme les années précédentes de l'évolution des périodes de ponte, plus précoces depuis quelques années (décalage d'une quinzaine de jours à un mois environ).

Pour la campagne du 11 mai, le point large n'a pu être échantillonné à cause des mauvaises conditions météorologiques. Pour le point prise de la campagne du 11 mai, les volucompteurs n'ont pas été relevés. Par conséquent, les volumes filtrés pour ce point ont été calculés pour chaque répliquat comme la moyenne des volumes filtrés au point prise lors des campagnes précédentes et de la campagne suivante.

Tableau 6.1. Caractéristiques des campagnes d'échantillonnage de l'ichtyoplancton et des larves de crevette grise sur le site de Gravelines en 2010

N° de campagne	Date	Point	Réplicats	Heure du prélèvement	Température surface (°C)	Salinité	Durée du trait (min)	Volume filtré (m ³)
245	26-mars	Prise	1	8h35	6,9	32,2	3	13,20
			2	8h45	6,9	32,2	3	42,70
246	19-avr	Prise	1	14h20	10,2	33,7	5	34,40
			2	14h35	10,2	33,7	5	55,40
		Côte	1	16h06	10,1	34,0	1	51,90
			2	16h28	10,1	34,0	1	51,70
		Contrôle	1	16h41	9,8	34,1	1	75,90
			2	16h55	9,8	34,1	1	59,60
		Large	1	17h15	8,9	34,3	1	80,20
			2	17h25	8,9	34,3	1	62,80
247	26-avr	Prise	1		10,5	34,4		27,97
			2		10,5	34,4		46,63
248	11-mai	Prise	1	10h00	10,6	32,7	3	36,30
			2		10,6	32,7	3	41,80
		Côte	1	11h40	11,0	32,9	3	46,60
			2	11h58	11,0	32,9	3	46,20
		Contrôle	1	12h18	10,6	33,0	3	62,00
			2		10,6	33,0	3	67,90

6.2.4. Conservation, identification et dénombrement

Les échantillons collectés ont été conservés dans des flacons de 2 litres pré-remplis d'une sauce de conservation Battaglia (Mastail et Battaglia, 1978 ; Lelièvre *et al.*, 2010)^{1,2} contenant du formol concentré à 0.9%.

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

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

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

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

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

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

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

6.3. Résultats- Discussion

6.3.1. La sole (*S. solea*)

Les abondances des œufs et des larves de sole pour l'année 2010 sont présentées dans le tableau 6.2.

Tableau 6.2. Abondances (ind.m⁻³) des œufs (NE, Non Embryonnés ; E, Embryonnés) et des larves de sole à Gravelines en 2010

Date	Point	Réplicats	Total œufs	Œufs NE	Œufs E	Larves
26-mars	Prise	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		Moyenne	0,00	0,00	0,00	0,00
19-avr	Prise	1	0,87	0,47	0,41	0,00
		2	0,60	0,29	0,31	0,00
		Moyenne	0,73	0,38	0,36	0,00
	Côte	1	2,39	1,39	1,00	0,00
		2	1,91	0,68	1,24	0,00
		Moyenne	2,15	1,03	1,12	0,00
	Contrôle	1	2,57	1,53	1,04	0,00
		2	2,70	1,34	1,36	0,00
		Moyenne	2,64	1,44	1,20	0,00
	Large	1	1,13	0,56	0,57	0,00
		2	1,45	0,68	0,76	0,00
		Moyenne	1,29	0,62	0,67	0,00
26-avr	Prise	1	0,50	0,21	0,29	0,00
		2	0,28	0,19	0,09	0,00
		Moyenne	0,39	0,20	0,19	0,00
11-mai	Prise	1	1,29	0,08	1,21	0,11
		2	1,29	0,14	1,15	0,07
		Moyenne	1,29	0,11	1,18	0,09
	Côte	1	4,48	1,24	3,23	0,06
		2	4,05	1,08	2,97	0,09
		Moyenne	4,27	1,16	3,10	0,08
	Contrôle	1	3,82	1,19	2,62	0,08
		2	3,96	1,31	2,65	0,07
		Moyenne	3,89	1,25	2,64	0,08

6.3.1.1. Les œufs

Les abondances totales d'œufs au point prise depuis 2006 sont présentées en figure 6.1. Pour 2010, on note des abondances inférieures aux années précédentes et un maximum d'abondance (1,29 ind.m⁻³) observé lors de la dernière campagne du 11 mai. Ceci peut suggérer que, contrairement aux années précédentes, la période du pic de ponte n'a pas été entièrement couverte par les campagnes en 2010, laissant supposer que la ponte a été plus tardive cette année.

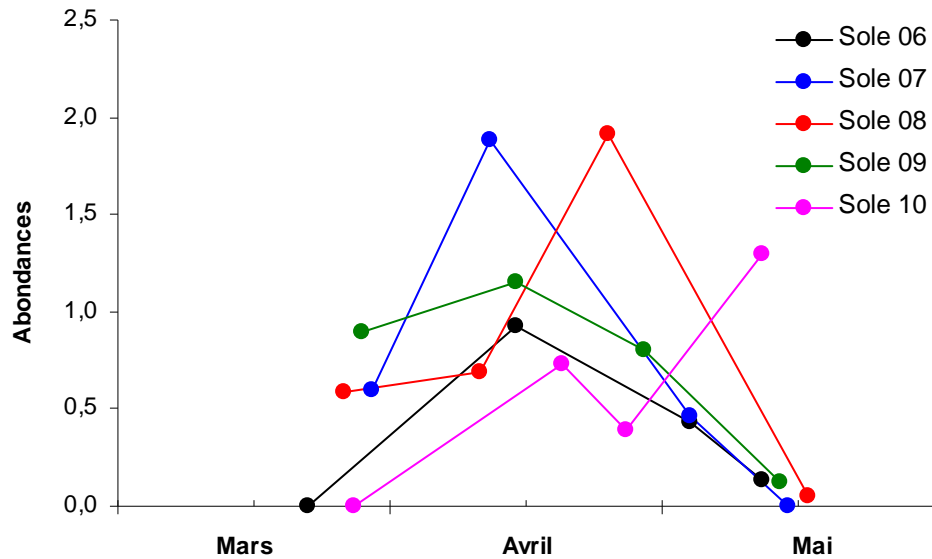


Figure 6.1 Abondances totales (moyennes sur les deux réplicats en ind.m^{-3}) des œufs de sole au point prise de Gravelines depuis 2006

Les abondances totales d'œuf de sole pour les quatre campagnes sont présentées sur la figure 6.2. Aucun œuf de sole n'a été enregistré au point prise échantillonné lors de la campagne du 26 mars. Lors des campagnes suivantes, les abondances moyennes augmentent (sauf pour le point prise du 26 avril) avec les valeurs les plus fortes observées au point contrôle ($2,64 \text{ ind.m}^{-3}$) pour la campagne du 19 avril et au point côte ($4,27 \text{ ind.m}^{-3}$) pour la campagne du 11 mai. De nouveau, ceci suggère que la période du pic de ponte n'a pas été entièrement couverte pour 2010.

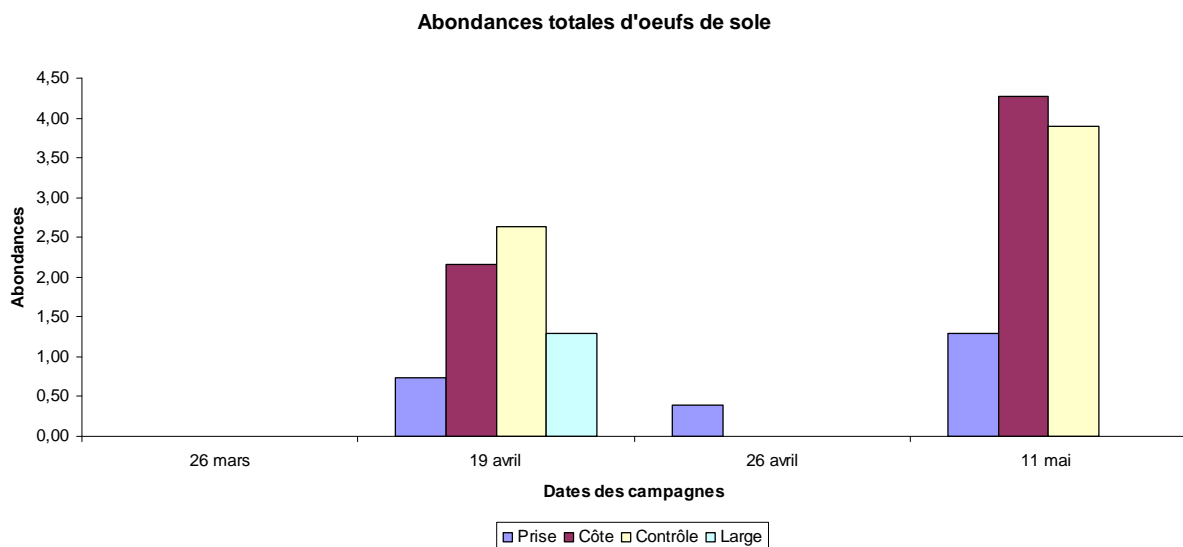


Figure 6.2. Abondances totales des œufs de sole (moyennes sur les deux réplicats en ind.m^{-3}) à Gravelines en 2010 en fonction de la date et du point de prélèvement

Les proportions d'œufs embryonnés (figure 6.3) montrent une nette augmentation entre la campagne du 19 avril, où les proportions sont similaires entre les différents points d'échantillonnage (environ 50% de l'abondance totale) et la campagne du 11 mai où on constate une décroissance depuis le point *prise* (91,25%) jusqu'au point *contrôle* (67,82%).

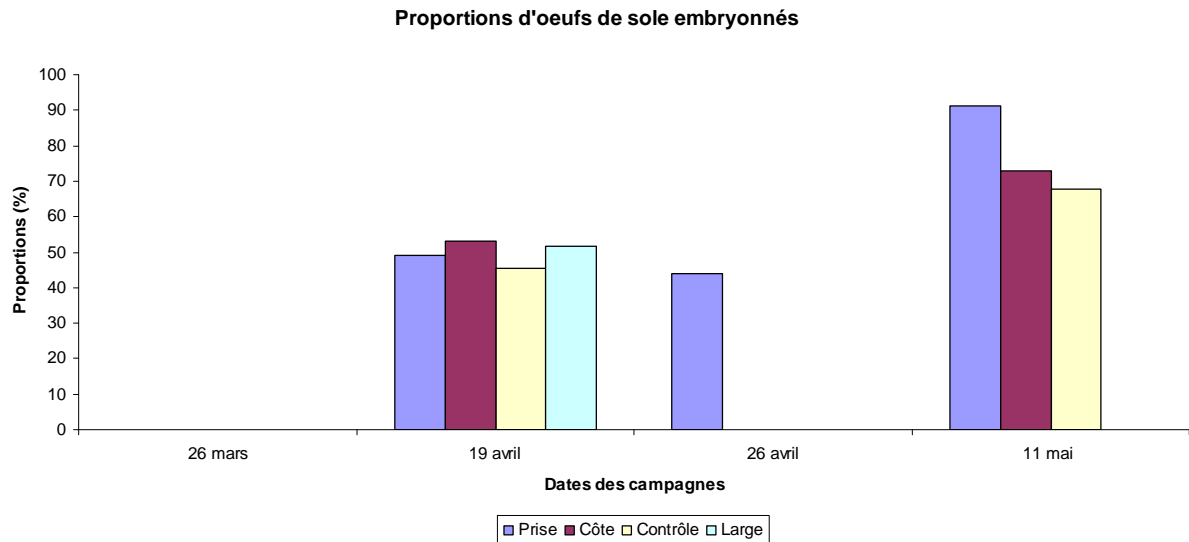


Figure 6.3. Proportions (%) d'œufs de sole embryonnés (moyenne sur les deux réplicats) à Gravelines en 2010 en fonction de la date et du point de prélèvement

6.3.1.2. Les larves

Les abondances de larves de sole au point *prise* depuis 2006 sont présentées en figure 6.4. On note des valeurs bien inférieures aux années précédentes sauf pour la campagne du mois de mai où l'abondance observée est supérieure aux autres années mais reste cependant très faible ($< 0.1 \text{ ind.m}^{-3}$).

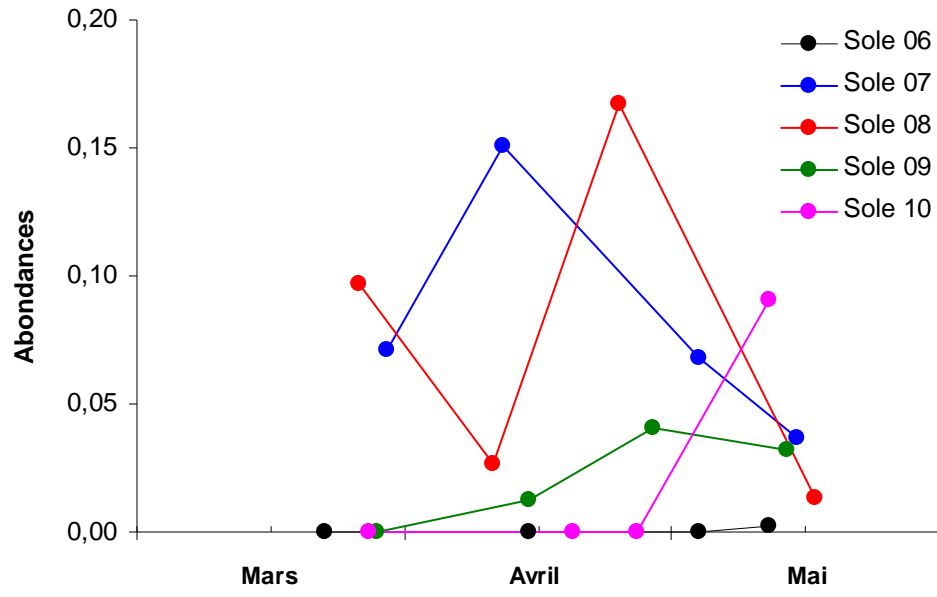


Figure 6.4 Abondances totales (moyennes sur les deux réplicats en ind.m-3) des larves de sole au point prise de Gravelines depuis 2006

Les abondances des larves de sole pour les quatre campagnes sont présentées en figure 6.5. Aucune larve de sole n'a été enregistrée lors des trois premières campagnes. Pour la campagne du 11 mai, des abondances similaires variant entre 0,08 et 0,09 ind.m⁻³ ont été observées pour les trois points échantillonnés.



Figure 6.5. Abondances des larves de sole (moyennes sur les deux réplicats en ind.m-3) à Gravelines en 2010 en fonction de la date et du point de prélèvement

6.3.2. Le sprat (*S. sprattus*)

Les résultats des comptages des œufs et larves de sprat pour l'année 2010 sont présentés dans le tableau 6.3.

Tableau 6.3. Abondances (ind.m-3) des œufs (NE, Non Embryonnés ; E, Embryonnés) et des larves de sprat à Gravelines en 2010

Date	Point	Réplicats	Total œufs	Œufs NE	Œufs E	Larves
26-mars	Prise	1	0,08	0,00	0,08	0,00
		2	0,12	0,00	0,12	0,00
		Moyenne	0,10	0,00	0,10	0,00
19-avr	Prise	1	3,72	2,62	1,10	0,00
		2	3,09	2,02	1,06	0,00
		Moyenne	3,40	2,32	1,08	0,00
	Côte	1	4,37	2,06	2,31	0,00
		2	4,47	2,50	1,97	0,00
		Moyenne	4,42	2,28	2,14	0,00
	Contrôle	1	4,52	2,66	1,86	0,00
		2	6,24	3,49	2,75	0,00
		Moyenne	5,38	3,08	2,31	0,00
	Large	1	2,01	1,00	1,01	0,00
		2	2,52	1,42	1,10	0,00
		Moyenne	2,26	1,21	1,05	0,00
26-avr	Prise	1	4,58	4,04	0,54	0,00
		2	3,07	2,81	0,26	0,00
		Moyenne	3,82	3,42	0,40	0,00
11-mai	Prise	1	6,15	5,25	0,91	0,00
		2	5,72	4,78	0,93	0,00
		Moyenne	5,94	5,01	0,92	0,00
	Côte	1	6,85	5,79	1,05	0,00
		2	10,06	9,09	0,97	0,00
		Moyenne	8,46	7,44	1,01	0,00
	Contrôle	1	1,39	0,69	0,69	0,00
		2	1,10	0,43	0,68	0,00
		Moyenne	1,25	0,56	0,69	0,00

6.3.2.1. Les oeufs

Les abondances totales d'œufs de sprat au point *prise* depuis 2006 sont présentées en figure 6.6. Pour 2010, les valeurs observées sont supérieures à celles de 2006-2008 mais inférieures à celles de 2009 sauf pour la dernière campagne du mois de mai.

