

Thème 2: Surveillance, usage et mise en valeur des zones côtières  
Thème 4: Ressources halieutiques, exploitation durable et valorisation

Ivan SCHLAICH  
Benjamin SIMON  
Christophe LOOTS  
Elvire ANTAJAN  
Emilie RABILLER  
Franck MAHEUX  
Mathilde SCHAPIRA  
Sylvaine FRANCOISE

---

Mars 2015 – IFREMER/RBE/HMMN/RHPEB 15-001

# Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Penly

Année 2014  
Rapport scientifique annuel



<p><b>Numéro d'identification du rapport :</b> IFREMER/RBE/HMMN/RHPEB 15-001</p> <p><b>Diffusion :</b> libre Validé par : <b>Comité de lecture</b></p> <p><b>Version du document :</b> définitif</p>	<p><b>Date de publication :</b> mars 2015</p> <p><b>Nombre de pages :</b> 178</p> <p><b>Bibliographie</b> (Oui / <del>Non</del>)</p> <p><b>Illustration(s)</b> (Oui / <del>Non</del>)</p> <p><b>Langue du rapport :</b> français</p>
<p><b>Titre et sous-titre du rapport :</b></p> <p style="text-align: center;"><i>Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Penly</i> <i>Année 2014 - Rapport scientifique annuel</i> <i>Ecological and fisheries monitoring of the Penly nuclear power plant</i> <i>2014 - Annual scientific report</i></p>	
<p><b>Auteur(s) principal(aux) :</b></p> <p>Ivan Schlaich Benjamin SIMON Christophe LOOTS Elvire ANTAJAN Emilie RABILLER Franck MAHEUX Mathilde SCHAPIRA Sylvaine FRANCOISE</p>	<p><b>Organisme - Direction - Service - laboratoire</b></p> <p>IFREMER-RBE-HMMN-RHPEB IFREMER-ODE-LER-LERN IFREMER-RBE-HMMN-RHB IFREMER-ODE-LER-LERB IFREMER-ODE-LER-LERN IFREMER-ODE-LER-LERN IFREMER-ODE-LER-LERN</p>
<p><b>Collaborateur(s) :</b> nom, prénom</p> <p>Alain Tetard Arnaud Auber Benjamin Simon Benois Gomez Emilie Rabiller Francis Gohin Francoise Verin Frank Maheux Gaëlle Courtay Jean-Paul Delpech Jocelyne Morin Laure Lamort Louis Wilfried Nicolas Goascoz Olivier Pierre-Duplessix Valerie Lefebvre Wilfried Louis</p>	<p><b>Organisme - Direction - Service - laboratoire</b></p> <p>IFREMER-RBE-HMMN-RHPEB IFREMER-RBE-HMMN-RHB IFREMER-ODE-LER-LERN IFREMER-RBE-HMMN-RHBL IFREMER-ODE-LER-LERN IFREMER- ODE-DYNECO-PELAGOS IFREMER-ODE-LER-LERB IFREMER-ODE-LER-LERN IFREMER- ODE-LER-LERN IFREMER-RBE-HMMN-RHBL IFREMER-RBE-HMMN-RHPEB IFREMER-ODE-LER-LERN IFREMER-RBE-HMMN-RHBL IFREMER-RBE-HMMN-RHPEB IFREMER-ODE-LER-LERN IFREMER-RBE-HMMN-RHBL IFREMER-RBE-HMMN-RHBL</p>
<p><b>Titre du contrat de recherche :</b></p>	<p><b>Marché n°</b> C4493C0850</p>
<p><b>Organisme commanditaire :</b></p> <p style="text-align: center;">Electricité de France (EDF) – Production Transport – C. N. P. E. de Penly BP 854 - 76370 NEUVILLE LES DIEPPE</p> <p><b>Organisme réalisateur :</b></p> <p style="text-align: center;">Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, IFREMER 150 quai Gambetta - BP 699 - 62321 Boulogne sur Mer Cedex 03</p>	
<p><b>Cadre de la recherche :</b></p> <p>Programme : Surveillance et évaluation de la qualité du milieu marin Projet : Impact des Grands Aménagements (I.G.A) Campagne océanographique : IGA 1-2-3, 2014, NO DELPHY</p>	

**Résumé :**

La surveillance n° 28 sur le site de PENLY couvre la période de mars à septembre 2014.

Les domaines étudiés sont l'hydrologie, la microbiologie, le plancton végétal et animal et le domaine halieutique.

L'année 2014 est la vingt cinquième année de fonctionnement de la centrale.

**Abstract :**

Monitoring n° 28 of PENLY nuclear power - plant takes into account studies between March and September 2014.

Hydrology, microbiology, phytoplankton, zooplankton and fishing are studied.

This power-plant has been in operation for twenty-five years.

**Mots-clés :**

Pélagos - Halieutique - Centrale nucléaire – Surveillance

**Keywords :**

Pelagos - fishing - Nuclear power plant – Monitoring

**Commentaire :**

Schlaich I., Antajan E., Françoise S., Loots C., Maheux F., Rabiller E., Schapira M., Simon B., 2015.-Surveillance écologique et halieutique de site électronucléaire de Penly, année 2014 – Rapport scientifique annuel. Rapp. IFREMER/RBE/HMMN/RHPEB, mars 2015, 178 p.

# Surveillance écologique et halieutique

## *Site de Penly*

mars 2014 - septembre 2014

### IFREMER

Station de Port en Bessin Avenue du Général de Gaulle B.P. 32 14520 PORT EN BESSIN Tél. : 02 31 51 16 00	Centre de Manche Mer du Nord 150 quai Gambetta - BP 699 62321 Boulogne-sur-Mer Tél. : 03 21 99 56 00
Centre de Brest  B.P. 70 29280 PLOUZANE Tél. : 02 98 22 40 40	

### AUTRES ORGANISMES

Labéo Frank Duncombe 1 route Rosel Saint Contest 14053 CAEN Tél. : 02 31 47 19 19	Laboratoire Eurofins IPL Atlantique  1 Rue du Professeur Vézès 33000 BORDEAUX Tél. : 05 56 01 84 00
---	---



# Préambule

L'étude écologique et halieutique du site de PENLY a été confiée à deux organismes par Electricité de France: le CNEXO pour la partie écologique entreprise en 1978 et l'ISTPM pour la partie halieutique entreprise en 1977 (\*).

L'étude de Projet menée par ces deux organismes de février 1978 à janvier 1980 (étude écologique) ou de février 1978 à décembre 1979 (étude halieutique) avait pour but d'établir un état de référence avant l'implantation de la centrale nucléaire. Par la suite, Electricité de France a permis la poursuite de l'étude de la nourricerie de poissons plats au-delà des études de projet de 1980 à 1983 lors d'une phase d'études complémentaires.

A la demande d'Electricité de France, l'étude de Surveillance a commencé en 1987, soit trois ans avant la date prévue de mise en fonctionnement de la centrale.

Cette étude de Surveillance doit permettre dans un premier temps d'apprécier les fluctuations naturelles pluriannuelles des principaux paramètres retenus à partir de l'étude de Projet et, dans un second temps, d'analyser l'incidence éventuelle de la centrale sur le milieu marin et ses ressources.

L'année 2014, objet du présent rapport, est la vingt-cinquième année de fonctionnement de la centrale. Les résultats obtenus au cours de cette vingt-huitième année de surveillance contenus dans le rapport concernent l'étude :

- de la climatologie effectuée à la station IFREMER de Port-en-Bessin par le Laboratoire Environnement Ressources de Normandie sous la responsabilité de Franck MAHEUX;
- de l'hydrologie effectuée à la station IFREMER de Port-en-Bessin par le Laboratoire Environnement Ressources de Normandie sous la responsabilité de Emilie RABILLER;
- de la microbiologie effectuée à la station IFREMER de Port-en-Bessin par le Laboratoire Environnement Ressources de Normandie sous la responsabilité Mathilde SCHAPIRA;
- du phytoplancton effectuée à la station IFREMER de Port-en-Bessin par le Laboratoire Environnement Ressources de Normandie sous la responsabilité Sylvaine FRANÇOISE;
- du zooplancton réalisée au Centre IFREMER de Boulogne-sur-Mer sous la responsabilité de Elvire ANTAJAN;
- de l'ichtyoplancton réalisée au Centre IFREMER de Boulogne-sur-Mer sous la responsabilité de Christophe LOOTS;
- de l'halieutique par le laboratoire Ressources Halieutiques de la station IFREMER de Port-en-Bessin sous la responsabilité de Ivan SCHLAICH.

La coordination a été assurée à la Station IFREMER de Port-en-Bessin par Ivan SCHLAICH et la mise en page par Laetitia RENAUDE.

(\*) Une étude très succincte, dite "d'avant-projet" a été réalisée auparavant par ces deux organismes en 1975 et 1977.

## Résumé

L'année 2014 peut être qualifiée d'année chaude en raison du fort écart thermique annuel positif constaté. L'ensemble de l'année est caractérisé par une douceur constante, les températures de l'air étant au dessus de la moyenne interannuelle. En comparant avec la période 1960-2013, l'année 2014 se distingue par un faible excédent annuel de précipitation. Les enregistrements des températures au niveau des condenseurs caractérisent une masse d'eau plus chaude que ce qui généralement observé sur le site. En dehors de quelques jours du mois d'août, les températures se situent au dessus de la moyenne pluriannuelle et sont souvent proche des maxima enregistrés depuis 1991.

Les résultats obtenus sur les différents paramètres surveillés des domaines pélagique et halieutique, sont globalement dépendants de ces conditions météorologiques naturelles et nous verrons ici qu'ils n'ont pas été sans conséquence sur les paramètres recueillis lors des campagnes du printemps.

Les données des paramètres physico-chimiques mettent principalement en évidence un échauffement de l'eau aux abords des bouches de rejets. Les campagnes de 2014 confirment que cette perturbation thermique reste géographiquement très limitée à une dizaine de mètres autour de ce point

Les **salinités** observées en été et en automne 2014 ont été plus ou moins proches des médianes pluriannuelles sur l'ensemble des points de surveillance. Au printemps les suivis 2014 des sels nutritifs révèlent des concentrations en silicates, phosphates et nitrates plus élevées qu'en 2013.

En 2014, la mesure des **matières en suspension** montre des variations spatiales importantes avec en particulier un gradient décroissant côte-large très marqué au printemps et en été. En automne, les concentrations des quatre stations sont similaires.

Les concentrations en **bromoformes** sont inférieures à la valeur de référence de 10µg/L, ce qui est considérée comme acceptable dans l'eau de mer.

Les concentrations en **hydrazine** et **éthalonamine** ont été suivies durant les trois campagnes aux différents points de surveillance. Les concentrations sont inférieures au seuil de quantification de la méthode sur toutes les stations et en toutes saisons.

Les autres paramètres présentent aussi des valeurs classiquement observées dans cette zone de la Manche. Les caractéristiques hydrologiques intrinsèques du milieu n'apparaissent donc pas modifiées de manière sensible et significative en 2014 par les rejets du CNPE de Penly.

L'année 2014 a été caractérisée par un bloom **phytoplanctonique** bien marqué dès le mois d'avril sur la baie de Somme. A l'instar des années précédentes, les diatomées ont largement dominé la communauté phytoplanctonique tout au long de l'année 2014 sur le site du CNPE de Penly. et représentent à l'exception du point *référence* en automne, plus de 86 % de la communauté microphytoplanctonique. L'évolution dans le temps de ces paramètres est cohérente avec les connaissances que nous avons de ces paramètres en Manche.

Les plus fortes abondances en **germes totaux** ont été observées au cours de l'été sur les points *canal*, *rejet* et *contrôle*. En revanche, concernant le point *référence* les plus fortes abondances ont été observées au cours de l'automne 2014. Au cours de ces deux périodes, l'abondance en germes totaux diminue de la côte vers le large.

A l'instar de ce qui est généralement observé les années antérieures, les **germes revivifiables** étaient plus abondants en été et en automne. A l'exception du point *rejet*, les plus fortes abondances sont observées au cours de l'automne 2014 sur l'ensemble de la zone. L'année 2014 se caractérise

par des abondances en germes revivifiables inférieures aux médianes pluriannuelles sur l'ensemble de la zone.

Les abondances en **vibrions halophiles** relevées cette année sont en accord avec le cycle saisonnier observé généralement sur cette zone avec des abondances plus élevées au cours des périodes estivale et automnale. En 2014, trois espèces ont été identifiées à proximité du CNPE de Penly : *V. alginolyticus*, *V. vulnificus* et pour la première fois *V. fluvialis*. Les données de 2014 confirment la dominance de *V. alginolyticus* dans les eaux proches de la centrale où celle-ci est systématiquement observée depuis 1999. La composition de la communauté est en accord avec les observations réalisées précédemment et l'étude de l'ensemble des paramètres du compartiment microbiologique n'a pas mis en évidence de modification significative du milieu pour ces paramètres, liée aux rejets du CNPE de Penly.

Les abondances zooplanctoniques observées en 2014 étaient globalement dans la moyenne des valeurs observées depuis 1993. Le méroplancton constitue toujours une composante non négligeable du zooplancton total, avec là encore des différences d'abondance entre la côte et le large. L'holoplancton était quant à lui toujours largement représenté par les copépodes avec *A. clausi* et *T. longicornis* comme espèces dominantes.

L'abondance et la succession des espèces zooplanctoniques observées cette année respectent, pour ce que peut montrer cette analyse de trois campagnes annuelle, leur répartition saisonnière habituelle et sont caractéristiques des milieux côtiers de la Manche et de la baie sud de la Mer du Nord.

En 2014, comme pour les années précédentes, sur les quatre espèces ciblées de l'**ichtyoplancton**, seules la sole et le sprat étaient les plus abondants sur le site du CNPE de Penly. Pour ces deux espèces, les abondances observées en 2014 étaient assez faibles par rapport à celles observées depuis le début du suivi mais supérieures par rapport aux observations réalisées au cours des cinq dernières années. Elles sont bien implantées dans cette zone contrairement à la sardine et à la limande dont la présence peut être considérée comme anecdotique. Il faut noter comme à chaque fois une quantité non négligeable d'œufs et de larves d'autres espèces présentes dans les échantillons collectés qu'il serait intéressant d'étudier en terme d'assemblage.

La campagne Noursom se caractérise en 2014 par une très faible quantité de **poissons** plats capturés et représente par conséquent l'une des campagnes les moins productives de la série historique. La densité globale en **crevettes grises** observée en 2014 augmente pour la seconde année consécutive et se situe dans la partie supérieure de ce qui généralement observé dans la baie de Somme.

L'étude du compartiment halieutique ne permet pas de conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu lié aux rejets du CNPE de Penly.

L'étude de la surveillance réalisée aux travers des paramètres réglementaires suivis de manière indépendante dans les compartiments écologique et halieutique du site électronucléaire de Penly en 2014, ne permet pas de conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu marin qui soit lié aux rejets d'eau chaude et chlorée du CNPE.



# Sommaire

<b>1</b>	<b><i>Généralités</i></b> .....	<b>13</b>
1.1	Introduction .....	15
1.2	Géographie.....	15
1.3	Géologie.....	16
1.4	Hydrographie continentale.....	17
1.5	Hydrographie marine .....	18
1.6	Climatologie.....	19
1.7	Température de l'eau de mer.....	26
1.8	Travaux réalisés par l'IFREMER .....	30
<b>2</b>	<b><i>Le domaine pélagique</i></b> .....	<b>31</b>
2.1	Hydrologie.....	33
2.2	Phytoplancton.....	65
2.3	Microbiologie.....	93
2.4	Zooplancton.....	111
<b>3</b>	<b><i>Le domaine halieutique</i></b> .....	<b>133</b>
3.1	Ichtyoplancton.....	135
3.2	Macrofaune halieutique.....	145
3.3	Conclusion.....	153
<b>4</b>	<b><i>Conclusions</i></b> .....	<b>155</b>
<b>5</b>	<b><i>Annexes</i></b> .....	<b>165</b>
<b>6</b>	<b><i>Bibliographie</i></b> .....	<b>176</b>



# 1. Généralités

## ***Rédaction***

Frank Maheux et Benjamin Simon (LERN)  
Ivan Schlaich (RHPEB)

## ***Données***

Météo France (Carpiquet),  
CNPE Penly (EDF),  
Banque Hydro (MEDD),  
Seine Aval (Groupement d'intérêts publics).



## 1.1. Introduction

Dans le cadre de l'implantation de la centrale électronucléaire de Penly, l'écosystème marin environnant a fait l'objet de différentes études scientifiques : **étude d'avant-projet** (mars - août 1977), **étude de projet** (1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> cycles, Février 1978 - Janvier 1980) et **études de surveillance** (depuis 1987). Les objectifs de ces études étaient dans un premier temps de fournir à Electricité de France les contraintes d'ordre « écologique » intervenant au niveau du choix du site (étude d'avant-projet). Il s'agissait aussi de définir un état de référence avant l'implantation de la centrale (études de projet) ainsi que de permettre l'évaluation des fluctuations naturelles des principaux paramètres physico-chimiques du compartiment pélagique afin de détecter une éventuelle incidence du fonctionnement de la centrale sur le milieu marin (étude de surveillance). Ce rapport présente les résultats scientifiques concernant la 25<sup>ème</sup> année depuis la mise en service de la centrale de Penly (1990).

## 1.2. Géographie

La centrale de Penly est située sur le littoral normand (figure 1.1), au niveau d'une petite vallée, entre le Tréport et Dieppe, sur le territoire de la commune dont elle porte le nom. Le littoral, orienté SW/NE, est bordé de hautes falaises et composé de bancs calcaires alternant avec des lits de silex. Les falaises du littoral Normand sont entaillées de valleuses au débouché desquelles les galets se sont accumulés et forment des cordons littoraux.



Figure 1.1 : Situation géographique du Centre National de Production d'Electricité de Penly

On peut distinguer trois types fondamentaux d'estran :

- **l'estran profond** : il ne découvre pratiquement pas ; on le rencontre dans les secteurs de pointes rocheuses (Etretat, Antifer),
- **l'estran de pied de falaises** : c'est l'estran type du littoral haut-normand et celui qui se trouve à Penly. Devant la falaise s'étend un platier rocheux (de 200 m à 400 m de large) sur lequel les matériaux meubles ne se rencontrent en général qu'en pied de falaise sous la forme d'un cordon de galets plus ou moins développé mais le plus souvent de 10 m à 20 m de large et de 1 m de haut,
- **l'estran d'accumulation** : rencontré au débouché des valleuses, son développement a souvent été favorisé par l'implantation d'ouvrages portuaires (Le Havre, Fécamp, St-Valery-en-Caux, Dieppe, Le Tréport). Le cordon de galets est alors bien formé avec une largeur de 40 à 50 m. Les sables et graviers font suite aux galets.

### 1.3. Géologie

A la fin de l'Ère Primaire (- 245 Millions d'Années), la majorité du territoire français est émergée, mais au cours de l'Ère Secondaire (- 245 à - 65 MA) plusieurs cycles d'immersion / émergence se sont succédés.

Pour la Normandie, le plus important de ces épisodes réside dans la *Mer de Craie* qui recouvra la région de - 97 à - 70 MA. Dans cette mer côtière peu profonde, sédimentèrent d'innombrables micro-organismes à test calcaire. Leur accumulation sera à l'origine d'une roche calcaire tendre : la craie, parfois appelé *Marne* dans la région (figure 1.2).

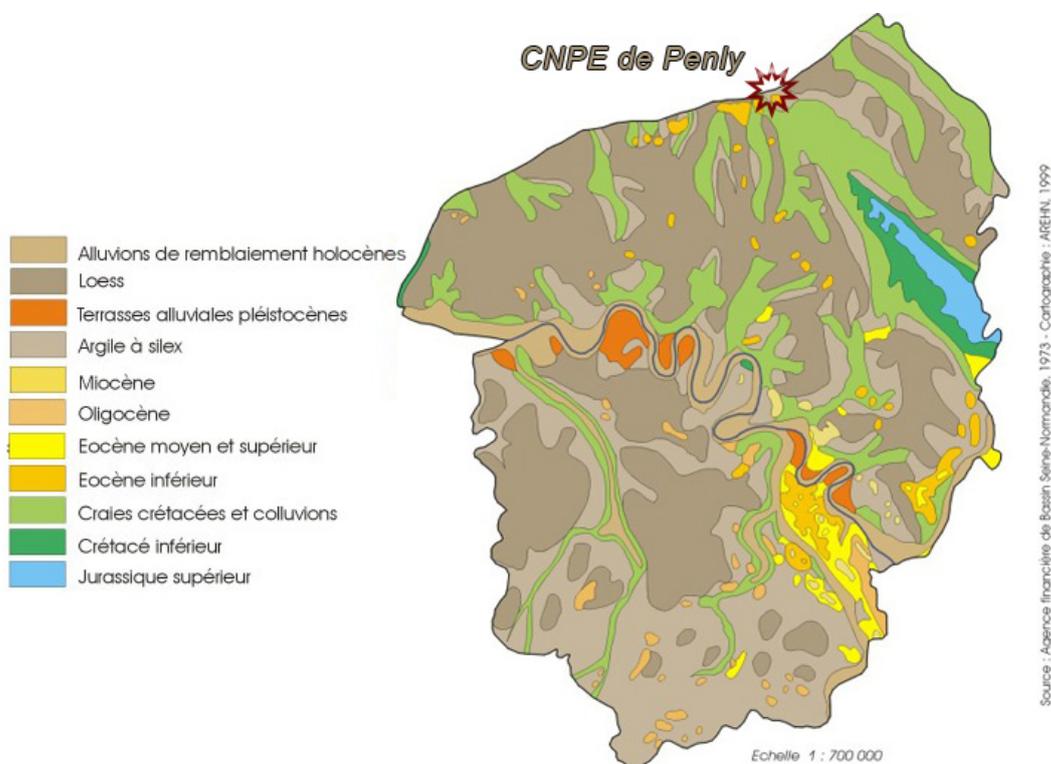


Figure 1.2 : Carte géologique de la région 'Haute-Normandie'

Dans cette mer vivaient aussi des organismes à test siliceux qui ont été à l'origine des rognons de silex enfouis dans la craie, qui constitue aujourd'hui l'ossature géologique de toute la Haute-

Normandie, à l'exception du Pays de Bray, où une importante faille a permis la remontée des sédiments plus anciens et variés.

Plus récemment, à l'Ère Tertiaire (- 65 à - 2 MA) le phénomène le plus marquant est l'altération continentale : la craie est dissoute par les eaux de pluie, mais le silex et les argiles, inaltérables, forment un manteau brun ou rouge qui peut dépasser une vingtaine de mètres d'épaisseur.

Lors des deux derniers millions d'années, la calotte glaciaire est descendue à plusieurs reprises jusqu'au niveau des Pays-bas. Le climat de la Haute-Normandie était alors périglaciaire, avec une végétation de steppe. Les limons entraînés par les vents étaient alors à l'origine du Löss, de couleur jaune et d'une épaisseur d'une dizaine de mètres en Pays de Caux. A la fin du Tertiaire les cours d'eau s'enfonçaient dans le substrat meuble, creusant ainsi des vallées profondes, comme celle de la Seine.

Les sédiments marins aux alentours de la centrale de Penly sont essentiellement composés de sable et sable graveleux (figure 1.3). Dans cette région de la Seine Maritime, les sédiments les plus grossiers se situent entre Etretat et St Valéry-en-Caux. De chaque côté, un gradient vers des sédiments plus fins s'établit, pouvant aller jusqu'aux vases dans l'embouchure de la Seine.

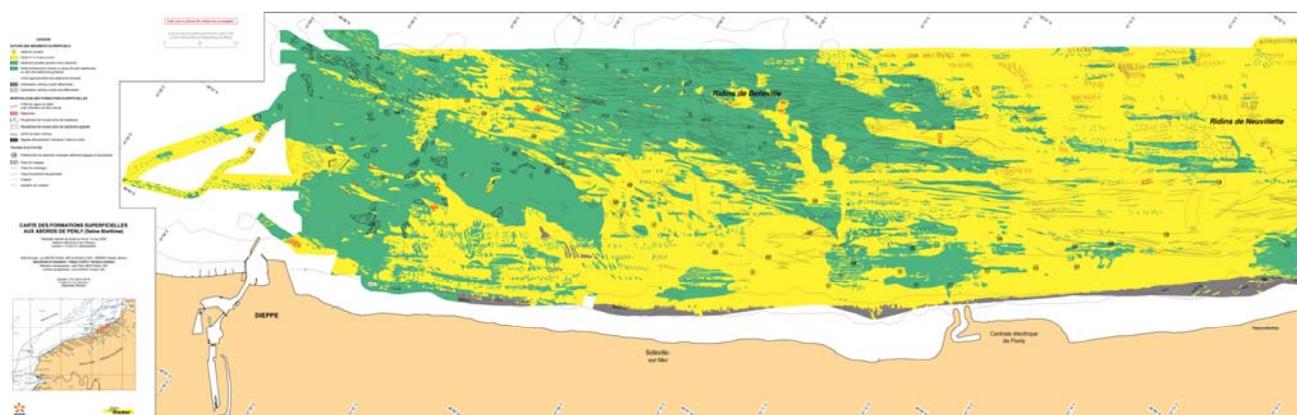


Figure 1.3 : Caractéristiques des sédiments marins autour de la centrale de Penly (Drévès *et al.* 2008)

Tous les quatre ans depuis 1988 une étude dédiée au benthos et aux sédiments marins était réalisée sur la zone proche du CNPE de Penly. A partir de la campagne Bencaux en 2008, les prospections morphosédimentaires sont effectuées tous les six ans (décision ASN n° 2001-DC-089). L'évolution des fonds et des peuplements benthiques est alors décrite dans un rapport adressé à EDF (Abernot *et al.*, 2008). La dernière campagne réalisée en 2014 fera l'objet d'un prochain rapport.

## 1.4. Hydrographie continentale

Le faible développement du réseau hydrologique continental haut-normand est dû essentiellement à la perméabilité du sol, qui permet l'écoulement souterrain des eaux au lieu du ruissellement de surface. Seul le Pays de Bray possède un important réseau de surface qui se développe sur des assises géologiques imperméables (figure 1.4).

Le réseau hydrologique de Seine-Maritime est composé de petits effluents de la Seine et de fleuves côtiers de quelques dizaines de kilomètres se jetant dans la Manche. Ces rivières peuvent avoir un parcours de surface si les couches géologiques imperméables le permettent, ou en partie souterraines, si la craie affleure. Ce phénomène donne naissance aux vallées sèches.

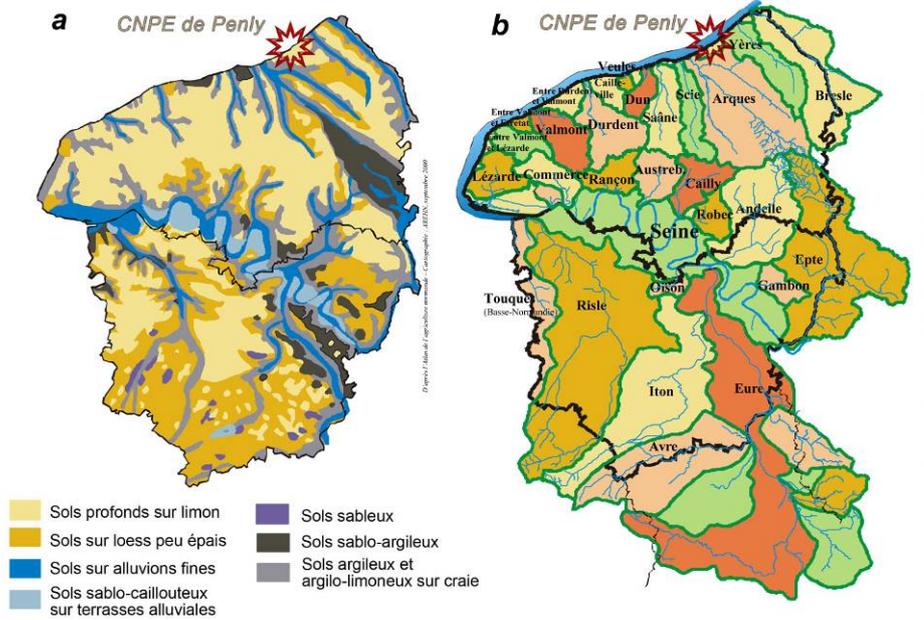


Figure 1.4 : Nature du sol (a) et fleuves et bassins versants (b) de la région Haute-Normandie

## 1.5. Hydrographie marine

### Marées

La marée est de type semi-diurne. À Dieppe, ses caractéristiques sont les suivantes :

Type de marée	Coefficient	Hauteur d'eau (m)
Vive-eau moyenne	95	8,50
Marée moyenne	70	4,94
Morte-eau moyenne	45	4,90

Tableau 1.1 : Caractéristiques de marées à Dieppe

### Courants

On distingue les courants périodiques et les courants apériodiques. Les courants périodiques sont essentiellement les courants de marée alternatifs et parallèles à la côte. Le flot, d'une durée moyenne de 5 heures, porte vers le N-NE à une vitesse de 0,5 à 1 m/s (soit 1 à 2 nœuds).

Le jusant, d'une durée approximative de 7 heures, porte vers le W-SW avec une vitesse inférieure, de 0,4 à 0,6 m/s. La renverse a lieu environ 4h30 et 1h30 avant la pleine mer de Dieppe. De ce fait, le flux net au cours d'un cycle de marée est celui d'un déplacement des masses d'eau vers le N-NE dans le sens du flot. Ce déplacement est dû au courant de marée provenant de l'Atlantique et qui prend une vitesse importante au-delà de Cherbourg. Vers Dieppe, la vitesse du courant en vives-eaux peut atteindre 1,9 nœuds pendant le flot et 1,6 nœuds pendant le jusant (figure 1.5).

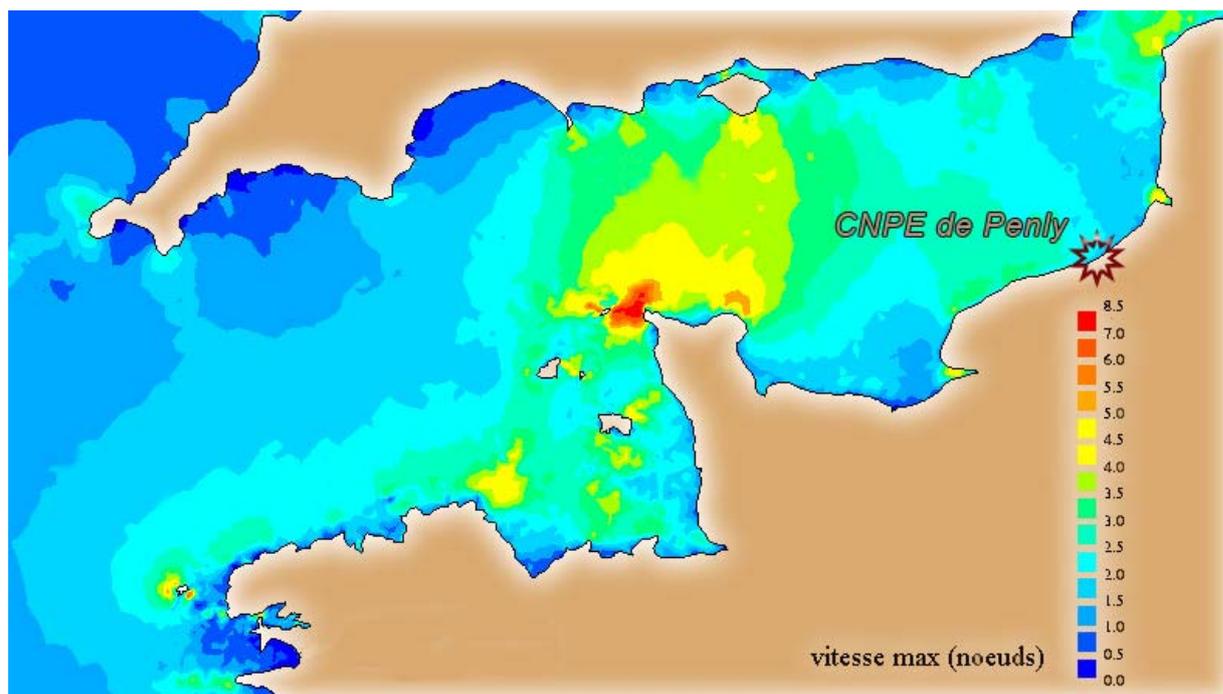


Figure 1.5 : Vitesse de courants de marée maximal en Manche (Source SHOM)

Les courants apériodiques sont essentiellement dus à l'action prolongée d'un régime de vents stables entraînant les masses d'eau. Ainsi une période de vent d'ouest durable peut créer un courant portant à l'est tandis qu'une période de vent de nord-est peut créer un courant portant au sud-ouest. Ces courants de dérive dus au vent peuvent atteindre 2 à 5 % de la vitesse du vent.

Une des principales caractéristiques dégagée des études précédant l'installation de la centrale était d'avoir mis en évidence l'influence des eaux provenant de la baie de Seine. Si cette influence est certaine par l'action du *fleuve côtier*, elle peut cependant être irrégulière (Brylinski *et al.*, 1991).

### Apports telluriques

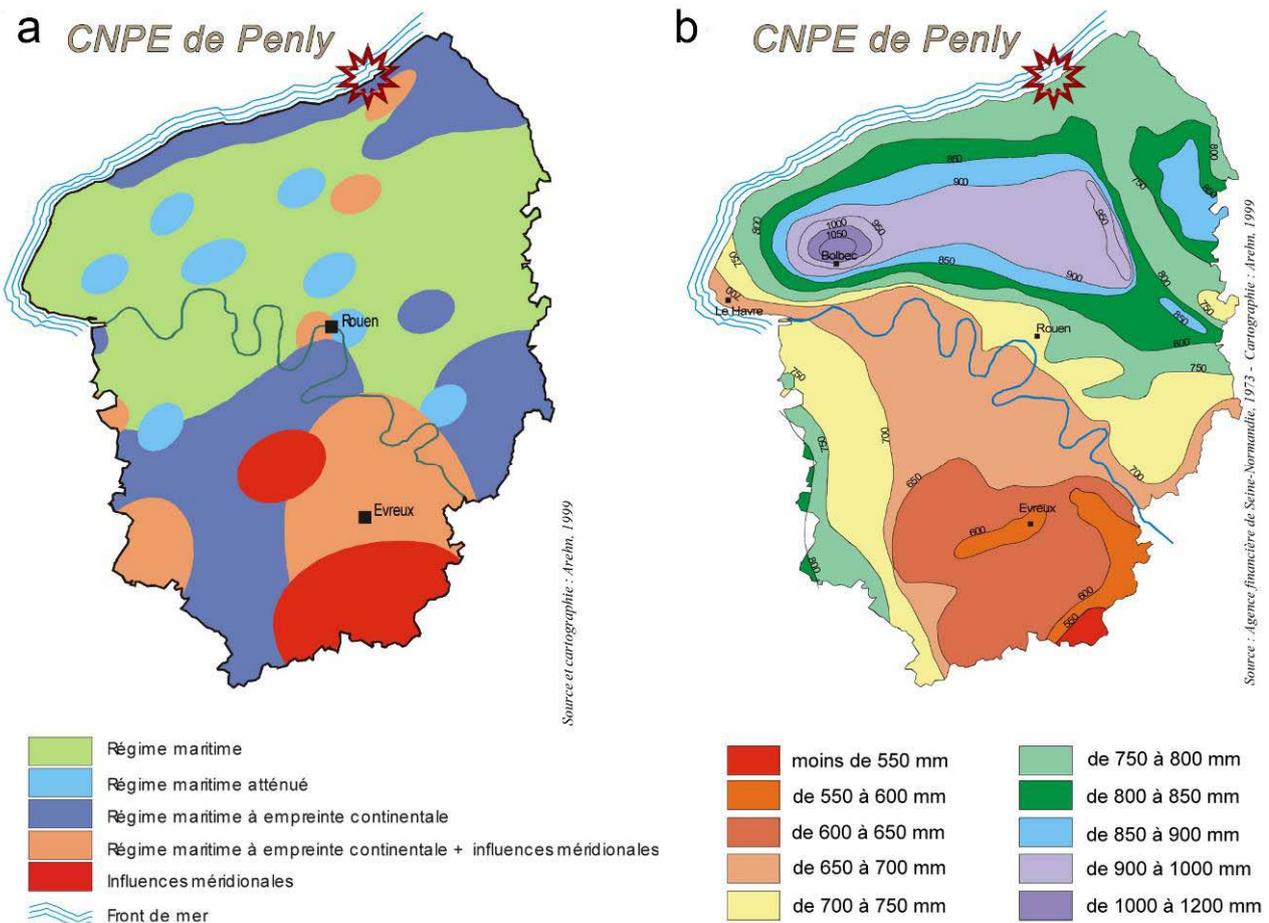
La figure 1.4 présente le réseau hydrologique de la Seine-Maritime. A l'ouest de Penly se trouvent l'Arques et la Saâne, qui sont fleuves côtiers moyens de fort débit irrégulier. Les apports telluriques à l'est du site du CNPE sont constitués par l'Yères et la Bresle. Les apports d'eau douce au niveau de Dieppe peuvent être importants et peuvent potentiellement engendrer des pollutions anthropiques provenant soit du port soit de la station d'épuration de la ville de Dieppe.

## 1.6. Climatologie

### Le climat en Haute-Normandie

Trois influences principales peuvent se manifester dans la région 'Haute-Normandie' (figure 1.6).

- L'influence maritime : plus marquée dans le Pays de Caux et le nord-ouest de l'Eure, avec un climat doux et humide, des hivers modérément froids et des étés tempérés,
- L'influence continentale : essentiellement au nord-est de la Seine et de manière moins classique, sur une frange littorale qui va du Tréport à Fécamp. C'est dans cette zone que se trouve la centrale de Penly. L'amplitude thermique est plus importante qu'ailleurs : hivers plus froids et étés plus chauds,
- L'influence méridionale : remontant du sud-est de l'Eure jusqu'à Rouen.



**Figure 1.6 : Situation climatologique (a) et pluviométrie moyenne annuelle (b) de la région Haute-Normandie sur 30 ans**

La région Haute-Normandie est caractérisée par de larges écarts de précipitations. Le secteur de Bolbec (Seine Maritime) est caractérisé en moyenne par 1100 mm de précipitations par an, tandis qu'au sud-est de l'Eure, seulement 500 mm par an sont enregistrés (figure 1.6). Cette dernière valeur est l'une des plus faibles de France, à égalité avec la Côte d'Azur. Les régions les plus fréquemment touchées par des forts événements pluvieux sont le Bec-de-Caux et le Lieuvin.

### 1.6.2. Pluviométrie

A Dieppe depuis 1960, la quantité de pluie annuelle cumulée présente des variations avec des cycles de 3 à 5 ans (figure 1.7). Ces cycles, mieux représentés par la moyenne mobile sur 5 ans, semblent mettre en évidence une augmentation de leur fréquence sur les derniers quinze années. Le niveau global des précipitations en 2014 est de 935 mm. A titre comparatif, le niveau des pluies cumulées pour la même période était en 2013 de 912 mm et en 2012 de 916 mm.

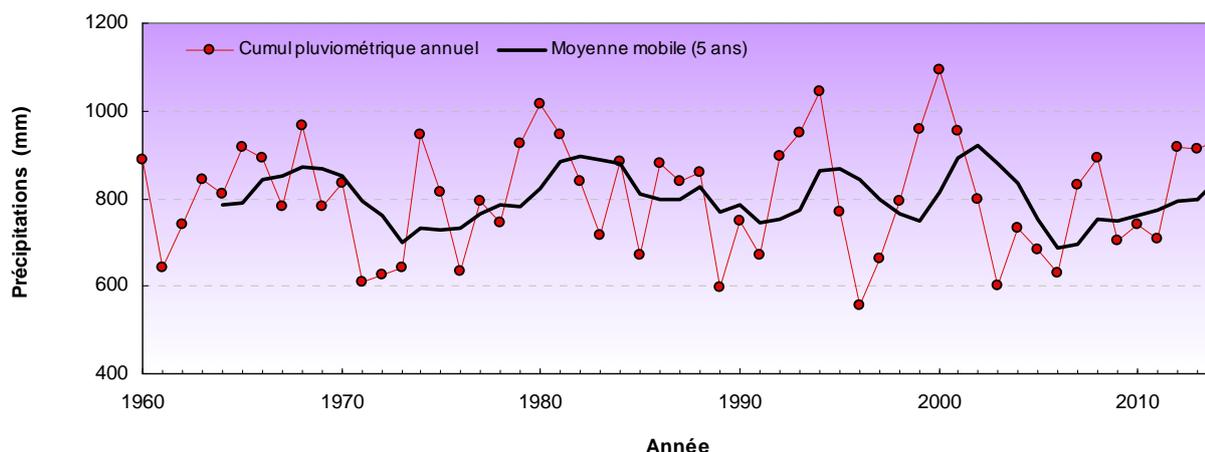


Figure 1.7 : Précipitations moyennes annuelles à Dieppe depuis 1960 et moyenne mobile sur cinq ans

La moyenne de précipitations annuelles entre 1960 et 2013 est de 802,4 mm. Sur la dernière décennie, l'écart des valeurs annuelles à cette moyenne montre que la période 1999-2001 a été excédentaire. De 2002 à 2006 ce bilan est déficitaire, et ce n'est qu'à partir de 2007 et 2008 qu'il redevient positif (figure 1.8). Depuis 2009, le bilan est à nouveau déficitaire jusqu'en 2011. En 2014 l'excédent pluviométrique par rapport à la moyenne de 132 mm est supérieur comparativement aux deux années précédentes (110 mm en 2013 et 114 mm). (figure 1.8).

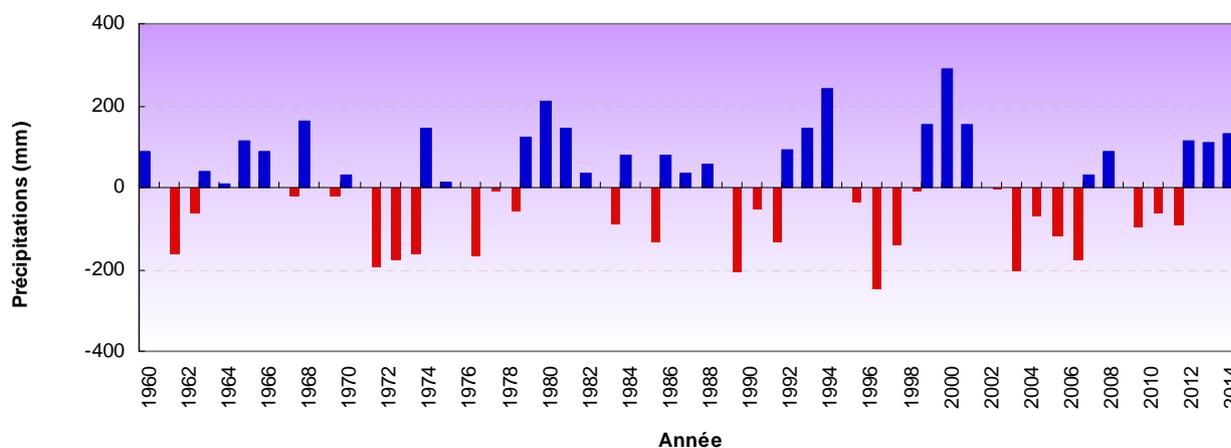


Figure 1.8 : Écarts annuels de pluie à la moyenne 1960-2013

Le découpage des précipitations par périodes quinquennales présente une alternance des cycles qui oscillent autour de la moyenne, suivi d'une décroissance générale des valeurs depuis 1980 (figure 1.9).

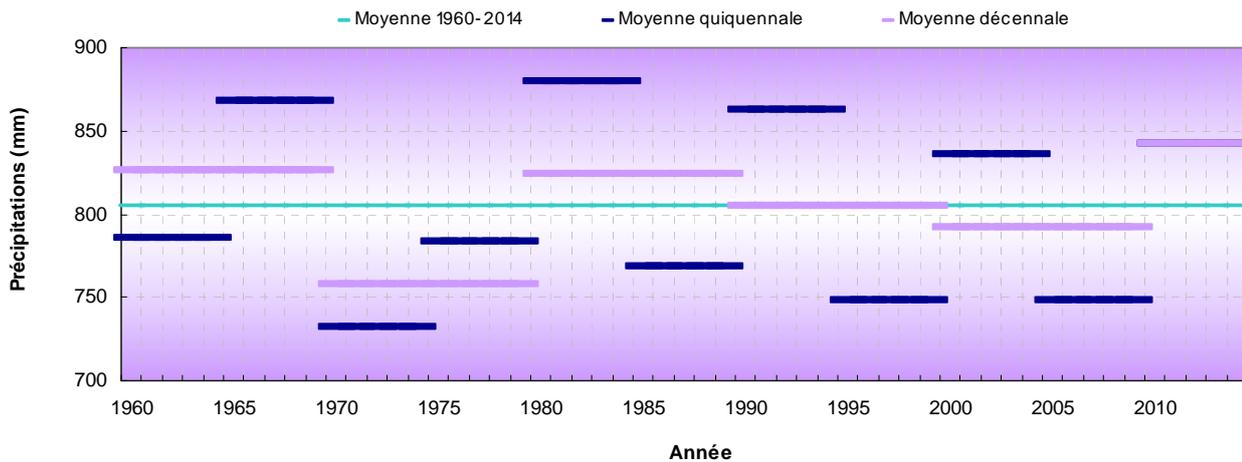


Figure 1.9 : Valeurs moyennes de précipitations à Dieppe par période quinquennale (trait bleu) et décennale (trait mauve). Le trait vert représente la moyenne sur la période 1960-2014

La figure 1.10 présente les hauteurs de précipitations mensuelles en 2014 la moyenne interannuelle ainsi que les minima et maxima pour la période 1960-2013. Par rapport à la moyenne pluriannuelle, les cumuls pluviométriques moyens mensuels lors de l'année 2014 sont proches des valeurs moyennes en mars, avril, mai, juin et décembre. Ils sont nettement déficitaires en octobre (- 39,4 mm) et novembre (- 40,9 mm) et surtout en septembre (-58,4 mm) avec un cumul mensuel de 13,4 mm très proche du minimum de 10,4 mm observé sur cet historique 1960-2013. Ces cumuls sont par contre excédentaires en janvier (32 mm), février (43,1 mm) et juillet (+32,1mm) et surtout en mai et août avec respectivement 76 mm et 115 mm.

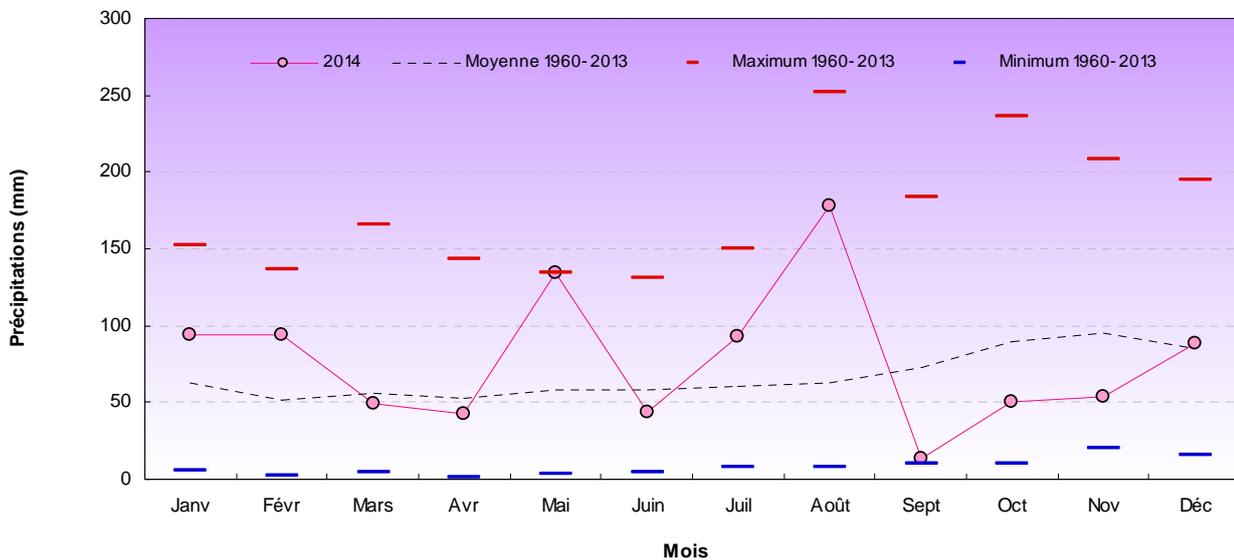


Figure 1.10 : Hauteur de précipitations mensuelles à Dieppe en 2014 et au cours de la période 1960-2013

### 1.6.3. Température de l'air

Les températures moyennes annuelles enregistrées à Dieppe depuis 1960 présentent des cycles irréguliers avec une nette tendance à la hausse depuis 1988 (figure 1.11). La moyenne mobile sur cinq ans exprime plus clairement la tendance évolutive de ce paramètre lors des vingt dernières années. La température moyenne annuelle de 2014 a été de 12,3°C.

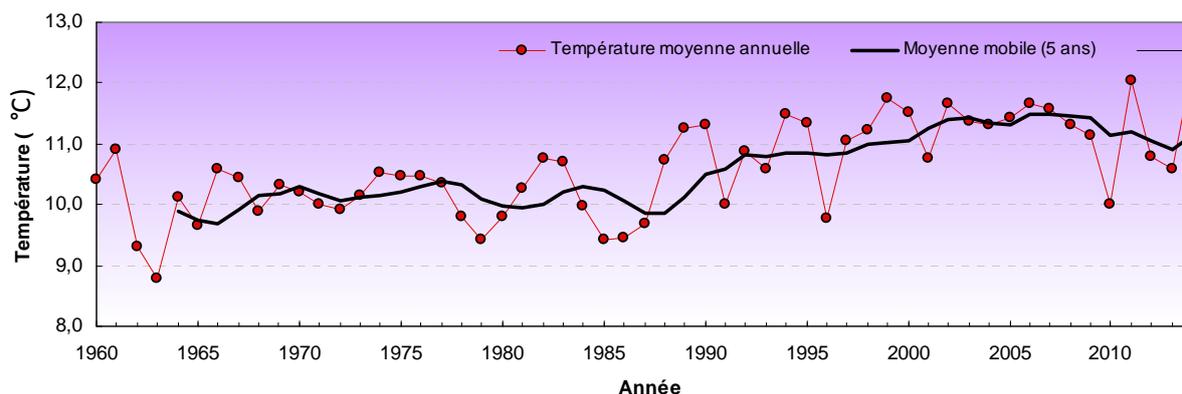


Figure 1.11 : Température moyenne annuelle à Dieppe depuis 1960 et moyenne mobile sur cinq ans

La tendance décrite précédemment est clairement mise en évidence par les écarts des valeurs annuelles à la moyenne générale de la période 1960-2013 (figure 1.12). En 2014, l'écart thermique à la moyenne est remarquable (+ 1,7°C) car le plus important depuis le début de cet historique (1960).

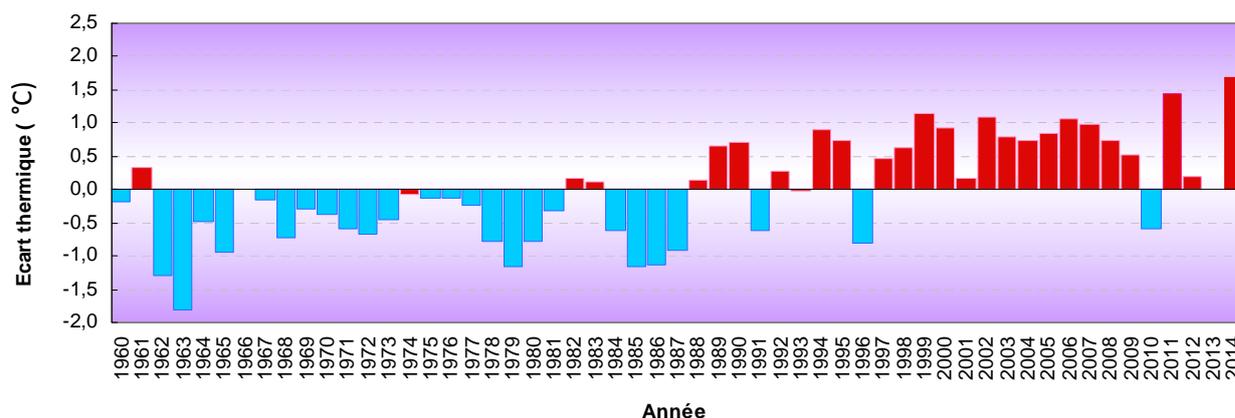


Figure 1.12 : Écarts annuel de température à la moyenne 1960-2014

L'évolution des découpages en périodes quinquennales ou décennales met en évidence l'augmentation de la température à partir des années 1990 (figure 1.13). A partir de cette date les moyennes quinquennales et décennales deviennent supérieures à la moyenne établie sur la période 1960-2014. Sur la dernière période 2010-2014, l'écart de température à la moyenne reste positif (+0,5°C) mais moins marqué que sur la période précédente 2000-2010 (+0,8°C).

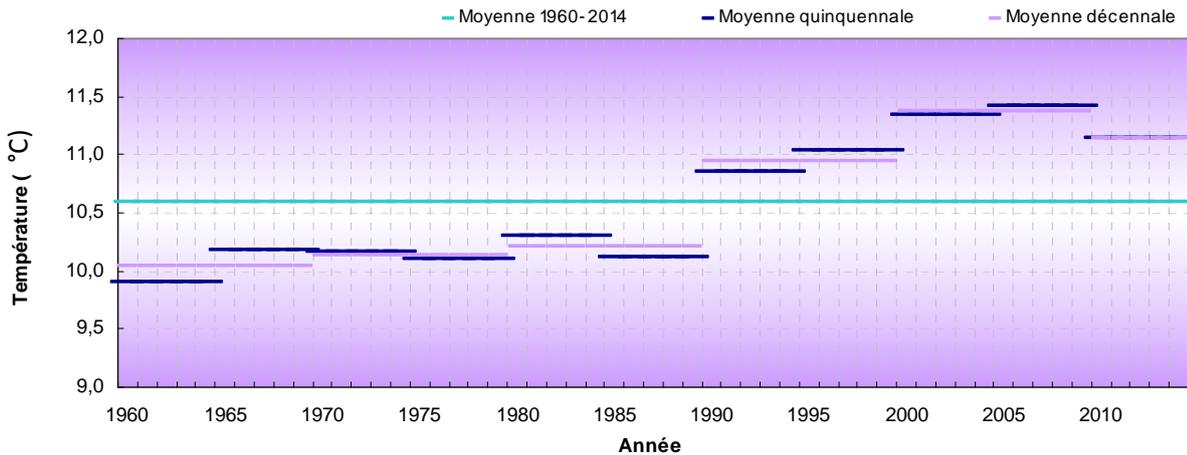


Figure 1.13 : Valeurs moyennes de température de l'air à Dieppe par période quinquennale (trait bleu) et décennale (trait mauve). Le trait vert représente la température moyenne de la période 1960-2014

En 2014, l'année a été caractérisée par une température moyenne élevée (12,3°C) avec un écart important à la moyenne 1960-2013 : + 1,69 °C. Tous les mois de cette année 2014 sont donc logiquement supérieurs à la moyenne à l'exception, certes minime, d'août (- 0,2°C). (figure 1.14).

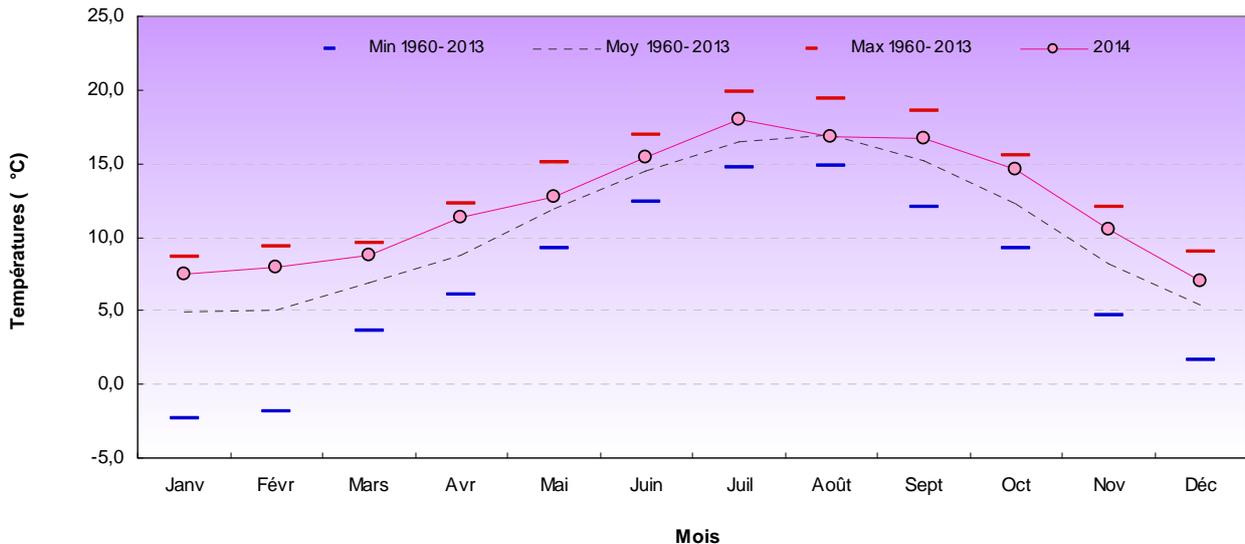
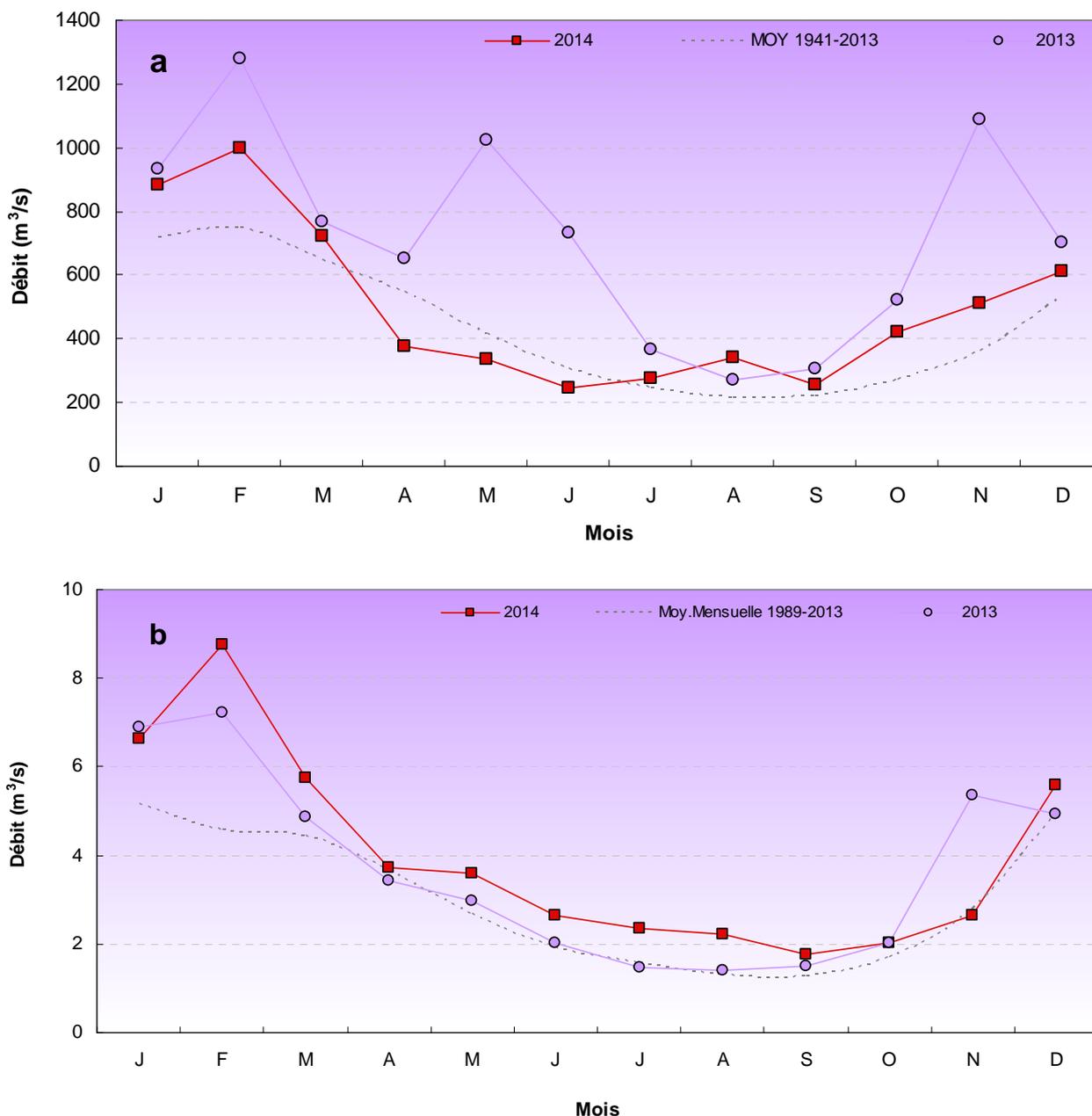


Figure 1.14 : Température moyenne mensuelle de l'air à Dieppe en 2014 et au cours de la période 1960-2013

#### 1.6.4. Débits de la Seine et de la Béthune

L'évolution des valeurs mensuelles moyennes de débits de la Seine au cours de l'année 2014 fait apparaître des valeurs supérieures à la normale en janvier (+ 169 m<sup>3</sup>/s), février (+ 252 m<sup>3</sup>/s) et mars (+ 74 m<sup>3</sup>/s) avec par rapport à la moyenne établie sur la période 1941-2013, des débits de 886 m<sup>3</sup>/s en janvier, de 1001 m<sup>3</sup>/s en février et de 721 m<sup>3</sup>/s en mars. Par contre les débits deviennent déficitaires en avril (- 168 m<sup>3</sup>/s), mai (- 79 m<sup>3</sup>/s), et juin (- 61 m<sup>3</sup>/s). La tendance s'inverse à nouveau en juillet (+ 30 m<sup>3</sup>/s) et surtout en août (+ 129 m<sup>3</sup>/s) (figure 1.15a).



**Figure 1.15 : Débit mensuel moyen de : a) Seine (à Vernon) en 2013 et 2014 et moyenne de la période 1941-2013, b) Béthune en 2013 et 2014 et moyenne de la période 1989-2013**

Bien que largement inférieur, le débit de la Béthune suit des variations relativement similaires à celui de la Seine (figure 1.15b). En 2014, et comme en début d'année 2013, le débit de la Béthune, qui est près de 100 fois inférieur à celui de la Seine, a été nettement supérieur à la moyenne établie sur la période 1989-2013 en janvier (+1,5 m<sup>3</sup>/s) ainsi qu'en février (+4,21 m<sup>3</sup>/s), excédentaire en mars (+1,31 m<sup>3</sup>/s), et également, mais dans une moindre mesure, les mois suivants. En Novembre le bilan devient très légèrement déficitaire (- 0,15 m<sup>3</sup>/s) puis excédentaire en Décembre (+ 0.62 m<sup>3</sup>/s).

## 1.7. Température de l'eau de mer

Le CNPE de Penly, situé au nord de la ville de Dieppe, produit de l'énergie électronucléaire à l'aide de deux tranches de 1 300 MW chacune. L'eau de mer pompée dans le canal d'amenée permet par le biais d'un circuit de refroidissement indépendant de condenser la vapeur créée par les générateurs de vapeur. Les rejets en mer sont réalisés par deux galeries sous-marines d'environ 1,2 km de long, se terminant par un diffuseur.

En dehors des courts arrêts (1- 4 jours), la tranche 1 a été arrêtée de septembre à mi-novembre et la tranche 2 de février à mai. Les périodes de forte activité du CNPE de Penly se situent en janvier et de juin à août et de mi-novembre à décembre. En dehors de ces mois la puissance est divisée par deux (figure 1.16).

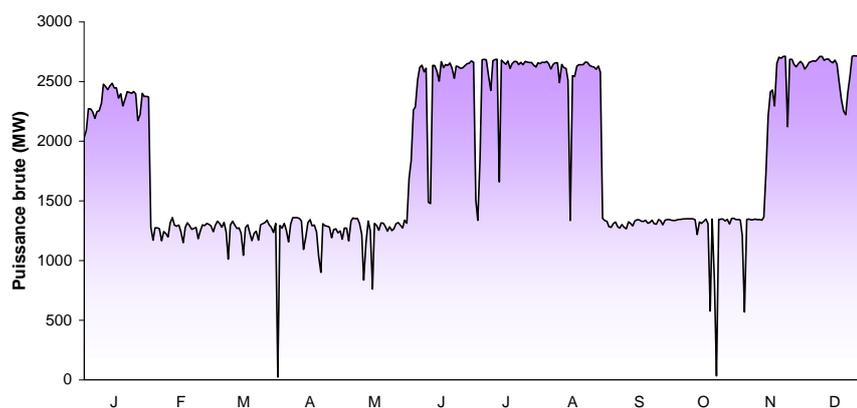


Figure 1.16 : Puissance journalière brute des deux tranches du CNPE de Penly au cours de l'année 2014

La figure 1.17 présente la température journalière enregistrée dans la partie du circuit de refroidissement des installations situé dans la salle des machines (entrée condenseur), comparée à la moyenne des températures journalières enregistrées depuis 1991. Les températures maximales et minimales sont présentées par un trait rouge et bleu respectivement pour la période 1991-2013. En dehors d'une dizaine de jours pendant le mois d'août la moyenne des températures de l'eau de mer est toujours au dessus de la température moyenne enregistrée entre 1991 et 2013. Elle est très proche des plus hauts historiques sur une grande partie de l'année et dépasse même ceux ci à certaines périodes, notamment en juin. La température maximale est atteinte le 31 juillet avec 21°C.

