

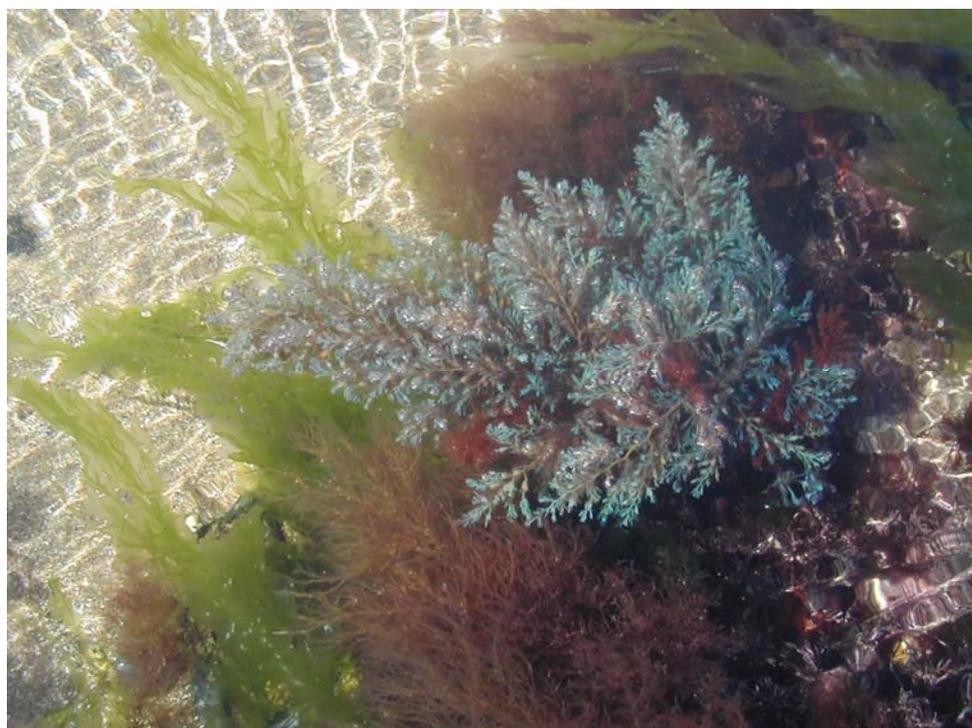
Chantal **ABERNOT- LE GAC**
(Coordinatrice)

Elvire **ANTAJAN**
David **DEVREKER**
Luc **DREVES**
Jocelyne **MARTIN**
Philippe **MONBET**
Mathilde **SCHAPIRA**
Ivan **SCHLAICH**

Mars 2013 - RST LER/BO/13.004

Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Flamanville

Année 2012
Rapport scientifique annuel



Diélette, juin 2012

| | | |
|--|--|---|
| Numéro d'identification du rapport : <p style="text-align: right;">LER/BO/13.004</p> | | date de publication : Mars 2013 nombre de pages : 214 bibliographie : oui illustration(s) : oui langue du rapport : français |
| Diffusion : libre : <input type="checkbox"/> restreinte : <input checked="" type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/> Validé par : Chantal Abernot-Le Gac | | |
| Titre de l'article <p style="text-align: center;"><i>Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville</i> <i>Année 2012 – rapport scientifique annuel</i> <i>Ecological and fisheries monitoring of the Flamanville nuclear power plant</i> <i>2012 Annual scientific report</i></p> | | |
| Auteurs principaux : | | Organisme / Direction / Service, laboratoire |
| Abernot - Le Gac Chantal Antajan Elvire Devreker David Drévès Luc Martin Jocelyne Monbet Philippe Schapira Mathilde Schlaich Ivan | | Ifremer / ODE / UL / LER - BO Ifremer / ODE / UL / LER – BL Ifremer / ODE / UL / LER – BL Ifremer / ODE/ UL Ifremer / RBE / EMH PM Consulting Ifremer / ODE / UL / LER - N Ifremer / RBE /HMMN / RHPEB |
| Collaborateur(s) | | |
| Annez Jean Pierre Berthélé Olivier Bourriau Paul Françoise Sylvaine Gaffet Jean-Dominique Goascoz Nicolas Gohin Francis Le Gagneur Eric Lejolviv Aurore Maheux Frank Pierre-Duplessix Olivier Quinquis Jérôme Rabiller Emilie Simon Benjamin Tableau Adrien Vérin Françoise | | Ifremer / ODE / UL / LER – BO Ifremer / RBE / EMH Ifremer / RBE/ EMH Ifremer / ODE / UL / LER – N Ifremer / ODE / DYNECO – Benthos Ifremer / RBE / HMMN / RHPEB Ifremer / ODE / DYNECO – Pelagos Ifremer / ODE / UL / LER – N Ifremer / RBE / HMMN / RHPEB Ifremer / ODE / UL / LER – N Ifremer / ODE / UL / LER – N Ifremer / RBE/ EMH Ifremer / ODE / UL / LER – BL |
| Cadre de la recherche : Projet = Impact des Grands Aménagements (I.G.A.) Commande d'exécution EDF n° 5100-CSY-4200132742 du 11 décembre 2006 Contrat C349C65050 | | |
| Organisme commanditaire : <p style="text-align: center;">Electricité de France (EDF) – Production Transport – C.N.P.E. de Flamanville B.P. 4 – 50 340 Les Pieux</p> | | |

Résumé

L'étude de surveillance n° 30 du centre nucléaire de production d'électricité de Flamanville (département de la Manche) concerne l'année 2012. Sont étudiés les domaines benthique, halieutique et pélagique.

L'année 2012 est la 27^{ème} année de fonctionnement du CNPE de Flamanville.

Abstract

The monitoring report (n° 30) of the nuclear power plant located in Flamanville (France) takes into account studies carried out between March and September 2012.

Environmental effects and potential impacts of the aquatic system are reported through different chapters: hydrology, microbiology, phytoplankton, zooplankton, fisheries, intertidal phytobenthos and zoobenthos.

This power plant has been in operation for twenty seven years.

Mots-clés

Centrale nucléaire, Flamanville, Surveillance, Benthos, Halieutique, Pelagos

Words keys

Flamanville, Monitoring, Nuclear power plant, Benthos, Fisheries, Pelagos

Commentaire

Ce document doit être cité de la manière suivante :

Abernot-Le Gac C, (coordinatrice), Antajan E., Devreker D., Drévès L., Martin J., Monbet Ph., Schapira M., Schlaich I., 2013. Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, année 2012 – Rapport Ifremer RST. LER / BO / 13.004, mars 2013, 214 p

Résumé

Le bilan météorologique global de l'année 2012 observé dans ce secteur central de la Manche se caractérise par une température moyenne annuelle supérieure à la moyenne enregistrée sur l'ensemble de la période d'observations, un cumul annuel des précipitations supérieur au cumul moyen et une insolation légèrement supérieure à la moyenne. Les résultats obtenus sur les différents paramètres surveillés des trois domaines pélagique, benthique et halieutique, sont globalement dépendants de ces conditions météorologiques naturelles.

Hydrologie

Les températures d'eau de mer mesurées en 2012 ont été supérieures à celles de l'année précédente au printemps et en automne, et sensiblement inférieures en été sur l'ensemble des points de surveillance. Les écarts de température entre les points *rejet-référence* et *rejet-canal* ont été généralement élevés en particulier en automne. Néanmoins, les mesures de températures des campagnes 2012, appuyées des résultats de modélisation, indiquent que l'étendue du panache de rejet reste toujours géographiquement très limitée.

Les salinités enregistrées au cours de l'année 2012 ont été généralement supérieures à celles de 2011 sur les différentes stations de surveillance toute l'année. La plus forte salinité depuis le début de la période de surveillance a été mesurée cette année au point *référence* au printemps. Habituellement, il existe un gradient côte-large croissant entre les points côtiers (*canal* et *rejet*) et celui du large (*référence*). Cette année, cela n'a été observé qu'au printemps. Le gradient côte-large qui est lié aux apports d'eau douce d'origine continentale n'a donc pas été clairement marqué.

L'ensemble des nutriments mesurés lors des campagnes de surveillance 2012 présente une évolution saisonnière classique. Suite à l'augmentation de l'ensoleillement, les sels nutritifs sont assimilés et consommés par le phytoplancton qui se développe entre le printemps et l'été. En particulier, cette année, la campagne réalisée au printemps montre que le bloom printanier avait déjà débuté. En automne, principalement sous l'effet de l'activité bactérienne, la dégradation de la matière organique produite au printemps et en été conduit à la régénération des nutriments dans la colonne d'eau. Dans l'ensemble, les concentrations en nutriments ont été généralement plutôt inférieures aux médianes pluriannuelles établies depuis 1987. A différentes reprises, elles définissent de nouveaux minima et notamment en automne, pour le nitrate au point *référence* et pour le nitrite au point *canal*.

Cette année, différents changements sont intervenus au niveau du protocole de surveillance. La mesure de la turbidité est venue remplacer celle des concentrations en MES. Ce paramètre a été caractérisé par une distribution spatiale très limitée. Sur le plan temporel, les turbidités se sont avérées plus importantes au printemps qu'aux autres saisons. Des mesures de concentrations des composés chimiques hydrazine et éthanolamine ont été effectuées aux différentes saisons sur les différents points de surveillance. Seule l'hydrazine a été détectée au point *canal* en automne à une concentration très proche de la limite de détection.

En conclusion, les données acquises au cours des trois campagnes de surveillance en 2012 ne permettent pas de déceler d'anomalie dans la distribution et la variation des paramètres hydrologiques au niveau de la centrale électronucléaire de Flamanville. L'activité de la centrale à travers ses rejets chimiques et thermiques ne semble donc pas modifier de manière sensible et significative les caractéristiques hydrologiques intrinsèques du milieu.

Microbiologie

Le nombre de germes revivifiables est dans l'ensemble resté stable en 2012 par rapport aux deux années précédentes à l'exception des points *canal* et *rejet* en automne. En particulier au point *rejet*, les abondances de germes revivifiables ont été les plus importantes depuis 1987. La distribution spatiale reste inchangée avec un gradient décroissant marqué côte-large.

L'identification des vibrions halophiles par la « méthode EDF » (mise au point par le laboratoire Pasteur de Lille) confirme la présence et la dominance de l'espèce *Vibrio alginolyticus* parmi les vibrions halophiles cultivables à 37 ° C dans les eaux proches de la centrale. La présence de cette espèce a été identifiée en été et en automne mais à des concentrations relativement faibles (< 20 UFC Vibrio/L). Aucun autre vibron n'a été identifié en 2012 dans les eaux proches de la centrale.

L'ensemble des paramètres du compartiment microbiologique présente généralement un gradient décroissant entre les points *canal* et *référence*, qui outre l'effet de la température, peut être expliqué par (1) les plus fortes teneurs en matière organique et en MES près des côtes et (2) un plus fort impact des activités humaines en général. Parallèlement, les abondances constatées au point *rejet* se situent généralement entre celles des points *canal* et *référence*.

L'examen des résultats 2012 pour le compartiment microbiologique indique donc qu'il n'existe aucun déséquilibre marqué du milieu lié à l'activité de la centrale de Flamanville.

Phytoplancton

L'année 2012 a été marquée par une biomasse phytoplanctonique élevée au cours du printemps. Ce bloom phytoplanctonique printanier n'a pas été restreint à la proximité du CNPE de Flamanville mais a concerné toute la zone côtière de l'ouest Cotentin. Les conditions hydro-climatiques de l'année 2012 peuvent expliquer ce phénomène global (i.e. ensoleillement en mars). Si les biomasses phytoplanctoniques observées au printemps 2012 sont exceptionnelles pour la zone, elles restent cependant dans la gamme des valeurs observées dans les eaux côtières de l'ouest Cotentin. Par la suite, les valeurs de biomasse mesurées en été et automne 2012 sont restées très proches des médianes pluri-annuelles, et le cycle saisonnier des communautés phytoplanctoniques observé en 2012 à proximité du CNPE est en accord avec le cycle observé habituellement sur l'Ouest Cotentin.

Au printemps 2012, un gradient côté/ large est observé pour les différents paramètres suivis : biomasse phytoplanctonique, production primaire et abondances phytoplanctoniques. Les concentrations en Chlorophylle *a* et les abondances phytoplanctoniques diminuent de la côte vers le large.

En été de faibles biomasses phytoplanctoniques sont observées sur l'ensemble de la zone. Les diatomées dominent largement la communauté phytoplanctonique sur l'ensemble de la zone au cours de l'été représentant plus de 87% de l'abondance totale. Les points *canal* et *rejet* sont caractérisés par la dominance du genre *Leptocylindrus* accompagné par les genres *Pseudonitzschia* et *Guinardia*. Le genre *Pseudonitzschia* qui domine sur le point du large, accompagné des genres *Guinardia* et *Rhizosolenia*. La période estivale est aussi marquée par une forte proportion de dinoflagellés à la côte (i.e. point *canal*), et des fortes abondances d'Euglènes sur les points *canal* et *rejet*. L'abondance de dinoflagellés en période estivale est un phénomène courant dans les eaux côtières tempérées. La consommation de silice par les diatomées au cours du bloom phytoplanctonique printanier est à l'origine de la diminution des concentrations en silice au cours de l'été, et la potentielle limitation de la croissance des diatomées en été par ce sel nutritif. Ces conditions nutritives ainsi qu'une relative stabilité de la colonne d'eau en période estivale sont propices à la croissance des dinoflagellés. Les fortes abondances d'Euglènes peuvent s'expliquer par des apports d'eau douce plus importants au cours de cette période. En

effet ces organismes sont inféodés aux eaux douces et leur présence sur la zone côtière est le marqueur d'apports fluviaux plus abondants. La diminution de l'abondance de ces organismes de la côte vers le large observé en juin 2012 confirme cette hypothèse.

La période automnale est marquée par une relative augmentation de la biomasse phytoplanctonique sur l'ensemble de la zone par rapport au mois de Juin. Ceci est en accord avec le cycle saisonnier observé en zone côtière Atlantique, caractérisé par un bloom printanier suivi d'un deuxième bloom moins intense en automne. En septembre les diatomées dominent la communauté phytoplanctonique, représentant 85% à 97% de l'abondance totale. Cette période est caractérisée par une relative homogénéité de la communauté de diatomées sur l'ensemble de la zone. En effet, les 3 points sont caractérisés par la dominance de 2 genres (*Leptocylindrus* et *Guinardia*), représentant à eux seuls plus de 73% de l'abondance totale des diatomées. Le point le plus large (i.e. point *référence*) se distingue cependant des 2 autres points par l'importance des genres *Pseudonitzschia* et *Chaetoceros*. Ces deux genres sont aussi présents sur les points *canal* et *rejet*, mais leur contribution reste très marginale. Les dinoflagellés représentent moins de 3% de l'abondance totale au cours de cette période. Le genre le plus représenté sur l'ensemble de la zone est *Alexandrium*. Ce genre comporte certaines espèces toxiques. Cependant, les abondances cellulaires observées en septembre sur les 3 points restent très marginales et ne suggèrent donc aucun risque.

Le cycle saisonnier du phytoplancton ainsi que la structure des communautés phytoplanctoniques observés en 2012 ne présentent pas de caractéristiques pouvant mettre en cause l'activité du CNPE de Flamanville. Leur évolution dans le temps est en concordance avec celle observée sur la zone ouest Cotentin.

Zooplancton

En 2012, les abondances zooplanctoniques correspondaient à ce qui est habituellement observé sur le site de surveillance depuis 1991, avec toutefois de fortes abondances observées au point *référence* en mars. L'évolution de l'abondance zooplanctonique depuis 1991 montre une différence significative entre les points de prélèvement au printemps et en été mais pas en automne. L'abondance zooplanctonique moyenne au point *canal* depuis 1991 étant significativement plus faible qu'au point *référence* au printemps. Le point *canal* de part sa position en milieu peu profond et abrité dans l'enclave du canal d'entrée de la centrale de Flamanville présente souvent une proportion d'individus holoplanctoniques (copépodes, appendiculaires, chaetognathes) plus faible.

Au printemps 2012, le méroplancton représentait plus de 90 % du zooplancton total. Cette fraction était surtout composée de larves de cirripèdes. L'holoplancton quant à lui dominait largement le zooplancton en été et à l'automne (jusqu'à 94 %). Comme toujours en milieu côtier tempéré, il était essentiellement caractérisé par les copépodes. Les espèces dominantes étaient, dans l'ordre, *Acartia clausi*, *Centropages hamatus*, *Paracalanus parvus*, *Euterpina acutifrons*, *Pseudocalanus elongatus* et *Temora longicornis* et chacune de ces espèces respecte, pour ce que peut montrer cette analyse de trois campagnes annuelles, leur répartition saisonnière habituelle. Les faibles abondances observées de *T. longicornis* vont dans le sens de la tendance observée ailleurs en Manche depuis quelques années.

Aux trois périodes d'observations, les valeurs enregistrées au niveau du rejet en mer s'inscrivent dans l'intervalle de celles des points *canal* et *référence*. L'influence des rejets de la centrale, si elle existe, n'est donc pas décelable.

Benthos intertidal

La population de l'algue brune *Fucus serratus* située en zone intertidale du platier de Diélette fait l'objet d'une surveillance en continu depuis 1983. Depuis cette date, sa biomasse annuelle est en diminution quasi régulière.

Après avoir atteint son minimum en 2011, la biomasse annuelle moyenne de *Fucus serratus* est en hausse tant en mars qu'en septembre 2012.

En 2012, la biomasse algale augmente également dans d'autres secteurs en Manche, notamment dans la région de Paluel et aussi à Guissény en Bretagne nord.

Les pourcentages de thalles de *Fucus serratus* portant des signes de fertilité en mars, juin et septembre 2012 sont conformes aux valeurs observées depuis le début des études. La population de Fucales de Flamanville se caractérisant par un taux de fertilité élevé en fin d'été.

Le recrutement des cirripèdes est en baisse en 2012. Les quatre stations affichent des valeurs relativement faibles en mars comme en septembre particulièrement au Rozel pour la seconde année consécutive.

La densité moyenne de cirripèdes évaluée en 2012 est quasiment la même qu'en 2011. Elle reste très inférieure à la moyenne calculée sur la période 1983 à 2012. Les valeurs diminuent particulièrement au Rozel, sont stables à Diélette et à Quédoy et sont en hausse au Sémaphore.

Semibalanus balanoides reste l'espèce dominante dans la région de Flamanville.

Concernant la surveillance du domaine benthique intertidal, les résultats obtenus au cours de l'année 2012 n'indiquent pas d'influence directe des rejets de la centrale.

Larves de crustacés

Les températures du premier semestre 2012 sont bien au-dessus de la moyenne. C'est ainsi que le début des éclosions de larves d'araignée a commencé au cours de la première quinzaine de juin comme nous pouvions le prévoir dès le début du mois de mars.

La densité de zoés atteint la valeur maximale dès la mi juillet, valeur qui se situe parmi les valeurs les plus importantes observées antérieurement en excluant cependant les années 2010 et surtout 1983 qui sont exceptionnelles. La densité maximale de mégaloopes observée également mi juillet est moyenne. Notons que les larves d'araignées sont régulièrement assez abondantes depuis 2009.

Après avoir noté en 2010 que le point référence pouvait être un lieu important d'éclosion de larves d'araignée on retrouve cette année comme l'an passé la prépondérance du point 3 ; des zoés et mégaloopes d'araignée ont été observées cette année comme l'an passé dans les environs du rejet après leur absence en 2010 mais nous n'en avons observé aucune dans le canal d'amenée où elles sont très rares.

Le pic d'éclosion de larves de homard se dessine fin juin comme en 2011 après quelques années où la précocité des éclosions nous faisait manquer le pic. Comme en 2011 les larves ont été observées jusque fin juillet mais la densité maximale est plus faible.

Les résultats de l'année 2012 ne révèlent pas de déséquilibre du milieu qui pourrait être imputé au CNPE de Flamanville. Les fluctuations temporelles de la date des pics d'éclosion sont le reflet des variations climatiques.

Surveillance de la pêche côtière des crustacés

Les rendements en homard de cette année sont parmi les plus élevés depuis 1985. La tendance significative est haussière sur l'ensemble de la série historique. La taille moyenne est toujours inférieure à la taille marchande. Il semble que la population profite encore d'une augmentation du nombre de juvéniles d'un à trois ans que l'on retrouve en très forte proportion au sud du cantonnement. Le tourteau est toujours la principale espèce capturée cette année et ceci malgré la forte abondance du homard dans les filières placées au sud de la réserve.

Les captures d'araignée sont en augmentation cette année tout en restant dans les limites des fluctuations annuelles importantes observées depuis dix ans. D'autre part la taille moyenne diminue, probablement à cause d'une grande quantité de petits individus observés dans les filières situées principalement sur les zones de sable.

La taille moyenne des étrilles capturées est en légère augmentation cette année mais n'a pas significativement varié depuis six ans. Elle correspond probablement au seuil de sélectivité de la méthode de prélèvement. Il faut toutefois noter que les rendements augmentent encore cette année lors de la campagne du mois de juin.

Dans la réserve, un certain nombre de points peuvent être mis en avant :

Les captures de homards sont encore importantes cette année et sont au plus haut depuis la création de la réserve. La taille moyenne a légèrement augmenté cette année ce qui voudrait dire que la proportion de gros individus est plus importante dans la réserve et que comme nous l'avons supposé l'an passé, il doit y avoir un phénomène d'échappement des petits individus vers l'extérieur et notamment le long de la côte vers le sud de la zone. Le nombre de femelles oeuvées est plus important qu'à l'extérieur. Ce qui devrait permettre une plus grande production de larves, favorisant selon les courants, la population de la réserve et la connectivité entre les populations avoisinantes. Il est prévu de faire un point zéro sur une zone située au sud de Carteret dont l'habitât est favorable au développement de petits individus.

Comme cela a déjà été souligné au cours des années précédentes, les rejets du CNPE de Flamanville n'ont pas d'incidence sur la diversité et la structure de la communauté des crustacés suivis dans le cadre de la surveillance écologique.

Sommaire

| | |
|---|------------|
| Résumé..... | 5 |
| Préambule..... | 13 |
| 1. Fonctionnement de la centrale et programme Ifremer en 2012..... | 15 |
| 1.1. Fonctionnement de la Centrale | 17 |
| 1.2. Travaux réalisés par Ifremer..... | 21 |
| 2. Caractéristiques environnementales..... | 25 |
| 2.1. Climatologie | 27 |
| 2.2. Température de l'eau de mer | 32 |
| 3. Le domaine pélagique..... | 39 |
| 3.1. Méthodologie | 41 |
| 3.2. Hydrologie..... | 41 |
| 3.3. Microbiologie..... | 67 |
| 3.4. Phytoplancton | 78 |
| 3.5. Zooplancton | 99 |
| 4. Le domaine benthique | 115 |
| 4.1. Phytobenthos intertidal | 118 |
| 4.2. Zoobenthos des substrats durs intertidaux | 137 |
| 4.3. Conclusion | 154 |
| 5. Le domaine halieutique..... | 155 |
| 5.1. Larves de crustacés..... | 157 |
| 5.2. Surveillance de la pêche côtière des crustacés | 169 |
| 5.3. Annexes | 187 |
| 6. Conclusion | 197 |
| 6.1. Le domaine pélagique | 199 |
| 6.2. Le domaine benthique | 202 |
| 6.3. Le domaine halieutique..... | 203 |
| 7. Bibliographie..... | 205 |

Préambule

Dans le cadre de l'implantation d'une Centrale électronucléaire sur le littoral de la commune de Flamanville (département de la Manche) et du contexte législatif en vigueur, **Électricité de France** a confié à l'**IFREMER**¹ les études écologiques et halieutiques du milieu marin encadrant ce site.

Une étude essentiellement bibliographique, dite d'**Avant-projet**, fut réalisée en 1975 par le CNEXO², pour la partie écologique, et l'ISTPM³, pour la partie halieutique.

L'**étude de Projet**, menée par ces deux organismes de juillet 1976 à août 1978 (étude écologique), et d'avril 1977 à septembre 1979 (étude halieutique), eut pour objet d'établir un état de référence avant l'implantation de la centrale électronucléaire. Seule la composante de l'étude halieutique traitant de la pêche des crustacés a été maintenue entre les deux phases de Projet et de Surveillance (de 1980 à 1982).

L'**étude de Surveillance** a commencé en 1983, soit deux années avant la date théorique de mise en fonctionnement de la première tranche de la Centrale (janvier 1985). La mise en route s'étant effectuée progressivement à partir de 1986, le contenu de cette étude est resté inchangé au cours des sept premières années de fonctionnement réel de la Centrale.

Cette étude de surveillance devait permettre dans un premier temps d'apprécier les fluctuations naturelles pluriannuelles des principaux paramètres retenus à partir de l'étude de Projet. Dans un deuxième temps, elle doit permettre d'analyser l'incidence éventuelle de la Centrale sur le milieu marin environnant et ses ressources.

A partir de 1993, le programme de Surveillance est allégé. Conformément à la stratégie déjà adoptée sur le site de Paluel, par exemple, l'étude du domaine pélagique est réalisée en trois points au lieu de quatre comme précédemment, le point "contrôle" étant abandonné. Pour le domaine benthique, l'étude de la faune des substrats meubles intertidaux de l'anse de Sciotot (espèce cible : *Urothoë brevicornis*) et celle du macrobenthos sublittoral proche du cap de Flamanville (espèce cible : *Nucula nucleus*) sont abandonnées. Pour le domaine halieutique, le nombre de campagnes à la mer pour le suivi des larves de crustacés (homard et araignée) est ramené de 6 à 4, pour être rétabli à 6 à compter de 1998.

Pour le site de Flamanville, les travaux de prélèvements et d'analyses sont désormais réalisés dans le cadre de la décision n°2010-DC-0189 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 7 juillet 2010 *fixant à Electricité de France 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 « Flamanville 1 » (INB n°108), « Flamanville 2 » (INB n°109) et Flamanville 3 » (INB n°167).*

La commande d'exécution passée par EDF-CNPE de Flamanville à Ifremer (document référencé 5100-CSY-4200132742) prévoit la fourniture par Ifremer des documents contractuels suivants :

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

¹ Organisme issu de la fusion en 1984 du CNEXO et de l'ISTPM

² Centre National pour l'Exploitation des Océans

³ Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes

Au cours de 2012, 27^{ème} année de fonctionnement de cette Centrale, les études réalisées par l'Ifremer sur le site de Flamanville sont menées sous la responsabilité de :

- **Chantal Abernot-Le Gac** (ODE/UL/LER-BO ⁴) pour le domaine benthique et la coordination de l'ensemble des études sur ce site
- **Elvire Antajan** et **David Devreker** (ODE/UL/LER-BL ⁵) pour le zooplancton
- **Luc Drévès** (ODE/UL ⁶) pour les caractéristiques environnementales (climatologie, température de l'eau de mer)
- **Jocelyne Martin** (RBE-EMH ⁷) pour les larves de crustacés
- **Philippe Monbet** (*PM Consultant*), pour les caractéristiques environnementales, l'hydrologie et la microbiologie en collaboration avec le laboratoire Franck Duncombe de Caen (microbiologie) et le laboratoire Eurofins de Bordeaux (hydrazine et ethalonamine)
- **Mathide Schapira** (ODE/UL/LER-N ⁸) pour le phytoplancton
- **Ivan Schlaich** (RBE-HMMN-RHPEB ⁹) pour la surveillance de la pêche côtière des crustacés

Concernant la surveillance scientifique du CNPE de Flamanville réalisée au cours de l'année 2012,

- L'état d'avancement a été adressé à EDF le 13 juillet 2012 (ABERNOT-LE GAC C., DREVES L., MARTIN J., SCHAPIRA M., SCHLAICH I. (2012).- Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, année 2012 – Etat d'avancement des travaux – premier semestre. Rapp. Ifremer LER/FBN/12.007, juillet 2012, 14 p)

- L'édition provisoire du rapport annuel fait l'objet du présent document

⁴ *Laboratoire Environnement Ressources –Bretagne Occidentale (LER/BO)*

⁵ *Laboratoire Environnement Ressources de Boulogne- sur-Mer (LER/BL)*

⁶ *Département Océanographie et Dynamique des Ecosystèmes, Unité Littoral (ODE/UL)*

⁷ *Unité Ecologie et Modèles pour l'Halieutique (EMH)*

⁸ *Laboratoire Environnement Ressources de Normandie (LER/BL)*

¹⁰ *Unité Halieutique Manche Mer du Nord (HMMN), laboratoire Ressources Halieutiques de Port-en-Bessin (RHPEB)*

**1. Fonctionnement du
C.N.P.E. de Flamanville
et programme d'intervention
de l'Ifremer au cours de l'année 2012**

Luc Drévès (ODE/UL)

Chantal Abernot-Le Gac (LER/BO)

1.1. Fonctionnement de la Centrale

Le Centre Nucléaire de Production d'Électricité (CNPE) de Flamanville, situé sur la côte ouest du Cotentin, compte deux unités de production de 1 300 mégawatts (MW) de type REP "Réacteurs à Eau Pressurisée", mises en service en décembre 1985 pour la tranche 1, et juillet 1986 pour la tranche 2. La troisième unité en cours de construction (EPR) qui disposera d'une puissance de 1 650 mégawatts n'est pas concernée par la présente étude de surveillance.

Pour le refroidissement de ses condenseurs, la centrale aspire de l'eau de mer dans le canal d'amenée à raison d'un débit moyen de $43 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Les eaux échauffées sont évacuées par un bassin de rejet communiquant avec une galerie souterraine creusée à -75 mètres, d'une longueur de 460 mètres pour la tranche 1, de 604 mètres pour la tranche 2. Les têtes de rejet, situées à l'extrémité ouest de ces galeries, sont localisées aux alentours de l'isobathe 10 mètres. Le volume total d'eau prélevé et restitué par les pompes était en 2012 d'environ 2,51 milliards de m^3 d'eau de mer (cf. rapport annuel diffusé par EDF au printemps 2012).

| 2004 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|------|------|------|------|------|------|------|
| 2,51 | 2,5 | 1,8 | 2,3 | 2,3 | 2,57 | 2,51 |

Tableau 1.1.1 : Volume total d'eau de mer prélevé et restitué (en milliards de m^3) ces dernières années

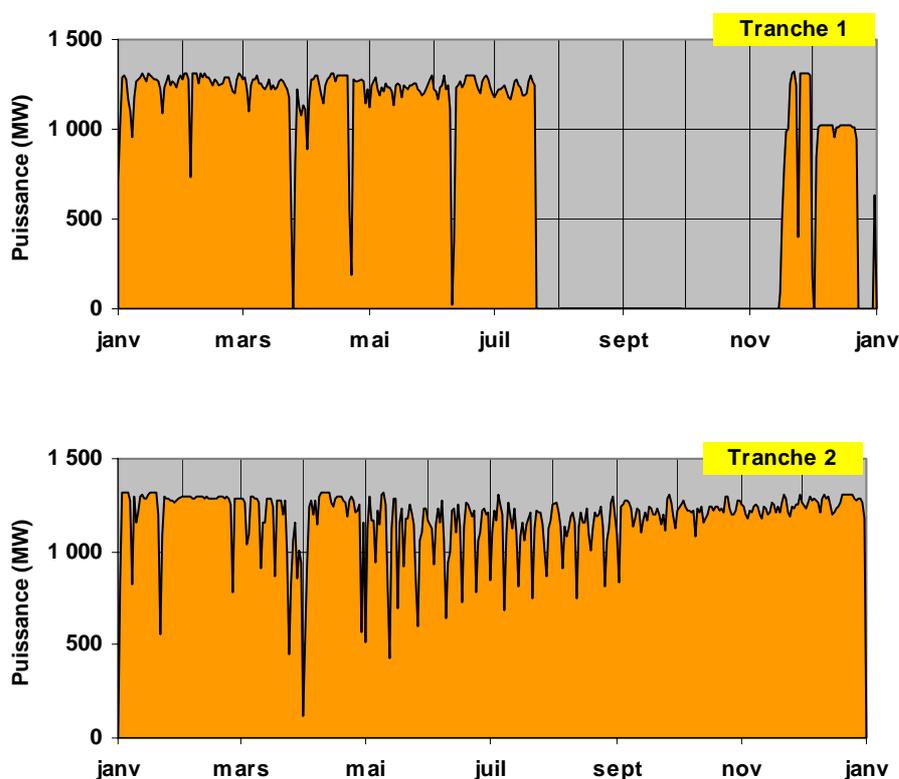


Figure 1.1.1 : Puissance nette moyenne des tranches 1 et 2 de Flamanville en 2012

Le relevé quotidien, effectué par EDF (à 16 h), de la température de l'eau de mer dans le canal d'amenée (à l'entrée des pompes) et à la sortie des deux condenseurs, est transmis chaque mois à l'IFREMER. Un premier traitement de ces données est présenté sous forme graphique (figures 1.1.2 et 1.1.3). Les arrêts de tranches se traduisent par une diminution de la température de l'eau de mer à la sortie du condenseur de la tranche concernée.

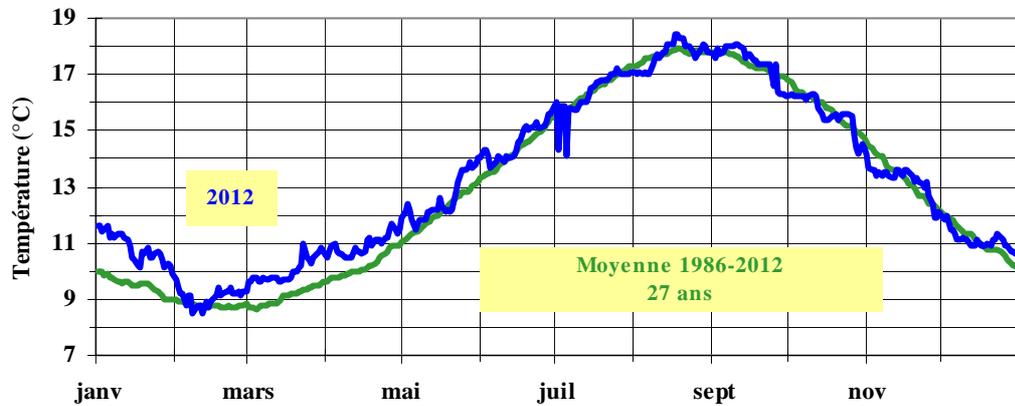


Figure 1.1.2 : Évolution de la température journalière (à 16 h) de l'eau de mer dans le canal d'amenée du C.N.P.E. de Flamanville au cours de l'année 2012, comparée à la moyenne et aux extrêmes journaliers enregistrés sur la période 1986-2012 (27 années)

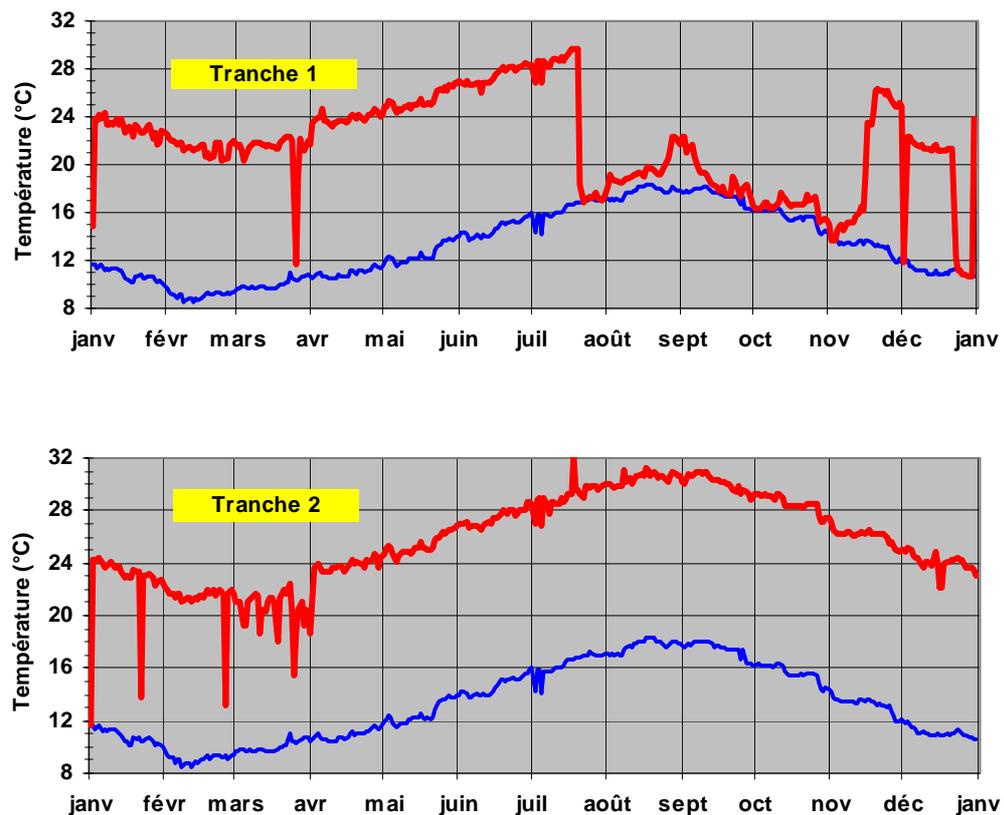


Figure 1.1.3 : Comparaison de la température de l'eau de mer entre le canal d'amenée et la sortie des condenseurs des tranches 1 et 2, au cours de l'année 2012

L'écart journalier moyen entre la sortie des condenseurs et le canal d'aménée peut ainsi être calculé (figure 1.1.4). Cet écart thermique journalier moyen est à rapprocher de la puissance nette moyenne des deux tranches (figure 1.1.5).

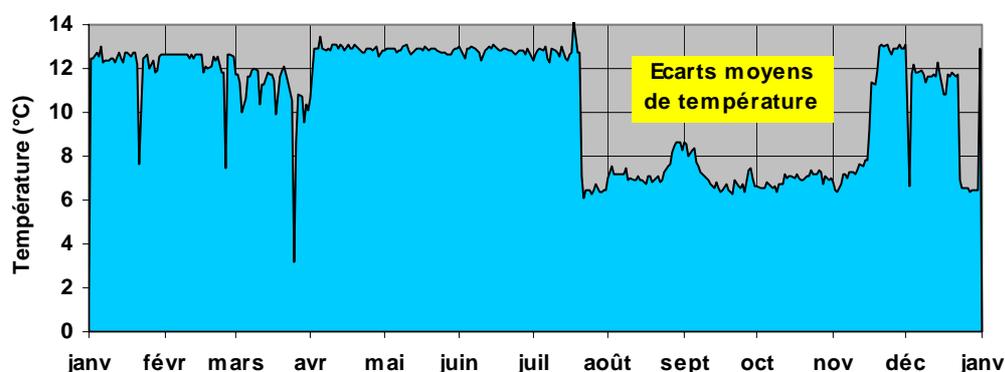


Figure 1.1.4 : Écarts journaliers moyens de la température de l'eau de mer entre la sortie des deux condenseurs et le canal d'aménée, au cours de l'année 2012

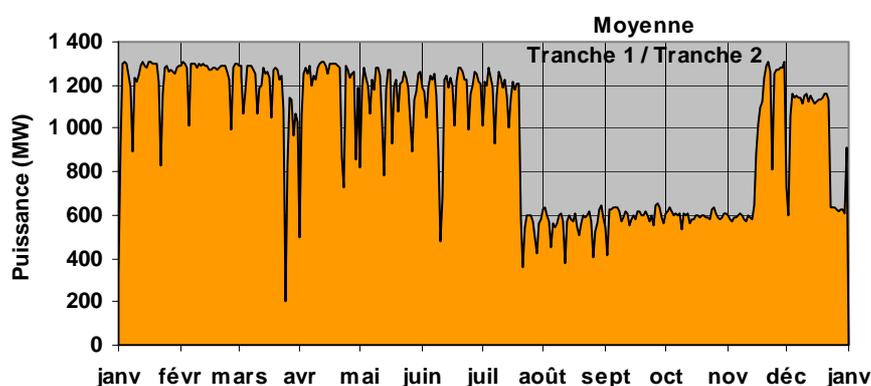


Figure 1.1.5 : Puissance nette moyenne du CNPE de Flamanville, au cours de l'année 2012

En 2012, la procédure antisalissure par électrochloration a fonctionné, pour la tranche 1, en janvier puis de mai à juillet, pour la tranche 2, en janvier, de mai à août, de septembre à novembre et de mi-décembre à fin décembre. Cette procédure s'est poursuivie jusqu'en décembre uniquement en tranche 2. Comme l'indiquent les tableaux 1.1.2 et 1.1.2 ci-dessous, 261 tonnes de chlore ont ainsi été injectées dans les circuits de refroidissement au cours de l'année 2012, dont environ 102 tonnes au cours du premier semestre 2012.

| Qté de chlore (T) | Mois | | | | | | | | | | | | Total |
|-------------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | |
| Tranche 1 | 4,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 7,9 | 24,4 | 16,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 52,7 |
| Tranche 2 | 15,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 23,6 | 26,4 | 28,5 | 19,8 | 23,4 | 30,2 | 23,8 | 17,3 | 208,3 |
| Total | 19,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 31,5 | 50,8 | 44,7 | 19,8 | 23,4 | 30,2 | 23,8 | 17,3 | 261,0 |

Tableau 1.1.2 : Récapitulatif de la quantité mensuelle de chlore (en T) injecté dans le circuit d'eau de refroidissement du C.N.P.E. de Flamanville au cours de l'année 2012

Le tonnage annuel moyen de chlore injecté sur la période 1987-2012 est de 350 tonnes, à savoir 463 tonnes sur la période 1987-1993 (7 années), puis 308 tonnes sur la période 1994-2012 (19 années). Les quantités de chlore injectées annuellement sont rappelées dans le tableau 1.1.3 ci après.

| Année | Cumul de janvier à juin | Cumul annuel |
|----------------------------------|-------------------------|--------------|
| 1987 | 100,8 | 424 |
| 1988 | 59,1 | 580 |
| 1989 | 189,6 | 570 |
| 1990 | 104,0 | 805 |
| 1991 | 60,4 | 365 |
| 1992 | 29,5 | 191 |
| 1993 | 5,2 | 209 |
| Moyenne 87-93 | | 463 |
| <i>Modification du protocole</i> | | |
| 1994 | 80,1 | 243 |
| 1995 | 117,4 | 371 |
| 1996 | 52,7 | 173 |
| 1997 | 27,6 | 266 |
| 1998 | 138,3 | 428 |
| 1999 | 82,7 | 256 |
| 2000 | 83,7 | 327 |
| 2001 | 100,2 | 408 |
| 2002 | 102,0 | 308 |
| 2003 | 132,6 | 260 |
| 2004 | 49,1 | 382 |
| 2005 | 118,8 | 392 |
| 2006 | 114,6 | 329 |
| 2007 | 117,5 | 423 |
| 2008 | 64,3 | 174 |
| 2009 | 89,8 | 268 |
| 2010 | 56,9 | 236 |
| 2011 | 89,8 | 354 |
| 2012 | 101,6 | 261 |
| Moyenne 94-12 | | 308 |

Tableau 1.1.3 : Récapitulatif du tonnage annuel de chlore injecté dans le circuit de refroidissement du C.N.P.E. de Flamanville depuis 1987

Depuis le changement de protocole en 1994 à la suite du remplacement des installations d'électrochloration, le tonnage annuel de chlore varie de 173 tonnes en 1996 à 428 tonnes en 1998. Le tonnage annuel en 2012 inférieur à la moyenne s'explique en partie par le principal arrêt en tranche 1, en période de chloration.

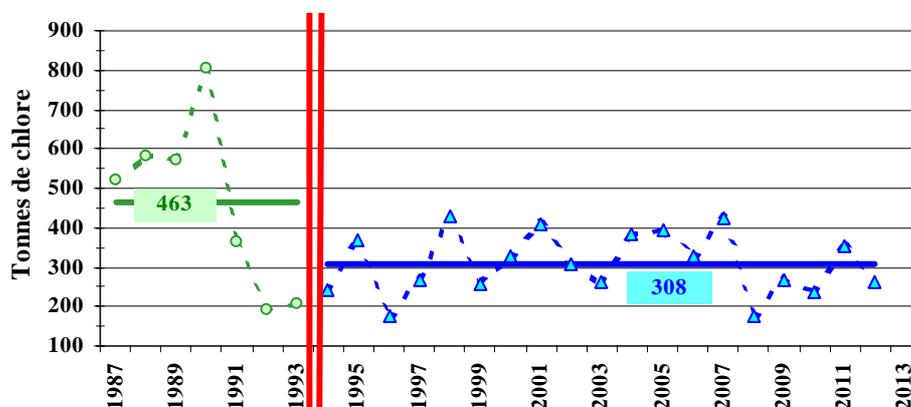


Figure 1.1.6 : Evolution du tonnage annuel de chlore injecté à Flamanville depuis 1987, comparé aux moyennes annuelles des périodes 1987-1993 et 1994-2012

1.2. Travaux réalisés par Ifremer

Les travaux réalisés au cours de l'année 2012 ont été menés conformément à l'avenant n°1 à la commande d'exécution référencée 5100-CSY-4200132742. Ils sont présentés dans le tableau 1.2.2 page 23.

Les points de prélèvements sont localisés sur la carte de la figure 1.2.1. Les coordonnées géographiques de ces points sont présentés dans le tableau 1.2.1 page suivante.

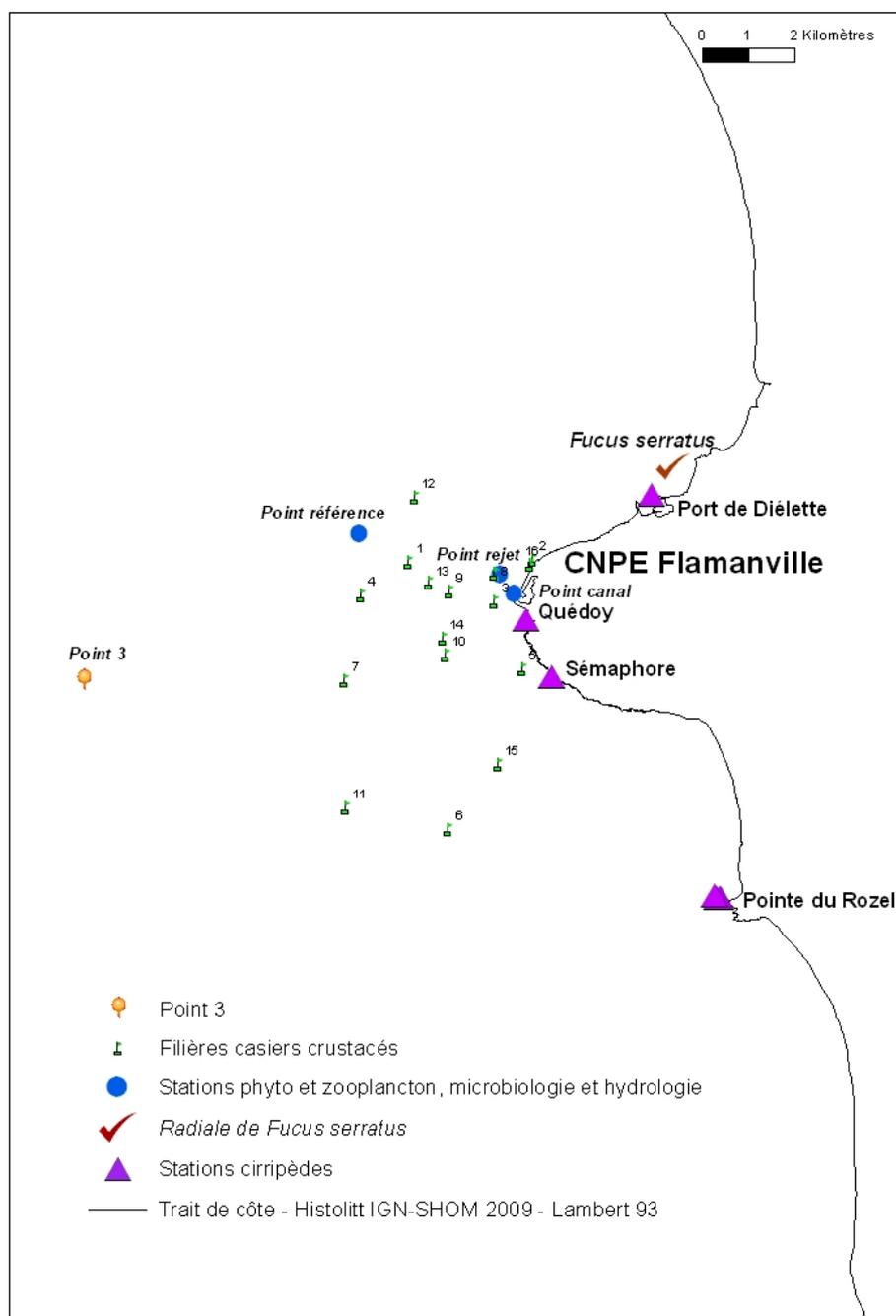


Figure 1.2.1 : Carte des abords de Flamanville, indiquant les points de prélèvements échantillonnés par l'Ifremer

| | | | |
|---|--------------|---------------|--------------|
| Hydrologie Microbiologie Phytoplancton Zooplancton | Canal | 49° 32,112' N | 1° 53,317' W |
| | Rejet | 49° 32,328' N | 1° 53,477' W |
| | Référence | 49° 32,818' N | 1° 55,127' W |
| Cirripèdes | Sémaphore | 49° 31,132' N | 1° 52,869' W |
| | Quédoy | 49° 31,805' N | 1° 53,166' W |
| | Rozel 1 | 49° 28,538' N | 1° 50,888' W |
| | Rozel 2 | 49° 28,534' N | 1° 50,915' W |
| | Rozel 3 | 49° 28,531' N | 1° 50,932' W |
| | Rozel 4 | 49° 28,554' N | 1° 50,973' W |
| | Diélette | 49° 33,272' N | 1° 51,701' W |
| <i>Fucus serratus</i> | Haut radiale | 49° 33,600' N | 1° 51,452' W |
| | Bas radiale | 49° 33,574' N | 1° 51,527' W |
| Larves crustacés | Point 3 | 49° 31,5' N | 1° 57,80' W |
| Filières crustacés | 1 | 49° 32,480' N | 1° 54,54' W |
| | 2 | 49° 32,510' N | 1° 53,120' W |
| | 3 | 49° 32,020' N | 1° 53,096' W |
| | 4 | 49° 32,102' N | 1° 53,540' W |
| | 5 | 49° 31,222' N | 1° 55,102' W |
| | 6 | 49° 29,336' N | 1° 53,216' W |
| | 7 | 49° 31,090' N | 1° 54,078' W |
| | 8 | 49° 32,354' N | 1° 55,294' W |
| | 9 | 49° 32,143' N | 1° 53,546' W |
| | 10 | 49° 31,396' N | 1° 54,072' W |
| | 11 | 49° 29,588' N | 1° 54,120' W |
| | 12 | 49° 33,240' N | 1° 55,282' W |
| | 13 | 49° 32,240' N | 1° 54,474' W |
| | 14 | 49° 31,582' N | 1° 54,312' W |
| | 15 | 49° 30,102' N | 1° 54,150' W |
| | 16 | 49° 32,456' N | 1° 53,498' W |

Tableau 1.2.1 : Coordonnées géographiques des points de prélèvement (degrés minutes décimales, WGS84)

| 2012 | Points de prélèvements | Paramètres étudiés | Nombre de répliquats à chaque point | Dates missions | |
|--|--|--|--|---|----------------|
| DOMAINE PELAGIQUE | Référence | Température, Salinité, Ammonium, Nitrates, Nitrites, Phosphates, Silicates, Hydrazine, Ethanolamine, Turbidité néphélométrique | Référence 1 subsurf Rejet 1 subsurf. C.amenée 1 subsurf | | |
| Hydrobiologie | | | | | |
| Phytoplancton | | Rejet | Détermination et dénombrement des espèces Biomasse chlorophyllienne Production primaire | Référence 1 subsurf Rejet 1 subsurf. C.amenée 1 subsurf | 29/03 26/06 |
| Zooplancton | | Canal d'aménée | Identification et abondance des taxons (1 WP2 formolé) Biomasse zooplanctonique (1 WP2 congelé) | Référence 1 subsurf Rejet 1 subsurf. C.amenée 1 subsurf | 10/09 |
| Microbiologie | Dénombrement des germes revivifiables Identification et dénombrement des couches de vibrions halophiles | | Référence 2 subsurf. Rejet 2 subsurf. C.amenée 2 subsurf | | |
| DOMAINE BENTHIQUE | Platier de Diélette | <i>Fucus serratus</i> | | | |
| Phytobenthos | Radiale Dans la zone à <i>Fucus serratus</i> | - Biométrie - Longueur - Nbre de dichotomies - Fertilité - Diamètre du thalle - Biomasse. | 10 pieds tous les 10 m. sur chaque radiale 10 quadrats /secteur | 11/03 06/06 18/09 | |
| Zoobenthos | ROZEL (points 1, 2, 3, 4) SEMAPHORE QUEDOY DIELETTE | Substrats durs intertidaux - Densité des différentes espèces de cirripèdes - Faune associée | Par point : 8 quadrats 12 comptages 4 grattages | 9-10/03 5-6/06 | |
| | ROZEL (Point 2), SEMAPHORE, QUEDOY, DIELETTE | - Étude de recolonisation | Par point : quadrats (3x25) cm ² | 17-19/09 | |
| DOMAINE HALIEUTIQUE | [Point 3] Référence Rejet Canal d'aménée | Densité des larves* d'araignée et de homard | 2 Bongo 1 Neuston surface | 13 et 27/06 17 et 25/07 | |
| Zooplancton et Hydrologie | N.O. Cotentin | - température - salinité | | 27/08 | |
| Suivi de l'exploitation et de la biologie des espèces commerciales | 16 points (1 filière par point) | Recueil d'informations sur la pêche professionnelle Pêches expérimentales - pour homard, tourteau, araignée, étrille (longueur, sex-ratio) - autres espèces (présence) | 4 levées des 16 filières d'au moins 20 casiers | 12-17/06 10-12/09 | |

Tableau 1.2.2 : Récapitulatif de l'activité réalisée par l'Ifremer en 2012 devant le C.N.P.E. de Flamanville
*Densité des larves d'araignée et de homard : 5 campagnes ont été réalisées en 2012 alors que 6 sont prévues (décision 2010-DC-0189) du fait de conditions météorologiques défavorables

2. Caractéristiques environnementales de l'année 2012

Luc Drévès (ODE/UL)

Philippe Monbet (PM Consulting)

2.1. Climatologie

Les données communiquées par le centre de météo-France de Cherbourg proviennent d'enregistrements réalisés au sémaphore d'Auderville¹⁰ (température de l'air et pluviométrie) depuis janvier 1949, et à la station de Valognes¹¹ (insolation) entre janvier 1986 et décembre 2008. A partir de janvier 2009, les données d'insolation proviennent de Sainte Marie du Mont. Depuis 1994 et jusqu'en 2008, les données utilisées dans ce rapport pour la température quotidienne de l'air représentaient la moyenne des données tri-horaires (8 par 24h) fournies par Météo France. La température quotidienne de référence fournie par Météo France est la moyenne du minimum de température mesurée entre 18 H UTC la veille et 18 H UTC le jour, et du maximum de température mesurée entre 06 H UTC le jour et 06 H UTC le lendemain. Dans un souci de conformité, à partir de 2009 les températures quotidiennes de l'air utilisées sont donc les températures de référence calculées par Météo France. L'ensemble des températures quotidiennes depuis 1994 a été mis à jour.

Le climat dominant de la région Basse-Normandie est de type océanique : le courant perturbé atlantique, établi en moyenne à hauteur du 50^{ème} parallèle nord, conditionne fortement les précipitations, les températures ainsi que le régime de vent.

Cependant, entre les régions littorales et l'intérieur des terres, les disparités sont sensibles. De même, l'influence du relief, même si les altitudes entrant en jeu sont modestes, est tout sauf insignifiante.

2.1.1. Pluviométrie

Sur la période 1949-2011, la pluviométrie mensuelle moyenne sur le nord-ouest Cotentin (figure 2.1.1) est de 59,9 mm, les moyennes extrêmes étant notées en juillet pour le minimum (37,90 mm) et novembre pour le maximum (92,5 mm). Au cours de l'année 2012, la pluviométrie est excédentaire en avril, puis de juin à décembre. Le maximum des précipitations est observé en décembre avec un cumul mensuel atteignant 256 mm. Les mois déficitaires en 2012 ont été essentiellement en hiver (de janvier à mars) et au printemps (mai).

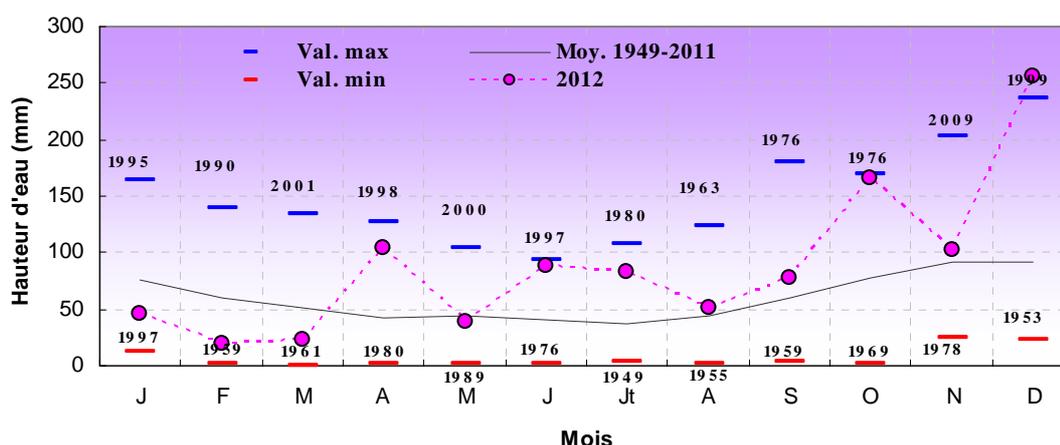


Figure 2.1.1 : Pluviométrie mensuelle au sémaphore de La Hague au cours de l'année 2012, comparée aux moyennes et valeurs extrêmes mensuelles obtenues sur la période 1949-2011.