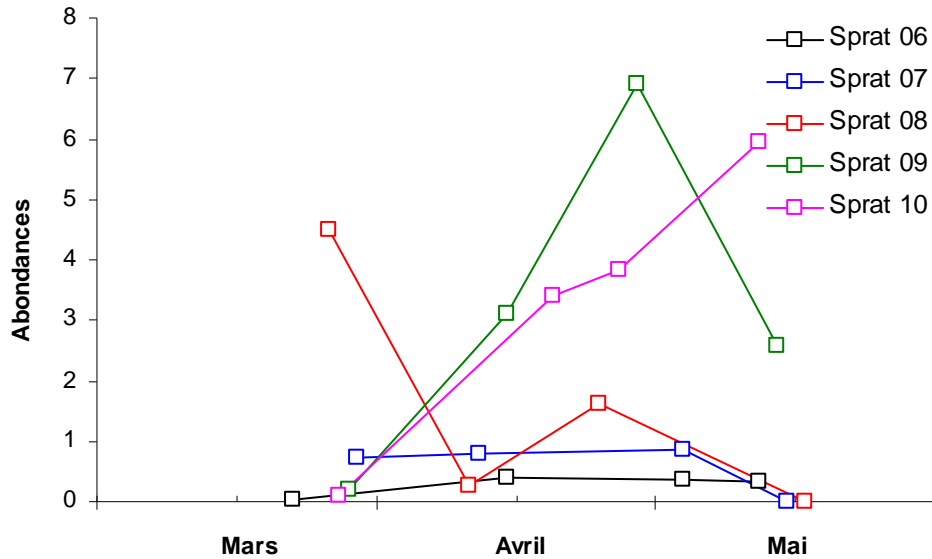


Figure 6.6 Abondances (moyennes sur les deux réplicats en ind.m-3) des œufs de sprat au point prise de Gravelines depuis 2006

Les abondances totales d'œufs de sprat pour les quatre campagnes sont présentées en figure 6.7. Les abondances des œufs de sprat montrent une augmentation entre les campagnes d'échantillonnage, et notamment au point *prise* où les abondances passent de 0,10 ind.m⁻³ à 5,94 ind.m⁻³. Le maximum d'abondance est observé au point *contrôle* (5,38 ind.m⁻³) lors de la campagne du 19 avril et au point *côte* (8,46 ind.m⁻³) lors de la campagne du 11 mai.

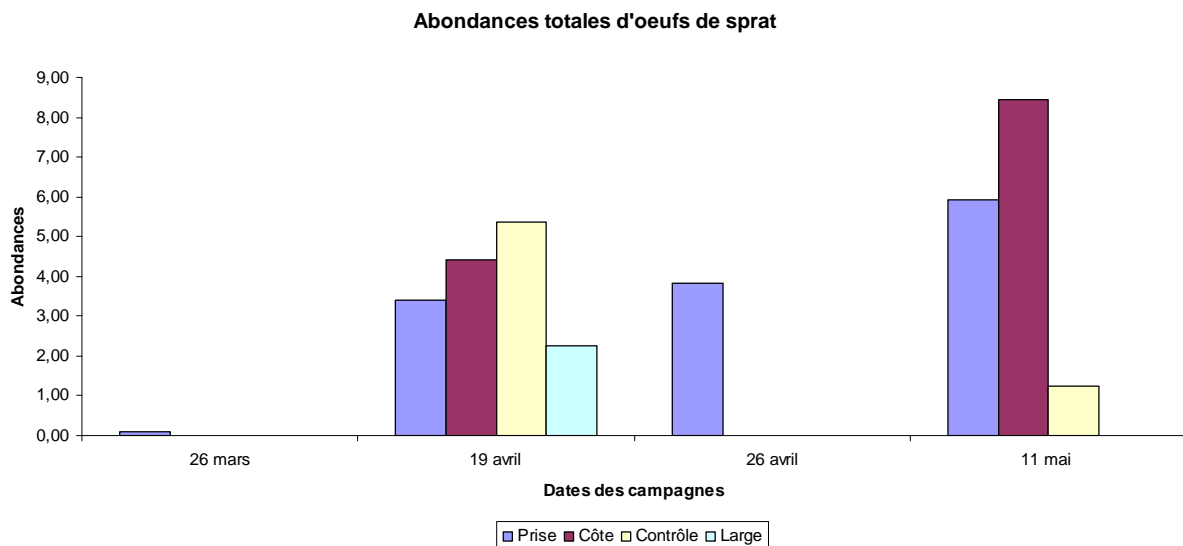


Figure 6.7. Abondances totales des œufs de sprat (moyennes sur les deux réplicats en ind.m-3) à Gravelines en 2010 en fonction de la date et du point de prélèvement

Les proportions d'œufs de sprat embryonnés (figure 6.8) montrent des pourcentages similaires (environ 50%) entre les points échantillonnés lors de la campagne du 19 avril et des proportions plus faibles lors de la campagne du 11 mai, notamment aux points *prise* (15,54%) et *côte* (12,52%), alors que les abondances étaient les plus fortes à ces deux points pour cette date.

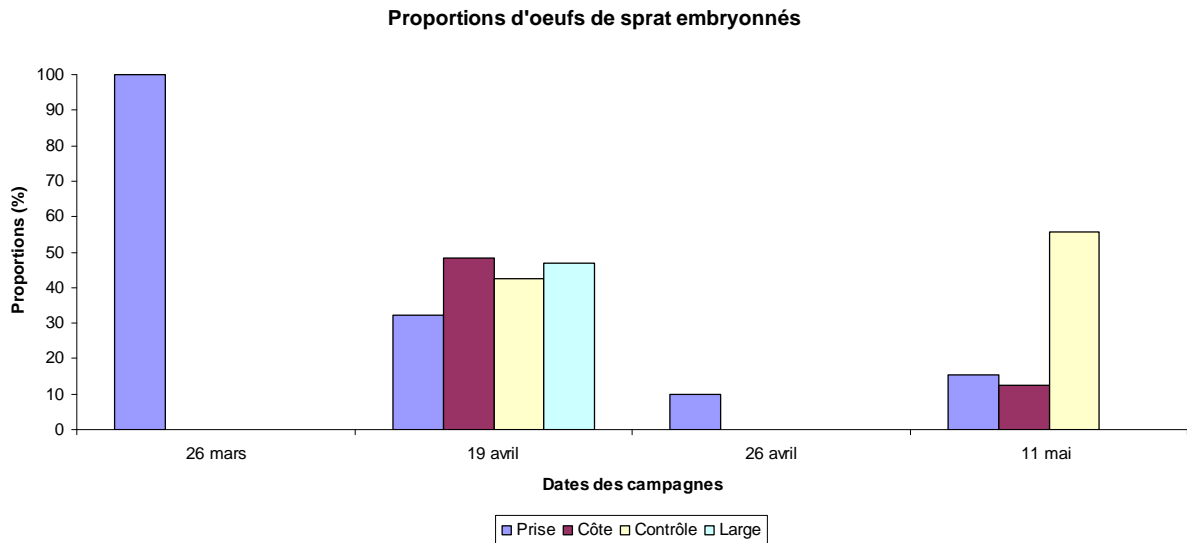


Figure 6.8. Proportions (%) d'oeufs de sprat embryonnés (moyenne sur les deux réplicats) à Gravelines en 2010 en fonction de la date et du point de prélèvement

6.3.2.2. Les larves

Aucune larve de sprat n'a été enregistrée sur le site de Gravelines en 2010 lors des quatre campagnes réalisées. Ceci tend à confirmer la décroissance des abondances de larves de sprat observée depuis 2007 (figure 6.9).

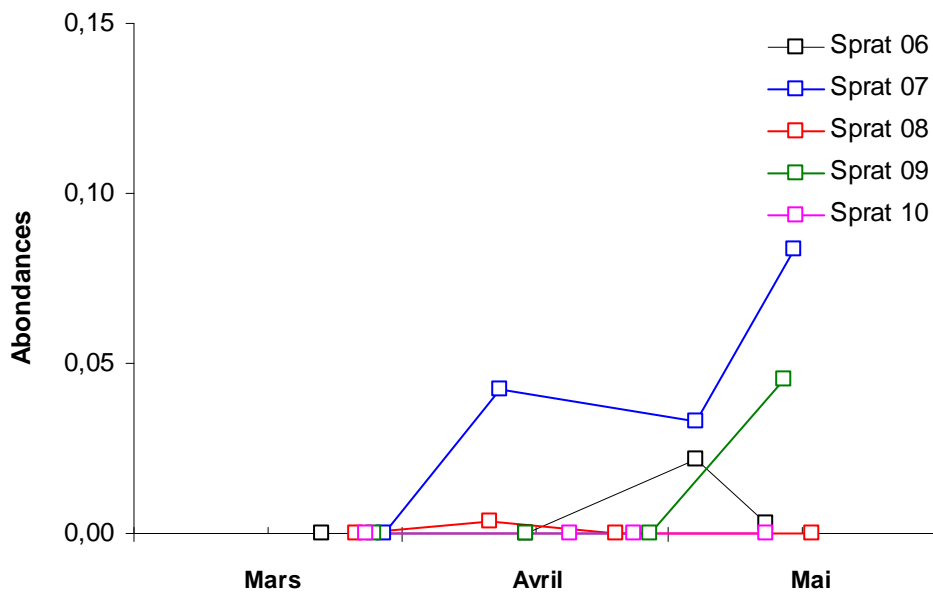


Figure 6.9 Abondances (moyennes sur les deux réplicats en ind.m-3) des larves de sprat au point prise de Gravelines depuis 2006

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

Les abondances de zoés et mégalopes de crevette grise sont présentées dans le tableau 6.4.

Tableau 6.4. Abondances (ind.m⁻³) de zoés et mégalopes de crevette grise à Gravelines en 2010

Date	Point	Réplicats	Zoés	Mégalopes
26-mars	Prise	1	0,61	0,00
		2	0,80	0,00
		Moyenne	0,70	0,00
19-avr	Prise	1	0,38	0,06
		2	0,22	0,07
		Moyenne	0,30	0,07
	Côte	1	0,37	0,27
		2	0,44	0,19
		Moyenne	0,41	0,23
	Contrôle	1	0,83	0,11
		2	1,01	0,05
		Moyenne	0,92	0,08
	Large	1	1,85	0,00
		2	2,61	0,00
		Moyenne	2,23	0,00
26-avr	Prise	1	0,29	0,00
		2	0,47	0,04
		Moyenne	0,38	0,02
11-mai	Prise	1	4,72	0,30
		2	2,85	0,41
		Moyenne	3,78	0,35
	Côte	1	13,82	1,70
		2	9,44	1,93
		Moyenne	11,63	1,81
	Contrôle	1	5,33	0,39
		2	18,62	0,81
		Moyenne	11,97	0,60

6.3.3.1. Les zoés

Les abondances de zoés pour le point *prise* depuis 2006 sont présentées en figure 6.10. Pour 2010, les abondances observées se situent dans la moyenne des quatre années précédentes et sont supérieures à celles enregistrées en 2009. Pour la campagne de mai, l'abondance observée est largement supérieure à celles des autres années avec 3,78 ind.m⁻³.

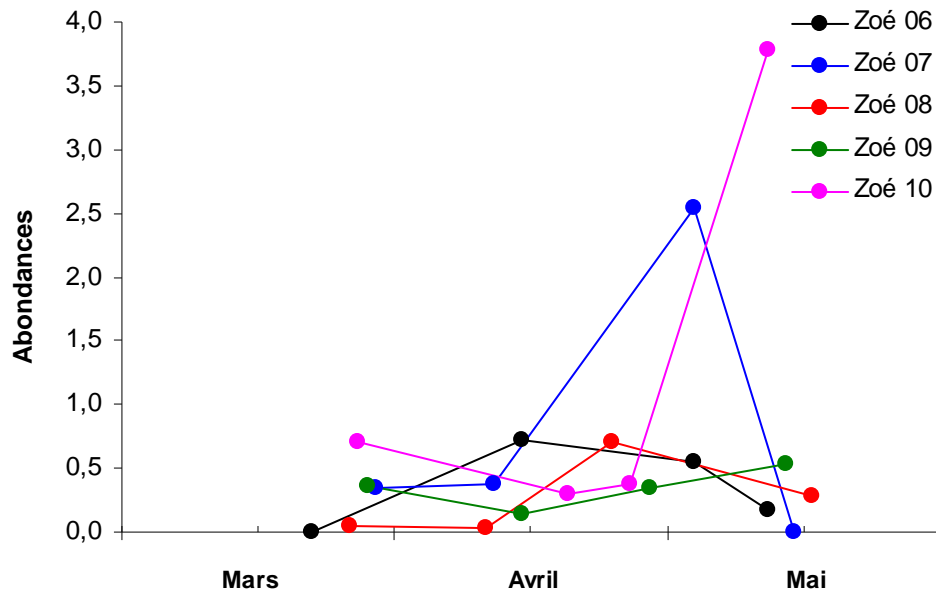


Figure 6.10 Abondances (moyennes sur les deux réplicats en ind.m-3) des zoés de crevette grise au point prise de Gravelines depuis 2006

Les abondances de zoés observées lors des quatre campagnes de 2010 sont présentées en figure 6.11. On constate une augmentation des abondances observées au fil des campagnes avec une abondance maximale le 11 mai au point contrôle (11,97 ind.m⁻³).

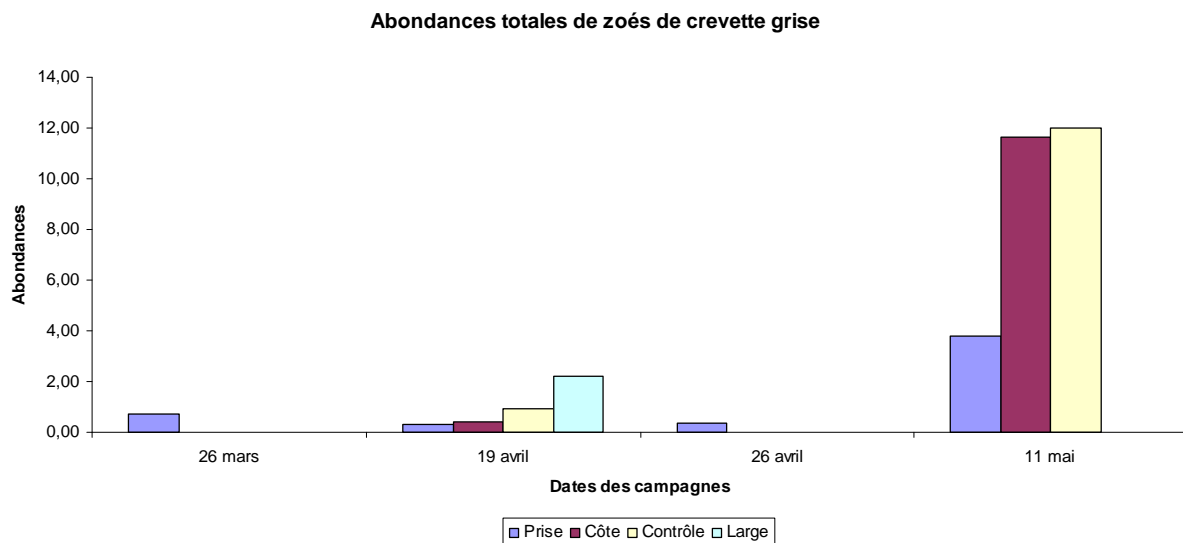


Figure 6.11 Abondances (moyennes sur les deux réplicats en ind.m-3) des zoés de crevette grise à Gravelines en 2010 en fonction de la date et du point de prélèvement

6.3.3.2. Les mégalopes

Les abondances de mégalopes pour le point *prise* depuis 2006 sont présentées en figure 6.12. Pour 2010, les abondances observées sont légèrement supérieures à celle des années précédentes et notamment lors de la campagne de mai avec 0,4 ind.m⁻³.

