

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 2016 . IFREMER/RBE/HMMN/RHPEB 16-001

# Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Penly

Année 2015  
Rapport scientifique annuel





<b>Numéro d'identification du rapport :</b> IFREMER/RBE/HMMN/RHPEB 16-001  <b>Diffusion :</b> libre Validé par : <b>Comité de lecture</b>  <b>Version du document :</b> définitif	<b>Date de publication :</b> Mars 2016  <b>Nombre de pages :</b> 177 <b>Bibliographie</b> (Oui / <del>Non</del> ) <b>Illustration(s)</b> (Oui / <del>Non</del> ) <b>Langue du rapport :</b> français
<b>Titre et sous-titre du rapport :</b> <i>Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Penly</i> <i>Année 2015 - Rapport scientifique annuel</i> <i>Ecological and fisheries monitoring of the Penly nuclear power plant</i> <i>2015 - Annual scientific report</i>	
<b>Auteurs principaux :</b> Ivan SCHLAICH Benjamin SIMON Christophe LOOTS Elvire ANTAJAN Emilie RABILLER Franck MAHEUX Mathilde SCHAPIRA Sylvaine FRANCOISE	<b>Organisme - Direction - Service - laboratoire</b> IFREMER-RBE-HMMN-LRHPEB IFREMER-ODE-LER-LERN IFREMER-RBE-HMMN-LRHB IFREMER-ODE-LER-LERB IFREMER-ODE-LER-LERN IFREMER-ODE-LER-LERN IFREMER-ODE-LER-LERN IFREMER-ODE-LER-LERN
<b>Collaborateur(s) :</b> nom, prénom Arnaud Auber Benjamin Simon Coline Lazard Emilie Rabiller Florian Caradec Francis Gohin Frank Maheux Gaëlle Courtay Josselin Caboche Laure Lamort Laurent Dubroca Louis Wilfried Nicolas Goascoz Olivier Pierre-Duplessix Remy Cordier Sophie Schmitt Valerie Lefebvre	<b>Organisme - Direction - Service - laboratoire</b> IFREMER-RBE-HMMN-RHB IFREMER-ODE-LER-LERN IFREMER-RBE-HMMN-LRHB IFREMER-ODE-LER-LERN IFREMER- ODE-DYNECO-PELAGOS IFREMER- ODE-DYNECO-PELAGOS IFREMER-ODE-LER-LERN IFREMER- ODE-LER-LERN IFREMER-RBE-HMMN-LRHB IFREMER-ODE-LER-LERN IFREMER-RBE-HMMN-LRHPEB IFREMER-RBE-HMMN-LRHB IFREMER-RBE-HMMN-LRHPEB IFREMER-ODE-LER-LERN IFREMER-ODE-LER-LERB IFREMER- ODE-DYNECO-PELAGOS IFREMER-RBE-HMMN-LRHB
<b>Titre du contrat de recherche :</b>	<b>Marché n°</b> C4493C0850
<b>Organisme commanditaire :</b> Electricité de France (EDF) ó Production Transport ó C. N. P. E. de Penly BP 854 - 76370 NEUVILLE LES DIEPPE  <b>Organisme réalisateur :</b> Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, IFREMER 150 quai Gambetta - BP 699 - 62321 Boulogne sur Mer Cedex 03	
<b>Cadre de la recherche :</b> Programme : Surveillance et évaluation de la qualité du milieu marin Projet : Impact des Grands Aménagements (I.G.A) Campagne océanographique : IGA 1-2-3, 2015, NO DELPHY	

**Résumé :**

La surveillance n° 29 sur le site de PENLY couvre la période de mars à septembre 2015.

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

L'année 2015 est la vingt sixième année de fonctionnement de la centrale.

**Abstract :**

Monitoring n° 29 of PENLY nuclear power - plant takes into account studies between March and September 2015.

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

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

**Mots-clés :**

Pélagos - Halieutique - Centrale nucléaire ó Surveillance

**Keywords :**

Pelagos - fishing - Nuclear power plant ó Monitoring

**Commentaire :**

Schlaich I., Antajan E., Françoise S., Loots C., Maheux F., Rabiller E., Schapira M., Simon B., 2016.-Surveillance écologique et halieutique de site électronucléaire de Penly, année 2015 ó Rapport scientifique annuel. Rapp. IFREMER/RBE/HMMN/RHPEB, mars 2016, 177 p.

# Surveillance écologique et halieutique

## *Site de Penly*

mars 2015 - septembre 2015

### **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 2015, objet du présent rapport, est la vingt-sixième année de fonctionnement de la centrale. Les résultats obtenus au cours de cette vingt-neuvième 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 Elise TRUFFAUT.

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



## Résumé

L'année 2015 est la vingt sixième année de fonctionnement du CNPE de Penly, la vingt neuvième année consécutive des études de surveillance du milieu marin menées par l'Ifremer. Elle peut être qualifiée d'année chaude en raison du fort écart thermique annuel positif. L'ensemble de l'année est caractérisée par une douceur constante, les températures de l'air étant au-dessus de la moyenne interannuelle et celles des mois de novembre et décembre égales ou supérieures aux maximums jamais enregistrés. En comparant avec la période 1960-2014, cette année se distingue par un faible déficit annuel de précipitation. Les enregistrements des températures au niveau des condenseurs caractérisent une masse d'eau plus chaude que ce qui est généralement observé sur le site. En dehors de quelques jours du mois d'août, les températures se situent au-dessus de la moyenne pluriannuelle, elles sont souvent proches des maxima enregistrés depuis 1991 qu'elles dépassent en décembre avec 10,8 °C.

Les observations faites sur la température de l'air au cours de l'année 2015 peuvent, avec quelques nuances, être intégralement reprises pour commenter l'évolution de la température de l'eau de mer pendant la même période. L'année 2015 se caractérise ainsi par des températures moyennes mensuelles, tant pour l'air que pour l'eau de mer, quasiment toujours supérieures aux normales saisonnières.

Les résultats obtenus sur les différents paramètres surveillés des deux domaines pélagique, et halieutique, sont globalement dépendants de ces conditions météorologiques naturelles.

### Domaine pélagique

Conformément à la stratégie mise en place pour la surveillance du site de Penly, les points échantillonnés sont :

- Le canal d'amenée (point situé à l'entrée du canal d'amenée du CNPE),
- Le rejet (point situé dans les turbulences du rejet d'une tranche en fonctionnement),
- Le contrôle (point situé au large du rejet),
- La référence (point situé au large de Dieppe en dehors de la zone d'influence du CNPE).

Le matériel et les méthodes d'analyses utilisés en 2015 sont les mêmes que les années précédentes. Les campagnes de 2015 se sont déroulées les 12 mars, 11 juin et 21 septembre, en période de mortes eaux à bord du N/O DELPHY (hydrologie, phytoplancton et zooplancton).

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 de 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 2015 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 2015 ont été proches des médianes pluriannuelles sur l'ensemble des points de surveillance, tandis qu'elles sont inférieures à la médiane au printemps. Le suivi 2015 des **sels nutritifs** montre des niveaux de concentration majoritairement médian par

rapport à l'ensemble des données mesurées depuis le début du suivi. Les concentrations en silicate et de nitrate sont élevées au printemps, probablement en rapport avec les fortes précipitations en février qui ont pu entraîner un lessivage des sols plus intenses que la moyenne des autres années en mars.

En 2015, la mesure des **Matières En Suspension** montre un gradient décroissant côte-large en toutes saisons avec une concentration remarquable en automne sur le point *référence*.

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** 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 2015 par les rejets du CNPE de Penly.

Concernant le suivi microbiologique, les plus fortes abondances en **germes totaux** ont été observées au cours de l'été sur les points *canal*, *rejet* et *contrôle*. A l'instar de ce qui a été observé les années précédentes sur la zone d'étude, les résultats montrent qu'il n'existe aucune différence significative entre les stations au regard des abondances en germes totaux au cours des différentes périodes d'étude.

L'évolution saisonnière des abondances de **germes revivifiables** au cours de l'année 2015 varie fortement entre les points d'échantillonnage. Néanmoins, les plus fortes abondances ont été relevées au printemps ou été sur l'ensemble de la zone d'étude, comme cela est généralement observé à proximité du CNPE de Penly lors des années précédentes.

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 2015, trois espèces ont été identifiées à proximité du CNPE de Penly : *V. alginolyticus*, *V. vulnificus* et *V. parahaemolyticus*. Les données de 2015 confirment la dominance de *V. alginolyticus* dans les eaux proches de la centrale au printemps où celle-ci est systématiquement observée depuis 1999. La mise en évidence des autres espèces est nettement plus sporadique dans le temps comme dans l'espace. 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.

Concernant le **phytoplancton**, l'année 2015 a été marquée par des concentrations en chlorophylle *a* plutôt faibles, en particulier à la côte au cours de l'été. Néanmoins, ces concentrations restent dans la gamme des valeurs qui peuvent être mesurées en Manche Orientale au cours de cette période. Par ailleurs le cycle saisonnier des communautés phytoplanctoniques observé en 2015 à proximité du CNPE de Penly est en accord avec le cycle observé habituellement sur cette zone. A l'instar des années précédentes, les diatomées ont largement dominé la communauté phytoplanctonique tout au long de l'année 2015 sur le site du CNPE de Penly. Le cycle saisonnier du phytoplancton ainsi que la structure des communautés phytoplanctoniques observées en 2015 n'a pas mis en évidence de modifications significatives du milieu liées à l'activité de CNPE de Penly.

En ce qui concerne le **zooplancton**, les observations de 2015 sont globalement dans la moyenne des valeurs observées depuis 1993 et montrent toujours des abondances significativement plus faibles au point canal par rapport aux autres points de prélèvement, notamment en juin et septembre. La diversité spécifique des copépodes, composée en général de moins d'une dizaine d'espèces, est faible. L'abondance et la succession des espèces zooplanctoniques observées cette année respectent leur répartition saisonnière habituelle et sont caractéristiques des milieux côtiers.

de la Manche. L'influence des rejets du CNPE de Penly n'est donc pas décelable par la variabilité spatio-temporelle de la population zooplanctonique.

## Domaine halieutique

Le matériel et les méthodes d'analyses utilisés en 2015 sont les mêmes que les années précédentes. Les campagnes ichtyoplanctoniques se sont déroulées les 13 et 24 avril ainsi que les 12 et 27 mai, celles concernant la macrofaune ont eu lieu du 23 au 25 août. Elles ont toutes été réalisées en période de mortes eaux à bord des N/P TIOT HALLE et ORCA.

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 2015. Pour ces deux espèces, l'année 2015 montre des abondances plus fortes que les années précédentes. 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'ufs et de larves d'autres espèces présentes dans les échantillons collectés.

En ce qui concerne la **macrofaune** on peut avancer que globalement en 2015 les indices d'abondance des trois premières espèces de poissons plats sont en baisse principalement à cause de la forte diminution des captures d'individus du groupe 0. La campagne 2015 se caractérise par une très faible quantité de poissons plats capturés et représente par conséquent avec l'année 2014, l'une des campagnes les moins productives de la série historique. La densité globale en crevettes grises observée en 2015 est en baisse comparée aux deux années précédentes. L'indice enregistré cette année est situé dans la partie basse de ce qui est généralement observé.

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

\*\*\*

Les études réalisées par l'Ifremer dans le cadre de la surveillance écologique et halieutique du CNPE de Penly au cours de l'année 2015 ne permettent pas de conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu marin environnant et de ses ressources à partir des différents paramètres analysés.

# Sommaire

## Résumé

## Préambule

## Introduction

<b>1. Généralités</b>	13
1.1. Introduction	15
1.2. Géographie	15
1.3. Géologie	16
1.4. Hydrographie continentale	17
1.5. Hydrographie marine	18
1.5.1. Marées	18
1.5.2. Courants	18
1.5.3. Apports telluriques	19
1.6. Climatologie	19
1.6.1. Le climat Normandie	19
1.6.2. Pluviométrie	20
1.6.3. Température de l'air	22
1.6.4. Débit de la Seine et la Bethune	24
1.7. Température de l'eau de mer	26
1.8. Travaux réalisés par Ifremer	30
<b>2. Hydrologie</b>	31
2.1. Méthode	33
2.1.1. Prélèvements	33
2.1.2. Analyses	34
2.1.3. Présentation graphique des résultats	34
2.1.4. Traitement statistique des données	34
2.2. Résultats	35
2.2.1. Température	36
2.2.2. Salinité	41
2.2.3. Ammonium	45
2.2.4. Nitrate et nitrite	48
2.2.5. Phosphate et silicate	53
2.2.6. Matière en suspension	58
2.2.7. Trihalométhanes	61
2.2.8. Hydrazine et ethanolamine	64
2.3. Conclusion	65

<b>3. La Microbiologie</b>	67
<b>3.1. Introduction</b>	69
<b>3.2. Matériel et méthodes</b>	71
3.2.1. <i>Prélèvements</i>	71
3.2.2. <i>Analyses microbiologiques</i>	71
3.2.3. <i>Analyses statistiques</i>	72
<b>3.3. Résultats</b>	73
3.3.1. <i>Récapitulatif des résultats des analyses microbiologiques</i>	73
3.3.2. <i>Résultats du dénombrement des germes totaux</i>	73
3.3.3. <i>Résultats en germes aérobies viables sur milieu Zobell</i>	77
3.3.4. <i>Résultats sur l'identification et le dénombrement des vibrions halophiles</i>	79
<b>3.4. Conclusions</b>	83
<b>4. Le Phytoplancton</b>	85
<b>4.1. Introduction</b>	87
<b>4.2. Matériel et méthode</b>	87
4.2.1. <i>Mesure de la biomasse phytoplanctonique</i>	87
4.2.2. <i>Mesure de la production primaire</i>	87
4.2.3. <i>Etude systémique du phytoplancton</i>	88
4.2.4. <i>Téledétection satellitaire</i>	88
4.2.5. <i>Analyses statistiques</i>	88
<b>4.3. Résultats</b>	89
4.3.1. <i>Biomasse chlorophyllienne</i>	90
4.3.2. <i>Production primaire</i>	96
4.3.3. <i>Microphytoplancton</i>	100
<b>4.4. Conclusion</b>	109
<b>5. Le Zooplancton</b>	111
<b>5.1. Introduction</b>	113
<b>5.2. Matériel et méthode</b>	113
5.2.1. <i>Mesure de la biomasse sestonique</i>	114
5.2.2. <i>Analyse taxinomique du zooplancton</i>	114
5.2.3. <i>Disponibilité des données depuis le début de la série</i>	114
<b>5.3. Résultats</b>	116
5.3.1. <i>Biomasse sestonique</i>	116
5.3.2. <i>Abondances zooplanctoniques globales</i>	120
5.3.3. <i>Etude faunistique</i>	123
<b>5.4. Conclusions</b>	129

<b>6. Halieutique</b>	131
<b>6.1. Ichtyoplancton</b>	133
6.1.1. <i>Matériel et méthodes</i>	133
6.1.2. <i>Résultats</i>	135
<b>6.2. Macrofaune halieutique</b>	143
6.2.1. <i>Chronologie des prélèvements</i>	143
6.2.2. <i>Expression des résultats</i>	143
6.2.3. <i>Résultats</i>	146
<b>6.3. Conclusion</b>	152
<b>7. Conclusions</b>	153
<b>Annexes</b>	163
<b>Bibliographie</b>	175

# 1. Généralités

## ***Rédaction***

Frank Maheux et Benjamin Simon (LERN)  
Ivan Schlaich (HMMN/LRHPEB)

## ***Données***

Météo France (Carpique),  
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 26<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 vailleuse, 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 vailleuses 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 :

- **læstran profond** : il ne découvre pratiquement pas ; on le rencontre dans les secteurs de pointes rocheuses (Etretat, Antifer),
- **læstran 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,
- **læstran 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).

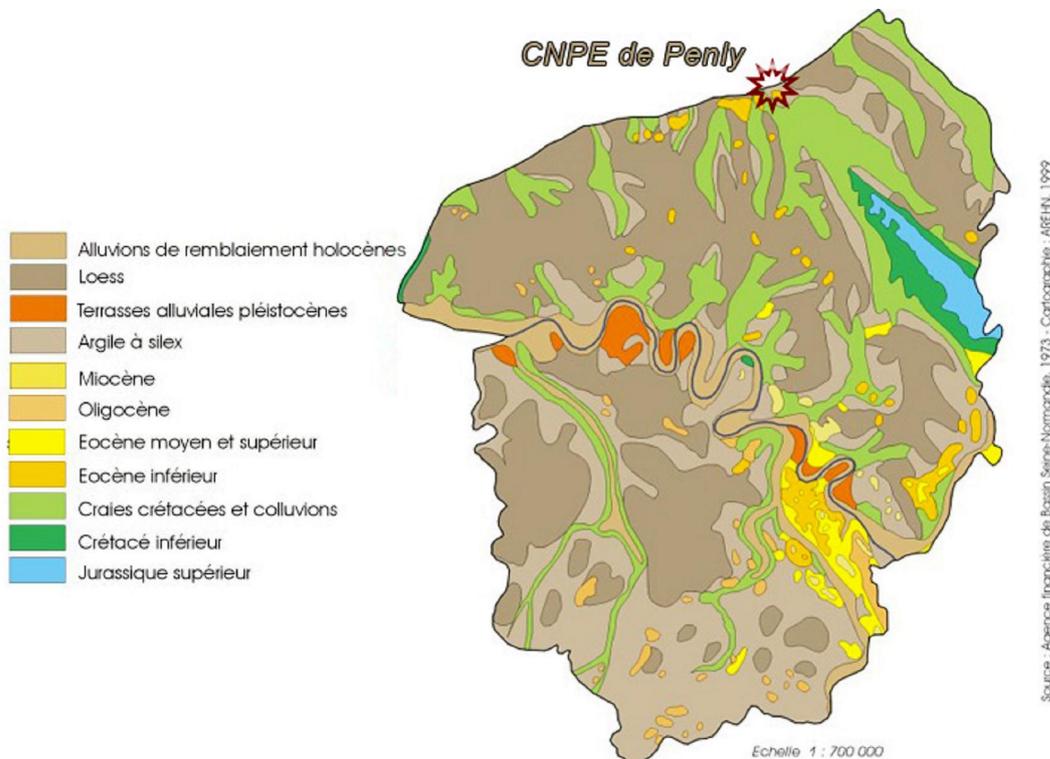


Figure 1.2. Carte géologique

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 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 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.

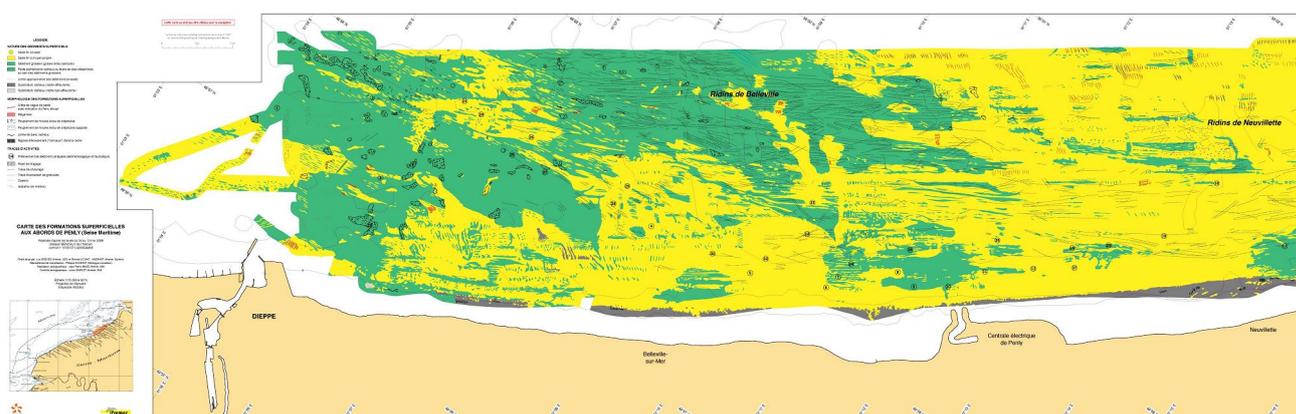


Figure 1.3. Caractéristiques des sédiments marins autour de la centrale de Penly (Drévès *et al.* 2008)

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 morpho-sédimentaires 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.

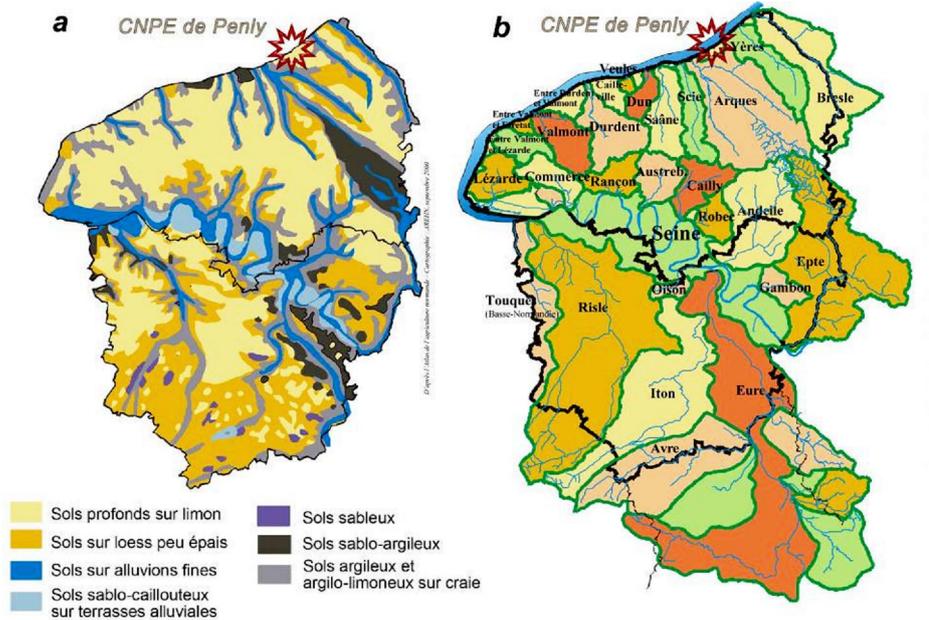


Figure 1.4. Nature du sol (a), fleuves et bassins versants (b)

## 1.5. Hydrographie marine

### 1.5.1. 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

### 1.5.2. 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 nò uds).

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 nò uds pendant le flot et 1,6 nò uds pendant le jusant (figure 1.5).

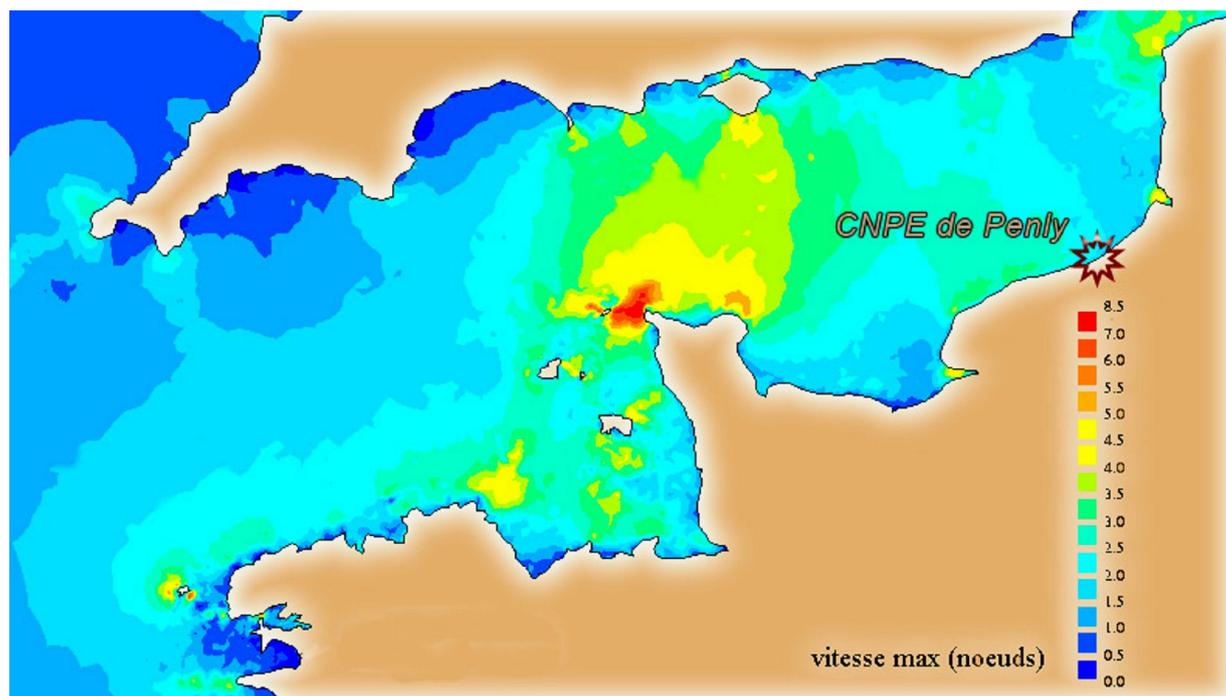


Figure 1.5. Vitesse de courants de marée maximal en Manche (Source SHOM)

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).

### 1.5.3. Apports telluriques

La figure 1.4 présente le réseau hydrologique de la Seine-Maritime. À l'ouest de Penly se trouvent l'Arques et la Saâne, qui sont des 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

### 1.6.1. Le climat en Normandie

Trois influences principales peuvent se manifester dans cette partie de la région 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.

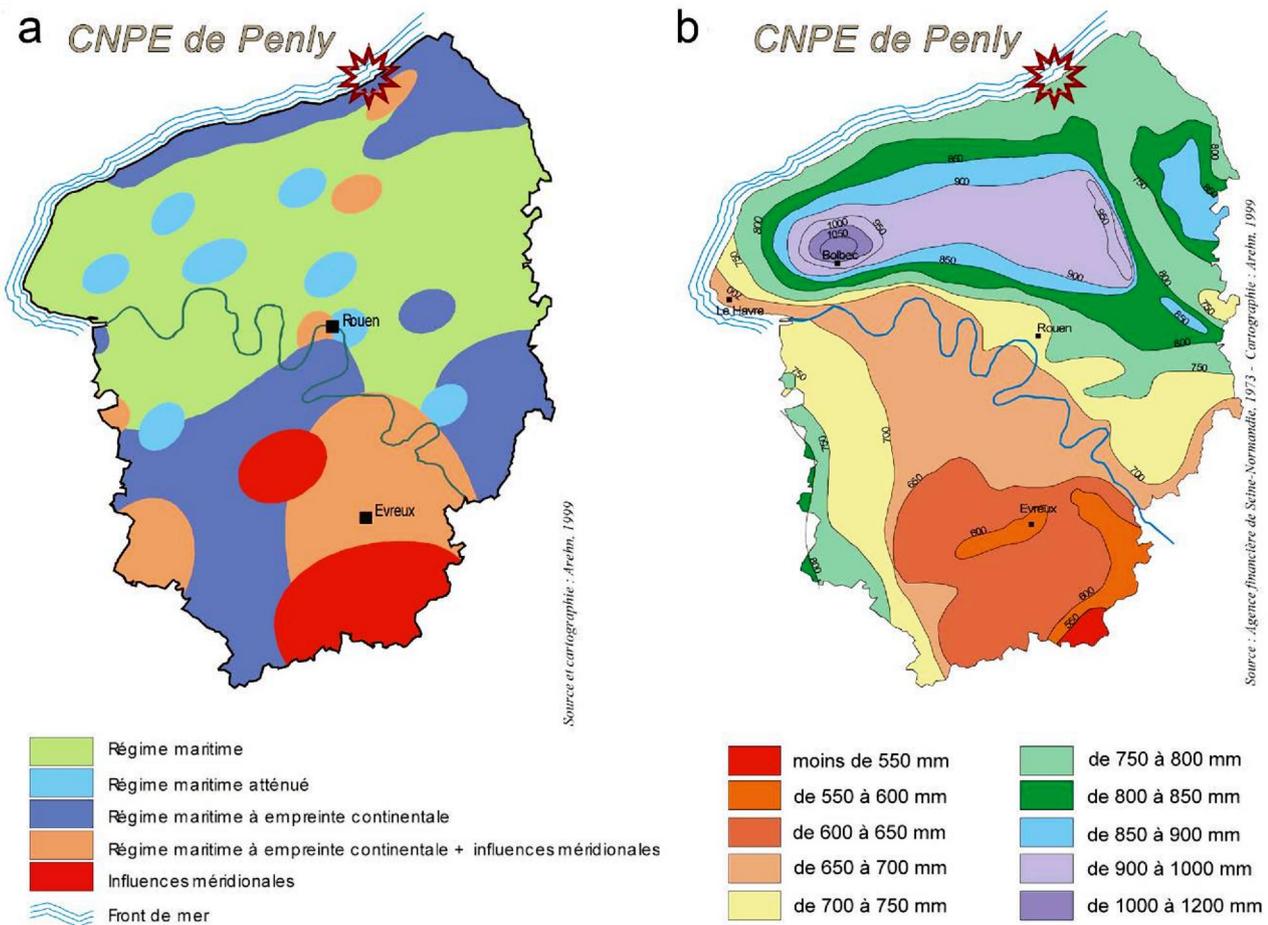


Figure 1.6. Situation climatologique (a) et pluviométrie moyenne annuelle (b) sur 30 ans

Cette partie de la région 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 1950, 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 cumul pluviométrique annuel pour l'année 2015 est de 736 mm. A titre comparatif, le niveau des pluies cumulées pour la même période était en 2014 de 935 mm et en 2013 de 912 mm.

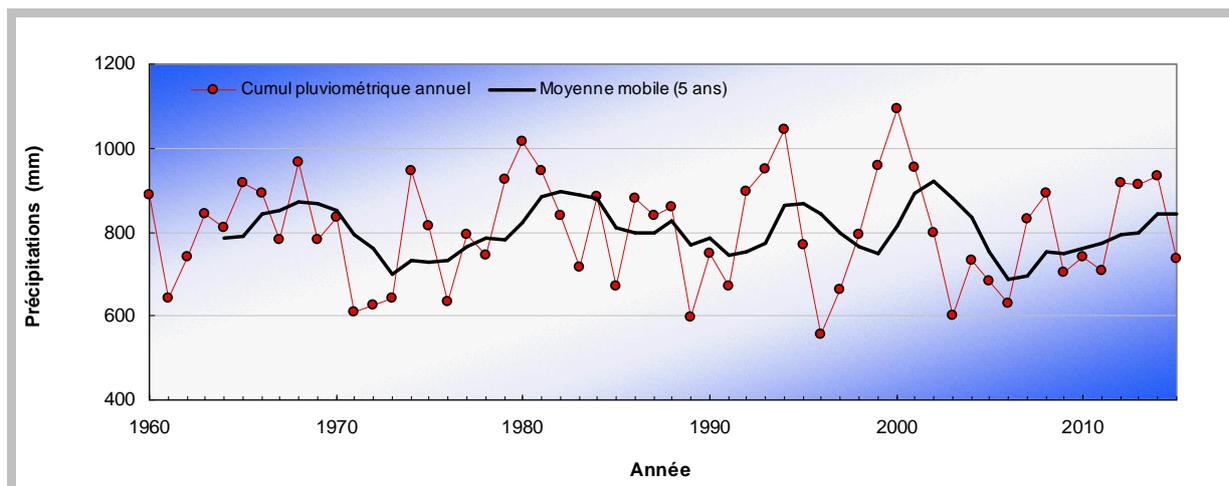


Figure 1.7. Précipitations moyennes annuelles à Dieppe depuis 1960 et moyenne mobile sur cinq ans

La moyenne de précipitations annuelles entre 1960 et 2014 est de 804,8 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. Depuis 2009, ce bilan est à nouveau déficitaire jusqu'en 2011, puis excédentaire jusqu'à 2014 (figure 1.8). L'année 2015 se caractérise cette fois par un déficit de 68,7 mm.

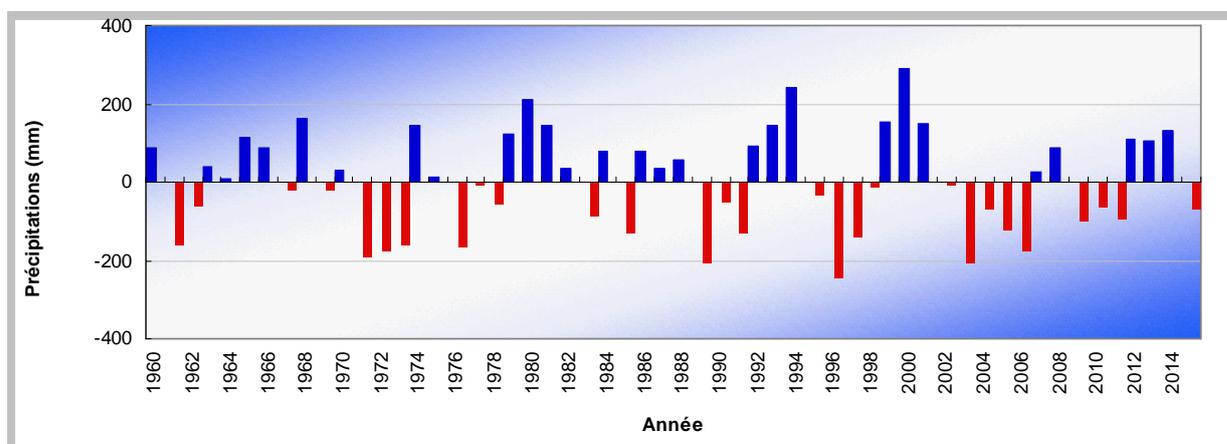


Figure 1.8. Écarts annuels de pluie à la moyenne 1960-2014

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). Toutefois, ne disposant que d'une seule valeur (identifiée comme telle sur le graphique) pour la nouvelle période quinquennale commencée avec l'année 2015, il convient de relativiser les conclusions de cette représentation graphique.

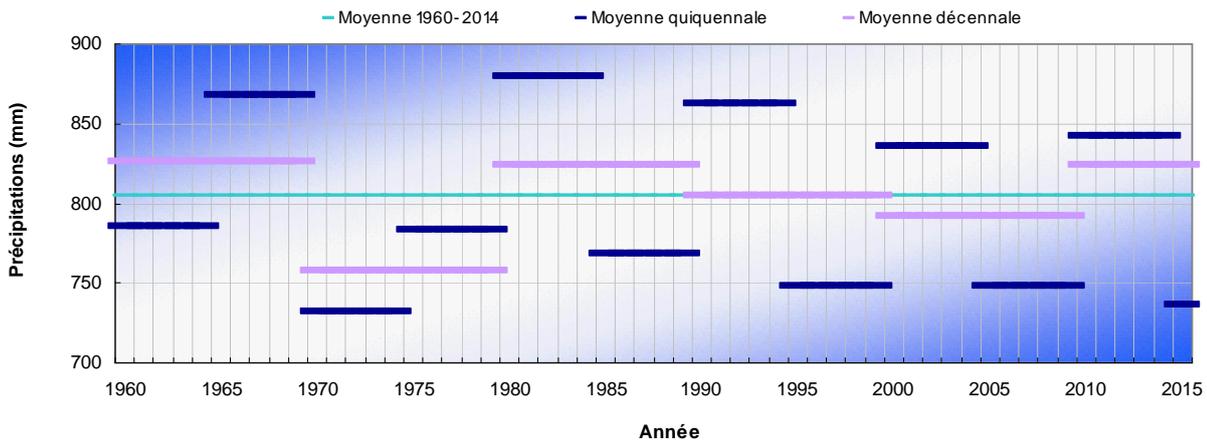


Figure 1.9. Valeurs moyennes de précipitations à Dieppe par période quinquennale (trait bleu) et décennale (trait mauve). Le trait vert représente la moyenne sur la période 1960-2015

La figure 1.10 présente les hauteurs de précipitations mensuelles en 2015, la moyenne interannuelle ainsi que les minima et maxima pour la période 1960-2014. Au cours de l'année 2015, la pluviométrie à Dieppe (figure 1.10) est déficitaire du mois de mars au mois de juin, puis de septembre à octobre, et en décembre. Le minimum des précipitations y est observé en mars (cumul mensuel de 24 mm), le maximum en août (cumul mensuel de 114,6 mm).

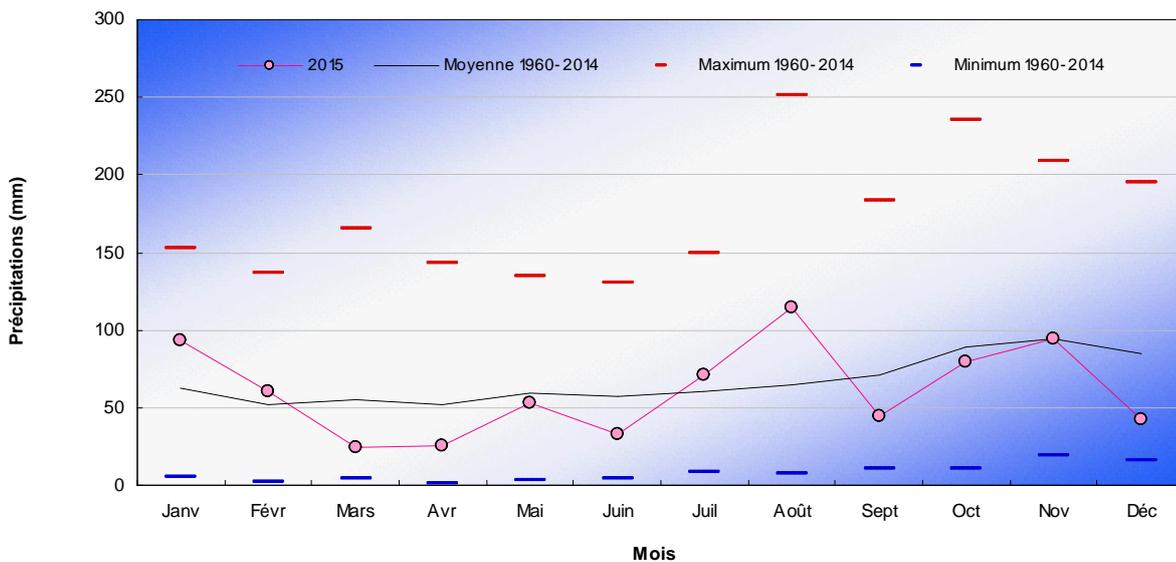


Figure 1.10. Hauteur de précipitations mensuelles à Dieppe en 2015 et au cours de la période 1960-2014

### 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. Les moyennes mensuelles extrêmes ont été enregistrées en janvier 1963 ( $-2,30^{\circ}\text{C}$ ) et en juillet 2006 ( $19,80^{\circ}\text{C}$ ). Le plus grand écart thermique au cours de cette période a été mesuré en 1997 ( $18,22^{\circ}\text{C}$ ), le plus faible en 1974 ( $10,50^{\circ}\text{C}$ ), celui de 2015 étant de  $13,22^{\circ}\text{C}$ .

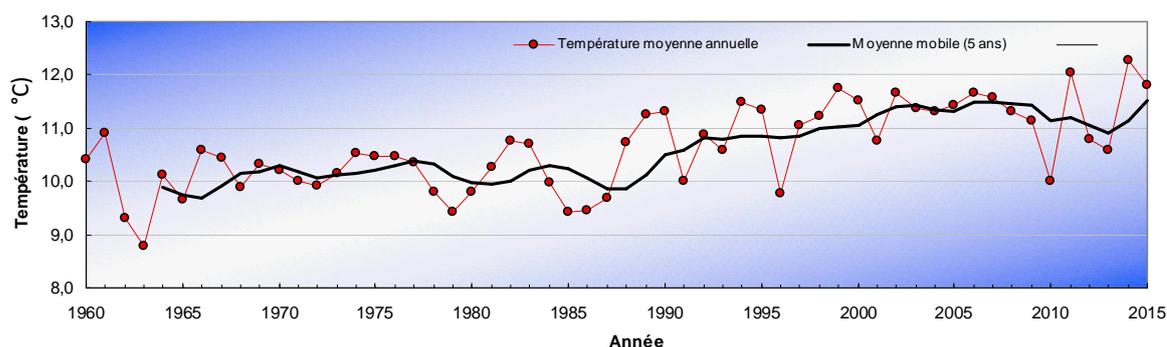


Figure 1.11. Température moyenne annuelle à Dieppe depuis 1960 et moyenne mobile sur cinq ans

La tendance décrite précédemment est clairement mise en évidence par les écarts des valeurs annuelles à la moyenne générale de la période 1960-2014 (figure 1.12). L'écart thermique à la moyenne qui était remarquable en 2014 (+ 1,69 °C) car le plus important depuis le début de cet historique (1960) n'est plus que de 1,20°C en 2015.

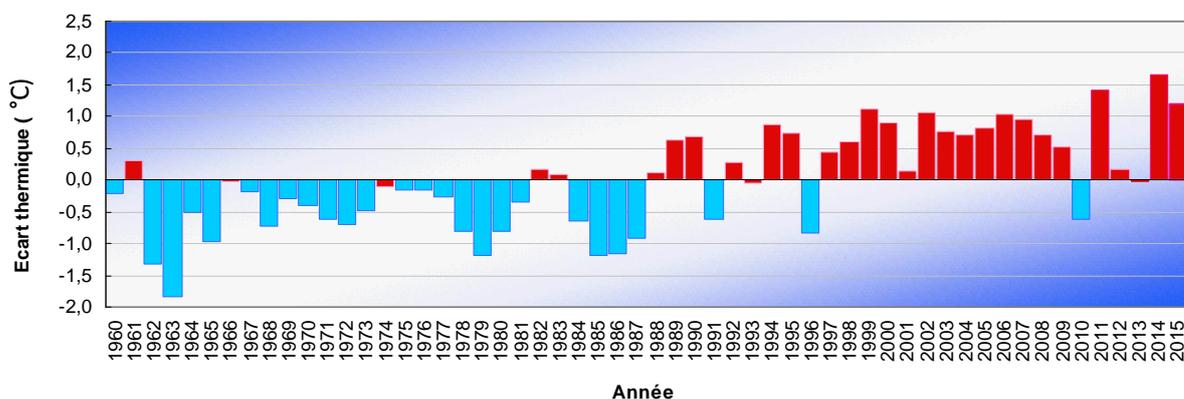


Figure 1.12. Écarts annuel de température à la moyenne 1960-2015

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 1960-2015. Sur la dernière période 2010-2015, l'écart de température à la moyenne reste positif (+0,7°C) mais moins marqué que sur la période précédente 2000-2010 (+0,8°C).

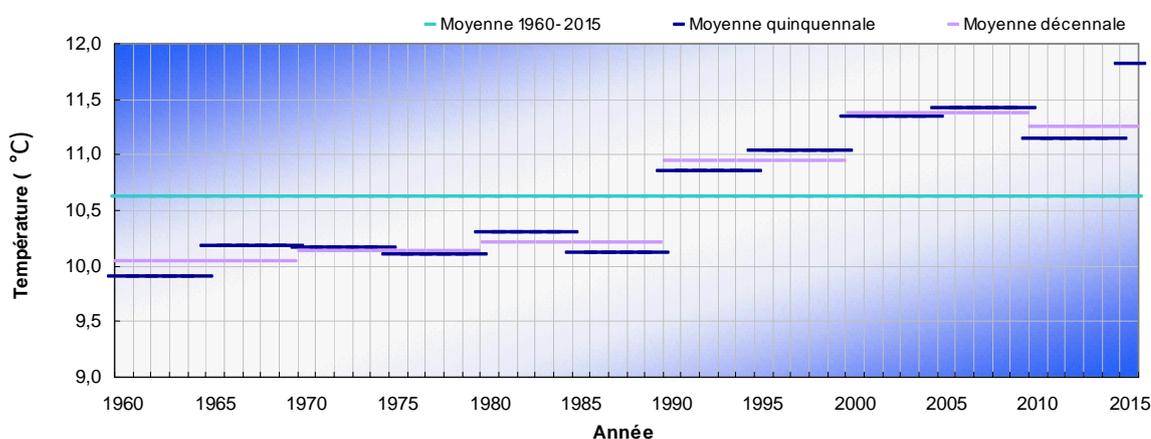


Figure 1.13. Valeurs moyennes de température de l'air à Dieppe par période quinquennale (trait bleu) et décennale (trait mauve). Le trait vert représente la température moyenne de la période 1960-2015

Comme l'année précédente, l'année 2015 a été caractérisée par une température moyenne élevée (11,82°C). Les températures des mois de janvier à octobre sont proches des moyennes mensuelles de la période 1960- 2014. Par contre les mois de novembre et décembre sont remarquables, avec respectivement une température de 12°C et de 10,9°C.

- en novembre, cette moyenne mensuelle n'a été mesurée qu'une seule fois en 1994.
- en décembre, celle-ci est historiquement élevée car jamais observée à ce niveau depuis 35 ans avec un écart de 1,9°C par rapport au maximum moyen relevé au cours de cette période. (figure 1.14).

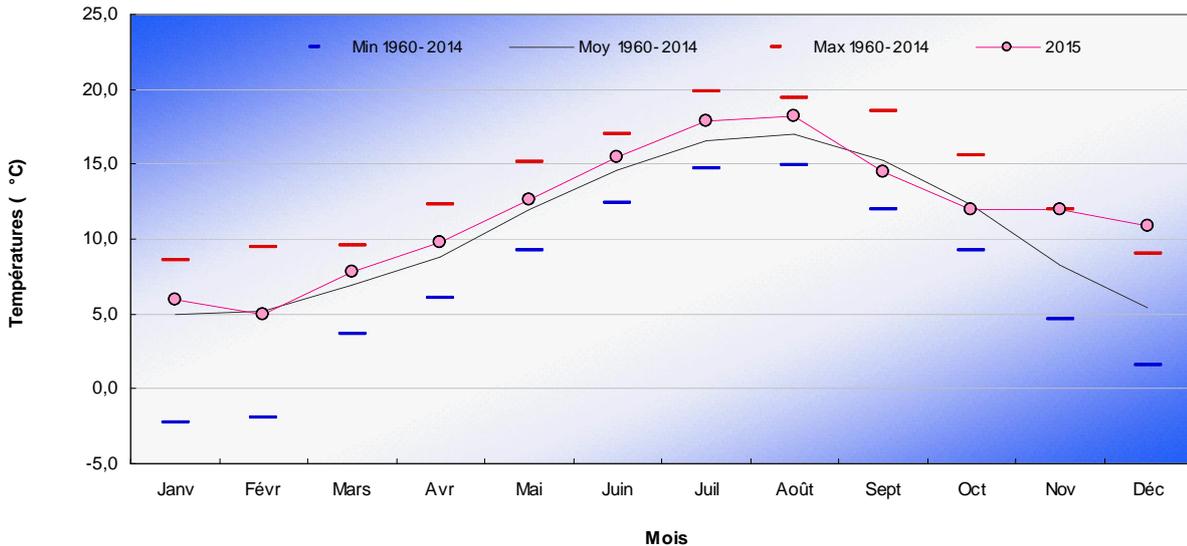


Figure 1.14. Température moyenne mensuelle de l'air à Dieppe en 2015 et au cours de la période 1960-2014

#### 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).

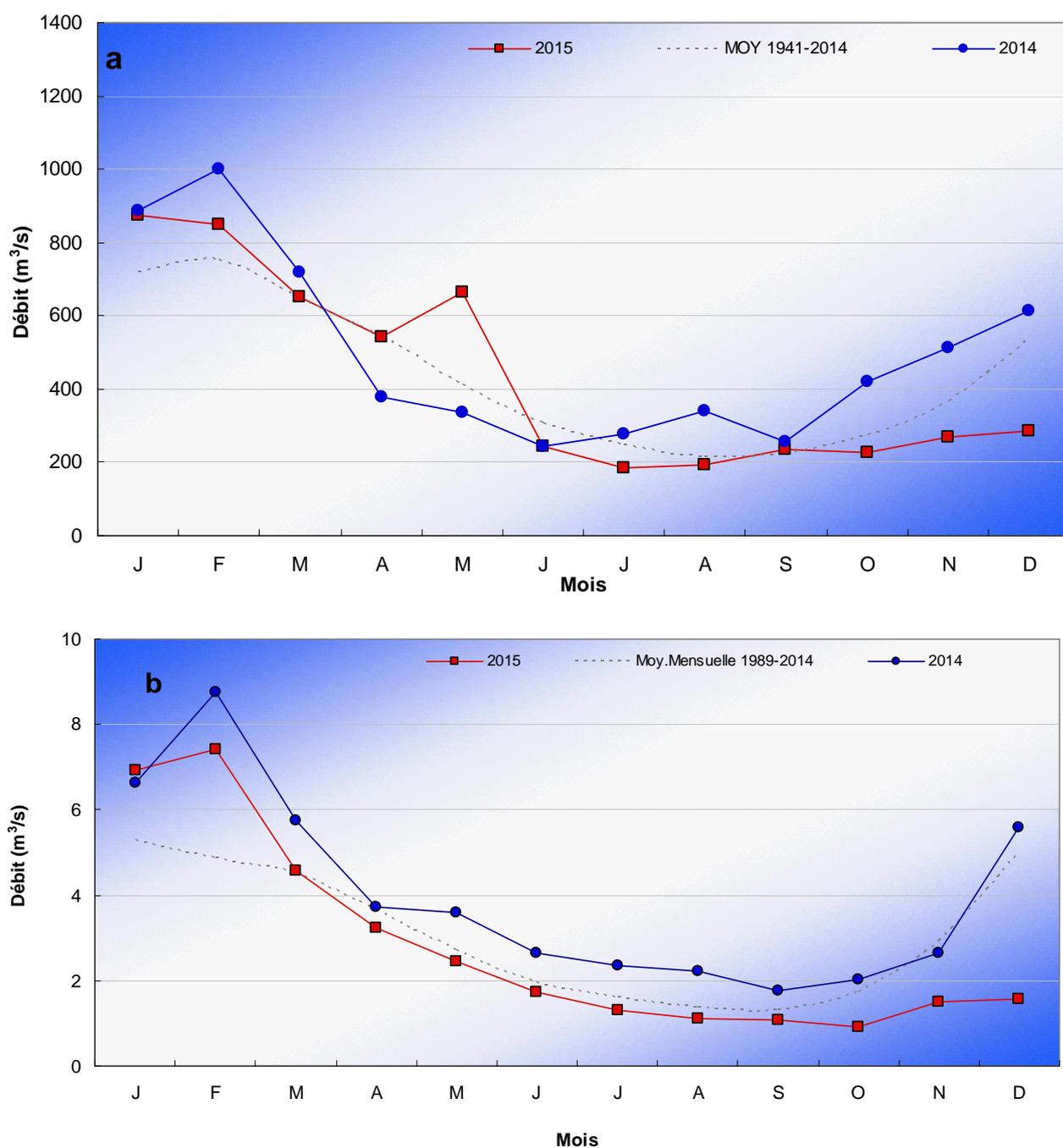


Figure 1.15. Débit mensuel moyen de : a) Seine (à Vernon) en 2014 et 2015 et moyenne de la période 1941-2014, b) Béthune en 2014 et 2015 et moyenne de la période 1989-2014

Bien que largement inférieur, le débit de la Béthune suit des variations relativement similaires à celui de la Seine excepté en mai (figure 1.15b). En 2015, et comme en début d'année 2014, 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 1989-2014 en janvier (+1,63 m<sup>3</sup>/s) ainsi qu'en février (+2,55 m<sup>3</sup>/s). Contrairement à l'année 2014, les débits deviennent déficitaires à partir d'avril. L'écart des débits mensuels à la moyenne reste négatif le reste de l'année mais est plus marqué les mois d'octobre (-0,82 m<sup>3</sup>/s), novembre (-1,39 m<sup>3</sup>/s) et décembre (-3,42 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'aménée 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.

La tranche 1 a été arrêtée deux jours et la tranche 2 du 29 mai au 6 juillet. Les périodes de forte activité du CNPE de Penly se situent de janvier à mai et de mi-juillet à décembre. En dehors de ces mois et de quelques ralentissements d'activité, la puissance est divisée par deux (figure 1.16).

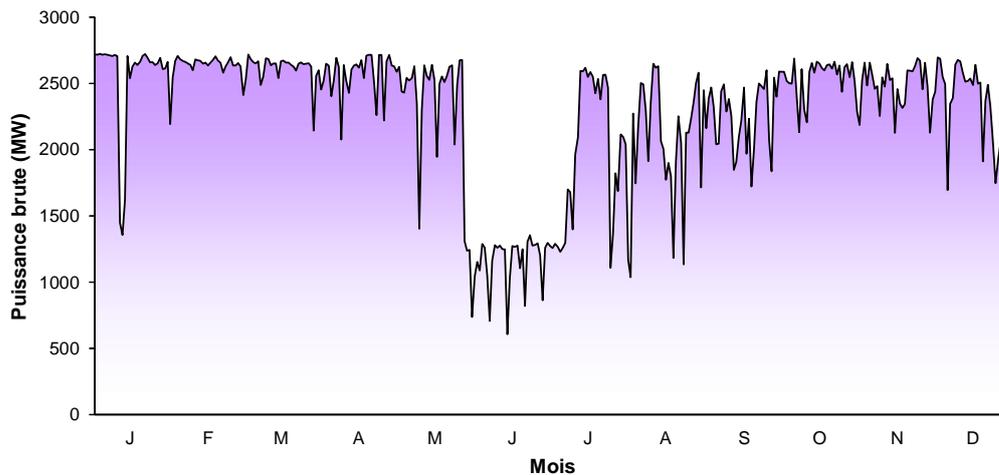


Figure 1.16. Puissance journalière brute des deux tranches du CNPE de Penly au cours de l'année 2015

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 1991-2014. En dehors d'une dizaine de jours, la moyenne des températures de l'eau de mer en 2015 est généralement proche ou au-dessus de la température moyenne enregistrée entre 1991 et 2014. Elle dépasse même les plus hauts historiques en novembre et décembre. La température maximale est atteinte le 31 août avec 20°C.

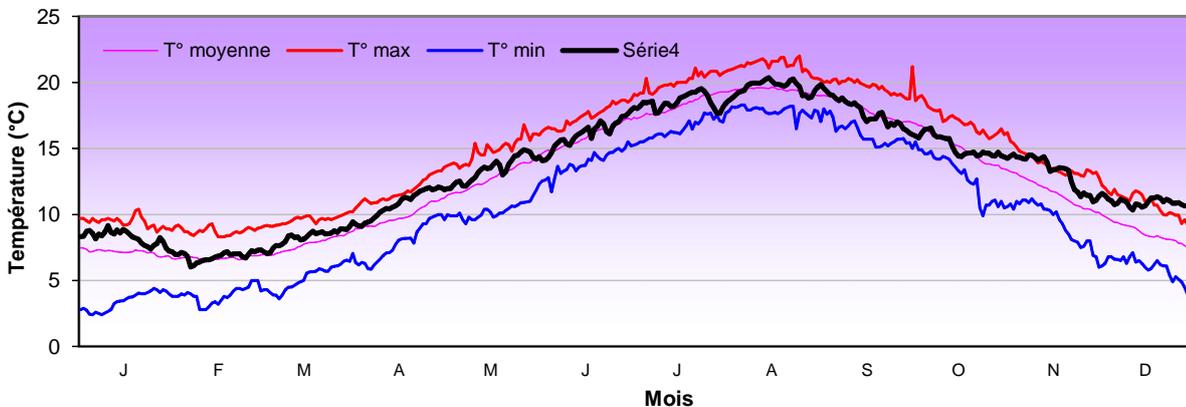
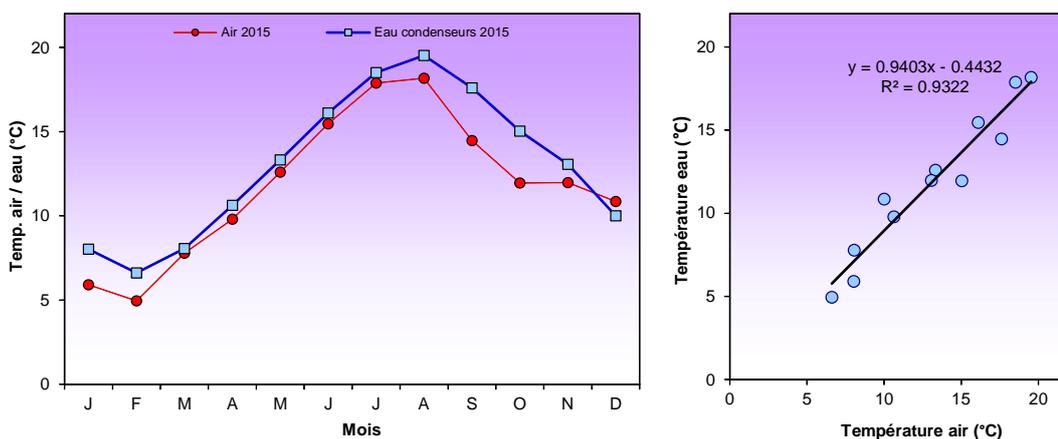


Figure 1.17. Évolution de la température moyenne journalière de l'eau de mer enregistrée à l'entrée des condenseurs du CNPE de Penly au cours de l'année 2015 et moyenne journalière sur la période 1991-2014

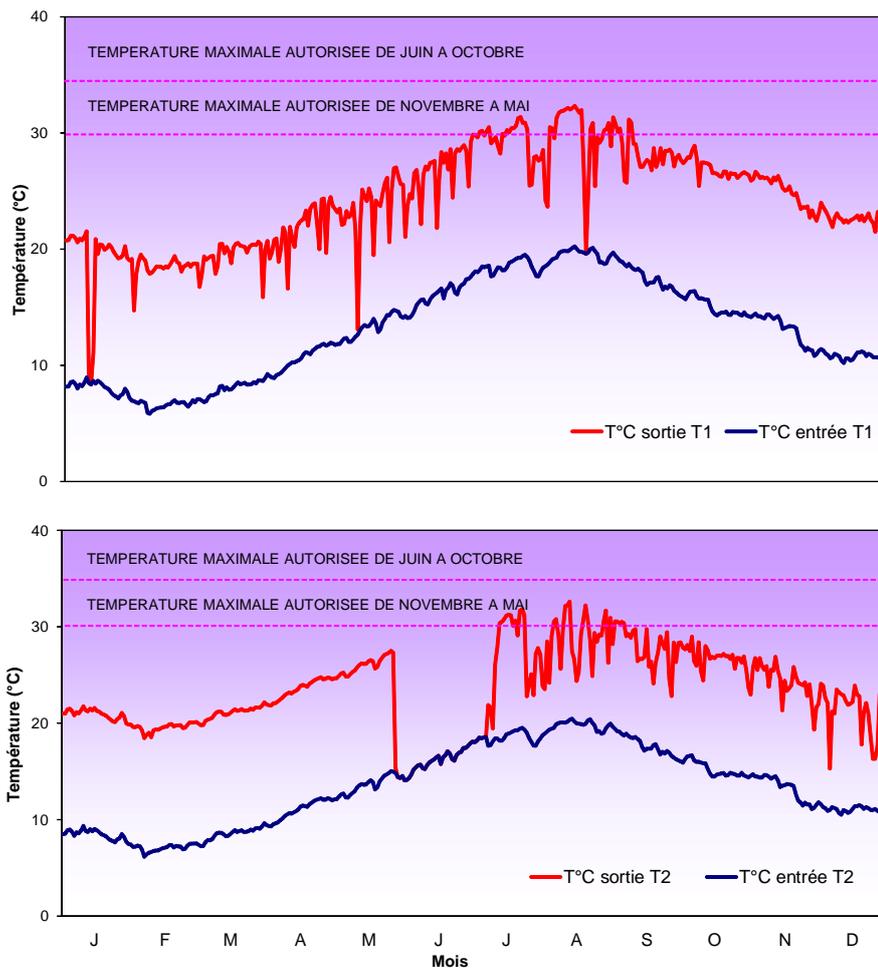
La température la plus basse a été enregistrée pendant la première semaine de février avec 6 °C.