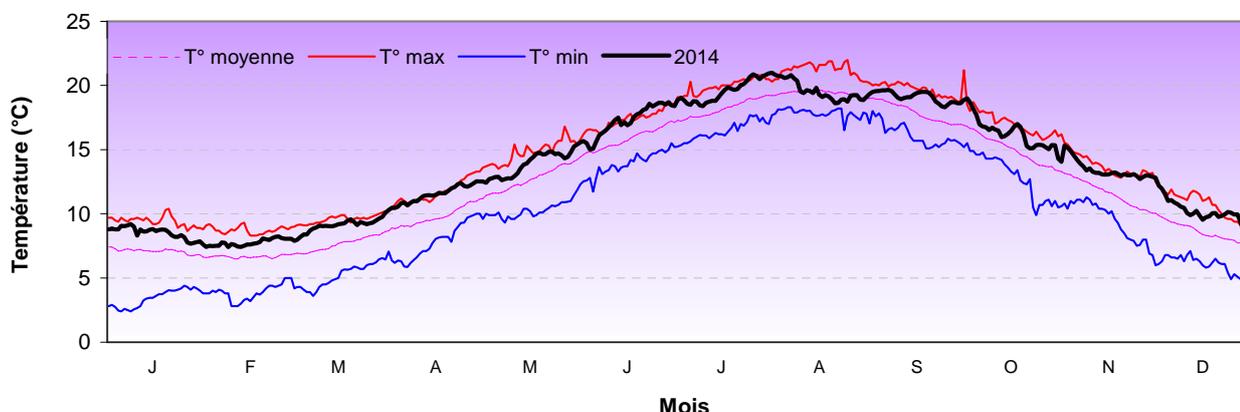
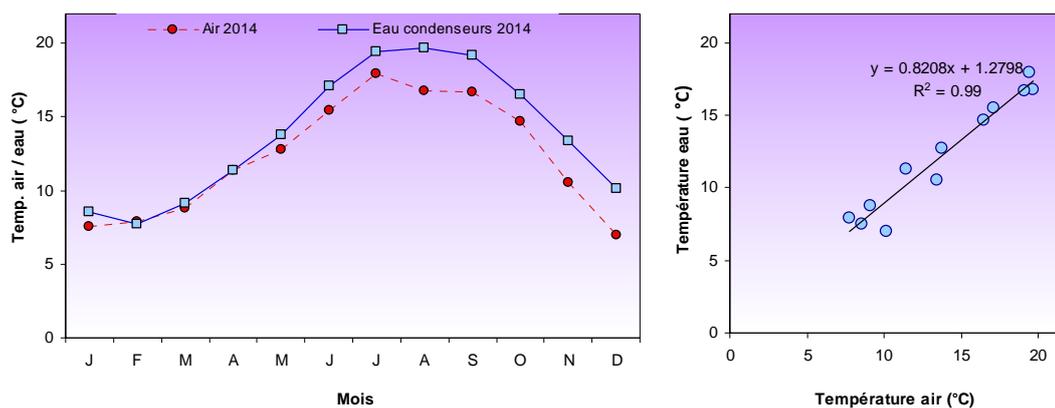


Figure 1.17 : Évolution de la température moyenne journalière de l'eau de mer enregistrée à l'entrée des condenseurs du CNPE de Penly au cours de l'année 2014 (incomplet) et moyenne journalière sur la période 1991-2013

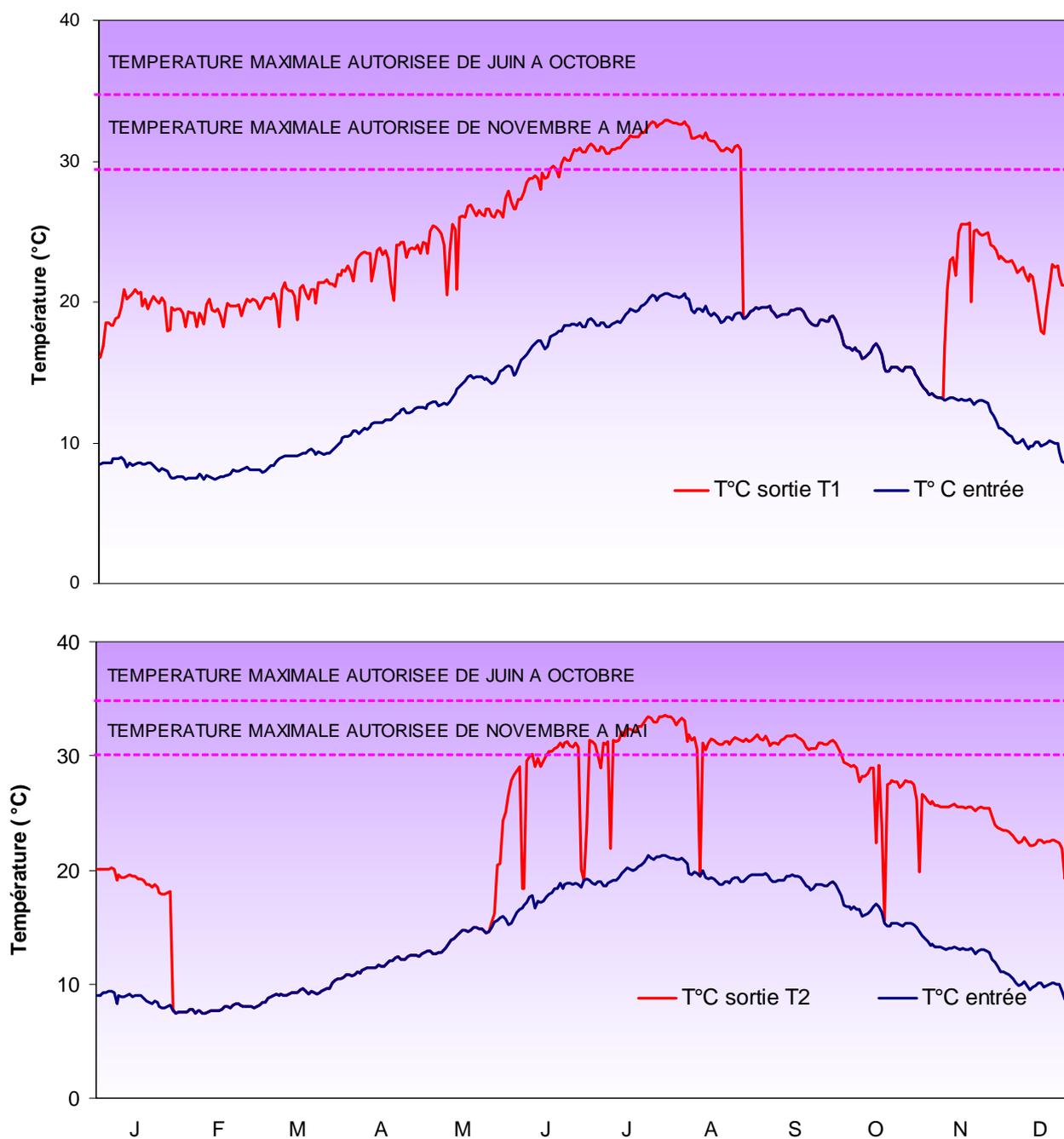
La température la plus basse a été enregistrée pendant la première semaine de février avec 7,4 °C.

Les valeurs des températures de l'air mesurées à Dieppe (fournies par Météo France pour l'année 2014) et celles de l'eau de mer fournies par EDF présentent des variations similaires. Il existe d'ailleurs une corrélation linéaire significative ( $n=12$  ;  $r^2=0,99$  ;  $p<0,005$ ) entre la température de l'air et celle de la colonne d'eau (figure 1.18).



**Figure 1.18 : Évolution des températures moyennes mensuelles de l'air à Dieppe et de l'eau de mer à l'entrée des condenseurs du CNPE de Penly en 2014**

Le passage de l'eau du canal d'amenée dans le circuit secondaire des condenseurs génère une augmentation de la température de cette eau, qui est ensuite évacuée dans la canalisation de rejet. L'augmentation de la température à la sortie de chaque condenseur est présentée dans la figure 1.19. Chaque descente du trait rouge vers la température relevée à l'entrée du condenseur représente une diminution de la puissance produite par le réacteur ou de son arrêt total si les deux traits coïncident.



**Figure 1.19 : Températures journalières de l'eau de mer à l'entrée et à la sortie des condenseurs pour chacune des deux tranches T1 et T2 du CNPE de Penly en 2014**

L'écart de température journalier moyen entre l'entrée sortie de chaque condenseur et l'eau du canal d'aménée est présentée sur la figure 1.20. Les variations de cet écart thermique sont similaires à celles de la puissance brute produite (figure 1.16).

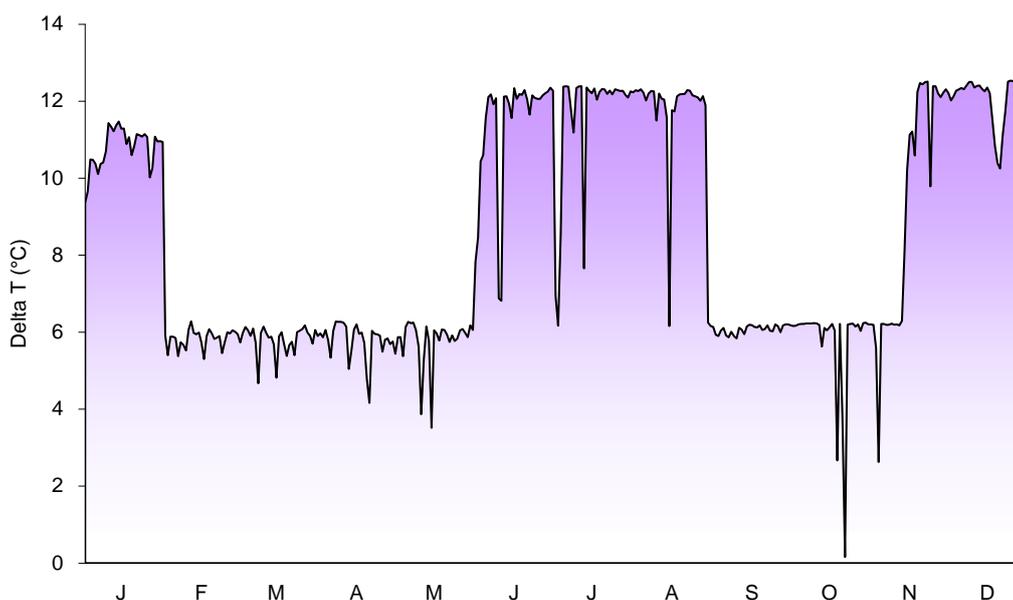


Figure 1.20 : Écarts journaliers moyens de température entre la sortie des deux condenseurs et le canal d'amenée au cours de l'année 2014

En 2014, le procédé d'anti-salissure par électrochloration a fonctionné pleinement à partir du mois d'avril pour la tranche 1 et du mois de juin pour la tranche 2. Comme l'indique le tableau 1.2 ci-dessous, 804,4 tonnes de chlore ont été injectées dans les circuits de refroidissement de janvier à décembre 2014. Le maximum de production de chlore dans les circuits de refroidissement est de 68,6 tonnes au niveau de la tranche 1 au mois de juillet.

	Tranche 1	Tranche 2	Total
janvier	0	0	0
février	0	0	0
mars	16,1	0	16,1
avril	62,7	2,9	65,6
mai	68,2	14,1	82,3
juin	60,9	55,7	116,6
juillet	68,6	58,3	126,9
août	61,1	60,8	121,9
septembre	0	53,3	53,3
octobre	0	42,2	42,2
novembre	41,8	60,2	102
décembre	39,8	36,7	75,5
<b>Total</b>	<b>419,2</b>	<b>385,2</b>	<b>804,4</b>

Tableau 1.2 : Tonnage mensuel de chlore injecté par électrochloration dans le circuit d'eau de refroidissement du CNPE de Penly au cours de l'année 2014

## 1.8. Travaux réalisés par l'IFREMER

La liste de l'ensemble de travaux réalisés pour la surveillance écologique et halieutique en 2014 est présentée dans le tableau 1.3. La position géographique des points de prélèvement est présentée dans le chapitre matériel et méthodes de chaque compartiment étudié.

Volet / Chapitre	Paramètre	NOMBRE D'ECHANTILLONS PAR CAMPAGNE				Dates de mission
		Canal amenée	Rejet	Contrôle	Référence	
		49°58'86N 1°12'22E	49°59'12N 1°11'86E	49°59'97N 1°11'02E	49°58'05N 0°59'99E	
1. SURVEILLANCE ECOLOGIQUE	Température Salinité NH <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , PO <sub>4</sub> , SiOH MES	1	1	1	1	
1.1. Domaine pélagique						
1.1.1. Hydrologie	Tribromométhane					26 / 3
	Dibromomonochloro-méthane					26 / 6
	Dichloromonobromo-méthane	1	1	1	1	17 / 9
	Trichlorométhane					
	Hydrazine, Ethanolamine	1	1	1	1	
	Chlorophylle et phaeopigments	1	1	1	1	26 / 3
1.1.2. Phytoplancton	Production primaire potentielle	3	3	3	3	26 / 6
	Détermination et comptage	1	1	1	1	17 / 9
	Poids sec, carbone, azote	1 WP2 filtré	1 WP2 filtré	1 WP2 filtré	1 WP2 filtré	26 / 3
1.1.3. Zooplancton	Densité des organismes holo et méro planctoniques	et congelé 1 WP2 formolé	et congelé 1 WP2 formolé	et congelé 1 WP2 formolé	et congelé 1 WP2 formolé	26 / 6 17 / 9
	Dénomb. des germes totaux *	2	2	2	2	26 / 3
1.1.4. Microbiologie	Dénomb. des germes revivifiables	2	2	2	2	26 / 6
	Ident. vibrions halophiles	2	2	2	2	17 / 9
2. SURVEILLANCE HALIEUTIQUE	Température - Salinité					9 / 4
2.1. Hydrologie et Ichtyoplancton	oeufs et larves de sole, limande, sprat et sardine	2 Echantillons bongo	2 Echantillons bongo	2 Echantillons bongo	-	24 / 4 06 / 5 23 / 5
2.2 Macrofaune Halieutique	- sole, plie, limande - autres espèces (crevette grise, merlan, tacaud) - Température - Salinité	- 34 traits de 15 min. au chalut perche 3 m entre la baie d'Authie et Dieppe - 16 traits de 7 min. au chalut perche 2 m à l'intérieur de la baie de Somme				01 / 9 02 / 9 03 / 9

\* un réplicat sur les germes totaux a été réalisé sur l'ensemble des stations pour la campagne automnale

**Tableau 1.3 : Récapitulatif des travaux réalisés au cours de l'année 2014 pour la surveillance écologique du CNPE de Penly**

## 2. Le domaine pélagique

### 2.1 Chapitre hydrologie

<i>Rapport</i>	Emilie Rabiller (LERN)
<i>Prélèvements et mesures in situ</i>	Sylvaine Françoise (LERN), Frank Maheux (LERN), Olivier Pierre-Duplessix (LERN), Benjamin Simon (LERN), Emilie Rabiller (LERN), Gaëlle Courtay (LERN), Laure Lamort (LERN)
<i>Analyses de sels nutritifs</i>	Olivier Pierre-Duplessix (LERN), Emilie Rabiller (LERN)
<i>Analyses de matière en suspension</i>	Emilie Rabiller (LERN), Sylvaine Françoise (LERN)
<i>Traitement statistique des résultats</i>	Emilie Rabiller (LERN)
<i>Analyses chimiques complémentaires réalisées par</i>	Laboratoire LABEO Franck Duncombe de Caen  Laboratoire Eurofins de Bordeaux Laboratoire Eurofins de Maxeville



## 2.1. Hydrologie

### 2.1.1. Méthode

#### 2.1.1.1. Prélèvements et mesures *in situ*

Conformément à la stratégie mise en place pour le site de Penly, les travaux de surveillance ont été réalisés autour de la pleine mer et par coefficients de mortes eaux les 26 mars, 26 juin et 17 septembre 2014 à bord du navire océanographique NO DELPHY de l'IFREMER.

Les points échantillonnés (figure 2.1) ont été les suivants :

- le point canal (situé à l'entrée du canal d'amenée du CNPE),
- le point rejet (situé dans les turbulences du rejet),
- le point contrôle (situé au large du rejet),
- le point référence (situé au large, au-delà de la zone d'influence du CNPE).

Tous les points ont été échantillonnés en surface.

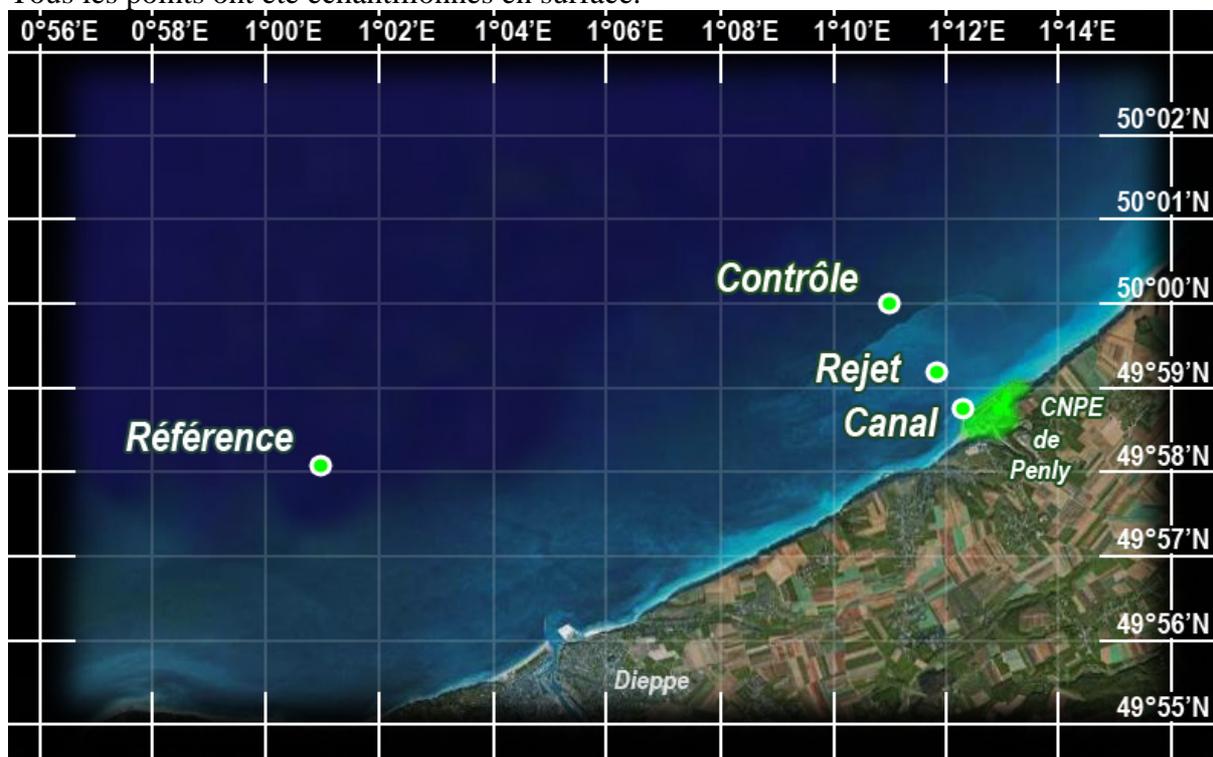


Figure 2.1 : Situation géographique du CNPE et localisation des points de prélèvements

Deux groupes de paramètres hydrologiques suivis se distinguent : les paramètres physicochimique et les paramètres chimiques.

Les paramètres physicochimiques mesurés sont la température, la turbidité, la salinité, les matières en suspension et les sels nutritifs (nitrate, nitrite, ammonium, phosphate et silicate). Les techniques appliquées à l'échantillonnage de ces différents paramètres sont présentées dans le manuel intitulé « Hydrologie des écosystèmes marins, paramètres et analyses » (Aminot et Kérouel, 2004). Les mesures de température et la salinité sont effectuées *in situ* au moyen de sondes multi-paramètres YSI 6600EDS-M ou 600QS.

Les paramètres chimiques sont les trihalométhanes (les bromoformes en particulier), l'hydrazine et l'éthanolamine ; ils ont été prélevés selon les prescriptions des laboratoires en charge des analyses que sont, respectivement, Frank Duncombe (Caen) et EUROFINS (Bordeaux).

### 2.1.1.2. Analyses

La méthode d'analyse des matières en suspension (MES), traités au LER/N-IFREMER, est présentée dans l'ouvrage intitulé « Hydrologie des écosystèmes marins, paramètres et analyses » d'Aminot et Kérouel (2004). Les méthodes d'analyse des différents sels nutritifs, dosés au LER/N-IFREMER par un autoanalyseur à flux continu, sont décrites dans l'ouvrage « Dosage automatique des nutriments dans les eaux marines » d'Aminot et Kerouel (2007). Le dosage des nutriments dans les eaux salines et saumâtres fait partie de la portée d'accréditation du Laboratoire IFREMER Environnement Ressource de Normandie depuis le 15 juin 2011 (section Essais, accréditation n° 1-2048, portée disponible sur le site [www.cofrac.fr](http://www.cofrac.fr)).

Le paramètre bromoforme (BromoF.) est analysé selon la norme NF EN ISO 10301 par le laboratoire Frank Duncombe du conseil général du Calvados. Les paramètres hydrazine (Hydraz.) et éthanola mine (Ethanola.) sont analysés au laboratoire Eurofins de Bordeaux en méthode colorimétrie automatique pour l'un et par chromatographie liquide haute performance (CLHP) pour l'autre.

Les précisions des différentes méthodes de mesures et d'analyses sont présentées dans le tableau 2.1 ci-après :

	Temp. (°C)	Salinité	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µM)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (µM)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (µM)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (µM)	Si(OH) <sub>4</sub> (µM)	MES (mg L <sup>-1</sup> )	BromoF. (µg/L)	Hydraz. (mg/L)	Ethanola (mg/L)
<b>Incertitudes</b>	± 0,01	± 0,01	3%	4,8%	10,1%	6,4%	0,7%	± 0,1	NC	± 30%	± 30%
<b>Limite de quantification</b>	0,01	0,1	0,1	0,02	0,1	0,05	0,2	0,01	1	0,1	0,1

Tableau 2.1 : Incertitude et limite de quantification des mesures (NC : non communiqué)

### 2.1.1.3. Présentation graphique des résultats

Les résultats des campagnes hydrologiques sont présentés sous forme de courbes, d'histogrammes et de "boîtes à moustaches". Les courbes illustrent les valeurs obtenues lors de l'année 2014, avec leur variabilité saisonnière et spatiale. Les histogrammes et les boîtes à moustaches présentent l'ensemble des données acquises depuis 1989, en séparant les trois campagnes (printemps, été et automne) et en distinguant les données de l'année en cours par une couleur différente.

L'utilisation de la médiane dans les boîtes à moustaches permet de minimiser l'influence des valeurs extrêmes par rapport à la moyenne.

### 2.1.1.4. Traitement statistique des données

Un traitement statistique a été réalisé sur l'ensemble des paramètres étudiés entre 1989 et 2014. Il permet de comparer les données enregistrées aux points *référence*, *contrôle*, *rejet* et *canal* et ainsi de mettre en évidence d'éventuelles différences significatives entre chacun de ces points à long terme. Le choix du test statistique le plus approprié, est conditionné par l'étude de la distribution des données (normale ou non) qui est déterminée à l'aide des coefficients d'asymétrie et d'aplatissement standardisés. Lorsque la distribution s'avère normale, le test de Student est utilisé pour des échantillons appariés. Dans le cas contraire (distribution non normale), la comparaison des données est réalisée grâce au test de Wilcoxon.

Ces tests permettent de déterminer une valeur de probabilité associée p-value. Si la p-value est inférieure à 0,05, il existe une différence significative entre les deux séries de données. A l'inverse, si la p-value est supérieure à 0,05 nous ne pouvons pas conclure à une différence significative au seuil de 95 %.

## 2.1.2. Résultats des mesures de la surveillance hydrologique pour l'année 2014

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de surveillance pour l'année 2014 sur le site de Penly sont présentés dans le tableau 2.2 ci-dessous. Les LQ sont définies dans le tableau 2.1.

	<i>Canal</i>	<i>Référence</i>	<i>Rejet</i>	<i>Contrôle</i>
<i>Température (°C)</i>	9,62	9,22	13,1	9,44
<i>Salinité</i>	33,6	34,1	33,5	33,8
<i>MES (mg/L)</i>	56,4	11,3	46,3	10,2
<i>Nitrate (µM)</i>	25,6	19,9	24,2	22,5
<i>Nitrite (µM)</i>	0,27	0,17	0,67	0,20
<i>Ammonium (µM)</i>	0,11	0,98	0,21	0,10
<i>Phosphate (µM)</i>	0,91	0,50	0,67	0,49
<i>Silicate (µM)</i>	9,63	7,40	9,45	8,33
<i>Bromoforme (µg L<sup>-1</sup>)</i>	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
<i>Hydrazine (mg L<sup>-1</sup>)</i>	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
<b>26-MARS</b>	<i>Ethanolamine (mg L<sup>-1</sup>)</i>	<LQ	<LQ	<LQ
<i>Température (°C)</i>	18,4	17,4	21,6	17,8
<i>Salinité</i>	33,7	34,1	33,4	33,0
<i>MES (mg/L)</i>	34,0	8,58	31,4	7,39
<i>Nitrate (µM)</i>	4,62	2,49	3,66	2,57
<i>Nitrite (µM)</i>	0,22	0,10	0,16	0,12
<i>Ammonium (µM)</i>	0,48	0,19	0,31	0,15
<i>Phosphate (µM)</i>	0,18	0,06	0,14	0,07
<i>Silicate (µM)</i>	5,55	5,72	4,67	2,78
<i>Bromoforme (µg L<sup>-1</sup>)</i>	<LQ	<LQ	1,0	1,0
<i>Hydrazine (mg L<sup>-1</sup>)</i>	*	<LQ	<LQ	<LQ
<b>26-JUIN</b>	<i>Ethanolamine (mg L<sup>-1</sup>)</i>	<LQ	<LQ	<LQ
<i>Température (°C)</i>	19,6	19,0	23,0	19,4
<i>Salinité</i>	33,8	34,2	34,0	34,0
<i>MES (mg/L)</i>	14,9	11,6	13,4	16,3
<i>Nitrate (µM)</i>	11,8	10,5	10,9	10,1
<i>Nitrite (µM)</i>	0,39	0,24	0,32	0,30
<i>Ammonium (µM)</i>	2,08	0,54	1,09	0,63
<i>Phosphate (µM)</i>	0,41	0,37	0,37	0,31
<i>Silicate (µM)</i>	10,9	9,14	10,4	9,21
<i>Bromoforme (µg L<sup>-1</sup>)</i>	<LQ	<LQ	<LQ	2,6
<i>Hydrazine (mg L<sup>-1</sup>)</i>	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
<b>17-SEPT</b>	<i>Ethanolamine (mg L<sup>-1</sup>)</i>	<LQ	<LQ	<LQ

**Tableau 2.2 : Récapitulatif des résultats de surveillance pour l'année 2014**

\*donnée manquante observée sur le rapport d'analyse d'IPL Atlantique reçu le 08/08/2014 au LERN Port-en-Bessin, 2 mois après le prélèvement et l'acheminement des échantillons en question de Port-en-Bessin à Maxéville.

### 2.1.2.1. Température

#### 2.1.2.1.a Variations spatiales et saisonnières de la température en 2014

Au cours des campagnes de surveillance 2014, la température de l'eau de mer a varié de 9,62 à 19,6°C au point *canal*, de 13,1 à 23,03°C au point *rejet*, de 9,44 à 19,4°C au point *contrôle* et de 9,22 à 19,0°C au point *référence* (figure 2.2).

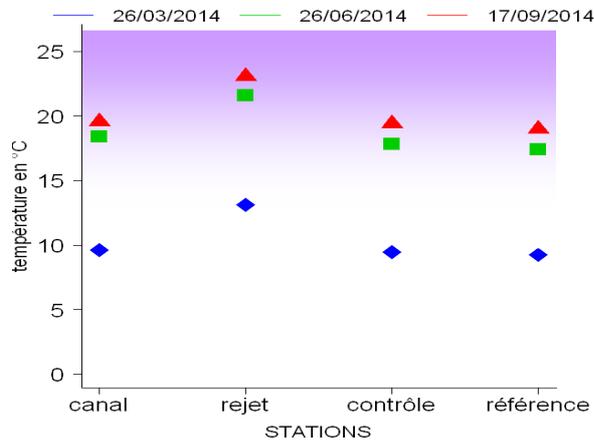


Figure 2.2 : Température de l'eau de surface en 2014

Les températures aux différents points de surveillance augmentent de mars à septembre. L'augmentation entre le printemps et l'été est de 8°C alors qu'entre l'été et l'automne elle est seulement d'environ 1,5°C et ce pour l'ensemble des points. Au cours de chaque saison, le maximum est toujours observé au point *rejet*. L'écart thermique annuel moyen est de 9,89°C. Il correspond à la moyenne des différences de température entre les mois de mars et septembre 2014 observés à chaque point. L'écart thermique 2014 est proche de la moyenne des écarts thermiques observés depuis 1989.

Il n'est pas observé de gradient spatial, seul le point *rejet* se distingue avec une température plus élevée que les trois autres points quelque soit la saison. Ceci est dû à sa proximité avec la sortie du circuit de refroidissement de la centrale.

Dans des secteurs, où l'énergie dissipée par la marée où la houle est suffisante pour limiter l'effet de stratification induit par le réchauffement en été, la colonne d'eau peut devenir homogène. La figure 2.3 présente le résultat de modélisation du potentiel de stratification des eaux (Lazure, comm. pers.), calculé d'après un paramètre de stratification  $H/u^3$  défini par Simpson et Hunter (1974) où  $H$  représente la hauteur de la colonne d'eau et  $u$  le module de la vitesse moyenne du courant au cours d'un cycle de marée.

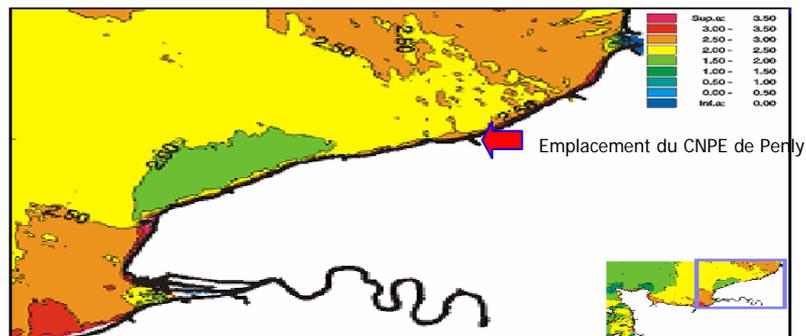


Figure 2.3 : Évolution spatiale du paramètre de stratification ( $H/u^3$ ) en Manche réalisée à l'aide du modèle hydrodynamique Mars 2D d'IFREMER (Lazure, comm. pers.)

De faibles valeurs du paramètre de stratification ( $< 2,0$ ) indiquent que la colonne d'eau est brassée et les fortes valeurs ( $> 3,0$ ) définissent les zones où la colonne d'eau peut présenter une stratification en été. La figure 2.3 montre ainsi que le CNPE est située dans une zone présentant des valeurs inférieures à 3, donc peu propice aux stratifications estivales. De très faibles différences de température entre la surface et mi-profondeur ont toujours été observées ces dernières années, confirmant l'absence de stratification dans la colonne d'eau.

### 2.1.2.1.b Variations inter-annuelles

La figure 2.4 présente l'évolution de la température de l'eau de mer depuis 1989 pour chaque saison et chaque point de surveillance.

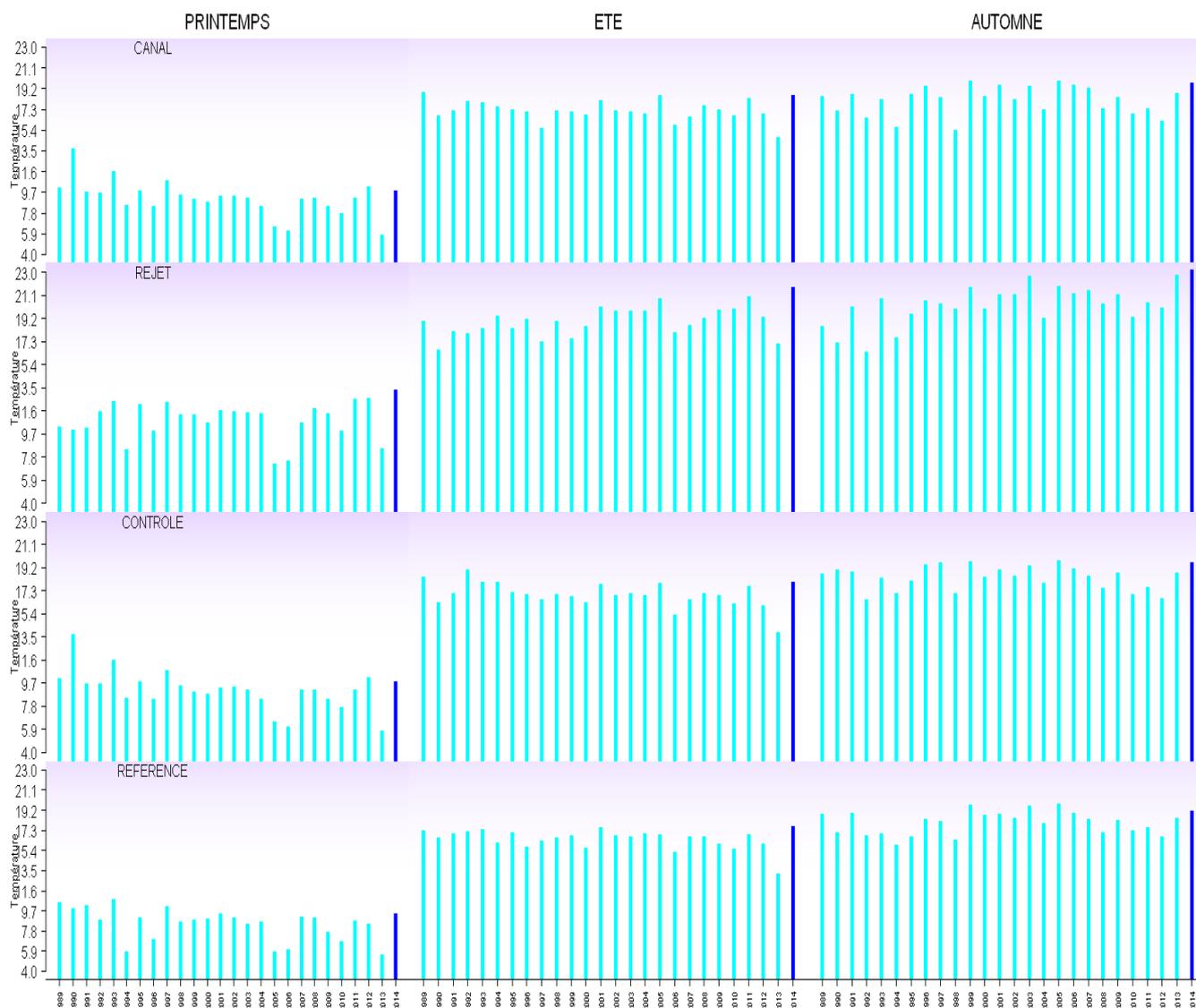
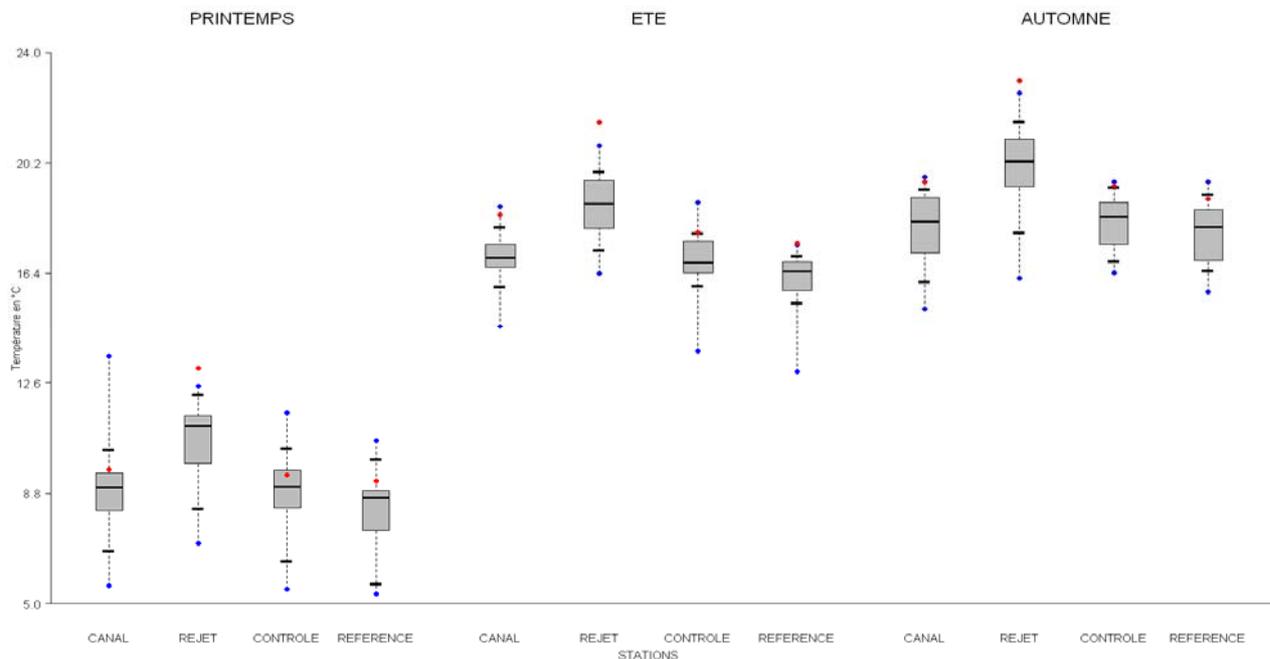


Figure 2.4 : Température de l'eau de surface pour les campagnes de 1989 à 2014 (2014 en bleu foncé)

En 2014, les températures ont été supérieures à celles de 2013 sur l'ensemble des points et des saisons. Elles semblent être proches des maximums observés en été et automne depuis le début du suivi.

La figure 2.5 compare les distributions de températures enregistrées entre 1989 et 2013 sous forme de *boîtes à moustaches* superposées aux teneurs de 2014. Elle confirme que certains maximums ont été dépassés cette année.



**Figure 2.5 : Distributions de la température par saison et par station depuis 1989. La barre centrale représente la médiane (—) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (□) ; les demi-barres, 80 % des valeurs (-). Les moustaches sont réglées sur le minimum et maximum obtenus entre 1989 et 2013 qui sont illustrés par des points (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2014 (●)**

En 2014, sur tous les points, les températures sont supérieures ou égales aux médianes pluriannuelles. Les maximums observés depuis ces 24 dernières années sont dépassés en 2014 au point *rejet* lors des trois saisons. Au printemps les mesures des autres points (*canal*, *contrôle* et *référence*) sont inclus dans l'intervalle constitué de 80% des données acquises. Par contre en été et en automne les autres points (*canal*, *contrôle* et *référence*) sont dans les extrêmes hauts (hors des 80% des valeurs) observées depuis 24 ans. Aussi la comparaison de la distribution des températures de l'eau de mer de 2014 avec celles de acquises depuis le début du suivi permet de caractériser 2014 comme une des années les plus chaudes.

Marcos et Dribault (1994) et plus récemment EDF (2010) ont modélisé le panache thermique du CNPE de Penly (modèle TELEMAR-3D) dans différentes conditions de marée (morte-eau et vive-eau moyenne). Les résultats indiquent une légère recirculation des eaux de rejet entraînant une élévation de 0,3 à 1 °C dans le canal d'amenée suivant la marée. Les mesures de 2014 le confirment, l'écart entre le point *référence* et le point *canal* variant de 0.4 (printemps) à 1 (été). Les résultats issus de la modélisation indiquent que l'impact thermique reste très localisé. Il dépend fortement des courants de marée. Le panache thermique s'affine et s'allonge davantage vers le sud-ouest (au jusant) que vers le nord-est (au flot). Les mesures de 2014 montrent une homogénéité des températures entre les points *contrôle* et *référence*.

Les valeurs de la température de l'eau de mer sont à rapprocher des températures de l'air (mesurées à Dieppe en 2014) au cours de la même période. Il existe une corrélation linéaire significative entre la température de l'air et celle de l'eau mesurée (données EDF) au niveau du canal d'amenée (figure 1.18).

#### 2.1.2.1.c Approche statistique

Pour étayer ce qu'illustre la figure 2.5, c'est-à-dire que le point *rejet* diffère des autres points au sujet des relevés de température, un test statistique a été réalisé.

Le tableau 2.4 présente les résultats des tests statistiques relatifs aux variations spatiales de la température sur la période 1989-2014.

Comparaison	Printemps		Été		Automne	
	type de test	probabilité associée	type de test	probabilité associée	type de test	probabilité associée
<i>Canal / Rejet</i>	W	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>
<i>Référence / Rejet</i>	T	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>
<i>Canal / Référence</i>	W	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>	T	0,253
<i>Contrôle / Canal</i>	W	0,282	W	<b>0,012</b>	W	0,121
<i>Contrôle / Rejet</i>	T	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>
<i>Contrôle / Référence</i>	W	<b>0,002</b>	W	<b>0,000</b>	W	<b>0,007</b>

Test T : student (loi normal) ; Test W : test Wicolson (pas de loi normal)

*p-value* <0,05 = différence significative ; *p-value* >0,05 = différence non significative

Tableau 2.3 : Probabilité associée *p* des tests statistiques sur la température

Les résultats de probabilités associés (*p-value*) sont identiques à ceux présentés pour la période 1989-2013. Il y a une différence significative et systématique de température entre le point *rejet* et les autres points de surveillance, ce qui confirme l'existence d'un impact thermique significatif permanent au point *rejet*. La température moyenne au point *référence* a priori non impacté par les rejets du CNPE, diffère également significativement de la température moyenne au niveau des autres points.

#### 2.1.2.1.d Écarts thermiques du rejet et taux de dilution

Sur l'ensemble des campagnes de 2014, les moyennes annuels des différences de température enregistrées entre le point *rejet* et les autres points *contrôle*, *canal* et *référence* ont été respectivement, de 3,69°C (écart type de 0,09), 3,38°C (écart-type de 0,17) et 4,04°C (écart type de 0,15) . Le détail des écarts thermiques mesurés entre le point *rejet* et les autres points est présenté sur la figure 2.6.

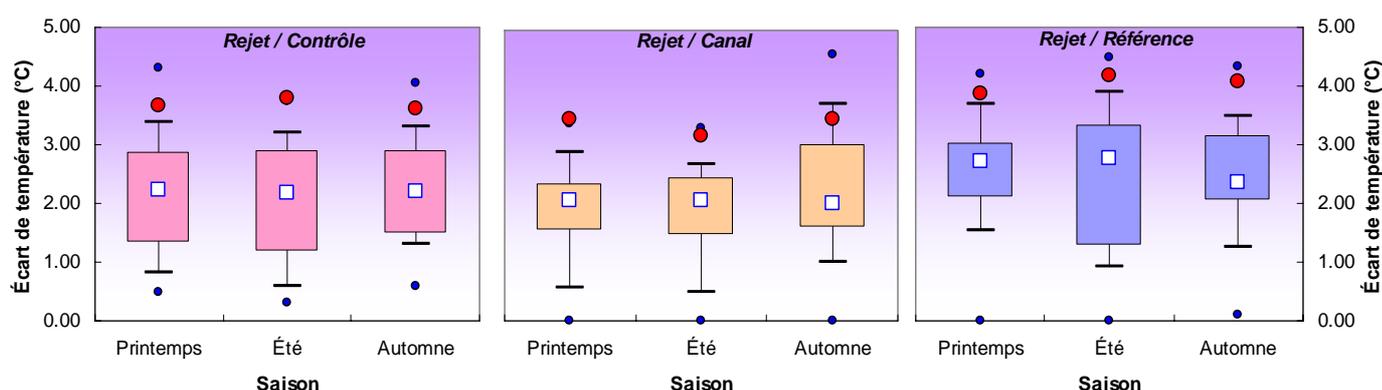


Figure 2.6 : Distributions des écarts thermiques entre les points *rejet / contrôle*, *rejet / canal* et *rejet / référence* depuis 1989. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▭) ; les moustaches, 80 % des valeurs (┘). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2014 (●)

En 2014, l'écart avec le point *rejet*, toutes stations confondues, se situe entre 3.2 et 4.2 °C. Les écarts thermiques de 2014 se trouvent donc dans les valeurs hautes mesurées depuis 24 ans tout comme les mesures relevées ces 6 dernières années.

La température mesurée au point *rejet* dépend en grande partie de la proportion d'eau échauffée. Cette proportion peut être calculée d'après la formule suivante :

$$\pi = \frac{t^{\circ}Rejet - t^{\circ}Canal}{t^{\circ}SC - t^{\circ}Canal} \quad (1)$$

où  $\pi$  représente la proportion d'eau échauffée, et  $t^{\circ}Rejet$ ,  $t^{\circ}Canal$  et  $t^{\circ}SC$  respectivement les températures aux points *rejet*, *canal* et à la sortie du condenseur. Le dénominateur de l'équation (1) représente la différence de température entre les eaux échauffées et le milieu récepteur. Cette différence ne doit pas excéder théoriquement 15 C (Malherbe et Manoha, 1977). Les proportions d'eau échauffée, ainsi que les taux de dilution théoriques, ont été calculés et sont résumés dans le tableau 2.4.

Date 2014	Canal		Sortie Condenseur EDF		Rejet	T°C Rejet	T°C SC	$\pi$	Taux Dilution en%
	T°C	T°C	T°C	T°C	T°C	-	-		
	IFREMER	EDF	T1	T2	IFREMER	T°C Canal	T°C Canal		
26-mars	<b>9,62</b>	9,18	<b>21,35</b>	9,18	<b>13,1</b>	3,5	11,73	0,30	<b>70,3</b>
26-juin	<b>18,4</b>	18,32	<b>30,04</b>	31,1	<b>21,6</b>	3,2	11,64	0,27	<b>72,5</b>
17-sept	<b>19,6</b>	19,41	19,41	<b>31,68</b>	<b>23</b>	3,4	12,08	0,28	<b>71,9</b>

**Tableau 2.4 : Echauffements de l'eau de mer calculés à Penly en 2014 et taux de dilution (en gras les valeurs utilisées pour le calcul)**

Le 26 mars, la proportion d'eau échauffée au point *rejet* par rapport à celle de sortie du condenseur a été de 0,30. Cela correspond à un taux de dilution d'environ 70 %. Ce taux est plus faible que celui de 2013 et est légèrement inférieur à la gamme de ceux calculés au cours des années précédentes (entre 75 et 90 %).

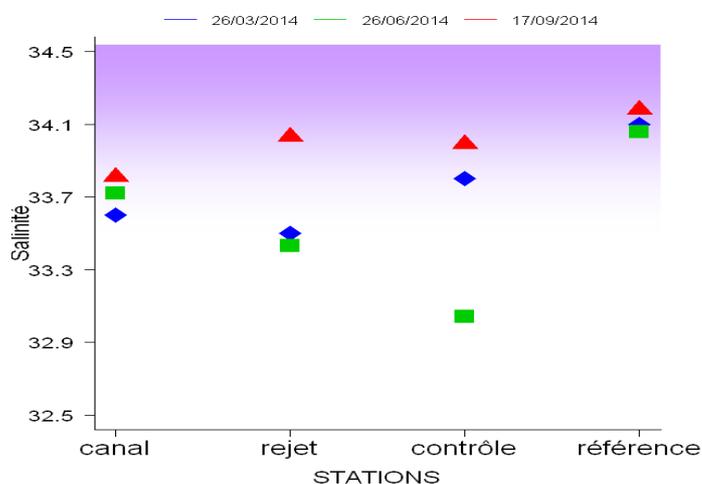
Les proportions d'eau échauffée au point *rejet* le 12 juin ont été de 0,27. Cela correspond à un taux de dilution d'environ 72,5 %. Ce taux est plus faible que celui que 2013 et légèrement inférieur à la gamme de ceux calculés au cours des années précédentes (entre 75 et 90 %).

Les proportions d'eau échauffée au point *rejet* le 17 septembre ont été de 0,28. Cela correspond à un taux de dilution d'environ 72 %. Ce taux est équivalent à celui calculé en 2013 et est inférieur à la gamme de ceux calculés au cours des années précédentes (entre 75 et 90 %).

### 2.1.2.2. Salinité

#### 2.1.2.2.a Variations spatiales et saisonnières de la salinité en 2014

Les salinités mesurées en 2014 ont été comprises entre 33,60 et 33,81 au point *canal*, entre 33,43 et 34,03 au point *rejet*, entre 33,04 et 33,99 au point *contrôle* et entre 34,06 et 34,18 au point *référence* (figure 2.7).



**Figure 2.7 : Salinité de l'eau de surface lors des campagnes de 2014**

Les salinités observées sont supérieures aux salinités habituellement observées au large du pays de Caux ( $S < 33$ , Brylinsky *et al.* 1991). Les salinités sont les plus faibles en été, en tous points confondus, tandis qu'elles sont les plus fortes à l'automne.

Un gradient côte-large apparaît au printemps, la salinité augmentant du point *rejet* (33.5) au point *référence* (34.18). Un gradient inverse, large-côte, apparaît en été, la salinité diminuant de la station *canal* (33.72) à la station *contrôle* (33.04). Le point *contrôle* en été est le moins salé de tous les points mesurés en 2014 ; on observe, à ce point, un écart d'1 unité entre l'été et les deux autres saisons. La salinité du point *référence* varie très peu d'une saison à l'autre.

### 2.1.2.2.b Variations inter-annuelles

La figure 2.8 présente l'évolution des salinités enregistrées sur l'ensemble des points de suivi entre 1989 et 2014. Les salinités sont proches de celles mesurées en 2013 et semble être dans la médiane interannuelle.

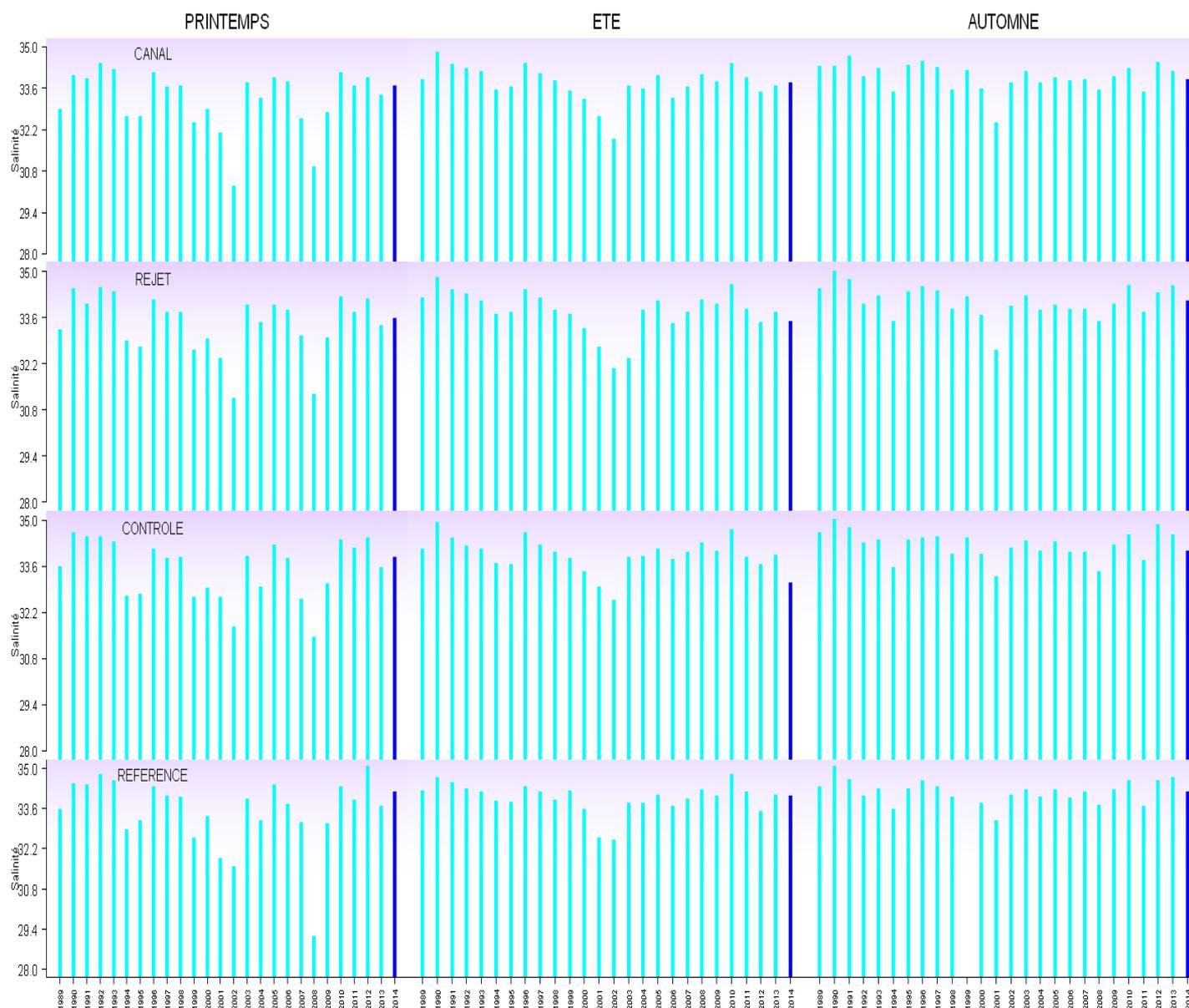


Figure 2.8 : Salinité de l'eau de surface pour les campagnes de 1989 à 2014 (2014 en bleu foncé)

L'influence de la pluviométrie sur la salinité dans ce secteur est importante. Cette influence est accentuée par des caractéristiques hydrodynamiques locales particulières. Dans ce secteur de la Manche, les courants de marée sont parallèles à la côte et constituent une entrave au mélange des eaux d'origine continentale avec les eaux océaniques. Cela crée une masse d'eau côtière permanente appelée *fleuve côtier*. La dessalure du *fleuve côtier* est continuellement entretenue par les apports fluviaux qui s'échelonnent de la baie de Seine au Pas de Calais (Brylinski *et al.*, 1991).

La figure 2.9, ci-après, présente l'évolution de la salinité en fonction du débit de la Bresle et de la Béthune, fleuves situés proche du CNPE de Penly. Cette figure montre qu'il existe une corrélation linéaire significative (coefficient de corrélation autour de 0,70) entre la salinité mesurée au niveau du CNPE et le débit des deux fleuves à proximité. Les débits de la Bresle et de la Béthune du mois de mars 2014 sont dans la gamme haute des débits recensés (cf.1.6.4) depuis le début du suivi.

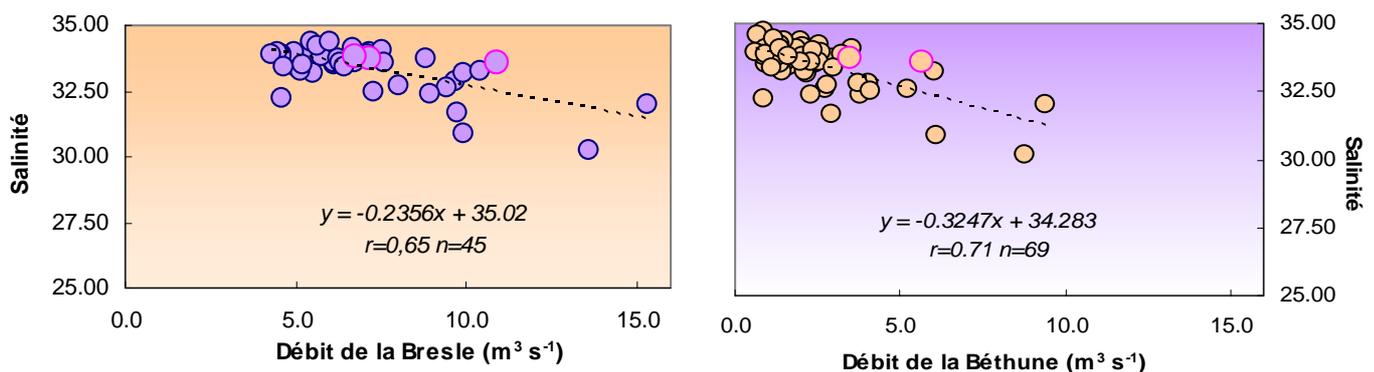


Figure 2.9 : Variation de la salinité (*canal*) en fonction du débit journalier de la Bresle (2000-2014) et de la Béthune (1989-1994 / 1998-2014)

La figure 2.10 présente la distribution des valeurs de salinité enregistrées entre 1989 et 2013 sous forme de *boîtes à moustaches* superposées aux teneurs de 2014.

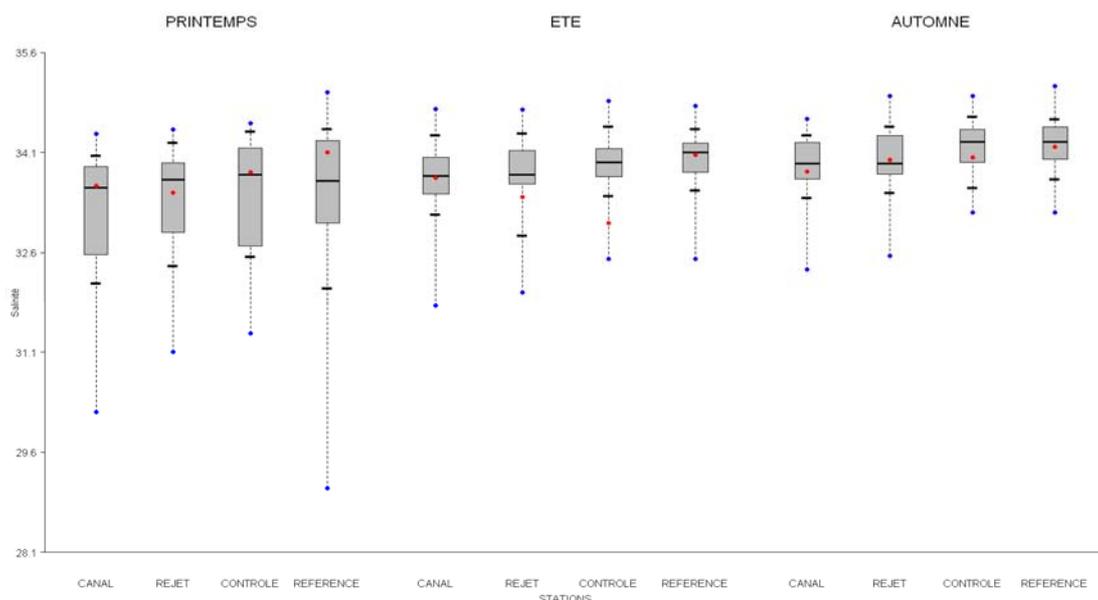


Figure 2.10 : Comparaison des distributions de la salinité par saison et par station depuis 1989. La barre centrale représente la médiane (—) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (□) ; les demi-barres, 80 % des valeurs (-). Les moustaches sont réglées sur le minimum et maximum obtenus entre 1989 et 2013 qui sont illustrés par des points (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2014 (●)

Seuls les points *rejet* et *contrôle* d'été se distinguent sur la figure 2.10. Le premier étant hors de la boîte et donc éloignée des 50% des données entourant la médiane et le second est éloigné de la médiane en étant inférieur au percentile 10. Les autres mesures sont à l'intérieur de la boîte voir proche de la médiane.

En 2014, le gradient côte-large est croissant au printemps et à l'automne tandis qu'en été il est décroissant comme l'illustre la figure 2.10. La forte dispersion (*boîtes à moustache* étendues) des valeurs enregistrées au printemps depuis le début du suivi souligne une certaine variabilité de la salinité. Cette variabilité est certainement liée aux précipitations qui sont plus ou moins fréquentes à cette saison selon les années, et donc à l'apport plus ou moins prononcé d'eaux douce par les bassins versants sur le site proche du CNPE de Penly.

### 2.1.2.2.c Approche statistique

Le tableau 2.5 présente les résultats des tests statistiques pour la salinité sur la période 1989-2014.

Salinité (pour mille)						
Comparaison	Printemps		Été		Automne	
	type de test	probabilité associée	type de test	probabilité associée	type de test	probabilité associée
<i>Canal / Rejet</i>	W	<b>0,000</b>	W	<b>0,014</b>	W	<b>0,001</b>
<i>Référence / Rejet</i>	W	<b>0,016</b>	W	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>
<i>Canal / Référence</i>	W	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>	W	<b>0,000</b>
<i>Contrôle / Canal</i>	W	<b>0,000</b>	W	<b>0,001</b>	T	<b>0,000</b>
<i>Contrôle / Rejet</i>	T	<b>0,038</b>	W	<b>0,005</b>	W	<b>0,000</b>
<i>Contrôle / Référence</i>	W	0,170	W	<b>0,046</b>	T	0,294

Test T : student (loi normal) ; Test W : test Wilcoxon (pas de loi normal)

*p-value* <0,05 = différence significative ; *p-value* >0,05 = différence non significative

**Tableau 2.5 : Probabilité associée *p* des tests statistiques sur la salinité**

L'intégration des résultats de surveillance 2014 modifie légèrement les résultats basés sur la période 1989-2013, les points *contrôle* et *rejet* se différencient significativement au printemps ainsi que *contrôle* et *référence* en été 2014 et non en 2013. D'une manière générale, les différences présentes entre les points du large et de la côte sont certainement liées au gradient de salinité. La faible influence des apports continentaux d'eau douce sur les points *contrôle* et *référence*, tous deux situés au large, peut expliquer cette différence non significative de salinité entre eux.

L'hypothèse d'un impact du CNPE pour expliquer les différences de salinités observées sur la série pluriannuelle est peu probable. La centrale représente une source d'eau douce via les effluents d'eau déminéralisée des circuits primaires, secondaires et annexes pour le refroidissement des auxiliaires de l'îlot nucléaire. Cependant, les rejets ne représentent qu'un faible volume (par an et par tranche), par rapport aux volumes d'eau de mer utilisés pour le refroidissement.

### 2.1.2.3. Ammonium

#### 2.1.2.3.a Variations spatiales et saisonnières de l'ammonium en 2014

Au cours des campagnes 2014, les teneurs en ammonium ont varié de 0,11 à 2,08  $\mu\text{M}$  au point *canal*, de 0,210 à 1,09  $\mu\text{M}$  au point *rejet*, de 0,1 à 0,629  $\mu\text{M}$  au point *contrôle* et de 0,187 à 0,980  $\mu\text{M}$  au point *référence* (figure 2.11).

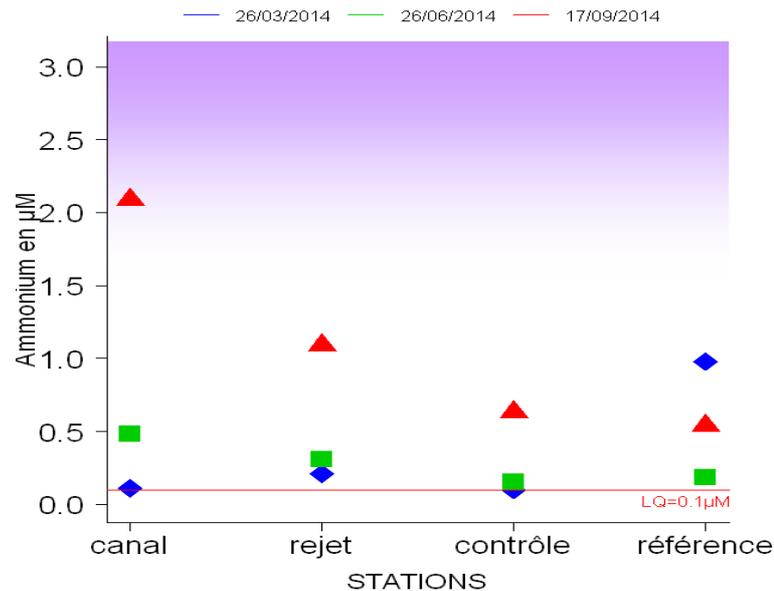
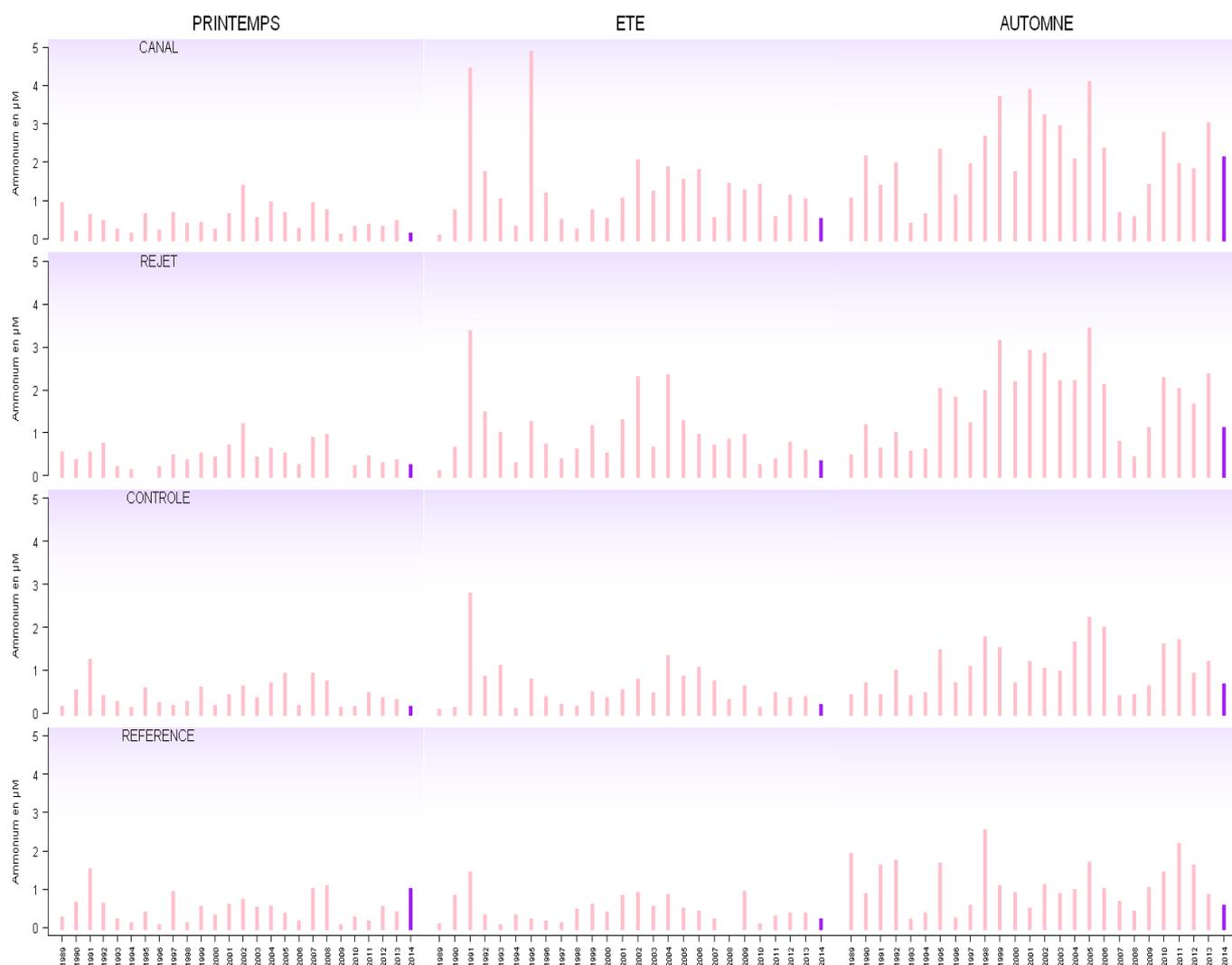


Figure 2.11 : Concentrations en ammonium dans les eaux de surface lors des campagnes 2014 (LQ=0,10µM)

Les concentrations en ammonium au printemps 2014 sont proches de la LQ (Limite de Quantification) excepté au point *référence* où la teneur est à 0,98µM. En été, elles sont faibles mais présentes un léger gradient côte-large décroissant. Les concentrations en automne sont plus élevées qu'aux autres saisons, excepté au point *référence* où la plus forte teneur est atteinte au printemps. Le gradient côte-large décroissant est plus marqué en automne, la concentration au point *canal* étant deux fois supérieure qu'au point *référence*.

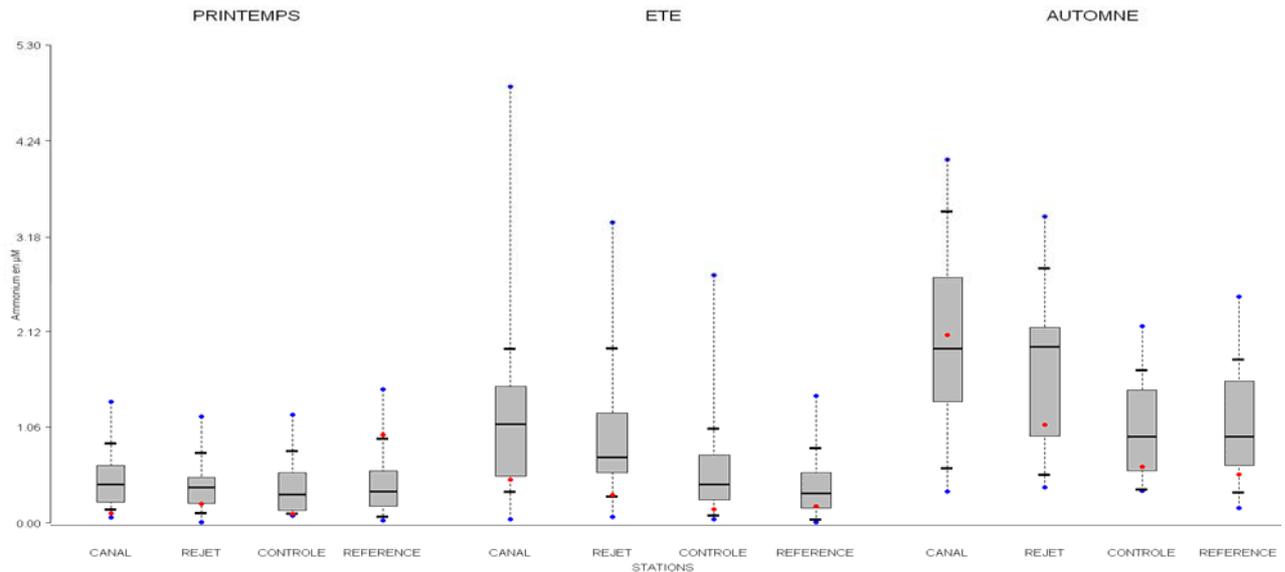
#### 2.1.2.3.b Variations inter-annuelles

Les variations de concentration en ammonium, enregistrées aux différents points de suivi depuis 1989, sont présentées sur la figure 2.12. En 2014, les concentrations en ammonium sont plus faibles de celles mesurées l'année précédente, particulièrement en automne. De plus les données d'ammonium de 2014 semblent plus faibles que la médiane interannuelle.