Le cumul annuel moyen sur la période de 1949/2011 est de 718,3 mm, variant de 430 mm en 1953 à 1001 mm en 1994 (figure 2.1.2).

¹⁰ Altitude : 3 m ; latitude : 49° 43'6 N ; longitude : 001° 56'4 W

¹¹ Altitude : 61 m

Sur la période 1949/2012, l'observation des cumuls annuels par période décennale (figure 2.1.2) permet d'apprécier la forte pluviométrie des deux dernières décennies. Sur la période 1989/1998 le cumul moyen atteint 771 mm. Sur la période 1999/2008, il est de 770 mm. Ces deux cumuls sont largement supérieurs aux décennies précédentes (689 mm, 1979/1988 ; 651 mm, 1949/1958).

L'observation des cumuls moyens glissants sur dix ans permet d'identifier les deux décennies extrêmes : 1953/1962 (633 mm) et 1993/2002 (826 mm).

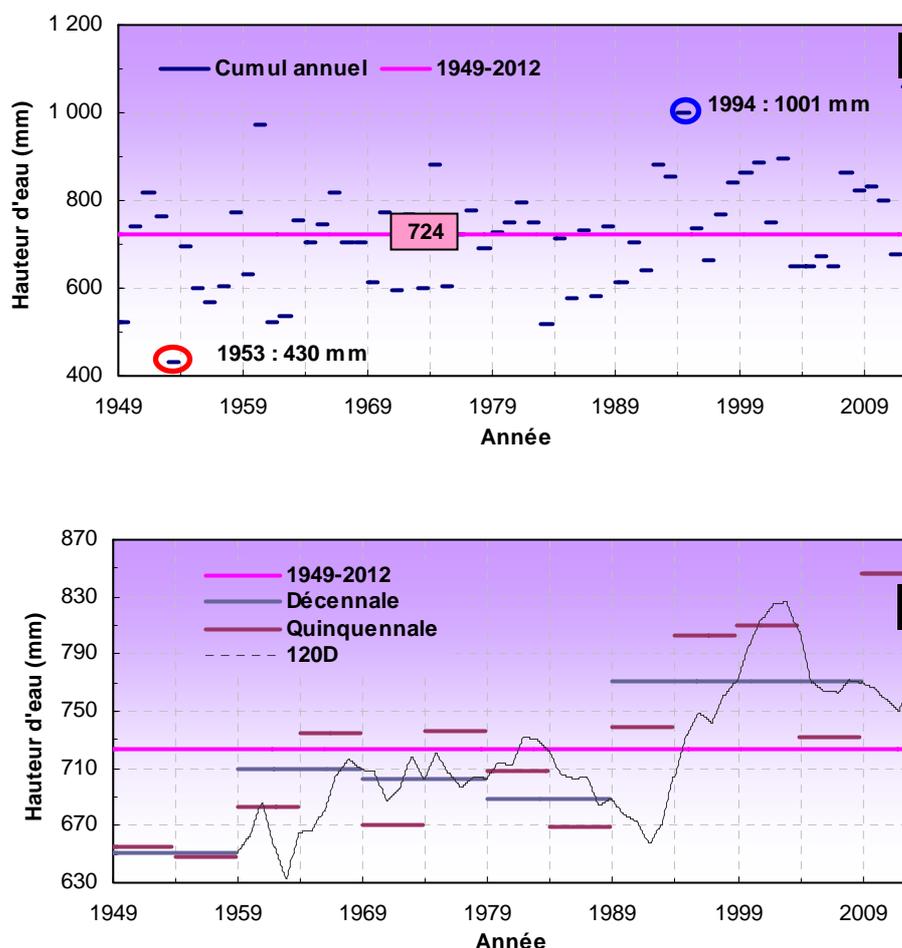


Figure 2.1.2 : Pluviométrie au sémaphore de La Hague de 1949 à 2012. Comparaison des cumuls annuels, quinquennaux et décennaux au cumul moyen annuel observé sur la totalité de la période.

Le cumul pluviométrique annuel de 2012 est de 1057 mm. Il est excédentaire par rapport au cumul moyen établi sur la période 1949-2012 (723,5 mm). Ce niveau de précipitation est le plus important depuis 1949. Il est proche de celui des années 1994 et 1960 qui étaient respectivement caractérisées par des cumuls pluviométriques de 1001 et 972 mm.

2.1.2. Insolation

L'importance de l'insolation mensuelle moyenne (figure 2.1.3) est directement dépendante de la durée même du jour. Elle est de ce fait minimale en hiver (< 100 heures) et maximale en été (> 290 heures). Mais la couverture nuageuse peut perturber ce schéma.

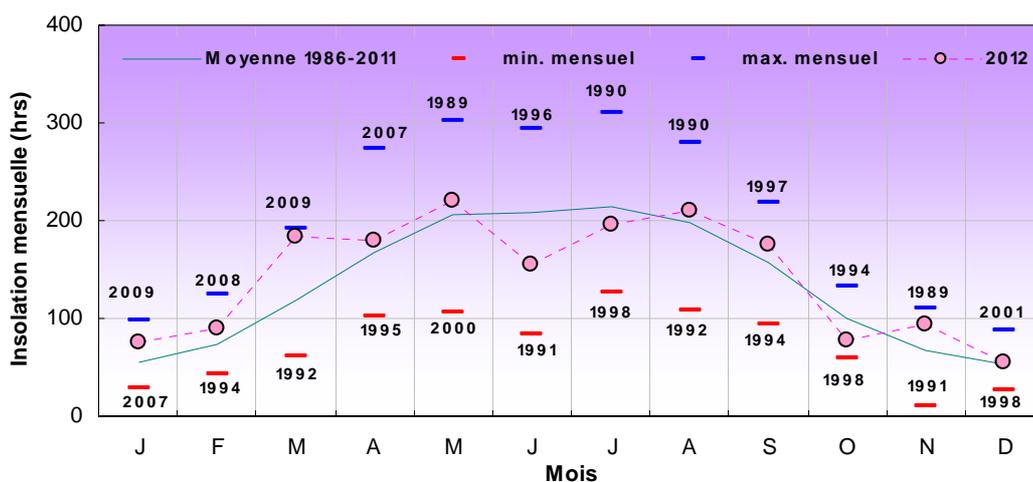


Figure 2.1.3 : Insolation mensuelle à Sainte Marie du Mont au cours de l'année 2012, comparée aux moyennes et valeurs extrêmes mensuelles obtenues sur la période 1986-2011

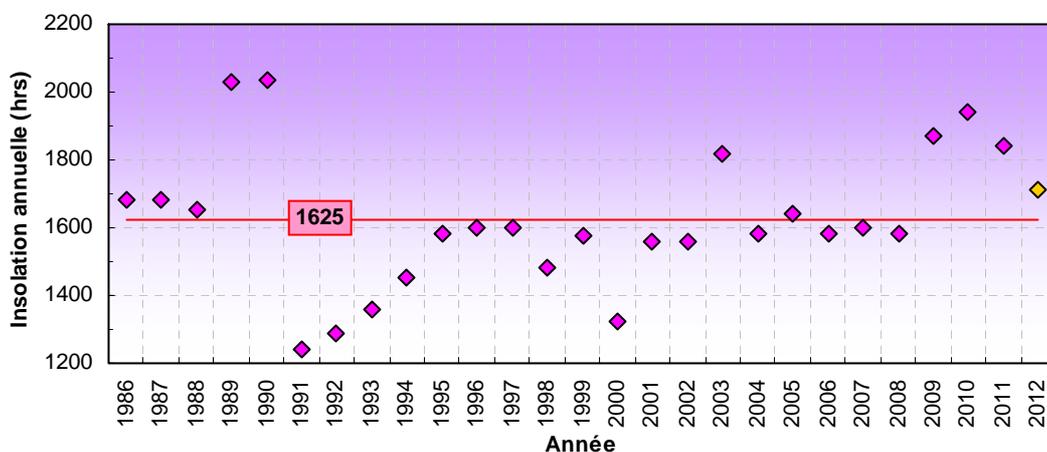


Figure 2.1.4 : Insolation annuelle dans le secteur de La Hague depuis 1986, comparée à la moyenne annuelle obtenue sur la totalité de la période.

Avec une insolation annuelle de 1712 heures, l'année 2012 est excédentaire, comparée à l'insolation annuelle moyenne de ces 27 dernières années (1625 heures).

2.1.3. Température de l'air

Au cours des 64 dernières années (1949/2012), la température moyenne mensuelle de l'air (figure 2.1.5) varie de 6,8 °C en février à 17,0 °C en août. Les moyennes mensuelles extrêmes ont été enregistrées en janvier 1963 (2,0 °C) et en août 2003 (18,9 °C).

Sur la période 1949/2012, la température moyenne annuelle est de 11,6 °C, avec un écart thermique moyen de 10,2 °C entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud. L'année la plus chaude est 2002 avec une température moyenne annuelle de 12,74 °C, suivie par 1999 (12,7 °C) et 2007 (12,6 °C); la plus froide, 1963 avec 9,99 °C, suivie par 1956 (10,6 °C) et 1986 (10,6 °C). Le plus grand écart thermique entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud d'une même année est noté en 1987 avec 14,1 °C ; le plus faible en 2007 avec 8,5 °C.

En 2012, l'hiver a été assez doux. Le reste de l'année, les températures moyennes mensuelles sont très proches des moyennes calculées sur la période 1949-2011. La température moyenne annuelle en 2012 est de 11,85°C.

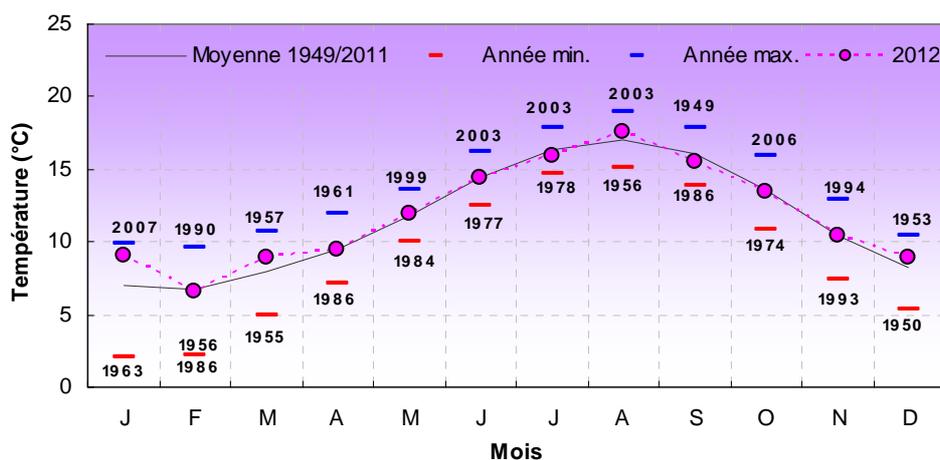


Figure 2.1.5: Température mensuelle moyenne de l'air à La Hague au cours de l'année 2012, comparée aux moyennes et valeurs extrêmes mensuelles enregistrées sur la période 1949-2011

Sur la période 1949/2012, l'observation de la température mensuelle moyenne de l'air par période décennale (figure 2.1.6) permet d'apprécier l'échauffement moyen de 0,7 °C entre les décennies 1979/1988 (température moyenne de 11,2 °C) et 1989/1998 (11,9 °C).

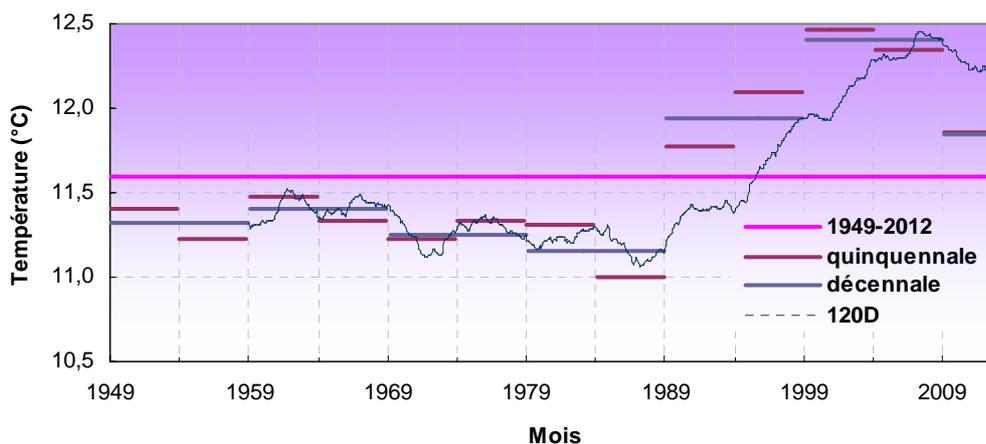


Figure 2.1.6: Température de l'air au sémaphore de La Hague de 1949 à 2012. Comparaison des moyennes annuelles, quinquennales et décennales à la moyenne observée sur la totalité de la période

L'observation des moyennes glissantes sur dix ans permet d'identifier les deux décennies extrêmes : avril 1977 / mars 1987 (11,06 °C) et août 1997 / juillet 2007 (12,46 °C), l'échauffement moyen entre ces deux périodes étant de 1,3 °C.

L'observation des températures moyennes de l'air sur des périodes pluriannuelles (5 ou 10 ans) montre, certes un échauffement évident, mais surtout l'accroissement du phénomène à partir de la fin des années 1980. Après 2009, les moyennes montrent que l'échauffement semble s'atténuer.

2.1.4. Caractéristiques de l'année 2012

L'année 2012 se caractérise par :

- Un cumul annuel des précipitations (1057 mm) supérieur au cumul moyen enregistré sur la période 1949-2011 (718 mm); le premier et le second semestre sont caractérisés par des cumuls de 320 mm et 737 mm respectivement. Ces deux semestres sont excédentaires, les moyennes semestrielles étant respectivement 315 mm et 403 mm.

| | Minimum | Année | Moyenne | 2012 | Rang/64 | Maximum | Année |
|----------------|---------|-------|---------|-------|---------|---------|-------|
| Trim. 1 | 48,60 | 1953 | 187,2 | 87,2 | 4 | 365,2 | 1995 |
| Trim. 2 | 26,20 | 1976 | 128,0 | 232,8 | 62 | 243,7 | 1964 |
| Trim. 3 | 52,40 | 1964 | 143,5 | 211,4 | 57 | 307,5 | 1974 |
| Trim. 4 | 101,80 | 1953 | 264,9 | 361,2 | 64 | 525,7 | 2012 |

Tableau 2.1.1 : Bilan pluviométrique trimestriel (en mm) en 2012 par rapport à la période 1949-2012 (rang/64 ans : 1 sec – 64 très humide)

- Une insolation annuelle (1716 heures) sensiblement supérieure à la moyenne enregistrée depuis 1986 (1625 heures).
- (i) Une température moyenne annuelle de l'air (11,85 °C) supérieure à la moyenne enregistrée sur la période 1949-2011 (11,59 °C) ; (ii) des moyennes mensuelles très proches des moyennes saisonnières presque toute l'année ; (iii) des températures trimestrielles supérieures à la moyenne en hiver et au printemps et inférieures le reste de l'année. Il ressort de l'examen des 64 dernières années le constat d'un printemps généralement plus doux que l'automne. L'année 2012 confirme à nouveau cette règle, à laquelle ont fait exception les années 1954, 1977, 1978, 1979, 1986 et 2006.

| | Minimum | Année | Moyenne | 2012 | Rang/64 | Maximum | Année |
|----------------|---------|-------|---------|-------|---------|---------|-------|
| Trim. 1 | 3,77 | 1963 | 7,28 | 8,16 | 52 | 9,46 | 2007 |
| Trim. 2 | 10,59 | 1977 | 11,89 | 11,96 | 33 | 13,30 | 1961 |
| Trim. 3 | 14,97 | 1986 | 16,44 | 16,30 | 27 | 17,95 | 2003 |
| Trim. 4 | 9,17 | 1952 | 10,77 | 10,89 | 40 | 12,71 | 2011 |

Tableau 2.1.2 : Bilan des températures trimestrielles (°C) par rapport à la période 1949-2012 (Rang/64 ans : 1 froid – 64 chaud)

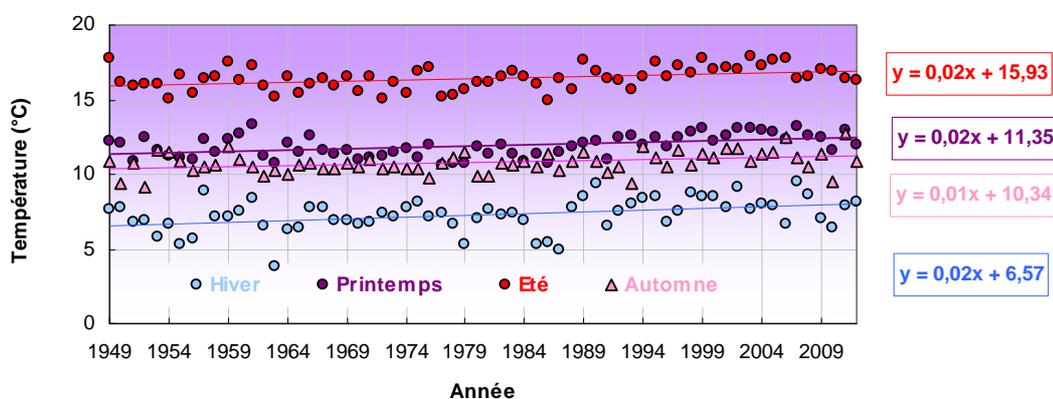


Figure 2.1.7 : Évolution des températures trimestrielles moyennes de l'air depuis 1949.

2.2. Température de l'eau de mer

Depuis 1986 (soit 27 années de mesures), EDF effectue un relevé quotidien (à 16h00) de la température de l'eau de mer dans le canal d'aménée. Le résultat des levés réalisés au cours de l'année 2012 est présenté sur la figure 1.1.2 (page 14).

Sur l'ensemble de ces 27 années, le minimum de température mensuelle moyenne de l'eau de mer dans le canal d'aménée est noté en février (8,79 °C), les valeurs extrêmes étant enregistrées en 1986 (6,80 °C) et 2007 (10,20 °C). Le maximum mensuel moyen est observé en août (17,71 °C), oscillant entre 16,28 °C en 1986 et 18,44 °C en 2003. La température moyenne annuelle est de 12,96 °C, les extrêmes étant 11,34 °C en 1986 et 13,95 °C en 2007.

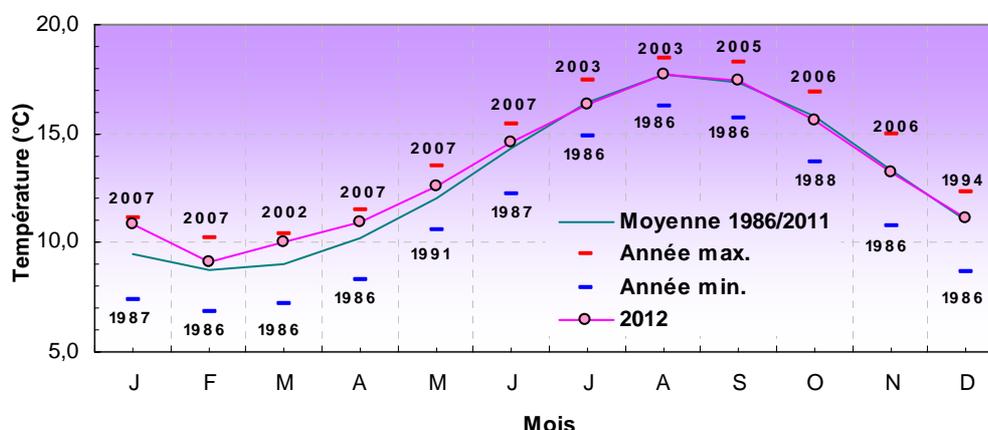


Figure 2.2.1 : Évolution de la température moyenne mensuelle de l'eau de mer dans le canal d'aménée du CNPE de Flamanville en 2012, comparée aux moyennes et valeurs extrêmes mensuelles enregistrées sur la période 1986-2011

L'année 2012 présente des températures moyennes mensuelles de l'eau de mer sensiblement supérieures aux moyennes saisonnières au cours du premier semestre. Au cours du second semestre, les températures moyennes mensuelles sont similaires ou légèrement inférieures aux moyennes mensuelles calculées sur la période 1986-2011. En 2012, l'écart mensuel à la moyenne du mois varie de + 1,36 °C en janvier à - 0,14 °C en octobre.

Pour un jour donné, l'écart journalier à la moyenne quotidienne estimée au cours de ces 27 années est calculé. Les écarts oscillent entre - 3,48 °C (le 14/11/1986) et + 2,47 °C (le 18/01/2007). La représentation graphique de ces anomalies journalières permet de visualiser la dominante thermique d'une année donnée (figure 2.2.2), ou par exemple les conditions thermiques des périodes précédant les jours de prélèvements.

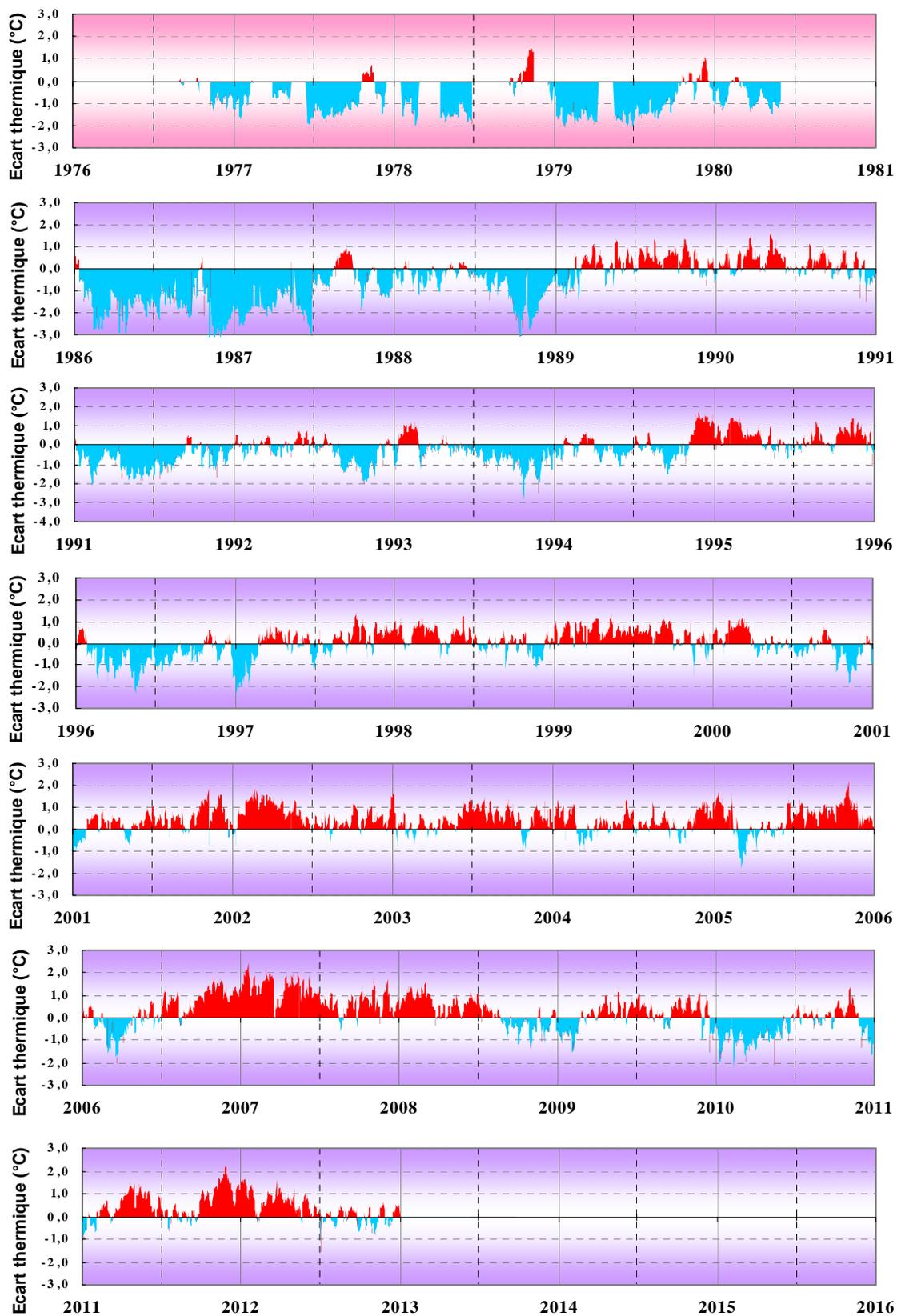


Figure 2.2.2 : Anomalies de la température de l'eau de mer à Flamanville – Ecart thermique journalier (en °C) à la moyenne quotidienne (moyenne estimée sur la période janvier 1986 - décembre 2012)

Ces écarts, moyennés sur l'année, permettent d'apprécier le bilan thermique excédentaire de l'année 2012 ($0,32 \text{ °C j}^{-1}$). A noter que l'année 2010 est la seule année du XXI^{ème} siècle à présenter un bilan thermique déficitaire (tableau 2.2.1).

| Années excédentaires | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| | 2007 | 2002 | 2011 | 2005 | 2003 | 1999 | 1995 | 2001 | 2012 | 2004 | 2006 | 2008 | 1990 | 1989 | 1998 |
| Ecart (C.j^{-1}) | 0,98 | 0,61 | 0,51 | 0,45 | 0,44 | 0,43 | 0,39 | 0,34 | 0,32 | 0,30 | 0,30 | 0,26 | 0,23 | 0,21 | 0,14 |
| Années déficitaires | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2009 | 1997 | 1994 | 2000 | 1992 | 1993 | 2010 | 1996 | 1988 | 1991 | 1987 | 1986 | | | |
| Ecart (C.j^{-1}) | 0,14 | -0,02 | -0,04 | -0,07 | -0,32 | -0,43 | -0,43 | -0,59 | -0,72 | -0,81 | -1,01 | -1,63 | | | |

Tableau 2.2.1 : Bilan thermique moyen journalier de 1986 à 2012 (les 27 années sont classées de la plus chaude à la plus froide).

Au cours de la période 1986/2012, les moyennes mensuelles des températures de l'air à La Hague et de l'eau de mer à Flamanville présentent des variations similaires avec un léger décalage dû à l'inertie de la masse d'eau.

Au cours des 27 dernières années, la température moyenne annuelle est de $12,99 \text{ °C}$ pour l'eau de mer, $11,99 \text{ °C}$ pour l'air.

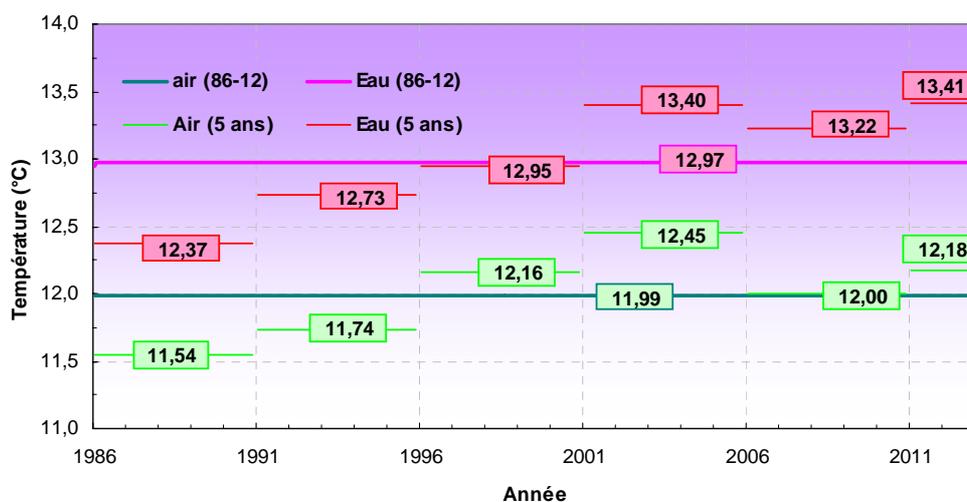
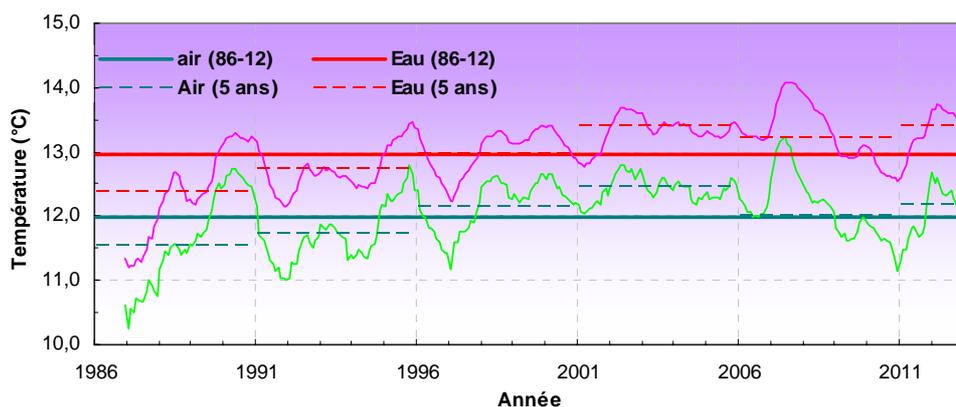


Figure 2.2.3 : Comparaison des « anomalies » mensuelles des températures de l'air (Cap de La Hague) et de l'eau de mer (Flamanville) au cours des 27 dernières années (1986-2012)

La comparaison de ces températures (figure 2.2.3), soit par moyenne mobile calculée sur les 12 derniers mois, soit par période quinquennale, montre sur le long terme la similitude des variations de températures observées tant dans l'eau que dans l'air dans ce secteur du nord-ouest Cotentin.

Une corrélation significative existe entre ces deux paramètres (figure 2.2.4). Elle montre un échauffement plus lent de l'eau de mer de janvier à juillet (points situés plus proche de la courbe de tendance). Il en est de même pour le refroidissement d'août à décembre (points les plus éloignés de la courbe de tendance).

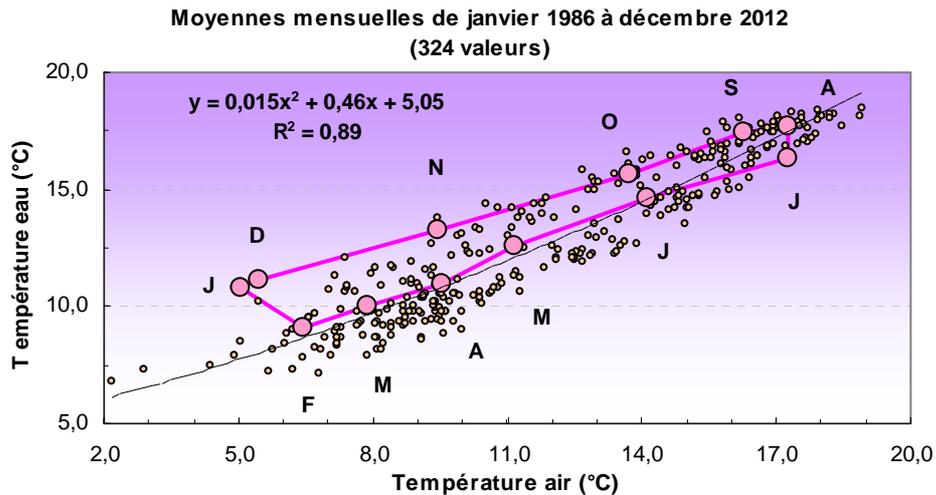


Figure 2.2.4 : Variation de la température moyenne mensuelle de l'eau de mer (données EDF) en fonction de celle de l'air (données Météo-France). Les données 2012 sont indiquées en rose.

La température de l'eau de mer est un paramètre moins suivi que la température de l'air. Ainsi, les données disponibles lors de l'élaboration du projet industriel d'EDF dans les années 70 étaient relativement anciennes, car acquises entre 1903 et 1927 et publiées en 1935 par J. R. Lumby, du ministère de l'agriculture et des pêches de Londres.

Afin de compléter et actualiser ces quelques données bibliographiques anciennes, la direction de l'équipement d'EDF, en collaboration avec le laboratoire national d'hydraulique, ont installé des thermographes Fertex et Aanderaa à une profondeur de 12 mètres au point de latitude nord 49° 32' 29'' et de longitude ouest 001° 53' 49''. De nouvelles données de température de l'eau de mer ont ainsi pu être enregistrées, d'une manière discontinue, de septembre 1976 à mai 1980.

Les moyennes annuelles ainsi obtenues sont comparées à celles enregistrées depuis 1986 (figures 2.2.5 et 2.2.6).

La comparaison directe des moyennes interannuelles observées, d'une part au début du XX^{ème} siècle, d'autre part en fin de fin de XX^{ème} - début du XXI^{ème}, doit cependant rester prudente du fait (i) du positionnement sensiblement différent des points de mesures (le plus récent étant très côtier et moins profond que le « Lumby »), et (ii) du suivi métrologique des instruments de mesures.

Ces précautions étant prises, un échauffement de la température interannuelle moyenne de 1 °C est ainsi observé entre ces deux périodes d'une vingtaine d'années chacune.

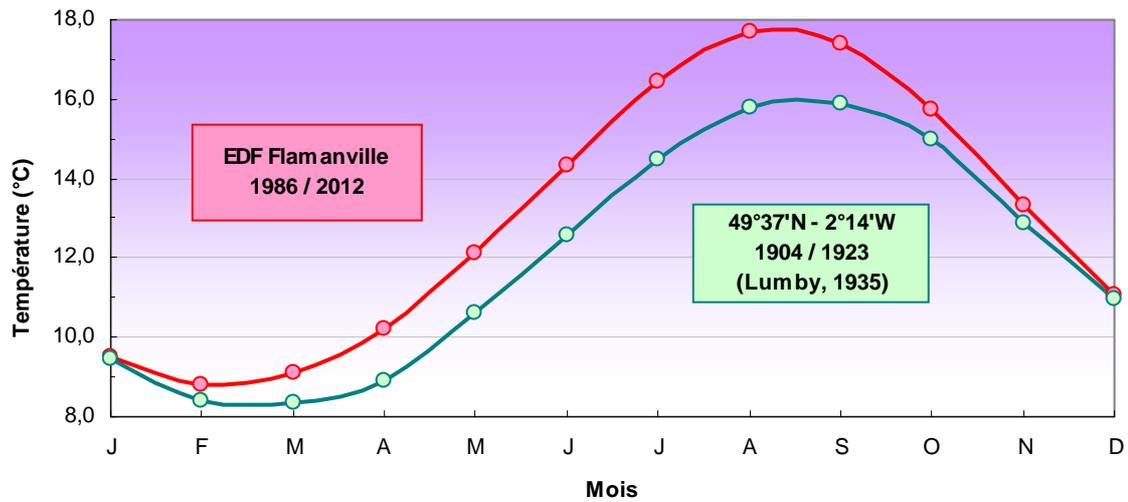


Figure 2.2.5 : Comparaison des températures mensuelles moyennes de l'eau de mer au droit du Cap de Flamanville, entre 1904 et 2012

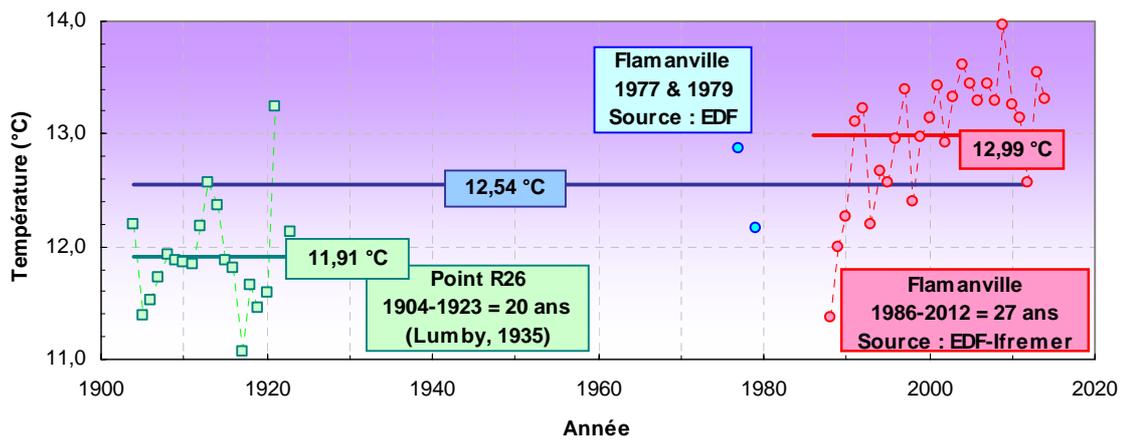


Figure 2.2.6 : Comparaison des températures annuelles moyennes de l'eau de mer au droit du Cap de Flamanville, entre 1904 et 2012

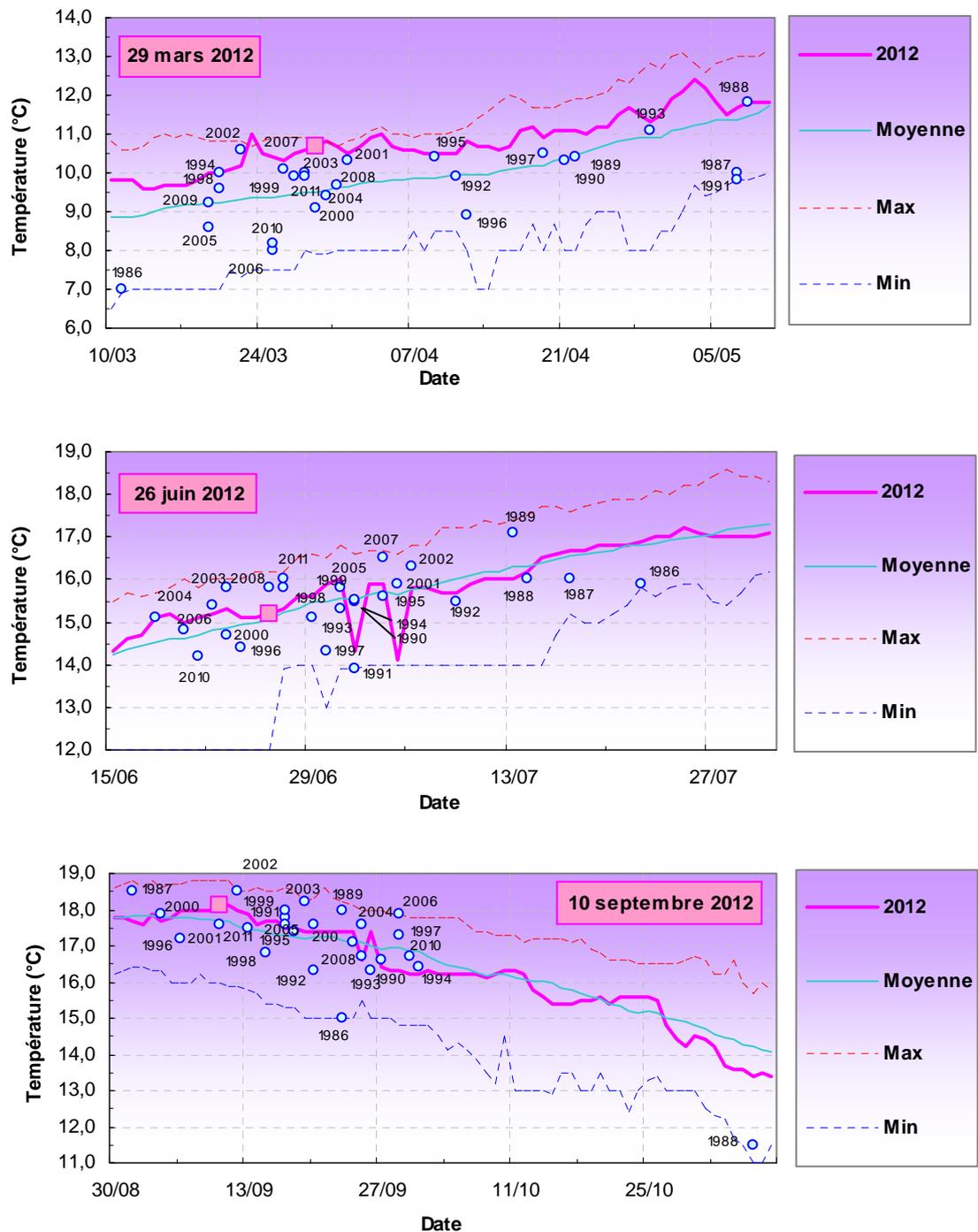


Figure 2.2.7 : Température de l'eau de mer en surface au canal d'aménée de Flamanville, entre 1986 et 2012. Pour chaque année, positionnement calendaire des 3 campagnes pélagiques. La température de l'eau de mer du jour de prélèvement est comparée à la moyenne, au maximum et au minimum observés au cours des 27 dernières années

3. Le domaine pélagique

Etude et rapport réalisés par

Philippe Monbet (PM Consulting) *Hydrologie et Microbiologie*

à l'Ifremer par

Elvire Antajan (LER/BL) *Zooplancton*

David Devreker (LER/BL) *Zooplancton*

Mathilde Shapira (LER/N) *Phytoplancton*

Avec la collaboration pour les prélèvements et les analyses de

Sylvaine Françoise (LER/N)

Aurore Lejolivet (LER/N)

Frank Maheux (LER/N)

Olivier Pierre-Duplessix (LER/N)

Emilie Rabiller (LER/N)

Benjamin Simon (LER/N)

Traitement des images satellites par

Francis Gohin (DYNECO/pelagos)

Analyses complémentaires réalisées par

Laboratoire départemental et régional de Biologie et d'Hygiène Franck Duncombe de Caen (Microbiologie, Trihalométhanes)

Laboratoire Eurofins de Bordeaux (Hydrazine, Ethalonamine)

3.1. Méthodologie

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

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

Le matériel et les méthodes d'analyses utilisés en 2012 sont les mêmes que les années précédentes.

Le calendrier des missions, les paramètres étudiés et le nombre d'échantillons prélevés en chaque point sont précisés dans les tableaux 1.2.2 et 3.2.2. Les campagnes de 2012 se sont déroulées les 29 mars, 26 juin et 10 septembre, en période de mortes eaux à bord du *N/O DELPHY* (hydrologie, phytoplancton et zooplancton) et au moyen du Zodiac de la SNSM de Diélette (bactériologie et trihalométhanes).

3.2. Hydrologie

3.2.1. Méthode

3.2.1.1. Prélèvements

Sur l'ensemble des points *canal*, *rejet* et *référence*, un prélèvement est effectué en surface.

3.2.1.2. Paramètres mesurés et précisions

Les paramètres hydrologiques mesurés sont la température, la salinité, les sels nutritifs (ammonium, nitrate, nitrite, phosphate et silicate). La température et la salinité sont aussi mesurées à mi-profondeur. Les techniques appliquées à l'échantillonnage et à la mesure de ces différents paramètres sont présentées dans *Hydrologie des écosystèmes marins, paramètres et analyses* (Aminot et Kérouel, 2004). La précision sur la mesure des différents paramètres est indiquée dans le tableau 3.2.1 ci-dessous.

| | <i>Temp.</i> (°C) | <i>Salinité</i> | NO_3^- (μM) | NO_2^- (μM) | NH_4^+ (μM) | PO_4^{3-} (μM) | $Si(OH)_4^-$ (μM) | <i>Turbidité</i> (FNU) | <i>Trihalométhane</i> ($\mu g L^{-1}$) |
|--------------------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|---|
| PRECISION | ± 0,01 | ± 0,01 | ± 0,1 | ± 0,01 | ± 0,005 | ± 0,01 | ± 0,05 | ± 2 % | ± 0,1 |
| LIMITE DE DETECTION | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,04 | 0,01 | 1,0 |

Tableau 3.2.1 : Précision sur les analyses réalisées

La température et la salinité sont mesurées par une sonde YSI 600 QS. La turbidité a été mesurée à l'aide d'un turbidimètre Eutech Instruments TN10. Les analyses d'hydrazine et ethanolamine ont été réalisées par le laboratoire Eurofins par chromatographie liquide haute performance (CLHP).

3.2.1.3. Présentation graphique

Les résultats des campagnes hydrologiques sont présentés sous forme de courbes, d'histogrammes et de boîtes à moustaches. Les courbes présentent les valeurs obtenues lors de l'année 2012, avec leurs variabilités spatiales et saisonnières. Les histogrammes et les boîtes à moustaches présentent l'ensemble des données acquises depuis 1987. L'utilisation de la médiane dans les boîtes à moustaches, permet de minimiser l'influence des valeurs extrêmes par rapport à la moyenne.

Les résultats 2012 sont présentés avec une couleur différente par rapport aux années précédentes. Pour chaque paramètre et pour chaque point, les histogrammes sont regroupés par campagne (printemps, été et automne).

3.2.1.4. Traitement statistique

Un traitement statistique a été réalisé pour les paramètres étudiés sur la période 1987-2012. Cette étude permet de comparer les données observées aux points *référence*, *rejet* et *canal* afin d'établir s'il existe ou non des différences significatives à long terme. Avant de choisir et d'effectuer des tests statistiques appropriés, il est essentiel de vérifier la normalité des distributions des données. Cette normalité de distribution est vérifiée à l'aide des coefficients d'asymétrie et d'aplatissement standardisés. Lorsque la distribution est normale, le test de Student est utilisé pour les échantillons appariés afin de comparer les données. Dans le cas contraire (distribution non normale), le test de Wilcoxon est utilisé.

Les tests permettent de déterminer la 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 %.

3.2.2. Résultats des mesures de la surveillance hydrologique pour l'année 2012

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de mesure pour l'année 2012 sur le site de Flamanville sont présentés dans le tableau 3.2.2

| | CANAL D'AMENEE | REJET | REFERENCE SURFACE | |
|---------------------|---------------------|-------|----------------------|-------|
| 29 MARS | Température (°C) | 10,2 | 12,3 | 9,66 |
| | Salinité | 35,2 | 35,2 | 35,5 |
| | Nitrate (µM) | 6,00 | 7,22 | 8,95 |
| | Nitrite (µM) | 0,17 | 0,17 | 0,18 |
| | Ammonium (µM) | 0,15 | 0,16 | 0,11 |
| | Phosphate (µM) | 0,25 | 0,31 | 0,38 |
| | Silicate (µM) | 1,13 | 1,11 | 2,05 |
| | Turbidité (FNU) | 1,60 | 3,20 | 1,40 |
| | Hydrazine (mg/L) | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| | Ethanolamine (mg/L) | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| 26 JUIN | Température (°C) | 14,8 | 16,7 | 14,2 |
| | Salinité | 35,2 | 35,3 | 35,2 |
| | Nitrate (µM) | 0,39 | 0,57 | 1,63 |
| | Nitrite (µM) | 0,05 | 0,02 | 0,10 |
| | Ammonium (µM) | 0,17 | 0,12 | 0,28 |
| | Phosphate (µM) | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| | Silicate (µM) | 2,37 | 2,33 | 2,23 |
| | Turbidité (FNU) | 0,65 | 0,60 | 0,39 |
| | Hydrazine (mg/L) | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| | Ethanolamine (mg/L) | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| 10 SEPTEMBRE | Température (°C) | 17,9 | 20,5 | 17,7 |
| | Salinité | 35,4 | 35,4 | 35,3 |
| | Nitrate (µM) | 0,52 | 0,55 | 1,32 |
| | Nitrite (µM) | 0,08 | 0,08 | 0,15 |
| | Ammonium (µM) | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| | Phosphate (µM) | 0,20 | 0,20 | 0,23 |
| | Silicate (µM) | 2,03 | 2,14 | 2,12 |
| | Turbidité (FNU) | 0,51 | 0,31 | 0,75 |
| | Hydrazine (mg/L) | 0,2 | < 0,1 | < 0,1 |
| | Ethanolamine (mg/L) | < 0,1 | | |

Tableau 3.2.2 : Récapitulatif des résultats de surveillance pour l'année 2012

3.2.2.1. Température de l'eau de mer

3.2.2.1.1 Variations saisonnières de la température

Au cours des trois campagnes de surveillance 2012, la température de l'eau de mer a varié de 10,2 à 17,9 °C au point *canal*, de 12,3 à 20,5 °C au point *rejet* et de 9,66 à 17,7 °C au point *référence* en surface (figure 3.2.1). Comme habituellement, les températures au point *référence* sont systématiquement inférieures à celles du point *canal* au cours des trois campagnes. Les écarts de température mesurés aux différentes profondeurs à la station *référence* sont faibles confirmant le caractère brassé de la colonne d'eau dans cette zone.

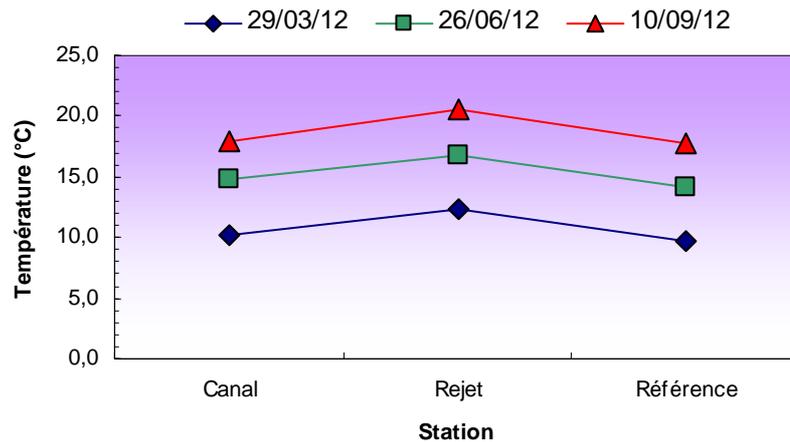


Figure 3.2.1 : Température de l'eau de mer en surface lors des trois campagnes de 2012

L'amplitude thermique entre les fins d'hiver et d'été a été en moyenne de 7,9 °C sur les points *canal* et *référence*. Cet écart est plus important que celui de l'an passé (7,1 °C), mais reste encore bien inférieur à ceux calculés 2005 et 2006 (environ 10 °C).

La figure 3.2.2 caractérise le renouvellement des masses d'eau en Manche au travers du 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 de courant au cours d'un cycle de marée. Les faibles valeurs du paramètre de stratification ($< 2,0$) indiquent que la colonne d'eau est bien brassée, tandis que les fortes valeurs ($> 3,0$) définissent les zones susceptibles d'observer des stratifications de la colonne d'eau en été. Ainsi, la figure 3.2 montre que la centrale est située dans une zone où le taux de mélange est suffisant pour éviter les phénomènes de stratification, ce qui réduit alors le réchauffement estival en surface et explique la gamme réduite de variations de température.

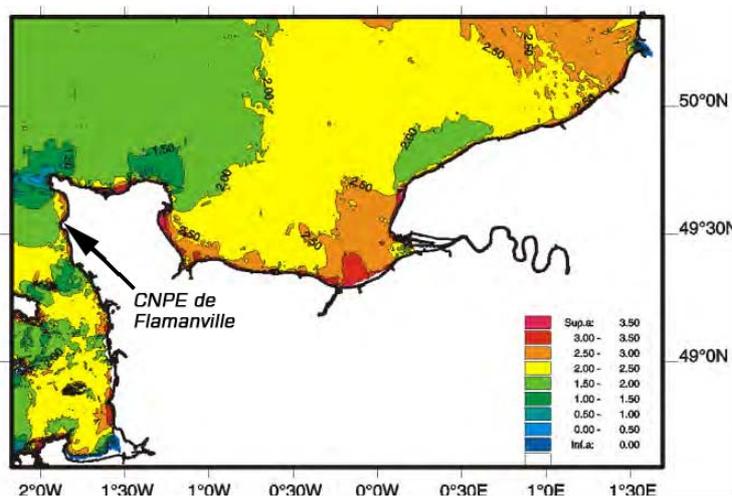


Figure 3.2.2 : Évolution spatiale du paramètre de stratification (H/u^3) en Manche réalisée à l'aide d'un modèle hydrodynamique 2D (IFREMER DEL/AO-LERN)

3.2.2.1.2 Variations inter-annuelles

La visualisation conjointe des figures 2.2.7 (p. 12) et 3.2.3 permet de nuancer les évolutions de températures de l'eau de mer entre deux années successives. Les températures de 2012 ont été très proches de celles observées en 2011 au printemps sur l'ensemble des points. En été et en automne, les températures 2012 ont été respectivement plus faibles et plus élevées que l'an passé.

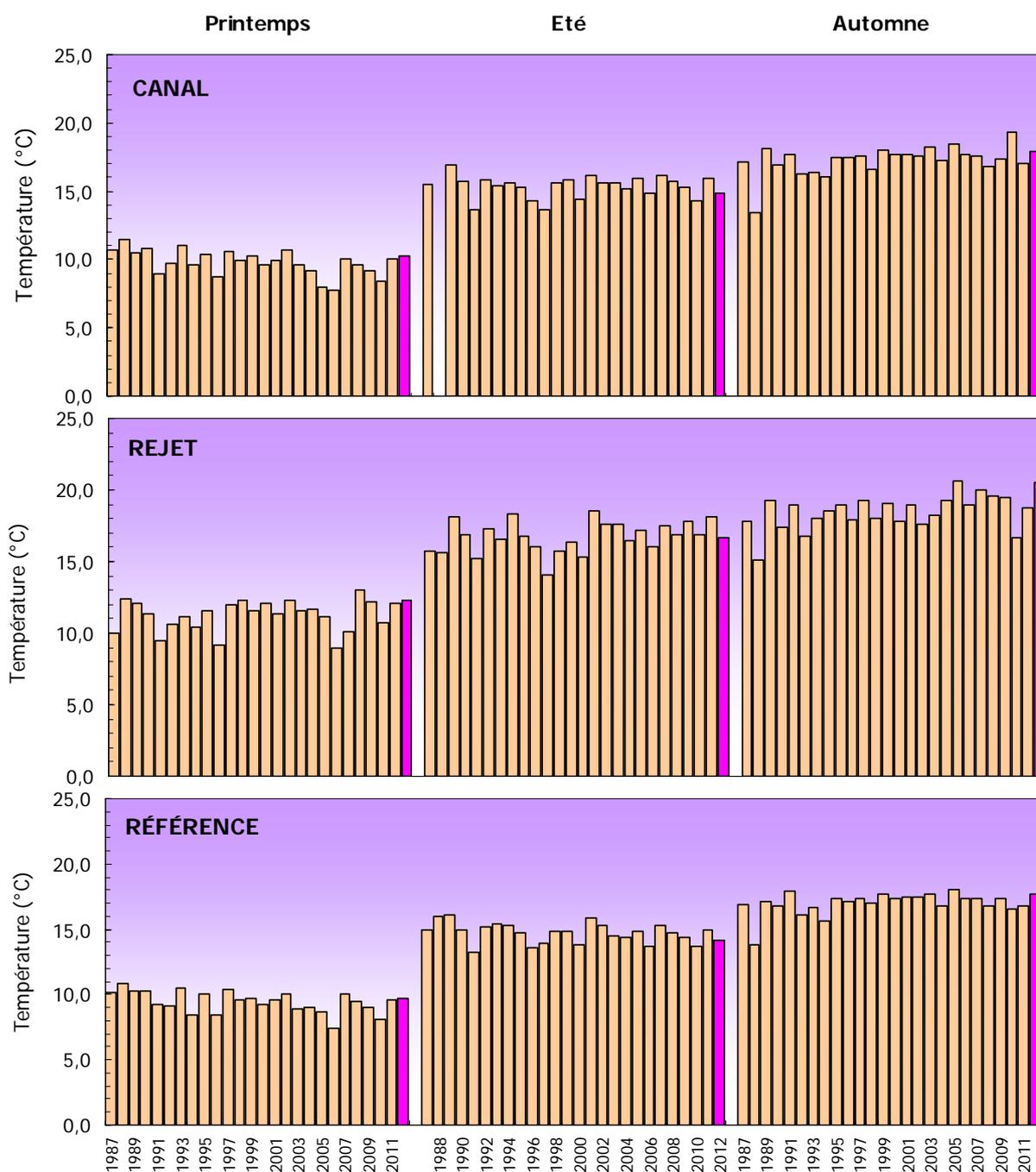


Figure 3.2.3 : Température de l'eau en surface sur la période 1987-2012 (2012 est en rose)

La comparaison des distributions de températures observées depuis plus de 25 ans, par saison et par point est présentée sur la figure 3.2.4. Au printemps et en automne, les températures 2012 sur les différents points de suivi sont systématiquement supérieures aux médianes pluriannuelles. En particulier, la température au point *rejet* en automne est la seconde plus forte valeur observées depuis 1987 (20,59°C étant la plus forte en 2005). La saison estivale 2012 est caractérisée par températures inférieures aux médianes pluriannuelles sur tous les points de surveillance.

L'ensemble des médianes est caractérisé par des valeurs systématiquement plus élevées au point *rejet* par rapport aux points *référence* et *canal*. La valeur médiane au point *canal* (côtier) est aussi supérieure à celle du point *référence* (large). Les températures observées en 2012 suivent ces tendances.