Les valeurs des températures de l'air mesurées à Dieppe (fournies par Météo France pour l'année 2015) et celles de l'eau de mer fournies par EDF présentent des variations similaires. Il existe d'ailleurs une corrélation linéaire significative ( $n=12$  ;  $r^2=0,93$  ;  $p<0,005$ ) entre la température de l'air et celle de la colonne d'eau (figure 1.18).



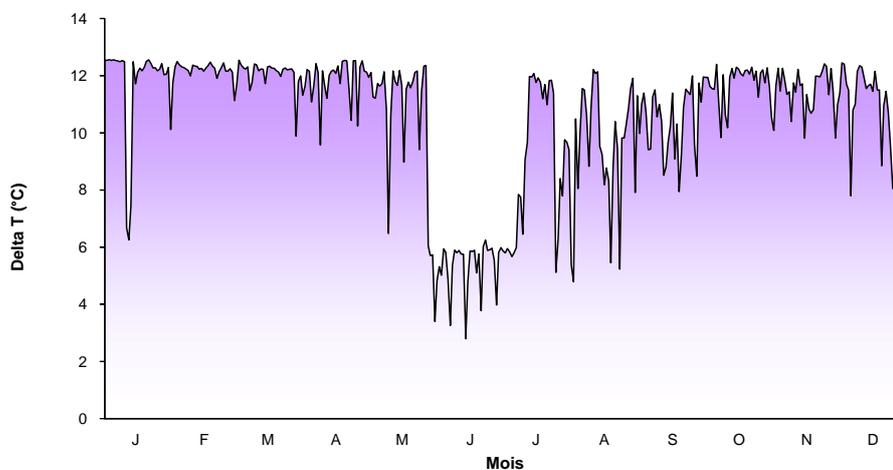
**Figure 1.18. Évolution des températures moyennes mensuelles de l'air à Dieppe et de l'eau de mer à l'entrée des condenseurs du CNPE de Penly en 2015**

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 2015**

L'écart de température journalier moyen entre la sortie de chaque condenseur et l'eau du canal d'aménée est présenté 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. Écart journalier moyen de température entre la sortie des deux condenseurs et le canal d'aménée au cours de l'année 2015**

En 2015, le procédé d'anti-salissure par électrochloration a fonctionné pleinement à partir du mois de avril avec un arrêt en juin pour la tranche 2. Comme l'indique le tableau 1.2 ci-dessous, 1042,8 tonnes de chlore ont été injectées dans les circuits de refroidissement de janvier à décembre 2015. Le maximum de production de chlore dans les circuits de refroidissement est de 70 tonnes au niveau de la tranche 1 au mois de septembre.

MOIS	Tranche 1	Tranche 2	Total
1	-	-	-
2	-	-	-
3	11,7	1,8	13,6
4	61,4	44,3	105,7
5	68,3	48,6	116,9
6	66,3	7,0	73,3
7	65,8	41,1	106,9
8	66,1	47,6	113,7
9	68,4	53,8	122,2
10	64,4	63,0	127,4
11	67,7	61,5	129,1
12	70,3	63,5	133,9
Total	610,4	432,4	1042,8

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 2015

## 1.8. Travaux réalisés par l'IFREMER

La liste de l'ensemble de travaux réalisés pour la surveillance écologique et halieutique en 2015 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				
		Canal amenée	Rejet	Contrôle	Référence	Dates de mission
		49°58'06N 1°12'02E	49°59'12N 1°11'06E	49°59'07N 1°11'02E	49°58'05N 0°59'09E	
1. SURVEILLANCE ECOLOGIQUE	Température Salinité NH <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , PO <sub>4</sub> , SiOH	1	1	1	1	
1.1. Domaine pélagique	MES					
1.1.1. Hydrologie	Tribromométhane	1	1	1	1	12 / 3
	Dibromomonochloro-méthane					11 / 6
	Dichloromonobromo-méthane					21 / 9
	Trichlorométhane					
	Hydrazine, Ethanolamine	1	1	1	1	
1.1.2. Phytoplancton	Chlorophylle et phaeopigments	1	1	1	1	12 / 3
	Production primaire potentielle	3	3	3	3	11 / 6
	Détermination et comptage	1	1	1	1	21 / 9
1.1.3. Zooplancton	Poids sec, carbone, azote	1 WP2 filtré	1 WP2 filtré	1 WP2 filtré	1 WP2 filtré	12 / 3
	Densité des organismes holo et méro planctoniques	et congelé	et congelé	et congelé	et congelé	11 / 6
		1 WP2 formolé	1 WP2 formolé	1 WP2 formolé	1 WP2 formolé	21 / 9
1.1.4. Microbiologie	Dénomb. des germes totaux *	2	2	2	2	12 / 3
	Dénomb. des germes revivifiables	2	2	2	2	11 / 6
	Ident. vibrions halophiles	2	2	2	2	21 / 9
2. SURVEILLANCE HALIEUTIQUE	Température - Salinité					13 / 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
						12 / 5
						27 / 5
2.2 Macrofaune Halieutique	- sole, plie, limande	- 34 traits de 15 min. au chalut perche 3 m entre la baie d'Authie et Dieppe				23 / 08
	- autres espèces (crevette grise, merlan, tacaud)	- 16 traits de 7 min. au chalut perche 2 m à l'intérieur de la baie de Somme				24 / 9
						25 / 9
	-Température - Salinité					

\* 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 2015 pour la surveillance écologique du CNPE de Penly**

## 2. Hydrologie

*Rapport*

Emilie Rabiller (LERN)

*Prélèvements et mesures in situ*

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

*Analyses de sels nutritifs*

Olivier Pierre-Duplessix (LERN),  
Emilie Rabiller (LERN)

*Analyses de matière en suspension*

Emilie Rabiller (LERN),

*Traitement statistique des résultats*

Emilie Rabiller (LERN)

*Analyses chimiques complémentaires réalisées par*

Laboratoire LABEO Franck Duncombe de Caen  
Laboratoire Eurofins de Bordeaux



## 2.1. Méthode

### 2.1.1. 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 12 mars, 11 juin et 21 septembre 2015 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.

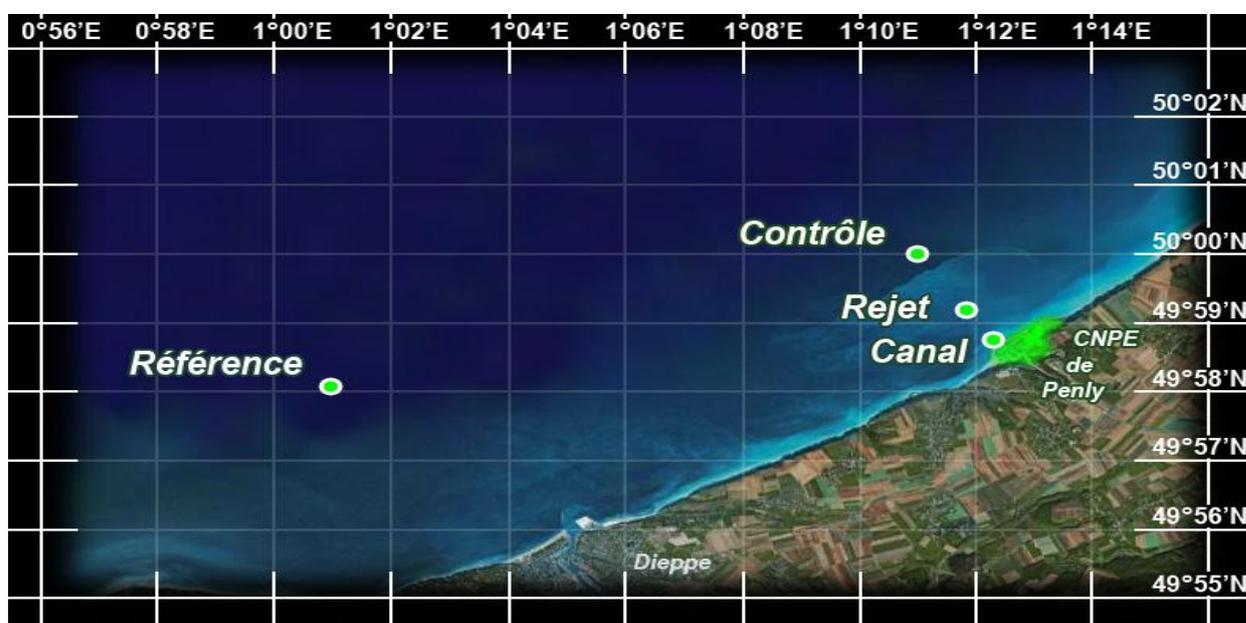


Figure 2.1 : Situation géographique du CNPE et localisation des points de prélèvements

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

Les paramètres physicochimiques mesurés sont la température, 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).

	Température (°C)	Salinité
<b>Précisions</b>	± 0,01	± 0,01
<b>Limite de détection</b>	0,01	0,01

Tableau 2.1 : Précision sur les mesures physiques in situ réalisées

## 2.1.2. 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 auto analyseur 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 ethanolamine (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 2.2 ci-après :

	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> <sup>-</sup> (µM)	MES (mg.L <sup>-1</sup> )	BromoF. (µg/L)	Hydraz. (mg/L)	Ethanola. (mg/L)
<b>Incertitudes</b>	3%	4,9%	10,1%	4,4%	0,7%	±0.1	NC	30%	30%
<b>Limite de quantification</b>	0,10	0,02	0,10	0,04	0,2	0,01	1	0,10 0,01*	0,10 0,05*

**Tableau 2.2 : Incertitude et limite de quantification des mesures (NC : non communiqué)**

\*analyses d'éthlonamine et d'hydrazine ont été sous traités par Eurofins vers un partenaire externe en septembre 2015.

## 2.1.3. 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 2015, 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.

## 2.1.4. Traitement statistique des données

Un traitement statistique a été réalisé sur l'ensemble des paramètres étudiés entre 1989 et 2015. 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 %.

## 2.2. Résultats des mesures de la surveillance hydrologique pour 2015

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de surveillance pour l'année 2015 sur le site de Penly sont présentés dans le tableau 2.3 ci-dessous. Les LQ sont définies dans le tableau 2.2.

	<b>Canal</b>	<b>Référence</b>	<b>Rejet</b>	<b>Contrôle</b>	
<b>12-MARS</b>	Température (°C)	7,77	7,77	11,5	8,01
	Salinité	33,1	33,1	32,7	33,0
	MES (mg/L)	20,9	3,97	20,1	5,99
	Nitrate ( $\mu\text{M}$ )	34,4	30,8	33,4	31,4
	Nitrite ( $\mu\text{M}$ )	0,284	0,258	0,278	0,275
	Ammonium ( $\mu\text{M}$ )	0,174	0,104	0,179	<0,10
	Phosphate ( $\mu\text{M}$ )	0,730	0,700	0,740	0,640
	Silicate ( $\mu\text{M}$ )	15,1	13,3	14,7	13,3
	Bromoforme ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
	Hydrazine (mg L <sup>-1</sup> )	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
	Ethanolamine (mg L <sup>-1</sup> )	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
	Chloroforme ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
	Dichloromonobromométane ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
	Dibromomonobromométhane ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
<b>11-JUIN</b>	Température (°C)	16,0	15,2	18,7	15,8
	Salinité	33,8	34,0	33,7	33,8
	MES (mg/L)	29,2	3,54	14,8	4,23
	Nitrate ( $\mu\text{M}$ )	11,1	8,77	10,2	9,70
	Nitrite ( $\mu\text{M}$ )	0,25	0,157	0,198	0,189
	Ammonium ( $\mu\text{M}$ )	0,159	<0,10	0,133	<0,10
	Phosphate ( $\mu\text{M}$ )	0,077	0,051	0,047	<0,04
	Silicate ( $\mu\text{M}$ )	5,4	6,58	5,64	5,51
	Bromoforme ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	<1,0	<1,0	6,7	<1,0
	Hydrazine (mg L <sup>-1</sup> )	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
	Ethanolamine (mg L <sup>-1</sup> )	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
	Chloroforme ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
	Dichloromonobromométane ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
	Dibromomonobromométhane ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
<b>21-SEPT</b>	Température (°C)	17,4	17,6	19,5	17,4
	Salinité	34,0	34,0	33,8	34,1
	MES (mg/L)	21,7	26,6	13,6	11,1
	Nitrate ( $\mu\text{M}$ )	10,9	12,1	11,8	9,85
	Nitrite ( $\mu\text{M}$ )	0,335	0,340	0,310	0,254
	Ammonium ( $\mu\text{M}$ )	1,47	1,33	1,00	1,03
	Phosphate ( $\mu\text{M}$ )	0,448	0,471	0,426	0,413
	Silicate ( $\mu\text{M}$ )	11,3	12,0	12,7	9,73
	Bromoforme ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	1,1	<1,0	5,2	<1,0
	Hydrazine (mg L <sup>-1</sup> )	<0,01*	<0,01*	<0,01*	<0,01*
	Ethanolamine (mg L <sup>-1</sup> )	<0,05*	<0,05*	<0,05*	<0,05*
	Chloroforme ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
	Dichloromonobromométane ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
	Dibromomonobromométhane ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0

Tableau 2.3 : Récapitulatif des résultats de surveillance pour l'année 2015

\*analyses d'éthanolamine et d'hydrazine ont été sous traitées par Eurofins vers un partenaire externe en septembre 2015.

## 2.2.1. Température

### 2.2.1.1. Variations spatiales et saisonnières de la température en 2015

Au cours des campagnes de surveillance 2015, la température de l'eau de mer a varié de 7,77 °C à 17,4 °C au point *canal*, de 11,5 °C à 19,5 °C au point *rejet*, de 8,01 °C à 17,4 °C au point *contrôle* et de 7,77 à 17,6 °C au point *référence* (figure 2.2).

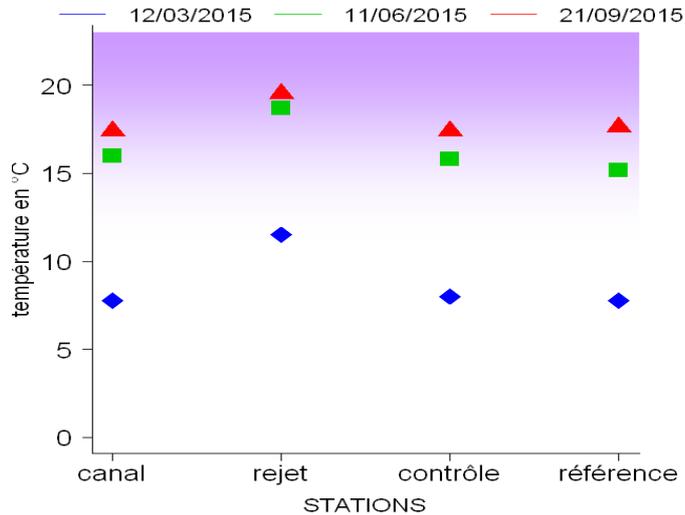


Figure 2.2 : Température de l'eau de surface en 2015

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 9,21°C. Il correspond à la moyenne des différences de température entre les mois de mars et septembre 2015 observés à chaque point. L'écart thermique 2015 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.

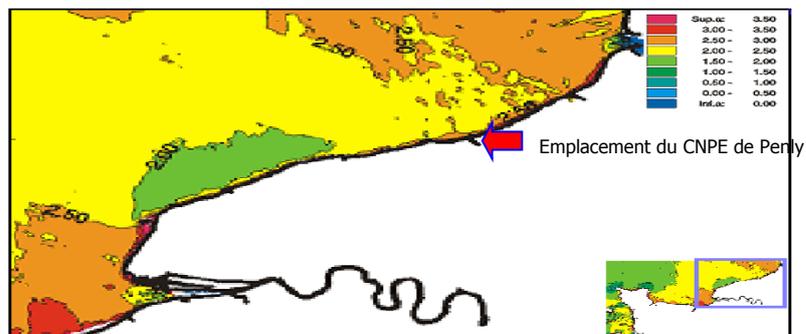


Figure 2.3 : Évolution spatiale du paramètre de stratification ( $H/u^3$ ) en Manche réalisée à l'aide du modèle hydrodynamique Mars 2D d'IFREMER (Lazure, comm. pers.)

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.

### 2.2.1.2. 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.

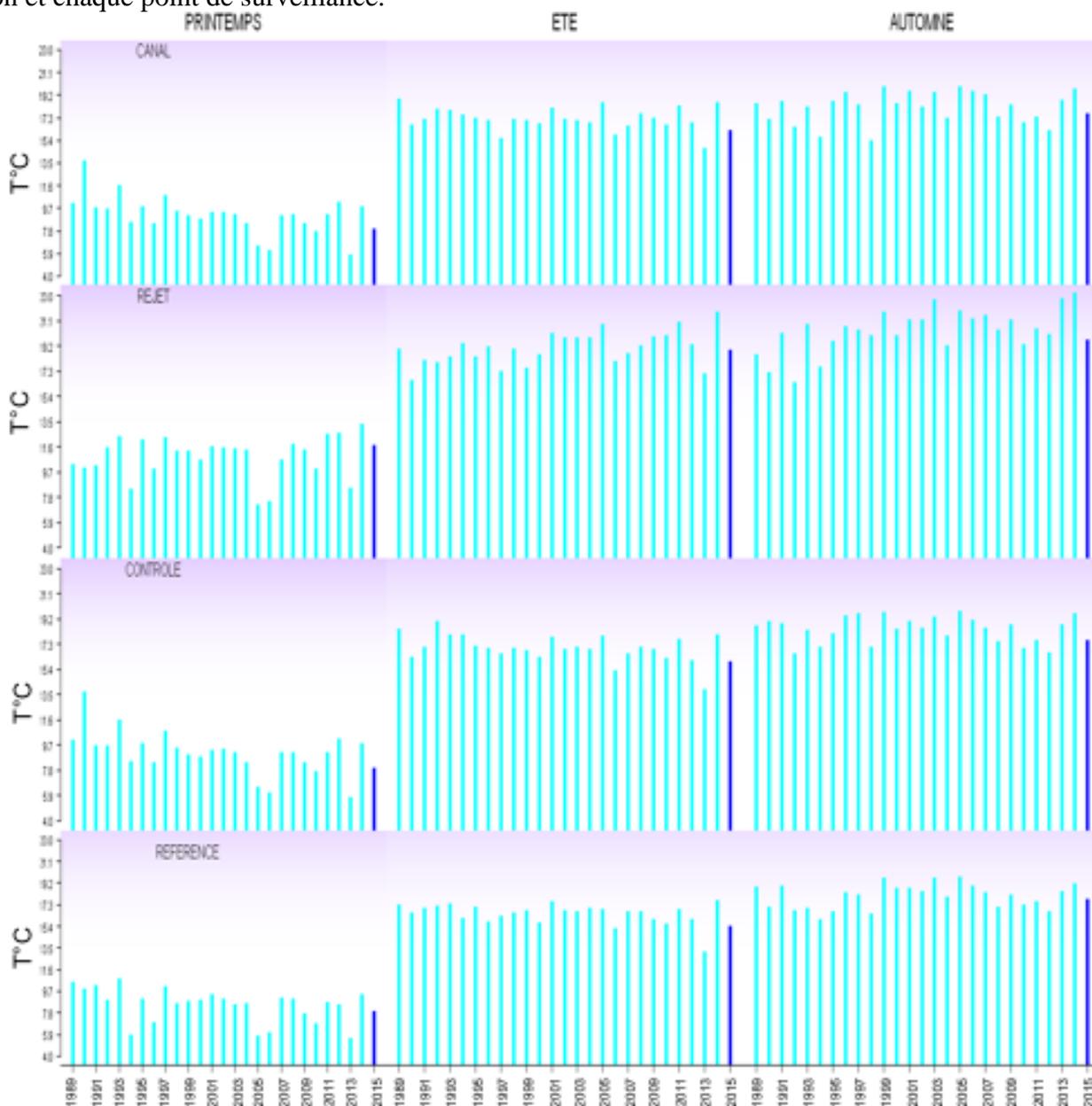
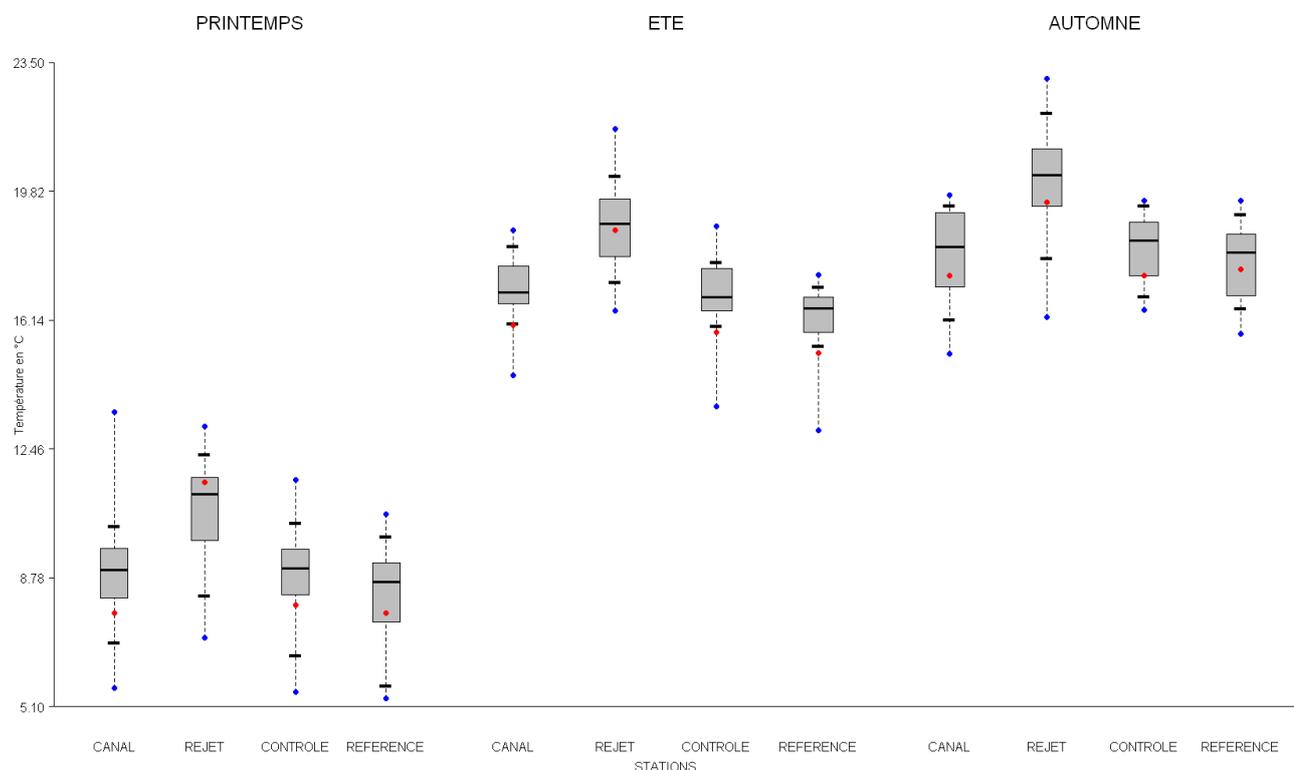


Figure 2.4 : Température de l'eau de surface pour les campagnes de 1989 à 2015 (2015 en bleu foncé)

En 2015, les températures ont été inférieures à celles de 2014 sur l'ensemble des points et des saisons. Elles semblent être dans la moyenne des valeurs observées, toutes saisons confondues depuis le début du suivi.

La figure 2.5 compare les distributions de températures enregistrées entre 1989 et 2014 sous forme de *boîtes à moustaches* superposées aux teneurs de 2015.



**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 2014 qui sont illustrés par des points (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2015 (●)**

Les mesures de 2015 aux points *canal*, *contrôle* et *référence* sont inférieures aux médianes au printemps et appartiennent à 10% des valeurs les plus faibles relevées depuis le début du suivi en été. Les mesures au point *rejet* lors de ces deux saisons sont proches des médianes. A l'automne les mesures sont incluses dans les boîtes représentant 50% des valeurs acquises depuis le début du suivi. Les médianes ne laissent pas apparaître de gradient côte large, seul se distingue les températures du point *rejet* des autres points.

Aussi la comparaison de la distribution des températures de l'eau de mer de 2015 avec celles acquises depuis le début du suivi permet de caractériser 2015 comme une année à températures basses par rapport aux médianes inter-annuelles saisonnières.

Marcos et Dribault (1994) et plus récemment EDF (2010) ont modélisé le panache thermique du CNPE de Penly (modèle TELEMAC-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 2015 le confirment en été, l'écart entre le point *référence* et le point *canal* variant de 0,8 mais est nul au printemps et en automne. 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 2015 montrent une similarité 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 2015) 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 2.5).

### 2.2.1.3. 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 1989-2015.

Température (°C)						
Comparaison	Printemps		Été		Automne	
	type de test	probabilité associée	type de test	probabilité associée	type de test	probabilité associée
Canal / Rejet	W	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>
Référence / Rejet	T	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>
Canal / Référence	W	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>	T	0,279
Contrôle / Canal	W	0,374	W	<b>0,009</b>	W	0,121
Contrôle / Rejet	T	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>
Contrôle / Référence	W	<b>0,001</b>	W	<b>0,000</b>	W	<b>0,010</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 2.4 : Probabilité associée *p* des tests statistiques sur la température**

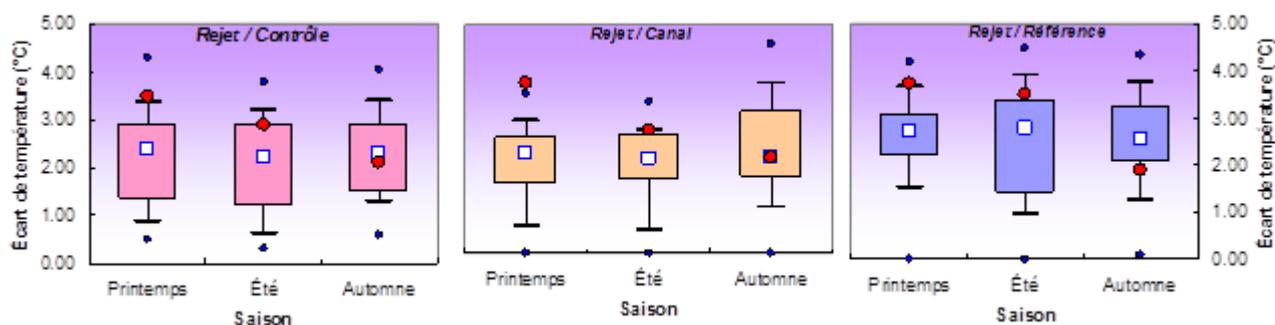
Les résultats de probabilités associés (*p-value*) sont identiques à ceux présentés pour la période 1989-2014. Il existe une différence significative et systématique de température entre le point *rejet* et les autres points de surveillance. Ce résultat confirme statistiquement l'existence d'une perturbation thermique très localisée et liée au fonctionnement de la centrale dans le milieu marin au niveau du rejet

La température moyenne au point *référence*, à priori non impacté par les rejets du CNPE, diffère également significativement de la température moyenne au niveau des autres points. Les différences non significatives trouvées concernent le point *canal*, avec le point *contrôle* au printemps et en automne, et avec le point *référence* en automne. Cela suggère l'absence de gradient côte-large au printemps et en automne, le point *canal* se comportant comme le point *référence* et *contrôle*.

### 2.2.1.4. Écarts thermiques du rejet et taux de dilution

Sur l'ensemble des campagnes de 2015, les moyennes annuelles des différences de température enregistrées entre le point *rejet* et les autres points *contrôle*, *canal* et *référence* ont été respectivement, de 3,9°C (écart type de 0,70), 2,84°C (écart-type de 0,82) et 3,04°C (écart type de 1).

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 2015 (●)**

En 2015, l'écart avec le point *rejet*, toutes stations confondues, se situe entre 1,9 et 3,7 °C. Les écarts thermiques du printemps et de l'été 2015 sont dans les valeurs supérieures mesurées depuis 26 ans. Cela coïncide avec les boxplots (fig. 2.6) qui montrent des températures basses aux points *référence*, *contrôle* et *canal* alors qu'elles sont proches des médianes au point *rejet*. En automne l'écart est proche de la médiane pour les couples *rejet/contrôle* et *rejet/canal* et inférieur à 50% des valeurs entre *rejet* et *référence*.

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 :

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

où  $\pi$  représente la proportion d'eau échauffée, et  $t^{\circ} \text{ Rejet}$ ,  $t^{\circ} \text{ Canal}$  et  $t^{\circ} \text{ SC}$  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 2.5.

Date 2015	Canal		Sortie Condenseur EDF		Rejet T°C IFREMER	CALCUL			
	T°C IFREMER	T°C EDF	T°C T1	T°C T2		T°C Rejet-Canal	T°C SC-Canal	Ratio p	Taux
12-mars	<b>7,77</b>	7,87	19,65	<b>21,19</b>	<b>11,5</b>	3,7	13,42	0,28	<b>72,2</b>
11-juin	<b>16,0</b>	15,67	<b>27,45</b>	15,67	<b>18,7</b>	2,7	11,45	0,24	<b>76,4</b>
21-sept	<b>17,4</b>	17,29	<b>28,71</b>	27,38	<b>19,5</b>	2,1	11,31	0,19	<b>81,4</b>

**Tableau 2.5 : Echauffements de l'eau de mer calculés à Penly en 2015 et taux de dilution (en gras les valeurs utilisées pour le calcul)**

Le 12 mars, la proportion d'eau échauffée au point *rejet* par rapport à celle de sortie du condenseur est de 0,28. Cela correspond à un taux de dilution d'environ 70 %. Ce taux est équivalent à celui de 2014 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 11 juin ont été de 0,24. Cela correspond à un taux de dilution d'environ 76%. Ce taux est légèrement supérieur à celui de 2014 et inclus dans la gamme de ceux calculés au cours des années précédentes (entre 75 et 90 %).

Les proportions d'eau échauffée au point *rejet* le 21 septembre ont été de 0,19. Cela correspond à un taux de dilution d'environ 81%. Ce taux est supérieur à celui calculé en 2014 et est compris dans la gamme de ceux calculés au cours des années précédentes (entre 75 et 90 %).

## 2.2.2. Salinité

### 2.2.2.1. Variations spatiales et saisonnières de la salinité en 2015

Les salinités mesurées en 2015 ont été comprises entre 33,1 et 34,0 au point *canal*, entre 32,7 et 33,8 au point *rejet*, entre 33,0 et 34,1 au point *contrôle* et entre 33,1 et 34,0 au point *référence* (figure 2.7).

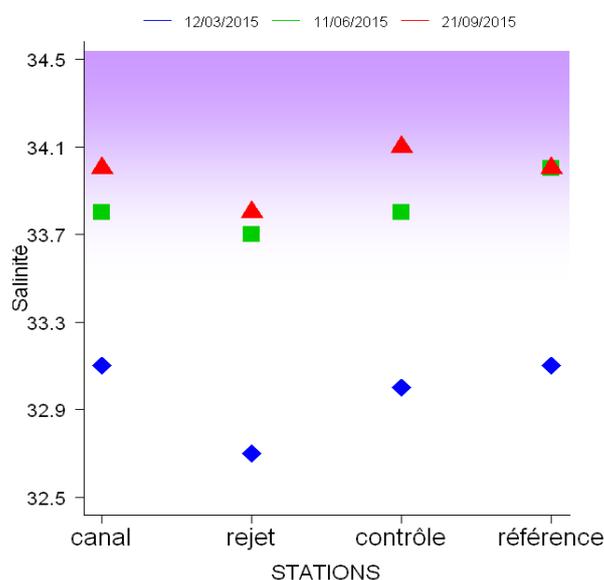


Figure 2.7 : Salinité de l'eau de surface lors des campagnes de 2015

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 au printemps, tous points confondus, tandis qu'elles sont les plus fortes à l'automne. La salinité varie peu entre l'été et l'automne sur toutes les stations. On observe, aux points *rejet*, *contrôle* et *référence*, un écart d'1 unité entre l'été et les deux autres saisons.

Un léger gradient côte-large apparaît au printemps et en été, la salinité augmentant du point *rejet* (32,7 et 33,7) au point *référence* (33,1 et 34,0). Le point *rejet* au printemps est le moins salé de tous les points mesurés en 2015.

### 2.2.2.2. Variations inter-annuelles

La figure 2.8 présente l'évolution des salinités enregistrées sur l'ensemble des points de suivi entre 1989 et 2015. Les salinités sont globalement proches de celles mesurées en 2014 exceptés pour les mesures détaillées ci-après.

Les mesures du printemps de 2015, tous points confondus, sont inférieures à celles de 2014. L'ensemble des mesures de 2015 semble proche de la moyenne pluriannuelle. La salinité du point *contrôle* en été est supérieure à celle de 2014.

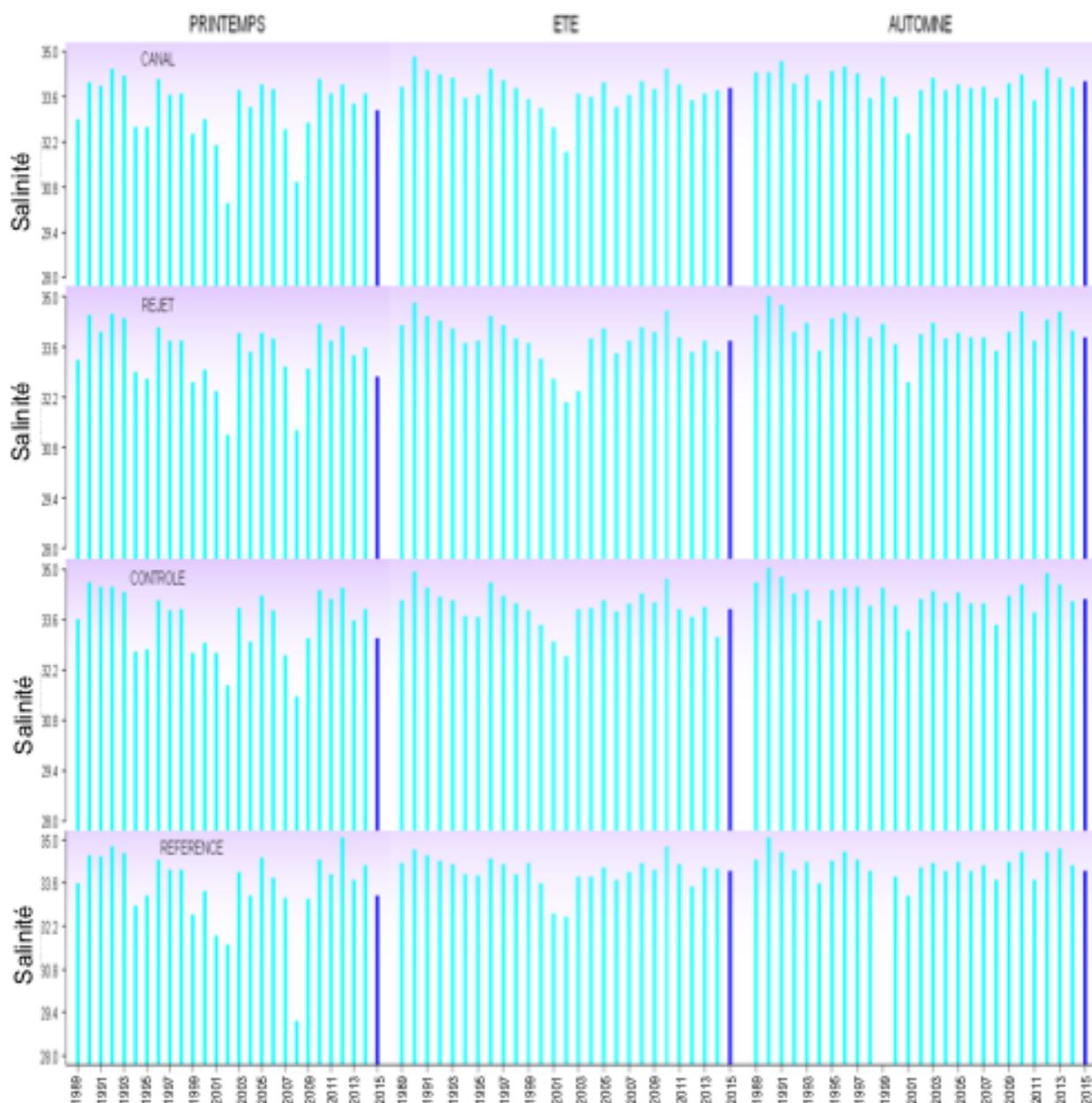
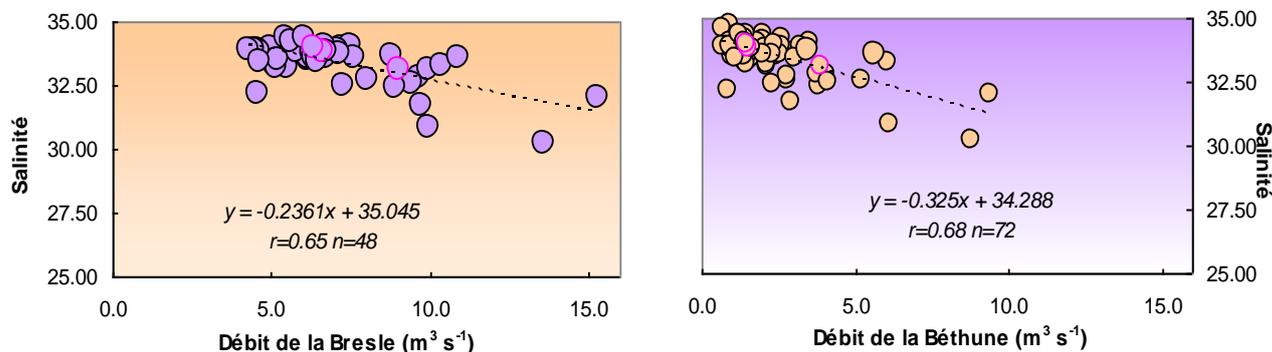


Figure 2.8 : Salinité de l'eau de surface pour les campagnes de 1989 à 2015 (2015 en bleu foncé)

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).

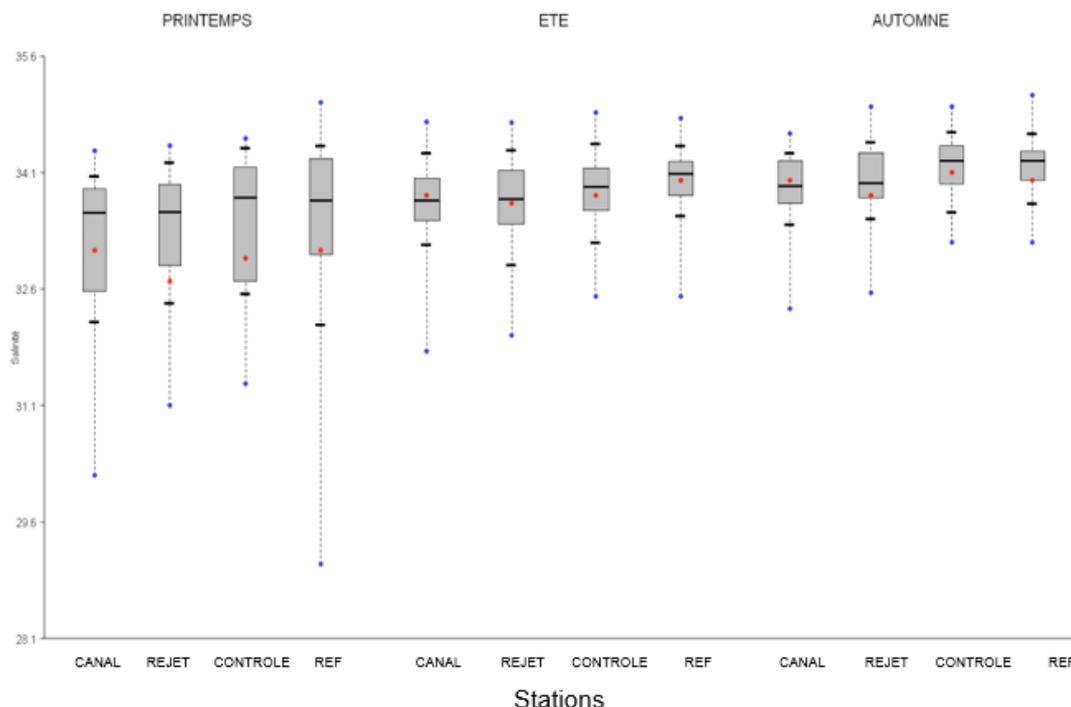
La figure 2.9, ci-après, présente l'évolution de la salinité en fonction du débit de la Bresle et de la Béthune, fleuves situés proche du CNPE de Penly.



**Figure 2.9 : Variation de la salinité (canal) en fonction du débit journalier de la Bresle (2000-2015) et de la Béthune (1989-1994 / 1998-2015)**

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 février 2015 sont dans la gamme haute des débits recensés (cf.1.6.4) depuis le début du suivi ce qui peut expliquer des salinités plus faibles observées en mars par rapport aux deux autres campagnes. Les points de 2015 sont proches de la courbe de tendance considérant l'ensemble des mesures réalisées depuis le début du suivi.

La figure 2.10 présente la distribution des valeurs de salinité enregistrées entre 1989 et 2014 sous forme de *boîtes à moustaches* superposées aux teneurs de 2015.



**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 2015 (●)**

La distribution des mesures de salinité se distingue au printemps par rapport à l'été et à l'automne, les données étant plus dispersées au printemps. Les salinités de 2015 sont proches des médianes

exceptées au printemps où elles sont proche des bornes inférieures de la boîte voir à l'extérieur au point *rejet*.

En 2015, le gradient côte-large croissant est visible en été sur la figure 2.10 par le biais des médianes.

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 douces par les bassins versants sur le site proche du CNPE de Penly.

### 2.2.2.3. Approche statistique

Le tableau 2.6 présente les résultats des tests statistiques pour la salinité sur la période 1989-2015.

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>0,020</b>	W	<b>0,003</b>
<i>Référence / Rejet</i>	W	<b>0,011</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>0,024</b>	W	<b>0,003</b>	W	<b>0,000</b>
<i>Contrôle / Référence</i>	W	0,141	W	<b>0,029</b>	T	0,371

*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 la salinité**

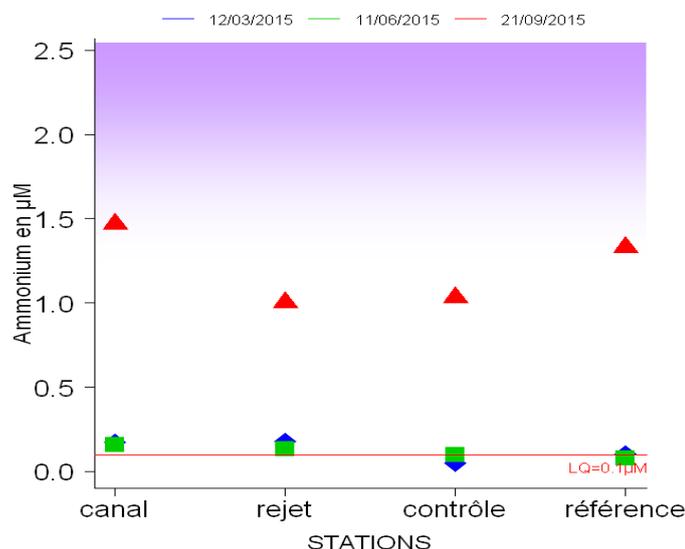
L'intégration des résultats de surveillance 2015 ne modifie pas les résultats basés sur la période 1989-2014, seul le couple de stations *contrôle/référence* ne montrent pas de différence significative au printemps et en automne. Ces deux points étant tous deux les plus au large, il est attendu que leur salinité soit similaire. 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.

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. L'hypothèse d'un impact du CNPE sur les variations de salinités mesurées sur la série pluriannuelle est improbable.

## 2.2.3. Ammonium

### 2.2.3.1. Variations spatiales et saisonnières de l'ammonium en 2015

Au cours des campagnes 2015, les teneurs en ammonium ont varié de 0,16 à 1,47  $\mu\text{M}$  au point *canal*, de 0,13 à 1,00  $\mu\text{M}$  au point *rejet*, de la Limite de Quantification ( $<0,1$ ) à 1,03  $\mu\text{M}$  au point *contrôle* et de la LQ ( $<0,1$ ) à 1,33  $\mu\text{M}$  au point *référence* (figure 2.11).



**Figure 2.11 : Concentrations en ammonium dans les eaux de surface lors des campagnes 2015 (LQ=0,10 $\mu\text{M}$ )**

Les concentrations en ammonium au printemps et en été 2015 sont proches de la LQ. En été, elles sont faibles mais présentes un léger gradient côte-large décroissant. Les concentrations en automne sont plus élevées qu'aux autres saisons, l'écart moyen entre cette saison et les deux autres étant de plus de 1. Le gradient côte-large n'est pas visible.

### 2.2.3.2. 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 2015, les concentrations en ammonium sont plus faibles que celles mesurées l'année précédente, excepté en automne. Si la concentration d'ammonium au point *canal* en automne est plus faible en 2015 elle est plus forte sur les trois autres points. Les données d'ammonium de 2015 semblent plus faibles que la médiane pluriannuelle au printemps et en été et supérieur en automne, toutes points confondus.

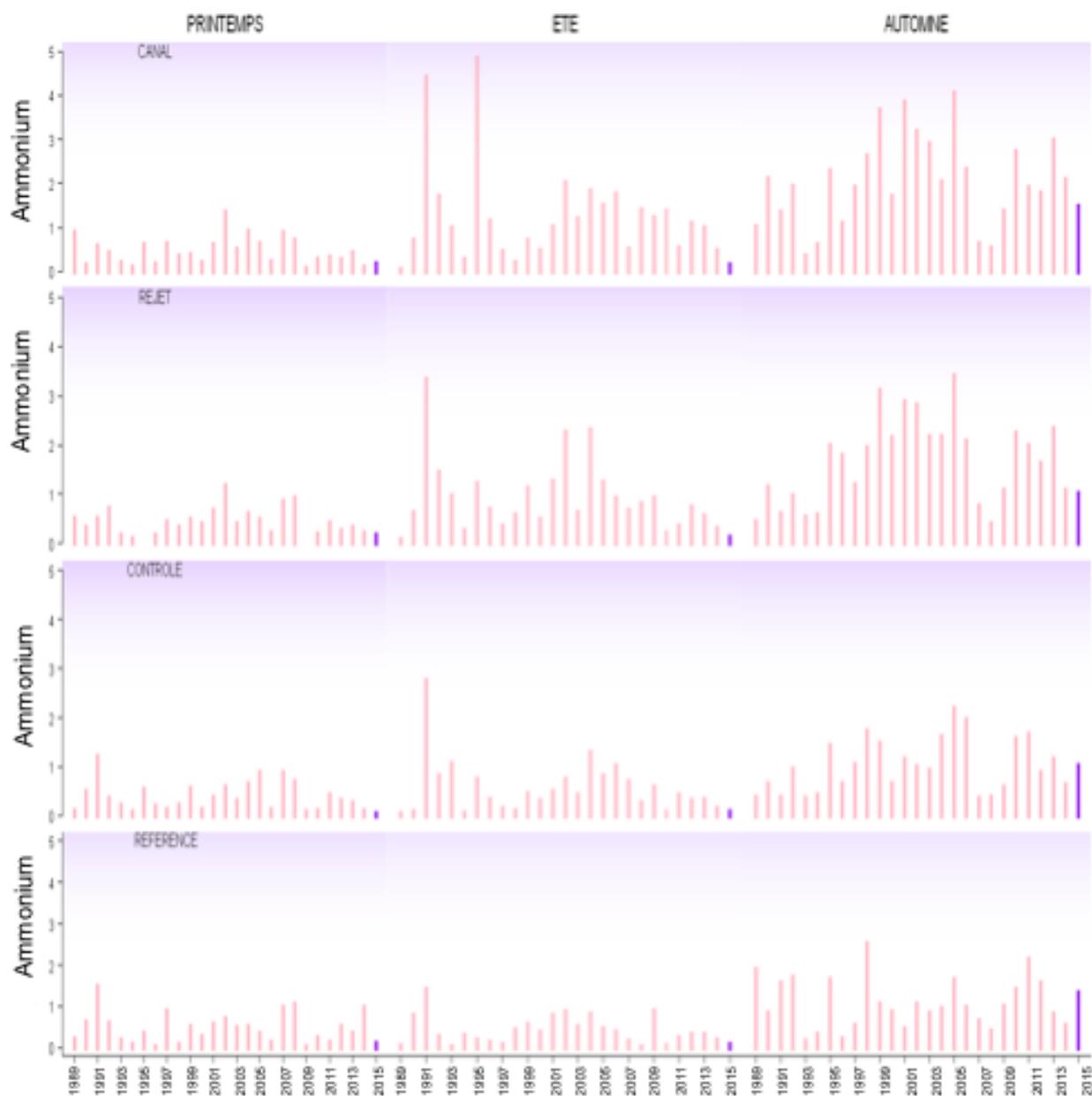
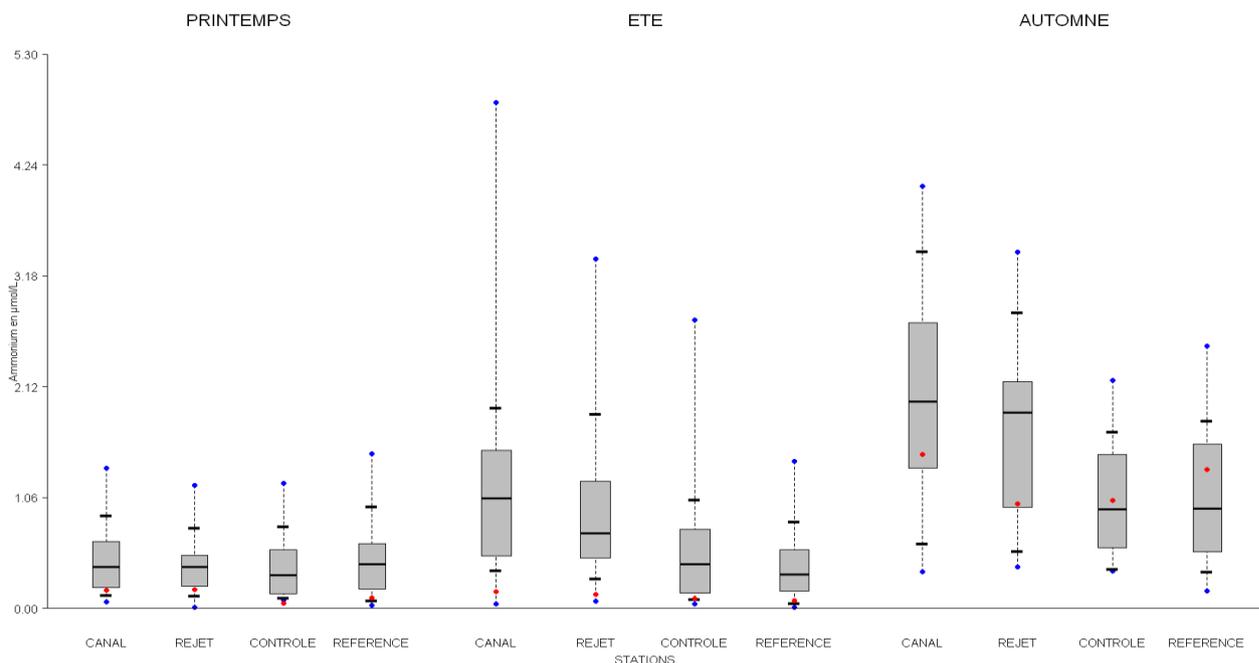


Figure 2.12 : Concentrations en ammonium dans l'eau de surface lors des campagnes de 1989 à 2015

La figure 2.13 présente la distribution des teneurs en ammonium enregistrées entre 1989 et 2014 sous forme de *boîtes à moustaches* superposée aux teneurs de 2015.



**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 2014 qui sont illustrés par des points (●).**

**Le point rouge représente la valeur obtenue en 2015 (●)**

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

Les teneurs en ammonium au printemps et en été 2015 sont majoritairement éloignées des 50% des données représentés par la boîte. Les données 2015 à ces deux saisons sont proches des plus faibles valeurs mesurées depuis le début du suivi. Seules les concentrations mesurées en automne sont incluses dans les 50% des données acquises proche de la médiane. A cette saison les concentrations d'ammonium des points *contrôle* et *référence* sont supérieures à la médiane pluriannuelle.

Les médianes pluriannuelles d'été révèlent un gradient côte-large décroissant confirmé par les données de 2015. Les médianes d'automne divisent les points en deux, celles à la côte (point *canal* et *rejet*) étant plus proche et plus forte de celle au large (point *contrôle* et *référence*). Les médianes des points du printemps sont quant à elles les plus faibles des trois saisons et homogènes spatialement.

### 2.2.3.3. Approche statistique

Les tests statistiques réalisés sur les teneurs en ammonium enregistrées depuis 1989 sont présentés dans le tableau 2.7.

Comparaison	Printemps		Été		Automne	
	type de test	Probabilité associée	type de test	Probabilité associée	type de test	Probabilité associée
Canal / Rejet	T	0,241	W	<b>0,025</b>	T	<b>0,000</b>
Référence / Rejet	W	0,838	W	<b>0,000</b>	T	<b>0,005</b>
Canal / Référence	T	0,912	W	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>
Contrôle / Canal	W	0,118	W	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>
Contrôle / Rejet	T	0,573	W	<b>0,000</b>	W	<b>0,000</b>
Contrôle / Référence	W	0,158	T	0,082	T	0,553

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 2.7 : Probabilité associée  $p$  des tests statistiques sur l'ammonium**

L'intégration de l'année 2015 à cette comparaison statistique ne modifie pas les conclusions obtenues sur la période 1989-2013.

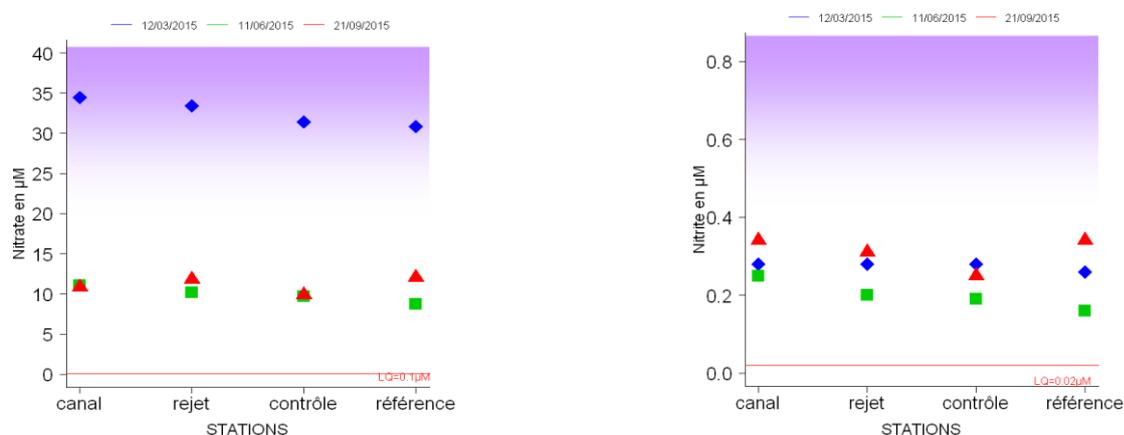
L'étude statistique montre une absence de différence significative entre tous les points au printemps. Ceci peut s'expliquer par le fait que les variations de la concentration en ammonium résultent principalement de l'activité hétérotrophe du milieu. Les processus de cette activité hétérotrophe sont 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.

## 2.2.4. Nitrate et nitrite

### 2.2.4.1. Variations spatiales et saisonnières du nitrate et du nitrite en 2015

Les teneurs en nitrate mesurées au cours des campagnes de surveillance 2015 ont varié de 10,9 à 34,4  $\mu\text{M}$  au point *canal*, de 10,2 à 33,4  $\mu\text{M}$  au point *rejet*, de 9,70 à 31,4  $\mu\text{M}$  au point *contrôle* et de 8,77 à 30,8  $\mu\text{M}$  au point *référence* (figure 2.14). Les concentrations en nitrite ont été comprises entre 0,25 et 0,34  $\mu\text{M}$  au point *canal*, entre 0,20 et 0,31  $\mu\text{M}$  au point *rejet*, entre 0,19 et 0,28  $\mu\text{M}$  au point *contrôle* et 0,16 et 0,34  $\mu\text{M}$  au point *référence* (figure 2.14).