**Figure 2.12 : Concentrations en ammonium dans l'eau de surface lors des campagnes de 1989 à 2014**

La figure 2.13 présente la distribution des teneurs en ammonium enregistrées entre 1989 et 2013 sous forme de *boîtes à moustaches* superposée aux teneurs de 2014.



**Figure 2.13 : Distributions de l'ammonium par saison et par station depuis 1989. La barre centrale représente la médiane (—) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (□) ; les demi-barres, 80 % des valeurs (-). Les moustaches sont réglées sur le minimum et maximum obtenus entre 1989 et 2013 qui sont illustrés par des points (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2014 (●)**

La figure 2.13 illustre l'importante dispersion des teneurs interannuelles en ammonium en été et en automne.

Les teneurs en ammonium en 2014 sont majoritairement éloignées des 50% des données représentés par la boîte. Seules les concentrations mesurées en automne sur les points *canal*, *rejet* et *référence* sont proche de 50% des données acquises. La valeur obtenue au point *référence* du printemps se situe dans les 10% des valeurs proche du maximum atteint depuis le début du suivi.

Les médianes pluriannuelles d'été et d'automne révèlent un gradient côte-large décroissant confirmé par les données de 2014. Les médianes des points du printemps sont quant à elles homogènes.

### 2.1.2.3.c Approche statistique

Les tests statistiques réalisés sur les teneurs en ammonium enregistrées depuis 1989 sont présentés dans le tableau 2.6.

Comparaison	Printemps		Été		Automne	
	type de test	probabilité associée	type de test	probabilité associée	type de test	probabilité associée
<i>Canal / Rejet</i>	T	0,239	W	<b>0,025</b>	T	<b>0,000</b>
<i>Référence / Rejet</i>	W	0,741	W	<b>0,000</b>	T	<b>0,004</b>
<i>Canal / Référence</i>	T	0,883	W	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>
<i>Contrôle / Canal</i>	W	0,761	W	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>
<i>Contrôle / Rejet</i>	T	0,637	W	<b>0,000</b>	W	<b>0,000</b>
<i>Contrôle / Référence</i>	W	0,179	T	0,083	T	0,619

Test T : student (loi normal) ; Test W : test Wicolson (pas de loi normal)

***p-value* <0,05 = différence significative ; *p-value* >0,05 = différence non significative**

**Tableau 2.6 : Probabilité associée *p* des tests statistiques sur l'ammonium**

L'intégration de l'année 2014 à cette comparaison statistique ne modifie pas les conclusions obtenues sur la période 1989-2013.

L'étude statistique montre une absence de différence significative entre tous les points au printemps. Ceci peut s'expliquer par le fait que les variations de la concentration en ammonium résultent principalement de l'activité hétérotrophe du milieu. Les processus de cette activité hétérotrophe sont généralement très réduits au début du printemps et n'engendrent donc pas de variations importantes pouvant entraîner des différences de concentrations entre les points.

Durant le reste de l'année, les concentrations en ammonium sont significativement différentes entre les points de suivi. Seul les stations *contrôle* et *référence* ne présentent aucune différence significative tout au long de l'année. Ceci est vraisemblablement lié à leur situation géographique puisque ces points sont situés tous les deux au large.

Jusqu'en 2011, le conditionnement du circuit secondaire nécessitait l'utilisation d'ammoniaque de l'ordre d'une dizaine de tonnes par an (donnée EDF). Les vidanges de ce circuit occasionnaient alors des potentiels rejets dans l'environnement. Cependant, les valeurs enregistrées depuis le début de la surveillance sont toujours restées de l'ordre de celles couramment observées dans les eaux côtières de la Manche. En outre, l'absence de différence significative de la teneur en ammonium entre les points *canal* et *rejet* sur la période 1989-2010 (hormis en automne) suggère que ces rejets étaient peu détectables.

Depuis le 4 janvier 2011, le site utilise de l'éthanolamine pour conditionner le circuit secondaire de l'ordre de 3 T/an (donnée EDF) à la place de l'ammoniaque.

Il n'est pas observé de tendance ou de variation brutale entre les concentrations d'ammonium mesurées avant et après 2011.

#### 2.1.2.4. Nitrate et nitrite

##### 2.1.2.4.a Variations spatiales et saisonnières du nitrate et du nitrite en 2014

Les teneurs en nitrate mesurées au cours des campagnes de surveillance 2014 ont varié de 4,62 à 25,6  $\mu\text{M}$  au point *canal*, de 3,66 à 24,2  $\mu\text{M}$  au point *rejet*, de 2,57 à 22,5  $\mu\text{M}$  au point *contrôle* et de 2,49 à 19,9  $\mu\text{M}$  au point *référence* (figure 2.14). Les concentrations en nitrite ont été comprises entre 0,22 et 0,39  $\mu\text{M}$  au point *canal*, entre 0,16 et 0,67  $\mu\text{M}$  au point *rejet*, entre 0,12 et 0,30  $\mu\text{M}$  au point *contrôle* et 0,10 et 0,24  $\mu\text{M}$  au point *référence* (figure 2.14).

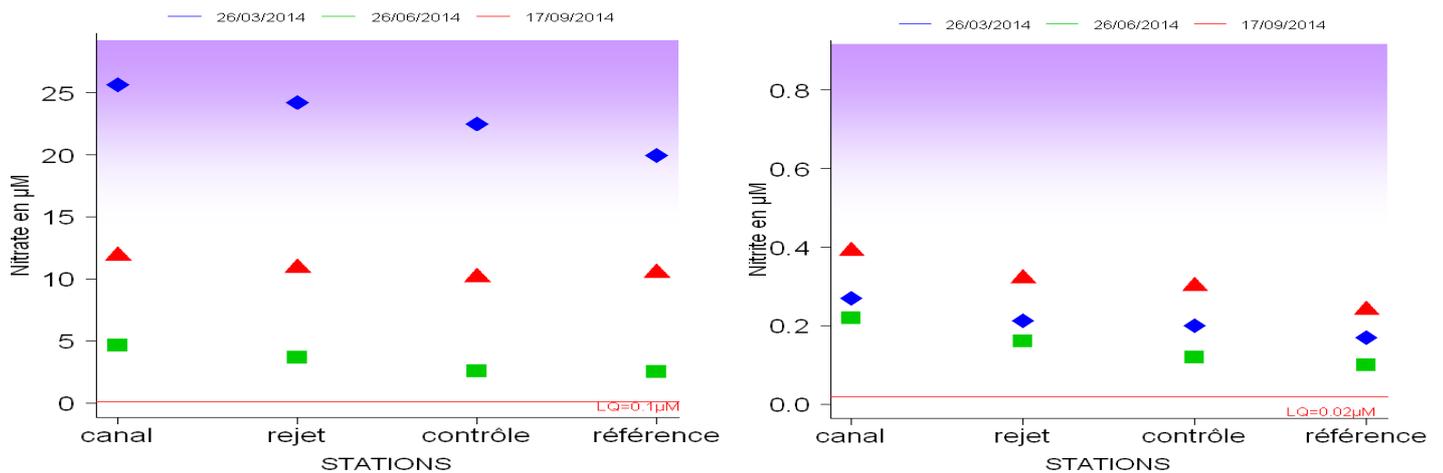


Figure 2.14 : Concentrations en nitrate et nitrite dans les eaux de surface en 2014

En 2014, les concentrations de nitrate, tous points confondus, est divisé par trois entre le printemps et l'été puis augmentent à l'automne suivant ainsi un cycle classique annuel. Un gradient décroissant côte-large est observé aux trois saisons. Cependant les teneurs de 2014 sont inférieures à celles mesurées par Brylinski *et al.* (1996) dans ce secteur de la Manche à la fin du printemps (15-40 µM).

Les concentrations de nitrite diminuent faiblement entre le printemps et l'été 2014 puis augmentent à l'automne. Tout comme le nitrate un gradient décroissant côte-large est observé au cours des trois saisons.

#### 2.1.2.4.b Variations inter-annuelles

Les variations des concentrations en nitrate et nitrite sur la période 1989-2014 sont présentées sur la figure 2.15.a et b.

Les teneurs en nitrate relevées en 2014 sont inférieures à celles de 2013 au printemps et en automne sur l'ensemble des points. En été les concentrations de nitrate sont inférieures à celles de 2013 et se trouvent dans la gamme basse des concentrations mesurées depuis le début du suivi. L'année 2014 semble assez commune à la majorité des autres années du suivi concernant le paramètre nitrate.

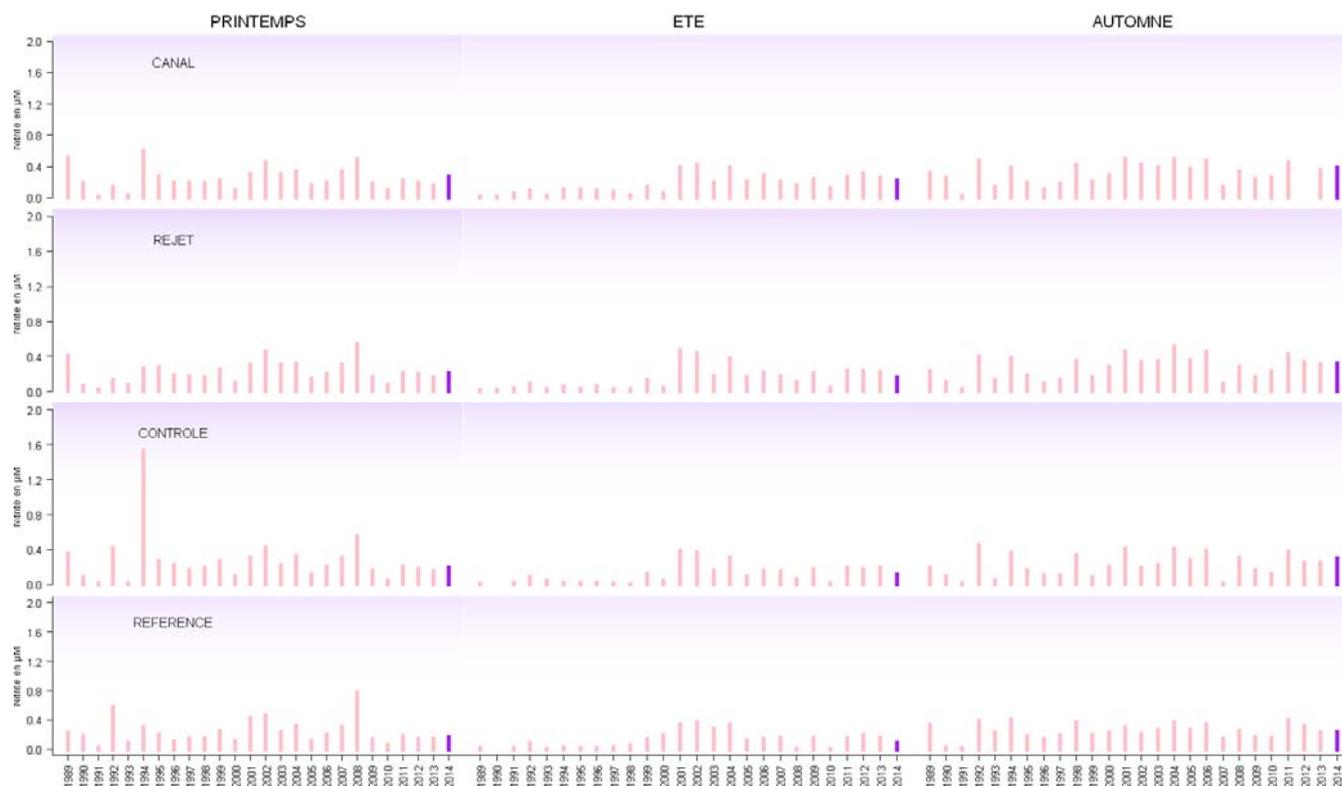


Figure 2.15.a : Concentrations en nitrate dans l'eau de surface de 1989 à 2014  
( $LQ_{NO_3}=0.10\mu M$ )

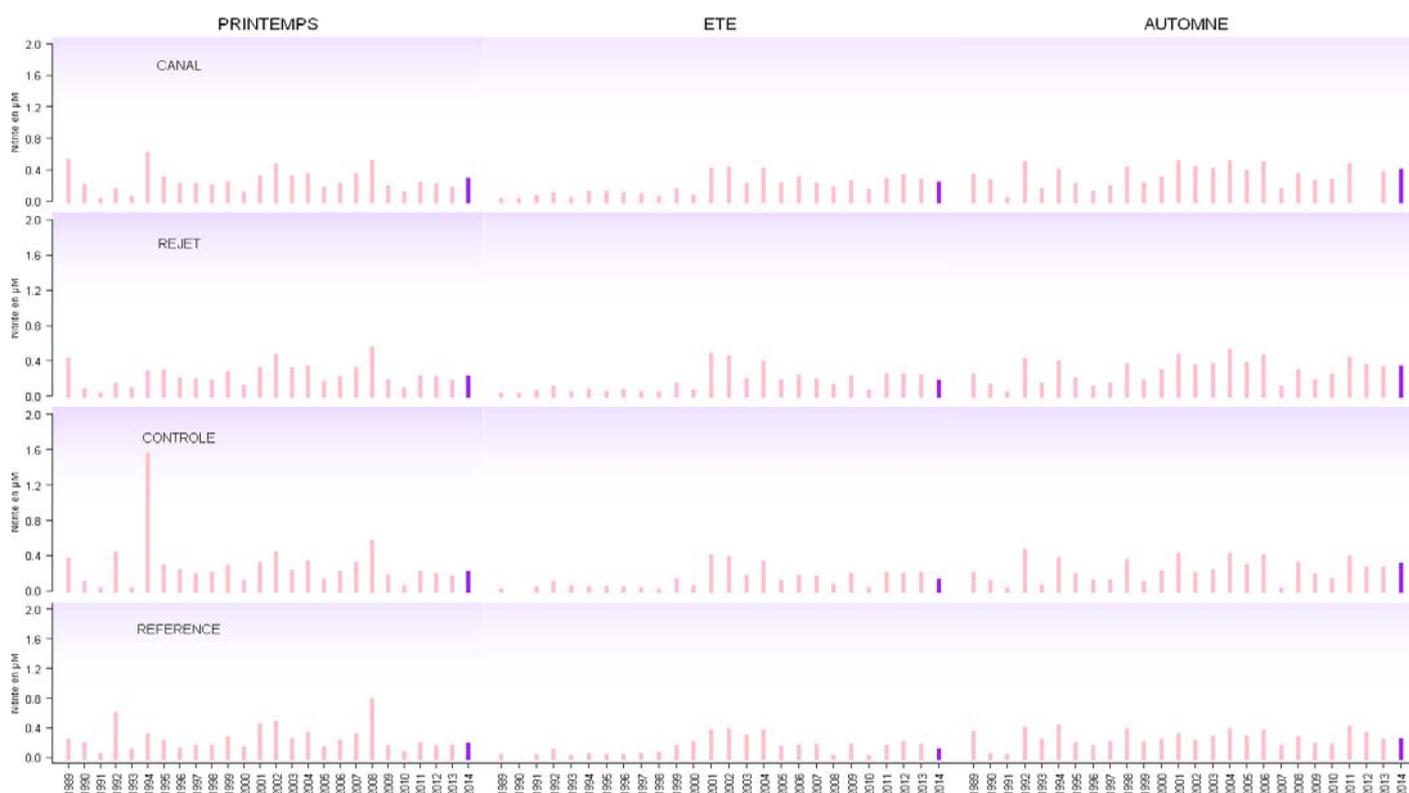
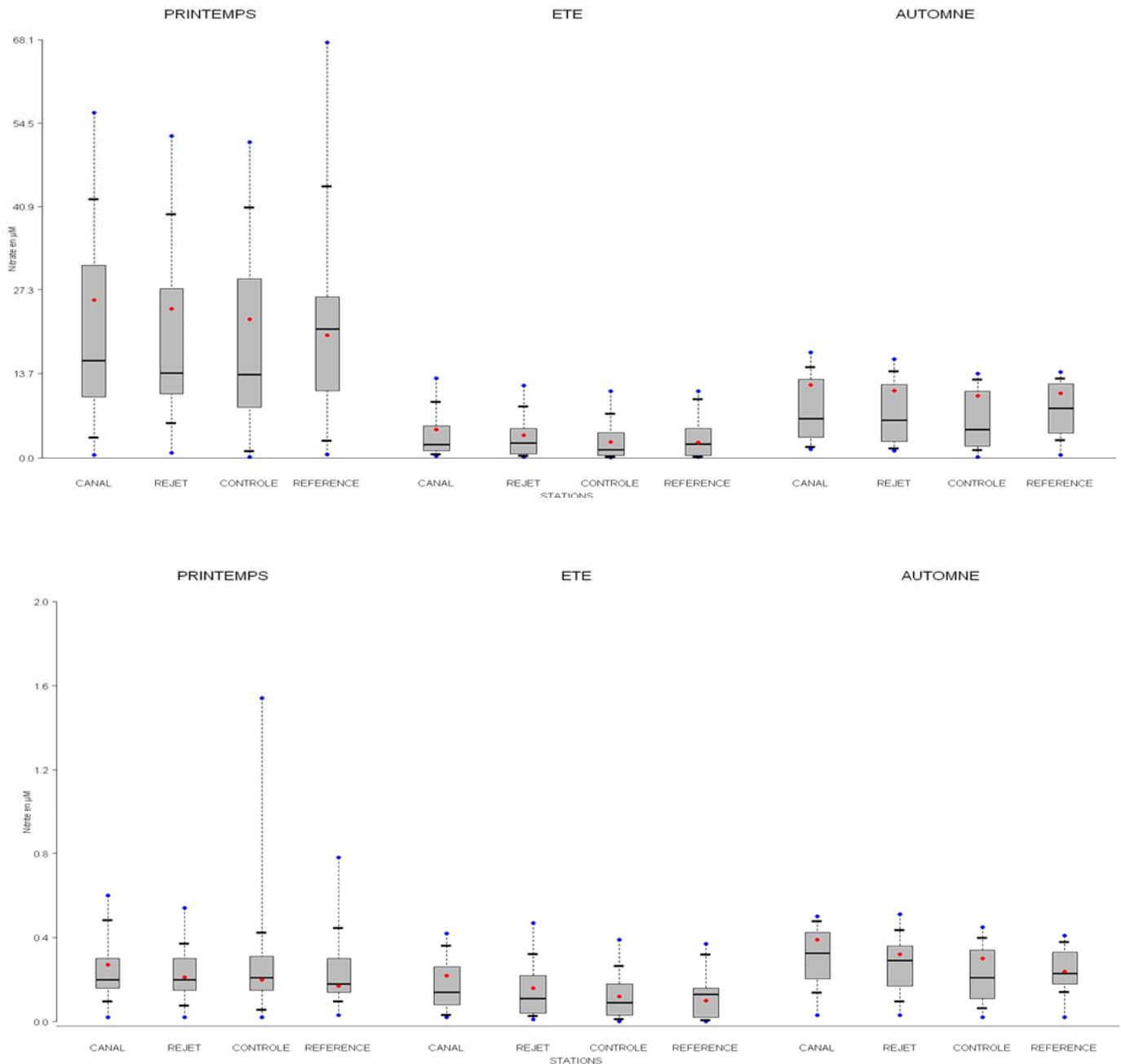


Figure 2.15.b : Concentrations en nitrite dans l'eau de surface de 1989 à 2014  
( $LQ_{NO_2}=0.02\mu M$ )

Pour le nitrite, les teneurs sont majoritairement similaires à celles de l'année passée sur l'ensemble des points. Les concentrations se situent dans la gamme haute des valeurs mesurées depuis le début du suivi excepté en été où elles se situent dans la gamme basse pour les trois points. Les boîtes à moustaches de la figure 2.16 présentent la distribution des concentrations, en nitrate et nitrite, enregistrées entre 1989 et 2013 superposée aux mesures réalisées en 2014.



**Figure 2.16 : Distributions des nitrate (en haut) et nitrite (en bas) par saison et par station depuis 1989. La barre centrale représente la médiane (—) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (□) ; les demi-barres, 80 % des valeurs (-). Les moustaches sont réglées sur le minimum et maximum obtenus entre 1989 et 2013 qui sont illustrés par des points (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2014 (●)**

Les concentrations de nitrate mesurées en 2014 sont proche de 80% des données observées depuis le début du suivi et ceci pour tous les points. Elles sont supérieures à la médiane en toute saison, excepté au point *référence* de mars où elle est légèrement inférieure. En été, seul le point *canal*

présente un taux de nitrate très au-dessus de la médiane, les autres points présentant un taux assez proche de cette dernière. Contrairement aux données 2014 les médianes ne présentent pas de gradient côte-large décroissant.

Les concentrations de nitrite mesurées en 2014 sont proche de 80% des données observées depuis le début du suivi et ceci pour tous les points. Elles sont majoritairement proche de la médiane exceptée pour le point *canal* au trois saisons et au point *rejet* en été et *contrôle* à l'automne. Dans ces derniers cas la concentration de nitrite est supérieure à la médiane. Tout comme sur les données 2014 il apparaît un gradient décroissant côte-large au niveau des médianes mais plus léger.

#### 2.1.2.4.c Approche statistique

Le tableau 2.7 présente les résultats des tests statistiques de comparaison des moyennes de concentrations en nitrate et nitrite, pour chaque couple de points, entre 1989 et 2014. Ces résultats sont identiques à ceux obtenus pour la période 1989-2013, excepté pour les points *référence* et *rejet* qui ne sont pas significativement différent au printemps. Globalement pour le nitrate, des différences significatives sont généralement observées entre les points côtiers (*canal* et *rejet*) ainsi qu'entre le point *contrôle* et les autres points tout au long de l'année.

Comparaison		Printemps		Été		Automne	
		type de test	probabilité associée	type de test	probabilité associée	type de test	probabilité associée
Nitrates	<i>Canal / Rejet</i>	W	<b>0,038</b>	T	<b>0,008</b>	W	<b>0,003</b>
	<i>Référence / Rejet</i>	T	0,187	W	0,565	T	0,449
	<i>Canal / Référence</i>	T	0,563	T	0,186	T	0,780
	<i>Contrôle / Canal</i>	T	<b>0,002</b>	W	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>
	<i>Contrôle / Rejet</i>	T	0,090	T	<b>0,001</b>	T	<b>0,000</b>
	<i>Contrôle / Référence</i>	W	<b>0,005</b>	W	<b>0,031</b>	W	<b>0,000</b>
Nitrites	<i>Canal / Rejet</i>	W	0,058	T	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>
	<i>Référence / Rejet</i>	W	0,247	W	0,565	T	0,449
	<i>Canal / Référence</i>	W	0,112	T	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>
	<i>Contrôle / Canal</i>	W	0,205	T	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>
	<i>Contrôle / Rejet</i>	W	0,669	T	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>
	<i>Contrôle / Référence</i>	W	0,700	W	0,884	T	0,197

Test T : student (loi normal) ; Test W : test Wicolson (pas de loi normal)

$p\text{-value} < 0,05$  = différence significative ;  $p\text{-value} > 0,05$  = différence non significative

**Tableau 2.7 : Probabilité associée  $p$  des tests statistiques sur les nitrate et nitrite**

Concernant le nitrite on retrouve les mêmes résultats que sur l'étude statistique 1988-2013, excepté pour les points *référence* et *rejet* en été. Des différences significatives de concentrations en nitrites sont observées uniquement en été et en automne. Les concentrations en nitrites aux points *contrôle* et *référence* ne diffèrent pas significativement, en raison de la position au large de ces deux points, au niveau desquels les concentrations en nitrites sont moins dépendantes des apports de nutriments par les cours d'eaux côtiers.

Les concentrations de nitrate/nitrite varient au cours des différentes saisons de manière classique. La présence de différences significatives entre les points est en accord avec la distribution spatiale caractéristique de cette région de la Manche.

### 2.1.2.5. Phosphate et silicate

#### 2.1.2.5.a Variations spatiales et saisonnières du phosphate et du silicate en 2014

Les variations des concentrations en phosphate et silicate mesurées en 2014 sont présentées sur la figure 2.17. Les teneurs en phosphate ont été comprises entre 0,18 et 0,91  $\mu\text{M}$  au point *canal*, entre 0,17 et 0,37  $\mu\text{M}$  au point *rejet*, entre 0,07 et 0,49  $\mu\text{M}$  au point *contrôle* et enfin entre 0,06 et 0,50  $\mu\text{M}$  au point *référence*. Pour le silicate, les concentrations ont varié de 5,55 à 10,9  $\mu\text{M}$  au point *canal*, de 4,67 à 10,4  $\mu\text{M}$  au point *rejet*, de 2,78 à 9,21  $\mu\text{M}$  au point *contrôle* et de 5,72 à 9,14  $\mu\text{M}$  au point *référence*.

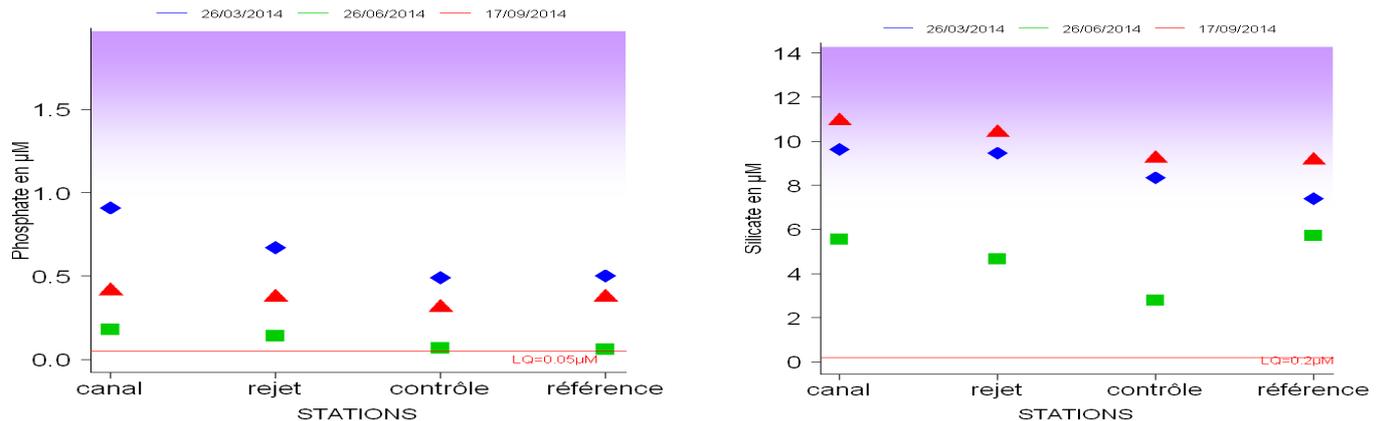


Figure 2.17 : Concentrations en phosphate (à gauche) et silicate (à droite) dans les eaux de surface en 2014

Les concentrations de phosphate baissent entre le printemps et l'été, en se rapprochant de la limite de quantification, puis remontent sans atteindre les concentrations printanières. Cela correspond donc à un cycle classique annuel d'une masse d'eau côtière. Un gradient décroissant côte-large, du point *canal* au point *contrôle*, est observé lors des trois saisons. Un gradient décroissant côte-large, allant du point *canal* au point *contrôle*, est observé lors des trois saisons.

Les concentrations de silicate des quatre points baissent du printemps à l'été puis remontent à l'automne en dépassant légèrement les teneurs printanières. Les différences de concentrations intersaisons est moindre au point *référence* (3,5 $\mu\text{M}$  max) que sur les autres points (autour de 5 $\mu\text{M}$ ).

### 2.1.2.5.b Variations inter-annuelles

Les variations des concentrations en phosphate et en silicate au cours de la période 1989-2014 sont présentées sur les figures 2.18.a et 2.18.b



**Figure 2.18.a : Concentrations en phosphate dans l'eau de surface lors des campagnes de 1989 à 2014**  
(LQ  $PO_4=0.05\mu M$ )

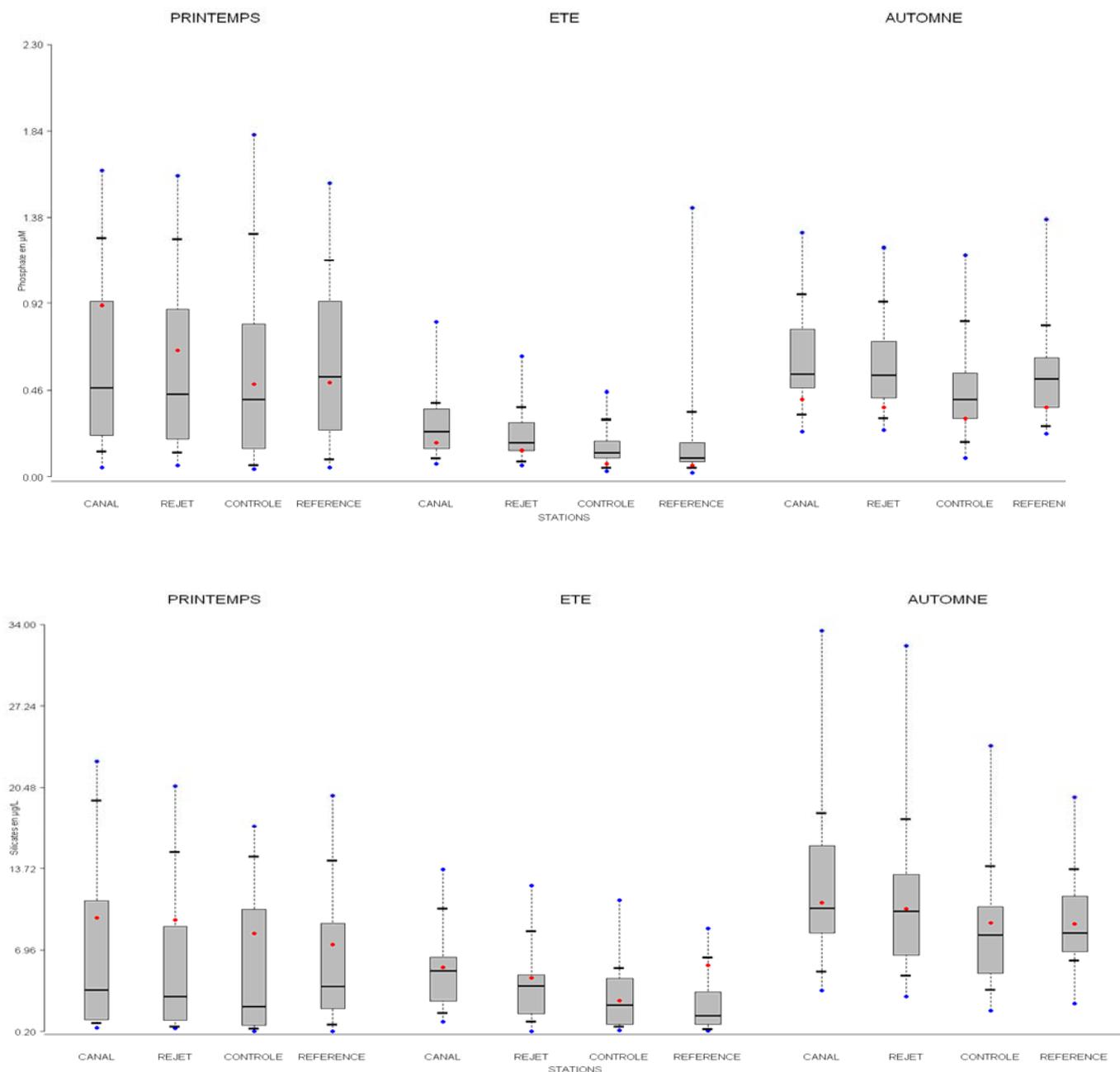


**Figure 2.18.b : Concentrations en silicate dans l'eau de surface lors des campagnes de 1989 à 2014**  
(LQ  $\text{SiOH}_4=0.2\mu\text{M}$ )

En 2014, les concentrations en phosphate ont été nettement supérieures au printemps et équivalentes en été et à l'automne que l'année précédente sur les quatre points suivis. Au printemps, sur les quatre points, elles se situent dans la gamme élevée des données observées depuis 1989, tandis qu'en été elles sont dans la gamme basse et en automne proche de la médiane.

Les concentrations en silicate de 2014, par rapport à celles de 2013, ont été nettement supérieures au printemps, supérieures au point référence en été, équivalentes pour les autres points et équivalentes pour les quatre points à l'automne. Elles semblent proches de la médiane sur l'ensemble des points excepté au printemps où les teneurs semblent être dans la gamme haute des valeurs observées depuis le début du suivi.

Les distributions du phosphate et du silicate sont présentées sous forme de boîtes à moustaches superposées aux teneurs de 2014 sur la figure 2.19.



**Figure 2.19 : Distributions des phosphates (en haut) et des silicates (en bas) par saison et par station depuis 1989. La barre centrale représente la médiane (—) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (□) ; les demi-barres, 80 % des valeurs (-). Les moustaches sont réglées sur le minimum et maximum obtenus entre 1989 et 2013 qui sont illustrés par des points (●).Le point rouge représente la valeur obtenue en 2014 (●)**

Les teneurs en phosphate en 2014 sont inférieures à 50% des valeurs observées exceptées au printemps. Lors de cette saison la valeur mesurée au point référence est proche de la médiane alors qu'au trois autres points elles sont supérieures à cette dernière. Un gradient décroissant côte-large est visible sur la distribution de l'année en cours et est surtout marqué entre les points *canal*, *rejet* et *contrôle*. Cela coïncide avec la distribution données interannuelles (médianes et maxima) de l'été et l'automne mais pas du printemps.

Les concentrations de silicate de 2014 sont toutes supérieures à la médiane interannuelle. Elles sont majoritairement inclus dans la boîte représentant 50% des valeurs observées, exceptées pour le point

rejet du printemps et le point *référence* de l'été. Ces derniers ont une teneur supérieure au percentile 0.75 mais sont inclus dans l'intervalle des 80% des valeurs.

Un gradient décroissant côte-large apparaît en été sur les maximas, les médianes et l'année en cours.

### 2.1.2.5.c Approche statistique

Les résultats des tests statistiques réalisés sur les teneurs en phosphate et silicate enregistrées aux différents points entre 1989 et 2014 sont présentés dans le tableau 2.8. L'intégration des résultats 2014 ne modifie pas les résultats de l'étude statistique portant sur la période 1989-2013.

Comparaison		Printemps		Été		Automne	
		type de test	probabilité associée	type de test	probabilité associée	type de test	probabilité associée
Phosphates	<i>Canal / Rejet</i>	W	0,039	T	<b>0,000</b>	W	<b>0,004</b>
	<i>Référence / Rejet</i>	T	0,678	W	<b>0,004</b>	T	0,078
	<i>Canal / Référence</i>	T	0,371	W	<b>0,002</b>	T	<b>0,010</b>
	<i>Contrôle / Canal</i>	W	<b>0,004</b>	T	<b>0,000</b>	W	<b>0,000</b>
	<i>Contrôle / Rejet</i>	T	<b>0,013</b>	W	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>
	<i>Contrôle / Référence</i>	T	0,065	W	0,321	T	<b>0,029</b>
Silicates	<i>Canal / Rejet</i>	W	<b>0,005</b>	T	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>
	<i>Référence / Rejet</i>	T	0,960	T	<b>0,000</b>	T	<b>0,012</b>
	<i>Canal / Référence</i>	W	0,458	T	<b>0,000</b>	W	<b>0,000</b>
	<i>Contrôle / Canal</i>	W	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>	W	<b>0,000</b>
	<i>Contrôle / Rejet</i>	W	<b>0,001</b>	T	<b>0,000</b>	W	<b>0,000</b>
	<i>Contrôle / Référence</i>	T	0,050	T	0,227	T	0,355

*Test T : student (loi normal) ; Test W : test Wicolson (pas de loi normal)*

*p-value <0,05 = différence significative ; p-value >0,05 = différence non significative*

**Tableau 2.8 : Probabilité associée *p* des tests statistiques réalisés sur les phosphate et silicate**

On observe des différences significatives de concentrations en phosphates entre les points *contrôle* et *canal* ainsi qu'entre les points *contrôle* et *rejet*, quelle que soit la saison. Ces résultats coïncident avec le gradient côte-large mis en évidence sur la figure 2.19 allant des points *canal* à *contrôle*.

Les différences significatives en concentration de silicate entre point sont surtout importantes en été et en automne. Seuls les points *contrôle* et *référence* ne sont pas significativement différents quelque soit la saison. Ces deux points sont les plus au large donc les moins influencés par les apports côtiers. Ces résultats coïncident avec le gradient côte large mis en évidence sur la figure 2.19.

Le CNPE peut représenter une source de phosphate pour l'environnement. Les circuits de refroidissement de l'îlot nucléaire sont alimentés en eau déminéralisée conditionnée au phosphate trisodique (Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). L'utilisation de ce réactif chimique s'élève en moyenne à 0,5 T/an (donnée EDF). Les purges des circuits peuvent alors occasionner des rejets de phosphate dans l'environnement. La différence significative n'est pas systématique (à chaque saison) entre le point *rejet* et les autres points, cela suggère que ces rejets sont très peu perceptibles.

Les différences significatives de concentration de silicate entre le point *rejet* les et les trois autres points est quasi systématique, seul le point *référence* du printemps ne se distingue pas du point *rejet*. La diffusion du silicate dans la masse d'eau dépend notamment du lessivage des sols par la pluie et le débit des cours d'eau, rechargeant en premier les points côtiers, *canal* et *rejet*. La pluviométrie (figure 1.10) a été la plus importante en mai et en août, rechargeant les points côtiers en juin et en septembre, ce qui peut expliquer les différences significatives en été et en automne.

### 2.1.2.6. Matière En Suspension

Après une année de mesure de la turbidité en 2012, le suivi de la concentration en MES a été repris depuis 2013 à la demande d'EDF conformément à la décision ASN 2008-DC-0089 concernant les prescriptions relatives aux modalités de prélèvement et de consommation d'eau et de rejets dans l'environnement des effluents liquides et gazeux pour l'exploitation des réacteurs du CNPE de Penly.

#### 2.1.2.6.a Variations spatiales et saisonnières des matières en suspension en 2014

En 2014, les MES (figure 2.20) ont varié au cours des campagnes de 14,86 à 56,38 mg/L au point canal, de 13,37 à 46,26 mg/L au point *rejet*, de 7,39 à 16,25 mg/L au point *contrôle* et de 8,58 à 11,64 mg/L au point *référence*.

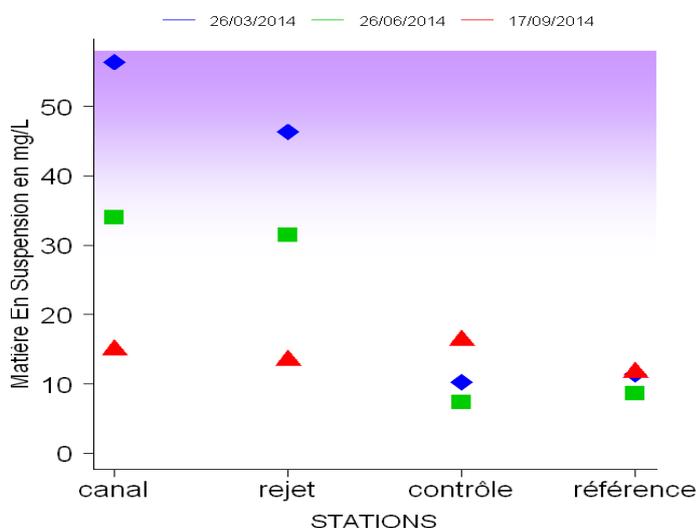
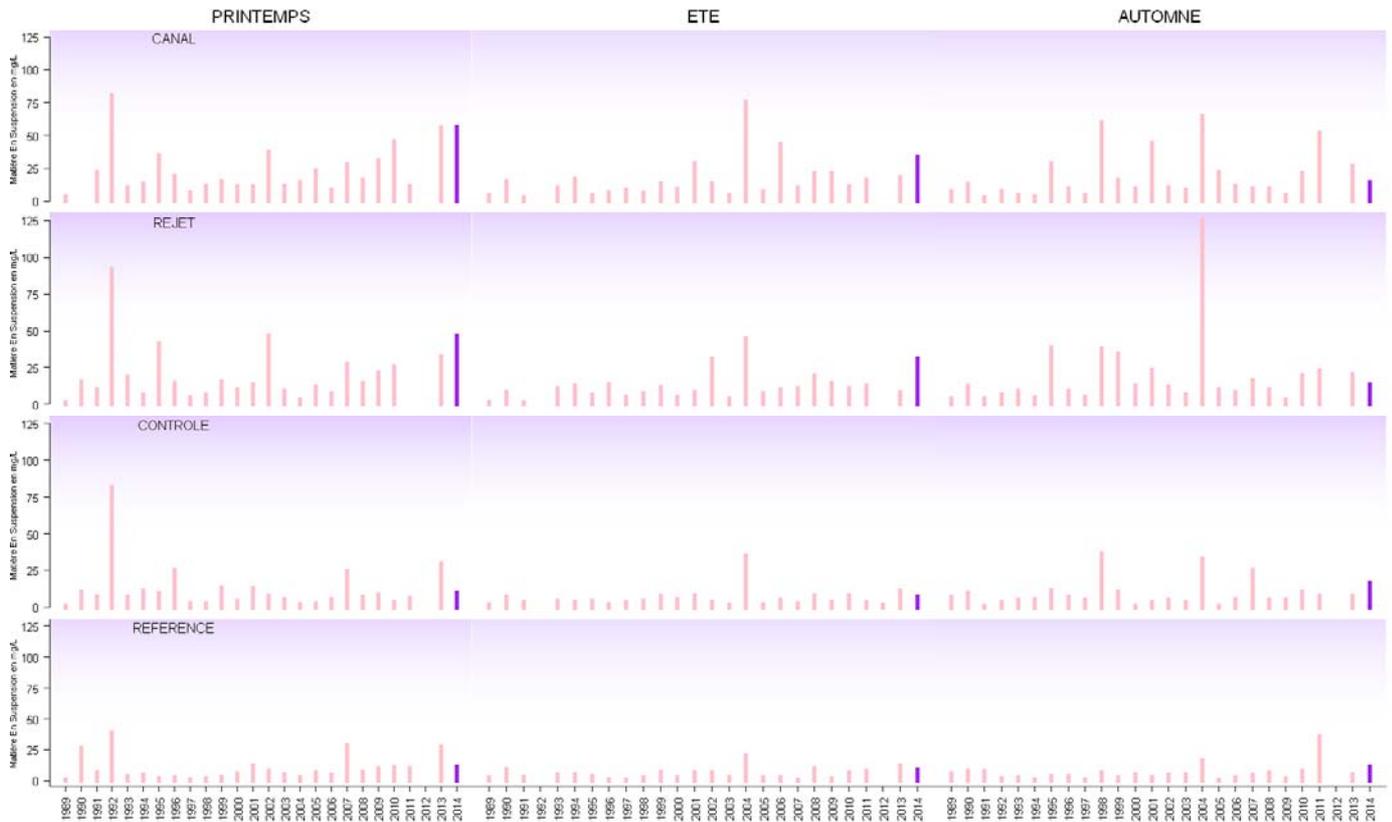


Figure 2.20 : Concentrations en Matières En Suspension dans les eaux de surface lors des campagnes 2014

Les concentrations des point *canal* et *rejet* évoluent de façon similaire c'est-à-dire en diminuant au cours de l'année et en étant dans les mêmes gammes de concentration. Les deux autres points, *contrôle* et *référence* ont des concentrations plus faibles, autour de 10 mg/L, toute l'année. De plus elles ne présentent pas de tendance au cours du temps.

### 2.1.2.6.b Variations inter-annuelles

Les variations de MES observées en 2014 sont présentées sur la figure 2.21.

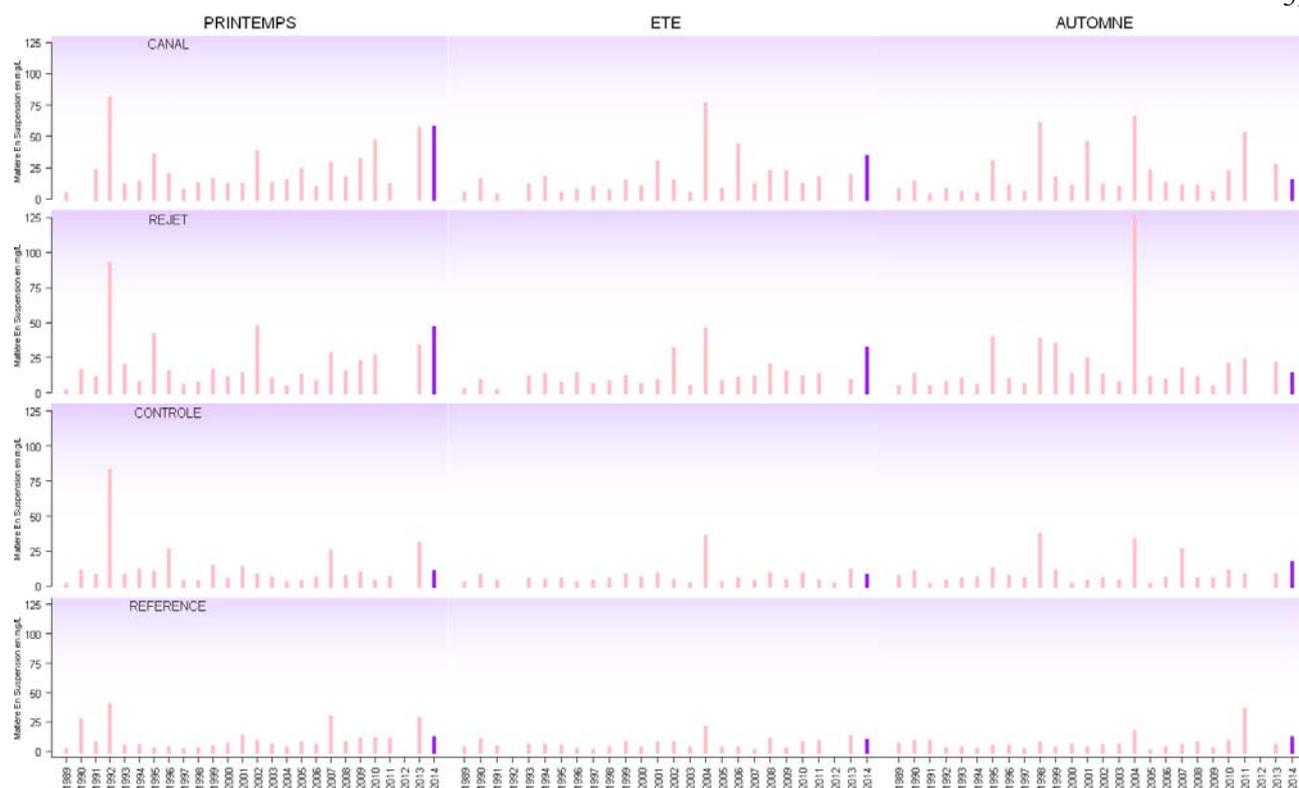


**Figure 2.21 : Concentrations de MES dans l'eau de surface lors des campagnes de 1989 à 2014**

Les concentrations de MES des points *canal* et *rejet* évoluent de manière similaire en 2014. Elles sont supérieures à celle de 2013 au printemps et en été et plus faible à l'automne. A l'inverse, les deux autres points, *contrôle* et *référence*, ont leur concentration de MES qui est moins forte au printemps et en été et plus forte à l'automne par rapport aux données de 2013.

Les valeurs de 2014 des points *canal* et *rejet* semblent être dans la gamme haute tandis que les points *contrôle* et *référence* semblent être proche de la médiane de l'ensemble des données acquises.

La distribution des MES est présentée sous forme de boîtes à moustaches sur la figure 2.22.



**Figure 2.22 : Distributions des Matières En Suspension par saison et par station depuis 1989. La barre centrale représente la médiane (—) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (□) ; les demi-barres, 80 % des valeurs (-). Les moustaches sont réglées sur le minimum et maximum obtenus entre 1989 et 2013 qui sont illustrés par des points (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2014 (●)**

Les deux regroupements *canal/rejet* et *contrôle/référence* sont aussi observés sur les boîtes à moustaches. Le premier groupe présente, en 2014, des données appartenant à 20% des valeurs hautes acquises depuis le début du suivi au printemps et à l'été et des valeurs proche de la médiane en automne. Le second groupe (*contrôle/référence*) présente des données au printemps et à l'été 2014 appartenant à 80% des valeurs acquises depuis le début du suivi, voir à 50% pour le point *contrôle* au printemps. En automne le point *contrôle* et *référence* ne se comporte pas de la même manière concernant les MES, la valeur du point *contrôle* appartient à 80% des données acquises tandis que celle du point *référence* appartient à 20% des valeurs hautes. Un gradient décroissant côte-large est confirmé au printemps et en été tandis que la quantité de MES à l'automne est plus homogène.

#### 2.1.2.6.c Approche statistique

Le tableau 2.9 présente les résultats des tests statistiques de comparaison des moyennes de concentrations en MES, pour chaque couple de points, entre 1989 et 2014. L'intégration des résultats 2014 ne modifie pas les résultats de l'étude statistique portant sur la période 1989-2013 excepté pour les points *canal* et *rejet* au printemps dont la concentration en MES est significativement différente en 2014.

Comparaison	Printemps		Été		Automne	
	type de test	probabilité associée	type de test	probabilité associée	type de test	probabilité associée
<i>Canal / Rejet</i>	T	<b>0,045</b>	W	<b>0,011</b>	W	0,527
<i>Référence / Rejet</i>	W	<b>0,000</b>	W	<b>0,000</b>	W	<b>0,000</b>
<i>Canal / Référence</i>	W	<b>0,000</b>	W	<b>0,000</b>	W	<b>0,000</b>
<i>Contrôle / Canal</i>	W	<b>0,000</b>	W	<b>0,000</b>	W	<b>0,000</b>
<i>Contrôle / Rejet</i>	W	<b>0,000</b>	W	<b>0,000</b>	W	<b>0,000</b>
<i>Contrôle / Référence</i>	W	0,415	W	0,367	W	<b>0,012</b>

*Test T : student (loi normal) ; Test W : test Wicolson (pas de loi normal)*

*p-value <0,05 = différence significative ; p-value >0,05 = différence non significative*

**Tableau 2.9 : Probabilité associée *p* des tests statistiques réalisés sur les phosphate et silicate**

Les différences significatives sont observées sur l'ensemble des couples de points en toute saison hormis *contrôle* et *référence* au printemps et en été. Ces deux points, plus large, étant soumis à une colonne d'eau plus grande et à de plus fréquentes agitations par rapport au point *canal* et *rejet*.

#### 2.1.2.7. Trihalométhanes

Pour éviter le *fouling* dans les canalisations de rejet, les CNPE utilisent le procédé d'électrochloration. Les composés dérivés pouvant être retrouvés dans les eaux des rejets sont essentiellement des trihalométhanes. Il s'agit de composés volatils, comme le chloroforme et le bromoforme, fréquemment identifiés dans les eaux chlorées. Leur structure chimique est homologue à celle du chloroforme (Abarnou et al., 1990). Le bromoforme est la forme chimique dominante. Son temps de demi-vie dans l'eau de mer est inférieur à une heure (Abarnou, 1981). Les teneurs des différents dérivés chlorés varient selon la quantité de matière organique et d'ammoniaque dissous. Les quatre formes organo-halogénées recherchées sont les suivantes :

- Tribromométhane = "bromoforme" (CHBr<sub>3</sub>),
- Dibromomonochloro-méthane (CHBr<sub>2</sub>Cl),
- Dichloromonobromo-méthane (CHBrCl<sub>2</sub>),
- Trichlorométhane = "chloroforme" (CHCl<sub>3</sub>).

Ces composés dérivés s'avèrent toxiques pour la faune et la flore marine. Des cultures de microalgues (*Skeletonema costatum*, *Thalassiosira pseudonana*, *Glinodinium halli* et *Isochrysis galbana*) ont été caractérisées par un taux d'inhibition de croissance de 50 % à des concentrations en chloroforme et bromoforme supérieures à 32 mg/L (Erickson et Freeman, 1978).

Au cours des dix dernières années, seules les valeurs en tribromométhane (bromoforme) ont été supérieures aux limites de quantification. Dans cette étude nous nous focaliserons donc sur ce composé.

En effet, sur l'ensemble des différents tribrométhanes suivis en 2014, seul le bromoforme a été détecté au dessus de la limite de quantification.

##### 2.1.2.7.a Variations spatiales et saisonnières des trihalométhanes en 2014

En 2014, l'ensemble des points ont été suivis pour évaluer la concentration en trihalométhanes durant les trois campagnes. Des traces de bromoforme ont été détectées au point *rejet* en été (1µg/L) et en automne (2.6µg/L), ainsi qu'au point *contrôle* en été (1µg/L). Les autres données acquises sont inférieures à la limite de quantification de la méthode d'analyse.

La figure 2.23 présente ces résultats.

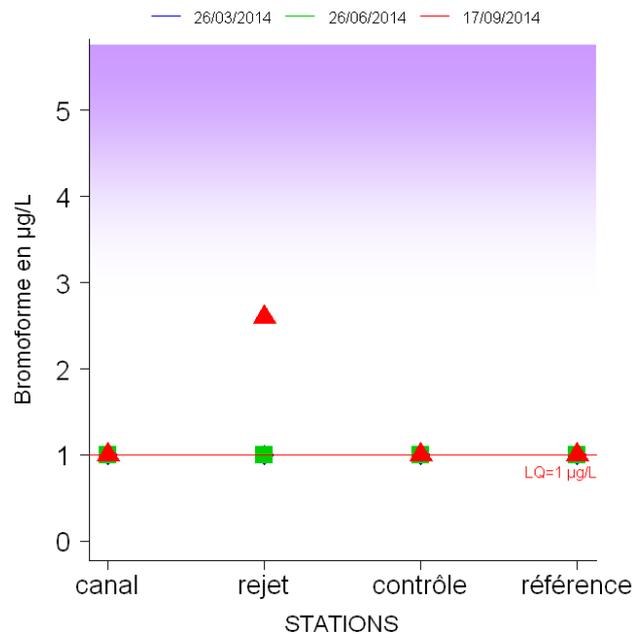


Figure 2.23 : Concentrations en bromoformes dans les eaux de surface en 2014

#### 2.1.2.7.b Variations inter-annuelles du trihalométhanes

Les variations de concentrations en bromoforme observées depuis 1989 sont présentées sur la figure 2.24. Des concentrations significatives en bromoformes sont détectées majoritairement sur le point *rejet* depuis le début du suivi.

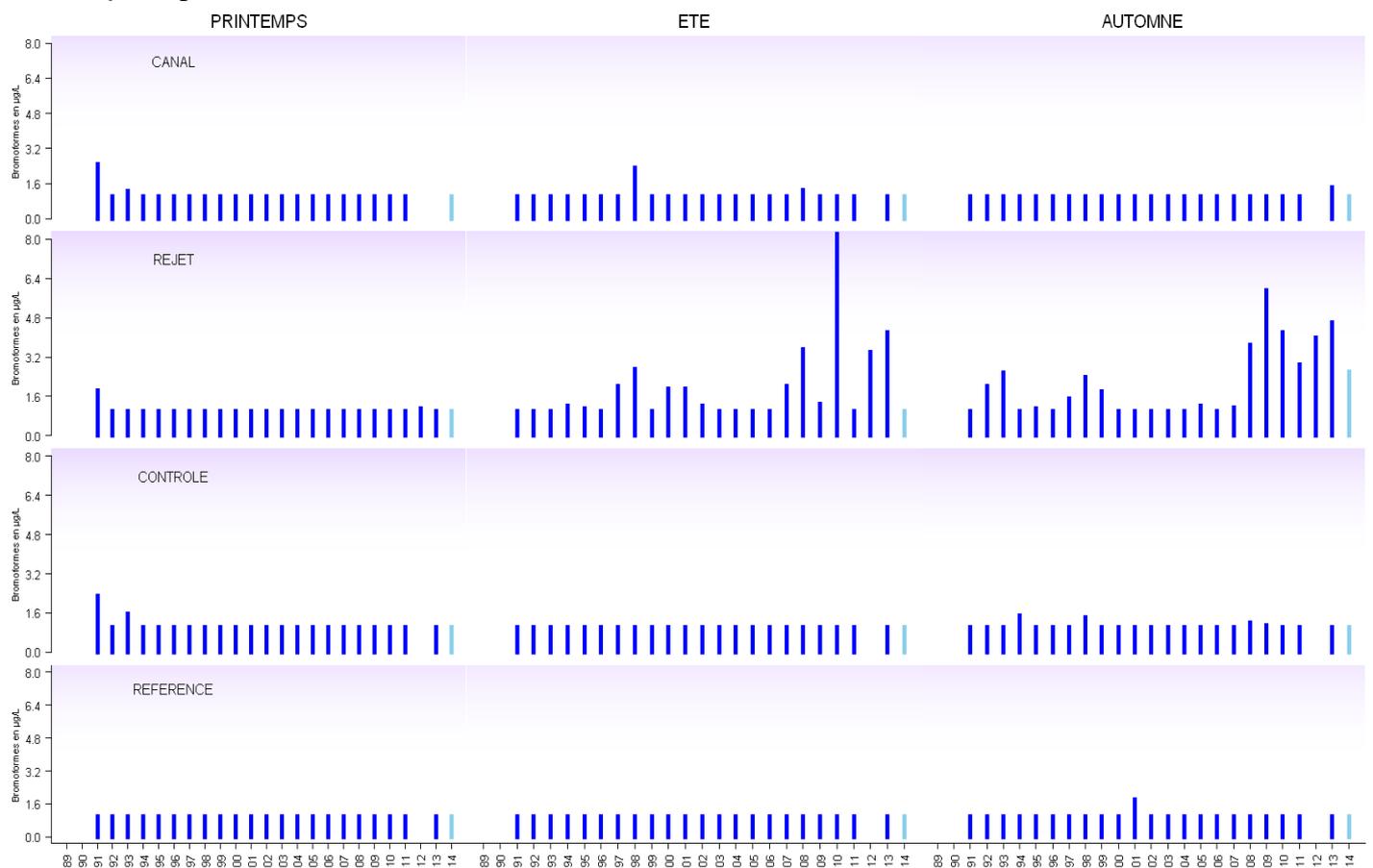
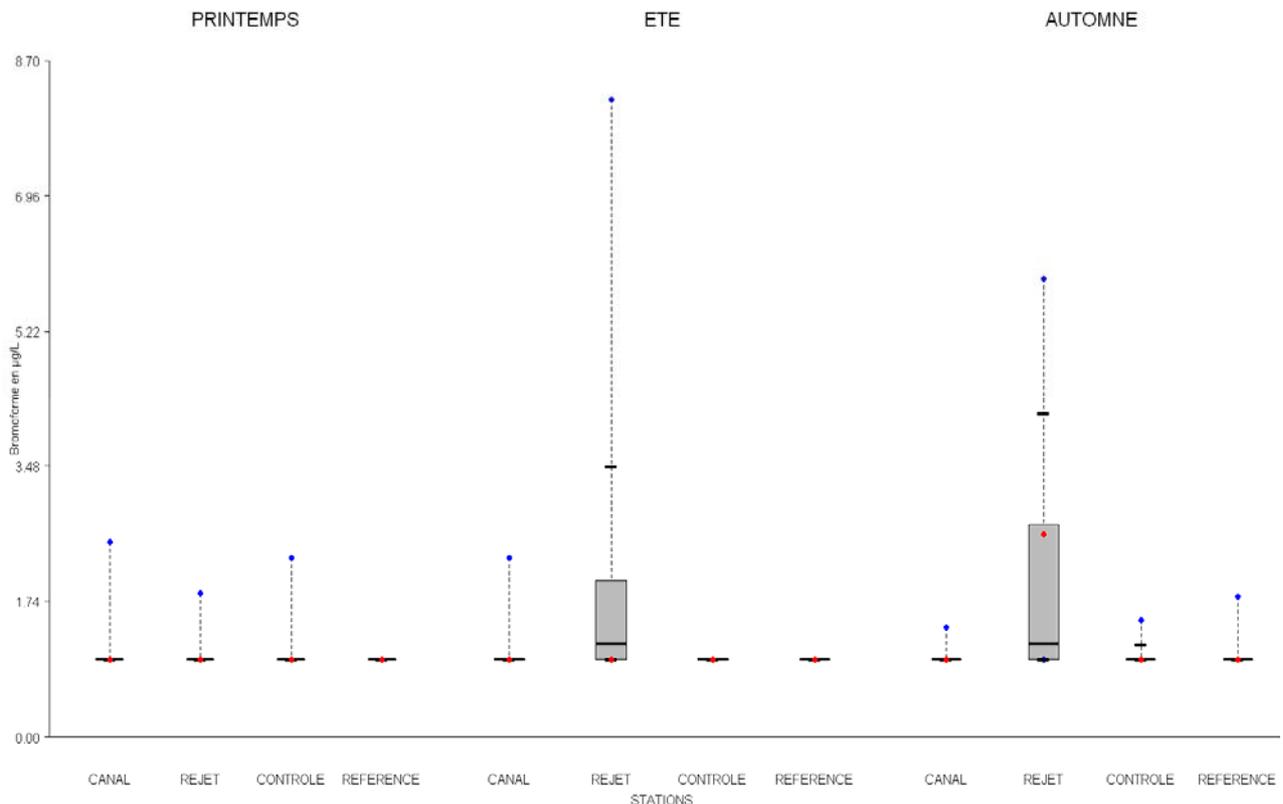


Figure 2.24 : Concentrations en tribromométhane (bromoforme) dans l'eau de surface lors des campagnes de 1989 à 2014 (LQ=1µg/L)

En 2014 des traces de bromoformes ont été détectées en été, au point *rejet* (1µg/L) et *contrôle* (1µg/L) et à l'automne au point *rejet*. La concentration mesurée sur ce point en septembre 2014 fait partie des valeurs hautes de l'ensemble des données acquises depuis le début du suivi.

La figure 2.25 présente la distribution des concentrations en bromoforme sous forme de *boîtes à moustaches* pour la période 1989-2014.



**Figure 2.25 : Distributions des bromoformes par saison et par station depuis 1989. La barre centrale représente la médiane (—) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (□) ; les demi-barres, 80 % des valeurs (-). Les moustaches sont réglées sur le minimum et maximum obtenus entre 1989 et 2013 qui sont illustrés par des points (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2014 (●)**

Seul le point *rejet* présente une variation remarquable de concentration en bromoforme depuis le début du suivi. Cela se confirme durant le suivi de l'automne 2014. La teneur mesurée est cependant incluse dans 50% des valeurs acquises depuis le début du suivi.

L'ensemble des valeurs mesurées reste largement inférieur au seuil de 10 µg/L, concentration considérée acceptable pour le milieu marin (Abarnou *et al.* 1990).

#### 2.1.2.8. Hydrazine et éthanolamine

Suite à la parution de la décision n° 2008-DC-0089 concernant les prescriptions relatives aux modalités de prélèvement et de consommation d'eau et de rejets dans l'environnement des effluents liquides et gazeux pour l'exploitation des réacteurs du CNPE de Penly, un suivi des concentrations en hydrazine et éthanolamine dans le milieu récepteur est réalisé depuis l'an passé. Ces paramètres sont suivis aux abords du CNPE depuis 2012.

En 2014, les concentrations obtenues sont inférieures à la LQ (0,1mg/L) que ce soit pour l'hydrazine ou pour l'éthanolamine. Le prélèvement d'hydrazine réalisé le 26 juin au point *référence* a été perdu lors du transport vers le laboratoire d'analyse.

### 2.1.3. Conclusion

Afin d'expliquer l'évolution annuelle 2014 des paramètres suivis sur le CNPE de Penly il est nécessaire de rappeler les tendances générales climatiques à Dieppe en 2014.

L'année 2014 peut être qualifiée de chaude en raison du fort écart thermique annuel positif constaté. L'ensemble de l'année est caractérisé par une douceur constante, les températures de l'air étant au dessus de la moyenne interannuelle mais sans dépasser les maxima. En comparant avec la période 1960-2013, l'année 2014 se distingue par un faible excédent de précipitation dû à la conjonction de plusieurs événements climatiques distincts que sont les excédents de précipitations de mai et août associé à un déficit en automne. Enfin le débit de la Béthune est nettement supérieur à la moyenne des données récoltées depuis 1941 durant le premier semestre 2014 (cf 1.6 Climatologie).

Les **températures** de l'eau de mer relevées lors des trois campagnes 2014 sont des valeurs supérieures aux médianes pluriannuelles. Cet excédent est plus marqué en été et en automne, la température augmentant de 8°C entre le printemps et l'été. La température au point *rejet* dépasse le maximum interannuel à chaque saison. Les écarts thermiques entre le point *rejet* et les points *canal* et *référence* sont aussi élevés mais ne dépassent pas les maxima. L'étude statistique sur les mesures 2014 révèle, toutes saisons confondues, une différence systématique entre chaque couple de stations, excepté pour *contrôle / canal* au printemps et à l'automne et pour *canal/référence* à l'automne. Malgré les températures chaudes de 2014, le taux de dilution se maintient autour de 70% durant les trois campagnes.

Les **salinités** observées en été et en automne 2014 ont été plus ou moins proches des médianes pluriannuelles sur l'ensemble des points de surveillance. Les mesures effectuées le 26 juin révèlent des salinités faibles sur les points *rejet* et *contrôle* par rapport aux données interannuelles. Les campagnes 2014 ont été caractérisées par la présence du gradient de salinité côte/large, croissant au printemps et en automne et exceptionnellement décroissant en été. Les tests statistiques révèlent des différences significatives de salinité sur l'ensemble de couple de stations exception faite pour *contrôle/référence* au printemps et à l'automne.

Le suivi 2014 des **sels nutritifs** révèle qu'au printemps les concentrations en silicates, phosphates nitrates plus élevées qu'en 2013. Ces trois paramètres sont directement liés aux apports côtiers tandis que l'ammonium et les nitrites sont aussi dépendants du cycle de l'azote se déroulant dans la colonne d'eau. Les concentrations de ces deux paramètres sont plus élevées en automne. La comparaison avec l'ensemble des données du suivi montre que les valeurs de 2014 sont globalement proches des médianes (centrées dans la boîte représentant les 80% des données) à quelques exceptions citées ci-après. Les concentrations d'ammonium au printemps et en été sont proche du minimum (limite ou hors de la boîtes représentant 80% des données) des valeurs recensées depuis le début du suivi et celles de silicate au printemps sont supérieures à la médiane. Les teneurs de phosphate de 2014 sont réparties différemment selon si les points soient côtiers ou du large au printemps ; *contrôle* et *référence* sont proches de la médiane et les concentrations des points *canal* et *rejet* sont supérieures à la médiane. Les tests statistiques confirment cette observation puisque il y a des différences significatives entre le point *contrôle* et le point *canal* et *rejet* au printemps. En été et en automne les concentrations de phosphate sont proches des valeurs faibles recensées depuis le début du suivi.

Les résultats statistiques, tous sels nutritifs confondus révèlent fréquemment l'absence de différence significative au printemps. Cela signifie qu'il y a une homogénéité spatiale des points suivis au printemps et non en été et en automne, saisons où leur concentration est majoritairement plus faible. En 2014, la mesure des **Matières En Suspension** montre des variations spatiales importantes avec en particulier un gradient décroissant côte-large très marqué au printemps et en été. En automne, les concentrations des quatre stations sont similaires. Sur le plan temporel, les concentrations en MES sont équivalentes quelque soit la saison pour les points au large tandis que les concentrations des points *canal* et *rejet* évoluent différemment. Les valeurs les plus élevées sont sur les points *canal* et *rejet* au printemps et en été et sont proches des maxima interannuels. Les concentrations en

**trihalométhanes** ont été suivies durant les trois campagnes aux différents points de surveillance. Une attention particulière dans ce rapport a été portée sur les bromoformes, seuls composés à avoir présenté des traces dans le milieu jusqu'à maintenant. En 2014 deux mesures ont été quantifiées mais restent inférieures à la valeur de référence de 10µg/L, concentration généralement considérée comme acceptable dans l'eau de mer.