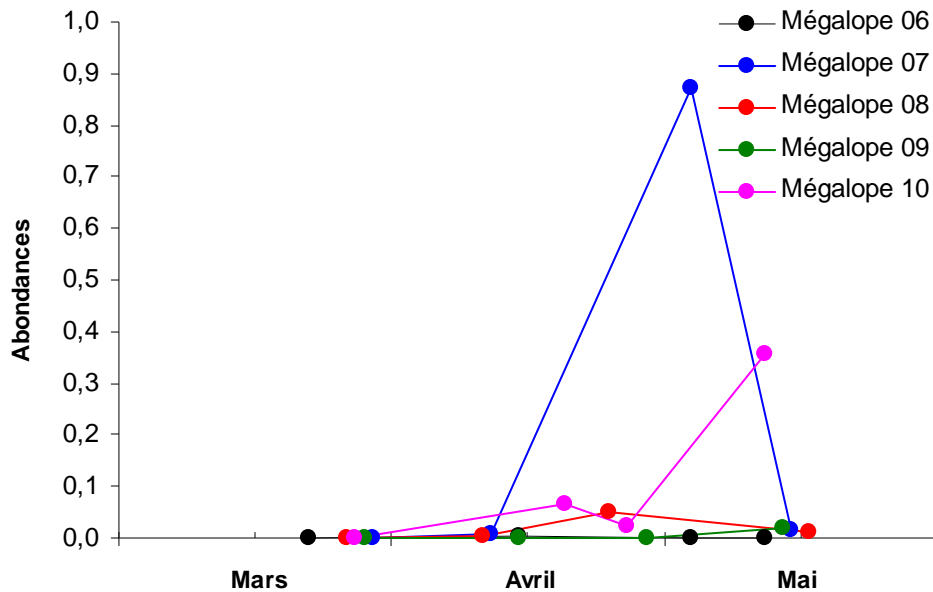


Figure 6.12 Abondances (moyennes sur les deux réplicats en ind.m-3) des mégaloopes de crevette grise au point prise de Gravelines depuis 2006

Les abondances de mégaloopes observées lors des quatre campagnes de 2010 sont présentées en figure 6.13. Comme pour les zoés, on constate une augmentation des abondances entre les campagnes du 19 avril et du 11 mai avec un maximum de 1,81 ind.m⁻³ observé au point côte.

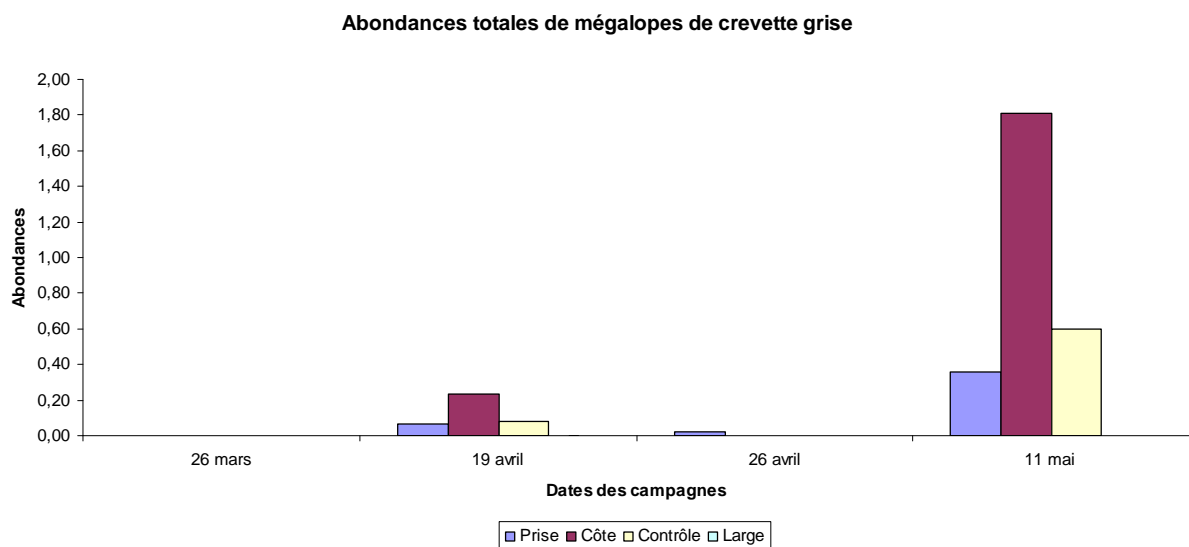


Figure 6.13 Abondances (moyennes sur les deux réplicats en ind.m-3) des mégaloopes de crevette grise à Gravelines en 2010 en fonction de la date et du point de prélèvement

6.4. Eléments de conclusion

Contrairement aux années précédentes, il apparaît que les campagnes d'échantillonnage réalisées en 2010 n'ont pas couvert la période du pic de ponte pour la sole et le sprat puisque les abondances maximales des œufs ont été observées lors de la dernière campagne au mois de mai. Ceci peut suggérer une ponte plus tardive en 2010 pour ces deux espèces et plutôt centrée sur le mois de mai.

De ce fait, les abondances des larves observées en 2010 ont été extrêmement faibles pour la sole et nulles pour le sprat.

De même, pour la crevette grise, les abondances maximales de zoés et de mégalopes ont été observées lors de la dernière campagne. Cependant, il faut souligner ici que les abondances maximales observées en 2010 sont plus fortes que pour les années précédentes.

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

La surveillance de l'ichtyoplancton n'a pas permis de déceler une évolution anormale de l'abondance et de la succession saisonnière des larves de sole, sprat et crevettes grises qui proviendrait du fonctionnement de la centrale.

7. LE DOMAINE BENTHIQUE INTERTIDAL

Auteur : Dewarumez J.-M.

Collaborateur : Menu D.

7.1. Introduction

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

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

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

7.2. Matériels et méthodes

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

La campagne a eu lieu le 14 juin 2010. L'échantillonnage a encore cette année porté sur les 10 points, dans la mesure où il nous semble dommage d'interrompre une série qui dure maintenant depuis plus de 30 ans.

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

7.3. Terminologie utilisée

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

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

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

7.4. Résultats

7.4.1. Composition bionomique

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

- 1 Cnidaire
- 1 Némerte
- 1 Nématode
- 9 Annélides Polychètes
 - 3 errantes
 - 6 sédentaires
- 4 Mollusques
 - 1 Gastéropode
 - 3 Bivalves
- 10 Crustacés
 - 2 Isopodes
 - 6 Amphipodes
 - 2 Décapodes
- 1 Insecte

Ces 28 taxons correspondent à 2558 individus récoltés sur les trois radiales. Ce résultat était inférieur aux sept années précédentes (tableau 7.1). Il est toujours équivalent à celui enregistré en 2002. L'année 2002 avait été caractérisée par un très fort appauvrissement des populations benthiques de l'estran en densité de population. Par contre l'année 2003 avait vu les peuplements revenir à un état normal de densité qui s'était maintenu par la suite. En 2006, les densités étaient restées au même niveau qu'en 2005, alors que le nombre d'espèces chutait fortement de 30 espèces récoltées en 2005 à 24 espèces en 2006. En 2008 il était remonté à 28 taxons. En 2009, il était de 29 taxons. Si au niveau de la richesse spécifique on peut noter une certaine stabilité sur les 3 dernières années, il n'en va pas de même pour la densité globale, les effectifs sont en chute libre depuis 2006. La très forte diminution de 2010 est imputable à plusieurs espèces mais surtout à *Hydrobia ulvae* Dont seul 4 exemplaires ont été récoltés contre près de 3000 en 2009.

La récolte de très jeunes individus de *Crangon crangon* (63 individus d'une taille de 7 à 12 mm) sur 6 des 10 points à tous les niveaux de l'estran est tout à fait inhabituelle, elle est sans doute liée à des modifications de la structure du sédiment.

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

Année	Radiale 1	Radiale 2	Radiale 3	Richesse spécifique	Abondance totale
2002	1 579	674	434	28	2 687
2003	10 772	1 335	3 441	28	15 548
2004	17 347	1 638	3 979	28	22 964
2005	13 679	725	1 966	30	16 370
2006	15 870	735	2 224	24	18 829
2007	16 430	530	2 259	23	19 219
2008	6 454	2 466	2 159	28	11 079
2009	3 305	1 224	5 541	29	10 070
2010	1046	363	1149	28	2 558

En 2010, *Hydrobia ulvae* n'est présente qu'à 2 points : E et F. Elle ne représente que 0,35% des effectifs ; En 2009 la population de *Hydrobia ulvae* ne représentait plus que 6 % des effectifs et était totalement absente de la radiale 2. En 2008 elle représentait 23 % des effectifs alors que de 2003 à 2007 c'était plus de 75 % du total des individus récoltés (tableau 7.2). La situation pour cette espèce est bien inférieure aux résultats des années 2001 pour la faiblesse des effectifs. Mais ce n'est pas un phénomène rare. Comme l'espèce vit plusieurs années un accident sur la reproduction l'année N peut avoir des répercussions l'année N+2. Cette situation semble n'être localisée que sur la plage de Petit Fort Philippe. Des analyses effectuées dans la région de Calais n'ont pas montré de chute aussi brutale des populations de cette espèce.

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

Année	Proportion
2000	63,9 %
2001	6,3 %
2002	36,8 %
2003	75,8 %
2004	88,1 %
2005	91,7 %
2006	95,0 %
2007	80,0 %
2008	23,0 %
2009	6,2 %
2010	0,35 %

La forte augmentation des populations de *Corophium arenarium* et de *Bathyporeia pilosa* observée de 2006 à 2009 ne se confirme pas en 2010, les deux espèces régressent de manière significative.

Les espèces à forte affinité pour les eaux saumâtres (*Enchytraeidae*, *Enoplus brevis* et *Ophelia ratkhei* et *Hediste diversicolor*) avaient fortement régressé en 2006 cette tendance avait été largement confirmée en 2007, 2008 et 2009. Ces espèces progressent à nouveau en 2010 : 5 *Hediste diversicolor*, 3 *Ophelia ratkhei* et 4 *Enoplus brevis* ont été récoltés uniquement sur la radiale 1.

7.4.2. Radiale 1

7.4.2.1. Caractéristiques granulométriques du sédiment

Point E

Des placages de vase sont toujours présents, ils sont localisés au-dessus de ce niveau et surtout vers l'est, entre le point E et le point M. Les sédiments à proximité du chenal de l'Aa sont peu envasés, très meubles et fluents.

Lors de la campagne de 2000, nous avons noté un fort appauvrissement en pélites du sédiment qui s'était confirmé en 2001, la teneur en pélites n'était plus alors que de 0,43 %. En 2002, la teneur en pélites augmentait de nouveau pour atteindre 1,85 % du poids total du sédiment. En 2003, la teneur en pélites revenait à un niveau comparable à celui de 2001, puis en 2004 la teneur en pélites chutait de manière significative. En 2006, les sables moyens restaient dominants et la teneur en pélites remontait légèrement. En 2007 le sédiment s'affinait par augmentation de la teneur en pélites et en sables fins et par diminution de la teneur en sables moyens. En 2008 le phénomène s'était encore accentué. En 2009, le sédiment s'était fortement envasé en liaison avec la forte augmentation de la densité de la population de *Corophium arenarium* par effet de bioturbation (tableau 7.3 et figure 7.1). En 2010, la forte diminution des densités de *Corophium arenarium* est concomitante à une diminution de la teneur en pélites.

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

% pondéraux	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Pélites	0,04	4,58	3,03	0,62	0,43	1,85	0,23	0,09	0,23	1,70	3,22	0,52	4,05	0,17
Sables fins	31,61	38,28	42,63	35,26	43,38	23,91	33,74	28,41	25,73	24,72	29,13	39,83	38,07	42,93
Sables moyens	64,72	50,33	50,76	52,44	53,00	63,13	61,51	67,47	65,19	70,18	61,68	57,33	55,11	54,50

La fraction fine du sédiment (sables moyens et fins + pélites) représente toujours plus de 90 % du poids total du sédiment depuis la campagne de 2001. En 2010 elle représente encore près de 98 % du sédiment.

Point F

Ce point présentait comme à l'accoutumée une composition granulométrique proche de celle du point E, encore accentuée en 2010 par la régression des pélites au point E.

Points G et H

Ces points, situés plus bas sur l'estran, présentaient des proportions en sables moyens et fins différentes de celles des deux points précédents. Au point G, les sables moyens représentaient près de 60 % des sédiments et les sables fins seulement 37 %, alors qu'au point H ces deux fractions sédimentaires étaient en proportion inversées (30 et 79 %).

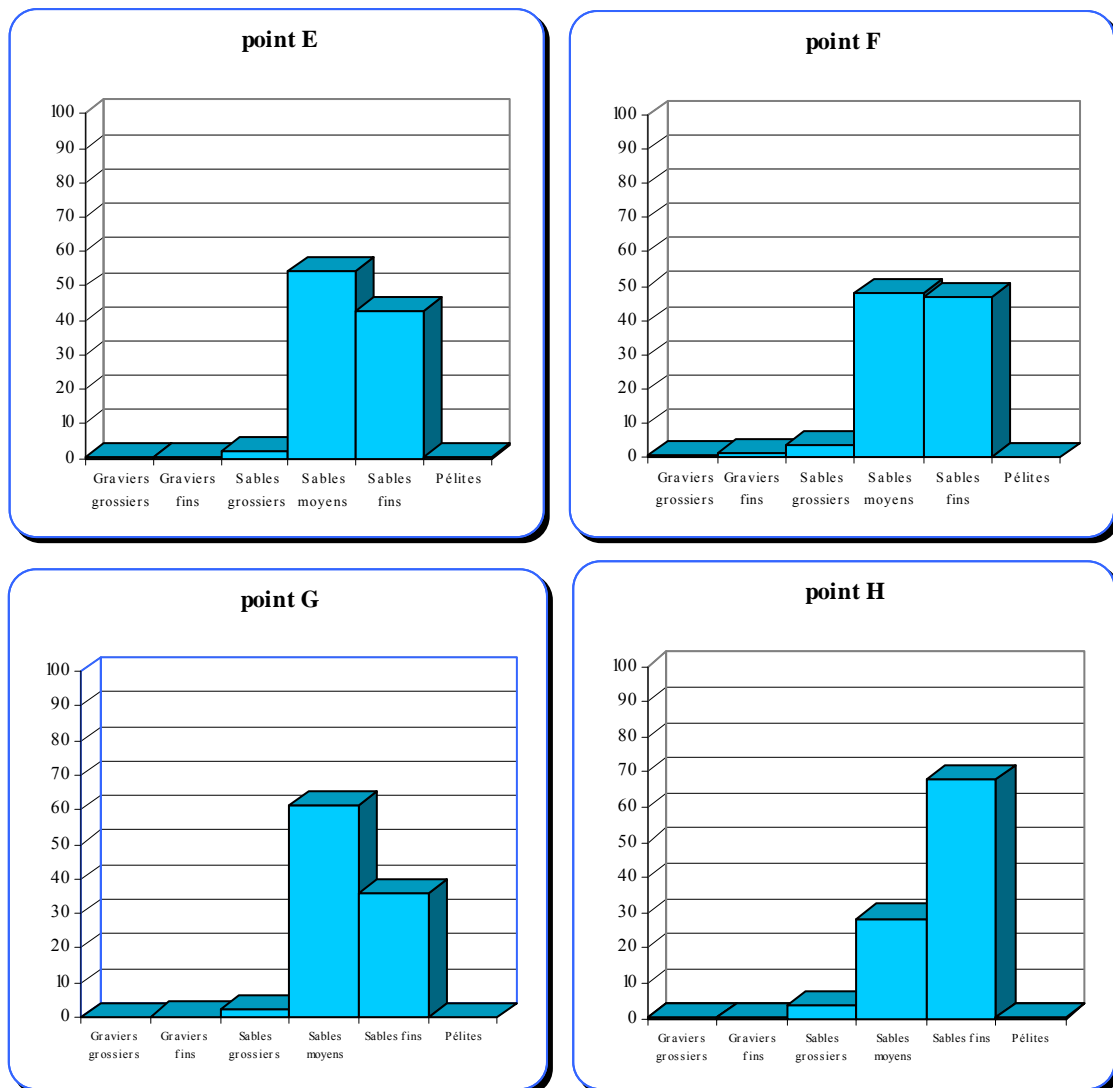


Figure 7.1 Radiale 1, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

7.4.2.2. Densité et biomasse des peuplements benthiques

Point E

En 2008, la population de *Hydrobia ulvae* au point E avait chuté considérablement. Ce phénomène s'était confirmé en 2009. La population ne représentait plus, en 2009, que 19 % des effectifs en 2010 seul 3 individus ont été récoltés à ce point (tableau 7.4 et annexe 7.2). De 2003 à 2007, les densités observées pour cette espèce étaient exceptionnelles ($> 27\ 000\ \text{ind.}\cdot\text{m}^{-2}$) avec un maximum de $57\ 828\ \text{ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ observé en 2006. Un niveau de densité équivalent à celui de 2003 avait été trouvé en 1989 ($25\ 740\ \text{ind.}\cdot\text{m}^{-2}$). L'augmentation de la densité observée en 2004 était due au recrutement (poids moyen individuel est de 0,22 mg). En 2005 on était en présence de la même cohorte, les individus étaient de plus grande taille (poids moyen individuel de 0,52 mg).