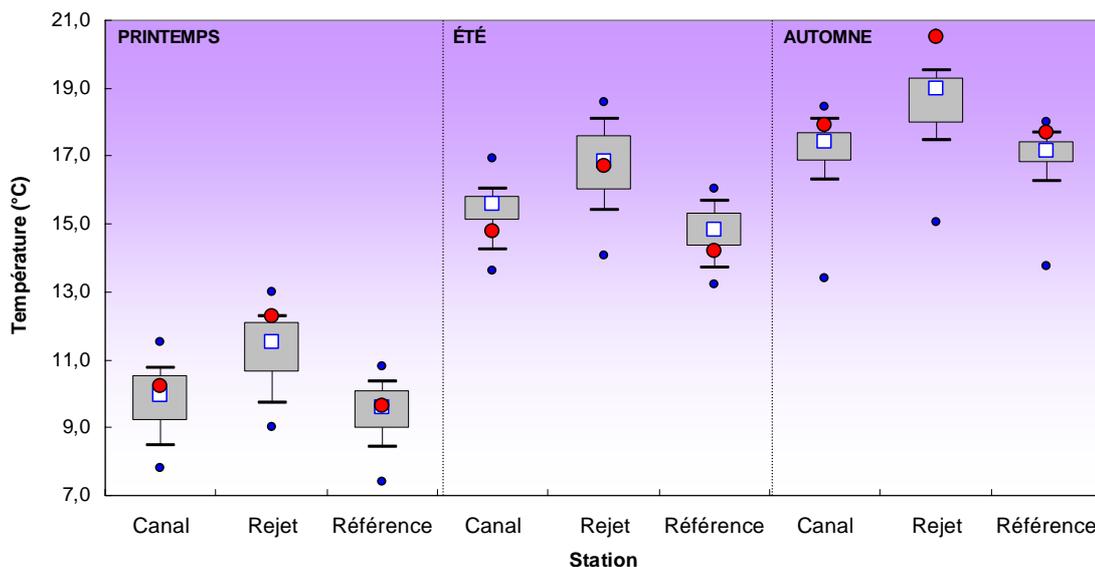


Figure 3.2.4 : Comparaison des distributions de la température par campagne et par point sur la période 1987-2011. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50% des valeurs (▭) ; les moustaches, 80% des valeurs (┘). Les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2012 (●)

Comme le montre la figure 2.2.4 (cf. chapitre 2), une corrélation linéaire significative existe entre la température de l'air et celle de l'eau de mer (1986-2012). Les mesures réalisées en 2012 sont en accord avec cette observation.

3.2.2.1.3 Température au *rejet* et taux de dilution

Les différences de température enregistrées en 2012, entre les points *rejet* et *référence*, ont été respectivement de 2,64, 2,50 et 2,80 °C en mars, juin et septembre. Entre les points *rejet* et *canal*, ces écarts ont été respectivement de 2,08, 1,90 et 2,60 °C. La distribution de ces écarts de température mesurés depuis 1987, est présentée sur la figure 3.2.5.

En 2012, les écarts observés sont généralement élevés, car tous nettement au dessus des médianes pluriannuelles. Ils ne suivent pas la tendance décrite par les médianes avec un maximum observé généralement en été. En automne, les écarts observés sont parmi les plus importants depuis 1987. Cependant, ils restent inférieurs à ceux de l'année 2008.

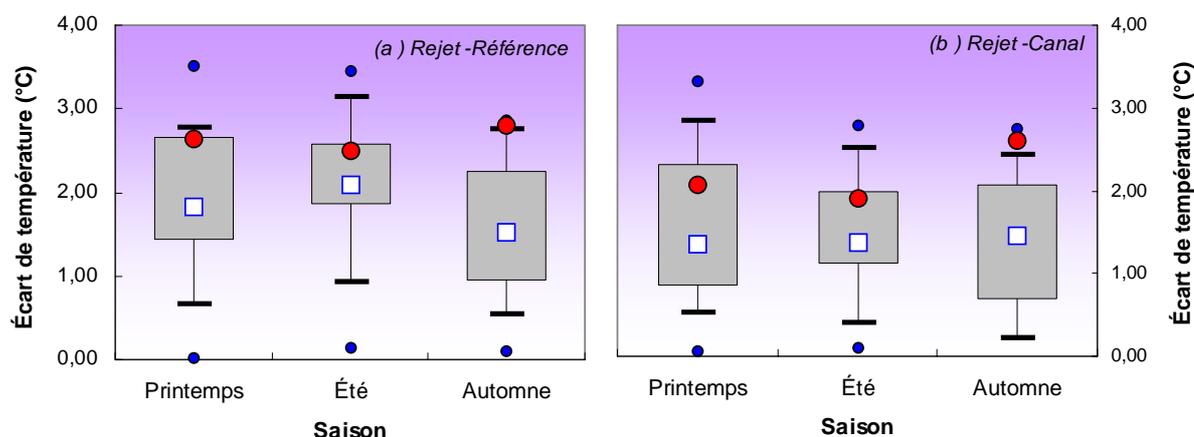


Figure 3.2.5 : Distribution par campagne des différences de température entre les points rejet et référence point sur la période 1987-2011. Le point central représente la médiane (\square) ; la boîte englobe 50% des valeurs (\square) ; les moustaches, 80% des valeurs (\top). Les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (\bullet). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2012 (\bullet)

La température mesurée au point *rejet* dépend en grande partie de la proportion de mélange des eaux issues du rejet avec les eaux côtières. Cette proportion peut être estimée d'après la formule suivante :

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

π représente la proportion d'eau échauffée potentielle. $t^{\circ}Rejet$, $t^{\circ}Canal$ et $t^{\circ}SC$ représentent respectivement les températures au point *rejet* (en surface, à la verticale des bouches de rejet en mer), au point *canal* (également en surface) et à la sortie du condenseur (mesures EDF). Le dénominateur de l'équation (1) correspond à l'échauffement maximal des eaux pompées. Par arrêté, cet échauffement ne doit pas excéder 15 °C (Malherbe et Manoha, 1977). Les proportions d'eau échauffée et les taux de dilution théoriques qui en découlent sont présentés dans le tableau 3.2.3. L'exigence sur l'échauffement thermique est bien respectée.

| 2012 | t° Canal | | t° Sortie Condenseur | | t° Rejet | t°Rejet-t°Canal | t°SC-t°Canal | π | % Taux Dilution |
|--------------|----------|------|----------------------|------|----------|-----------------|--------------|-------|-----------------|
| | Ifremer | EDF | T1 | T2 | | | | | |
| 29 Mars | 10,2 | 10,7 | 21,2 | 19,3 | 12,3 | 2,1 | 11,0 | 0,19 | 80,9 |
| 26 Juin | 14,8 | 15,2 | 28,1 | 28,0 | 16,7 | 1,9 | 13,2 | 0,14 | 85,6 |
| 10 Septembre | 17,9 | 18,1 | 19,3 | 25,1 | 20,5 | 1,6 | 7,2 | 0,22 | 77,8 |

Tableau 3.2.3 : Echauffements de l'eau de mer et taux de dilution calculés à Flamanville en 2012

Les taux de dilution pour l'année 2012 varient entre 78 et 86 %. Ces taux sont élevés, mais restent sensiblement inférieurs à ceux observés depuis une vingtaine d'années (~90 %).

3.2.2.1.4 Approche statistique

Les résultats des tests statistiques réalisés sur les données de température enregistrées depuis 1987 sont présentés dans le tableau 3.2.4. L'étude statistique confirme que la température de l'eau de mer au point *rejet* est significativement différente (au seuil de probabilité 5 %) de celles enregistrées aux stations *canal* et *référence* entre 1987 et 2012. 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*.

| Comparaison | Printemps | Été | Automne |
|-------------------|-----------|-------|---------|
| Canal / Rejet | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Référence / Rejet | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Canal / Référence | 0,001 | 0,000 | 0,001 |

(p -value $< 0,05$ = différence significative ; p -value $> 0,05$ = différence non significative)

Tableau 3.2.4 : « p -value » des tests statistiques sur les données de température enregistrées depuis 1987 ($n = 26$ pour chaque point et chaque saison)

Les résultats montrent aussi que les températures au point *canal* sont significativement différentes de celles du point *référence*. En raison du caractère alternatif des courants de marée, de l'eau réchauffée est susceptible de dériver devant la centrale. Les travaux de Malherbe et Manoha (1977) ont en particulier montré que ce phénomène pouvait conduire à une élévation de la température d'environ 1 °C devant la centrale. Les vents de secteur nord peuvent aussi avoir une influence dans l'advection des masses d'eau réchauffée vers le canal d'amenée. En 2008, le fonctionnement d'une seule tranche de la centrale au moment des prélèvements a mis en évidence l'absence claire de différence significative de température entre les trois points d'échantillonnage. Ceci suggère que la différence significative entre les points *canal* et *référence* constatée encore cette année, résulte en partie, d'une dérive des eaux réchauffées du *rejet* vers le canal d'amenée. Les travaux de modélisation du panache thermique réalisés par Violeau et Dribault (1997) montrent une élévation potentielle de température sur le canal d'amenée par le panache du rejet, à la pleine mer aussi bien en morte-eau qu'en une vive-eau moyenne. Selon le flot ou le jusant, le panache thermique s'affine et s'allonge davantage vers le sud que vers le nord. Toutefois, quelle que soit la marée, les résultats issus de la modélisation montrent que l'impact thermique lié au rejet d'eau échauffée de la centrale reste géographiquement très localisé. Les résultats de modélisation sont en accord avec les mesures des campagnes de surveillance.

3.2.2.2. Salinité

3.2.2.2.1 Variations spatiales et saisonnières de la salinité

Les salinités mesurées en 2012 (figure 3.2.6) sont comprises entre 35,2 et 35,4 au point *canal* et *rejet* et entre 35,2 et 35,5 au point *référence* en surface. Elles présentent peu de variation au cours de l'année, excepté une faible augmentation observée au point *référence* au printemps. Les variations spatiales sont aussi très limitées avec un gradient côte-large habituellement croissant très peu marqué cette année.

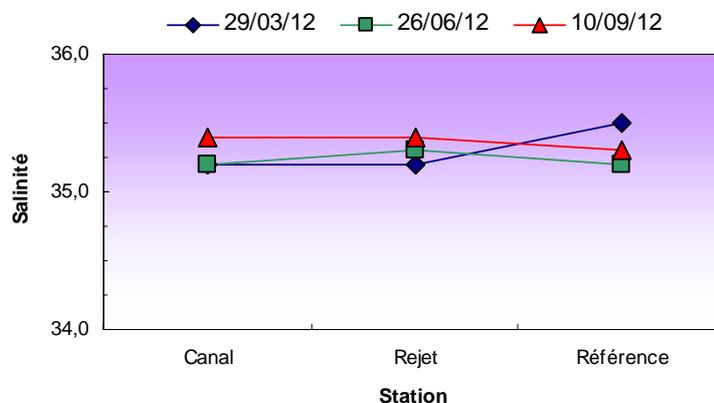


Figure 3.2.6 : Salinité de l'eau de surface lors les campagnes 2012

3.2.2.2 Variations inter-annuelles

La figure 3.2.7 présente l'ensemble des valeurs de salinité sur la période 1987-2012. Les salinités mesurées en 2012 sont toujours supérieures (ou égales en été aux points *canal* et *référence*) à celles de 2011. Au printemps notamment, les salinités sur l'ensemble des points sont nettement plus importantes que les années précédentes.

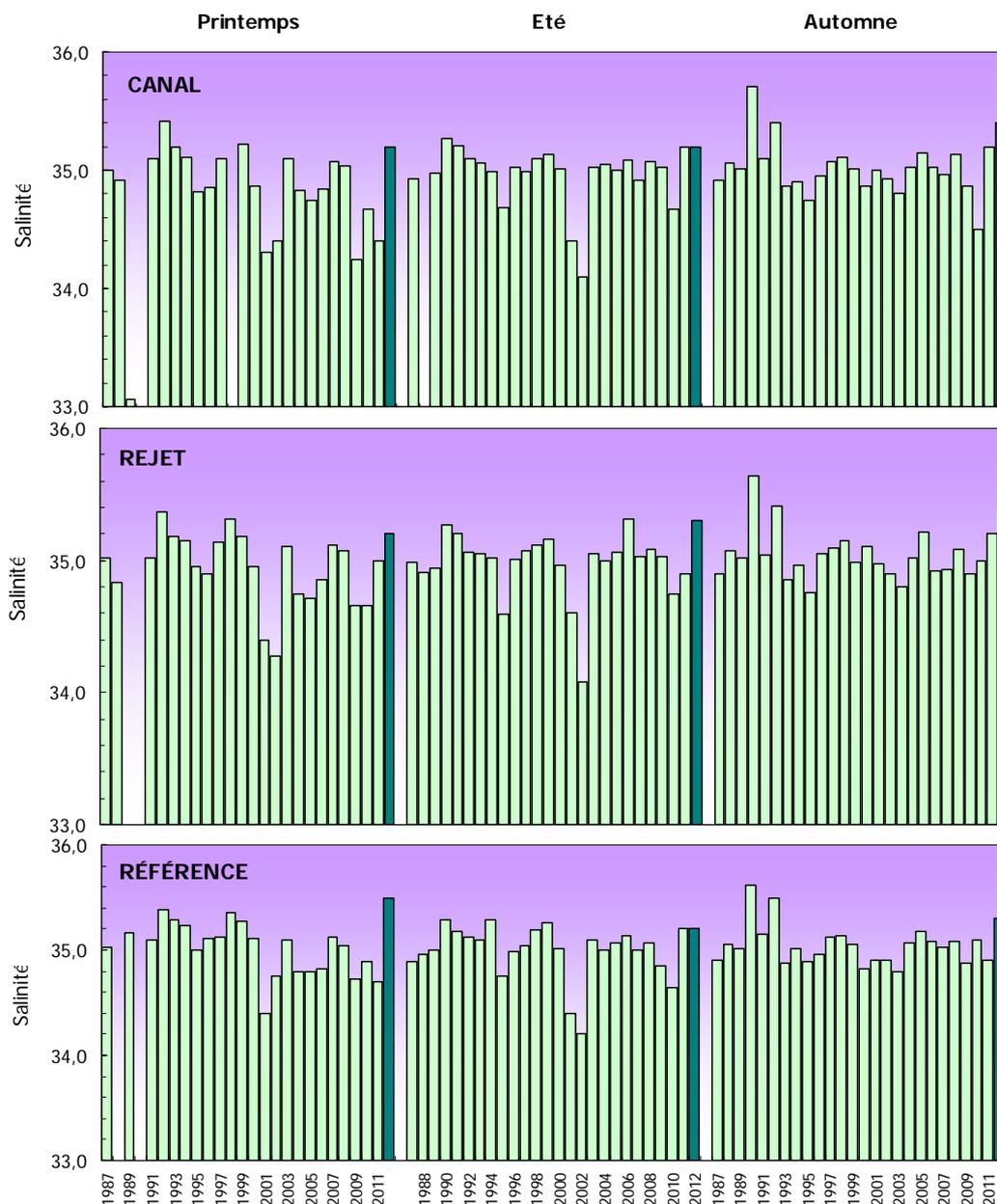


Figure 3.2.7 : Salinité de l'eau de surface pour les campagnes 1987 à 2012 (2012 en vert foncé)

La figure 3.2.8 présente la distribution des valeurs de salinité enregistrées entre 1987 et 2012. Les salinités mesurées au cours de campagnes de surveillance 2012 sont largement supérieures aux valeurs médianes calculées sur la période 1987-2011 sur l'ensemble des points de surveillance. Au point *référence* au printemps, c'est la plus forte salinité observée depuis le début de la période de surveillance, dépassant ainsi la valeur de 35,38 mesurée en 1992. En été au point *rejet*, la salinité 2012 est la seconde plus forte mesurée après 2006 (35,31).

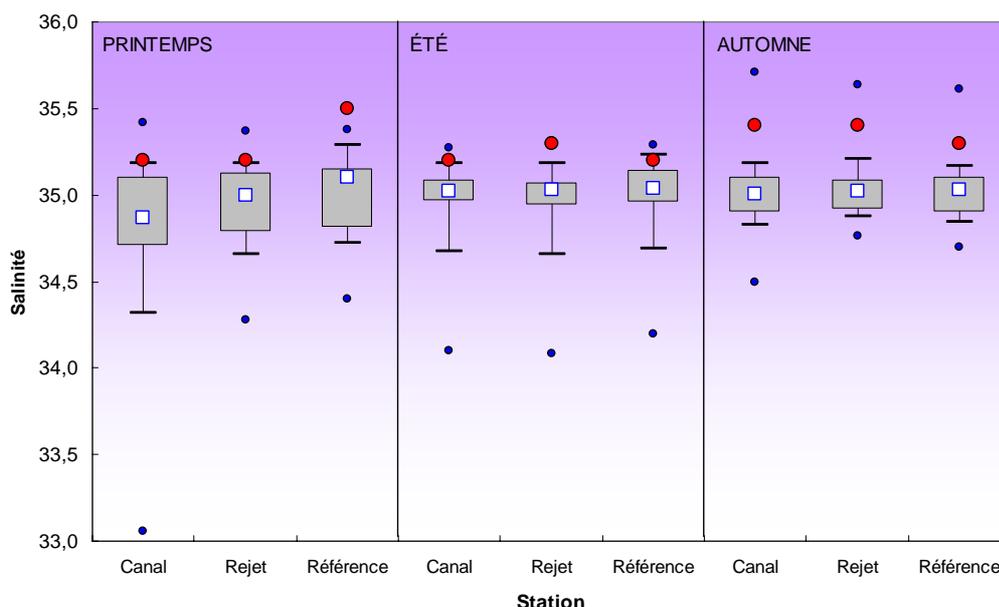


Figure 3.2.8 : Distributions de la salinité par campagne et par point depuis 1987. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50% des valeurs (▭) ; les moustaches, 80% des valeurs (⊢). Les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2012 (●)

Quelle que soit la période de l'année, la valeur des médianes pluriannuelles est proche de 35, confirmant le caractère *marin* dans cette zone fortement brassée de Manche Occidentale. Un léger gradient se distingue toutefois entre les trois points de surveillance. Les salinités médianes du point *rejet* se situent généralement entre celles des points *canal* et *référence*, indiquant un mélange des masses d'eau du large (*référence*) avec les masses d'eau côtières (*canal*) plus influencées par les apports d'eau douce des bassins versants. Au printemps, où les précipitations sont généralement les plus importantes, le gradient est ainsi plus marqué.

L'influence de la pluviométrie sur la salinité dans ce secteur reste toutefois relativement limitée tant sur le plan spatial que temporel. Ceci est en particulier lié à l'absence de rivière majeure dans ce secteur, mais aussi au caractère fortement brassé de la colonne d'eau. Les valeurs de salinité observées sont ainsi du même ordre de grandeur que celles habituellement relevées en Manche Occidentale (Armstrong *et al.*, 1972). Elles reflètent l'influence des eaux Atlantiques transitant vers la mer du Nord (Pingree et Maddock, 1977 ; Salomon *et al.*, 1993).

3.2.2.2.3 Approche statistique

Le tableau 3.2.5 présente les résultats des tests statistiques réalisés sur les salinités observées depuis 1987 aux différents points de surveillance.

| Comparaison | Printemps | Été | Automne |
|-------------------|--------------|--------------|---------|
| Canal / Rejet | 0,413 | 0,284 | 0,603 |
| Référence / Rejet | 0,005 | 0,495 | 0,712 |
| Canal / Référence | 0,000 | 0,042 | 0,523 |

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

Tableau 3.2.5 : « *p-value* » des tests statistiques sur les données de salinité enregistrées depuis 1987

L'intégration des données de salinités mesurées en 2012 ne change pas les résultats de l'étude statistique. Les tests indiquent qu'il n'existe pas de différence significative pour la salinité entre les points *canal-rejet* tout au long de l'année, *référence-rejet* en été et automne et enfin *canal-référence* en automne. Seules les salinités entre les points *rejet-référence* et *canal-référence* présentent des différences significatives au printemps et en été. Les points *canal* et *rejet*, proches de la côte, sont caractérisés par des salinités généralement légèrement inférieures à celles du point *référence* situé plus au large. Cela confirme la présence d'un gradient côte-large lié aux apports d'eau douce d'origine continentale, en général plus abondants au printemps.

Les effluents d'eau déminéralisée des circuits primaires, des circuits secondaires, ainsi que des circuits annexes pour le refroidissement des auxiliaires de l'îlot nucléaire constituent l'apport principal d'eau douce de la centrale vers le milieu marin. Ces rejets sont ponctuels et irréguliers et se produisent lors de vidanges ou d'opérations de maintenance. Ils ne doivent pas dépasser la limite de $1000 \text{ m}^3 \text{ j}^{-1}$. Ils sont opérés dans un laps de temps court (2 heures) et à de faibles débits ($\sim 300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$) comparés aux rejets de l'eau de mer ($\sim 155\,000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$). Pour information, en 2010 le volume annuel rejeté était de $46\,502 \text{ m}^3$ pour les effluents de régénération et de rinçage, $11\,426 \text{ m}^3$ pour les effluents de lavage (filtres à sable) et $17\,139 \text{ m}^3$ pour les rejets de boues du décanteur. Le volume d'eau de mer utilisé pour l'ensemble des circuits de refroidissement était lui de $2\,342\,140\,165 \text{ m}^3$. Ainsi l'hypothèse d'un impact de la centrale pour expliquer les différences de salinités observées au printemps et en été est fort peu probable.

3.2.2.3. Ammonium

3.2.2.3.1 Variations spatiales et saisonnières de l'ammonium

Au cours des campagnes 2012, les teneurs en ammonium ont varié de $0,15$ à $0,30 \mu\text{M}$ au point *canal*, de $0,12$ à $0,30 \mu\text{M}$ au point *rejet* et de $0,11$ à $0,30 \mu\text{M}$ au point *référence* (figure 3.2.9).

Au printemps, les concentrations sont très faibles sur l'ensemble des points de surveillance. En été, elles restent aussi très faible sur les points *canal* et *rejet*. Au point *référence*, la concentration estivale en ammonium est sensiblement plus élevée. Elle est alors similaire à celles observées en automne sur l'ensemble des points de surveillance.

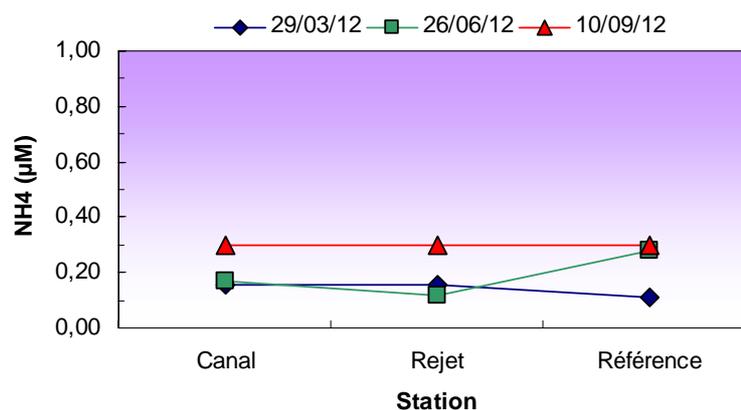


Figure 3.2.9 : Concentrations en ammonium (μM) dans les eaux de surface lors des campagnes 2012

Les faibles concentrations en ammonium correspondent au moins au printemps à d'importantes valeurs de chlorophylle *a*. Il est donc fort probable que l'ammonium a été utilisé par le phytoplancton comme source d'azote au printemps et en été. Ceci est habituellement le cas en Manche occidentale et orientale (L'Helguen et al., 1993 ; Gentilhomme et Lizon, 1998),

reflétant la préférence du phytoplancton pour l'ammonium même en présence de concentration de nitrate relativement importante (Cochlan 1986 ; Rees et al. 1995). L'augmentation des concentrations en ammonium en automne reflète l'augmentation de l'activité hétérotrophe et la régénération de l'ammonium dans la colonne d'eau. Par ailleurs, le gradient de concentration décroissant côte-large plus ou moins marqué les années précédentes n'a pas été observé cette année.

3.2.2.3.2 Variations inter-annuelles

L'évolution des teneurs en ammonium enregistrées aux différents points depuis 1987 est présentée sur la figure 3.2.10.

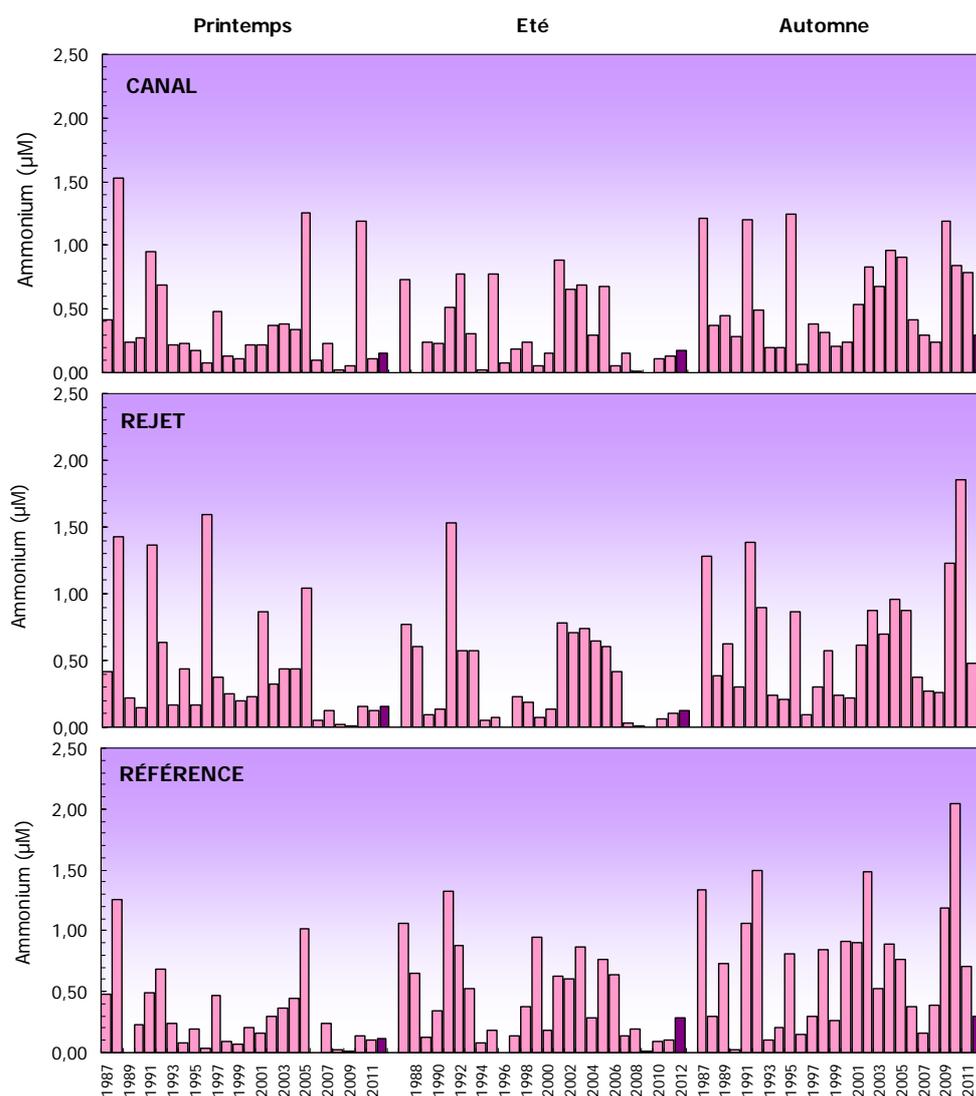


Figure 3.2.10 : Concentrations en ammonium dans l'eau de surface lors des campagnes de 1987 à 2012 (2012 en mauve foncé)

Les valeurs observées en 2012 sont supérieures ou similaires à celles de 2011 sur l'ensemble des points au printemps et en été. A l'inverse en automne, les teneurs en ammonium sont inférieures à celles de 2011 sur l'ensemble des points de surveillance. Comme l'illustre la figure 3.2.10, depuis 1987 les concentrations en ammonium présentent une très forte variabilité interannuelle sur l'ensemble des points. Les différences de concentrations en ammonium observées en 2012 comparées aux autres années s'inscrivent dans cette distribution très variable.

La figure 3.2.11 présente la distribution des teneurs en ammonium enregistrées entre 1987 et 2012. Les teneurs mesurées en 2012 sont inférieures aux médianes pluriannuelles tout au long de l'année sur l'ensemble des points de surveillance.

La forte dispersion des valeurs confirme l'importante variabilité de ce paramètre dans la colonne d'eau. Toutefois quelques caractéristiques se distinguent avec au printemps, une concentration médiane du point *rejet* sensiblement supérieure à celle des deux autres points et durant le reste de l'année la présence d'un gradient croissant côte-large, en particulier marqué en automne. En 2012, la distribution des teneurs mesurées au cours de la campagne d'automne n'est pas caractérisée par ce gradient côte-large marqué.

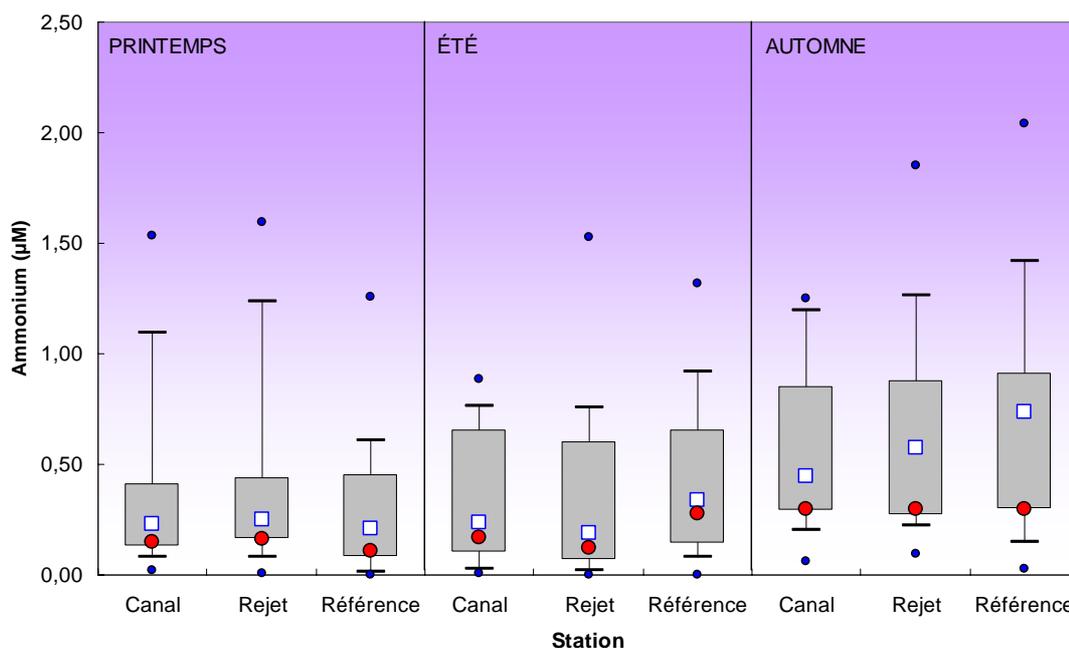


Figure 3.2.11 : Distributions des concentrations en ammonium par campagne et par point depuis 1987. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▭) ; les moustaches, 80 % des valeurs (┌┐). Les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2012 (●)

3.2.2.3.3 Approche statistique

Les résultats des tests relatifs à l'étude statistique des teneurs en ammonium depuis 1987 à Flamanville sont présentés dans le tableau 3.2.6.

| Comparaison | Printemps | Été | Automne |
|-------------------|--------------|--------------|---------|
| Canal / Rejet | 0,989 | 0,574 | 0,110 |
| Référence / Rejet | 0,047 | 0,044 | 0,174 |
| Canal / Référence | 0,003 | 0,110 | 0,105 |

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

Tableau 3.2.6 : « p-value » des tests statistiques sur l'ammonium
(n = 26 pour chaque point et chaque saison)

Cette année, l'intégration des résultats des campagnes de surveillance 2012 modifie sensiblement les résultats de l'étude statistique. Deux nouvelles différences significatives apparaissent entre les points *référence* et *rejet* au printemps et en été. Ces différences significatives s'ajoutent à celle entre les points *canal* et *référence* au printemps. Il n'existe sinon pas d'autre différence significative entre les trois points de surveillance pour ce sel nutritif.

Jusqu'à fin 2010, la centrale pouvait représenter une source potentielle d'ammonium via des rejets d'ammoniacque. Le conditionnement du circuit secondaire nécessitait en effet l'utilisation de ce composé chimique. Les vidanges de ce circuit occasionnaient donc des rejets de plusieurs tonnes par an (5,6 T en 2010 et 8,2 T en 2009, Rapports annuels de surveillance de l'environnement ; EDF). Toutefois en raison du caractère très ponctuel de ces vidanges, ainsi que du fort taux de dilution dans les rejets, l'impact reste très limité. Depuis 2011, le CNPE de Flamanville conditionne ses circuits secondaires à l'éthanolamine. Il n'y a donc plus de rejet d'ammoniacque et l'impact de la centrale est donc inexistant.

3.2.2.4. Nitrate et nitrite

3.2.2.4.1 Variations spatiales et saisonnières du nitrate et du nitrite

La distribution des concentrations en nitrate et nitrite mesurées en 2012 est présentée sur la figure 3.2.12. Les teneurs en nitrate ont été comprises entre 0,39 et 6,00 μM au point *canal*, entre 0,55 et 7,22 μM au point *rejet* et entre 1,32 et 8,95 μM au point *référence*. Les teneurs en nitrite ont variées de 0,05 à 0,17 μM au point *canal*, de 0,02 à 0,17 μM au point *rejet* et enfin de 0,10 à 0,18 μM au point *référence*.

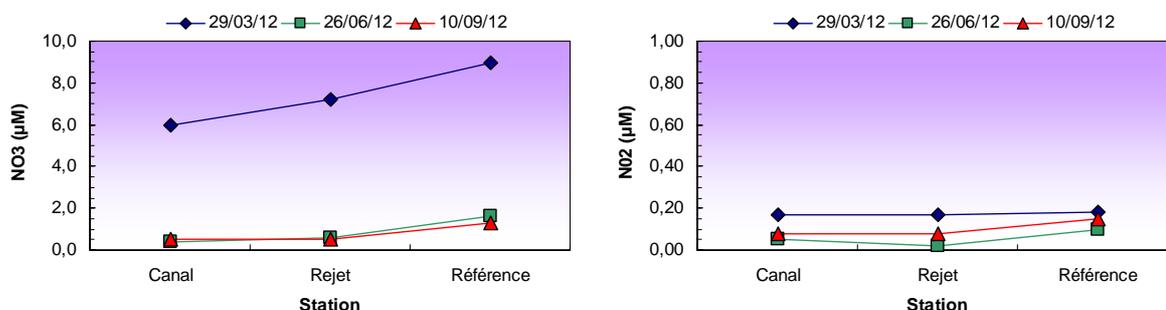


Figure 3.2.12 : Concentrations en nitrate (μM) et nitrite (μM) dans les eaux de surface en 2012

Les concentrations présentent des variations spatiales relativement faibles au cours des différentes saisons, mais on note une augmentation des concentrations au point *référence* pour le nitrate. Pour ce nutriment, les teneurs sont relativement élevées au printemps, diminuent fortement en été. En automne, les teneurs sont restées très proches des valeurs estivales. En été, les teneurs mesurées à Flamanville sont comparables à celles observées au large du plateau continental atlantique français à la fin de l'été par Lampert (2001) et par le Réseau Hydrologique du Littoral Normand (RHLN). Dans l'ensemble, elles suivent une évolution saisonnière classique. Durant l'hiver, les précipitations lessivent les bassins versants et permettent de contribuer à la constitution du stock de nutriments dans le milieu. Au printemps lorsque les conditions de température et de luminosité sont suffisantes pour la photosynthèse, le phytoplancton se développe et consomme la quasi-totalité du stock de sels nutritifs, d'où les faibles teneurs observées en juin. Des changements au niveau des peuplements phytoplanctoniques, puis une dégradation de cette matière organique par les bactéries entraînent une régénération des sels et donc une augmentation des teneurs en nitrate et nitrite dans la colonne d'eau en automne (figures 3.12). L'échantillonnage ayant eu lieu durant la deuxième quinzaine de mars et la période productive débutant potentiellement mi-mars, il est probable que le stock hivernal de sels azotés ait déjà été partiellement entamé (les concentrations en chlorophylle étant relativement élevées). Ceci est aussi à rapprocher des concentrations en ammonium et silicate mesurées à la même période.

3.2.2.4.2 Variations inter-annuelles

Les variations des concentrations en nitrate et nitrite sur la période 1987-2012 sont respectivement présentées sur les figures 3.2.13 et 3.2.14.

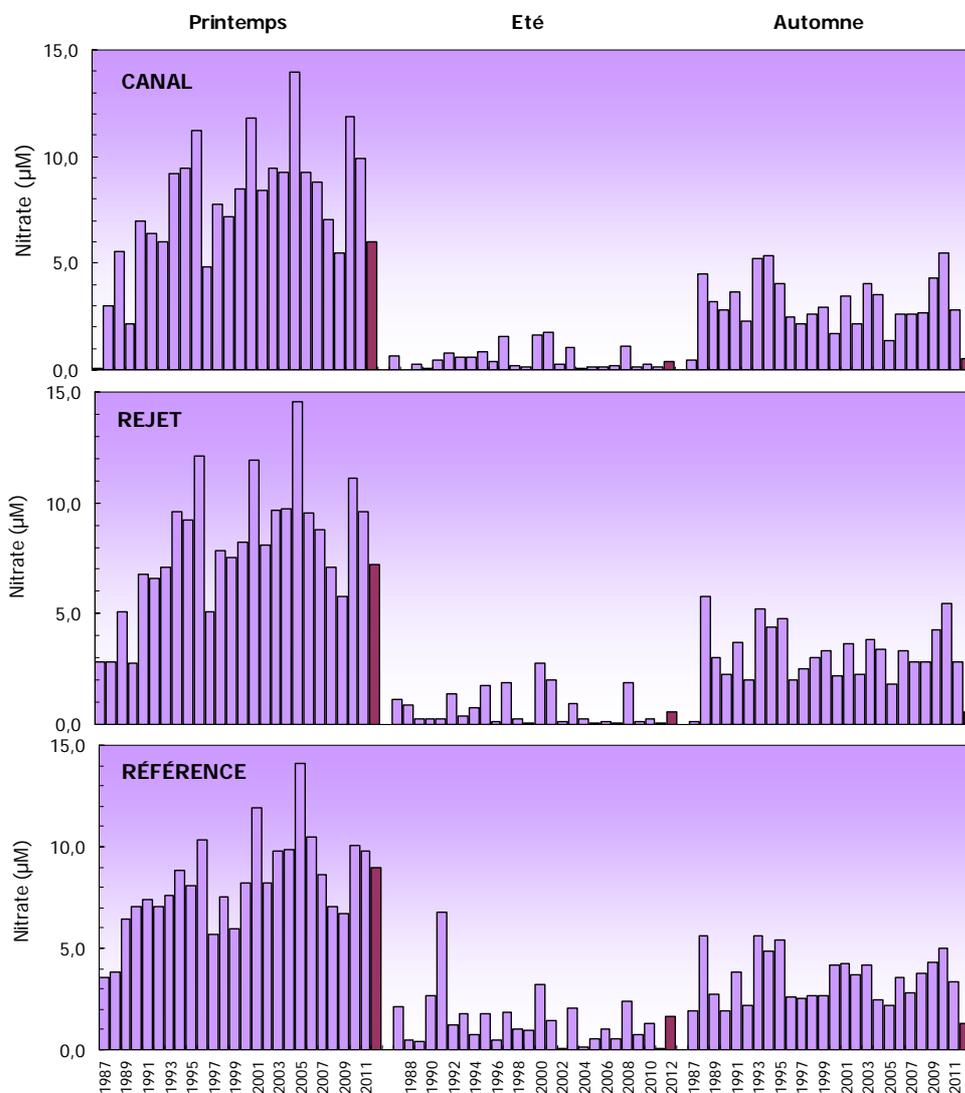


Figure 3.2.13 : Concentrations en nitrate dans l'eau de surface pour les campagnes de 1987 à 2012 (2012 en mauve foncé)

Les concentrations en nitrate sont systématiquement inférieures à celles de l'année précédente sur l'ensemble des points de surveillance au printemps et en automne. L'inverse est observé pour la période estivale. Les concentrations en nitrite mesurées en 2012 sont supérieures à celles de 2011 au printemps et en été sur l'ensemble des points de surveillance. En automne, elles sont inférieures à celles de 2011 et font partie des plus faibles mesurées durant cette partie de l'année.

Dans l'ensemble, les concentrations en nitrate sont sensiblement supérieures aux gammes de concentrations couramment observées en Manche (~5-6 μM pour les nitrates pour des salinités ~35, Lanne, 1992), et ceci au printemps. La gamme de concentration observée pour le nitrite est similaire à celle observée précédemment (0,01-0,6 μM pour les nitrites pour des salinités ~35, Laane, 1992).

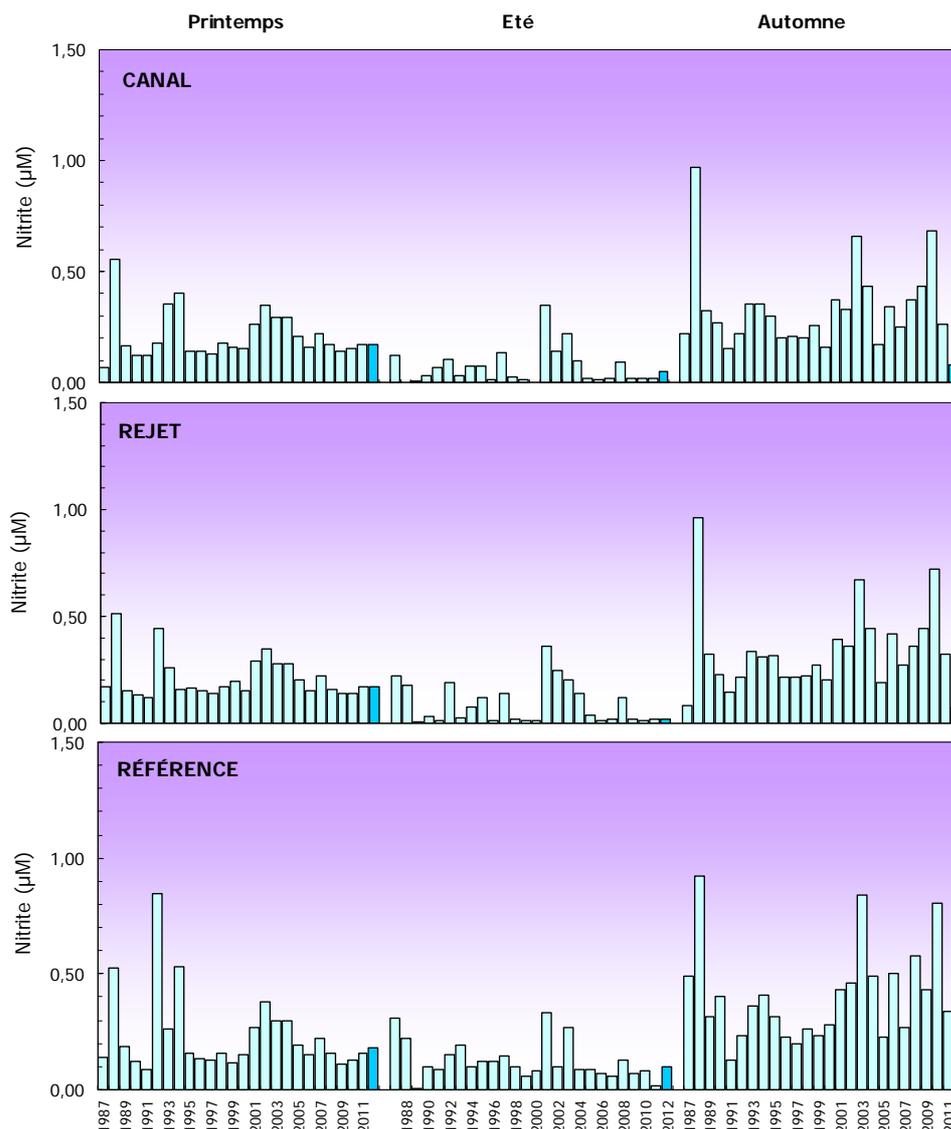


Figure 3.2.14 : Concentrations en nitrite dans l'eau de surface pour les campagnes 1987 à 2012 (2012 en turquoise)

La figure 3.2.15 présente la distribution des teneurs en nitrate et nitrite mesurées entre 1987 et 2012. Au printemps, les teneurs en nitrates sont inférieures aux médianes pluriannuelles, excepté au point *référence*. Durant cette saison, les teneurs en nitrites sont quant à elles similaires aux médianes. En été, les teneurs de nitrates et nitrites sont aussi sur tous les points de surveillance très proches des médianes. Finalement en automne, les concentrations mesurées sont parmi les plus faibles mesurées depuis le début de la surveillance.

Dans l'ensemble, les valeurs des médianes illustrent clairement la présence du stock de nitrate en période hivernale, l'utilisation de l'azote durant la période estivale et le début des processus de régénération en automne. Par ailleurs au printemps, du fait du caractère plus ou moins précoce du développement phytoplanctonique et des dates d'échantillonnage, une importante variabilité est observée, soulignant l'utilisation (ou non) du stock hivernal de nitrate lors du bloom printanier.

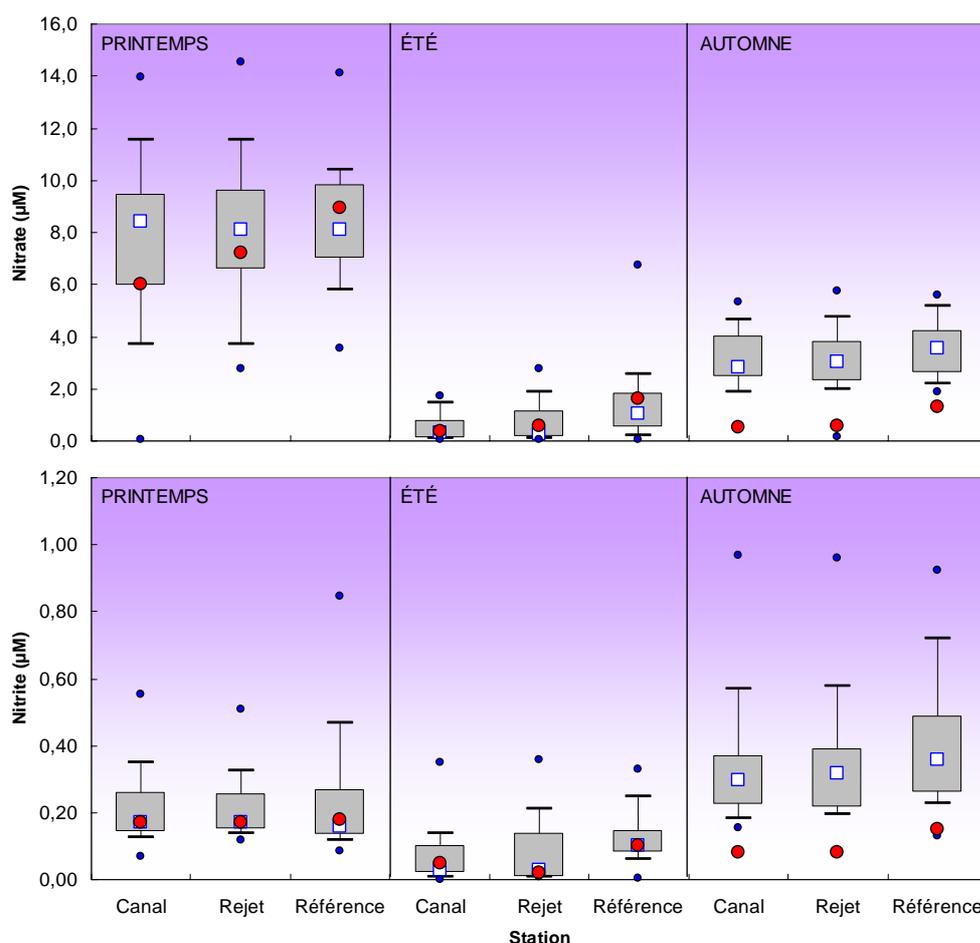


Figure 3.2.15 : Comparaison des distributions des concentrations en nitrate par campagne et par point depuis 1987. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50% des valeurs (▭) ; les moustaches, 80% des valeurs (┌). Les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2012 (●)

3.2.2.4..3 Approche statistique

Le tableau 3.2.7 présente les résultats des tests statistiques réalisés pour le nitrate et le nitrite depuis 1987.

| | Comparaison | Printemps | Été | Automne |
|---------|-------------------|-----------|--------------|--------------|
| Nitrate | Canal / Rejet | 0,067 | 0,027 | 0,311 |
| | Référence / Rejet | 0,269 | 0,001 | 0,026 |
| | Canal / Référence | 0,131 | 0,000 | 0,016 |
| Nitrite | Canal / Rejet | 0,970 | 0,128 | 0,112 |
| | Référence / Rejet | 0,986 | 0,004 | 0,001 |
| | Canal / Référence | 0,870 | 0,000 | 0,000 |

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

Tableau 3.2.7 : « p-value » des tests statistiques pour le nitrate et nitrite depuis 1987
($n = 26$ pour chaque point et chaque saison)

L'intégration des concentrations mesurées en 2012 ne modifie pas les résultats de l'étude statistique. La nouvelle différence significative apparue l'an passé entre les points *référence* et *rejet* en automne pour le nitrate est confirmée. L'ensemble des résultats statistiques issus des comparaisons des séries de valeurs en nitrate et en nitrite depuis 1987, indique donc principalement des différences significatives entre les points *référence-canal* et *référence-rejet* en été et en automne. Durant ces saisons, le point *référence* présente une différence significative par rapport aux autres points. Ceci suggère des caractéristiques plus marquées entre la côte et le large sans doute en relation avec l'évolution des phénomènes biologiques.

Le CNPE de Flamanville ne semble pas perturber la distribution des nutriments azotés (nitrite + nitrate) dans cette zone.

3.2.2.5. Phosphate et silicate

3.2.2.5.1 Variations spatiales et saisonnières du phosphate et du silicate

La distribution des concentrations en phosphate et silicate mesurées en 2012 est présentée sur la figure 3.2.16. Les teneurs en phosphate ont été comprises entre 0,10 et 0,25 μM au point *canal*, entre 0,11 et 0,31 μM au point *rejet* et entre 0,13 et 0,38 μM au point *référence* (figure 3.2.16). Les concentrations en silicate ont variées de 1,13 à 2,37 μM au point *canal*, de 1,11 à 2,33 μM au point *rejet*, et de 2,05 à 2,23 μM au point *référence* (figure 3.2.16).

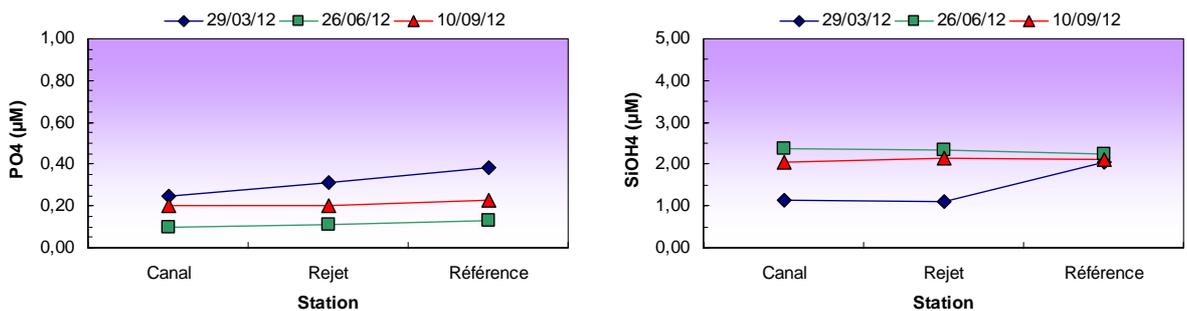


Figure 3.2.16 : Concentrations en phosphate et silicate (μM) dans les eaux de surface en 2012

Les concentrations de ces deux sels nutritifs présentent une variabilité spatiale limitée. Seule la saison printanière est caractérisée par des concentrations plus élevées au point *référence*. Sur le plan temporel, les teneurs en phosphate présentent des variations saisonnières classiques. Au début du printemps, les concentrations sont relativement élevées soulignant la présence d'une partie du stock hivernal. Elles sont toutefois plus faibles que celles relevées par Laane (1992) en Manche occidentale (0,4-0,5 μM pour des salinités variant de 35,25 à 35,30), soulignant une possible assimilation par le phytoplancton (confirmée par des teneurs en chlorophylle a élevées à cette période). En été, les teneurs en phosphates diminuent fortement en raison de leur assimilation par le phytoplancton. En automne, les concentrations augmentent à nouveau sous l'effet des processus de régénération. Pour le silicate, les concentrations présentent des variations temporelles caractérisées par des concentrations relativement faibles au printemps, suggérant comme pour les teneurs en phosphates une assimilation par le phytoplancton. Ensuite, les variations temporelles sont peu marquées. L'augmentation des teneurs observées en été et en automne sont vraisemblablement liées à la régénération de la silice biogénique. Ceci est généralement observé sur le plateau continental Atlantique français tout au moins en automne (Ragueneau *et al.* 1994 ; Lampert 2001).

3.2.2.5.2 Variations inter-annuelles

Les variations des concentrations en phosphate et silicate sur la période 1987-2012 sont respectivement présentées sur les figures 3.2.17 et 3.2.18.

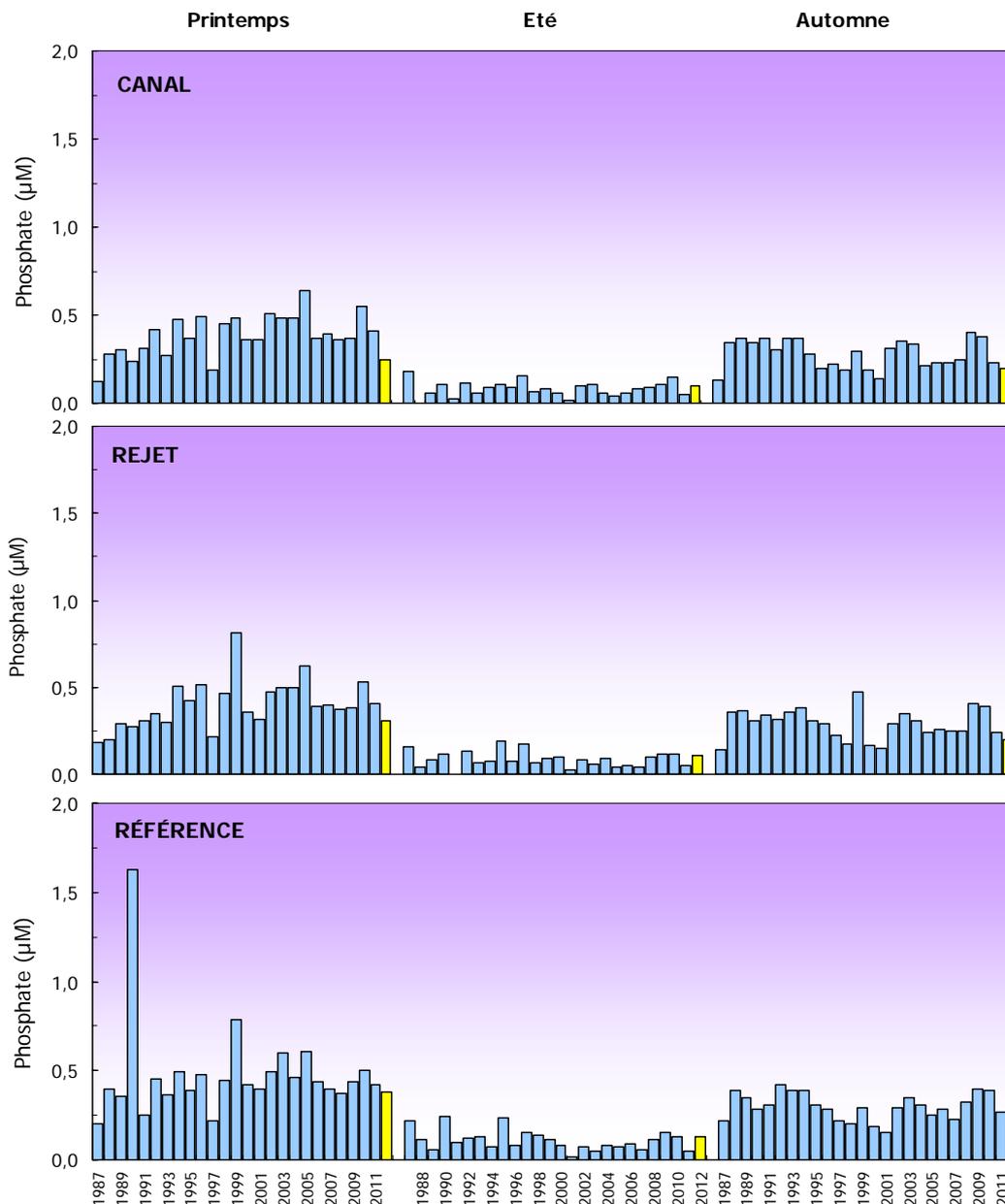


Figure 3.2.17 : Concentrations en phosphate dans l'eau de surface lors des campagnes 1987 à 2012 (2012 en jaune)

Les teneurs en phosphate et silicate mesurées en 2012 sont inférieures à celles de 2011 au printemps et en automne sur les différents points de surveillance. A l'inverse, elles sont plus importantes que l'année précédente en été, excepté au *rejet* en été pour le silicate. Dans l'ensemble, les teneurs en sels nutritifs (phosphate et silicate) restent dans la gamme de concentrations généralement observées dans ce secteur de la Manche.