Les concentrations en **hydrazine et éthalonamine** ont été suivies durant les trois campagnes aux différents points de surveillance. Les concentrations sont inférieures au seuil de quantification de la méthode sur toutes les stations et en toutes saisons.

En conclusion, les données relatives au compartiment hydrologique acquises en 2014 dans le cadre du programme de surveillance écologique du CNPE de Penly mettent en évidence un échauffement de l'eau aux abords des bouches de rejets. Cette perturbation thermique reste cependant géographiquement très limitée. L'ensemble des autres paramètres suivis présente des valeurs et des variations saisonnières classiques pour cette zone de la Manche. Ainsi les rejets du CNPE n'affectent pas de façon générale la distribution et les variations saisonnières des paramètres étudiés autres que la température. Les caractéristiques hydrologiques intrinsèques du milieu n'apparaissent donc pas modifiées de manière sensible et significative.

## 2. Le domaine pélagique

### Chapitre Phytoplancton

<i>Rapport</i>	Sylvaine FRANCOISE (LERN)
<i>Dénombrements</i>	Sylvaine FRANCOISE (LERN)
<i>Mesures PAM</i>	Sylvaine Françoise (LERN) Emilie Rabiller (LERN) Mathilde SCHAPIRA (LERN) Laure LAMORT (LERN)
<i>Traitement des images satellite</i>	Francis Gohin (Ifremer/Dyneco).
<i>Prélèvements et Analyses</i>	Sylvaine Françoise (LERN), Frank Maheux (LERN), Olivier Pierre-Duplessix (LERN), Benjamin Simon (LERN), Emilie Rabiller (LERN) Mathilde SCHAPIRA (LERN)
<i>Analyses statistiques</i>	Antoine BAEHR (LERN) Mathilde SCHAPIRA (LERN)



## 2.2. Phytoplancton

L'étude des paramètres photosynthétiques des peuplements phytoplanctoniques, complétée par la mesure de la biomasse et par l'identification et le dénombrement des cellules, permet de suivre l'évolution des peuplements et d'évaluer l'influence des facteurs abiotiques sur les communautés.

Les paramètres photosynthétiques d'une communauté phytoplanctonique dépendent de la quantité et de la qualité des pigments contenus dans les chloroplastes, de la quantité d'énergie lumineuse reçue, de la température et de la concentration en sels nutritifs du milieu. La biomasse du phytoplancton est souvent exprimée en concentration de chlorophylle *a* présente dans l'ensemble des organismes autotrophes. La production primaire met en évidence la vitesse de reproduction des peuplements phytoplanctoniques tandis que le paramètre *abondance cellulaire* permet de caractériser une population phytoplanctonique par le dénombrement et l'identification de ses cellules.

A l'aide des paramètres précités, ce chapitre traite des résultats quantitatifs et qualitatifs obtenus sur les peuplements phytoplanctoniques lors des trois campagnes de surveillance réalisées en 2014.

### 2.2.1. Matériel et méthode

Les prélèvements d'eau en vue de l'étude du phytoplancton ont été réalisés aux mêmes points et niveaux que pour les paramètres physico-chimiques et avec le même matériel (voir chapitre 2.1.1). Les prélèvements sont effectués avec des bouteilles Niskin, en surface pour l'ensemble des points *canal*, *rejet*, *contrôle* et *référence*. A chaque point de prélèvement, trois réplicats sont prélevés pour les analyses de la production primaire.

#### 2.2.1.1. Mesure de la chlorophylle

La quantité de chlorophylle *a* est mesurée par la méthode spectrophotométrique mono-chromatique de Lorenzen (1967). Un échantillon d'un litre environ est filtré aussitôt après le prélèvement sur un filtre en fibre de verre type GF/F Whatman.

Les filtres sont ensuite congelés à l'obscurité jusqu'au dosage. L'extraction se fait par addition de 10 mL d'acétone à 90 % (90/10, acétone/eau) pendant 18 heures à l'obscurité. Après centrifugation à 3 000 tours pendant 15 minutes, le surnageant est placé dans une cuve de trajet optique de 5 cm. L'absorption est alors mesurée à différentes longueurs d'onde sans acidification dans un premier temps, puis après acidification (Aminot et Kérouel, 2004).

#### 2.2.1.2. Mesure de la production primaire

Un fluorimètre modulé (Pulse amplitude Modulated –PAM- Walz) permet de mesurer des variations de fluorescence au niveau du photosystème II des cellules phytoplanctoniques et ainsi de déterminer la production potentielle maximale d'un peuplement *in vivo* (Falkowski et Raven, 2007 ; Sakshaug et al., 1997). Cette méthode permet également d'estimer l'état physiologique de ce peuplement. Le transfert d'énergie au niveau de l'appareil photosynthétique (photosystème II) des cellules phytoplanctoniques pourra être modifié lorsque les cellules sont stressées par des facteurs environnementaux tels que la limitation en nutriments ou une très forte lumière.

Principe de la méthode : quand un photon est absorbé par une molécule de chlorophylle, un électron passe d'un stade stationnaire à un stade excité. Le retour au stade stationnaire est accompagné d'une dissipation de l'énergie sous forme de fluorescence (3-5 % *in vivo*). L'émission de fluorescence est une des trois voies possibles de dissipation de cette énergie, car l'essentiel est utilisé dans les

processus photochimiques qui mènent à la production de la matière organique par la cellule. Une plus faible quantité passe dans des processus de dissipation de chaleur.

En modulant l'intensité lumineuse sur les cellules, il est alors possible de mesurer la fluorescence émise, qui elle, est proportionnelle à la part d'énergie utilisée pour la photosynthèse, et donc également à la production primaire. L'instrumentation utilisée (Water-Pam, Walz) permet de réaliser sur un petit échantillon d'eau de mer, des nombreuses mesures de fluorescence avec une gamme étendue d'éclairages calibrés en quelques minutes.

Pour chaque point de suivi, sont ainsi obtenues expérimentalement des courbes construites avec les rapports de fluorescence en fonction de l'intensité lumineuse. Ce nuage de points est ensuite ajusté mathématiquement par un modèle (modèle de Webb), afin de déterminer les paramètres photosynthétiques caractéristiques :

- rETR représente le taux de transport des électrons (Electron transport rate – ETR) au niveau du photosystème PSII.
- $rETR_{max}$  correspond à la capacité maximale de production de l'échantillon
- $Y_{max} = (F_m - F_o)/F_m$  ou l'efficacité quantique maximale du PSII, est défini comme la différence des fluorescences maximale et minimale sur la fluorescence maximale après dix minutes de repos de l'échantillon à l'obscurité. Ce paramètre donne une indication de l'état physiologique du peuplement.

#### 2.2.1.3. Étude systémique du phytoplancton

Un volume de 100 mL d'échantillon est fixé par du Lugol acide à bord du bateau immédiatement après le prélèvement. Au laboratoire, 10 mL d'échantillon sont mis à décanter dans des cuves pendant huit heures selon la technique d'Utermöhl (Utermöhl, 1958). La détermination et le comptage des espèces s'effectuent avec un microscope inversé Olympus à contraste de phase. Un minimum de 100 cellules est dénombré afin d'obtenir une précision d'au moins  $\pm 20\%$  (Lund, 1958). Les résultats sont exprimés en nombre de cellules par litre.

#### 2.2.1.4. Télédétection satellitaire

Les images climatologiques de la chlorophylle ont été obtenues avec l'algorithme développé à l'Ifremer par Francis Gohin (Gohin et al, 2002) sur la série d'images obtenues par les capteurs SeaWiFS et MODIS entre 1998 et 2007. Les images quotidiennes de la série 2014 sont celles du capteur MODIS. Toutes ces séries ont été traitées avec le même algorithme et mises à disposition par le projet MarCoast.

#### 2.2.1.5. Analyses statistiques

Un traitement statistique a été réalisé pour les concentrations en chlorophylle *a*, les abondance totales pour les périodes 1987-2014 et pour les paramètres photosynthétiques (i.e. rETR et  $Y_{max}$ ) entre 2007 et 2014. Il permet de comparer les données enregistrées aux points *Référence*, *Rejet* et *Canal* et ainsi de mettre en évidence d'éventuelles différences significatives entre chacun de ces points à long terme. Pour cela, des tests de comparaisons de moyennes pour données appariées ont été utilisés. Pour chaque paramètre, le choix du test statistique le plus approprié est conditionné par l'étude de la distribution de la différence entre les valeurs prises au point A et celles prises au point B. L'étude de cette distribution est réalisée à l'aide du test de Shapiro-Wilks. Lorsque la distribution est normale, c'est le test T de Student pour données appariées qui est utilisé. Dans le cas contraire (distribution non normale), la comparaison des données est réalisée à l'aide du test de Wilcoxon pour données appariées.

Ces tests permettent de déterminer une valeur de probabilité associée p-value. Si la p-value est inférieure à 0,05, il existe une différence significative entre les deux séries de données. A l'inverse, si la p-value est supérieure à 0,05 nous ne pouvons pas conclure à une différence significative au seuil de 95 %.

## 2.2.2. Résultats

Les résultats obtenus en 2014 sont donnés par le tableau 2.10 ci-dessous.

2014		CANAL	REJET	CONTRÔLE	REFERENCE
26-mars	<i>Chlorophylle a (µg/L)</i>	6,62	5,62	2,82	1,02
	<i>Phéopigments (µg/L)</i>	2,17	1,61	0,19	0,12
	<i>rETR (unités relatives)</i>	173	190	161	140
	<i>Ymax (unités relatives)</i>	0,67	0,69	0,62	0,59
	<i>Microphytoplancton (cell/L-1)</i>	165700	199600	100460	157100
26-juin	<i>Chlorophylle a (µg/L)</i>	5,06	3,53	3,41	1,87
	<i>Phéopigments (µg/L)</i>	1,64	0,44	0,33	1,16
	<i>rETR (unités relatives)</i>	163	126	100	136
	<i>Ymax (unités relatives)</i>	0,52	0,51	0,42	0,45
	<i>Microphytoplancton (cell/L-1)</i>	322000	285400	158400	53400
17-sept.	<i>Chlorophylle a (µg/L)</i>	1,5	1,9	2,13	1,69
	<i>Phéopigments (µg/L)</i>	0,6	0,47	0,26	0,42
	<i>rETR (unités relatives)</i>	136	100	135	145
	<i>Ymax (unités relatives)</i>	0,59	0,58	0,49	0,51
	<i>Microphytoplancton (cell/L-1)</i>	21700	35600	50300	12300

**Tableau 2.10 : Valeurs des paramètres phytoplanctoniques aux quatre points de surveillance de la centrale de Penly en 2014**

### 2.2.2.1. Biomasse chlorophyllienne

#### 2.2.2.1.a Variations spatiales et saisonnières en 2014

Évolution de la chlorophylle lors des trois campagnes de surveillance

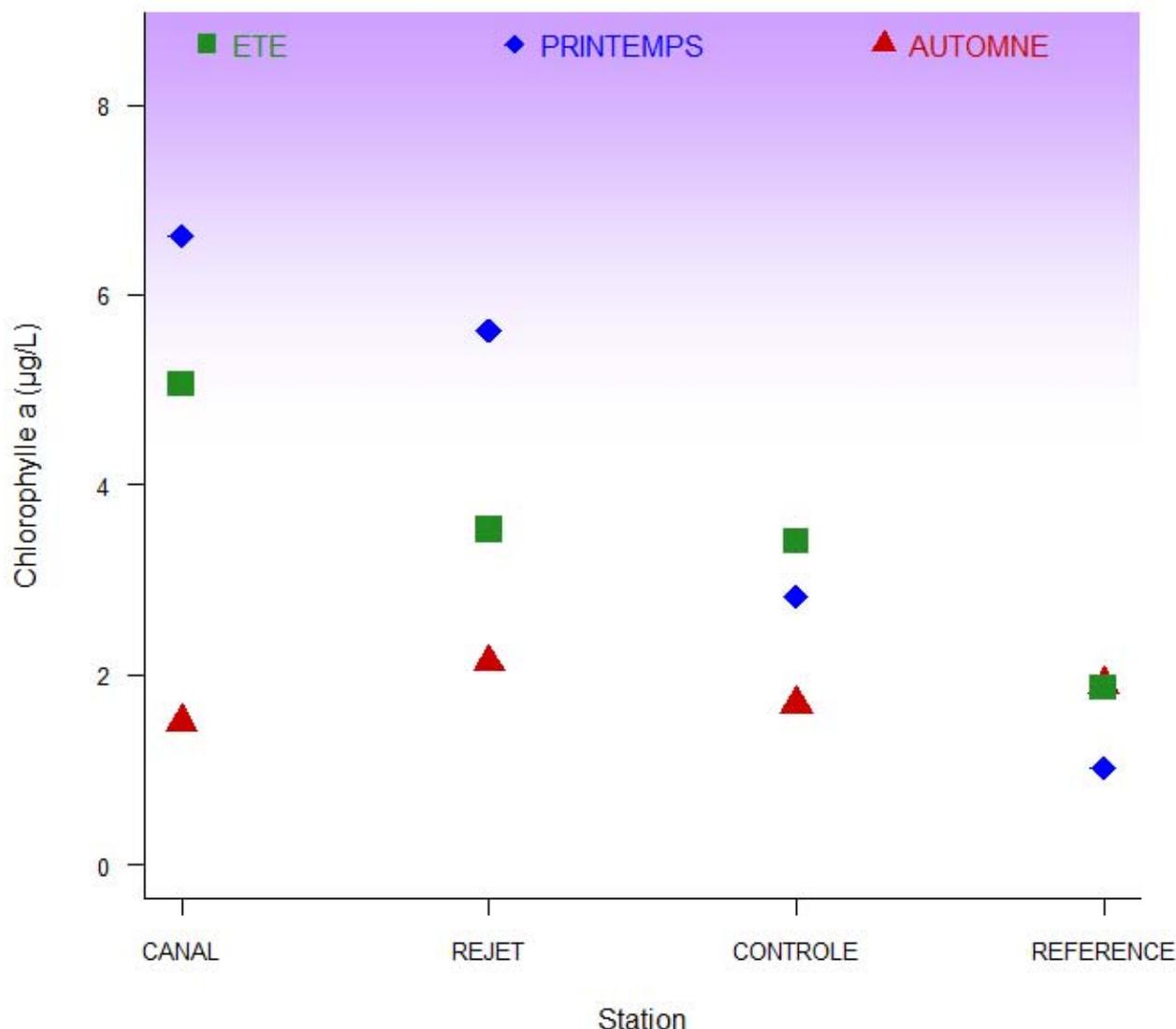


Figure 2.25 : Évolution de la chlorophylle lors des trois campagnes de surveillance 2014

La concentration en chlorophylle varie en fonction de la période d'échantillonnage.

Au cours de l'année 2014, les valeurs de chlorophylle *a* s'échelonnent entre 1.02 µg/L au point *référence* en mars, et 6.62 µg/L au point *canal* à la même saison (figure 2.25). On observe à cette saison, un très net gradient décroissant côte-large. Ce gradient apparaît également en été avec des valeurs de chlorophylle allant de 5.06 µg/L sur le point *canal*, à 1.87 µg/L sur le point *référence*.

En automne, la variabilité spatiale est limitée au cours de l'année 2014, les valeurs de chlorophylle allant de 1.5 à 2.13 µg/L.

2.2.2.1.b Variations inter-annuelles

Les valeurs de chlorophylle *a* obtenues au printemps 2014 sont toutes inférieures ou égales à celles de 2013 (figure 2.26). Les valeurs obtenues en juin et septembre sont quant à elles, supérieures à celles observées aux mêmes saisons en 2013 - excepté sur le point *référence* en été – tout en restant dans la gamme de valeurs généralement observées sur cette zone à cette période.

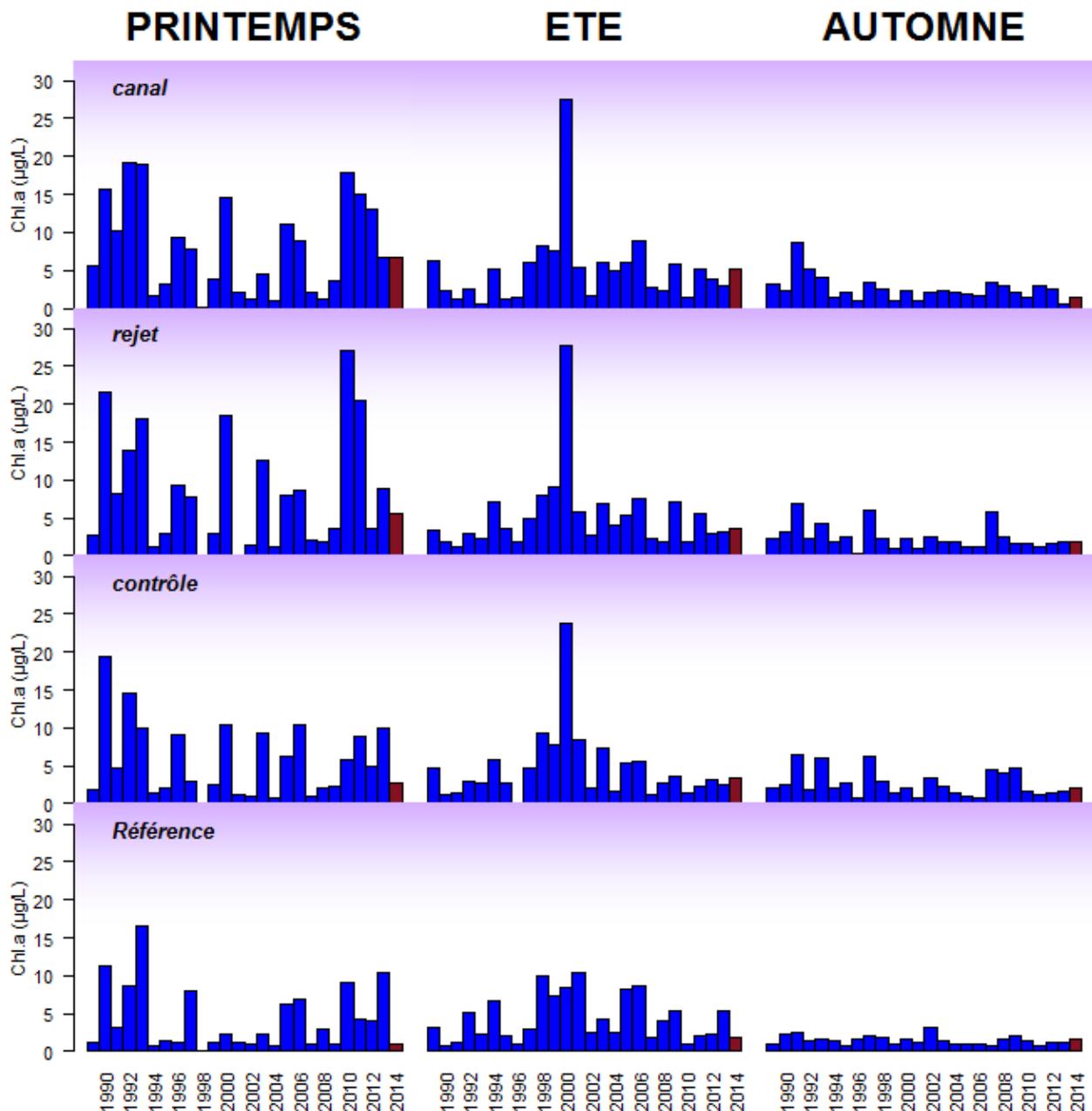


Figure 2.26 : Évolution de la chlorophylle de 1989 à 2014

La forte variabilité des valeurs printanières s'explique par (1) la dispersion des dates de campagnes avant 2000, et (2) le caractère aléatoire du déclenchement des efflorescences printanières. Le printemps présente les plus fortes dispersions des valeurs (boîtes contenant 50 % des valeurs) par rapport aux deux autres saisons (figure 2.27) et tout particulièrement par rapport à la campagne de septembre. En été, des valeurs extrêmes sont observées, mais les "boîtes à moustaches" restent homogènes entre elles avec peu de variabilité sur les quatre points. L'automne présente les plus faibles dispersions, les boîtes de taille réduite mettent en évidence une plus forte stabilité des concentrations de chlorophylle à cette saison.

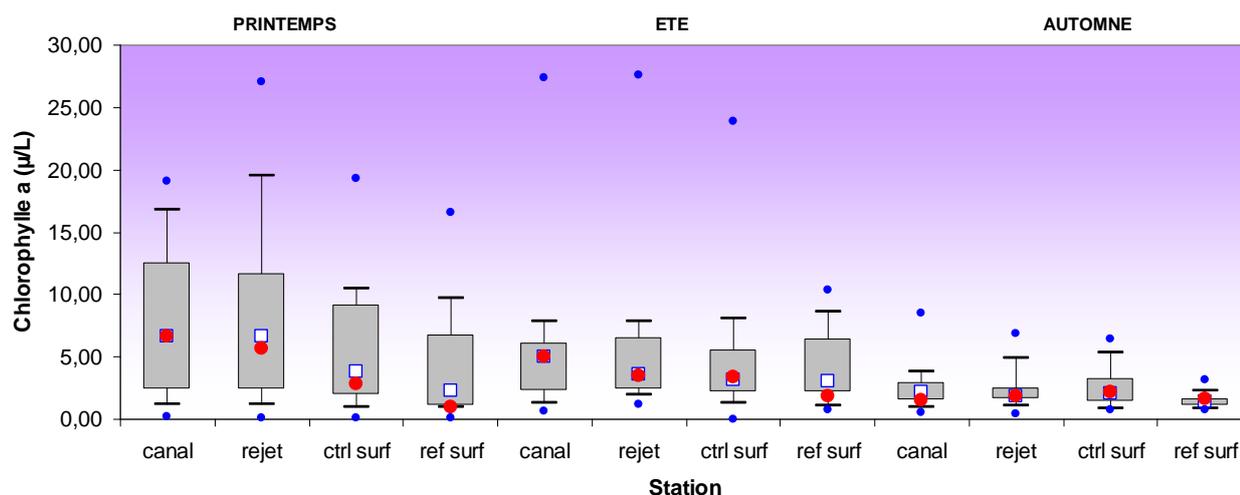


Figure 2.27 : Évolution de la chlorophylle de 1989 à 2014. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▭) ; les moustaches, 80 % des valeurs (└┘). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2014 (●)

Les valeurs enregistrées en 2014 sont proches des médianes pluriannuelles. La chlorophylle *a* mesurée sur le point *référence* au printemps et en été est cependant plus faible que les moyennes calculées sur les années précédentes tout en restant dans, ou à la limite de la boîte englobant les 50% des valeurs.

On observe encore un gradient côte-large bien marqué au printemps et en été. Les plus fortes valeurs mesurées de chlorophylle *a* se situent au point *canal* au printemps et en été tandis que la valeur maximale est sur le point *contrôle* en automne.

#### 2.2.2.1.c Approche statistique

Les tests statistiques présentés dans le tableau 2.11 montrent qu'au printemps, il existe des différences significatives entre le point *contrôle* et les points *canal*, *référence* et *canal*, ainsi qu'entre le point *référence* et les points *rejet* et *canal*. En été, une différence significative est relevée entre les points *contrôle* et *rejet*. En automne les différences significatives se trouvent entre le point *référence* et les points *contrôle*, *canal* et *rejet*.

Comparaison	Printemps	Été	Automne
<i>Canal/rejet</i>	0,7454	0,6412	0,6237
<i>Canal/Contrôle</i>	<b>0,0072</b>	0,1322	0,7288
<i>Référence/rejet</i>	<b>0,0001</b>	0,3032	<b>0,0007</b>
<i>Canal/référence</i>	<b>0,0001</b>	0,4678	<b>0,0019</b>
<i>Contrôle/Référence</i>	<b>0,0334</b>	0,4317	<b>0,0001</b>
<i>Contrôle/Rejet</i>	<b>0,0051</b>	<b>0,0442</b>	0,6710

*p-value* <0,05 = différence significative ; *p-value* >0,05 = différence non significative

Tableau 2.11 : Probabilité associée *p* des tests statistiques sur la chlorophylle

#### 2.2.2.1.d Approche par imagerie satellite

Les valeurs de chlorophylle *a* obtenue par les cameras SeaWiFS et MODIS permettent de suivre l'évolution mensuelle des développements phytoplanctoniques en Manche. Ces images affichent, pour chaque pixel, la moyenne des valeurs obtenues entre 1998 et 2007 (figure 2.28). Les observations de 2014 (figure 2.29) peuvent ainsi être replacées dans ces données de climatologie mensuelle de la chlorophylle *a* en Manche (données 1998-2007).

Les mois de janvier et de février présentent les plus faibles concentrations en chlorophylle. Seul un faible développement est visible en baie de Somme au mois de février. Le mois de mars présente un début d'activité en baie de Seine et un renforcement en baie de Somme. Celui-ci s'étale de part et d'autre de la frontière belge. La côte ouest du Cotentin présente une faible augmentation de la chlorophylle entre Granville, les îles anglo-normandes et Barneville. Au mois d'avril, l'augmentation des concentrations se poursuit ainsi que leur développement sur le plan spatial. En baie de Seine, les plus fortes concentrations se situent en baie des Veys et à l'embouchure de la Seine, tandis que le développement en baie de Somme descend jusqu'à Dieppe. La zone comprise entre Antifer et Saint Valéry en Caux reste la moins affectée par ces développements. La région ouest du Cotentin est caractérisée par une hausse des concentrations en chlorophylle. En mai, toutes les zones côtières sont caractérisées par les plus fortes concentrations annuelles. Des concentrations supérieures à 2 µg/L sont observées au large des baies de Seine et de la Somme. De Granville à la pointe de Jobourg les valeurs de chlorophylle commencent déjà à diminuer lentement. Au mois de juin, les concentrations en chlorophylle diminuent sur les côtes anglaises, mais restent sensiblement similaires à celles de mai en France. Un développement phytoplanctonique de forte étendue est par ailleurs observé entre la pointe de la Bretagne et la Cornouaille anglaise.

De Dunkerque à Cherbourg, la situation observée en juillet est similaire à celle de juin. Les forts développements en Mer du Nord disparaissent et les concentrations sur la côte ouest du Cotentin diminuent. L'image de juillet est semblable à celle du mois d'avril, où les plus fortes concentrations sont localisées dans les baies de Seine et de Somme, avec une zone de transition située entre Antifer et Saint Valéry en Caux.

Le début d'efflorescence, présent en juin au milieu de la Manche occidentale, est maintenant mieux développé. C'est dans cette région que chaque année, suite à la stratification de la colonne d'eau, de fortes efflorescences de dinoflagellés apparaissent. Les plus fortes concentrations en chlorophylle du mois d'août se situent à l'embouchure de la Seine et de la Somme ; une diminution sensible est perceptible dans la partie occidentale de la baie de Seine. Cette diminution se poursuit en septembre, avec des eaux de plus en plus pauvres en chlorophylle. Une faible activité phytoplanctonique subsiste cependant sur la côte ouest du Cotentin. D'octobre à décembre les eaux deviennent de plus en plus bleues. La côte orientale de l'Angleterre et le fond des grandes baies, comme celle de la Tamise, sont toutefois encore caractérisées par des concentrations supérieures à 2 µg/L.

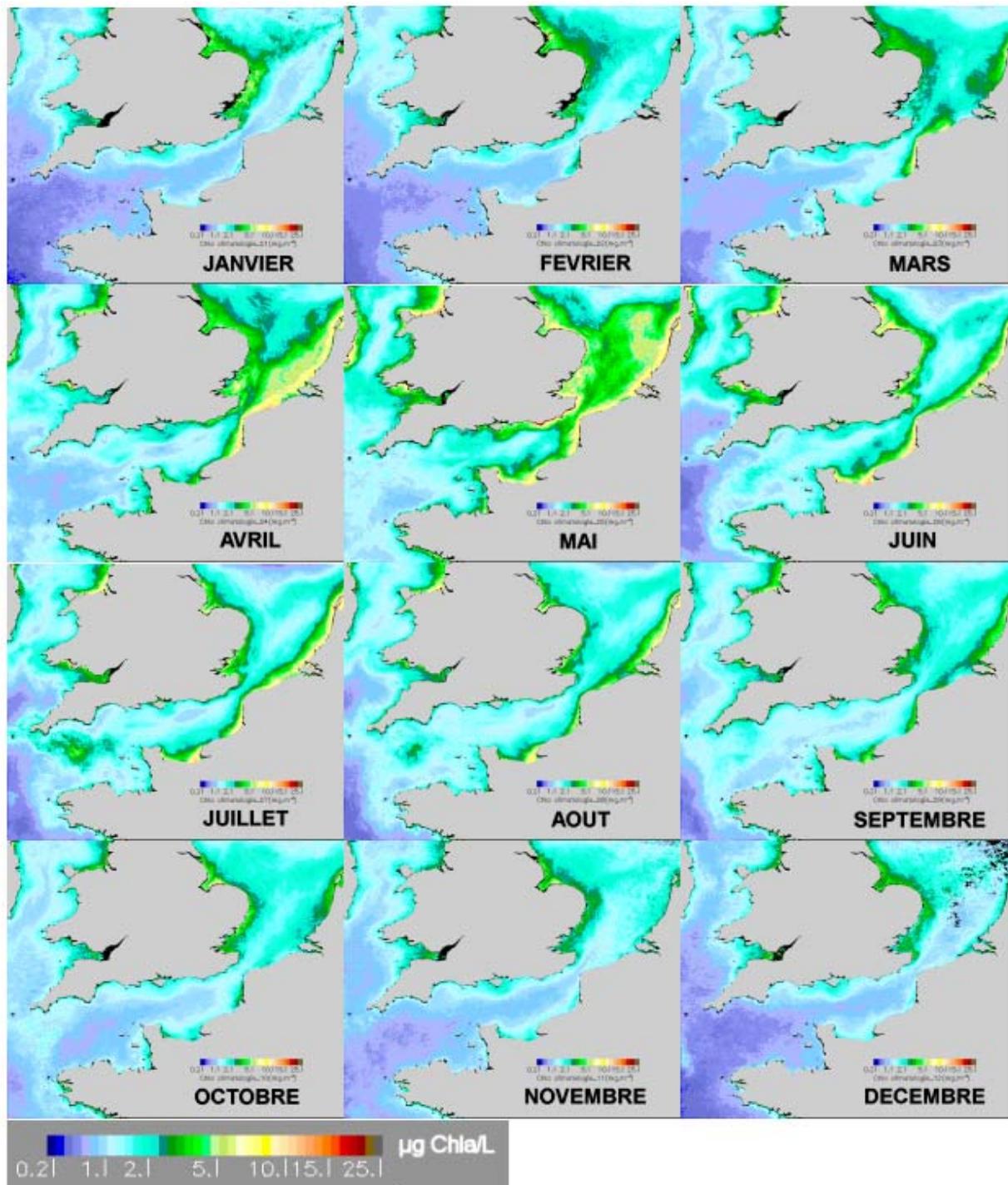


Figure 2.28 : Distribution mensuelle de la chlorophylle *a* en Manche obtenue après traitement des images des cameras SeaWiFS et MODIS entre 1998 et 2007 avec l'algorithme Ifremer

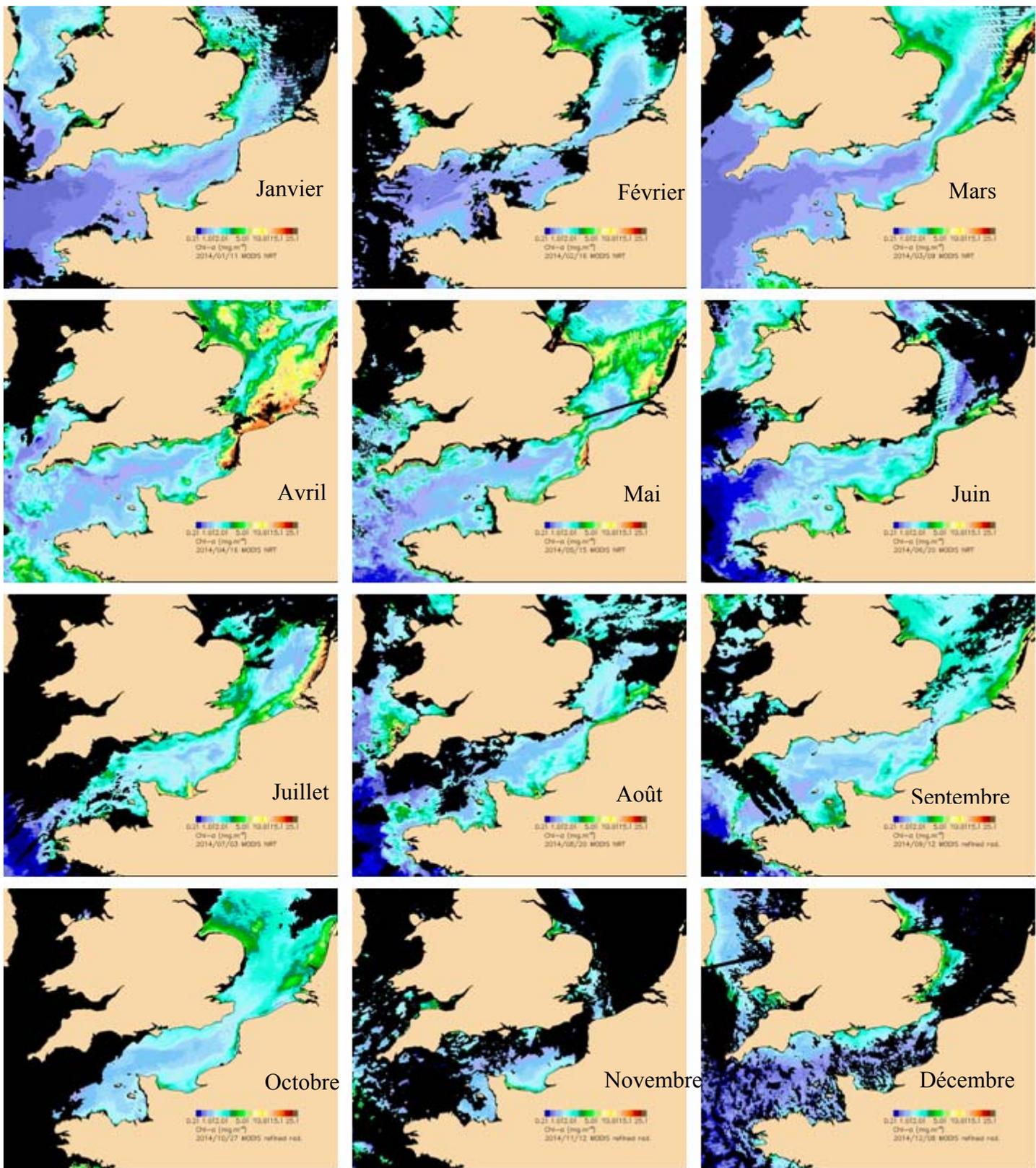


Figure 2.29 : Série d'images 2014 obtenues par la caméra MODIS et traitées avec l'algorithme Ifremer pour obtenir les concentrations en chlorophylle (Ifremer)

La comparaison des images obtenues en 2014 par rapport à la climatologie 1998-2007, indique que les variations observées en 2014 se situent globalement dans la moyenne pluriannuelle. Elles sont conformes à la dynamique mensuelle de la chlorophylle *a* en Manche (figure 2.29) avec toutefois une légère avance de la production phytoplanctonique avec un bloom dès le mois d'avril au nord de la Baie de Somme.

#### 2.2.2.2. Production primaire

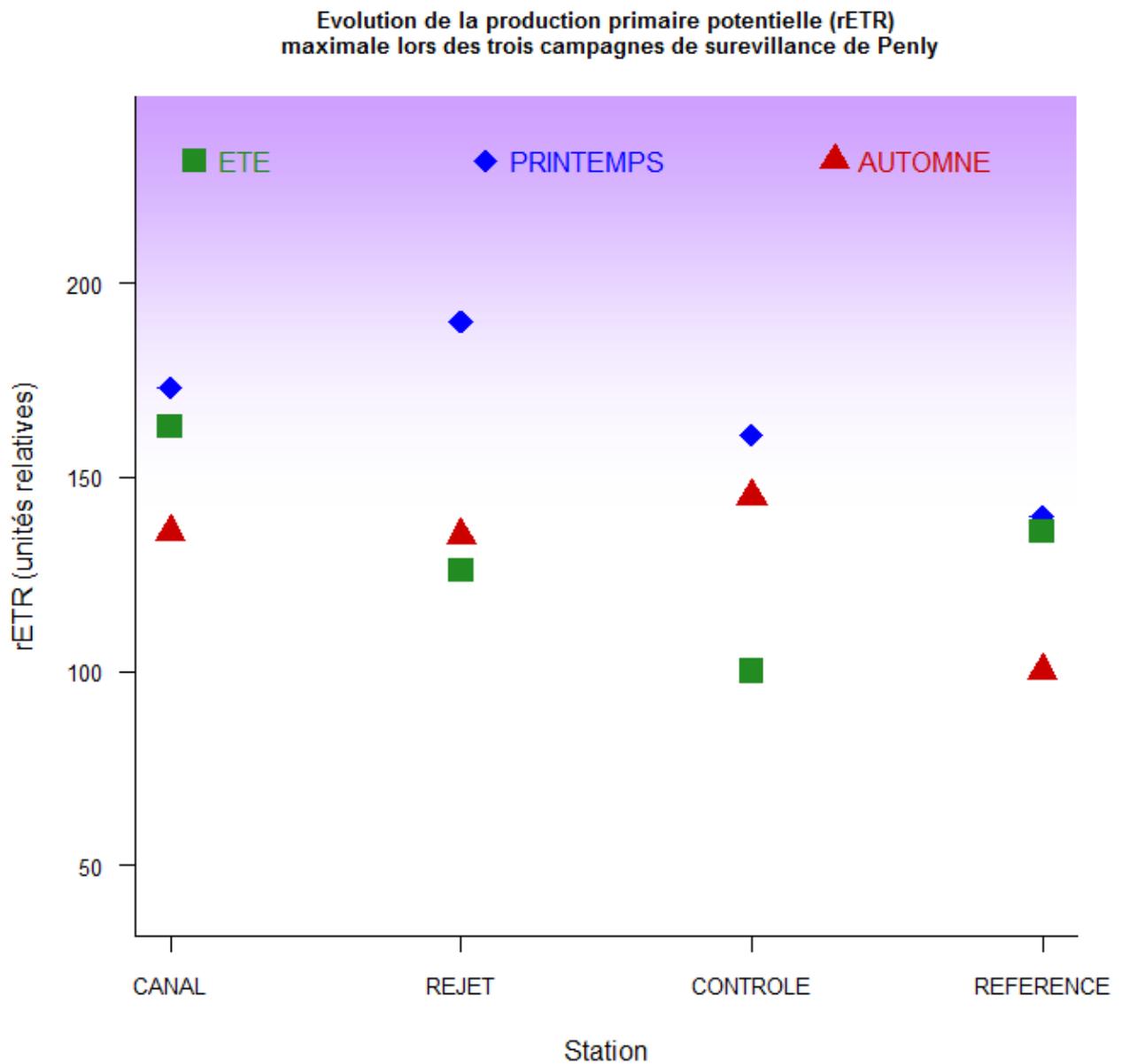
La méthode d'évaluation de la production primaire potentielle, utilisée pour la première fois lors des campagnes 2007, permet d'évaluer le paramètre (rETR) pour les trois campagnes annuelles 2014 ainsi que le gradient spatial observé entre les points d'échantillonnage. L'efficacité quantique maximale ( $Y_{\max}$ ) renseigne également sur l'état physiologique du peuplement. Une valeur de  $Y_{\max} \geq 0,6$  indique un très bon état ;  $Y_{\max} = 0,5$  bon état ;  $Y_{\max} = 0,4$  à  $0,3$  moyen à mauvais et un  $Y_{\max} < 0,3$  met en évidence un mauvais à très mauvais état physiologique des cellules.

##### 2.2.2.2.a Variations spatiales et saisonnières de la production primaire (rETR)

Les valeurs de rETR mesurées en 2014 varient peu. Elles sont comprises entre 100 aux points *contrôle* en été et *rejet* en automne et 190 au point *rejet* au printemps. (figure 2.30).

Toutes les valeurs de 2014 sont inférieures à celles relevées en 2013 et sont assez basses comparativement aux années précédentes.

En 2014, les valeurs de rETR sont les plus fortes au printemps, quelque soit le point échantillonné.



**Figure 2.30** Évolution de la production primaire potentielle (rETR) maximale lors des trois campagnes de surveillance de Penly en 2014

### 2.2.2.2.b Approche statistique

Les tests statistiques réalisés sur les données acquises depuis 2007 sont présentés dans le tableau 2.12. Durant les campagnes 2014 et quelques soient les points suivis, aucune différence significative n'est observée pour les valeurs de R-ETR excepté entre le point *canal* et le point *rejet* en automne.

Comparaison	Printemps	Été	Automne
<i>Canal/rejet</i>	0,3583	0,0805	<b>0,0104</b>
<i>Canal/Contrôle</i>	0,3957	0,0979	0,6535
<i>Référence/rejet</i>	0,7106	0,4353	0,0532
<i>Canal/référence</i>	0,6247	0,0534	0,4480
<i>Contrôle/Référence</i>	0,1374	0,3060	0,8125
<i>Contrôle/Rejet</i>	0,8296	0,8438	0,1133

différence significative :  $p\text{-value} < 0,05$  ;  $p\text{-value} > 0,05$  = différence non significative

**Tableau 2.12 : « p-value » des tests statistiques sur les valeurs de R-ETR**

### 2.2.2.2.c Variations spatiales et saisonnières de l'efficacité quantique maximale ( $Y_{max}$ )

Les valeurs de l'efficacité quantique obtenue en 2014 varient entre 0,42 et 0,69. La valeur maximale a été observée au mois de mars au point *rejet*. La plus faible a été mesurée sur le point *contrôle* en juin.

Les valeurs obtenues en été et en automne caractérisent un état physiologique moyen à bon du peuplement phytoplanctonique. Les valeurs obtenues au printemps révèlent un bon état physiologique des cellules phytoplanctoniques sur tous les points échantillonnés.

Les cellules phytoplanctoniques à proximité de Penly n'ont pas subi d'importants stress nutritifs ou lumineux au cours des différentes périodes d'échantillonnage.

Par rapport à 2013, les valeurs de  $Y_{max}$  sont inférieures et indiquent que les populations phytoplanctoniques étaient dans un moins bon état physiologique lors des campagnes de prélèvements.

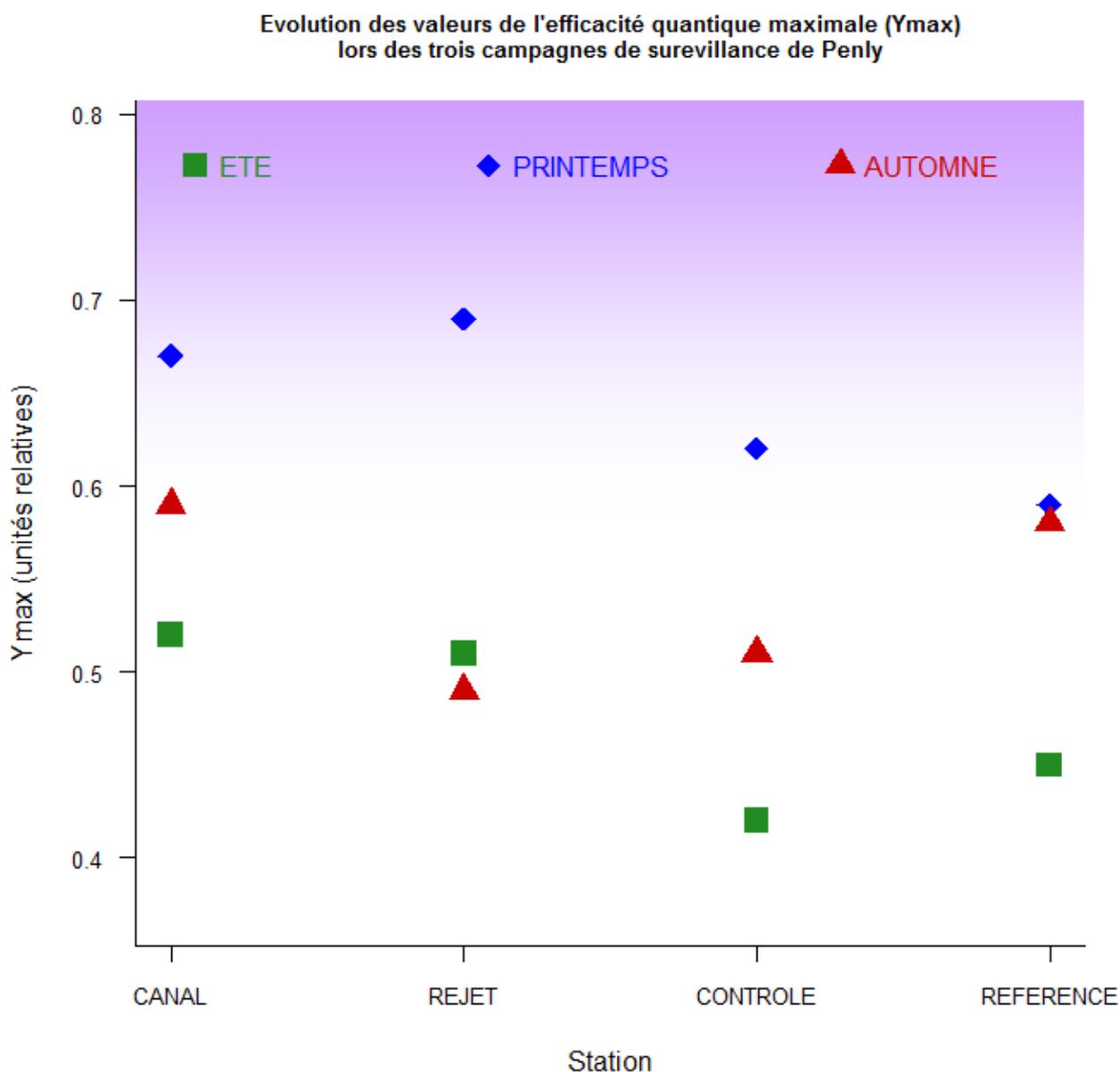


Figure 2.31 : Évolution des valeurs de l'efficacité quantique maximale (Ymax) lors des trois campagnes de surveillance de Penly en 2014

La figure 2.32 ci-dessous représente l'évolution des valeurs de  $Y_{max}$  depuis 2007. Les plus faibles valeurs de  $Y_{max}$  enregistrées suggèrent des carences en nutriments. Cette situation est fréquente en fin d'efflorescence ou dans les eaux à caractère plus océanique.

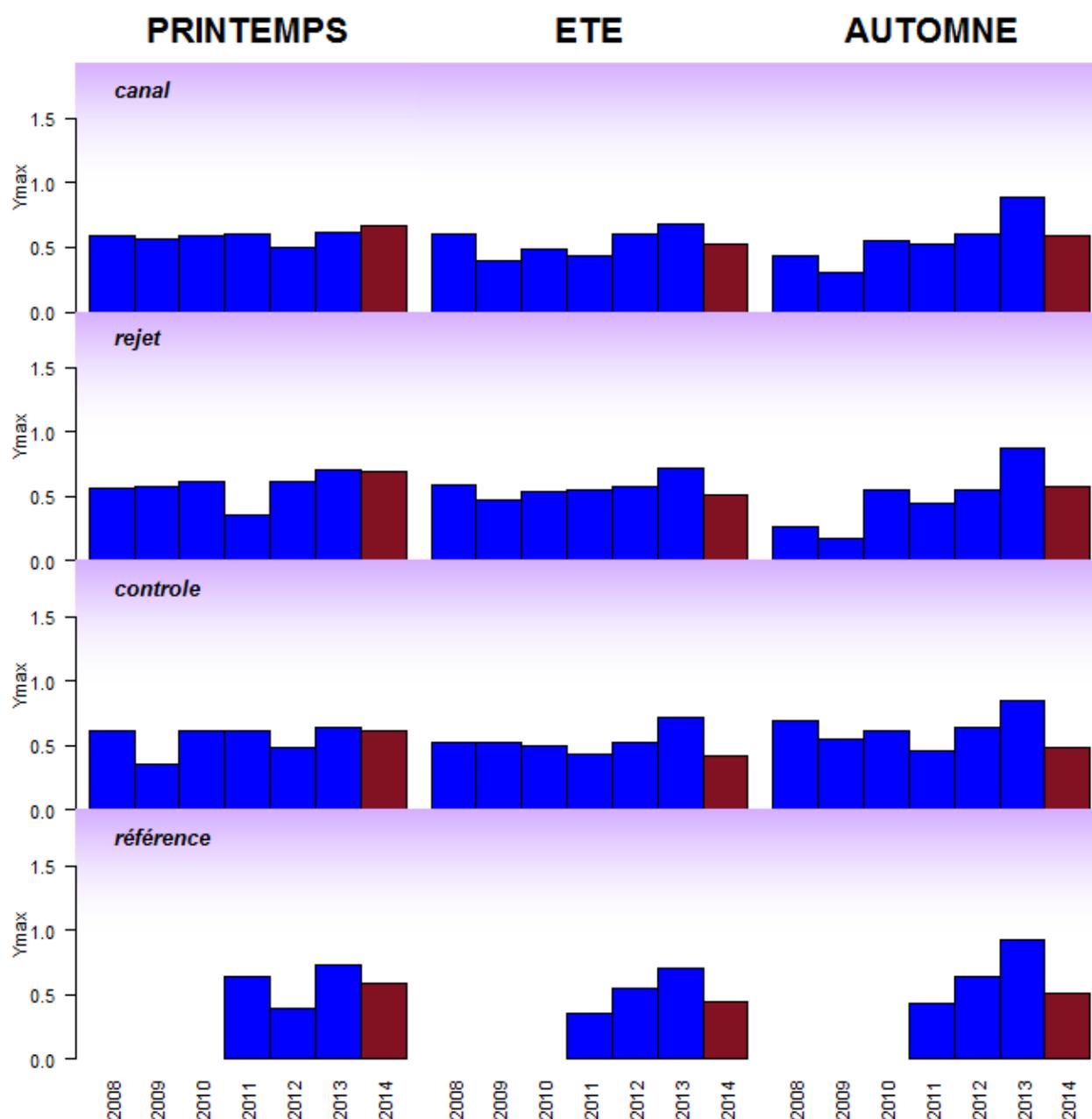


Figure 2.32 : Évolution des valeurs de  $Y_{max}$  de 2007 à 2014 (sauf sur le point *référence* : 2011-2014)

Pendant longtemps il a été admis que d'une part, le passage des cellules phytoplanctoniques à l'intérieur des échangeurs et d'autre part la chloration, produisent une mortalité massive des cellules. Ceci est très difficile à vérifier expérimentalement avec des mesures de biomasse chlorophyllienne, principalement en raison d'une variabilité spatiale très importante. Cependant, la mesure de  $Y_{max}$  permet une véritable estimation de l'état physiologique des peuplements présents au point *rejet* or celui-ci n'est pas significativement inférieur aux autres valeurs obtenues sur les autres points.

Plus d'années seront nécessaires pour observer une réelle tendance, s'il en existe une. Mais les résultats obtenus depuis 2007 indiquent que les peuplements phytoplanctoniques ne sont significativement pas affectés par l'augmentation de la température de l'eau au cours de leur rapide transit dans l'échangeur. Les taux de mélange de 80 % à 90 % à quelques dizaines de mètres des grilles de rejet diminuent certainement le signal de mortalité, mais si des mortalités massives existaient, elles seraient perceptibles et quantifiables.

#### 2.2.2.2.d Approche statistique

Les tests statistiques réalisés sur les données acquises depuis 2007 sont présentés dans le tableau 2.13.

Le résultat des tests montre qu'aucune différence significative n'est mise en évidence au printemps. Il apparaît une différence significative entre le point *rejet* et le point *canal* lors de la campagne automnale, et une différence significative entre le point *contrôle* en été.

Comparaison	Printemps	Été	Automne
<i>Canal/rejet</i>	0,8775	0,3576	<b>0,0218</b>
<i>Canal/Contrôle</i>	0,5745	0,4275	0,1971
<i>Référence/rejet</i>	0,9832	0,1897	0,6594
<i>Canal/référence</i>	0,8584	0,1871	0,5807
<i>Contrôle/Référence</i>	0,9549	0,7608	0,4228
<i>Contrôle/Rejet</i>	0,5500	<b>0,0400</b>	0,0873

$p\text{-value} < 0,05 = \text{différence significative}$  ;  $p\text{-value} > 0,05 = \text{différence non significative}$

**Tableau 2.13 : Probabilité associée  $p$  des tests statistiques sur  $Y_{\max}$**

### 2.2.2.3. Microphytoplancton

#### 2.2.2.3.a Variations spatiales et saisonnières en 2014

Les abondances microphytoplanctoniques de 2014 sont présentées en figure 2.33. Elles sont exprimées en nombre de cellules par litre d'eau de mer. Les plus fortes abondances ont été observées sur le point *canal* au mois de juin avec un maximum de 322 000 cell/L.

En automne les concentrations cellulaires étaient relativement faibles sur l'ensemble de la zone variant entre 12 300 Cell/L sur le point *référence* et 50 300 Cell/L sur le point *contrôle*. Au printemps, les valeurs étaient assez élevées, notamment sur le point *rejet* avec 199 600 Cell/L.

On note en été, un net gradient décroissant côte large du nombre de cellule phytoplanctonique .

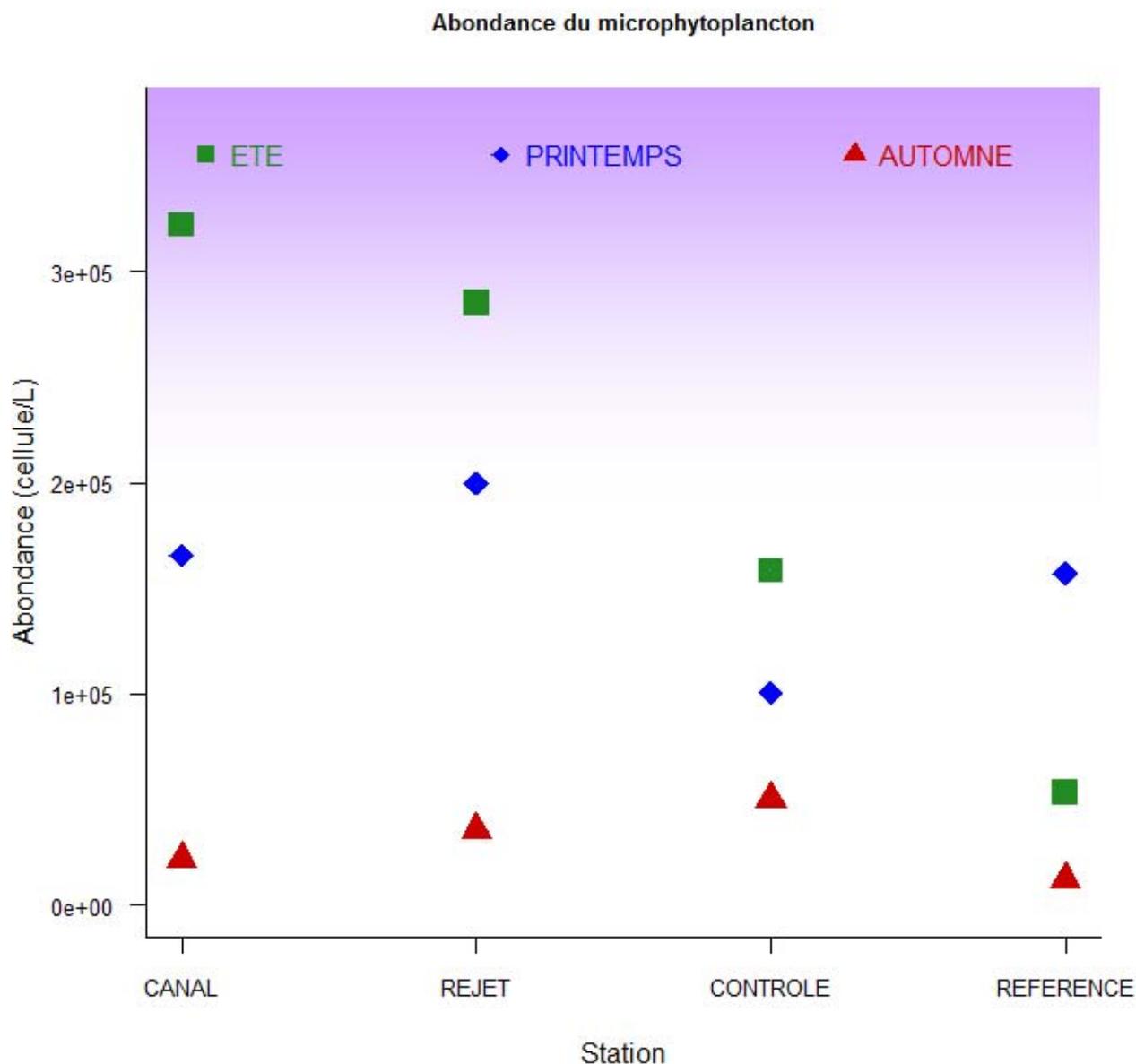


Figure 2.33 : Abondances du microphytoplancton pour l'année 2014

#### 2.2.2.3.b Variations inter-annuelles

Au printemps et en été 2014, les abondances cellulaires mesurées sont supérieures à celles observées en 2013 sauf sur le point *référence* (Figure 2. 34).

Cet état est inversé en septembre où les valeurs sont inférieures à l'année précédente quelque soit le point échantillonné.

Les abondances maximales de 2014 ont été enregistrées en été sauf sur le point *référence* où le maximum a été enregistré au printemps.

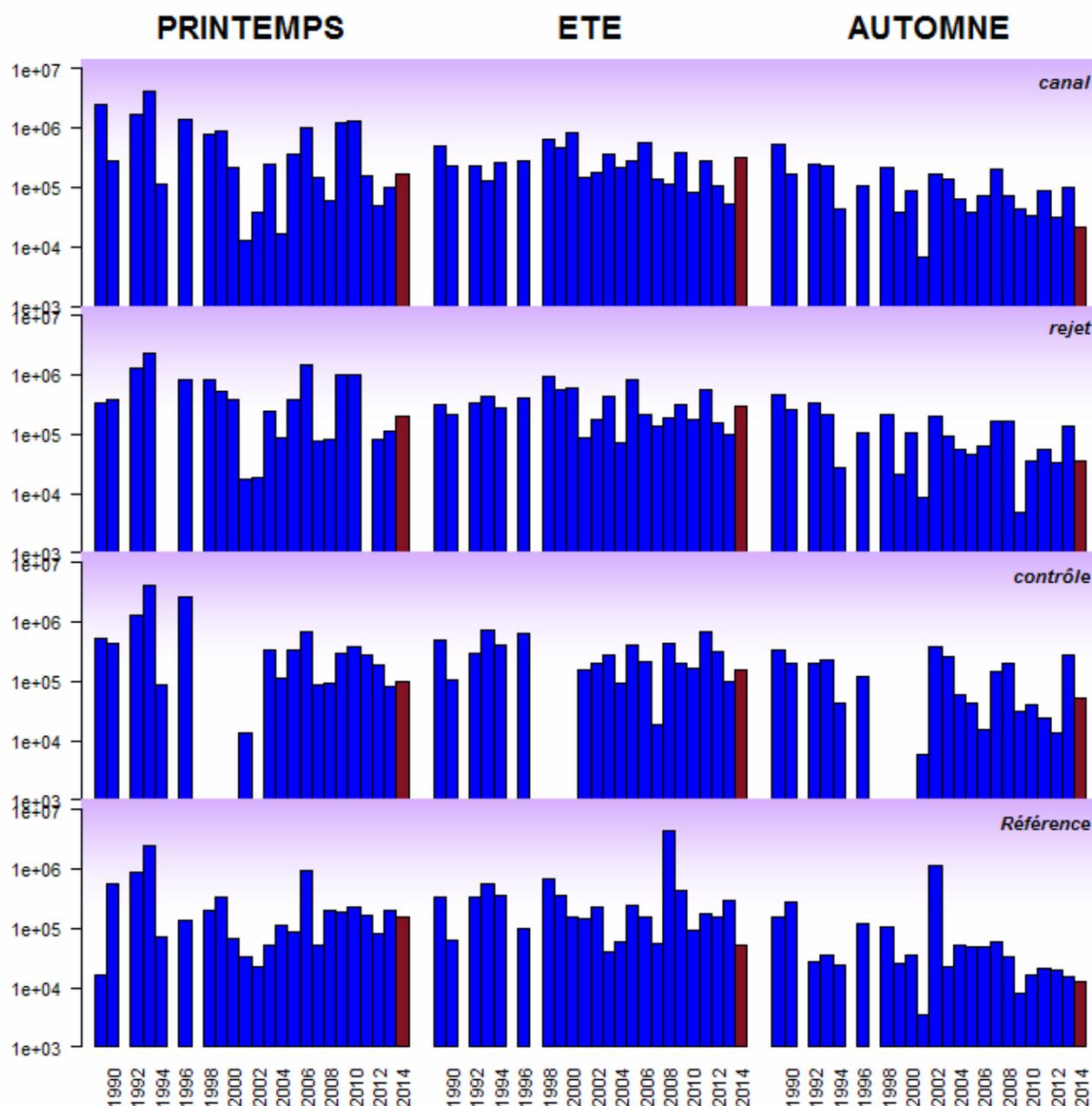


Figure 2.34 : Évolution de l'abondance phytoplanctonique de 1989 à 2014

La figure 2.35 présente l'abondance du phytoplancton sous forme de boîte à moustaches.

Le printemps et l'automne 2014 se caractérisent par de faibles abondances phytoplanctoniques sur l'ensemble de la zone. Les valeurs mesurées au cours de cette période sont en dessous des médianes pluri annuelles.

En été, les valeurs sont aux alentours de la médiane, excepté sur le point *référence* où l'abondance phytoplanctonique est faible cette année.

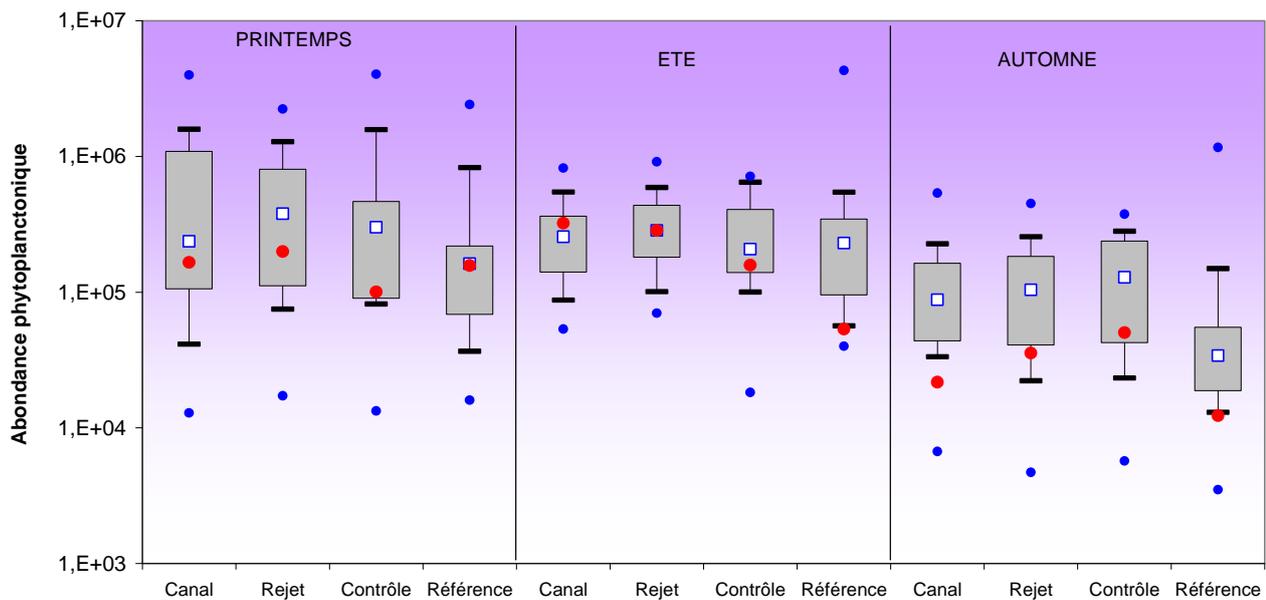


Figure 2.35 : Évolution de l'abondance phytoplanktonique de 1989 à 2014. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▭) ; les moustaches, 80 % des valeurs (└). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2014 (●)

La succession des assemblages phytoplanktoniques, est gouvernée principalement par la variabilité saisonnière. La croissance cellulaire du phytoplancton peut être limitée par deux principaux types de facteurs l'un physique l'autre nutritionnel. Les facteurs physiques telles que la lumière, la température sont essentiellement liés à la variabilité saisonnière. Les facteurs nutritionnels, s'ils sont indirectement saisonniers sont particulièrement liés aux apports de sels nutritifs par les rivières les eaux de ruissellement les eaux souterraines ou l'atmosphère (sels azotés, phosphates, silicates) qu'ils soient d'origine naturelle ou anthropique.

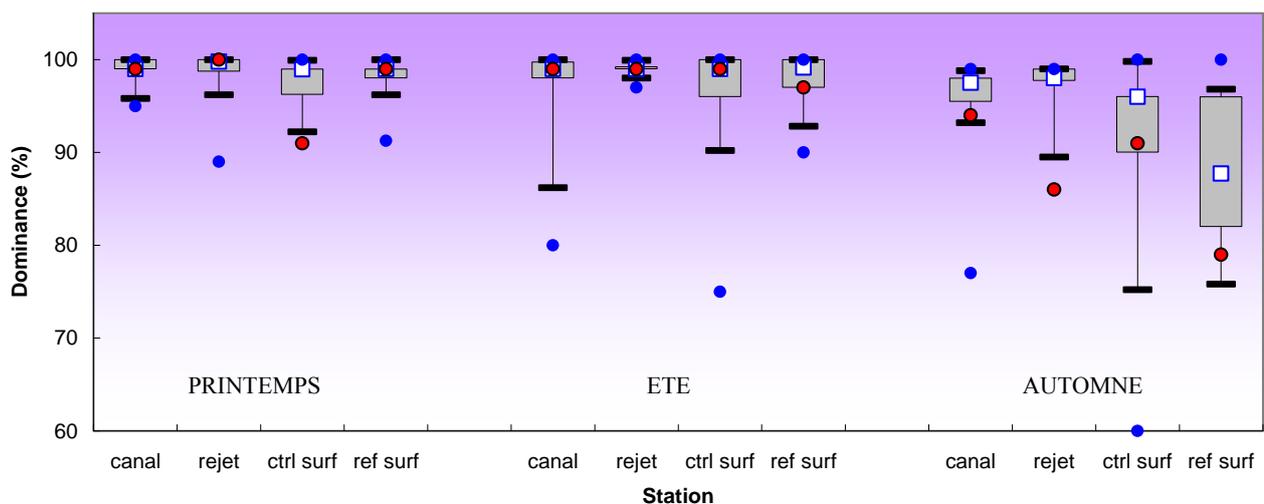
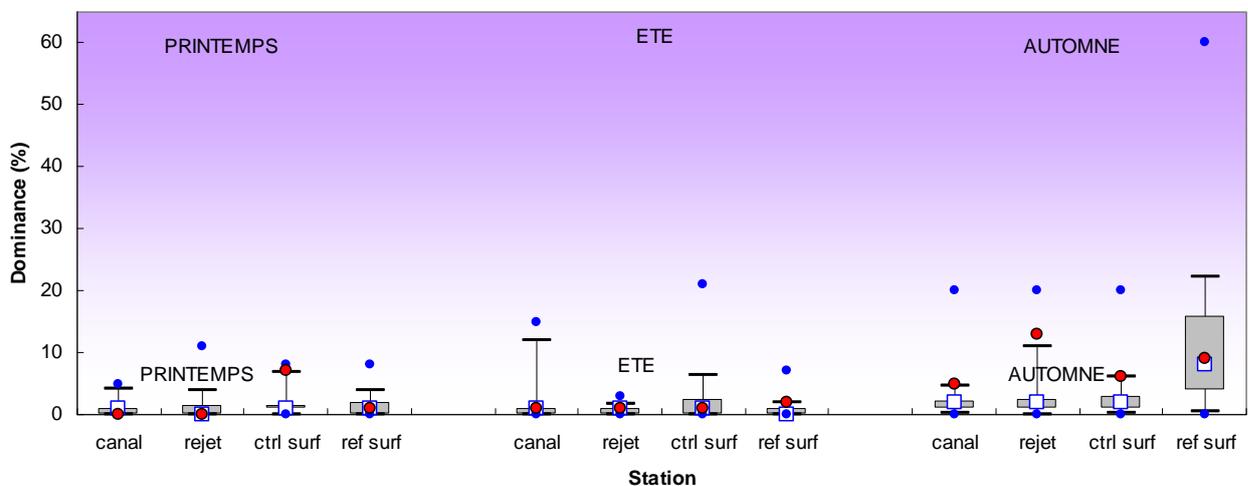


Figure 2.36 : Distribution des dominances de diatomées par point et par campagne depuis 2002. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▭) ; les moustaches, 80 % des valeurs (└). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2014 (●)

Dans les eaux tempérées françaises, les teneurs maximales en nutriments et notamment en silice, utilisée pour la structuration du frustule par les diatomées, sont atteintes en hiver. Le maximum phytoplanctonique est largement dominé par les diatomées durant le printemps, période d'augmentation de l'éclairement et de l'élévation de la température. La figure 2.36 présente l'évolution spatiale et temporelle de la dominance des diatomées depuis 2002.