La densité globale d'individus au point E atteignait $5\ 912\ \text{ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ en 2008; contre $57\ 140\ \text{ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ en 2007, et $59\ 888\ \text{ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ en 2006. Elle remontait à $11\ 872\ \text{ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ en 2009 grâce à l'augmentation de la population de *Corophium arenarium*. La densité de *Corophium arenarium* n'est plus que de $42\ \text{ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ en 2010.

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

Densité (ind. \cdot m ⁻²)	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<i>Hydrobia ulvae</i>	2 028	72	8	120	27 416	53 312	43 420	57 828	54 612	4 792	2268	12
<i>Spio martinensis</i>	0	0	40	20	0	0	0	0	0	588	0	156
<i>Pygospio elegans</i>	0	0	0	0	8	0	0	0	92	0	192	0
<i>Eurydice affinis</i>	364	4	0	20	12	16	420	468	88	0	20	12
<i>Bathyporeia pilosa</i>	3 688	0	8	0	0	0	12	1 132	896	0	0	0
<i>Corophium arenarium</i>	184	20	120	40	100	4	156	368	1428	528	9376	42

La biomasse globale enregistrée en 2008 avait fortement régressé (2,5 g \cdot m⁻²). En 2009 elle était deux fois plus importante (5,6 g \cdot m⁻²), en 2010 elle n'est plus que 0,07 g \cdot m⁻², annexe 7.3). Pour mémoire, la biomasse n'était que de 0,17 g \cdot m⁻² en 2002, de 0,11 g \cdot m⁻² en 2001 et de 0,05 g \cdot m⁻² en 2000. Les évolutions de la biomasse sont souvent liées à la densité de *Hydrobia ulvae* et de *Corophium arenarium* et à la structure démographique de leurs populations.

Point F

C'est à ce point que les plus fortes variations tant en biomasse qu'en densité ont pu être mises en évidence depuis le début des études. Ces variations concernent également la composition faunistique du peuplement. Ces évolutions sont surtout liées aux populations de mollusques bivalves (*Cerastoderma edule* et *Macoma balthica*) mais aussi à l'influence plus ou moins grande de la dessalure causée par l'Aa et à son impact sur la densité des espèces euryhalines. *Cerastoderma edule* et *Macoma balthica* représentaient plus de 93 % de la biomasse totale à ce point en 2006 et 49 % en 2007. En 2008, la contribution à la biomasse de ces deux mollusques était de 79 %. En 2009 *Macoma balthica* était absente mais *Cerastoderma edule* représentait plus de 96 % de la biomasse.

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

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

Densité (ind. \cdot m ⁻²)	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<i>Hediste diversicolor</i>	116	72	116	48	100	264	20	4	0	0	4	16
<i>Spio martinensis</i>	0	0	88	8	4	0	0	0	0	208	0	0
<i>Pygospio elegans</i>	0	0	8	0	0	4	40	0	4	0	0	0
<i>Ophelia rathkei</i>	24	0	64	92	8	8	24	0	0	0	0	0
<i>Hydrobia ulvae</i>	26 140	8 448	12	3 404	11 448	12 120	9 336	448	4 064	4	8	4
<i>Cerastoderma edule</i>	144	32	236	248	32	36	108	228	12	52	60	72
<i>Macoma balthica</i>	748	696	316	1 040	404	356	220	32	4	20	0	168
<i>Corophium arenarium</i>	0	0	0	4	12	80	176	8	8	4 824	0	56

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

Comme au point E la régression de la population de *Hydrobia ulvae* observée en 2008 et en 2009 s'est confirmée en 2010. En 1998, nous avons noté que la population de *H. ulvae* gagnait les moyens niveaux supérieurs. En 1999, ce phénomène se confirmait et s'amplifiait, néanmoins comme la densité globale de *H. ulvae* restait équivalente dans les niveaux supérieurs de la partie ouest de l'estran (13 380 ind. \cdot m⁻², en 1998 contre 14 084 ind. \cdot m⁻² en 1999), nous avons conclu que cette espèce se redistribuait sur l'estran. Les résultats obtenus en 2000 semblaient infirmer cette

hypothèse car la population de *H. ulvae* régressait sur la totalité des niveaux supérieurs tout en restant cependant la plus importante au point F. En 2001, la population de *H. ulvae* disparaissait complètement au point F (12 ind. \cdot m⁻² pour une biomasse de 2,2 mg \cdot m⁻²). L'espèce réapparaissait en 2002 à un niveau de densité, certes inférieur à celui des années 1998 et 1999, mais suffisant pour permettre la régénération de la population. Cette implantation s'est confirmée en 2003, la densité étant du même ordre que dans la période 1998-2000 (11 448 ind. \cdot m⁻²). En 2004 la situation restait analogue au niveau de la densité et régressait légèrement en 2005. En 2006, comme signalé plus haut, la population s'était réinstallée dans les niveaux supérieurs, la densité n'était plus que de 448 ind. \cdot m⁻² au point F. Les résultats de 2007 confirmaient cette tendance même si la densité était en augmentation. Depuis 2008, la population est quasi absente du point F.

De 2006 à 2008, *Hediste diversicolor* n'a plus été récoltée à ce point, tout comme les autres espèces à affinité « eaux saumâtres » (les *Enchytraeidae* et *Enoplus brevis*). En 2009, un individu avait été récolté au point F et en 2010, ce sont 4 individus qui ont été récoltés.

Points G et H

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

Depuis 2004, le peuplement en place est beaucoup moins diversifié qu'auparavant, très faible densité et faible richesse spécifique, avec comme corollaire une faible biomasse. En 2008 la récolte de quelques juvéniles de *Lanice conchilega* au point H fait légèrement augmenter la densité globale. Rien de tel ne s'est passé en 2009 ni en 2010. *Donax vittatus* n'a pas été récolté sur cette radiale.

7.4.3. Radiale 2

7.4.3.1. Caractéristiques granulométriques du sédiment

Les caractéristiques granulométriques du sédiment aux quatre points la radiale 2 sont représentés sur la figure 7.2 (voir aussi annexe 7.1). Le sédiment montre un affinement régulier des hauts vers les bas niveaux tout à fait classique. Les résultats sont très proches de ceux enregistrés aux niveaux équivalents sur la radiale 1.

Point I

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

Point J

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

Point K et L

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

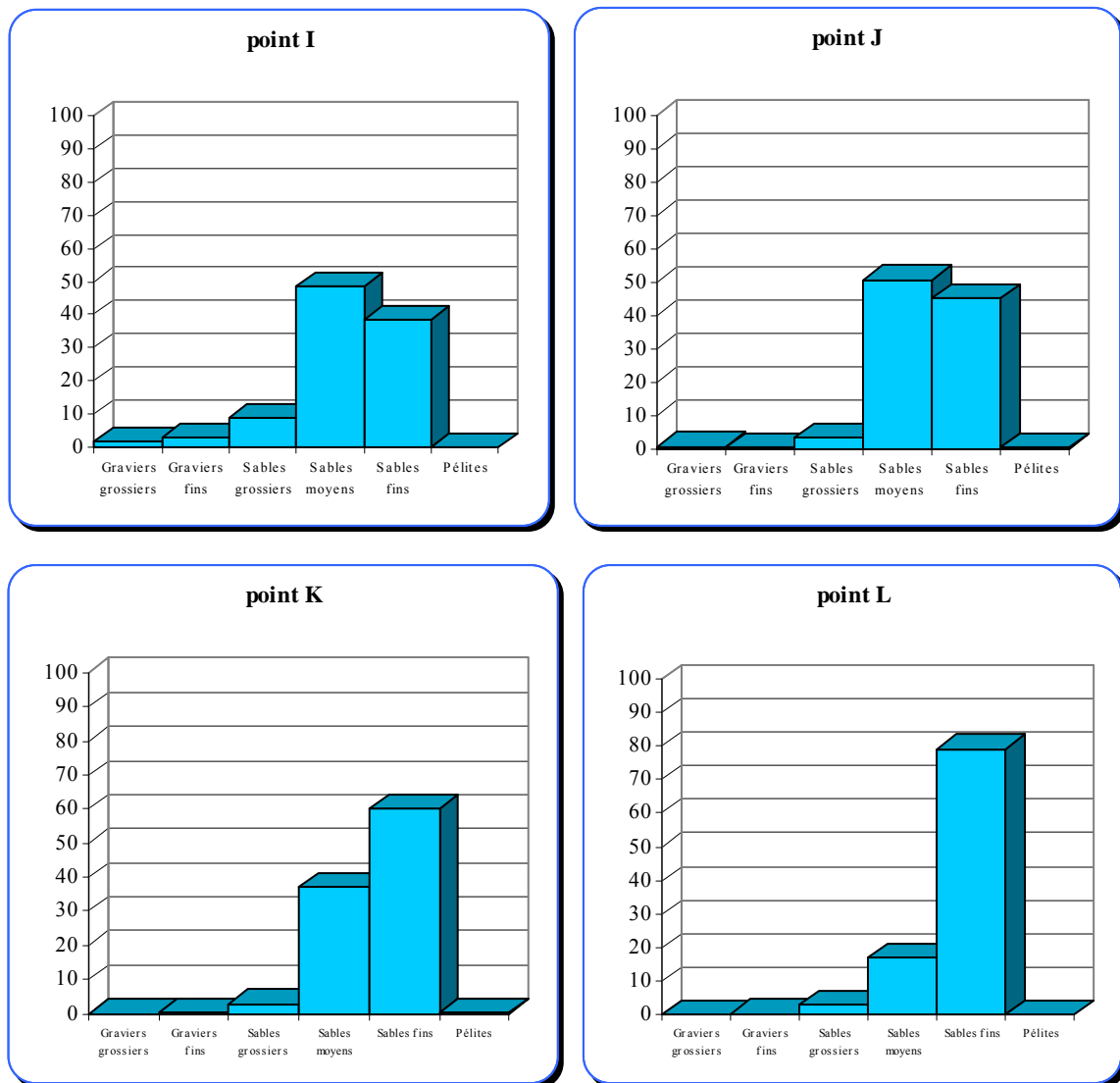


Figure 7.2 Radiale 2, Caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

7.4.3.2. Densité et biomasse des peuplements benthiques

Point I

La population d' *Hydrobia ulvae* avait complètement disparu du point I en 2009. Cette situation se confirme en 2010 (tableau 7.6 et annexe 7.4). En 2008, la densité de la population de *Hydrobia ulvae* atteignait 388 ind. \cdot m⁻². Après de fortes augmentations en 1998 (1 468 ind. \cdot m⁻²) et 1999 (2 620 ind. \cdot m⁻²), la densité de la population de *H. ulvae* avait fortement diminué en 2000 (680 ind. \cdot m⁻²). La population était alors constituée d'individus de grande taille (poids moyen par individu de 0,8 mg en 2000). La densité de population était remontée en 2001 à 900 ind. \cdot m⁻² et nous avons conclu à un vieillissement de la population sans nouveau recrutement. En 2002, la population avait quasiment disparu de ce point (72 ind. \cdot m⁻²). En 2003 et 2004, la population semblait s'être reconstituée au même niveau que pendant les années 2000-2001 à ceci près que la population était constituée de très jeunes individus (0,25 mg de poids moyen individuel en 2003). Entre 2005 et 2007, la population de cette espèce était en forte régression, la plus faible densité de

ces 12 dernières années. La tendance à la disparition de la population de *Hydrobia ulvae* se confirme donc bien au point I.

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

Densité (ind. \cdot m ⁻²)	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<i>Enchytraeidae</i>	104	0	4	816	0	2 396	12	32	4	0	0	0	0
<i>Pygospio elegans</i>	0	60	4	3 440	332	168	936	96	0	40	3 032	52	4
<i>Spio martinensis</i>	186	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hydrobia ulvae</i>	1 468	2 620	680	900	72	832	876	40	52	8	388	0	0
<i>Corophium arenarium</i>	7 004	1 792	3 348	3 916	140	220	3 772	280	380	836	2 100	1492	528
<i>Bathyporeia pilosa</i>	40	4	4	4	0	36	4	4	8	308	72	1416	432
<i>Eurydice affinis</i>	0	8	48	4	0	268	0	12	56	44	44	368	104

La population de *Corophium arenarium* avait elle aussi régressé d'une manière considérable entre 2002 et 2007 (à l'exception de 2004). La densité avait beaucoup augmenté en 2008 (2 100 ind. \cdot m⁻²). Elle était restée à un niveau relativement proche en 2009. En 2010 tout comme sur la radiale 1 la densité de cette espèce chute de manière importante (tableau 7.6).

Bathyporeia pilosa qui était peu présente à ce point, lors des études précédentes, avait bénéficié en 2009 d'un excellent recrutement (1 416 ind. \cdot m⁻²). La population régresse aussi en 2010 mais reste à un niveau historiquement élevé.

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

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

Point J

Depuis 1997, le cortège spécifique du peuplement installé à ce point était constitué à la fois d'espèces caractéristiques des niveaux supérieurs et d'espèces inféodées aux moyens niveaux inférieurs. En 2001, le peuplement de ce point était constitué majoritairement d'espèces inféodées aux niveaux supérieurs de l'estran. Ce schéma a peu évolué entre 2001 et 2006, *Corophium arenarium* et *Eurydice affinis* (espèces de haut niveau) étaient dominantes ou présentes tandis que *Bathyporeia sarsi* et *Eurydice pulchra* (espèces de moyen niveau) étaient absentes. La densité de *Scolecopsis squamata* (espèces de moyen niveau) restait moyenne. En 2007, un retour vers la structure d'avant 2001 semblait s'amorcer avec de fortes densités de *E. pulchra* et de *Bathyporeia pilosa* ; la différence principale étant l'absence de *S. squamata*. En 2008 le schéma observé était celui de la situation de 2001 et de 2002. En 2009, la situation avait peu évolué, à ceci près que la population de *Bathyporeia pilosa* a fortement régressé et semblait s'être décalée vers les hauts niveaux, la situation reste identique en 2010 (tableau 7.7 et annexe 7.4).