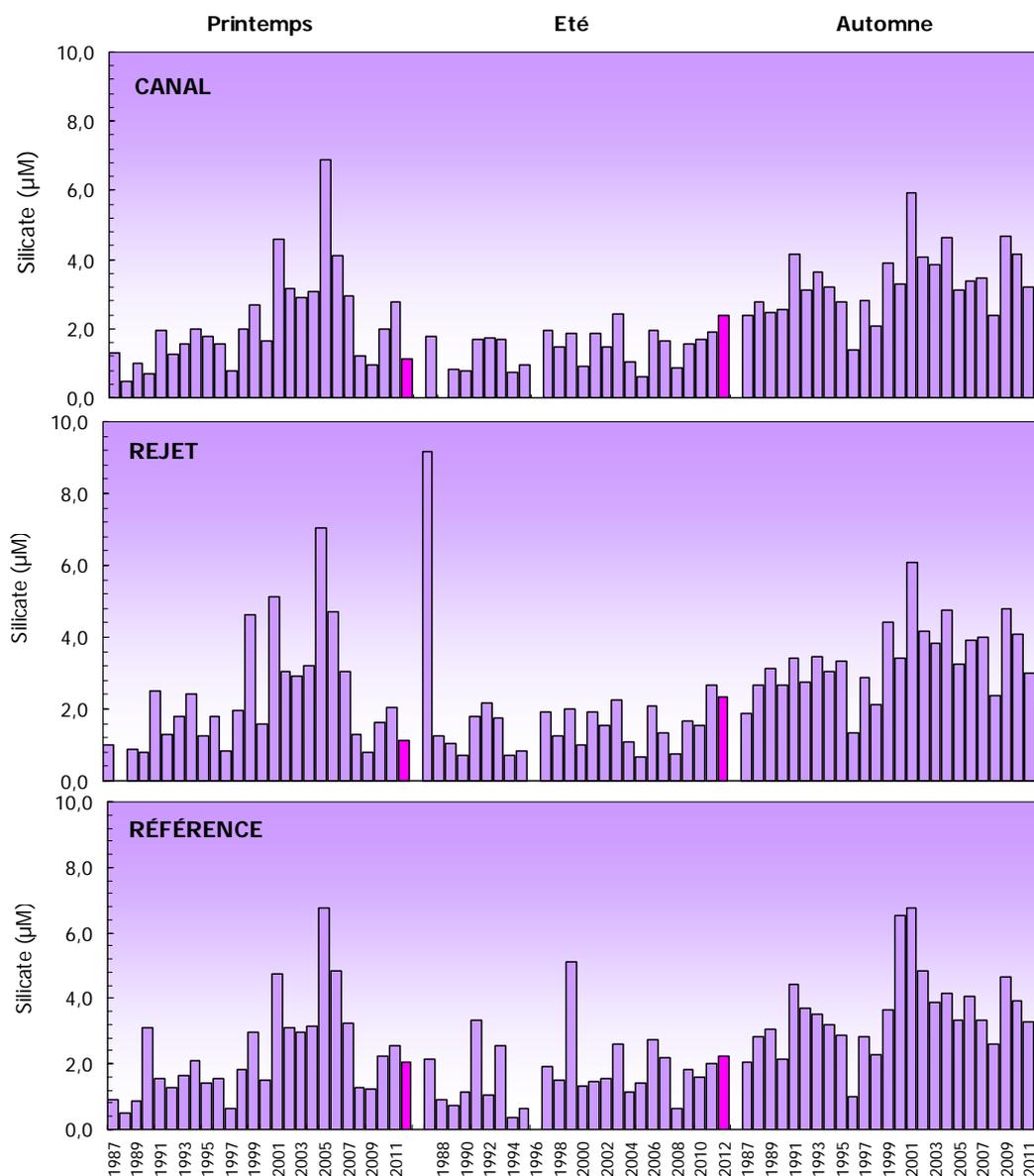


Figure 3.2.18 : Concentrations en silicate dans l'eau de surface lors des campagnes 1987 à 2012 (2012 en mauve)

Les figures 3.2.19 présentent respectivement les distributions des teneurs en phosphate et silicate mesurées entre 1987 et 2012. Pour le phosphate, les concentrations en 2012 se situent proches des médianes pluriannuelles en été et inférieures à ces médianes au printemps et en automne. Pour le silicate, les concentrations en 2012 se situent aussi généralement en dessous des médianes pluriannuelles au printemps et en automne. Elles sont par contre nettement supérieures aux médianes en été sur tous les points de surveillance. Les concentrations en phosphate en 2012 suivent dans l'ensemble les variations temporelles décrites par les médianes annuelles : des variations saisonnières assez classiques liées à des processus d'assimilation en période estivale et de régénération en période automnale. Par contre, les teneurs en silicates en 2012 ne suivent pas la tendance décrite par les médianes pluriannuelles et notamment le phénomène de régénération habituellement marqué en automne. Par ailleurs, pour ces deux nutriments, le gradient côte-large n'est pas très marqué cette année.

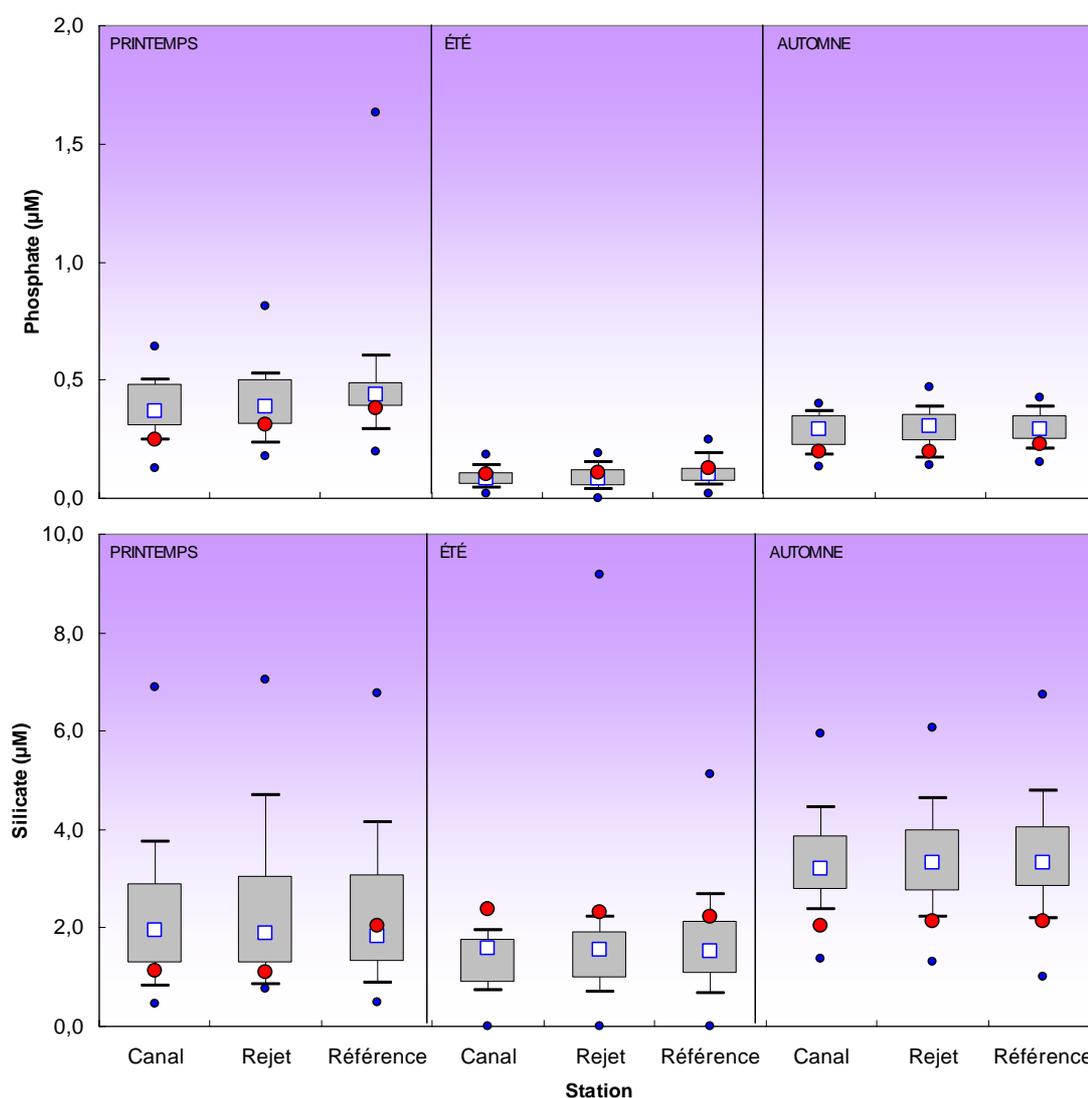


Figure 3.2.19 : Distributions des concentrations en phosphate et silicate par campagne et par point depuis 1987. Le point central représente la médiane (\square) ; la boîte englobe 50% des valeurs (\square) ; les moustaches, 80% des valeurs (\top). Les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (\bullet). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2012 (\bullet)

3.2.2.5.3 Approche statistique

Le tableau 3.2.8 présente les résultats des tests statistiques réalisés sur les concentrations en phosphate et silicate depuis 1987. L'intégration des concentrations des campagnes de surveillance 2012 modifie les résultats de l'étude statistique présentée l'an passé pour le phosphate. Deux nouvelles différences significatives apparaissent au printemps et en automne pour les couples *référence/rejet* et *canal/référence*, respectivement.

Globalement, pour ce nutriment, la présence de différences significatives entre les points *canal* et *référence* toute l'année est certainement due au gradient côte large des teneurs. Ceci se traduit aussi pour le couple *référence/rejet*.

Pour le silicate, aucune différence significative n'est observée tout au long de l'année entre les différents points. Cette étude ne permet pas de conclure à une singularité du point *rejet* par rapport aux autres points de surveillance.

| | Comparaison | Printemps | Été | Automne |
|-----------|-------------------|--------------|--------------|--------------|
| Phosphate | Canal / Rejet | 0,217 | 0,524 | 0,489 |
| | Référence / Rejet | 0,033 | 0,007 | 0,126 |
| | Canal / Référence | 0,004 | 0,013 | 0,040 |
| Silicate | Canal / Rejet | 0,276 | 0,313 | 0,408 |
| | Référence / Rejet | 0,872 | 0,466 | 0,322 |
| | Canal / Référence | 0,542 | 0,085 | 0,162 |

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

Tableau 3.2.8 : « *p*-value » des tests statistiques les teneurs en phosphate et silicate depuis 1987
(*n* = 26 pour chaque point et chaque saison)

La centrale peut toutefois représenter une source de phosphate pour le milieu marin. Les circuits pour le refroidissement de l'îlot nucléaire sont alimentés en eau déminéralisée conditionnée au phosphate trisodique (Na₃PO₄). Le phosphate trisodique, utilisé comme agent anti-corrosion, permet en effet d'ajuster le pH dans ces circuits de réfrigération intermédiaire. Les purges des circuits auxiliaires occasionnent donc des rejets qui dépassent 1 T an⁻¹ (1,2 T en 2010 et 2009 ; Rapport annuel de surveillance de l'environnement - EDF), avec une limite annuelle de rejet fixée à 1,475 T. Aux vues des quantités rejetées et de leur dilution dans les volumes utilisées pour le processus de refroidissement, les rejets de phosphates ne sont probablement que très peu perceptibles dans le milieu marin récepteur.

3.2.2.6. Turbidité

La mesure de la turbidité vient remplacer le suivi de la concentration en matières en suspension (MES). Bien que la turbidité ne soit une grandeur physique intrinsèque du milieu aquatique, elle permet d'apprécier l'opacité (ou la transparence) de la colonne d'eau par rapport à des étalons artificielles. Les mesures de turbidité sont exprimées en FNU (Formazine Nephelometric Unit).

3.2.2.6.1. Variations spatiales et saisonnières des matières en suspension

Les mesures de turbidité au cours du programme de surveillance 2012 ont variées de 0,51 à 1,60 FNU au point *canal*, de 0,31 à 3,20 FNU au point *rejet* et de 0,39 à 1,40 FNU au point *référence* (figure 3.20). Les variations spatiales de la turbidité sont peu marquées entre les points de surveillance. Sur le plan temporel, les turbidités sont sensiblement plus élevées au printemps qu'en été et en automne.

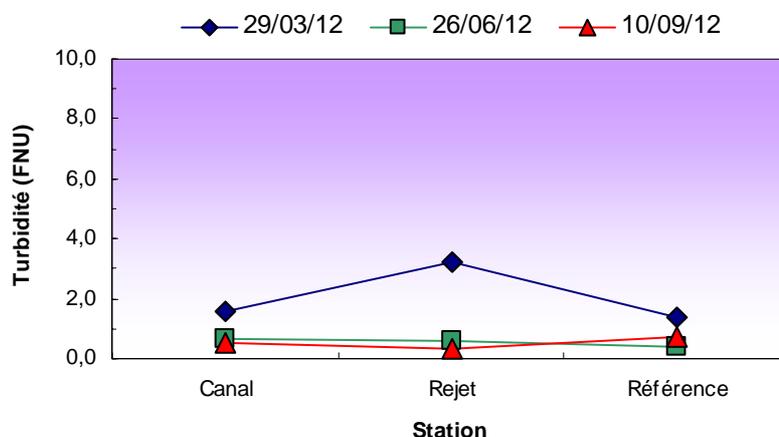


Figure 3.2.20 : Turbidité dans les eaux de surface lors des campagnes 2012

3.2.2.6.2. Variations inter-annuelles

Les variations de turbidité observées en 2012 sont présentées sur la figure 3.2.21 à titre informatif. En effet, les mesures ayant débutées cette année, aucun élément de comparaison n'est pour l'instant disponible.

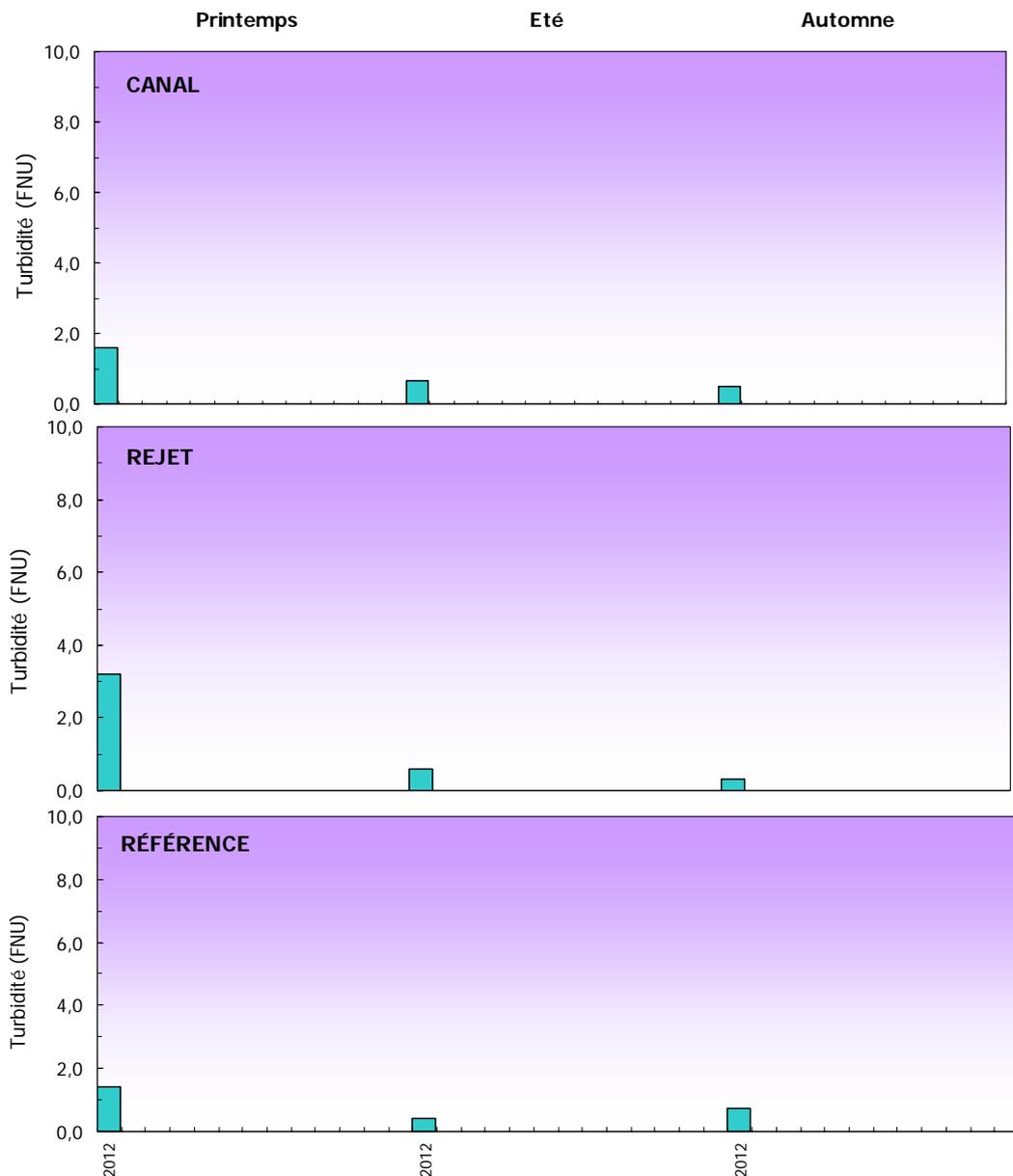


Figure 3.2.21 : Turbidité dans l'eau de surface en 2012

La figure 3.2.22 présente sous forme de *boîtes à moustaches* la distribution de turbidités mesurées en 2012. 2012 étant la première année de mesure, la figure est présentée à titre informatif, mais n'apporte pas d'élément d'interprétation sur la distribution de la turbidité entre les points.

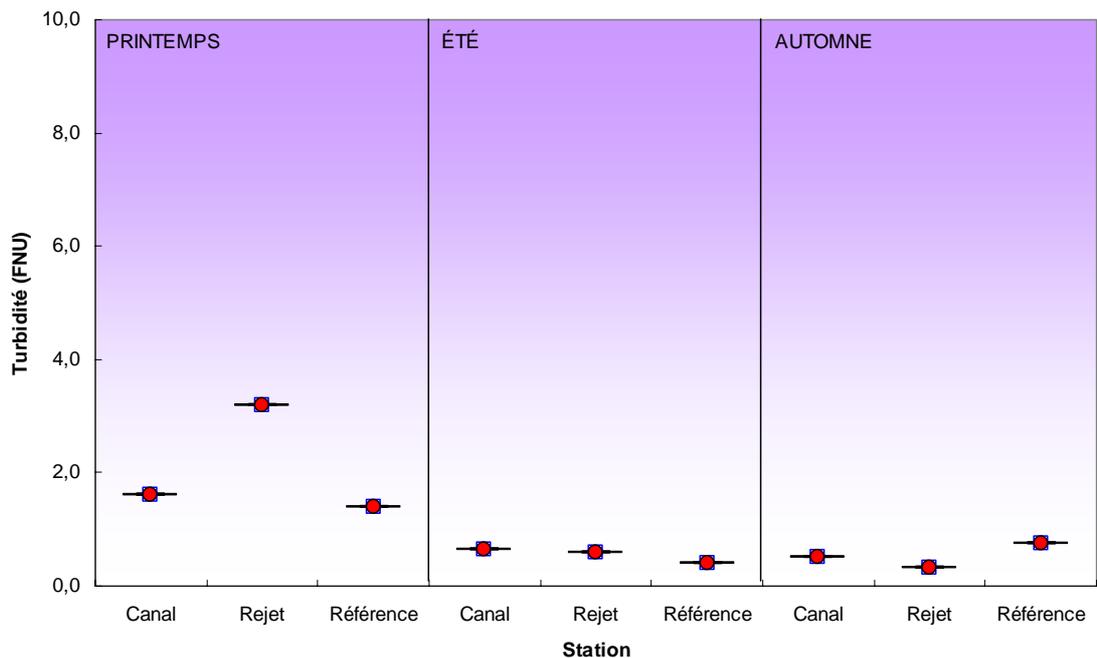


Figure 3.2.22 : Distributions de la turbidité par campagne et par point depuis 2012. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50% des valeurs (▭) ; les moustaches, 80% des valeurs (┌). Les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2012 (●)

3.2.2.5..4 Approche statistique

L'étude statistique ne peut être réalisée sur la turbidité car le nombre de mesures est encore insuffisant.

3.2.2.7. Hydrazine et éthanolamine

Suite à la parution de la décision n° 2010-DC-0189 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 7 juillet 2010 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 Flamanville un suivi des concentrations en hydrazine et éthanolamine dans le milieu récepteur est réalisé. EDF a donc confié la responsabilité des prélèvements à l'Ifremer. Les analyses ont été réalisées par le laboratoire Eurofins de Bordeaux.

En 2012, les concentrations en hydrazine et éthanolamine sont généralement restées inférieures à la limite de détection (0,1 mg/L), excepté au point *canal* en automne pour l'hydrazine (figure 3.2.23). En effet, sur ce point, la concentration en hydrazine a été de 0,2 mg/L. Cette concentration reste très faible et les rejets d'hydrazine et d'éthanolamine par la centrale ne sont donc que très peu perceptibles dans le milieu récepteur.

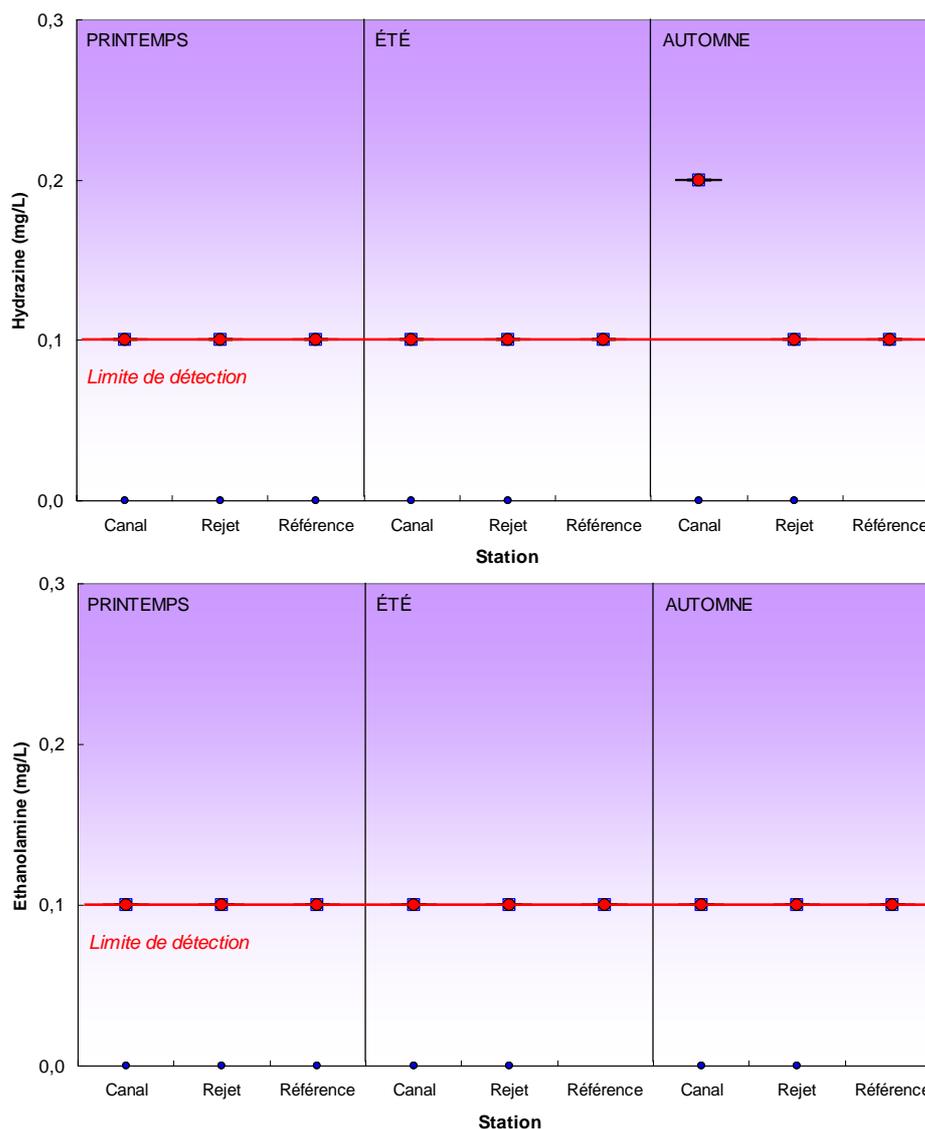


Figure 3.2.23 : Distributions des concentrations en hydrazine et éthanolamine par campagne et par point depuis 2011. Le point central représente la médiane (\square) ; la boîte englobe 50% des valeurs (\boxplus) ; les moustaches, 80% des valeurs (\dashv). Les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (\bullet). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2012 (\bullet)

3.2.3. Conclusion

Les températures d'eau de mer mesurées en 2012 ont été supérieures à celles de l'année précédente au printemps et en automne, et sensiblement inférieures en été sur l'ensemble des points de surveillance. Les écarts de température entre les points *rejet-référence* et *rejet-canal* ont été généralement élevés et en particulier en automne. Les différences de températures au niveau du point *rejet* sont significatives tout au long de l'année avec les autres points de surveillance (*canal* et *référence*). Néanmoins, les mesures de températures des campagnes 2012, appuyées des résultats de modélisation, indiquent que l'étendue du panache de rejet reste toujours géographiquement très limitée.

Les salinités enregistrées au cours de l'année 2012 ont été généralement supérieures à celles de 2011 sur les différentes stations de surveillance toute l'année. Les salinités 2012 sont toujours supérieures aux valeurs médianes pluriannuelles calculées sur la période 1987-2011. La plus forte salinité depuis le début de la période de surveillance a été mesurée cette année au point

référence au printemps. Habituellement, il existe un gradient côte-large croissant entre les points côtiers (*canal* et *rejet*) et celui du large (*référence*). Cette année, cela n'a été observé qu'au printemps. Le gradient côte-large qui est lié aux apports d'eau douce d'origine continentale n'a donc pas été clairement marqué.

L'ensemble des nutriments mesurés lors des campagnes de surveillance 2012 présente une évolution saisonnière classique. Suite à l'augmentation de l'ensoleillement, les sels nutritifs sont assimilés et consommés par le phytoplancton qui se développe entre le printemps et l'été. En particulier, cette année, la campagne réalisée au printemps montre que le bloom printanier avait déjà débuté. En automne, principalement sous l'effet de l'activité bactérienne, la dégradation de la matière organique produite au printemps et en été conduit à la régénération des nutriments dans la colonne d'eau. Dans l'ensemble, les concentrations en nutriments ont été généralement plutôt inférieures aux médianes pluriannuelles établies depuis 1987. A différentes reprises, elles définissent de nouveaux minima et notamment en automne, pour le nitrate au point *référence* et pour le nitrite au point *canal*.

Cette année, différents changements sont intervenus au niveau du protocole de surveillance. La mesure de la turbidité est venue remplacer celle des concentrations en MES. Ce paramètre a été caractérisé par une distribution spatiale très limitée. Sur le plan temporel, les turbidités se sont avérées plus importantes au printemps qu'aux autres saisons. Des mesures de concentrations des composés chimiques hydrazine et éthanolamine ont été effectuées aux différentes saisons sur les différents points de surveillance. Seule l'hydrazine a été détectée au point *canal* en automne à une concentration très proche de la limite de détection.

En conclusion, les données acquises au cours des trois campagnes de surveillance en 2012 ne permettent pas de déceler d'anomalie dans la distribution et la variation des paramètres hydrologiques au niveau de la centrale électronucléaire de Flamanville. L'activité de la centrale à travers ses rejets chimiques et thermiques ne semble donc pas modifier de manière sensible et significative les caractéristiques hydrologiques intrinsèques du milieu.

3.3. Microbiologie

Un suivi de l'évolution des peuplements a été mis en œuvre depuis 1987 sur la centrale de Flamanville. 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 *Vibrio 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 CNRVC¹² 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 3.3.1 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 (49,0 %) ; *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.

¹² CNRVC : Centre Nationale de Référence des Vibrions et du Choléra de l'Institut Pasteur.

Espèces 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 |
| Synthèse de 1995 à 2005 | 20 (19,61) | 11 (10,78) | 17 (16,77) | 50 (49,02) | 2 (1,96) | 2 (1,96) | 102 |

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

(1) Genesteet *al.*(2) Quiliciet *al.*(3) Quiliciet *al.*

(4) Quilici et Fournier. 2004

(5) Quilici et Fournier. 2005

Tableau 3.3.1 : Espèces 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, contribue 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). Ce constat doit toutefois être nuancé. 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 (45% des cas de vibrioses non cholériques sont 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.

En 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), semble indiquer qu'une salinité > 25 ‰ induit des effets sur la distribution de *V. vulnificus*, qui est plus souvent observé dans les eaux estuariennes que marines.

3.3.1. Matériel et méthodes

3.3.1.1. Prélèvements

Conformément à la stratégie mise en place pour le site de Flamanville, les travaux de surveillance ont été réalisés autour de la pleine mer et par coefficients de mortes eaux les 29 mars, 26 juin et 10 septembre. Les prélèvements ont été effectués à bord de la vedette de la SNSM par le personnel du laboratoire départemental Frank Duncombe de Caen au même moment que les échantillons hydrologiques réalisés à bord du *N/O DELPHY*. Les échantillons d'eau ont été prélevés au moyen de flacons stériles, puis maintenus au froid pendant leur transport jusqu'au laboratoire pour analyse (le temps entre le prélèvement et l'analyse est inférieur à 6 heures).

Les points échantillonnés ont été les suivants :

- le point *canal* (situé à l'entrée du canal d'amenée de la centrale),
- le point *rejet sud* (situé dans les turbulences des rejets),
- le point *référence* (situé au large du point *rejet*).

La stratégie d'échantillonnage suivie en 2012 est présentée dans le tableau 3.3.2. Deux réplicats ont été réalisés pour le dénombrement des germes revivifiables et l'identification des vibrions halophiles.

| Stations | Niveau d'échantillonnage | Germes revivifiables | Vibrions halophiles |
|------------------|--------------------------|----------------------|---------------------|
| <i>Canal</i> | Surface | 2 | 2 |
| <i>Rejet</i> | Surface | 2 | 2 |
| <i>Référence</i> | Surface | 2 | 2 |

Tableau 3.3.2 : Stratégie d'échantillonnage en 2012 à chaque saison (printemps, été, automne)

3.3.1.2. Analyses microbiologiques

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.

Identification et dénombrement des vibrions halophiles (méthode EDF)

Contrairement à 2004 et 2005, une seule méthode de dénombrement et d'identification des vibrions halophiles a été retenue depuis 2006. Mise au point par l'institut Pasteur de Lille, mais appelée "Méthode EDF" dans ce rapport, elle sera utilisée sur l'ensemble des centrales du bord de mer et devraient ainsi permettre la comparaison des populations de vibrions halophiles entre elles. La comparaison des deux méthodes (l'ancienne et celle d'EDF) en 2004 et 2005, a permis de mettre en évidence quelques différences dues aux méthodologies et aux milieux de culture

utilisés (détection ou non à différentes stations de la même espèce), sans pour autant altérer la tendance générale (les mêmes espèces ont été identifiées cf. tableaux 3.26 et 3.27).

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 μ m,
- Dépôt de membrane sur le milieu TCBS (Difco) à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 18 à 24 h,
- lecture des boîtes,
- incubation 24 h à $22 \pm 2^\circ\text{C}$,
- nouvelle lecture des boîtes,
- repiquage et isolement sur gélose TCBS à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 24 h,
- repiquage colonies en milieu Zobell et incubation à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 24 h,
- tests divers et recherche de pathogènes (Gram, oxydase, identification par Api 20^E ou Vitek. Si suspicion de *V.cholerae* : test d'halophilie par galerie en NaCl 0 à 10% (0, 3, 6, 8 et 10%). Détecter différentes espèces de vibrions par technique de PCR interne.

3.3.1.3. Résultats

3.3.1.4. Récapitulatif des résultats des mesures microbiologiques pour l'année 2012

Les résultats acquis au cours des trois campagnes de mesures pour l'année 2012 sur le site de Flamanville sont présentés dans le tableau 3.3.3. Les valeurs retenues pour les quantités de germes revivifiables sont les moyennes des deux répliquats pour les points *canal* et *référence*. Pour le point *rejet*, de façon à apprécier l'influence maximum du CNPE, la valeur retenue est celle du plus fort répliquat. Le nombre de vibrions halophiles est l'addition du nombre de « présence » et de « suspicion ».

Un traitement statistique a été réalisé pour les germes revivifiables pour la période 1987-2012, ainsi que pour les vibrions halophiles entre 2004 et 2012. Il permet de comparer les séries de 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 %.

| | | <i>Canal</i> | <i>Rejet</i> | <i>Référence</i> |
|--------------|----------------------------------|--------------|--------------|------------------|
| 29 MARS | Germes revivifiables (g./mL) | 288 | 194 | 185 |
| | V.H. | <1 | <1 | <1 |
| | Identif. de <i>V. Halophiles</i> | Absence | Absence | Absence |
| 26 Juin | Germes revivifiables (g./mL) | 956 | 558 | 164 |
| | V.H. | 6Va | 1Va | <1 |
| | Identif. de <i>V. Halophiles</i> | Va | Va | Absence |
| 10 Septembre | Germes revivifiables (g./mL) | 887 | 1114 | 297 |
| | V.H. | 20Va | 10Va | <1 |
| | Identif. de <i>V. Halophiles</i> | Va | Va | Absence |

Va = *Vibrio alginolyticus* ; Vspp = *Vibrio sp* ; Vf = *Vibrio fluvialis* ; susp.=suspicion

Tableau 3.3.3 : Récapitulatif des résultats de microbiologie pour 2012 dans les eaux de Flamanville

3.3.1.5. Résultats en germes revivifiables sur milieu de Zobell

3.3.1.5.1 Variations spatiales et saisonnières des germes revivifiables

Le nombre de germes revivifiables varie de 164 germes/mL mesurés au point *référence* au mois d'avril, à 1114 germes/mL au point *rejet* en septembre (figure 3.3.1). Les nombres de germes revivifiables augmentent généralement du printemps vers l'automne. Néanmoins, à la station *référence*, les variations temporelles ont été très faibles. Par ailleurs au *canal*, le nombre de germes revivifiables a été similaire en été et en automne. Les variations spatiales sont généralement faibles, même si un gradient décroissant côte-large semble se dessiner.

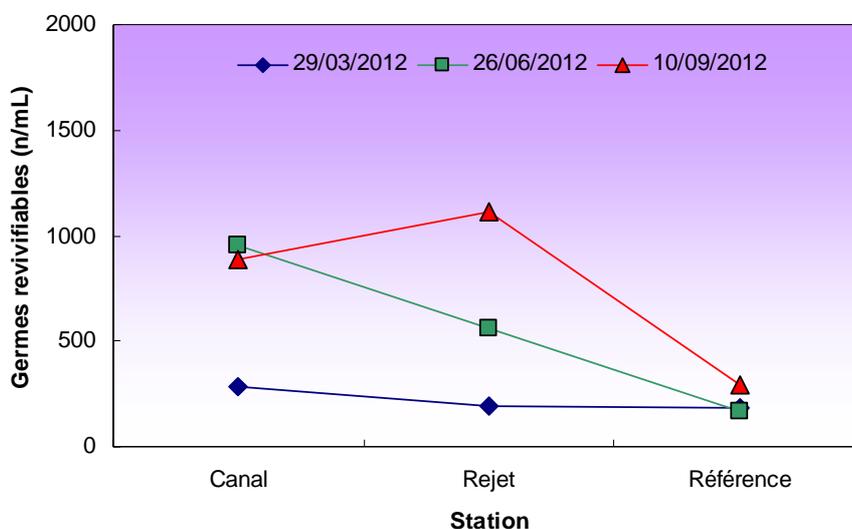


Figure 3.3.1 : Évolution des quantités de germes revivifiables par mL dénombrés sur milieu de Zobell en 2012

3.3.1.5.2 Variations inter-annuelles des germes revivifiables

La figure 3.3.2 présente les variations de germes revivifiables depuis 1987. Les abondances en 2012 sont généralement relativement stables comparées à celles de 2012. Seuls les points *canal* et *rejet* présentent un nombre de germes revivifiables en nette augmentation en automne. Au *canal*, cette valeur reste bien inférieure au maximum observé en 2010. Au point *rejet*, depuis le début de la surveillance, c'est la deuxième fois que le nombre de germes revivifiables est plus élevé qu'aux autres stations.

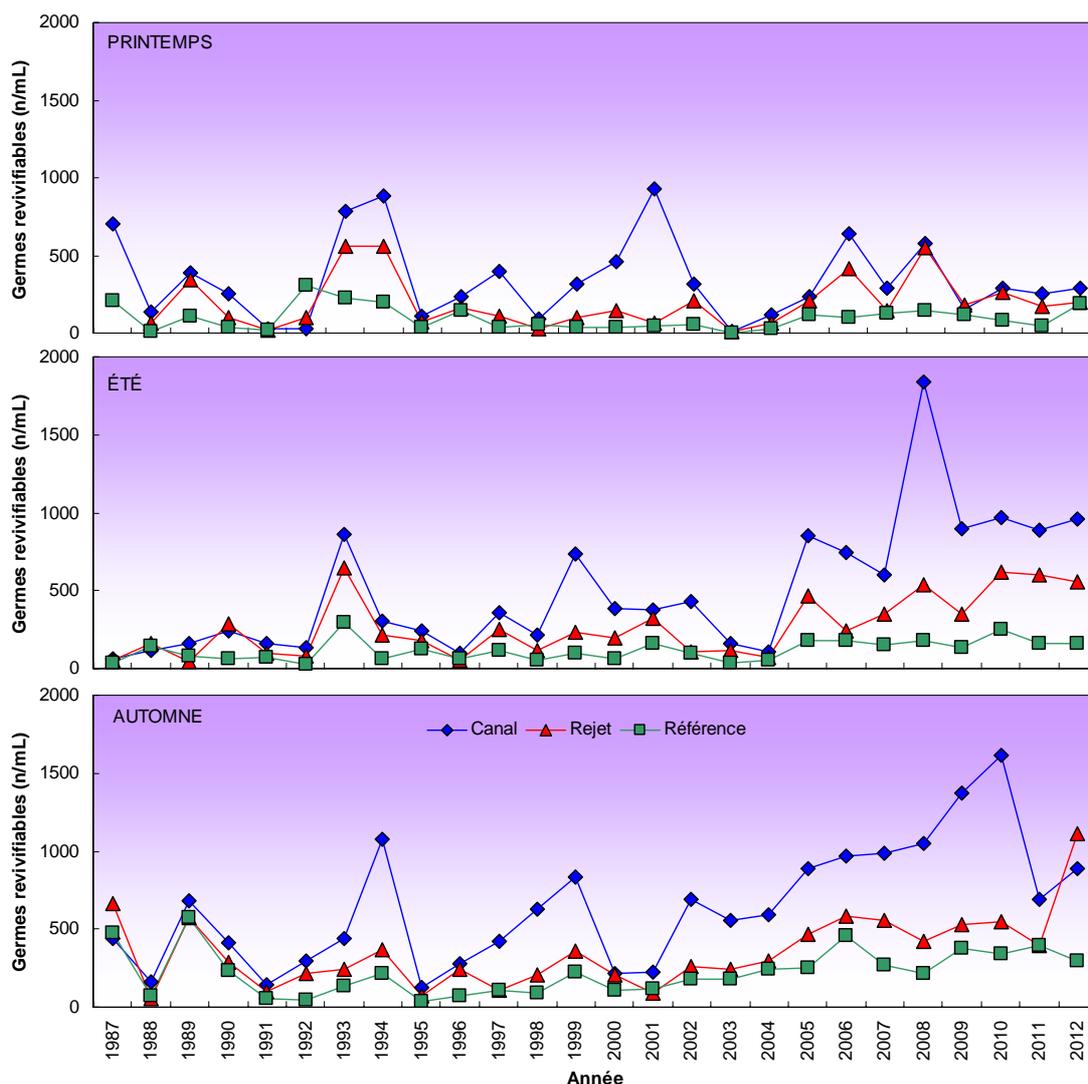


Figure 3.3.2 : Évolution des quantités de germes revivifiables par mL depuis 1987

Finalement, l'intégration des résultats 2012 confirme la tendance observée depuis plusieurs années selon laquelle les plus fortes quantités de germes s'observent généralement au point *canal*.

La figure 3.3.3 présente la distribution des germes revivifiables sous forme de *boîtes à moustaches*. En 2012, les valeurs de germes revivifiables sont généralement assez proches des médianes pluriannuelles toute l'année, à l'exception des points *référence* et *rejet* au printemps et en automne, respectivement. Dans ces deux cas, les nombres de germes revivifiables observés cette année sont les plus importants

depuis 2005. Le point *canal* présente toujours la plus forte dispersion aux différentes saisons, soulignant ainsi une importante variabilité depuis 2005. Les médianes pluriannuelles indiquent aussi la présence d'un gradient décroissant marqué de la côte vers le large quelle que soit la saison. La majorité des valeurs déterminées en 2012 s'inscrivent dans cette tendance.

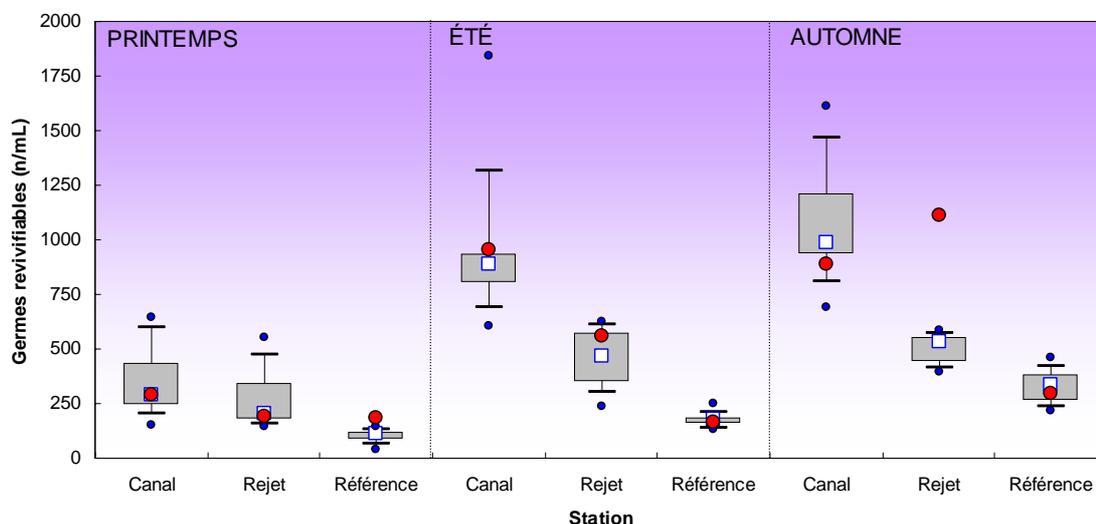


Figure 3.3.3 : Germes revivifiables (nombre par mL) dénombrés depuis 2005. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▭) ; les moustaches, 80 % des valeurs (┌). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2012 (n = 26 pour chaque point et chaque saison)

3.3.1.5.3 Approche statistique

Le tableau 3.3.4 présente les résultats des tests statistiques réalisés sur l'abondance des germes revivifiables depuis 1987. Cette étude statistique révèle qu'il existe une différence significative entre tous les points de suivi quelle que soit la saison. Le gradient côte-large marqué entre les stations de surveillance explique vraisemblablement la présence de ces différences. Le point de *rejet* ne semble donc pas présenter de caractéristiques singulières.

| Comparaison | Printemps | Été | Automne |
|-------------------|-----------|-------|---------|
| Canal / Rejet | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Référence / Rejet | 0,001 | 0,000 | 0,000 |
| Canal / Référence | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

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

Tableau 3.3.4 : Probabilité associée p des tests statistiques pour les germes revivifiables sur milieu de Zobell

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

3.3.1.6.1 Identification de vibrions halophiles

Les séries pluriannuelles d'identification de vibrions halophiles sont présentées dans les tableaux 3.3.5 pour l'ancienne méthode de détermination et 3.3.7 pour la nouvelle méthode EDF. Ces deux tableaux mettent en évidence la dominance de l'espèce *Vibrio alginolyticus*.

3.3.1.6..2 Dénombrement des vibrions halophiles

Suite à la mise en place de la méthode préconisée par EDF sur l'ensemble des centrales du bord de mer, des dénombrements viennent compléter les identifications de vibrions halophiles. Les nombres de vibrions totaux par point et par saison ont été obtenus en moyennant les valeurs des répliqués par point et par espèce. Au point *rejet* est toujours considérée la plus forte valeur des deux répliqués (figure 3.3.4). Un gradient décroissant est généralement observé entre les points *canal* et *référence* et en particulier en automne. En plus de l'effet de la température, le caractère plus côtier de la masse d'eau proche du canal d'amenée favorise certainement le développement des souches bactériennes par la plus forte teneur en matière organique, ainsi qu'en matières en suspensions qui servent de support.

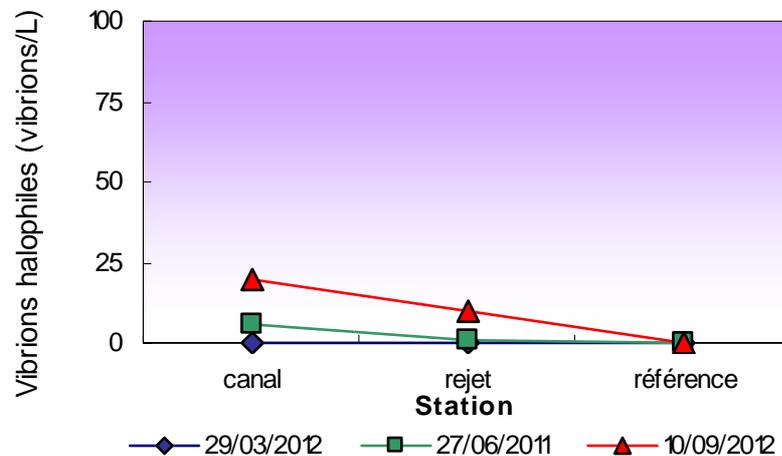


Figure 3.3.4: Dénombrement des vibrions halophiles totaux en 2012

L'espèce *V. alginolyticus* a été la seule à être identifiée cette année (figure 3.3.5). Son évolution annuelle est donc similaire à celles des vibrions halophiles totaux (figure 3.3.4). Le gradient décroissant de la côte vers le large est généralement mis en évidence sur la distribution de cette espèce, lorsque le nombre de vibron est important.

La figure 3.3.5 présente l'évolution des abondances des différentes espèces habituellement identifiées aux différents points de suivi depuis 2004. En 2012, seule l'espèce *Vibrio alginolyticus* a été identifiée en été et en automne. Le nombre de vibrions halophiles observé cette année est compris dans la partie basse de la gamme de valeurs déterminées depuis 2004.

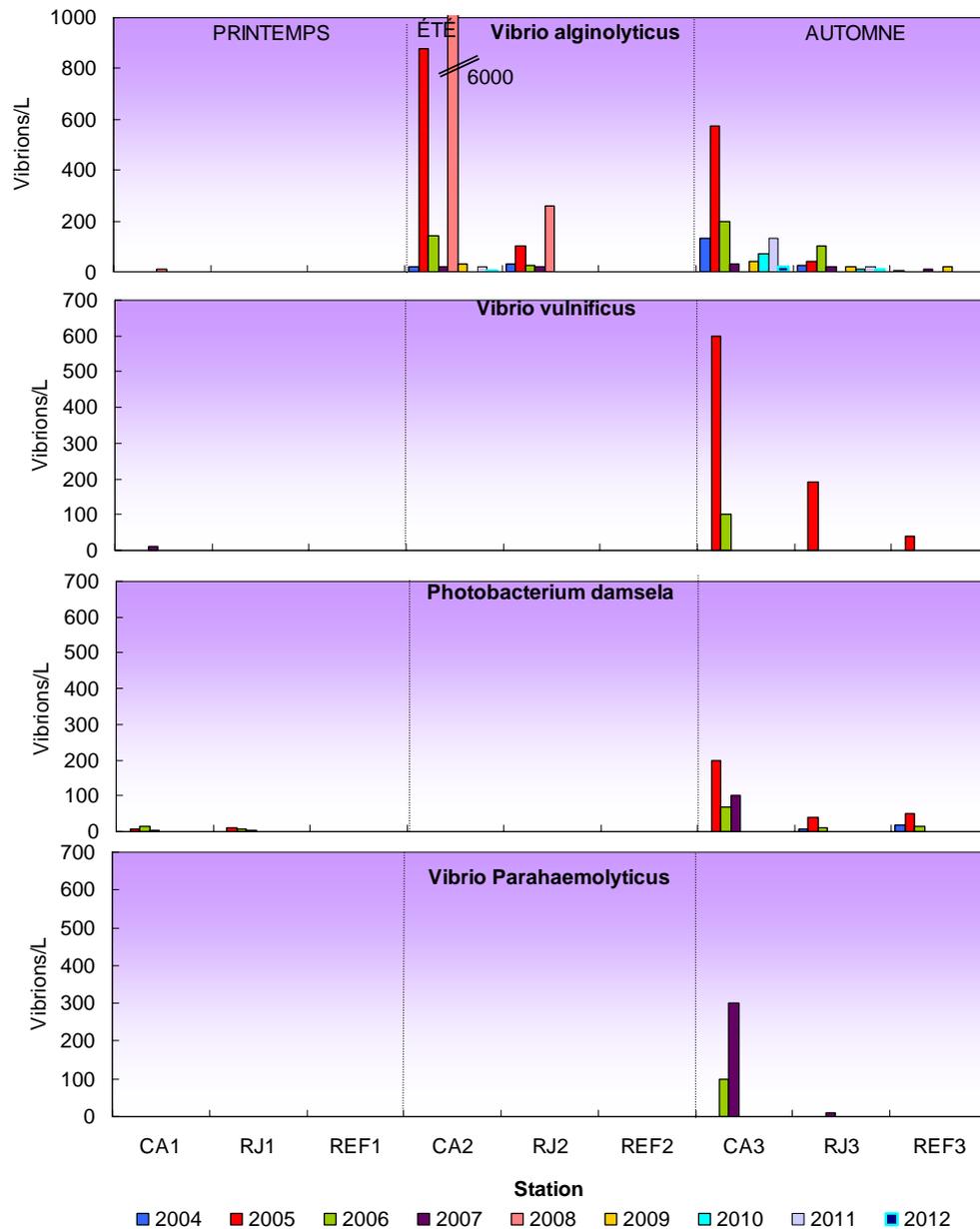


Figure 3.3.5 : Dénombrements des principales souches de vibrions halophiles depuis 2004

3.3.1.6..3 Approche statistique

Les dénombrements de vibrions halophiles sont réalisés sur les échantillons des eaux proches de la centrale de Flamanville depuis 2004 selon la méthode EDF. Les résultats de l'étude statistique sont présentés dans le tableau 3.3.7. En 2012, cette étude statistique révèle l'absence d'une différence significative en nombre de germes halophiles totaux uniquement entre le point *rejet* et les points *canal* et *référence* au printemps. Le reste de l'année, il existe des différences significatives entre tous les points. Le gradient côte-large marqué entre les stations de surveillance explique vraisemblablement la présence de ces différences tout au moins pour le couple *canal* / *référence*. Les différences significatives avec le point *rejet* et les autres stations n'apparaissent qu'en été et en automne, là où le nombre de vibrions est généralement important.

Néanmoins ces différences ne sont pas systématiques pendant ces périodes de l'année. Il est donc difficile de conclure à une singularité au niveau du point *rejet*.

| Comparaison | Printemps | Été | Automne |
|--------------------------|--------------|--------------|--------------|
| <i>Canal / Rejet</i> | 0,113 | 0,050 | 0,008 |
| <i>Référence / Rejet</i> | 0,100 | 0,009 | 0,014 |
| <i>Canal / Référence</i> | 0,050 | 0,014 | 0,014 |

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

Tableau 3.3.7 : Probabilité associée *p* des tests statistiques pour les vibrions halophiles

3.3.2. Conclusion

Le nombre de germes revivifiables est dans l'ensemble resté stable en 2012 par rapport aux deux années précédentes à l'exception des points *canal* et *rejet* en automne. En particulier au point *rejet*, les abondances de germes revivifiables ont été les plus importantes depuis 1987. La distribution spatiale reste inchangée avec un gradient décroissant marqué côte-large.

L'identification des vibrions halophiles par la « méthode EDF » (mise au point par le laboratoire Pasteur de Lille) confirme la présence et la dominance de l'espèce *Vibrio alginolyticus* parmi les vibrions halophiles cultivables à 37 °C dans les eaux proches de la centrale. La présence de cette espèce a été identifiée en été et en automne mais à des concentrations relativement faibles (< 20 UFC Vibrio/L). Aucun autre vibron n'a été identifié en 2012 dans les eaux proches de la centrale.

L'ensemble des paramètres du compartiment microbiologique présente généralement un gradient décroissant entre les points *canal* et *référence*, qui outre l'effet de la température, peut être expliqué par (1) les plus fortes teneurs en matière organique et en MES près des côtes et (2) un plus fort impact des activités humaines en général. Parallèlement, les abondances constatées au point *rejet* se situent généralement entre celles des points *canal* et *référence*.

L'examen des résultats 2012 pour le compartiment microbiologique indique donc qu'il n'existe aucun déséquilibre marqué du milieu lié à l'activité de la centrale de Flamanville.

3.4. Phytoplancton

L'étude quantitative de l'activité photosynthétique du phytoplancton complétée par la détermination de la biomasse, l'identification et le dénombrement des cellules, permet de suivre l'évolution des communautés phytoplanctoniques et d'évaluer l'influence des facteurs abiotiques sur cette évolution.

Les paramètres photosynthétiques d'une communauté phytoplanctonique dépendent de la quantité et 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 chlorophylle *a*, présente chez tous les organismes autotrophes, est un bon estimateur de la biomasse phytoplanctonique. La production primaire représente la production potentielle maximale d'un peuplement *in vivo* et permet également d'estimer l'état physiologique de ce peuplement. L'abondance cellulaire de chaque espèce permet de caractériser quant à elle la structure et la diversité des communautés phytoplanctoniques.

A l'aide des paramètres précités, ce chapitre présente les résultats quantitatifs et qualitatifs obtenus sur les peuplements phytoplanctoniques lors des trois campagnes de surveillance réalisées en 2012.

3.4.1. Matériels et méthodes

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 § 3.2.1.1. page 39). Les prélèvements sont effectués avec des bouteilles Niskin, en surface pour les points *canal*, *rejet* et *référence*. A chaque point de prélèvement, trois réplicas sont réalisés pour la production primaire.

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 § 3.2.1.1. page 39). Les prélèvements sont effectués avec des bouteilles Niskin, en surface pour les points *canal* et *rejet*, et en surface et à mi profondeur pour le point *référence*. A chaque point de prélèvement, trois réplicas sont réalisés pour la production primaire.

3.4.1.1. Mesure de la chlorophylle et de la production primaire

Chlorophylle *a*

La concentration en chlorophylle *a* est mesurée suivant la méthode spectrophotométrique monochromatique de Lorenzen (1967). Un échantillon d'un litre est filtré immédiatement après le prélèvement sur une membrane en fibre de verre type GF/F (Whatman).

Les filtres sont ensuite congelés à l'obscurité jusqu'au dosage. L'extraction des pigments chlorophylliens se fait dans 10 mL d'acétone à 90 % (90/10, acétone/eau) pendant 18 heures à l'obscurité. Après centrifugation à 3000 tours/min pendant 15 minutes, le surnageant est placé dans une cuve de 5 cm de trajet optique. L'absorption est alors mesurée à différentes longueurs d'onde, dans un premier temps sans acidification, puis après acidification (Aminot et Kérouel, 2004).

Production primaire

Un fluorimètre modulé (Pulse amplitude Modulated –PAM- Walz) permet de mesurer des variations de fluorescence au niveau du photosystème II des cellules phytoplanctoniques et de déterminer ainsi la production potentielle maximale d'un peuplement *in vivo* (Falkowski et Raven, 2007 ; Sakshaug et al., 1997). Cette méthode permet également d'évaluer l'état physiologique des cellules phytoplanctoniques constitutives de ce peuplement. Le transfert d'énergie au niveau de l'appareil photosynthétique

(photosystème II) des cellules phytoplanctoniques peut être altéré lorsque les cellules subissent un stress environnemental comme par exemple une limitation en sels nutritifs ou lorsqu'elles sont exposées à de fortes radiations lumineuses.

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, l'essentiel étant utilisé dans les processus photochimiques qui mènent à la production de matière organique par la cellule. Une part beaucoup faible de l'énergie est enfin dissipée sous forme chaleur.

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

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

- $rETR$ représente le taux de transport des électrons (Electron transport rate – ETR) au niveau du photosystème PSII.
- $rETR_{max}$ correspond à la capacité maximale de production de l'échantillon.
- $Y_{max}(F_m - F_o)/F_m$, ou l'efficacité quantique maximale du PSII, correspond à 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.

3.4.1.2. Étude systémique du phytoplancton

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

3.4.1.3. Télédétection satellitaire

Les images climatologiques de la chlorophylle ont été obtenues avec l'algorithme développé à l'Ifremer (Gohin et al., 2002) sur la série d'images obtenues par les cameras SeaWiFS et MODIS entre 1998 et 2007. Les images quotidiennes de la série 2012 sont celles de la camera MODIS. Toutes ces séries ont été traitées avec le même algorithme et mises à disposition par le projet de recherche MarCoast.