**Figure 2.14 : concentrations en nitrate et nitrite dans les eaux de surface en 2015**

En 2015, les concentrations de nitrate de l'été et de l'automne sont proches sur tous les points. Elles sont trois fois plus fortes au printemps. Un gradient décroissant côte-large est observé uniquement au printemps. Les teneurs du printemps sont d'ailleurs dans la gamme haute de celles mesurées par Brylinski *et al.* (1996) dans ce secteur de la Manche à la fin du printemps (15-40  $\mu\text{M}$ ).

Les concentrations de nitrite diminuent faiblement entre le printemps et l'été 2015 puis augmentent à l'automne. Un gradient décroissant côte-large est observé en été et en automne bien que la concentration au point *référence* soit plus forte qu'au point *contrôle* en été.

#### 2.2.4.2. Variations inter-annuelles

Les variations des concentrations en nitrate et nitrite sur la période 1989-2015 sont présentées sur la figure 2.15.a et b.

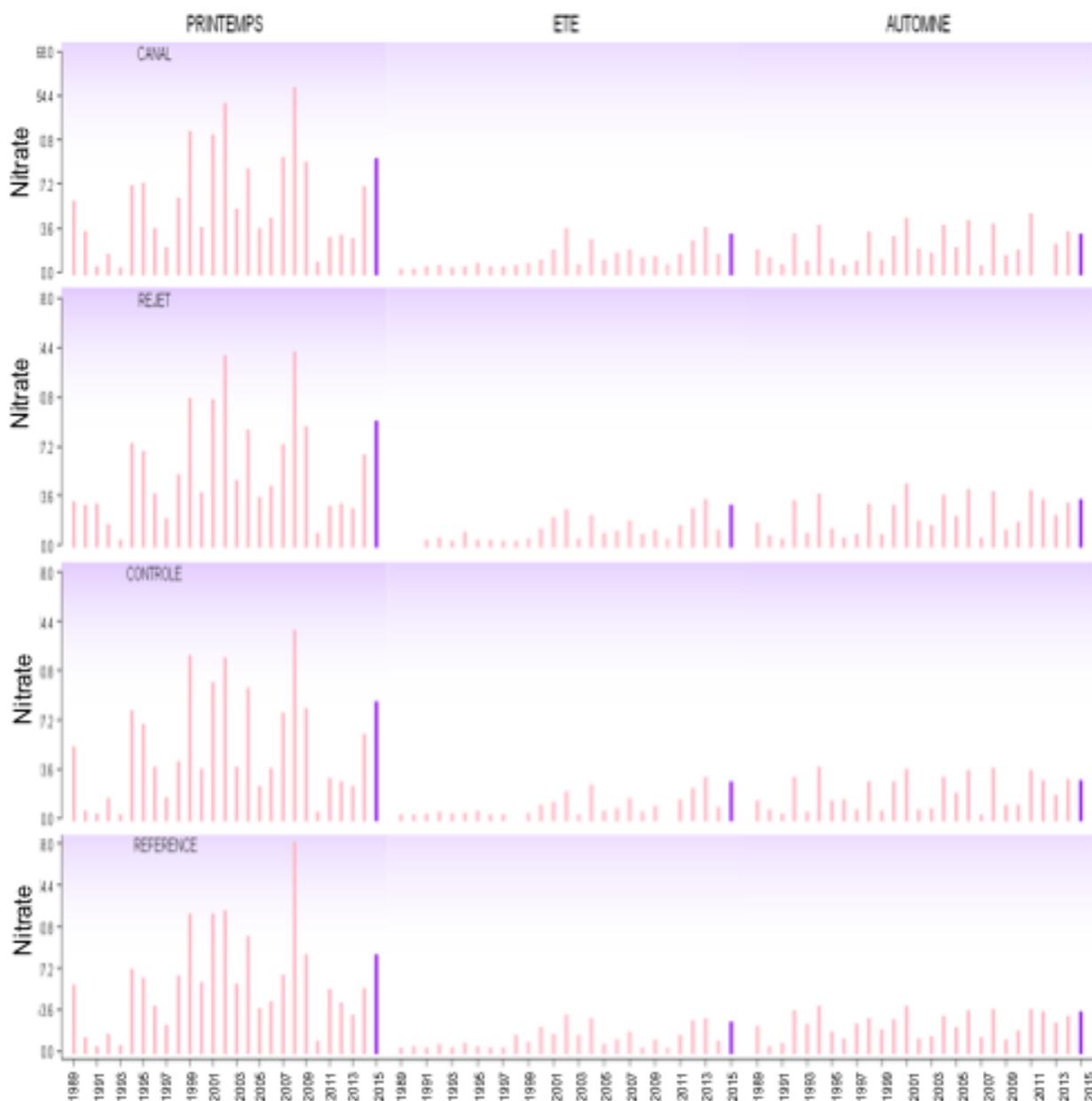


Figure 2.15.a : Concentrations en nitrate dans l'eau de surface de 1989 à 2015 (LQNO<sub>3</sub>=0.10 $\mu\text{M}$ )

Les teneurs en nitrate relevées en 2015 sont supérieures à celles de 2014 en toutes saisons sur l'ensemble des points. Les données de nitrates de 2015 semblent être toutes dans la gamme haute de l'ensemble des données collectées depuis le début du suivi.

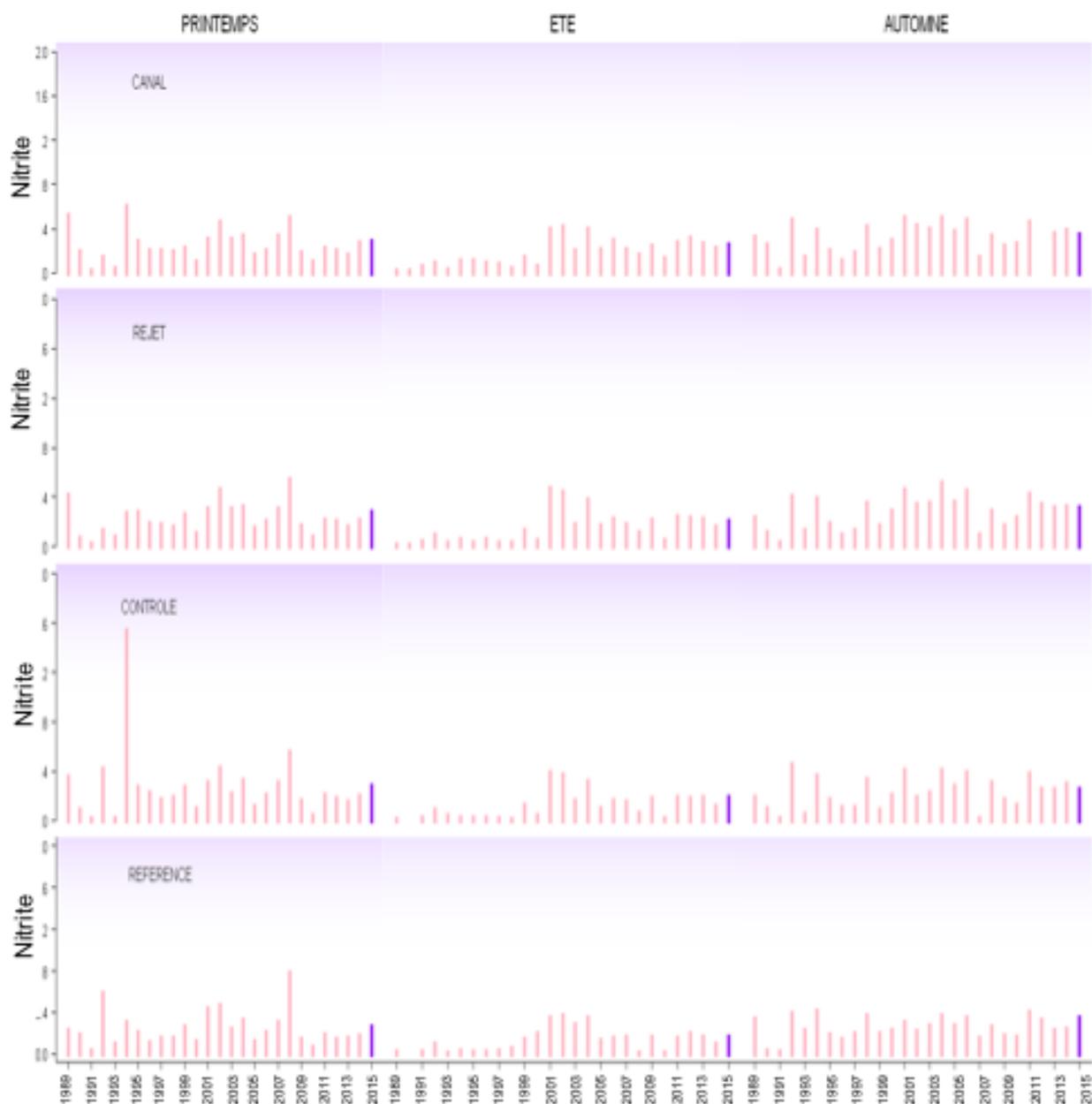
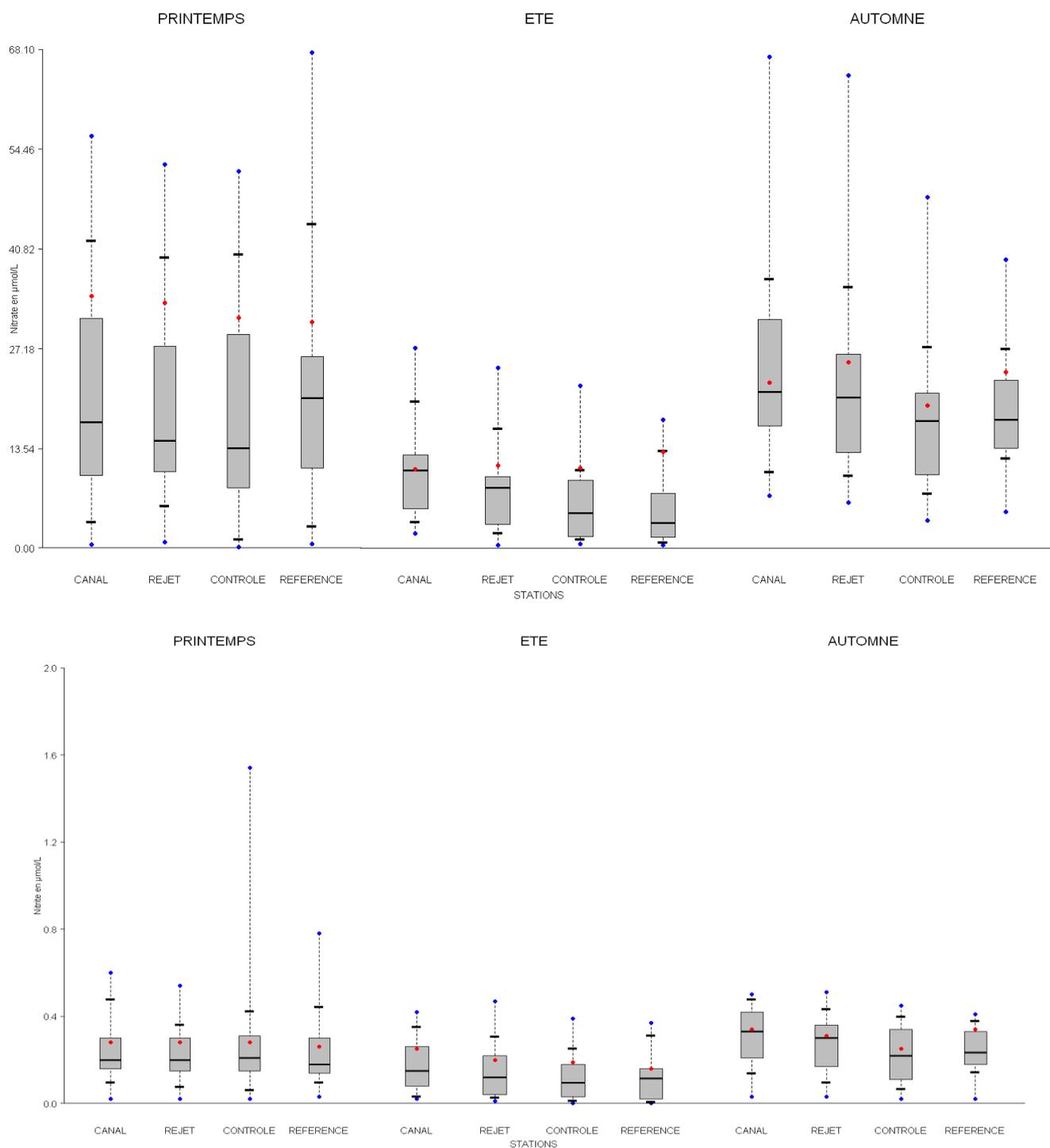


Figure 2.15.b : Concentrations en nitrite dans l'eau de surface de 1989 à 2015 ( LQ NO<sub>2</sub>=0.02µM)

Les teneurs de nitrite sont majoritairement plus élevées que celles de l'an passé sur l'ensemble des points. Seules les teneurs automnales des points *canal*, *rejet* et *contrôle* sont inférieures à celles de 2014. Les concentrations se situent dans la gamme haute des valeurs mesurées depuis le début du suivi. Les boîtes à moustaches de la figure 2.16 présentent la distribution des concentrations, en nitrate et nitrite, enregistrées entre 1989 et 2014 superposée aux mesures réalisées en 2015.



**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 2014 qui sont illustrés par des points (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2015 (●)**

Les concentrations de nitrate mesurées en 2015 sont supérieures à 50% des données centrées sur la médiane au printemps et en été. Les données de cette dernière saison s'approchent des maxima pour les points *canal*, *rejet* et *contrôle*. En automne les valeurs de nitrate sont incluses dans la boîte mais frôlent sa limite supérieure. Un gradient décroissant côte-large est visible, par le biais des médianes pluriannuel, uniquement au printemps du point *canal* au point *contrôle*.

Les concentrations de nitrite mesurées en 2015 appartiennent toutes à 50% des données proche de la observées depuis le début du suivi tout en étant supérieures à la médiane. Les valeurs observées aux points *contrôle* en été et *référence* en automne sont sur la borne supérieure de la boîte. Il apparaît un gradient décroissant côte-large au niveau des médianes en été et en automne du point *canal* jusqu'au seul point *contrôle*.

### 2.2.4.3. Approche statistique

Les résultats des tests statistiques réalisés sur les teneurs en nitrate et nitrite enregistrées aux différents points entre 1989 et 2015 sont présentés dans le tableau 2.8. L'intégration des résultats 2015 ne modifie pas les résultats de l'étude statistique portant sur la période 1989-2014, excepté pour les points *référence* et *contrôle* qui ne sont pas significativement différents en été.

Pour le nitrite, seul le résultat entre les points *référence* et *rejet* à l'automne diffère de celui de 2014 ; la conclusion du test est légèrement supérieure à 0,05 et donc la différence n'est plus significative. Des différences significatives sont généralement observées entre les points côtiers (*canal* et *rejet*).

Comparaison		Printemps		Été		Automne	
		type de test	probabilité associée	type de test	probabilité associée	type de test	probabilité associée
Nitrate	<i>Canal / Rejet</i>	W	<b>0,026</b>	T	<b>0,005</b>	T	<b>0,010</b>
	<i>Référence / Rejet</i>	T	0,221	W	0,455	T	0,434
	<i>Canal / Référence</i>	T	0,664	T	0,124	T	0,852
	<i>Contrôle / Canal</i>	T	<b>0,001</b>	W	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>
	<i>Contrôle / Rejet</i>	T	0,073	T	<b>0,001</b>	T	<b>0,000</b>
	<i>Contrôle / Référence</i>	W	<b>0,006</b>	W	0,060	W	<b>0,000</b>
Nitrite	<i>Canal / Rejet</i>	W	0,058	T	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>
	<i>Référence / Rejet</i>	W	0,330	W	<b>0,007</b>	T	0,059
	<i>Canal / Référence</i>	W	0,090	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	0,795	T	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>
	<i>Contrôle / Référence</i>	W	0,590	W	0,703	T	0,133

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 sur les nitrate et nitrite réalisés sur la période 1989-2014**

Les différences non significatives de concentrations de nitrate, en toutes saisons, entre le point *référence* et les points *rejet* et *canal* montrent une homogénéité alors qu'elle est significative

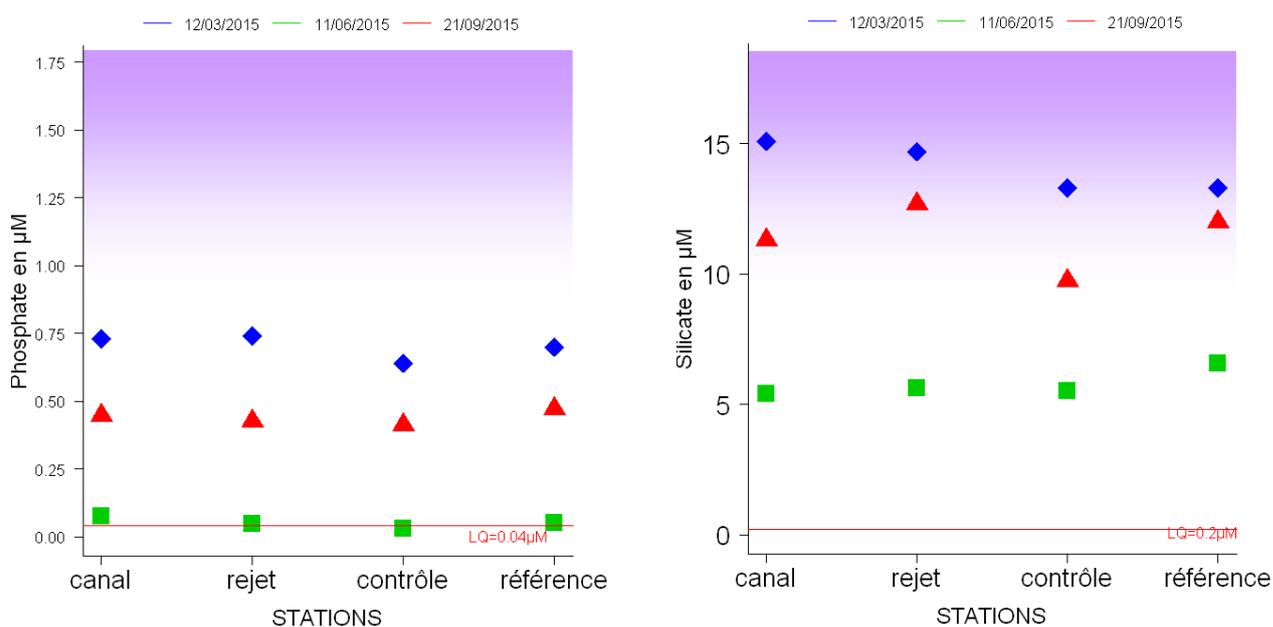
entre *canal* et *rejet*. Cela indique une potentielle influence du point *rejet* sur le point *référence*. Aussi ces résultats ne permettent pas d'envisager l'existence d'un gradient côte-large.

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 résultats du printemps (aucune différence significative), confirment l'absence de gradient côte-large tandis que ceux de l'été et de l'automne (seul le couple *contrôle*/*référence* présente une différence non significative) confirment la présence d'un gradient du point *canal* au point *contrôle*.

## 2.2.5. Phosphate et silicate

### 2.2.5.1. Variations spatiales et saisonnières du phosphate et du silicate en 2015

Les variations des concentrations en phosphate et silicate mesurées en 2015 sont présentées sur la figure 2.17. Les teneurs en phosphate ont été comprises entre 0,08 et 0,73  $\mu\text{M}$  au point *canal*, entre 0,05 et 0,74  $\mu\text{M}$  au point *rejet*, entre 0,03 et 0,64  $\mu\text{M}$  au point *contrôle* et enfin entre 0,05 et 0,70  $\mu\text{M}$  au point *référence*. Pour le silicate, les concentrations ont varié de 5,40 à 15,1  $\mu\text{M}$  au point *canal*, de 5,64 à 14,7  $\mu\text{M}$  au point *rejet*, de 5,51 à 13,3  $\mu\text{M}$  au point *contrôle* et de 6,58 à 13,3  $\mu\text{M}$  au point *référence*.



**Figure 2.17 : Concentrations en phosphate (à gauche) et silicate (à droite) dans les eaux de surface en 2015**

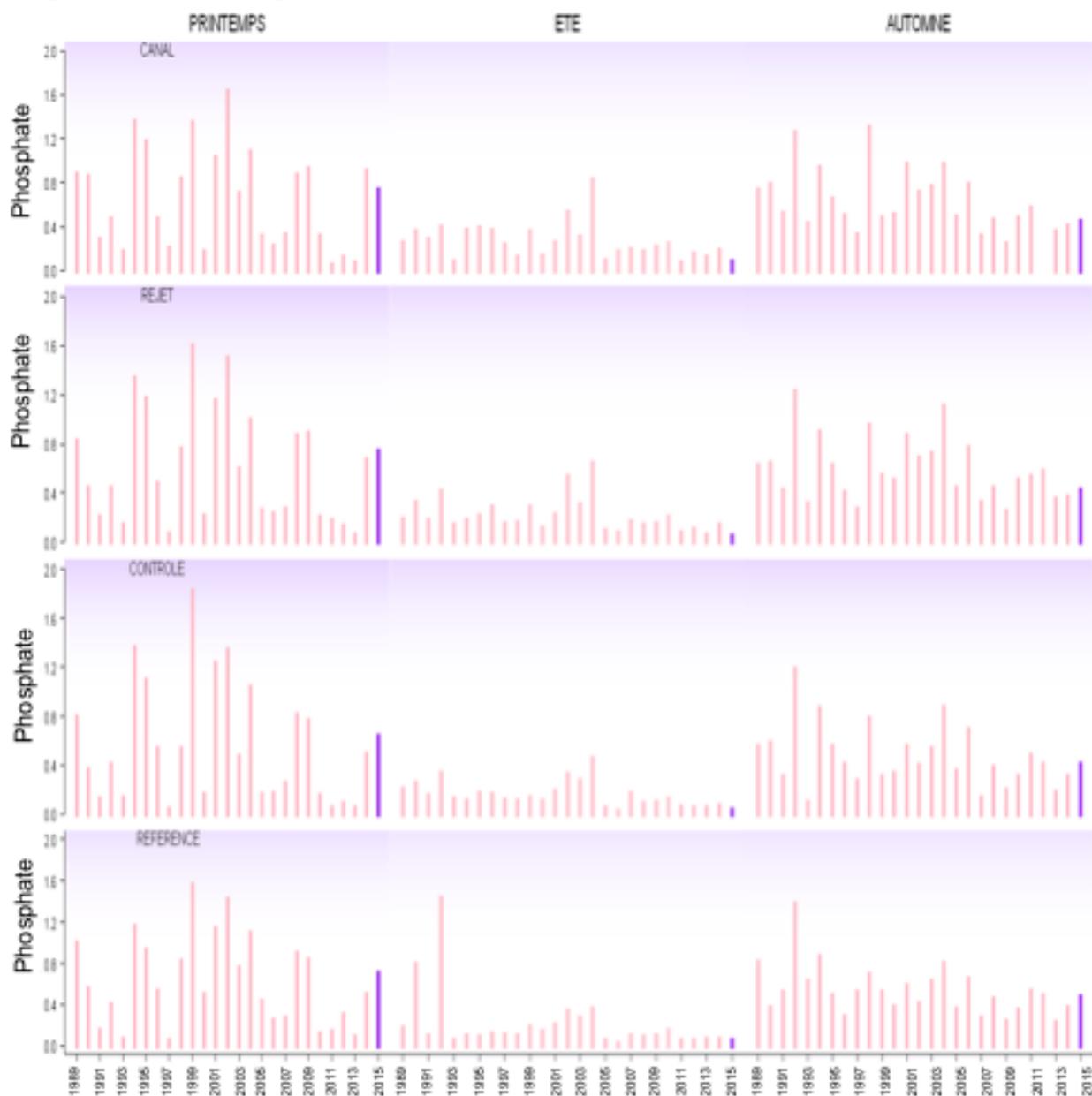
Les concentrations de phosphate baissent entre le printemps et l'été, en se rapprochant de la limite de quantification, puis remontent sans atteindre les concentrations printanières. Cela correspond donc à un cycle classique annuel d'une masse d'eau côtière. Il n'y a pas de gradient côte-large observé.

Les concentrations de silicate des quatre points baissent du printemps à l'été puis remontent à l'automne sans atteindre les teneurs printanières. Les différences de concentrations inter-saisons

est moindre au point *référence* ( $6.7\mu\text{M}$  max) que sur les autres points (autour de  $8\text{-}9\mu\text{M}$ ). Un gradient côte-large décroissant est observé au printemps.

### 2.2.5.2. Variations inter-annuelles

Les variations des concentrations en phosphate et en silicate au cours de la période 1989-2015 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 2015 (LQ  $\text{PO}_4=0.04\mu\text{M}$ )**

En 2015, les concentrations en phosphate, sur les quatre points de suivi, ont été supérieures à celles de l'année passée au printemps et à l'automne et équivalentes en été. 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.

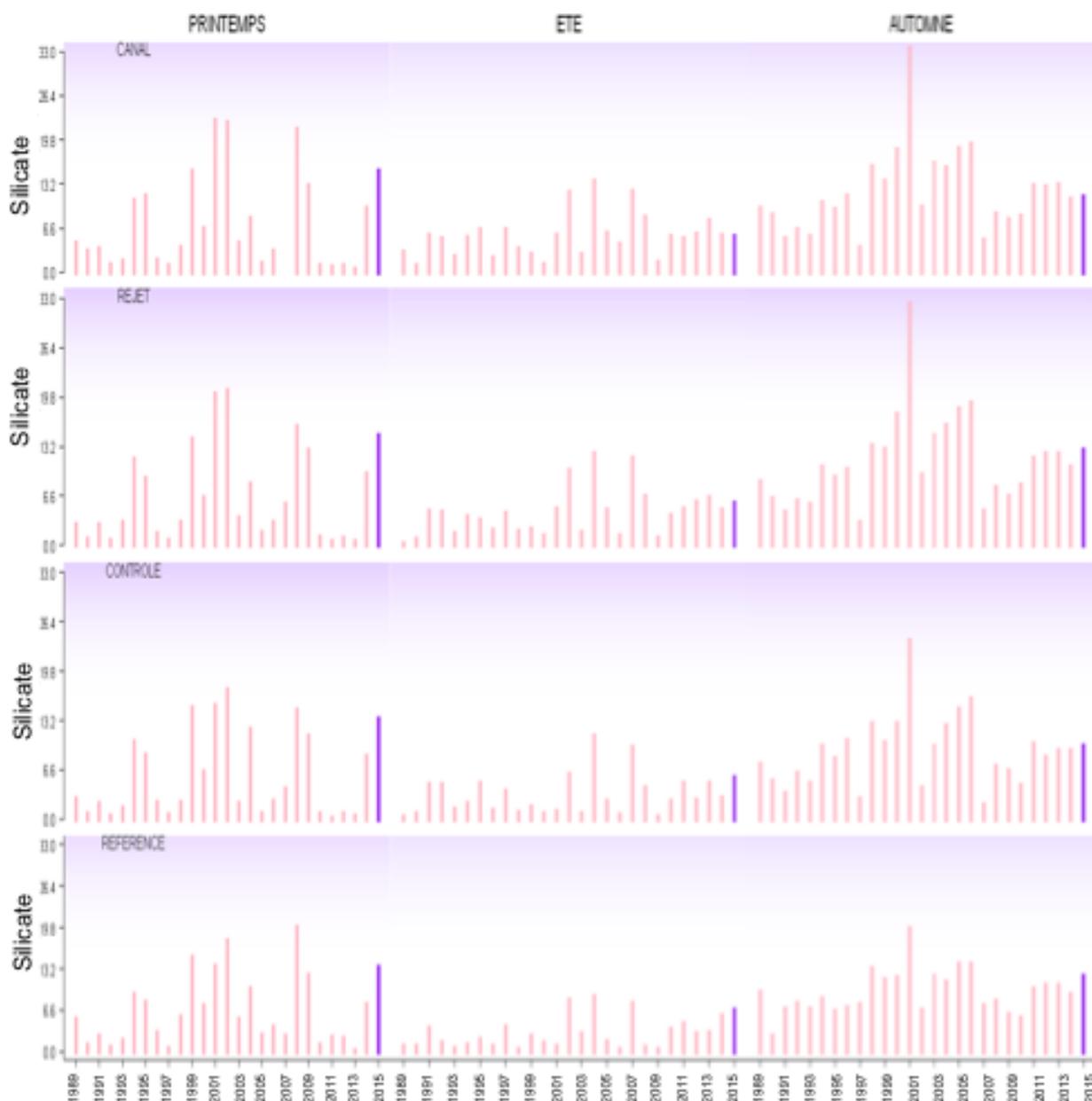
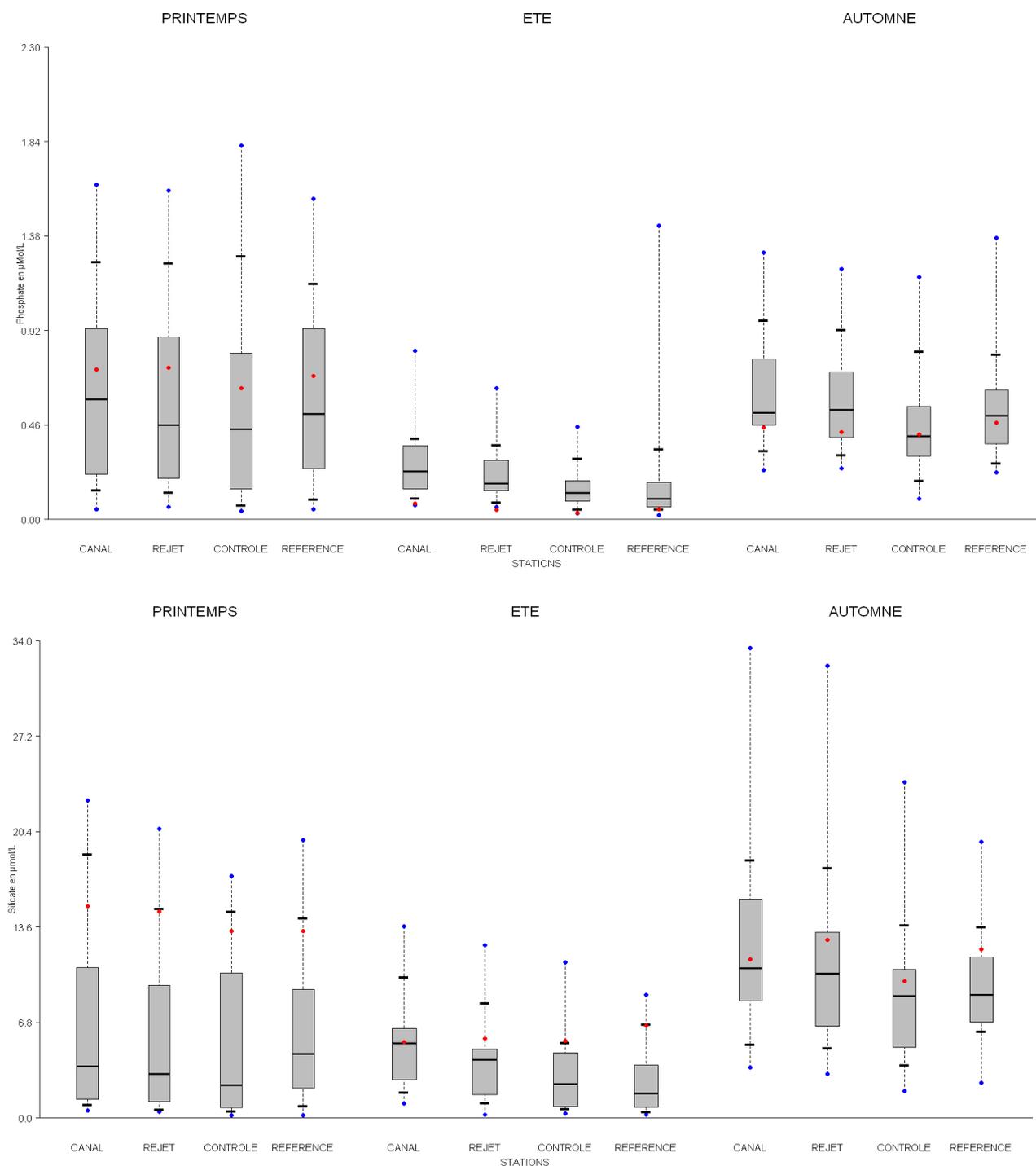


Figure 2.18.b : Concentrations en silicate dans l'eau de surface lors des campagnes de 1989 à 2015  
(LQ  $\text{SiOH}_4=0.2\mu\text{M}$ )

Les concentrations en silicate de 2015, par rapport à celles de 2014, ont été supérieures en toutes saisons et en tout point, excepté pour le point *canal* en été où les deux années sont similaires. Elles semblent être dans la gamme haute des valeurs observées depuis le début du suivi excepté à l'automne, où elles semblent proches de la médiane, et ce, sur l'ensemble des points.

Les distributions du phosphate et du silicate sont présentées sous forme de boîtes à moustaches superposées aux teneurs de 2015 sur la figure 2.19.



**Figure 2.19 : Distributions de phosphate (en haut) et de silicate (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 2014 qui sont illustrés par des points (●).Le point rouge représente la valeur obtenue en 2015 (●)**

Les teneurs en phosphate en 2015, sur les quatre points, sont inclus dans la boîte représentant 50% des valeurs observées, au printemps et en automne. En été les teneurs en phosphates sont proches des minima atteints observés depuis le début du suivi. Au printemps les concentrations de phosphate sont

supérieures à la médiane tandis qu'à l'automne elles sont proches de la médiane, voir inférieures pour le point *canal*. Les médianes laissent apparaître un gradient côte large décroissant au printemps et en été du point *canal* au point *contrôle* et ce de façon plus marqué en été.

Les concentrations de silicate de 2015 sont toutes supérieures aux médianes correspondantes. Elles sont hors des boîtes représentant 50% des valeurs observées, excepté pour le point *canal* en été et des points *canal*, *rejet* et *contrôle* à l'automne. Ces valeurs hautes sont proches du percentile 0,80 supérieur.

Un gradient décroissant côte-large apparaît en toutes saisons et ce de façon plus marqué en été.

### 2.2.5.3. Approche statistique

Les résultats des tests statistiques réalisés sur les teneurs en phosphate et silicate enregistrées aux différents points entre 1989 et 2015 sont présentés dans le tableau 2.9. L'intégration des résultats 2015 ne modifie pas les résultats de l'étude statistique portant sur la période 1989-2014.

Comparaison		Printemps		Été		Automne	
		type de test	probabilité associée	type de test	probabilité associée	type de test	probabilité associée
Phosphate	<i>Canal / Rejet</i>	W	<b>0,042</b>	T	<b>0,000</b>	W	<b>0,002</b>
	<i>Référence / Rejet</i>	T	0,726	W	<b>0,004</b>	T	0,088
	<i>Canal / Référence</i>	T	0,353	W	<b>0,001</b>	T	<b>0,011</b>
	<i>Contrôle / Canal</i>	W	<b>0,003</b>	T	<b>0,000</b>	W	<b>0,000</b>
	<i>Contrôle / Rejet</i>	T	<b>0,008</b>	W	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>
	<i>Contrôle / Référence</i>	T	0,055	W	0,248	W	<b>0,022</b>
Silicate	<i>Canal / Rejet</i>	W	<b>0,004</b>	T	<b>0,000</b>	T	<b>0,000</b>
	<i>Référence / Rejet</i>	T	0,862	T	<b>0,000</b>	T	<b>0,012</b>
	<i>Canal / Référence</i>	W	0,328	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	<b>0,050</b>	T	0,285	T	0,355

**Tableau 2.9 : Probabilité associée  $p$  des tests statistiques réalisés sur le phosphate et le silicate réalisés sur la période 1989-2014**

*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

On observe des différences significatives de concentrations en phosphate 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 phosphate fait partie des substances qui peuvent être rejetées par la centrale. Les circuits de refroidissement de l'îlot nucléaire sont alimentés en eau déminéralisée conditionnée au phosphate trisodique ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ). 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.

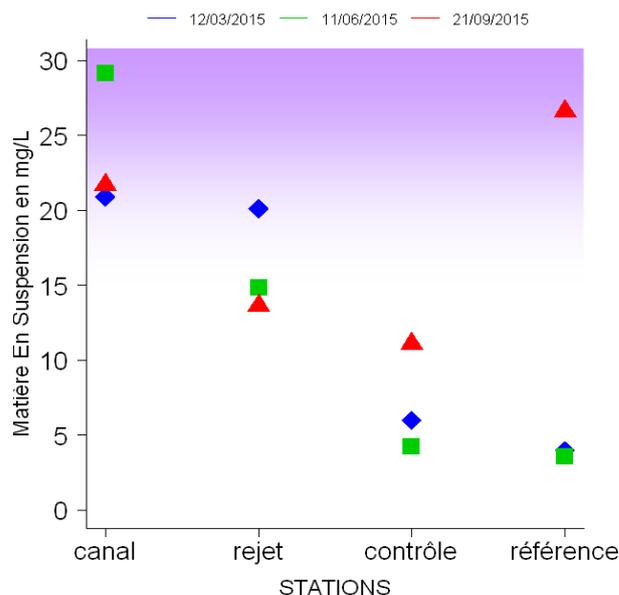
Les différences significatives de concentration de silicate entre le point *rejet* et les trois autres points est quasi systématique, seul le point *référence* du printemps ne se distingue pas du point *rejet*. La diffusion du silicate dans la masse d'eau dépend notamment du lessivage des sols par la pluie et le débit des cours d'eau, rechargeant en premier les points côtiers, *canal* et *rejet*. La pluviométrie (cf. figure 1.10) est importante au printemps, rechargeant les points côtiers en mars laissant apparaître des différences significatives ou non selon les couples de points principalement lorsqu'un point côtier (*canal* et *rejet*) est comparé avec un point plus large (*contrôle* et *référence*).

## 2.2.6. 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.

### 2.2.6.1. Variations spatiales et saisonnières des matières en suspension en 2015

En 2015, les MES (figure 2.20) ont varié au cours des campagnes de 20,9 à 29,2 mg/L au point *canal*, de 13,6 à 20,1 mg/L au point *rejet*, de 4,23 à 11,1 mg/L au point *contrôle* et de 3,54 à 26,6 mg/L au point *référence*.



**Figure 2.20 : Concentrations en Matières En Suspension dans les eaux de surface lors des campagnes 2015**

En 2015, l'évolution de concentrations en MES des points *canal* et *rejet* se distingue de 2014. La quantité de MES au point *rejet* diminue au cours des saisons tandis que celles du point *canal* sont similaires au printemps et à l'automne, autour de 20mg/L, et s'approche de 30mg/L en été.

Les deux autres points, *contrôle* et *référence* ont des concentrations plus faibles, autour de 10 mg/L, exception faite pour la concentration à l'automne au point *référence* qui dépasse les 25mg/L.

Un gradient décroissant côte-large apparaît au printemps et à l'automne de *canal* à *contrôle* et en été de *canal* à *référence*.

### 2.2.6.2. Variations inter-annuelles

Les variations de MES observées en 2015 sont présentées sur la figure 2.21.

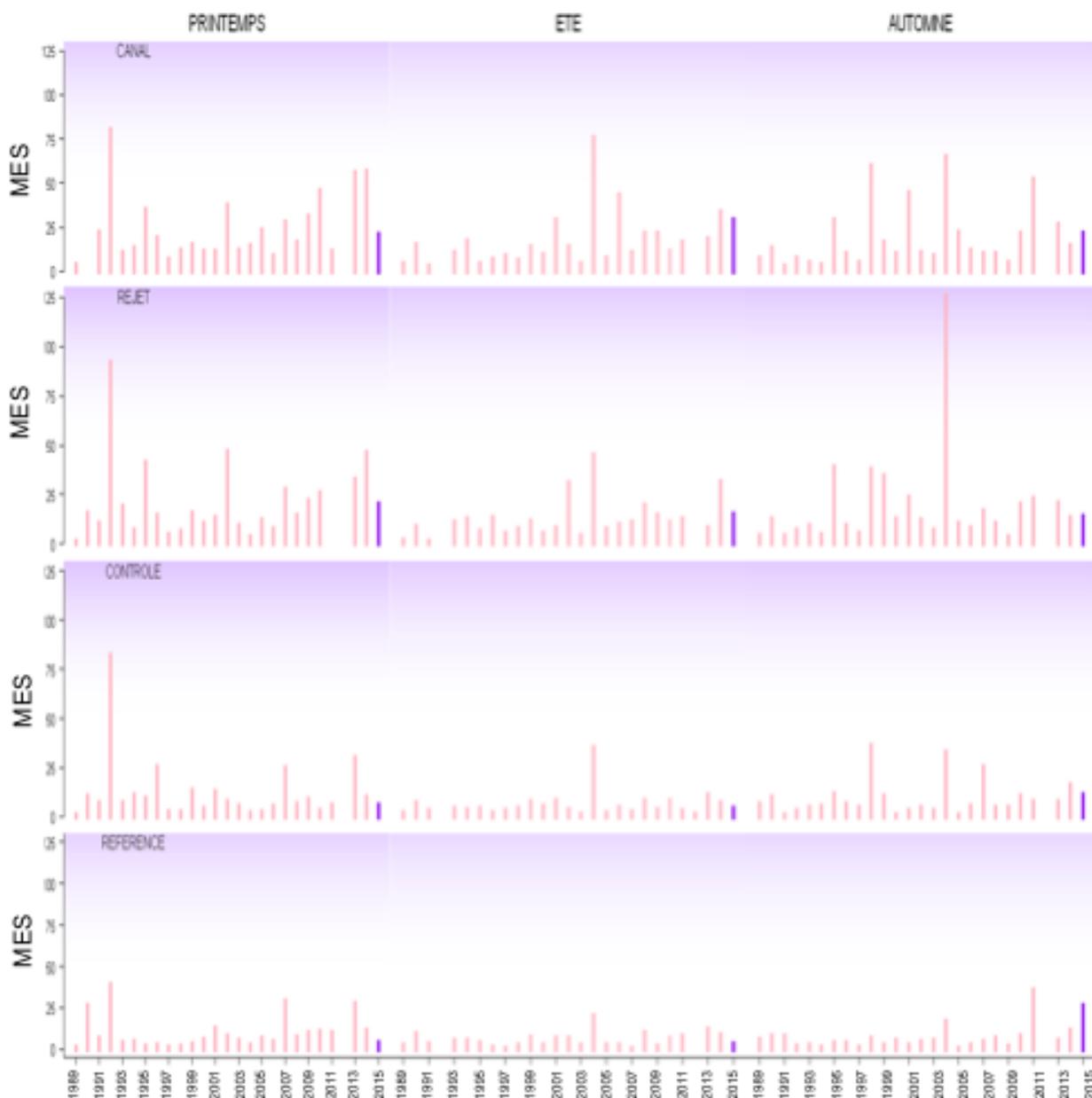
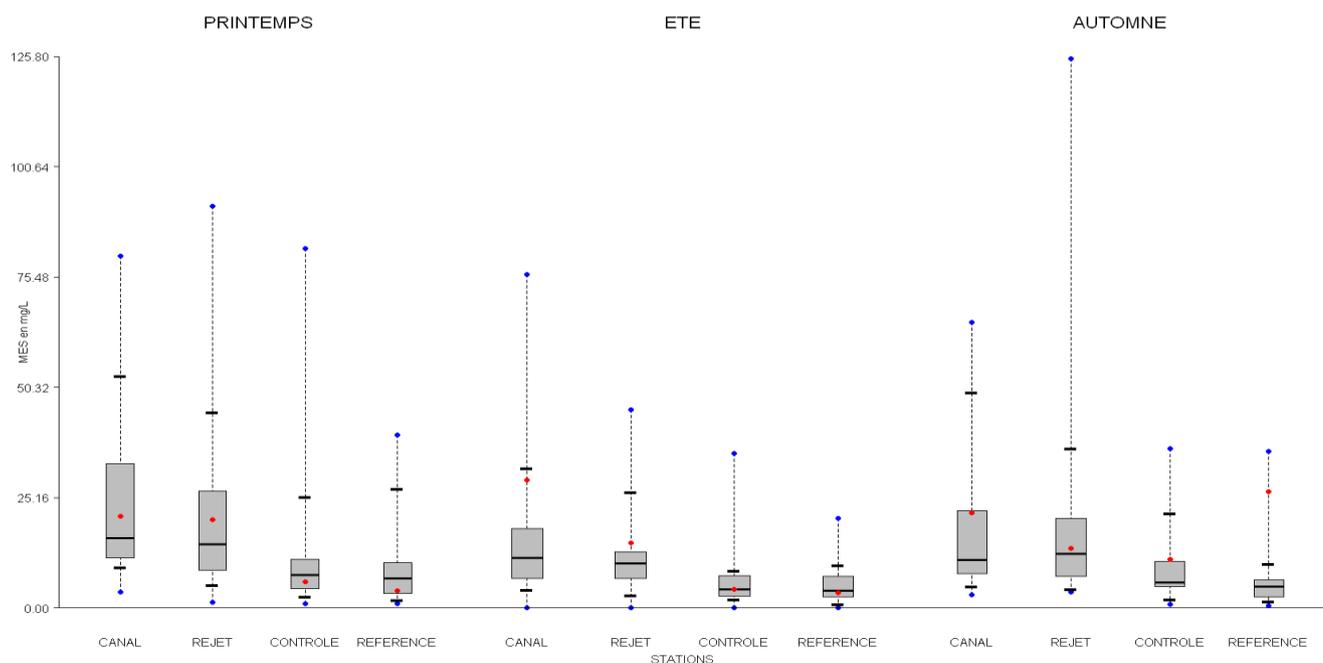


Figure 2.21 : Concentrations de MES dans l'eau de surface lors des campagnes de 1989 à 2015

Les concentrations de MES de 2015 se distinguent de celles de 2014. Elles sont globalement plus faibles sauf en automne pour les points *canal* et *référence*. Les plus grandes différences constatées entre les deux années sont pour le point *canal* et *rejet* au printemps et pour le point *référence* en automne.

Les valeurs de MES de 2015 semblent se rapprocher des teneurs les plus élevées observées depuis le début du suivi pour les points côtiers (*canal* et *rejet*) en toutes saisons et le point *référence* à l'automne. Les teneurs du point contrôle semblent proches des médianes interannuelles.

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 2014 qui sont illustrés par des points (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2015 (●)**

Au printemps et à l'été 2015 les points large, *contrôle* et *référence*, ont des teneurs proches de médianes tandis que celles des points côtiers, *canal* et *rejet* sont au dessus, voir hors de la boîte en été. A l'automne la teneur du point *canal* est aussi supérieure à la médiane tandis que sur le point *rejet* elle est proche de la médiane. Sur les points plus larges en automne, contrairement aux autres saisons, les teneurs en MES sont supérieures aux limites des boîtes et même au dessus du centile 0.80 pour le point *référence*, au-delà duquel 20% des valeurs les plus élevées se trouvent.

Un gradient décroissant côte-large apparaît, via les médianes, au printemps et en été mais du point *rejet* au point *référence*. Les médianes du point *canal* sont très proches de celles du point *rejet*.

### 2.2.6.3. Approche statistique

Le tableau 2.10 présente les résultats des tests statistiques de comparaison des moyennes de concentrations en MES, pour chaque couple de points, entre 1989 et 2015. L'intégration des résultats 2015 ne modifie pas les résultats de l'étude statistique portant sur la période 1989-2014.

Comparaison	Printemps		Été		Automne	
	type de test	probabilité associée	type de test	probabilité associée	type de test	probabilité associée
Canal / Rejet	T	<b>0,043</b>	W	<b>0,007</b>	W	0,395
Référence / Rejet	W	<b>0,000</b>	W	<b>0,000</b>	W	<b>0,001</b>
Canal / Référence	W	<b>0,000</b>	W	<b>0,000</b>	W	<b>0,000</b>
Contrôle / Canal	W	<b>0,000</b>	W	<b>0,000</b>	W	<b>0,000</b>
Contrôle / Rejet	W	<b>0,000</b>	W	<b>0,000</b>	W	<b>0,000</b>
Contrôle / Référence	W	0,333	W	0,340	W	<b>0,038</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 2.10 : Probabilité associée *p* des tests statistiques réalisés sur les Matières En Suspension réalisés sur la période 1989-2014**

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 que les points côtiers.

Une différence non significative est observée entre les points *canal* et *rejet* à l'automne, qui ont globalement une concentration de MES observées plus forte que les points larges à cette saison.

### 2.2.7. 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 sont des substances potentiellement toxiques pour la faune et la flore marine. Des cultures de micro algues (*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 2015, seul le bromoforme a été détecté au dessus de la limite de quantification.

#### 2.2.7.1. Variations spatiales et saisonnières des trihalométhanes en 2015

En 2015 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 (6,7 µg/L) et en automne (5,2 µg/L), ainsi qu'au point *canal* en automne (1,1 µg/L).

Ces valeurs mesurées restent cependant inférieures au seuil de 10 µg/L, concentration considérée acceptable pour le milieu marin (Abarnou *et al.* 1990).

Les autres données acquises sont inférieures à la limite de quantification de la méthode d'analyse.

La figure 2.23 présente ces résultats.

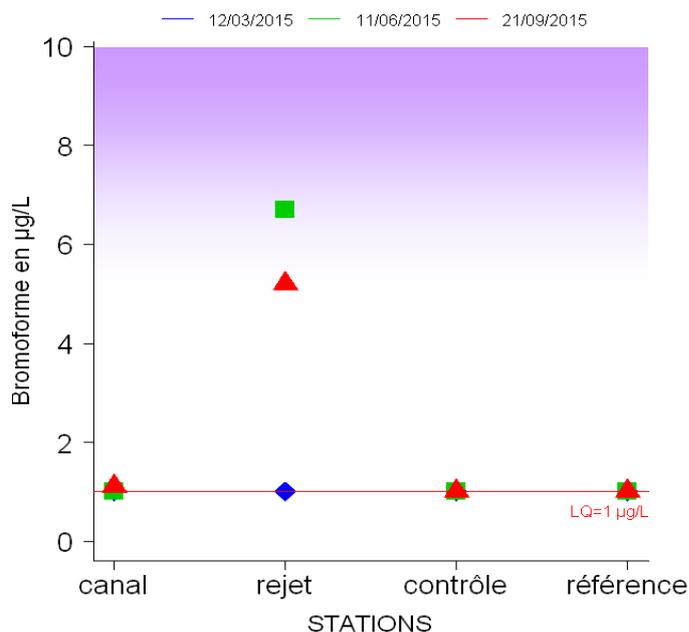
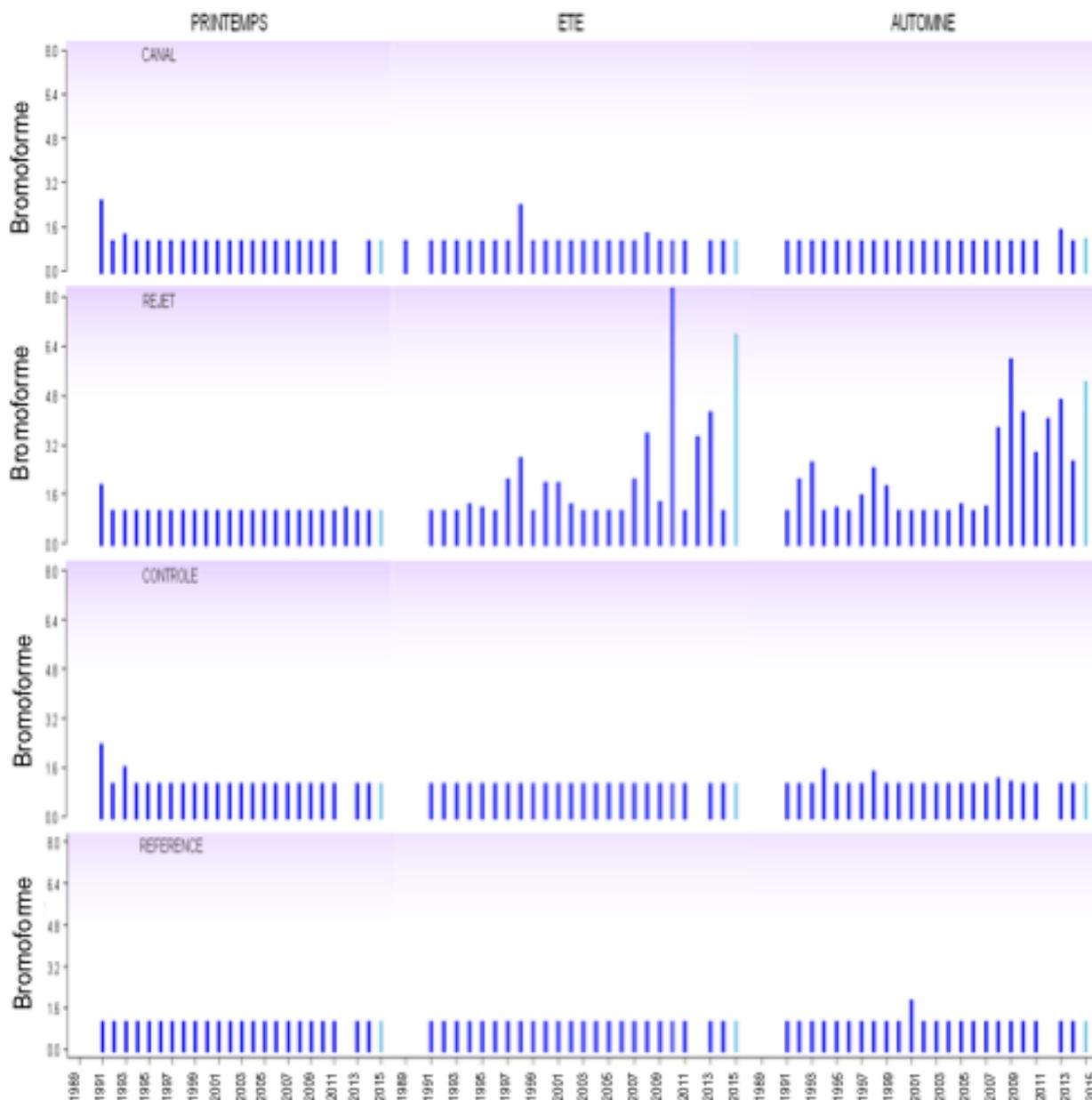


Figure 2.23 : Concentrations en bromoformes dans les eaux de surface en 2015

### 2.2.7.2. Variations inter-annuelles du trihalométhanes

Les variations de concentrations en bromoforme observées depuis 1989 sont présentées sur la figure 2.24.

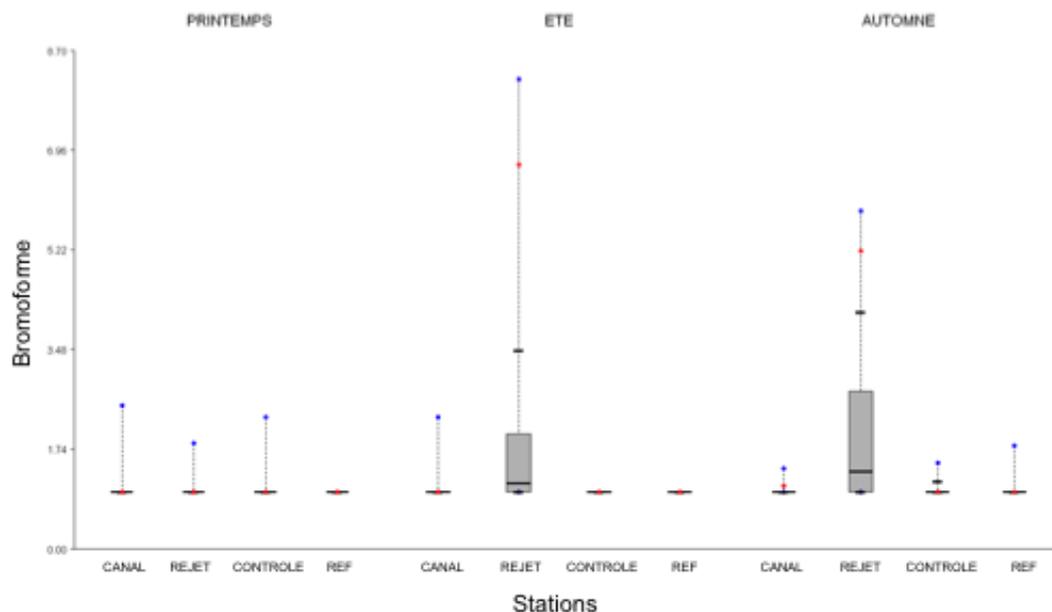
Des concentrations significatives en bromoformes sont détectées majoritairement sur le point *rejet* depuis le début du suivi.



**Figure 2.24 : Concentrations en tribromométhane (bromoforme) dans l'eau de surface lors des campagnes de 1989 à 2015 (LQ=1µg/L)**

Les concentrations mesurées en juin (6,7 µg/L) et septembre (5,2 µg/L) 2015 au point *rejet* font parties des valeurs hautes de l'ensemble des données acquises depuis le début du suivi. Le maximum ayant été atteint en été 2010 avec 8,2 µg/L.

La figure 2.25 présente la distribution des concentrations en bromoforme sous forme de *boîtes à moustaches* pour la période 1991-2015.



**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 2014 qui sont illustrés par des points (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2015 (●).**

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'été et de l'automne 2015. Les teneurs détectées appartiennent à 20% des valeurs les plus hautes acquises depuis le début du suivi.

### 2.2.8. Hydrazine et ethanolamine

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 dans le milieu récepteur est réalisé depuis 2012.

En 2015, l'ensemble des concentrations d'hydrazine obtenues est inférieur à la LQ qui est de 0,1mg/L pour les échantillons de printemps et d'été et de 0,01 mg/L (analyses sous-traités) pour ceux d'automne. Il en est de même pour la LQ étant de 0,1mg/L au printemps et en été et de 0,05mg/L (analyses sous-traités) en automne.

## 2.3. Conclusion

Afin d'expliquer l'évolution annuelle 2015 des paramètres suivis sur le CNPE de Penly il est nécessaire de rappeler les tendances générales climatiques à Dieppe en 2015.