En 2014, les diatomées représentent entre 79 et 100 % de la population microphytoplanctonique, ce qui est en accord avec ce qui est habituellement observé dans les zones côtières tempérées où les diatomées sont la classe phytoplanctonique la plus représentée. Les valeurs de 2014 se situent aux alentours des médianes au printemps et en été sauf pour le point *contrôle*. En revanche en automne la dominance de diatomées est plus faible que les années précédentes. Sur le point *rejet* en automne 86% du phytoplancton appartient au groupe des diatomées, ce qui est la plus faible valeur constatée depuis le début du suivi.



**Figure 2.37 : Distribution des dominances de dinoflagellés par point et par campagne depuis 2002. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▭) ; les moustaches, 80 % des valeurs (┆). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2014(●)**

Les dinoflagellés, bien que minoritaires sont capables de développements rapides qui peuvent conduire à des perturbations majeures de l'écosystème. Les plus fortes dominances ont été observées en automne, au moment où (1) les nutriments ont été largement assimilés par les diatomées et (2) la masse d'eau est plus stable. La figure 2.37 présente l'évolution de la dominance des dinoflagellés depuis 2002. Les plus faibles valeurs et dispersions sont observées au printemps. En 2014, les valeurs sont proches de la médiane au printemps et en été. Sur le point *contrôle* le pourcentage de dinoflagellés atteint tout de même 7%. En été les proportions de dinoflagellés sont supérieures à la médiane pluriannuelle. Sur les quatre points échantillonnés, les dominances relevées sont entre 5 et 13%, ce qui est supérieur aux médianes pluriannuelles habituellement constatées.

#### 2.2.2.3.c Approche statistique

Les données 2014 modifient peu les tendances décrites les années précédentes. Les tests statistiques du tableau 2.14 confirment qu'aucune différence significative n'est observée sur l'ensemble des points au printemps. Au printemps, le point *référence* est significativement différent du point *canal* et en automne, le point *référence* est significativement différent des points *canal* et *rejet*.

Comparaison	Printemps	Eté	Automne
Canal/rejet	0,4319	0,2819	0,6498
Canal/Contrôle	0,7086	0,2353	0,5276
Référence/rejet	0,0046	0,1262	<b>0,0067</b>
Canal/référence	<b>0,0083</b>	0,3765	<b>0,0060</b>
Contrôle/Référence	0,0728	0,1327	0,0532
Contrôle/Rejet	0,6777	0,6097	0,7795

*p-value* <0,05 = différence significative ; *p-value* >0,05 = différence non significative

Tableau 2.14 : Probabilité associée *p* des tests statistiques sur l'abondance phytoplanctonique

#### 2.2.2.4. Populations phytoplanctoniques observées en 2014

Le but de ce suivi n'est pas d'étudier l'évolution saisonnière de chaque population, mais de détecter, depuis la mise en service de la centrale, un éventuel déséquilibre dans les successions phytoplanctoniques. Les résultats sont exprimés en nombre de cellules par litre et en dominance (%) par rapport à la population microphytoplanctonique totale.

Certaines espèces ont été regroupées, car difficilement identifiables par microscopie optique. D'autres ont été identifiées au niveau du genre ou de la classe algale. La fraction microphytoplanctonique a été répartie en 4 grands groupes : Diatomées, Dinoflagellés, Euglénophycées et Silicoflagellés. En 2014 les diatomées constituent la classe dominante et représentent, à l'exception du point *référence* en automne, plus de 86 % de la communauté microphytoplanctonique (tableau 2.15).

Campagne	Station	MICROPHYTOPLANCTON				TOTAL	Dinoflagellés %	Diatomées %
		diatomées	dinoflagellés	euglènes	silicoflagellés			
IGA 2014-1	canal	164900	800	0	100	165800	0	99
IGA 2014-1	rejet	198800	600	200	0	199600	0	100
IGA 2014-1	ctr surf	92260	7000	1200	400	100860	7	91
IGA 2014-1	ref surf	156000	1000	100	100	157200	1	99
IGA 2014-2	canal	319800	2000	200	800	322800	1	99
IGA 2014-2	rejet	283300	2100	0	100	285500	1	99
IGA 2014-2	ctr surf	156800	1600	0	0	158400	1	99
IGA 2014-2	ref surf	51900	1100	0	400	53400	2	97
IGA 2014-3	canal	20400	1000	200	100	21700	5	94
IGA 2014-3	rejet	30700	4500	400	0	35600	13	86
IGA 2014-3	ctr surf	45700	3000	1600	0	50300	6	91
IGA 2014-3	ref surf	9900	1100	1300	200	12500	9	79

Tableau 2.15 : Abondances des principales classes algales en 2014

Dans les zones côtières de l'Atlantique nord-est et de la Manche, l'essentiel du microphytoplancton est composé de diatomées. La fraction nanophytoplanctonique (espèces algales dont la taille est comprise entre 2 µm et 20 µm) est difficilement accessible au microscope optique et peut devenir majoritaire tant par son abondance que par sa biomasse (Lampert, 2001).

Les Cryptophycées, représentant du nanophytoplancton, ont été dénombrées avec des abondances pouvant atteindre 680 000 cellules par litre sur le point *référence* en juin.

Les principales espèces dénombrées en 2014 ont été les suivantes :

- Mars 2014 :

Les diatomées ont représenté entre 91 et 100 % de la communauté microphytoplanctonique de surface en mars.

Sur les points *canal* et *rejet*, une dominance de *Brockmanniella brockmannii*, diatomée centrique, souvent bien présente en hiver, est observée. Cette diatomée centrique, souvent en chaîne, représente jusqu'à 65% des diatomées sur le point *canal*.

En revanche, sur les points *contrôle* et *référence*, ce sont les *Thalassiosira* qui prédominent avec 77%, soit 120 000 cellules/L sur le point *référence*. Les *Thalassiosira* sont généralement réunies en chaîne à l'aide d'un ou plusieurs filaments ou dans du mucilage.

Les *Skeletonema*, unies en longues chaînes, représentent le 2<sup>ème</sup> genre le plus présent sur les quatre points suivis, représentant 4 à 17%, soit près de 15 000 cellules/L, de la composition en diatomées.

Les dinoflagellés ont représenté jusque 7% du microphytoplancton avec des abondances maximales de 7 000 cellules par litre au point *contrôle*. Le genre principalement présente était une gymnodiniale du genre *Katodinium*. C'est une cellule solitaire, légèrement globulaire dont la longueur varie entre 8 et 50µm.

Peu d'euglènes et de silicoflagellés (respectivement au maximum 1200 cellules/L et 400 cellules/L sur le point *contrôle*) ont été dénombrés.

En revanche jusque 80 200 cellules/L de Cryptophyceae ont été dénombrées sur le point *contrôle*.

Campagne	Station	pourcentage de DIATOMÉES										Cumul %
		Rhiz	Dity	Guin	Chae	Thal	PSNZ	Skelcos	thaanit	Lept	Aster	
IGA 2014-1	canal	0	0	0	0	14	0	4	0	0	0	19
IGA 2014-1	rejet	0	0	0	0	21	0	6	0	0	0	28
IGA 2014-1	ctr surf	0	0	0	0	44	0	16	1	0	0	62
IGA 2014-1	ref surf	0	0	0	0	15	0	4	0	0	0	20
IGA 2014-2	canal	1	0	3	74	1	0	0	1	5	1	86
IGA 2014-2	rejet	2	0	6	61	0	0	0	1	22	2	93
IGA 2014-2	ctr surf	3	0	9	33	0	0	0	0	50	0	96
IGA 2014-2	ref surf	9	0	27	6	0	0	0	0	4	0	45
IGA 2014-3	canal	2	1	7	0	7	0	0	0	8	1	27
IGA 2014-3	rejet	3	0	15	16	7	1	0	1	7	0	49
IGA 2014-3	ctr surf	6	0	32	10	3	0	1	2	17	0	71
IGA 2014-3	ref surf	2	0	0	8	18	0	0	3	9	0	39

Clefs : **Rhiz** : *Rhizosoleniaceae* ; **Dity** : *Dytilum sp*; **Guin** : *Guinardia sp*; **Chae** : *Chaetoceros sp*; **Thal** : *Thalassiosira sp*; **PSNZ** : *Pseudo-nitzschia sp* ; **Skelcos** : *Skeletonema sp* ; **Thaanit** : *Thalassionema nitschioides* **Aster** : *Asterionellopsis sp*; **Lept** : *Leptocylindrus sp*

**Tableau 2.16 : Abondances des principaux genres de diatomées en 2014**

- Juin 2014 :

Les diatomées ont représenté plus de 97 % de la communauté phytoplanctonique de surface en juin, avec des abondances variant entre 51 900 cellules par litre sur le point *référence* à 319 800 cell/L sur le point *canal* (tableau 2.15).

Les *Chaetoceros* sont les diatomées les plus présentes en été sur les points *rejet* et *canal* avec plus de 238 000 cellules sur ce dernier point..

En revanche ce sont les *Leptocylindrus*, cellules coloniales, cylindriques et allongées, qui prédominent sur le point *contrôle* avec un maximum de 79 000 cellules/L..

Les *Guinardia* constituent également une bonne partie de la communauté phytoplanctonique. Elles sont solitaires ou réunies en courtes chaînes. En 2014, elles sont principalement présentes sur le point *référence* et représentent jusqu'à 27% , soit plus de 13000 cellules /L, de la population.

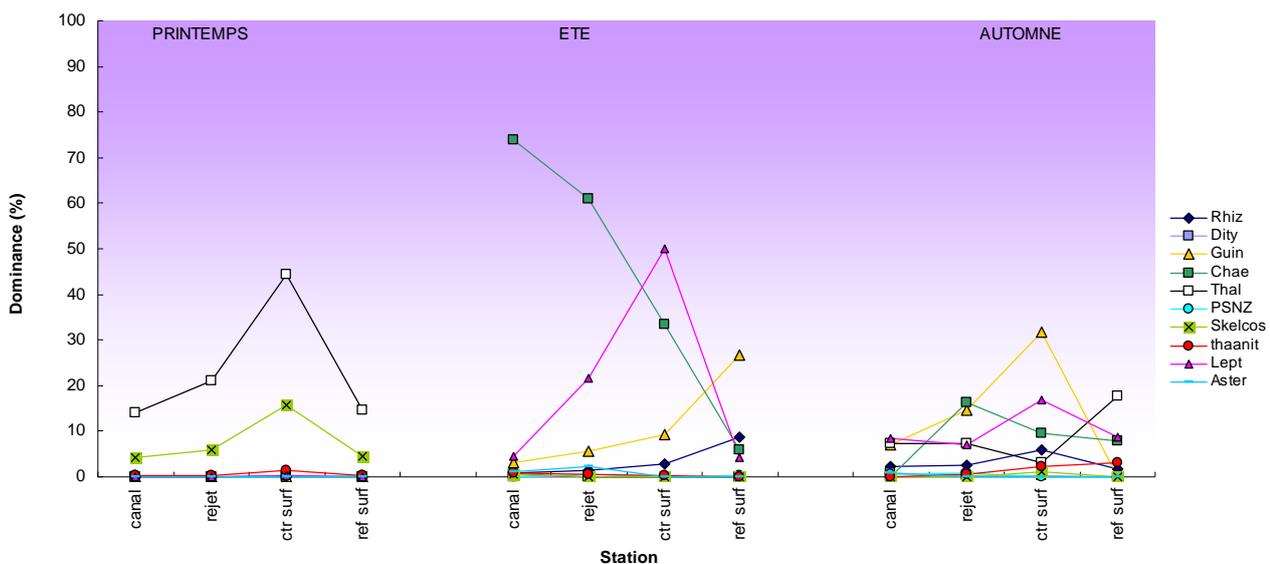
On observe également une concentration assez importante (jusqu'à 4 100 cellule par litre) de *Rhizosolenia*, cellules cylindriques unies en chaînes rigides ou parois en spirales.

De la même manière les genres *Dactylosolen*, les navicules, les *Thalassionema nitschioïdes* et les *Asterionella* sont présents de 1 à 2% de la communauté en diatomées.

Les dinoflagellés en juin représentent au maximum 2% des dominances sur le point *référence*

Les silicoflagellés et euglènes sont faiblement représentés avec un maximum de 800 *Dictyocha* et 200 euglènes sur le point *canal* au mois de juin.

En revanche, les cryptophycées sont largement représentés avec un maximum de 680 000 cell/L sur le point *référence*.



Clefs : **Rhiz** : Rhizosoleniaceae ; **Dity** : Ditylum sp ; **Podo** : Podosira sp ; **Chae** : Chaetoceros sp ; **Thal** : Thalassiosira sp ; **PSNZ** : Pseudo-nitzschia sp ; **Skelcos** : Skeletonema sp ; **Acti** : Actinocyclus sp ; **Lept** : Leptocylindrus sp

Figure 2.38 : Distribution des dominances (%) de diatomées pour l'année 2014

- Septembre 2014 :

Les diatomées ont représenté plus de 79 % de la communauté phytoplanctonique de surface en septembre, avec des abondances variant entre 12 500 cellules par litre sur le point *référence* et 50300 cell/L sur le point *contrôle* (tableau 2.15).

En septembre, la communauté phytoplanctonique est plus disparate selon les points échantillonnés. Ainsi, ce sont les *Paralia sulcata* qui prédominent sur les points *canal* et *rejet* avec respectivement 9300 cellules/L et 7700 cellules/L. Sur le point *référence*, ce sont les *Thalassiosira* qui sont majoritairement représentés avec 2000 cellules/L et sur le point *contrôle*, les *Guinardia* représentent 32% de la population phytoplanctonique.

Les *Chaetoceros* sont également bien représentés, excepté sur le point *canal*, avec 5800 cellules/L, soit l'équivalent de 16% de la population phytoplanctonique.

Quelques *Pseudonitzschia*, *Ditylum*, *Skeletonema* et *Thalassionema* sont présents avec pour chaque genre, un maximum de 3% de la population totale en diatomée.

Les dinoflagellés ont représenté un maximum de 13% du microphytoplancton en septembre sur le point *rejet*. Ils sont principalement constitué de *Gyrodinium* sur le point *référence*, *Gymnodinium* sur le point *rejet*, de *Prorocentrum* sur le point *canal* et de *Scropsiella* sur le point *contrôle*.

Les euglènes ont été dénombrés sur les quatre points de suivi avec un minimum de 200 cellules/L sur le point *canal* et un maximum de 1600cellules/L sur le point *contrôle*.

Les silicoflagellés ont été observés sur les points *canal* et *référence* avec un maximum de 200 cellules sur le point *référence*.

Des cryptophycées, représentant la fraction nanophytoplanctonique, ont été observés en septembre avec un minimum de 3 600 cellules/L sur le point *canal* et un maximum de 13 600 cell/L sur le point *référence*.

#### 2.2.2.5. Comparaison des résultats obtenus aux points *canal* et *rejet*

Le calcul du bilan représente l'écart des valeurs du paramètre concerné observé entre les points *rejet* et *canal*. Ce calcul est réalisé afin d'estimer l'impact sur le phytoplancton au cours de son transit entre le *canal* et le *rejet*. Il est effectué au moyen de l'équation ci-dessous :

$$\frac{(V_a - V_r) \times 100}{V_a}$$

Où  $V_a$  et  $V_r$  représentent respectivement la valeur (chlorophylle, production primaire ou abondance microphytoplanctonique) observée au canal d'aménée et au point *rejet*

En utilisant les valeurs mesurées en 2014 pour les paramètres chlorophylle, production primaire et abondance phytoplanctonique, les valeurs obtenues sont présentées dans le tableau 2.17. Une valeur positive exprime alors un déficit au point *rejet* par rapport au point *canal*.

%	Chlorophylle	Prod.primaire	Microphytoplancton
26/03/2014	15	-10	-20
26/06/2014	30	23	11
17/09/2014	-27	26	-66

Tableau 2.17 : Bilan (%) des trois paramètres étudiés entre les points *canal* et *rejet*

En mars 2014, la chlorophylle apparaît en déficit au point *rejet* par rapport au point *canal*. Ce déficit est également observé en septembre pour la production primaire. En juin, les trois paramètres sont en déficit sur le point *rejet* par rapport au point *canal*.

Ces différences peuvent s'expliquer par deux phénomènes, l'un à caractère spatial et l'autre temporel. Premièrement, les caractéristiques de la masse d'eau du point *rejet* peuvent résulter du mélange des eaux des points *canal* et *référence*. Deuxièmement, le temps de transit de l'eau de mer entre les points *canal* et *rejet* est de quelques heures, alors que les prélèvements sont faits à 30 minutes d'intervalle. Les valeurs ainsi obtenues peuvent donc s'expliquer aisément par la variabilité spatio-temporelle du milieu marin. Cette variabilité peut donc également expliquer en partie les déficits mesurés.

### 2.2.3. Conclusions

L'année 2014 a été caractérisée par un bloom phytoplanctonique bien marqué dès le mois d'avril sur la baie de Somme. En effet, les images satellites montrent des concentrations maximales en chlorophylle *a* à cette période.

Comme en 2013, on observe au printemps sur le CNPE de Penly, un fort gradient côte-large, avec des valeurs de chlorophylle *a* allant de 6.62 µg/L au point *canal* à 1.02 µg/L au point *référence*. Ce gradient disparaît lors des campagnes suivantes. En automne 2014, les concentrations de chlorophylle sont faibles et varient peu selon les points.

La production primaire potentielle a été caractérisée à travers la mesure de la fluorescence *in vivo* au moyen d'un Pulse Amplitude Modulated (PAM). Les valeurs de rETR mesurées en 2014 sont comprises entre 100 en été au point *contrôle* et en automne au point *rejet* et 190 au point *rejet* en mars.

Les paramètres photosynthétiques suivent une évolution saisonnière assez semblable à la chlorophylle en automne 2014 avec des valeurs de rETR faibles et variant peu.

Concernant le paramètre photosynthétique  $Y_{max}$ , les valeurs relevées au cours des campagnes de printemps et d'automne sont supérieures à 0,59 alors que les valeurs d'été et d'automne sont inférieures à 0,52. Ces observations suggèrent que l'état physiologique des cellules phytoplanctoniques était meilleur au printemps 2014 qu'au reste de l'année. Comparativement à 2013, les valeurs de l'efficacité quantique indiquent un moins bon état physiologique des cellules, excepté sur le point *canal* au printemps. Ceci suggère que les cellules phytoplanctoniques à proximité de Penly ont pu subir un léger stress nutritifs ou lumineux au cours de l'été et de l'automne 2014.

L'abondance phytoplanctonique de 2014 est supérieure à celle de 2013 tout en restant en général marquée par d'assez faibles abondances phytoplanctoniques

En été l'évolution caractéristique du cycle saisonnier en zone tempérée est une diminution de la biomasse phytoplanctonique due à la diminution drastique des concentrations en sels nutritifs suite au bloom printanier. L'année 2014 ne suit pas cette tendance générale : Les plus fortes abondance cellulaires ont été observées au mois de juin et se situent entre 53 000 et 322000 cellules par litre. Un fort gradient décroissant côte large était alors observé. Seul le point *référence* au mois de mars est caractérisé par une valeur plus élevée (157 100 cellules par litre).

Ce cycle saisonnier inhabituel peut être dû au fait que l'année 2014 a également été marquée par des températures de l'eau particulièrement élevée, avec un excédent bien marqué en été (plus 8°C par rapport au printemps) et en automne (cf. chapitre hydrologie).

En automne les abondances cellulaires sont restées stables avec un léger gradient côte large du nombre de cellules.

A l'instar des années précédentes, les diatomées ont largement dominé la communauté phytoplanctonique tout au long de l'année 2014 sur le site du CNPE de Penly. Néanmoins les valeurs de diatomées en automne 2014 sont assez faible. Sur le point *rejet*, le 86% de la communauté phytoplanctonique est représentée par les diatomées. C'est le plus faible pourcentage relevé depuis le début du suivi. A contrario sur ce même point en septembre, 13% de la

communauté est représentée par des dinoflagellés. Ceci est dû à la présence de *Gymnodiniaceae* à hauteur d'environ 3000 cellules par litre sur ce point.

En 2014, les diatomées sont dominées au printemps par des *Guinardia sp.* et des *Thalassionema nitschoïdes*. En été ce peuplement est remplacé par des *Chaetoceros* et des *Leptocylindrus*. Au mois de septembre, la communauté de diatomées est plus hétérogène entre les points. Ce sont les genres *Guinardia*, *Chaetoceros* et *Leptocylindrus* qui composent l'essentiel du cortège floristique.

Toutes ces espèces sont classiquement décrites dans les eaux des côtes Atlantique et de la Manche.

Le cycle saisonnier du phytoplancton ainsi que la structure des communautés phytoplanctoniques observés en 2014 ne présentent pas de caractéristiques pouvant mettre en cause l'activité du CNPE de Penly. L'évolution dans le temps de ces paramètres semble cohérente avec les connaissances que nous avons de ces paramètres en Manche.

Nous ne pouvons donc pas conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu, généré par l'activité du CNPE de Penly, à partir de l'étude des paramètres suivis dans le compartiment phytoplanctonique en 2014.



## 2.3. Chapitre Microbiologie

*Rapport*

Mathilde Schapira (LERN)

*Prélèvements*

Sylvaine Françoise (LERN),  
Frank Maheux (LERN),  
Gaëlle Courtay (LERN),  
Olivier Pierre-Duplessix (LERN),  
Emilie Rabiller (LERN),  
Benjamin Simon (LERN)  
Laure Lamort (LERN)

*Analyses*

Laboratoire départemental Franck Duncombe, Caen



## 2.3. Microbiologie

Un suivi de l'évolution du compartiment microbien a été mis en oeuvre depuis 1987 sur le CNPE de Penly. Il repose sur le dénombrement des germes totaux, des germes aérobies revivifiables et sur l'identification et le dénombrement des vibrions halophiles.

### Les vibrions halophiles sur le territoire français

Les vibrions halophiles sont des bactéries anaérobies facultatives, à Gram négatif (Vaillant *et al*, 2005). Ce sont des hôtes naturels du milieu marin et plus particulièrement des eaux côtières et estuariennes. Seules quelques espèces du genre *Vibrio* présentent une activité pathogène pour l'homme. On distingue les **vibrions cholériques**, responsables du choléra et appartenant aux sérogroupes O1 et O139 de l'espèce *Vibrio cholerae*, et les **vibrions non cholériques** appartenant aux sérogroupes non-O1 et non-O139 de l'espèce *V. cholerae* et à d'autres espèces du genre *Vibrio*, en particulier *Vibrio alginolyticus*, *Vibrio vulnificus*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio fluvialis* et *Vibrio hollisae* (Quilici *et al*, 2005). *Photobacterium damsela*, anciennement appelée *Vibrio damsela*, puis *Listonella damsela* est plutôt reconnue comme une souche pathogène pour les poissons (Euzéby, 2000).

Les vibrions non cholériques sont à l'origine de gastro-entérites, d'infections de la peau et des tissus mous, de septicémies et de diverses infections extra intestinales comme les otites, particulièrement dues à l'espèce *V. alginolyticus*. Dans la majorité des cas, ces infections sont associées à un contact direct avec de l'eau de mer ou à la consommation de produits de la mer (Quilici et Fournier, 2003). Elles surviennent pendant les mois les plus chauds de l'année, de mai à octobre, quand la température de l'eau de mer augmente et favorise la croissance des vibrions halophiles.

Depuis 1995, le CNRVC1 a mis en place un système de surveillance des infections à vibrions non cholériques sur le territoire français. Il reçoit les souches, isolées par les laboratoires hospitaliers et d'analyse biologique et médicale, pour identification, ou confirmation d'identification et caractérisation moléculaire (Vaillant *et al*, 2005). Le tableau 2.17 propose une synthèse des souches de vibrions non cholériques identifiées, responsables d'infections humaines entre 1995 et 2005 sur le territoire français.

Un total de 102 cas d'infections à vibrions non cholériques a été répertorié entre 1995 et 2005. Six espèces ont été identifiées : *V. cholerae* (sérogroupes non-O1/non-O139), qui a été l'espèce la plus fréquemment isolée (49 %) ; *V. alginolyticus*, *V. parahaemolyticus* et *V. vulnificus* qui ont été respectivement responsables de 19,6 %, 16,8 % et 10,8 % des cas d'infections ; et les souches *V. fluvialis* et *V. hollisae* qui ont rarement été mises en cause, puisqu'elles représentent moins de 2 % des cas d'infections.

---

1 CNRVC : Centre Nationale de Référence des Vibrions et du Choléra de l'Institut Pasteur.

**Espèces Identifiées**  
**Souches identifiées**  
nombre de cas d'infection (%)

Année	<i>V. alginolyticus</i>	<i>V. vulnificus</i>	<i>V. parahaemolyticus</i>	<i>V. cholerae</i> non O1/ non O139	<i>V. fluvialis</i>	<i>V. hollisae</i>	Nombre total d'infections
1995 à 1998 (1)	7 (24,14)	5 (17,24)	7 (24,14)	9 (31,03)	abs	1 (3,45)	29
1999 à 2001 (2)	10 (29,41)	3 (8,82)	3 (8,82)	15 (44,12)	2 (5,88)	1 (2,94)	34
2001 à 2003 (3)	4 (12,50)	4 (12,50)	3 (9,38)	19 (59,38)	2 (6,25)	abs	32
2004 (4)	abs	abs	4 (50)	4 (50)	abs	abs	8
2005 (5)	3 (30)	abs	abs	7 (70)	abs	abs	10
<b>Synthèse de 1995 à 2005</b>	<b>20 (19,61)</b>	<b>11 (10,78)</b>	<b>17 (16,77)</b>	<b>50 (49,02)</b>	<b>2 (1,96)</b>	<b>2 (1,96)</b>	<b>102</b>

Abs : absence, souche non identifiée dans les cas d'infection observés

(1) Geneste *et al.* 2000

(2) Quilici *et al.* 2000

(3) Quilici *et al.* 2005

(4) Quilici et Fournier. 2004

(5) Quilici et Fournier. 2005

**Tableau 2.18 : Souches de vibrions non cholériques responsables d'infections humaines identifiées par le CNRVC entre 1995 et 2005**

Les souches de *V. cholerae*, *V. parahaemolyticus* et *V. vulnificus* sont responsables des manifestations cliniques les plus sévères (Quilici *et al.*, 2000). *V. cholerae* est une espèce qui peut survivre dans un environnement moins salé que les autres espèces halophiles. De ce fait, son ubiquité et les infections graves qu'elle entraîne, contribuent à sa forte présence dans le recensement du CNRVC, représentant à elle seule, 49 % des cas d'infections. Alors que, d'après l'étude menée par Hervio-Heath *et al.* (2002), sur la recherche d'espèces de vibrions potentiellement pathogènes dans l'environnement marin des côtes et estuaires français entre juillet et septembre 1999, seulement 3 souches de *V. cholerae* ont été identifiées sur un total de 189. Quant à *V. alginolyticus*, qui est responsable d'infections plus bénignes, elle était l'espèce prédominante sur le littoral français avec 99 souches identifiées sur 189. Pour information, suivaient les souches de *V. parahaemolyticus* (41/189) et *V. vulnificus* (20/189). Quelques éléments doivent toutefois nuancer ce constat. Pour des raisons méthodologiques, il est difficile de comparer ces chiffres du fait d'un bilan épidémiologique mené entre 1995 et 2005 d'une part, et une étude de 189 souches isolées durant 3 mois de l'année 1999 d'autre part. Par ailleurs, la proportion de cas cliniques de 49% associés à l'espèce *V. cholerae*, comporte très certainement pour près de la moitié d'entre eux des cas contractés lors de voyages à l'étranger (c'est le cas de 45% des cas de vibrioses non cholériques imputés à cette espèce, répertoriés par l'InVS et le CNRVC de 1995 à 2009) et sans aucune relation avec les espèces du littoral français.

Dans le milieu marin, plusieurs facteurs écologiques influencent le cycle biologique des vibrions halophiles. On distingue la température, la salinité, la concentration en matière organique et en nutriments, des sédiments et du plancton utilisés comme support (West, 1989 ; Miossec, 2002). La température de l'eau de mer contribue ainsi à la saisonnalité des apparitions de vibrions non cholériques. Les espèces *V. fluvialis*, *V. hollisae*, *V. parahaemolyticus* et *V. vulnificus* s'observent principalement entre la fin de l'été et le début de l'automne. Alors que *V. cholerae* et *V. alginolyticus* peuvent être identifiées tout au long de l'année (Quilici *et al.*, 2000). En saison froide, les vibrions non cholériques survivent sous une forme "viable non cultivable" dans les sédiments des eaux côtières. Ils s'y multiplient et réapparaissent dans la colonne d'eau et les produits de la mer lorsque la température de l'eau s'élève et que les conditions redeviennent favorables à leur croissance (Vaillant *et al.*, 2005).

La salinité influence également la distribution spatiale des souches de vibrions non cholériques. En effet, l'étude menée par Hervio-Heath *et al.* (2002), indique qu'une salinité > 25 ‰ induit des effets

sur la distribution de *V. vulnificus*, qui est plus souvent observé dans les eaux estuariennes que marines.

### 2.3.1. Matériel et méthodes

#### 2.3.1.1. Prélèvements

Conformément à la stratégie mise en place pour le site de Penly, les travaux de surveillance ont été réalisés autour de la pleine mer et par coefficients de mortes-eaux les 26 mars, 26 juin et 17 septembre 2014 à bord du navire océanographique *NO DELPHY*. Les échantillons d'eau ont été prélevés au moyen de flacons stériles, et conservés dans une glacière avec des blocs de froid (température de 5°C à 10°C) pendant le transport et jusqu'à analyse.

Les points échantillonnés ont été les suivants :

- *canal* (situé à l'entrée du canal d'amenée de la centrale),
- *rejet* (situé dans les turbulences du rejet\*),
- *contrôle* (situé au large du rejet),
- *référence* (situé au large, au-delà de la zone d'influence du CNPE).

**\* L'échantillonnage est réalisé dans les turbulences du point rejet présentant la plus forte différence de température avec le point du large (cf. Chapitre hydrologie).**

La stratégie d'échantillonnage suivie en 2014 est présentée dans le tableau 2.19.

Stations	Niveau D'échantillonnage	Germes totaux	Germes revivifiables	Vibrions halophiles
<i>Canal</i>	Surface (0-1m)	2 × 250 ml	2 × 250 ml	2 × 1000 ml
<i>Rejet</i>	Surface (0-1m)	2 × 250 ml	2 × 250 ml	2 × 1000 ml
<i>Contrôle</i>	Surface (0-1m)	2 × 250 ml	2 × 250 ml	2 × 1000 ml
<i>Référence</i>	Surface (0-1m)	2 × 250 ml	2 × 250 ml	2 × 1000 ml

**Tableau 2.19 : Stratégie d'échantillonnage du compartiment microbiologie en 2014**

#### 2.3.1.2. Analyses microbiologiques

##### 2.3.1.2.a Dénombrement des germes totaux en épifluorescence

Le protocole analytique utilisé est le suivant :

- stabilisation de l'échantillon au moment du prélèvement par du formol dépoussiéré afin de limiter la multiplication des bactéries,
- filtration sur membrane en polycarbonate 0,22  $\mu\text{m}$  teintée avec de l'Irgalan black (Millipore, GTBP04700). Les volumes filtrés sont de 1 mL + 10 mL d'eau stérile dépoussiérée. Suivant le résultat obtenu, un nouvel essai est réalisé avec 0,5 mL ou 2 mL.
- coloration avec une solution d'acridine orange (1/30 000e) tamponnée à pH 7,4 stérilisée par filtration à 0,22  $\mu\text{m}$ ,
- détermination par épi-fluorescence.

Toutes les bactéries fixées mises en évidence par coloration sont dénombrées (les bactéries non *vivantes* apparaissent colorées en vert).

#### 2.3.1.2.b Dénombrement des germes aérobies revivifiables sur milieu de Zobell.

Le protocole analytique utilisé est le suivant :

- étalement au râteau sur milieu de Zobell (0,1 mL d'échantillon est déposé dans 5 boîtes soit un résultat dans 0,5 mL. Celui-ci est multiplié par 2 pour avoir un résultat dans 1 mL),
- dénombrement après incubation à  $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  pendant 9 à 10 jours.

#### 2.3.1.2.c Identification et dénombrement des vibrions halophiles (méthode EDF)

L'identification et le dénombrement des vibrions halophiles ont été réalisés par une méthode interne au Laboratoire Régional de Rouen jusqu'en 2003. En 2004 et 2005, cette méthode a été doublée de la nouvelle méthode préconisée par EDF et mise au point par l'Institut Pasteur. Finalement, à partir de 2006, seule la nouvelle méthode est appliquée. Cette nouvelle méthode devient alors la méthode de référence pour l'ensemble des centrales nucléaires de bord de mer et doit ainsi permettre une comparaison entre les différents sites de production d'électricité en bord de mer.

Contrairement à 2004 et 2005, une seule méthode de dénombrement et d'identification des vibrions halophiles a été retenue depuis 2006. Mise au point par le laboratoire Pasteur, mais appelée "Méthode EDF" dans ce rapport, elle sera utilisée sur l'ensemble des centrales du bord de mer et devrait ainsi permettre la comparaison des populations de vibrions halophiles entre elles. La comparaison des deux méthodes (l'ancienne et celle d'EDF - Procédure Technique DRD/P77/Vib) en 2004 et 2005, a permis de mettre en évidence quelques différences dues aux méthodologies et aux milieux de culture utilisés, sans pour autant altérer la tendance générale (cf. Rapports 2012).

Le protocole analytique utilisé est le suivant :

- Filtration de 10 mL à 1000 mL (et de 1 mL à 1000 mL pour les campagnes de juin et septembre) sur membrane en acétate de cellulose de porosité  $0,45 \mu\text{m}$ ,
- inclusion dans milieu TCBS à  $37 \pm 1^{\circ}\text{C}$  pendant 18 à 24 h,
- lecture des boîtes,
- incuber pendant 24 h à  $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ,
- nouvelle lecture des boîtes,
- repiquage et isolement sur gélose TCBS à  $36 \pm 2^{\circ}\text{C}$  pendant 24 h,
- repiquage des colonies en milieu Zobell et incubation à  $36 \pm 2^{\circ}\text{C}$  pendant 24 h,
- Identification et recherche de pathogènes (coloration de Gram, test oxydase, identification par Api 20<sup>E</sup>). Si suspicion de *V.cholerae* : test d'halophilie par galerie en NaCl 0 à 10% (0, 3, 6, 8 et 10%), tests d'agglutination aux anticorps anti-O1 et anti-O139 et détection des différentes espèces de vibrions par technique de PCR interne).

**En 2014, la méthode API 20-E a été appliquée pour les échantillons récoltés au cours 3 des campagnes d'échantillonnage.**

### 2.3.1.3. Analyses statistiques

Un traitement statistique a été réalisé pour les germes totaux et revivifiants pour les périodes 2008-2014 et 1992-2014 respectivement, et pour les vibrions halophiles entre 2004 et 2014. Il permet de comparer les données enregistrées aux points Référence, Rejet et Canal et ainsi de mettre en évidence d'éventuelles différences significatives entre chacun de ces points à long terme. Pour cela, des tests de comparaisons de moyennes pour données appariées ont été utilisés. Pour chaque paramètre, le choix du test statistique le plus approprié est conditionné par l'étude de la distribution de la différence entre les valeurs prises au point A et celles prises au point B. L'étude de cette distribution est réalisée à l'aide du test de Shapiro-Wilk. Lorsque la distribution est normale, c'est le test T de Student pour données appariées qui est utilisé. Dans le cas contraire (distribution non normale), la comparaison des données est réalisée à l'aide du test de Wilcoxon pour données appariées.

Ces tests permettent de déterminer une valeur de probabilité associée *p-value*. Si la *p-value* est inférieure à 0,05, il existe une différence significative entre les deux séries de données. A l'inverse, si la *p-value* est supérieure à 0,05 nous ne pouvons pas conclure à une différence significative au seuil de 95 %.

## 2.3.2. Résultats

### 2.3.2.1. Récapitulatif des résultats des analyses microbiologiques pour l'année 2014

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes sur le site de Penly en 2014 sont présentés dans le tableau 2.20. Les valeurs retenues pour les quantités de germes revivifiants sont celles du plus fort répliquat pour le point *rejet* afin d'évaluer l'influence maximale du rejet. Pour les points *canal*, *référence* et *contrôle* ce sont les moyennes des deux répliquats qui sont retenues.

Concernant les vibrions halophiles, seules sont prises en compte les souches présentant un pourcentage d'identification supérieur à 90% (i.e. %ID > 90%). Le nombre de vibrions halophiles par répliquat est calculé comme la moyenne des valeurs observées pour chaque niveau de dilution, si plusieurs dilutions ont été réalisées. Enfin, l'abondance des vibrions halophiles sur chaque point correspond à la moyenne des deux répliquats.

		<i>Canal</i>	<i>Rejet</i>	<i>Référence</i>	<i>Contrôle</i>
<b>26 Mars</b>	<i>Germes totaux (germes/mL)</i>	$6,40 \times 10^5$	$5,40 \times 10^5$	$6,70 \times 10^5$	$6,00 \times 10^5$
	<i>Germes revivifiables (germes/mL)</i>	649	504	99	124
	<i>V. halophiles/L</i>	4Va+1Vv	absence	absence	1Va
	<i>Vibrions non identifiés/L</i>	0	1	0	1
<hr/>					
<b>26 Juin</b>	<i>Germes totaux (germes/mL)</i>	$1,95 \times 10^6$	$1,90 \times 10^6$	$1,15 \times 10^6$	$1,40 \times 10^6$
	<i>Germes revivifiables (germes/mL)</i>	648	614	183	313
	<i>V. halophiles/L</i>	850Va	400Va	4Va+7Vf	17Va
	<i>Vibrions non identifiés/L</i>	0	0	0	2
<hr/>					
<b>17 Septembre</b>	<i>Germes totaux (germes/mL)</i>	$1,35 \times 10^6$	$1,30 \times 10^6$	$1,25 \times 10^6$	$1,05 \times 10^6$
	<i>Germes revivifiables (germes/mL)</i>	776	334	798	831
	<i>V. halophiles/L</i>	585Va	145Va+1650Vv	380Va	205Va+2225Vv
	<i>Vibrions non identifiés/L</i>	2200	820	1235	0

Va = *Vibrio alginolyticus* ; Vv = *Vibrio vulnificus*; Vf = *Vibrio fluvialis*

*Vibrions non identifiés* : identification < 90%

**Tableau 2.20 : Récapitulatif des résultats de microbiologie pour 2014 à Penly**

### 2.3.2.2. Résultats du dénombrement des germes totaux

#### 2.3.2.2.a Variations spatiales et saisonnières des germes totaux en 2014

La figure 2.39 présente l'évolution des abondances en germes totaux dénombrés en 2014 sur le site de Penly. Au printemps 2014 les abondances en germes totaux sont faibles (i.e. <  $6,70 \times 10^5$  germes/mL) sur l'ensemble de la zone et une faible variabilité spatiale est observée au cours de cette période. Les abondances maximales sont observées été, les valeurs variant entre  $1,15 \times 10^6$  germes/mL sur le point *référence* et  $1,95 \times 10^6$  germes/mL sur le point *canal*. Pendant cette même période, les concentrations en germes totaux diminuent de la côte vers le large. L'automne 2014, se caractérise par des abondances en germes totaux plus faibles que celles observées pendant l'été sur la plupart des stations, à l'exception du point *référence* sur lequel les concentrations sont légèrement plus élevées que celles mesurées au cours de l'été avec respectivement  $1,25 \times 10^6$  germes/mL et  $1,15 \times 10^6$  germes/mL.

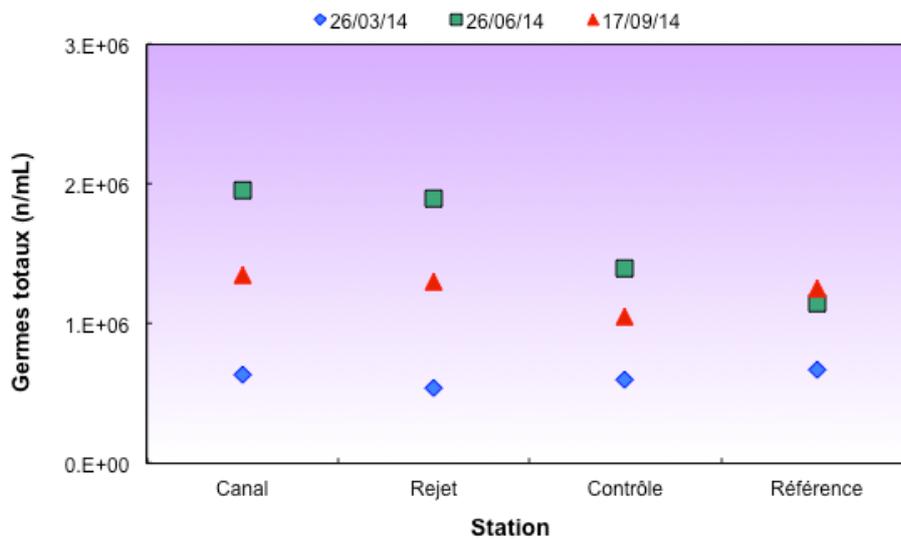


Figure 2.39 : Évolution des quantités de germes totaux par mL dénombrés par épifluorescence en 2014

2.3.2.2.b Variations interannuelles des germes totaux

La figure 2.40 présente les variations du nombre de germes totaux depuis 1989.

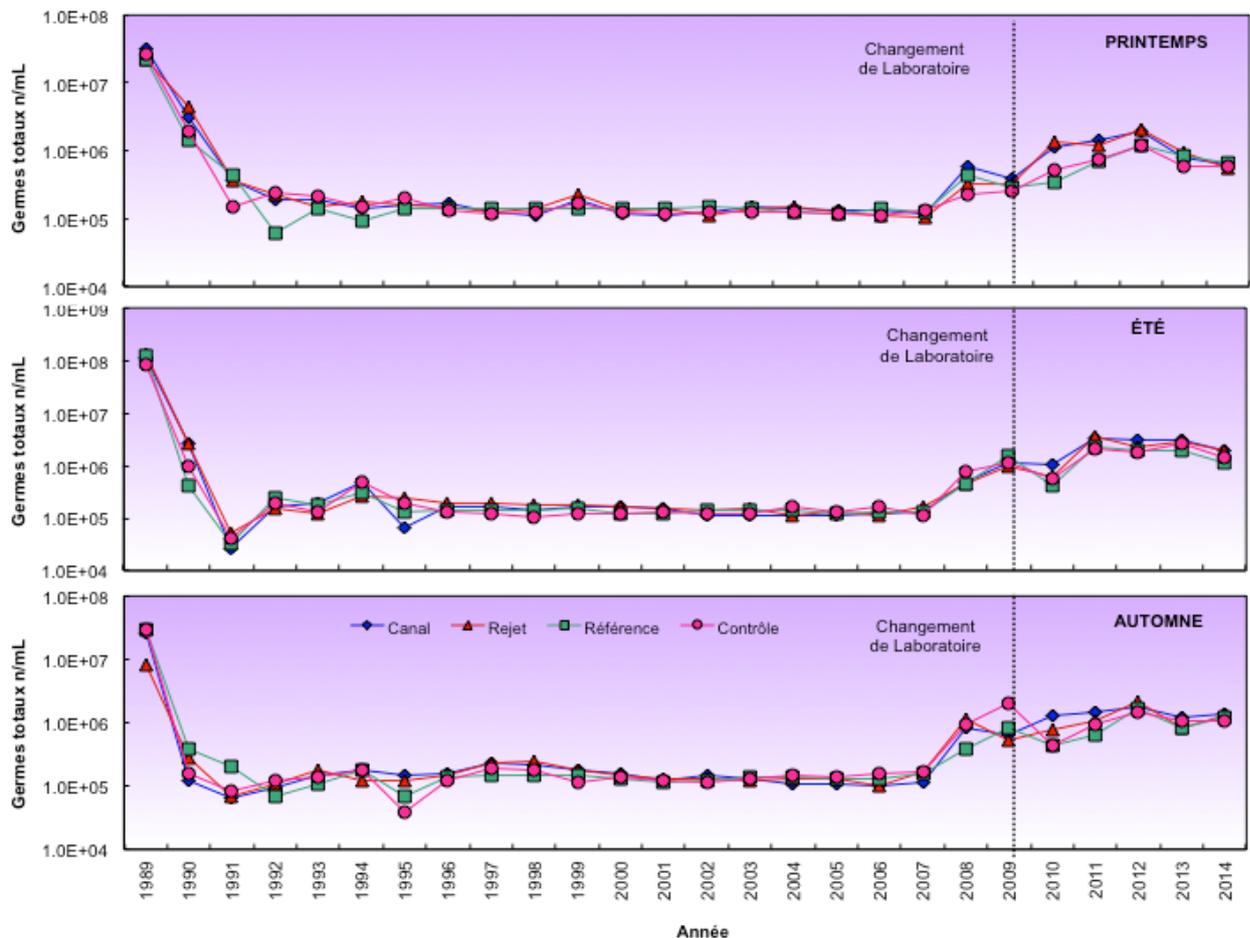


Figure 2.40 : Évolution des quantités de germes totaux depuis 1989

Les abondances en germes totaux observées en 2014 sont très proches de celles observées en 2013 sur l'ensemble de la zone et ceci pour les 3 saisons. Les abondances de germes totaux en 2014 sont

dans la gamme des valeurs habituellement observées sur la zone de Penly depuis 2009. Il faut noter le changement de laboratoire en 2008.

La figure 2.41 présente sous forme de *boîtes à moustaches* la distribution du nombre de germes totaux sur la période 1991-2014. Au cours du printemps 2014, les abondances en germes totaux sont inférieures aux médianes pluriannuelles sur les points les plus côtiers (i.e. *canal* et *rejet*). Ces faibles valeurs restent néanmoins dans la gamme des abondances observées régulièrement sur cette zone. Pour les points *contrôle* et *référence*, les abondances en germes totaux mesurées au cours du printemps 2014 sont très proches des médianes pluriannuelles. Les valeurs enregistrées au cours de l'été 2014 sont proches des médianes pluriannuelles sur l'ensemble de la zone, à l'exception du point référence où la valeur estivale de 2014 était inférieure à la médiane pluriannuelle. L'automne 2014 en revanche se caractérise des abondances supérieures aux médianes pluriannuelles sur les points *rejet* et *référence*. Sur les point *canal* et *contrôle* le nombre de germes totaux est très proche de la médiane pluriannuelle au cours de cette même période.

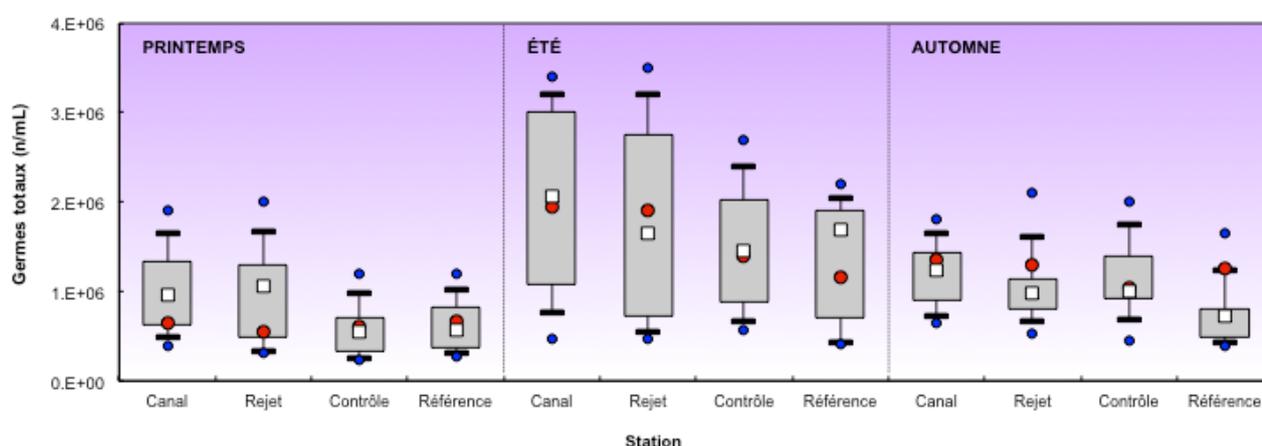


Figure 2.41 : Distributions des quantités de germes totaux (nombre par mL) depuis 2008 (i.e. année de changement de laboratoire d'analyse). Le point central représente la médiane ( $\square$ ) ; la boîte englobe 50 % des valeurs ( $\square$ ) ; les moustaches, 80 % des valeurs ( $\perp$ ). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales ( $\bullet$ ). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2014 ( $\bullet$ )

### 2.3.2.2.c Approche statistique

Le tableau 2.21 présente les résultats des tests statistiques réalisés sur le nombre de germes totaux dénombrés par épifluorescence depuis 2008. Test *t* de Student.

Comparaison	Printemps	Été	Automne
Référence / Rejet	0,2531	0,1218	0,3746
Canal / Référence	0,1439	0,7355	0,8501
Canal / Rejet	0,3962	0,3599	0,3116
Contrôle / Canal	0,062	0,2474	0,5152
Contrôle / Rejet	0,9755	0,2888	0,3324
Contrôle / Référence	0,3219	0,3483	0,2284

*p-value* <0,05 = différence significative ; *p-value* >0,05 = différence non significative

Tableau 2.21 : Probabilité associée *p* des tests statistiques sur les germes totaux (n=7 pour chaque point et chaque saison)

L'intégration des résultats obtenus en 2014 dans la série de données acquises depuis 1991 sur le site de Penly révèle l'absence de différence significative entre les différentes stations en termes

d'abondance de germes totaux. Ces résultats statistiques sont en accord avec les résultats de la figure 2.41 montrant une homogénéité des médianes pluriannuelles sur les différentes stations d'échantillonnage et ce à toutes les saisons considérées.

### 2.3.2.3. Résultats en germes aérobies revivifiables sur milieu de Zobell

#### 2.3.2.3.a Variations spatiales et saisonnières des germes aérobies viables en 2014

La figure 2.42 présente l'évolution des abondances de germes revivifiables dénombrés en 2014

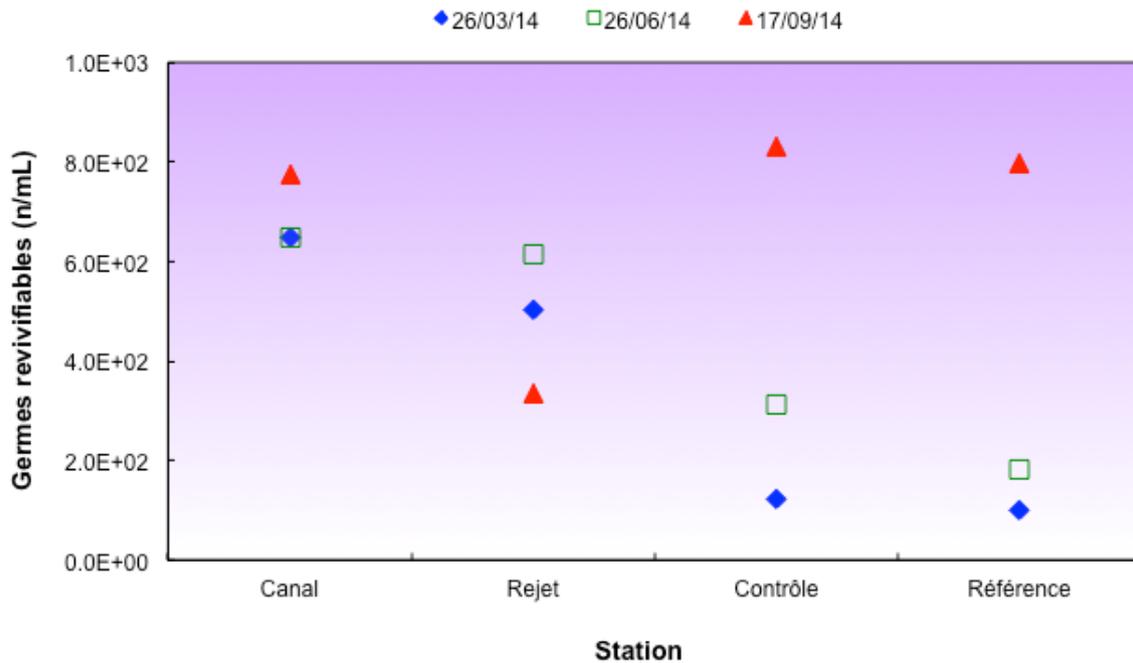


Figure 2.42 : Évolution des abondances de germes revivifiables (nombre par mL) en 2014

A l'exception du point rejet, les plus fortes abondances en germes revivifiables ont été observées au cours de l'automne 2014 sur l'ensemble de la zone, avec des valeurs variant entre 776 germes/mL sur le point *canal* et 831 germes/mL sur le point *contrôle*. Au cours de cette période, les plus fortes abondances sont observées au large sur les points *contrôle et référence*. En revanche, au cours du printemps et de l'été, le gradient côte/large est inversé ; les points les plus côtiers (i.e. *canal et rejet*) présentant des abondances en germes revivifiables plus élevées que celles mesurées plus au large sur les points *contrôle et référence*. Sur le point *rejet* les abondances les plus élevées ont été observées au cours de l'été avec 614 germes/mL ; elles restent cependant inférieures à celles mesurées au cours de la même période sur le point *canal* (i.e. 648 germes/mL). Les abondances en germes revivifiables observées au cours de l'automne 2014 sur le point *rejet* (334 germes/mL) sont en revanche bien plus faibles que celles mesurées à la même période sur les 3 autres stations.

#### 2.3.2.3.b Variations interannuelles des germes revivifiables

La figure 2.43 présente les variations de l'abondance en germes revivifiables depuis 1989. En 2014, le nombre de germes revivifiables est relativement stable au printemps à la côte (i.e. points *canal et rejet*) par rapport aux années précédentes. En revanche, les valeurs printanières de 2014 sur les points *référence et contrôle*, situés plus au large sont en légère diminution par rapport à celles mesurées précédemment à la même période. En été, on note une légère diminution des abondances sur l'ensemble de la zone par rapport aux 2 années précédentes. A l'exception des abondances

relevées au point *rejet*, les abondances automnales restent proches des valeurs mesurées précédemment à cette période.

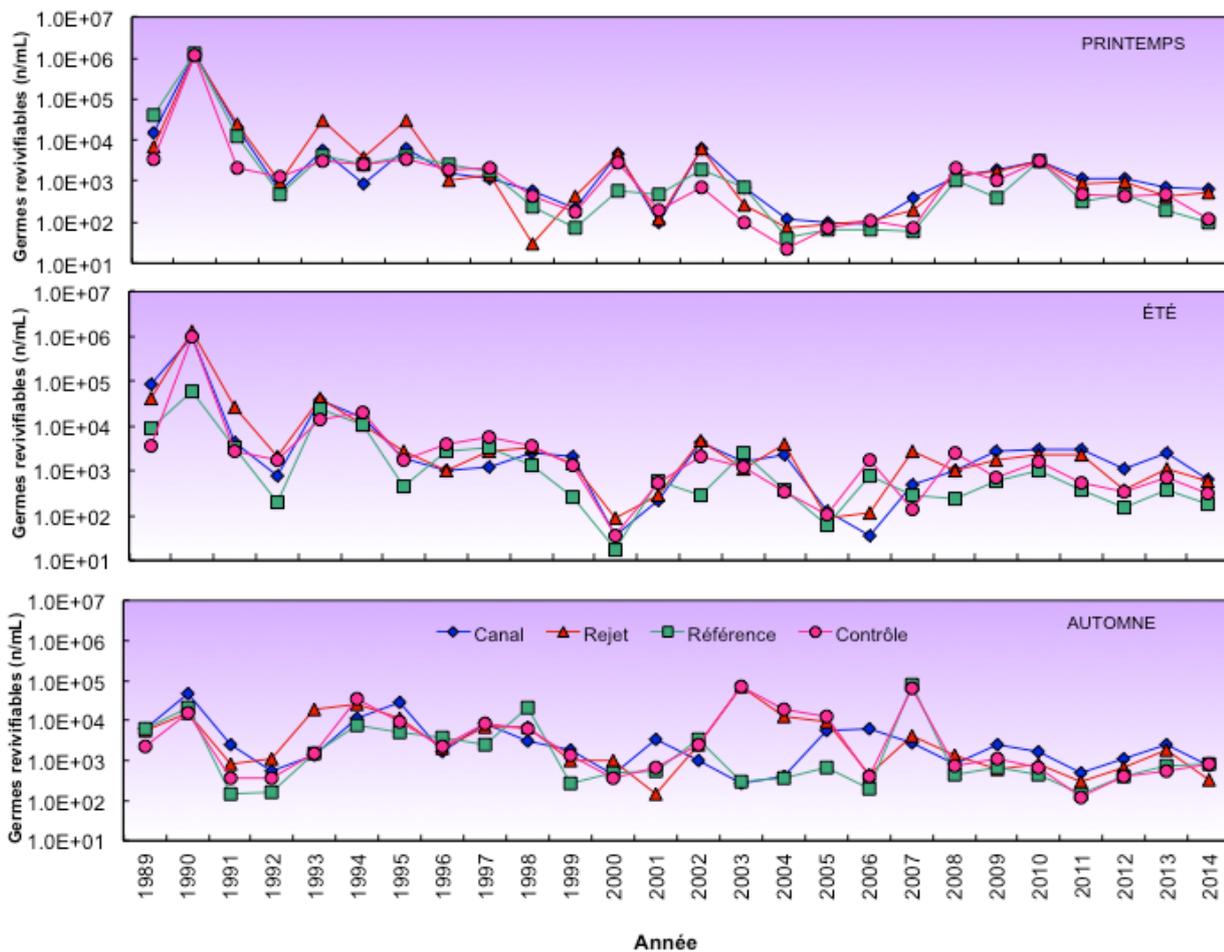


Figure 2.43 : Évolution des quantités de germes revivifiables (nombre par mL) depuis 1989

La figure 2.44 présente sous forme de *boîtes à moustaches* la distribution du nombre de germes revivifiables sur la période 1991-2014.

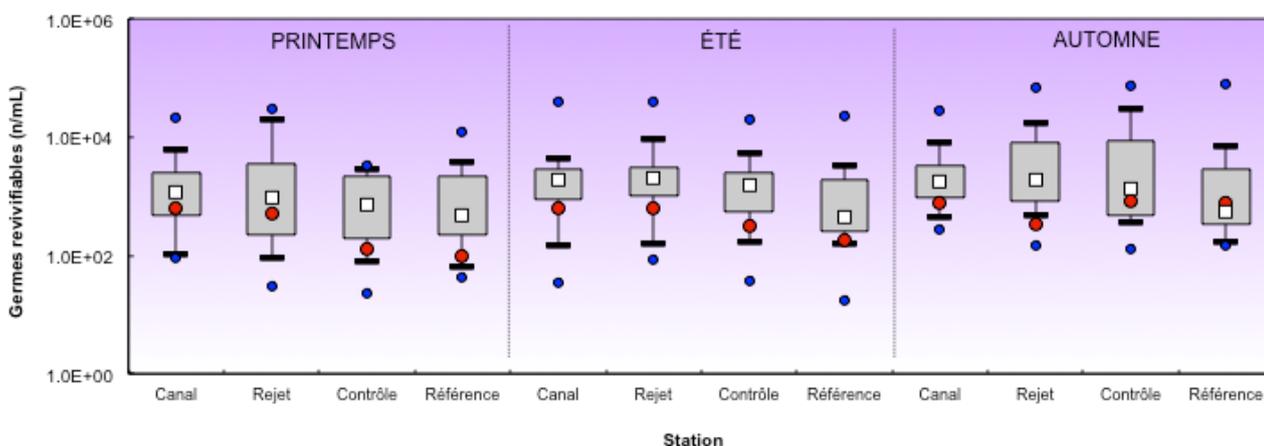


Figure 2.44 : Distributions des quantités de germes revivifiables (nombre par mL) depuis 1991. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▭) ; les moustaches, 80 % des valeurs (⊥). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2014 (●)

Les valeurs observées en 2014 au cours des trois campagnes sont toutes inférieures à la médiane pluriannuelle sur l'ensemble de la zone. Elles sont plus faibles que 50% des valeurs observées depuis 1991 sur (i) les points *contrôle* et *référence* au printemps, (ii) l'ensemble de la zone en été et (iii) sur les points *canal* et *rejet* en automne.

### 2.3.2.3.c Approche statistique

Le tableau 2.22 présente les résultats des tests statistiques pratiqués sur le nombre de germes revivifiables depuis 1991. Test *t* de Student.

Comparaison	Printemps	Été	Automne
Référence / Rejet	0,6866	0,2923	0,6813
Canal / Référence	0,9814	0,2729	0,8709
Canal / Rejet	0,6699	0,3729	0,4336
Contrôle / Canal	0,1498	0,2283	0,297
Contrôle / Rejet	<b>0,0458</b>	0,2146	0,4141
Contrôle / Référence	0,1689	0,322	0,2535

*p*-value <0,05 = différence significative ; *p*-value >0,05 = différence non significative

**Tableau 2.22 : Probabilité associée *p* des tests statistiques pour les germes revivifiables sur milieu de Zobell (n=25 pour chaque point et chaque saison)**

L'intégration des résultats de 2014 ne modifie pas les résultats observés l'an passé. Ainsi, une seule différence significative est observée entre le *contrôle* et le *rejet* au printemps. L'abondance des germes revivifiables sur le point *contrôle* étant inférieure à celle du point *rejet*. Cependant, aucune autre différence significative n'est observée entre les différentes stations et le point *rejet*. Cette absence de différence significative systématique, suggère l'absence d'un effet significatif du CNPE de Penly sur l'abondance des germes revivifiables.

### 2.3.2.4. Résultats sur l'identification et le dénombrement des vibrions halophiles

#### 2.3.2.4.a Identification de vibrions halophiles en 2014

Depuis 2006, seule la méthode de détermination EDF est utilisée. Néanmoins, les résultats obtenus avec l'ancienne méthode, propre au laboratoire de Rouen, nous ont permis d'identifier les chroniques d'apparition des différentes espèces de vibrions halophiles sur le site de Penly depuis 1992.

Cette série met en évidence une période (1995-1998) durant laquelle quasiment aucune espèce de vibrions halophiles n'a été détectée. Ceci semble peu probable et souligne les limites de l'ancienne méthode, posant le problème de sa fiabilité. La comparaison des deux méthodes entre 2004 et 2005, indique que, malgré quelques différences dues aux protocoles et milieux de culture utilisés, la méthode EDF détecte la présence des mêmes espèces de vibrions halophiles.

Les résultats obtenus avec la méthode EDF depuis 2004 sont présentés dans le tableau 2.23. Ils forment le début d'une série pluriannuelle qui sera d'ici quelques années, assez représentative des fréquences d'apparition d'espèces de vibrions halophiles à Penly.

En 2014, trois espèces ont été identifiées à proximité du CNPE de Penly : *V. alginolyticus*, *V. vulnificus* et pour la première fois *V. fluvialis*. L'espèce *Vibrio alginolyticus* est observée sur l'ensemble de la zone en été et en automne. Cette espèce est aussi présente au printemps, mais seulement sur les points *canal* et *contrôle*. Ces résultats sont en accord avec les observations



La figure 2.46 représente les abondances de vibrions halophiles sur le site de Penly depuis 2004.

A l’instar des observations de l’année 2013, les abondances maximales de vibrions halophiles sont observées en été et/ou en automne à proximité du site de Penly. Les abondances totales de vibrions halophiles observées en 2014 sont du même ordre de grandeur que celles observées précédemment sur les points *canal* et *rejet*. En revanche, l’automne 2014 se caractérise par des abondances plus élevées en automne sur les points *contrôle* et *référence* que celles observées les années précédentes. En particulier on note une tendance à l’augmentation des abondances de vibrions en automne sur le point contrôle depuis 2012.

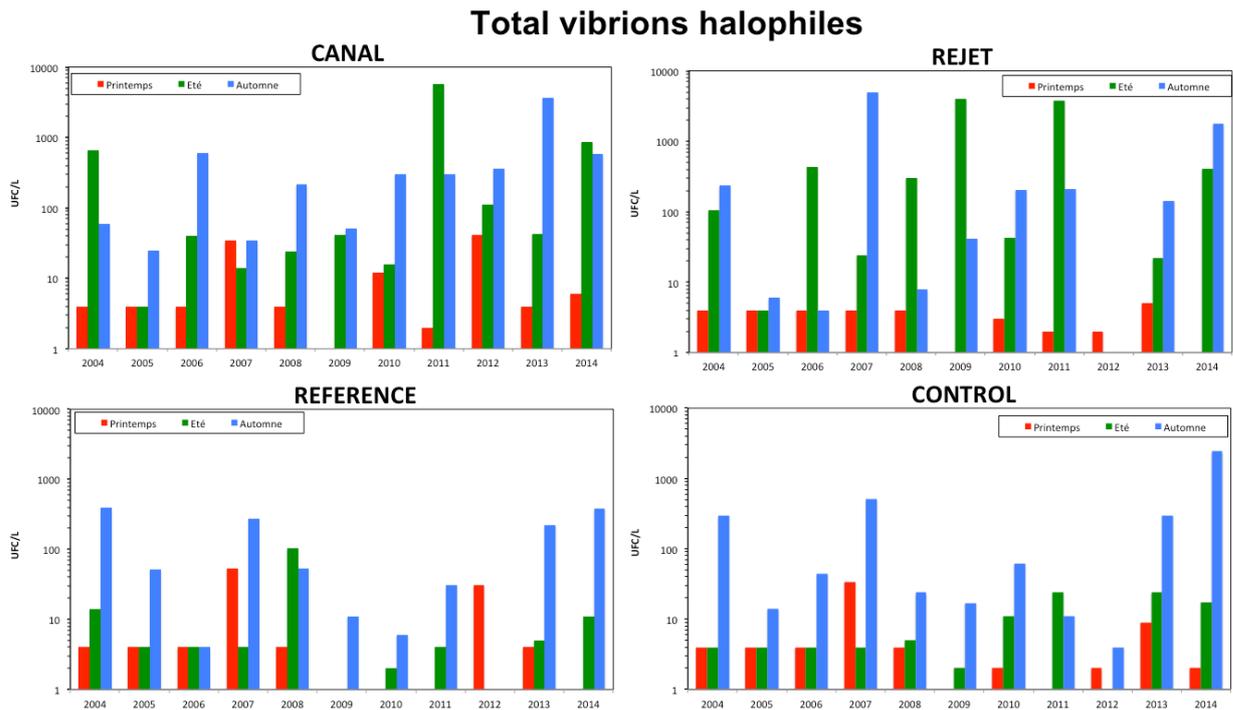


Figure 2.46 : Abondances de vibrions halophiles sur le site de Penly sur la période 2004-2014.