3.4.2. Résultats

Les résultats obtenus en 2012 sont donnés par le tableau 3.4.1.

| | | CANAL | REJET | REFERENCE |
|----------|---|-------|-------|-----------|
| 29-mars | <i>Chlorophylle a</i> ($\mu\text{g/L}$) | 4.82 | 5.22 | 1.88 |
| | <i>Phéopigments</i> ($\mu\text{g/L}$) | 0.72 | 0.97 | 0.15 |
| | <i>rETR</i> (unités relatives) | 234 | 325 | 210 |
| | <i>Microphytoplancton</i> (cel/L) | 42400 | 29700 | 18800 |
| 26-juin | <i>Chlorophylle a</i> ($\mu\text{g/L}$) | 0.74 | 0.89 | 0.92 |
| | <i>Phéopigments</i> ($\mu\text{g/L}$) | 0.14 | 0.12 | 0.09 |
| | <i>rETR</i> (unités relatives) | 155 | 112 | 112 |
| | <i>Microphytoplancton</i> (cel/L) | 61000 | 95000 | 30600 |
| 10-sept. | <i>Chlorophylle a</i> ($\mu\text{g/L}$) | 0.71 | 0.95 | 1.21 |
| | <i>Phéopigments</i> ($\mu\text{g/L}$) | 0.52 | 0.47 | 0.05 |
| | <i>rETR</i> (unités relatives) | 241 | 234 | 256 |
| | <i>Microphytoplancton</i> (cel/L) | 30000 | 51000 | 21800 |

Tableau 3.4.1 : Valeurs des paramètres phytoplanctoniques au droit du CNPE de Flamanville en 2012

3.4.2.1. Biomasse chlorophyllienne

3.4.2.1.1 Variations spatiales et saisonnières de la chlorophylle

Au cours de l'année 2012, les valeurs de chlorophylle *a* varient entre 0,71 $\mu\text{g/L}$ au point *canal* en septembre et 5,22 $\mu\text{g/L}$ au point *rejet* en mars (Tableau 3.4.1). Au mois de mars, les concentrations en chlorophylle sont plus élevées aux points *canal* et *rejet* (4,82 et 5,22 $\mu\text{g/L}$ respectivement) par rapport au point *référence*. Au mois de juin les concentrations en chlorophylle *a* sont faibles sur l'ensemble de la zone (i.e. < 1 $\mu\text{g/L}$) avec des valeurs plus élevées au large (0.92 $\mu\text{g/L}$ au point référence) qu'à la côte (points *canal* et *rejet*). La même tendance est observée en automne, avec un gradient décroissant du large vers la côte, les concentrations variant entre 1,21 $\mu\text{g/L}$ au point *référence* et 0,71 $\mu\text{g/L}$ au point *canal* (Figure 3.4.1).

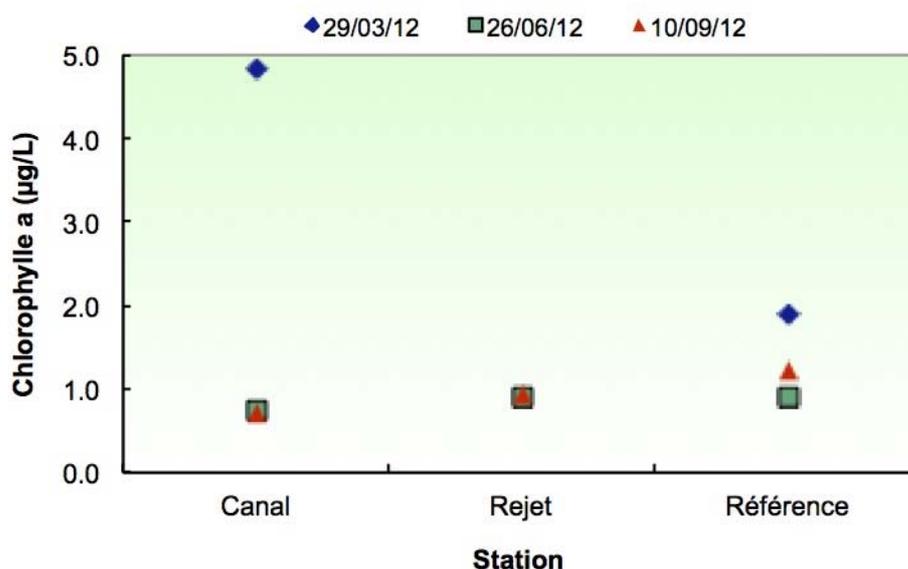


Figure 3.4.1 : Concentrations en chlorophylle a mesurées sur les trois stations en surface lors des trois campagnes de surveillance 2012

3.4.2.1.2 Variations inter-annuelles

Le printemps 2012 a été caractérisé par des concentrations en Chlorophylle *a* supérieures à celles mesurées au depuis 1987 sur les points côtier (*canal* et *référence* ; figure 3.4.2). En revanche, les valeurs observées au cours du printemps 2012 sur le point *référence* au mois de Mars sont dans la gamme de celles observées sur ce point depuis 1987. Au mois de juin et de septembre, les concentrations en Chlorophylle *a* sont dans la gamme inférieure des valeurs observées au cours des années précédentes sur les 3 points étudiés.

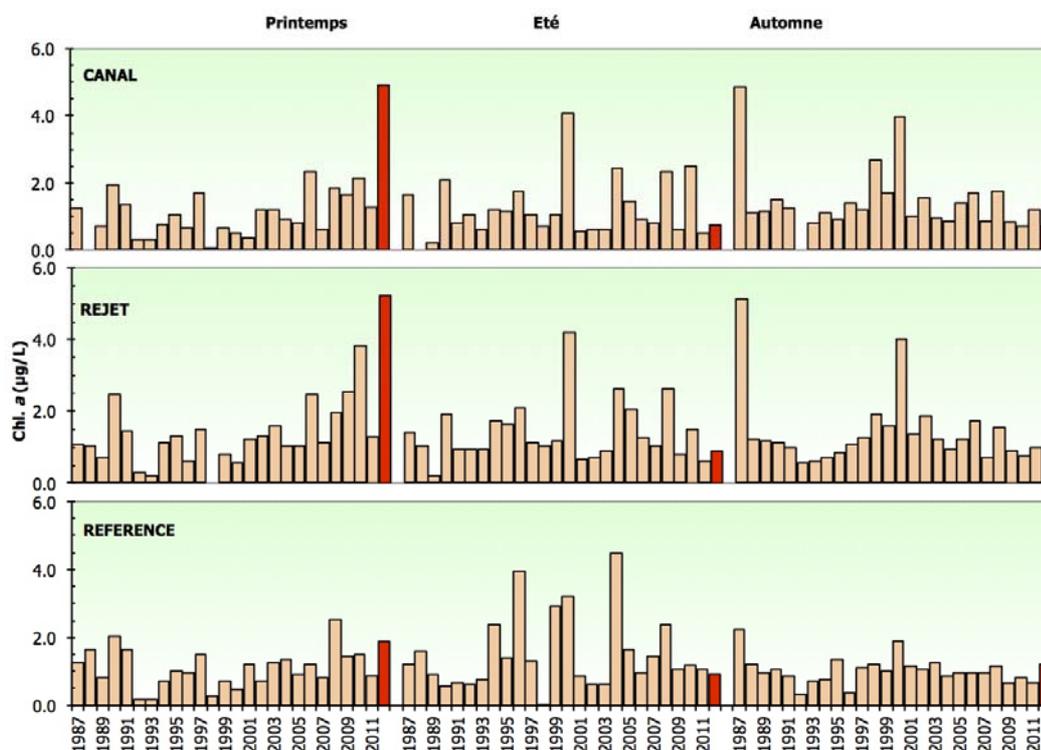


Figure 3.4.2 : Évolution des concentrations en chlorophylle a mesurées de 1987 à 2012 sur les trois stations et au cours des trois campagnes (2012 en rouge)

Au printemps 2012, les concentrations en chlorophylle *a* sont très largement supérieures aux médianes pluriannuelles sur les points *canal* et *rejet* et légèrement supérieures sur le point *référence* (figure 3.4.3). Les concentrations en Chlorophylle *a* observées sur les points *canal* et *rejet* au cours du printemps 2012 constituent les valeurs maximales enregistrées sur la zone depuis 1987. En été et en automne les valeurs enregistrées sur les 3 points sont proches des médianes pluriannuelles.

Les valeurs extrêmes mesurées cette année au cours du printemps et dans la zone proche de la côte, augmentent la dispersion des valeurs au cours du printemps (figure 3.4.3). Ces fortes valeurs de Chlorophylle *a* laissent supposer un bloom précoce sur la zone côtière au cours du printemps 2012. L'été montre aussi une forte dispersion, avec des boîtes qui restent relativement réduites et dont les tailles sont proches de celles du printemps. Les moustaches par contre, s'étalent vers les fortes valeurs ; les valeurs extrêmes dépassent 4 µg/L. Bien qu'en automne les boîtes soient plus réduites, la forte dispersion des valeurs est toujours présente avec des valeurs maximales jusqu'à cinq fois supérieures à la médiane, ces variations sont essentiellement dues aux dates précoces d'échantillonnage et aux conditions estivales rencontrées, les maximums sont obtenus le 1 septembre 1987 et le 4 septembre 2000.

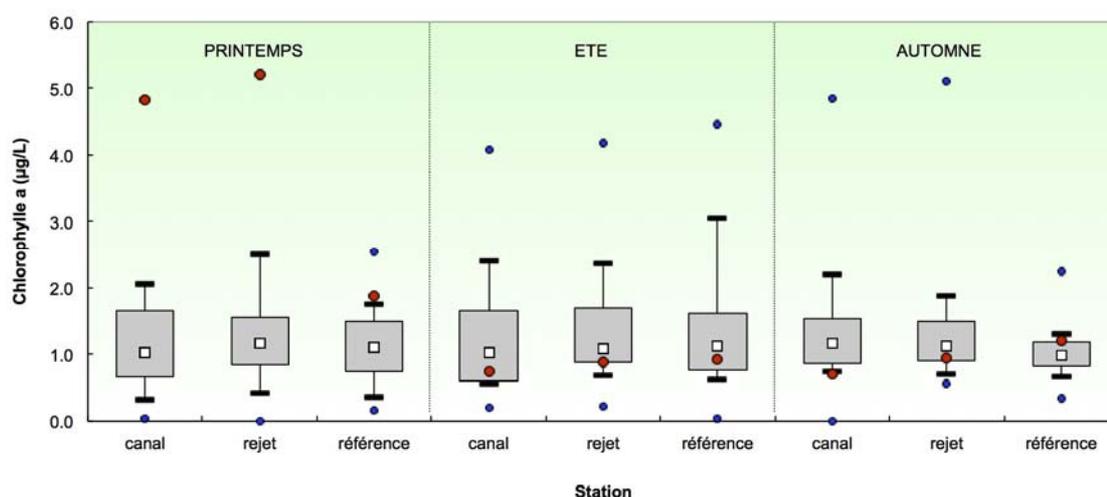


Figure 3.4.3 : Évolution de la concentration en chlorophylle *a* (µg/L) et dispersion des valeurs au cours de la période 1987 à 2012 (2012 en rouge)

3.4.2.1.3 Approche statistique

Les tests statistiques présentés dans le tableau 3.4.2 confirment les tendances pluriannuelles déjà mises en évidence dans la figure 3.4.2. Une différence significative est observée en automne entre le point *référence* et les 2 autres points. Cette différence peut être expliquée par l'existence d'un gradient côte large plus marqué à cette saison avec une biomasse phytoplanctonique plus élevée à la côte (points *canal* et *rejet*) qu'au large (point *référence*) en automne. Au printemps et en été, une différence significative est observée entre le point *canal* et le point *rejet*.

| | Printemps | Été | Automne |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Canal / Rejet | 0,005* | 0,030* | 0,583 |
| Canal / Référence | 0,438 | 0,220 | 0,012* |
| Rejet / Référence | 0,937 | 0,511 | 0,016* |

*Différence significative (p-value <0,05)

Tableau 3.4.2 : « p-value » des tests statistiques la chlorophylle *a*.

3.4.2.1.4 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 3.4.4). Les observations de 2012 (Fig. 3.4.5) peuvent ainsi être replacées dans ces données 'moyennes' de distribution 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 de 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 pauvres en phytoplancton. 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.

La comparaison des images obtenues en 2012 par rapport aux moyennes mensuelles calculées sur la période 1998-2007, confirme la présence d'un bloom précoce sur la côte ouest du Cotentin au mois de mars (figure 3.4.5). En effet au cours de cette période les concentrations en chlorophylle *a* ont atteint des valeurs proches de 5 µg/L sur l'ensemble de la zone côtière de l'ouest Cotentin. Cette situation est atypique par rapport à ce que l'on observe habituellement (figure 3.4.4). Les images obtenues au cours des périodes estivales et automnales, sont quant à elles, conformes à ce qui est généralement observé sur la zone.

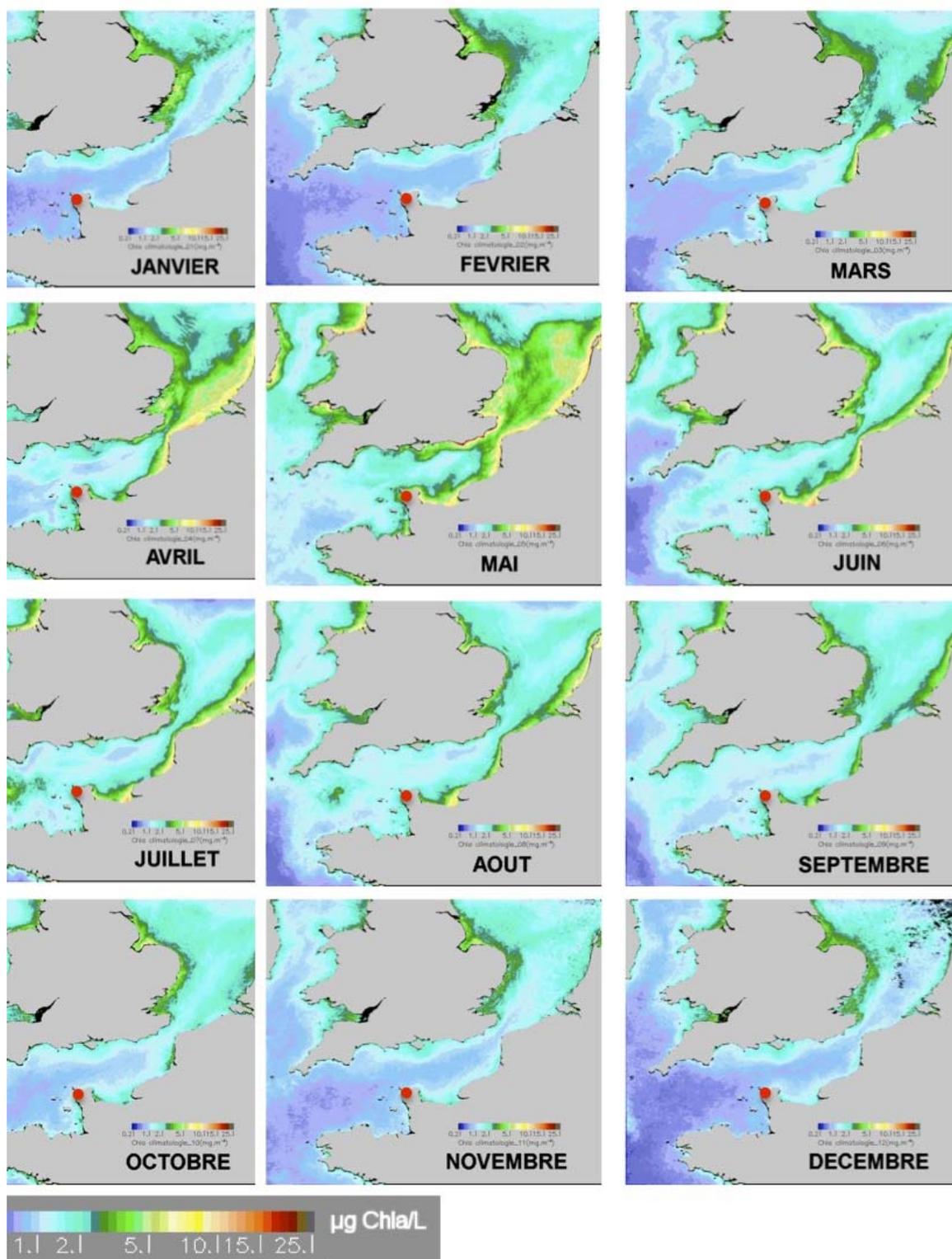


Figure 3.4.4 : Distribution mensuelle de la chlorophylle a en Manche obtenue après traitement des images des cameras SeaWiFS et MODIS entre 1998 et 2007 avec l'algorithme Ifremer

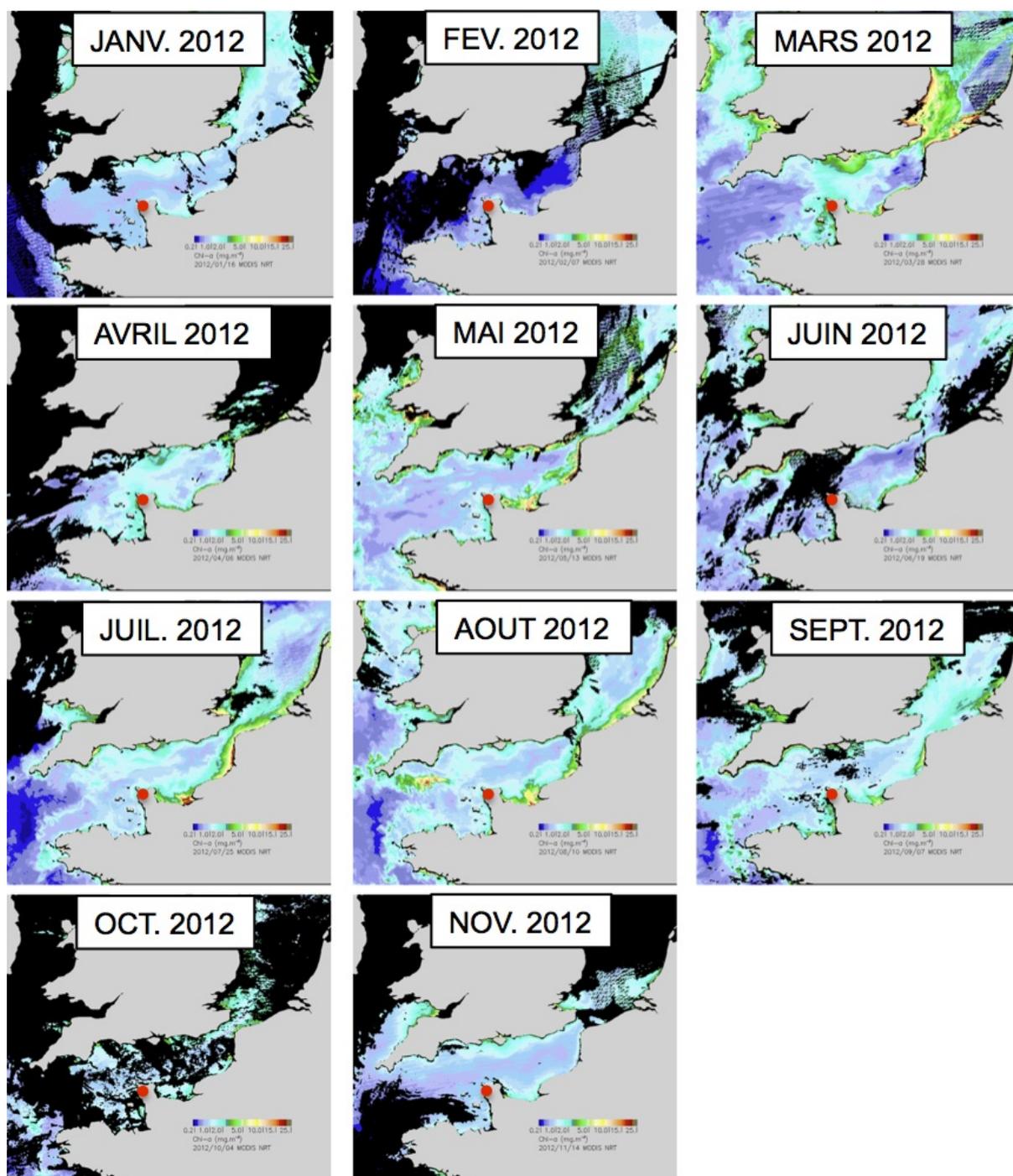


Figure 3.4.5 : Série d'images 2012 obtenues par la caméra MODIS et traitées avec l'algorithme Ifremer pour obtenir les concentrations en chlorophylle a (Ifremer).

3.4.2.2. Production primaire

La nouvelle 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 2012 ainsi que le gradient spatial observé entre les points d'échantillonnage. L'efficacité quantique maximale (Y_{\max}) renseigne également sur l'état physiologique du peuplement. Une valeur de $Y_{\max} \geq 0,6$ indique un très bon état ; $Y_{\max} = 0,5$ bon état ; $Y_{\max} = 0,4$ à $0,3$ moyen à mauvais et un $Y_{\max} < 0,3$ met en évidence un mauvais à très mauvais état physiologique des cellules.

3.4.2.2.1 Variations spatiales et saisonnières de la production primaire (rETR)

Les valeurs de production primaire potentielle (rETR) mesurées en 2012 sont comprises entre 112 en juin aux points *rejet* et *référence*, et 325 au point *rejet* en mars (figure 3.4.6).

En mars les valeurs de rETR sont élevées sur les 3 points variant entre 210 au point *référence* et 325 au point *rejet*, et un gradient côte/large est observé avec de plus fortes valeurs mesurées sur les points côtiers (i.e. *canal* et *rejet*) par rapport au point *référence*. En juin, les valeurs sont plus faibles sur l'ensemble de la zone (i.e. < 155) et varient entre 112 sur les points *rejet* et *référence* et 155 sur le point *canal*. En automne, on note une nouvelle augmentation de rETR sur les 3 points et une faible variabilité spatiale est observée. Cependant, le gradient côte/large est inversé en automne avec un rETR cette fois ci légèrement plus élevée au large (i.e. point *référence*, rETR=256) qu'à la côte (i.e. *canal* et *rejet*, 241 et 234 respectivement).

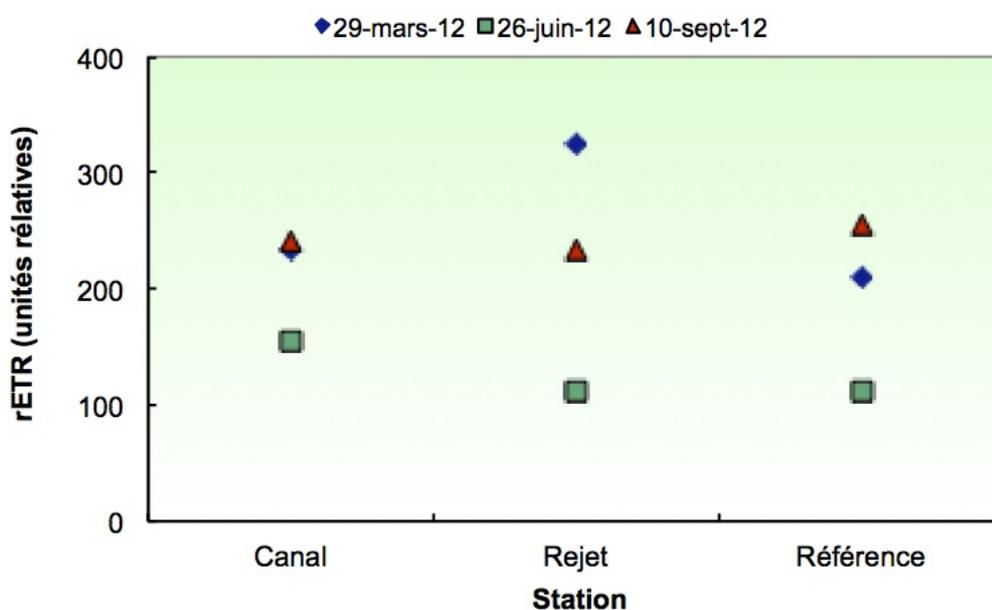


Figure 3.4.6 : Évolution de la production primaire potentielle (rETR) maximale lors des trois campagnes de surveillance de Flamanville en 2012

3.4.2.2.2 Approche statistique

Les tests statistiques réalisés sur les données acquises depuis 2007 sont présentés dans le tableau 3.4.3. Aucune différence significative n'est observée entre les points pour les valeurs de rETR aux trois périodes d'échantillonnage.

| | Printemps | Eté | Automne |
|-------------------|-----------|-------|---------|
| Canal / Rejet | 0,577 | 0,683 | 0,939 |
| Canal / Référence | 0,337 | 0,627 | 0,212 |
| Rejet / Référence | 0,312 | 0,292 | 0,453 |

*Différence significative (p-value <0,05)

Tableau 3.4.3 : « p-value » des tests statistiques sur les valeurs de rETR

3.4.2.2..3 Variations spatiales et saisonnières de l'efficacité quantique maximale (Y_{max})

A l'exception du point *référence* de septembre, les valeurs de l'efficacité quantique mesurées en 2012 sont supérieures à 0,50 ce qui traduit un bon état physiologique des communautés phytoplanctoniques sur l'ensemble de la zone et au cours des différentes périodes d'étude (figure 3.4.7). Au printemps, Y_{max} varie entre 0,55 au point *canal* et 0,62 sur le point *rejet*. Il est intéressant de noter, que les plus fortes valeurs sont observées sur le point *rejet*, traduisant un bon état physiologique des cellules sur ce point, et suggérant le faible impact du rejet sur les conditions physiologiques des communautés phytoplanctoniques. Au mois de juin, les valeurs de Y_{max} restent > 0,5, et la variabilité spatiale est encore plus faible que celle mesurée au cours du printemps. En revanche, un gradient côte/large est observé en septembre, avec une diminution des valeurs de Y_{max} de la côte (i.e. point *canal*, $Y_{max}=0,55$) vers le large (i.e. point *référence*, $Y_{max}=0,42$). Ce résultat suggère un meilleur état physiologique des cellules phytoplanctoniques à la côte qu'au large au cours de la période automnale.

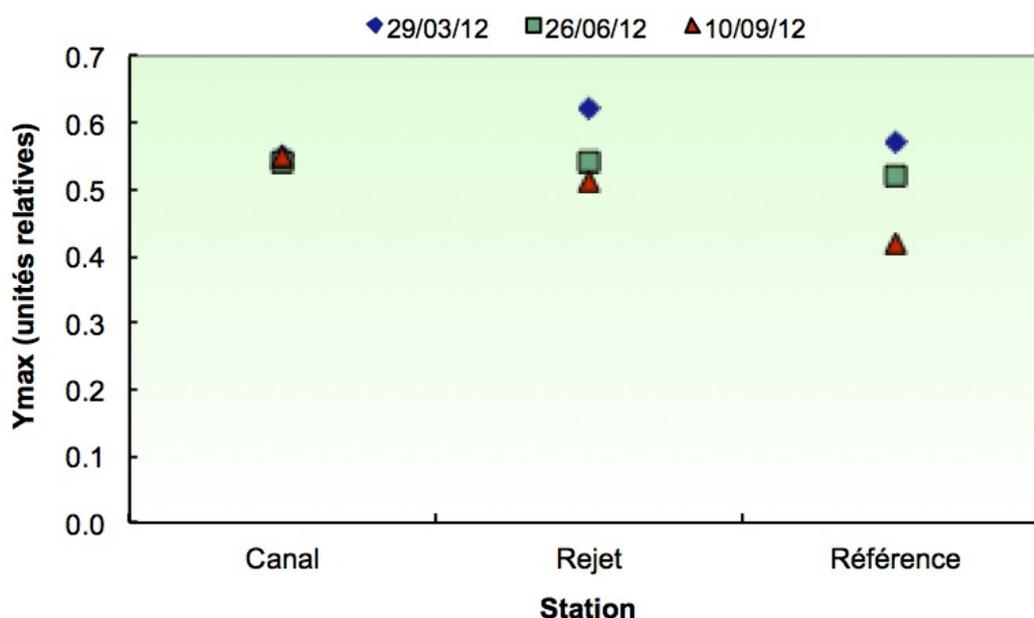


Figure 3.4.7 : Évolution des valeurs d'efficacité quantique (Y_{max}) lors des trois campagnes de surveillance de Flamanville en 2012

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, produisait une mortalité massive des cellules. La mesure de Y_{max} permet une véritable estimation de l'état physiologique des peuplements présents au point *rejet*. Il est donc intéressant de remarquer que les valeurs de Y_{max} à ce point sont supérieures ou identiques à celles des autres points (figure 3.4.8). Ceci était très difficile à vérifier expérimentalement avec seulement des mesures de biomasse chlorophyllienne, principalement en raison d'une variabilité spatiale très importante. Plus d'années seront nécessaires pour observer une réelle tendance s'il en existe une. Mais les résultats obtenus depuis 2007 n'indiquent pas que les peuplements phytoplanctoniques sont significativement 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 vraisemblablement quantifiables.

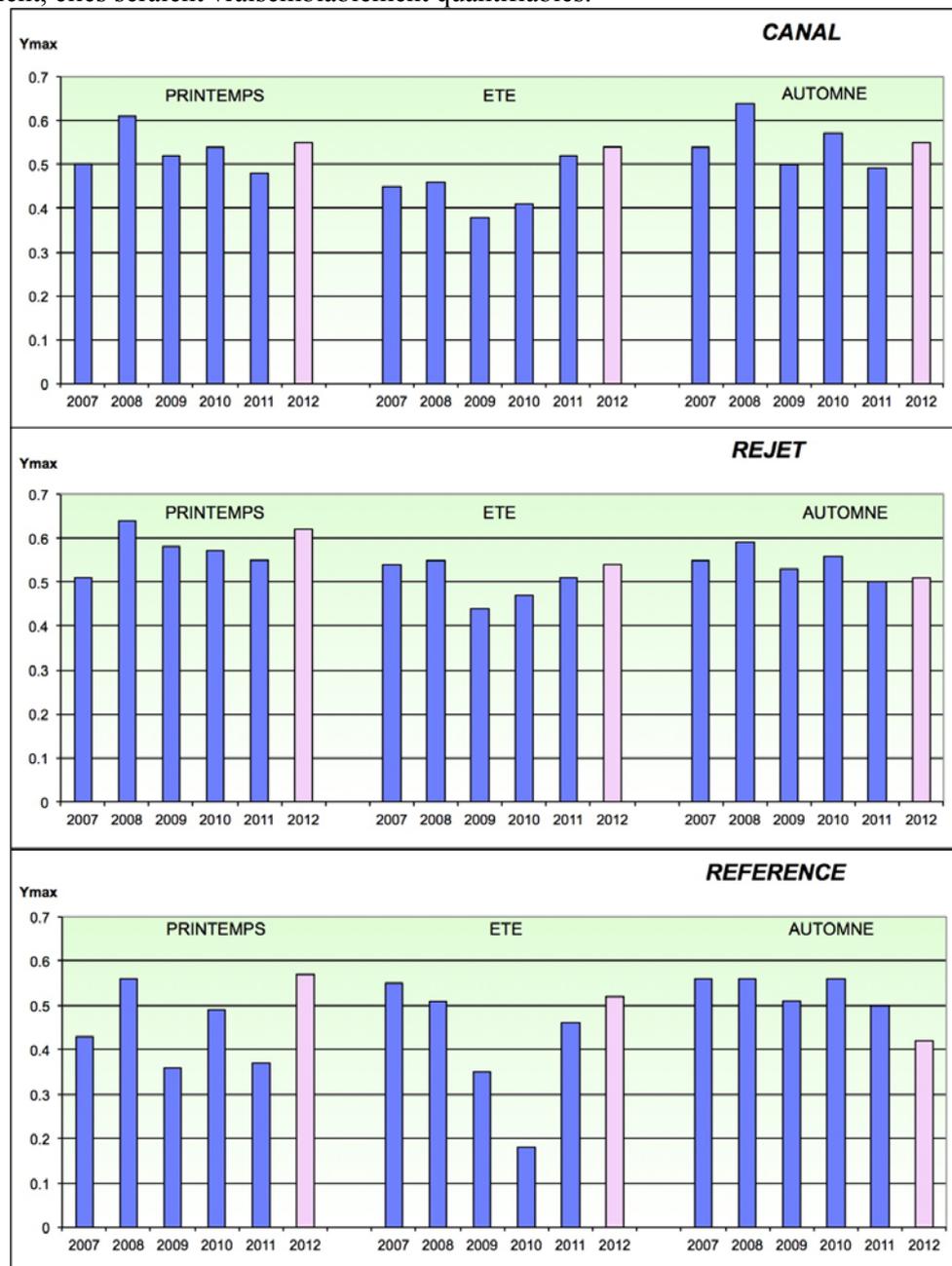


Figure 3.4.8 : Évolution des valeurs de Y_{max} de 2007 à 2012 (2012 en rose)

3.4.2.2.4 Approche statistique

Les tests statistiques réalisés sur les données acquises depuis 2007 sont présentés dans le tableau 3.4.4. Les valeurs de Y_{max} sont significativement différentes entre les trois points échantillonnés au printemps et entre les points *canal* et *rejet* en été. En revanche, aucune différence significative n'est observée entre les points en automne.

| | Printemps | Eté | Automne |
|-------------------|-----------|--------|---------|
| Canal / Rejet | 0,007* | 0,042* | 0,542 |
| Canal / Référence | 0,037* | 0,524 | 0,2822 |
| Rejet / Référence | 0,009* | 0,130 | 0,206 |

*Différence significative (p-value <0,05)

Tableau 3.4.4: « p-value » des tests statistiques sur les valeurs de Y_{max}

3.4.2.3. Microphytoplancton

3.4.2.3.1 Variations spatiales et saisonnières du microphytoplancton

Les dénombrements microphytoplanctoniques effectués en 2012 sont présentés en figure 3.4.9. Ils sont exprimés en nombre de cellules par litre d'eau de mer.

En 2012, les plus fortes abondances ont été mesurées en juin sur les 3 points, avec des valeurs variant entre $3,1 \times 10^4$ et $9,5 \times 10^4$ Cell/L au point *référence* et au point *rejet* respectivement. Par ailleurs, un gradient côte/large est observé au cours des différentes périodes d'échantillonnage, caractérisé par une diminution des abondances totales de phytoplancton de la côte (i.e. points *canal* ou *rejet*) vers le large (i.e. point *référence*). Au printemps les concentrations cellulaires varient entre $1,9 \times 10^4$ Cell/L sur le point *référence* et $4,2 \times 10^4$ Cell/L sur le point *canal*. Il est intéressant de noter que les plus fortes concentrations en été et automne sont observées sur le point *rejet* ($9,5 \times 10^4$ et $5,1 \times 10^4$ Cell/L, respectivement).

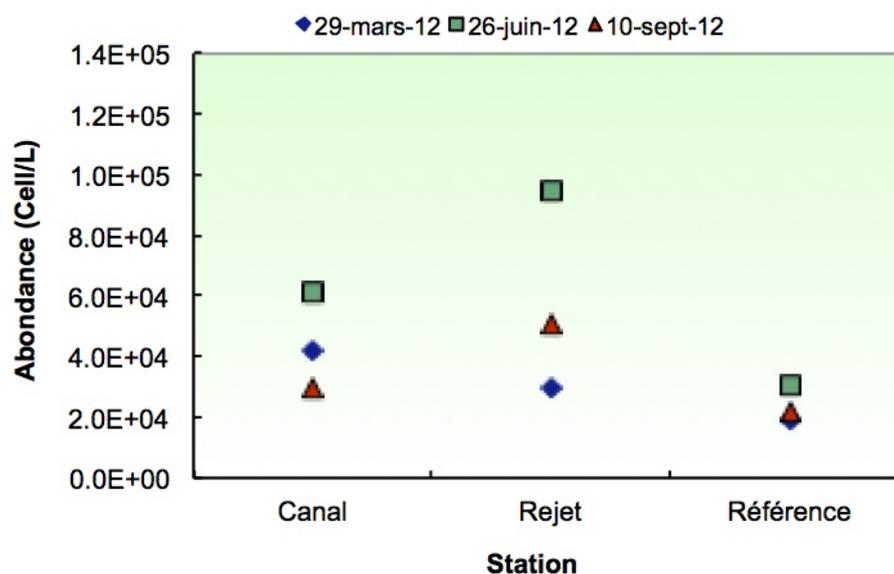


Figure 3.4.9 : Abondances microphytoplanctoniques pour l'année 2012 en nombre de cellules/L au cours des trois périodes d'échantillonnage et sur les trois stations

3.4.2.3.2 Variations inter-annuelles

Les abondances observées en 2012 sont dans la gamme des valeurs moyennes observées sur les 3 points d'échantillonnage depuis 1987 (figure 3.4.10). Aucune évolution particulière des concentrations en phytoplancton n'est à noter pour l'année 2012.

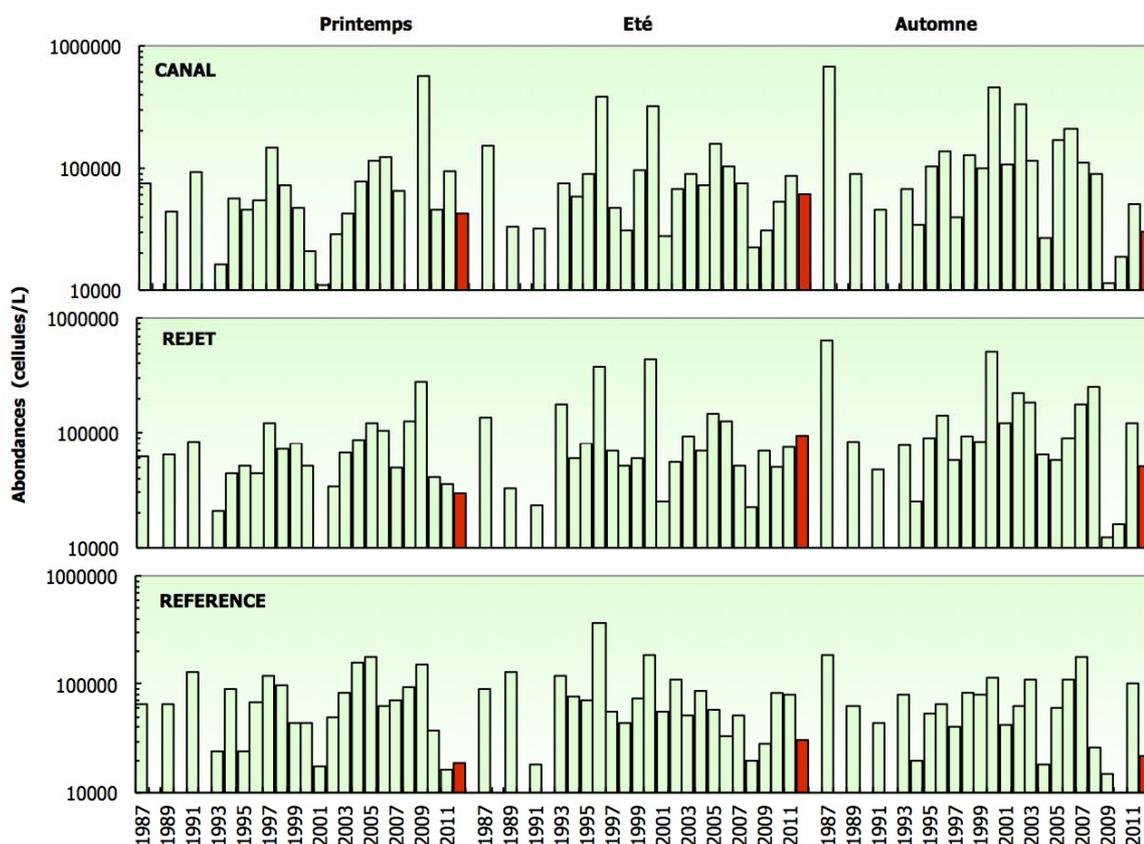


Figure 3.4.10 : Évolution de l'abondance phytoplanctonique de 1987 à 2012 (2012 en rouge).

En 2012, les abondances phytoplanctoniques maximales ont été enregistrées au mois de juin sur les 3 points (figure 3.4.9). Ces valeurs restent cependant très proches des médianes interannuelles observées à cette période sur toute la zone (figure 3.4.11). Au printemps, les valeurs observées en 2012 sont légèrement inférieures à la médiane sur les 3 points. Ceci est plus marqué en automne, période au cours de laquelle les abondances observées en 2012 sont situées en-dessous des médianes. Cependant, ces faibles valeurs restent dans la gamme des valeurs moyennes observées habituellement sur la zone au cours de cette période.

Pour résumer, les abondances phytoplanctoniques observées au cours de l'année 2012 sont globalement dans la gamme des valeurs mesurées habituellement sur la zone, avec cependant des concentrations cellulaires légèrement plus faibles au cours de la période automnale.

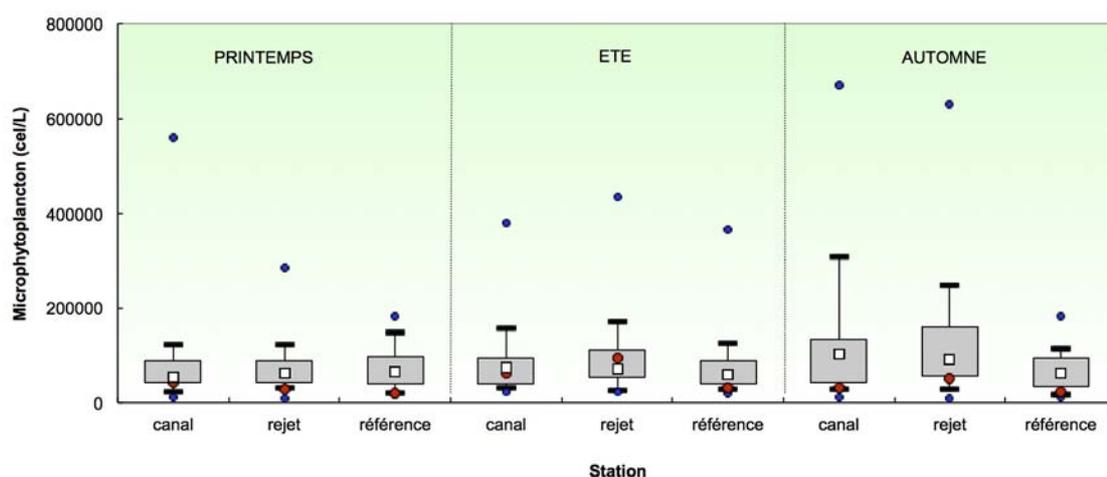


Figure 3.4.11 : Évolution de l'abondance phytoplanctonique de 1987 à 2012. Le point central représente la médiane (\square) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (\square) ; les moustaches, 80 % des valeurs (\perp). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (\bullet). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2012 (\bullet)

La succession des assemblages phytoplanctoniques est gouvernée principalement par la variabilité saisonnière. La croissance cellulaire du phytoplancton peut être limitée par deux principaux types de facteurs l'un physique l'autre nutritionnel. Les facteurs physiques tels que la lumière la température sont essentiellement liés à la variabilité saisonnière. Les facteurs nutritionnels (azote, phosphate et silicate), s'ils sont indirectement saisonniers sont étroitement liés aux apports fluviaux et dans une moindre mesure aux apports atmosphériques 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 observées en hiver. La communauté phytoplanctonique est largement dominée par les diatomées durant le printemps, période d'augmentation de l'éclairement et de l'élévation de la température. La figure 3.4.12 présente l'évolution spatiale et temporelle de la dominance des diatomées depuis 2002 (en %).

A l'exception du point canal au mois de mars, les diatomées constituent plus 82% de l'abondance totale sur les 3 points échantillonnés et au cours des différentes périodes (figure 3.4.12). Ceci est en accord avec ce qui est observé dans les zones côtières tempérées où les diatomées sont la classe phytoplanctonique la plus représentée. Au mois de mars sur le point *canal*, les diatomées constituent seulement 41% de l'abondance totale. Cette valeur est très inférieure à la moyenne interannuelle observée sur ce point et constitue la valeur minimale observée depuis 2002. Cette faible proportion de diatomée est liée à une efflorescence particulièrement importante de Prymnésiophycées qui représentent alors plus de 55% de l'abondance totale (cf. tableau 3.4.6). Des efflorescences printanières de Prymnésiophycées sont courantes en Manche et Mer du Nord. La plupart des espèces appartenant à ce groupe sont de petites cellules flagellées, caractérisées par de forts taux de croissance et des épisodes d'efflorescences massives ont déjà été reporté en Manche et Mer du Nord. Au cours de la même période, les diatomées contribuent à plus de 82% à l'abondance totale sur les points *référence* et *rejet*, ce qui met en évidence la limitation de cette efflorescence de Prymnésiophycées à la zone du *canal*. Au mois de juin, la proportion de diatomée au sein de la communauté phytoplanctonique varie entre 87% et 93% sur les points *canal* et *référence* respectivement. Ces valeurs sont proches de la médiane sur le point *rejet*, et légèrement inférieure à la moyenne sur les points *canal* et *rejet*, mais restent dans la gamme des valeurs observées habituellement sur la zone depuis 2002. En automne, un gradient côte/large est observé, les valeurs variant de 85% à la côte (i.e. point *canal*) à 97% au large (i.e. point *référence*). Ces valeurs sont proches de la médiane interannuelle sur les points *rejet* et *référence* et se situe dans la gamme inférieure des valeurs observées généralement sur le point *canal*.

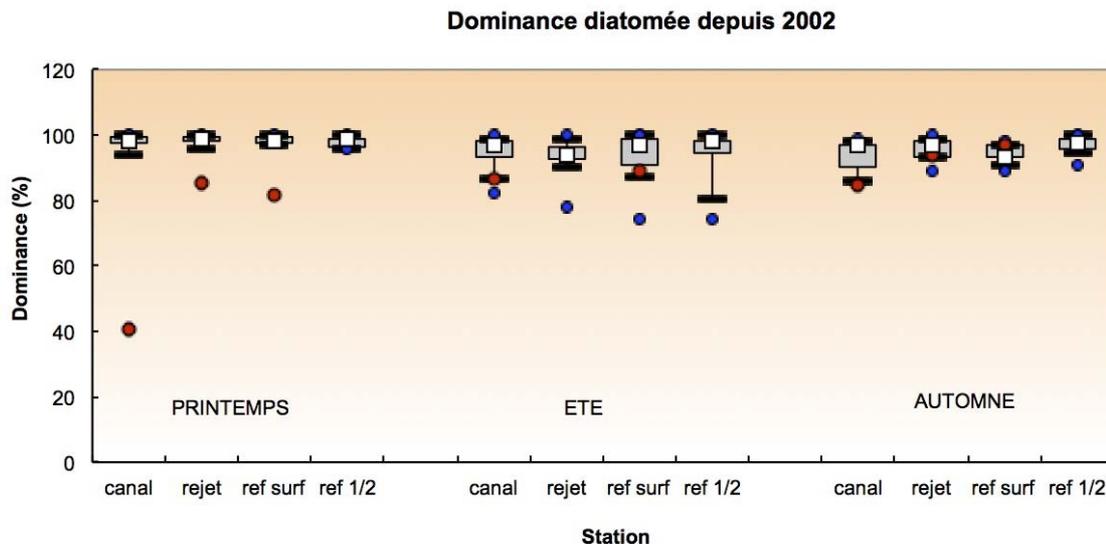


Figure 3.4.12 : Distribution des dominances de diatomées par point et par campagne depuis 2002 Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▭) ; les moustaches, 80 % des valeurs (┘). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2012 (●)

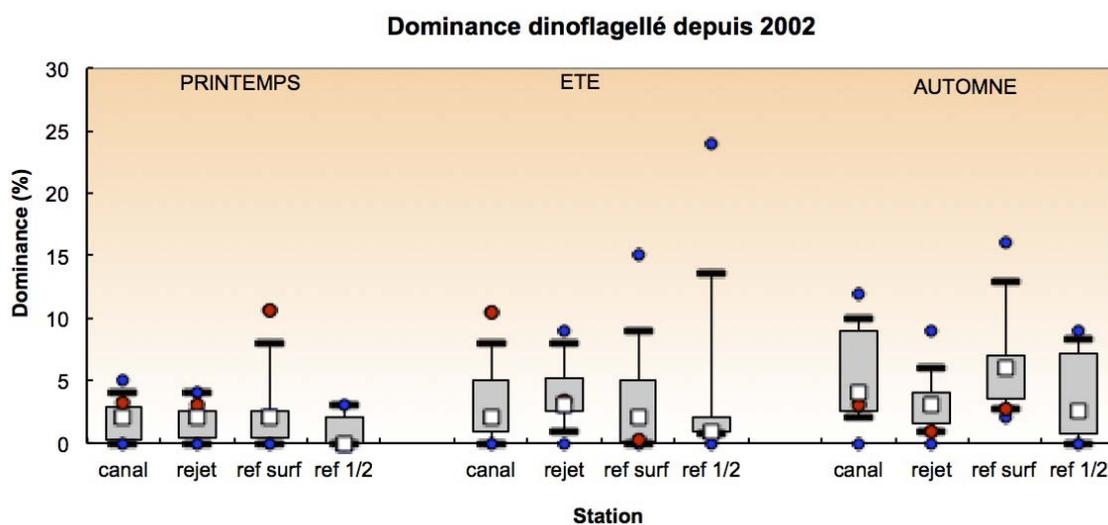


Figure 3.4.13 : Distribution des dominances de dinoflagellés par point et par campagne depuis 2002 Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▭) ; les moustaches, 80 % des valeurs (┘). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2012 (●)

Les dinoflagellés, bien que minoritaires dans les eaux atlantiques, sont capables de développements rapides qui peuvent conduire à des perturbations majeures de l'écosystème. Les plus fortes dominances sont généralement observées en été et automne, quand les concentrations en sels nutritifs sont plus faibles, et lorsqu'il existe une relative stabilité verticale de la colonne d'eau (i.e. stratification thermique ou haline). La figure 3.4.13 présente l'évolution spatiale et temporelle de la dominance des dinoflagellés depuis 2002. Les plus faibles valeurs et dispersions sont enregistrées lors de la campagne de printemps. Les fortes dispersions de juin et septembre mettent en évidence la forte variabilité de ce paramètre à cette époque de l'année.

En 2012, l'abondance relative des dinoflagellés reste inférieure à 3% sur la plupart des stations et au cours de différentes périodes d'échantillonnage (figure 3.4.13). Cependant, il faut noter la

plus forte proportion de dinoflagellés sur le point *référence* au mois de mars (i.e. 11%) et sur le point *canal* au mois de juin (i.e. 10%) qui sont les plus fortes valeurs mesurées sur ces 2 points et à ces périodes depuis 2002. Au mois de mars, les abondances relatives de dinoflagellés sont très proches de la médiane sur les points *canal* et *rejet*. En été, les proportions de dinoflagellés reportées en 2012 sur les points *rejet* et *référence* sont elles aussi très proches des médianes pluriannuelles. En revanche, l'automne 2012 est caractérisé par des proportions relatives de dinoflagellés plus faibles que celles observées habituellement à cette période sur les 3 points.

Pour résumer, les proportions de dinoflagellés mesurées en 2012 sont généralement en accord avec les valeurs observés précédemment sur la zone, avec cependant des valeurs un peu plus faibles en automne. Par ailleurs, il est important de noter que le mois de mars 2012 est marqué par un bloom de dinoflagellé sur le point le plus large (i.e. point *référence*) et le mois de juin par un bloom plus côtier (i.e. point *canal*).

3.4.2.3.3 Approche statistique

Les tests statistiques réalisés sur les abondances phytoplanctoniques sont présentés dans le tableau 3.4.5. En automne une différence significative est observée entre le point *référence* et les points *canal* et *rejet*. En revanche aucune différence significative n'est observée entre les points au printemps et en été.

| | Printemps | Eté | Automne |
|-------------------|-----------|-------|---------------|
| Canal / Rejet | 0,321 | 0,209 | 0,821 |
| Canal / Référence | 0,591 | 0,345 | 0,020* |
| Rejet / Référence | 0,937 | 0,172 | 0,012* |

*Différence significative (p-value <0,05)

Tableau 3.4.5: « p-value » des tests statistiques sur les abondances phytoplanctoniques

3.4.2.4. Populations phytoplanctoniques observées en 2012

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 des successions phytoplanctoniques. Les résultats sont exprimés en nombre de cellules par litre et en dominance (%) par rapport à la population microphytoplanctonique totale.

Certaines espèces ont été regroupées car difficilement identifiables par microscopie optique. D'autres ont été identifiées au niveau du genre ou de la classe algale. La fraction microphytoplanctonique a été synthétisée en 4 grandes classes : Diatomées, Dinoflagellés, Euglénophycées, Silicoflagellés et Prymnésiophycées. A l'exception du point canal au mois de mars, les diatomées constituent la classe dominante en 2012 représentant plus de 82% de la communauté microphytoplanctonique totale (tableau 3.4.6). Le point canal au mois de mars se caractérise par une efflorescence importante de Prymnésiophycées qui représentent alors plus de 51% de l'abondance totale.

| Campagne | Station | MICROPHYTOPLANCTON | | | | | TOTAL | Dinoflagellés % | Diatomées % |
|------------|---------------|--------------------|---------------|----------|-----------------|-----------------|-------|--------------------|----------------|
| | | diatomées | dinoflagellés | euglènes | silicoflagellés | prymnésiofycées | | | |
| IGA 2012-1 | canal | 17300 | 1400 | 400 | 0 | 23300 | 42400 | 3 | 41 |
| IGA 2012-1 | rejet | 25400 | 900 | 100 | 0 | 3300 | 29700 | 3 | 86 |
| IGA 2012-1 | ref surf | 15400 | 2000 | 100 | 400 | 900 | 18800 | 11 | 82 |
| IGA 2012-1 | ref 1/2 prof. | | | | | | | | |
| IGA 2012-2 | canal | 52800 | 6400 | 1800 | 0 | 0 | 61000 | 10 | 87 |
| IGA 2012-2 | rejet | 88800 | 3200 | 3000 | 0 | 0 | 95000 | 3 | 93 |
| IGA 2012-2 | ref surf | 27200 | 100 | 0 | 0 | 3300 | 30600 | 0 | 89 |
| IGA 2012-2 | ref 1/2 prof. | | | | | | | | |
| IGA 2012-3 | canal | 25500 | 900 | 500 | 0 | 3100 | 30000 | 3 | 85 |
| IGA 2012-3 | rejet | 20500 | 200 | 400 | 0 | 700 | 21800 | 1 | 94 |
| IGA 2012-3 | ref surf | 49600 | 1400 | 0 | 0 | 0 | 51000 | 3 | 97 |
| IGA 2012-3 | ref 1/2 prof. | | | | | | | | |

Tableau 3.4.6 : Abondances des principales classes algales (cellules/L) pour l'année 2012

L'essentiel du microphytoplancton est composé par des diatomées sur les zones côtières de l'Atlantique nord-est. Cependant il faut garder à l'esprit que bien souvent la fraction nanophytoplanctonique (espèces algales dont la taille est comprise entre 2 µm et 20 µm), difficilement accessible par microscopie optique, peut devenir majoritaire, tant par son abondance que sa biomasse (Lampert, 2001). Les Cryptophycées, représentantes du nanophytoplancton, ont été dénombrées. Les valeurs maximales de 69800 cellules/L ont été observées sur le point canal au mois de juin. Cependant, il est très difficile de dénombrer de manière précise ces cellules appartenant au nano-phytoplancton en microscopie optique. Cette incertitude lors du comptage est donc à prendre en considération pour l'analyse des résultats.

Les principales espèces dénombrées en 2012 ont été les suivantes (cf. tableau 3.4.6, 3.4.7 et figure 3.4.14) :

Mars 2012 :

A l'exception du point *canal*, caractérisé par de fortes abondances de Prymnésiophycées qui représentent alors plus de 51% de l'abondance totale, les diatomées dominent sur la zone au cours de cette période printanière, représentant plus de 82% de l'abondance totale (tableau 3.4.6). Les genres *Thalassiosira* et l'espèce *Skeletonema costatum* sont les plus abondants sur les 3 points d'échantillonnage, contribuant entre 23% et 34% et entre 21% à 31% respectivement à l'abondance totale de diatomées sur les 3 points (figure 3.4.14). La diversité des diatomées est plus élevée sur le point *canal* que sur les points *rejet* et *référence*, et les genres *Melosira*, *Pleurosigma*/*Gyrosigma* ainsi que l'espèce *Thalassionema nitzschoides* sont uniquement représentés sur ce point au cours de la période printanière. Les points *rejet* et *référence* sont quant à eux caractérisés par une forte proportion de *Rhizosolenia* sp. (10 à 11%).

A cette période, une forte proportion de dinoflagellés est observée sur le point *référence* (i.e. 11% de l'abondance totale). Le genre *Gyrosigma* est alors le plus représenté et est accompagné par *Proto-peridinium*/*Peridinium* sp. et *Scropsiella* sp.