L'année 2015 peut-être qualifiée d'année douce, les relevés de la température moyenne mensuelle de l'air étant au-dessus de la moyenne interannuelle de janvier à septembre (excepté en février). Les relevés de pluviométrie de l'année 2015 sont en dessous de la moyenne interannuelle, englobant les années 1960 à 2014, exceptés pour les mois de janvier, février et août. Enfin les débits de la Durdent et de la Béthune, se jetant à proximité de la CNPE de Penly, sont inférieurs aux moyennes mensuelles des données récoltées depuis 1941 et sont nettement plus faibles qu'en 2014.

Les **températures** de l'eau de mer relevées au point *rejet*, lors des trois campagnes 2015 sont proches des médianes pluriannuelles alors que sur les trois autres points elles sont plus faibles. Au printemps les températures sont les plus basses de l'année, tout comme dans l'air. Les écarts

thermiques entre le point *rejet* et les points *canal* et *référence* restent forts au printemps et en été mais n'atteignent pas les maxima. Ils sont médians en automne. L'étude statistique sur les mesures 2015 révèle, toutes saisons confondues, une différence systématique entre chaque couple de stations, excepté pour *contrôle/canal* au printemps et pour *canal/référence* à l'automne. Le taux de dilution par le milieu récepteur de l'eau échauffée par le condenseur en sortie proche du canal se maintient entre 70 et 80% durant les trois campagnes.

Les **salinités** observées en été et en automne 2015 ont été proches des médianes pluriannuelles sur l'ensemble des points de surveillance, tandis qu'elles sont inférieures à la médiane au printemps. Les mesures effectuées au printemps 2015 révèlent des salinités plus faibles que celles mesurées aux deux autres saisons. Ces résultats sont à mettre en parallèle avec les données de débit qui sont plus fortes en mars qu'en juin et septembre. Une corrélation existe en effet entre le débit des deux cours d'eau que sont la Durdent et la Béthune et la salinité de l'ordre de 0,70/1. Les débits plus forts au printemps coïncident avec une pluviométrie plus forte (au dessus de la moyenne interannuelle) en janvier et février. En conséquence le gradient de salinité côtière n'est apparent qu'au printemps de manière croissante. Cela confirme l'hypothèse que l'influence première de la salinité aux abords de la centrale est le fleuve côtier dépendant des cours d'eau attenants à la centrale. Les tests statistiques, englobant l'ensemble des données acquises depuis le début du suivi, révèlent des différences significatives de salinité sur l'ensemble de couple de stations exception faite de *contrôle/référence*, stations se comportant de manière similaire.

Le suivi 2015 des **sels nutritifs** montre des niveaux de concentration majoritairement médian par rapport à l'ensemble des données mesurées depuis le début du suivi. C'est notamment le cas du nitrite lors des trois campagnes. Le nitrate, le phosphate et le silicate suivent un cycle côtier classique avec un épuisement en été et des taux proches entre le printemps et l'été. Les concentrations en silicate et de nitrate sont supérieures aux boîtes des boxplots au printemps et en été et proches de la médiane interannuelle en automne. L'évolution de ces derniers en 2015 est à rapprocher de celle de la pluviométrie et des débits des cours d'eau ; ces derniers qui sont plus élevés en février ont pu entraîner un lessivage des sols plus intenses que la moyenne des autres années en mars.

La concentration de phosphate est proche des minima en été et de la médiane au printemps et en automne. Il semblerait que le phosphate ait donc été plus consommé ou dégradé entre le printemps et l'été, le taux moyen de diminution (englobant les quatre points) étant de 93% (écart type de 2,4) comparé au nitrate, 70% (écart type de 1,5) et au silicate, 59% (écart type de 6).

Les concentrations d'ammonium sont remarquables en automne et faiblement, voir non, détectés au printemps et en été. Cela se traduit par des données hors des boîtes de boxplot, au printemps et en été et proches des niveaux médians en automne. Il est possible que le cycle de l'azote, dans lequel apparaît l'ammonium, ait été plus efficace après la campagne de juin, le nitrate n'étant pas totalement épuisé lors de cette dernière.

Les résultats des tests statistiques confirment généralement ceux de l'an dernier. On distingue deux évolutions, une concernant l'historique de nitrate en été du couple de points *référence/contrôle* dont la différence devient non significative et l'autre concernant l'historique de nitrite à l'automne du couple *référence/rejet* dont la différence devient non significative.

La probabilité que la différence de l'historique estival de nitrate du point *référence* par rapport à celui du point *contrôle* soit non significative était de 0,03 en 2014 ce qui était proche du seuil de 0,05 atteint cette année permettant de dire que la différence n'est pas significative. Les concentrations proches des points *référence* et *contrôle* en été (respectivement de 8,77 et 9,70  $\mu\text{mol/L}$ ) de l'été 2015 ont probablement conforté cette tendance.

Concernant le suivi du nitrite des points *référence* et *rejet* en automne, la probabilité associée à une différence non significative en 2014 était de 0,048. Les résultats de l'automne 2015, proches des médianes pour les deux points en question, favorisent le dépassement du seuil de 0,05.

Pour rappel les résultats statistiques, tous sels nutritifs confondus, révèlent fréquemment l'absence de différence significative au printemps. Cela signifie qu'il y a plus fréquemment une homogénéité spatiale des points suivis au printemps et non en été et en automne, saisons où leur concentration est majoritairement plus faible. L'exception en 2015 des concentrations automnales d'ammonium, plus élevées sur les quatre points qu'au printemps, n'influence pas les résultats des tests statistiques et donc ce dernier constat.

En 2015, la mesure des **Matières En Suspension** montre un gradient décroissant côte-large en toutes saisons avec une concentration remarquable en automne sur le point *référence* qui est de 26,6 mg/L ; le maximum de l'année étant atteint au point *canal* en été avec 29,2mg/L. Sur les points côtiers il n'apparaît pas de tendance saisonnière, le maximum étant atteint pour le point *canal* en été et pour le point *rejet* au printemps. Sur les points *référence* et *contrôle*, plus large, la quantité de MES est la plus forte en automne. Les mesures du printemps, sur les quatre points, sont proches des médianes, celles de l'été et de l'automne se situent différemment selon les points. Les points côtiers sont supérieurs aux boîtes des boxplot en été et plus proches des médianes à l'automne. Les points plus larges sont proches des médianes en été et supérieurs aux boîtes en automne.

On observe donc des données de MES remarquables à la côte en été et au large en automne. Le régime de vent est plus soutenu le 11 juin avec une moyenne de 15 nœuds et de direction EST tandis qu'il est de 7 nœuds en moyenne et de sud le 21 septembre (données Prévimer). Il est donc difficile d'établir un lien entre les données de vent et ceux de MES.

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 2015 trois 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 2015 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.

### **3. 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



### 3.1. Introduction

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 3.1 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 3.1 : 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.

## 3.2. Matériel et méthodes

### 3.2.1. 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 12 mars, 11 juin et 21 septembre 2015 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 2015 est présentée dans le tableau 3.2.

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

**Tableau 3.2 : Stratégie d'échantillonnage du compartiment microbiologie en 2015**

### 3.2.2. Analyses microbiologiques

#### 3.2.2.1. 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).

### 3.2.2.2. 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.

### 3.2.2.3. 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.

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  $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , afin d'accentuer la différenciation des colonies et de permettre le développement de certaines colonies stressées.
- 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 2015, la méthode API 20-E a été appliquée pour les échantillons récoltés au cours des trois campagnes d'échantillonnage.**

### 3.2.3. Analyses statistiques

Un traitement statistique a été réalisé pour les germes totaux et revivifiables pour les périodes 2008-2015 et 1992-2015 respectivement, et pour les vibrions halophiles entre 2004 et 2015. Il permet de comparer les données enregistrées aux points *référence*, *rejet*, *canal* et *contrôle*, 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 %.

### 3.3. Résultats

#### 3.3.1. Récapitulatif des résultats des analyses microbiologiques

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes sur le site de Penly en 2015 sont présentés dans le tableau 3.3. Les valeurs retenues pour les quantités de germes revivifiables sont celles du plus fort répliquats 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 répliquats est calculé comme la somme 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>
12 Mars	Germes totaux (germes/mL)	1,1×10 <sup>6</sup>	1,1×10 <sup>6</sup>	9,70×10 <sup>5</sup>	7,05×10 <sup>5</sup>
	Germes revivifiables (germes/mL)	904	800	795	408
	<i>V. halophiles</i> /L (% ID >90 %)	1Va	1Va	absence	absence
	Vibrions non identifiés/L	0	0	0	0
11 Juin	Germes totaux (germes/mL)	1,55×10 <sup>6</sup>	1,60×10 <sup>6</sup>	1,15×10 <sup>6</sup>	1,40×10 <sup>6</sup>
	Germes revivifiables (germes/mL)	924	508	215	685
	<i>V. halophiles</i> /L (% ID >90 %)	absence	9Vc*	absence	absence
	Vibrions non identifiés/L	15	0	0	0
21 Septembre	Germes totaux (germes/mL)	1,09×10 <sup>6</sup>	1,4×10 <sup>6</sup>	5,60×10 <sup>5</sup>	4,95×10 <sup>5</sup>
	Germes revivifiables (germes/mL)	588	536	346	601
	<i>V. halophiles</i> /L (% ID >90 %)	263Va+347Vp	15Va	3Va	1436Vv+57Va
	Vibrions non identifiés/L	18	5	730	0

**Va** = *Vibrio alginolyticus* ; **Vv** = *Vibrio vulnificus*; **Vp**= *Vibrio parahaemolyticus* ; **Vc**= *Vibrio cholerae*  
 Vibrions non identifiés : identification < 90% ; \* souches envoyées à Ifremer et en attente de confirmation

**Tableau 3.3 : Récapitulatif des résultats de microbiologie pour 2015 à Penly**

#### 3.3.2. Résultats du dénombrement des germes totaux

##### 3.3.2.1. Variations spatiales et saisonnières des germes totaux en 2015

La figure 3.1 présente l'évolution des abondances en germes totaux dénombrés en 2015 sur le site de Penly. En 2015, les plus fortes abondances sont observées au mois de juin sur l'ensemble de la zone. A cette période la variabilité spatiale est faible avec des valeurs variant entre

$1,15 \times 10^6$  germes/mL sur le point *référence* et  $1,60 \times 10^6$  germes/mL sur le point *rejet*. En revanche, au printemps et en automne les différences entre les stations sont plus marquées avec une diminution des abondances en germes totaux de la côte vers le large. Cependant, ces différences entre les stations ont inférieures à une unité logarithmique et sont donc peu significatives du point de vue écologique.

Par ailleurs, la dynamique saisonnière est différente entre les stations plus « côtières » (i.e. *canal* et *rejet*) et les stations situées plus au large (i.e. *référence* et *contrôle*). Ainsi, sur les points *canal* et *rejet* les abondances automnales sont supérieures ou égales à celles mesurées au printemps, alors que sur les points *référence* et *contrôle* les plus faibles valeurs ont été enregistrées au cours de l'automne. Ces résultats suggèrent des dynamiques saisonnières différentes des germes totaux, à la côte et au large au cours de l'année 2015.

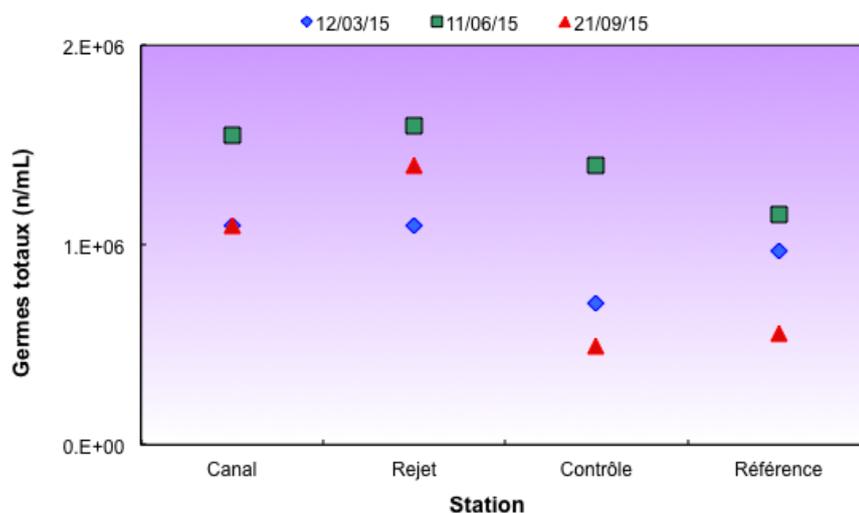


Figure 3.1 : Évolution des quantités de germes totaux par mL dénombrés par épi fluorescence en 2015 (Echelle log (10)).

### 3.3.2.2. Variations interannuelles des germes totaux

La figure 3.2 présente les variations du nombre de germes totaux depuis 1989.

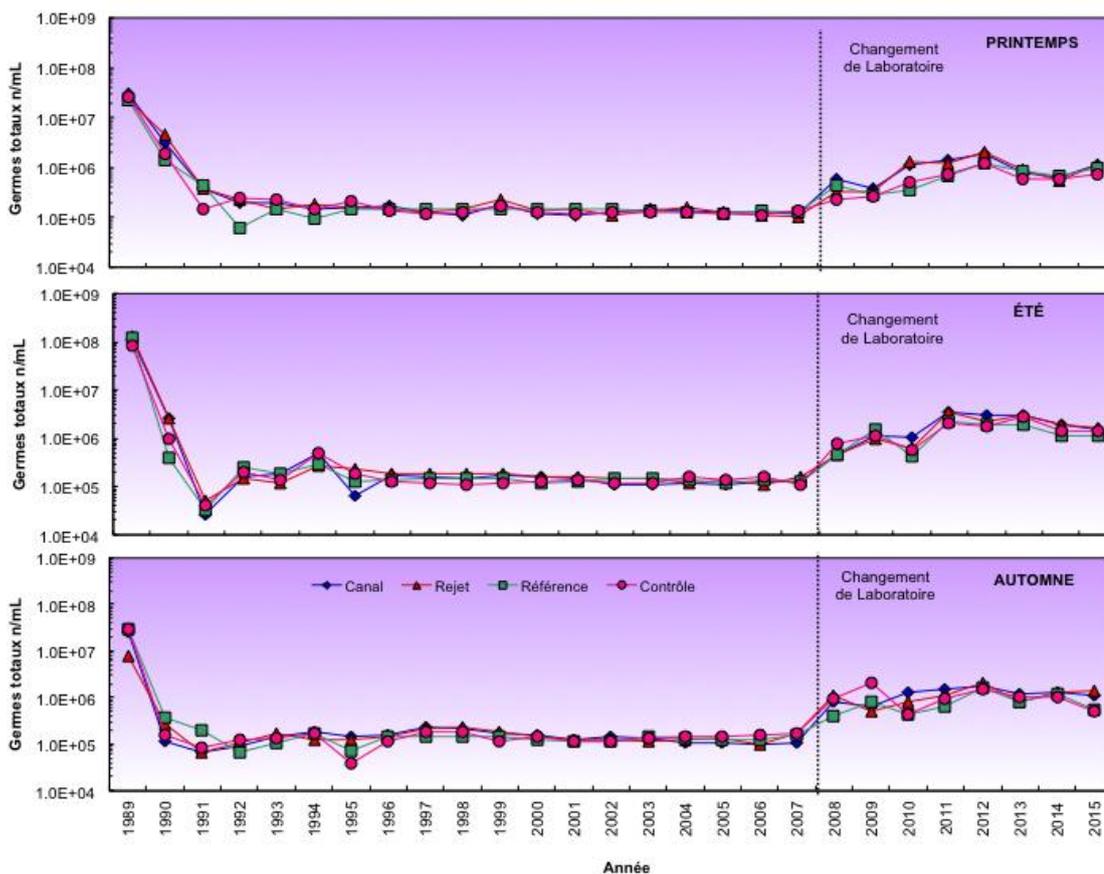
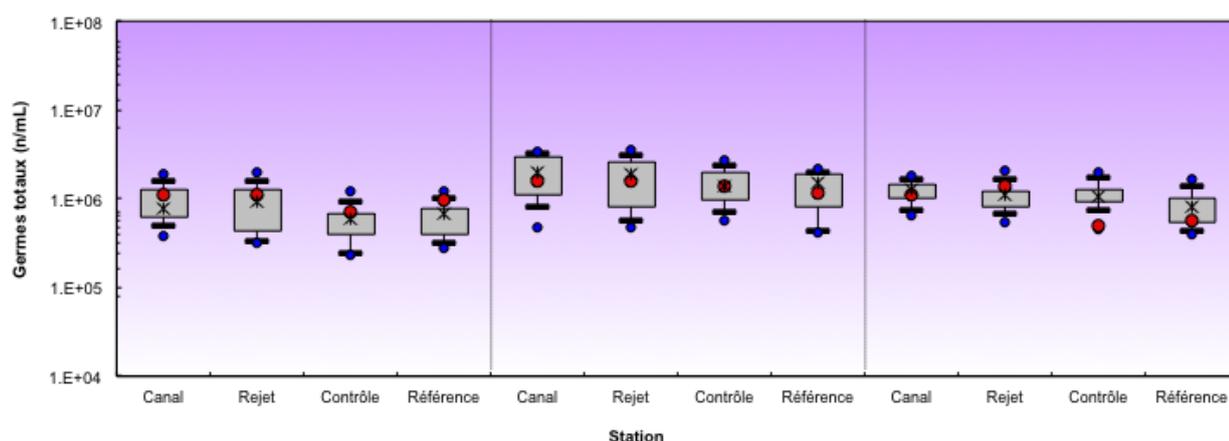


Figure 3.2 : Évolution des quantités de germes totaux depuis 1989 (Echelle log (10)).

Les abondances de germes totaux en 2015 sont dans la gamme des valeurs habituellement observées sur la zone de Penly depuis 2009. Il faut noter le changement de laboratoire en 2008. Les abondances en germes totaux observées en 2015 sont très proches de celles observées en 2014 sur l'ensemble de la zone au printemps et en été. En automne, les abondances relevées sur les points référence et contrôle sont légèrement plus faibles que les valeurs enregistrées depuis 2010 sur ces deux points au cours de la période automnale.

La figure 3.3 présente sous forme de *boîtes à moustaches* la distribution du nombre de germes totaux sur la période 1991-2015. Au cours du printemps 2015, les abondances en germes totaux sont supérieures aux médianes pluriannuelles sur l'ensemble de la zone. Sur les points *contrôle* et *référence* les valeurs mesurées au printemps 2015 sont mêmes supérieures à 50% des valeurs enregistrées depuis 2008 sur ces points à cette période. L'été 2015 se caractérise par des abondances en germes totaux inférieures aux médianes pluriannuelles sur l'ensemble de la zone, à l'exception du point *contrôle* pour lequel la valeur enregistrée en 2015 est égale à la médiane pluriannuelle.

En automne, les abondances en germes totaux sont inférieures aux médianes pluriannuelles sur les points *contrôle* et *référence*. Sur le point *contrôle*, l'abondance en germes totaux relevée en septembre 2015 est même très proche de la valeur minimale enregistrée depuis 2008 sur ce point à cette période. Sur le point *rejet* en revanche, le nombre de germes totaux est supérieur à la médiane pluriannuelle au cours de cette même période. Enfin, sur le point *canal* la valeur mesurée au cours de l'automne 2015 est proche de la médiane pluriannuelle. Cependant, ces différences par rapport aux médianes pluriannuelles étant inférieure à une unité log, elles sont peu significatives du point de vue écologique.



**Figure 3.3 : 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 (étoile) ; 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 2015 (●). Echelle log (10).**

### 3.3.2.3. Approche statistique

Le tableau 3.4 présente les résultats des tests statistiques réalisés sur le nombre de germes totaux dénombrés par épi-fluorescence depuis 2008. Test *t* de Student.

Comparaison	Printemps	Été	Automne
Référence / Rejet	0,2021	0,1102	0,3966
Canal / Référence	0,1394	0,7622	0,9694
Canal / Rejet	0,3958	0,3582	0,3198
Contrôle / Canal	0,0505	0,2450	0,6295
Contrôle / Rejet	0,9225	0,2865	0,3546
Contrôle / Référence	0,3553	0,3513	0,2470

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

**Tableau 3.4 : Probabilité associée *p* des tests statistiques sur les germes totaux (n=7 pour chaque point et chaque saison)**

L'intégration des résultats obtenus en 2015 dans la série de données acquises depuis 1991 sur le site de Penly confirme l'absence de différence significative entre les différentes stations en termes d'abondance de germes totaux, déjà observée au cours des années précédentes. Ces résultats statistiques sont en accord avec les résultats de la figure 3.3 montrant une homogénéité des médianes pluriannuelles sur les différentes stations d'échantillonnage et ce à toutes les saisons considérées.

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

#### 3.3.3.1. Variations spatiales et saisonnières des germes aérobies viables en 2015

La figure 3.4 présente l'évolution des abondances de germes revivifiables dénombrés en 2015.

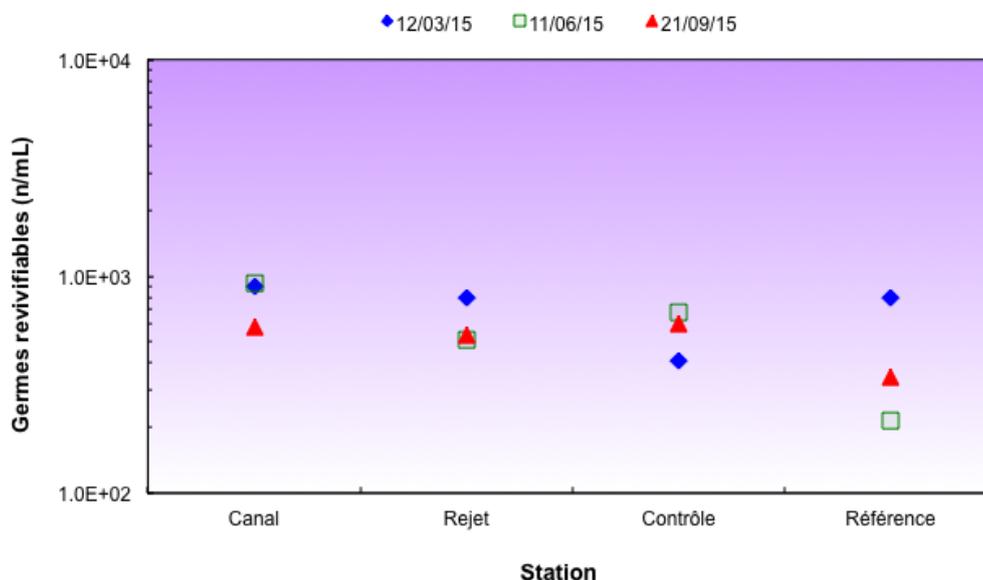


Figure 3.4: Évolution des abondances de germes revivifiables (nombre par mL) en 2015 (échelle log(10)).

L'évolution saisonnière des abondances de germes revivifiables au cours de l'année 2015 varie fortement entre les points d'échantillonnage. Sur le point *canal*, les valeurs sont élevées au printemps et en été avec 904 et 924 germes/mL respectivement et sont plus faibles en automne avec seulement 588 germes/mL.

Sur le point *rejet*, les plus fortes abondances sont observées au printemps avec 800 germes/mL, et varient par la suite entre 508 et 536 germes/mL en été et en automne. Sur le point *contrôle*, les plus fortes abondances sont observées en été avec 685 germes/mL.

Enfin, sur le point *référence*, les plus fortes abondances sont relevées au cours du printemps avec 795 germes/mL et les plus faibles en été avec 215 germes/mL. Sur l'ensemble de la zone, les plus fortes abondances ont été observées en été sur le point *canal* avec 924 germes/mL en été.

#### 3.3.3.2. Variations interannuelles des germes revivifiables

La figure 3.5 présente les variations de l'abondance en germes revivifiables depuis 1989. En 2015, les abondances en germes revivifiables sont très proches des valeurs mesurées en 2014 sur l'ensemble de la zone d'étude et au cours des 3 périodes d'échantillonnage.

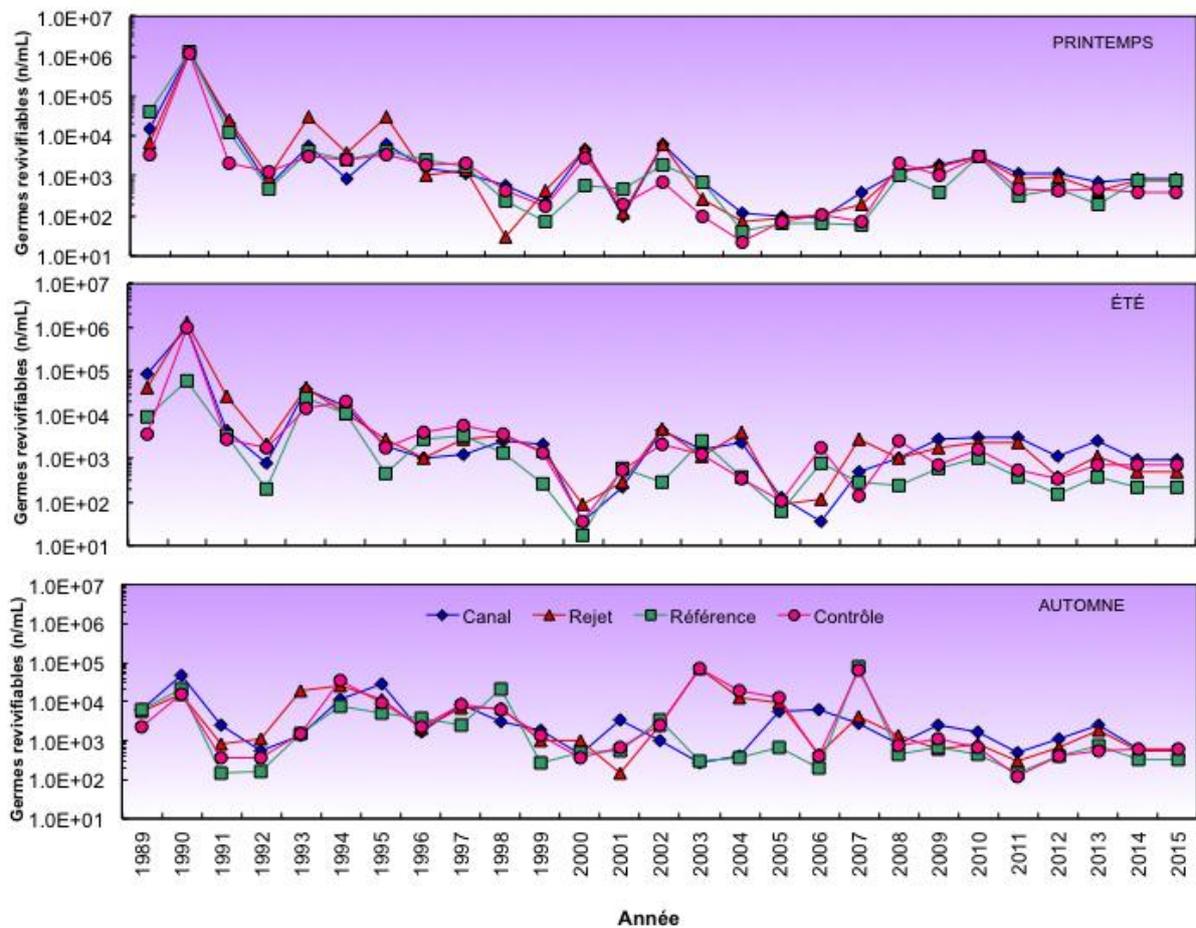


Figure 3.5: Évolution des quantités de germes revivifiabiles (nombre par mL) depuis 1989 (échelle log(10)).

La figure 3.6 présente sous forme de *boîtes à moustaches* la distribution du nombre de germes revivifiabiles sur la période 1991-2015.

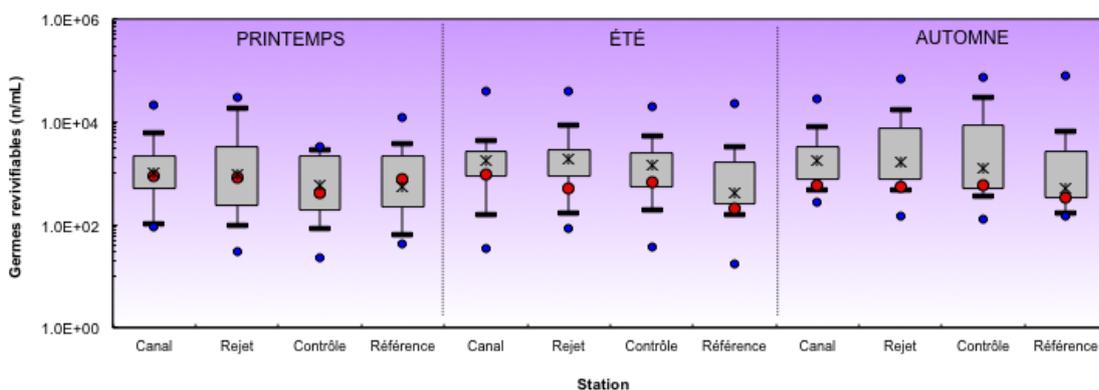


Figure 3.6 : Distributions des quantités de germes revivifiabiles (nombre par mL) depuis 1991. Le point central représente la médiane (étoile) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (□) ; les moustaches, 80 % des valeurs (┆). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (•). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2015 (●) (échelle log(10)).

Les valeurs observées en 2015 au cours du printemps sont très proches des médianes pluriannuelles sur l'ensemble de la zone. En revanche, l'été et l'automne 2015 se caractérisent par des valeurs inférieures aux médianes pluriannuelles, en particulier sur le point *rejet* où les abondances en germes revivifiabiles sont inférieures à 50% des valeurs précédemment mesurées

sur ce point au cours de ces deux périodes. Cependant ces différences par rapport aux médianes pluriannuelles étant inférieures à une unité log, elle sont peu significatives du point de vue écologique.

### 3.3.3.3. Approche statistique

Le tableau 3.5 présente les résultats des tests statistiques pratiqués sur le nombre de germes revivifiants depuis 1991. Test *t* de Student.

Comparaison	Printemps	Été	Automne
Référence / Rejet	0,6863	0,2919	0,6798
Canal / Référence	0,9847	0,2723	0,8729
Canal / Rejet	0,6688	0,3733	0,4836
Contrôle / Canal	0,1480	0,2269	0,2966
Contrôle / Rejet	<b>0,0448</b>	0,2146	0,4131
Contrôle / Référence	0,1674	0,3214	0,2519

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

**Tableau 3.5 : Probabilité associée *p* des tests statistiques pour les germes revivifiants sur milieu de Zobell (n=25 pour chaque point et chaque saison)**

L'intégration des résultats de 2015 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 revivifiants sur le point *contrôle* étant inférieure à celle du point *rejet*. Néanmoins, cette différence étant inférieure à une échelle log, elle est peu significative du point de vue biologique. Par ailleurs, aucune autre différence significative n'est observée entre les différentes stations et le point *rejet*.

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

#### 3.3.4.1. Dénombrement des vibrions halophiles en 2015

La figure 3.7 présente l'évolution des quantités de vibrions halophiles dénombrés en 2015. Au printemps, l'abondance de vibrions halophiles varie entre l'absence de vibrions sur les points *contrôle* et *référence* la présence de 1 UFC/L sur les points *rejet* et *canal*. L'été 2015 se caractérise par l'absence de vibrions halophiles la plupart des points d'échantillonnage, à l'exception du point *rejet* sur lequel 7 UFC/L sont observées. Les plus fortes abondances sont observées en automne avec une valeur maximale de 1493 UFC/L sur le point *référence*. Les abondances en vibrions restent relativement faibles à cette période sur le point *rejet* avec 15 UFC/L. En revanche, les vibrions halophiles sont relativement abondants sur le point canal avec 610 UFC/L à cette même période.

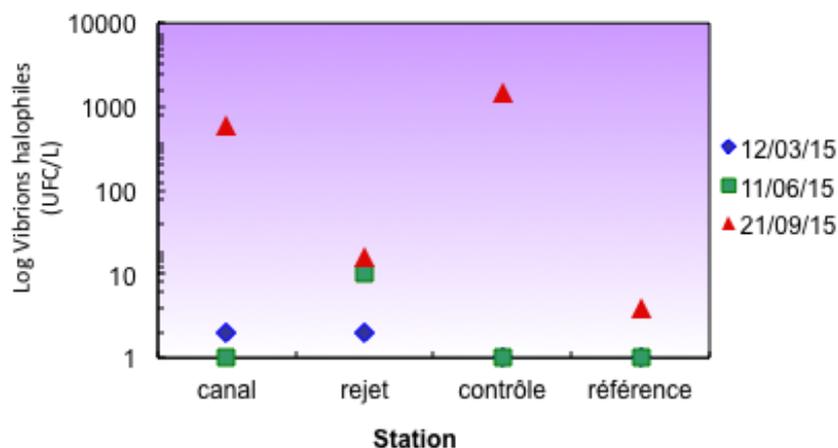


Figure 3.7 : Abondances relatives des isolats identifiés en 2015 (échelle log(10)).

La figure 3.8 représente les abondances de vibrions halophiles sur le site de Penly depuis 2004.

Le printemps 2015 se caractérise par l'absence de vibrions halophiles sur les points *référence* et *contrôle*. Une telle situation a déjà été observée sur ces stations sur la période 2009-2011. Les faibles abondances observées sur les points *canal* et *rejet* à cette même période sont conformes aux niveaux relevés au cours des années précédentes. A l'instar des observations réalisées les années précédentes, les abondances maximales de vibrions halophiles sont observées en automne à proximité du site de Penly.

Les abondances totales de vibrions halophiles observées en automne 2015 sont du même ordre de grandeur que celles observées précédemment sur les points *canal*, *rejet* et *contrôle*. En revanche, sur le point *référence* l'automne 2015 a été caractérisé par de faibles abondances en vibrions par rapport aux années précédentes. Les résultats de l'automne 2015 montrent par ailleurs un ralentissement de l'augmentation de l'abondance en vibrions halophiles observé depuis 2012 sur le point *contrôle*.

Par ailleurs, comme mentionné précédemment, l'absence de vibrions en été 2015 sur l'ensemble de la zone est atypique par rapport aux observations réalisées sur le site depuis 2004.

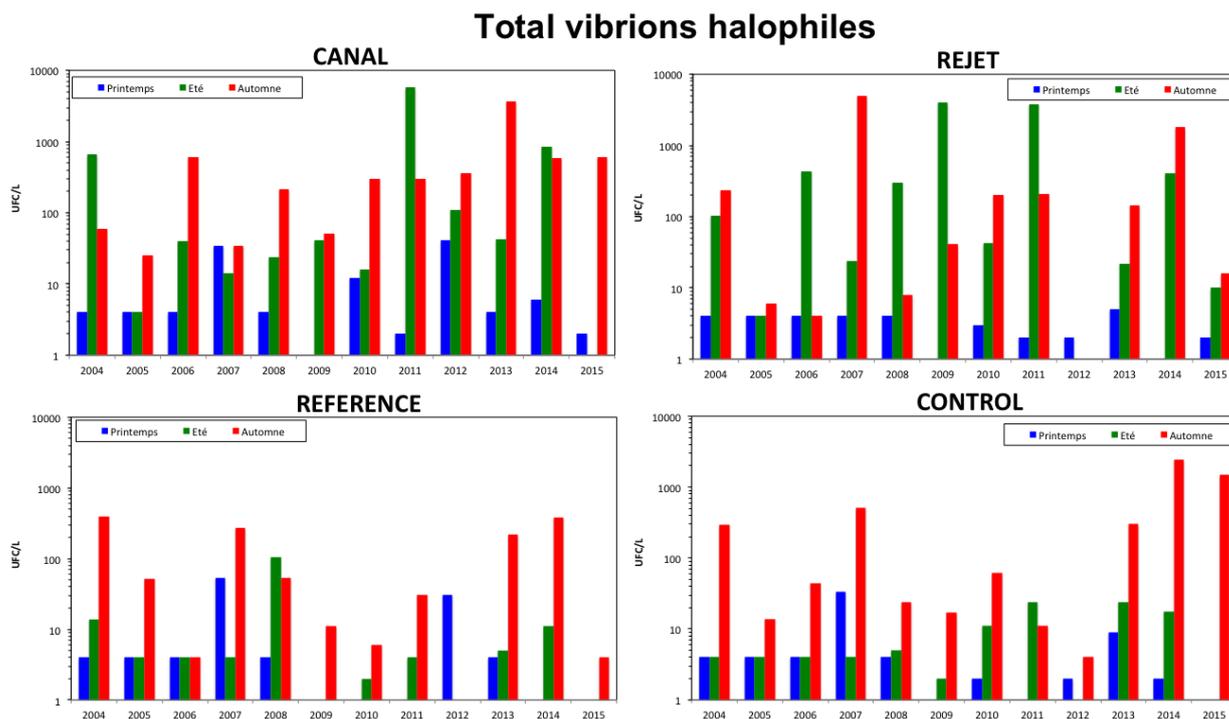


Figure 3.8 : Abondances de vibrions halophiles sur le site de Penly sur la période 2004-2015 (échelle log(10)).

#### 3.3.4.2. 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 3.6 présente le résultat de cette étude statistique. Test *t* de Student.

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. L'impact du fonctionnement du CNPE n'est pas détectable sur l'abondance des vibrions halophiles cultivables à 37°C.

Comparaison	Printemps	Été	Automne
Référence / Rejet	0,2144	0,1074	0,2214
Canal / Référence	0,7682	0,2190	0,1457
Canal / Rejet	0,1044	0,7310	0,9025
Contrôle / Canal	0,2356	0,2137	0,7036
Contrôle / Rejet	0,3117	0,1043	0,6258
Contrôle / Référence	0,2550	0,6244	0,1468

*p-value* <0,05 = différence significative ; *p-value* >0,05 = différence non significative  
 Tableau 3.6 : Probabilité associée *p* des tests statistiques pour les vibrions halophiles totaux (n=12 pour chaque point et chaque saison)

### 3.3.4.3. Identification de vibrions halophiles en 2015

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 3.7. 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 2015, trois espèces ont été identifiées à proximité du CNPE de Penly : *V. alginolyticus*, *V. vulnificus* et *V. parahaemolyticus*. Par ailleurs, les résultats de la méthode EDF montraient un profil douteux de *V. cholerae*. La souche a été envoyée pour confirmation à Ifremer et l'identification n'a pas été confirmée en biologie moléculaire.

L'espèce *V. alginolyticus* est observée sur les points *canal* et *rejet* au printemps et sur l'ensemble de la zone en automne. Ces résultats sont en accord avec les observations précédentes, qui montrent l'importance relative de cette espèce parmi les vibrions halophiles cultivables à 37°C sur milieu TCBS sur la zone à proximité du CNPE de Penly, tout au long de l'année. Cependant, l'été 2015 se caractérise par rapport aux autres années par l'absence de cette espèce sur l'ensemble de la zone. L'espèce *V. vulnificus* a été observée uniquement sur le point *contrôle* en automne. L'espèce *V. parahaemolyticus* a été observée au cours de cette même période automnale uniquement sur le point canal. Cette observation est en accord avec les suivis précédents montrant l'observation sporadique de cette espèce principalement en automne et en été sur ce point côtier. Cette espèce n'avait pas été observée à proximité du CNPE de Penly depuis 2012. En revanche, l'espèce *V. fluvialis* qui avait été identifiée pour la première fois sur cette zone en 2014, n'a pas été observée en 2015 au cours des différentes périodes d'échantillonnage à proximité du CNPE de Penly.

Les données de 2015 confirment donc la dominance de *V. alginolyticus* dans les eaux proches de la centrale puisque cette espèce est systématiquement observée depuis 1999. La mise en évidence des autres espèces est nettement plus sporadique dans le temps comme dans l'espace.

Vibrio	Station	Année / Saison																							
		2004		2005		2006		2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015	
		P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A
<i>V. vulnificus</i>	canal																								
	référence																								
	contrôle																								
	rejet																								
<i>V. alginolyticus</i>	canal																								
	référence																								
	contrôle																								
	rejet																								
<i>V. parahaemol.</i>	canal																								
	référence																								
	contrôle																								
	rejet																								
<i>V. cholerae</i>	canal																								
	référence																								
	contrôle																								
	rejet																								
<i>V. fluvialis</i>	canal																								
	référence																								
	contrôle																								
	rejet																								

Tableau 3.7 : Identification des espèces de vibrions halophiles de 2004 à 2015 suivant la méthode EDF

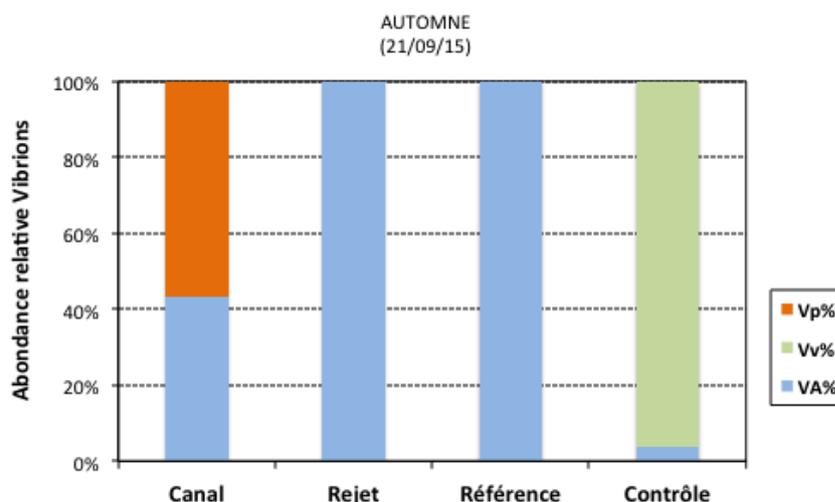
### 3.3.4.4. Composition spécifique de la communauté de vibrions au cours de l'année 2014

Au printemps et en été, les abondances de vibrions sont restées relativement faibles (figure 3.9). Les abondances plus importantes observées en automne s'accompagnent de trois espèces identifiées : *V. alginolyticus*, *V. vulnificus* et *V. parahaemolyticus*. La figure 3.9. représente l'abondance relative de chacune de ces espèces sur les 4 stations au cours de l'automne 2015. 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 3.9 : Abondances relatives (%) des vibrions halophiles au cours de l'automne 2015.**

Va : *V. alginolyticus* ; Vv : *V. vulnificus* ; Vp : *V. parahaemolyticus*

Au cours de l'automne 2015, l'espèce *V. alginolyticus* a été identifiée sur l'ensemble de la zone. C'est la seule espèce identifiée sur les points *rejet* et *référence*. L'espèce *V. parahaemolyticus* représente plus de 50% de l'abondance totale sur le point *canal* et l'espèce *V. vulnificus* plus de 90% sur le point *contrôle*. Ces résultats suggèrent une forte hétérogénéité spatiale de la composition des communautés de vibrions halophiles cultivables sur 37°C à proximité du CNPE de Penly au cours de la période automnale.

## 3.4. Conclusions

A l'instar des années précédentes, en 2015 les plus fortes abondances en germes totaux ont été observées au cours de l'été sur l'ensemble de la zone d'étude. Cependant, en 2015 les résultats montrent une dynamique saisonnière différente de l'abondance en germes totaux entre les stations côtières (i.e. *canal* et *rejet*) et celles situées plus au large (i.e. *référence* et *contrôle*). Ainsi, sur les points *canal* et *rejet*, les abondances relevées en automne sont supérieures ou égales à celles du printemps, alors que sur les points *référence* et *contrôle* les abondances printanières sont supérieures à celles relevées en automne. L'été et l'automne 2015 se caractérisent par des abondances en germes totaux inférieures aux médianes pluriannuelles. A l'inverse les concentrations en germes totaux dans la colonne d'eau au printemps 2015 ont été supérieures aux médianes pluriannuelles sur l'ensemble de la zone.

A l'instar de ce qui a été observé précédemment sur la zone d'étude, 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.

L'évolution saisonnière des abondances de germes revivifiables au cours de l'année 2015 varie fortement entre les points d'échantillonnage. Néanmoins, les plus fortes abondances ont été relevées au printemps ou été sur l'ensemble de la zone d'étude, à l'instar de ce qui est généralement observé à proximité du CNPE de Penly. Les abondances en germes revivifiables observées au cours du printemps 2015 sont très proches des médianes pluriannuelles. En revanche, l'été et l'automne se caractérisent par des abondances de germes revivifiables plus faibles que celles généralement observées à cette période sur cette zone, et en particulier sur le point *rejet*. L'intégration des résultats de l'année 2015 met en évidence une différence significative entre le point *contrôle* et *rejet* au printemps, à l'instar de ce qui a été observé en 2014. 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 2015 sur le site de Penly sont en accord avec le cycle saisonnier observé généralement sur cette zone avec des abondances plus élevées en automne. Cependant, l'été 2015 est marqué par l'absence d'identification de vibrions halophiles cultivables sur milieu TCBS à 37°C sur les points *canal*, *référence* et *contrôle*. En revanche, des vibrions halophiles ont été dénombrés sur le point *rejet* au cours de cette même période. Les conditions, hydrologiques particulières rencontrées au cours de l'été 2015 et en particulier des températures de l'eau de mer plus faibles que les médianes pluriannuelles à cette période (Cf. chapitre « hydrologie ») peuvent partiellement expliquer l'absence de vibrions halophiles en juin 2015 sur les stations d'échantillonnage hors *rejet*. Les températures relativement faibles enregistrées au cours de l'été 2015 sur la zone proche de Penly (cf. Chapitre « Hydrologie » de ce rapport, figure 2.5), peuvent en partie expliquer les faibles abondances en vibrions halophiles mesurées en juin 2015. En effet les médianes interannuelles de température sont en été de 16,39°C sur le point *référence* et 16,9°C au point *canal*. Au cours de l'été 2015, les températures, de surface étaient de 15,2°C sur le point *référence* et 16,0°C sur le point *canal*, soit une différence de plus de 1°C par rapport aux médianes pluriannuelles sur l'ensemble de la zone au cours de l'été 2015. Les abondances totales de vibrions halophiles observées en automne 2015 sont du même ordre de grandeur que celles relevées les années précédentes sur la plupart des stations d'échantillonnage avec cependant, des abondances légèrement plus faibles en septembre 2015 sur le point *référence*. 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 2015, trois espèces ont été identifiées à proximité du CNPE de Penly : *V. alginolyticus*, *V. vulnificus* et *V. parahaemolyticus*. Par ailleurs, un profil douteux de *V. cholerae* avait été observé, par la méthode EDF, sur le point *rejet* au mois de juin. Cette identification n'a pas été confirmée en biologie moléculaire.

L'espèce *Vibrio alginolyticus* est observée sur l'ensemble de la zone en automne et sur les stations les plus côtières au cours du printemps. *V. vulnificus* a été observée uniquement sur le point *contrôle* en automne. L'espèce *V. parahaemolyticus* a été observée au cours de cette même période automnale uniquement sur le point *canal*. Cette observation est en accord avec les suivis précédents montrant l'observation sporadique de cette espèce principalement en automne et en été sur ce point côtier. Cette espèce n'avait pas été observée à proximité du CNPE de Penly depuis 2012. En revanche, l'espèce *V. fluvialis* qui avait été identifiée pour la première fois sur cette zone en 2014, n'a pas été observée en 2015 au cours des différentes périodes d'échantillonnage à proximité du CNPE de Penly. Les données de 2015 confirment donc la dominance de *V. alginolyticus* dans les eaux proches de la centrale puisque cette espèce est systématiquement observée depuis 1999. La mise en évidence des autres espèces est nettement plus sporadique dans le temps comme dans l'espace.

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.

## 4. 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>	Sylvaine Françoise (LERN),



## 4.1. Introduction

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 2015.

## 4.2. 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 4.1). 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.

### 4.2.1. Mesure de la chlorophylle

La quantité de chlorophylle *a* est mesurée par la méthode spectrophotométrique monochromatique 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).

### 4.2.2. Mesure de la production primaire

Un fluorimètre modulé (Pulse amplitude Modulated óPAM- 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 ó ETR) au niveau du photosystème PSII.
- rETR<sub>max</sub> correspond à la capacité maximale de production de l'échantillon
- Y<sub>max</sub> = (F<sub>m</sub>-F<sub>o</sub>)/F<sub>m</sub> 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.

#### 4.2.3. Étude systématique du phytoplankton

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 ± 20 % (Lund, 1958). Les résultats sont exprimés en nombre de cellules par litre.

#### 4.2.4. 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.

#### 4.2.5. Analyses statistiques

Un traitement statistique a été réalisé pour les concentrations en chlorophylle *a*, les abondance totales pour les périodes 1987-2015 et pour les paramètres photosynthétiques (i.e. rETR et Y<sub>max</sub>) 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. À l'inverse, si la p-value est supérieure à 0,05 nous ne pouvons pas conclure à une différence significative au seuil de 95 %.

### 4.3. Résultats

Les résultats obtenus en 2015 sont donnés par le tableau 4.1 ci-dessous.

2015		CANAL	REJET	CONTRÔLE	REFERENCE
12-mars	<i>Chlorophylle a</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	2.85	3.1	2.75	1.92
	<i>Phéopigments</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	1.05	0.89	0.58	0.34
	<i>rETR</i> (unités relatives)	227	319	259	211
	<i>Ymax</i> (unités relatives)	0.51	0.54	0.43	0.44
	<i>Microphytoplankton</i> (cell/L-1)	22 200	840 000	453 900	254 300
11-juin	<i>Chlorophylle a</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	5.36	3.66	1.51	1.45
	<i>Phéopigments</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	1.96	1.23	0.39	0.28
	<i>rETR</i> (unités relatives)	133	40	18	10
	<i>Ymax</i> (unités relatives)	0.38	0.34	0.07	0.11
	<i>Microphytoplankton</i> (cell/L-1)	42 000	28 100	42 900	18 000
21-sept	<i>Chlorophylle a</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	0.98	1.52	1.58	1.28
	<i>Phéopigments</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	0.65	0.5	0.19	0.26
	<i>rETR</i> (unités relatives)	63	34	60	72
	<i>Ymax</i> (unités relatives)	0.52	0.47	0.52	0.49
	<i>Microphytoplankton</i> (cell/L-1)	29 000	46 300	34 100	35 900

**Tableau 4.1 : Valeurs des paramètres phytoplanktoniques aux quatre points de surveillance de la centrale de Penly en 2015**

### 4.3.1. Biomasse chlorophyllienne

#### 4.3.1.1. Variations spatiales et saisonnières en 2015

Évolution de la chlorophylle lors des trois campagnes de surveillance

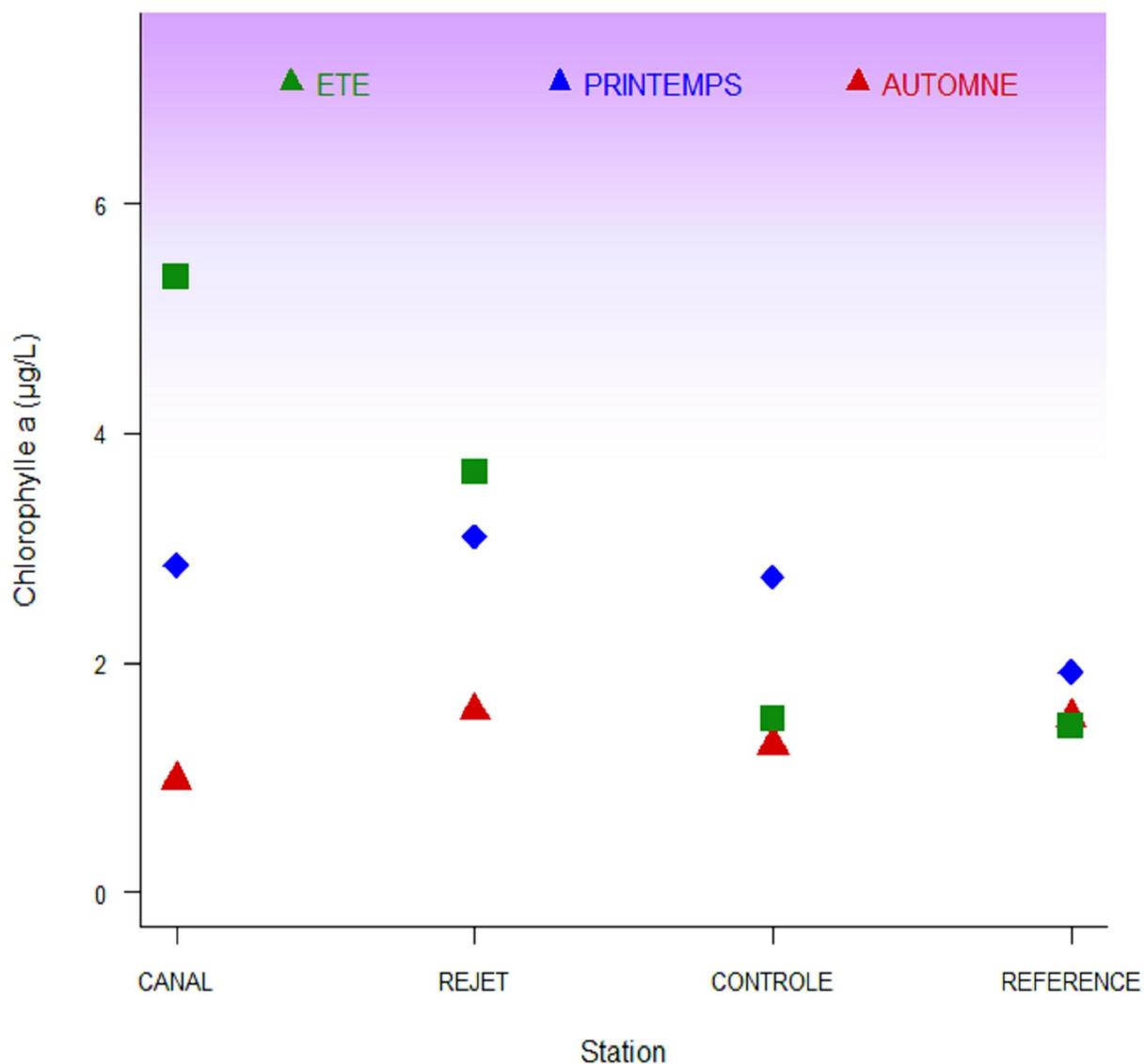


Figure 4.1 : Évolution de la chlorophylle lors des trois campagnes de surveillance 2015

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

Au cours de l'année 2015, les valeurs de chlorophylle *a* s'échelonnent entre 0,98 µg/L au point *canal* en septembre, et 5,36 µg/L sur ce même point en juin (figure 4.1).

La variabilité spatiale apparaît principalement en été. Un net gradient décroissant côte-large est observé avec des valeurs comprises entre 5,36 µg/L sur le point *canal* et 1,45 µg/L sur le point *référence*.

Cøest en automne, que les valeurs de chlorophylle sont les plus faibles avec des valeurs comprises entre  $0,98\mu\text{g/L}$  sur le point *canal* et  $1,58$  sur le point *contrôle*.

Les données de chlorophylle obtenues sur le point *référence* restent stables (de  $1,28$  à  $1,92\mu\text{g/L}$ ) quelle que soit la saison.

#### 4.3.1.2. Variations inter-annuelles

Les valeurs de chlorophylle *a* obtenues au printemps 2015 sont toutes inférieures ou égales à celles de 2014 (figure 4.2) exceptées sur le point *canal* en été ou *référence* au printemps où elles sont légèrement supérieures à l'année précédente. Les valeurs de chlorophylle *a* en 2015 restent toutefois dans la gamme de valeurs généralement observées sur ces zones à cette période.