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

Densité (ind. \cdot m ⁻²)	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<i>Scolecopsis squamata</i>	0	28	48	28	56	36	24	84	56	0	52	112	12
<i>Eurydice affinis</i>	36	376	0	252	44	160	140	452	220	4	288	144	0
<i>Eurydice pulchra</i>	32	0	368	4	12	0	0	24	0	488	12	36	36
<i>Corophium arenarium</i>	132	8	4	248	352	4	180	376	112	0	592	304	32
<i>Bathyporeia pilosa</i>	0	0	364	3 316	1056	128	4	226	1 184	256	1 832	32	64

La biomasse reste faible depuis plusieurs années moins de 0,5 g \cdot m⁻² (annexe 7.5).

Points K et L

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

Un résultat tout à fait surprenant a été enregistré au point K en 2005, la présence fugace de *Scolecopsis squamata* : en très forte densité (964 ind. \cdot m⁻²) en juillet et son absence totale en août 2005 lors d'un prélèvement de contrôle. L'espèce était présente en faible densité à ce point en 2007 (16 ind. \cdot m⁻²), elle était absente en 2008 tout comme en 2009 (annexe 7.4).

La situation enregistrée en 2009 était tout à fait conforme au schéma général.

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

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

La densité à ces deux points en général proche de 100 ind. \cdot m⁻². La présence inhabituelle de *Eurydice pulchra* au point K en 2010 vient rompre ce schéma. La biomasse à ces deux points est comme habituellement inférieure à 1 g \cdot m⁻². (respectivement 0,35 et 0,33 g \cdot m⁻²). En 2009, la récolte de *Donax vittatus* avait entraîné une augmentation considérable de la biomasse : 13,8 g \cdot m⁻² au point L. *Donax vittatus* n'a pas été récolté sur l'estran en 2010.

7.4.4. Radiale 3

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

7.4.4.1. Caractéristiques granulométriques du sédiment

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

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

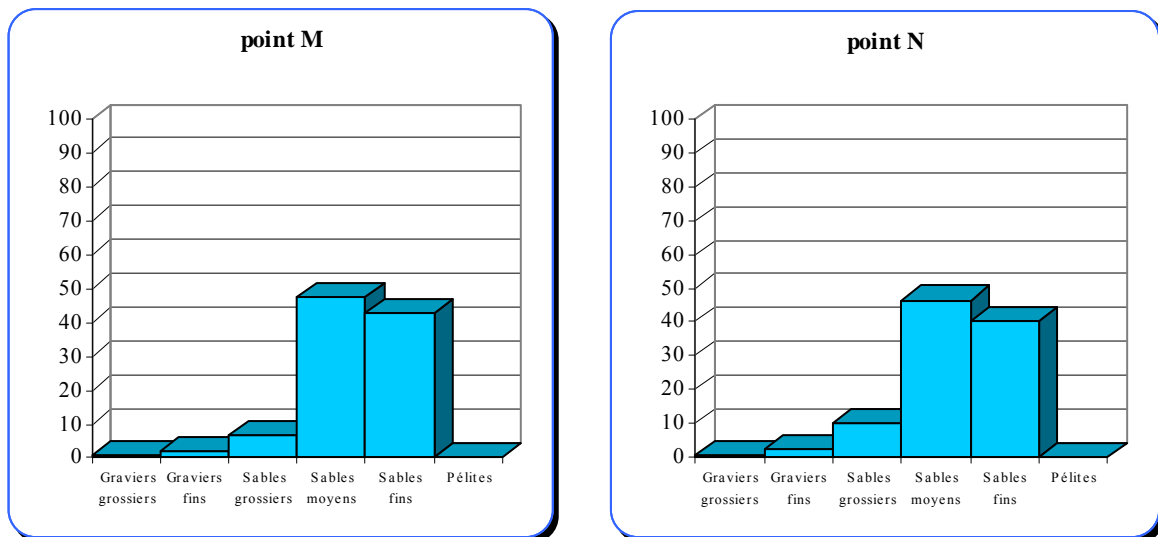


Figure 7.3 Radiale 3, Caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

7.4.4.2. Densité et biomasse des peuplements benthiques

Les résultats obtenus en 2003 et 2005 montraient que pour les espèces typiquement estuariennes *Hydrobia ulvae*, *Hediste diversicolor*, *Macoma balthica*, *Cerastoderma edule* et *Ophelia ratkhei* les gradients de répartition étaient décroissants d'ouest en est et que pour *Corophium arenarium* et *Bathyporeia pilosa* les gradients étaient inverses. En 2006 et 2007 les choses semblaient moins nettes. En 2008 la population de *Hydrobia ulvae* était très dense aux deux points bien que les densités n'atteignaient pas les maximums observés au point E de la radiale 1. En 2009, les résultats obtenus aux points M et N ont confirmé ceux obtenus aux points E et F : disparition presque complète de *Hydrobia ulvae* et augmentation des densités de *Corophium arenarium*. Une augmentation de la densité de *Corophium arenarium* avait déjà été remarquée au point N en 2008.

En 2010, *Hydrobia ulvae* n'a pas été récoltée à ces deux points, confirmant la disparition de l'estran de cette espèce.

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

7.5. Conclusion sur l'évolution de l'estran

7.5.1. Cas de la partie ouest

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

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

Densité (ind. \cdot m ⁻²)	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<i>Ophelia rathkei</i>	148	9	20	16	23	461	2	6	1	0	0	0	3
<i>Enchytraeidae</i> sp.	0	9	1	20	184	103	8	12	27	0	2	2	0
<i>Hediste diversicolor</i>	14	29	18	29	12	25	66	5	1	0	0	1	5

Depuis maintenant plusieurs années, l'influence de la dessalure de l'Aa semble rester faible. Les trois espèces typiquement estuariennes sont en régression depuis 2003, en 2007 elles semblaient avoir disparu de la partie ouest de l'estran. En 2008 seuls deux *Enchytraeidae* sp. avaient été récoltés. En 2009, l'influence de la dessalure liée à l'Aa était également quasi inexistante. En 2010, les résultats sont très proches de ceux de 2009.

7.5.2. Cas des Spionidés

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

En 2009, *Spio martinensis* n'était plus présent qu'en deux points : N et K. La population de *Pygospio elegans* a régressé fortement, elle était localisée dans les hauts niveaux de l'estran et au point N avec un gradient décroissant d'ouest en est.

En 2010 *Pygospio elegans* a presque complètement disparu de l'estran, l'espèce n'a été récoltée qu'au point I. Par contre, *Spio martinensis* reste cantonnée sur la partie ouest de l'estran.

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

Densité (ind. \cdot m ⁻²)		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<i>Spio martinensis</i>	E	76	8	0	0	40	20	0	0	0	0	0	588	0	156
	F	196	36	0	0	0	8	84	0	0	0	0	108	0	0
	M	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
	N	-	-	-	36	0	0	0	0	0	0	0	0	24	20
	I	0	186	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	J	60	4	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pygospio elegans</i>	E	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	92	0	192	4
	F	0	0	0	0	8	0	0	4	40	40	4	0	0	0
	M	-	-	-	52	124	456	264	0	108	40	72	2	156	0
	N	-	-	-	0	40	68	408	616	208	8	488	0	52	0
	I	1 144	0	60	4	3 440	332	168	936	96	0	40	3 032	52	0
	J	0	0	0	16	24	156	0	80	8	0	0	20	0	0

7.5.3. Cas de la biomasse

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

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

En 2009, la biomasse semblait revenir à un niveau un peu supérieur, mais ceci était dû comme cela a été signalé plus haut à une seule espèce qui contribue pour 1,5 g dans une moyenne globale de 4,3 g soit le tiers. En 2010, la forte régression des espèces principales de l'estran (en particulier *Hydrobia ulvae*, *Corophium arenarium*, *Bathyporeia elegans*) a provoqué une très forte baisse de la biomasse moyenne de l'estran. Seul le point F reste à des niveaux de biomasse équivalents à 2009. Il faut aussi signaler qu'en 2010, on n'a pas observé la présence de plusieurs espèces à forte biomasse comme *Donax vittatus* et *Ensis directus*.

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

Biomasse (g \cdot m ⁻²)	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
E	11,82	8,79	19,34	2,36	0,05	0,11	0,17	16,24	11,90	22,85	32,1	24,51	2,55	5,60	0,07
F	31,16	52,64	39,59	48,47	24,91	23,61	67,05	32,74	38,09	18,37	22,5	5,99	14,14	10,96	10,20
G	0,47	0,27	0,40	1,76	0,28	0,23	0,09	2,16	0,48	0,77	0,48	1,09	0,58	0,31	0,35
H	0,31	0,48	0,68	0,83	6,56	0,56	0,68	1,30	0,44	0,49	0,26	0,81	1,06	5,53	0,33
I	2,34	1,72	4,29	2,23	7,19	5,83	0,13	0,87	3,68	0,19	0,54	0,52	2,03	1,02	0,47
J	0,48	0,49	0,35	0,40	0,50	0,76	0,59	0,23	1,34	0,58	0,57	0,25	0,83	0,45	0,20
K	1,06	0,29	0,69	0,52	1,28	0,95	0,44	1,57	0,34	5,41	0,89	0,28	0,91	0,29	0,15
L	1,91	0,28	0,32	1,34	0,64	12,91	0,74	4,44	0,55	0,19	1,00	0,64	0,29	13,81	0,53
M	-	-	-	-	1,34	0,82	0,53	2,84	9,83	3,30	5,79	2,64	2,89	3,20	1,11
N	-	-	-	-	0,31	1,43	0,33	4,01	8,37	1,99	7,85	4,11	2,24	1,78	0,80
Moyenne estran	6,19	8,12	8,21	7,25	4,31	4,72	7,08	6,64	7,50	5,41	7,20	4,08	2,75	4,30	1,42

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

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

7.6. Éléments de conclusion

On ne note pas, en 2010, d'évolution de la morphologie de l'estran. Les résultats des analyses granulométriques mettent en évidence une homogénéisation des caractéristiques sédimentaires sur l'estran avec une diminution des fines dans les niveaux supérieurs qui pourrait être liée avec un lessivage plus important dû à l'activité de la centrale pendant l'hiver 2009-2010 rigoureux.

En 2010, la richesse spécifique est restée stable par rapport à 2008 et 2009 (28 espèces en 2010, 28 en 2008 et 29 en 2009). La densité globale par contre est en forte diminution du fait de la disparition de la population de *Hydrobia ulvae* des niveaux supérieurs et de la forte régression des autres espèces importantes comme *Corophium arenarium* et *Bathyporeia elegans*. La biomasse globale a très fortement diminué pour n'être plus que de $1,4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Il n'y a pas eu en 2010 de récolte de mollusques à forte biomasse (*Donax vittatus* et *Ensis directus*) dans les niveaux inférieurs de l'estran.

L'étude 2010 a montré que les gradients de répartition de certaines espèces avaient évolué : *Corophium arenarium* et *Bathyporeia elegans* présentent un maximum de densité au niveau de la radiale 3. *Crangon crangon* semble avoir bénéficié de la modification de la structure du sédiment sur la totalité de l'estran. La population de *Cerastoderma edule* se maintient et celle de *Macoma balthica* réapparaît, elle est constituée de très jeunes individus (environ 5mm) au point F.

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

radiale 1	point E	point F	point G	point H
Graviers grossiers	0,04	0,52	0,09	0,02
Graviers fins	0,14	1,16	0,20	0,35
Sables grossiers	2,22	3,53	2,46	3,51
Sables moyens	54,50	47,76	61,44	28,38
Sables fins	42,93	46,95	35,80	67,73
Pélites	0,17	0,08	0,01	0,02

radiale 2	point I	point J	point K	point L
Graviers grossiers	1,52	0,56	0,00	0,14
Graviers fins	2,67	0,37	0,11	0,49
Sables grossiers	9,09	3,30	2,74	3,17
Sables moyens	48,36	50,61	37,19	17,03
Sables fins	38,32	45,15	59,96	79,17
Pélites	0,03	0,01	0,00	0,01

radiale 3	point M	point N
Graviers grossiers	0,95	0,71
Graviers fins	2,06	2,51
Sables grossiers	6,74	10,29
Sables moyens	47,48	46,43
Sables fins	42,66	40,02
Pélites	0,11	0,02

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

Radiale 1	Point E	Point F	Point G	Point H	Total
Cnidaires					
<i>Cereus pedunculatus</i>			4		4
Némertes					
Némertes sp.		1	2		3
Nématodes					
<i>Enoplus brevis</i>	4				4
Annélides Polychètes					
<i>Scolelepis squamata</i>	1	19	3		23
<i>Spio martinensis</i>	39				39
<i>Magelona johnstoni</i>				3	3
<i>Ophelia ratkhei</i>			3		3
<i>Eteone longa</i>		1			1
<i>Hediste diversicolor</i>	1	4			5
<i>Nephtys cirrosa</i>				20	20
Mollusques					
<i>Hydrobia ulvae</i>	3	1			4
<i>Tellina fabula</i>				1	1
<i>Cerastoderma edule</i>		18			18
<i>Macoma balthica</i>		42			42
Crustacés					
<i>Eurydice affinis</i>	3	7			10
<i>Eurydice pulchra</i>			46	1	47
<i>Atylus swammerdami</i>				1	1
<i>Bathyporeia pilosa</i>	1	765	20		786
<i>Corophium arenarium</i>	13	14			27
<i>Crangon crangon</i>		6			6
Richesse spécifique	8	11	6	5	20
TOTAL 0,25 m⁻²	65	878	78	25	1046
TOTAL m⁻²	260	3512	312	100	4184

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

Radiale 1	Point E	Point F	Point G	Point H	Total
Cnidaires					
<i>Cereus pedunculatus</i>			4,2		4,2
Némertes					
Némertes sp.		1,0	0,9		1,9
Nématodes					
<i>Enoplus brevis</i>	0,4				0,4
Annélides Polychètes					
<i>Scolelepis squamata</i>	5,8	54,2	24,6		84,6
<i>Spio martinensis</i>	1,9				1,9
<i>Magelona johnstoni</i>				3,2	3,2
<i>Ophelia ratkhei</i>			0,6		0,6
<i>Eteone longa</i>		2,0			2,0
<i>Hediste diversicolor</i>	0,4	136,3			136,7
<i>Nephtys cirrosa</i>				70,1	70,1
Mollusques					
<i>Hydrobia ulvae</i>	1,6	0,7			2,3
<i>Tellina fabula</i>				9,3	9,3
<i>Cerastoderma edule</i>		2022,7			2022,7
<i>Macoma balthica</i>		169,4			169,4
Crustacés					
<i>Eurydice affinis</i>	1,3	3,4			4,7
<i>Eurydice pulchra</i>			44,1	0,4	44,5
<i>Atylus swammerdami</i>				0,6	0,6
<i>Bathyporeia pilosa</i>	0,4	150,8	13,9		165,1
<i>Corophium arenarium</i>	5,5	6,7			12,2
<i>Crangon crangon</i>		2,1			2,1
Richesse spécifique	8	11	6	5	20
TOTAL 0,25 m⁻²	17,3	2549,3	88,3	83,6	3254,2
TOTAL m⁻²	69,2	10197,2	353,2	334,4	13016,8

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

Radiale 2	Point I	Point J	Point K	Point L	Total
Némertes					
<i>Cerebratulus sp</i>				1	1
Annélides Polychètes					
<i>Scolelepis squamata</i>		3	2		5
<i>Pygospio elegans</i>	1				1
<i>Nephtys cirrosa</i>			6	26	32
<i>Lanice conchilega</i>				1	1
Crustacés					
<i>Eurydice affinis</i>	26				26
<i>Eurydice pulchra</i>	2	9	1		12
<i>Gammarus locusta</i>				1	1
<i>Bathyporeia pelagica</i>			1		1
<i>Bathyporeia pilosa</i>	108	16			124
<i>Bathyporeia sarsi</i>			1		1
<i>Corophium arenarium</i>	132	8			140
<i>Crangon crangon</i>	13	2	1		16
<i>Diogenes pugilator</i>				1	1
Insectes					
Larves de diptères	1				1
Richesse spécifique	7	5	6	5	26
TOTAL .0,25 m⁻²	283	38	12	30	363
TOTAL .m⁻²	1132	152	48	120	1452