#### 2.3.2.4.c Approche statistique

Les dénombrements de vibrions halophiles sur les échantillons des eaux proches du CNPE de Penly sont réalisés, selon la méthode EDF depuis 2004. Le jeu de données est maintenant assez important pour réaliser des tests statistiques afin de déterminer l’absence ou la présence de différences significatives d’abondance de vibrions entre les stations. Le tableau 2.24 présente le résultat de cette étude statistique. Test *t* de Student.

Comparaison	Printemps	Été	Automne
Référence / Rejet	0,209	0,1075	0,2245
Canal / Référence	0,7977	0,2204	0,1958
Canal / Rejet	0,1044	0,7326	0,8344
Contrôle / Canal	0,2472	0,215	0,5502
Contrôle / Rejet	0,2976	0,1043	0,412
Contrôle / Référence	0,2566	0,6265	0,2934

*p*-value <0,05 = différence significative ; *p*-value >0,05 = différence non significative

Tableau 2.24 : Probabilité associée *p* des tests statistiques pour les vibrions halophiles totaux (n=11 pour chaque point et chaque saison)

Les résultats mettent en évidence l'absence de différence significative entre les stations au regard des abondances en vibrions halophiles quelle que soit la saison. Cela suggère donc que les activités de la centrale n'ont aucune influence significative sur l'abondance des vibrions halophiles cultivables à 37°C.

#### 2.3.2.4.d Composition spécifique de la communauté de vibrions au cours de l'année 2014

Au printemps et en été, les abondances de vibrions sont restées relativement faibles (figure 2.45). Les abondances plus importantes observées en automne s'accompagnent de deux espèces identifiées : *V. alginolyticus* et *V. vulnificus*. La figure 2.47 représente l'abondance relative de chacune de ces espèces sur les 4 stations au cours de l'automne 2014. L'abondance relative de l'espèce *i* ( $AR_i$ ) est calculée de la manière suivante :

$$AR_i (\%) = (A_i / A_{total}) \times 100$$

$A_i$  : abondance de l'espèce *i*

$A_{total}$  : abondance totale des espèces identifiées avec une confiance >90%

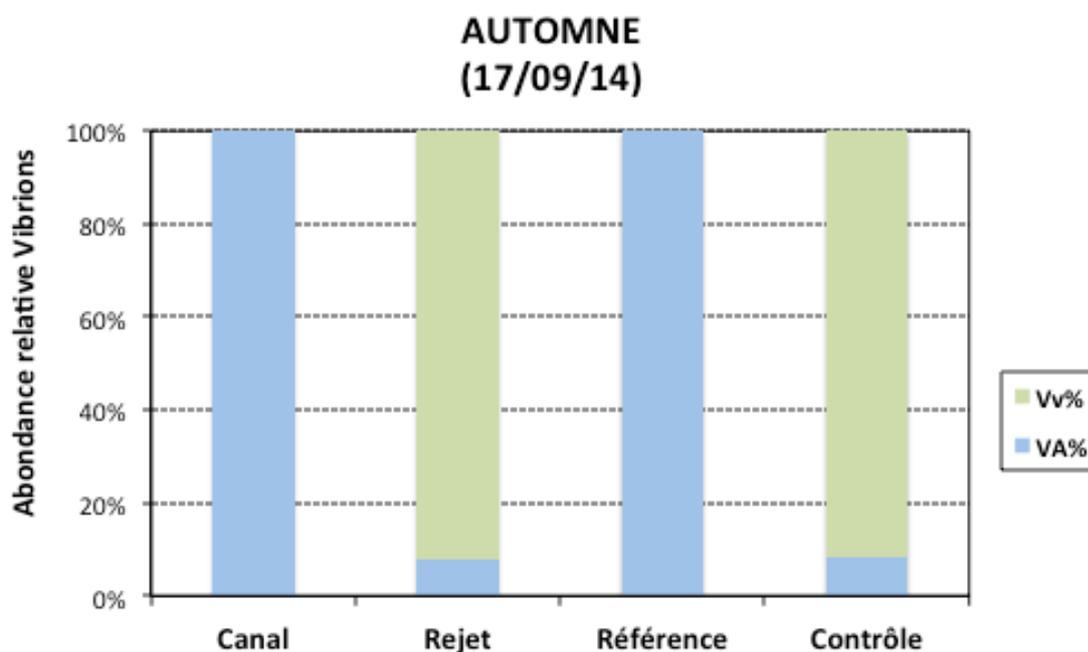


Figure 2.47 : Abondances relatives (%) des vibrions halophiles au cours de l'automne 2014.  
Va : *V. alginolyticus* ; Vv : *V. vulnificus*

A cours de l'automne 2014, la composition de la communauté de vibrions halophiles cultivables à 37°C est très hétérogène sur la zone à proximité du CNPE et aucune structure spatiale ne peut être mise en évidence.

### 2.3.3. Conclusions

A l'instar des années précédentes, en 2014 les plus fortes abondances en germes totaux ont été observées au cours de l'été sur les points *canal*, *rejet* et *contrôle*. En revanche, concernant le point *référence* les plus fortes abondances ont été observées au cours de l'automne 2014. Au cours de ces deux périodes, l'abondance en germes totaux diminue de la côte vers le large. En revanche, les valeurs enregistrées au cours de l'été 2014 sont très inférieures aux médianes pluriannuelles sur l'ensemble de la zone de Penly mais restent néanmoins dans la gamme des concentrations habituellement rencontrées à cette période sur cette zone. L'automne 2014 en revanche se caractérise par des abondances supérieures aux médianes pluriannuelles sur les points *rejet* et *référence*.

Sur le point *canal* le nombre de germes totaux est très proche de la médiane pluriannuelle au cours de cette même période. On note également des valeurs plus faibles que la médiane pluriannuelle sur le point *contrôle* à cette période. Les résultats des tests statistiques ne montrent aucune différence significative entre les stations au regard des abondances en germes totaux au cours des différentes périodes d'étude.

A l'instar de ce qui est généralement observé sur le site de Penly, les germes revivifiables étaient plus abondants en été et en automne au cours de l'année 2014. A l'exception du point *rejet*, les plus fortes abondances en germes revivifiables ont été observées au cours de l'automne 2014 sur l'ensemble de la zone. Au cours de cette période, les plus fortes abondances sont observées au large sur les points *contrôle* et *référence*. En revanche, au printemps et en été, le gradient côte/large est inversé ; les points les plus côtiers (i.e. *canal* et *rejet*) présentant des abondances en germes revivifiables les plus élevées. Sur le point *rejet* les abondances les plus élevées ont été observées au cours de l'été mais restent cependant inférieures à celles mesurées au cours de la même période sur le point *canal*. Par ailleurs les abondances en germes revivifiables observées au cours de l'automne 2014 sur le point *rejet* sont en revanche bien plus faibles que celles mesurées à la même période sur les 3 autres stations. L'année 2014 se caractérise par des abondances en germes revivifiables inférieures aux médianes pluriannuelles sur l'ensemble de la zone. L'intégration des résultats de l'année 2014 met en évidence une différence significative entre les points *contrôle* et *rejet* au printemps, à l'instar de ce qui a été observé en 2013. Cependant, aucune autre différence significative n'est apparue entre le point *rejet* et les autres points échantillonnés, suggérant un impact très limité du fonctionnement du CNPE sur l'abondance en germes revivifiables à proximité du site.

Les abondances en vibrions halophiles relevées au cours de l'année 2014 sur le site de Penly sont en accord avec le cycle saisonnier observé généralement sur cette zone avec des abondances plus élevées au cours des périodes estivale et automnale. Les abondances totales de vibrions halophiles observées en 2014 sont du même ordre de grandeur que celles observées précédemment sur les points *canal* et *rejet*. En revanche, l'automne 2014 se caractérise par des abondances plus élevées en automne sur les points *contrôle* et *référence* que celles observées les années précédentes. En particulier on note une tendance à l'augmentation des abondances de vibrions en automne sur le point *contrôle* depuis 2012.

En 2014, trois espèces ont été identifiées à proximité du CNPE de Penly : *V. alginolyticus*, *V. vulnificus* et pour la première fois *V. fluvialis*. L'espèce *Vibrio alginolyticus* est observée sur l'ensemble de la zone en été et en automne. *V. vulnificus* a été observée sur le point *canal* au printemps et sur les points *contrôle* et *rejet* en automne. L'espèce *V. fluvialis* a été observée pour la première fois à proximité du CNPE de Penly en été sur le point *référence*. Les données de 2014 confirment donc la dominance de *V. alginolyticus* dans les eaux proches de

la centrale puisque cette espèce est systématiquement observée depuis 1999. En revanche, l'automne 2014 a été marqué par la dominance de *V. vulnificus* sur les points *rejet* et *contrôle*. Par ailleurs, aucune autre différence significative n'est apparue entre le point *rejet* et les autres points échantillonnés, suggérant un impact très limité du fonctionnement du CNPE sur l'abondance en vibrions à proximité du site.

En conclusion, la composition de la communauté est en accord avec les observations réalisées précédemment et l'étude de l'ensemble des paramètres du compartiment microbiologique n'a pas mis en évidence de modification significative du milieu pour ces paramètres, liée à l'activité du CNPE de Penly.

## 2.4 Chapitre Zooplancton

*Rédaction :* Elvire Antajan (LER – BL)

*Analyses :* Elvire Antajan (LER – BL)  
Rémy Cordier (LER – BL)  
Françoise Vérin (LER – BL)  
Florent Caradec (Dynéco Pélagos)

*Prélèvements :* Frank Maheux (LERN),  
Olivier Pierre-Duplessix (LERN)



## 2.4. Zooplancton

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

Les changements détectables dans l'abondance ou la composition des espèces du zooplancton peuvent refléter des changements fondamentaux dans l'environnement océanique affectant le phytoplancton. Comme un grand nombre d'espèces 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.

### 2.4.1. Matériels et méthodes

En 2014, les trois campagnes de prélèvements ont eu lieu les 26 mars, 26 juin et 17 septembre. Lors de chaque campagne, quatre points sont étudiés :

- Le point *canal* (situé à l'entrée du canal d'amenée de la centrale) ;
- Le point *rejet* (situé dans les turbulences du rejet) ;
- Le point *contrôle* (situé au large du rejet) ;
- Le point *référence* (situé au large, au-delà de la zone d'influence de la centrale).

Les échantillons zooplanctoniques ont été collectés à l'aide d'un filet à plancton de type WP2 (ouverture 0,25 m<sup>2</sup>, hauteur 261 cm, cylindro-conique, vide de maille 200 µm – Fraser 1968<sup>1</sup>). Le filet est descendu jusqu'à environ 3 mètres au-dessus du fond puis est ramené à la surface à une vitesse de 1 m s<sup>-1</sup>. Un volucompteur est attaché à l'entrée du filet afin de connaître précisément le volume d'eau filtré. Pour chaque point de prélèvement deux traits de filet à plancton ont été effectués. L'un des deux échantillons collectés est aussitôt filtré à bord sur des soies et congelés afin d'évaluer la biomasse sestonique (mesure du poids sec et composition en carbone et azote), l'autre échantillon est formolé en vue du dénombrement des espèces animales.

Les prélèvements au filet WP2 ne permettant pas une estimation fiable de l'abondance des cténaires qui peuvent être de dimension centimétrique, ceux-ci sont collectés lors des campagnes halieutiques en même temps que l'ichtyoplancton avec un Bongo équipé de deux filets de 500 µm de vide de maille et ayant une ouverture de 60 cm. Ces prélèvements ont eu lieu lors de 4 campagnes de prélèvement entre avril et mai aux points *canal*, *rejet* et *large* (voir chapitre ichtyoplancton pour plus de détails sur ces prélèvements).

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

### 2.4.2. Mesure de la biomasse sestonique

Les prélèvements au filet à plancton destinés à la mesure de la biomasse sestonique ont été filtrés immédiatement à bord sur des soies de 100 µm pré-pesées, congelées et transportées au laboratoire. Selon la concentration des échantillons plusieurs soies peuvent être nécessaires pour un même échantillon. Ces soies ont ensuite été séchées dans une étuve à 60 °C pendant 48 heures. Les soies comportant le plancton séché ont alors été pesées et les poids secs, ou biomasses du seston, déduits. Le poids sec récolté et le volume filtré permettent d'évaluer le poids sec (mg) par unité de volume (m<sup>3</sup>).

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

Le poids sec mesuré et le volume filtré permettront d'évaluer le poids sec (mg) par unité de volume (m<sup>3</sup>).

### 2.4.3. Analyse taxinomique

Les prélèvements zooplanctoniques destinés au dénombrement des espèces animales sont rincés sur un tamis de 200 µm afin d'éliminer le formol et les particules les plus fines qui gênent le comptage du zooplancton. En fonction de la concentration de l'échantillon celui-ci est fractionné en sous-échantillons à la boîte de Motoda (Motoda 1983). Le sous-échantillon est alors analysé au ZooScan, un système d'imagerie numérique permettant la numérisation des prélèvements du zooplancton en milieu liquide et utilisant l'analyse d'image pour détecter, compter et mesurer le zooplancton (Gorsky et al. 2010). L'emploi des méthodes automatiques de classification d'objets permet de classer rapidement les organismes en grands groupes faunistiques. Le nombre d'individus comptés est ensuite ramené au volume total de l'échantillon (ind. m<sup>-3</sup>).

La bibliographie utilisée pour l'identification des zooplanctontes est très variée et inclue notamment : les fiches d'identification du plancton CIEM - (1939 - 1986), un manuel d'identification du zooplancton côtier (Todd et al. 1996), et des clés de détermination pour des groupes spécifiques tels que les copépodes pélagiques (Rose, 1933) ou les larves de décapodes (Martin, 2001) par exemple.

### 2.4.4. Données disponible depuis le début de la série

Le suivi du zooplancton dans le milieu marin proche du site de Penly n'est pas régulier depuis son origine en 1977, autant dans le temps que dans l'espace (Tableau 2.25).

De mars à août 1977 seul deux stations ont été échantillonnées mensuellement dans le cadre de l'étude d'avant-projet. Puis de 1978 à 1980 (étude écologique) le nombre de stations est passé à quatre, toujours avec une fréquence mensuelle. Le suivi tel qu'il est aujourd'hui (stations + fréquence + périodes) a commencé en 1987 avec quatre points de prélèvement et 3 campagnes de prélèvements par an de Mars à Octobre.

Périodes	Nb de stations	Fréquence	Réplicas	Données manquantes	Remarques
Mars – Aout 1977	2	Mensuelle	2	Mai	Stations abandonnées
1978-1980	4	Mensuelle	10 (cycle de marée)	Décembre 1979	Stations abandonnées
1981-1986		Pas de données (mise en place de la Centrale)			
1987-aujourd'hui	4	Saisonnier (printemps, été, automne)	1	Rejet et Canal en Avril 1990, Mars 1993, Septembre 1999	Stations actuelles

**Tableau 2.25. Stratégie du suivi zooplanctonique à Penly depuis 1977**

Toutefois la validation complète (et récente) des données n'a pu être effectuée que depuis 1993 ; avant cette date aucune donnée brute n'est disponible en format numérique et les rapports étaient souvent peu précis et incomplets.

Au regard de l'évolution de la stratégie du suivi zooplanctonique sur le site de Penly depuis 1977 (pas d'échantillonnage, choix et localisation des stations), et de notre capacité à valider les données sur la base des feuilles de comptage et/ou des rapports écrits, il est recommandé de ne prendre en compte dans les analyses des comparaisons annuelles que les années allant de 1993 à nos jours.

## 2.4.5. Résultats

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de mesure pour l'année 2014 sur le site de Penly sont présentés dans le tableau 2.26 :

	PARAMETRES	CANAL	REJET	CONTROLE	RÉFÉRENCE
26 MARS 2014	<i>Poids sec (mg/m<sup>3</sup>)</i>	122.3	38.6	30.9	18.9
	<i>Poids de carbone (mg/m<sup>3</sup>)</i>	34.170	13.144	12.630	7.153
	<i>Poids d'azote (mg/m<sup>3</sup>)</i>	6.985	3.074	3.032	1.769
	<i>Abondance holoplancton (ind./m<sup>3</sup>)</i>	611	749	677	601
	<i>Abondance méroplancton (ind./m<sup>3</sup>)</i>	802	717	1876	1731
	<i>Abondance zooplancton totale (ind./m<sup>3</sup>)</i>	1413	1466	2553	2332
26 JUIN 2014	<i>Poids sec (mg/m<sup>3</sup>)</i>	44.7	66.1	171.4	79.0
	<i>Poids de carbone (mg/m<sup>3</sup>)</i>	0.133	0.253	0.540	0.478
	<i>Poids d'azote (mg/m<sup>3</sup>)</i>	7.122	17.209	60.083	28.612
	<i>Abondance holoplancton (ind./m<sup>3</sup>)</i>	105	795	5157	4647
	<i>Abondance méroplancton (ind./m<sup>3</sup>)</i>	46	34	1162	1107
	<i>Abondance zooplancton totale (ind./m<sup>3</sup>)</i>	151	829	6319	5754
17 SEPTEMBRE 2014	<i>Poids sec (mg/m<sup>3</sup>)</i>	10.9	20.8	96.3	47.9
	<i>Poids de carbone (mg/m<sup>3</sup>)</i>	1.862	5.949	32.420	17.032
	<i>Poids d'azote (mg/m<sup>3</sup>)</i>	0.353	1.466	8.100	4.213
	<i>Abondance holoplancton (ind./m<sup>3</sup>)</i>	18	2233	4947	4777
	<i>Abondance méroplancton (ind./m<sup>3</sup>)</i>	6	13	118	891
	<i>Abondance zooplancton totale (ind./m<sup>3</sup>)</i>	25	2246	5065	5669

Tableau 2.26 : Récapitulatif des résultats de 2014 pour l'étude du zooplancton

## 2.4.6. Biomasse sestonique

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

sédiments dans la colonne d'eau. Dans ce cas il est difficile d'attribuer la biomasse sestonique à celle du zooplancton.

#### 2.4.6.1. Variations spatiales et temporelles en 2014

Au cours de l'année 2014, la biomasse sestonique a varié entre 10,9 mg m<sup>-3</sup> au point *canal* en septembre et 171,4 mg m<sup>-3</sup> au point *contrôle* en juin (figure 2.50).

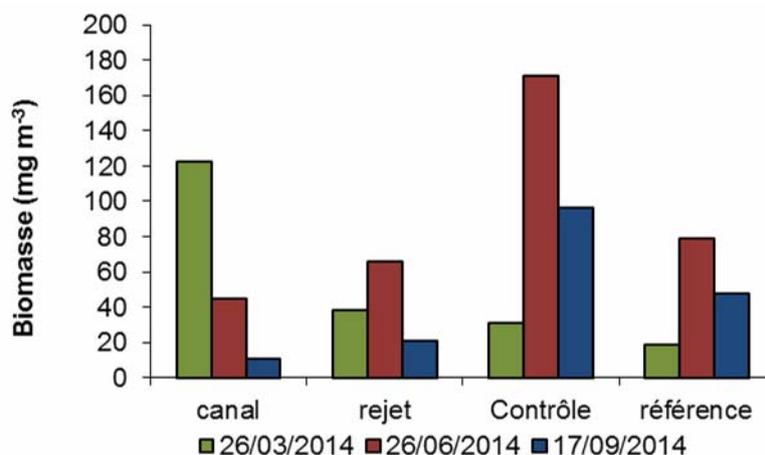


Figure 2.50 : Évolution de la biomasse sestonique (poids sec) au cours des trois campagnes de surveillance 2014

En mars, la biomasse sestonique présentait des valeurs décroissantes de la côte vers le large. Au contraire lors des campagnes de juin et septembre, la biomasse sestonique était plus importante vers le large, en particulier au point *contrôle*. Cette année encore, la biomasse sestonique et l'abondance zooplanctonique n'étaient pas corrélées (cf. figure 2.54) confirmant que la biomasse sestonique ne peut pas être utilisée comme un proxy de l'abondance zooplanctonique. Les rapports C/N, calculés d'après les teneurs en carbone et azote, étaient compris entre 4 à 5, sauf au point *canal* où ce rapport était compris entre 5 et 7 en juin et septembre (figure 2.51). Le rapport C/N peut habituellement caractériser un compartiment tel que le zooplancton (rapport C/N ~ 4-5 ; Mauchline, 1998) ou le phytoplancton (C/N ≥ 6 ; Biddanda & Benner, 1997<sup>2</sup>). Il semble donc qu'au point *canal* le rapport C/N plus important mesuré en septembre était en partie due à la présence de fragments d'algues dans les échantillons alors qu'aux autres points de prélèvement les rapports C/N étaient plus caractéristiques du zooplancton.

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

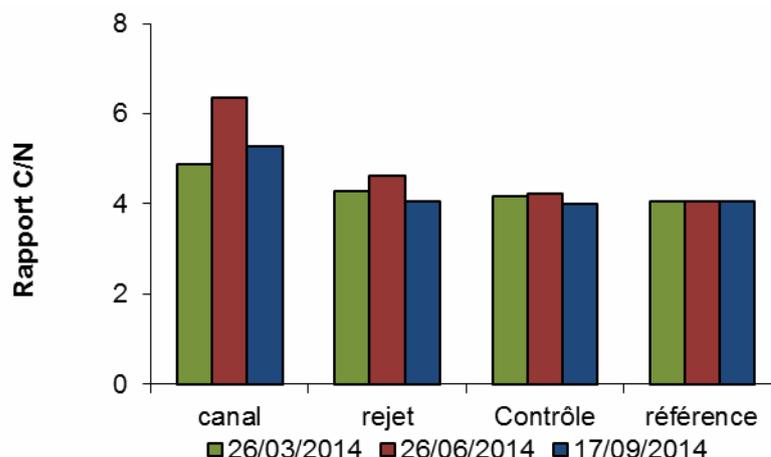


Figure 2.51 : Évolution du rapport C/N du seston au cours des trois campagnes de surveillance 2014

#### 2.4.6.2. Variations interannuelles

A l'exception du point *canal* en mars et du point *contrôle* en juin et septembre qui présentaient des valeurs de biomasse sestonique très au-dessus des valeurs historiques, les autres valeurs étaient toutes dans la moyenne de ce qui est observé sur le site depuis 1993 (figures 2.52 et 2.53). Les plus fortes dispersions des valeurs de la série 1993-2014 ont été observées pour les campagnes printanières et estivales (figure 2.53). Les biomasses sestoniques sont en général toujours plus faibles en automne.

#### 2.4.6.3. Approche statistique

Pour vérifier si la biomasse sestonique est significativement différente entre les points de prélèvement, une analyse de variance à un critère de classification (ANOVA one-way) a été appliquée sur la série temporelle après normalisation des variables par transformation  $\log(x+1)$  et vérification de l'homogénéité des variances (test de Bartlett). Les résultats des tests statistiques sur l'ensemble des valeurs acquises depuis 1993 sont présentés dans le tableau 2.27.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTE	AUTOMNE
n	83	88	88
P	0,315	<b>0,007</b>	<b>0,025</b>

( $p < 0,05$  = différence significative ; n = nombre de données)

Tableau 2.27 : Probabilité associée  $p$  des tests statistiques sur la biomasse de 1993 à 2014

Les biomasses sestoniques estivales et automnales observées depuis 1993 sont significativement différentes entre les points de prélèvement. Une analyse post-hoc de comparaison multiple (test de Tuckey) montre que c'est la moyenne de la biomasse du point *canal* qui est significativement plus faible en été et en automne que celles des autres points. Au printemps les biomasses sestoniques ne sont pas significativement différentes d'un point à l'autre.

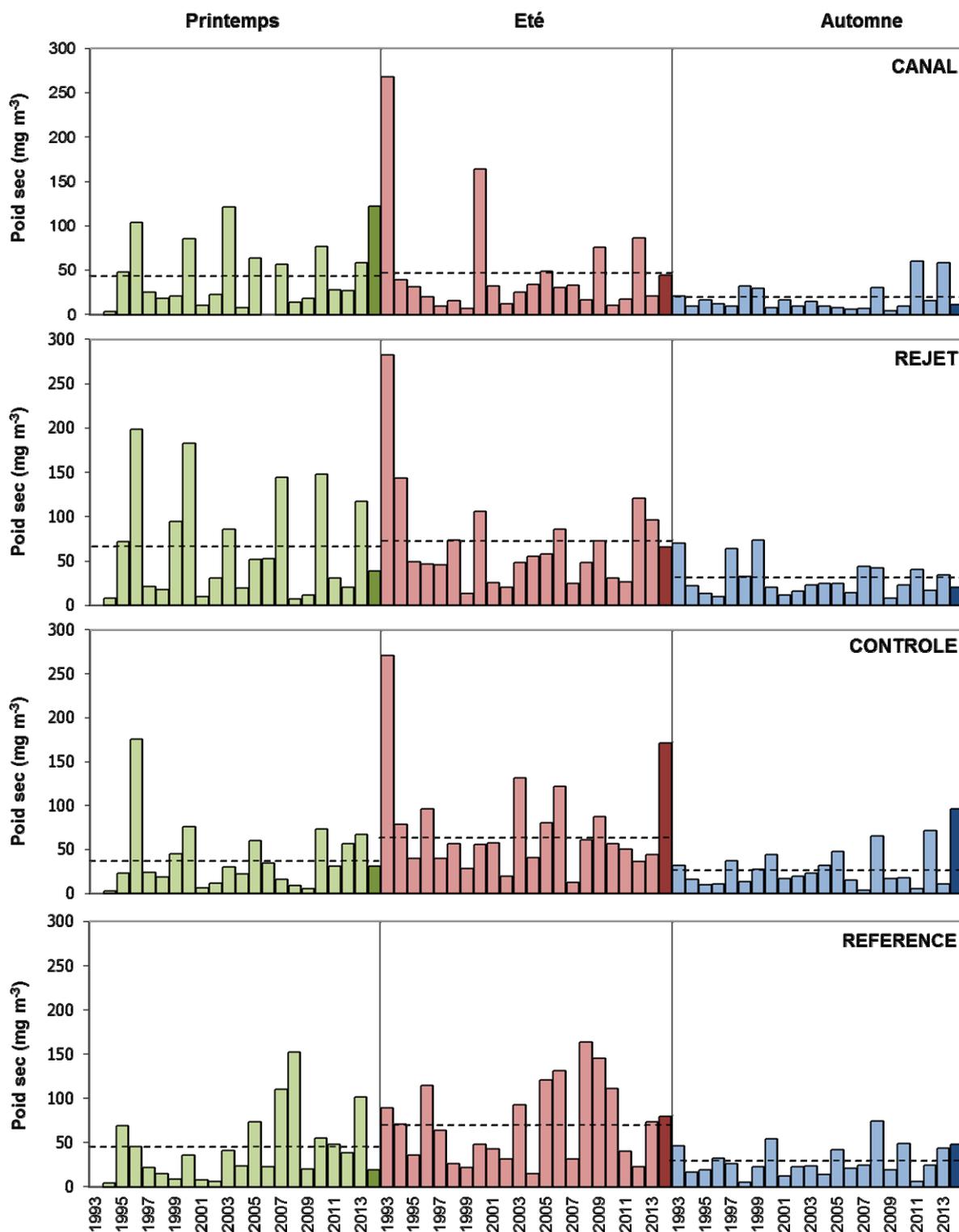
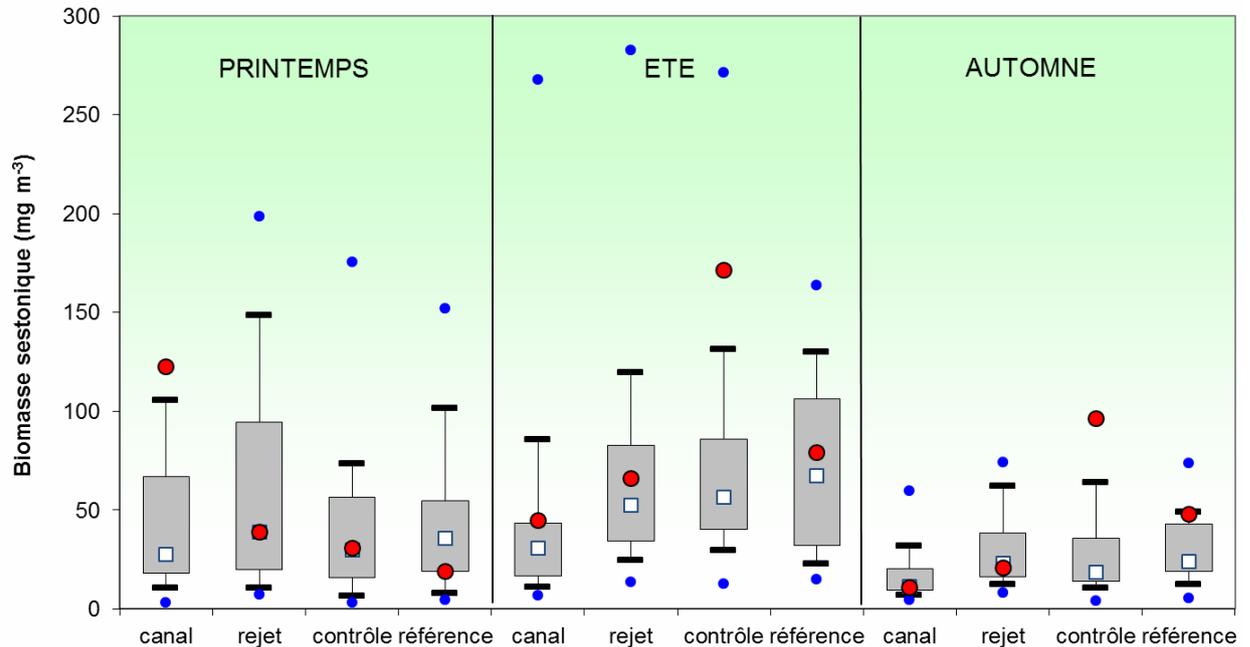


Figure 2.52 : Évolution de la biomasse sestonique (poids sec) de 1993 à 2014.  
La ligne hachurée représente la médiane par saison et par point.



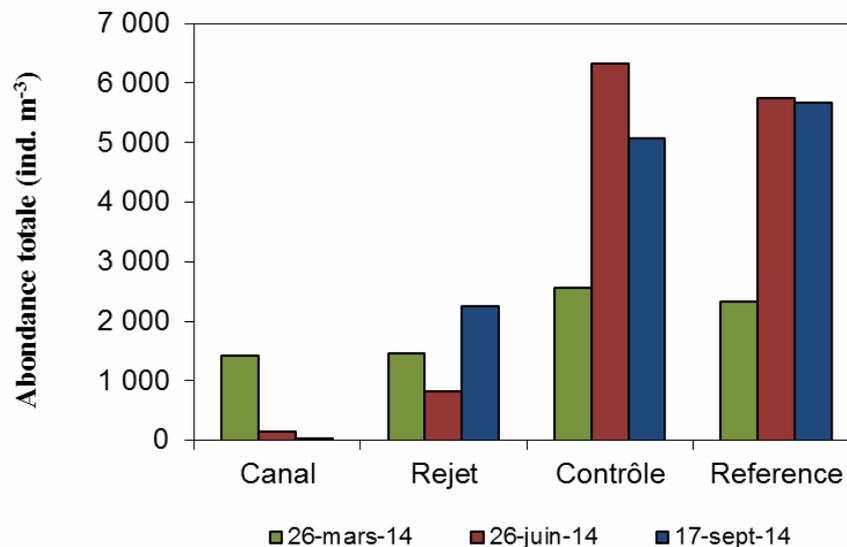
**Figure 2.53 : Évolution de la biomasse sestonique (poids sec) de 1993 à 2014.**

Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▭) ; les moustaches, 80 % des valeurs (┌┐). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2013 (●).

## 2.4.7. Abondances zooplanctoniques globales

### 2.4.7.1. Variations spatiales et temporelles en 2014

Les dénombrements zooplanctoniques effectués en 2014 sont présentés sur la figure 2.54 et sont exprimés en nombre d'individus par m<sup>3</sup> d'eau de mer. On y observe un net gradient de densité du zooplancton de la côte vers le large quelle que soit la période de prélèvement. La plus forte abondance a été observée en juin au point *contrôle* avec 6 319 ind. m<sup>-3</sup>, et la plus faible, en septembre, au point *canal* avec 25 ind. m<sup>-3</sup>.



**Figure 2.54 : Évolution de l'abondance zooplanctonique au cours des trois campagnes de surveillance 2014**

13

2.4.7.2. Variations interannuelles

Les abondances zooplanctoniques observées en 2014 étaient globalement dans la moyenne des valeurs observées depuis 1993 (figure 2.55). Toutefois, les abondances minimales de la série ont été observées cette année aux points *canal* et *rejet* en juin et au point *canal* en septembre. Lors des prélèvements de juin et septembre les abondances étaient plus importantes aux points *contrôle* et *référence*.

Les plus fortes dispersions de valeurs de la série 1993-2014 sont observées pour les campagnes printanières et estivales aux points *rejet*, *contrôle* et *référence* traduisant ainsi la forte variabilité interannuelle des abondances zooplanctoniques sur ces points (figure 2.53). L'évolution interannuelle montre que les abondances sont en général plus faibles en automne.

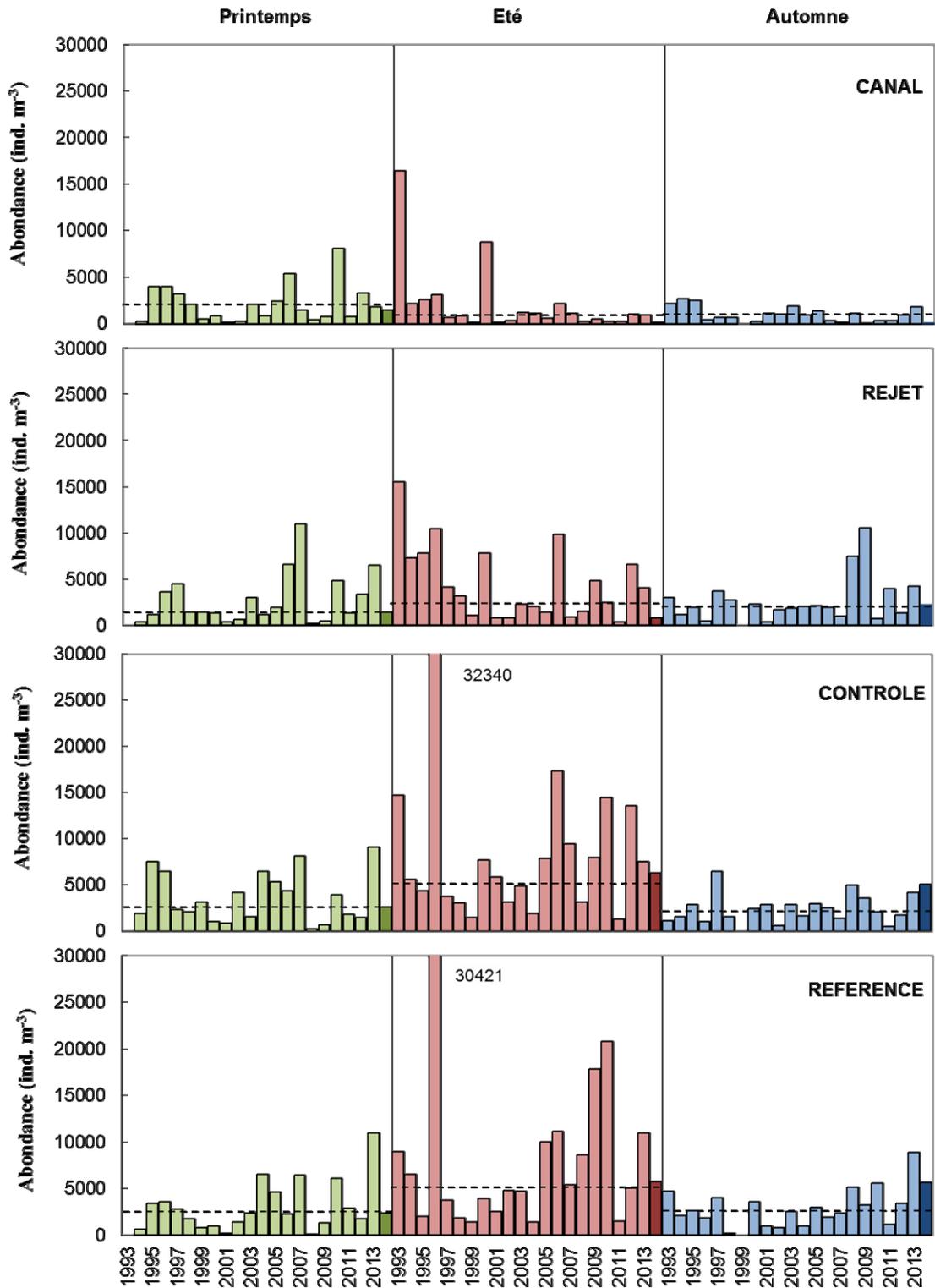
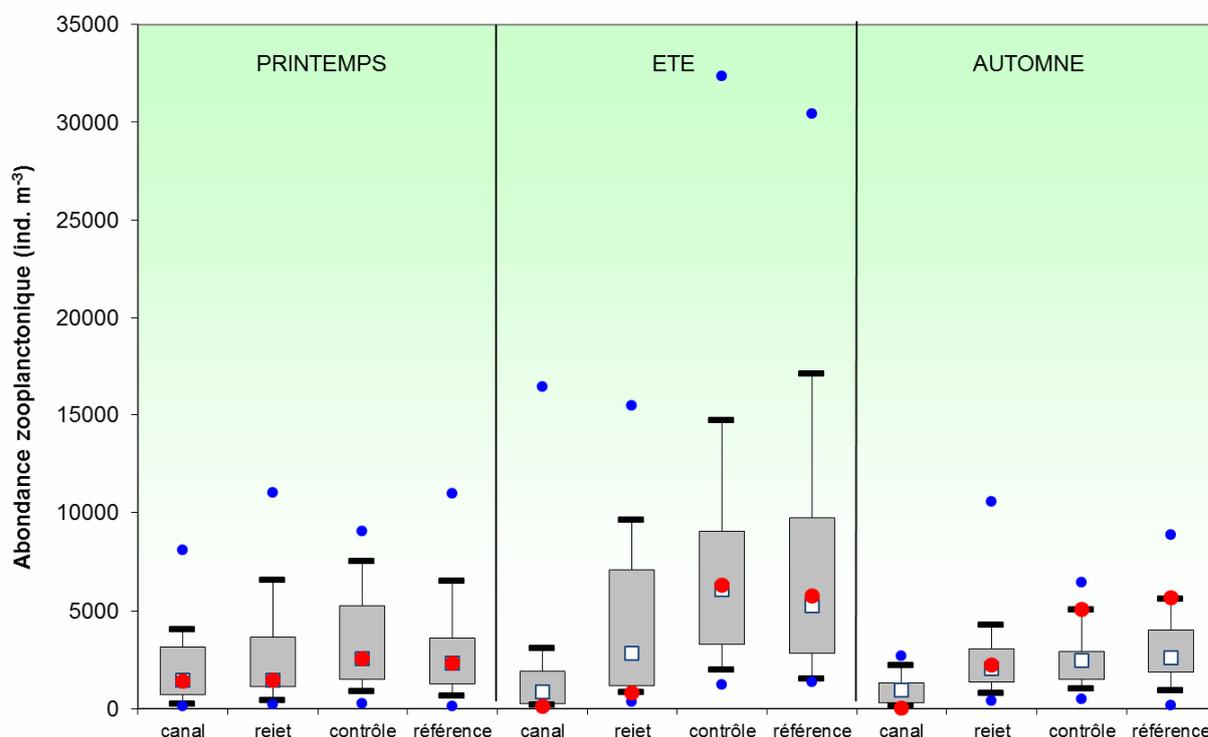


Figure 2.55 : Évolution de l'abondance zooplanctonique de 1993 à 2014.

La ligne hachurée représente la médiane par saison et par point.



**Figure 2.56 : Évolution de l'abondance zooplanctonique de 1993 à 2014.**

Le point central représente la médiane ( $\square$ ) ; la boîte englobe 50 % des valeurs ( $\square$ ) ; les moustaches, 80 % des valeurs ( $\top$ ). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales ( $\bullet$ ). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2013 ( $\bullet$ )

#### 2.4.7.3. Approche statistique

Pour comparer les abondances zooplanctoniques entre les points *canal*, *rejet*, *contrôle* et *référence* à chaque saison, une analyse de variance à un critère de classification (ANOVA one-way) a été appliquée sur la série temporelle après normalisation des variables par transformation  $\log(x+1)$  et vérification de l'homogénéité des variances (test de Bartlett). Les résultats des tests statistiques sur l'ensemble des valeurs acquises depuis 1993 sont présentés dans le tableau 2.28.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTE	AUTOMNE
<i>n</i>	80	84	80
<i>p</i>	0189	<b>0,000</b>	<b>0,0001</b>

( $p < 0,05$  = différence significative ; n = nombre de données)

**Tableau 2.28 : Probabilité associée *p* des tests statistiques sur les abondances de 1993 à 2013**

Les résultats des tests indiquent que les abondances zooplanctoniques printanières ne sont pas significativement différentes d'un point à l'autre. Par contre, en été et en automne l'ANOVA montre une différence significative d'abondance selon les points de prélèvement. Une analyse post-hoc de comparaison multiple (test de Tuckey) montre que c'est la moyenne des abondances du point *canal* qui diffère de manière significative avec celles des points *rejet*, *contrôle* et *référence*. Comme observé sur les figures 2.55 et 2.56, le point *canal* semble donc bien être caractérisé par des abondances zooplanctoniques plus faibles que pour les autres points de prélèvement.

## 2.4.8. Étude faunistique

### 2.4.8.1. Variations spatio-temporelles de l'holoplancton et du méroplancton

Un certain nombre d'espèces accomplissent l'intégralité de leur cycle biologique (œufs, larves, adultes) au sein du milieu pélagique ; ce sont les espèces holoplanctoniques. Les crustacés copépodes représentent généralement une part importante de cette fraction. Selon la saison, s'y ajoutent quelques espèces moins abondantes, appartenant à d'autres embranchements comme les cladocères, les appendiculaires et les chaetognathes. D'autres organismes holoplanctoniques comme les mysidacés, les gammaridés et les cténaïres ont été très peu ou pas présents lors des trois campagnes 2014 (tableau 2.29).

	26 mars 2014				26 juin 2014				17 septembre 2014															
	Canal		Rejet		contrôle		référence		Canal		Rejet		contrôle		référence									
	N/m <sup>3</sup>	%	N/m <sup>3</sup>	%	N/m <sup>3</sup>	%	N/m <sup>3</sup>	%	N/m <sup>3</sup>	%														
<b>holoplancton</b>																								
Copépodes	585	96	725	97	611	90	486.4	81	28.34	27	668	84	4835	94	3981	86	14.93	82	2194	98	4744	96	4287	90
Appendiculaires	16	3	18	2	64	9	115	19	55	53	123	15	278	5	493	11	2	12	36	2	125	3	350	7
Chaetognathes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	78	2	141	3
Cumacés	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	0	0	0	0	0	1	6	0	0	0	0	0	0
Gammaridés	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mysidacés	10.45	2	6	1	2	0	0	0	19	19	3	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Cladocères	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43	1	173	4	0	0	0	0	0	0	0	0
Cténaïres	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>total holoplancton</b>	<b>611</b>	<b>43</b>	<b>749</b>	<b>51</b>	<b>677</b>	<b>27</b>	<b>601</b>	<b>26</b>	<b>105</b>	<b>69</b>	<b>795</b>	<b>96</b>	<b>5157</b>	<b>82</b>	<b>4647</b>	<b>81</b>	<b>18</b>	<b>74</b>	<b>2233</b>	<b>99</b>	<b>4947</b>	<b>98</b>	<b>4777</b>	<b>84</b>
<b>meroplancton</b>																								
Larves de décapodes	0	0	5	1	8	0	18	1	14	31	34	100	292	25	426	38	0	0	0	0	25	21	102	11
Isopodes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Larves de Cirripèdes	575	72	567	79	1803	96	1554	90	14	31	0	0	8	1	53	5	0	0	0	0	0	0	0	0
Larves de Bryozoaires	0	0	0	0	0	0	39	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	33	1	8	4	3	9	1
Cnidaires	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	71	6	117	11	0	0	0	0	0	0	0	0
Larves de mollusques	0	0	0	0	0	0	17	1	14	31	0	0	789	68	512	46	4	67	12	92	89	75	781	88
Larves de polychètes	225	28	145	20	63	3	92	5	4	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oeufs et larves de poissons	3	0	0	0	2	0	7	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>total méroplancton</b>	<b>802</b>	<b>57</b>	<b>717</b>	<b>49</b>	<b>1876</b>	<b>73</b>	<b>1731</b>	<b>74</b>	<b>46</b>	<b>31</b>	<b>34</b>	<b>4</b>	<b>1162</b>	<b>18</b>	<b>1107</b>	<b>19</b>	<b>6</b>	<b>26</b>	<b>13</b>	<b>1</b>	<b>118</b>	<b>2</b>	<b>891</b>	<b>16</b>
<b>total zooplancton</b>	<b>1413</b>		<b>1466</b>		<b>2553</b>		<b>2332</b>		<b>151</b>		<b>829</b>		<b>6319</b>		<b>5754</b>		<b>25</b>		<b>2246</b>		<b>5065</b>		<b>5669</b>	

Tableau 2.29 : Abondance et dominance des principaux groupes zooplanctoniques à Penly en 2014

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). Il est donc de fait plus abondant au printemps et été, pendant les périodes de reproduction des espèces benthiques (figure 2.57).

Au printemps, le méroplancton représentait de 40 à 70% du zooplancton et était plus important à la côte. Cette fraction était essentiellement composée de larves de cirripèdes (70 - 80%) et d'annélides (15 - 30%). L'holoplancton était, quant à lui, presque exclusivement composé de copépodes (>70%) et dans une moindre mesure d'appendiculaires (<30%).

En été, le méroplancton ne représente plus que 10 à 40% du zooplancton et était plus abondant à la côte. Cette fraction était composée de larves de cirripède, de larves de décapodes et de gastéropodes. L'holoplancton était, quant à lui, largement représenté par les copépodes (≥ 90%). Les copépodes ont représenté jusqu'à 81% du zooplancton total au large.

En automne, le méroplancton ne représentait plus que 5 à 13% maximum du zooplancton aux différentes stations de prélèvement. Les larves de mollusques (principalement gastéropode) étaient les plus abondantes à tous les points de prélèvement, celles de décapodes surtout présentent aux points *contrôle* et *référence* et les larves de cirripèdes à la côte. L'holoplancton était encore représenté en majorité par les copépodes (>95%)

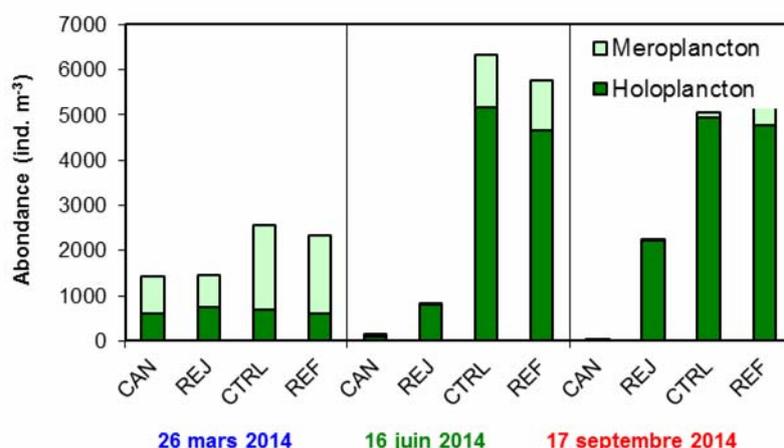


Figure 2.57 : Abondance de l'holoplancton et du méroplancton dans le zooplancton total en 2014

#### 2.4.8.2. Variations spatio-temporelles des principaux taxons

##### 2.4.8.2.a. L'holoplancton

- Les copépodes

Les copépodes, qui constituaient le taxon dominant de l'holoplancton, ont montré la même évolution saisonnière que celui-ci (figure 2.58). Ainsi, les plus fortes abondances de copépode ont été observées en juin et septembre aux points *contrôle* et *référence*. Le point *canal* présente en général des abondances assez faibles.

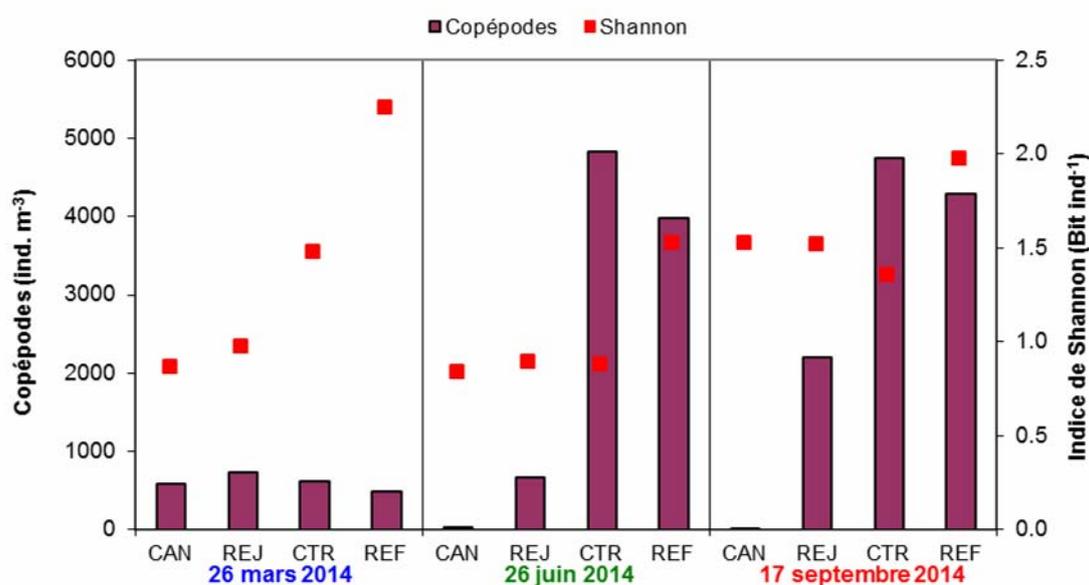


Figure 2.58 : Abondance des copépodes (adultes et copépodites) et diversité spécifique en 2014

L'indice de diversité de Shannon (figure 2.58) est une mesure de la diversité tenant compte de la richesse spécifique (S, nombre total d'espèces observées), mais aussi de la proportion représentée par chaque espèce au sein de la communauté. Sa valeur varie entre 0 et S selon les

cas. Cet indice est assez faible dans les eaux environnant le CNPE de Penly ( $\leq 2.2$  Bit. ind<sup>-1</sup>) en regard du nombre d'espèces de copépode présent dans nos échantillons (entre 3 et 9). Comme souvent en milieu côtier tempéré, les échantillons étaient caractérisés par une ou deux espèces de copépodes représentant 50 à 90 % du peuplement alors que plusieurs espèces n'étaient représentées que par un ou deux individus. On remarque aussi, que la plus grande diversité de copépodes s'observe sur le point *référence*, le plus au large.

Parmi les principales espèces de copépodes présentes sur le site de Penly on trouve (figure 2.59) :

#### **Acartia clausi**

Espèce plutôt estivale et automnale, elle représentait 30 à 80 % de l'abondance totale des copépodes de juin à septembre avec un maximum au point *contrôle* de juin (3 851 ind. m<sup>-3</sup>).

#### **Temora longicornis**

Présente toute l'année, cette espèce était généralement peu abondante aux points *canal* et *rejet* par rapport aux autres points. Elle représentait jusqu'à 30% des copépodes en juin et septembre. Son maximum d'abondance a été observé en septembre au point *contrôle* (1 371 ind. m<sup>-3</sup>).

Ces deux espèces de copépode, *A. clausi* et *T. longicornis*, sont les plus abondantes et les plus caractéristiques de la communauté planctonique dans les eaux proches du CNPE de Penly.

#### **Centropages hamatus**

En nombre très variable, cette espèce était toujours présente dans les échantillons avec des abondances de l'ordre de 8 à 369 ind. m<sup>-3</sup>. Son abondance était plus faible au printemps.

#### **Pseudocalanus elongatus**

Espèce généralement printanière et estivale, elle est quasiment absente des échantillons en septembre. Une étude publiée en 2010 sur 20 années de suivi des communautés zooplanctoniques devant Plymouth (Angleterre) confirme que *P. elongatus* tout comme *T. longicornis*, autrefois très abondantes sont en diminution en Manche (Eloire *et al.* 2010). Son abondance maximale a été observée en mars au point *rejet* (156 ind. m<sup>-3</sup>).

#### **Paracalanus parvus**

Espèce plutôt automnale, avec des abondances de l'ordre de 951 ind. m<sup>-3</sup> au point *contrôle* en septembre. Elle succède généralement à *P. elongatus* dans les communautés planctoniques des milieux côtiers tempérés.

#### **Euterpina acutifrons**

Espèce caractérisant généralement les communautés automnales de copépodes en milieu côtier, *E. acutifrons* était également très abondant en mars (13 à 74 % des copépodes). 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 sont collectés dans la colonne d'eau avec les filets à plancton (surtout des femelles), 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.

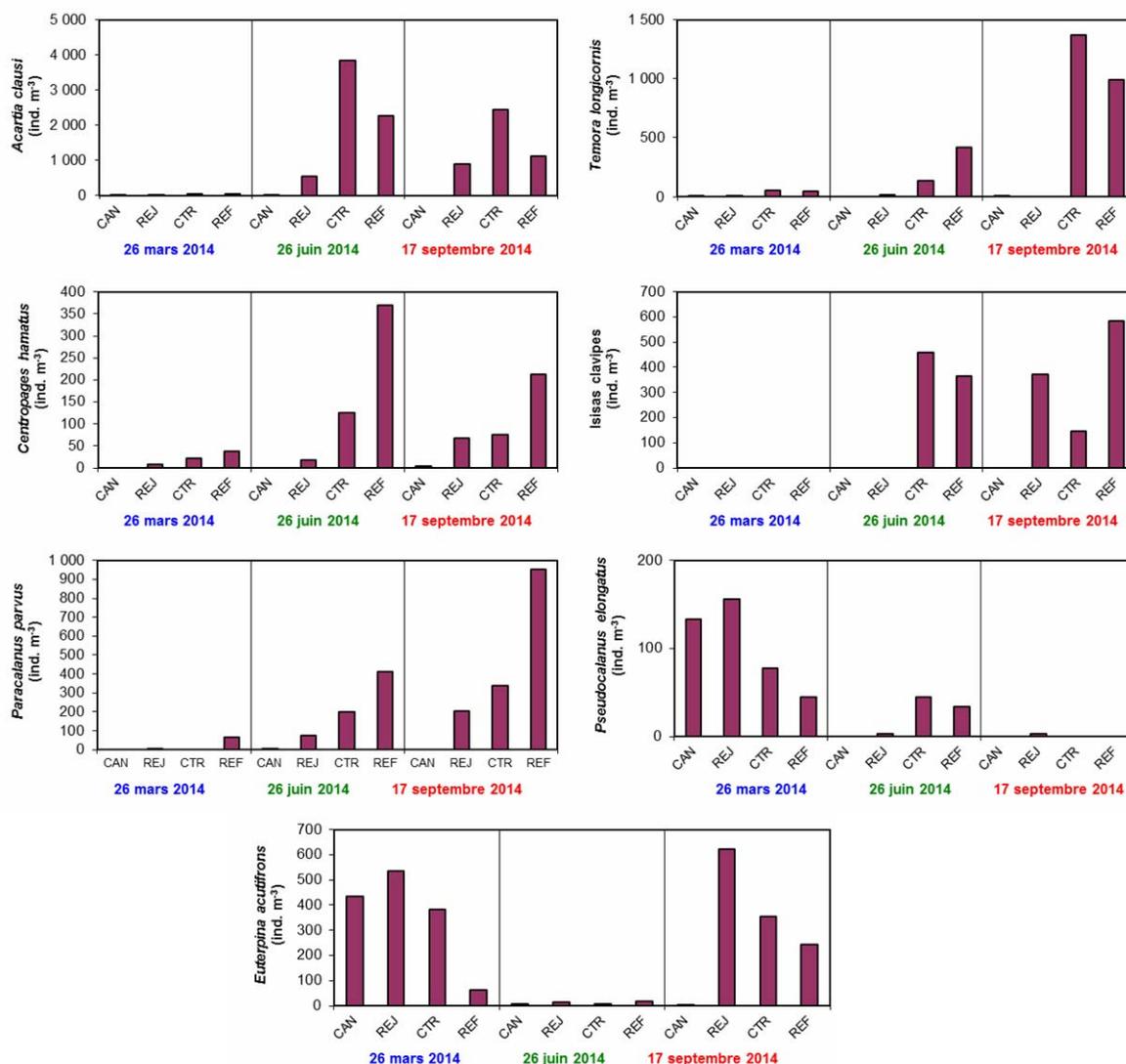
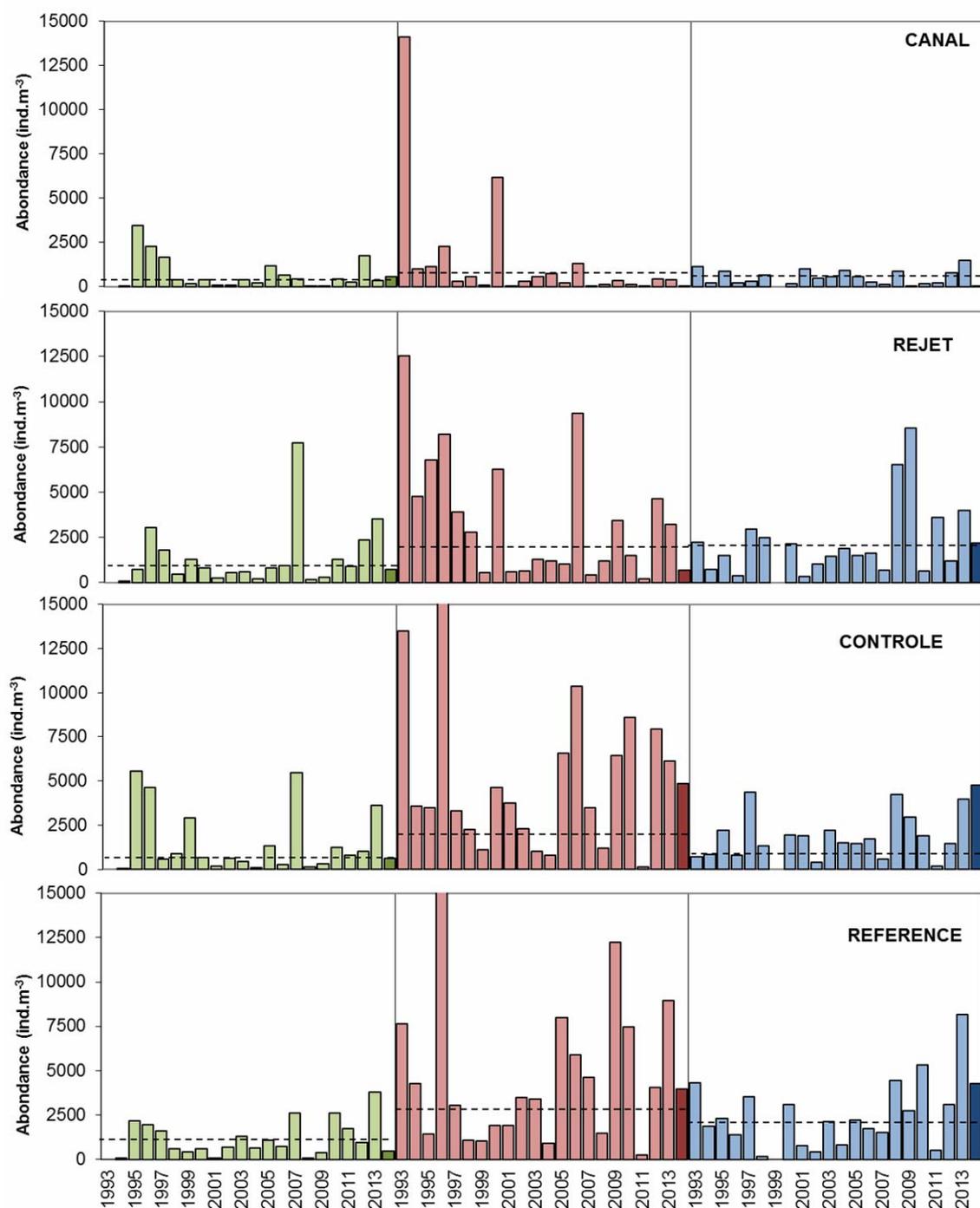


Figure 2.59 : Abondance (adultes et copépodites) des principales espèces de copépodes en 2014

L'évolution interannuelle de l'abondance totale en copépode depuis 1993 montre que ce groupe taxinomique est généralement plus abondant en été par rapport au printemps et à l'automne (Fig. 2.60). Elle confirme ce qui est observé pour le zooplancton total : les abondances observées pour l'année 2014 sont globalement plus fortes que la moyenne des années précédentes hormis pour le point *canal* au printemps et en été.



**Figure 2.60 : Évolution de l'abondance totale des copépodes à Penly de 1993 à 2014**  
Laligne hachurée représente la médiane par saison et par point

- Les autres espèces holoplanctoniques

Les appendiculaires, représentés par l'espèce *Oikopleura dioica*, étaient présents toute l'année avec des abondances toujours plus abondantes au large par rapport à la côte (figure 2.61). C'est le deuxième groupe holoplanctonique après les copépodes en termes d'abondance, pouvant représenter jusqu'à 20% des organismes.

Les chaetognathes, représentés par le genre *Parasagitta* n'ont été identifiés que dans les échantillons de septembre. Comme les appendiculaires ils sont eux aussi plus abondant au large (141 ind. m<sup>-3</sup>).

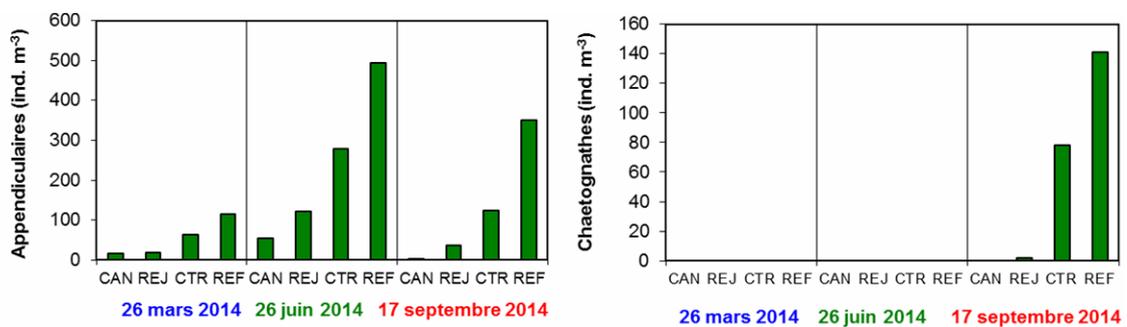


Figure 2.61 : Abondances des appendiculaires et des chaetognathes en 2014

#### 2.4.8.2.b. Le méroplancton

Les stades larvaires des espèces appartenant à différents embranchements ou classes ont été dénombrés au cours des trois campagnes et les plus caractéristiques sont présentées dans la figure 2.62.

- Embranchement des annélides

Des larves d'annélides polychètes étaient très abondantes en mars, en particulier à la côte (225 ind. m<sup>-3</sup>), représentant entre 3 et 28% du méroplancton. Il s'agissait pour l'essentiel de larves nectochètes de spionidés, probablement de *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.

- Embranchement des mollusques

Les larves de mollusques (essentiellement de gastéropodes) représentaient entre 50 et 90 % du méroplancton en juin et septembre. Un gradient croissant vers le large est généralement observé pour l'abondance de ces larves.

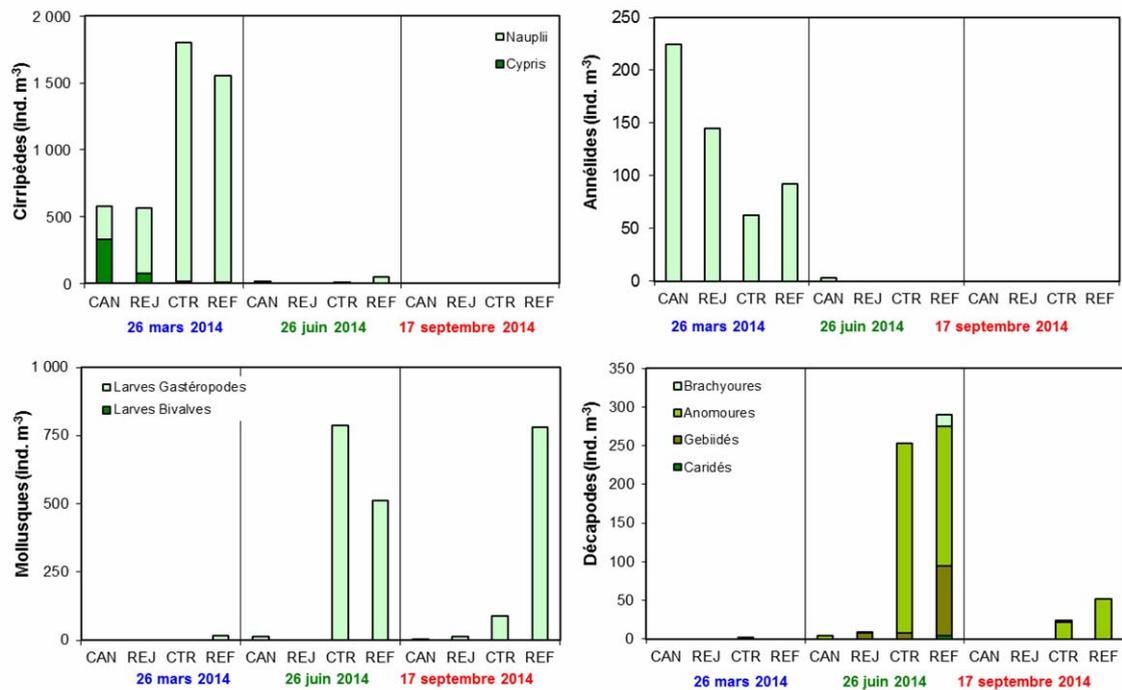


Figure 2.62 : Abondance des principales espèces méroplanctoniques en 2014

- Embranchement des arthropodes, classe des crustacés, ordre des cirripèdes  
Les cirripèdes sont des crustacés qui, au stade adulte, vivent fixés sur les rochers et les substrats durs. Ils constituent une part importante des ‘salissures’ (‘fouling’). Les larves, essentiellement les stades nauplii de balanes, sont émises en grande quantité et constituent un maillon important de la chaîne alimentaire.  
Les larves de cirripèdes étaient essentiellement printanières représentant alors jusqu’à 96 % du méroplancton total avec un maximum d’abondance observé en mars au point *contrôle* de 1803 ind. m<sup>-3</sup>.
- Embranchement des arthropodes, classe des crustacés, ordre des décapodes  
Les larves de décapodes, ont été très peu présentes cette année, à l’exception des anomours, notamment les porcellanidés (crabe porcelaine), abondants dans les prélèvements de juin aux points *contrôle* et *référence* (max. 245 ind. m<sup>-3</sup>).

## 2.4.9. Conclusions

Les données historiques acquises depuis 1993 ne montrent pas de corrélation entre la biomasse sestonique et l’abondance zooplanctonique. C’est le cas par exemple en mars où le zooplancton était peu abondant et à tous les points de prélèvement, alors que la biomasse sestonique au point *canal* était la plus importante mesurée depuis 1993. Les rapports C/N du seston montrent bien la difficulté qu’il y a à déduire, ou estimer, la biomasse du zooplancton, *sensu stricto*, à partir de ce type d’analyse. La contamination des échantillons filtrés par des débris minéraux et végétaux ou coquilliers (comme souvent au point *canal* cette année) est trop aléatoire pour pouvoir avoir une estimation fiable de la biomasse zooplanctonique. Au mieux, cette analyse nous donne-t-elle une appréciation de la charge particulaire (seston > 100 µm) sur le site de la centrale de Penly lors des prélèvements.

Les abondances zooplanctoniques observées en 2014 étaient globalement dans la moyenne des valeurs observées depuis 1993 et montre toujours des abondances significativement plus faibles au point *canal* par rapport aux autres points de prélèvement, notamment en juin et septembre.