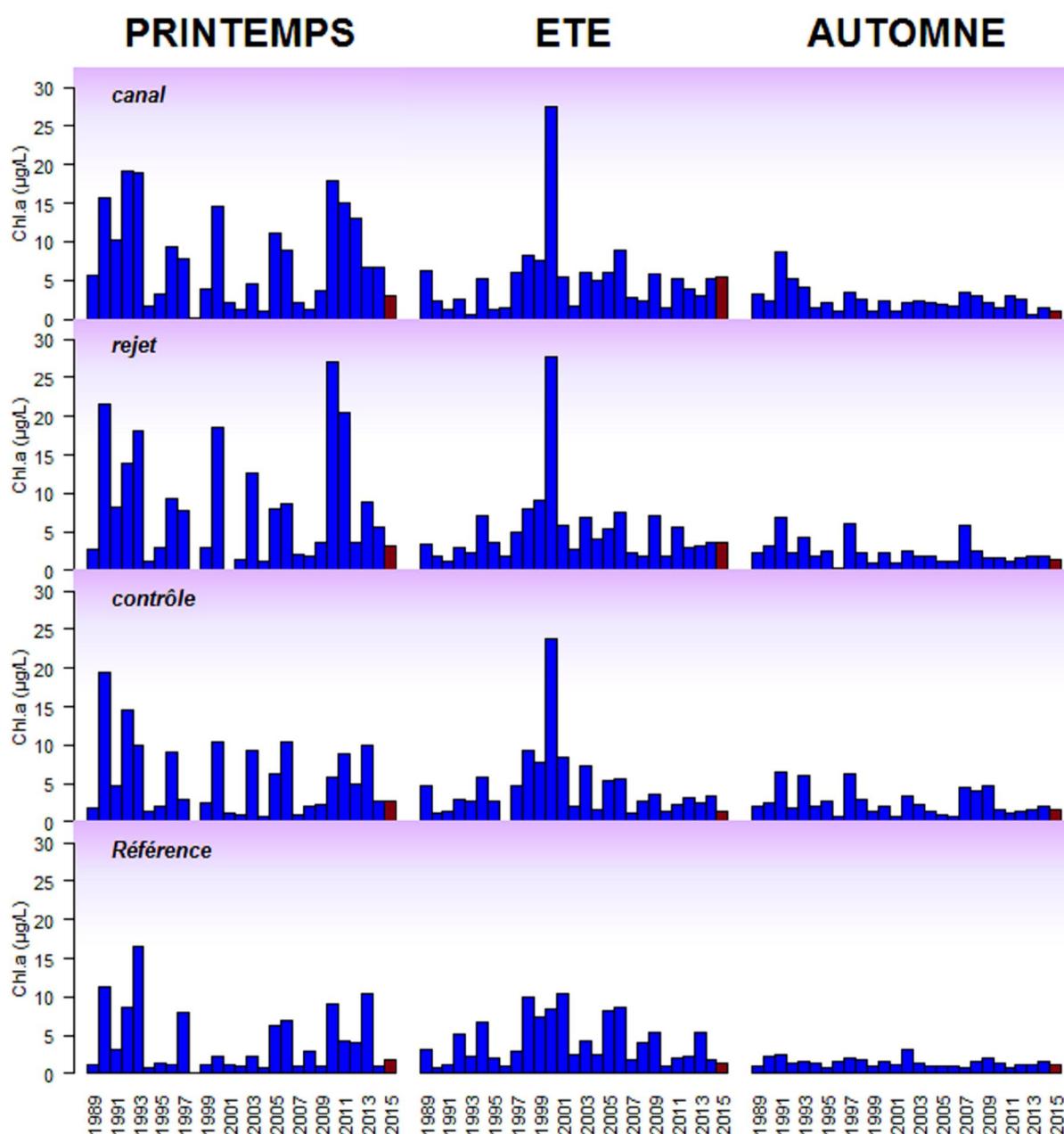
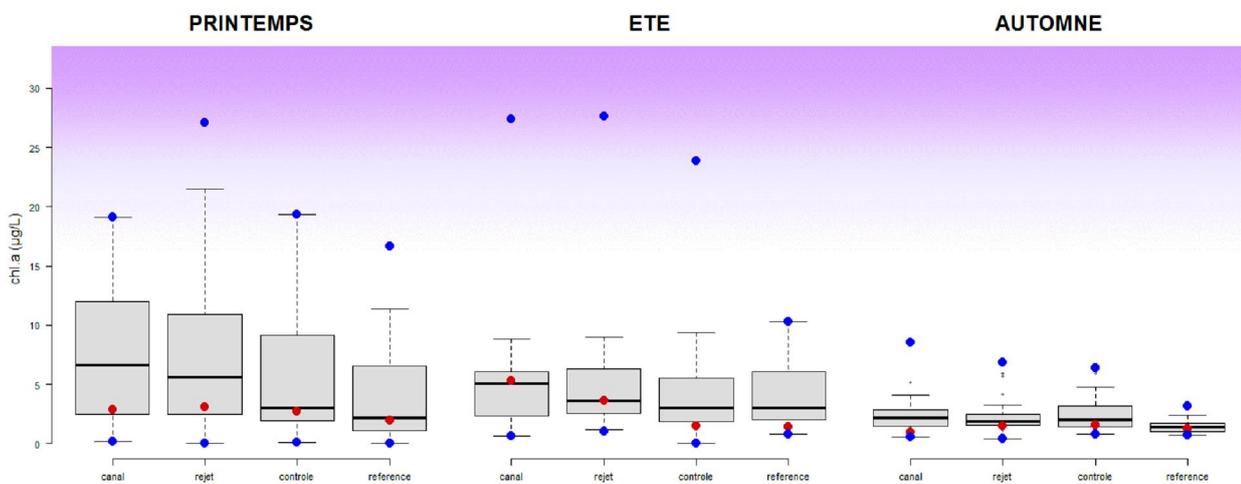


Figure 4.2 : Évolution de la chlorophylle de 1989 à 2015

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 4.3) 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.

La figure 4.3 montre une plus faible dispersion des valeurs en automne par rapport aux deux autres saisons. Les boîtes (50% des valeurs dans la boîte grise) restent homogènes entre elles avec assez peu de variabilité sur les 4 points. Les moustaches s'étalent vers les fortes valeurs au printemps même si les valeurs maximales ont été obtenues en été (juin 2000).



**Figure 4.3 : Évolution de la chlorophylle de 1989 à 2015. La ligne centrale 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 2015 (•).**

La chlorophylle *a* mesurée en automne 2015 reste proche de la médiane pluriannuelle. Au printemps 2015, le gradient de chlorophylle, bien marqué sur les moyennes pluriannuelles est moins flagrant même si les valeurs restent comprises dans la boîte englobant les 50% des valeurs. Ce gradient est davantage marqué en été.

Les plus fortes valeurs mesurées de chlorophylle *a* se situent en 2015, aux points *canal* et *rejet* en été et sont égales ou légèrement supérieures à la médiane pluriannuelle.

Hormis sur les 2 points cités précédemment, les concentrations en chlorophylle en 2015 sont en règle générale inférieures des médianes pluriannuelles.

#### 4.3.1.3. Approche statistique

Les tests statistiques présentés dans le tableau 4.2 montrent qu'au printemps, il existe des différences significatives entre le point *contrôle* et les points *canal*, *référence* et *rejet*, 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	test	ETE	test	AUTOMNE	test
Canal/Rejet	0.8040	W	0.8636	T	0.6928	T
Canal/Contrôle	<b>0.0072</b>	T	0.0729	T	0.6672	T
Référence/Rejet	<b>0.0000</b>	W	0.2291	W	<b>0.0010</b>	W
Canal/Référence	<b>0.0001</b>	T	0.3242	W	<b>0.0026</b>	W
Contrôle/référence	<b>0.0229</b>	W	0.5619	W	<b>0.0000</b>	W
Contrôle/Rejet	<b>0.0042</b>	W	<b>0.0263</b>	T	0.6617	W

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

**Tableau 4.2 : Probabilité associée *p* des tests statistiques sur la chlorophylle**

#### 4.3.1.4. 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 4.4). Les observations de 2014 (figure 4.5) 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.

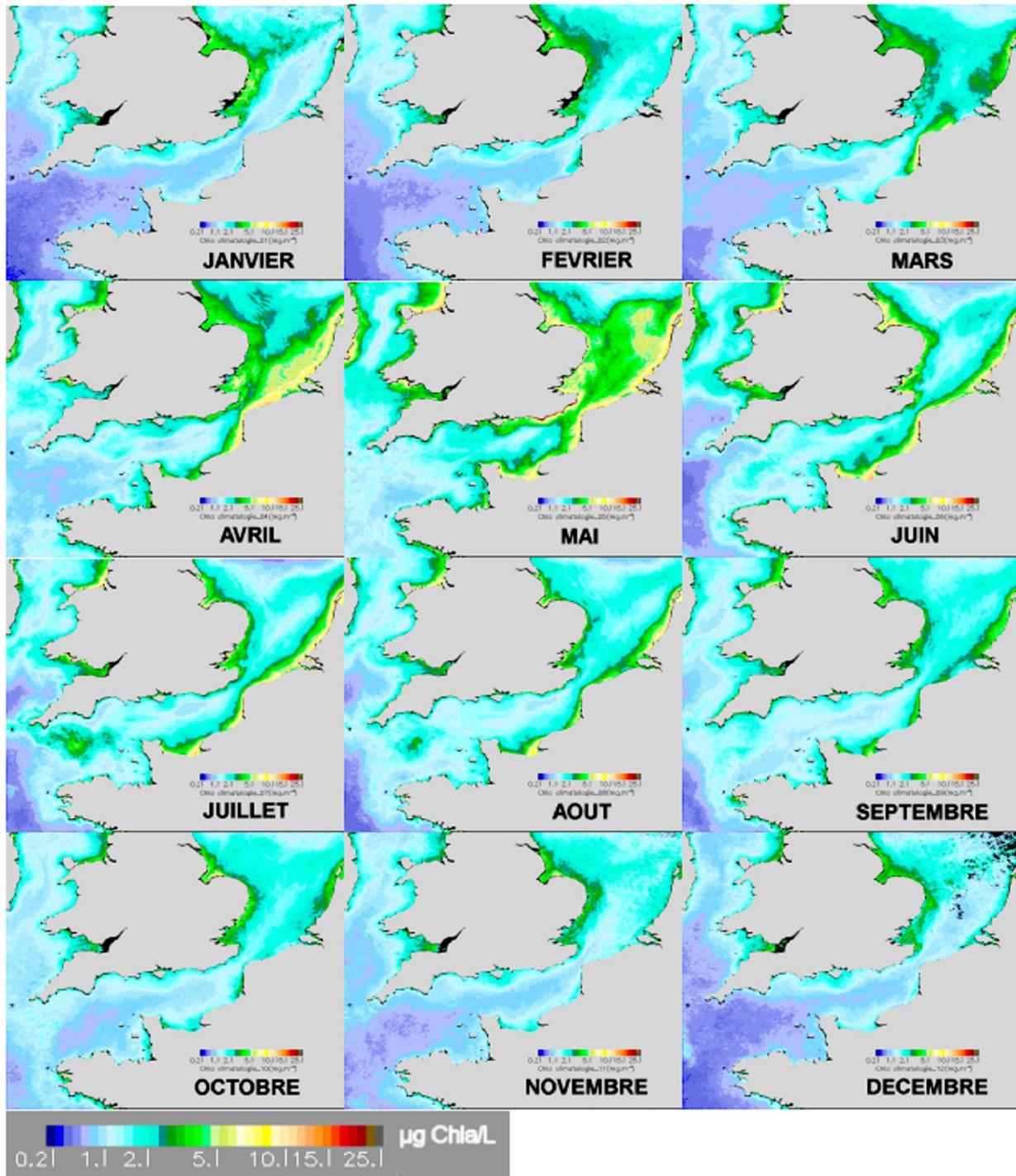


Figure 4.4 : Distribution mensuelle de la chlorophylle *a* en Manche obtenue après traitement des images des cameras SeaWiFS et MODIS entre 1998 et 2007 avec l'algorithme Ifremer

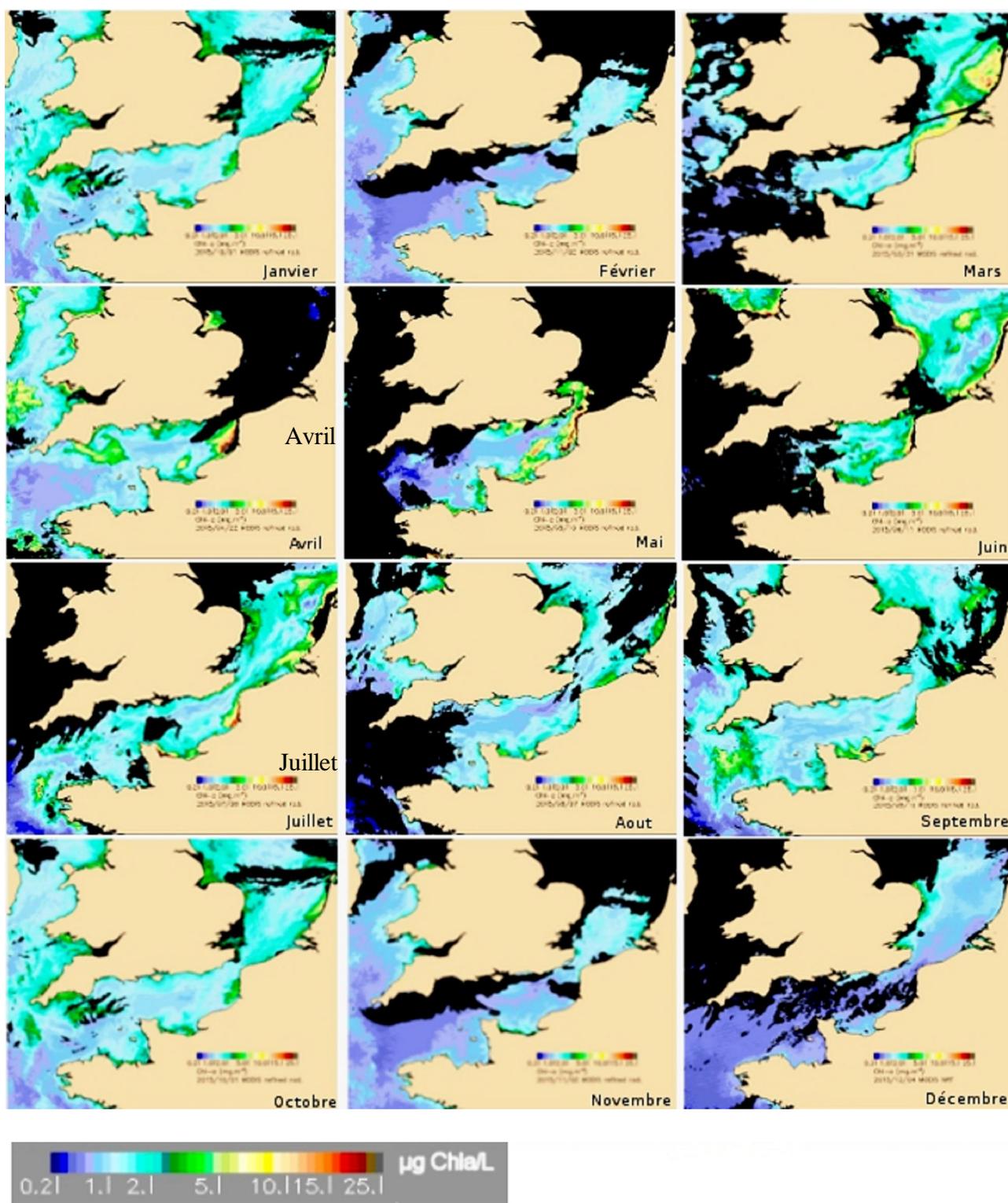


Figure 4.5 : Série d'images 2015 obtenues par la caméra MODIS et traitées avec l'algorithme Ifremer pour obtenir les concentrations en chlorophylle (Ifremer)

La comparaison des images obtenues en 2015 par rapport à la climatologie 1998-2007, indique que les variations observées en 2015 se situent globalement dans la moyenne pluriannuelle. Elles sont conformes à la dynamique mensuelle de la chlorophylle *a* en Manche (figure 4.4) avec toutefois une légère avance de la production phytoplanktonique avec un bloom dès le mois de mai au nord de la Baie de Somme.

#### 4.3.2. 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 2015 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  $Y_{\max} \times 0,6$  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.

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

Les valeurs de rETR mesurées en 2015 sont très variables. Elles sont comprises entre 10 au point *référence* en été et 319 au point *rejet* au printemps. (figure 4.6).

Toutes les valeurs du printemps 2015 sont supérieures à celles relevées en 2014 tandis que les valeurs d'été et d'automne 2015 sont largement inférieures à celles de 2014 et sont même les valeurs minimales obtenues depuis le début du suivi.

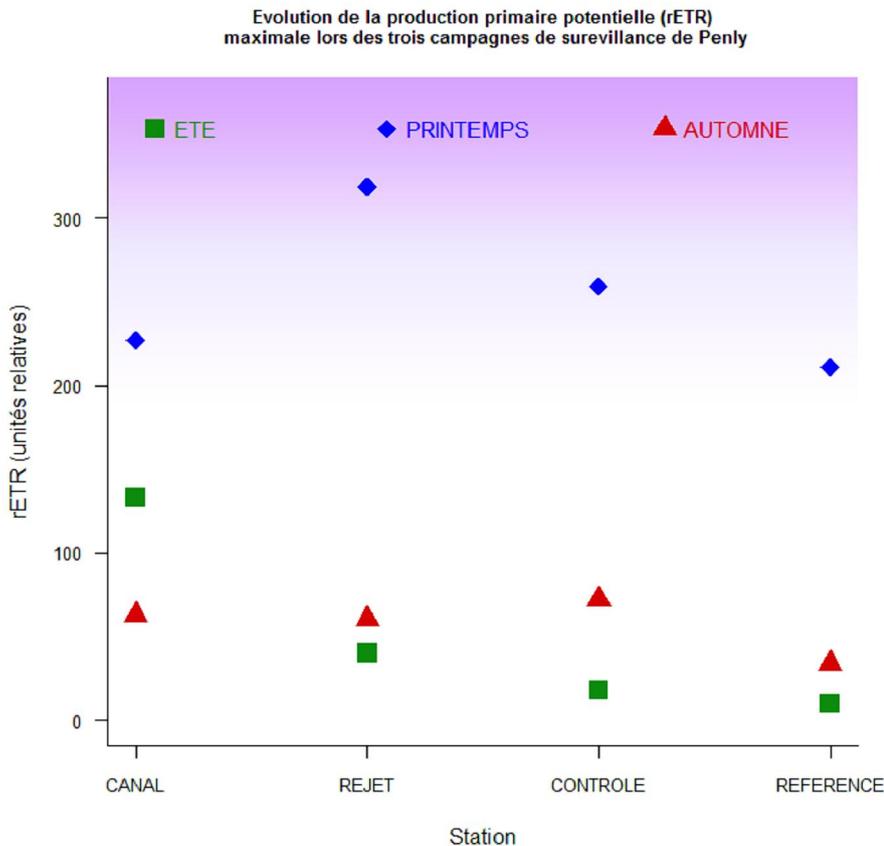


Figure 4.6 Évolution de la production primaire potentielle (rETR) maximale lors des trois campagnes de surveillance de Penly en 2015

#### 4.3.2.2. Approche statistique

Les tests statistiques réalisés sur les données acquises depuis 2007 sont présentés dans le tableau 4.3. Durant les campagnes 2015 et quelques soient les points suivis, aucune différence significative n'est observée pour les valeurs de R-ETR excepté entre le point *rejet* et les points *canal* et *Référence* en automne et le point *canal* et les points *canal*, *contrôle* et *référence* en été .

Comparaison rETR	PRINTEMPS	test	ETE	test	AUTOMNE	test
<i>Canal/Rejet</i>	0.8458	T	0.0359	T	<b>0.0046</b>	T
<i>Canal/Contrôle</i>	0.5905	T	<b>0.0451</b>	T	0.6614	T
<i>Référence/Rejet</i>	0.3565	T	0.2914	T	<b>0.0182</b>	T
<i>Canal/Référence</i>	0.5006	T	<b>0.0281</b>	T	0.5631	T
<i>Contrôle/référence</i>	0.0606	T	0.2720	T	1.0000	W
<i>Contrôle/Rejet</i>	0.5395	T	0.6523	W	0.0864	T

**Tableau 4.3 : « p-value » des tests statistiques sur les valeurs de R-ETR**  
(différence significative : p-value<0.05)

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

Les valeurs de l'efficacité quantique obtenue en 2015 varient entre 0,07 et 0,54. 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 mauvais état physiologique du peuplement phytoplanctonique lors de l'été 2015, particulièrement sur les points *contrôle* et *référence*. A contrario, les valeurs obtenues au printemps et en automne révèlent un bon état physiologique des cellules phytoplanctoniques sur tous les points échantillonnés.

Ces valeurs d'été, peuvent être mise en corrélations avec les concentrations en sels nutritifs qui sont à cette saison, les plus basses relevées, que ce soit en silicate, nitrites, nitrates, ammonium ou phosphate.

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

En 2015, les valeurs de  $Y_{max}$  sont inférieures à celles de 2014 et indiquent que les populations phytoplanctoniques étaient dans un moins bon état physiologique lors des campagnes de prélèvements, excepté sur le point *contrôle* en automne. Les valeurs de  $Y_{max}$  obtenues en été 2015, sont les plus basses relevées depuis le début du suivi.

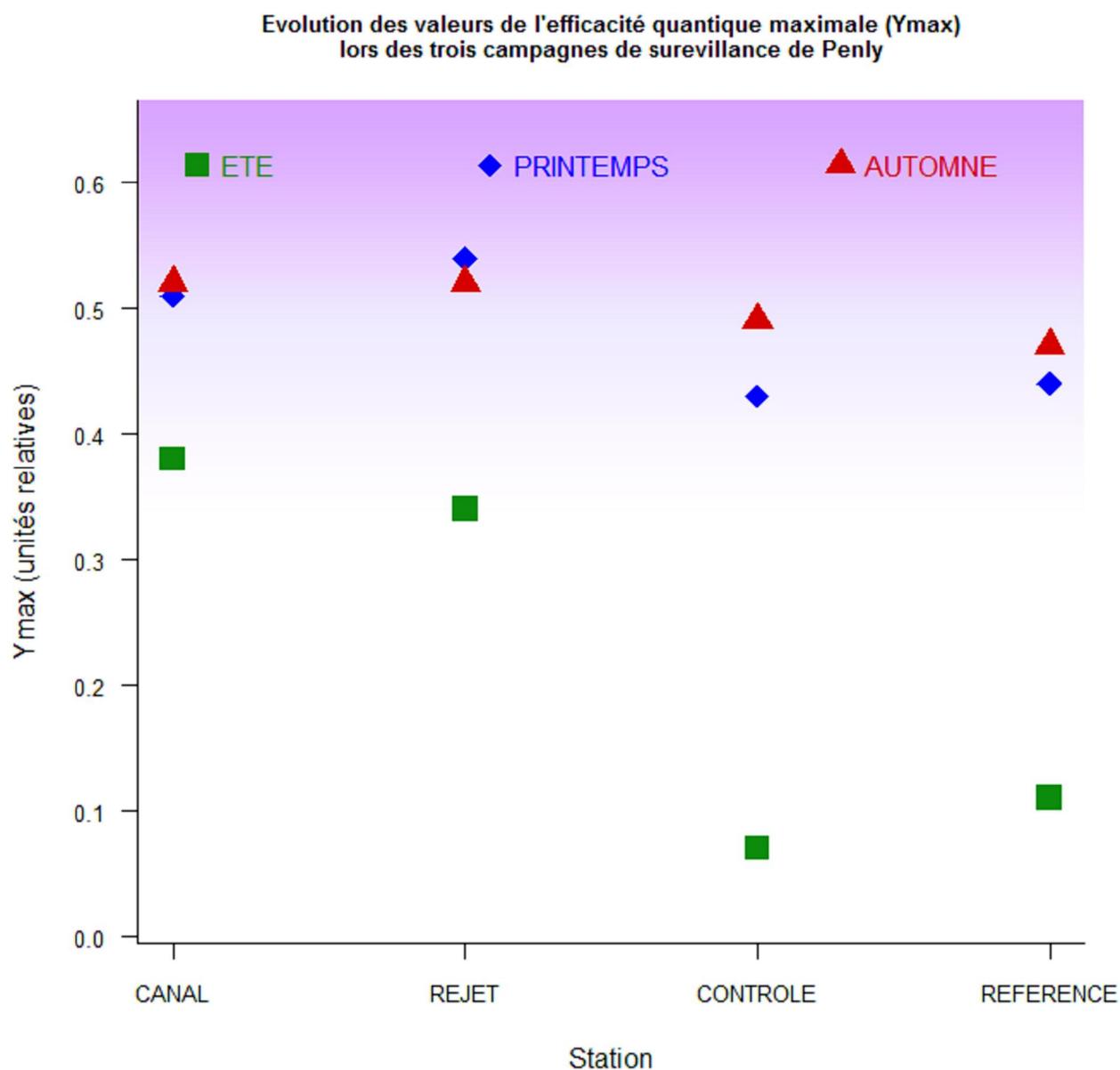


Figure 4.7 : Évolution des valeurs de l'efficacité quantique maximale (Ymax) lors des trois campagnes de surveillance de Penly en 2015

La figure 4.8 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.

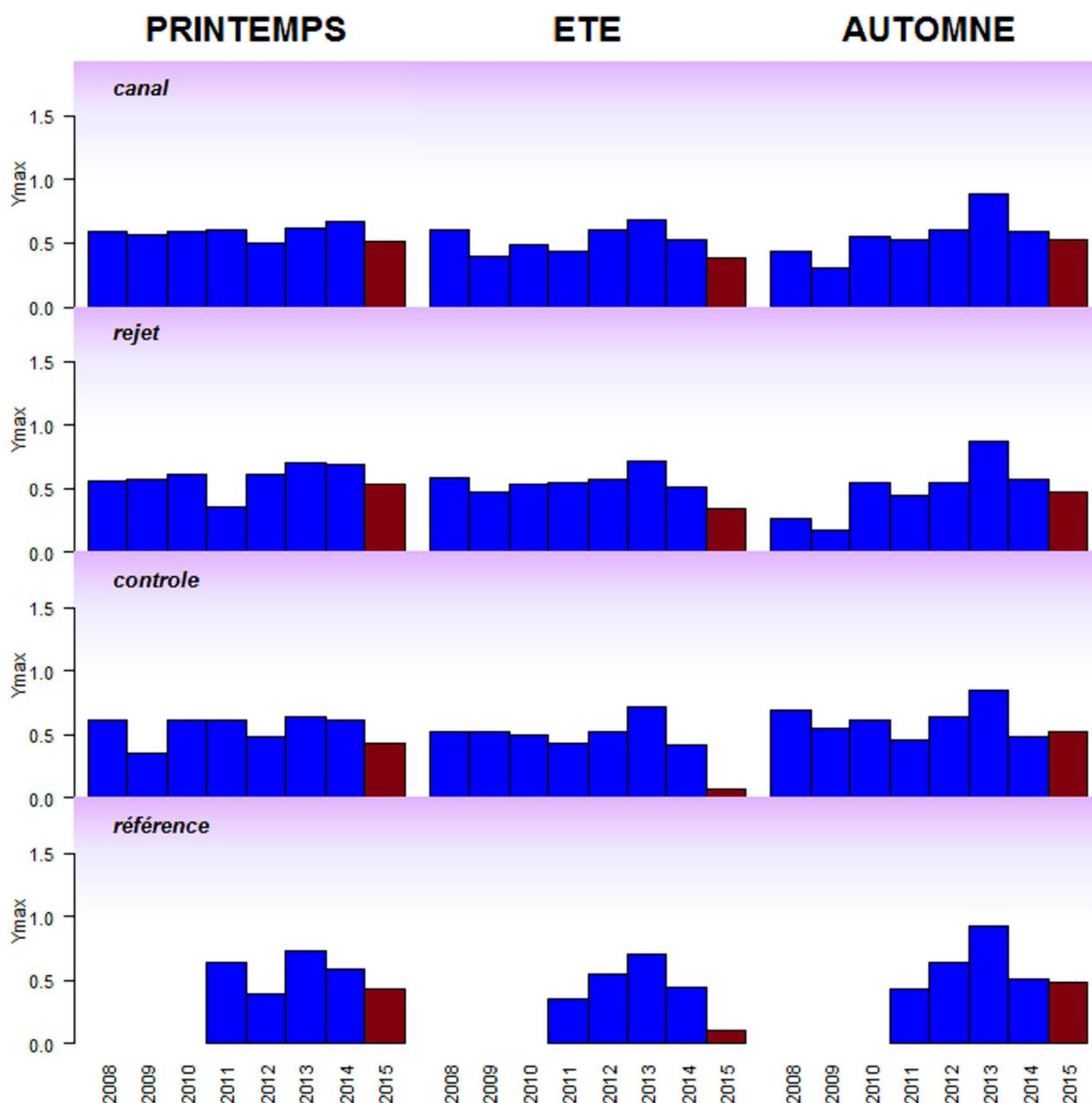


Figure 4.8 : Évolution des valeurs de  $Y_{max}$  de 2007 à 2015 (excepté sur le point *référence* : 2011-2015)

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 de données 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.

#### 4.3.2.4. Approche statistique

Les tests statistiques réalisés sur les données acquises depuis 2007 sont présentés dans le tableau 4.4.

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

Comparaison	PRINTEMPS	test	ETE	test	AUTOMNE	test
<i>Canal/Rejet</i>	0.5522	W	0.4952	T	<b>0.0119</b>	T
<i>Canal/Contrôle</i>	0.1448	T	0.2045	T	0.1951	T
<i>Référence/Rejet</i>	0.8123	T	0.0876	T	0.5529	T
<i>Canal/Référence</i>	0.6252	T	0.1497	T	0.4595	T
<i>Contrôle/référence</i>	1.0000	T	0.9246	T	0.6350	T
<i>Contrôle/Rejet</i>	0.3975	T	0.0416	T	0.0720	T

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

Tableau 4.4 : Probabilité associée *p* des tests statistiques sur  $Y_{\max}$

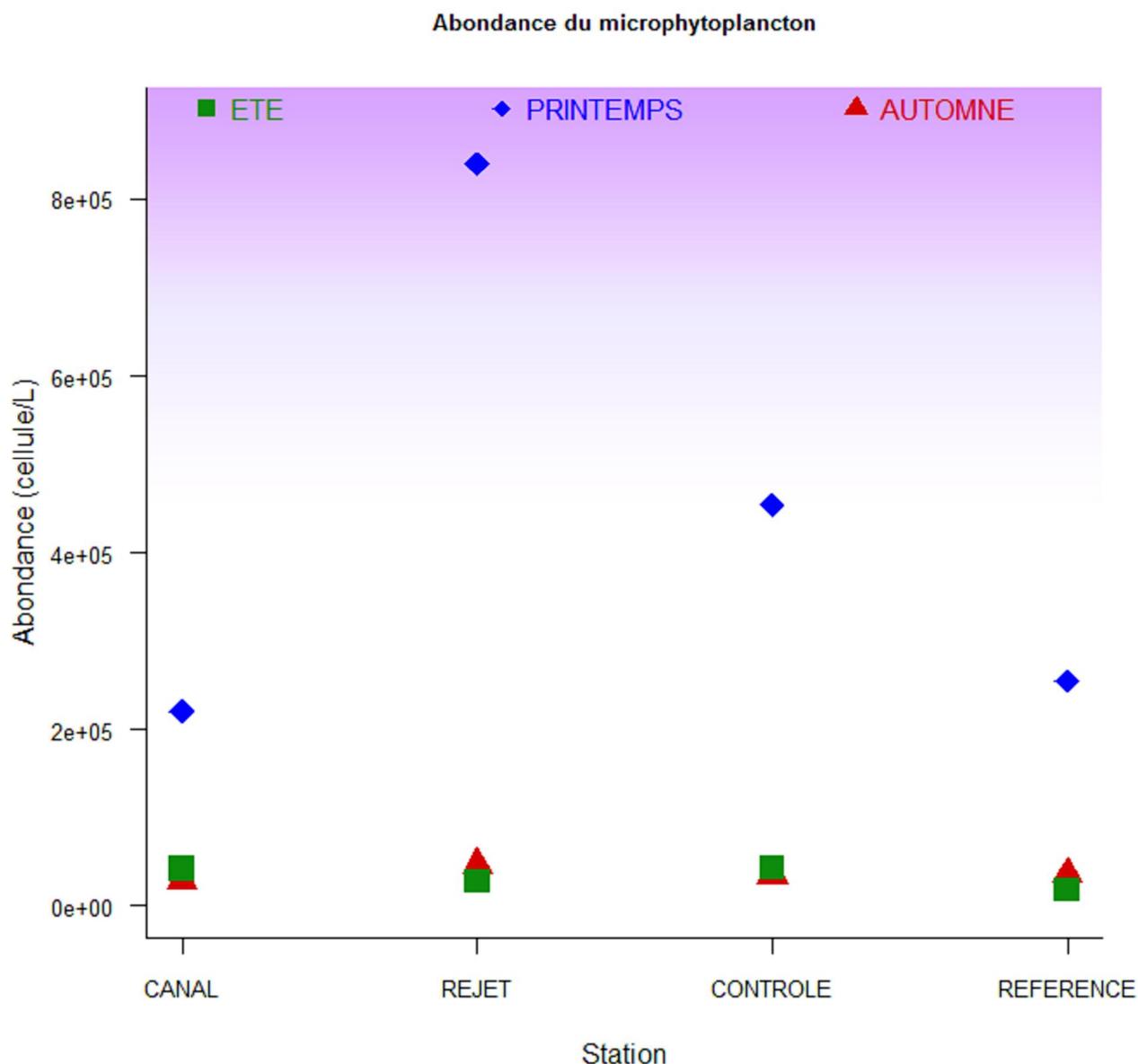
#### 4.3.3. Microphytoplancton

##### 4.3.3.1. Variations spatiales et saisonnières en 2015

Les abondances microphytoplanctoniques de 2015 sont présentées en figure 4.9. Elles sont exprimées en nombre de cellules par litre d'eau de mer. Les plus fortes abondances ont été observées sur le point *rejet* au printemps avec un maximum de 840 000 cell/L.

En été et en automne les concentrations cellulaires étaient semblables et relativement faibles sur l'ensemble de la zone variant entre 18 000 Cell/L sur le point *référence* et 42 900 Cell/L sur le point *contrôle* en été.

Un gradient décroissant côte large du nombre de cellule phytoplanctonique est présent au printemps excepté sur le point *canal* où l'abondance reste faible.



**Figure 4.9 : Abondances du micro phytoplancton pour l'année 2015**

#### 4.3.3.2. Variations inter-annuelles

Au printemps et en automne 2015, les abondances cellulaires mesurées sont toutes supérieures à celles observées en 2014 excepté sur le point *référence* en automne (Figure 4.10).

En revanche, en été, les valeurs d'abondance sont inférieures à l'année précédente quelque soit le point échantillonné.

Les abondances maximales de 2015 ont été enregistrées au printemps (840 000 cell/L sur le point *rejet*) sauf sur le point *référence* où le maximum a été enregistré en été.

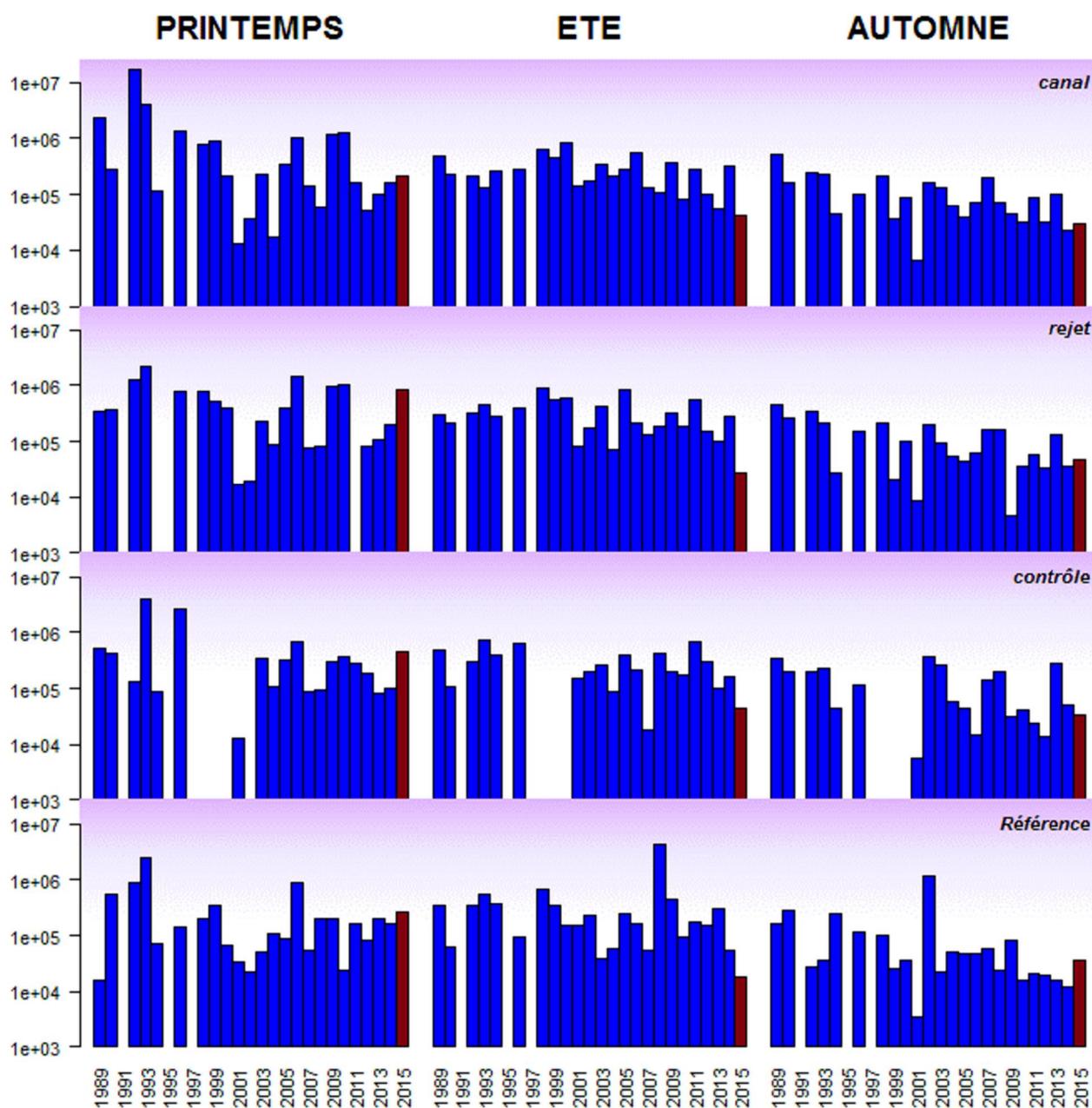
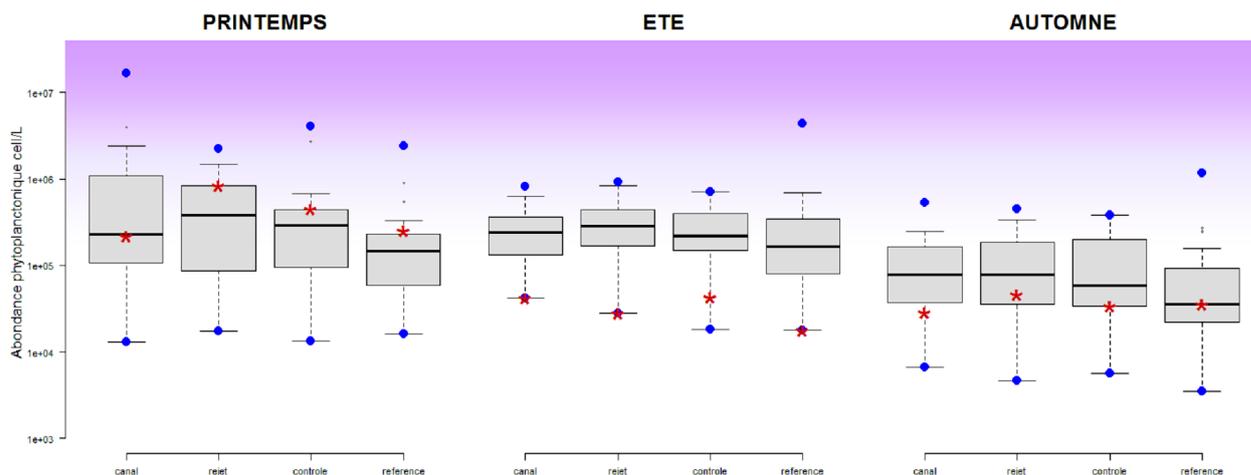


Figure 4.10 : Évolution de l'abondance phytoplanktonique de 1989 à 2015

La figure 4.11 présente l'abondance du phytoplankton sous forme de boîte à moustaches.

L'été et l'automne 2015 se caractérisent par de faibles abondances phytoplanktoniques sur l'ensemble de la zone. Les valeurs mesurées au cours de cette période sont en dessous des médianes pluri annuelles et atteignent le minimum recensé depuis le début de suivi sur les points *canal*, *rejet* et *référence* en été.

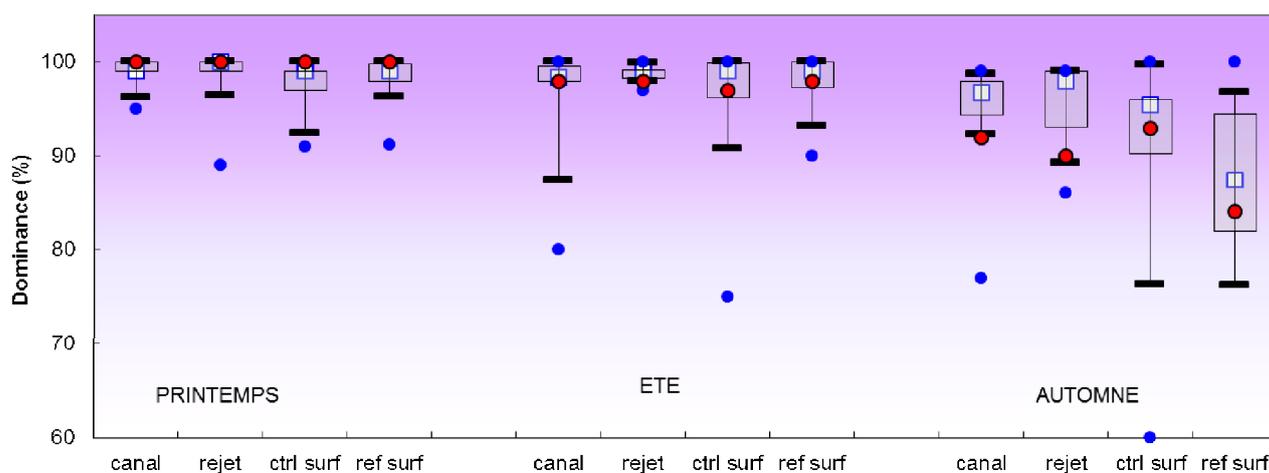
Au printemps, les valeurs sont largement au-dessus de la médiane, excepté sur le point *canal* où l'abondance phytoplanktonique est égale à la médiane pluriannuelle.



**Figure 4.11 : Évolution de l'abondance phytoplanktonique de 1989 à 2015. La barre centrale 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 2015 ( \* ).**

La succession des assemblages phytoplanktoniques, est gouvernée principalement par la variabilité saisonnière. La croissance cellulaire du phytoplankton 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.

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 phytoplanktonique est largement dominé par les diatomées durant le printemps, période d'augmentation de l'éclaircissement et de l'élévation de la température. La figure 4.12 présente l'évolution spatiale et temporelle de la dominance des diatomées depuis 2002.

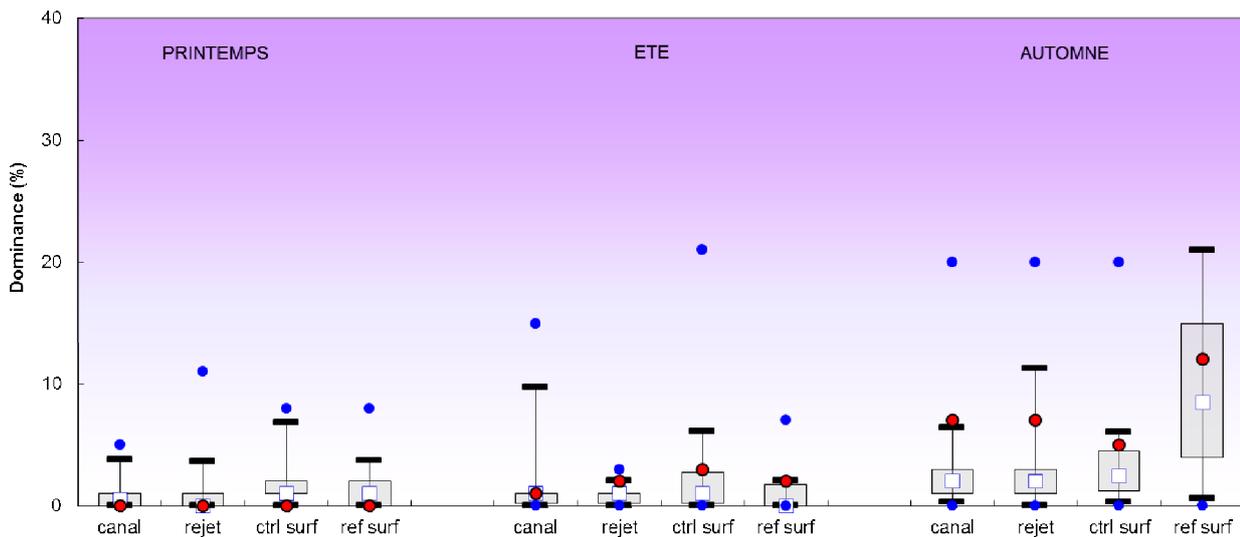


**Figure 4.12 : Distribution des dominances de diatomées par point et par campagne depuis 2002. Le point central représente la médiane (—) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (□) ; les moustaches, 80 % des valeurs (—). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (□). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2015 ( ● ).**

En 2015, les diatomées représentent entre 84 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. La composition floristique est composée au printemps de 100% de diatomées, ce qui est environ équivalent à la médiane relevée depuis le début du suivi. En été la composition en diatomées est également majoritaire. En automne, on observe sur les points *canal* et *rejet* une composition en diatomées légèrement plus faible.

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 4.13 présente l'évolution de la dominance des dinoflagellés depuis 2002. Les plus faibles valeurs et dispersions sont observées au printemps.

Sur les quatre points échantillonnés, les dominances relevées sont entre 0 et 12 de la population phytoplanctonique totale.



**Figure 4.13 : 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 2015( )**

En 2015, les valeurs sont proches de la médiane au printemps et en été. En automne, on constate des proportions de dinoflagellés plus élevées, allant jusqu'à 12% de la composition phytoplanctonique sur le point référence. Ceci est dû à la présence de *Prorocentrum sp.* et *Scropsiella sp.* à des concentrations respectives de 2200 et 1600 cellules par litre. Ces deux espèces ont été retrouvées sur les quatre points échantillonnés et induisent une proportion de dinoflagellés légèrement supérieure à la médiane pluriannuelle.

## 4.3.3.3. Approche statistique

Les données 2015 modifient peu les tendances décrites les années précédentes. Les tests statistiques du tableau 4.5 confirment qu'aucune différence significative n'est observée sur l'ensemble des points en été ou au printemps. En automne, le point *référence* est significativement différent des points *canal* et *rejet*.

Comparaison	PRINTEMPS	test	ETE	test	AUTOMNE	test
<i>Canal/Rejet</i>	0.6556	W	0.2886	T	0.5948	T
<i>Canal/Contrôle</i>	0.9273	W	0.2345	T	0.7628	W
<i>Référence/Rejet</i>	0.0022	T	0.1280	W	<b>0.0043</b>	W
<i>Canal/Référence</i>	0.0179	W	0.3596	W	<b>0.0059</b>	W
<i>Contrôle/référence</i>	0.0441	W	0.1193	W	0.0547	W
<i>Contrôle/Rejet</i>	0.9323	W	0.5960	T	0.8894	W

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

Tableau 4.5 : Probabilité associée *p* des tests statistiques sur l'abondance phytoplanctonique

## 4.3.3.4. Populations phytoplanctoniques observées en 2015

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 micro phytoplanctonique a été répartie en 4 grands groupes : Diatomées, Dinoflagellés, Euglénophycées et Silicoflagellés. En 2015, les diatomées constituent la classe dominante et représentent plus de 84 % de la communauté microphytoplanctonique (tableau 4.6).

Campagne	Station	MICROPHYTOPLANCTON				TOTAL	Dinoflagellés %	Diatomées %
		diatomées	dinoflagellés	euglènes	silicoflagellés			
IGA 2015-1	canal	219700	500	0	200	220400	0	100
IGA 2015-1	rejet	839900	100	0	300	840300	0	100
IGA 2015-1	ctr surf	451700	1400	200	600	453900	0	100
IGA 2015-1	ref surf	253800	500	0	0	254300	0	100
IGA 2015-2	canal	41300	400	300	0	42000	1	98
IGA 2015-2	rejet	28100	500	0	0	28600	2	98
IGA 2015-2	ctr surf	41700	1200	0	0	42900	3	97
IGA 2015-2	ref surf	17700	300	0	0	18000	2	98
IGA 2015-3	canal	26600	2100	300	0	29000	7	92
IGA 2015-3	rejet	41800	3300	500	700	46300	7	90
IGA 2015-3	ctr surf	22400	1100	200	400	24100	5	93
IGA 2015-3	ref surf	30900	4500	500	700	36600	12	84

Tableau 4.6 : Abondances des principales classes algales en 2015

Dans les zones côtières de l'Atlantique nord-est et de la Manche, l'essentiel du micro phytoplancton 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 86 600 cellules par litre sur le point *référence* en juin.

Les principales espèces dénombrées en 2015 ont été les suivantes :

- Mars 2015 :

Les diatomées ont représenté 100 % de la communauté micro phytoplanctonique de surface en mars.

On note une nette dominance de *Thalassiosiraceae* et de *Skeletonema sp.* sur les 4 points échantillonnés. Les *Thalassiosiraceae* sont des assez grosses cellules, généralement réunies en chaînes 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 11 à 39%, soit près de 99 000 cellules/L, de la composition en diatomées.

Sont présents également en quantité non négligeables, des *Chaetoceros* et des *Asterionnella glacialis*, deux genres formant généralement des chaînes ou colonies plus ou moins longues.

Un léger gradient côte large est observé en mars avec une abondance phytoplanctonique plus élevée vers le large.

Les dinoflagellés ne sont quasiment pas représentés en mars.

En revanche, les cryptophyceae, petits flagellés unicellulaires (3 à 50µm) à croissance rapide, sont bien présents avec un maximum de 86 800 cellules/ litre sur le point *contrôle*.

Campagne	Station	pourcentage de DIATOMÉES										Cumul %
		Rhiz	Dity	Guin	Chae	Thal	PSNZ	Skelcos	thaanit	Lept	Aster	
IGA 2015-1	canal	0	0	0	1	53	0	11	0	0	14	79
IGA 2015-1	rejet	0	0	0	0	20	0	71	0	0	1	94
IGA 2015-1	ctr surf	0	0	0	28	42	0	25	0	0	4	99
IGA 2015-1	ref surf	0	0	0	3	54	0	39	0	0	1	98
IGA 2015-2	canal	1	0	24	5	3	0	2	29	0	1	65
IGA 2015-2	rejet	0	0	34	1	0	0	1	33	0	1	71
IGA 2015-2	ctr surf	2	0	46	16	0	3	0	11	1	11	90
IGA 2015-2	ref surf	0	0	10	62	0	6	0	10	1	0	89
IGA 2015-3	canal	2	0	1	20	39	0	0	5	2	0	69
IGA 2015-3	rejet	3	0	3	12	38	0	28	0	0	0	86
IGA 2015-3	ctr surf	5	0	1	1	38	0	5	0	2	0	53
IGA 2015-3	ref surf	2	0	3	12	16	0	0	3	0	0	36

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 4.7: Abondances des principaux genres de diatomées en 2015**

- Juin 2015 :

Les diatomées ont représenté plus de 65 % de la communauté phytoplanctonique de surface en juin, avec des abondances variant entre 18 000 cellules par litre sur le point *référence* à 42 900 cell/L sur le point *contrôle* (tableau 4.7).

Les espèces prédominantes sont différentes selon les points échantillonnés. Ainsi, les *Guinardia*, cellules solitaires ou réunies en courtes chaînes, et principalement l'espèce *G.delicatula* sont les diatomées les plus présentes en été sur les points *rejet* et *contrôle* avec plus de 18 700 cellules sur ce dernier point.

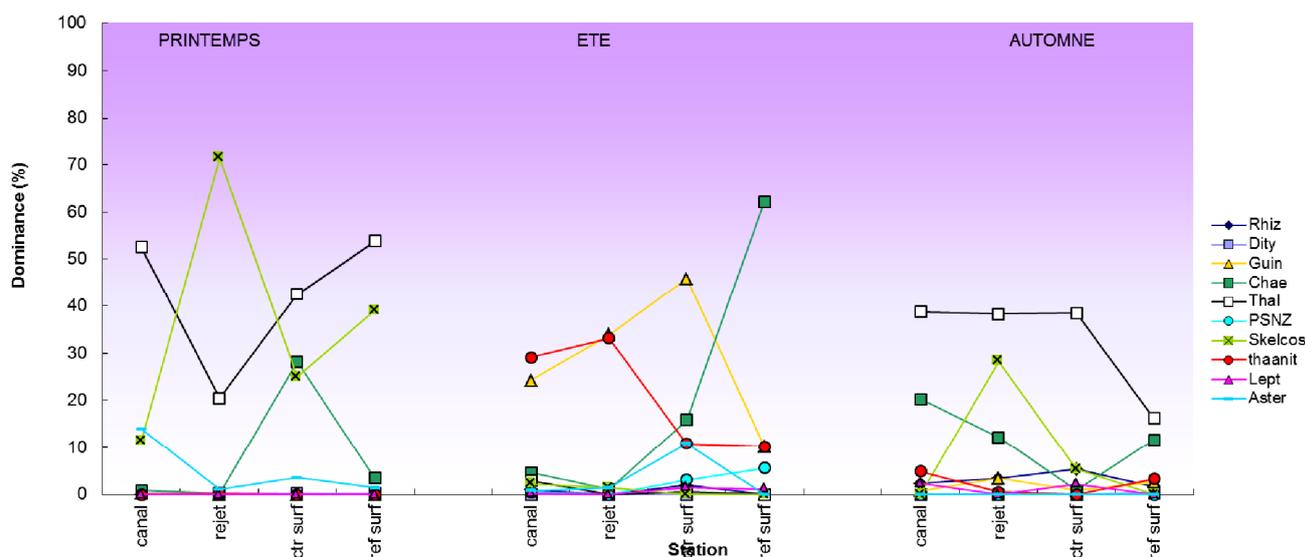
En revanche ce sont les *Chaetoceros* qui dominent sur le point *référence* avec 11000 cellules/litre.

Les *Thalassionema nitzschioides* dominent quant à elles sur le point *rejet* en été avec 9 300 cellules/litre.

De même qu'en mars, un gradient côte large est observé avec une abondance phytoplanktonique plus élevée vers le large.

Les dinoflagellés davantage représentés en été avec jusqu'à 3% de la population sur le point *Contrôle*. C'est également sur ce point que la plus grande diversité d'espèces est observée. On y observe des Peridiniales à hauteur de 300 cellules/litres et des Gymnodiniales à hauteur de 700 cellules/litres.

Hormis sur le point *référence*, les cryptophyceae sont absents en été.



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 4.14 : Distribution des dominances (%) de diatomées pour l'année 2015**

- **Septembre 2015 :**

Les diatomées ont représenté entre 26 et 86 % de la communauté phytoplanktonique de surface en septembre, avec des abondances variant entre 24 100 cellules par litre sur le point *contrôle* et 43 600 cell/L sur le point *rejet* (tableau 4.7).

En septembre, la communauté phytoplanktonique ressemble à celle de mars et est dominée sur les 4 points suivis par des *Thassiosiraceae*.

Les *Chaetoceros* (20% de la population sur le point *Canal*) et les *Skeletonema* (28% de la population sur le point *Rejet*) sont également bien représentés.

C'est en automne que le maximum de dinoflagellés est dénombré avec plus de 12% de la population phytoplanktonique sur le point *Référence*.

Ceci est dû à la présence de deux Dinophyceae : *Prorocentrum micans* à hauteur de 2200 cellules par litre et de *Scropsiella trochoidea* à hauteur de 1600 cellules par litre.

De même qu'en été, les Cryptophyceae ne sont que très peu représentés.

#### 4.3.3.5. 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 micro phytoplanctonique) observée au canal d'amenée et au point rejet

En utilisant les valeurs mesurées en 2015 pour les paramètres chlorophylle, production primaire et abondance phytoplanctonique, les valeurs obtenues sont présentées dans le tableau 4.8. Une valeur positive exprime alors un déficit au point rejet par rapport au point canal.

%	chlorophylle	Production primaire	Microphytoplancton
12/03/2015	-9	-41	-3684
11/06/2015	32	70	33
21/09/2015	-55	46	-60

**Tableau 4.8: Bilan (%) des trois paramètres étudiés entre les points canal et rejet**

En juin 2015, les trois paramètres apparaissent en déficit au point rejet par rapport au point canal. Ce déficit est également observé en septembre pour la production primaire.

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.

#### 4.4. Conclusions

Concernant la communauté phytoplanctonique, l'année 2015 a été marquée par des concentrations en chlorophylle *a* plutôt faibles, en particulier à la côte au cours de l'été. Néanmoins, ces concentrations restent dans la gamme des valeurs qui peuvent être mesurées en Manche Orientale au cours de cette période. Par ailleurs le cycle saisonnier des communautés phytoplanctoniques observé en 2015 à proximité du CNPE de Penly est en accord avec le cycle observé habituellement sur cette zone. Cependant, certaines particularités ont été observées et sont essentiellement liées aux conditions hydroclimatiques de l'année 2015 (cf. chapitre Hydrologie).

Comme les années précédentes, on observe sur le CNPE de Penly, un gradient côte-large, particulièrement marqué en été, avec des valeurs de chlorophylle *a* allant de 5.36 µg/L au point *canal* à 1.45 µg/L au point *référence*. Ce gradient est moins marqué au printemps et est quasiment inexistant en automne où 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 2015 sont comprises entre 10 en été au point *référence* et 319 au point *rejet* en mars.

Les paramètres photosynthétiques suivent une évolution saisonnière pouvant être corrélée en 2015 à l'abondance phytoplanctonique. Ainsi on constate en été et en automne une faible abondance phytoplanctonique alors que les flores effectuées au printemps sont riches en composition. Ces données sont en accord avec les résultats obtenus pour la production primaire.

Cette constatation est également mise en avant à travers le paramètre photosynthétique  $Y_{max}$ . En effet, les valeurs relevées au cours des campagnes de printemps et d'automne sont largement supérieures à celles observées en été. Ces observations, suggérant un moins bon état physiologique des cellules phytoplanctoniques en été. 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 2015.

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 2015 suit cette tendance générale : Les plus fortes abondances cellulaires ont été observées au mois de mars avec plus de 800 000 cellules par litre sur le point *rejet*. Un fort gradient décroissant côte large était alors observé entre le point *rejet* et le point *référence*.

En automne les abondances cellulaires sont restées stables et assez faibles, comme les années antérieures.

A l'instar des années précédentes, les diatomées ont largement dominé la communauté phytoplanctonique tout au long de l'année 2015 sur le site du CNPE de Penly. Néanmoins les valeurs de diatomées en automne 2015 sont assez faibles. Sur le point *référence* le 84% 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, 12% de la communauté est représentée par des dinoflagellés. Ceci est dû à la présence de *Proreocentrum sp.* et de *Scropsiella sp.* à hauteur respective de 2200 et 1600 cellules par litre sur ce point.

En 2015, les diatomées sont dominées au printemps par des *Skeletonemam costatum*. et des *Thalassiosiraceae*. En été la communauté de diatomées est plus hétérogène entre les points. Les *Thalassionema nitzschioides* sont davantage présents sur les points *canal* et *rejet*. Les *Guinardia* dominant ensuite sur le point contrôle et les *Chaetoceros* sur le point *référence*. Au mois de septembre, ce sont les *Thalassiosiraceae* qui composent l'essentiel du cortège floristique quel que soit le point suivi.

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 2015 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 2015.

## 5. Zooplancton

Rédaction :

Elvire Antajan (LER . BL)

Analyses :

Elvire Antajan (LER . BL)

Rémy Cordier (LER . BL)

Sophie Schmitt (DYNECO/Pelagos)

Florian Caradec DYNECO/Pelagos)

Prélèvements :

Frank Maheux (LERN),

Olivier Pierre-Duplessix (LERN).