La période printanière est donc caractérisée par la dominance de *Thalassiosira* sp. et *Skeletonema costatum* sur l'ensemble de la zone. Cependant, le point *canal* se différencie tant en termes de proportion de diatomées (moins de 41%) ainsi que de composition des espèces de diatomées accompagnatrices. Le point *référence* se caractérise quant à lui par une forte proportion de dinoflagellés.

| Campagne | Station | DIATOMÉES | | | | | | | | | | | Cumul % | |
|------------|---------------|-----------|------|------|------|------|------|----------|------------|------|-------|------|------------|------|
| | | RHIZ | MELO | NITZ | CHAE | THAL | SKEL | THAL NIT | PLEUR-GYRO | PSNZ | LEPTO | GUIN | | DACT |
| IGA 2012-1 | canal | 3 | 8 | 6 | 5 | 34 | 21 | 5 | 2 | 3 | 13 | 0 | 0 | 100 |
| IGA 2012-1 | rejet | 10 | 0 | 2 | 2 | 27 | 31 | 0 | 0 | 7 | 8 | 1 | 0 | 88 |
| IGA 2012-1 | ref surf | 11 | 0 | 1 | 2 | 23 | 30 | 0 | 0 | 7 | 14 | 0 | 0 | 88 |
| IGA 2012-1 | ref 1/2 prof. | | | | | | | | | | | | | |
| IGA 2012-2 | canal | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | 0 | 16 | 61 | 0 | 0 | 83 |
| IGA 2012-2 | rejet | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 10 | 68 | 14 | 1 | 98 |
| IGA 2012-2 | ref surf | 13 | 0 | 0 | 3 | 2 | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 30 | 44 | 97 |
| IGA 2012-2 | ref 1/2 prof. | | | | | | | | | | | | | |
| IGA 2012-3 | canal | 3 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 44 | 29 | 0 | 84 |
| IGA 2012-3 | rejet | 1 | 2 | 0 | 6 | 0 | 3 | 7 | 0 | 1 | 18 | 59 | 0 | 97 |
| IGA 2012-3 | ref surf | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 5 | 1 | 0 | 11 | 35 | 31 | 0 | 92 |
| IGA 2012-3 | ref 1/2 prof. | | | | | | | | | | | | | |

Clefs : **Rhiz** : *Rhizosoleniaceae* ; **Melo** : *Melosiraceae* ; **Nitz** : *Nitzschia* sp ; **Chae** : *Chaetoceros* sp ; **Thal** : *Thalassiosira* sp ; **Skel** : *Skeletonema* sp ; **Thal Nit** : *Thalassionema nitzschoides* ; **Pleur-gyro** : *Pleurosigma* sp et *Gyrosigma* sp ; **PSNZ** : *Pseudonitzschia* sp ; **Lepto** : *Leptocylindrus* sp ; **Guin** : *Guinardia* sp ; **Dact** : *Dactylosolenia fragilissimus*

Tableau 3.4.7 : Abondances des principaux genres de diatomées pour l'année 2012

Juin 2012 :

Les diatomées dominent largement la communauté phytoplanctonique sur l'ensemble de la zone au cours de la période estivale, représentant plus de 87% de l'abondance totale. Un gradient côte/large est observé au regard de la composition de la communauté de diatomées au cours de cette période (figure 3.4.14). En effet, les points *canal* et *rejet* sont caractérisés par la dominance du genre *Leptocylindrus* (61% et 68% respectivement) accompagné par les genres *Pseudonitzschia* (10 à 16%) et *Guinardia* uniquement sur le point *rejet* (14%). En revanche, c'est le genre *Pseudonitzschia* qui domine sur le point du large (i.e. point *référence*), accompagné des genres *Guinardia* (30%) et *Rhizosolenia* (13%).

Au cours de l'été une forte proportion de dinoflagellés est observée sur le point *canal* (10%). Le genre le plus abondant est le genre *Scropsiella*.

Les Euglènes sont abondants dans les eaux côtières au cours de l'été, avec 1800 Cell/L et 3000 Cell/L sur les points *canal* et *rejet* respectivement. Cette abondance diminue de la côte vers le large ; aucune cellule n'a été observée sur le point *référence*.

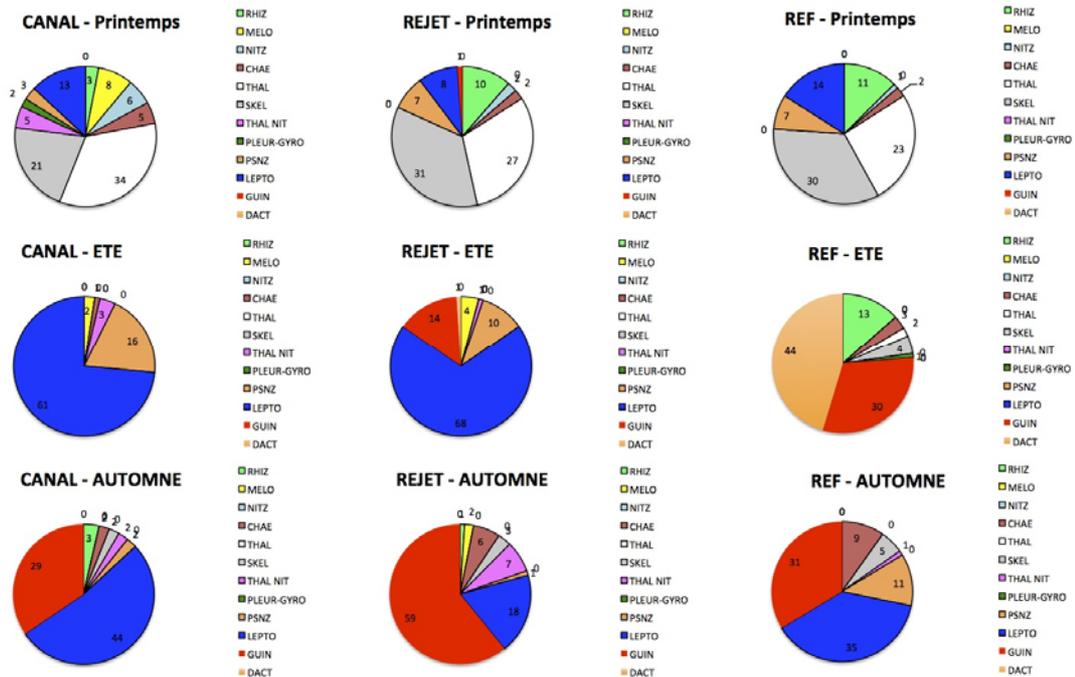
La période estivale est donc marquée par un changement de la composition de diatomées entre les eaux côtières et les eaux du large, une forte proportion de dinoflagellés à la côte (i.e. point *canal*), et des fortes abondances d'Euglènes sur les points *canal* et *rejet*.

Septembre 2012 :

En automne, les diatomées dominent la communauté phytoplanctonique, représentant 85% à 97% de l'abondance totale. Cette période est caractérisée par une relative homogénéité de la communauté de diatomées sur l'ensemble de la zone (figure 3.4.14). En effet, les 3 points sont caractérisés par la dominance de 2 genres : *Leptocylindrus* (18% à 34%) et *Guinardia* (29% à 59%). Ces deux genres représentent à eux seuls 73%, 77% et 66% de l'abondance totale des diatomées sur les points *canal*, *rejet* et *référence* respectivement. Le point le plus large (i.e. point *référence*) se caractérise cependant des 2 autres points par l'importance des genres *Pseudonitzschia* (11%) et *Chaetoceros* (9%). Ces deux genres sont aussi présents sur les points *canal* et *rejet*, mais leur contribution reste très marginale.

Les dinoflagellés représentent moins de 3% de l'abondance totale au cours de cette période. Le genre le plus représenté sur l'ensemble de la zone est *Alexandrium*. Ce genre comporte certaines espèces toxiques. Cependant, les abondances cellulaires observées en septembre sur les 3 points restent très marginales et ne suggèrent donc aucun risque.

La période automnale est donc caractérisée par une relative homogénéité des communautés phytoplanctoniques, principalement au regard des espèces dominantes de diatomées. Cependant, une variabilité existe entre les eaux côtières et celles du large en terme d'espèces accompagnatrices. L'automne 2012 a aussi été caractérisé par de très faibles proportions de dinoflagellés.



Clefs : **Rhiz** : Rhizosoleniaceae ; **Melo** : Melosiraceae ; **Nitz** : Nitzschia sp ; **Chae** : Chaetoceros sp ; **Thal** : Thalassiosira sp ; **Skel** : Skeletonema sp ; **Thal Nit** : Thalassionema nitzschoides ; **Pleur-gyro** : Pleurosigma sp et Gyrosigma sp ; **PSNZ** : Pseudonitzschia sp ; **Lepto** : Leptocylindrus sp ; **Guin** : Guinardia sp ; **Dact** : Dactylosolenia fragilissimus

Figure 3.4.14 : Distribution des abondances en diatomées pour l'année 2011

3.4.3. Comparaison des résultats obtenus aux points canal et rejet

Le calcul du déficit de chlorophylle, de production primaire et d'abondance phytoplanctonique au point *rejet* par rapport au point *canal* se calcule au moyen de l'équation ci-dessous :

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

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

En utilisant les valeurs de 2012 pour les trois paramètres précités, les déficits obtenus sont présentés dans le tableau 3.4.8. Une valeur positive exprime un déficit au point *rejet* par rapport au point *canal*.

| Pourcentages entre canal et rejet | | | |
|-----------------------------------|--------------|----------------|--------------------|
| (%) | Chlorophylle | Prod. Primaire | Microphytoplancton |
| 29-mars-12 | -8 | -39 | 30 |
| 26-juin-12 | -20 | 28 | -56 |
| 10-sept-12 | -34 | 3 | -70 |

Tableau 3.4.8 : Déficients des trois paramètres étudiés entre les points canal et rejet

Seule la production primaire en juin et septembre et les abondances phytoplanctoniques en mars, sont en déficit par rapport au point *canal*. Les points restants ont enregistré des valeurs supérieures au point *rejet* par rapport au *canal*.

Ces différences peuvent s'expliquer par deux phénomènes, l'un à caractère spatial et l'autre temporel. Premièrement, les caractéristiques de la masse d'eau du 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 aussi s'expliquer par la variabilité spatio-temporelle naturellement observée dans le milieu marin.

3.4.4. Conclusion

L'année 2012 a été marquée par une biomasse phytoplanctonique élevée au cours du printemps, les concentrations en Chlorophylle *a* ayant atteint des valeurs de 4,82 et 5,22 µg/L sur les points *rejet* et *canal* respectivement à cette période. Ces concentrations exceptionnelles représentent les valeurs maximales enregistrées sur la zone depuis 1987. Ce bloom phytoplanctonique printanier n'a pas été restreint à la proximité du CNPE de Flamanville mais a concerné toute la zone côtière de l'ouest Cotentin, comme le montrent les images satellites du mois mars (figure 3.4.4). Les conditions hydro-climatiques de l'année 2012 peuvent expliquer ce phénomène global (i.e. ensoleillement en mars). Si les biomasses phytoplanctoniques observées au printemps 2012 sont exceptionnelles pour la zone, elles restent cependant dans la gamme des valeurs observées dans les eaux côtières de l'ouest Cotentin. Par la suite, les valeurs de biomasse mesurées en été et automne 2012 sont restées très proches des médianes pluri-annuelles, et le cycle saisonnier des communautés phytoplanctoniques observé en 2012 à proximité du CNPE sont en accord avec le cycle observé habituellement sur l'Ouest Cotentin.

Au printemps 2012, un gradient côté/ large est observé pour les différents paramètres suivis : biomasse phytoplanctonique, production primaire et abondances phytoplanctoniques. Les concentrations en Chlorophylle *a* et les abondances phytoplanctoniques diminuent de la côte vers le large. Le même pattern spatial est observé pour les paramètres photosynthétiques, avec des valeurs de *r*-ETR et de *Y*-max plus élevées à la côte qu'au large, qui témoignent d'une production primaire plus élevée et d'un meilleur état physiologiques des cellules. La période printanière est caractérisée par la dominance de *Thalassiosira* sp. et *Skeletonema costatum* sur l'ensemble de la zone. Cependant, le point *canal* se différencie en termes de proportion de diatomées (moins de 41%) liée à de fortes abondances de Prymnésiophycées sur ce point à cette période. Le point *référence* se caractérise quant à lui par une forte proportion de dinoflagellés.

En été de faibles biomasses phytoplanctoniques sont observées sur l'ensemble de la zone. Les paramètres photosynthétiques montrent la même évolution, avec une diminution du *r*-ETR et de *Y*-max par rapport aux valeurs mesurées au cours du printemps. En revanche, les abondances phytoplanctoniques sont plus élevées à cette période qu'au cours du printemps, et présentent un gradient décroissant de la côte vers le large. Les diatomées dominent largement la communauté phytoplanctonique sur l'ensemble de la zone au cours de l'été représentant plus de

87% de l'abondance totale. Un gradient côte/large est observé au regard de la composition de la communauté de diatomées au cours de cette période (figure 3.4.14). En effet, les points *canal* et *rejet* sont caractérisés par la dominance du genre *Leptocylindrus* accompagné par les genres *Pseudonitzschia* et *Guinardia*. Le genre *Pseudonitzschia* qui domine sur le point du large, accompagné des genres *Guinardia* et *Rhizosolenia*. La période estivale est aussi marquée par une forte proportion de dinoflagellés à la côte (i.e. point *canal*), et des fortes abondances d'Euglènes sur les points *canal* et *rejet*. L'abondance de dinoflagellés en période estivale est un phénomène courant dans les eaux côtières tempérées. La consommation de silice par les diatomées au cours du bloom phytoplanctonique printanier est à l'origine de la diminution des concentrations en silice au cours de l'été, et la potentielle limitation de la croissance des diatomées en été par ce sel nutritif. Ces conditions nutritives ainsi qu'une relative stabilité de la colonne d'eau en période estivale sont propices à la croissance des dinoflagellés. Les fortes abondances d'Euglènes peuvent s'expliquer par des apports d'eau douce plus importants au cours de cette période. En effet ces organismes sont inféodés aux eaux douces et leur présence sur la zone côtière est le marqueur d'apports fluviaux plus abondants. La diminution de l'abondance de ces organismes de la côte vers le large observé en juin 2012 confirme cette hypothèse.

La période automnale est marquée par une relative augmentation de la biomasse phytoplanctonique sur l'ensemble de la zone par rapport au mois de Juin. Ceci s'accompagne d'une augmentation du r-ETR traduisant une production primaire plus intense qu'au cours de l'été. Ceci est en accord avec le cycle saisonnier observé en zone côtière Atlantique, caractérisé par un bloom printanier suivi d'un deuxième bloom moins intense en automne. Concernant Y_{max}, un gradient côte/large est observé en septembre, avec une diminution des valeurs de la côte vers le large, qui suggère un meilleur état physiologique des cellules phytoplanctoniques à la côte qu'au large au cours de la période automnale. Des conditions nutritives plus drastiques au large peuvent expliquer ce résultat. En septembre les diatomées dominent la communauté phytoplanctonique, représentant 85% à 97% de l'abondance totale. Cette période est caractérisée par une relative homogénéité de la communauté de diatomées sur l'ensemble de la zone (figure 3.4.14). En effet, les 3 points sont caractérisés par la dominance de 2 genres (*Leptocylindrus* et *Guinardia*), représentant à eux seuls plus de 73% de l'abondance totale des diatomées. Le point le plus large (i.e. point *référence*) se distingue cependant des 2 autres points par l'importance des genres *Pseudonitzschia* et *Chaetoceros*. Ces deux genres sont aussi présents sur les points *canal* et *rejet*, mais leur contribution reste très marginale. Les dinoflagellés représentent moins de 3% de l'abondance totale au cours de cette période. Le genre le plus représenté sur l'ensemble de la zone est *Alexandrium*. Ce genre comporte certaines espèces toxiques. Cependant, les abondances cellulaires observées en septembre sur les 3 points restent très marginales et ne suggèrent donc aucun risque.

Le cycle saisonnier du phytoplancton ainsi que la structure des communautés phytoplanctoniques observés en 2012 ne présentent pas de caractéristiques pouvant mettre en cause l'activité du CNPE de Flamanville. Leur évolution dans le temps est en concordance avec celle observée sur la zone ouest Cotentin.

3.5. Zooplancton

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

Les changements détectables dans l'abondance ou la composition des espèces du zooplancton peuvent refléter des changements fondamentaux dans l'environnement océanique affectant le phytoplancton. Comme un grand nombre d'espèces de zooplancton a une durée de vie relativement courte et qu'elles peuvent avoir un taux de croissance élevé, elles réagissent rapidement aux perturbations environnementales qui influencent la diversité, comme les changements climatiques, les pollutions ponctuelles et la prédation.

3.5.1. Matériels et méthodes

En 2012, les trois campagnes de prélèvements ont eu lieu les 29 mars, 26 juin et 10 septembre. Lors de chaque campagne, trois points ont été 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 *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 m², hauteur 261 cm, cylindro-conique, vide de maille 200 µm – Tranter & Smith 1968¹³). 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⁻¹. Un volucompteur est attaché à l'entrée du filet afin de connaître précisément le volume d'eau filtré. Pour chaque point de prélèvement deux traits de filet à plancton ont été effectués. L'un des deux échantillons collectés est aussitôt filtré à bord sur des soies et congelé 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.

3.5.1.1. 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 en biomasse 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 (m³).

Les échantillons de poids sec ont par la suite été broyés pour être analysés au CHN (NA 2100 Protein CE Instruments, Thermoquest) pour les dosages de carbone (C) et d'azote (N). L'expression des résultats est obtenue en poids carbone (mg C) ou d'azote (mg N) par unité de volume (m³).

¹³ Tranter, DJ, and Smith P E (1968). Filtration performance. In Reviews on zooplankton sampling methods, Part I (Tranter DJ ed.), p. 27-56. Monogr. Oceanogr. Methodol. 2, Zooplankton Sampling. UNESCO (United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization) Press, Paris.

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

3.5.1.2. Analyse taxinomique du plancton

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)¹⁴. 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)¹⁵. 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^{-3}).

La bibliographie utilisée pour l'identification des zooplanctontes est très variée et inclue notamment : les fiches d'identification du plancton CIEM - (1939 - 1986), un manuel d'identification du zooplancton côtier (Todd *et al.*, 1996)¹⁶, et des clés de détermination pour des groupes spécifiques tels que les copépodes pélagiques (Rose, 1933)¹⁷ ou les larves de décapodes (Martin, 2001)¹⁸ par exemple.

3.5.2. Résultats

Les résultats de l'année 2012 sur le site de Flamanville sont présentés dans le tableau 3.5.1 suivant.

¹⁴ Motoda S (1959). Devices of simple plankton apparatus. Memoirs. Faculty of Fisheries. Hokkaido University 7, 73-94.

¹⁵ 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, 285-303

¹⁶ Todd CD, Laverrack MS, Boxshall GA (1996) Coastal marine zooplankton – a practical manual for students. Cambridge University Press, pp. 106.

¹⁷ Rose M (1933). Faune de France, 26. Copépodes pélagiques. Ed. Lechevalier, Paris, pp. 374 .

¹⁸ Martin J (2001). Les larves des crustacés décapodes des côtes françaises de la Manche. IFREMER, France, pp. 175.

| | PARAMETRES | CANAL | REJET | RÉFÉRENCE |
|-------------------|--|-------|-------|-----------|
| 29 MARS 2012 | Poids sec (mg. m ⁻³) | 11,6 | 15,1 | 13,3 |
| | Poids de carbone (mg. m ⁻³) | 3,26 | 4,2 | 3,9 |
| | Poids d'azote (mg. m ⁻³) | 0,7 | 0,9 | 0,8 |
| | Abondance holoplancton (ind. m ⁻³) | 71 | 47 | 234 |
| | Abondance méroplancton (ind. m ⁻³) | 1168 | 472 | 1881 |
| | Abondance zooplancton totale (ind. m ⁻³) | 1239 | 519 | 2114 |
| 26 JUIN 2012 | Poids sec (mg. m ⁻³) | 22,8 | 43,3 | 30,2 |
| | Poids de carbone (mg. m ⁻³) | 5,5 | 12,75 | 10,2 |
| | Poids d'azote (mg. m ⁻³) | 1,1 | 3,1 | 2,55 |
| | Abondance holoplancton (ind. m ⁻³) | 541 | 2325 | 1614 |
| | Abondance méroplancton (ind. m ⁻³) | 78 | 158 | 107 |
| | Abondance zooplancton totale (ind. m ⁻³) | 619 | 2483 | 1720 |
| 10 SEPTEMBRE 2012 | Poids sec (mg. m ⁻³) | 42,4 | 15,9 | 13,7 |
| | Poids de carbone (mg. m ⁻³) | 7,2 | 4,1 | 4,85 |
| | Poids d'azote (mg. m ⁻³) | 1 | 0,8 | 1,2 |
| | Abondance holoplancton (ind. m ⁻³) | 479 | 699 | 667 |
| | Abondance méroplancton (ind. m ⁻³) | 249 | 704 | 272 |
| | Abondance zooplancton totale (ind. m ⁻³) | 728 | 1403 | 940 |

Tableau 3.5.1 : Récapitulatif des résultats de 2012 pour l'étude du zooplancton

3.5.2.1. Biomasse sestonique

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

3.5.2.1.1 Variations spatiales et temporelles en 2012

Au cours de l'année 2012, la biomasse sestonique a varié entre 11,6 mg m⁻³ au point *canal* en mars, et 43,3 mg m⁻³ au point *rejet* en juin (figure 3.5.1).

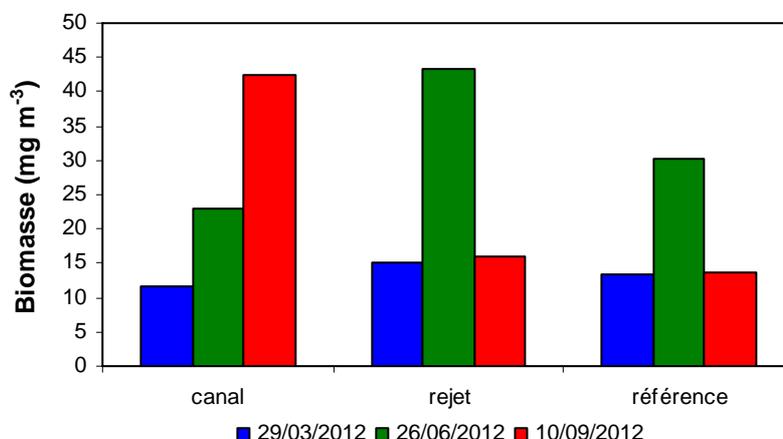


Figure 3.5.1 : Évolution de la biomasse sestonique (poids sec) au cours des trois campagnes de surveillance 2012

En mars la biomasse sestonique a très peu varié entre les différents points, alors qu'en juin le point *rejet* montre une biomasse sestonique supérieures aux autres. En septembre la biomasse sestonique au point *canal* était plus de deux fois supérieure à celles des points *rejet* et *référence*.

Cette année encore, de nombreux échantillons étaient contaminés par du sable ou des déchets organiques végétaux, ce qui explique pourquoi la relation entre la biomasse et l'abondance zooplanctonique n'est pas toujours cohérente (cf. figure 3.5.5). Les rapports C/N calculés d'après les teneurs en carbone et azote mesurées sur les échantillons ont fluctué en 2012 entre 4,01 et 7,49 (figure 3.5.2). Ce rapport peut habituellement caractériser un compartiment tel que le zooplancton (rapport C/N ~ 4-5 ; Mauchline, 1998)¹⁹ ou le phytoplancton (C/N > 6). Néanmoins, en raison de la contamination potentielle liée à la forte turbidité du site (sable, fragments d'algues,...), notamment aux points *canal* de Septembre (seule point où le rapport C/N > 6), une telle approche semble difficilement applicable pour les points de surveillance retenus dans cette étude.

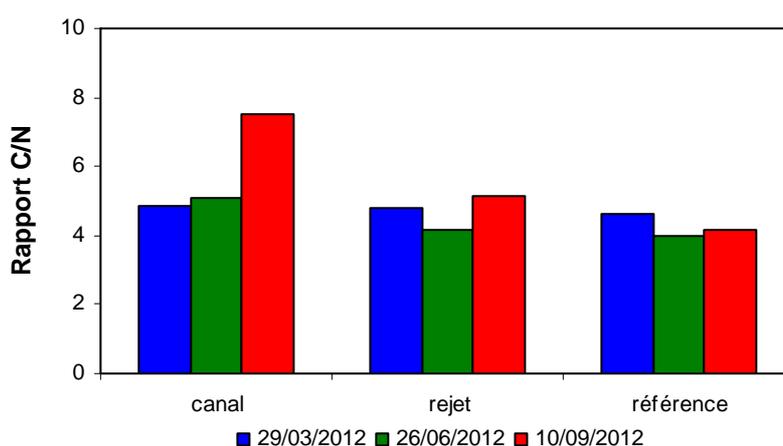


Figure 3.5.2 : Évolution du rapport C/N du seston au cours des trois campagnes de surveillance 2011

¹⁹ Mauchline, J (1998). The biology of calanoid copepods. *Advances in Marine Biology* 33: 1-710

3.5.2.1..2 Variations interannuelles

Les valeurs de biomasse sestonique mesurées en 2012 se situaient dans la moyenne des valeurs habituellement observées sur le site (figure 3.5.3 et 3.5.4). Seule la valeur mesurée au point *canal* de septembre est supérieure à celles mesurées depuis 1987.

3.5.2.1..3 Approche statistique

Pour vérifier si la biomasse sestonique est significativement différente entre les points de prélèvement pour une saison donnée, 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) et vérification de l'homogénéité des variances (test de Bartlett). Les résultats des tests statistiques sur l'ensemble des valeurs acquises depuis 1987 sont présentés dans le tableau 3.5.2.

| COMPARAISON | PRINTEMPS | ETE | AUTOMNE |
|-------------|-----------|------|---------|
| n | 78 | 73 | 74 |
| p | 0.57 | 0.45 | 0,63 |

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

Tableau 3.5.2: Probabilité associée p des tests statistiques sur la biomasse de 1987 à 2012

Les biomasses sestoniques ne présentent pas de différence significative entre les points *canal*, *rejet* et *référence* et ce quelle que soit la saison.

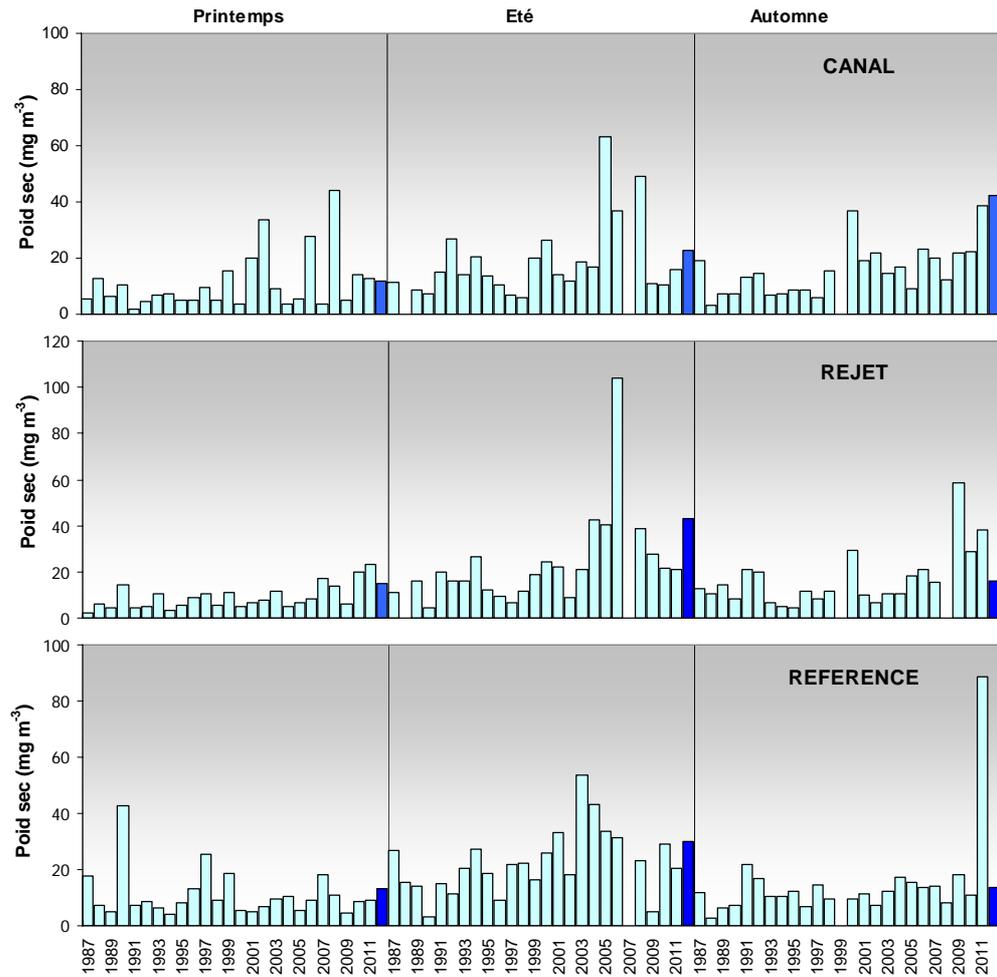


Figure 3.5.3 : Évolution de la biomasse sestonique (poids sec) de 1987 à 2012

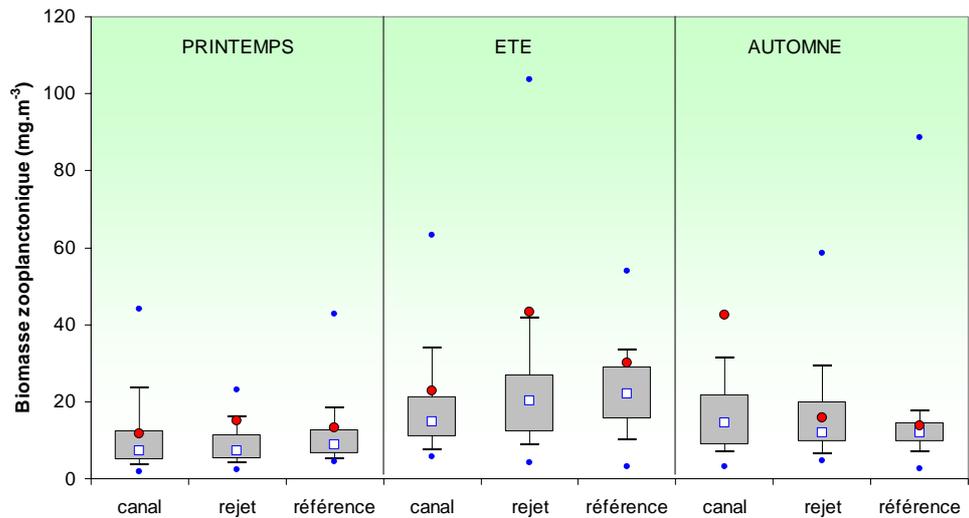


Figure 3.5.4: Évolution de la biomasse sestonique (poids sec) de 1987 à 2012

3.5.2.2. Abondances zooplanctoniques globales

La plupart des phyla invertébrés est représenté dans le zooplancton qui comprend plus de 36000 espèces. Les dénombrements et l'identification des espèces zooplanctoniques en groupes biologiques (holoplancton, méroplancton) puis systématiques (embranchements et jusqu'aux espèces) – voir aussi tableau 3.19 – permet de rechercher une éventuelle influence de l'activité de la centrale sur ces populations.

3.5.2.2.1 Variations spatiales et temporelles en 2012

Les dénombrements zooplanctoniques effectués en 2012 sont présentés sur la figure 3.5.5 ci-dessous. Ils sont exprimés en nombre d'individus par m³ d'eau de mer.

L'abondance la plus importante a été observée en juin au point *rejet* avec 2 483 ind. m⁻³ et la plus faible en mars au point *rejet* avec 519 ind. m⁻³.

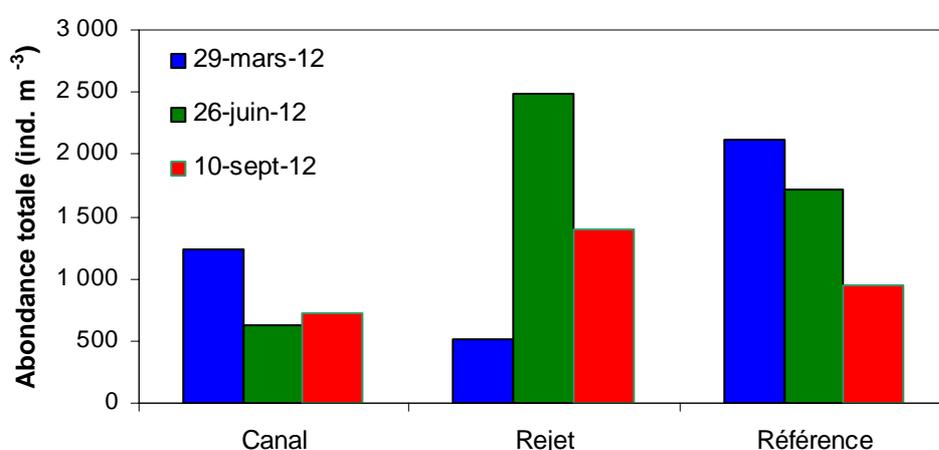


Figure 3.5.5 : Évolution de l'abondance zooplanctonique totale à Flamanville en 2012

A part pour le mois de juin l'abondance zooplanctonique ne montre pas du tout les mêmes variations que la biomasse sestonique. Ainsi, l'abondance zooplanctonique était plus élevée à la côte en mars et au point *rejet* en septembre et juin.

3.5.2.2.2 Variations interannuelles

L'évolution de l'abondance zooplanctonique observée depuis 1991 à Flamanville (figures 3.5.6 et 3.5.7), montre que les abondances 2012 sont globalement dans la moyenne de la série et confirme que l'abondance du point *référence* en mars est une valeur haute pour le site.

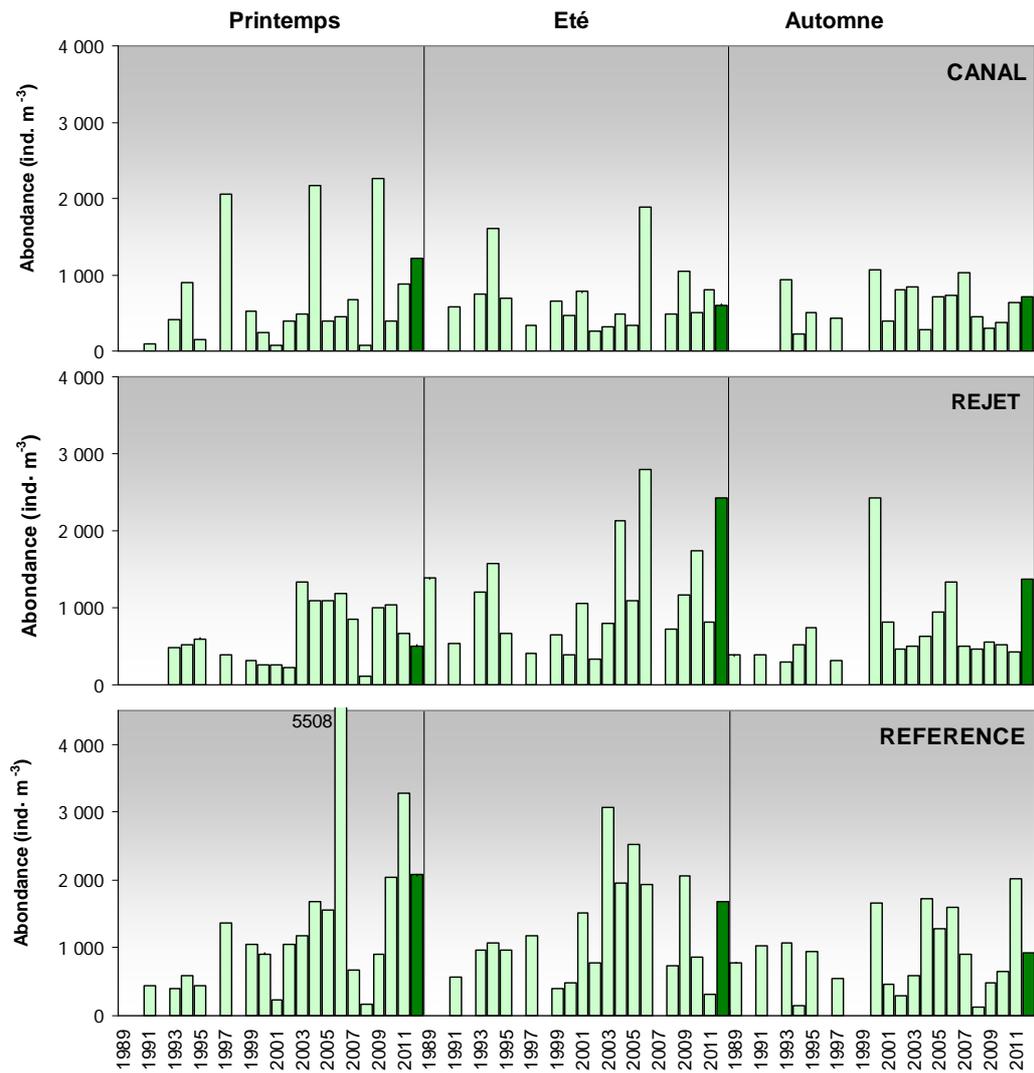


Figure 3.5.6 : Évolution de l'abondance zooplanctonique à Flamanville de 1989 à 2012

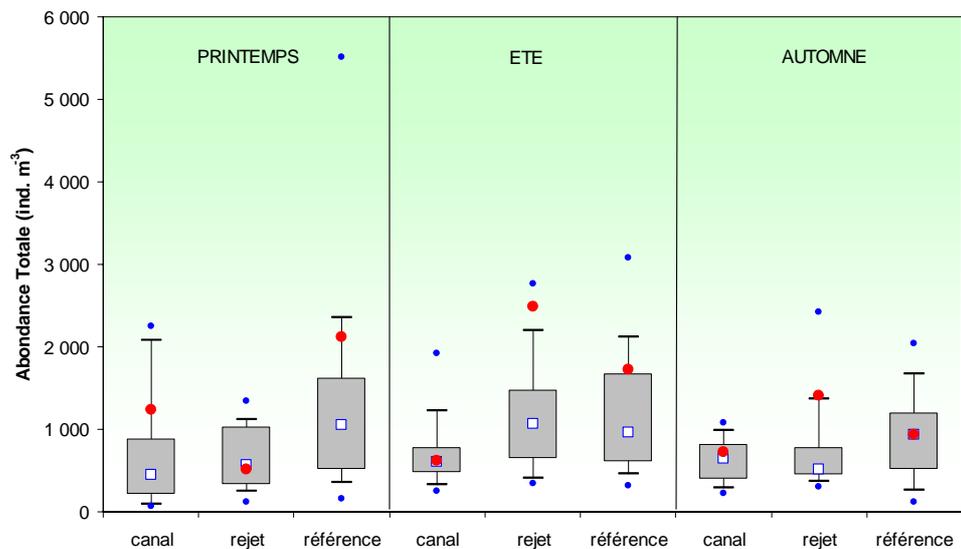


Figure 3.5.7 : Évolution de l'abondance zooplanctonique à Flamanville de 1989 à 2012

3.5.2.2..3 Approche statistique

Pour comparer les abondances zooplanctoniques entre les points *canal*, *rejet* 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) et vérification de l'homogénéité des variances (test de Bartlett). Les résultats des tests statistiques sur l'ensemble des valeurs acquises depuis 1991 sont présentés dans le tableau 3.5.3.

| COMPARAISON | PRINTEMPS | ÉTE | AUTOMNE |
|-------------|-----------|-------|---------|
| <i>n</i> | 56 | 55 | 55 |
| <i>p</i> | 0,032 | 0,031 | 0,44 |

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

Tableau 3.5.3 : Probabilité associée p des tests statistiques sur les abondances de 1991 à 2012

Les résultats des tests indiquent que les abondances zooplanctoniques ne sont pas significativement différentes entre les trois points de en automne sur la période 1991 à 2012. Par contre, une analyse post-hoc de comparaison multiple (test de Tuckey) montre que la moyenne printanière des abondances au point *canal* est significativement plus faible que celle des deux autres points.

3.5.2.3. Étude faunistique

3.5.2.3..1 Variations spatio-temporelles de l'holoplancton et du méroplancton

Un certain nombre d'espèces accomplissent l'intégralité de leur cycle biologique (œufs, larves, adultes) au sein du milieu pélagique ; ce sont les espèces holoplanctoniques. Les crustacés copépodes représentent généralement une part importante de cette fraction. Selon la saison, s'y ajoutent quelques espèces moins abondantes, appartenant à d'autres embranchements comme les appendiculaires et les chaetognathes. D'autres organismes holoplanctoniques comme les mysidacés, les cténaïres et les cladocères ont été très peu présents lors des trois campagnes de 2012 (tableau 3.5.4).

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, nombreux sur l'estran rocheux. Le méroplancton est aussi constitué de phases pélagiques d'espèces fixées (méduses, qui représentent les phases sexuées libres de cnidaires). Il est donc de fait plus abondant au printemps, pendant les périodes de reproduction des espèces benthiques (figure 3.5.8).

Si la proportion entre holo- et méroplancton diffère selon la saison, elle était par contre relativement homogène entre les points de surveillance à chacune de nos campagnes.

| Abondance zooplancton (N.m ⁻³) | 29 mars 2012 | | | | | | 26 juin 2012 | | | | | | 10 septembre 2012 | | | | | |
|--|-------------------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|
| | Canal | | Rejet | | référence | | Canal | | Rejet | | référence | | Canal | | Rejet | | référence | |
| | N.m ⁻³ | % | N.m ⁻³ | % | N.m ⁻³ | % | N.m ⁻³ | % | N.m ⁻³ | % | N.m ⁻³ | % | N.m ⁻³ | % | N.m ⁻³ | % | N.m ⁻³ | % |
| holoplancton | Cnidaires | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Ctenaires | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Appendiculaires | 25 | 35 | 19 | 40 | 76 | 33 | 37 | 6,8 | 89 | 3,8 | 56 | 3,5 | 30 | 6 | 100,4 | 14 | 1,359 |
| | Cladocères | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Copépodes | 46 | 65 | 28 | 59 | 157 | 67 | 501 | 92,7 | 2235 | 96,1 | 1551 | 96,1 | 446 | 93 | 597,4 | 85 | 665,1 |
| | Gammaridés | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0,5 | 2 | 0,1 | 5 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Mysidacés | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | Chaetognathes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 2 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| total holoplancton | 71 | 6 | 47 | 9 | 233 | 11 | 540 | 88 | 2325 | 94 | 1614 | 94 | 479 | 66 | 699 | 50 | 666 | 71 |
| méroplancton | total Cnidaires | 5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 13 | 8 | 6 | 5 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | total Annélides | 14 | 1 | 3 | 1 | 5 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 3 | 5 | 1 | 1 |
| | total larves de Cirripèdes | 1046 | 89 | 424 | 90 | 1688 | 90 | 19 | 26 | 13 | 8 | 6 | 5 | 228 | 92 | 635 | 90 | 257 |
| | Isopodes (larves microniscus) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | Larves de décapodes | 3 | 0 | 1 | 0 | 5 | 0 | 15 | 21 | 57 | 36 | 76 | 73 | 0 | 0 | 29 | 4 | 6 |
| | larves de gastéropodes | 12 | 1 | 5 | 1 | 17 | 1 | 35 | 46 | 67 | 43 | 15 | 15 | 9 | 4 | 33 | 5 | 7 |
| | Cyphonautes Bryozoaires | 81 | 7 | 38 | 8 | 162 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | Téléostéens (Eufs et larves) | 8 | 1 | 1 | 0 | 3 | 0 | 3 | 4 | 7 | 4 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| total méroplancton | 1169 | 94 | 472 | 91 | 1880 | 89 | 75 | 12 | 158 | 6 | 104 | 6 | 249 | 34 | 703 | 50 | 272 | 29 |
| total zooplancton | 1240 | | 520 | | 2113 | | 615 | | 2483 | | 1718 | | 728 | | 1402 | | 939 | |

Tableau 3.5.4 : Abondances et dominances de différents groupes du méroplancton et de l'holoplancton en 2012

Au printemps 2012, le méroplancton représentait 90 % du zooplancton total alors qu'en été et en automne il représentait moins de 50% du zooplancton total. Cette fraction était essentiellement composée de larves nauplii de cirripèdes (> 90 % en mars et septembre). En été cette fraction se composait essentiellement de larves de gastéropodes à la côte (40 %) et de larves de décapodes au large (73%).

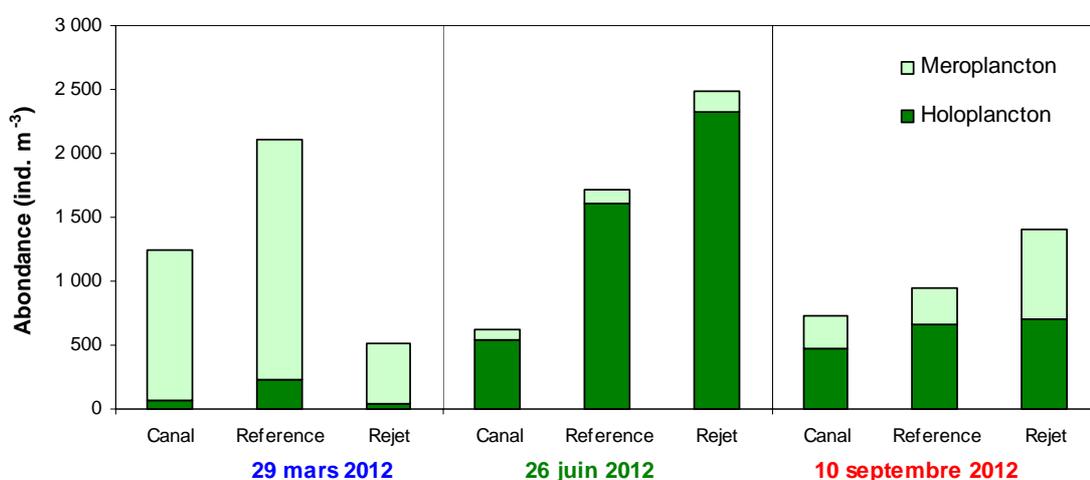


Figure 3.5.8 : Abondance de l'holoplancton et du méroplancton à Flamanville en 2012

3.5.2.3..2 Variations spatio-temporelles des principaux taxons en 2012

L'holoplancton

• Les copépodes :

Les copépodes, qui constituaient le taxon dominant de l'holoplancton, ont montré la même évolution saisonnière que celui-ci (figure 3.5.9). En été et en automne les copépodes représentaient plus de 90% des abondances holoplanctoniques. Comme depuis 2008, les plus faibles abondances ont été observées au printemps ($< 19 \text{ ind. m}^{-3}$). Le point *référence* présentait des abondances différentes des deux autres points de prélèvement lors des trois campagnes de 2012.

L'indice de diversité de Shannon (figure 3.5.9) consiste en 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 était en général assez bas ($< 2,5 \text{ Bit. ind}^{-1}$) dans les eaux environnant la centrale de Flamanville pour une richesse spécifique variant entre 4 et 11. Les échantillons étaient caractérisés par une à trois espèces de copépodes représentant 50 à 80 % du peuplement alors que plusieurs espèces n'étaient représentées que par un ou deux individus. Il s'agissait le plus souvent d'espèces tycoplanctoniques, c'est-à-dire vivant habituellement dans les sédiments, comme la plupart des copépodes harpacticoides, et se retrouvant accidentellement dans la colonne d'eau à la faveur de la remise en suspension des sédiments.

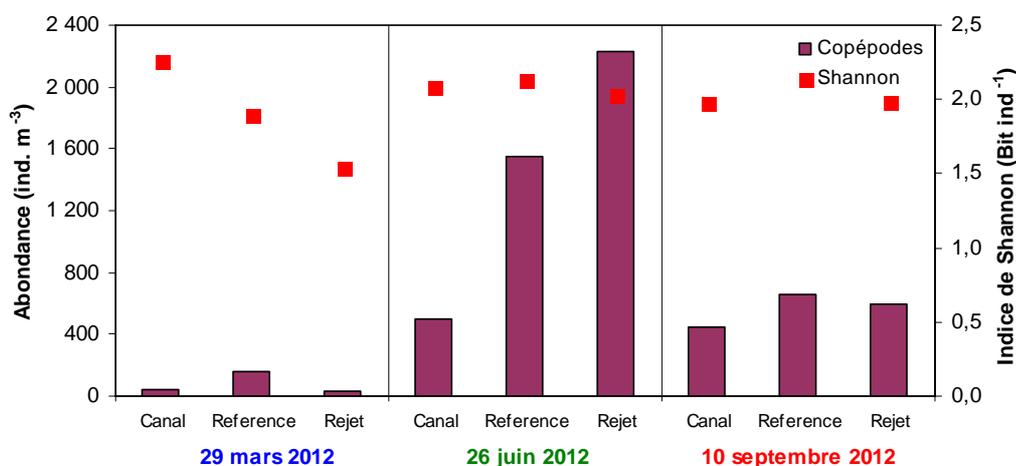


Figure 3.5.9 : Abondance des copépodes (adultes et copépodites) et diversité spécifique à Flamanville en 2012

Parmi les principales espèces de copépodes présentes sur le site de la centrale de Flamanville on a trouvé (figure 3.5.10) :

Acartia clausi

Espèce estivale et automnale, *Acartia clausi* apparaît généralement en abondance à partir du mois de mai ce qui explique les forts écarts d'abondance observés entre les deux campagnes de mars et de juin. L'abondance maximale en 2012 était de 837 ind. m^{-3} au point *rejet* en juin (37 % des copépodes).

Centropages hamatus

Egalement espèce estivale, *C. hamatus* était très peu présente en mars. Le maximum d'abondance était de 494 ind. m⁻³ au point *rejet* en juin (22 % des copépodes).

Temora longicornis

Les abondances de *T. longicornis* relativement faibles cette année encore, comme pour l'espèce suivante *Pseudocalanus elongatus*. Une étude publiée en 2010 sur 20 années de suivi des communautés zooplanctoniques devant Plymouth (Angleterre) confirme que ces deux espèces, autrefois très abondantes sont en diminution en Manche (Eloire *et al.* 2010)²⁰. On note tout de même une abondance de 249 ind. m⁻³ au point référence en juin. Tous les autres points et dates montrent des abondances <90 ind. m⁻³.

Pseudocalanus elongatus

Espèce printanière et estivale, elle précède toujours l'espèce suivante, *Paracalanus parvus* dans les peuplements de copépodes. Elle est observée depuis 2009 comme étant très peu abondante dans nos échantillons, cette année elle montre toutefois de fortes abondances en été avec un maximum de 604 ind. m⁻³ au point *rejet*.

Paracalanus parvus

Cette espèce est restée assez discrète cette année par rapport aux années précédentes. C'est une espèce plus automnale que *P. elongatus* qu'elle remplace peu à peu en été pour finir par la supplanter légèrement à l'automne. Abondance maximale, 113 ind. m⁻³ au point *rejet* en juin.

Euterpina acutifrons

Espèce caractérisant les communautés automnales de copépodes en milieu côtier, elle est quasiment absente de Flamanville en été et peu présente au printemps. En automne, l'abondance au point *référence* était plus faible (69 ind. m⁻³) qu'aux deux autres points (138 et 101 ind. m⁻³). Cette espèce est de plus petite taille que les autres espèces précédemment citées et à un mode de vie étroitement lié aux sédiments. En général seuls les adultes (surtout des femelles) sont collectés dans la colonne d'eau avec les filets à plancton, soit que les copépodites soient trop petits et passent à travers la maille du filet, soit qu'ils vivent trop près du fond pour être collectés.

²⁰ 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

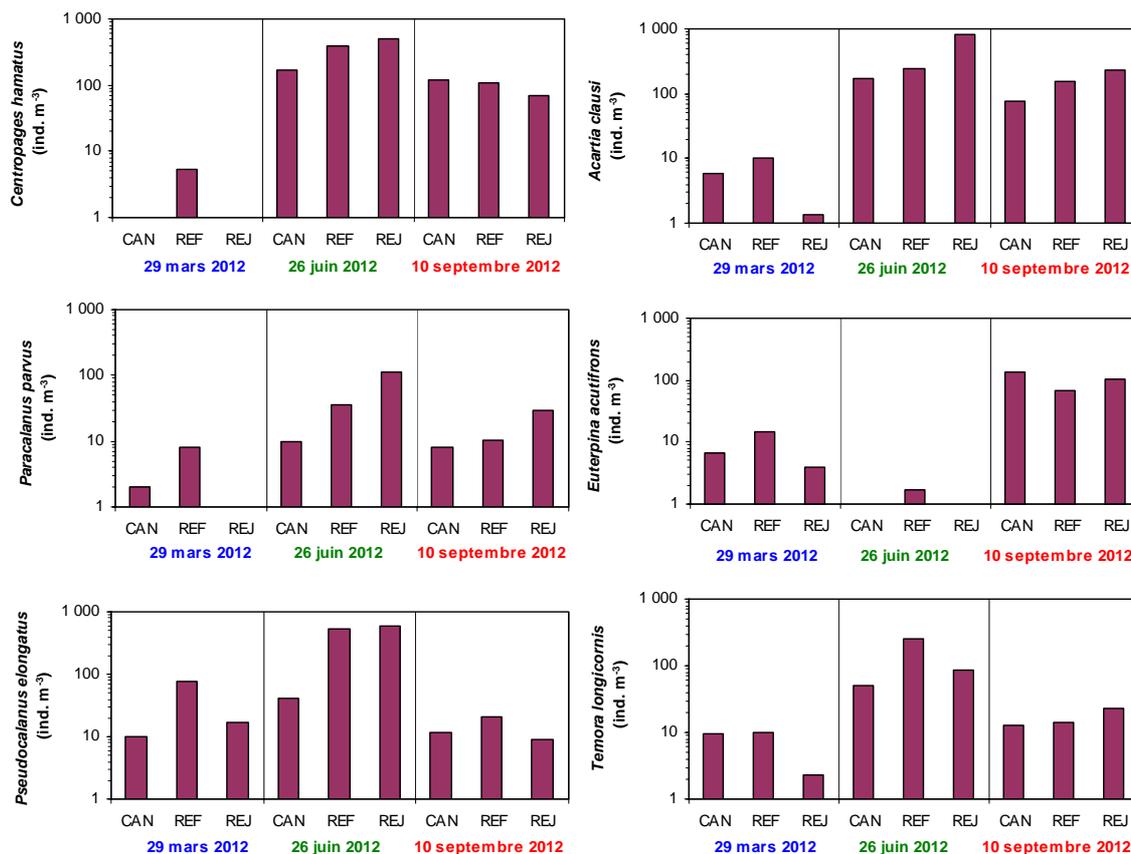


Figure 3.5.10 : Abondances des principaux copépodes à Flamanville en 2012

- Les autres espèces holoplanctoniques (figure 3.5.11)

Les appendiculaires, représentés par l'espèce *Oikopleura dioica*, étaient le deuxième groupe dominant l'holoplancton (tableau 3.19). Leur abondance a été maximale en septembre au point *rejet* (100 ind m⁻³).

Les chaetognathes, représentés par l'espèce *Parasagitta setosa*, ont été présents en très faible nombre en été au point *référence* (2 ind. m⁻³).

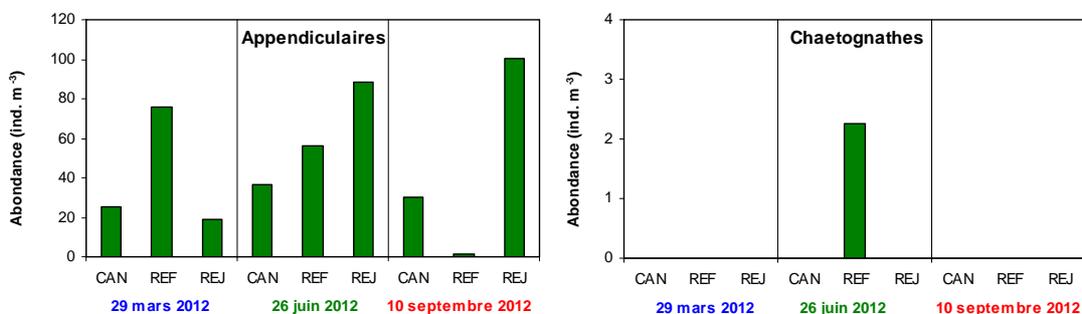


Figure 3.5.11 : Abondances des appendiculaires et des chaetognathes à Flamanville en 2012

Le méroplancton

Les stades larvaires des espèces appartenant à différents embranchements ou classes ont été dénombrés au cours des trois campagnes de prélèvement (figure 3.5.12).

- Embranchement des bryozoaires

Les larves cyphaunotes de bryozoaire étaient abondantes en mars, en particulier au point *référence* (160 ind. m⁻³) et absent les autres mois.

- Embranchement des mollusques

Les larves de gastéropodes représentaient 40% du méroplancton en juin à la côte, contre seulement 15 % au point *référence*. Leur abondance maximale est observée en juin au point *rejet* (67 ind. m⁻³)

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

Les cirripèdes, dont font partie les balanes, sont des crustacés qui, à l'état adulte, vivent fixés sur les rochers et les substrats durs. Ils constituent une part importante des 'salissures' ('fouling'). Les larves, essentiellement les stades nauplii, 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 90 % du méroplancton (soit jusqu'à 85 % du zooplancton total). Le maximum d'abondance a été observé au point *référence* en mars avec 1 655 ind. m⁻³.