Le méroplancton constitue toujours une composante non négligeable du zooplancton total (notamment au printemps), avec là encore des différences d'abondance entre la côte et le large, (notamment les larves de cirripèdes). L'holoplancton était quant à lui toujours largement représenté par les copépodes (> 80 %) avec *A. clausi* et *T. longicornis* comme espèces dominantes.

L'abondance et la succession des espèces zooplanctoniques observées cette année respectent, pour ce que peut montrer cette analyse de trois campagnes annuelle, leur répartition saisonnière habituelle et sont caractéristiques des milieux côtiers de la Manche et de la baie sud de la Mer du Nord. Elle ne montre donc pas un quelconque effet des rejets du CNPE de Penly sur ces communautés.

L'étude du compartiment zooplanctonique réalisée dans le cadre de la surveillance du site, ne permet pas de conclure à l'existence d'un effet, des rejets d'eau chaude et chlorée dans l'environnement par le CNPE de Penly, sur la communauté observée.



### 3. Le domaine halieutique

<i>Rapport</i>	Christophe LOOTS (RH/BL) Ivan SCHLAICH (RH/PEB)
<i>Traitement des données</i>	Nicolas GOASCOZ (RH/PEB)
<i>Missions en mer</i>	Nicolas GOASCOZ (RH/PEB) Alain TETARD (RH/PEB) Ivan SCHLAICH (RH/PEB) Jean Paul DELPECH (RH/BL) Arnaud AUBER (RH/BL)
<i>Embarquements Ichtyoplancton</i>	Valérie LEFEBVRE (RH/BL) Coline LAZARD (RH/BL) Nicolas GOASCOZ (RH/PEB)
<i>Tri de l'ichtyoplancton</i>	Valérie LEFEBVRE (RH/BL)
<i>Tri macrofaune à terre</i>	Jocelyne MORIN (RH/PEB)



### 3.1. Ichtyoplancton

Chez les poissons, les phases embryonnaire et larvaire représentées par les œufs et les larves (regroupées sous le terme d'ichtyoplancton) constituent une phase critique de leur cycle de vie. En effet, leur survie va influencer le maintien et le renouvellement des différentes espèces de poissons. De part leur mode de vie pélagique (dans la masse d'eau), ces œufs et larves sont très sensibles aux facteurs environnementaux et leur survie va dépendre des conditions hydrologiques (température, salinité...), hydrodynamiques (courants...) et trophiques (proies, prédateurs...) rencontrées au cours de leur développement. La Manche orientale et le sud de la mer du Nord sont connus pour abriter de nombreuses zones de frayères (zones de ponte des adultes) à partir desquelles certains courants de marées orientent les larves vers des zones favorables à leur métamorphose en juvéniles de poissons.

#### 3.1.1. Matériel et méthodes

##### 3.1.1.1. Localisation des points de prélèvements

Les prélèvements sont réalisés en trois points (cf. figure 2.1 : un point côtier situé près du canal d'amenée (point 1, ou point *canal*), un point situé dans le rejet (point 2, ou point *rejet*), un point contrôle hors influence des eaux du rejet (point 3, ou point *contrôle*)

##### 3.1.1.2. Méthodes de prélèvement

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



**Photo 1** : Configuration du filet à double bongo avec les volucompteurs et collecteurs.

La pêche se fait en trait oblique, de la surface jusqu'au fond à la vitesse de 2 nœuds environ (1 m/s). Un dépresseur en V de 40 kg environ assure la plongée et la stabilité de l'engin de pêche.

Deux répliquats sont réalisés en chaque point. A l'entrée de chaque filet, un volucompteur KC-Denmark permet le calcul des volumes filtrés ( $V_f$ ) selon la formule :

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

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

Les mesures de température et de salinité ont été réalisées au moyen d'une sonde YSI 600 QS. L'erreur maximale de mesure tolérée (EMT) est de 0,5°C pour la température et de 0,5 pour la salinité. Les relevés sont faits à deux niveaux: en sub-surface et au voisinage du fond.

### 3.1.1.3. Campagnes d'échantillonnage

Les 4 missions ont été effectuées à bord du chalutier artisanal TIOT HALLE les 9 et 24 avril et les 6 et 23 mai 2014 (Tableau 3.1). La date des campagnes est choisie, dans la mesure du possible, en fonction des coefficients de marée les plus faibles.

N° de campagne	Date	Point	Réplicats	Heure du prélèvement	Température surface (°C)	Salinité surface	Durée du trait (min)	Volume filtré (m <sup>3</sup> )
161	09/04/2014	Canal	1	13:50	11,4	33,2	5	161,0
			2				5	165,5
		Rejet	1	13:32	12,1	33,6	5	134,6
			2				5	146,4
		Contrôle	1	13:09	11,4	33,6	5	155,1
			2				5	162,7
162	24/04/2014	Canal	1	13:40	12,8	33,7	3	116,8
			2				3	130,8
		Rejet	1	13:23	14,2	33,8	3	118,7
			2				3	129,0
		Contrôle	1	13:00	12,4	33,9	4	121,0
			2				4	132,3
163	06/05/2014	Canal	1	11:15	13,0	33,9	3	60,6
			2				3	69,6
		Rejet	1	10:59	14,8	34,0	3	60,4
			2				3	68,7
		Contrôle	1	10:30	13,1	33,8	4	75,6
			2				4	83,9
164	23/05/2014	Canal	1	12:50	14,7	33,6	5	140,1
			2				5	145,5
		Rejet	1	12:40	16,3	33,6	5	119,9
			2				5	138,9
		Contrôle	1	12:25	14,7	33,3	5	146,4
			2				5	156,7

**Tableau 3.1** Caractéristiques des campagnes d'échantillonnage de l'ichtyoplancton sur le site du CNPE de Penly au printemps 2014

### 3.1.1.4. 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) contenant du formol concentré à 0,9%.

Les œufs et larves de sole (*Solea solea*, L.), de limande (*Limanda limanda*, L.), de sprat (*Sprattus sprattus*, L.) et de sardine (*Sardina pilchardus*, Walbaum) 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) a été réalisé de manière à obtenir un sous-échantillon contenant au moins 100 individus pour chaque groupe identifié (œufs embryonnés de sprat, larves de sole...). Le nombre d'individus comptés a ensuite été ramené au volume total de l'échantillon (ind.m<sup>-3</sup>).

L'identification des œufs et larves s'est faite d'après Russel (1976).

### 3.1.2. Résultats

#### 3.1.2.1. La sole (*Solea solea*)

##### 3.1.2.1.a Les œufs et larves en 2014

Les abondances d'œufs et de larves de soles observées sur le site du CNPE de Penly en 2014 sont présentées dans le tableau 3.2.

Date	Point	Replicats	Total œufs	Œufs NE	Œufs E	Larves
09/04/2014	Canal	1	0,08	0,08	0,00	0,00
		2	0,01	0,01	0,00	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,04</b>	<b>0,04</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
	Rejet	1	0,24	0,22	0,01	0,01
		2	0,15	0,14	0,01	0,01
		<b>Moyenne</b>	<b>0,19</b>	<b>0,18</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>
	Contrôle	1	0,25	0,20	0,05	0,00
		2	0,28	0,22	0,07	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,27</b>	<b>0,21</b>	<b>0,06</b>	<b>0,00</b>
24/04/2014	Canal	1	0,01	0,00	0,01	0,00
		2	0,06	0,05	0,02	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>
	Rejet	1	0,07	0,03	0,04	0,07
		2	0,12	0,07	0,05	0,05
		<b>Moyenne</b>	<b>0,09</b>	<b>0,05</b>	<b>0,04</b>	<b>0,06</b>
	Contrôle	1	0,12	0,07	0,05	0,02
		2	0,20	0,15	0,05	0,01
		<b>Moyenne</b>	<b>0,16</b>	<b>0,11</b>	<b>0,05</b>	<b>0,02</b>
06/05/2014	Canal	1	0,12	0,08	0,03	0,03
		2	0,04	0,01	0,03	0,01
		<b>Moyenne</b>	<b>0,08</b>	<b>0,05</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>
	Rejet	1	0,30	0,22	0,08	0,05
		2	0,03	0,01	0,01	0,04
		<b>Moyenne</b>	<b>0,16</b>	<b>0,11</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>
	Contrôle	1	0,19	0,12	0,07	0,07
		2	0,12	0,08	0,04	0,12
		<b>Moyenne</b>	<b>0,15</b>	<b>0,10</b>	<b>0,05</b>	<b>0,09</b>
23/05/2014	Canal	1	0,26	0,06	0,20	0,01
		2	0,20	0,08	0,12	0,02
		<b>Moyenne</b>	<b>0,23</b>	<b>0,07</b>	<b>0,16</b>	<b>0,01</b>
	Rejet	1	0,37	0,12	0,25	0,04
		2	0,40	0,10	0,30	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,38</b>	<b>0,11</b>	<b>0,27</b>	<b>0,02</b>
	Contrôle	1	0,03	0,01	0,01	0,00
		2	0,04	0,01	0,03	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>

**Tableau 3.2 : Abondances (ind.m<sup>-3</sup>) des œufs (NE, Non Embryonnés ; E, Embryonnés) et des larves de sole sur le site du CNPE de Penly au printemps 2014**

En 2014, les abondances maximales d'œufs de sole (figure 3.1) ont été rencontrées au point rejet lors de la campagne du 23 Mai. Sur l'ensemble des quatre campagnes, ce sont majoritairement des œufs non-embryonnés qui ont été rencontrés à l'exception de la campagne du 23 mai où un nombre important d'œufs embryonnés ont été rencontrés. De manière générale, les abondances montraient un gradient côte-large depuis le point canal jusqu'au point contrôle. En ce qui concerne les larves, des abondances plus importantes ont été observées par rapport aux années précédentes, notamment lors des campagnes du 24 avril et du 6 mai.

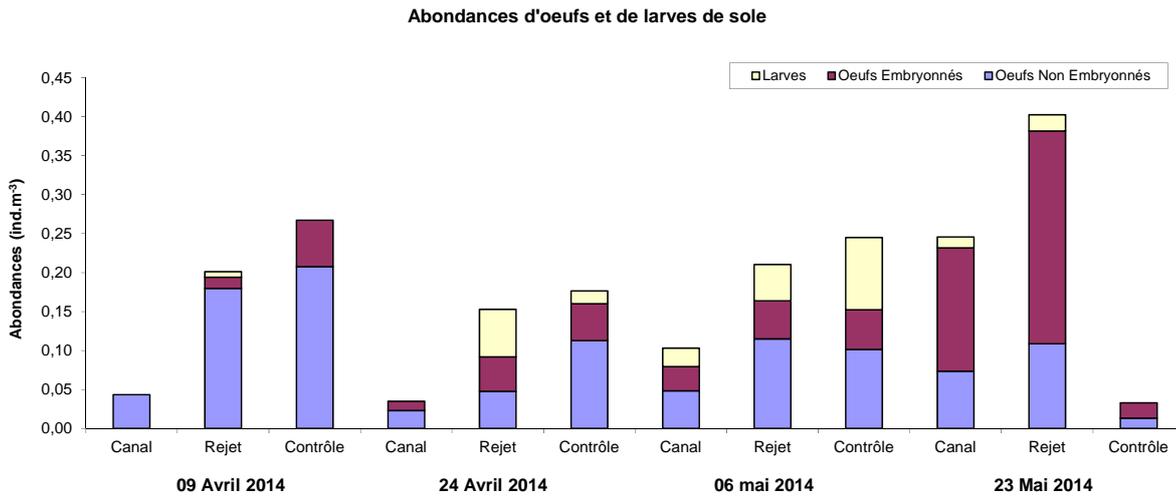


Figure 3.1 : Abondances (moyennes sur les deux répliquats) d’œufs et de larves de sole sur le site du CNPE de Penly au printemps 2014 en fonction de la date et du point de prélèvement

3.1.2.1.b Les œufs et larves depuis 1978

Les abondances des œufs et larves de sole sur le site du CNPE de Penly depuis 1978, pour chacun des trois points, sont présentées au niveau de la figure 3.2.

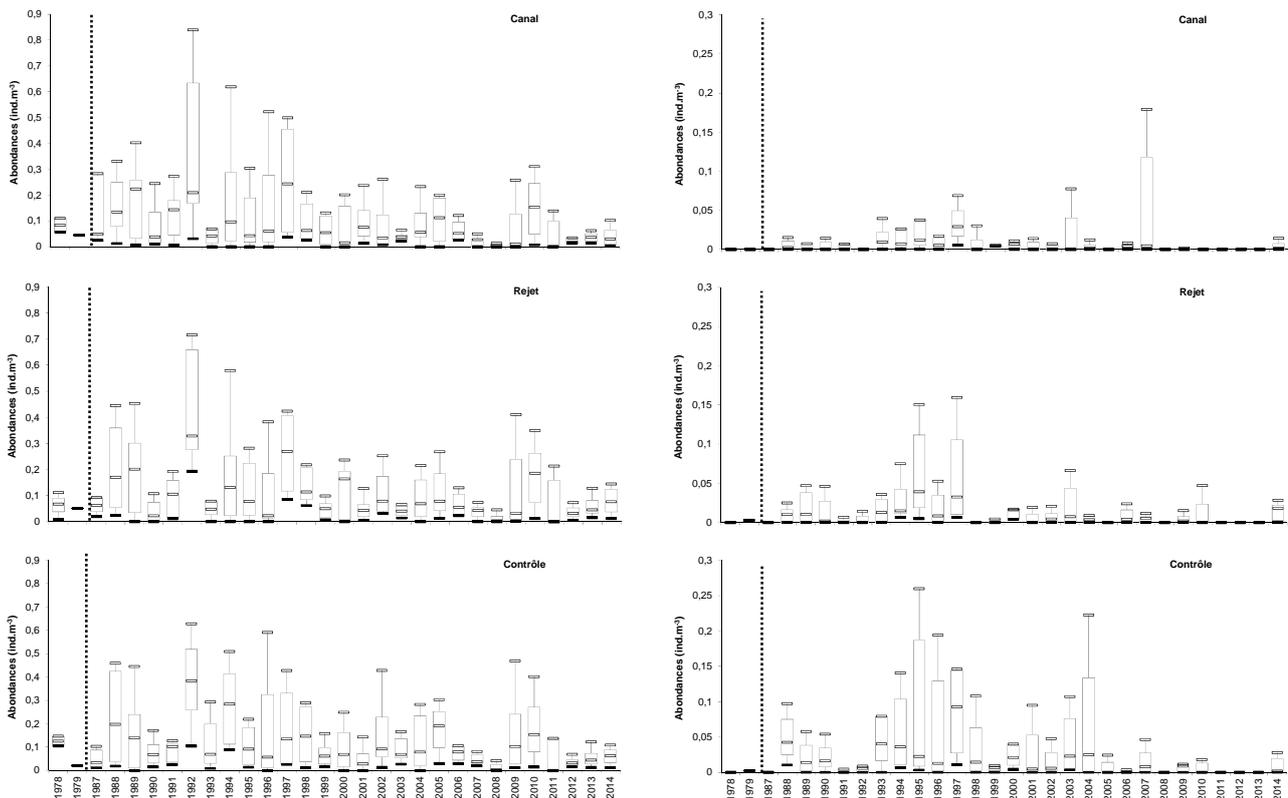


Figure 3.2 : Abondances (log-transformées) observées entre avril et juin des œufs (gauche) et larves (droite) de sole sur le site du CNPE de Penly depuis 1978 aux points canal (haut), rejet (milieu) et contrôle (bas)

Pour les œufs, l’année 2014 se situe parmi les années avec les abondances les plus faibles observées sur l’ensemble de la série, et ceci pour les trois points d’observation. Cependant, les abondances observées en 2014 semblent légèrement supérieures à celles observées lors des dernières années.

Pour les larves, les abondances observées en 2014 confirment également une différence avec les dernières années.

### 3.1.2.2. La plie (*Pleuronectes platessa*)

Compte tenu de l'absence de prélèvements de janvier à mars, aucun oeuf ou larve de plie n'a été observé cette année. Les plus importantes concentrations avaient été relevées en janvier 1978 avec 0,1 oeuf/10m<sup>3</sup> et 0,06 larve/10m<sup>3</sup> en février 1987. La période retenue de mars à juin pour l'échantillonnage des oeufs et larves des autres espèces suivies (sole, limande, sprat, sardine) n'est pas compatible avec la dynamique spatio-temporelle de la plie. En effet, les œufs de plie étant pondus au large en hiver au centre de la Manche, un échantillonnage aussi côtier que celui réalisé à Penly, dans le cadre du projet IGA, n'est pas adapté pour le suivi des œufs et larves de plie. Il n'est pas certain qu'un échantillonnage plus tôt dans l'année permettra un suivi pertinent comme l'ont montré les rapports avant 2005 où les abondances d'œufs et larves de plie enregistrées étaient très faibles. Ainsi, le suivi des œufs et larves de plie ne présente pas un réel intérêt dans ces conditions de prélèvement pour la zone située à proximité du CNPE de Penly. L'Ifremer a décidé d'abandonner leurs dénombrements à partir de 2006.

### 3.1.2.3. La limande (*Limanda limanda*)

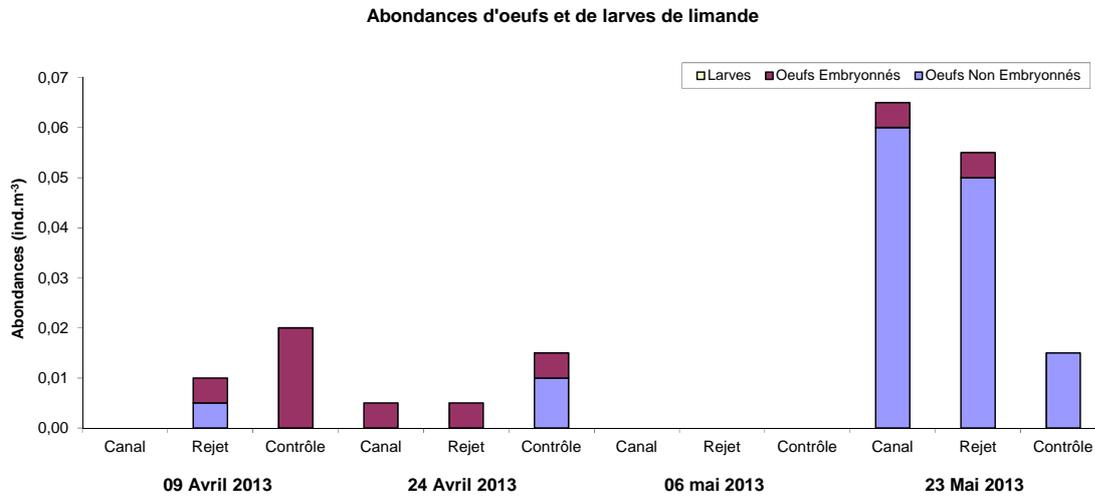
#### 3.1.2.3.a Les œufs et larves en 2014

Les abondances d'œufs et de larves de limande pour 2014 sont présentées dans le tableau 3.3. Il existe un doute important quant à l'identification des œufs de limande qui peuvent être confondus avec ceux de flet.

Date	Point	Replicats	Total œufs	Œufs NE	Œufs E	Larves
09/04/2014	Canal	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
	Rejet	1	0,02	0,01	0,01	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>
	Contrôle	1	0,02	0,00	0,02	0,00
		2	0,02	0,00	0,02	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>
24/04/2014	Canal	1	0,01	0,00	0,01	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>
	Rejet	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,01	0,00	0,01	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>
	Contrôle	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,03	0,02	0,01	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>
06/05/2014	Canal	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
	Rejet	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
	Contrôle	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
23/05/2014	Canal	1	0,07	0,07	0,00	0,00
		2	0,06	0,05	0,01	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,07</b>	<b>0,06</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>
	Rejet	1	0,07	0,07	0,00	0,00
		2	0,04	0,03	0,01	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,06</b>	<b>0,05</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>
	Contrôle	1	0,02	0,02	0,00	0,00
		2	0,01	0,01	0,00	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

Tableau 3.3 : Abondances (ind.m<sup>-3</sup>) des œufs (NE, Non Embryonnés ; E, Embryonnés) et des larves de limande sur le site du CNPE de Penly au printemps 2014

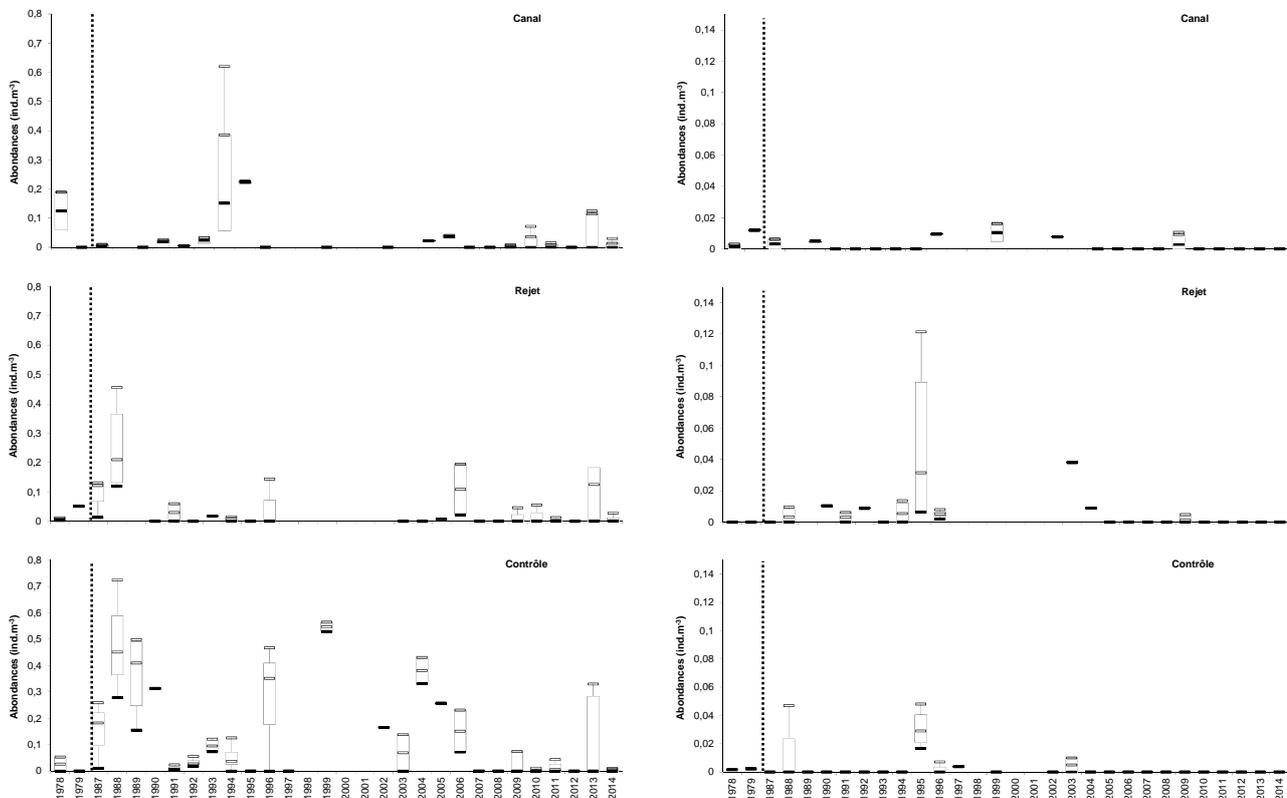
En 2014, ce sont majoritairement de œufs non-embryonnés qui ont été observés et principalement pendant la campagne du 23 mai (figure 3.4). Les abondances étaient supérieures aux points canal et rejet par rapport au point contrôle. Comme les années précédentes, aucune larve n'a été observée.



**Figure 3.4 : Abondances (moyennes sur les deux répliquats) d'œufs et de larves de limande sur le site du CNPE de Penly au printemps 2014 en fonction de la date et du point de prélèvement**

### 3.1.2.3.b Les œufs et larves depuis 1978

Les abondances des œufs et larves de limande sur le site de la centrale de Penly depuis 1978 ont été calculées pour chacun des trois points et sont présentées au niveau de la figure 3.5.



**Figure 3.5 : Abondances (log-transformées) observées entre avril et mai des œufs (gauche) et larves (droite) de limande sur le site de la centrale de Penly depuis 1978 aux points canal (haut), rejet (milieu) et contrôle (bas)**

Sur l'ensemble de la série, les abondances sont très faibles à la fois pour les œufs et pour les larves. L'année 2014 montre une présence potentielle d'œufs de limande, cependant ce n'est clairement pas une espèce dominante sur le site du CNPE de Penly en termes d'œufs et de larves.

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

#### 3.1.2.4.a Les œufs et larves en 2014

Les abondances des œufs et de larves de sprat pour 2014 sont présentées dans le tableau 3.4.

Date	Point	Replicats	Total œufs	Œufs NE	Œufs E	Larves
09/04/2014	Canal	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		Moyenne	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
	Rejet	1	0,01	0,01	0,01	0,09
		2	0,04	0,03	0,01	0,08
		Moyenne	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,09</b>
	Contrôle	1	0,09	0,08	0,01	0,16
		2	0,14	0,13	0,01	0,21
		Moyenne	<b>0,12</b>	<b>0,11</b>	<b>0,01</b>	<b>0,19</b>
24/04/2014	Canal	1	0,00	0,00	0,00	0,05
		2	0,00	0,00	0,00	0,11
		Moyenne	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,08</b>
	Rejet	1	0,01	0,00	0,01	0,14
		2	0,00	0,00	0,00	0,22
		Moyenne	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,18</b>
	Contrôle	1	0,08	0,05	0,03	0,02
		2	0,08	0,05	0,03	0,08
		Moyenne	<b>0,08</b>	<b>0,05</b>	<b>0,03</b>	<b>0,05</b>
06/05/2014	Canal	1	0,17	0,12	0,05	0,08
		2	0,10	0,07	0,03	0,09
		Moyenne	<b>0,14</b>	<b>0,10</b>	<b>0,04</b>	<b>0,09</b>
	Rejet	1	0,15	0,05	0,10	0,12
		2	0,26	0,09	0,17	0,22
		Moyenne	<b>0,21</b>	<b>0,07</b>	<b>0,14</b>	<b>0,17</b>
	Contrôle	1	0,32	0,11	0,21	0,46
		2	0,31	0,13	0,18	0,62
		Moyenne	<b>0,32</b>	<b>0,12</b>	<b>0,20</b>	<b>0,54</b>
23/05/2014	Canal	1	0,17	0,13	0,04	0,06
		2	0,08	0,06	0,02	0,01
		Moyenne	<b>0,13</b>	<b>0,10</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>
	Rejet	1	0,15	0,10	0,05	0,44
		2	0,08	0,04	0,04	0,36
		Moyenne	<b>0,12</b>	<b>0,07</b>	<b>0,05</b>	<b>0,40</b>
	Contrôle	1	0,05	0,02	0,03	0,00
		2	0,03	0,02	0,01	0,01
		Moyenne	<b>0,04</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>

Tableau 3.4 : Abondances (ind.m<sup>-3</sup>) des œufs (NE, Non Embryonnés ; E, Embryonnés) et des larves de sprat sur le site du CNPE de Penly au printemps 2014

En 2014, ce sont principalement des larves qui ont été observées notamment au point contrôle lors de la campagne du 06 mai, ce qui peut suggérer une période de ponte plus précoce en 2014. Des œufs embryonnés et non-embryonnés ont également été observés lors des campagnes du 6 et du 23 mai.

Abondances d'œufs et de larves de sprat

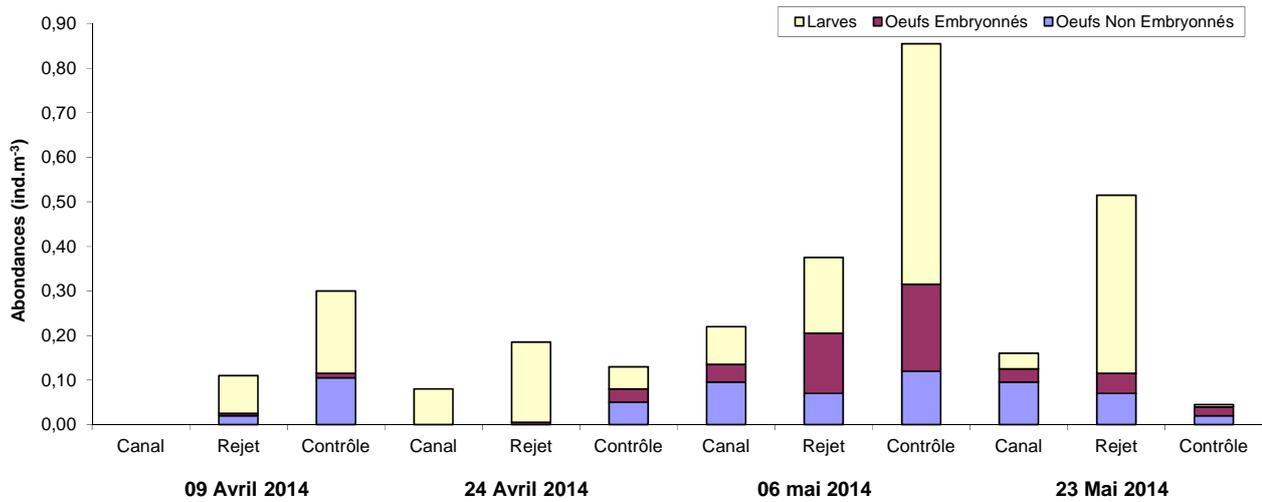


Figure 3.6 : Abondances (moyennes sur les deux répliquats) d'œufs et de larves de sprat sur le site du CNPE de Penly au printemps 2014 en fonction de la date et du point de prélèvement

3.1.2.4.b Les œufs et larves depuis 1978

Les abondances des œufs et larves de sprat sur le site de la centrale de Penly depuis 1978 ont été calculées pour chacun des trois points et sont présentées au niveau de la figure 3.7.

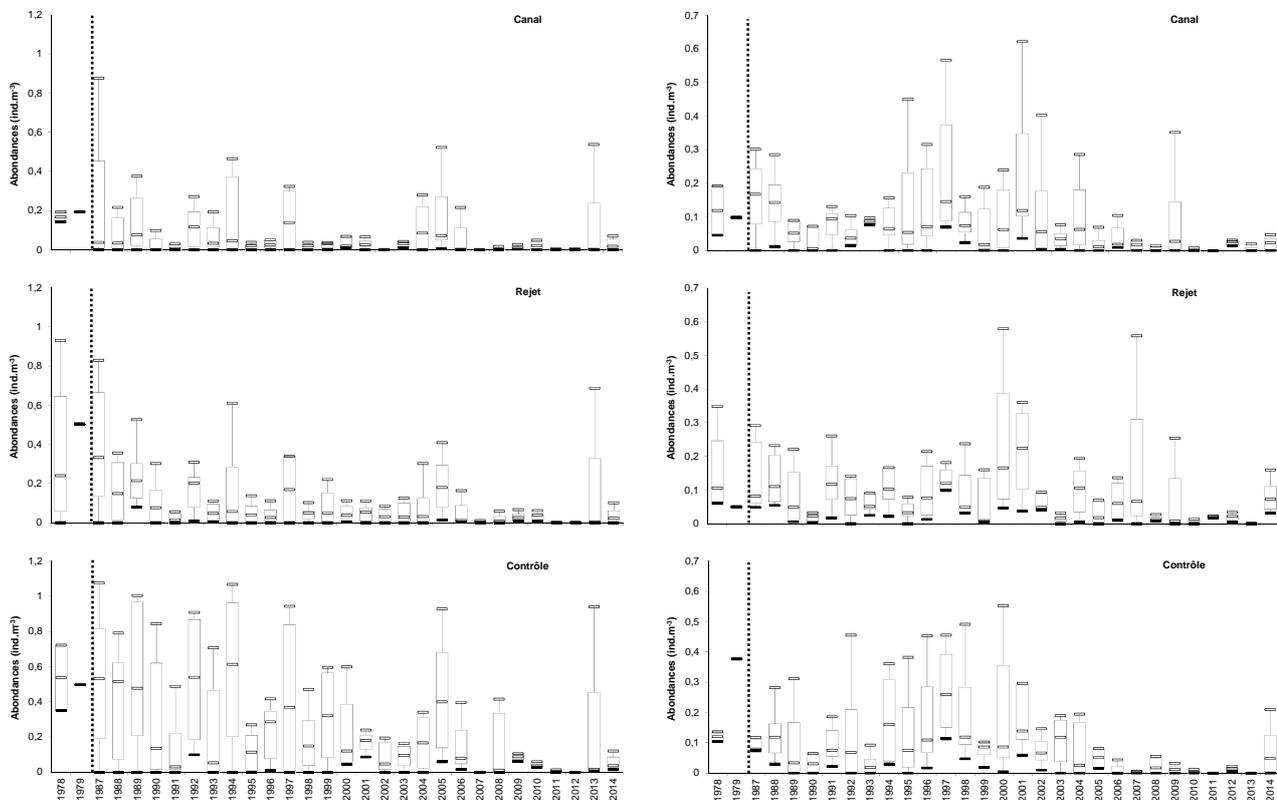


Figure 3.7 : Abondances (log-transformées) observées entre avril et juin des œufs (gauche) et larves (droite) de sprat sur le site de la centrale de Penly depuis 1978 aux points canal (haut), rejet (milieu) et contrôle (bas)

Pour les œufs, l'année 2014 montre des abondances faibles par rapport à l'ensemble de la série mais semblables à celle observées en 2013. Pour les larves, les abondances observées en 2014 sont supérieures à celles observées les années précédentes en particulier au point rejet.

### 3.1.2.5. La sardine (*S. pilchardus*)

#### 3.1.2.5.a Les œufs et larves en 2014

Les abondances des œufs et de larves de sardine pour 2014 sont présentées dans le tableau 3.5.

Date	Point	Replicats	Total œufs	Œufs NE	Œufs E	Larves
09/04/2014	Canal	1	0,01	0,00	0,01	0,00
		2	0,01	0,00	0,01	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>
	Rejet	1	0,02	0,01	0,01	0,00
		2	0,06	0,06	0,00	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,04</b>	<b>0,04</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>
	Contrôle	1	0,02	0,01	0,01	0,00
		2	0,03	0,03	0,00	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>
24/04/2014	Canal	1	0,06	0,03	0,03	0,00
		2	0,08	0,06	0,02	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,07</b>	<b>0,05</b>	<b>0,03</b>	<b>0,00</b>
	Rejet	1	0,14	0,06	0,08	0,00
		2	0,09	0,02	0,07	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,12</b>	<b>0,04</b>	<b>0,08</b>	<b>0,00</b>
	Contrôle	1	0,23	0,17	0,06	0,00
		2	0,16	0,08	0,08	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,20</b>	<b>0,13</b>	<b>0,07</b>	<b>0,00</b>
06/05/2014	Canal	1	0,17	0,02	0,15	0,00
		2	0,15	0,01	0,14	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,16</b>	<b>0,02</b>	<b>0,15</b>	<b>0,00</b>
	Rejet	1	0,54	0,03	0,51	0,00
		2	0,28	0,03	0,25	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,41</b>	<b>0,03</b>	<b>0,38</b>	<b>0,00</b>
	Contrôle	1	1,84	0,99	0,85	0,00
		2	0,34	0,20	0,14	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>1,09</b>	<b>0,60</b>	<b>0,50</b>	<b>0,00</b>
23/05/2014	Canal	1	0,52	0,12	0,40	0,00
		2	0,52	0,16	0,36	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,52</b>	<b>0,14</b>	<b>0,38</b>	<b>0,00</b>
	Rejet	1	0,38	0,08	0,30	0,00
		2	0,13	0,04	0,09	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,26</b>	<b>0,06</b>	<b>0,20</b>	<b>0,00</b>
	Contrôle	1	0,06	0,01	0,05	0,05
		2	0,04	0,01	0,03	0,01
		<b>Moyenne</b>	<b>0,05</b>	<b>0,01</b>	<b>0,04</b>	<b>0,03</b>

Tableau 3.5 : Abondances (ind.m<sup>-3</sup>) des œufs (NE, Non Embryonnés ; E, Embryonnés) et des larves de sardine sur le site du CNPE de Penly au printemps 2014

En 2014, ce sont majoritairement des œufs qui ont été observés et les abondances les plus fortes ont été observées au point contrôle lors de la campagne du 6 mai 2014. Des abondances très faibles de larves ont été observées uniquement lors de la campagne du 23 mai au point contrôle.

Abondances d'œufs et de larves de sardine

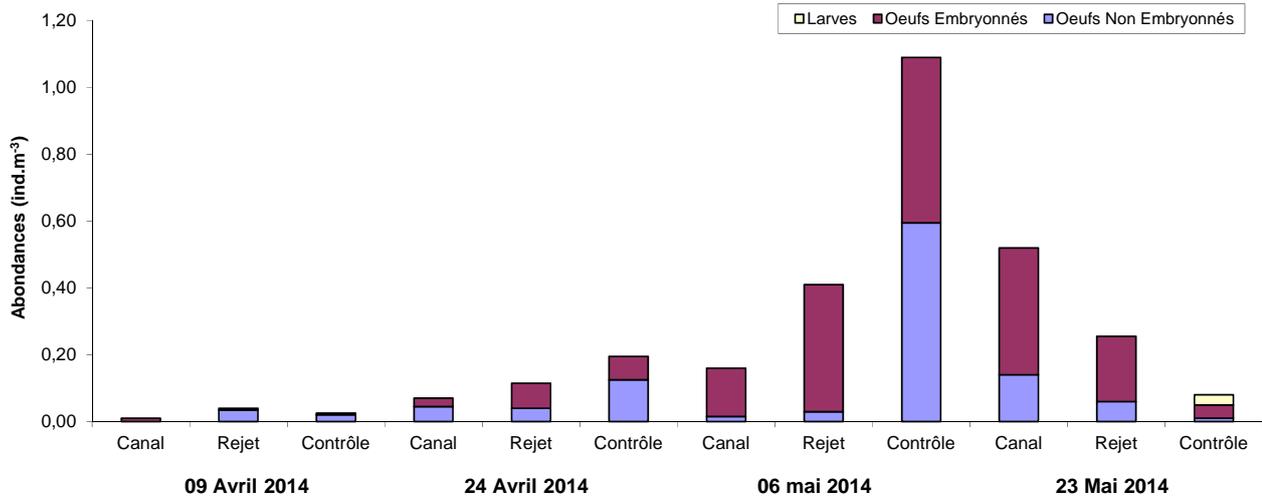


Figure 3.8 : Abondances (moyennes sur les deux répliquats) d'œufs et de larves de sardine sur le site du CNPE de Penly au printemps 2014 en fonction de la date et du point de prélèvement

3.1.2.5.b Les œufs et larves depuis 1978

Les abondances des œufs et larves de sardine sur le site de la centrale de Penly depuis 1978 ont été calculées pour chacun des trois points et sont présentées au niveau de la figure 3.9.

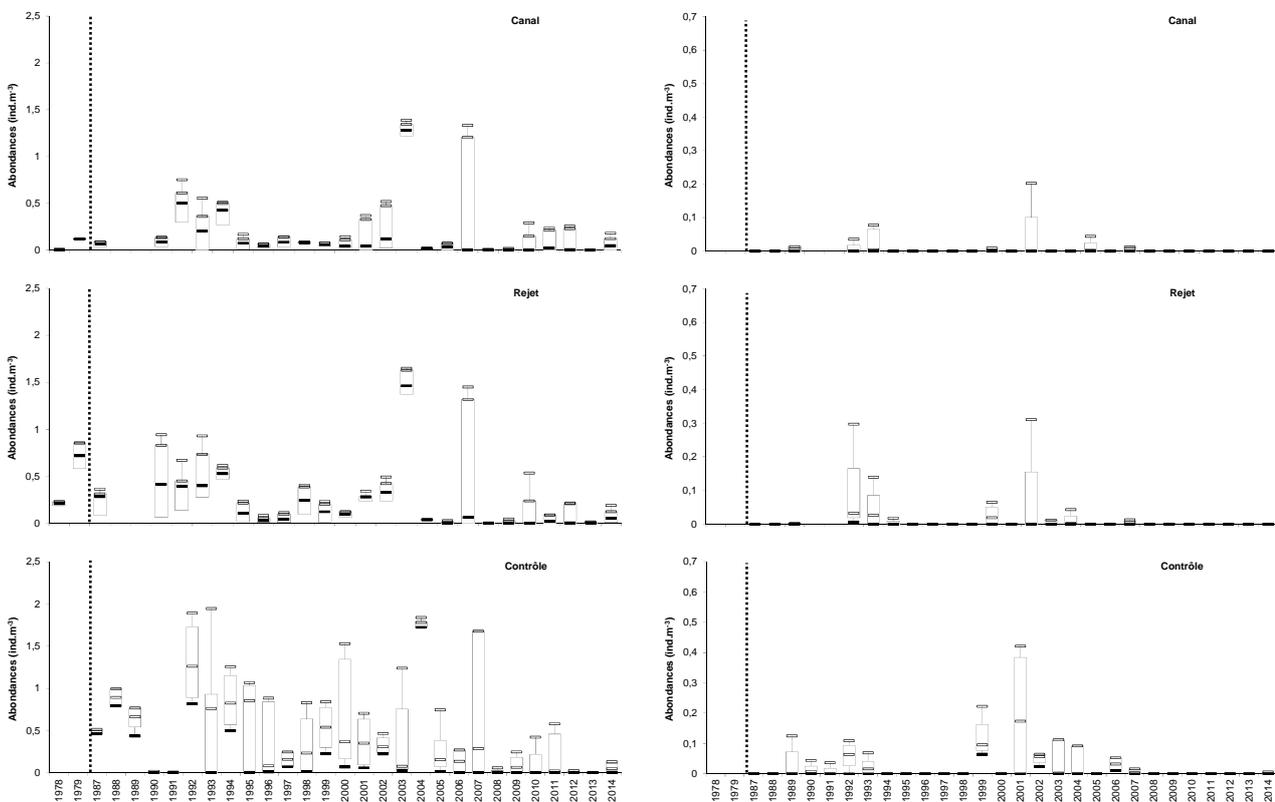


Figure 3.9 : Abondances (log-transformées) observées entre avril et juin des œufs (gauche) et larves (droite) de sardine sur le site de la centrale de Penly depuis 1978 aux points canal (haut), rejet (milieu) et contrôle (bas)

Pour les œufs comme pour les larves, les abondances observées en 2014 sont très faibles, notamment pour les larves depuis le milieu des années 2000. Comme pour la limande, la sardine n'est pas une espèce dominante en termes d'œufs et de larves sur le site du CNPE de Penly.

### 3.2. Macrofaune halieutique

Les études précédentes ont montré qu'il existait une influence halieutique de la baie de Somme sur le secteur proche de Penly.

Cette relation se manifeste par le fait que le secteur côtier compris entre Dieppe et le Tréport fait partie d'une nourricerie pour certaines espèces de poissons, notamment pour les poissons plats comme la sole, la plie et la limande. Cette nourricerie est centrée sur la baie de Somme.

C'est cet aspect particulièrement sensible que nous avons décidé d'étudier depuis la phase de projet. Cela explique qu'en 2014 l'étude de la macrofaune halieutique se soit déroulée suivant la méthodologie mise en œuvre au cours de l'étude de projet (1979) et de son étude complémentaire (période 1980 à 1983).

Une seule des deux campagnes annuelles de chalutages initialement réalisées a été conservée, celle de fin d'été début d'automne.

L'abandon de la campagne de printemps se justifie par le fait qu'à cette période de l'année, les juvéniles de poissons plats nés dans l'année (groupe 0), qui nous intéressent tout particulièrement dans cette étude, n'apparaissent encore que très peu dans les captures expérimentales.

#### 3.2.1. Chronologie des prélèvements

Les prélèvements ont pu être effectués dans la semaine du 1er septembre 2014, sur trois jours de mer

Cinquante traits de chalut ont été réalisés dans la zone d'étude (figures 3.10 C et D) dont :

- 34 à bord du chalutier *TIOT-HALLE*, avec un chalut à perche de 3 mètres.
- 16 à bord du chalutier *ORCA*, avec un chalut à perche de 2 mètres.

La stratégie d'échantillonnage stratifié, modifiée en 1999, a été maintenue. Ainsi, une certaine réallocation des points de prélèvements a été effectuée de manière à optimiser l'échantillonnage et le travail de terrain.

Si les strates du large (D et 8) ne sont plus échantillonnées, on continue par contre à les prendre en compte dans le calcul de la densité totale en considérant qu'une densité zéro s'applique à leur surface. Ce mode de calcul permet de maintenir des indices comparables entre les différentes années.

#### 3.2.2. Expression des résultats

Pour chaque trait de chalut, toutes les espèces de poissons, céphalopodes et crustacés, ont été identifiées et ont donné lieu aux opérations suivantes :

- dénombrement des individus, soit sur l'ensemble des captures, soit à partir d'un seul échantillon ;
- mensurations pour les espèces principales, soit sur l'ensemble des captures, soit sur un seul échantillon.



Figure 3.10: Zones définies pour le calcul des densités moyennes et positions des chalutages en 2014

Depuis 1987, seuls les poissons d'intérêt commercial sont mesurés. On utilise la longueur totale au centimètre inférieur sauf pour les clupéidés (hareng, sprat, sardine) qui sont mesurés au demi-centimètre inférieur, en raison de leur petite taille. Pour les crevettes grises on utilisait jusqu'à présent la longueur mesurée de l'échancrure de l'œil à l'extrémité du telson (L-OC-TEL) et un calibrage en quatre groupes de taille 0-24, 25-44, 45-56 et >56 mm. Pour pouvoir comparer nos résultats avec ce qui se fait au niveau international, nous utilisons désormais la longueur totale (Lt). Une correspondance entre ces deux types de mensurations existe (Cf. ISTPM, 1981. -Etude halieutique de Projet de Site Penly. Rapport sur deux cycles annuels, Pêche et biologie des espèces) et nous a permis de recalculer l'historique des captures. La calibration présentée dans les rapports à partir de 1987 est la suivante : 00-30, 31-54, 54-67 et >67mm de longueur totale.

- pesées globales pour chaque espèce. Dans le cas des poissons plats, les poids sont déduits des relations taille-poids établies à partir des résultats des années précédentes ;
- des lectures d'otolithes ont été effectuées pour l'évaluation de l'âge des poissons plats (plie, sole, limande).

Un bref rappel de la structure des otolithes et de la terminologie que nous utiliserons dans les résultats pour la notion d'âge paraît souhaitable.

Les otolithes sont des pièces calcaires situées dans l'oreille interne des téléostéens (poissons osseux). Elles participent au maintien du tonus postural et à la réception des stimuli externes.

Le centre de l'otolithe est opaque, des dépôts se forment autour de ce noyau (nucleus) dès les premiers mois de la vie de l'individu et jusqu'à la fin de l'automne ou au début de l'hiver. Des matériaux hyalins se déposent alors pendant toute la période hivernale.

Les dépôts alternent ensuite suivant le rythme des saisons et la croissance du poisson. Les zones opaques correspondent aux périodes estivales à croissance rapide et les zones hyalines aux ralentissements hivernaux.

Entre la naissance et le premier ralentissement de croissance (que l'on situe par hypothèse au 1<sup>er</sup> janvier), le poisson appartient au groupe 0. A partir de la reprise de croissance, le poisson entre dans le groupe 1. A chaque nouvelle saison hivernale, il intègre le groupe supérieur.

Pour l'exploitation des données, deux types d'analyses ont été retenus :

- calcul des densités par trait :

Ce type de traitement des données permet une visualisation de la répartition et de l'abondance des différentes espèces sur le secteur d'étude.

Pour chaque espèce rencontrée dans un chalutage et pour chacun des groupes d'âge, lorsque ceux-ci ont pu être identifiés, une densité en nombre d'individus pour 1000 m<sup>2</sup> est calculée.

densité moyenne par 1000 m<sup>2</sup>

avec :

$$d_j = \frac{\sum P_i \times 1000}{\sum S_i}$$

$P_i$  = nombre d'individus observés dans chaque trait  $i$  de la zone  $j$

$S_i$  = surface balayée par chaque trait  $i$  (en m<sup>2</sup>) de la zone  $j$

$d_j$  = densité des individus (par 1000 m<sup>2</sup>) dans la strate  $j$

- calcul des densités moyennes par zone :

Les densités par trait, en raison de la variabilité des valeurs, ne fournissent pas des indices d'abondance permettant de comparer sur le plan quantitatif, les différentes campagnes ou les différentes années entre elles.

Pour résoudre ce problème de comparaison, mais également pour différencier les secteurs soumis à l'influence de la tache thermique due au rejet de la centrale, nous avons eu recours au découpage de l'aire de prospection en plusieurs zones.

Ces zones ont été retenues en tenant compte à la fois de la répartition de la tache thermique et de l'écologie des juvéniles de poissons plats et de la crevette grise dont les répartitions spatiales sont en relation avec la bathymétrie. Cinq zones (ou strates), nommées de A à E ont été définies pour les poissons (figure 3.10 A) et dix (numérotées de 0 à 9) pour la crevette grise (figure 3.10 B).

La méthode de calcul à laquelle nous avons recours est employée en échantillonnage stratifié et consiste en particulier à estimer les paramètres suivants pour chaque zone :

nombre d'individus présents dans la strate

$$n_j = S_j \times \frac{\sum P_i}{\sum S_i}$$

avec :  $S_j$  = surface de la strate  $j$  (m<sup>2</sup>) (estimation par planimétrie)

$n_j$  = nombre d'individus estimés pour la zone  $j$

- calcul des densités moyennes et production sur l'ensemble du secteur d'étude :

Comme indice de la production de l'ensemble des différentes zones nous avons utilisé la formule suivante :

nombre d'individus présents sur l'ensemble du secteur

$$N = \sum n_j$$

Les densités obtenues par ces méthodes de calcul ne doivent pas être considérées comme des valeurs absolues mais plutôt comme des indices d'abondance (annexe 6).

### 3.2.3. Résultats

En ce qui concerne la macrofaune halieutique, l'étude est principalement orientée vers le suivi des poissons plats les mieux représentés sur le site, en particulier sous leurs formes juvéniles. Pour chaque trait de chalut, cependant, toutes les autres espèces de poissons, céphalopodes et crustacés ont été identifiées, dénombrées et pesées (annexe 1).

#### 3.2.3.1. Poissons plats

Hormis la sole, la plie et la limande, trois autres espèces de poissons plats sont présentes, mais leurs effectifs demeurent très faibles. Il s'agit de la barbue, du turbot et du flet.

##### 3.2.3.1.a La sole (*Solea solea*, L.)

La sole est largement répandue dans l'Atlantique et les mers adjacentes, des côtes de Scandinavie au Sénégal. Espèce benthique, la sole vit de préférence sur des fonds meubles compris entre 10 et 70 m, à faciès sableux ou sablo-vaseux. De grande valeur commerciale, à chair très estimée, c'est le soléidé le plus abondant sur le site de Penly.

En 2014, l'indice d'abondance global du groupe 0 est de 0,48 ind./1000 m<sup>2</sup> (figure 3.11). Cet indice est en hausse depuis 2012. La figure 3.12 montre la répartition des soles du groupe 0 selon qu'elles se situent à l'intérieur (strate E), au proche extérieur (strate B) ou à l'extérieur (strate A et C regroupées) de la baie de Somme. Classiquement ces individus sont cantonnés dans ou aux abords de la baie avec cette année une densité de 6,61 ind./1000 m<sup>2</sup> (figure 3.12a) soit 72,7% de l'ensemble de captures (annexe 1). L'intérieur concentre la majorité de ces juvéniles.

Les individus du groupe 1, comparés à l'année dernière où ils étaient principalement capturés dans la strate intérieure (strate E), ont retrouvé une répartition « classique » dans l'intérieur et les abords de la baie (annexe 9). A contrario, avec 0,02 ind./1000 m<sup>2</sup> (annexe 1) l'indice global reste au même niveau que l'année 2013 soit l'un des plus faibles de la série historique. Il est supérieur à celui des strates situées plus au large.

Cette année, aucune sole de groupe 2 n'a été prélevée. Classiquement, très peu d'individus de ce groupe d'âge sont capturés.

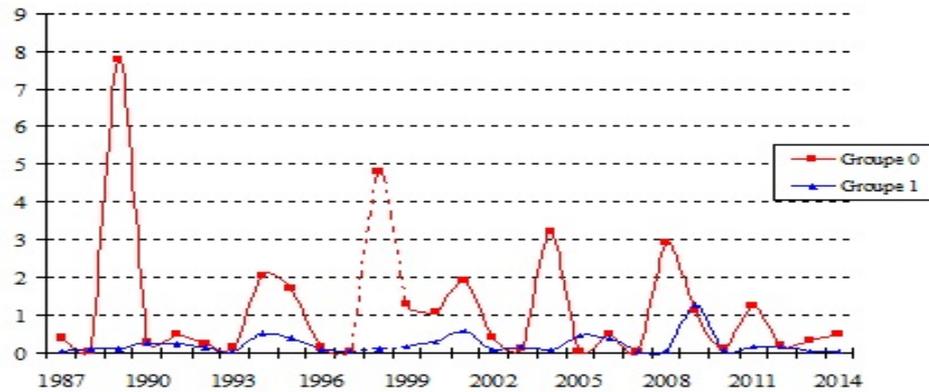
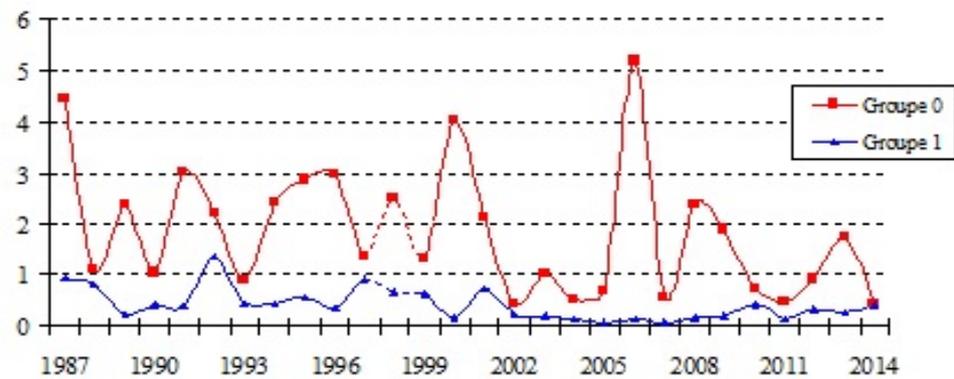
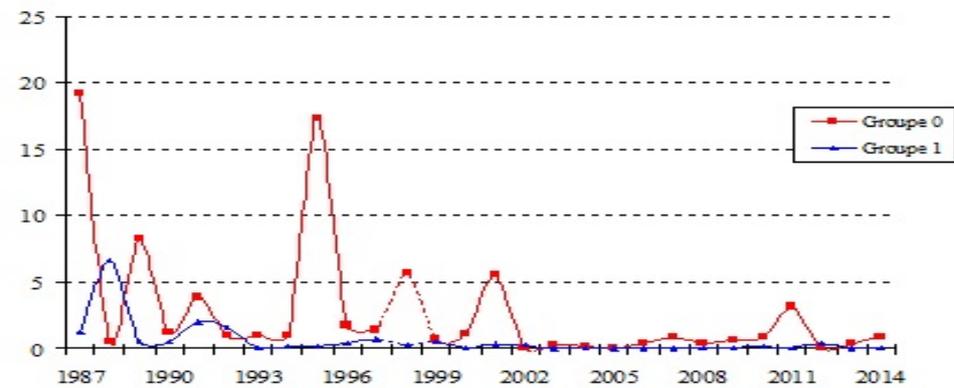
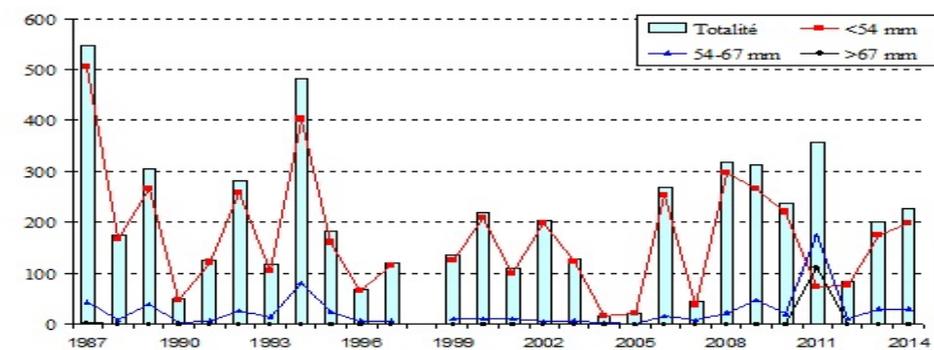
**SOLE****PLIE****LIMANDE****CREVETTE**

Figure 3.11: Densité moyenne à l'automne (nombre d'individus pour 1000 m<sup>2</sup>).  
(Les valeurs de 1998 sont estimées, sauf pour la crevette où elles sont manquantes)

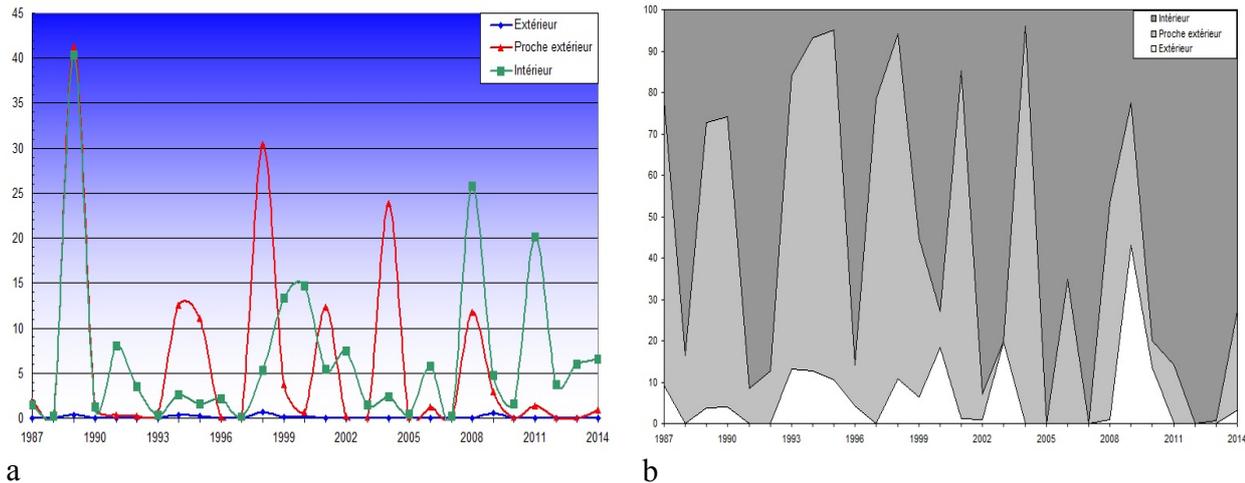


Figure 3.12 : répartition par strates des soles du groupe 0 (Strate E non représentative en 1998)

3.2.3.1.b La plie (*Pleuronectes platessa*, L.)

Largement distribuée dans les eaux continentales de l'Atlantique nord, du Groenland jusqu'aux côtes de l'Afrique du nord, la plie se reproduit en période hivernale, de décembre à mars (avec un maximum en janvier - février) sur des frayères situées au milieu de la Manche orientale et de la mer du Nord. Ce comportement de plus en plus précoce dans l'année peut expliquer l'absence d'œufs et de larves dans les pêches planctoniques côtières au printemps. Après une migration vers la côte, les juvéniles se concentrent dans des eaux peu profondes et turbides correspondant à des nourriceries.

L'indice d'abondance du groupe 0 est globalement de 0,44 ind./1000 m<sup>2</sup> (figure 3.11). Cette valeur apparaît comme étant l'une des plus faibles depuis le début de la série historique. C'est au niveau des eaux peu profondes que domine pratiquement toujours le groupe 0. Les abondances observées sont de 4,81 ind./1000 m<sup>2</sup> pour la strate E et de 1,57 ind./1000 m<sup>2</sup> pour la strate B proche extérieur (figure 3.13a).

Le groupe 1 présente un indice global de 0,39 ind./1000 m<sup>2</sup>, supérieur à celui constaté en 2013. La strate dominante est la strate C qui représente 55,8% des captures de ce groupe d'âge.

Les individus plus âgés (groupes 2 et 3+) fréquentent les eaux plus profondes soient les strates A et C (annexe 2).

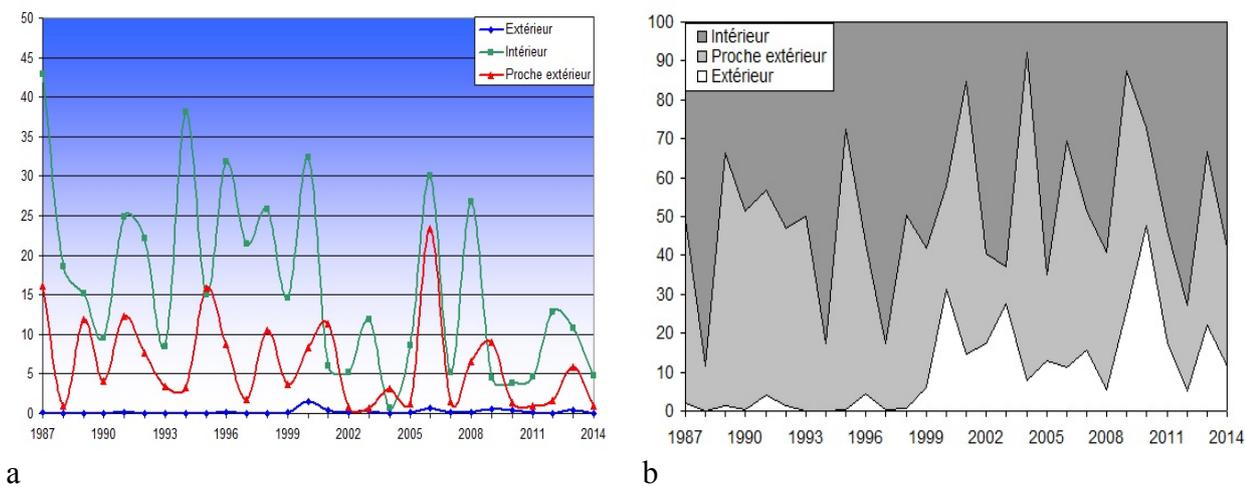


Figure 3.13 : répartition par strates des plies du groupe 0 (Strate E non représentative en 1998)

3.2.3.1.c La limande (*Limanda limanda*, L.)

Très commune en Manche et mer du Nord, elle fréquente les fonds sableux et coquilliers où elle côtoie la plie. Le frai a lieu dans l'ensemble de l'aire de répartition de l'espèce, un peu vers le large cependant. La limande se reproduit surtout de février à avril, sensiblement à la même époque que la sole.

Le groupe 0 principalement capturé dans la strate E représente 67,9% de l'abondance globale (figure 3.14a) de ce groupe d'âge. La densité y est de 10,80 ind./1000 m<sup>2</sup> et son indice global est de 0,84 ind./1000 m<sup>2</sup>. L'abondance 2014 est parmi les valeurs les plus basses enregistrées depuis le début de la série historique (figure 3.11).

Le groupe 1 se situe essentiellement dans la strate A (0,2 ind./1000 m<sup>2</sup>) et présente un indice d'abondance particulièrement faible.

Quelques individus d'âge supérieur (groupe 2) ont été observés cette année dans les strates A et C.

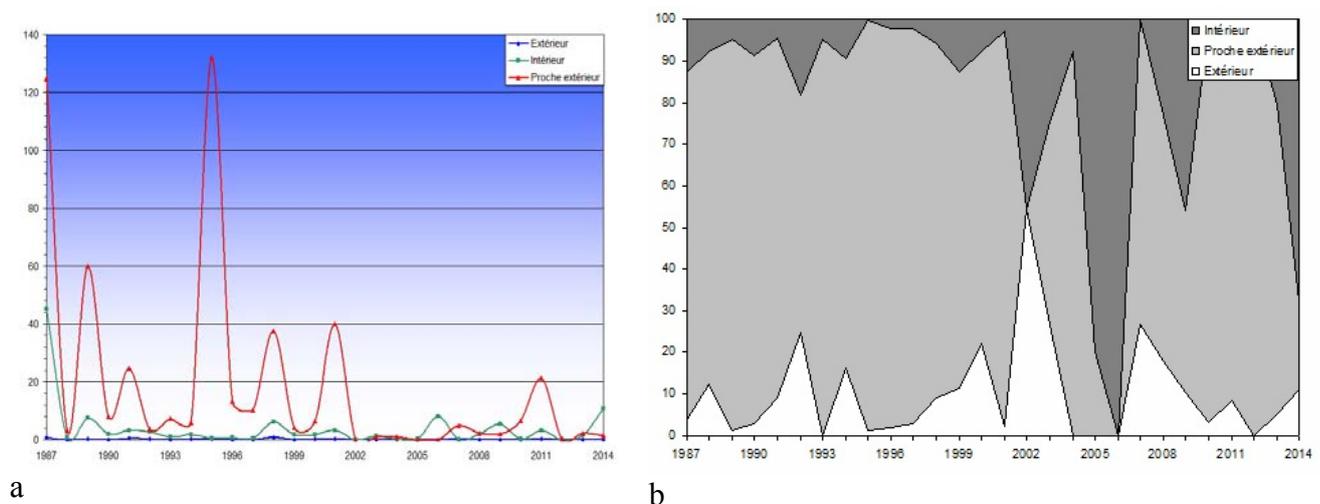


Figure 3.14 : répartition par strates des limandes du groupe 0 (Strate E non représentative en 1998)

#### 3.2.3.1.d Barbue (*Scophthalmus rhombus*, L.)

Les barbues du groupe 0 ont été capturées dans la strate E. Quelques individus du groupe 2 ont été pêchés dans la strate A. La densité moyenne totale (annexe 6) sur l'ensemble de la zone est inférieure à 0,08 ind./1000 m<sup>2</sup>.

#### 3.2.3.1.e Turbot (*Psetta maxima*, L.)

Aucun turbot du groupe 0 n'a été capturé cette année. Quelques individus plus âgés (groupe 1 et 2) ont été capturés dans les strates situées à l'extérieur de la baie. La densité moyenne totale sur l'ensemble de la zone est de 0,02 ind./1000 m<sup>2</sup>.

#### 3.2.3.1.f Flet (*Platichthys flesus*, L.)

Les flets du groupe 0 ont été observés cette année, uniquement dans les strates E (0,5 ind./1000 m<sup>2</sup>) et C (0,02 ind./1000 m<sup>2</sup>). Un petit nombre d'individus du groupe 1 a été capturé dans les strates A, B et E. La densité moyenne totale sur l'ensemble de la zone est de 0,05 ind./1000 m<sup>2</sup> (annexe 6).

### 3.2.3.2. Autres espèces de poissons

#### 3.2.3.2.a Le sprat (*Sprattus sprattus*, L.)

On trouve le sprat sur le plateau continental du nord-est de l'Atlantique, depuis le nord de la Norvège jusqu'en Méditerranée et mer Noire où il rencontre les températures et les salinités les plus favorables à sa ponte et son développement. Le sprat ne fait pas l'objet d'une exploitation commerciale dans le secteur de Penly, bien que l'abondance de cette espèce, au voisinage du site, au moment de la reproduction soit loin d'être négligeable, compte tenu de l'importance du frai.

Aucun individu n'a cependant été capturé en 2014

### 3.2.3.2.b Le hareng (*Clupea harengus*, L.)

Pour cette espèce pélagique, seuls des juvéniles du groupe 1+ ont pu être observés. Ils ont été capturés essentiellement dans la strate A ou dans la baie de Somme. La densité moyenne globale de 0,65 ind./1000 m<sup>2</sup>.

### 3.2.3.2.c La sardine (*Sardina pilchardus*, Walbaum)

Dans l'Atlantique nord-est, la sardine est largement répandue des Açores à la mer du Nord méridionale. D'après les caractères méristiques et morphologiques on peut distinguer deux races :

- la sardine ibérique ou atlantique s'étendant de Gibraltar au nord de l'Espagne,
- la sardine atlantique septentrionale se trouvant du nord de l'Espagne à la Mer du Nord.

Aucun juvénile n'a été capturé en 2014.

### 3.2.3.2.d Le merlan (*Merlangius merlangus*, L.)

Cette espèce démersale côtière marquant une préférence pour les fonds meubles à faible profondeur (25 à 100 m) est très commune en Manche et elle fait l'objet d'une exploitation commerciale importante.