## 5.1. Introduction

Le zooplankton (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 zooplankton 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 zooplankton peuvent refléter des changements fondamentaux dans l'environnement océanique affectant le phytoplancton. Comme un grand nombre d'espèces de zooplankton a une durée de vie relativement courte et qu'elles peuvent avoir un taux de croissance élevé, elles réagissent rapidement aux perturbations environnementales (changements climatiques, pollutions ponctuelles et prédation) qui influencent l'abondance, la diversité et le cycle saisonnier du zooplankton.

## 5.2. Matériels et méthodes

En 2015, les trois campagnes de prélèvements ont eu lieu les 11 mars, 12 juin et 21 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 ó 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 volumètre 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.

### 5.2.1. 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>).

### 5.2.2. Analyse taxinomique du zooplancton

Les prélèvements zooplanctoniques destinés au dénombrement des espèces animales sont rincés sur un tamis de 200 µm afin d'éliminer le formol et les particules les plus fines qui gênent le comptage du zooplancton. En fonction de la concentration de l'échantillon celui-ci est fractionné en sous-échantillons à la boîte de Motoda (Motoda 1983)<sup>2</sup>. Le sous-échantillon est alors 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)<sup>3</sup>. 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 zooplanctons est très variée et inclue notamment : les fiches d'identification du plancton CIEM - (1939 - 1986), un manuel d'identification du zooplancton côtier (Todd et al., 1996)<sup>4</sup>, et des clés de détermination pour des groupes spécifiques tels que les copépodes pélagiques (Rose, 1933)<sup>5</sup> ou les larves de décapodes (Martin, 2001)<sup>6</sup> par exemple.

### 5.2.3. Disponibilité des données 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 5.1).

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 +

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

<sup>3</sup> Gorsky, G., Ohman, M. D., Picheral, M., Gasparini, S., Stemann, L., Romagnan, J. B., Cawood, A., Pesant, S., Garcia-Comas, C. and Prejger F. (2010). Digital zooplankton image analysis using the ZooScan integrated system. J. Plankton Res., 32, 2856303

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

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

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

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	Répliques	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 5.1 : 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.

### 5.3. Résultats

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de mesure pour l'année 2015 sur le site de Penly sont présentés dans le tableau 5.2.

PARAMETRES		CANAL	REJET	CONTROLE	RÉFÉRENCE
12 MARS 2015	Poids sec (mg/m <sup>3</sup> )	32,3	29,2	11,8	10,2
	Poids de carbone (mg/m <sup>3</sup> )	6,503	8,604	3,930	3,657
	Poids d'azote (mg/m <sup>3</sup> )	1,359	1,849	0,907	0,865
	Abondance holoplancton (ind./m <sup>3</sup> )	1254	1714	4006	1402
	Abondance méroplancton (ind./m <sup>3</sup> )	334	849	628	559
	Abondance zooplancton totale (ind./m <sup>3</sup> )	920	866	3377	843
11 JUIN 2015	Poids sec (mg/m <sup>3</sup> )	118,5	90,1	61,1	67,0
	Poids de carbone (mg/m <sup>3</sup> )	25,428	29,846	22,942	24,351
	Poids d'azote (mg/m <sup>3</sup> )	4,908	7,191	5,413	5,717
	Abondance holoplancton (ind./m <sup>3</sup> )	1914	5379	7552	7646
	Abondance méroplancton (ind./m <sup>3</sup> )	1551	4019	6204	6321
	Abondance zooplancton totale (ind./m <sup>3</sup> )	363	1360	1348	1325
21 SEPTEMBRE 2015	Poids sec (mg/m <sup>3</sup> )	6,7	22,4	21,0	6,8
	Poids de carbone (mg/m <sup>3</sup> )	1,687	7,435	7,646	2,181
	Poids d'azote (mg/m <sup>3</sup> )	0,353	1,874	1,934	0,502
	Abondance holoplancton (ind./m <sup>3</sup> )	494	2377	2257	463
	Abondance méroplancton (ind./m <sup>3</sup> )	418	2329	2120	426
	Abondance zooplancton totale (ind./m <sup>3</sup> )	76	49	136	37

Tableau 5.2 : Récapitulatif des résultats de 2015 pour l'étude du zooplancton

#### 5.3.1. Biomasse sestonique

On appelle seston, l'ensemble des particules en suspension dans l'eau qu'elles soient d'origine minérales ou organiques. Dans les eaux du large ou dans des milieux oligotrophes, peu turbides, le seston récolté avec un filet à plancton est essentiellement constitué de zooplancton et sa biomasse peut donc être assimilée à celle du zooplancton. Par contre dans les eaux côtières, souvent peu profondes (< 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.

### 5.3.1.1. Variations spatiales et temporelles en 2015

Au cours de l'année 2015, la biomasse sestonique a varié entre  $6,7 \text{ mg m}^{-3}$  au point *canal* en septembre et  $118,5 \text{ mg m}^{-3}$  au point *canal* en juin (figure 5.1.).

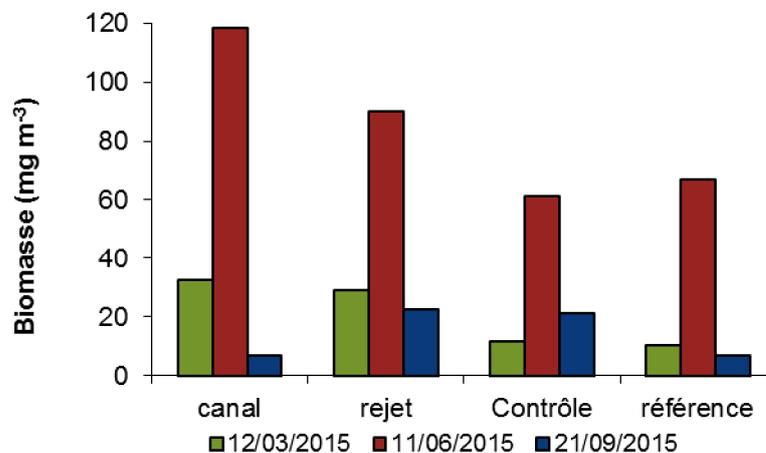


Figure 5.1 : Évolution de la biomasse sestonique (poids sec) au cours des trois campagnes de surveillance 2015

En mars et juin, la biomasse sestonique présentait des valeurs décroissantes de la côte vers le large, alors qu'en septembre les biomasses étaient moins importantes aux points canal et référence par rapport aux points rejet et contrôle. Le rapport C/N peut habituellement caractériser un compartiment tel que le zooplancton (rapport C/N  $\sim 4-5$ ; Mauchline, 1998)<sup>7</sup> ou le phytoplancton (C/N  $\times 6$ ; Biddanda & Benner, 1997)<sup>8</sup>. Les rapports C/N de 2015 étaient globalement compris entre 4 et 5, les rapports les plus élevés (4,8 à 5,2) étant observés au point canal lors des trois campagnes de prélèvement, ces rapports indiquent plutôt une prépondérance du zooplancton dans la composition du seston (figure 5.2.).

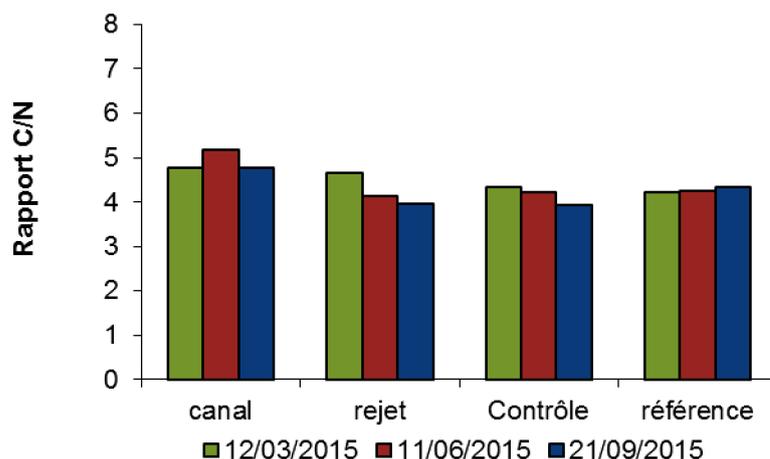


Figure 5.2 : Évolution du rapport C/N du seston au cours des trois campagnes de surveillance 2015

<sup>7</sup> Mauchline, J. (1998). The biology of calanoid copepods. *Advances in Marine Biology* 33: 1-710

<sup>8</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

Toutefois, cette année encore la biomasse sestonique et l'abondance zooplanctonique n'étaient pas corrélées, notamment en mars et juin (cf. figure 5.4) confirmant que la biomasse sestonique ne peut pas être utilisée comme un proxy de l'abondance zooplanctonique.

### 5.3.1.2. Variations interannuelles

A l'exception des points *canal* et *rejet* en juin qui présentaient des valeurs de biomasse sestonique au-dessus des valeurs historiques, les autres valeurs étaient toutes dans la moyenne ou au-dessous de ce qui est observé sur le site depuis 1993 (figures 5.2 et 5.3). Les plus fortes dispersions des valeurs de la série 1993-2015 ont été observées pour les campagnes printanières et estivales (figure 5.3). Les biomasses sestoniques sont en général toujours plus faibles en automne.

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 5.3.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTE	AUTOMNE
n	87	92	92
<i>P</i>	0,421	<b>0,018</b>	<b>0,023</b>

**Tableau 5.3 : Probabilité associée *p* des tests statistiques sur la biomasse de 1993 à 2015**

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

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.

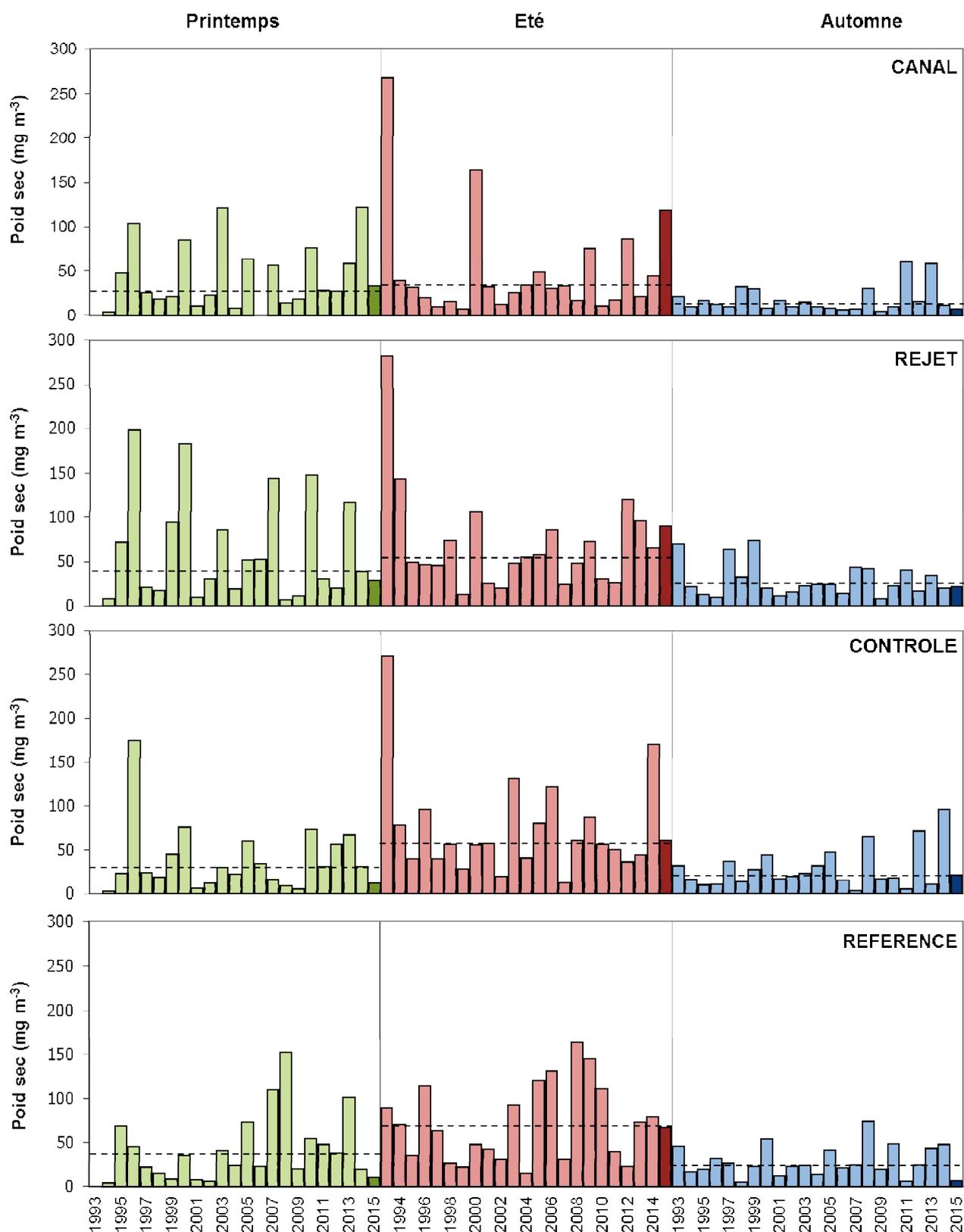


Figure 5.2 : Évolution de la biomasse sestonique (poids sec) de 1993 à 2015  
 La ligne hachurée représente la médiane par saison et par point.

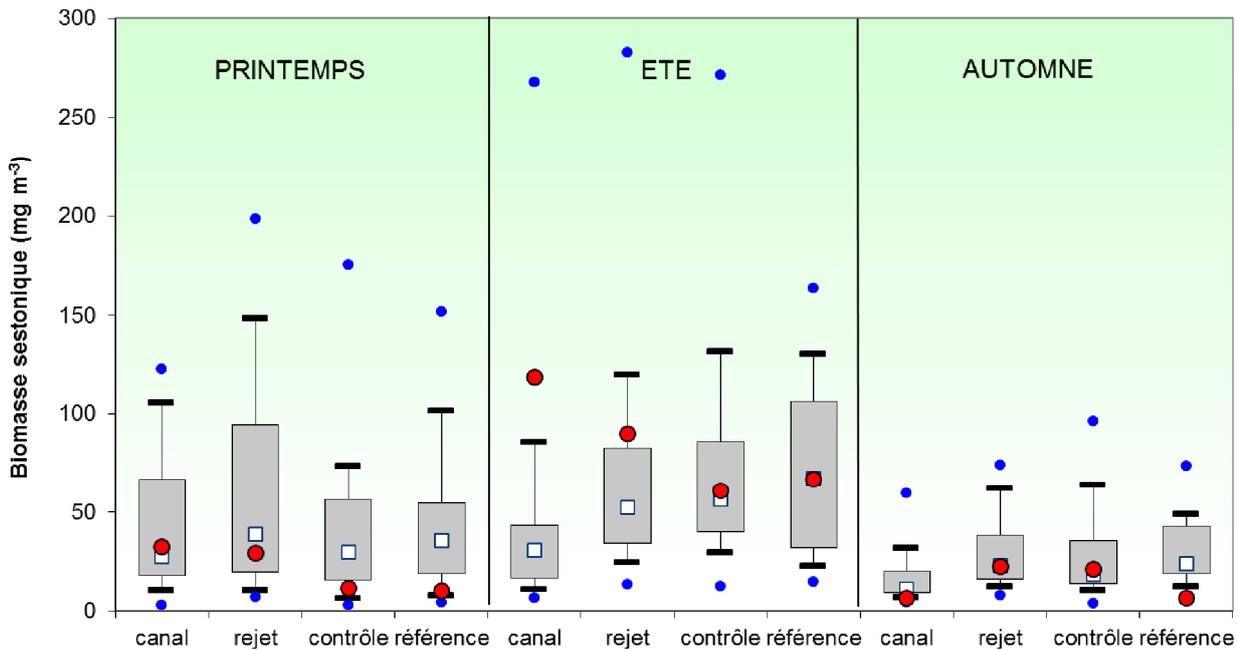


Figure 5.3 : Évolution de la biomasse sestonique (poids sec) de 1993 à 2015. Le point central représente la médiane ( ) ; la boîte englobe 50 % des valeurs ( ) ; les moustaches, 80 % des valeurs ( ). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales ( ). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2015 ( ).

### 5.3.2. Abondances zooplanctoniques globales

#### 5.3.2.1. Variations spatiales et temporelles en 2015

Les dénombrements zooplanctoniques effectués en 2015 sont présentés sur la figure 5.4. et sont exprimés en nombre d'individus par m<sup>3</sup> d'eau de mer. En mars, les abondances de zooplancton étaient plus importantes au point *contrôle*, alors qu'en juin un gradient croissant des abondances a été observé de la côte vers le large, contrairement à la biomasse sestonique. En septembre les abondances étaient moins importantes aux points *canal* et *référence* par rapport aux points *rejet* et *contrôle*. Les plus fortes abondances ont été observées en juin, avec un maximum de 7 646 ind. m<sup>-3</sup> au point *référence*.

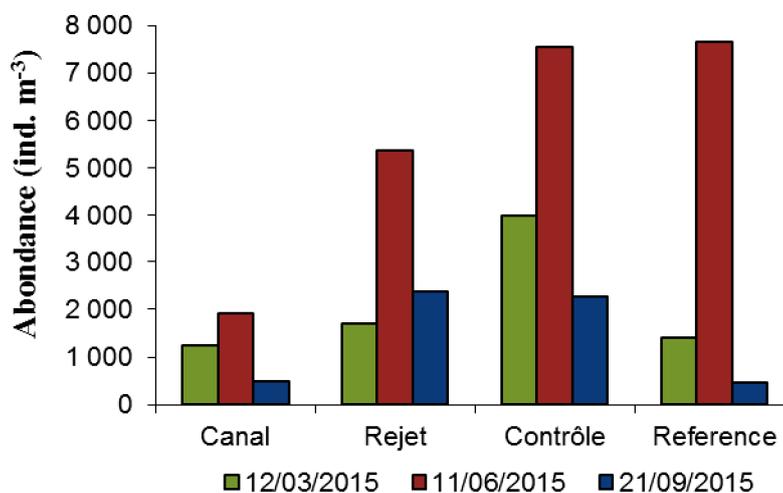
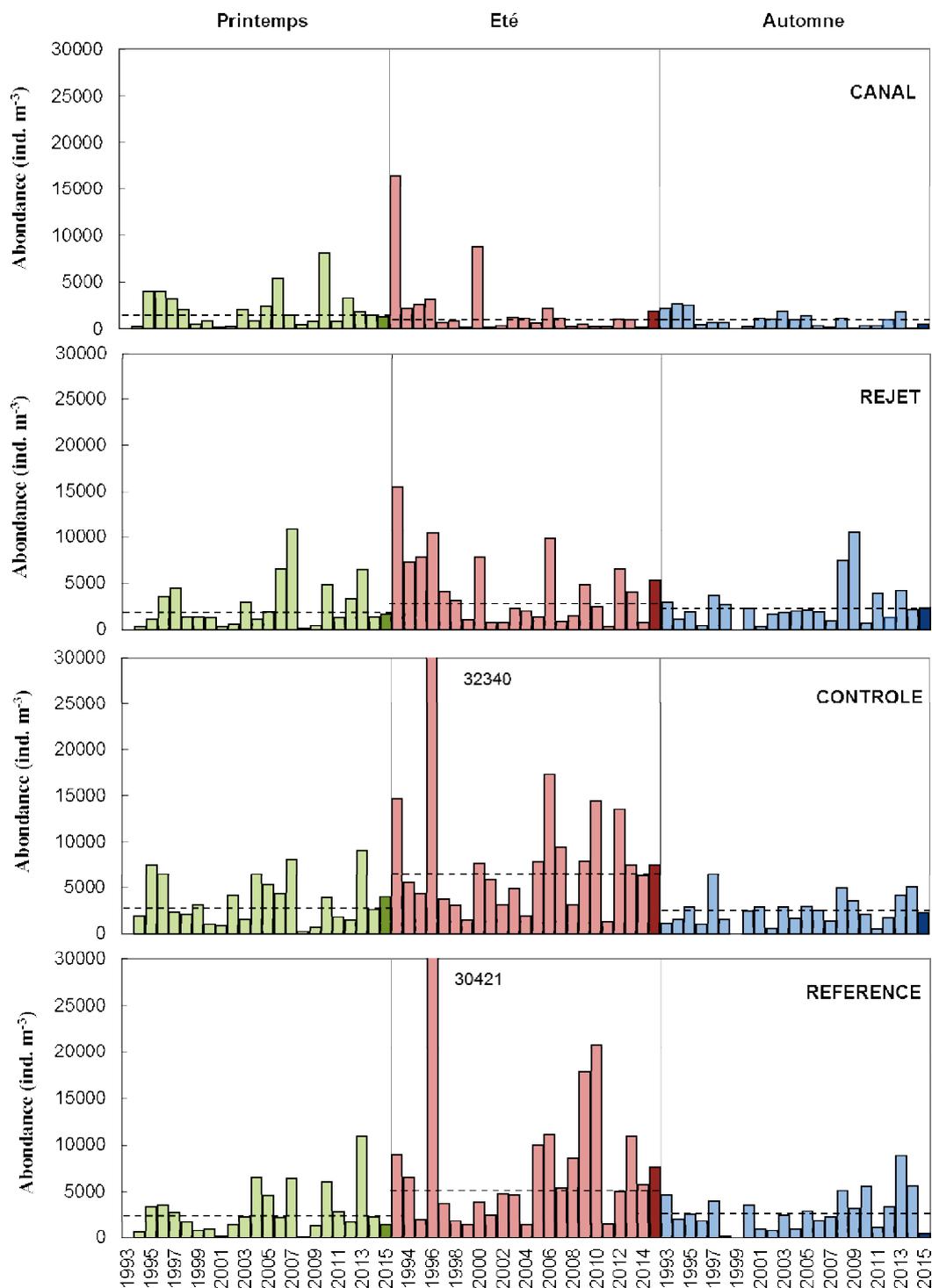


Figure 5.4 : Évolution de l'abondance zooplanctonique au cours des trois campagnes de surveillance 2015

### 5.3.2.2. Variations interannuelles

Les abondances zooplanctoniques observées en 2015 étaient globalement dans la moyenne des valeurs observées depuis 1993, sauf pour le point *référence* en septembre où l'abondance était assez faible (figure 5.5.).



**Figure 5.5 : Évolution de l'abondance zooplanctonique de 1993 à 2015.**  
La ligne hachurée représente la médiane par saison et par point.

Les plus fortes dispersions de valeurs de la série 1993-2015 sont observées pour les campagnes estivales aux points *rejet*, *contrôle* et *référence* traduisant ainsi la forte variabilité interannuelle des abondances zooplanctoniques sur ces points (figure 5.6.). L'évolution interannuelle montre que les abondances sont en général plus faibles en automne.

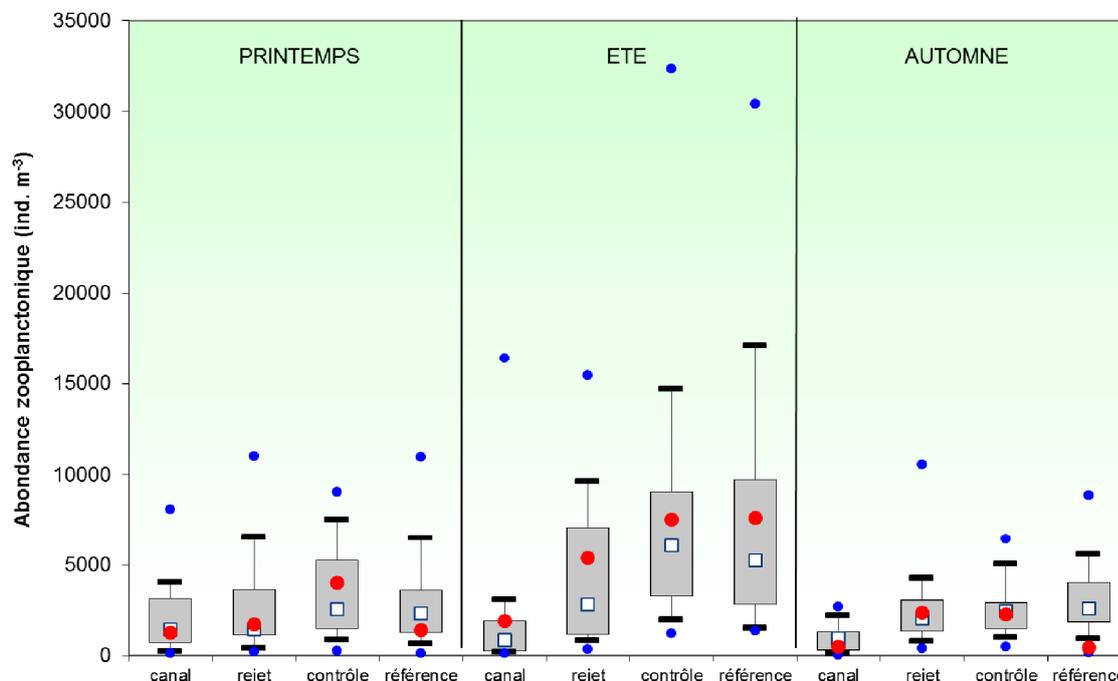


Figure 5.6 : Évolution de l'abondance zooplanctonique de 1993 à 2015. Le point central représente la médiane ( ) ; la boîte englobe 50 % des valeurs ( ) ; les moustaches, 80 % des valeurs ( ). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales ( ). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2015 ( )

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 5.3.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
<i>n</i>	88	92	88
<i>p</i>	0,140	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>

Tableau 5.3 : Probabilité associée *p* des tests statistiques sur les abondances de 1993 à 2015 (*p* < 0,05 = différence significative ; *n* = nombre de données)

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 comme pour la biomasse sestonique, 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 5.5. et 5.6., le point *canal* semble donc bien être caractérisé par des abondances zooplanctoniques plus faibles que pour les autres points de prélèvement.

### 5.3.3. Étude faunistique

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

Un certain nombre d'espèces accomplissent l'intégralité de leur cycle biologique (ò ufs, 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'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 amphipodes et les cténaïres ont été très peu ou pas présents lors des trois campagnes 2015 (tableau 5.4.).

Abondance zooplancton (N/m <sup>3</sup> )	12 mars 2015								11 juin 2015								21 septembre 2015									
	Canal		Rejet		contrôle		référence		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	326	98	847	100	601	96	550	98	1540	99	3896	97	5697	92	6057	96	342	82	2165	93	1975	93	405	95		
Appendiculaires	0	0	0	0	27	4	9	2	11	1	75	2	390	6	241	4	59	14	56	2	64	3	4	1		
Chaetognathes	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	3	11	0	64	3	17	4		
Cumacés	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	30	1	3	0	1	0		
Amphipodes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	34	1	6	0	0	0		
Isopodes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	6	0	0	0		
Mysidacés	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	34	1	0	0	0	0	0	0	30	1	3	0	0	0		
Cladocères	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	117	2	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Cténaïres	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0		
<b>total holoplancton</b>	<b>334</b>	<b>27</b>	<b>849</b>	<b>50</b>	<b>628</b>	<b>16</b>	<b>559</b>	<b>40</b>	<b>1551</b>	<b>81</b>	<b>4019</b>	<b>75</b>	<b>6204</b>	<b>82</b>	<b>6321</b>	<b>83</b>	<b>418</b>	<b>85</b>	<b>2329</b>	<b>98</b>	<b>2120</b>	<b>94</b>	<b>426</b>	<b>92</b>		
<b>meroplancton</b>																										
Larves de decapodes	2	0	3	0	1	0	6	1	11	3	27	2	61	5	150	11	14	19	7	15	24	18	9	24		
Larves de Cirripèdes	886	96	802	93	3354	99	722	86	161	44	685	50	70	5	51	4	4	5	0	0	3	2	0	0		
Larves de bryozoaires	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2	7	1	0	0	0	0	4	5	7	15	3	2	1	2		
Cnidaires	0	0	0	0	0	0	1	0	11	3	0	0	14	1	0	0	4	5	4	8	0	0	5	13		
Larves de mollusques	0	0	0	0	0	0	15	2	150	41	624	46	1202	89	1124	85	45	60	19	38	100	73	22	59		
Larves de polychètes	31	3	61	7	21	1	96	11	22	6	10	1	0	0	0	0	5	7	11	23	6	4	0	1		
Larves d'échinodermes	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Oeufs et larves de poissons	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<b>total méroplancton</b>	<b>920</b>	<b>73</b>	<b>866</b>	<b>50</b>	<b>3377</b>	<b>84</b>	<b>843</b>	<b>60</b>	<b>363</b>	<b>19</b>	<b>1360</b>	<b>25</b>	<b>1348</b>	<b>18</b>	<b>1325</b>	<b>17</b>	<b>76</b>	<b>15</b>	<b>49</b>	<b>2</b>	<b>136</b>	<b>6</b>	<b>37</b>	<b>8</b>		
<b>total zooplancton</b>	<b>1254</b>		<b>1714</b>		<b>4006</b>		<b>1402</b>		<b>1914</b>		<b>5379</b>		<b>7552</b>		<b>7646</b>		<b>494</b>		<b>2377</b>		<b>2257</b>		<b>463</b>			

Tableau 5.4 : Abondance et dominance des principaux groupes zooplanctoniques à Penly en 2015

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'éstran 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 5.7.).

Au printemps, le méroplancton représentait de 50 à 84% du zooplancton et était plus important point *contrôle*. Cette fraction était essentiellement composée de larves de cirripèdes (93 %) et d'annélides (6 %). L'holoplancton était, quant à lui, presque exclusivement composé de copépodes (98 %).

En été, le méroplancton ne représente plus que 20 % du zooplancton et était moins abondant au point *canal*. Cette fraction était composée de larves de cirripèdes, et de larves de gastéropodes (mollusques). L'holoplancton était, quant à lui, largement représenté par les copépodes (× 90 %). Les copépodes ont représenté entre 70 et 80 % du zooplancton total.

En automne, le méroplancton ne représentait plus que 2 à 8 % maximum du zooplancton aux différentes stations de prélèvement, suivies par les larves de mollusques (principalement gastéropodes). L'holoplancton était encore représenté en majorité par les copépodes (84 %).

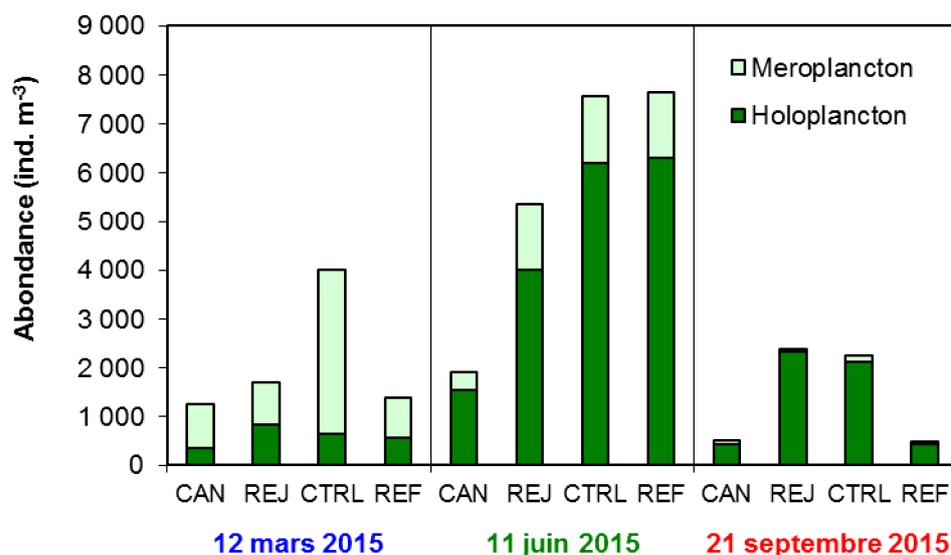


Figure 5.7 : Abondance de l'holoplancton et du méroplancton dans le zooplancton total en 2015

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

#### 5.3.3.2.1. L'holoplancton

- Les copépodes

Les copépodes, qui constituaient le taxon dominant de l'holoplancton, ont montré la même évolution saisonnière que celui-ci (figure 5.8.). Ainsi, les plus fortes abondances de copépode ont été observées en juin aux points *contrôle* et *référence*. Le point *canal* présentait en général des abondances assez faibles.

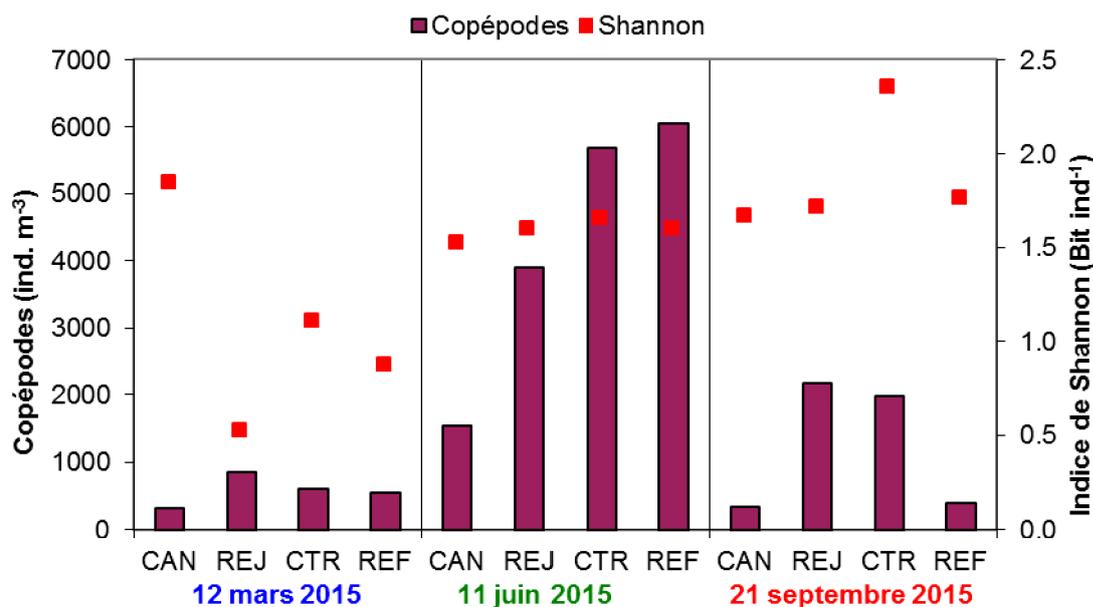


Figure 5.8 : Abondance des copépodes (adultes et copépodites) et diversité spécifique en 2015

L'indice de diversité de Shannon (figure 5.8.) 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 ( $\bar{O} 2,3 \text{ Bit. ind}^{61}$ ) en regard du nombre d'espèces de copépode présent dans nos échantillons (entre 5 et 8). Comme souvent en milieu côtier tempéré, les échantillons étaient caractérisés par une ou deux espèces de copépodes représentant 50 à 91 % 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 retrouve (figure 5.9.) :

### *Acartia clausi*

Espèce plutôt estivale et automnale, *A. clausi* était l'espèce la plus abondante dans nos échantillons aux mois de juin et septembre (respectivement, 45 et 52 % des copépodes). En juin on a observé un gradient croissant des abondances de la côte vers le large, avec un maximum de 3 119 ind.  $\text{m}^{63}$  au point *référence*.

### *Temora longicornis*

Présente toute l'année, cette espèce était généralement peu abondante aux points *canal* par rapport aux autres points. Elle représentait jusqu'à 74 % des copépodes en mars et < 20 % en juin et septembre. Son maximum d'abondance a été observé en juin au point *référence* (954 ind.  $\text{m}^{-3}$ ). 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*

Même en faible nombre (moins de 10 % des copépodes), cette espèce était toujours présente dans les échantillons lors des trois campagnes de prélèvement, notamment en juin avec un maximum de 418 ind.  $\text{m}^{63}$  au point *contrôle*. Comme pour *T. longicornis*, cette espèce est toujours moins abondante au point *canal*.

### *Pseudocalanus elongatus*

Espèce généralement printanière et estivale, elle était peu présente cette année. Une étude publiée en 2010 sur 20 années de suivi des communautés zooplanctoniques devant Plymouth (Angleterre) confirme que *P. elongatus* autrefois très abondante est en diminution en Manche (Eloire *et al.* 2010)<sup>9</sup>. Son abondance maximale a été observée en juin au point *contrôle* (169 ind.  $\text{m}^{-3}$ ).

### *Paracalanus parvus*

Espèce plutôt estivale et automnale, elle était souvent moins abondante à la côte. 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 cette année plus abondant en juin aux points *canal* et *rejet*. Cette espèce est de

<sup>9</sup> Eloire D, Somerfield PJ, Conway DVP, Halsband-Lenk C., Harris R., Bonnet D. (2010) Temporal variability and community composition of zooplankton at station L4 in the Western Channel: 20 years of sampling. J. Plankton Res. 32: 657-679

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.

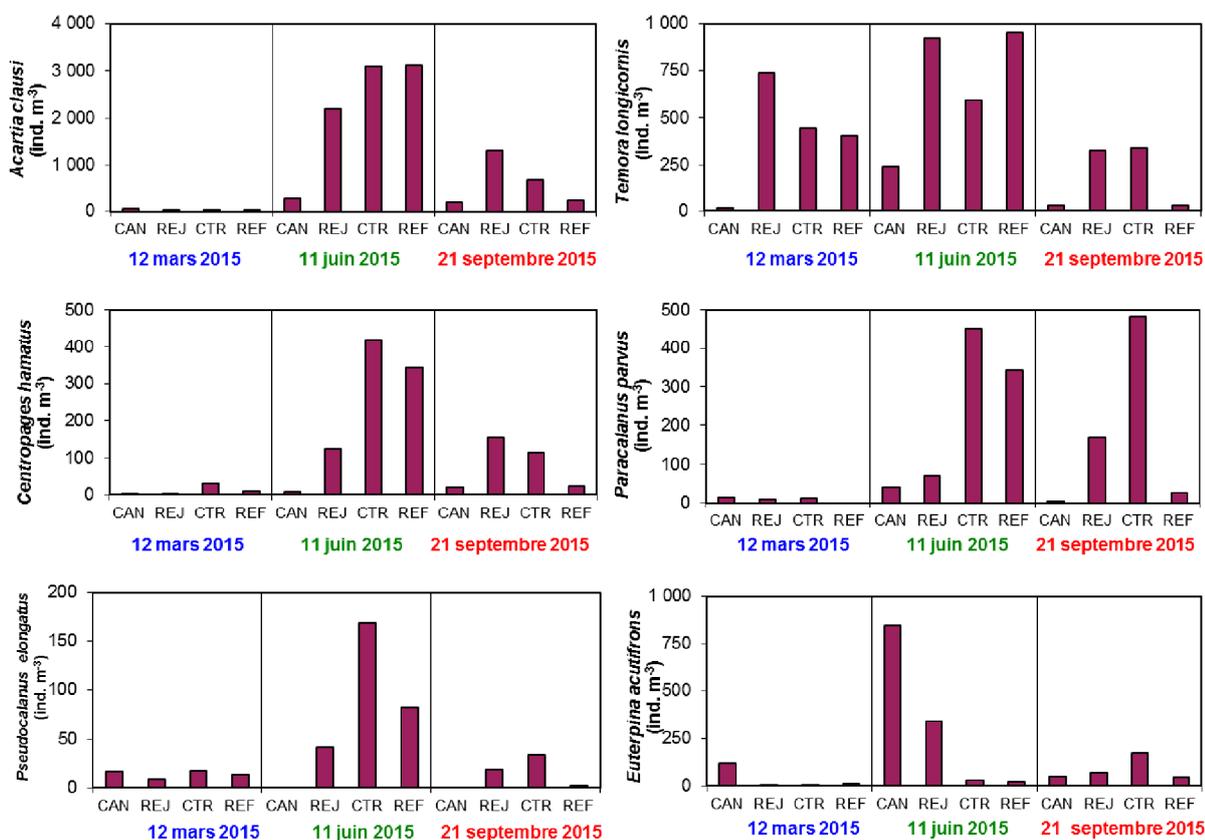


Figure 5.9 : Abondance (adultes et copépodites) des principales espèces de copépodes en 2015

L'évolution inter annuelle 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. 5.10.). Les plus fortes dispersions de valeurs de la série sont observées aux points *rejet* et *contrôle* traduisant ainsi la forte variabilité des abondances zooplanctoniques sur ces points (figure 5.10.).

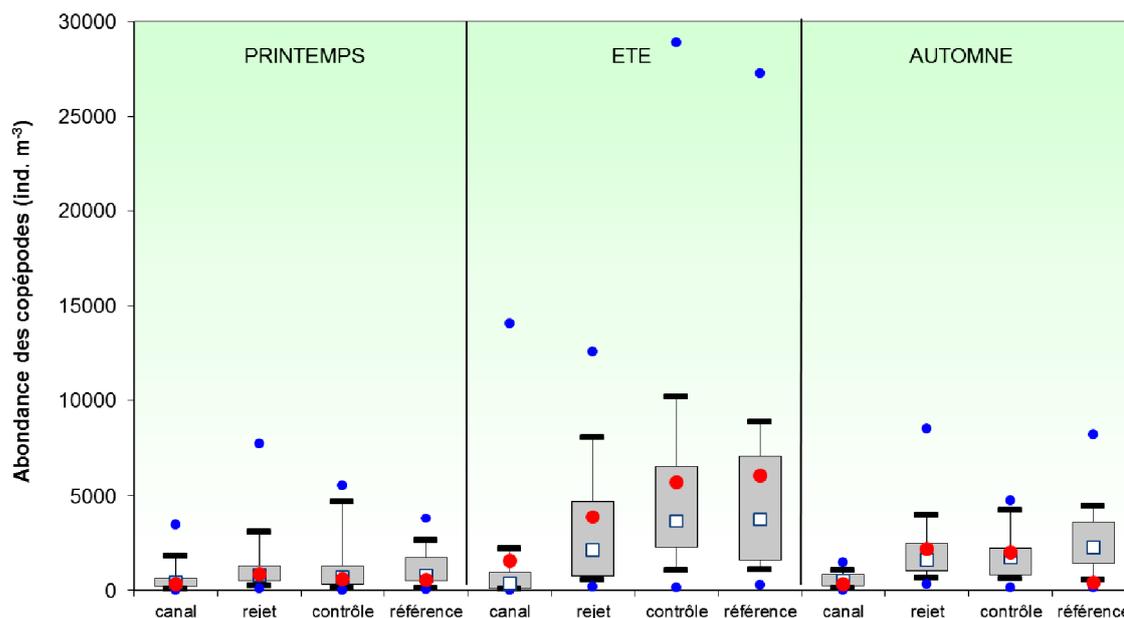


Figure 5.10 : Évolution de l'abondance des copépodes de 1993 à 2015

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 2015 ( )

- Les autres espèces holoplanctoniques

Les appendiculaires, représentés par l'espèce *Oikopleura dioica*, étaient présents surtout en juin avec des abondances toujours plus abondantes au large par rapport à la côte (figure 5.11.). C'était le deuxième groupe holoplanctonique après les copépodes en termes d'abondance, pouvant représenter jusqu'à 14 % des organismes.

Les chaetognathes, représentés par le genre *Parasagitta* n'ont été identifiés que dans les échantillons de septembre. Comme les appendiculaires ils étaient plus abondant au point *contrôle* (64 ind. m<sup>-3</sup>).

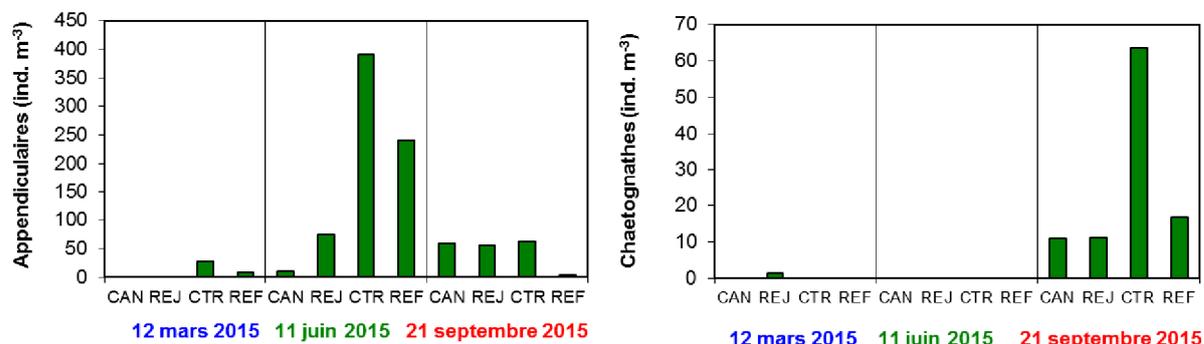


Figure 5.11 : Abondances des appendiculaires et des chaetognathes en 2015

Les cténaires, représentés par la groseille de mer *Pleurobrachia pileus*, sont également étudiées dans les échantillons collectés durant les 4 campagnes en mer pour le phytoplancton (cf. chapitre 3.1). Ces organismes gélatineux, holoplanctoniques, font l'objet d'un suivi particulier car en forte densité ils peuvent entraîner un colmatage du système de refroidissement du CNPE. Le suivi de ces échantillons depuis 2007 montre bien que les abondances observées sont très faibles et que l'année 2015 n'a pas dérogé à la règle (< 2 ind. 10 m<sup>-3</sup>; figure 5.12.).

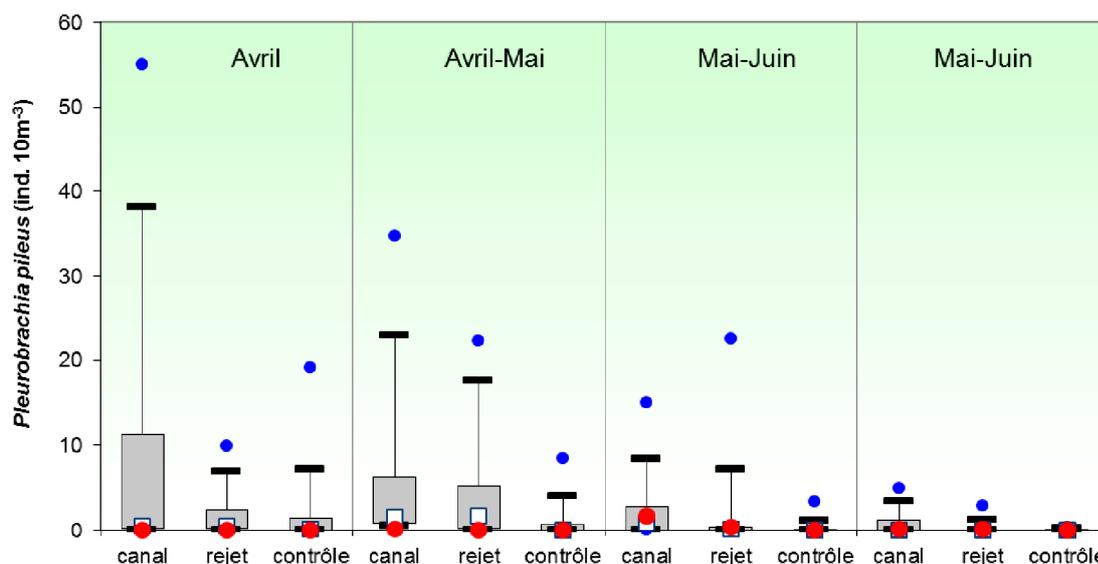


Figure 5.12 : Abondances des cténaires, *Pleurobrachia pileus* de 2007 à 2015. Le point central représente la médiane ( ) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (□) ; les moustaches, 80 % des valeurs ( ). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales ( ). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2015 ( )

#### 5.3.3.2.2. 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 5.13.

- 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 99 % du méroplancton total avec un maximum d'abondance observé en mars au point *contrôle* de 3 308 ind. m<sup>-3</sup>.

- Embranchement des annélides

Des larves d'annélides polychètes étaient plus abondantes en mars, en particulier au large (96 ind. m<sup>-3</sup>), représentant entre 1 et 11% 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'éstran (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 40 et 90 % du méroplancton en juin et septembre. Elles étaient beaucoup plus abondantes en juin selon un gradient vers le large.

- Embranchement des arthropodes, classe des crustacés, ordre des décapodes

Les larves de décapodes, ont été très peu présentes cette année, à l'exception des anomoures, notamment les porcellanidés (crabe porcelaine), abondants dans les prélèvements de juin aux points *référence*.

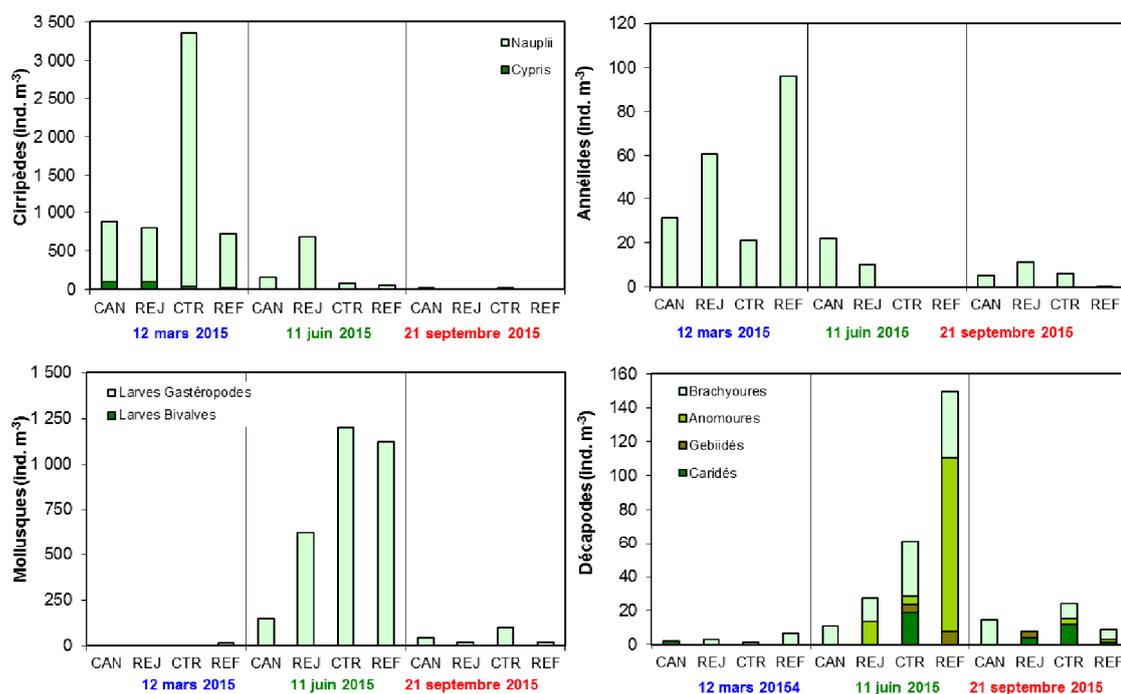


Figure 5.13 : Abondance des principales espèces méroplanctoniques en 2015

## 5.4. Conclusions

Les données historiques acquises depuis 1993 indiquent que la biomasse sestonique au point *canal* est significativement plus faible en été et en automne que celles des autres points. Bien que les rapports C/N semblent indiquer que les échantillons sestoniques soient essentiellement composés de zooplancton, cette année encore, les tendances observées sur la biomasse sestonique ne reflétaient pas toujours les observations sur les abondances zooplanctoniques. Ces rapports C/N du seston montrent bien la difficulté qu'il y a à déduire, ou estimer, la biomasse du zooplancton, *sensus stricto*, à partir de ce type d'analyse. La contamination des échantillons filtrés par des débris minéraux, végétaux ou coquilliers dans un environnement sous fort hydrodynamisme où la remise en suspension des sédiments est importante, est trop aléatoire pour pouvoir avoir une estimation fiable de la biomasse zooplanctonique. La composition zooplanctonique est également un facteur important faisant varier la biomasse sestonique. Par exemple, en mars la biomasse était faible au point *contrôle* malgré une abondance zooplanctonique très importante liée à la prolifération des jeunes larves de balanes (nauplii de cirripèdes). Ces larves sont très petites et ne représentent pas une biomasse importante par rapport à la biomasse planctonique constituée par l'ensemble des autres crustacés, beaucoup plus lourds, tels que les copépodes qui sont dominants en juin par exemple. Au mieux, l'analyse de la biomasse sestonique 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 2015 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. La campagne du mois de mars se distingue toujours des deux autres campagnes par la proportion importante de larves méroplanctoniques, notamment de cirripèdes et de gastéropodes cette année, alors que dans les échantillons de juin et septembre ce sont les organismes holoplanctoniques, copépodes, appendiculaires et chaetognathes qui dominent la communauté zooplanctonique.

La diversité spécifique des copépodes était faible ( $\approx 2 \text{ Bit. ind}^{-1}$ ) et composé en général de moins d'une dizaine d'espèces dont une seule peut représenter jusqu'à 88 % du peuplement. Le point *canal* était caractérisé par des abondances de copépodes dans l'ensemble plus faibles qu'aux autres points de prélèvement. Le fait que le point *canal* soit une station très enclavée et peu profonde peut sans doute expliquer ces différences d'abondance et aussi de composition spécifique. Les copépodes appartenant à l'ordre des calanoides, typiquement pélagiques (*Acartia*, *Temora*, *Centropages*, *Paracalanus* et *Pseudocalanus*) seront plus abondants sur les autres points de prélèvement alors que *Euterpina acutifrons* qui est une espèce d'harpacticoïde pélagique vivant plus en relation avec le sédiment sera plus abondant aux points *canal* et *rejet*.

L'abondance et la succession des espèces zooplanctoniques observées cette année respectent, pour ce que peut montrer cette analyse de trois campagnes annuelles, leur répartition saisonnière habituelle et sont caractéristiques des milieux côtiers tempérés de la Manche et de la baie sud de la Mer du Nord. Aux trois périodes d'observations, les valeurs enregistrées au niveau du rejet en mer s'inscrivent dans l'intervalle de celles des points *contrôle* et *référence*. L'influence des rejets du CNPE de Penly n'est donc pas décelable par la variabilité spatio-temporelle de la population zooplanctonique.

## 6. 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>	Arnaud AUBER (RH/BL) Ivan SCHLAICH (RH/PEB) Coline LAZARD (RH/BL) Nicolas GOASCOZ (RH/PEB) Valérie LEFEBVRE (RH/BL) Laurent DUBROCA (RH/PEB)
<i>Embarquements Ichtyoplancton</i>	Valérie LEFEBVRE (RH/BL) Josselin CABOCHE (RH/BL)
<i>Tri de l'ichtyoplancton</i>	Valérie LEFEBVRE (RH/BL)
<i>Tri macrofaune à terre</i>	Nicolas GOASCOZ (RH/PEB) Coline LAZARD (RH/BL) Valérie LEFEBVRE (RH/BL)



## 6.1. 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 par 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.

### 6.1.1. Matériel et méthodes

#### 6.1.1.1. 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*)

#### 6.1.1.2. 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 ( $1 \text{ m.s}^{-1}$ ). Un dépresseur en V de 40 kg environ assure la plongée et la stabilité de l'engin de pêche.

Deux répliqués 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 :

$$V_f = NTrs \times S$$

avec  $NTrs$  le nombre de tours de volucompteur, le coefficient de conversion du volucompteur (ici = 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.

#### 6.1.1.3. Campagnes d'échantillonnage

Les 4 missions ont été effectuées à bord du chalutier artisanal TIOT HALLE les 13 et 24 avril et les 12 et 27 mai 2015 (Tableau 6.1). 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> )
165	13/04/2015	Canal	1	11:45	10,7	33,2	5	124,9
			2					139,9
		Rejet	1	11:32	10,7	33,2	5	134,0
			2					136,6
		Contrôle	1	11:13	10,8	33,2	5	137,0
			2					160,1
166	24/04/2015	Canal	1	09:40	11,7	33,4	5	144,4
			2					135,9
		Rejet	1	09:24	14,0	33,5	5	142,1
			2					128,3
		Contrôle	1	08:52	11,7	33,6	5	132,7
			2					116,2
167	12/05/2015	Canal	1	11:17	13,1	33,9	5	140,8
			2					133,7
		Rejet	1	11:00	15,4	33,9	5	142,1
			2					149,8
		Contrôle	1	10:40	13,1	33,7	5	136,1
			2					136,4
168	27/05/2015	Canal	1	12:27	15,0	33,7	5	139,3
			2					139,7
		Rejet	1	12:13	18,0	33,7	5	134,9
			2					135,5
		Contrôle	1	11:56	14,3	33,7	5	122,4
			2					125,9

Tableau 6.1. : Caractéristiques des campagnes d'échantillonnage de l'ichtyoplancton sur le site du CNPE de Penly au printemps 2015

#### 6.1.1.4. 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 (ò ufs embryonnés de sprat, larves de soleí ). Le nombre d'individus comptés a ensuite été ramené au volume total de l'échantillon ( $\text{ind.m}^{-3}$ ). L'identification des ò ufs et larves s'est faite d'après Russel (1976).

## 6.1.2. Résultats

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

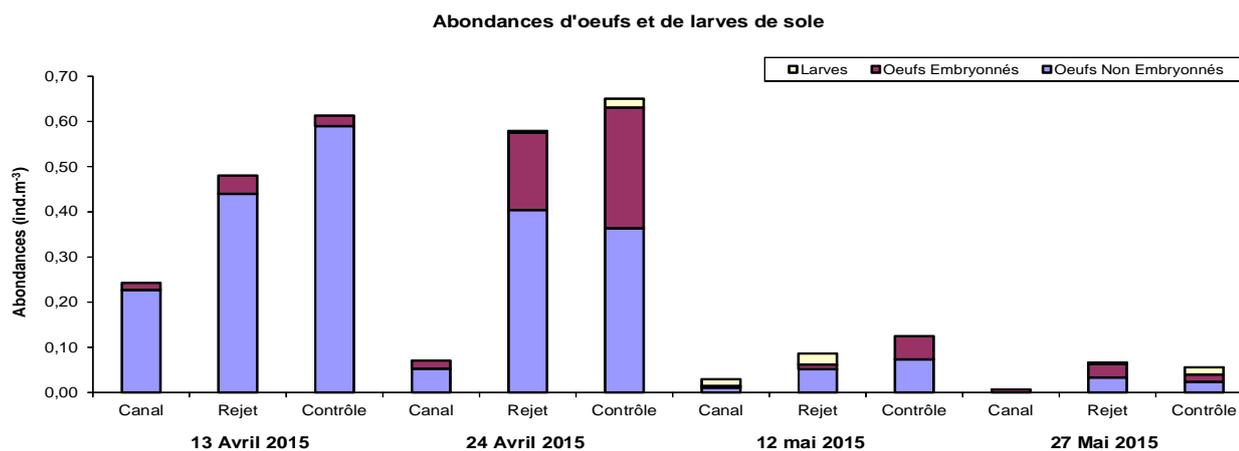
#### 6.1.2.1.1. Les %ufs et larves en 2015

Les abondances d'ò ufs et de larves de soles observées sur le site du CNPE de Penly en 2015 sont présentées dans le tableau 6.2.