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

Radiale 2	Point I	Point J	Point K	Point L	Total
Némertes					
<i>Cerebratulus sp</i>				56,1	56,1
Annélides Polychètes					
<i>Scolelepis squamata</i>		10,1	18,3		28,4
<i>Pygospio elegans</i>	0,1				0,1
<i>Nephtys cirrosa</i>			17,3	70,1	87,4
<i>Lanice conchilega</i>				1,2	1,2
Crustacés					
<i>Eurydice affinis</i>	8,0				8,0
<i>Eurydice pulchra</i>	0,4	3,6	0,5		4,5
<i>Gammarus locusta</i>				1,6	1,6
<i>Bathyporeia pelagica</i>			0,4		0,4
<i>Bathyporeia pilosa</i>	30,6	26,9			57,5
<i>Bathyporeia sarsi</i>			0,3		0,3
<i>Corophium arenarium</i>	73,0	7,1			80,1
<i>Crangon crangon</i>	5,4	1,3	0,6		7,3
<i>Diogenes pugilator</i>				3,2	3,2
Insectes					
Larves de diptères	0,8				0,8
Richesse spécifique	7	5	6	5	26
TOTAL .0,25 m⁻²	118,3	49,0	37,4	132,2	336,9
TOTAL .m⁻²	473,2	196,0	148,6	528,5	1347,6

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

Radiale 3	Point M	Point N	Total
Annélides Polychètes			
<i>Spio martinensis</i>	6	5	11
<i>Scolelepis squamata</i>	2	14	16
<i>Eteone longa</i>		1	1
Crustacés			
<i>Eurydice affinis</i>	12	50	62
<i>Eurydice pulchra</i>	2	12	14
<i>Bathyporeia pilosa</i>	156	344	500
<i>Bathyporeia sarsi</i>		6	6
<i>Corophium arenarium</i>	478	39	517
<i>Crangon crangon</i>	7	13	20
Insectes			
Larves de diptères		2	2
Richesse spécifique	7	10	10
TOTAL .0,25 m⁻²	663	486	1149
TOTAL .m⁻²	2652	1944	4596

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

Radiale 3	Point M	Point N	Total
Annélides Polychètes			
<i>Spio martinensis</i>	0,5	0,3	0,8
<i>Scolelepis squamata</i>	9,6	48,1	57,7
<i>Eteone longa</i>		0,6	0,6
Crustacés			
<i>Eurydice affinis</i>	4,3	12,2	16,5
<i>Eurydice pulchra</i>	0,6	4,0	4,6
<i>Bathyporeia pilosa</i>	45,2	105,0	150,2
<i>Bathyporeia sarsi</i>		1,8	1,8
<i>Corophium arenarium</i>	213,9	17,3	231,2
<i>Crangon crangon</i>	2,7	5,8	8,5
Insectes			
Larves de diptères		5,2	5,2
Richesse spécifique	7	10	10
TOTAL .0,25 m⁻²	276,8	200,3	477,1
TOTAL .m⁻²	1107,2	801,2	1908,4

8. LE DOMAINE BENTHIQUE SUBTIDAL

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

Collaborateurs : Menu D. & Rolet C.

8.1. Introduction

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

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

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

8.2. Matériels et méthodes

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

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

Les quatre campagnes ont été effectuées les 20 janvier, 27 avril, 30 juin et 8 octobre 2010

8.3. Résultats

8.3.1. Analyses granulométriques

8.3.1.1. Point B

Une altération sédimentologique a été mise en évidence au point B au printemps 1991. Le sédiment comportait une importante fraction d'éléments grossiers. Cette altération s'est progressivement résorbée par envasement et ensablement. En 1998, le sédiment était redevenu tout à fait normal, présentant des taux de pélites variant de 1,1 à 9,7 %. La teneur en sable grossier restait comprise entre 1 et 3 %.

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

Depuis 2006 le cycle de la teneur en pélites était à nouveau conforme au schéma habituel : augmentation printanière, maximum estival et décroissance à l'automne, avec toutefois des saisons plus ou moins marquées selon les années. Le sédiment 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 restant 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 restent élevées pendant toute l'année (entre 8 et 13 %). Le sédiment est dominé par les sables moyens et fins (toujours plus de 80 % au total). La fraction grossière demeure faible (tableau 8.1 et figure 8.1).

Tableau 8.1 Caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

Station B	20 janv 2010	27 avr 2010	30 juin 2010	8 oct 2010
Graviers grossiers	0,53	0,81	1,36	0,30
Graviers fins	0,89	0,75	0,83	0,03
Sables grossiers	1,39	1,23	4,68	1,12
Sables moyens	39,60	21,50	52,52	53,47
Sables fins	47,42	62,67	32,54	35,11
Pélites	10,17	13,04	8,07	9,96

8.3.1.2. Point C

Le sédiment du point C est en général dominé par les sables moyens et fins. Ces deux classes représentent toujours plus de 95 % du poids total du sédiment, les sables moyens représentant 82 à 89 % du sédiment et les sables fins de 9 à 17 %. Le sédiment est totalement dépourvu de pélites (de 0,00 à 0,01 %). En 2009 à peu de chose près cette description est 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 %). Mais, pour les trois autres campagnes, les sables moyens dominaient (60 à 87 %). Les sables fins variaient entre 8 et 38 % (tableau 8.2 et figure 8.2).

En 2010, le schéma reste à peu près identique le sédiment est toujours fortement dominé par les sables moyens : de 67 à 88% et totalement dépourvu de pélites.

Tableau 8.2 Caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

Station C	20 janv 2010	27 avr 2010	30 juin 2010	8 oct 2010
Graviers grossiers	0,00	0,00	0,06	0,00
Graviers fins	0,12	0,08	0,13	0,18
Sables grossiers	1,12	0,68	1,09	1,29
Sables moyens	75,51	84,83	87,72	66,79
Sables fins	23,22	14,41	10,98	31,72
Pélites	0,03	0,02	0,01	0,01

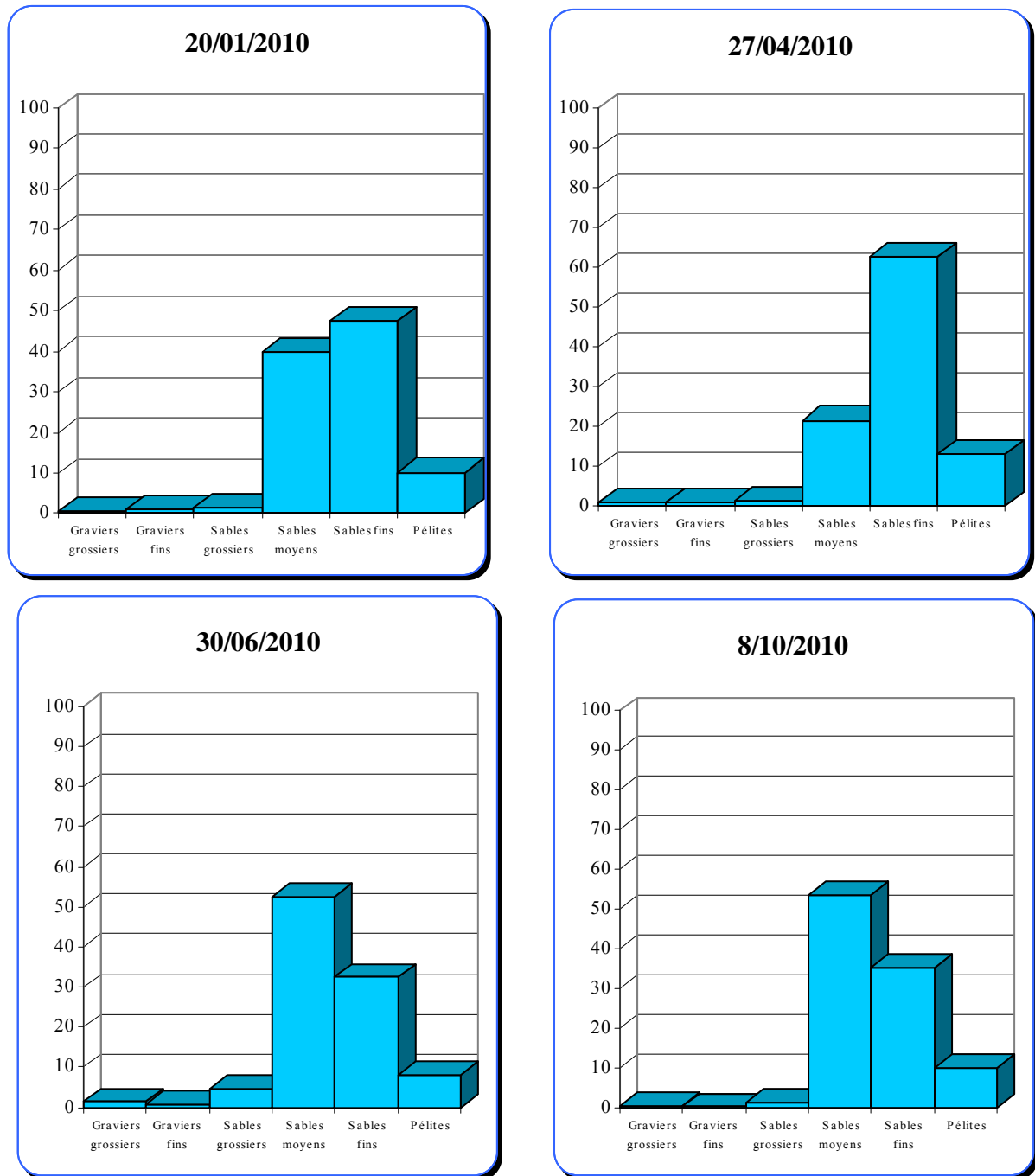


Figure 8.1 Point B, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

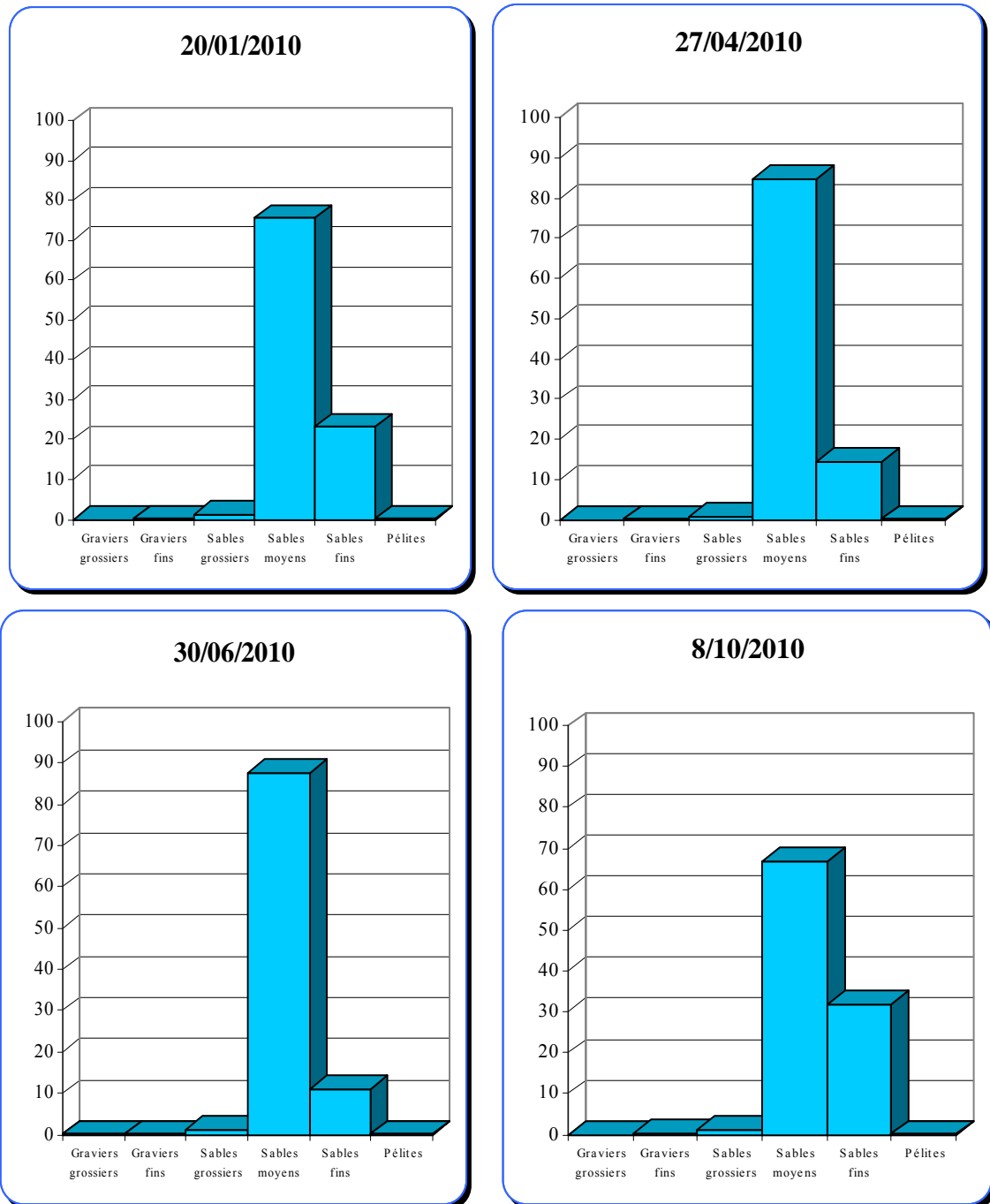


Figure 8.2. Point C, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

8.3.2. Composition bionomique

8.3.2.1. Point B

En 2010, l'analyse faunistique a permis de recenser 57 taxons différents au point B, cette richesse spécifique reste relativement stable depuis 2005 (tableau 8.3).

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

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

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

- 1 Cnidaire
- 2 Némertes
- 24 Annélides Polychètes
- 10 Mollusques
 - 1 Gastéropode
 - 9 Bivalves
- 16 Crustacés
- 4 Echinodermes

Ces 57 taxons représentaient 10 709 individus récoltés. L'abondance totale était de 19 141 en 2009 et 28 792 au point B en 2008. Ce chiffre revient donc à une valeur inférieure à 2006, 2008 et 2009, après une valeur importante en 2007 qui était due au recrutement très important de *Lanice conchilega* en avril de cette même année (près de 89 000 individus).

8.3.2.2. Point C

L'analyse faunistique a permis de recenser 28 taxons différents. La richesse spécifique globale est du même ordre qu'en 2008 et 2009 (tableau 8.4).

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

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

Ils se répartissaient comme suit (annexes 8.3 et 8.4)

- 1 Cnidaire
- 2 Némertes
- 10 Annélides Polychètes
 - 5 sédentaires
 - 5 errantes
- 1 Mollusques Bivalve
- 12 Crustacés
 - 1 Tanaidacé
 - 2 Mysidacé
 - 6 Amphipodes
 - 3 Décapodes
- 2 Poissons

Ces 28 taxons représentaient 413 individus récoltés (400 en 2009), ce résultat est très proche de celui des 10 dernières années d'étude si l'on excepte les années 2004 et 2005.

Nephtys cirrosa était l'espèce dominante du peuplement avec 67 % des individus récoltés.

8.3.3. Résultats

8.3.3.1. Point B

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

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

Phénomène relativement rare dans le cas d'espèces invasives, *Ensis directus* a été intégré au cortège spécifique du peuplement alors que l'on assiste en général plutôt à une prédominance qui tend à limiter les populations des autres espèces. Il est à noter la disparition du couteau *Ensis arcuatus* depuis 1991 dans les prélèvements de la zone. Cette espèce n'a toujours pas été observée en 2010 à la station B.