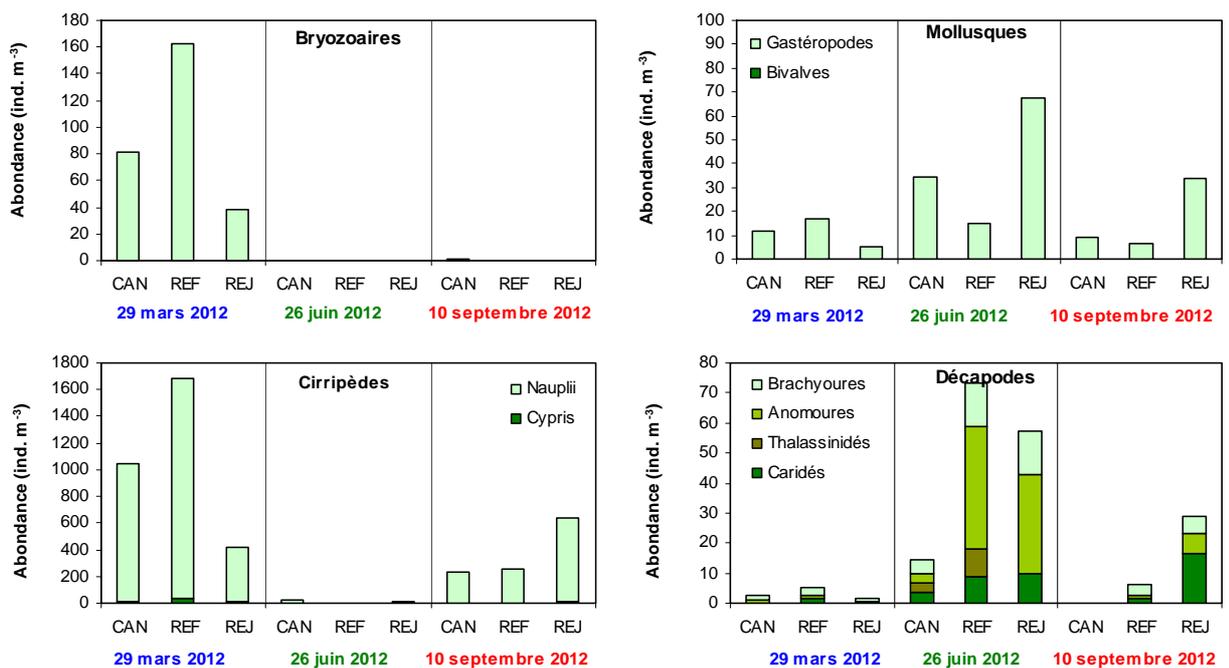


Figure 3.5.12 : Abondance des espèces méroplanctoniques à Flamanville en 2012

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

Les décapodes étaient caractérisés par quatre sous-ordres :

Larves des caridés

Surtout présentes en juin et en septembre ces larves représentaient moins de 10 % du méroplancton.

Larves de thalassinidés

Quelques individus seulement identifiés en juin aux points *canal* et *référence*, ces larves étaient peu abondantes cette année encore (mais toutefois en légère augmentation). Cet infra-ordre est surtout représenté par l'espèce *Upogebia deltaura*.

Larves d'anomoures

Toujours plus abondantes en été (jusqu'à 38 % du méroplancton), avec un maximum d'abondance au point *référence* (41 ind. 10 m⁻³), ces larves étaient essentiellement représentées par l'espèce *Pisidia longicornis longicornis*.

Larves de brachyours (crabes et araignées)

Infra-ordre régulièrement présent dans les échantillons et dont l'abondance cette année était encore assez faibles (moins de 15 %).

3.5.3. Conclusion

En 2012, les abondances zooplanctoniques correspondaient à ce qui est habituellement observé sur le site de surveillance depuis 1991, avec toutefois de fortes abondances observées au point *référence* en mars. L'évolution de l'abondance zooplanctonique depuis 1991 montre une différence significative entre les points de prélèvement au printemps et en été mais pas en automne. L'abondance zooplanctonique moyenne au point *canal* depuis 1991 étant significativement plus faible qu'au point *référence* au printemps. Le point *canal* de part sa position en milieu peu profond et abrité dans l'enclave du canal d'entrée de la centrale de Flamanville présente souvent une proportion d'individus holoplanctoniques (copépodes, appendiculaires, chaetognathes) plus faible.

Au printemps 2012, le méroplancton représentait plus de 90 % du zooplancton total. Cette fraction était surtout composée de larves de cirripèdes. L'holoplancton quant à lui dominait largement le zooplancton en été et à l'automne (jusqu'à 94 %). Comme toujours en milieu côtier tempéré, il était essentiellement caractérisé par les copépodes. Les espèces dominantes étaient, dans l'ordre, *Acartia clausi*, *Centropages hamatus*, *Paracalanus parvus*, *Euterpina acutifrons*, *Pseudocalanus elongatus* et *Temora longicornis* et chacune de ces espèces respecte, pour ce que peut montrer cette analyse de trois campagnes annuelles, leur répartition saisonnière habituelle. Les faibles abondances observées de *T. longicornis* vont dans le sens de la tendance observée ailleurs en Manche depuis quelques années.

Aux trois périodes d'observations, les valeurs enregistrées au niveau du rejet en mer s'inscrivent dans l'intervalle de celles des points *canal* et *référence*. L'influence des rejets de la centrale, si elle existe, n'est donc pas décelable.

4. Le domaine benthique

Prélèvements, analyses et rapport réalisés à l'Ifremer par

| | | |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| <i>Chantal</i> | <i>Abernot – Le Gac</i> | <i>(LER/BO)</i> |
| <i>Jean-Dominique</i> | <i>Gaffet</i> | <i>(DYNECO/Benthos)</i> |

Avec la collaboration pour les prélèvements de

| | | |
|--------------------|---------------|-----------------|
| <i>Jean Pierre</i> | <i>Annezo</i> | <i>(LER/BO)</i> |
| <i>Luc</i> | <i>Drévès</i> | <i>(ODE/UL)</i> |

La surveillance du domaine benthique réalisée uniquement au niveau intertidal concerne l'étude

- d'une part du phytobenthos, concrétisée par le suivi d'une population de *Fucus serratus* sur l'estran de Diélette.
- d'autre part du zoobenthos, au travers des populations de crustacés cirripèdes du Cap de Flamanville et de la Pointe du Rozel (figure 4.1.1).

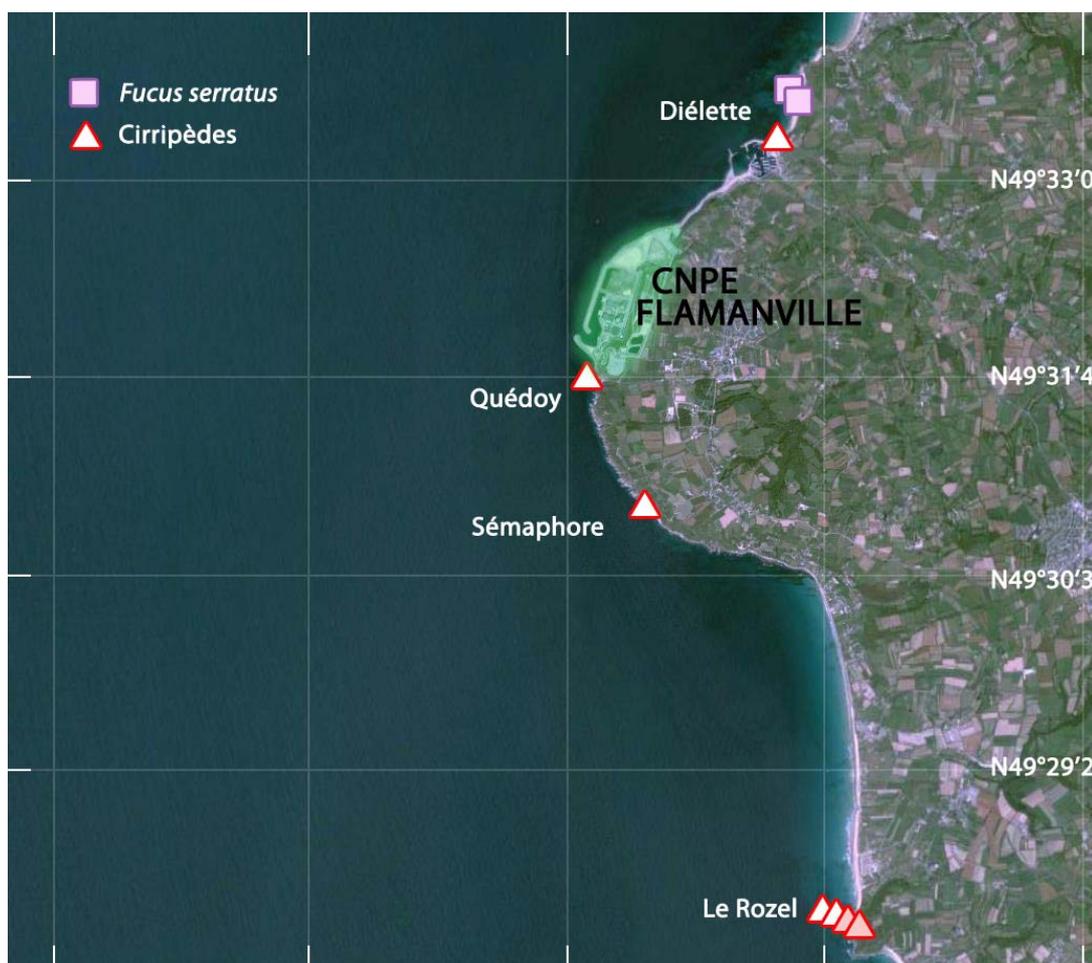


Figure 4.1.1 : Localisation de la radiale d'étude de *Fucus serratus* sur le platier de Diélette et des stations d'échantillonnage des cirripèdes

4.1. Phytobenthos intertidal

La population de *Fucus serratus* du platier de Diélette, située au nord de la Centrale électronucléaire de Flamanville dans la zone d'influence de la tache thermique, fait l'objet d'une surveillance depuis 1977. Étudiée une première fois d'août 1977 à août 1978, elle est suivie en continu depuis mars 1983, en fin d'hiver et en fin d'été. Une observation, non contractuelle, est réalisée également en fin de printemps depuis 1995, afin de préciser le cycle annuel de ces algues sur ce site.

4.1.1. Biologie de l'espèce

L'espèce *Fucus serratus* fait partie de l'embranchement des Chromophytes, classe des Phéophycées, ordre des Fucales, famille des Fucacées, genre *Fucus*, espèce *serratus*. Elle est sujette aux facteurs naturels (climatiques, hydrauliques) qui peuvent modifier la dynamique du peuplement (installation, développement, arrachage, etc.). Au début des années 80, l'hypothèse a été émise que cette espèce pourrait également être un indicateur des perturbations éventuelles induites par les rejets de la Centrale sur le macrophytobenthos local. Celles-ci pourraient être de plusieurs ordres : évolutions différées de la croissance estivale et de la dépopulation hivernale, déplacement saisonnier et quantitatif de la fertilité des pieds, évolution géographique de la population. Cette hypothèse est aujourd'hui nuancée du fait de l'influence avérée du réchauffement climatique.



Photo 4.1.1 : Extrémité d'un thalle de *Fucus serratus*

- **Description** : algue brune fixée au substrat. Thalle plat à bords dentés. Algue pérennante.
- **Répartition géographique** : de la Scandinavie au Portugal, et côtes est et ouest de l'Amérique du Nord.
- **Répartition bathymétrique** : algue intertidale. Forme une ceinture qui occupe la majeure partie du médiolittoral sous la ceinture à *Fucus vesiculosus*, jusqu'aux laminaires. Apte à supporter des expositions régulières à l'air et une déshydratation partielle. On ne trouve pas de *Fucus* en Méditerranée, sauf en mer Adriatique où on trouve *Fucus virsoides* du fait de l'existence de petites marées. Assez tolérante vis à vis des températures. Milieux battus et abrités.
- **Reproduction** : reproduction sexuée uniquement. Aux extrémités du thalle apparaissent des renflements ou réceptacles pourvus de nombreuses cryptes fertiles ou conceptacles.

Cycle simple de type monogénétique, ne mettant en jeu qu'une seule génération, commun à toutes les fucales. Pieds mâles et pieds femelles diploïdes (2n chromosomes). Les premiers se reconnaissent en période de maturité à la couleur orangée des réceptacles. Les réceptacles femelles sont verdâtres. Ces réceptacles libèrent les gamètes dans le milieu extérieur en période hivernale (gamètes femelles ou oosphères à l'intérieur du gamétocyste ou oogone ; gamètes mâles ou anthéridies). La fusion des gamètes (oogamie : gamète femelle immobile et gamète mâle flagellé) donne un œuf ou zygote d'où sera issu un nouvel individu.

A la fin de la période de reproduction, les réceptacles vidés des gamètes qu'ils contenaient deviennent gélatineux et sont attaqués par des champignons et des herbivores. Cette partie de la fronde se nécrose sur toute sa longueur jusqu'à la rencontre d'une autre ramification restée à l'état végétatif et dont la cellule apicale n'a pas été détruite par la formation de réceptacles. L'individu va se reconstituer à partir des frondes restantes sur lesquelles renaîtront d'autres ramifications.

La reproduction suit un cycle saisonnier comportant différentes phases : initiation, maturation des réceptacles et libération des gamètes. La période de fertilité varie d'un site à un autre.



Photo 4.1.2 : *Fucus serratus*. Réceptacles contenant les gamétocytes mâles ou femelles

- **Croissance** : croissance apicale peu rapide. Elle serait de l'ordre de 25 cm/an en moyenne. La lumière, la température, la durée d'immersion, l'exposition agissent sur la croissance.
- **Cycle saisonnier** : l'intensité lumineuse, la température et la concentration en sels nutritifs agissent sur la croissance et la reproduction. La densité varie en fonction de la saison. Au printemps, le nombre de jeunes individus est beaucoup plus élevé qu'en hiver et témoigne d'un fort recrutement à cette période.
- **Durée de vie** : elle varie de 2 à 5 ans. C'est le degré d'exposition qui conditionne la composition en âge des populations. Ces dernières sont d'autant plus jeunes que le site est battu par les vagues, ce qui est le cas de Flamanville.
- **Causes de mortalité** : elles sont liées aux conditions hydrodynamiques, et au broutage intensif effectué par les gastéropodes, surtout sévère dans les premiers stades de vie de la plante.
- **Utilisation** : cette algue est utilisée, soit directement comme engrais dans les champs, soit après transformation en farines végétales, engrais, sans oublier l'extraction d'alginate.

4.1.2. Matériel et méthodes

4.1.2.1. Evolution du stock

En mars et en septembre, des prélèvements réguliers sont effectués depuis 1983 dans trois secteurs de référence de la population de *Fucus serratus* sur le platier de Diélette. Ces secteurs, très proches les uns des autres mais situés à des niveaux bathymétriques légèrement différents, ont été choisis dans des zones à densité algale faible (secteur 1), forte (secteur 2), et moyenne (secteur 3). La moyenne de dix quadrats de 0,50 m x 0,50 m prélevés au hasard dans chaque secteur fournit ainsi une estimation de la biomasse algale locale (photo 4.1.3).



Photo 4.1.3 : Prélèvements des algues pour évaluation des biomasses (quadrat 50 cm x 50 cm)

4.1.2.2. Baguages sur radiales

Sur la radiale repérée, 10 points, espacés l'un de l'autre de 10 mètres, sont échantillonnés. En chaque point, 10 pieds de *Fucus serratus* sont bagués d'un collier numéroté de couleur blanche, serré entre le disque basal et la première dichotomie (photo 4.1.4). Seuls les pieds pouvant soutenir une bague sont considérés. C'est pourquoi toute une catégorie, parmi les plus jeunes individus ayant une longueur inférieure à 20 cm, n'est pas prise en compte dans ces mesures.

En mars 1983, 394 pieds de *Fucus serratus* ont ainsi été bagués. Parmi ceux-ci, 21 seulement ont été retrouvés en mars 1985. Deux nouvelles radiales ont été considérées en mars 1985 dans une zone centrale où la végétation est plus dense. 286 pieds ont été bagués.

La méthodologie est ensuite la même pour le baguage de 300 pieds en 1987, de 287 en 1989, de 248 en mars 1991, de 250 en mars 1993, de 200 en mars 1994 et 1995, et enfin de 100 de mars 1996 à mars 2011. Le baguage systématique d'un nouveau lot d'individus chaque année depuis 1993 permet ainsi un suivi plus serré de cette population algale.

Pour chaque série de baguages, l'observation s'effectue généralement pendant deux ans, au bout desquels la population étudiée disparaît en quasi-totalité.



Photo 4.1.4 : Baguages de cent *Fucus serratus* en mars

4.1.2.3. Paramètres mesurés

Au cours des missions de mars et de septembre, quatre paramètres sont mesurés sur chaque individu de *Fucus serratus* :

- la longueur (L) exprimée en cm et mesurée du disque basal au sommet de la dernière dichotomie
- le nombre de dichotomies (D) : les dichotomies principales sont comptées, de la première rencontrée en partant de la base jusqu'à la dernière avant l'extrémité supérieure de l'individu (figure 4.1.6)
- le diamètre (\emptyset) en cm : le diamètre maximal est mesuré à la base, juste au-dessus de l'épatement formé par le système de fixation
- la fertilité, avec 2 niveaux d'appréciation :
 - l'absence (stade 0) ou la présence (autres stades) de conceptacles fertiles à l'extrémité des frondes (photo 4.2), donnant une première indication sur le pourcentage de thalles fertiles ;
 - en cas de présence de conceptacles fertiles, une différenciation en 4 stades (« faible maturité » stade 1 à « forte maturité » stade 4) permettant d'estimer le taux moyen de fertilité du lot examiné.

En juin, les mesures réalisées concernent uniquement la fertilité des algues baguées.

4.1.3. Résultats

4.1.3.1. Evaluation du stock de *Fucus serratus*

La biomasse annuelle moyenne de *Fucus serratus* évaluée en 2012 est en hausse (122 g de poids sec par 0,25 m²). Depuis 2001, les biomasses restent inférieures à la moyenne calculée sur la période 1984 à 2012 (192 g de poids sec par 0.25 m²) (figure 4.1.2).

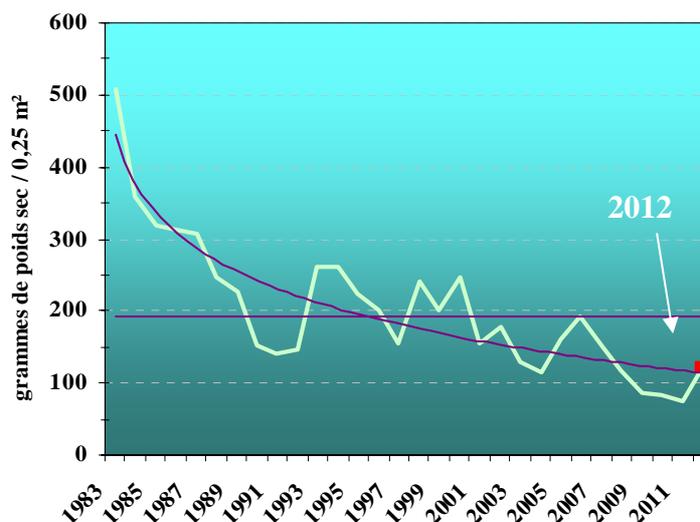


Figure 4.1.2 : En vert clair, évolution des biomasses annuelles moyennes de *Fucus serratus* depuis 1983 (en grammes de poids sec/0.25m²) ; en mauve, droite moyenne et courbe de tendance de 1983 à 2012

Les valeurs 2012 sont supérieures à celles de 2011 tant en mars qu'en septembre. Conformément au développement de l'espèce, c'est en fin d'hiver que la biomasse est la plus basse (tableau 4.1.1 et figure 4.1.3).

| 2012 | Biomasse (grammes de poids sec) |
|-----------|---------------------------------|
| Mars | 44 |
| Septembre | 200 |

Tableau 4.1.1 : Biomasses de *Fucus serratus* en 2012 (en grammes de poids sec/0.25m²)

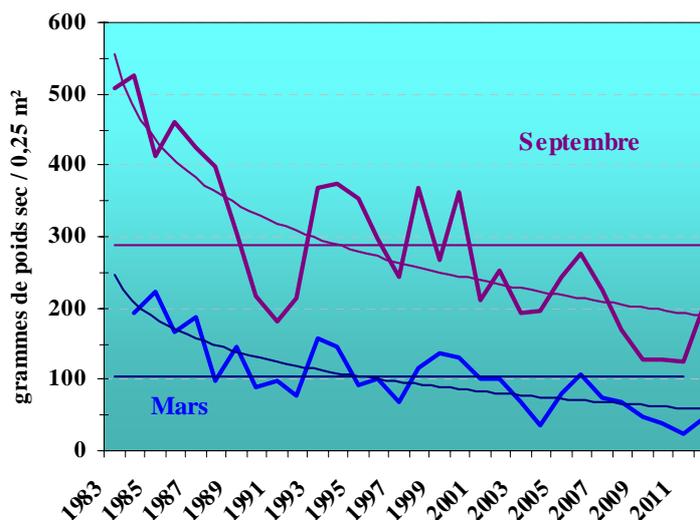
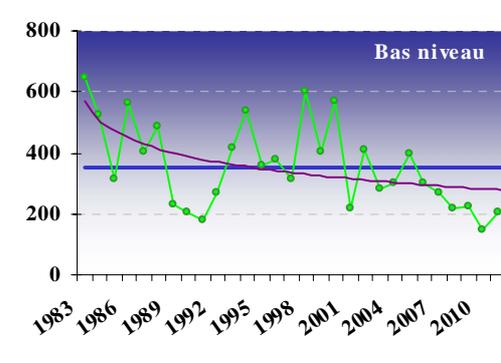
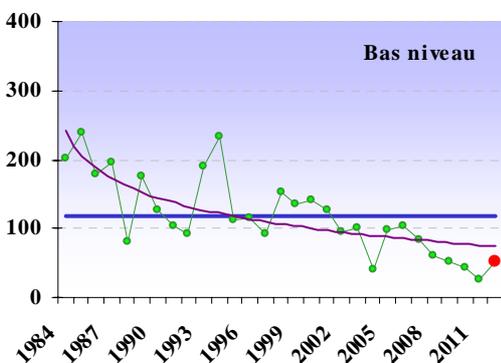
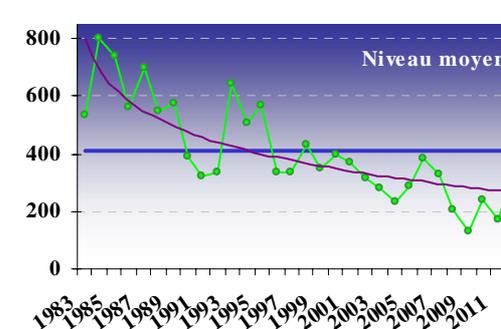
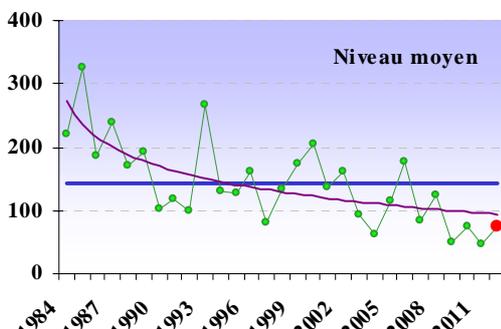
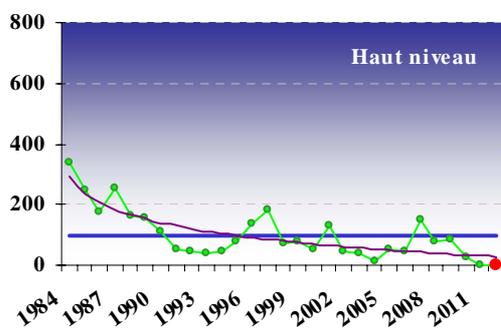
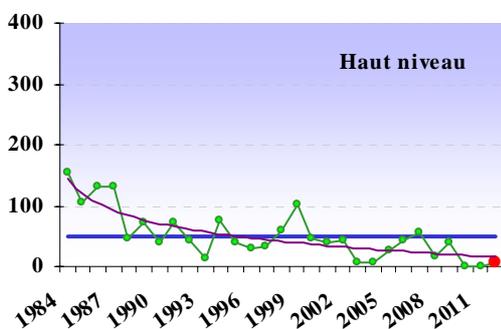


Figure 4.1.3 : Evolution des biomasses printanières et automnales de *Fucus serratus* depuis 1983 (en grammes de poids sec/0.25m²) ; moyennes (droites) et courbes de tendance

C'est au niveau central de la radiale que la biomasse est la plus importante (tableau 4.1.2 et figures 4.1.4 et 4.1.5).

| Radiale <i>Fucus serratus</i> | Mars 2012 | Moyenne mars 1984/1992 | Septembre 2012 | Moyenne septembre 1984/1992 |
|-------------------------------|-----------|------------------------|----------------|-----------------------------|
| Haut niveau | 6 | 51 | 14 | 88 |
| Niveau moyen | 75 | 142 | 341 | 408 |
| Bas niveau | 51 | 119 | 246 | 344 |

Tableau 4.1.2 : Biomasses moyennes de *Fucus serratus* aux abords du Cap de Flamanville en grammes de poids sec/0.25m²



Figures 4.1.4 : Evolution des biomasses de *Fucus serratus* aux différents niveaux de la radiale en mars

Figures 4.1.5: Evolution des biomasses de *Fucus serratus* aux différents niveaux de la radiale en septembre

En vert, les poids sec en grammes par 0,25 m² ; en rouge, les valeurs 2012 ; en bleu, la biomasse moyenne calculée sur la période d'observation ; en mauve, la courbe de tendance.

Après la disparition des fucales en limite supérieure de la ceinture en 2010 et 2011 (photographies 4.1.5), la présence de quelques thalles de *Fucus serratus* est constatée en 2012.



Photographie 4.1.5 : La partie supérieure de la radiale de *Fucus serratus* en mars 2011



Photographie 4.1.6 : La partie médiane de la radiale de *Fucus serratus* en mars 2011

Les valeurs sont en hausse par rapport à l'année précédente mais restent bien inférieures aux moyennes observées depuis 1983.

4.1.3.2. Dénombrement des algues baguées

La perte des pieds de *Fucus serratus* bagués en mars 2012 atteint 49 % en septembre, valeur égale à celle de 2011 et supérieure à la moyenne qui est de 37 % six mois après la pose des bagues (figure 4.1.6). 56 % du lot bagué en 2011 n'a pas été retrouvé en mars 2012 et 77 % en septembre, valeurs inférieures aux moyennes, respectivement 67 et 82 %, toujours sur la période 1983 à 2012.

Le taux moyen de dépopulation, 2 ans après la pose des bagues, s'élève à 90 %. Les causes de ce dépeuplement (ou de la perte des bagues sur les algues) sont diverses : vieillissement des algues, action de la houle, broutage par des gastéropodes, action humaine par l'arrachage lors de pêche à pied...

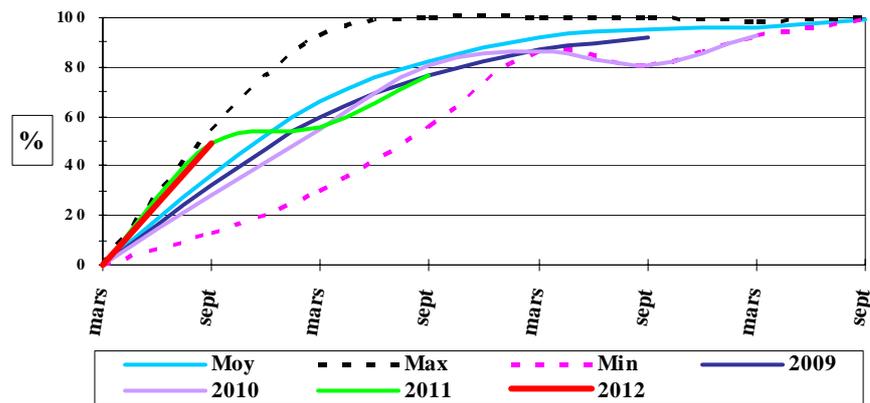


Figure 4.1.6 : Dépopulation des individus bagués (1983 à 2012)

4.1.3.3. Biométrie des algues baguées

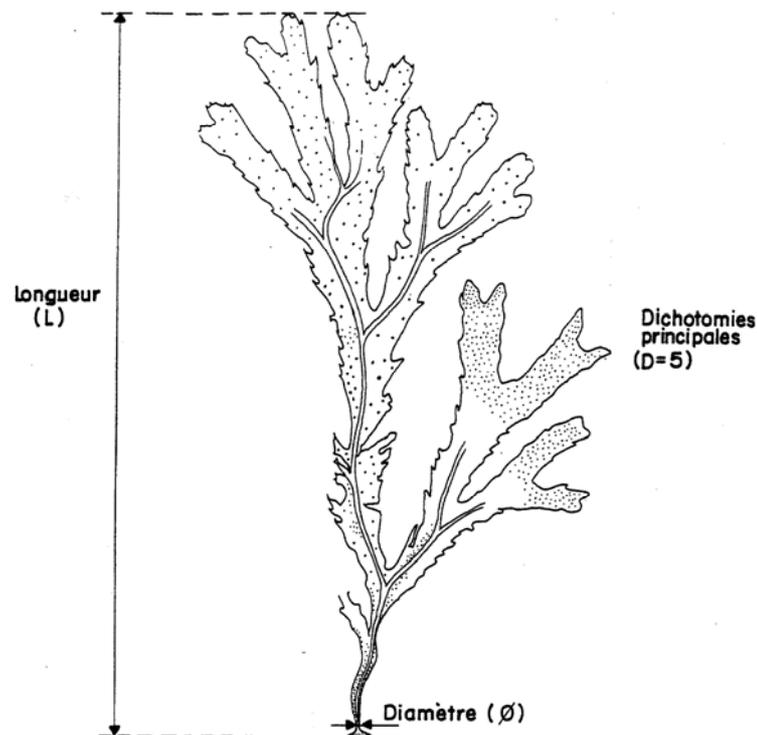


Figure 4.1.7 : *Fucus serratus*. Paramètres mesurés

4.1.3.3.1 Nombre de dichotomies

En mars 2012, le nombre moyen de dichotomies par pied bagué est évalué à 16 (moyenne 16). En septembre, en lien avec la croissance printano-estivale, la valeur atteint 18 (moyenne 18,5). Les valeurs moyennes printanières s'échelonnent de 10 en 1996 à 21 en mars 2000. En automne, ces valeurs se situent de 14 en 1993 à 25 en septembre 2005 (figure 4.1.8).

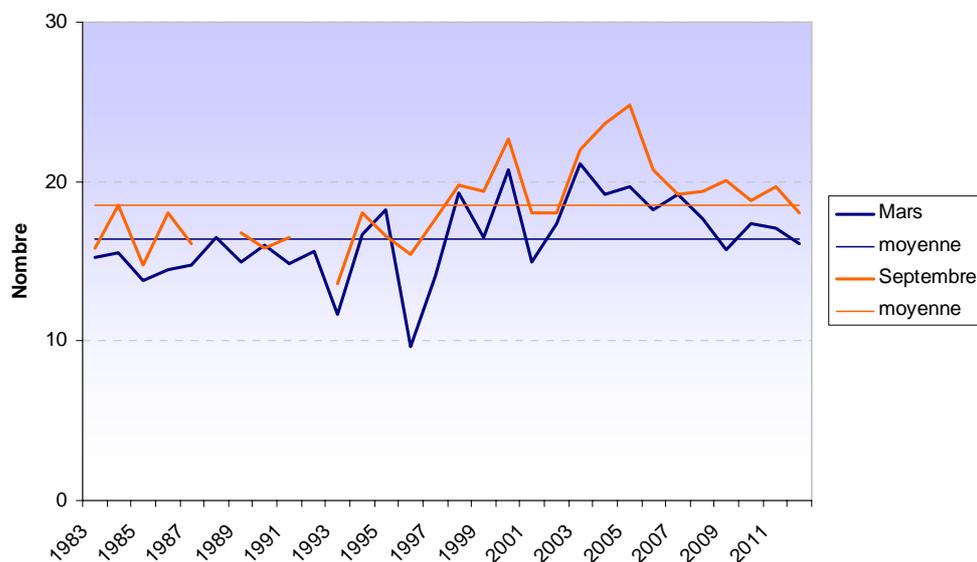


Figure 4.1.8 : Nombre de dichotomies en mars et en septembre

4.1.3.3.2 Diamètre des stipes

Les diamètres mesurés en 2012 atteignent en moyenne 5,2 mm en fin d'hiver et 6 mm en fin d'été. Ils restent inférieurs aux moyennes calculées sur la période 1983 à 2012 (5,9 et 6,4 mm) (figure 4.1.9).

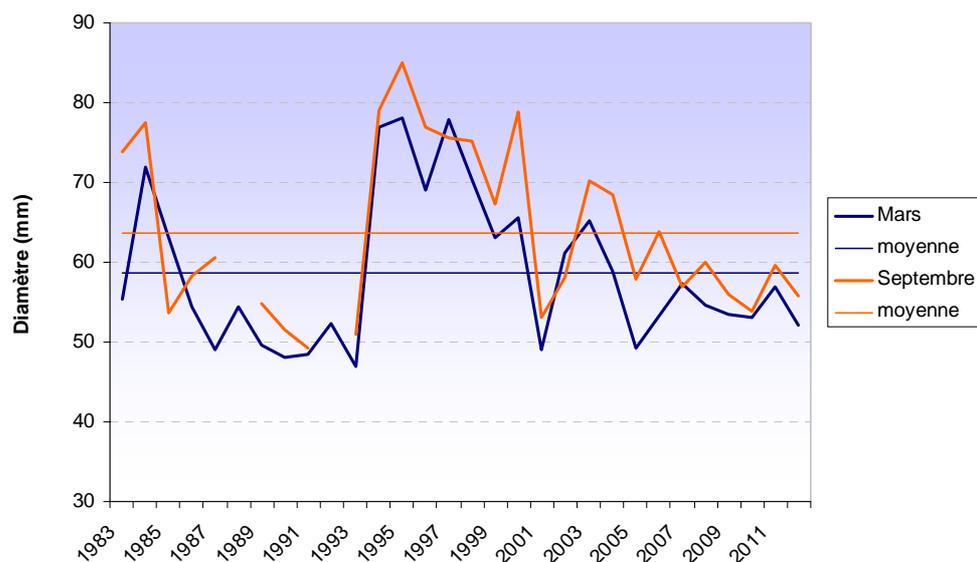


Figure 4.1.9 : Diamètre des stipes de *Fucus serratus* en mars et en septembre

4.1.3.3.3 Longueur des thalles

La longueur moyenne des individus mesurés en fin d'hiver 2012 est inférieure à celle de 2011. Celle de fin d'été 2012 est supérieure à celle de 2011 (figure 4.1.10).

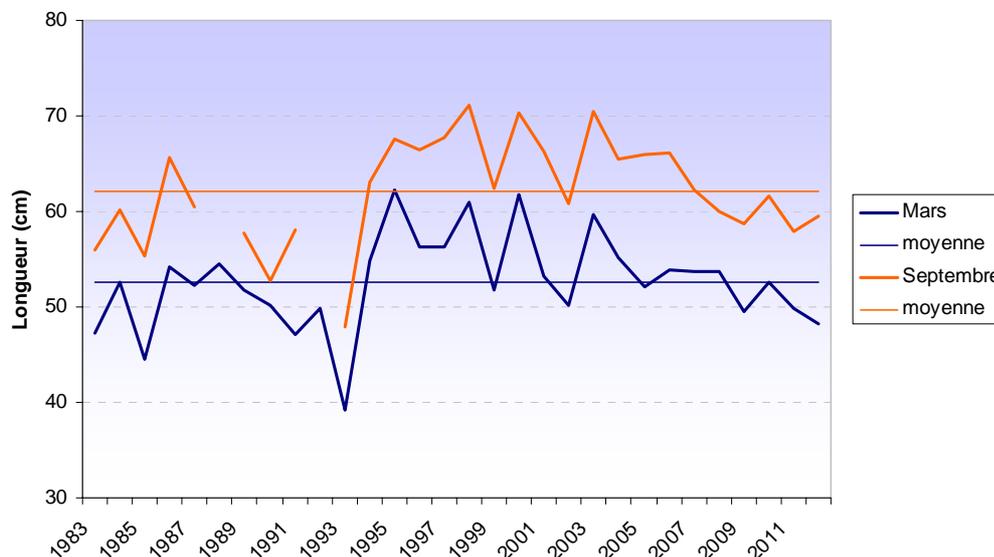


Figure 4.1.10 : Longueur moyenne des thalles de *Fucus serratus* en mars et en septembre

De mars à septembre 2012, la longueur des thalles de *Fucus serratus* s'est accrue en moyenne de 11 cm (valeur supérieure à la moyenne, 10 cm, calculée sur la période 1984-2012). Les valeurs s'échelonnent de 2,6 cm en 1990 à 18,4 cm en 1985 (figure 4.1.11).

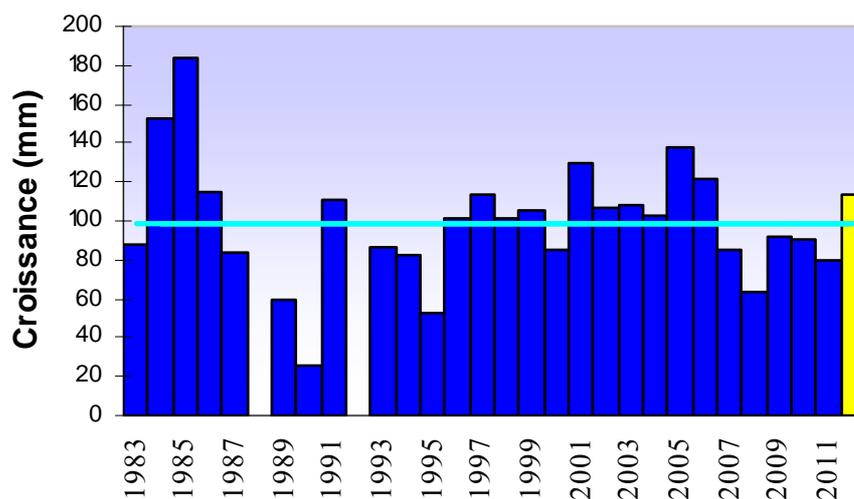


Figure 4.1.11 : Croissance moyenne des thalles de *Fucus serratus* de mars à septembre

4.1.3.4. Fertilité

L'extrémité des thalles de *Fucus serratus* présente des conceptacles renfermant des organes mâles ou femelles, selon les individus, plus ou moins fertiles tout au long de l'année (photo 4.1.7).



Photo 4.1.7 : Emission des gamètes mâles d'un thalle de *Fucus serratus*

L'examen visuel de ces zones permet de nuancer la fertilité en cinq stades différents, de l'absence totale de réceptacles (stade 0) à la présence sur chaque fronde de réceptacles terminaux à maturité (stade 4).

4.1.3.4.1 Résultats 2012**Lot bagué en mars 2012 :**

En mars 2012 le pourcentage d'individus présentant des signes de fertilité est en légère baisse : 43 % (55 % en 2011). En juin il atteint 52 % (48 % en 2011).

En septembre, la valeur reste la même, 98 % des individus présentent un cycle de reproduction en cours (figures 4.12 et 4.13) :

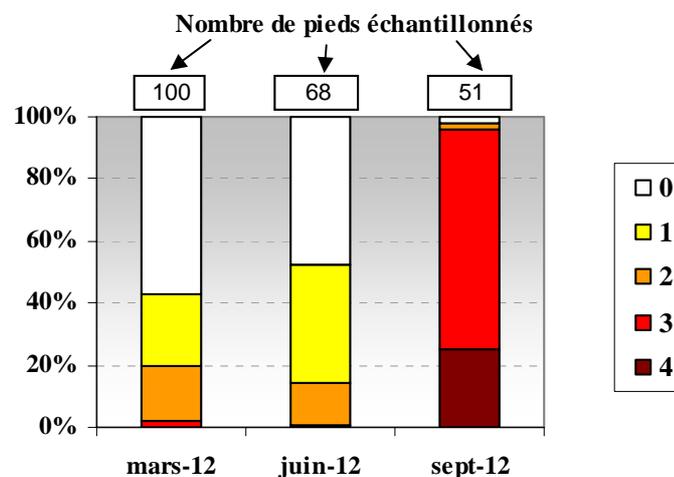


Figure 4.1.12 : Evolution de la fertilité des pieds de *Fucus serratus* bagués en 2012

Lot bagué en mars 2011 :

L'évolution de la fertilité sur le lot bagué l'année précédente est quasiment la même :

- 43 % en mars
- 60 % en juin
- 96 % en septembre

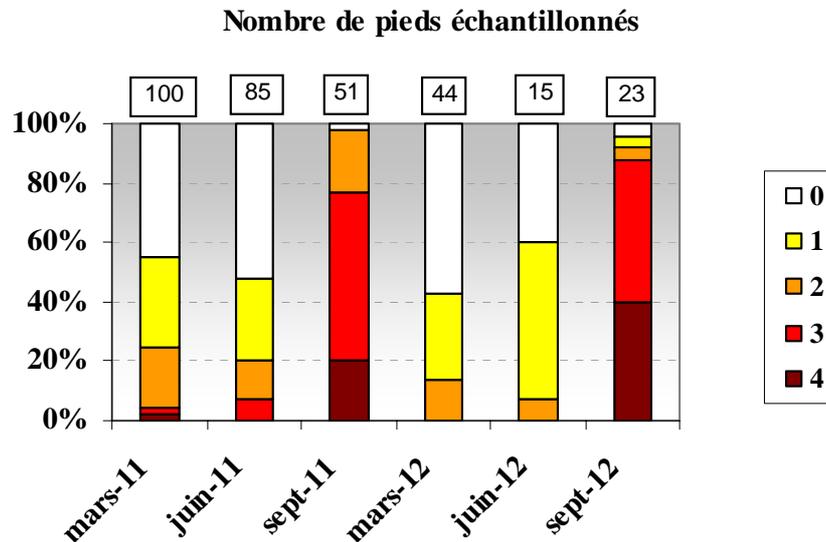
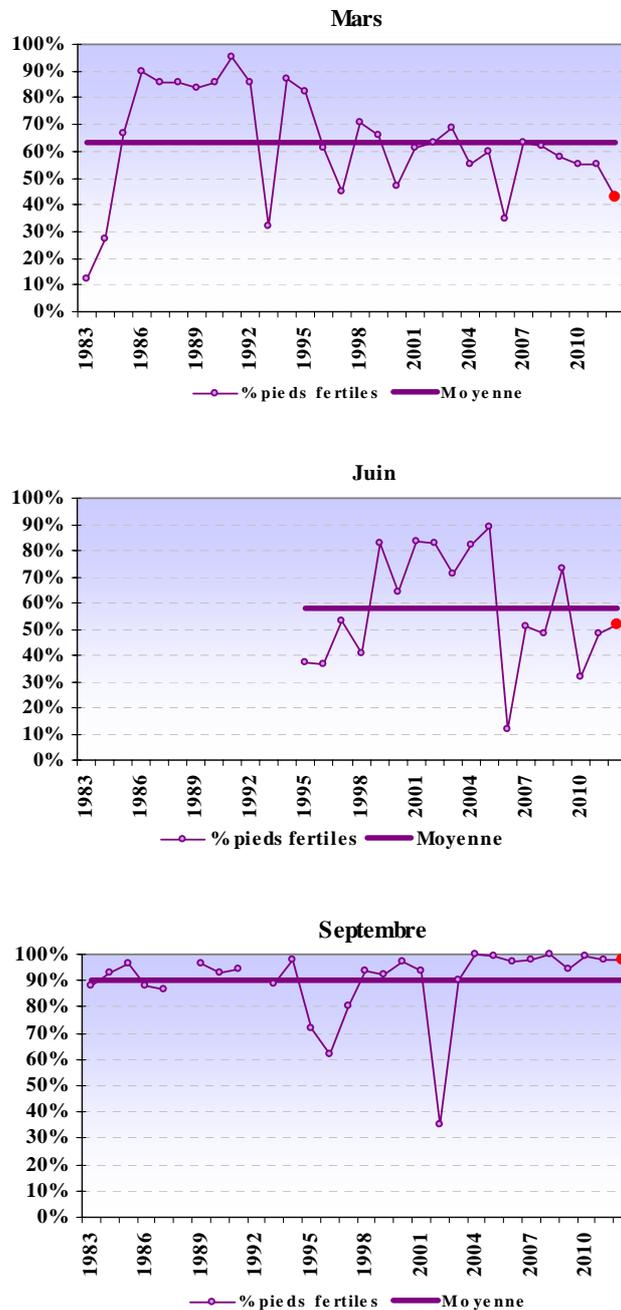


Figure 4.1.13 : Evolution de la fertilité des pieds de *Fucus serratus* bagués en 2012

4.1.3.4..2 Variations annuelles

- Le pourcentage de *Fucus serratus* fertiles évalué en mars 2012, 43 %, est en baisse pour la cinquième année consécutive. La valeur est inférieure à la moyenne, 63 %, calculée sur la période 1983 à 2012 (figure 4.1.14)
- En juin, le pourcentage 2012 est en hausse, 52 %. Il reste néanmoins inférieur à la moyenne calculée sur la période 1995/2012
- En septembre 2012, le pourcentage de thalles fertiles reste élevé, 98 %. Depuis 2003, les valeurs restent fortes et supérieures à la moyenne

Figure 4.1.14 : Evolution de la fertilité des pieds de *Fucus serratus*

La comparaison avec les données acquises depuis 1993 permet d'apprécier, pour chaque saison, les fluctuations tant du nombre de pieds fertiles que des différents stades de maturation (figure 4.1.15).

Au printemps, on observe une période charnière entre deux cycles de reproduction. La fertilité décroît, le cycle s'achève, puis un nouveau cycle de reproduction démarre pour atteindre la maturité en fin d'été.

En mars les données sont relativement stables depuis 1998, en juin elles sont plus irrégulières.

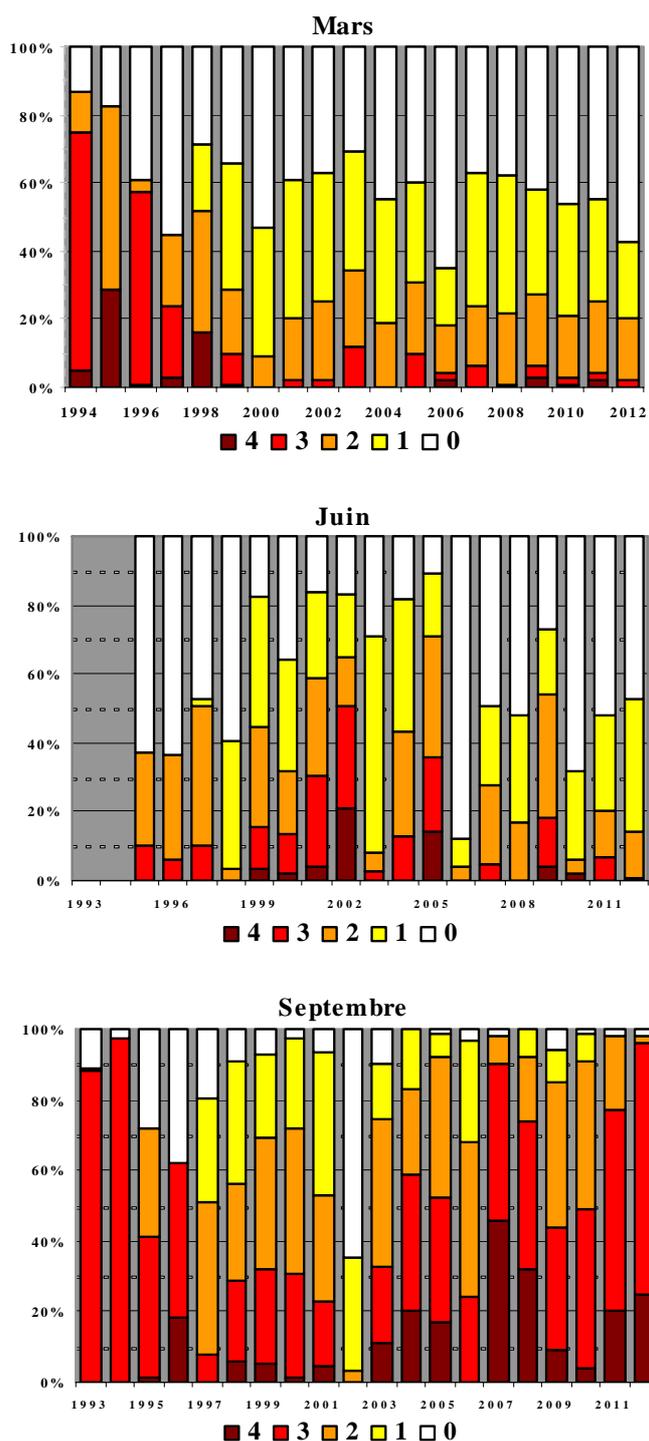


Figure 4.1.15 : Evolution des différents stades de la fertilité des pieds de *Fucus serratus*

Le taux moyen de fertilité sur la période 1993/2012, calculé en rapport avec les quatre niveaux de maturité de *Fucus serratus*, atteint 28 % en mars, et 26 % en juin. En 2012, les valeurs sont inférieures à ces moyennes (16 % en mars, 17 % en juin). Le développement de la reproduction a été plus tardif (figure 4.1.16).

En septembre 2012, le taux moyen atteint néanmoins 79 %, valeur élevée et largement supérieure à la moyenne qui atteint 56 %.

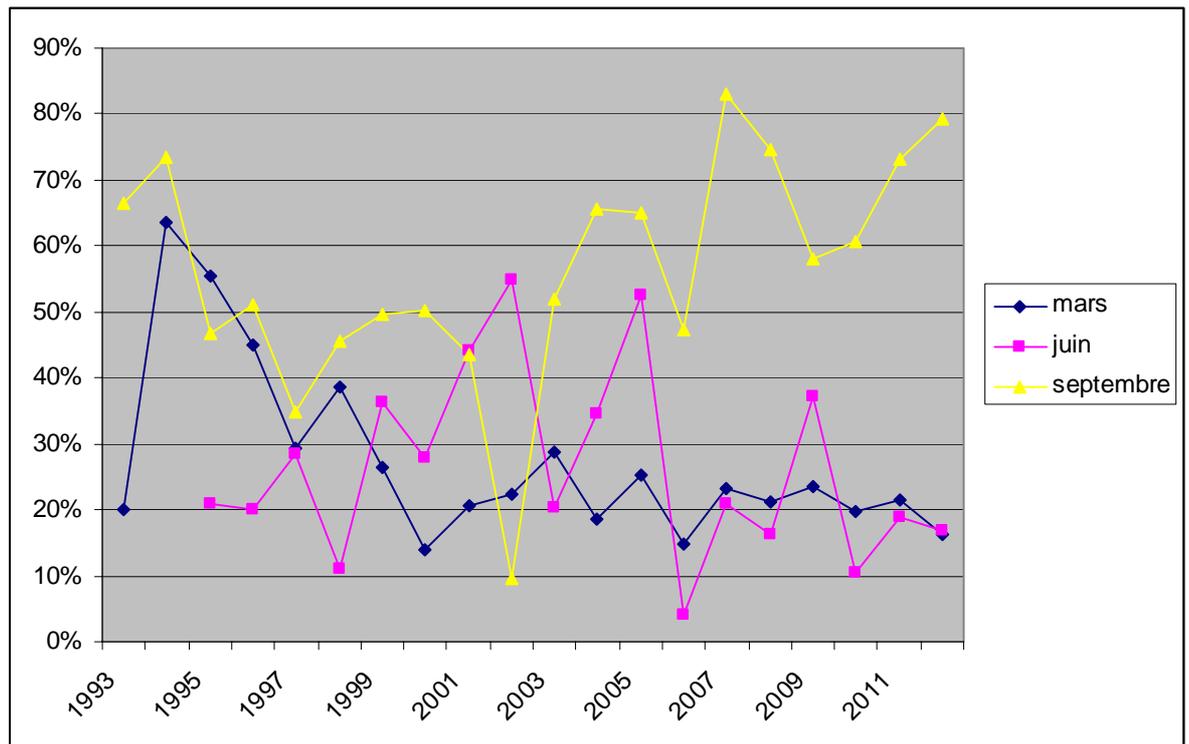


Figure 4.1.16 : Evolution du taux moyen de fertilité des pieds de *Fucus serratus* depuis 1993

Le peuplement de *Fucus serratus* du platier de Diélette présente des caractères de fertilité toute l'année avec une période de maturité plus importante qui s'étendrait principalement d'août à janvier, ce que confirment nos observations faites au cours de l'année 2012.

4.1.4. Comparaison avec d'autres populations de Fuciales

Un suivi similaire est réalisé en Seine-Maritime depuis 1994 dans le cadre de la surveillance de la centrale nucléaire de Paluel et dans le Nord Finistère, sur la grève du Vougot (commune de Guissény) depuis 2005 (figure 4.1.17). Ainsi, un état comparatif de ces populations de fuciales est établi en trois points, très éloignés l'un de l'autre, représentatifs de la frontière Atlantique/Manche-Ouest (Guissény), de la Manche Centrale toujours sous régime océanique dominant (Flamanville) et de la Manche-Est sous régime plus continental (Paluel) (Drévès et al, 2009).

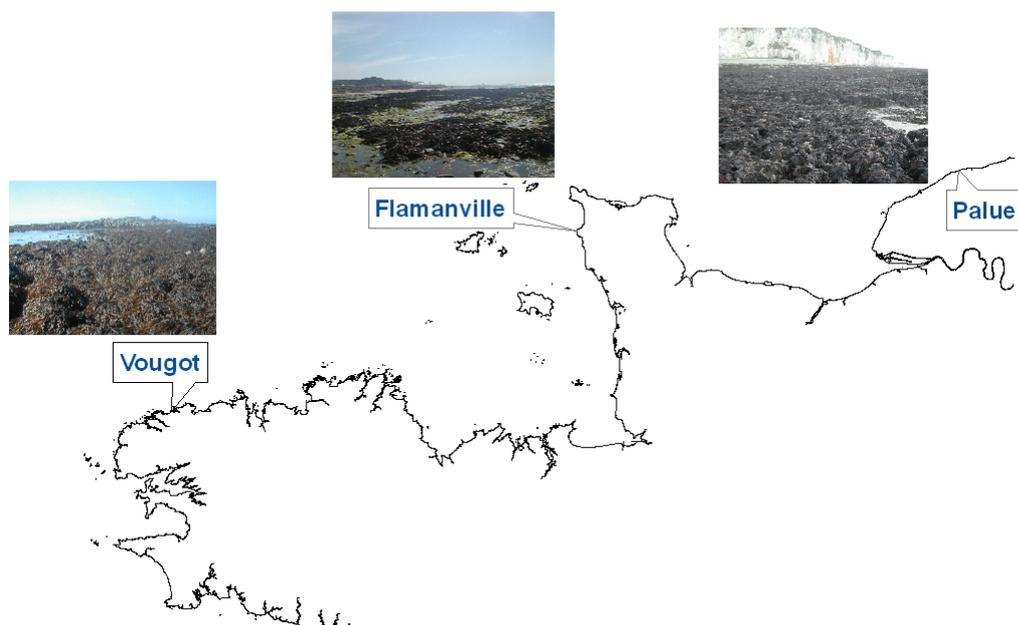


Figure 4.1.17 : Localisation des 3 sites de prélèvements de *Fucus serratus*

4.1.4.1. Biomasses

Les données acquises permettent une comparaison des valeurs annuelles enregistrées en fin d'hiver et en fin d'été afin de préciser si les tendances observées (diminution des biomasses annuelles et augmentation des biomasses entre la fin de l'hiver et la fin de l'été) sont générales ou caractéristiques d'un site.

Globalement, la tendance observée depuis 1994 pour les populations normandes et depuis 2005 pour la population bretonne est une baisse des biomasses (figure 4.1.18).

Après les valeurs minimales observées en 2011, les biomasses évaluées en 2012 à Flamanville, Paluel et Guissény sont en hausse (tableau 4.13).

Cette augmentation importante à Flamanville et à Guissény est infime à Paluel.

| Biomasses 2012 | Paluel | Flamanville | Guissény |
|----------------|--------|-------------|----------|
| Mars | 54 | 44 | 248 |
| Septembre | 66 | 200 | 192 |
| Bilan annuel | 60 | 122 | 220 |

Tableau 4.1.3 : Biomasses moyennes de *Fucus serratus* (en grammes de poids sec/0.25m²) évaluées en 2012

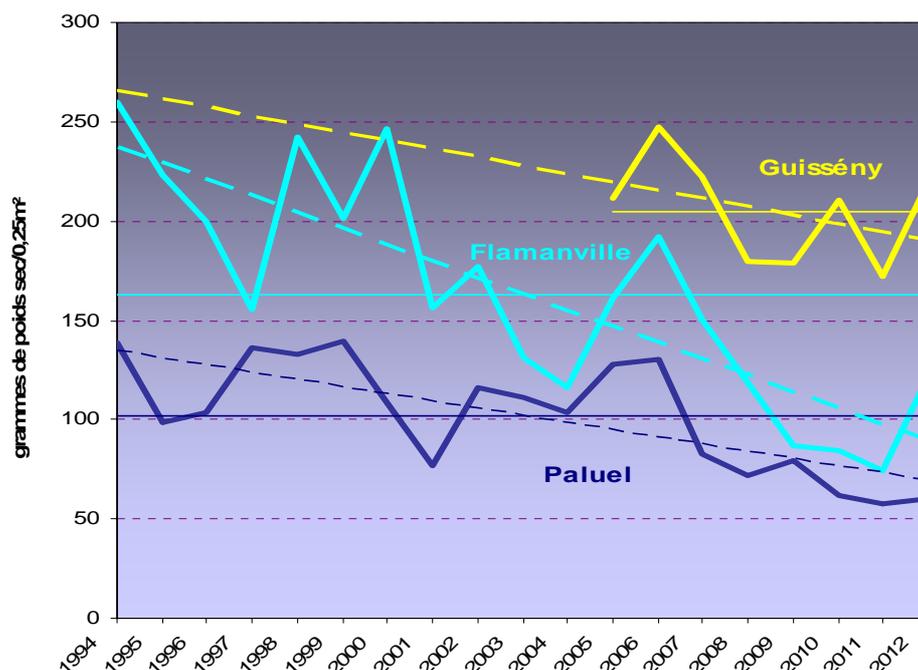


Figure 4.1.18 : Evolution des biomasses moyennes annuelles de *Fucus serratus* à Flamanville, Paluel et au Vougot (en grammes de poids sec/0,25m²) ; Valeurs annuelles, moyennes et tendances

Les biomasses évaluées en mars 2012 augmentent sur les trois sites particulièrement à Guissény (figure 4.1.19). L'évolution des biomasses des deux populations normandes est comparable en particulier depuis 2005. Les valeurs sur ces deux sites restent inférieures à celles enregistrées en Bretagne Nord (moyennes sur la période 2005 à 2012 en grammes de poids secs par 0,25 m²: 61 g à Flamanville et 69 g à Paluel, 140 g à Guissény).