Date	Point	Replicats	Total ò ufs	ñ ufs NE	ñ ufs E	Larves
13/04/2015	Canal	1	0,33	0,30	0,02	0,00
		2	0,16	0,15	0,01	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,24</b>	<b>0,23</b>	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>
	Rejet	1	0,49	0,46	0,03	0,00
		2	0,47	0,42	0,05	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,48</b>	<b>0,44</b>	<b>0,04</b>	<b>0,00</b>
	Contrôle	1	0,49	0,47	0,02	0,00
		2	0,74	0,71	0,02	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,61</b>	<b>0,59</b>	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>
24/04/2015	Canal	1	0,09	0,08	0,01	0,00
		2	0,05	0,03	0,02	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,07</b>	<b>0,05</b>	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>
	Rejet	1	0,46	0,31	0,15	0,01
		2	0,69	0,50	0,19	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,58</b>	<b>0,40</b>	<b>0,17</b>	<b>0,00</b>
	Contrôle	1	0,44	0,27	0,17	0,03
		2	0,82	0,46	0,36	0,01
		<b>Moyenne</b>	<b>0,63</b>	<b>0,36</b>	<b>0,27</b>	<b>0,02</b>
12/05/2015	Canal	1	0,01	0,01	0,00	0,01
		2	0,01	0,01	0,01	0,02
		<b>Moyenne</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>
	Rejet	1	0,08	0,06	0,02	0,03
		2	0,05	0,05	0,00	0,02
		<b>Moyenne</b>	<b>0,06</b>	<b>0,05</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>
	Contrôle	1	0,15	0,07	0,07	0,00
		2	0,10	0,07	0,03	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,12</b>	<b>0,07</b>	<b>0,05</b>	<b>0,00</b>
27/05/2015	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	0,11	0,07	0,04	0,00
		2	0,01	0,00	0,01	0,01
		<b>Moyenne</b>	<b>0,06</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>0,00</b>
	Contrôle	1	0,01	0,01	0,00	0,00
		2	0,07	0,04	0,03	0,03
		<b>Moyenne</b>	<b>0,04</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>

Tableau 6.2. : Abondances ( $\text{ind.m}^{-3}$ ) des ò ufs (NE, Non Embryonnés ; E, Embryonnés) et des larves de sole sur le site du CNPE de Penly au printemps 2015

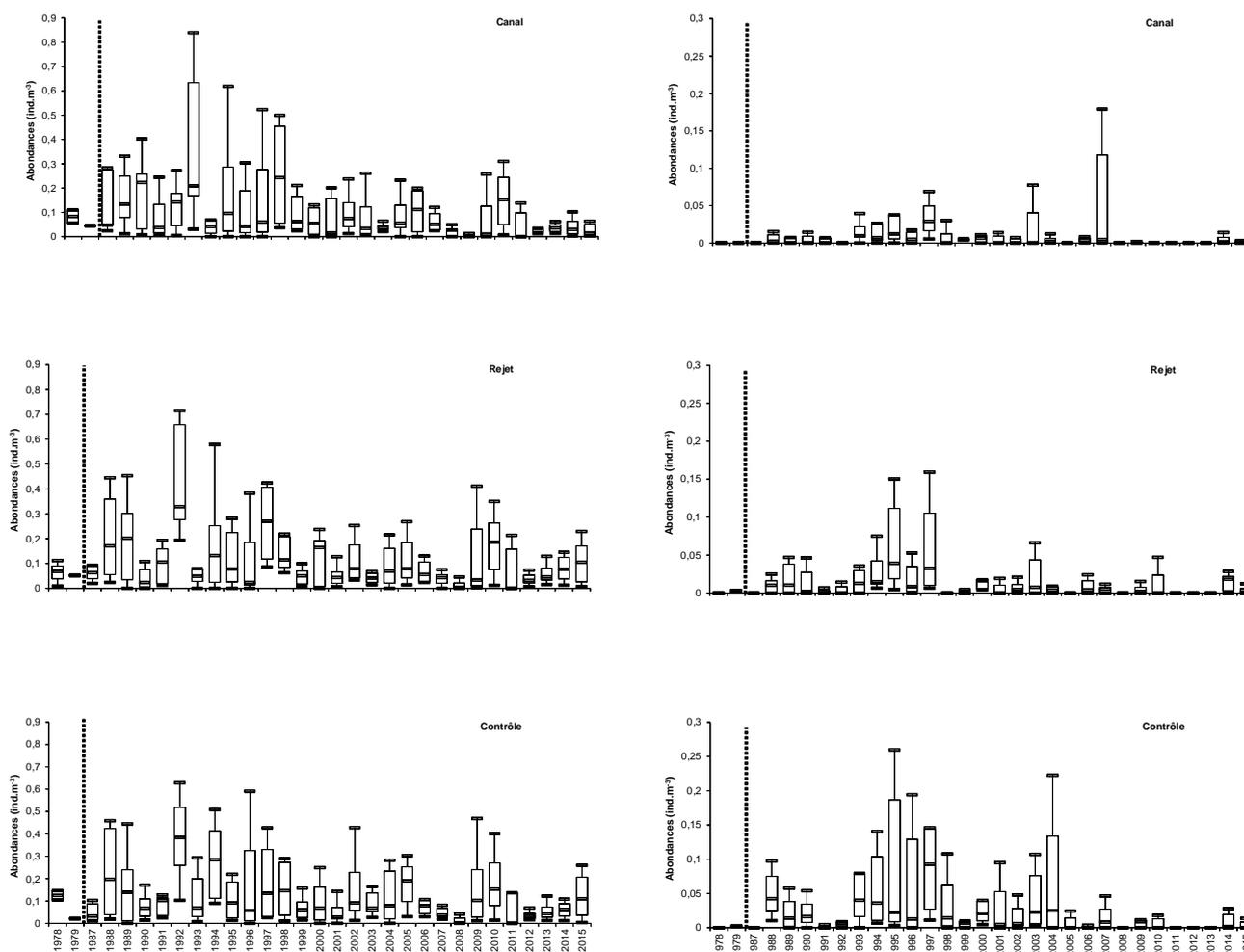
En 2015, les abondances les plus fortes (figure 6.1) ont été observées lors des deux premières campagnes, principalement aux points rejet et contrôle. Ce sont principalement des ò ufs non-embryonnés qui ont été observés. Quelques larves ont été observées notamment lors des deux dernières campagnes.



**Figure 6.1 : Abondances (moyennes sur les deux répliquats) d'œufs et de larves de sole sur le site du CNPE de Penly au printemps 2015 en fonction de la date et du point de prélèvement**

#### 6.1.2.1.2. 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 6.2.



**Figure 6.2 : 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 2015 montre des abondances plus fortes que les trois années précédentes en particulier aux points rejet et contrôle. Pour les larves, les abondances observées en 2015 confirment la légère augmentation déjà observée en 2014 par rapport aux années précédentes.

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

Compte tenu de l'absence de prélèvements de janvier à mars, aucun œuf ou larve de plie n'a été observé cette année. Les plus importantes concentrations avaient été relevées en janvier 1978 avec 0,1 œuf/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 œufs 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.

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

#### 6.1.2.3.1. Les œufs et larves en 2015

Les abondances d'œufs et de larves de limande pour 2015 sont présentées dans le tableau 6.3. 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	ñ œufs NE	ñ œufs E	Larves
13/04/2015	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	0,00	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>
	Contrôle	1	0,01	0,01	0,00	0,00
		2	0,02	0,00	0,02	0,00
		Moyenne	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>
24/04/2015	Canal	1	0,01	0,00	0,01	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		Moyenne	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>
	Rejet	1	0,03	0,01	0,02	0,00
		2	0,04	0,00	0,04	0,00
		Moyenne	<b>0,04</b>	<b>0,01</b>	<b>0,03</b>	<b>0,00</b>
	Contrôle	1	0,10	0,02	0,08	0,00
		2	0,18	0,09	0,09	0,00
		Moyenne	<b>0,14</b>	<b>0,06</b>	<b>0,09</b>	<b>0,00</b>
12/05/2015	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	0,00	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>
	Contrôle	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,01	0,00	0,01	0,00
		Moyenne	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>
27/05/2015	Canal	1	0,02	0,02	0,00	0,00
		2	0,01	0,00	0,01	0,00
		Moyenne	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>
	Rejet	1	0,05	0,01	0,04	0,00
		2	0,04	0,03	0,01	0,00
		Moyenne	<b>0,05</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,00</b>
	Contrôle	1	0,01	0,00	0,01	0,00
		2	0,01	0,00	0,01	0,00
		Moyenne	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>

Tableau 6.3 : 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 2015

En 2015, de faibles abondances d'œufs, majoritairement embryonnés, ont été observés principalement au point contrôle lors de la campagne du 24 avril (figure 6.3).

Abondances d'œufs et de larves de limande

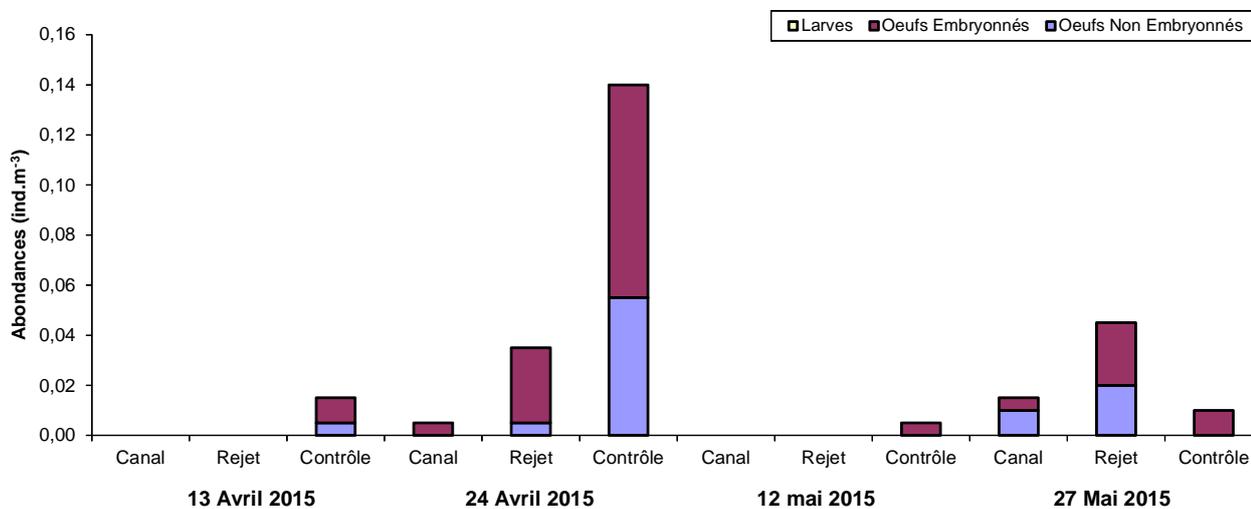


Figure 6.3 : Abondances (moyennes sur les deux répliquats) d'œufs et de larves de limande sur le site du CNPE de Penly au printemps 2015 en fonction de la date et du point de prélèvement

#### 6.1.2.3.2. Les oeufs 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 6.4.

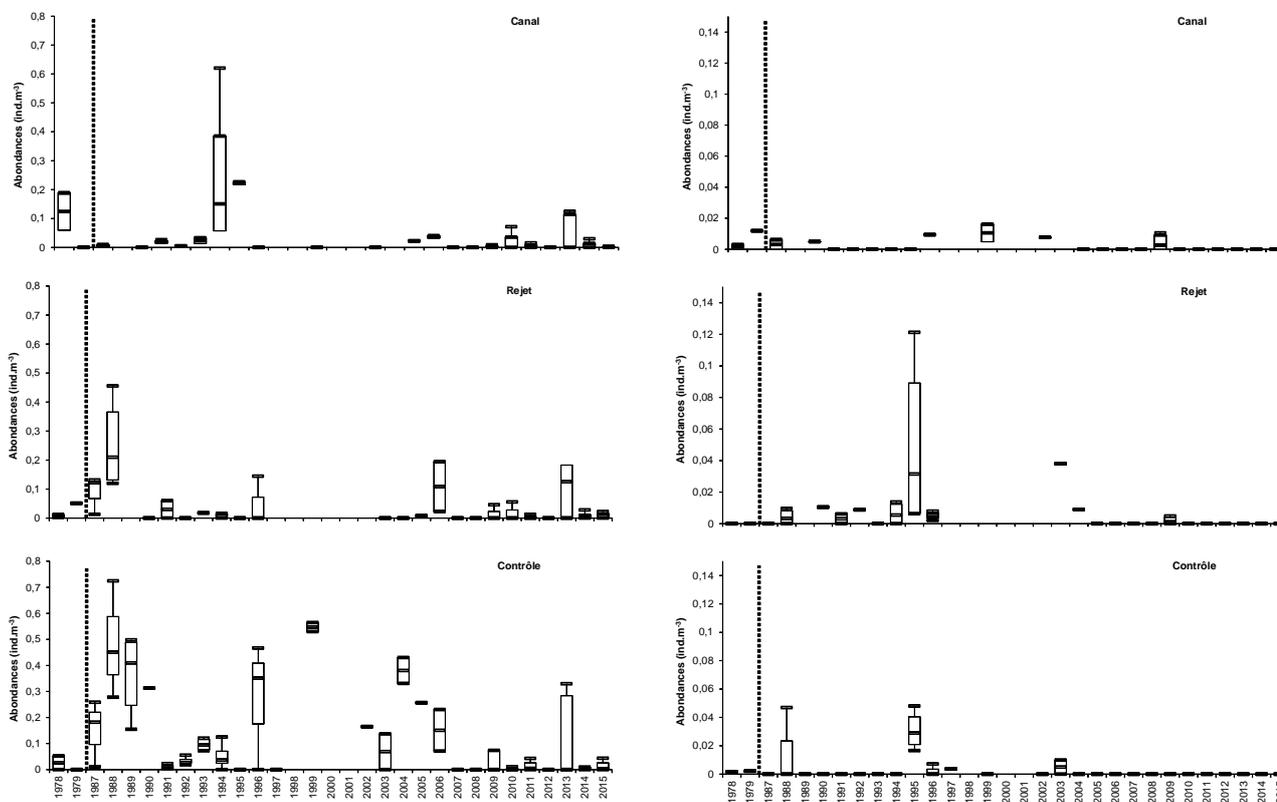


Figure 6.4 : Abondances (log-transformées) observées entre avril et mai des œufs (gauche) et larves (droite) de limande sur le site de la centrale de Penly depuis 1978 aux points canal (haut), rejet (milieu) et contrôle (bas)

Sur l'ensemble de la série, les abondances sont très faibles à la fois pour les œufs et pour les larves. L'année 2015 montre une présence potentielle d'œufs de limande.

#### 6.1.2.4. Le sprat (*Sprattus sprattus*)

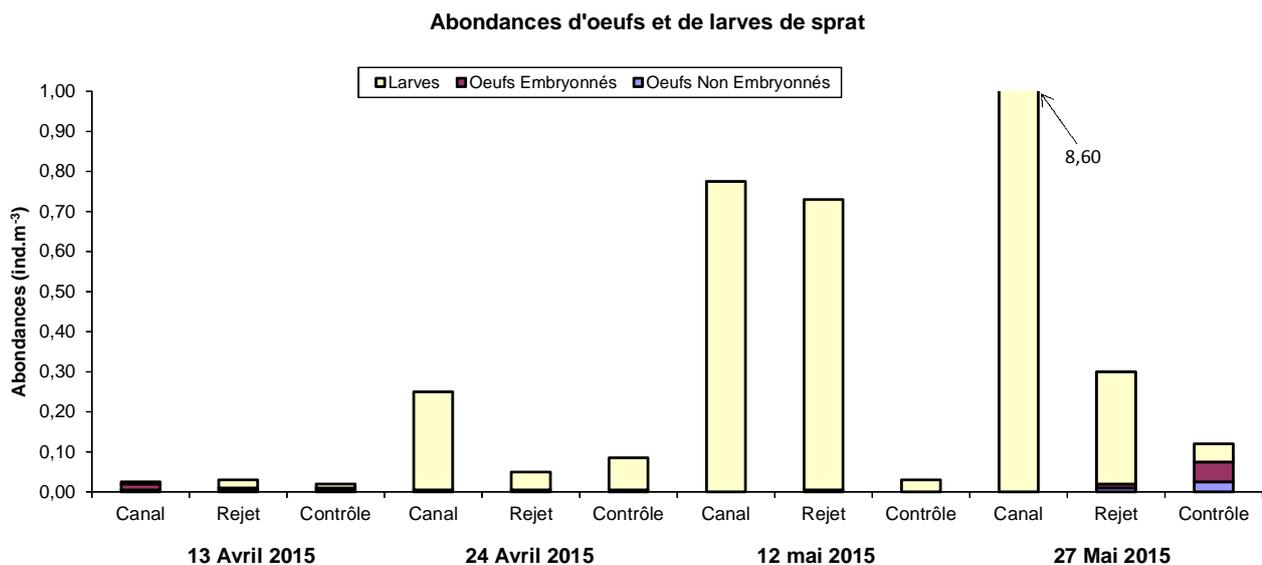
##### 6.1.2.4.1. Les œufs et larves en 2015

Les abondances des œufs et de larves de sprat pour 2015 sont présentées dans le tableau 6.4.

Date	Point	Replicats	Total œufs	ñ œufs NE	ñ œufs E	Larves
13/04/2015	Canal	1	0,02	0,00	0,02	0,00
		2	0,02	0,01	0,01	0,01
		<b>Moyenne</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>
	Rejet	1	0,01	0,00	0,01	0,02
		2	0,01	0,01	0,00	0,02
		<b>Moyenne</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>
	Contrôle	1	0,01	0,01	0,00	0,00
		2	0,01	0,00	0,01	0,02
		<b>Moyenne</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>
24/04/2015	Canal	1	0,01	0,01	0,00	0,34
		2	0,00	0,00	0,00	0,15
		<b>Moyenne</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,25</b>
	Rejet	1	0,00	0,00	0,00	0,06
		2	0,01	0,00	0,01	0,03
		<b>Moyenne</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,05</b>
	Contrôle	1	0,00	0,00	0,00	0,07
		2	0,01	0,00	0,01	0,09
		<b>Moyenne</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,08</b>
12/05/2015	Canal	1	0,00	0,00	0,00	0,80
		2	0,00	0,00	0,00	0,75
		<b>Moyenne</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,78</b>
	Rejet	1	0,01	0,01	0,00	0,70
		2	0,00	0,00	0,00	0,75
		<b>Moyenne</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,73</b>
	Contrôle	1	0,00	0,00	0,00	0,04
		2	0,00	0,00	0,00	0,02
		<b>Moyenne</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,03</b>
27/05/2015	Canal	1	0,00	0,00	0,00	8,27
		2	0,00	0,00	0,00	8,93
		<b>Moyenne</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>8,60</b>
	Rejet	1	0,03	0,01	0,02	0,32
		2	0,01	0,01	0,00	0,24
		<b>Moyenne</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,28</b>
	Contrôle	1	0,06	0,02	0,04	0,05
		2	0,09	0,03	0,06	0,04
		<b>Moyenne</b>	<b>0,08</b>	<b>0,03</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>

Tableau 6.4 : 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 2015

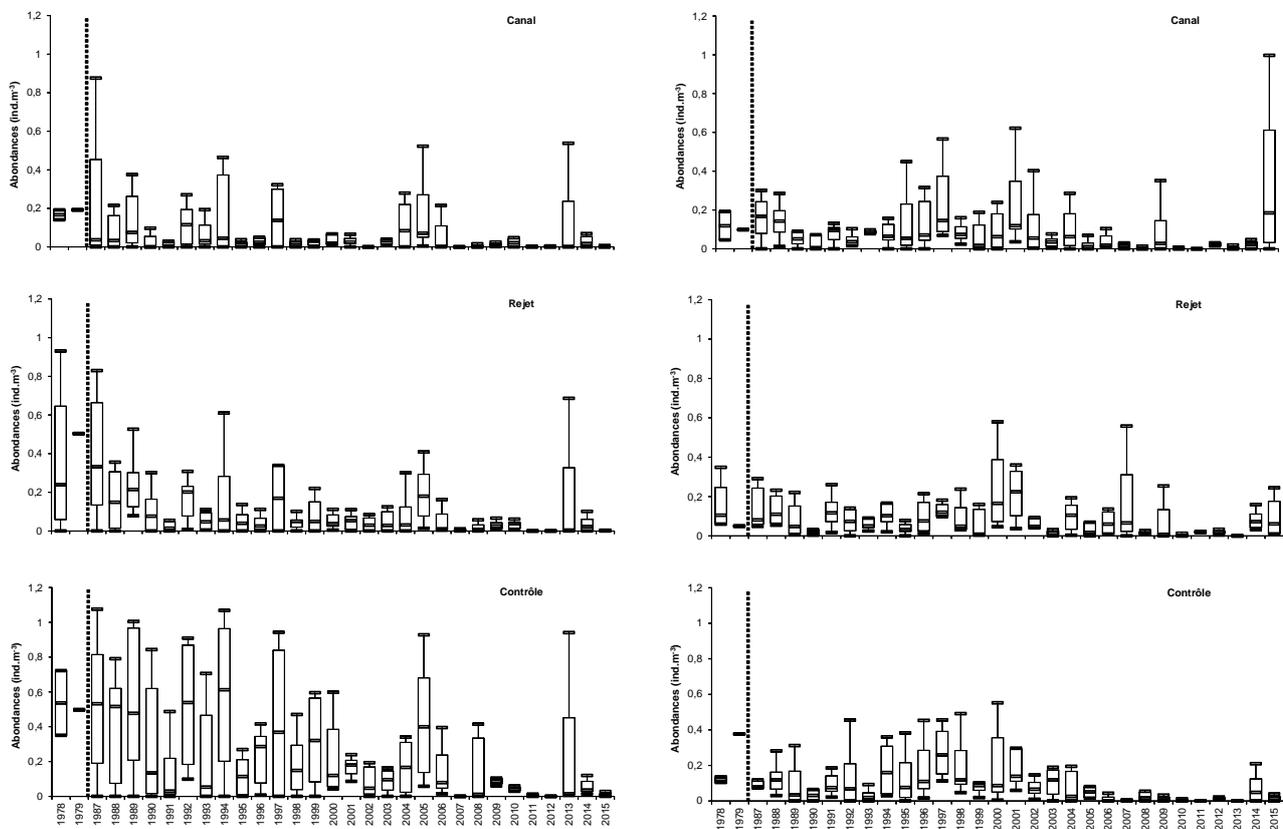
En 2015, ce sont majoritairement des larves qui ont été observées en particulier lors des campagnes du 12 et 27 mai. Lors de la campagne du 27 mai, des abondances très fortes ont été observées au point canal (figure 6.5)



**Figure 6.5 : Abondances (moyennes sur les deux répliquats) d'œufs et de larves de sprat sur le site du CNPE de Penly au printemps 2015 en fonction de la date et du point de prélèvement**

6.1.2.4.2. Les %ufs 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 6.6



**Figure 6.6 : 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 2015 montre des abondances parmi les plus faibles observées sur l'ensemble de la série. À l'inverse, pour les larves, les abondances observées au point canal sont les plus élevées de toute la série. Au point rejet, les abondances sont bien supérieures à celles observées les dernières années tandis qu'au point contrôle, elles sont assez faibles et comparables aux dix dernières années.

#### 6.1.2.5. La sardine (*Sardina pilchardus*)

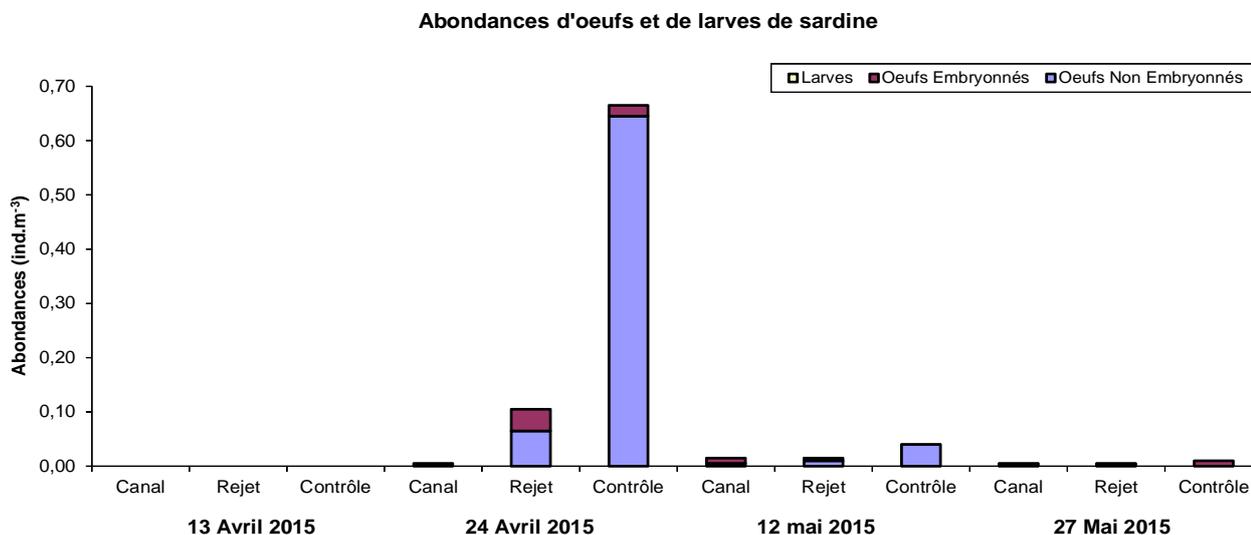
##### 6.1.2.5.1. Les œufs et larves en 2015

Les abondances des œufs et de larves de sardine pour 2015 sont présentées dans le tableau 6.5.

Date	Point	Replicats	Total œufs	ñ œufs NE	ñ œufs E	Larves
13/04/2015	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>
24/04/2015	Canal	1	0,01	0,01	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
	Rejet	1	0,03	0,02	0,01	0,00
		2	0,18	0,11	0,07	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,11</b>	<b>0,07</b>	<b>0,04</b>	<b>0,00</b>
	Contrôle	1	0,20	0,19	0,01	0,00
		2	1,13	1,10	0,03	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,67</b>	<b>0,65</b>	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>
12/05/2015	Canal	1	0,02	0,01	0,01	0,00
		2	0,01	0,00	0,01	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>
	Rejet	1	0,01	0,01	0,00	0,00
		2	0,02	0,01	0,01	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>
	Contrôle	1	0,04	0,04	0,00	0,00
		2	0,04	0,04	0,00	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,04</b>	<b>0,04</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
27/05/2015	Canal	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,01	0,01	0,00	0,00
		<b>Moyenne</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</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	0,02	0,00	0,02	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>

Tableau 6.5 : 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 2015

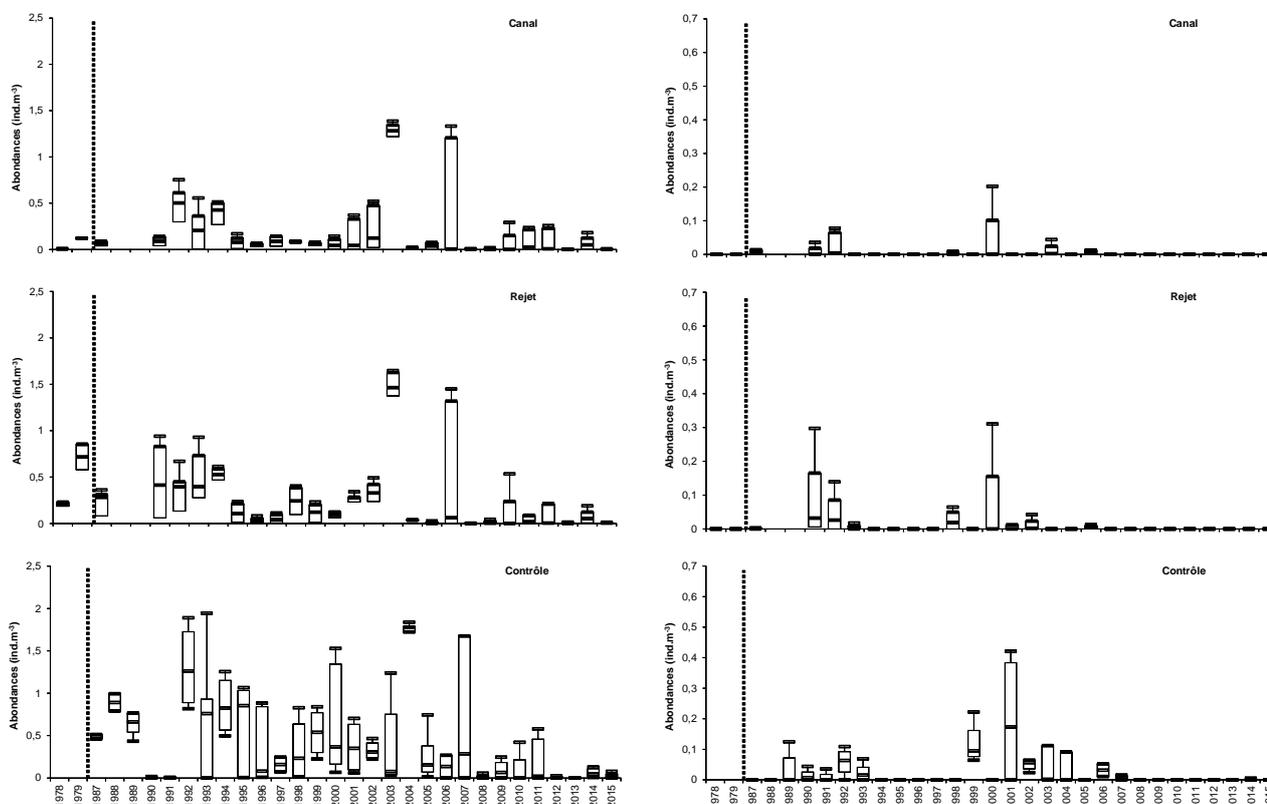
En 2015, ce sont majoritairement des œufs non-embryonnés qui ont été observés et les abondances les plus fortes ont été observées au point contrôle lors de la campagne du 24 avril. Aucune larve n'a été observée (figure 6.7.)



**Figure 6.7 : Abondances (moyennes sur les deux répliquats) d'œufs et de larves de sardine sur le site du CNPE de Penly au printemps 2015 en fonction de la date et du point de prélèvement**

#### 6.1.2.5.2. 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 6.8.



**Figure 6.8 : 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 2015 sont très faibles, notamment pour les larves depuis le milieu des années 2000.

## 6.2. 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 2015 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.

### 6.2.1. Chronologie des prélèvements

Les prélèvements ont pu être effectués lors de la dernière semaine d'août 2015, sur trois jours de mer.

Cinquante traits de chalut ont été réalisés dans la zone d'étude (figures 6.10 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.

### 6.2.2. 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.

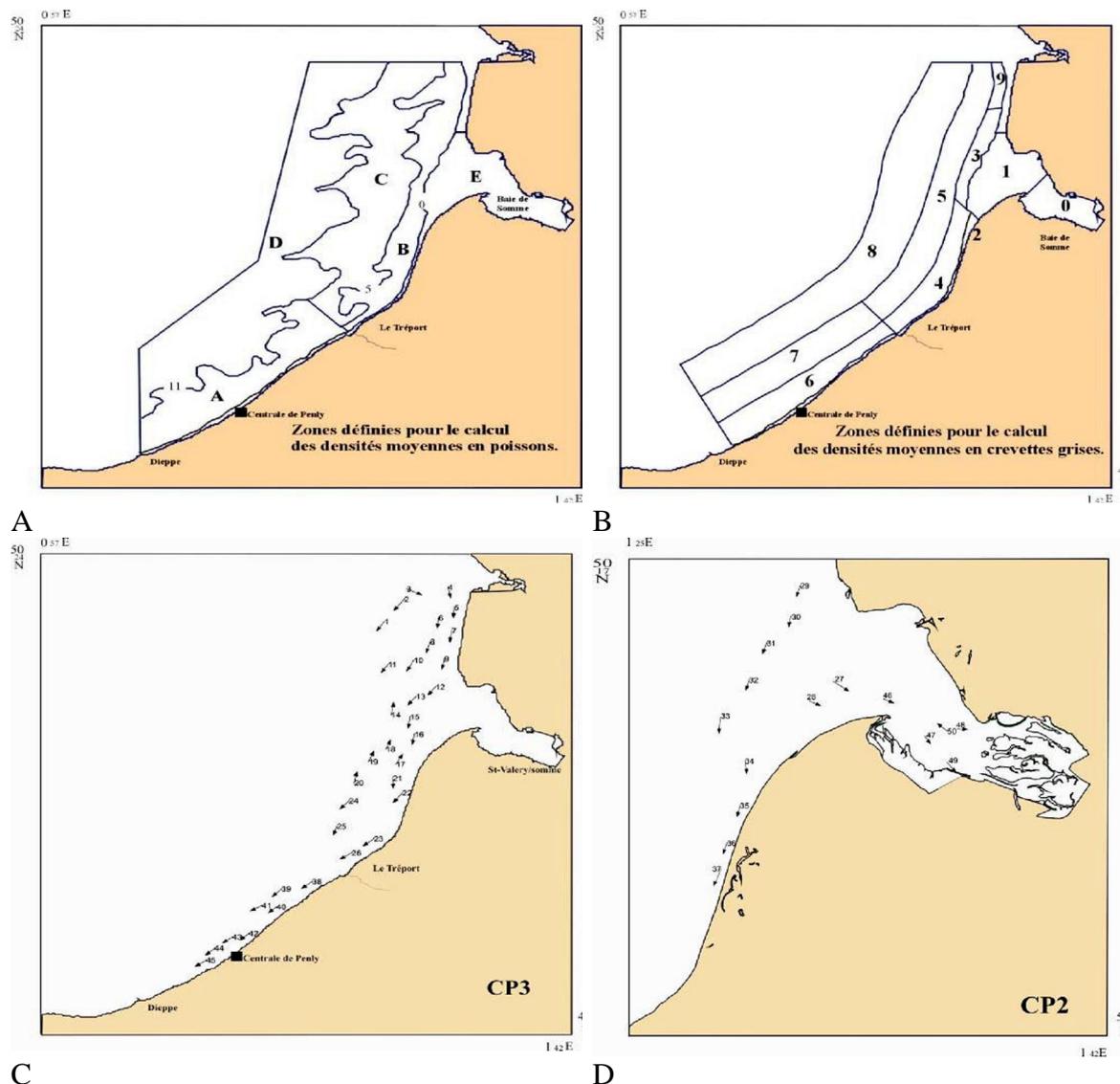


Figure 6.9 : Zones définies pour le calcul des densités moyennes et positions des chalutages en 2015

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'œchancrure 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 6.9 A) et dix (numérotées de 0 à 9) pour la crevette grise (figure 6.9 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).

### 6.2.3. 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 5).

#### 6.2.3.1. 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.

##### 6.2.3.1.1. La sole (*Solea solea*, L.)

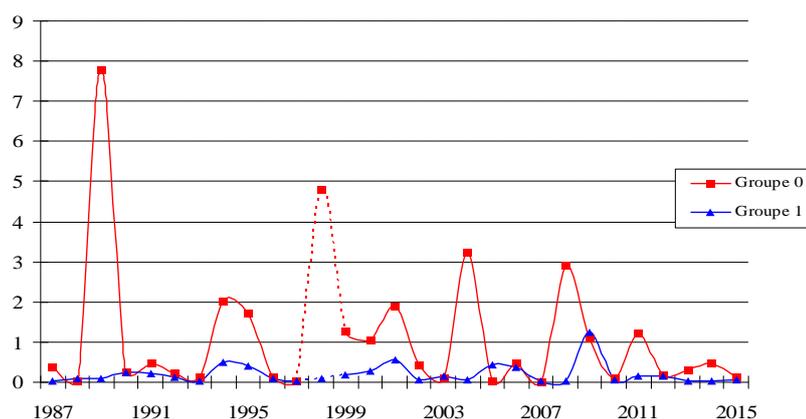
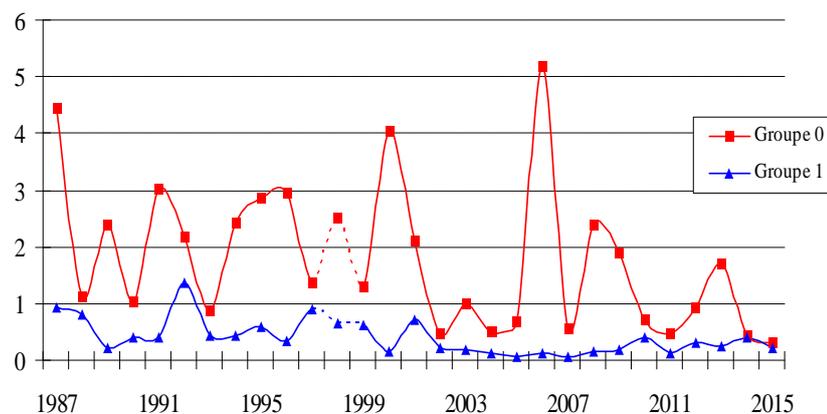
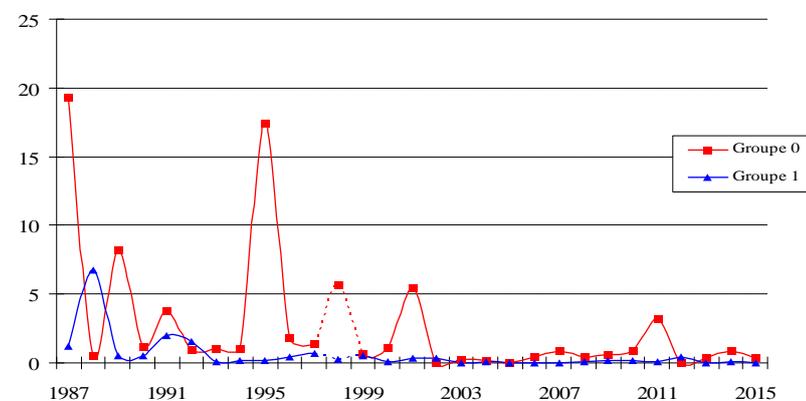
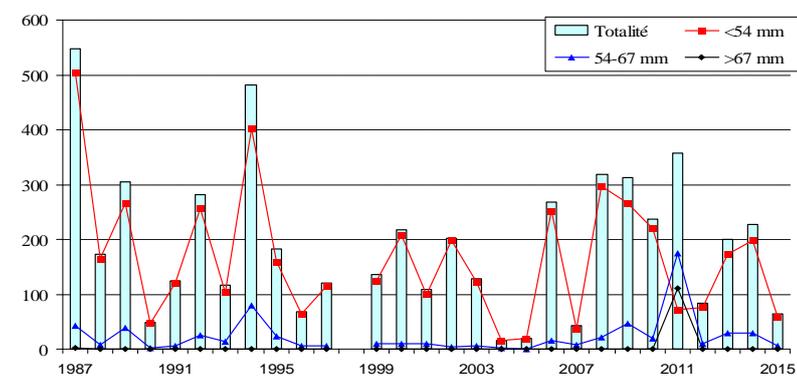
La sole est largement répandue dans l'Atlantique et les mers adjacentes, des côtes de Scandinavie au Sénégal. Espèce benthique, la sole vit de préférence sur des fonds meubles compris entre 10 et 70 m, à faciès sableux ou sablo-vaseux. De grande valeur commerciale, à chair très estimée, c'est le soléidé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

La densité en nombre d'individus par 1000 m<sup>2</sup> (annexe 6) sur l'ensemble de la zone prospectée est de 0,19. Le cumul des captures des strates E et B représente 64,7% des captures (annexe 1)

En 2015, l'indice d'abondance global du groupe 0 est de 0,12 ind./1000 m<sup>2</sup> (figure 6.10). Cet indice est en baisse par rapport à l'an dernier et représente l'une des valeurs les plus faibles depuis le début de la série historique. La figure 6.11 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 extérieurs de la baie avec cette année une densité de 2,18 ind./1000 m<sup>2</sup> (figure 6.11a) soit 92,1% de l'ensemble de captures (annexe 1). L'intérieur concentre la majorité de ces juvéniles.

Les individus du groupe 1 ont une répartition dispersée sur l'ensemble des zones échantillonnées mais la majorité des individus est capturée dans l'intérieur et aux abords de la baie (annexe 1). Toutefois avec 0,06 ind./1000 m<sup>2</sup> (annexe 1) l'indice global reste au même niveau que l'année 2014 soit l'un des plus faibles de la série historique.

Classiquement, très peu d'individus du groupe d'âge 2 sont capturés. Cette année la totalité des individus ont été répertoriés en quantité très faible (0,04 ind./1000 m<sup>2</sup>) dans la strate C.

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

**Figure 6.10 : 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)

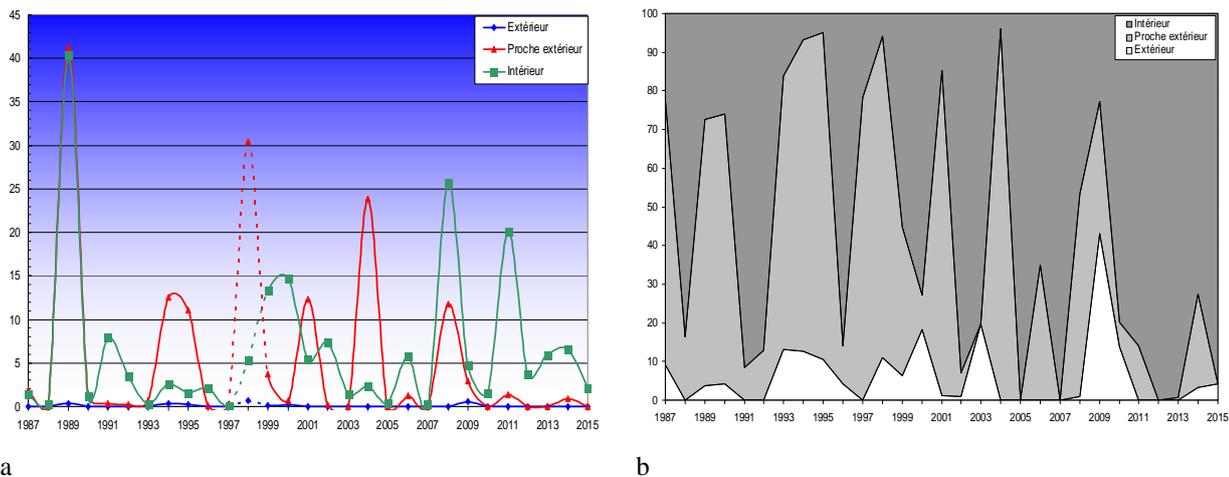


Figure 6.11 : répartition par strates des soles du groupe 0 (Strate E non représentative en 1998)

#### 6.2.3.1.2. 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'ufs 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.

La densité en nombre d'individus par 1000 m<sup>2</sup> (annexe 6) sur l'ensemble de la zone prospectée est de 0,77. Le cumul des captures des strates E et B représente 43,7% des captures (annexe 2).

L'indice d'abondance du groupe 0 est globalement de 0,31 ind./1000 m<sup>2</sup> (figure 6.11.). 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 1,80 ind./1000 m<sup>2</sup> pour la strate E et de 1,12 ind./1000 m<sup>2</sup> pour la strate B proche extérieur (figure 6.12a) qui représente 46,1% des captures de ce groupe d'âge.

Le groupe 1 présente un indice global de 0,23 ind./1000 m<sup>2</sup>, inférieur à celui constaté en 2014 et proche des plus bas observés depuis le début du suivi. La strate dominante est la strate C qui représente 62,8% des captures de ce groupe d'âge (annexe 2).

Les individus plus âgés (groupes 2 et 3+) fréquentent les eaux plus profondes soient les strates A et C (annexe 2). La strate dominante est la strate C qui représente plus de 50% des captures de ce groupe d'âge (annexe 9).

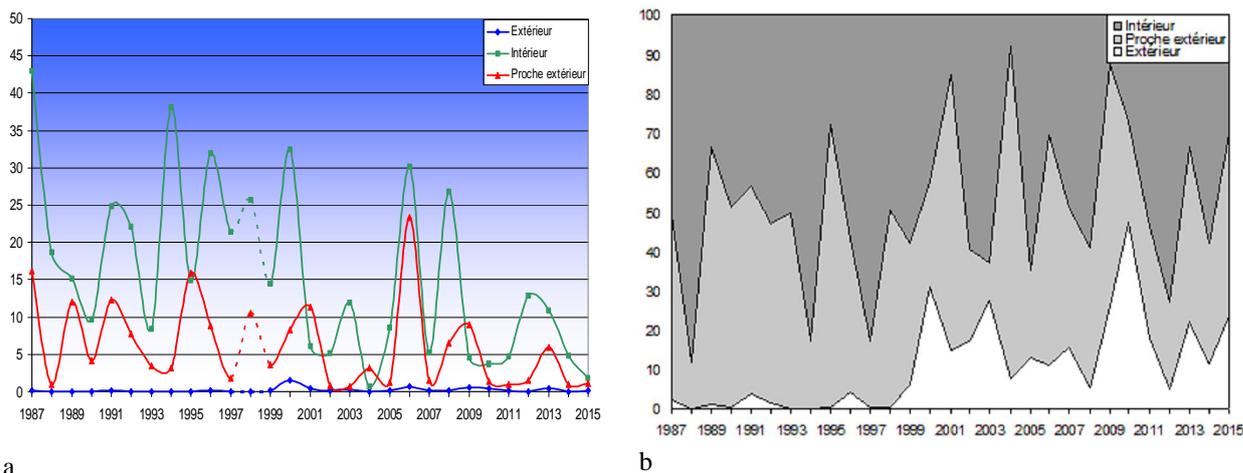


Figure 6.12 : répartition par strates des plies du groupe 0 (Strate E non représentative en 1998)

#### 6.2.3.1.3. 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.

En 2015, La densité en nombre d'individus par 1000 m<sup>2</sup> (annexe 6) sur l'ensemble de la zone prospectée est de 0,37. Le cumul des captures des strates E et B représente 85% des captures (annexe 3). Aucun individu n'a été capturé dans la strate A.

Le groupe 0 principalement capturé dans la strate B représente 67,9% de l'abondance globale (figure 6.13b) de ce groupe d'âge. La densité y est de 2,44 ind./1000 m<sup>2</sup> et son indice global sur l'ensemble de la zone est de 0,37 ind./1000 m<sup>2</sup> (annexe 6). L'abondance 2015 est parmi les valeurs les plus basses enregistrées depuis le début de la série historique (figure 6.11 et n'a pas beaucoup varié depuis 2002.

Le groupe 1 généralement capturé dans toutes les strates se situe uniquement, cette année, dans la strate C (0,09 ind./1000 m<sup>2</sup>). Il représente un indice d'abondance global particulièrement faible mais identique à ce qui est observé depuis 1993.

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

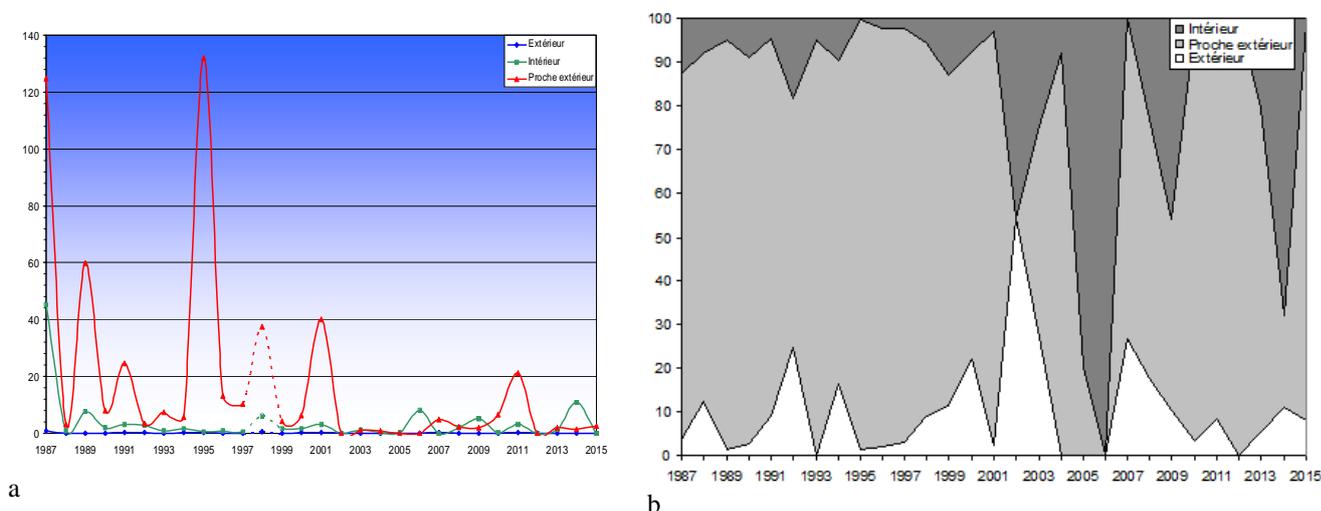


Figure 6.13 : répartition par strates des limandes du groupe 0 (Strate E non représentative en 1998)

#### 6.2.3.1.4. Barbue (*Scophthalmus rhombus*, L.)

Les barbues du groupe 0 ont été capturées dans la strate E (0,28 ind./1000m<sup>2</sup>). Quelques individus du groupe 1 ont été pêchés dans la strate A (annexe 8). La densité moyenne totale (annexe 6) sur l'ensemble de la zone est égale à 0,02 ind./1000 m<sup>2</sup>.

#### 6.2.3.1.5. Turbot (*Psetta maxima*, L.)

Les turbots du groupe 0 ont été capturés cette année dans les strates A, B et E. Quelques individus plus âgés (groupe 1) ont été capturés dans la strate A qui regroupe 100% des captures (annexe 9) de cette classe d'âge. La densité moyenne totale sur l'ensemble de la zone est comme l'an dernier de 0,02 ind./1000 m<sup>2</sup>. La strate A représente un peu plus de 79% des captures totales (annexe 7).

#### 6.2.3.1.6. Flet (*Platichthys flesus*, L.)

La strate E regroupe un peu plus de 85% des captures totales.

Les flets du groupe 0 ont été observés cette année, dans la strate E (0,76 ind./1000 m<sup>2</sup>). Un petit nombre d'individus du groupe 1 a été capturé dans les strates B et E avec respectivement 0,04 et 0,09 ind./1000 m<sup>2</sup> (annexe 8). Un seul individu du groupe 2 a été pêché dans la strate B. La densité moyenne totale sur l'ensemble de la zone est de 0,05 ind./1000 m<sup>2</sup> (annexe 6).

### 6.2.3.2. *Autres espèces de poissons*

#### 6.2.3.2.1. 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.

La totalité des individus a été capturé dans la strate E (annexes 6) lors du même trait de chalut. Les abondances des groupes d'âges 0 et 1 sont respectivement de 1,05 et 0,33 ind./1000 m<sup>2</sup>.

#### 6.2.3.2.2. 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>.

#### 6.2.3.2.3. 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 (longueur de la tête/longueur totale, nombre de vertèbres) on peut distinguer deux populations :

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

Aucun juvénile n'a été capturé en 2015.

#### 6.2.3.2.4. 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 dans le sud de la Mer du Nord. Elle fait l'objet d'une exploitation commerciale importante.

La strate E regroupe un peu plus de 90% (annexe 7) des captures totales avec une abondance de 1,07 ind./1000 m<sup>2</sup>.

Les individus du groupe 0 ont été prélevés majoritairement dans de la Baie de Somme, avec un indice d'abondance de 1,28 ind./1000 m<sup>2</sup> (annexe 8). Les individus d'âge supérieur (groupe 1) ont été observés dans la strate C (0,02 ind./1000 m<sup>2</sup>).

#### 6.2.3.2.5. Le tacaud (*Trisopterus luscus*, L.)

Les individus pêchés appartiennent au groupe 0. Ils ont été pêchés dans le même trait réalisé à la limite entre les zones A et B. Les captures sont très importantes cette année et correspondent à une densité de 79,41 ind./1000m<sup>2</sup> dans la strate A. Le caractère exceptionnelles des quantités pêchées en un point unique ne permet pas d'extrapoler la densité de tacauds à l'ensemble de la zone. C'est pourquoi le résultat de 11,21 ind./1000 m<sup>2</sup> calculé à partir de ce trait ne peut être significatif.

#### 6.2.3.2.6. 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.

### 6.2.3.3. Les crustacés

#### 6.2.3.3.1. 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 2015, la densité moyenne globale sur l'ensemble du secteur est de 63,2 ind./1000 m<sup>2</sup> (annexe 10). Elle est en forte diminution par rapport à ce qui avait été observé en 2014 (figure 6.10) et représente l'un des indices les plus faibles depuis 10 ans. L'essentiel des captures (99%) 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 uniquement dans la strate 1. Il est de 0,2 ind./1000 m<sup>2</sup> (annexe 4), ce qui est nettement inférieur à celui observé en 2014 et reste toujours aussi faible depuis plus de 10 ans.

#### 6.2.3.3.2. 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 2015, les indices d'abondance les plus élevés sont observés dans la strate A avec 0,24 ind./1000 m<sup>2</sup>, ce qui représente 55% de l'abondance totale. Aucune étrille n'a été pêchée dans la baie, ce qui n'était pas le cas l'année précédente. L'indice d'abondance total représente 0,06 ind./1000 m<sup>2</sup>; il est par conséquent très faible sur l'ensemble de la zone prospectée.

### 6.3. 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 2015. Pour ces deux espèces, l'année 2015 montre des abondances plus fortes que les années précédentes. Pour le sprat, les plus fortes abondances de larves jamais observées depuis le début du suivi ont été au point canal. Ces observations semblent confirmer une recrudescence du sprat au niveau du CNPE de Penly depuis quelques années. Cependant, la comparaison inter-annuelle des abondances reste délicate du fait du décalage probable entre les années de la période de ponte des espèces cibles en fonction des conditions environnementales. Le nombre limité de campagnes d'échantillonnage ne permettant pas de couvrir toute la période de présence des œufs et larves, ceci peut conduire à une interprétation erronée des abondances observées d'une année à l'autre. 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. 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). 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.

Nous ne pouvons pas conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu, généré par l'activité du CNPE de Penly, à partir de l'étude des espèces suivies dans la communauté ichtyoplanctonique en 2015.

La stratégie d'échantillonnage stratifié de la macrofaune halieutique a été maintenue et le plan d'échantillonnage prévu a pu être réalisé en 2015, malgré les conditions météorologiques plutôt défavorables rencontrées pendant la campagne de prospection.

Globalement en 2015 les indices d'abondance des trois premières espèces de poissons plats sont en baisse principalement à cause de la forte diminution des captures d'individus du groupe 0. Ils représentent des quantités très faibles d'individus échantillonnés et proches des plus bas historiques. Toutefois ces indices de juvéniles restent pour la sole et la limande dans l'intervalle des valeurs enregistrées depuis le début de cette étude du site. En ce qui concerne la plie, l'année 2015 représente le plus faible indice d'abondance du groupe 0 jamais enregistré. La répartition géographique des groupes d'âge reste similaire à celle des années antérieures. Cette année encore, en dehors de la sole tous les groupes d'âge sont représentés.

La campagne 2015 se caractérise par une très faible quantité des autres poissons plats capturés et représente par conséquent avec l'année 2014, l'une des campagnes les moins productives de la série historique. Les indices de juvéniles des principales espèces de poissons plats (soles, plies, limandes) et de crevettes grises constatés en 2015 sont toutefois dans la fourchette basse de l'intervalle des valeurs enregistrées depuis 1987. La répartition géographique des jeunes classes d'âge est similaire à celle observée depuis cette date.

La densité globale en crevettes grises observée en 2015 est en baisse comparée aux deux années précédentes. L'indice enregistré cette année est situé dans la partie basse 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 bord 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 (sole, plie, limande) et de crevettes grise constatés en 2015 sont dans la partie basse de l'intervalle des valeurs enregistrées depuis 1987. La répartition géographique des jeunes classes d'âge est similaire à celle observée depuis cette date.

## **7. Conclusions**



## Hydrologie

Afin d'expliquer l'évolution annuelle 2015 des paramètres suivis sur le CNPE de Penly il est nécessaire de rappeler les tendances générales climatiques à Dieppe en 2015.

L'année 2015 peut-être qualifiée d'année douce, les relevés de la température moyenne mensuelle de l'air étant au-dessus de la moyenne interannuelle de janvier à septembre (excepté en février). Les relevés de pluviométrie de l'année 2015 sont en dessous de la moyenne interannuelle, englobant les années 1960 à 2014, exceptés pour les mois de janvier, février et août. Enfin les débits de la Durdent et de la Béthune, se jetant à proximité de la CNPE de Penly, sont inférieurs aux moyennes mensuelles des données récoltées depuis 1941 et sont nettement plus faibles qu'en 2014.

Les **températures** de l'eau de mer relevées au point *rejet*, lors des trois campagnes 2015 sont proches des médianes pluriannuelles alors que sur les trois autres points elles sont plus faibles. Au printemps les températures sont les plus basses de l'année, tout comme dans l'air. Les écarts thermiques entre le point *rejet* et les points *canal* et *référence* restent forts au printemps et en été mais n'atteignent pas les maxima. Ils sont médians en automne. L'étude statistique sur les mesures 2015 révèle, toutes saisons confondues, une différence systématique entre chaque couple de stations, excepté pour *contrôle/canal* au printemps et pour *canal/référence* à l'automne. Le taux de dilution par le milieu récepteur de l'eau échauffée par le condenseur en sortie proche du canal se maintient entre 70 et 80% durant les trois campagnes.