En janvier 2010, le peuplement était dans un état peu habituel pour une situation hivernale, avec une richesse spécifique qui était plus faible que les années antérieures avec 33 espèces (tableau 8.5) et, par contre, une densité et une biomasse très importantes pour la saison, phénomène causé par *Ensis directus*.

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

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

La densité globale, avec 5 306 ind. \cdot m⁻² était nettement supérieure à celle des années antérieures. Le peuplement était dominé par *Ensis directus* (1 519 ind. \cdot m⁻²), principale cause de cette densité élevée (28,63%), d'*Owenia fusiformis* (837 ind. \cdot m⁻²), *Phyllodoce mucosa* (565 ind. \cdot m⁻²), *Eumida sanguinea* (431 ind. \cdot m⁻²), *Lanice conchilega* (385 ind. \cdot m⁻²) et *Chaetozone setosa* (352 ind. \cdot m⁻²). Enfin, comme les années antérieures, la présence en densité assez importante du nécrophage *Nassarius reticulatus* (33 ind. \cdot m⁻²) est à souligner. La biomasse globale de 63,84g \cdot m⁻² était largement supérieure à celles de la même période depuis 2005 (tableau 8.5). Cette biomasse était due principalement à deux espèces : *Ensis directus* (23,82 g \cdot m⁻²) et *Owenia fusiformis* (19,81 g \cdot m⁻²). Ces deux espèces représentaient 68,35 % de la biomasse totale.

En avril 2010, la richesse spécifique avait chuté, avec 26 espèces, comme la densité globale qui passait à 535 ind. \cdot m⁻² et la biomasse qui chutait à 19,03 g \cdot m⁻² (tableau 8.6).

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

	mars 2005	mai 2006	avril 2007	avril 2008	mai 2009*	Avril 2010
N	37	39	31	41	41	26
densité	1389	937	89 503	14 143	6 226	535
biomasse	56,20	21,65	53,99	32,41	29,21	19,03

Ces chiffres très faibles sont dus aux prélèvements qui ont été effectués dans un faciès paucispécifique du peuplement. Ce phénomène avait déjà été remarqué entre 1991 et 1995, lors du recrutement massif d'*Ensis directus*. Cette fois encore, il est observé suite à un recrutement important de ce Solenidae, laissant penser que cette espèce provoque une réorganisation spatiale à petite échelle du peuplement. Les espèces présentes sont majoritairement celles déjà observées en janvier, donc peu de modification de la composition spécifique des espèces dominantes (à part les Crustacés quasi absents), mais une mortalité plus importante a dû avoir lieu à cet endroit, comme le souligne la présence en densité plus importante du Gastéropode nécrophage *Nassarius reticulatus*. (47 ind.m⁻²) La biomasse est également dominée par ce Mollusque : 8,28 g.m⁻², soit 43,53% de la biomasse totale.

Au mois de juin 2010, la richesse spécifique avait peu augmenté, avec 30 espèces récoltées. La densité avait cependant augmenté avec un total de 2 251 ind.m⁻², comme la biomasse avec une valeur élevée de 86,93 g.m⁻² (tableau 8.7).

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

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

L'influence des densités/biomasses importantes d'*Ensis directus* avec 977 ind./m² pour 67,53 g.m⁻² était toujours le facteur majeur structurant le peuplement à cette date. A noter le recrutement d'une nouvelle cohorte d'*Abra alba* (519 ind./m²) et l'abondance marquée depuis fin 2009 d'*Owenia fusiformis* (282 ind./m²) et *Lanice conchilega* (123 ind./m²). La biomasse globale était dominé comme déjà mentionné par *Ensis directus* (67,53 g.m⁻²), soit 77,7% de la biomasse totale. Combiné aux trois autres espèces contribuant le plus à cette biomasse que sont *Owenia fusiformis* (6,92 g.m⁻²), suivie par *Nassarius reticulatus* (4,73 g.m⁻²) et *Abra alba* (4,10 g.m⁻²), ces quatre espèces représentaient 91,1 % de la biomasse totale.

En octobre 2010, la richesse spécifique augmentait à nouveau pour atteindre 47 espèces. Par contre, la densité globale restait relativement stable par rapport à juin avec 4 899 ind.m⁻² (tableau 8.8).

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

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

Après *Ensis directus* (687 ind. \cdot m⁻²) toujours dominante, les espèces les plus abondantes étaient : *Abra alba* (588 ind. \cdot m⁻²), maintien du recrutement de l'année, *Owenia fusiformis* (561 ind. \cdot m⁻²), *Chaetozone setosa* (105 ind. \cdot m⁻²) et *Ophiura albida* (105 ind. \cdot m⁻²). La biomasse globale diminuait par rapport à celle de juin avec 54,14g \cdot m⁻². Les principales espèces constituant cette biomasse étaient, pour plus de 44 % *E. directus* (23,74 g \cdot m⁻²), puis *Asterias rubens* (7,96 g \cdot m⁻²), *Nassarius reticulatus* (7,55 g \cdot m⁻²) et *O. fusiformis* (7,2 g \cdot m⁻²). Ces quatre espèces représentaient 85,8 % de la biomasse totale. A noter la présence régulière de l'Echinoderme *Asterias rubens* en 2010 sur le site et un bon recrutement au printemps, phénomène peu fréquent sur cette zone et que l'on peut à nouveau lier à la présence en masse de proies potentielles : *Ensis directus*.

8.3.3.2. Point C

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

Les résultats enregistrés en 2010 au point C ont confirmé à la fois l'impact de la centrale sur les peuplements benthiques du champ proche de la centrale mais aussi la stabilité de cet impact au cours du temps. Le maintien du peuplement en place confirme la constance de la perturbation. *Nephtys cirrosa* demeure l'espèce la plus importante du peuplement établi à ce point.

La campagne de janvier 2010 a donné des résultats conformes à ce que l'on peut rencontrer habituellement dans les conditions hivernales. La densité était en diminution par rapport à 2009 (62 ind. \cdot m⁻²) mais reste du même ordre que celles de 2007 et 2008 (tableau 8.9). *Nephtys cirrosa* représente 85 % des individus récoltés. La richesse spécifique avait été en forte diminution en 2008, puis revenue à un niveau équivalent à celui de 2006 en 2009. En 2010 elle est du même ordre que celle de 2005 et 2007. Le peuplement était dominé par *N. cirrosa* (53 ind. \cdot m⁻²). La biomasse était moyenne par rapport aux 5 dernières années et proche de celle de 2009 (0,7 g \cdot m⁻²). Les espèces les plus contributives à l'élaboration de la biomasse étaient *Portumnus latipes* (0,39 g \cdot m⁻²) et *N. cirrosa* (0,33 g \cdot m⁻²).

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

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

En avril 2010 la densité globale du peuplement a plus que doublé (130 ind. \cdot m⁻²). par rapport à janvier 2010 et la richesse spécifique a fortement augmenté (16 espèces), bien que la densité globale ait augmenté. Le peuplement était dominé par : *Nephtys cirrosa* (67 ind. \cdot m⁻²; tableau 8.10), *Spiophanes bombyx* (16 ind. \cdot m⁻²) et *Crangon crangon* (11 ind. \cdot m⁻²). Les individus de cette dernière espèce sont de très jeunes individus, comme nous les avons observés sur l'estran. La biomasse était un peu supérieure à celle des 5 dernières années. Les espèces qui contribuaient le plus à l'élaboration de la biomasse étaient *P. latipes* (0,84 g \cdot m⁻²) et *N. cirrosa* : 0,28 g \cdot m⁻².

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

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

En juin 2010, la richesse spécifique restait stable (15 espèces), tout comme la densité globale (136 ind. \cdot m⁻²), (tableau 8.11). Les espèces dominantes étaient *Nephtys cirrosa* (87 ind. \cdot m⁻²) et *Portumnus latipes* (12 ind. \cdot m⁻²), des juvéniles de *Crangon crangon* sont encore présents (5 ind. \cdot m⁻²). La biomasse était légèrement supérieure à celle du mois de mai (1,8 g \cdot m⁻²). *N. cirrosa* (0,77 g \cdot m⁻²), *Portumnus latipes* (0,41 g \cdot m⁻²), *Hyperoplus lanceolatus* (0,29 g \cdot m⁻²) et *Lumbrineris tetraura* (0,24 g \cdot m⁻²) représentaient 97 % de la biomasse totale.

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

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

En octobre 2010 la densité de la communauté avait fortement diminué (6 espèces), la densité de population chutait à 85 ind. \cdot m⁻² au niveau de 2009 (tableau 8.12). La densité de la population de *Nephtys cirrosa* restait supérieure à celle du printemps (71 ind. \cdot m⁻²). Il est à noter que pendant cette campagne *Ensis directus* a été récolté au point C, en resonance avec le fort recrutement observé au point B. Le léger affinement du sédiment a permis l'installation de *Nephtys hombergii* qui n'avait

pas été récolté à ce point depuis plusieurs années. Les espèces les plus contributives à l'élaboration de la biomasse étaient *N. cirrosa* (0,26 g·m⁻²; 50 %), *Portumnus latipes* (0,20 g·m⁻²; 38 %) et *Ensis directus* (0,05 g·m⁻², 8 %).

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

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

Le déficit en densité au point C par rapport au point témoin B était encore très important, il atteignait 96 % (tableau 8.13). Ce déficit reste très élevé depuis 2006. L'impact en terme de biomasse restait aussi très important (98,1 %).

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

densités	Janvier 2010	Avril 2010	Juin 2010	Octobre 2010	2010
Station B	5306	535	2251	2617	10709
Station C	62	130	136	85	413
Déficit (%)	98,8	75,7	93,9	96,7	96,1
Biomasses (g)					
Station B	63,837	19,030	86,928	54,137	223,931
Station C	0,726	1,248	1,760	0,524	4,258
Déficit (%)	98,8	93,4	98	99	98,1

L'impact de la centrale sur les peuplements benthiques reste donc très fort dans le champ proche de la centrale. Il provoque un déficit de 96,1 % de la densité (densité moyenne de 103 ind·m⁻² au point C contre 2 677 ind·m⁻² au point B) et de 98,1 % de la biomasse, moyenne annuelle de 1,06 g·m⁻² au point C contre 55,98 g·m⁻² au point B.

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

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

8.4.1. Étude de la population de *Abra alba*

La population d'*Abra alba* est connue pour ses fluctuations brutales, liées à son caractère pionnier. Ces fluctuations peuvent être attribuées au recrutement ou à des migrations passives. La dynamique de la population de cette espèce est basée sur un cycle de 7 à 8 ans. Cette espèce a présenté en 1998 et 1999 de bons recrutements (1 249 ind·m⁻² et 1 068 ind·m⁻²) alors que depuis 1991 seuls deux recrutements importants avaient été mis en évidence sans maintien de la population. En 2000, la population s'était maintenue à un niveau de densité de 700 à 800 ind·m⁻² puis après une forte régression jusqu'à l'automne 2001, la densité, grâce aux nouvelles recrues, avait atteint 762 ind·m⁻² pour diminuer à nouveau durant l'hiver 2002 et atteindre 611 ind·m⁻² à l'automne de la même année. En 2003, la population diminuait de nouveau durant la période hivernale pour atteindre seulement 139 ind·m⁻² en juillet. Un important recrutement était cependant noté au début

de l'automne et les densités atteignaient $1\ 116 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ en octobre. Une telle abondance n'avait pas été atteinte depuis septembre 1999. De 2004 à 2006, on a observé le cycle habituel, soit une diminution des densités à la fin de l'hiver début du printemps puis un recrutement en juin avec un maintien en automne. En 2007, un scénario différent était observé, avec une diminution classique en fin d'hiver-début de printemps (68 et $45 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ respectivement en février et avril), puis les densités étaient restées faibles en juin ($55 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$), et le recrutement a eu lieu plus tardivement en automne comme le soulignaient les $562 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ observés en décembre. En 2008, le cycle observé de 2004 à 2006 était apparu de nouveau mais avec des densités plus élevées : minimum de $249 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ en avril et maximum de $1\ 173 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ en juin. Les effectifs importants de 2008 ont perduré jusque début 2010 ($153 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ en janvier), puis un nouveau recrutement est noté avec près de $600 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ en juin avec un maintien en octobre (figure 8.3)

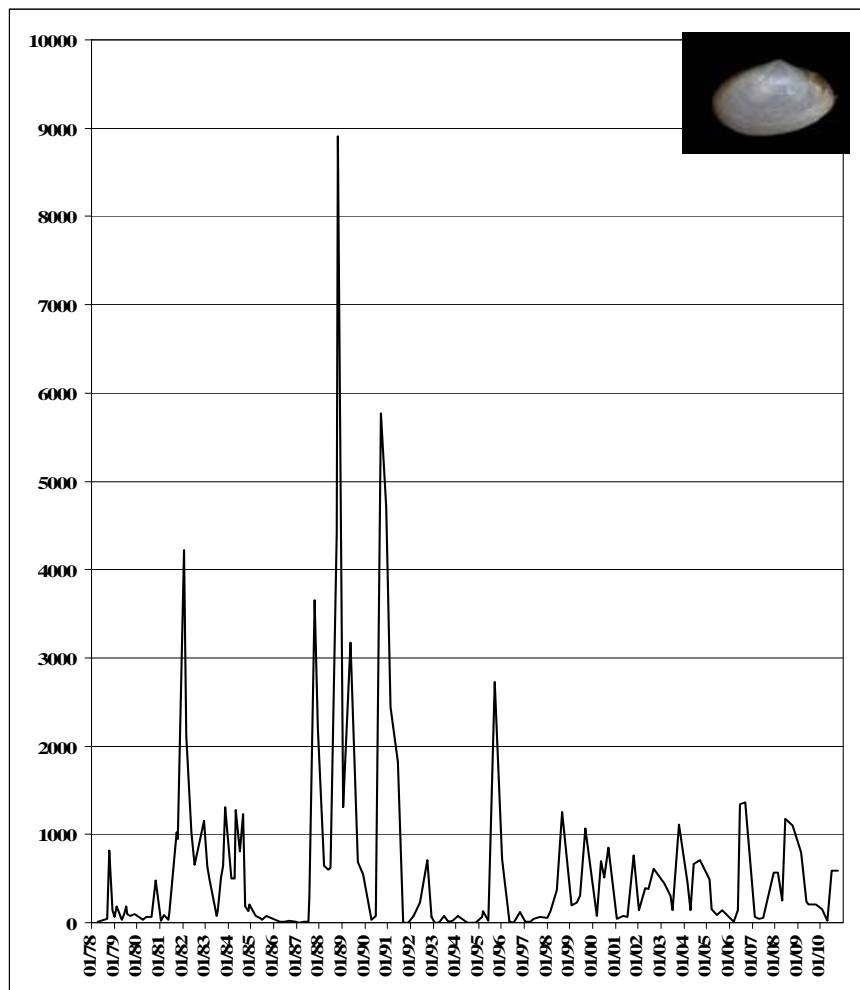


Figure 8.3 *Abra alba*, évolution de la densité (par m^2) de la population au point B entre 1978 et 2010

8.4.2. Étude de la population de *Tellina fabula*

Cette espèce n'est pas une espèce pionnière et sa densité habituelle n'atteint jamais celle d'*Abra alba*. La diminution drastique de ses densités coïncide avec l'arrivée du couteau américain *Ensis directus* en 1991. La densité de cette espèce était restée à un niveau très faible en 1997 et avait bénéficié en 1998 et 1999 de recrutements légèrement meilleurs ($66 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ en 1998 et $83 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$ en 1999). Le recrutement ne s'était pas maintenu au cours des deux années suivantes. En 2000, la population était restée à un niveau faible toute l'année, et inférieure à $50 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-2}$. En 2001, les densités étaient encore inférieures à celles de 2000 et la population était constituée de très petits individus. En 2002, le scénario était assez proche de celui de 2001, avec un maximum de

43 ind. \cdot m⁻² en juin. En 2005, comme en 2004, la quasi-totalité des individus était de petite taille. Une fois de plus, tout se passe donc comme si les recrues (en nombre limité d'ailleurs) ne trouvaient pas localement les conditions nécessaires à leur survie au delà de quelques semaines à quelques mois. En effet, avec 97 ind. \cdot m⁻² en octobre 2003, densité la plus élevée depuis 1991, la question se posait de la possibilité d'une réimplantation de l'espèce de façon plus importante sur le site. Les chiffres de 2005 confirmaient l'interprétation de 2004 et montraient qu'il n'en était rien. En 2006, la densité d'octobre 2003 était presque atteinte en septembre avec 96 individus par m². Cette densité résultait d'un recrutement peu important au printemps mais qui s'était maintenu durant l'été. En 2007, les effectifs revenaient à des valeurs faibles mais stables durant toute l'année avec 14 à 24 ind. \cdot m⁻². Peu de changements majeurs en 2008, la population s'était cependant maintenue à un niveau plus élevé avec 48 à 82 ind. \cdot m⁻². Pour 2009, les densités les plus importantes depuis 1991 ont été observées en février (106 individus m⁻²) puis stabilité des effectifs autour d'une trentaine d'individus. En 2010, les effectifs diminuent avec un retour à une situation proche de celle de 2007, 4 à 25 ind. \cdot m⁻² (figure 8.4).