Les individus du groupe 0 ont été prélevés majoritairement à l'extérieur de la Baie de Somme, avec un indice d'abondance de 0,62 ind./1000 m<sup>2</sup>. Les individus d'âge supérieur (groupe 1) ont été observés principalement dans la strate B (0,27 ind./1000 m<sup>2</sup>).

### 3.2.3.2.e Le tcaud (*Trisopterus luscus*, L.)

Les individus pêchés appartiennent principalement au groupe 0 et se répartissent sur la baie (5,26 ind./1000 m<sup>2</sup>) et le proche extérieur (5,9 ind./1000 m<sup>2</sup>) de la baie. La densité moyenne totale sur l'ensemble de la zone est de 1,06 ind./1000 m<sup>2</sup>.

### 3.2.3.2.f Divers poissons

Au cours des chalutages, plus d'une trentaine d'autres espèces de poissons ont été capturées. Ces espèces ne feront l'objet d'aucun commentaire, seuls leurs noms et leurs indices d'abondance sont présentés en annexe 6.

## 3.2.3.3. Les crustacés

### 3.2.3.3.a La crevette grise (*Crangon crangon*, L.)

Cette espèce qui est commune en Manche sur les fonds sablo-vaseux côtiers présente une croissance rapide et un taux de renouvellement important. Les auteurs, en règle générale, s'accordent pour estimer que la crevette grise peut avoir plusieurs périodes de ponte dans l'année, de une à trois (Tiews, 1967) (Meixner, 1968).

En 2014, la densité moyenne globale sur l'ensemble du secteur est de 228 ind./1000 m<sup>2</sup> (annexe 10). Elle est en augmentation comparée aux observations de 2011 et 2012 (figure 3.11). L'essentiel des captures a été réalisé à l'intérieur de la Baie de Somme (strates 0 et 1). Les individus dont la taille est inférieure à 54 mm y représentent 95% de l'abondance totale. L'indice d'abondance des plus grandes tailles (>67 mm) a été observé dans la strate 1. Il est de 1,9 ind./1000 m<sup>2</sup> (annexe 4), ce qui est supérieur à celui observé en 2013 mais reste toujours aussi faible.

### 3.2.3.3.b L'étrille (*Macropipus puber*, C.)

L'étrille est un crabe très commun en Manche et en Atlantique, qui donne lieu par endroits à une pêche artisanale. Les zoés de *Necora puber* sont abondantes dans le plancton de printemps et d'été, les mégalopes étant plus fréquentes en été (Lebour, 1928). À l'âge d'un an, leur longueur est de 30 mm (Wilhelm, 1995).

En 2014, les indices d'abondance les plus élevés sont observés dans la strate C avec 0,86 ind./1000 m<sup>2</sup>, ce qui représente 84 % de l'abondance totale.

### 3.3. Conclusion

Comme pour les années précédentes, sur les quatre espèces ciblées de l'ichtyoplancton, la sole et le sprat étaient les plus abondants sur le site du CNPE de Penly en 2014. Pour ces deux espèces, les abondances observées en 2014 restaient assez faibles par rapport à celles observées depuis le début du suivi mais étaient supérieures par rapport à celles observées au cours des cinq dernières années.

La limande et la sardine ne sont pas des espèces importantes en termes d'œufs et de larves de poissons sur le site du CNPE de Penly. Leur suivi individuel ne présente que peu d'intérêt d'un point de vue écologique. De plus, il faut rappeler que pour la limande, un doute important subsiste quant à l'identification visuelle des œufs. Ces œufs peuvent être confondus avec ceux de flet, particulièrement pour le stade 'Non Embryonné'. Seule l'analyse moléculaire permet de séparer clairement les deux espèces (Lelièvre *et al.*, 2012). Ceci rajoute encore d'avantage d'incertitude quant aux abondances observées pour la limande. Comme pour les années précédentes, il faut noter une quantité non négligeable d'œufs et de larves d'autres espèces présentes dans les échantillons collectés. Dans le cadre d'un suivi de la biodiversité, d'une orientation grandissante vers des études écosystémiques et de la mise en place de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin, il serait plus intéressant d'étudier l'ichtyoplancton présent sur le site en terme d'assemblages plutôt que d'un point de vue monospécifique.

La stratégie d'échantillonnage stratifié de la macrofaune halieutique a été maintenue et le plan d'échantillonnage prévu a pu être réalisé en 2014, malgré les conditions météorologiques plutôt défavorables rencontrées pendant la campagne de prospection.

Globalement en 2014 seul l'indice de plie est en diminution principalement à cause de la forte diminution des captures d'individus du groupe 0. Même si on peut noter une augmentation des indices de soles et limandes, ils représentent des quantités très faibles d'individus échantillonnés et proches des plus bas historiques. Toutefois ces indices de juvéniles restent dans l'intervalle des valeurs enregistrées depuis le début de cette étude du site. La répartition géographique des groupes d'âge reste similaire à celle des années antérieures. Chez les poissons plats et en dehors de la sole tous les groupes d'âge sont représentés.

La campagne 2014 se caractérise par une très faible quantité de poissons plats capturés et représente par conséquent l'une des campagnes les moins productives de la série historique.

La densité globale en crevettes grises observée en 2014 est en augmentation comparée aux deux années précédentes. L'indice enregistré cette année est situé dans la partie supérieure de ce qui est généralement observé. La répartition géographique de cette espèce reste comparable à celle des années antérieures, à savoir, à l'intérieur de la baie de Somme ou son abord immédiat.

L'étude du compartiment halieutique ne permet pas de conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu lié à l'activité de la centrale de Penly : les indices de juvéniles des principales espèces de poissons plats (soles, plies, limandes) et de crevettes grises constatés en 2014 sont dans l'intervalle des valeurs enregistrées précédemment. Leur répartition géographique reste similaire à celle observée depuis 1987.



## Conclusions :

## Hydrologie

Afin d'expliquer l'évolution annuelle 2014 des paramètres suivis sur le CNPE de Penly il est nécessaire de rappeler les tendances générales climatiques à Dieppe en 2014.

L'année 2014 peut être qualifiée de chaude en raison du fort écart thermique annuel positif constaté. L'ensemble de l'année est caractérisé par une douceur constante, les températures de l'air étant au dessus de la moyenne interannuelle mais sans dépasser les maxima. En comparant avec la période 1960-2013, l'année 2014 se distingue par un faible excédent de précipitation dû à la conjonction de plusieurs événements climatiques distincts que sont les excédents de précipitations de mai et août associé à un déficit en automne. Enfin le débit de la Béthune est nettement supérieur à la moyenne des données récoltées depuis 1941 durant le premier semestre 2014 (cf 1.6 Climatologie).

Les **températures** de l'eau de mer relevées lors des trois campagnes 2014 sont des valeurs supérieures aux médianes pluriannuelles. Cet excédent est plus marqué en été et en automne, la température augmentant de 8°C entre le printemps et l'été. La température au point *rejet* dépasse le maximum interannuel à chaque saison. Les écarts thermiques entre le point *rejet* et les points *canal* et *référence* sont aussi élevés mais ne dépassent pas les maxima. L'étude statistique sur les mesures 2014 révèle, toutes saisons confondues, une différence systématique entre chaque couple de stations, excepté pour *contrôle /canal* au printemps et à l'automne et pour *canal/référence* à l'automne. Malgré les températures chaudes de 2014, le taux de dilution se maintient autour de 70% durant les trois campagnes.

Les **salinités** observées en été et en automne 2014 ont été plus ou moins proches des médianes pluriannuelles sur l'ensemble des points de surveillance. Les mesures effectuées le 26 juin révèlent des salinités faibles sur les points *rejet* et *contrôle* par rapport aux données interannuelles. Les campagnes 2014 ont été caractérisées par la présence du gradient de salinité côte/large, croissant au printemps et en automne et exceptionnellement décroissant en été. Les tests statistiques révèlent des différences significatives de salinité sur l'ensemble de couple de stations exception faite pour *contrôle/référence* au printemps et à l'automne.

Le suivi 2014 des **sels nutritifs** révèle qu'au printemps les concentrations en silicates, phosphates nitrates plus élevées qu'en 2013. Ces trois paramètres sont directement liés aux apports côtiers tandis que l'ammonium et les nitrites sont aussi dépendants du cycle de l'azote se déroulant dans la colonne d'eau. Les concentrations de ces deux paramètres sont plus élevées en automne. La comparaison avec l'ensemble des données du suivi montre que les valeurs de 2014 sont globalement proches des médianes (centrées dans la boîte représentant les 80% des données) à quelques exceptions citées ci-après. Les concentrations d'ammonium au printemps et en été sont proches du

minimum (limite ou hors de la boîtes représentant 80% des données) des valeurs recensées depuis le début du suivi et celles de silicate au printemps sont supérieures à la médiane. Les teneurs de phosphate de 2014 sont réparties différemment selon si les points soient côtiers ou du large au printemps ; *contrôle* et *référence* sont proches de la médiane et les concentrations des points *canal* et *rejet* sont supérieures à la médiane. Les tests statistiques confirment cette observation puisque il y a des différences significatives entre le point *contrôle* et le point *canal* et *rejet* au printemps. En été et en automne les concentrations de phosphate sont proches des valeurs faibles recensées depuis le début du suivi.

Les résultats statistiques, tous sels nutritifs confondus révèlent fréquemment l'absence de différence significative au printemps. Cela signifie qu'il y a une homogénéité spatiale des points suivis au printemps et non en été et en automne, saisons où leur concentration est majoritairement plus faible.

En 2014, la mesure des **Matières En Suspension** montre des variations spatiales importantes avec en particulier un gradient décroissant côte-large très marqué au printemps et en été. En automne, les concentrations des quatre stations sont similaires. Sur le plan temporel, les concentrations en MES sont équivalentes quelque soit la saison pour les points au large tandis que les concentrations des points *canal* et *rejet* évoluent différemment. Les valeurs les plus élevées sont sur les points *canal* et *rejet* au printemps et en été et sont proches des maxima interannuels. Les concentrations en **trihalométhanes** ont été suivies durant les trois campagnes aux différents points de surveillance. Une attention particulière dans ce rapport a été portée sur les bromoformes, seuls composés à avoir présenté des traces dans le milieu jusqu'à maintenant. En 2014 deux mesures ont été quantifiées mais restent inférieures à la valeur de référence de 10µg/L, concentration généralement considérée comme acceptable dans l'eau de mer.

Les concentrations en **hydrazine et éthalonamine** ont été suivies durant les trois campagnes aux différents points de surveillance. Les concentrations sont inférieures au seuil de quantification de la méthode sur toutes les stations et en toutes saisons.

En conclusion, les données relatives au compartiment hydrologique acquises en 2014 dans le cadre du programme de surveillance écologique du CNPE de Penly mettent en évidence un échauffement de l'eau aux abords des bouches de rejets. Cette perturbation thermique reste cependant géographiquement très limitée. L'ensemble des autres paramètres suivis présente des valeurs et des variations saisonnières classiques pour cette zone de la Manche. Ainsi les rejets du CNPE n'affectent pas de façon générale la distribution et les variations saisonnières des paramètres étudiés autres que la température. Les caractéristiques hydrologiques intrinsèques du milieu n'apparaissent donc pas modifiées de manière sensible et significative.

## Phytoplancton

L'année 2014 a été caractérisée par un bloom phytoplanctonique bien marqué dès le mois d'avril sur la baie de Somme. En effet, les images satellites montrent des concentrations maximales en chlorophylle *a* à cette période.

Comme en 2013, on observe au printemps sur le CNPE de Penly, un fort gradient côte-large, avec des valeurs de chlorophylle *a* allant de 6.62 µg/L au point *canal* à 1.02 µg/L au point *référence*. Ce gradient disparaît lors des campagnes suivantes. En automne 2014, les concentrations de chlorophylle sont faibles et varient peu selon les points.

La production primaire potentielle a été caractérisée à travers la mesure de la fluorescence *in vivo* au moyen d'un Pulse Amplitude Modulated (PAM). Les valeurs de rETR mesurées en 2014 sont comprises entre 100 en été au point *contrôle* et en automne au point *rejet* et 190 au point *rejet* en mars.

Les paramètres photosynthétiques suivent une évolution saisonnière assez semblable à la chlorophylle en automne 2014 avec des valeurs de rETR faibles et variant peu.

Concernant le paramètre photosynthétique  $Y_{max}$ , les valeurs relevées au cours des campagnes de printemps et d'automne sont supérieures à 0,59 alors que les valeurs d'été et d'automne sont inférieures à 0,52. Ces observations suggèrent que l'état physiologique des cellules phytoplanctoniques était meilleur au printemps 2014 qu'au reste de l'année. Comparativement à 2013, les valeurs de l'efficacité quantique indiquent un moins bon état physiologique des cellules, excepté sur le point *canal* au printemps. Ceci suggère que les cellules phytoplanctoniques à proximité de Penly ont pu subir un léger stress nutritifs ou lumineux au cours de l'été et de l'automne 2014.

L'abondance phytoplanctonique de 2014 est supérieure à celle de 2013 tout en restant en général marquée par d'assez faibles abondances phytoplanctoniques

En été l'évolution caractéristique du cycle saisonnier en zone tempérée est une diminution de la biomasse phytoplanctonique due à la diminution drastique des concentrations en sels nutritifs suite au bloom printanier. L'année 2014 ne suit pas cette tendance générale : Les plus fortes abondances cellulaires ont été observées au mois de juin et se situent entre 53 000 et 322000 cellules par litre. Un fort gradient décroissant côte large était alors observé. Seul le point *référence* au mois de mars est caractérisé par une valeur plus élevée (157 100 cellules par litre).

Ce cycle saisonnier inhabituel peut être dû au fait que l'année 2014 a également été marquée par des températures de l'eau particulièrement élevée, avec un excédent bien marqué en été (plus 8°C par rapport au printemps) et en automne (cf. chapitre hydrologie).

En automne les abondances cellulaires sont restées stables avec un léger gradient côte large du nombre de cellules.

A l'instar des années précédentes, les diatomées ont largement dominé la communauté phytoplanctonique tout au long de l'année 2014 sur le site du CNPE de Penly. Néanmoins les valeurs de diatomées en automne 2014 sont assez faibles. Sur le point *rejet*, le 86% de la

communauté phytoplanctonique est représentée par les diatomées. C'est le plus faible pourcentage relevé depuis le début du suivi. A contrario sur ce même point en septembre, 13% de la communauté est représentée par des dinoflagellés. Ceci est dû à la présence de *Gymnodiniaceae* à hauteur d'environ 3000 cellules par litre sur ce point.

En 2014, les diatomées sont dominées au printemps par des *Guinardia sp.* et des *Thalassionema nitschoïdes*. En été ce peuplement est remplacé par des *Chaetoceros* et des *Leptocylindrus*. Au mois de septembre, la communauté de diatomées est plus hétérogène entre les points. Ce sont les genres *Guinardia*, *Chaetoceros* et *Leptocylindrus* qui composent l'essentiel du cortège floristique.

Toutes ces espèces sont classiquement décrites dans les eaux des côtes Atlantique et de la Manche.

Le cycle saisonnier du phytoplancton ainsi que la structure des communautés phytoplanctoniques observés en 2014 ne présentent pas de caractéristiques pouvant mettre en cause l'activité du CNPE de PENLY. L'évolution dans le temps de ces paramètres est cohérente avec les connaissances que nous avons de ces paramètres en Manche.

Nous ne pouvons donc pas conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu, généré par l'activité du CNPE de Penly, à partir de l'étude des paramètres suivis dans le compartiment phytoplanctonique en 2014.

## Microbiologie

A l'instar des années précédentes, en 2014 les plus fortes abondances en germes totaux ont été observées au cours de l'été sur les points *canal*, *rejet* et *contrôle*. En revanche, concernant le point *référence* les plus fortes abondances ont été observées au cours de l'automne 2014. Au cours de ces deux périodes, l'abondance en germes totaux diminue de la côte vers le large. En revanche, les valeurs enregistrées au cours de l'été 2014 sont très inférieures aux médianes pluriannuelles sur l'ensemble de la zone de Penly mais restent néanmoins dans la gamme des concentrations habituellement rencontrées à cette période sur cette zone. L'automne 2014 en revanche se caractérise par des abondances supérieures aux médianes pluriannuelles sur les points *rejet* et *référence*.

Sur le point *canal* le nombre de germes totaux est très proche de la médiane pluriannuelle au cours de cette même période. On note également des valeurs plus faibles que la médiane pluriannuelle sur le point *contrôle* à cette période. Les résultats des tests statistiques ne montrent aucune différence significative entre les stations au regard des abondances en germes totaux au cours des différentes périodes d'étude.

A l'instar de ce qui est généralement observé sur le site de Penly, les germes revivifiables étaient plus abondants en été et en automne au cours de l'année 2014. A l'exception du point *rejet*, les plus fortes abondances en germes revivifiables ont été observées au cours de l'automne 2014 sur l'ensemble de la zone. Au cours de cette période, les plus fortes abondances sont observées au large sur les points *contrôle* et *référence*. En revanche, au printemps et en été, le gradient côte/large est inversé ; les points les plus côtiers (i.e. *canal* et *rejet*) présentant des abondances en germes revivifiables les plus élevées. Sur le point *rejet* les abondances les plus élevées ont été observées au cours de l'été mais restent cependant inférieures à celles mesurées au cours de la même période sur le point *canal*. Par ailleurs les abondances en germes revivifiables observées au cours de l'automne 2014 sur le point *rejet* sont en revanche bien plus faibles que celles mesurées à la même période sur les 3 autres stations. L'année 2014 se caractérise par des abondances en germes revivifiables inférieures aux médianes pluriannuelles sur l'ensemble de la zone. L'intégration des résultats de l'année 2014 met en évidence une différence significative entre le points *contrôle* et *rejet* au printemps, à l'instar de ce qui a été observé en 2013. Cependant, aucune autre différence significative n'est apparue entre le point *rejet* et les autres points échantillonnés, suggérant un impact très limité du fonctionnement du CNPE sur l'abondance en germes revivifiables à proximité du site.

Les abondances en vibrions halophiles relevées au cours de l'année 2014 sur le site de Penly sont en accord avec le cycle saisonnier observé généralement sur cette zone avec des abondances plus élevées au cours des périodes estivale et automnale. Les abondances totales de vibrions halophiles observées en 2014 sont du même ordre de grandeur que celles observées précédemment sur les points *canal* et *rejet*. En revanche, l'automne 2014 se caractérise par des abondances plus élevées en automne sur les points *contrôle* et *référence* que celles observées les années précédentes. En particulier on note une tendance à l'augmentation des abondances de vibrions en automne sur le point *contrôle* depuis 2012.

En 2014, trois espèces ont été identifiées à proximité du CNPE de Penly : *V. alginolyticus*, *V. vulnificus* et pour la première fois *V. fluvialis*. L'espèce *Vibrio alginolyticus* est observée sur l'ensemble de la zone en été et en automne. *V. vulnificus* a été observée sur le point *canal* au printemps et sur les points *contrôle* et *rejet* en automne. L'espèce *V. fluvialis* a été observée pour la première fois à proximité du CNPE de Penly en été sur le point *référence*. Les données de 2014 confirment donc la dominance de *V. alginolyticus* dans les eaux proches de la centrale puisque cette

espèce est systématiquement observée depuis 1999. En revanche, l'automne 2014 a été marqué par la dominance de *V. vulnificus* sur les points rejet et contrôle. Par ailleurs, aucune autre différence significative n'est apparue entre le point rejet et les autres points échantillonnés, suggérant un impact très limité du fonctionnement du CNPE sur l'abondance en vibrions à proximité du site.

En conclusion, la composition de la communauté est en accord avec les observations réalisées précédemment et l'étude de l'ensemble des paramètres du compartiment microbiologique n'a pas mis en évidence de modification significative du milieu pour ces paramètres, liée à l'activité du CNPE de Penly.

## Zooplancton

Les données historiques acquises depuis 1993 ne montrent pas de corrélation entre la biomasse sestonique et l'abondance zooplanctonique. C'est le cas par exemple en mars où le zooplancton était peu abondant et à tous les points de prélèvement, alors que la biomasse sestonique au point canal était la plus importante mesurée depuis 1993. Les rapports C/N du seston montrent bien la difficulté qu'il y a à déduire, ou estimer, la biomasse du zooplancton, sensu stricto, à partir de ce type d'analyse. La contamination des échantillons filtrés par des débris minéraux et végétaux ou coquilliers (comme souvent au point canal cette année) est trop aléatoire pour pouvoir avoir une estimation fiable de la biomasse zooplanctonique. Au mieux, cette analyse nous donne-t-elle une appréciation de la charge particulaire (seston > 100 µm) sur le site de la centrale de Paluel lors des prélèvements.

Les abondances zooplanctoniques observées en 2014 étaient globalement dans la moyenne des valeurs observées depuis 1993 et montre toujours des abondances significativement plus faibles au point canal par rapport aux autres points de prélèvement, notamment en juin et septembre.

Le méroplancton constitue toujours une composante non négligeable du zooplancton total (notamment au printemps), avec là encore des différences d'abondance entre la côte et le large, (notamment les larves de cirripèdes). L'holoplancton était quant à lui toujours largement représenté par les copépodes (> 80 %) avec *A. clausi* et *T. longicornis* comme espèces dominantes.

L'abondance et la succession des espèces zooplanctoniques observées cette année respectent, pour ce que peut montrer cette analyse de trois campagnes annuelle, leur répartition saisonnière habituelle et sont caractéristiques des milieux côtiers de la Manche et de la baie sud de la Mer du Nord. Elle ne montre donc pas un quelconque effet des rejets du CNPE de Penly sur ces communautés.

L'étude du compartiment zooplanctonique réalisée dans le cadre de la surveillance du site, ne permet pas de conclure à l'existence d'un effet des rejets d'eau chaude et chlorée dans l'environnement par le CNPE de Penly, sur la communauté observée.

## Halieutique

Comme pour les années précédentes, sur les quatre espèces ciblées de l'ichtyoplancton, la sole et le sprat étaient les plus abondants sur le site du CNPE de Penly en 2014. Pour ces deux espèces, les abondances observées en 2014 restaient assez faibles par rapport à celles observées depuis le début du suivi mais étaient supérieures par rapport à celles observées au cours des cinq dernières années.

La limande et la sardine ne sont pas des espèces importantes en termes d'œufs et de larves de poissons sur le site du CNPE de Penly. Leur suivi individuel ne présente que peu d'intérêt d'un point de vue écologique. De plus, il faut rappeler que pour la limande, un doute important subsiste quant à l'identification visuelle des œufs. Ces œufs peuvent être confondus avec ceux de flet, particulièrement pour le stade 'Non Embryonné'. Seule l'analyse moléculaire permet de séparer clairement les deux espèces (Lelièvre *et al.*, 2012). Ceci rajoute encore d'avantage d'incertitude quant aux abondances observées pour la limande. Comme pour les années précédentes, il faut noter une quantité non négligeable d'œufs et de larves d'autres espèces présentes dans les échantillons collectés. Dans le cadre d'un suivi de la biodiversité, d'une orientation grandissante vers des études écosystémiques et de la mise en place de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin, il serait plus intéressant d'étudier l'ichtyoplancton présent sur le site en terme d'assemblages plutôt que d'un point de vue monospécifique.

La stratégie d'échantillonnage stratifié de la macrofaune halieutique a été maintenue et le plan d'échantillonnage prévu a pu être réalisé en 2014, malgré les conditions météorologiques plutôt défavorables rencontrées pendant la campagne de prospection.

Globalement en 2014 seul l'indice de plie est en diminution principalement à cause de la forte diminution des captures d'individus du groupe 0. Même si on peut noter une augmentation des indices de soles et limandes, ils représentent des quantités très faibles d'individus échantillonnés et proches des plus bas historiques. Toutefois ces indices de juvéniles restent dans l'intervalle des valeurs enregistrées depuis le début de cette étude du site. La répartition géographique des groupes d'âge reste similaire à celle des années antérieures. Chez les poissons plats et en dehors de la sole tous les groupes d'âge sont représentés.

La campagne 2014 se caractérise par une très faible quantité de poissons plats capturés et représente par conséquent l'une des campagnes les moins productives de la série historique.

La densité globale en crevettes grises observée en 2014 est en augmentation comparée aux deux années précédentes. L'indice enregistré cette année est situé dans la partie supérieure de ce qui est généralement observé. La répartition géographique de cette espèce reste comparable à celle des années antérieures, à savoir, à l'intérieur de la baie de Somme ou son abord immédiat.

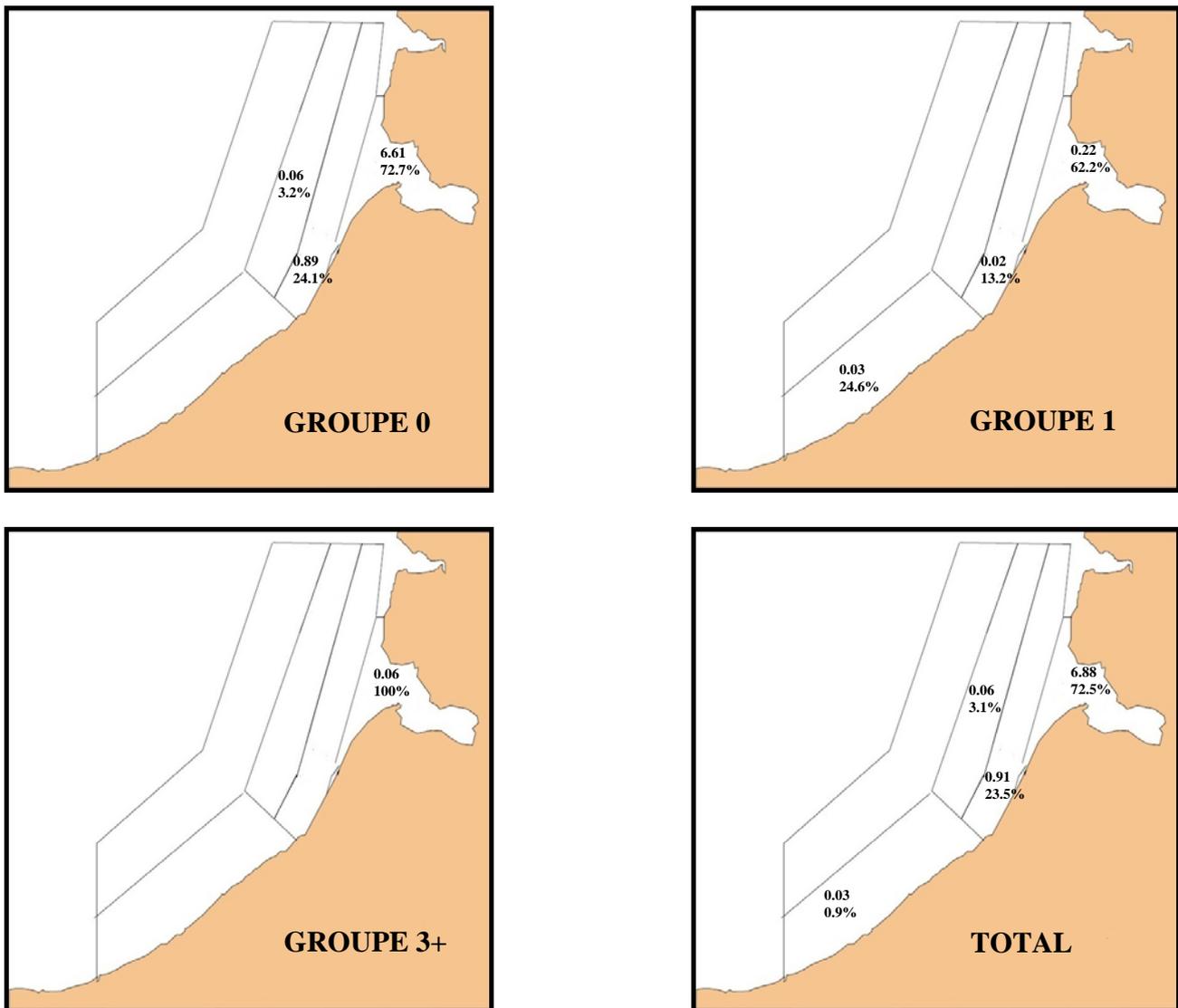
L'étude du compartiment halieutique ne permet pas de conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu lié à l'activité de la centrale de Penly : les indices de juvéniles des principales espèces de poissons plats (soles, plies, limandes) et de crevettes grises constatés en 2014 sont dans l'intervalle des valeurs enregistrées précédemment. Leur répartition géographique reste similaire à celle observée depuis 1987.

L'étude de la surveillance réalisée aux travers des paramètres réglementaires suivis de manière indépendante dans les compartiments écologique et halieutique du site électronucléaire de Penly en 2014, ne permet pas de conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu marin qui soit lié aux rejets d'eau chaude et chlorée du CNPE.



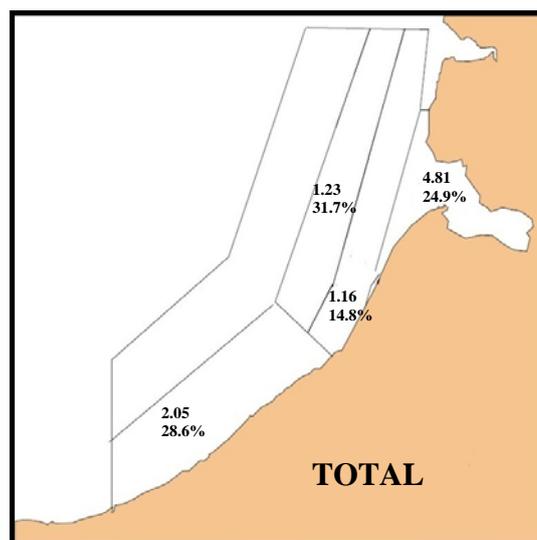
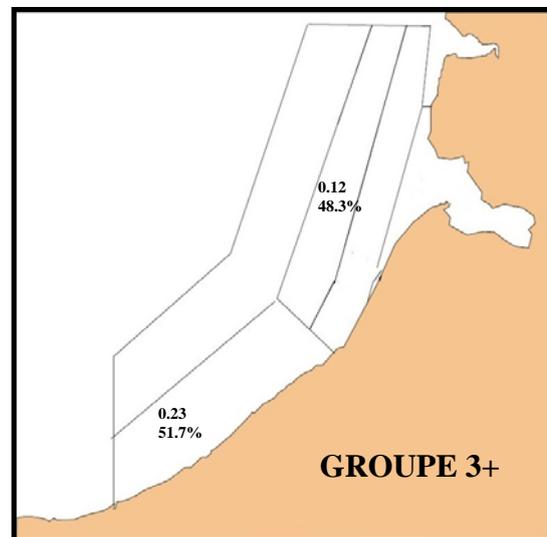
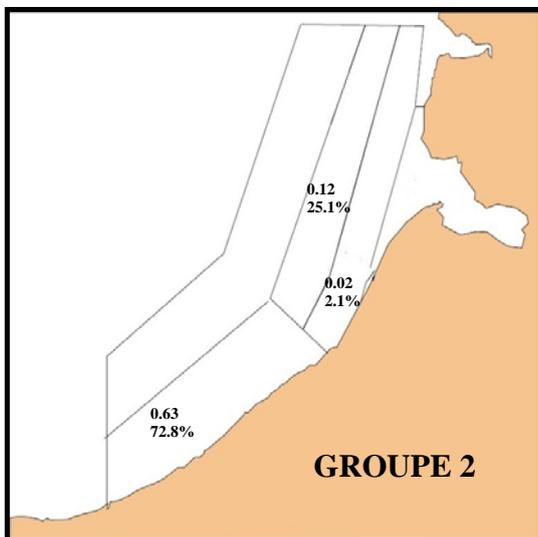
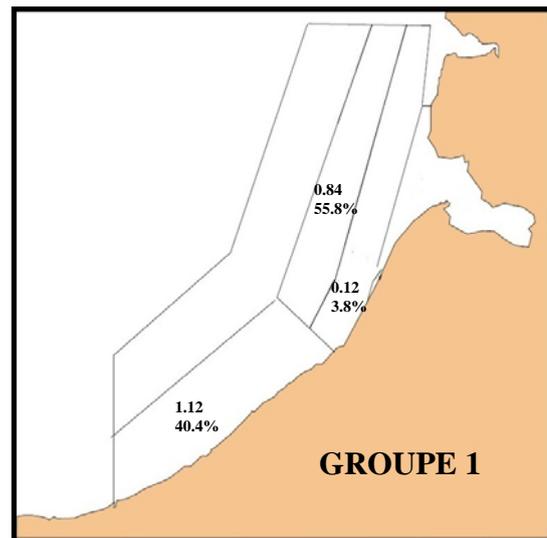
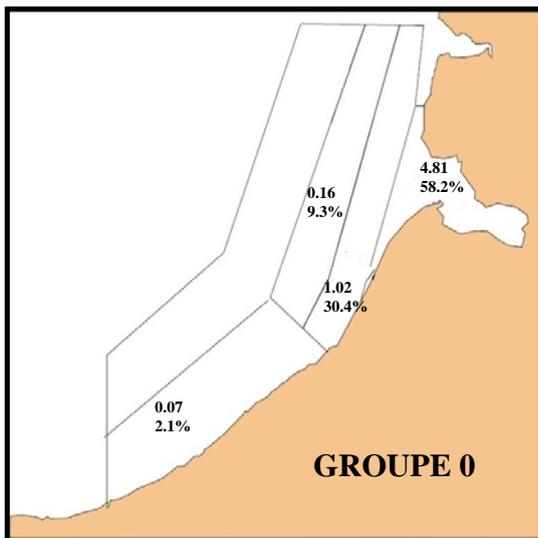
## 5. Annexes

Distributions spatiales des principales espèces et productions par zones



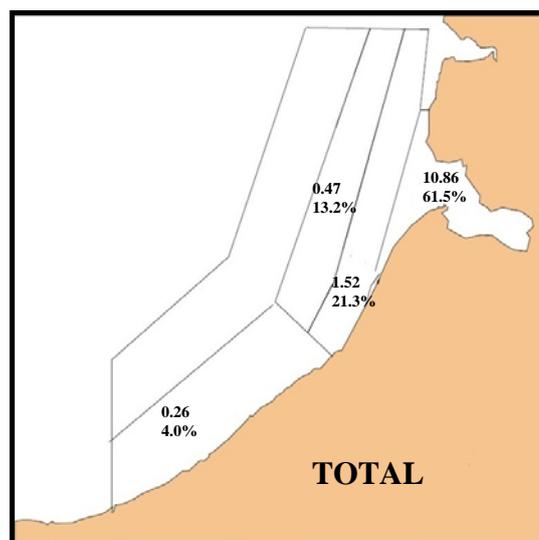
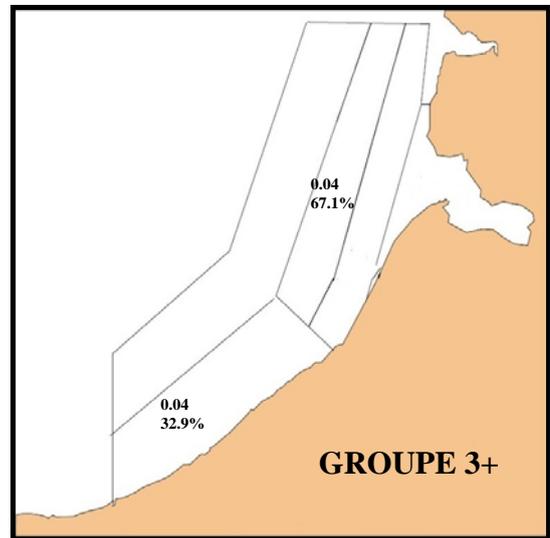
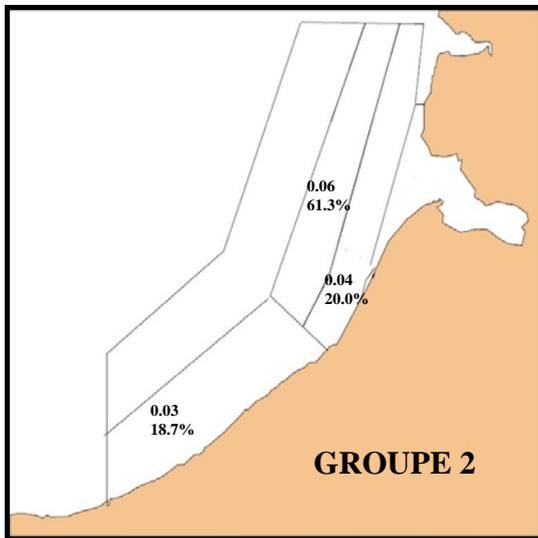
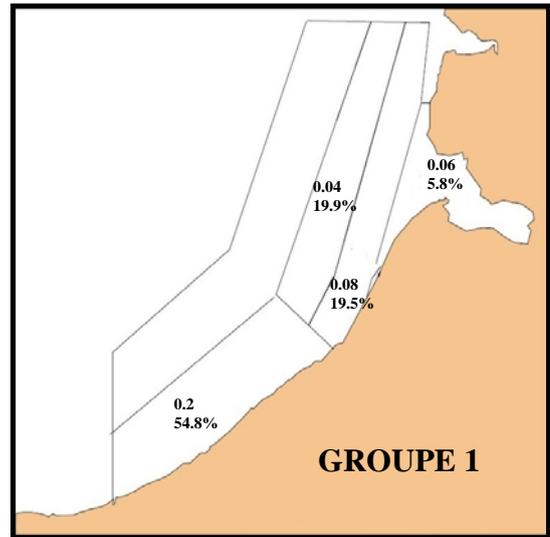
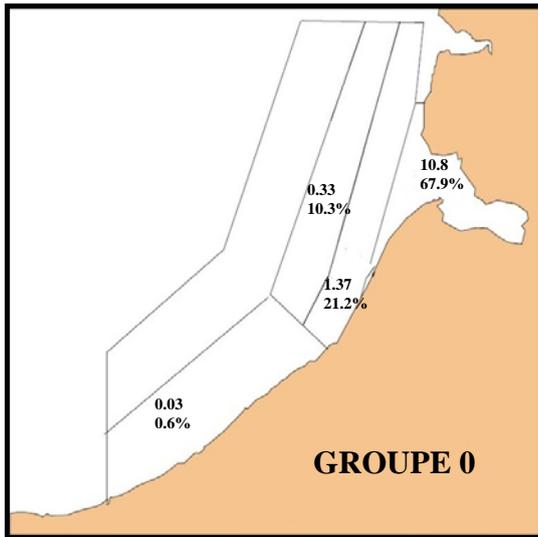
Annexe 1 : SOLE – septembre 2014

Densités moyennes par strates (nb / 1000 m<sup>2</sup>) et pourcentages par rapport à l'abondance totale.



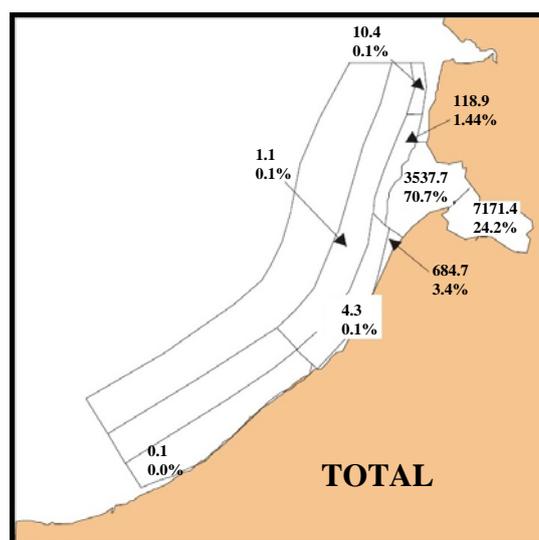
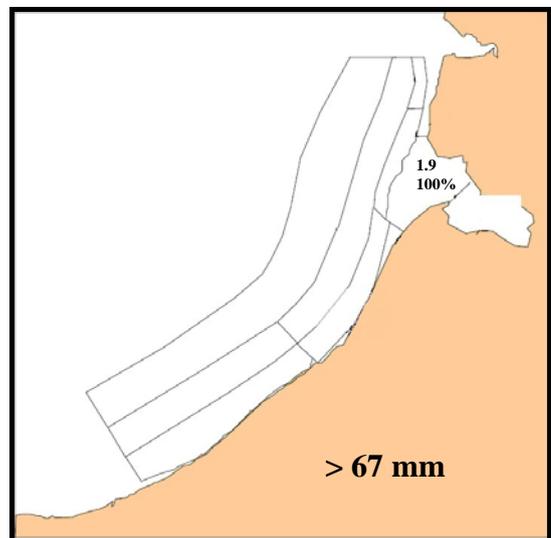
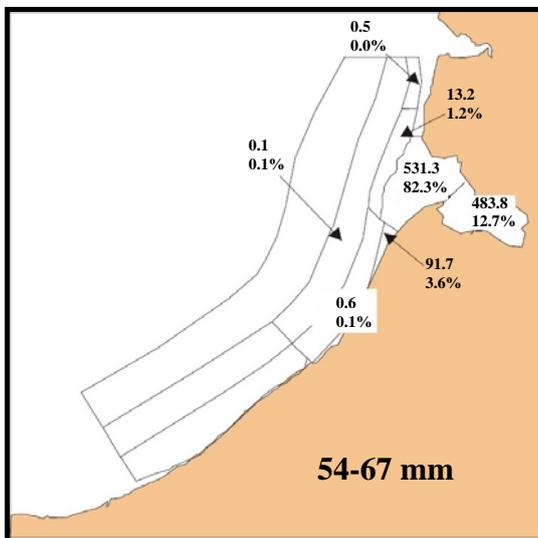
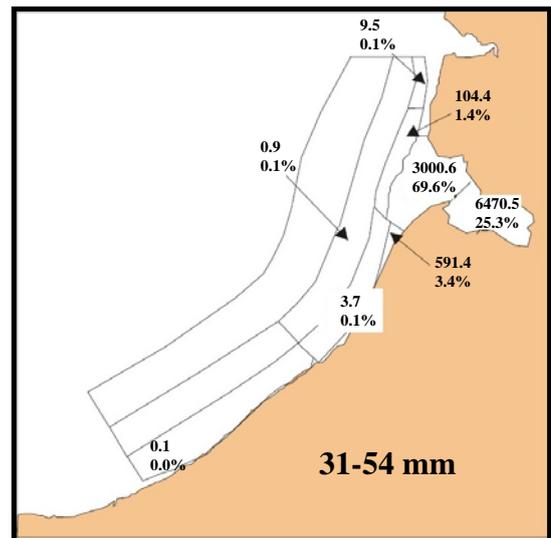
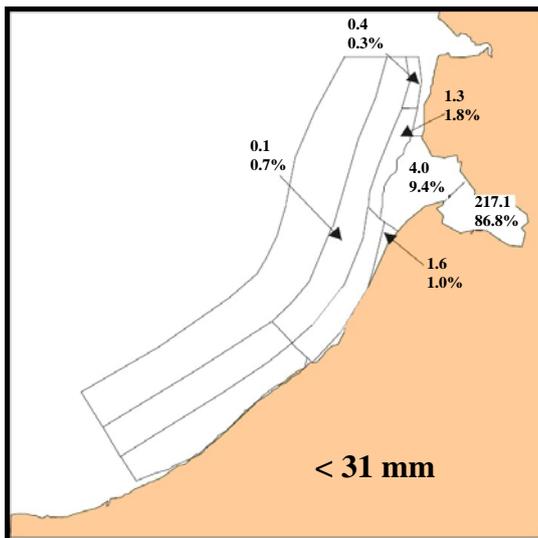
## Annexe 2 : PLIE – septembre 2014

Densités moyennes par strates (nb / 1000 m<sup>2</sup>) et pourcentages par rapport à l'abondance totale



Annexe 3 : LIMANDE- septembre 2014

Densités moyennes par strates (nb / 1000 m<sup>2</sup>) et pourcentages par rapport à l'abondance totale



**Annexe 4 : CREVETTE GRISE – septembre 2014**

Densités moyennes par strates (nb / 1000 m<sup>2</sup>) et pourcentages par rapport à l'abondance totale

Tableaux récapitulatifs des densités moyennes et de la production par zone pour les différentes espèces

Code espèce	Nom Scientifique	Nom Vernaculaire
ABRAALB	<i>Abra alba</i>	"Abra"
AGONCAT	<i>Agonus cataphractus</i>	souris de mer
ALCYGEL	<i>Alcyonidium gelatinosum</i>	
ALLOSPP	<i>Alloteuthis</i>	petit calmar
AMMOTOB	<i>Ammodytes tobianus</i>	équille
ARNOSPP	<i>Arnoglossus spp</i>	arnoglosse
ASTERUB	<i>Asterias rubens</i>	étoile de mer
ATHEPRE	<i>Atherina presbyter</i>	prêtre
BUGLLUT	<i>Buglossidium luteum</i>	petite sole jaune
CALLLYR	<i>Callionymus lyra</i>	dragonnet
CARMAE	<i>Carcinus maenas</i>	crabe vert
CILIMUS	<i>Ciliata mustela</i>	motelle
CLUPHAR	<i>Clupea harengus</i>	hareng
COTTIDAX	<i>Cottidae</i>	chabot de mer
CRANCRA	<i>Crangon crangon</i>	crevette grise
CREPFOR	<i>Crepidula fornicata</i>	crépidule
DICELAB	<i>Dicentrarchus labrax</i>	bar
DIOGPUG	<i>Diogenes pugilator</i>	bernard- l'ermite "gaucher"
DONAX	<i>Donax spp</i>	donace
ECHICOR	<i>Echinocardium cordatum</i>	oeuf de grisard
ECHIVIP	<i>Echiichthys vipera</i>	petite vive
EUPABER	<i>Eupaquurus bernhardus</i>	bernard-l'ermite
EUTRGUR	<i>Eutrigla gurnardus</i>	grondin gris
GADUMOR	<i>Gadus morhua</i>	morue
GLYCGLY	<i>Glycimeris glycimeris</i>	amande
GOBIIDAX	<i>Gobiidae</i>	gobie
HIPPSPP	<i>Hippocampus spp</i>	Hippocampe
HYPELAN	<i>Hyperoplus lanceolatus</i>	lançon, équille
INAC	<i>Inachus</i>	macropodia
LAEVCRA	<i>Laevicardium crassum</i>	bucarde épaisse
LIMALIM	<i>Limanda limanda</i>	limande
LIOCDEP	<i>Liocarcinus depurator</i>	crabe "nageur"
LIOCHOL	<i>Liocarcinus holsatus</i>	"crabe nageur"
LIOCVER	<i>Liocarcinus vernalis</i>	crabe "nageur"
LOLIGINX	<i>Loliginidae</i>	calmar

Code espèce	Nom Scientifique	Nom Vernaculaire
LUTRLUT	<i>Lutreria lutreria</i>	Lutraire
MACOMA	<i>Macoma spp</i>	"Macoma"
MACRPUB	<i>Macropipus puber</i>	étrille
MERLMNG	<i>Merlangius merlangus</i>	merlan
MULLSUR	<i>Mullus surmuletus</i>	rouget barbet
MYTIEDU	<i>Mytilus edulis</i>	moule
NASSSPP	<i>Nassarius spp</i>	nasse
NATIALD	<i>Natica alderi</i>	natice
OPHUALB	<i>Ophiura albida</i>	ophiure
OPHUOPH	<i>Ophiura ophiura</i>	grande ophiure
PALALON	<i>Palaemon longirostris</i>	crevette blanche
PALASER	<i>Palaemon serratus</i>	bouquet
PHICTRI	<i>Philocheirus trispinosus</i>	"crevette"
PLATFLE	<i>Platichthys flesus</i>	flet
PLEUPLA	<i>Pleuronectes platessa</i>	plie
PORTLAT	<i>Portunus latipes</i>	"crabe"
PROCSPP	<i>Processidae</i>	"crevette"
PSAMMIL	<i>Psammechinus miliaris</i>	oursin vert
PSETMAX	<i>Psetta maxima</i>	turbot
RAJACLA	<i>Raja clavata</i>	raie bouclée
RAJAMON	<i>Raja montagui</i>	raie douce
SCOMSCO	<i>Scomber scombrus</i>	maquereau
SCOPRHO	<i>Scophthalmus rhombus</i>	barbue
SEPIOFF	<i>Sepia officinalis</i>	seiche
SEPIOSP	<i>Sepioida spp</i>	sépiole
SOLELAS	<i>Solea lascaris</i>	sole pole
SOLEVUL	<i>Solea vulgaris</i>	sole commune
SPISSPP	<i>Spisule spp</i>	Spisule
SYNGSPP	<i>Syngnathus spp</i>	aiguille de mer
TRACDRA	<i>Trachurus draco</i>	grande vive
TRACTRU	<i>Trachurus trachurus</i>	chinchard
TRIGLUC	<i>Trigla lucerna</i>	grondin perlon
TRISLUS	<i>Trisopterus luscus</i>	tacaud
ZEUSFAB	<i>Zeus faber</i>	St pierre

#### Annexe 5 : table des espèces observées à l'automne 2014

Code Espèce	Strate A	Strate B	Strate C	Strate E	Totale
ABRAALB	0,00	0,15	0,00	1,01	0,07
AGONCAT	0,00	0,60	0,25	0,39	0,16
ALCYGEL	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01
ALLOSPP	0,73	3,05	0,59	2,02	0,76
AMMOTOB	0,17	0,08	0,33	0,00	0,12
ARNOSPP	0,23	0,66	1,35	0,17	0,48
ASTERUB	0,33	11,75	25,91	0,78	8,35
ATHEPRE	0,00	0,31	0,00	0,22	0,05
BUGLLUT	1,82	3,05	4,09	0,00	1,72
CALLLYR	7,44	38,11	20,94	9,57	11,94
CARMAE	0,00	9,35	0,18	270,14	15,46
CILIMUS	0,00	0,10	0,00	0,22	0,02
CLUPHAR	3,47	0,62	0,04	1,40	0,65
COTTIDAX	0,00	0,31	0,00	0,06	0,04
CREPFOR	0,00	0,04	0,20	0,00	0,06
DICELAB	0,03	0,31	0,00	4,48	0,28
DONAX	0,00	18,36	3,76	8,68	3,81
ECHICOR	0,00	0,10	1,00	0,00	0,27
ECHIVIP	1,72	6,60	5,40	11,92	3,13
EUPABER	0,30	16,07	30,69	24,46	11,40
EUTRGUR	0,00	0,02	0,00	0,00	<0,01
GADUMOR	0,00	0,02	0,00	0,00	<0,01
GLYCGLY	0,10	0,00	0,00	0,00	0,01
GOBIIDAX	0,79	44,82	14,13	79,09	13,76
HIPPSPP	0,00	0,06	0,08	0,00	0,03
HYPELAN	0,00	0,04	0,02	0,00	0,01
LAEVCRA	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01
LIMALIM	0,26	1,52	0,47	10,86	0,93
LIOCHOL	0,00	62,09	3,44	125,94	15,57
LIOCSP	0,13	0,93	1,68	105,46	6,12
LOLIGINX	0,07	0,00	0,16	0,00	0,05
LUTRLUT	0,00	0,19	0,02	0,00	0,03
MACOMA	0,00	0,00	0,00	6,49	0,34

Code Espèce	Strate A	Strate B	Strate C	Strate E	Totale
MACRLON	0,23	0,58	1,25	0,00	0,43
MACRPUB	0,13	0,10	0,86	0,22	0,27
MERLMNG	0,26	0,66	0,23	0,67	0,22
MULLSUR	0,13	0,10	0,39	0,00	0,13
MYTIEDU	0,86	0,19	0,00	0,00	0,15
NASSSPP	0,50	27,50	59,74	0,39	19,20
NATIALD	0,00	1,52	0,43	0,00	0,31
OPHISPP	14,95	8,60	80,76	0,00	24,24
PALALON	0,00	0,00	0,00	1,01	0,05
PALASER	0,00	0,00	0,00	1,74	0,09
PHICTRI	0,00	0,00	0,16	0,00	0,04
PLATFLE	0,03	0,06	0,02	0,56	0,05
PLEUPLA	2,05	1,16	1,23	4,81	1,01
PORTLAT	0,00	0,00	0,00	1,62	0,09
PROCSPP	0,00	0,00	0,08	0,00	0,02
PSAMMIL	0,03	0,50	4,60	0,00	1,27
PSETMAX	0,07	0,04	0,04	0,00	0,02
RAJACLA	0,50	1,25	0,78	0,56	0,47
RAJAMON	0,00	0,02	0,00	0,00	<0,01
SCOMSCO	0,00	0,12	0,00	0,00	0,02
SCOPRHO	0,03	0,00	0,08	0,90	0,07
SEPIOFF	0,00	1,25	1,06	0,00	0,44
SEPISTP	0,00	0,68	0,35	1,51	0,26
SOLELAS	0,00	0,02	0,00	0,00	<0,01
SOLEVUL	0,03	0,91	0,06	6,88	0,50
SPISSPP	0,00	0,00	0,14	0,00	0,04
SYNGSPP	0,00	0,14	0,04	0,17	0,04
TRACDRA	0,03	0,00	0,00	0,00	<0,01
TRACTRU	0,03	0,02	0,02	0,00	0,01
TRIGLUC	0,00	0,17	0,04	0,62	0,07
TRISLUS	0,00	5,90	0,06	5,32	1,06
ZEUSFAB	0,00	0,02	0,00	0,00	<0,01

Annexe 6 : densités par strates et sur la totalité du secteur (en nombre d'individus par 1000m<sup>2</sup>)

Code Espèce	Strate A	Strate B	Strate C	Strate E
ABRAALB	0,00	27,41	0,00	72,59
AGONCAT	0,00	47,17	40,29	12,54
ALCYGEL	0,00	0,00	100,00	0,00
ALLOSPP	13,57	52,23	20,20	14,01
AMMOTOB	19,46	8,34	72,20	0,00
ARNOSPP	6,84	17,79	73,53	1,85
ASTERUB	0,56	18,23	80,72	0,49
ATHEPRE	0,00	77,27	0,00	22,73
BUGLLUT	14,96	23,02	62,02	0,00
CALLLYR	8,79	41,37	45,62	4,21
CARMAE	0,00	7,84	0,30	91,86
CILIMUS	0,00	51,50	0,00	48,50
CLUPHAR	74,95	12,24	1,56	11,25
COTTIDAX	0,00	93,15	0,00	6,85
CREPFOR	0,00	8,94	91,06	0,00
DICELAB	1,67	14,28	0,00	84,05
DONAX	0,00	62,41	25,63	11,96
ECHICOR	0,00	4,59	95,41	0,00
ECHIVIP	7,75	27,32	44,90	20,03
EUPABER	0,37	18,28	70,07	11,29
EUTRGUR	0,00	100,00	0,00	0,00
GADUMOR	0,00	100,00	0,00	0,00
GLYCGLY	100,00	0,00	0,00	0,00
GOBIIDAX	0,81	42,24	26,72	30,22
HIPPSPP	0,00	26,91	73,09	0,00
HYPELAN	0,00	49,55	50,45	0,00
LAEVCRA	0,00	0,00	100,00	0,00
LIMALIM	4,02	21,29	13,17	61,52
LIOCHOL	0,00	51,71	5,76	42,54
LIOCSP	0,30	1,96	7,15	90,58
LOLIGINX	18,64	0,00	81,36	0,00
LUTRLUT	0,00	83,08	16,92	0,00
MACOMA	0,00	0,00	0,00	100,00

Code Espèce	Strate A	Strate B	Strate C	Strate E
MACRLON	7,53	17,30	75,17	0,00
MACRPUB	6,99	4,68	83,92	4,41
MERLMNG	17,07	38,86	27,93	16,14
MULLSUR	14,03	9,40	76,57	0,00
MYTIEDU	82,91	17,09	0,00	0,00
NASSSPP	0,36	18,57	80,96	0,11
NATIALD	0,00	63,81	36,19	0,00
OPHISPP	8,70	4,60	86,70	0,00
PALALON	0,00	0,00	0,00	100,00
PALASER	0,00	0,00	0,00	100,00
PHICTRI	0,00	0,00	100,00	0,00
PLATFLE	10,00	16,07	10,91	63,03
PLEUPLA	28,56	14,81	31,66	24,98
PORTLAT	0,00	0,00	0,00	100,00
PROCSP	0,00	0,00	100,00	0,00
PSAMMIL	0,37	5,13	94,50	0,00
PSETMAX	38,07	20,40	41,54	0,00
RAJACLA	15,03	34,90	43,74	6,32
RAJAMON	0,00	100,00	0,00	0,00
SCOMSCO	0,00	100,00	0,00	0,00
SCOPRHO	6,47	0,00	28,24	65,29
SEPIOFF	0,00	37,15	62,85	0,00
SEPISTP	0,00	33,84	35,44	30,72
SOLELAS	0,00	100,00	0,00	0,00
SOLEVUL	0,93	23,53	3,06	72,48
SPISSPP	0,00	0,00	100,00	0,00
SYNGSPP	0,00	47,93	27,89	24,18
TRACDRA	100,00	0,00	0,00	0,00
TRACTRU	38,07	20,40	41,54	0,00
TRIGLUC	0,00	34,59	15,65	49,76
TRISLUS	0,00	72,18	1,44	26,38
ZEUSFAB	0,00	100,00	0,00	0,00

## Annexe 7 : Pourcentage de l'abondance des espèces par strates

Code Espèce	Groupe	Strate A	Strate B	Strate C	Strate E	Totale
CLUPHAR	1+	3,47	0,62	0,04	1,40	0,65
DICELAB	0	0,00	0,00	0,00	4,25	0,22
DICELAB	1	0,00	0,23	0,00	0,17	0,04
DICELAB	2	0,03	0,08	0,00	0,06	0,02
EUTRGUR	0	0,00	0,02	0,00	0,00	<0,01
GADUMOR	1	0,00	0,02	0,00	0,00	<0,01
LIMALIM	0	0,03	1,37	0,33	10,80	0,84
LIMALIM	1	0,20	0,08	0,04	0,06	0,05
LIMALIM	2	0,03	0,04	0,06	0,00	0,02
LIMALIM	3+	0,00	0,04	0,04	0,00	0,02
MERLMNG	0	0,23	0,39	0,18	0,62	0,16
MERLMNG	1	0,03	0,27	0,06	0,06	0,06
MULLSUR	0	0,13	0,10	0,39	0,00	0,13
PLATFLE	0	0,00	0,00	0,02	0,50	0,03
PLATFLE	1	0,03	0,02	0,00	0,06	0,01
PLATFLE	2	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01
PLEUPLA	0	0,07	1,02	0,16	4,81	0,44
PLEUPLA	1	1,12	0,12	0,84	0,00	0,39
PLEUPLA	2	0,63	0,02	0,12	0,00	0,12
PLEUPLA	3+	0,23	0,00	0,12	0,00	0,06
PSETMAX	1	0,03	0,04	0,04	0,00	0,02
PSETMAX	2	0,03	0,00	0,00	0,00	<0,01
SCOMSCO	1+	0,00	0,12	0,00	0,00	0,02
SCOPRHO	0	0,00	0,00	0,08	0,90	0,07
SCOPRHO	2	0,03	0,00	0,00	0,00	<0,01
SOLEVUL	0	0,00	0,89	0,06	6,61	0,48
SOLEVUL	1	0,03	0,02	0,00	0,22	0,02
SOLEVUL	3+	0,00	0,00	0,00	0,06	<0,01
TRACTRU	0	0,03	0,00	0,02	0,00	0,01
TRACTRU	3+	0,00	0,02	0,00	0,00	<0,01
TRIGLUC	0	0,00	0,06	0,00	0,34	0,03
TRIGLUC	1	0,00	0,12	0,04	0,28	0,04
TRISLUS	0	0,00	5,90	0,06	5,26	1,06
TRISLUS	1	0,00	0,00	0,00	0,06	<0,01
ZEUSFAB	1+	0,00	0,02	0,00	0,00	<0,01

**Annexe 8 : Densités par groupes, strates et sur la totalité du secteur (en nombre d'individus par 1000m<sup>2</sup>)**

Code Espèce	Groupe	Strate A	Strate B	Strate C	Strate E
CLUPHAR	1+	74,95	12,24	1,56	11,25
DICELAB	0	0,00	0,00	0,00	100,00
DICELAB	1	0,00	77,27	0,00	22,73
DICELAB	2	26,50	56,79	0,00	16,71
EUTRGUR	0	0,00	100,00	0,00	0,00
GADUMOR	1	0,00	100,00	0,00	0,00
LIMALIM	0	0,56	21,22	10,35	67,88
LIMALIM	1	54,76	19,56	19,92	5,76
LIMALIM	2	18,71	20,05	61,24	0,00
LIMALIM	3+	0,00	32,93	67,07	0,00
MERLMNG	0	20,31	31,08	28,49	20,12
MERLMNG	1	8,06	60,47	26,39	5,08
MULLSUR	0	14,03	9,40	76,57	0,00
PLATFLE	0	0,00	0,00	16,13	83,87
PLATFLE	1	46,16	24,73	0,00	29,11
PLATFLE	2	0,00	100,00	0,00	0,00
PLEUPLA	0	2,14	30,42	9,35	58,09
PLEUPLA	1	40,41	3,82	55,77	0,00
PLEUPLA	2	72,84	2,05	25,10	0,00
PLEUPLA	3+	51,67	0,00	48,33	0,00
PSETMAX	1	23,51	25,19	51,30	0,00
PSETMAX	2	100,00	0,00	0,00	0,00
SCOMSCO	1+	0,00	100,00	0,00	0,00
SCOPRHO	0	0,00	0,00	30,20	69,80
SCOPRHO	2	100,00	0,00	0,00	0,00
SOLEVUL	0	0,00	24,08	3,20	72,72
SOLEVUL	1	24,64	13,20	0,00	62,16
SOLEVUL	3+	0,00	0,00	0,00	100,00
TRACTRU	0	47,82	0,00	52,18	0,00
TRACTRU	3+	0,00	100,00	0,00	0,00
TRIGLUC	0	0,00	29,82	0,00	70,18
TRIGLUC	1	0,00	37,60	25,52	36,88
TRISLUS	0	0,00	72,38	1,45	26,17
TRISLUS	1	0,00	0,00	0,00	100,00
ZEUSFAB	1+	0,00	100,00	0,00	0,00

## Annexe 9 : Pourcentage de l'abondance des espèces par groupe et par strates

## Crevette Grise

Taille	Strate 0	Strate 1	Strate 2	Strate 3	Strate 4	Strate 5	Strate 6	Strate 7	Strate 8	Strate 9	Totalité
<31 mm	217,1	4,0	1,6	1,3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	1,9
31-54 mm	6470,5	3000,6	591,4	104,4	3,7	0,9	0,1	0,0	0,0	9,5	196,5
54-67 mm	483,8	531,3	91,7	13,2	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5	29,4
>67mm	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
<b>TOTAL</b>	<b>7171,4</b>	<b>3537,7</b>	<b>684,7</b>	<b>118,9</b>	<b>4,3</b>	<b>1,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>10,4</b>	<b>227,9</b>

**Annexe 10 : Densités par strates et sur la totalité du secteur (en nombre d'individus par 1000 m<sup>2</sup>)**

Taille	Strate 0	Strate 1	Strate 2	Strate 3	Strate 4	Strate 5	Strate 6	Strate 7	Strate 8	Strate 9
<31 mm	86,8	9,4	1,0	1,8	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,3
31-54 mm	25,3	69,6	3,4	1,4	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
54-67 mm	12,7	82,3	3,6	1,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
>67mm	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>TOTAL</b>	<b>24,2</b>	<b>70,7</b>	<b>3,4</b>	<b>1,4</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,1</b>

**Annexe 11 : Pourcentage de l'abondance par strates et sur l'ensemble du secteur**

## 6. Bibliographie

ALDEBERT (Y.), 1975.- Comparaison des rendements du "Bongo".- Rapport F.A.O.- I.S.T.P.M.

ARBAULT (S.) et LACROIX (N.), 1975.- Essais comparatifs des pouvoirs de capture de 2 filets à plancton (GULF III encasé et Bongo).- Cons. Int. Explor. Mer, Comité des poissons pélagiques (sud), J : 8.

AUGRIS, C., CLABAUT, P., COSTA, S., GOURMELON, F., LATTEUX, B. 2004 (GENERALITES)  
Évolution morpho-sédimentaire du domaine littoral et marin de la Seine-Maritime, EDF. Ed. Ifremer, Bilans & Prospectives, 159 p.

BIGOT (J.L.), 1979.- Identification des zoés de tourteau (*Cancer pagurus* L.) et d'étrille (*Macropipus puber* L.) - Comparaison avec d'autres zoés de morphologie très voisine.- Cons. Int. Explor. Mer, Comité de l'océanographie biologique, L : 17.

DE LA TORRE, Y. 2001

Utilisation d'un système d'information géographique pour l'analyse morphosédimentaire en domaine marin côtier : application aux fonds marins entre Dieppe et Le Tréport (Seine-Maritime). DEA de Géographie, Université de Bretagne Occidentale (UBO), Brest, France.

DREVES, L., CLABAUT, P., CHEVALIER, C. 1995

Étude biomorphosédimentaire du domaine marin côtier de Penly, mission Sonpen, mai 1992. Rapport Ifremer pour le compte de l'EDF, 92 p. + 3 cartes hors texte.

DREVES, L., CLABAUT, P., CHEVALIER, C. 2002

Étude biomorphosédimentaire du domaine marin côtier de Penly entre Dieppe et Criel-sur-Mer (Seine-Maritime, France), mission Pycaso, avril 2000. Rapport Ifremer pour le compte de l'EDF, 62 p. + annexes + 2 cartes hors texte.

DREVES, L., CLABAUT, P., COÏC, D. 1997

Étude biomorphosédimentaire du domaine marin côtier entre la pointe d'Ailly et Criel-sur-Mer (Seine-Maritime, France), mission Pycaux, avril 2000. Rapport Ifremer pour le compte de l'EDF, 46 p. + annexes + 2 cartes hors texte.

DREVES, L., CLABAUT, P., CHEVALIER, C. 2002

Étude biomorphosédimentaire du domaine marin côtier entre Dieppe et Criel-sur-Mer (Seine-Maritime, France), mission Pycaso, avril 2000. Rapport Ifremer pour le compte de l'EDF, 62 p. + annexes + 2 cartes hors texte.

EUZÉBY, J.P. (2000). Dictionnaire de bactériologie vétérinaire. (2.3)

Site Internet : <http://www.bacterio.cict.fr/bacdico/pp/photobacterium.html>

QUILICI, M.L., GUENOLE, A., FOURNIER, J.M. (2000). Les infections à vibrions non cholériques en France. Cas identifiés de 1999 à 2001 par le Centre national de référence des Vibrions et du Choléra. Surveillance nationale des maladies infectieuses, 1998-2000. Editeur : InVS, pp. 193-196.

QUILICI, M.L., FOURNIER, J.M. (2003). Rapport d'activité de l'unité Choléra et des Vibrions pour l'année 2003. Institut Pasteur, Paris.

QUILICI, M.L., FOURNIER, J.M. (2004). Rapport d'activité de l'unité Choléra et des Vibrions pour l'année 2004. Institut Pasteur, Paris.

QUILICI, M.L., GUENOLE, A., LEMME, L., FOURNIER, J.M. (2005). Les infections à vibrions non cholériques en France. Cas identifiés de 2001 à 2003 par le Centre national de référence des Vibrions et du Choléra. Surveillance nationale des maladies infectieuses, 2001 à 2003. Editeur : InVS, Maladies d'origines alimentaire, 7 p.

QUILICI, M.L., FOURNIER, J.M. (2005). Rapport d'activité de l'unité Choléra et des Vibrions pour l'année 2005. Institut Pasteur, Paris.

RIOU P. (1999).- Etude des nourriceries de sole et de plie en Manche Est. Importance écologique de l'estuaire de Seine. Thèse de doctorat, Université de Caen : 117 p.

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

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

TIEWS, 1967.- Synopsis of biological data on the common shrimp (*Crangon crangon*) (Linnaeus, 1758) FAO Fish. synops. n°91.

VAILLANT, V., DE VALK, H., BARON, E. (2005). Morbidité et mortalité dues aux maladies infectieuses d'origine alimentaires en France. 2004. Editeur : InVS, pp. 125-130.

WEST, P.A., (1989). The human pathogenic vibrios : a public health update with environmental perspectives. *Epidemiol. Infect.* 103 (1), 1-34

WILHELM (G), 1995.- Contribution a l'étude de l'étrille (*Necora puber*) dans le Mor-Braz : données halieutiques, biologiques et pathologiques.