Les **salinités** observées en été et en automne 2015 ont été proches des médianes pluriannuelles sur l'ensemble des points de surveillance, tandis qu'elles sont inférieures à la médiane au printemps. Les mesures effectuées au printemps 2015 révèlent des salinités plus faibles que celles mesurées aux deux autres saisons. Ces résultats sont à mettre en parallèle avec les données de débit qui sont plus fortes en mars qu'en juin et septembre. Une corrélation existe en effet entre le débit des deux cours d'eau que sont la Durdent et la Béthune et la salinité de l'ordre de 0,70/1. Les débits plus forts au printemps coïncident avec une pluviométrie plus forte (au dessus de la moyenne interannuelle) en janvier et février. En conséquence le gradient de salinité côtière n'est apparent qu'au printemps de manière croissante. Cela confirme l'hypothèse que l'influence première de la salinité aux abords de la centrale est le fleuve côtier dépendant des cours d'eau attenants à la centrale. Les tests statistiques, englobant l'ensemble des données acquises depuis le début du suivi, révèlent des différences significatives de salinité sur l'ensemble de couple de stations exception faite de *contrôle/référence*, stations se comportant de manière similaire.

Le suivi 2015 des **sels nutritifs** montre des niveaux de concentration majoritairement médian par rapport à l'ensemble des données mesurées depuis le début du suivi. C'est notamment le cas du nitrite lors des trois campagnes. Le nitrate, le phosphate et le silicate suivent un cycle côtier classique avec un épuisement en été et des taux proches entre le printemps et l'été. Les concentrations en silicate et de nitrate sont supérieures aux boîtes des boxplots au printemps et en été et proches de la médiane interannuel en automne. L'évolution de ces derniers en 2015 est à rapprocher de celle de la pluviométrie et des débits des cours d'eau ; ces derniers qui sont plus élevés en février ont pu entraîner un lessivage des sols plus intenses que la moyenne des autres années en mars.

La concentration de phosphate est proche des minima en été et de la médiane au printemps et en automne. Il semblerait que le phosphate ait donc été plus consommé ou dégradé entre le printemps et l'été, le taux moyen de diminution (englobant les quatre points) étant de 93% (écart type de 2,4) comparé au nitrate, 70% (écart type de 1,5) et au silicate, 59% (écart type de 6).

Les concentrations d'ammonium sont remarquables en automne et faiblement, voir non, détectés au printemps et en été. Cela se traduit par des données hors des boîtes de boxplot, au printemps et en été et proches des niveaux médians en automne. Il est possible que le cycle de l'azote, dans lequel apparaît l'ammonium, ait été plus efficace après la campagne de juin, le nitrate n'étant pas totalement épuisé lors de cette dernière.

Les résultats des tests statistiques confirment généralement ceux de l'an dernier. On distingue deux évolutions, une concernant l'historique de nitrate en été du couple de points *référence/contrôle* dont la différence devient non significative et l'autre concernant l'historique de nitrite à l'automne du couple *référence/rejet* dont la différence devient non significative.

La probabilité que la différence de l'historique estival de nitrate du point *référence* par rapport à celui du point *contrôle* soit non significative était de 0,03 en 2014 ce qui était proche du seuil de 0,05 atteint cette année permettant de dire que la différence n'est pas significative. Les concentrations proches des points *référence* et *contrôle* en été (respectivement de 8,77 et 9,70 µmol/L) de l'été 2015 ont probablement conforté cette tendance.

Concernant le suivi du nitrite des points *référence* et *rejet* en automne, la probabilité associée à une différence non significative en 2014 était de 0,048. Les résultats de l'automne 2015, proches des médianes pour les deux points en question, favorisent le dépassement du seuil de 0,05.

Pour rappel les résultats statistiques, tous sels nutritifs confondus, révèlent fréquemment l'absence de différence significative au printemps. Cela signifie qu'il y a plus fréquemment une homogénéité spatiale des points suivis au printemps et non en été et en automne, saisons où leur concentration est majoritairement plus faible. L'exception en 2015 des concentrations automnales d'ammonium, plus élevées sur les quatre points qu'au printemps, n'influence pas les résultats des tests statistiques et donc ce dernier constat.

En 2015, la mesure des **Matières En Suspension** montre un gradient décroissant côte-large en toutes saisons avec une concentration remarquable en automne sur le point *référence* qui est de 26,6 mg/L ; le maximum de l'année étant atteint au point *canal* en été avec 29,2 mg/L. Sur les points côtiers il n'apparaît pas de tendance saisonnière, le maximum étant atteint pour le point *canal* en été et pour le point *rejet* au printemps. Sur les points *référence* et *contrôle*, plus large, la quantité de MES est la plus forte en automne. Les mesures du printemps, sur les quatre points, sont proches des médianes, celles de l'été et de l'automne se situent différemment selon les points. Les points côtiers sont supérieurs aux boîtes des boxplot en été et plus proches des médianes à l'automne. Les points plus larges sont proches des médianes en été et supérieurs aux boîtes en automne.

On observe donc des données de MES remarquables à la côte en été et au large en automne. Le régime de vent est plus soutenu le 11 juin avec une moyenne de 15 nœuds et de direction EST tandis qu'il est de 7 nœuds en moyenne et de sud le 21 septembre (données Prévimer). Il est donc difficile d'établir un lien entre les données de vent et ceux de MES.

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 2015 trois mesures ont été quantifiées mais restent inférieures à la valeur de référence de 10 µg/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 2015 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.

## Microbiologie

A l'instar des années précédentes, en 2015 les plus fortes abondances en germes totaux ont été observées au cours de l'été sur l'ensemble de la zone d'étude. Cependant, en 2015 les résultats montrent une dynamique saisonnière différente de l'abondance en germes totaux entre les stations côtières (i.e. *canal* et *rejet*) et celles situées plus au large (i.e. *référence* et *contrôle*). Ainsi, sur les points *canal* et *rejet*, les abondances relevées en automne sont supérieures ou égales à celles du printemps, alors que sur les points *référence* et *contrôle* les abondances printanières sont supérieures à celles relevées en automne. L'été et l'automne 2015 se caractérisent par des abondances de germes totaux inférieures aux médianes pluriannuelles. A l'inverse les concentrations en germes totaux dans la colonne d'eau au printemps 2015 ont été supérieures aux médianes pluriannuelles sur l'ensemble de la zone.

A l'instar de ce qui a été observé précédemment sur la zone d'étude, 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.

L'évolution saisonnière des abondances de germes revivifiables au cours de l'année 2015 varie fortement entre les points d'échantillonnage. Néanmoins, les plus fortes abondances ont été relevées au printemps ou été sur l'ensemble de la zone d'étude, à l'instar de ce qui est généralement observé à proximité du CNPE de Penly. Les abondances en germes revivifiables observées au cours du printemps 2015 sont très proches des médianes pluriannuelles. En revanche, l'été et l'automne se caractérisent par des abondances de germes revivifiables plus faibles que celles généralement observées à cette période sur cette zone, et en particulier sur le point *rejet*. L'intégration des résultats de l'année 2015 met en évidence une différence significative entre le point *contrôle* et *rejet* au printemps, à l'instar de ce qui a été observé en 2014. 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 2015 sur le site de Penly sont en accord avec le cycle saisonnier observé généralement sur cette zone avec des abondances plus élevées en automne. Cependant, l'été 2015 est marqué par l'absence d'identification de vibrions halophiles cultivables sur milieu TCBS à 37°C sur les points *canal*, *référence* et *contrôle*. En revanche, des vibrions halophiles ont été dénombrés sur le point *rejet* au cours de cette même période. Les conditions, hydrologiques particulières rencontrées au cours de l'été 2015 et en particulier des températures de l'eau de mer plus faibles que les médianes pluriannuelles à cette période (Cf. chapitre « hydrologie ») peuvent partiellement expliquer l'absence de vibrions halophiles en juin 2015 sur les stations d'échantillonnage hors *rejet*. Les températures relativement faibles enregistrées au cours de l'été 2015 sur la zone proche de Penly (cf. Chapitre « Hydrologie » de ce rapport, figure 2.5), peuvent en partie expliquer les faibles abondances en vibrions halophiles mesurées en juin 2015. En effet les médianes interannuelles de température sont en été de 16,39°C sur le point *référence* et 16,9°C au point *canal*. Au cours de l'été 2015, les températures, de surface étaient de 15,2°C sur le point *référence* et 16,0°C sur le point *canal*, soit une différence de plus de 1°C par rapport aux médianes pluriannuelles sur l'ensemble de la

zone au cours de l'été 2015. Les abondances totales de vibrions halophiles observées en automne 2015 sont du même ordre de grandeur que celles relevées les années précédentes sur la plupart des stations d'échantillonnage avec cependant, des abondances légèrement plus faibles en septembre 2015 sur le point *référence*. 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 2015, trois espèces ont été identifiées à proximité du CNPE de Penly : *V. alginolyticus*, *V. vulnificus* et *V. parahaemolyticus*. Par ailleurs, un profil douteux de *V. cholerae* avait été observé, par la méthode EDF, sur le point *rejet* au mois de juin. Cette identification n'a pas été confirmée en biologie moléculaire.

L'espèce *Vibrio alginolyticus* est observée sur l'ensemble de la zone en automne et sur les stations les plus côtières au cours du printemps. *V. vulnificus* a été observée uniquement sur le point *contrôle* en automne. L'espèce *V. parahaemolyticus* a été observée au cours de cette même période automnale uniquement sur le point *canal*. Cette observation est en accord avec les suivis précédents montrant l'observation sporadique de cette espèce principalement en automne et en été sur ce point côtier. Cette espèce n'avait pas été observée à proximité du CNPE de Penly depuis 2012. En revanche, l'espèce *V. fluvialis* qui avait été identifiée pour la première fois sur cette zone en 2014, n'a pas été observée en 2015 au cours des différentes périodes d'échantillonnage à proximité du CNPE de Penly. Les données de 2015 confirment donc la dominance de *V. alginolyticus* dans les eaux proches de la centrale puisque cette espèce est systématiquement observée depuis 1999. La mise en évidence des autres espèces est nettement plus sporadique dans le temps comme dans l'espace.

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.

## Phytoplancton

Concernant la communauté phytoplanctonique, l'année 2015 a été marquée par des concentrations en chlorophylle *a* plutôt faibles, en particulier à la côte au cours de l'été. Néanmoins, ces concentrations restent dans la gamme des valeurs qui peuvent être mesurées en Manche Orientale au cours de cette période. Par ailleurs le cycle saisonnier des communautés phytoplanctoniques observé en 2015 à proximité du CNPE de Penly est en accord avec le cycle observé habituellement sur cette zone. Cependant, certaines particularités ont été observées et sont essentiellement liées aux conditions hydroclimatiques de l'année 2015 (cf. chapitre Hydrologie).

Comme les années précédentes, on observe sur le CNPE de Penly, un gradient côte-large, particulièrement marqué en été, avec des valeurs de chlorophylle *a* allant de 5.36 µg/L au point *canal* à 1.45 µg/L au point *référence*. Ce gradient est moins marqué au printemps et est quasiment inexistant en automne où 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 2015 sont comprises entre 10 en été au point *référence* et 319 au point *rejet* en mars.

Les paramètres photosynthétiques suivent une évolution saisonnière pouvant être corrélée en 2015 à l'abondance phytoplanctonique. Ainsi on constate en été et en automne une faible abondance phytoplanctonique alors que les flores effectuées au printemps sont riches en composition. Ces données sont en accord avec les résultats obtenus pour la production primaire.

Cette constatation est également mise en avant à travers le paramètre photosynthétique  $Y_{max}$ . En effet, les valeurs relevées au cours des campagnes de printemps et d'automne sont largement supérieures à celles observées en été. Ces observations, suggérant un moins bon état physiologique des cellules phytoplanctoniques en été. 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 2015.

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 2015 suit cette tendance générale : Les plus fortes abondances cellulaires ont été observées au mois de mars avec plus de 800 000 cellules par litre sur le point *rejet*. Un fort gradient décroissant côte large était alors observé entre le point *rejet* et le point *référence*.

En automne les abondances cellulaires sont restées stables et assez faibles, comme les années antérieures.

A l'instar des années précédentes, les diatomées ont largement dominé la communauté phytoplanctonique tout au long de l'année 2015 sur le site du CNPE de Penly. Néanmoins les valeurs de diatomées en automne 2015 sont assez faibles. Sur le point *référence* le 84% 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, 12% de la communauté est représentée par des dinoflagellés. Ceci est dû à la présence de *Proreocentrum sp.* et de *Scropsiella sp.* à hauteur respective de 2200 et 1600 cellules par litre sur ce point.

En 2015, les diatomées sont dominées au printemps par des *Skeletonemam costatum*, et des *Thalassiosiraceae*. En été la communauté de diatomées est plus hétérogène entre les points. Les *Thalassionema nitzschioides* sont davantage présents sur les points *canal* et *rejet*. Les *Guinardia* dominant ensuite sur le point *contrôle* et les *Chaetoceros* sur le point *référence*. Au mois de septembre, ce sont les *Thalassiosiraceae* qui composent l'essentiel du cortège floristique quel que soit le point suivi.

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 2015 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 2015.

## Zooplancton

Les données historiques acquises depuis 1993 indiquent que la biomasse sestonique au point *canal* est significativement plus faible en été et en automne que celles des autres points. Bien que les rapports C/N semblent indiquer que les échantillons sestoniques soient essentiellement composés de zooplancton, cette année encore, les tendances observées sur la biomasse sestonique ne reflétaient pas toujours les observations sur les abondances zooplanctoniques. Ces rapports C/N du seston montrent bien la difficulté qu'il y a à déduire, ou estimer, la biomasse du zooplancton, *sensus stricto*, à partir de ce type d'analyse. La contamination des échantillons filtrés par des débris minéraux, végétaux ou coquilliers dans un environnement sous fort hydrodynamisme où la remise en suspension des sédiments est importante, est trop aléatoire pour

pouvoir avoir une estimation fiable de la biomasse zooplanctonique. La composition zooplanctonique est également un facteur important faisant varier la biomasse sestonique. Par exemple, en mars la biomasse était faible au point *contrôle* malgré une abondance zooplanctonique très importante liée à la prolifération des jeunes larves de balanes (nauplii de cirripèdes). Ces larves sont très petites et ne représentent pas une biomasse importante par rapport à la biomasse planctonique constituée par l'ensemble des autres crustacés, beaucoup plus lourds, tels que les copépodes qui sont dominants en juin par exemple. Au mieux, l'analyse de la biomasse sestonique 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 2015 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. La campagne du mois de mars se distingue toujours des deux autres campagnes par la proportion importante de larves méroplanctoniques, notamment de cirripèdes et de gastéropodes cette année, alors que dans les échantillons de juin et septembre ce sont les organismes holoplanctoniques, copépodes, appendiculaires et chaetognathes qui dominent la communauté zooplanctonique.

La diversité spécifique des copépodes était faible ( $0.2 \text{ Bit. ind}^{-1}$ ) et composé en général de moins d'une dizaine d'espèces dont une seule peu représenter jusqu'à 88 % du peuplement. Le point *canal* était caractérisé par des abondances de copépodes dans l'ensemble plus faibles qu'aux autres points de prélèvement. Le fait que le point *canal* soit une station très enclavée et peu profonde peut sans doute expliquer ces différences d'abondance et aussi de composition spécifique. Les copépodes appartenant à l'ordre des calanoides, typiquement pélagiques (*Acartia*, *Temora*, *Centropages*, *Paracalanus* et *Pseudocalanus*) seront plus abondants sur les autres points de prélèvement alors que *Euterpina acutifrons* qui est une espèce d'harpacticoïde pélagique vivant plus en relation avec le sédiment sera plus abondant aux points *canal* et *rejet*.

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 tempérés de la Manche et de la baie sud de la Mer du Nord. Aux trois périodes d'observations, les valeurs enregistrées au niveau du rejet en mer s'inscrivent dans l'intervalle de celles des points *contrôle* et *référence*. L'influence des rejets du CNPE de Penly n'est donc pas décelable par la variabilité spatio-temporelle de la population zooplanctonique.

## 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 2015. Pour ces deux espèces, l'année 2015 montre des abondances plus fortes que les années précédentes. Pour le sprat, les plus fortes abondances de larves jamais observées depuis le début du suivi ont été au point canal. Ces observations semblent confirmer une recrudescence du sprat au niveau du CNPE de Penly depuis quelques années. Cependant, la comparaison inter-annuelle des abondances reste délicate du fait du décalage probable entre les années de la période de ponte des espèces cibles en fonction des conditions environnementales. Le nombre limité de campagnes d'échantillonnage ne permettant pas de couvrir toute la période de présence des œufs et larves, ceci peut conduire à une interprétation erronée des abondances observées d'une année à l'autre. 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. 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). Comme pour les années précédentes, il faut noter une quantité non négligeable d'ufs et de larves d'autres espèces présentes dans les échantillons collectés.

Nous ne pouvons pas conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu, généré par l'activité du CNPE de Penly, à partir de l'étude des espèces suivies dans la communauté ichtyoplanctonique en 2015.

La stratégie d'échantillonnage stratifié de la macrofaune halieutique a été maintenue et le plan d'échantillonnage prévu a pu être réalisé en 2015, malgré les conditions météorologiques plutôt défavorables rencontrées pendant la campagne de prospection.

Globalement en 2015 les indices d'abondance des trois premières espèces de poissons plats sont en baisse principalement à cause de la forte diminution des captures d'individus du groupe 0. Ils représentent des quantités très faibles d'individus échantillonnés et proches des plus bas historiques. Toutefois ces indices de juvéniles restent pour la sole et la limande dans l'intervalle des valeurs enregistrées depuis le début de cette étude du site. En ce qui concerne la plie, l'année 2015 représente le plus faible indice d'abondance du groupe 0 jamais enregistré. La répartition géographique des groupes d'âge reste similaire à celle des années antérieures. Cette année encore, en dehors de la sole tous les groupes d'âge sont représentés.

La campagne 2015 se caractérise par une très faible quantité des autres poissons plats capturés et représente par conséquent avec l'année 2014, l'une des campagnes les moins productives de la série historique.

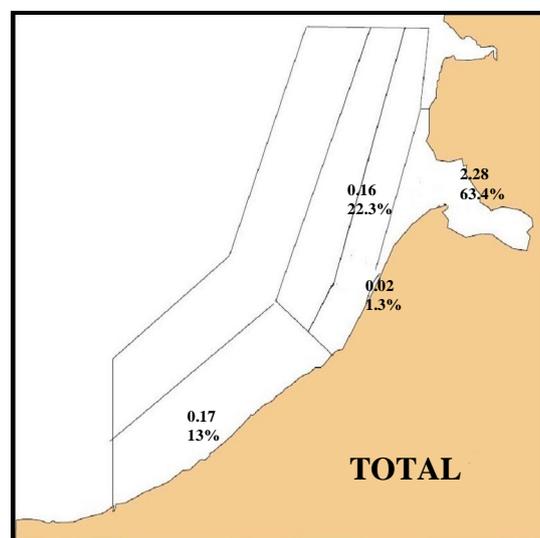
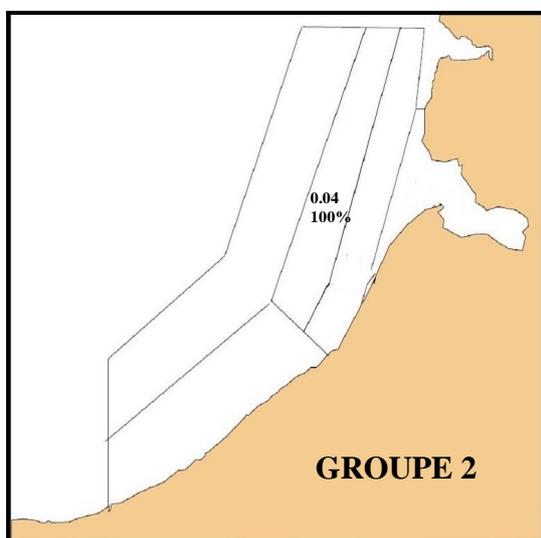
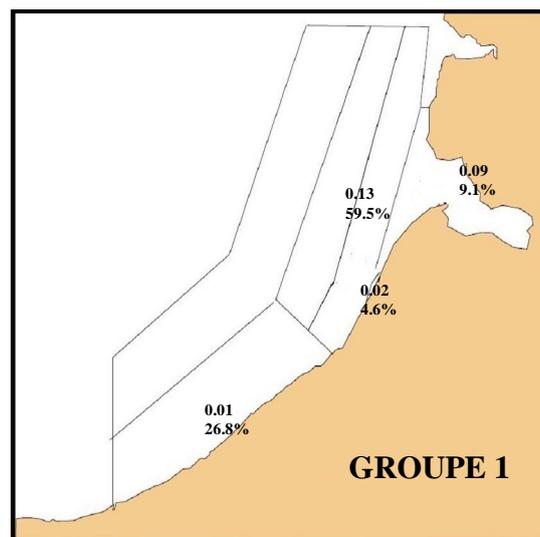
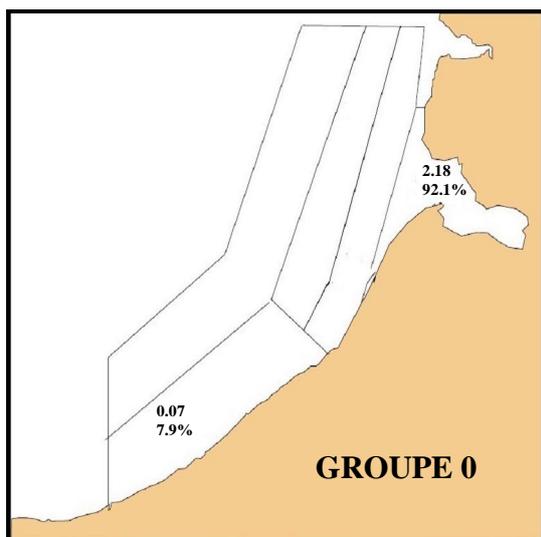
La densité globale en crevettes grises observée en 2015 est en baisse comparée aux deux années précédentes. L'indice enregistré cette année est situé dans la partie basse de ce qui est généralement observé. La répartition géographique de cette espèce reste comparable à celle des années antérieures, à savoir, à l'intérieur de la baie de Somme ou son abord immédiat.

L'étude du compartiment macro-faune 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 (sole, plie, limande) et de crevettes grise constatés en 2015 sont dans la partie basse de l'intervalle des valeurs enregistrées depuis 1987. La répartition géographique des jeunes classes d'âge est similaire à celle observée depuis cette date.

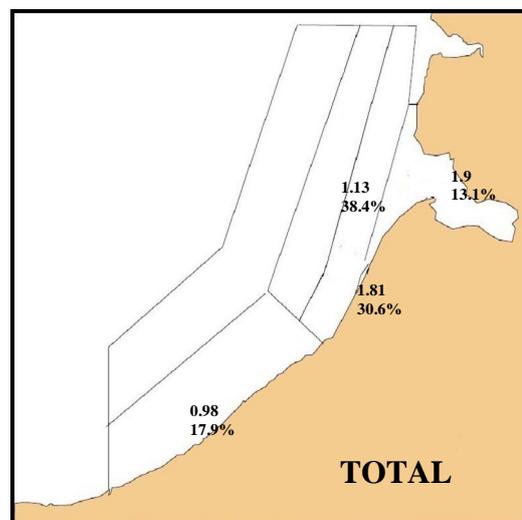
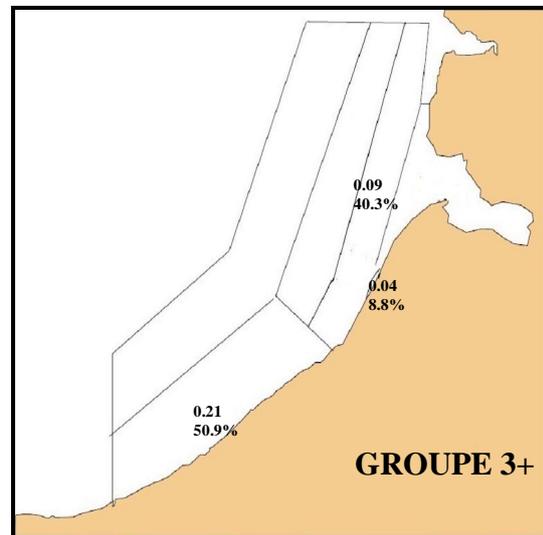
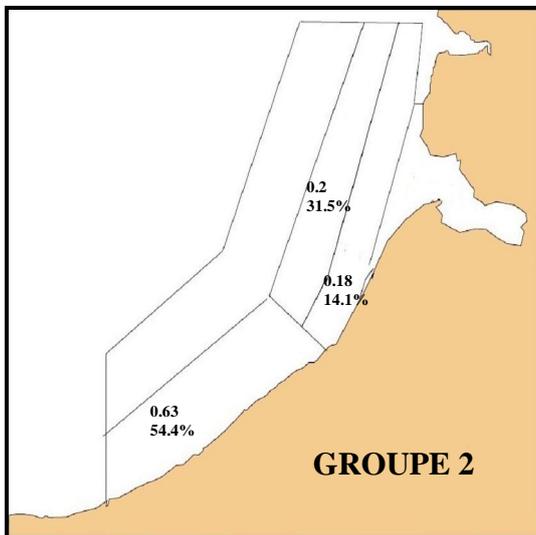
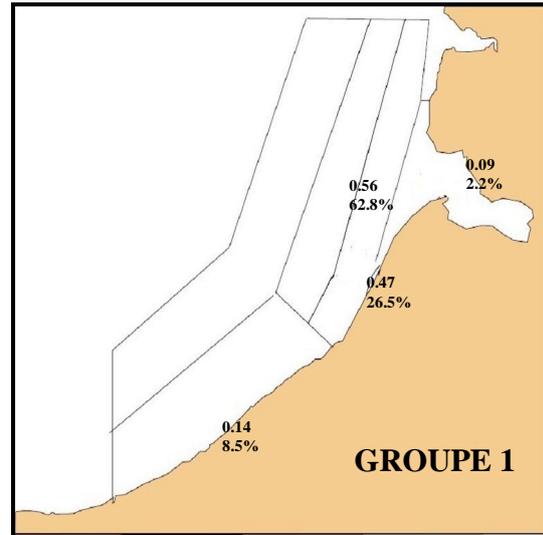
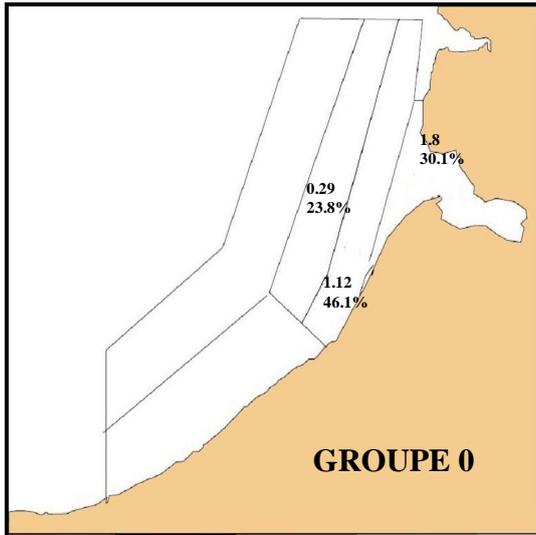


## **Annexes**

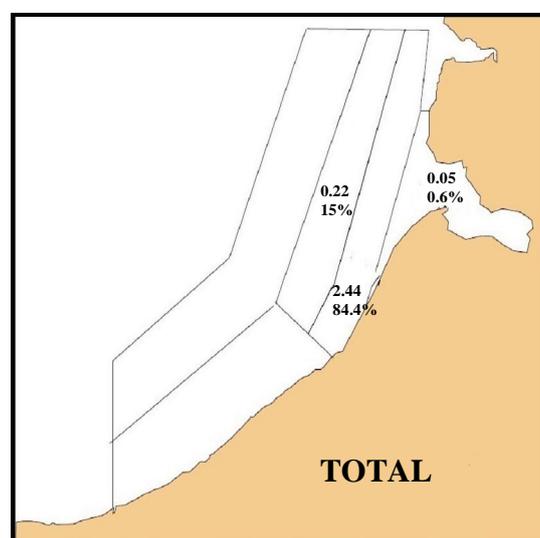
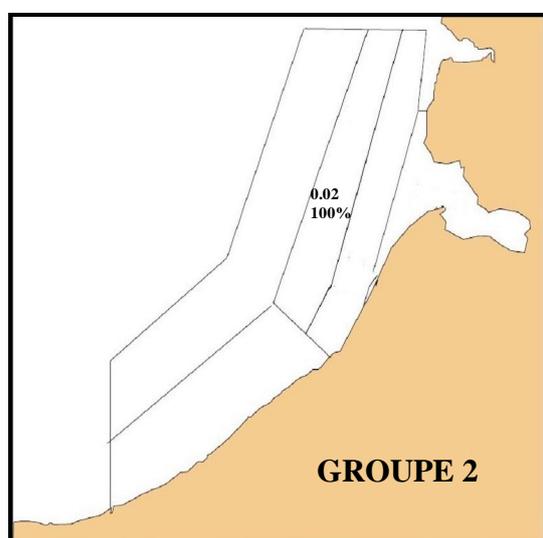
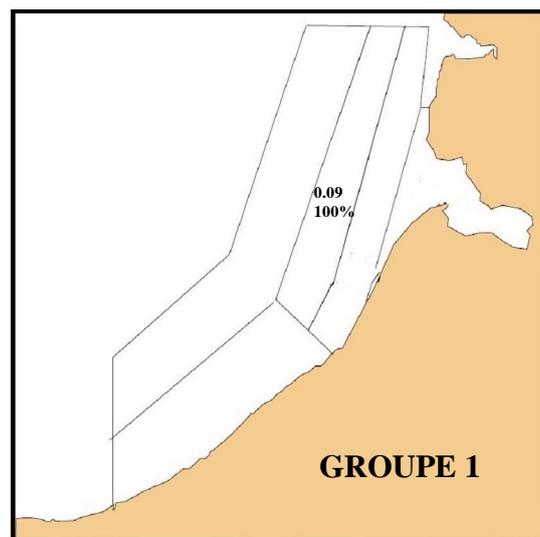
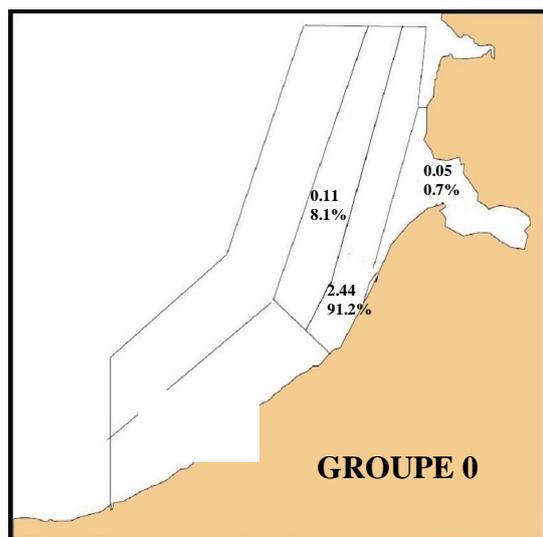




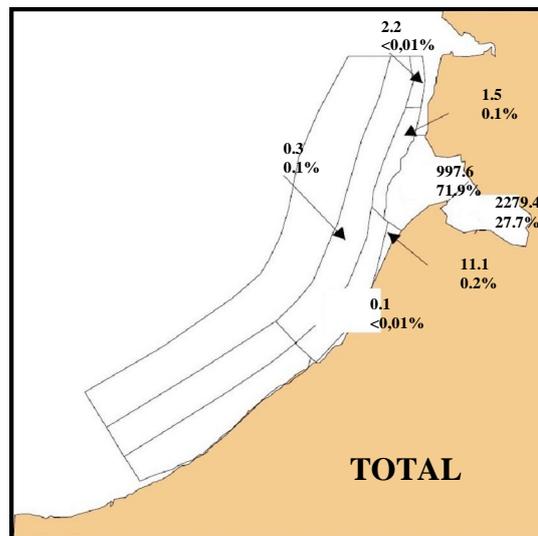
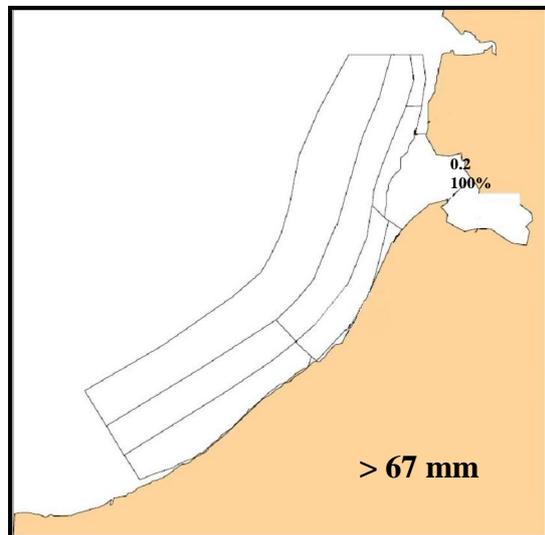
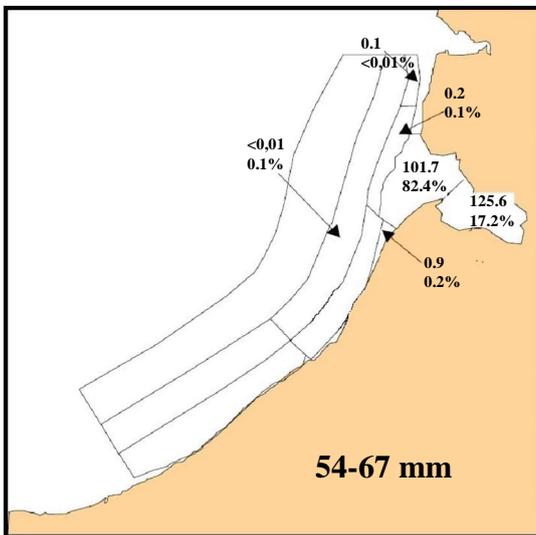
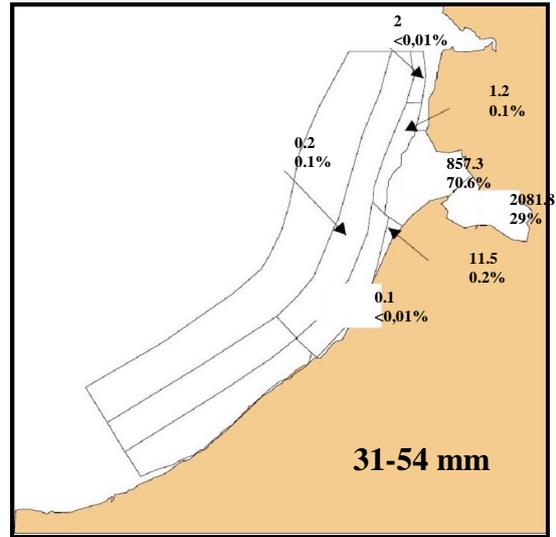
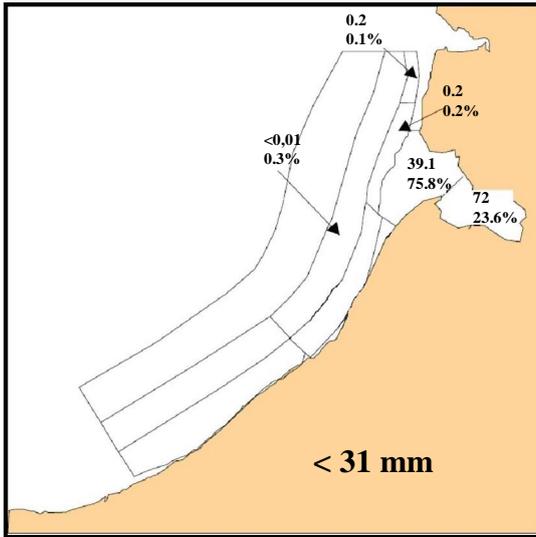
**Annexe 1 : SOLE ó août 2015**  
**Densités moyennes par strates (nb / 1000 m<sup>2</sup>) et pourcentages par rapport à l'abondance totale.**



**Annexe 2 : PLIE ó août 2015**  
**Densités moyennes par strates (nb / 1000 m<sup>2</sup>) et pourcentages par rapport à l'abondance totale**



**Annexe 3 : LIMANDE août 2015**  
**Densités moyennes par strates (nb / 1000 m<sup>2</sup>) et pourcentages par rapport à l'abondance totale**



**Annexe 4 : CREVETTE GRISE ó août 2015**  
 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	Code espèce	Nom Scientifique	Nom Vernaculaire
ABRAALB	<i>Abra alba</i>	"Abra"	LOLIGINX	<i>Loliginidae</i>	calmar
ACTISPP	<i>Actinia spp</i>	actinie	LUTRLUT	<i>Lutraria lutraria</i>	Luttraire
AGONCAT	<i>Agonus cataphractus</i>	souris de mer	MACOMA	<i>Macoma spp</i>	"Macoma"
ALCYGEL	<i>Alcyonidium gelatinosum</i>		MACRLON	<i>Macropodia longirostris</i>	"Macropodia"
ALLOSPP	<i>Alloteuthis</i>	petit calmar	MACRPUB	<i>Macropipus puber</i>	étrille
AMMOTOB	<i>Ammodytes tobianus</i>	équille	MAJASQU	<i>Maia squinado</i>	araignée de mer
ARNOSPP	<i>Arnoglossus spp</i>	arnoglosse	MERLMNG	<i>Merlangius merlangus</i>	merlan
ASCID	<i>Ascidiacea spp</i>	Ascidie	MYTIEDU	<i>Mytilus edulis</i>	moule
ASTERUB	<i>Asterias rubens</i>	étoile de mer	NASSSPP	<i>Nassarius spp</i>	nasse
BUGLLUT	<i>Buglossidium luteum</i>	petite sole jaune	NATIALD	<i>Natica alderi</i>	natrice
CALLLYR	<i>Callionymus lyra</i>	dragonnet	OPHUALB	<i>Ophiura albida</i>	ophiure
CANCPAG	<i>Cancer pagurus</i>	tourteau	OPHUOPH	<i>Ophiura ophiura</i>	grande ophiure
CARMAE	<i>Carcinus maenas</i>	crabe vert	OSTREDU	<i>Ostrea edulis</i>	huitre
CILIMUS	<i>Ciliata mustela</i>	motelle	PAGUCUA	<i>Pagurus Cuanensis</i>	Pagure Poilu
CLUPHAR	<i>Clupea harengus</i>	hareng	PALALON	<i>Palaemon longirostris</i>	crevette blanche
CRANCRA	<i>Crangon crangon</i>	crevette grise	PALASER	<i>Palaemon serratus</i>	bouquet
CREPFOR	<i>Crepidula fornicata</i>	crépidule	PECR	<i>Pectinaria</i>	ver pectinaire
DICELAB	<i>Dicentrarchus labrax</i>	bar	PHICTRI	<i>Philocheirus trispinosus</i>	"crevette"
DIOGPUG	<i>Diogenes pugilator</i>	bernard- l'ermite"gaucher"	PLATFLE	<i>Platichthys flesus</i>	flet
DONAX	<i>Donax spp</i>	donace	PLEUPLA	<i>Pleuronectes platessa</i>	plie
ECHICOR	<i>Echinocardium cordatum</i>	oeuf de grisard	PORTLAT	<i>Portunus latipes</i>	"crabe"
ECHIVIP	<i>Echiichthys vipera</i>	petite vive	PSAMMIL	<i>Psammechinus miliaris</i>	oursin vert
ENSISPP	<i>Ensis spp</i>	couteau	PSETMAX	<i>Psetta maxima</i>	turbot
EUPABER	<i>Eupagurus bernhardus</i>	bernard-l'ermite	RAJACLA	<i>Raja clavata</i>	raie bouclée
EUTRGUR	<i>Eutrigla gurnardus</i>	grondin gris	SCOPRHO	<i>Scophthalmus rhombus</i>	barbue
FLUTFOL	<i>Flustra foliacea</i>		SEPIOFF	<i>Sepia officinalis</i>	seiche
FMNUDIB	<i>Nudibranchia</i>	Nudibranche	SEPISTP	<i>Sepioida spp</i>	sépiole
FMPORYF	<i>Porifera</i>	spongiaire	SOLELAS	<i>Solea lascaris</i>	sole pole
GOBIIDAX	<i>Gobiidae</i>	gobie	SOLEVUL	<i>Solea vulgaris</i>	sole commune
HIPPSPP	<i>Hippocampus spp</i>	Hippocampe	SPISOVA	<i>Spisula ovalis</i>	spisule ovale
HYPELAN	<i>Hyperoplus lanceolatus</i>	lançon, équille	SPONCAN	<i>Spondyliosoma cantharus</i>	dorade grise
INAC	<i>Inachus</i>	macropodia	SPRASPR	<i>Sprattus sprattus</i>	sprat
LIMALIM	<i>Limanda limanda</i>	limande	SYNGSPP	<i>Syngnathus spp</i>	aiguille de mer
LIOCDEP	<i>Liocarcinus depurator</i>	crabe "nageur"	TRACDRA	<i>Trachurus draco</i>	grande vive
LIOCHOL	<i>Liocarcinus holsatus</i>	"crabe nageur"	TRACTRU	<i>Trachurus trachurus</i>	chinchard
LIOCMAR	<i>Liocarcinus marmoreus</i>	"crabe nageur"	TRIGLUC	<i>Trigla lucerna</i>	grondin perlon
LIOCVER	<i>Liocarcinus vernalis</i>	crabe "nageur"	TRISLUS	<i>Trisopterus luscus</i>	tacaud

## Annexe 5 : Table des espèces observées à l'automne 2015

Code Espèce	Strate A	Strate B	Strate C	Strate E	Totale	Code Espèce	Strate A	Strate B	Strate C	Strate E	Totale
ABRAALB	0,00	0,02	0,00	0,00	<0,01	MACOMA	0,00	0,08	0,00	0,05	0,01
ACTISPP	0,00	0,04	0,09	0,00	0,03	MACRLON	0,94	2,16	3,65	0,00	1,36
AGONCAT	0,00	0,16	0,02	0,28	0,04	MACRPUB	0,24	0,00	0,11	0,00	0,06
ALCYGEL	0,80	0,79	10,58	2,61	3,11	MAJASQU	0,03	0,02	0,00	0,00	0,01
ALLOSPP	0,24	0,02	0,14	0,09	0,08	MERLMNG	0,00	0,02	0,02	1,28	0,07
AMMOTOB	0,00	0,00	0,02	0,00	<0,01	MYTIEDU	0,00	0,02	0,07	0,00	0,02
ARNOSPP	0,28	1,57	2,80	0,00	0,97	NASSSPP	0,56	23,55	54,32	8,30	17,70
ASCIDSP	0,00	0,10	0,14	0,00	0,05	NATIALD	0,00	0,16	0,36	0,00	0,11
ASTERUB	0,03	3,07	2,80	0,00	1,13	OPHISPP	0,70	27,87	91,00	0,00	27,39
BUGLLUT	0,14	5,64	5,62	0,14	2,22	OSTREDU	0,03	0,00	0,00	0,00	<0,01
CALLLYR	9,63	25,99	10,02	3,70	7,53	PALALON	0,00	0,00	0,00	0,24	0,01
CANCPAG	0,03	0,00	0,00	0,00	<0,01	PALASER	0,00	0,00	0,00	0,09	<0,01
CARMAE	0,03	7,04	0,05	61,18	4,15	PECR	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01
CILIMUS	0,00	0,00	0,02	0,00	<0,01	PHICTRI	0,00	0,06	0,18	0,00	0,05
CLUPHAR	0,00	0,00	0,00	1,47	0,08	PLATFLE	0,00	0,06	0,00	0,85	0,05
CREPFOR	0,03	0,00	0,16	0,00	0,05	PLEUPLA	0,98	1,81	1,13	1,90	0,77
DICELAB	0,00	0,00	0,00	1,90	0,10	PORTLAT	0,00	0,02	0,00	1,57	0,08
DONAX	0,00	24,28	18,50	4,41	8,19	PSAMMIL	0,00	0,24	3,05	0,05	0,83
ECHICOR	0,00	0,98	1,81	0,00	0,60	PSETMAX	0,14	0,02	0,00	0,05	0,02
ECHIVIP	1,05	13,07	4,72	19,21	4,08	RAJACLA	0,94	1,87	0,93	0,47	0,64
ENSISPP	0,00	0,00	0,00	0,05	<0,01	SCOPRHO	0,03	0,00	0,00	0,28	0,02
EUPABER	1,22	4,56	14,08	16,36	5,29	SEPIOFF	0,00	1,02	0,52	0,43	0,29
EUTRGUR	0,00	0,00	0,02	0,00	<0,01	SEPISPP	0,00	0,33	0,45	0,24	0,17
FLUTFOL	0,00	0,29	0,04	0,00	0,05	SOLELAS	0,00	0,00	0,00	0,05	<0,01
FMNUDIB	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	SOLEVUL	0,17	0,02	0,16	2,28	0,19
FMPORYF	0,03	0,00	0,04	0,00	0,01	SPISOVA	0,00	0,16	0,07	0,00	0,04
GOBIIDAX	0,24	2,97	0,63	15,03	1,37	SPONCAN	0,00	0,02	0,00	0,00	<0,01
HIPPSP	0,00	0,33	0,16	0,00	0,09	SPRASPR	0,00	0,00	0,00	0,38	0,02
HYPELAN	0,14	0,08	0,11	0,00	0,06	SYNGSPP	0,00	0,04	0,00	0,43	0,03
LIMALIM	0,00	2,44	0,22	0,05	0,37	TRACDRA	0,00	0,00	0,02	0,00	<0,01
LIOCSP	0,31	4,46	0,25	10,67	1,25	TRACTRU	0,00	0,10	0,09	0,00	0,04
LOLIGINX	0,10	0,00	0,09	0,00	0,04	TRIGLUC	0,00	0,31	0,02	2,80	0,19
LUTRLUT	0,00	0,12	0,07	0,00	0,03	TRISLUS	79,41	0,00	0,00	0,00	11,21

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	100,00	0,00	0,00
ACTISPP	0,00	17,91	82,09	0,00
AGONCAT	0,00	50,94	11,68	37,38
ALCYGEL	3,65	3,28	88,66	4,42
ALLOSP	43,40	3,21	47,11	6,28
AMMOTOB	0,00	0,00	100,00	0,00
ARNOSPP	4,05	20,97	74,98	0,00
ASCIDSP	0,00	25,42	74,58	0,00
ASTERUB	0,43	35,13	64,43	0,00
BUGLLUT	0,89	32,93	65,85	0,34
CALLLYR	18,04	44,74	34,64	2,58
CANCPAG	100,00	0,00	0,00	0,00
CARMAE	0,12	22,00	0,34	77,55
CILIMUS	0,00	0,00	100,00	0,00
CLUPHAR	0,00	0,00	0,00	100,00
CREPFOR	10,47	0,00	89,53	0,00
DICELAB	0,00	0,00	0,00	100,00
DONAX	0,00	38,41	58,75	2,83
ECHICOR	0,00	21,26	78,74	0,00
ECHIVIP	3,62	41,52	30,12	24,74
ENSISPP	0,00	0,00	0,00	100,00
EUPABER	51,54	5,60	34,71	8,15
EUTRGUR	0,00	0,00	100,00	0,00
FLUTFOL	0,00	80,35	19,65	0,00
FMNUDIB	0,00	0,00	100,00	0,00
FMPORYF	34,49	0,00	65,51	0,00
GOBIIDAX	2,51	28,02	11,91	57,56
HIPPSPP	0,00	50,74	49,26	0,00
HYPELAN	33,98	17,60	48,42	0,00
LIMALIM	0,00	84,36	14,97	0,67
LIOCSP	4,64	26,43	4,28	64,65
LOLIGINX	38,72	0,00	61,28	0,00
LUTRLUT	0,00	44,99	55,01	0,00

Code Espèce	Strate A	Strate B	Strate C	Strate E
MACOMA	0,00	80,35	0,00	19,65
MACRLON	9,76	20,58	69,66	0,00
MACRPUB	55,12	0,00	44,88	0,00
MAJASQU	65,88	34,12	0,00	0,00
MERLMNG	0,00	3,42	6,27	90,31
MYTIEDU	0,00	12,00	88,00	0,00
NASSSPP	0,44	17,25	79,84	2,47
NATIALD	0,00	17,91	82,09	0,00
OPHISPP	0,36	13,19	86,45	0,00
OSTREDU	100,00	0,00	0,00	0,00
PALALON	0,00	0,00	0,00	100,00
PALASER	0,00	0,00	0,00	100,00
PECR	0,00	0,00	100,00	0,00
PHICTRI	0,00	14,06	85,94	0,00
PLATFLE	0,00	14,55	0,00	85,45
PLEUPLA	17,98	30,59	38,42	13,01
PORTLAT	0,00	3,00	0,00	97,00
PSAMMIL	0,00	3,70	96,00	0,30
PSETMAX	79,61	10,31	0,00	10,08
RAJACLA	20,67	37,66	37,80	3,88
SCOPRHO	24,75	0,00	0,00	75,25
SEPIOFF	0,00	45,62	46,66	7,73
SEPISPP	0,00	25,10	67,68	7,22
SOLELAS	0,00	0,00	0,00	100,00
SOLEVUL	13,02	1,35	22,27	63,36
SPISOVA	0,00	52,17	47,83	0,00
SPONCAN	0,00	100,00	0,00	0,00
SPRASPR	0,00	0,00	0,00	100,00
SYNGSPP	0,00	18,51	0,00	81,49
TRACDRA	0,00	0,00	100,00	0,00
TRACTRU	0,00	35,29	64,71	0,00
TRIGLUC	0,00	21,17	2,43	76,40
TRISLUS	100,00	0,00	0,00	0,00

Annexe 7 : Pourcentage de l'abondance des espèces par strate

Code Espèce	Groupe	Strate A	Strate B	Strate C	Strate E	Totale
CLUPHAR	1+	0.00	0.00	0.00	1,47	0,08
DICELAB	0	0.00	0.00	0.00	1,09	0,06
DICELAB	1	0.00	0.00	0.00	0,81	0,04
EUTRGUR	0	0.00	0.00	0,02	0.00	<0,01
LIMALIM	0	0.00	2,44	0,11	0,05	0,35
LIMALIM	1	0.00	0.00	0,09	0.00	0,02
LIMALIM	2	0.00	0.00	0,02	0.00	<0,01
MERLMNG	0	0.00	0,02	0.00	1,28	0,07
MERLMNG	1	0.00	0.00	0,02	0.00	<0,01
PLATFLE	0	0.00	0.00	0.00	0,76	0,04
PLATFLE	1	0.00	0,04	0.00	0,09	0,01
PLATFLE	2	0.00	0,02	0.00	0.00	<0,01
PLEUPLA	0	0.00	1,12	0,29	1,80	0,31
PLEUPLA	1	0,14	0,47	0,56	0,09	0,23
PLEUPLA	2	0,63	0,18	0,20	0.00	0,16
PLEUPLA	3+	0,21	0,04	0,09	0.00	0,06
PSETMAX	0	0,10	0,02	0.00	0,05	0,02
PSETMAX	1	0,03	0.00	0.00	0.00	0,00
SCOPRHO	0	0.00	0.00	0.00	0,28	0,01
SCOPRHO	2	0,03	0.00	0.00	0.00	<0,01
SOLEVUL	0	0,07	0.00	0.00	2,18	0,12
SOLEVUL	1	0,10	0,02	0,13	0,09	0,06
SOLEVUL	2	0.00	0.00	0,04	0.00	0,01
SPONCAN	0	0.00	0,02	0.00	0.00	<0,01
SPRASPR	0	0.00	0.00	0.00	0,05	<0,01
SPRASPR	1+	0.00	0.00	0.00	0,33	0,02
TRACTRU	0	0.00	0,10	0,09	0.00	0,04
TRIGLUC	0	0.00	0,31	0,02	2,80	0,19
TRISLUS	0	79,41	0.00	0.00	0.00	11,21

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	0	0,00	0,00	0,00	100,00
DICELAB	0	0,00	0,00	0,00	100,00
DICELAB	1	0,00	0,00	0,00	100,00
EUTRGUR	0	0,00	0,00	100,00	0,00
LIMALIM	0	0,00	91,19	8,09	0,72
LIMALIM	1	0,00	0,00	100,00	0,00
LIMALIM	2	0,00	0,00	100,00	0,00
MERLMNG	0	0,00	3,65	0,00	96,35
MERLMNG	1	0,00	0,00	100,00	0,00
PLATFLE	0	0,00	0,00	0,00	100,00
PLATFLE	1	0,00	50,55	0,00	49,45
PLATFLE	2	0,00	100,00	0,00	0,00
PLEUPLA	0	0,00	46,15	23,75	30,10
PLEUPLA	1	8,53	26,51	62,80	2,16
PLEUPLA	2	54,37	14,08	31,56	0,00
PLEUPLA	3+	50,91	8,79	40,30	0,00
PSETMAX	0	74,54	12,87	0,00	12,59
PSETMAX	1	100,00	0,00	0,00	0,00
SCOPRHO	0	0,00	0,00	0,00	100,00
SCOPRHO	2	100,00	0,00	0,00	0,00
SOLEVUL	0	7,90	0,00	0,00	92,10
SOLEVUL	1	26,83	4,63	59,47	9,07
SOLEVUL	2	0,00	0,00	100,00	0,00
SPONCAN	0	0,00	100,00	0,00	0,00
SPRASPR	0	0,00	0,00	0,00	100,00
SPRASPR	1+	0,00	0,00	0,00	100,00
TRACTRU	0	0,00	35,29	64,71	0,00
TRIGLUC	0	0,00	21,17	2,43	76,40
TRISLUS	0	100,00	0,00	0,00	0,00

Annexe 9 : Pourcentage de l'abondance des espèces par groupe et par strate

## 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	72,0	39,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	2,3
31-54 mm	2081,8	857,3	11,5	1,2	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	2,0	55,3
54-67 mm	125,6	101,7	0,9	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	5,6
>67mm	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>TOTAL</b>	<b>2279,4</b>	<b>997,6</b>	<b>11,1</b>	<b>1,5</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>2,2</b>	<b>63,2</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	23,6	75,8	0,0	0,2	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1
31-54 mm	29,0	70,6	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
54-67 mm	17,2	82,4	0,2	0,1	0,0	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>27,7</b>	<b>71,9</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>

Annexe 11 : Pourcentage de l'abondance par strate et sur l'ensemble du secteur



## 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 encased 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.
- EUZEBY, J.P. (2000). - Dictionnaire de bactériologie vétérinaire. (2.3).  
Site Internet : <http://www.bacterio.cict.fr/bacdico/pp/photobacterium.html>
- GENESTE, C. (1999).- Infections à vibrions non cholériques : étude des cas survenus en France métropolitaine et identifiés par le Centre National de Références des vibrions et du choléra, de 1995 à 1998. Thèse de Doctorat en Médecine, 74 pp
- GENESTE, C., DAB, W., CABANES, P.A., VAILLANT, V., QUILICI, M.L., FOURNIER, J.M. (2000).- Les vibrioses non cholériques en France : cas identifiés de 1995 à 1998 par le Centre national de référence. Bull épidemiol hebd 2000 ; 38-40.
- GIBSON R.N., (1980).- The intertidal movements and distribution of young fish on a sandy beach with special reference to the plaice (*Pleuronectes platessa* L.) J. exp. mar Biol. Ecol. 12 : 79-102.

JOSSI J.W., MARAK R.R. et PETERSON H., (1975).- At-sea data collection and laboratory procedures.- Marmap survey I Manual, Marmap Programm Office, National Marine Fisheries Service édit., Washington.

KUIPERS B., (1973).- On the tidal migration of young plaice (*Pleuronectes platessa*). Neth. J. of Sea Research, 6 (3):376-388.

HARDEN JONES F.R., (1980).- The migration of plaice in relation to the environment. Iclarme confé. Proceed, Manila (Philippines), 1980, 5:383-396.

HERAL M., WOEHLING D., HALGAND D. et LASSUS P., (1976).- Utilisation du filet à plancton du type "Bongo".- Cons. Int. Explor. Mer, Comité du Plancton, L : 19.

HERVIO-HEATH, D., COLWELL, R.R., DERRIEN, A., ROBERT-PILLOT, A., FOURNIER, J.M., AND POMMEPUY, M. (2002).- Occurrence of pathogenic vibrios in coastal areas of France. Journal of Applied Microbiology. 92: 1123-1135.

JOSSI J.W., MARAK R.R. et PETERSON H., (1975).- At-sea data collection and laboratory procedures.- Marmap survey I Manual, Marmap Programm Office, National Marine Fisheries Service édit., Washington.

KUIPERS B., (1973).- On the tidal migration of young plaice (*Pleuronectes platessa*). Neth. J. of Sea Research, 6 (3):376-388.

LEBOUR M.V., (1928).- The larval stages of the Plymouth Brachyura. Proc. Zool. Soc. London : 473-560.

LELIEVRE, S., VERREZ-BAGNIS, V., JEROME, M., VAZ, S. (2010).- PCR-RFLP analyses of formalin-fixed fish eggs for the mapping of spawning areas in the Eastern Channel and Southern North Sea, Journal of Plankton Research; doi: 10.1093/plankt/fbq067.

LELIÈVRE S., JÉRÔME, M., MAES, G., VAZ, S., SACHIDHANANDAM, C., VERREZ-BAGNIS, V.- Molecular validation and comparative mapping of morphologically identified eggs of dab (*Limanda limanda*), flounder (*Platichthys flesus*) and *Trisopterus sp.* From the eastern English Channel and southern North Sea. Accepted in Marine Ecology Progress Series.

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

MIOSSEC, L. (2002). Les vibrions pathogènes pour l'homme : le risque associé au milieu marin en France. Vibrions et risque sanitaire. Rapport scientifique et technique Ifremer, RST.DEL/02.02/MIC. 48 pp.

MOTODA, S. (1959).- Devices of simple plankton apparatus. Memoirs. Faculty of fisheries. Hokkaido University 7, 73-94.

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.