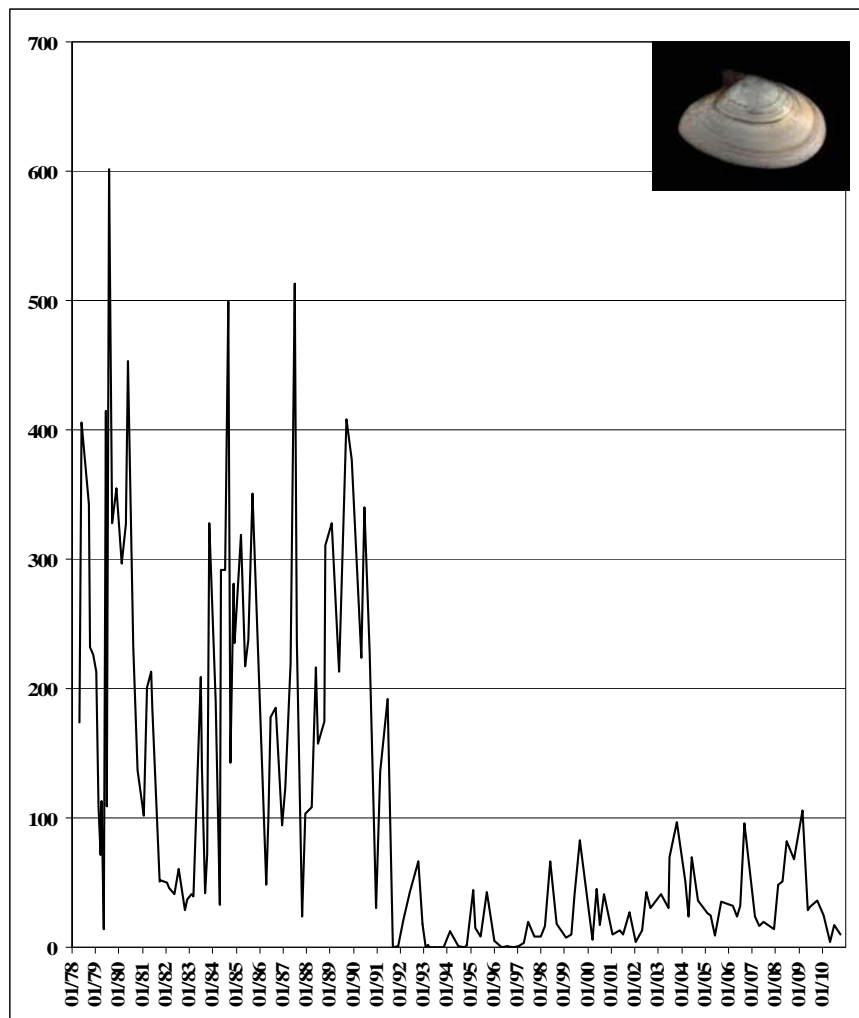


Figure 8.4 *Tellina fabula*, évolution de la densité (par m²) de la population au point B entre 1978 et 2010

8.5. Éléments de conclusion

Le **point B** a été caractérisé en 2010 par le maintien à de fortes densités et biomasses du couteau américain *Ensis directus* après son recrutement massif de 2009. Cette espèce semble bien être le facteur contrôlant le fonctionnement actuel du système, tant dans le temps que dans l'espace (prélèvements dans un faciès appauvri en avril). Certaines espèces maintiennent cependant des densités intéressantes (*Owenia fusiformis*, *Chaetozone setosa*, *Ophiura albida* par exemple) et des recrutements d'*Abra alba* et *Asterias rubens* ont été notés au printemps et se sont maintenus en automne. La présence régulière de l'Echinoderme *Asterias rubens* en 2010 sur le site et son recrutement au printemps sont des phénomènes peu fréquents sur cette zone et sont la résultante de la présence en masse de proies potentielles : *Ensis directus*.

Autre conséquence du maintien à un niveau élevé de la population de couteau, sur le plan global, la densité moyenne de 2 677 ind. \cdot m⁻² était inférieure à la norme des années antérieures et la biomasse moyenne était en augmentation par rapport aux années précédentes avec 55,99 g \cdot m⁻².

Les résultats enregistrés au **point C** révèlent une année 2010 caractérisée par des valeurs de richesse spécifique, de densités et de biomasse supérieures à ceux de 2009. Les peuplements qui s'établissent à ce point étaient toujours du type sabulicole et le déficit en densité et biomasse était toujours considérable par rapport au point B (respectivement, 96,1% et 98,1 %). Ce déficit était 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, comme par exemple cette année *E. directus* ou *Nephtys hombergii*.

La présence de juvéniles de *Crangon crangon* observée sur l'estran l'a été également au point C, mais avec des effectifs plus faibles.

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

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

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

	20-janv-10	27-avr-10	30-juin-10	08-oct-10
	1 m ²	1m ²	1 m ²	1 m ²
Cnidaires				
<i>Sagartia troglodytes</i>	3	0	2	1
Annélides Polychètes				
<i>Capitella capitata</i>	0	4	0	1
<i>Heteromastus filiformis</i>	1	1	0	45
<i>Notomastus latericeus</i>	193	21	7	52
<i>Scoloplos armiger</i>	1	0	0	33
<i>Glycera alba</i>	0	0	0	4
<i>Glycera celtica</i>	1	0	0	1
<i>Nephtys cirrosa</i>	0	2	0	1
<i>Nephtys hombergii</i>	68	19	32	39
<i>Nephtys longosetosa</i>	2	0	0	0
<i>Eunereis longissima</i>	8	0	3	9
<i>Pholoë baltica</i>	34	0	4	57
<i>Eteone longa</i>	0	0	0	11
<i>Eteone picta</i>	3	0	0	6
<i>Eumida sanguinea</i>	431	1	15	6
<i>Phyllodoce mucosa</i>	565	80	45	24
<i>Malmgrenia glabra</i>	6	19	10	1
<i>Sthenelais boa</i>	7	1	9	12
<i>Owenia fusiformis</i>	837	30	282	561
<i>Magelona johnstoni</i>	4	0	0	0
<i>Spio martinensis</i>	1	0	0	2
<i>Spiophanes bombyx</i>	56	8	17	26
<i>Chaetozone setosa</i>	352	48	4	105
<i>Pectinaria koreni</i>	29	1	1	15
<i>Lanice conchilega</i>	385	2	123	4
Mollusques Gastéropodes				
<i>Nassarius reticulatus</i>	33	47	39	38

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

	20-janv-10	27-avr-10	30-juin-10	08-oct-10
Mollusques Bivalves				
<i>Spisula solida</i>	0	0	1	0
<i>Spisula subtruncata</i>	1	0	0	0
<i>Mysella bidentata</i>	112	1	4	65
<i>Ensis directus</i>	1519	162	977	687
<i>Abra alba</i>	153	18	590	588
<i>Macoma balthica</i>	2	0	0	2
<i>Tellina fabula</i>	25	4	17	10
<i>Venerupis pullastra</i>	0	1	0	0
<i>Mya truncata</i>	0	1	0	0
Némertes				
<i>Tubulanus polymorphus</i>	1	0	0	1
<i>Lineus bilineatus</i>	2	0	0	0
Crustacés				
<i>Crangon crangon</i>	1	5	4	6
<i>Pagurus bernhardus</i>	0	0	0	1
<i>Polybius arcuatus</i>	1	1	1	5
<i>Polybius holsatus</i>	1	0	8	3
<i>Polybius vernalis</i>	1	0	1	0
<i>Pinnotheres pisum</i>	1	0	1	0
<i>Macropodia inaresi</i>	1	0	0	0
<i>Schistomysis kervillei</i>	0	0	0	1
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	1	0	0	0
<i>Pariambus typicus</i>	137	0	0	23
<i>Ampelisca brevicornis</i>	2	0	0	1
<i>Atylus swammerdami</i>	14	1	4	19
<i>Leucothé incisă</i>	15	0	0	2
<i>Melita obtusata</i>	166	0	5	9
<i>Urothoë poseidonis</i>	0	0	0	1
<i>Diastylis bradyi</i>	3	0	0	8
Echinodermes				
<i>Asterias rubens</i>	1	0	16	15
<i>Amphiura brachiata</i>	7	4	2	7
<i>Ophiura albida</i>	119	53	27	105
<i>Ophiura ophiura</i>	0	0	0	3
TOTAL	5306	535	2251	2617
Richesse spécifique	46	26	30	47

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

	20-janv-10	27-avr-10	30-juin-10	08-oct-10
	1 m ²	1m ²	1 m ²	1 m ²
Cnidaires				
<i>Sagartia troglodytes</i>	1,154		0,916	0,160
Annélides Polychètes				
<i>Heteromastus filiformis</i>				0,006
<i>Notomastus latericeus</i>	0,650	0,067	0,023	0,122
<i>Scoloplos armiger</i>				0,004
<i>Glycera celtica</i>	0,007			
<i>Nephtys hombergii</i>	0,488	0,221	0,173	0,197
<i>Eunereis longissima</i>	0,145		0,024	0,119
<i>Pholoë baltica</i>	0,004		0,001	0,010
<i>Eumida sanguinea</i>	0,122		0,005	
<i>Phyllodoce mucosa</i>	0,382	0,084	0,020	0,018
<i>Malmgrenia glabra</i>	0,002	0,004	0,002	
<i>Sthenelais boa</i>	0,136	0,138	0,180	0,074
<i>Owenia fusiformis</i>	19,810	1,223	6,920	7,198
<i>Spiophanes bombyx</i>	0,012	0,002	0,006	0,004
<i>Chaetozone setosa</i>	0,034	0,009	0,000	0,023
<i>Pectinaria koreni</i>	0,327	0,007	0,003	0,178
<i>Lanice conchilega</i>	1,944	0,029	0,392	
Mollusques Gastéropodes				
<i>Nassarius reticulatus</i>	3,497	8,285	4,732	7,546
Mollusques Bivalves				
<i>Spisula solida</i>			0,003	
<i>Spisula subtruncata</i>	0,002			
<i>Mysella bidentata</i>	0,044	0,001	0,003	0,016
<i>Ensis directus entiers</i>	16,278	3,438	22,310	1,779
<i>Ensis directus cassés</i>	7,546	1,934	45,219	21,965
<i>Abra alba</i>	1,611	0,288	4,101	3,598
<i>Macoma balthica</i>	0,020			0,114
<i>Tellina fabula</i>	0,103	0,089	0,155	0,097
<i>Venerupis pullastra</i>		0,001		
<i>Mya truncata</i>		0,494		
Crustacés	0,040		0,002	0,012
<i>Crangon crangon</i>		0,093	0,013	0,080
<i>Pagurus bernhardus</i>				0,046
<i>Polybius arcuatus</i>	0,027	0,010	0,241	0,207
<i>Polybius holsatus</i>	0,109		0,069	0,035
<i>Polybius vernalis</i>	0,157		0,260	
Echinodermes				
<i>Asterias rubens</i>	4,385		0,006	7,955
<i>Amphiura brachiata</i>	0,423	0,365	0,098	0,330
<i>Ophiura albida</i>	4,343	2,247	1,051	1,756
<i>Ophiura ophiura</i>				0,468
Divers	0,037	0,002		0,019
Richesse spécifique	46	26	30	47
TOTAL	63,837	19,030	86,928	54,137

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

	20/01/2010	27 /04/2010	30/06/2010	8/10/2010
Cnidaires				
<i>Sagartia troglodytes</i>		1	1	
Nemertes				
<i>Cerebratulus marginatus</i>		1		
<i>Némerte sp</i>		2	5	
Annélides Polychètes				
<i>Scolelepis squamata</i>	3	2	1	
<i>Spiophanes bombyx</i>		16		
<i>Spio martinensis</i>		9	3	1
<i>Polydora sp</i>			4	
<i>Magelona johnstoni</i>		3		
<i>Phyllodoce mucosa</i>	1		5	
<i>Nephtys cirrosa</i>	53	67	87	71
<i>Nephtys hombergii</i>				1
<i>Glycera tridactyla</i>			1	
<i>Lumbrineris tetraura</i>		1	3	
Mollusques				
<i>Ensis directus</i>				3
Crustacés				
<i>Apseudes talpa</i>			2	
<i>Pontocrates altamarinus</i>	1			
<i>Atylus swammerdami</i>	1	4		
<i>Corophium sextonae</i>		1	2	
<i>Bathyporeia elegans</i>		4		
<i>Bathyporeia pelagica</i>	1	1		
<i>Bathyporeia sarsi</i>	1			
<i>Schistomysis spiritus</i>	1			
<i>Gastrosaccus spinifer</i>		1		
<i>Crangon crangon</i>		11	5	
<i>Diogenes pugilator</i>				2
<i>Portumnus latipes</i>	12	6	12	7
Poissons				
<i>Hyperoplus lanceolatus</i>			4	
<i>Solea solea</i>			1	
Richesse spécifique	9	16	15	6
Total ·m⁻²	62	130	136	85

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

	20/01/2010	27 /04/2010	30/06/2010	8/10/2010
Cnidaires				
<i>Sagartia troglodytes</i>		0,7	32,5	
Nemertes				
<i>Cerebratulus marginatus</i>		71,4		
<i>Némerte sp</i>		6,5	5,2	
Annélides Polychètes				
<i>Scolecopsis squamata</i>	1,2	1,1	2,2	
<i>Spiophanes bombyx</i>		3,5		
<i>Spio martinensis</i>		0,8	0,4	0,4
<i>Polydora sp</i>			0,2	
<i>Magelona johnstoni</i>		1,0		
<i>Phyllodoce mucosa</i>	1,0		3,2	
<i>Nephtys cirrosa</i>	327,9	282,2	766,0	264,1
<i>Nephtys hombergii</i>				11,0
<i>Glycera tridactyla</i>			3,0	
<i>Lumbrineris tetraura</i>		31,9	235,9	
Mollusques				
<i>Ensis directus</i>				43,7
Crustacés				
<i>Apseudes talpa</i>			0,1	
<i>Pontocrates altamarinus</i>	0,3			
<i>Atylus swammerdami</i>	0,3	0,9		
<i>Corophium sextonae</i>		0,1	0,4	
<i>Bathyporeia elegans</i>		1,2		
<i>Bathyporeia pelagica</i>	0,3	0,3		
<i>Bathyporeia sarsi</i>	0,2			
<i>Schistomysis spiritus</i>	0,6			
<i>Gastrosaccus spinifer</i>		0,8		
<i>Crangon crangon</i>		5,7	2,2	
<i>Diogenes pugilator</i>				9,2
<i>Portumnus latipes</i>	394,6	839,7	412,5	195,6
Poissons				
<i>Hyperoplus lanceolatus</i>			292,3	
<i>Solea solea</i>			3,9	
Richesse spécifique	9	16	15	6
Total ·m⁻²	726,4	1247,8	1760,0	524,0