En septembre 2012, nous observons une hausse des biomasses à Flamanville, une baisse à Paluel ainsi qu'à Guissény (figure 4.1.20). Les biomasses moyennes sur la période 2005 à 2012 s'étendent alors de 98 g à Paluel à 187 g à Flamanville (270 g à Guissény).

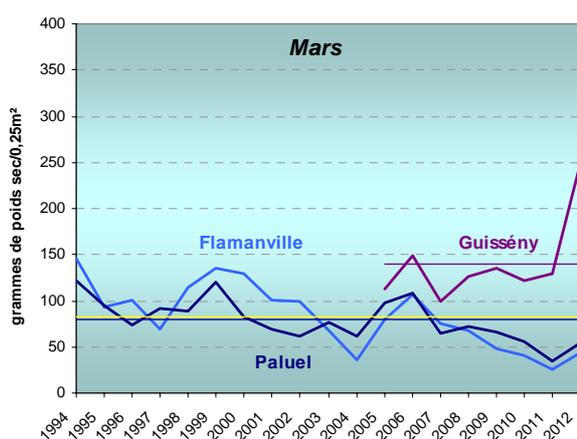


Figure 4.1.19 : Evolution des biomasses moyennes en fin d'hiver

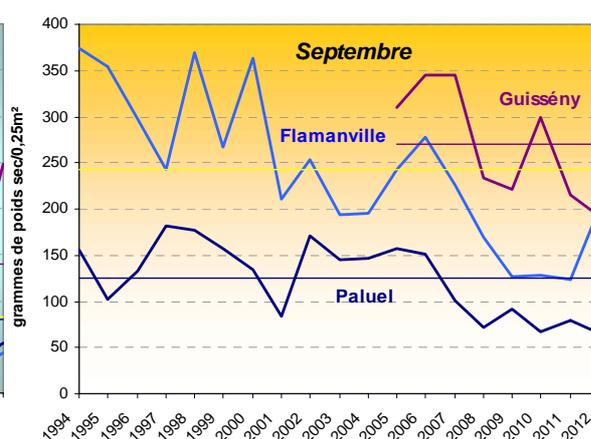


Figure 4.1.20 : Evolution des biomasses moyennes en fin d'été

Droite jaune : biomasse moyenne 1994 à 2012 à Flamanville, droite mauve : biomasse moyenne 2005 à 2012 à Guissény, droite bleue : biomasse moyenne 1994 à 2012 à Paluel

En général, les biomasses en fin d'été sont plus fortes qu'en fin d'hiver (excepté à Paluel en 2008) avec un gradient d'est en ouest. Cette différence saisonnière est beaucoup moins marquée à Paluel où la croissance algale reste beaucoup plus faible.

En 2012, les biomasses à Guissény sont très élevées en mars (maxi) et plus faibles en septembre (mini).

4.1.4.2. Fertilité

Comme pour les biomasses, les pourcentages de thalles de Fucales présentant des signes de fertilité sont évalués à Flamanville, Paluel et Guissény en fin d'hiver et en fin d'été.

En mars 2012, la population de *Fucus serratus* de Paluel présente un pourcentage d'algues fertiles plus faible que sur les autres sites. En septembre 2012, ce taux a beaucoup progressé pour atteindre une valeur proche de celle de Flamanville (tableau 4.1.4).

| Thalles fertiles 2012 | Paluel | Flamanville | Guissény |
|-----------------------|--------|-------------|----------|
| Mars | 23 | 43 | 52 |
| Septembre | 85 | 98 | 80 |

Tableau 4.1.4 : Pourcentages de thalles de *Fucus serratus* fertiles en 2012

Les valeurs observées en mars et en septembre 2012 sont inférieures à celles de 2011 à Flamanville et à Guissény, supérieures à Paluel. Elles restent néanmoins proches des moyennes saisonnières (figures 4.1.21 et 4.1.22).

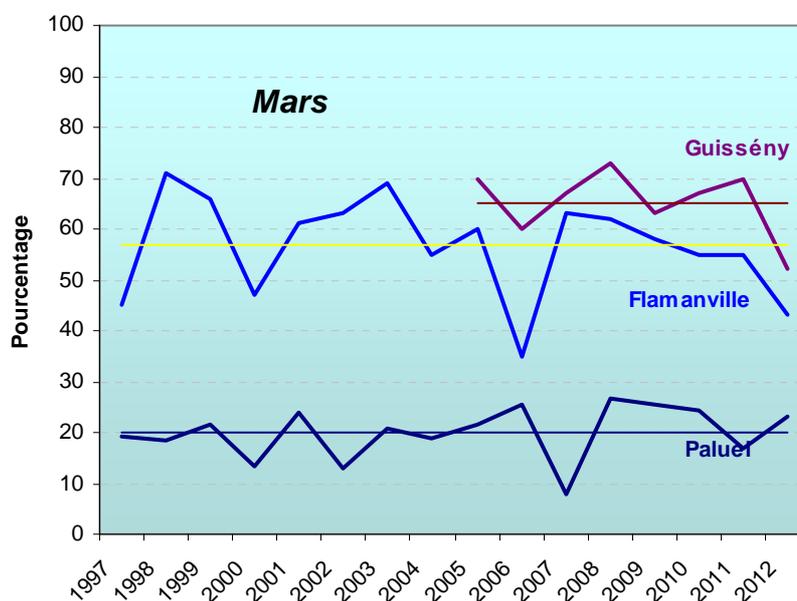


Figure 4.1.21 : Evolution des pourcentages de thalles fertiles en mars
Droite jaune : moyenne 1997 à 2012 à Flamanville, droite mauve : moyenne 2005 à 2012 à Guissény, droite bleue : moyenne 1997 à 2012 à Paluel

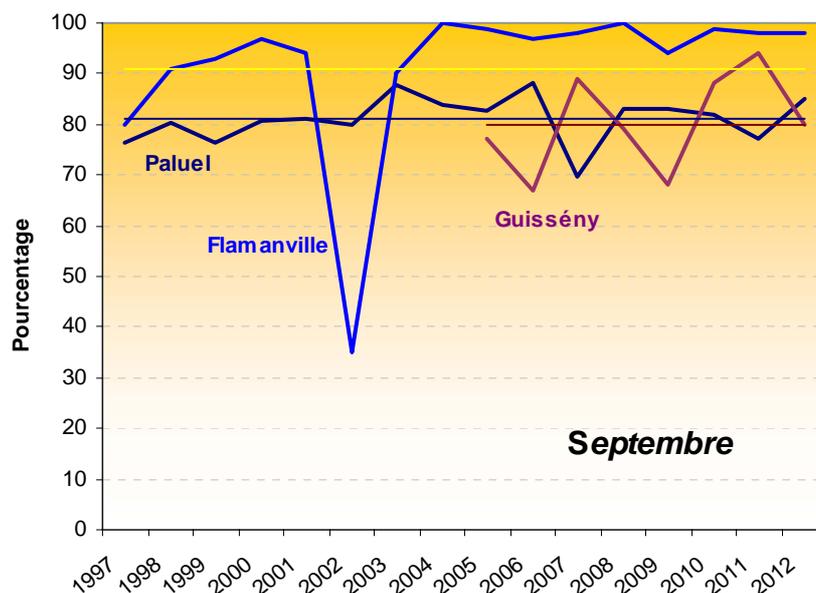


Figure 4.1.22 : Evolution des pourcentages de thalles fertiles en septembre
Droite jaune : moyenne 1997 à 2012 à Flamanville, droite mauve : moyenne 2005 à 2012 à Guissény, droite bleue : moyenne 1997 à 2012 à Paluel

Globalement, les taux de fertilité obtenus en fin d'hiver restent plus faibles à Paluel : 21 % en moyenne sur la période 2005 à 2012 alors qu'ils atteignent 54 % à Flamanville et 65 % à Guissény.

En septembre, les valeurs à Flamanville sont particulièrement élevées : 98 % de la population échantillonnée présente des signes de fertilité (moyenne calculée sur la période 2005 à 2012). Les valeurs à Paluel sont comparables à celles de Guissény respectivement 81 % et 80 % en moyenne calculée sur cette période.

Le développement de la fertilité présente quelques différences d'un site à un autre, notamment des taux de fertilité printaniers plus faibles à Paluel, des taux automnaux plus élevés à Flamanville. Ces particularités géographiques indiquent qu'il existe des décalages de la maturation des thalles de *Fucus serratus* d'un secteur à un autre.

4.2. Zoobenthos des substrats durs intertidaux

Le développement des peuplements animaux de mode battu traduit la forte intensité des actions hydrodynamiques de ce secteur côtier. Au cap de Flamanville, constitué d'une succession d'éperons rocheux granitiques, les peuplements sont essentiellement représentés par une ceinture de crustacés cirripèdes à *Semibalanus balanoides* (précédemment dénommé *Balanus balanoides*).

A la pointe du Rozel, constituée d'un vaste platier de dalles de schistes, les peuplements sont représentés par une ceinture (largeur : 200 m) à *Semibalanus balanoides* prolongée en bas niveaux par une ceinture (largeur : 50 m) à *Balanus perforatus*.

L'étude de Surveillance, menée depuis 1983, a pour objectif de contrôler les variations d'abondance des principales espèces de cirripèdes à la pointe du Rozel (figure 4.1.1) ainsi qu'au droit du sémaphore du cap de Flamanville (point SEM) ; cette étude est complétée par une évaluation sommaire des densités des principales espèces accompagnatrices et par un suivi de la recolonisation du substrat par les cirripèdes.

A partir de 1993, deux points de mesures sont ajoutés aux précédents, un dans l'anse de Quédoy située immédiatement au sud de la centrale (photo 4.2.1), l'autre près du port de Diélette (platier rocheux au nord du nouveau port de plaisance).

Cette ceinture, dominée par *Semibalanus balanoides*, comprend également d'autres espèces de cirripèdes comme *Elminius modestus*, *Chthamalus stellatus*, et *Chthamalus montagui*.



Photo 4.2.1 : Quédoy, station la plus proche de la centrale

4.2.1. Biologie des cirripèdes

Les cirripèdes, balanes ou anatifes, font partie de la classe des crustacés. Ces crustacés très particuliers, très différenciés et très nombreux, ont la particularité de se fixer au terme de leur vie larvaire planctonique. L'éclosion des oeufs, qui incubent à l'abri de la muraille (cas des balanes) ou du *capitulum* (cas des anatifes), donne naissance à des larves nageuses de type *nauplius*. Ces dernières se transforment en *cypris* qui, au bout de quelques semaines se fixent sur un support (rochers, épaves, coques de bateau, etc.) et à un niveau bathymétrique spécifique.

Habitat

Les larves se fixent sur tout support disponible non encore colonisé. Les zones battues, peu propices au développement des macroalgues, se prêtent particulièrement bien à leur fixation.

Reproduction

Les individus sont hermaphrodites. Les œufs très nombreux (entre 10 000 et 20 000 chez les Balanidae) sont incubés à l'intérieur de la muraille, dans la cavité comprise entre le manteau et la masse viscérale. Après maturation des oeufs, les larves sont libérées dans le milieu marin. Leur fixation sur le substrat varie selon les espèces : fin d'hiver, courant de printemps pour les balanes ; fin d'été pour les chthamales.

Alimentation

Les crustacés cirripèdes sont des microphages. Ils se nourrissent de fines particules qu'ils filtrent grâce à leurs appendices transformés en cirres.

Croissance

Comme pour tous les crustacés, leur croissance s'effectue par mues successives, tout au moins pour les organes internes.

Prédation

Les populations de balanes subissent la prédation de mollusques gastéropodes (pourpres, etc.), de l'avifaune, etc.

4.2.2. Matériel et méthode

A la pointe du Rozel, quatre points de la radiale R4 sont échantillonnés dans la ceinture à *Semibalanus balanoides* à raison d'un point par strate. Au cap de Flamanville, les trois points "sémaphore" (ou SEM ; depuis 1983), "Quédoy" et "Diélette" (à partir de 1993) sont retenus comme représentatifs de l'ensemble de la ceinture à l'exception de la frange supérieure.

4.2.2.1. Densité

En septembre, la densité des cirripèdes est évaluée à l'aide de quadrats de 0,05 m x 0,05 m (8 à 10 quadrats par point) sur le terrain et également photographiés à l'aide d'un appareil numérique. La qualité de l'image obtenue permet ultérieurement non seulement d'apprécier les densités présentes, mais également de déterminer les différentes espèces. Le pourcentage de recouvrement du substrat par ces crustacés est évalué *in situ*.



Photo 4.2.2 : Photo numérique utilisée pour évaluer les différentes espèces de cirripèdes (support de 0,05 m x 0,05 m)

L'échantillonnage est stratifié pour tenir compte de l'hétérogénéité de colonisation (zone à forte densité, faible densité, absence totale de cirripèdes), phénomène constaté essentiellement aux limites de la ceinture. Des échantillons de substrat sont rapportés au laboratoire afin de compléter et confirmer l'évaluation des pourcentages des différentes espèces de cirripèdes présentes.



Photo 4.2.3 : Echantillon de roche rapporté en laboratoire pour l'évaluation des différentes espèces de cirripèdes



Photo 4.2.4 : Grattage de cirripèdes pour évaluation de la faune associée

4.2.2.2. Faune associée

Les densités des principales espèces accompagnatrices sont évaluées à chaque point à partir d'une surface unitaire de $1/16 \text{ m}^2$ (quadrat $0,25 \text{ m} \times 0,25 \text{ m}$). Elles sont récoltées par grattage (4 par point), puis déterminées et comptées au laboratoire.

Le genre *Patella* étant aisément déterminable à l'œil nu sur le terrain, des dénombrements complémentaires sont réalisés in situ, à raison de 12 comptages (même quadrat $1/16 \text{ m}^2$) à chaque point.

4.2.2.3. Recolonisation du substrat

Les points Rozel (n°2), Sémaphore, Quédoy et Diélette servent également à une étude de recolonisation du substrat par les cirripèdes (photo 4.2.5).

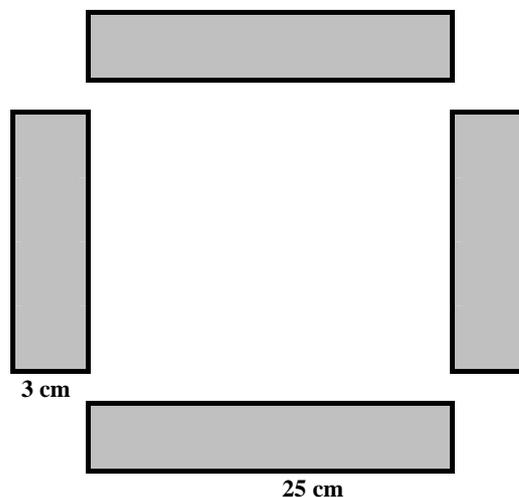


Photo 4.2.5 : Quadrats pour l'étude du recrutement des cirripèdes

Dans ce but, des comptages puis des grattages sont réalisés sur les mêmes séries de quadrats (75 cm^2) à trois périodes de l'année, en fin d'hiver (mars - avril), fin de printemps (juin) et fin d'été (septembre). Ceci permet de cerner l'importance de la fixation des recrues selon les saisons et d'établir le bilan global de recolonisation annuelle. Afin de limiter l'invasion des surfaces mises à nu par les espèces d'épifaune vagile (patelles, littorines) les quadrats rectangulaires sont de faible largeur (3 cm x 25 cm). La disposition des quatre quadrats est représentée dans le schéma ci-dessus.

4.2.3. Résultats

4.2.3.1. Etude de recolonisation par les cirripèdes

4.2.3.1..1 Résultats 2012

La recolonisation notée lors d'une mission donnée est le résultat du recrutement saisonnier en cours, diminué d'une mortalité (non quantifiée) intervenue entre la date de fixation des cypris (larves métamorphosées) sur le substrat et la date d'observation.

Le recrutement des cirripèdes atteint en 2012 124 individus par 75 cm². Cette valeur est inférieure à celles observées au cours des trois années précédentes et inférieure à la moyenne calculée sur la période 1983 à 2012 (506 individus). Le maximum atteint 2259 individus par 75 cm² en 1986, le minimum 55 en 1990 (figure 4.2.1).

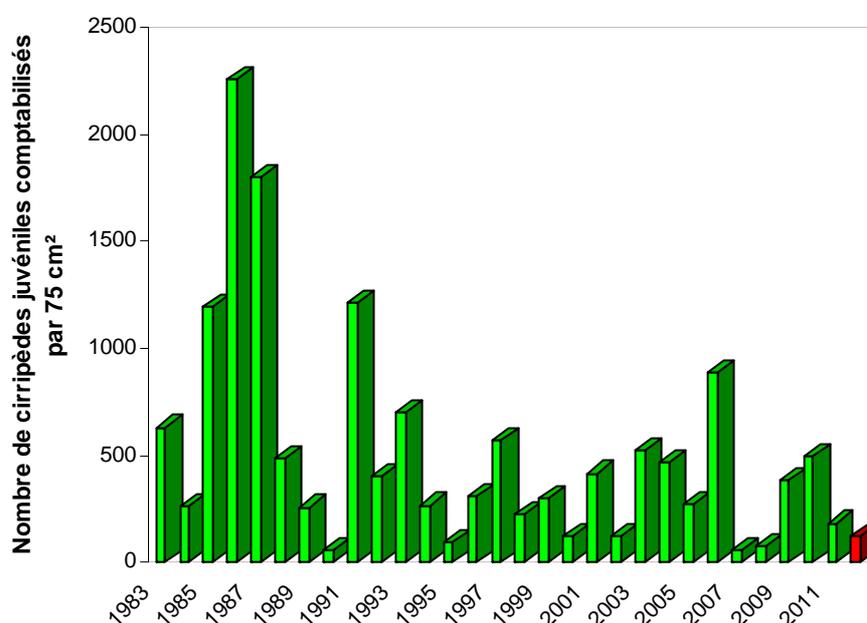


Figure 4.2.1 : Recrutement annuel (somme des recrutements comptabilisés en mars, juin et septembre aux 4 stations sur les quadrats de 75 cm²)

Le recrutement printanier, comptabilisé lors des missions en juin et/ou quelquefois en mars si la métamorphose des cirripèdes est précoce, peut représenter selon les années, jusqu'à 99 % du phénomène annuel toutes stations confondues

Ce recrutement concerne principalement *Semibalanus balanoides*, dont la reproduction a lieu principalement en hiver, quand la température de l'eau de mer est inférieure à 14 °C. Les larves se fixent en fin d'hiver et début de printemps.

En 2012, le recrutement printanier atteint 95 % du recrutement annuel.



Photographie 4.2.6 : Recrutement printanier de *Semibalanus balanoides* en mars 2010

Le recrutement estival, beaucoup plus faible, seulement 4 % du recrutement total en 2012, concerne en priorité les espèces *Chthamalus montagui* et *Chthamalus stellatus*.

Les quatre stations affichent des valeurs 2012 inférieures à celle de 2011 en mars comme en septembre. Le recrutement printanier au Rozel est, comme en 2011, particulièrement faible (tableau 4.2.1).

| | Rozel | Sémaphore | Quédoy | Diélette |
|--|-----------|------------|-----------|------------|
| Recrutement automno-hivernal | 1 | 3 | 1 | 2 |
| Recrutement printanier | 9 | 240 | 97 | 128 |
| Recrutement Comptages septembre | 1 | 6 | 1 | 10 |
| Bilan annuel | 11 | 249 | 98 | 140 |

Tableau 4.2.1 : Nombre de cirripèdes métamorphosés, comptabilisés par 75 cm² en 2012

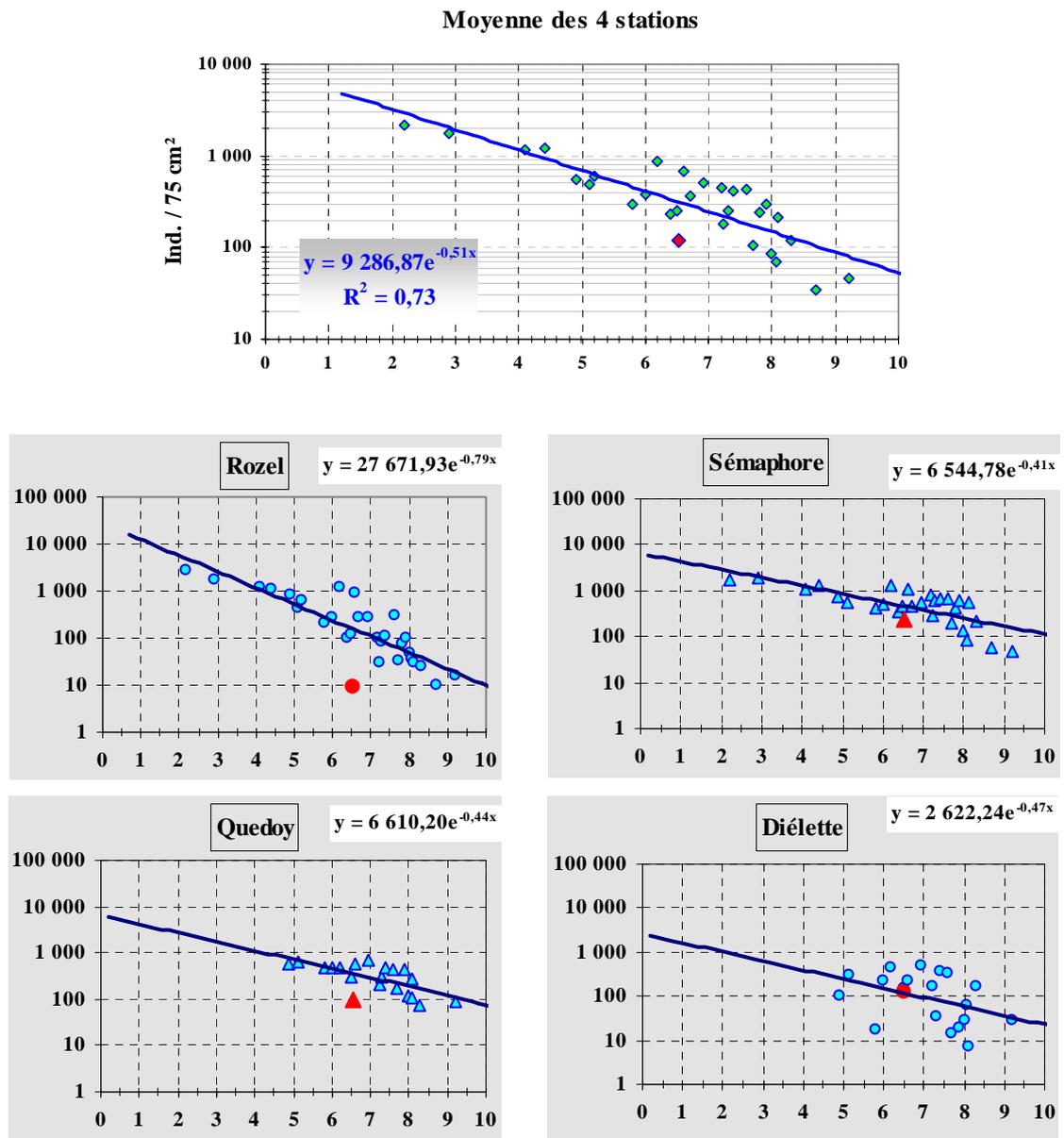
4.2.3.1..2 Recrutement et température de l'air

| | Air | Eau | | Air | Eau | | Air | Eau | |
|-------------|------|------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|------|-------|
| 1986 | 2,20 | 6,80 | | 1984 | 6,40 | | 2004 | 7,61 | 8,71 |
| 1987 | 2,90 | 7,21 | | 2012 | 6.53 | 9.09 | 2000 | 7,65 | 9,53 |
| 1985 | 4,10 | | | 2005 | 6,54 | 8,38 | 1989 | 7,80 | 8,28 |
| 1991 | 4,41 | 7,44 | | 1992 | 6,56 | 8,64 | 1999 | 7,88 | 9,31 |
| 1997 | 4,86 | 7,88 | | 1993 | 6,56 | 8,74 | 1995 | 8,00 | 9,67 |
| 2010 | 5,08 | 7,84 | | 2003 | 6,96 | 8,70 | 1998 | 8,06 | 9,28 |
| 1983 | 5,20 | | | 1988 | 7,20 | 8,41 | 2008 | 8,07 | 9,80 |
| 1996 | 5,80 | 8,12 | | 2011 | 7,22 | 9,05 | 2002 | 8,33 | 9,88 |
| 2009 | 6,01 | 8,25 | | 1994 | 7,24 | 8,65 | 1990 | 8,70 | 8,86 |
| 2006 | 6,20 | 7,92 | | 2001 | 7,42 | 8,92 | 2007 | 9,20 | 10,20 |

Tableau 4.2.2 : Température mensuelle minimale de l'air au Cap de La Hague (1983-2012), source Météo France, et de l'eau de mer à Flamanville (1986-2012), source EDF. Les années sont classées selon l'importance croissante des températures de l'air

Une relation entre la température de l'air et l'importance du recrutement printanier du mois le plus froid de l'année a été mise en évidence (Drévès, 1993 ; température moyenne de l'air et/ou de l'eau du mois le plus froid de l'année ; tableau 4.2.2 & figure 4.2.2). Plus les températures hivernales sont basses, plus le recrutement de *Semibalanus balanoides* est important. C'est à cette période de l'année que s'opère la libération des larves de *Semibalanus balanoides* dans le milieu marin. La température du milieu a donc une influence sur cette étape de la reproduction.

Les valeurs 2012 confirment cette hypothèse.



4.2.3.2. Evaluation des densités de cirripèdes

La densité moyenne de cirripèdes évaluée en 2012 atteint 24 078 individus par m². Cette valeur quasiment stable par rapport à 2011 reste très inférieure à la moyenne calculée sur la période 1983 à 2012 (41 731 individus par m²). La tendance générale observée sur la période étudiée s'oriente à la baisse (figure 4.2.3).

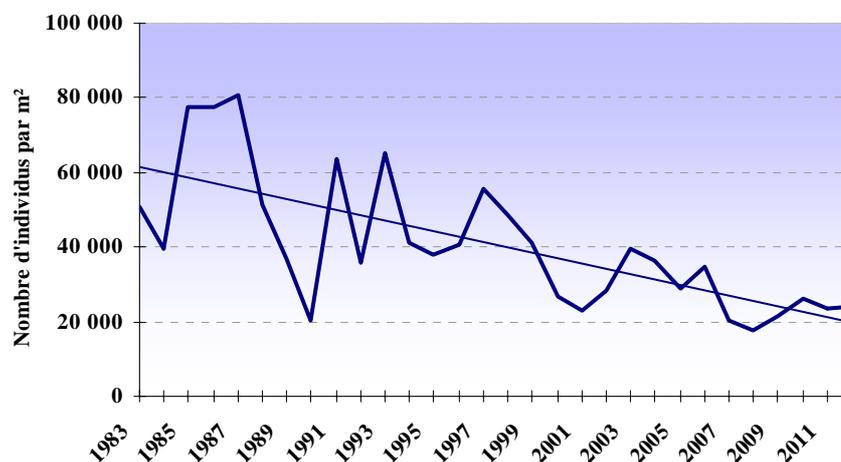


Figure 4.2.3 : Evolution des densités de cirripèdes, moyennes des quatre stations depuis 1983

Les valeurs s'échelonnent de 7 700 individus par m² au Rozel 1 (station la plus haute de la radiale) à 53 000 individus par m² à Quédoy au niveau inférieur (tableau 4.2.3). Le Rozel reste en moyenne la station la plus abondante, les densités de cirripèdes étant importantes aux trois niveaux plus inférieurs de la radiale.

Les valeurs sont nettement plus faibles dans les niveaux supérieurs des stations, *Semibalanus balanoides* espèce dominante à Flamanville y est moins abondante.

| Stations | | Densité par strate | Surface occupée du substrat | Densité moyenne |
|-------------|--------------|--------------------|-----------------------------|-----------------|
| Rozel | Point 1 | 7 700 | 20 % | 1 540 |
| Rozel | Point 2 | 47 800 | 90 % | 43 020 |
| Rozel | Point 3 | 40 750 | 90 % | 36 675 |
| Rozel | Point 4 | 40 050 | 95 % | 38 048 |
| Flamanville | Sem sup. | 13 500 | 80 % | 10 800 |
| Flamanville | Sem inf. | 49 700 | 90 % | 44 730 |
| Flamanville | Quédoy sup | 25 100 | 30 % | 7 530 |
| Flamanville | Quédoy inf | 53 000 | 80 % | 42 400 |
| Flamanville | Diélette sup | 12 800 | 50 % | 6 400 |
| Flamanville | Diélette inf | 35 200 | 60% | 21 120 |

Tableau 4.2.3 : Densités globales des cirripèdes en 2012 (nombre d'individus par m²)

Par rapport à 2011, les valeurs 2012 sont stables à Diélette et à Quédoy, en baisse au Rozel et en hausse au Sémaphore (figure 4.2.4).

L'observation des densités de cirripèdes montre des variations importantes d'une station à l'autre pouvant s'expliquer par l'étendue de la colonisation de la roche (influence de la nature du substrat et de son exposition) et l'importance du recrutement (surtout printanier) d'autre part.

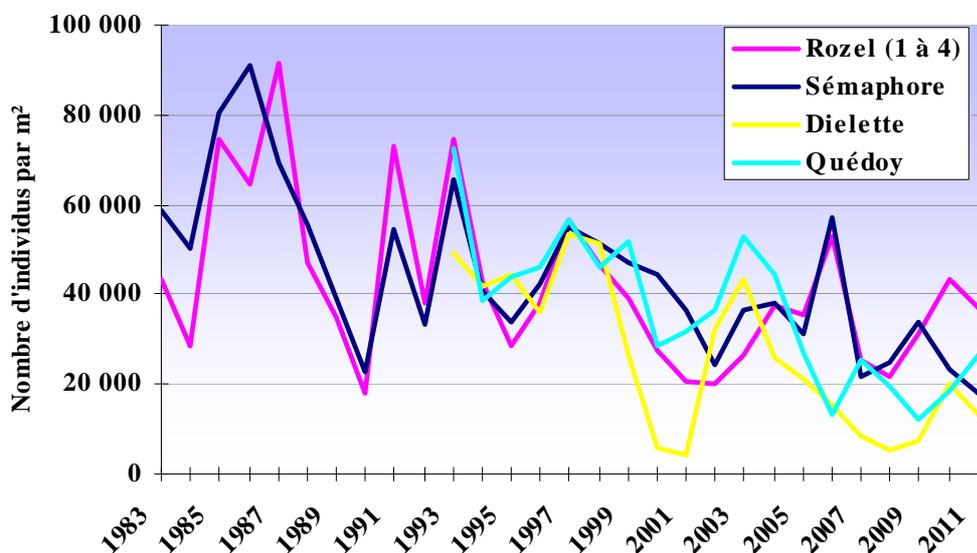
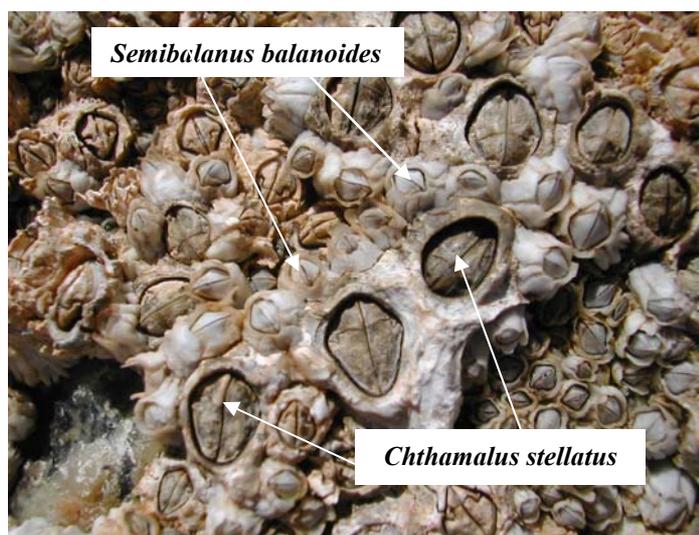


Figure 4.2.4 : Evolution des densités de cirripèdes aux différentes stations

4.2.3.3. Pourcentages et densités des différentes espèces de cirripèdes

Au niveau du domaine intertidal de ce secteur du nord-ouest Cotentin, quatre espèces de cirripèdes sont en compétition pour l'espace, à savoir :

Semibalanus balanoides, *Chthamalus stellatus*, *Chthamalus montagui* et *Elminius modestus* (figure 4.2.5 et photographie 4.2.7). Occasionnellement à ce niveau de l'estran, quelques spécimens de *Balanus perforatus* peuvent être rencontrés. Les proportions des différentes espèces de cirripèdes sont calculées à chaque station.



Photographie 4.2.7 : Cirripèdes à la station du Sémaphore

Principaux cirripèdes en zone intertidale sur Flamanville

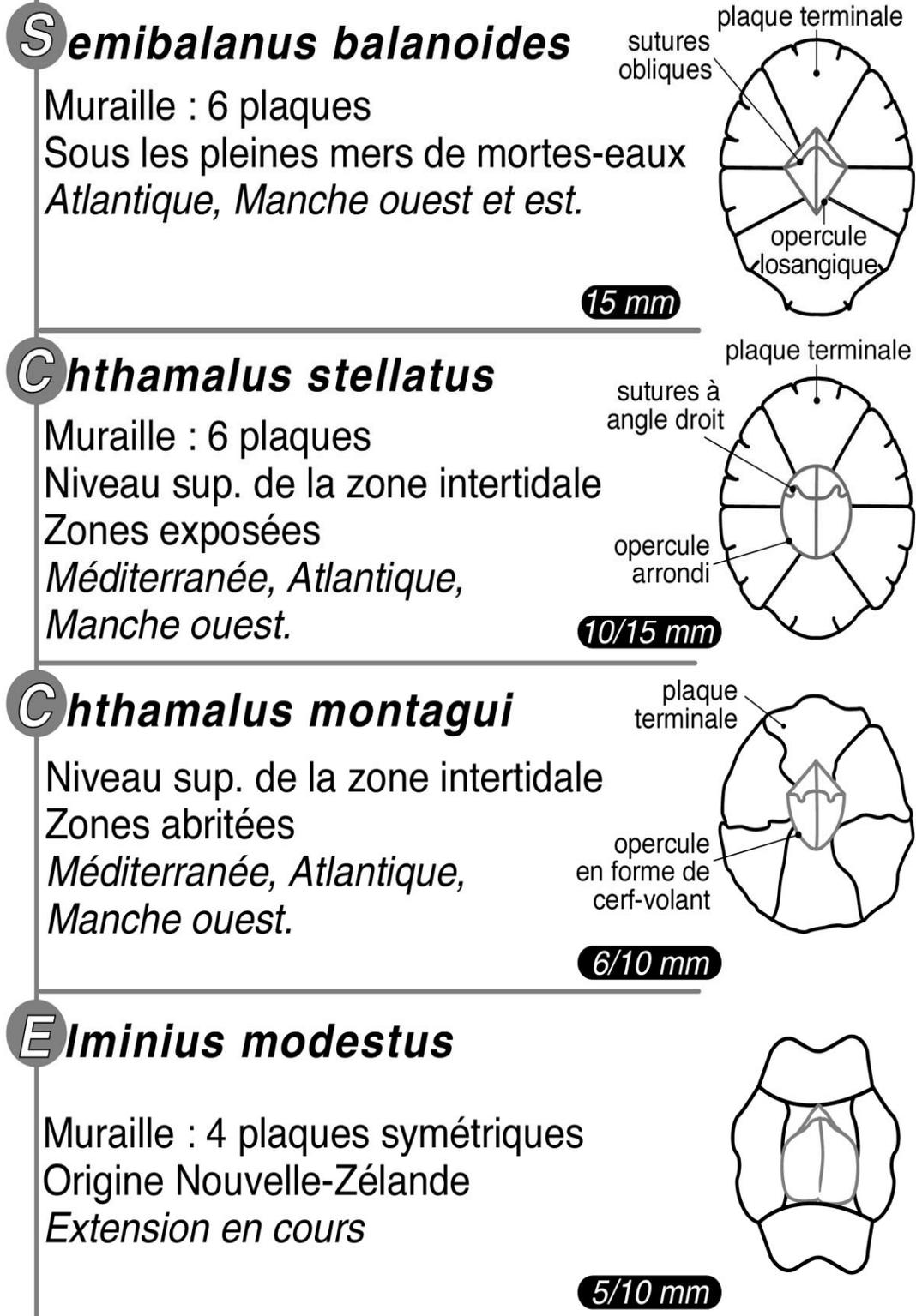


Figure 4.2.5 : Les différentes espèces de cirripèdes rencontrées dans la région de Flamanville

4.2.3.3..1 Résultats 2012

Semibalanus balanoides reste, depuis le début des observations, l'espèce dominante dans la région de Flamanville (figure 4.2.6). Par rapport à 2011, les densités évaluées en 2012 ont évolué différemment d'une station à l'autre : quasi stabilité des valeurs à Diélette, diminution au Rozel et à Quédoy, augmentation au Sémaphore. Cette espèce représente en 2012 91 % du total des cirripèdes à Diélette, 89 % au Sémaphore, 73 % au Rozel et 57 % à Quédoy (figures 4.2.7 et 4.2.8).

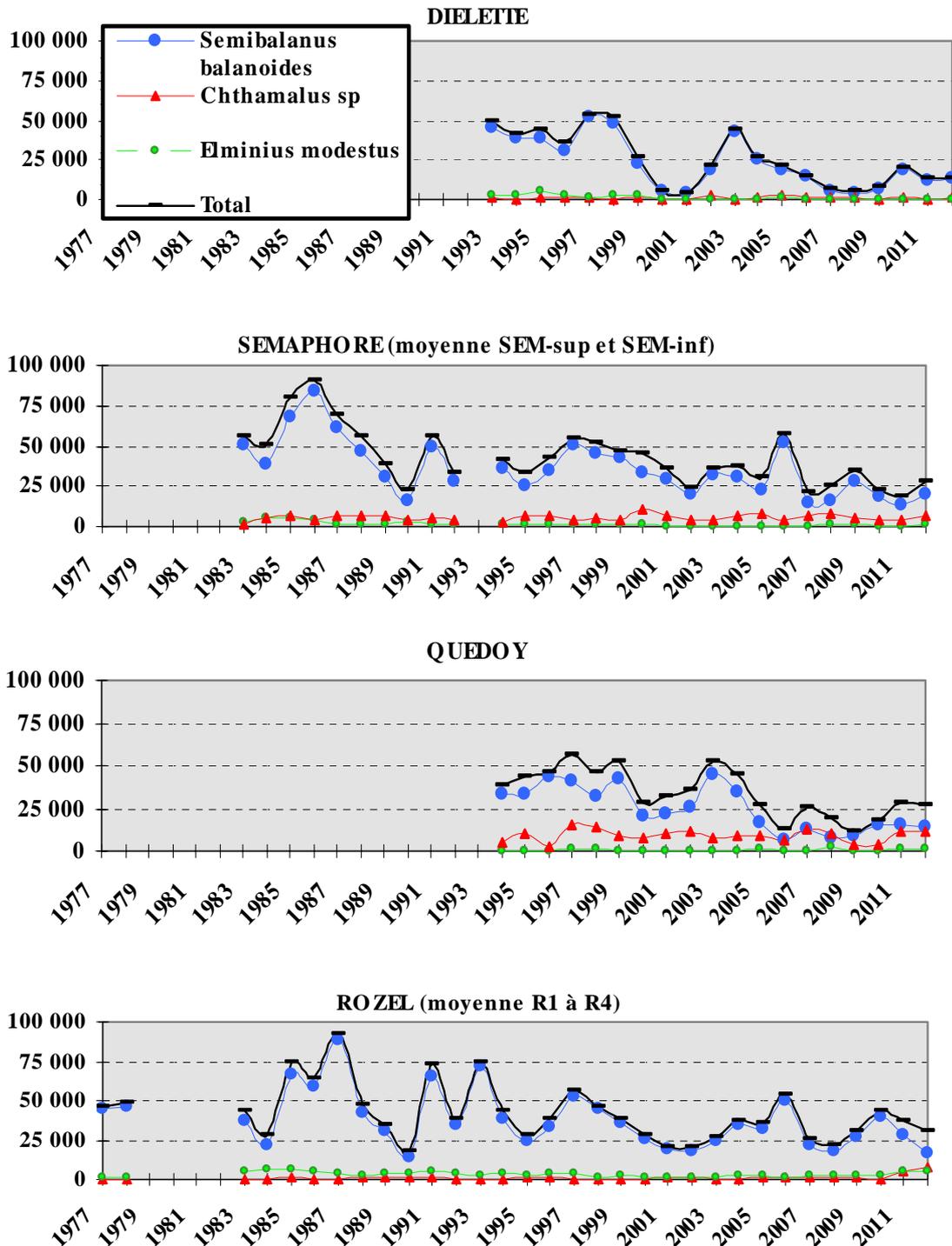


Figure 4.2.6 : Evolution, en nombre d'individus par m², des densités des quatre espèces de cirripèdes depuis 1983

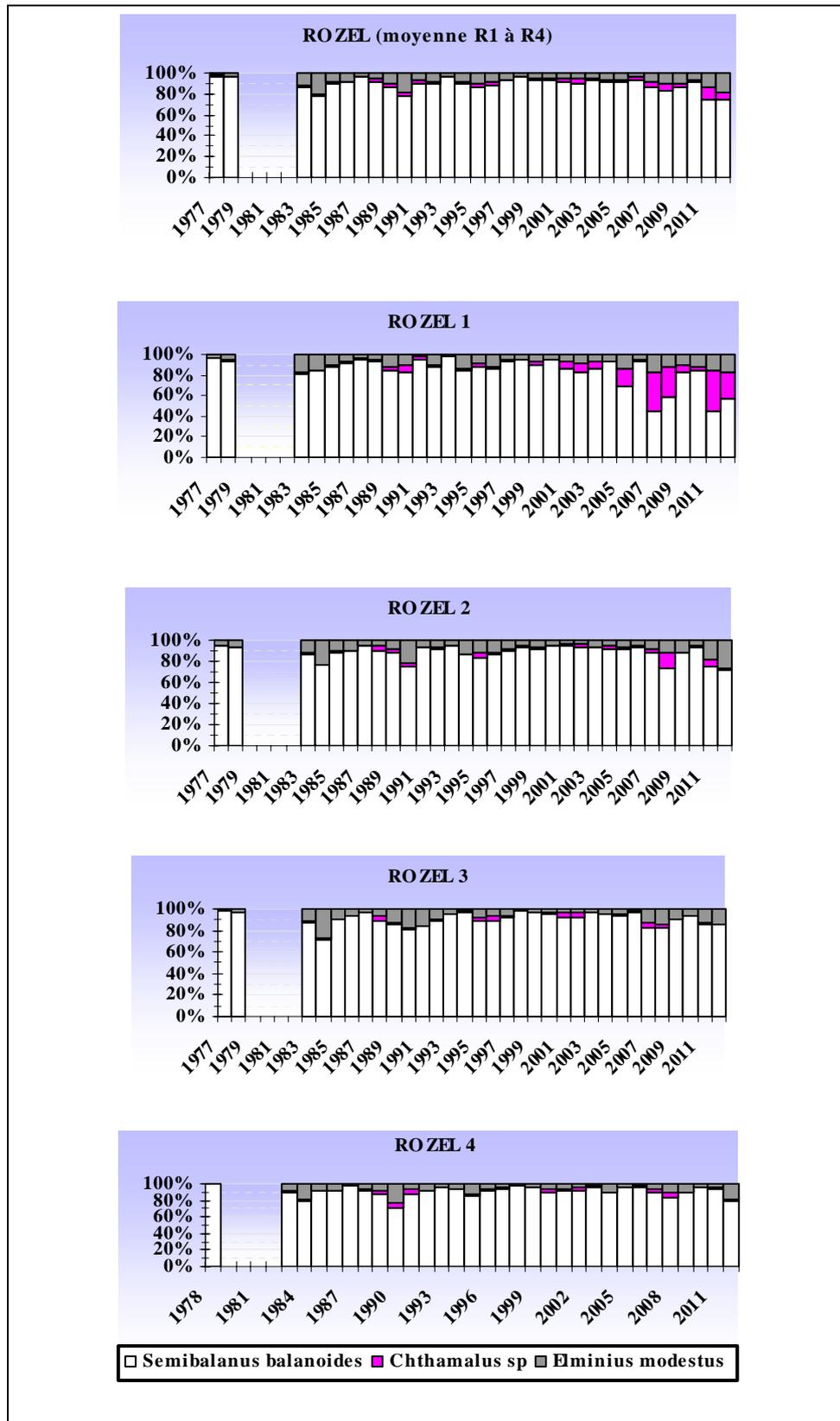


Figure 4.2.7 : Evolution en % des quatre espèces de cirripèdes à la pointe du Rozel depuis 1977 (Les deux espèces de Chthamales ont été regroupées au niveau du genre)

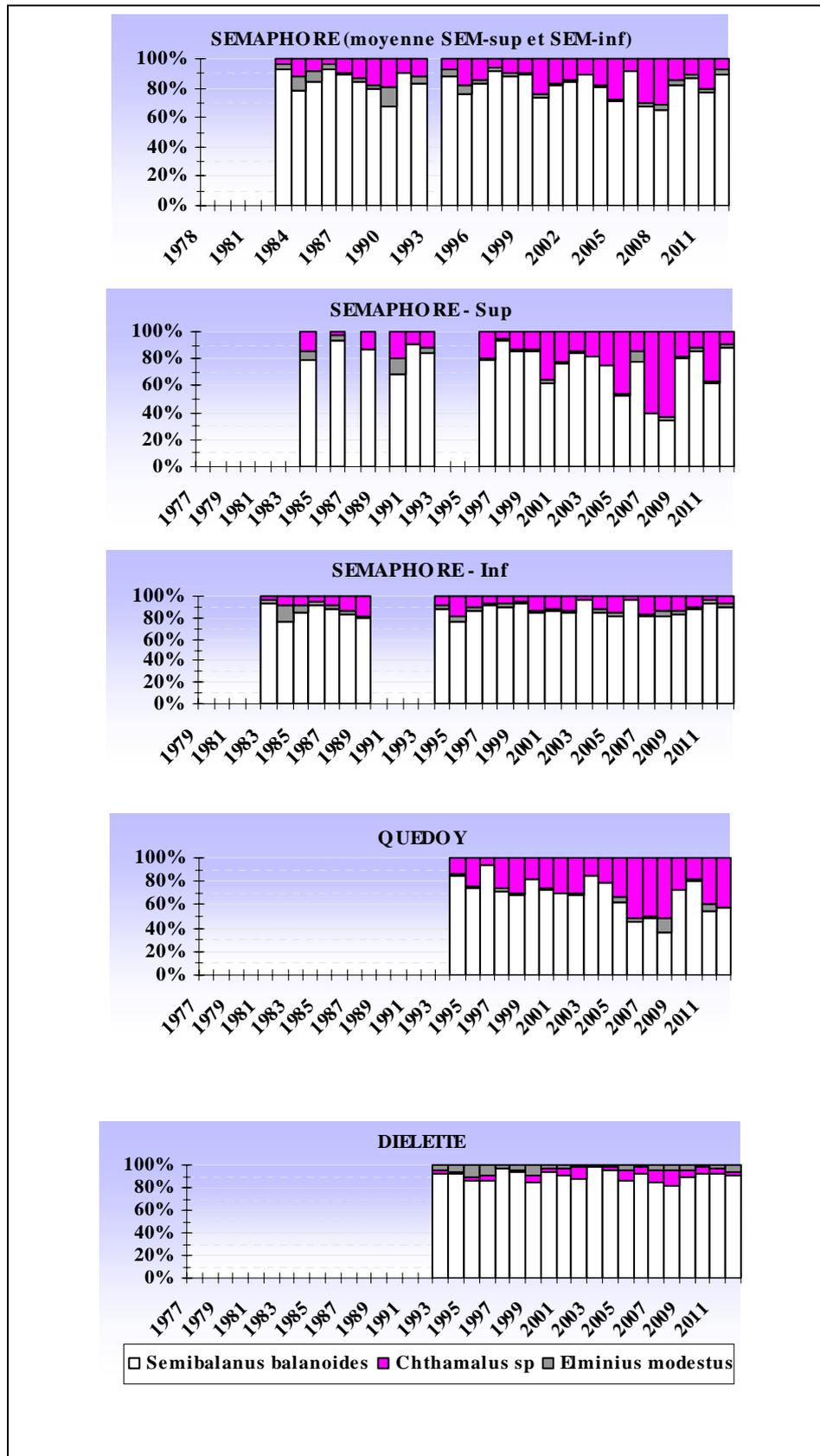


Figure 4.2.8 : Evolution en % des quatre espèces de cirripèdes au cap de Flamanville depuis 1983
 (Les deux espèces de Chthamales ont été regroupées au niveau du genre)

Les densités de **Chtamales**, *Chthamalus montagui* et *Chthamalus stellatus*, sont en hausse au Rozel et au Sémaphore, stable à Diélette et à Quédoy.

Ces deux espèces représentent 42 % du total des cirripèdes à Quédoy, 8 % au Rozel, 7 % au Sémaphore et 3 % à Diélette.

Depuis le début des études, l'importance des Chthamales observés est minimale au Rozel (3 % en moyenne), faible à Diélette (5 %), points où le substrat est schisteux. Elle est plus élevée en bas du sémaphore (15 %) et maximale à Quédoy (29 %), points où le substrat est granitique. Ces deux points présentent également la particularité d'être les plus proches de la centrale.

Quant à *Elminius modestus*, sa présence dans le peuplement reste faible, seulement 1 % à Quédoy, 4 % au Sémaphore, 6 % à Diélette et 19 % au Rozel.

4.2.3.3..2 Influence de la température

De même que le recrutement printanier de *Semibalanus balanoides* est proportionnel à la rigueur de l'hiver (figure 4.2.2), un essai de corrélation des densités présentes en fin d'été pour ces quatre espèces est tenté avec la température annuelle moyenne de l'air (figure 4.2.9).

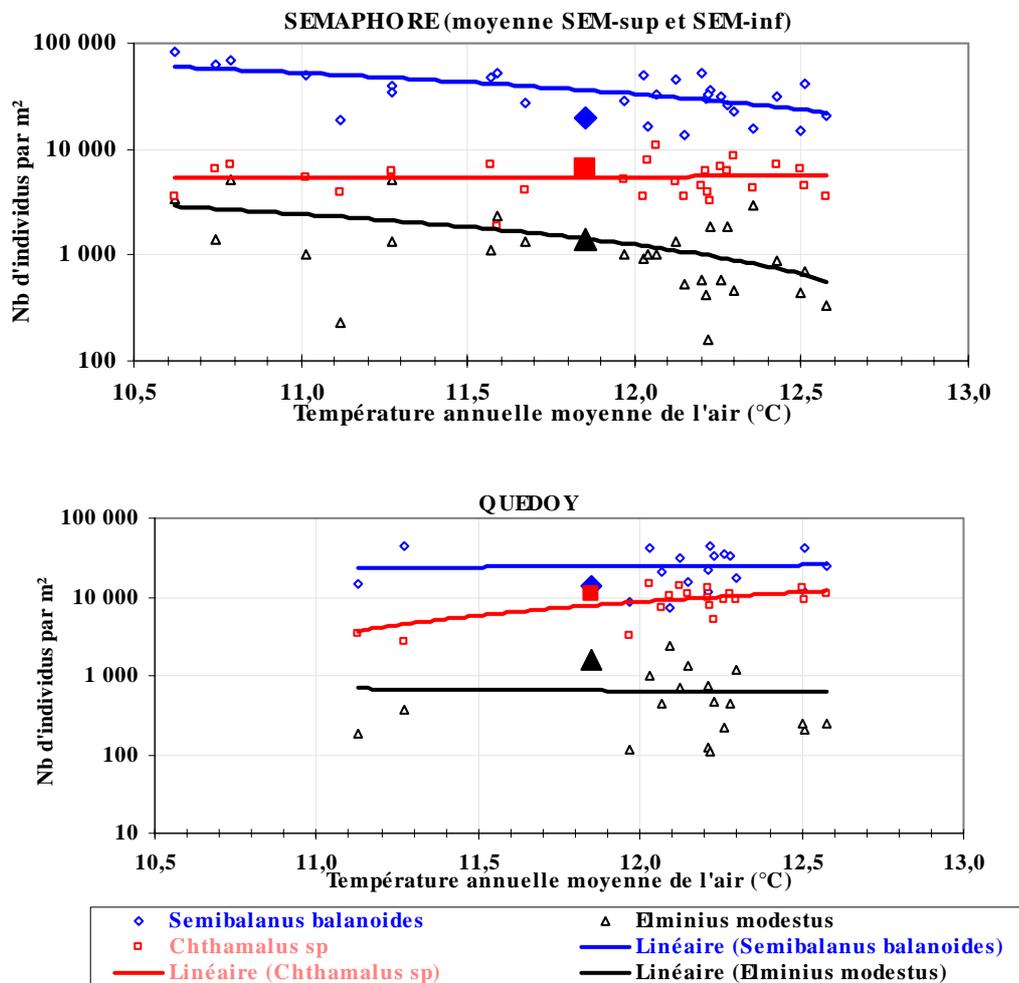


Figure 4.2.9 : Evolution des densités des cirripèdes intertidaux, à la pointe du Rozel (1977-2012), en bas du sémaphore de Flamanville (1983-2012) et dans l'anse de Quédoy (1994-2012), en fonction de la température annuelle moyenne de l'air au cap de La Hague., Valeurs 2012 en symboles colorés

C'est dans la partie supérieure des ceintures de cirripèdes que se développent *Chthamalus montagui* et *Chthamalus stellatus*, espèces plus méridionales, supportant mieux des hausses de températures et une dessiccation plus longue que *Semibalanus balanoides* mais supportant moins des hivers rigoureux.

Au cours des périodes étudiées, les densités de *Semibalanus balanoides* décroissent en fonction de l'élévation de la température moyenne annuelle de l'air, confortant la relation établie entre recrutement printanier et rigueur hivernale.

A l'inverse, les densités de Chthamales augmenteraient en fonction de l'élévation de la température moyenne annuelle de l'air, tant au cap de Flamanville qu'à la pointe du Rozel. L'augmentation semblerait plus importante dans l'anse de Quédoy, point le plus proche de la centrale.

En tout état de cause, l'impact des variations météorologiques (ici, la température de l'air qui agit sur celle de l'eau) semble donc dominant, par rapport à d'autres facteurs, sur les fluctuations d'abondance des cirripèdes du genre *Chthamalus* dans ce secteur de l'ouest-Cotentin.

4.2.3.4. Evaluation des densités des principales espèces accompagnatrices

Les cirripèdes abritent une microfaune abondante et variée. Ainsi, l'analyse des prélèvements effectués en septembre nous révèle différentes espèces de Gastéropodes (*Littorina saxatilis*, *Melarhaphé neritoides*), de Bivalves (*Lasaea adansoni*), d'Annélides polychètes, d'Amphipodes, d'Isopodes (*Campecopea hirsuta*) et même d'Acariens.



Campecopea hirsuta



Nereidé



Melarhaphé neritoides



Littorina saxatilis



Lasaea adansoni



Amphipodes

L'abondance 2012 est plus faible qu'en 2011 excepté au Sémaphore. La diversité faunistique reste stable. Ces deux paramètres restent très irréguliers d'une année à l'autre et d'une station à une autre (tableau 4.2.4).

Les prélèvements réalisés dans la partie inférieure de la population de cirripèdes, plus dense, sont plus diversifiés et abondants que ceux des niveaux supérieurs soumis à une dessiccation plus importante. Ainsi au Rozel, 80 individus ont été comptabilisés en niveau supérieur (Rozel 1) alors qu'en niveau inférieur (Rozel 4) 2996 individus ont été évalués.

| | Rozel 1 | Rozel 2 | Rozel 3 | Rozel 4 | Rozel moyenne | Sémaphore | Quédoy | Diélette |
|--------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------------|-------------|------------|-------------|
| ANNELIDES | | | | | | | | |
| Polychètes errants | | | | | | | | |
| Syllidés | | | 16 | 16 | 8 | | | |
| Spionidés | | | 16 | | 4 | | | |
| Polychètes sédentaires | | | | | | | | |
| MOLLUSQUES | | | | | | | | |
| Bivalves | | | | | | | | |
| Lasaeidés | | | | | | | | |
| <i>Lasaea adansoni (rubra)</i> | | 27 | 160 | 516 | 176 | 272 | 16 | 85 |
| Mytilidés | | | | 16 | | | | |
| Gastéropodes | | | | | | | | |
| Patellidés | | | | | | | | |
| Patella | 16 | 21 | 100 | 104 | 60 | 80 | 91 | 144 |
| Littorinidés | | | | | | | | |
| <i>Littorina saxatilis</i> | 40 | 192 | 92 | 144 | 117 | 568 | 53 | |
| <i>Melarhaphé neritoides</i> | | 136 | 117 | 76 | 82 | 616 | 328 | 140 |
| Trochidés | | | | | | | | |
| <i>Gibbula pennanti</i> | | | 32 | 32 | 16 | | | |
| <i>Gibbula umbilicalis</i> | | | 32 | | 8 | | | 32 |
| CRUSTACES | | | | | | | | |
| Amphipodes | | 16 | | 16 | 8 | 92 | 24 | 16 |
| Sphaeromatidés | | | | | | | | |
| <i>Campecopea hirsuta</i> | 24 | 192 | 101 | 320 | 159 | 192 | 80 | 96 |
| ARTHROPODES | | | | | | | | |
| Insectes | | | | | | | | |
| larves de Diptères | | 107 | 328 | 828 | 316 | 252 | 16 | 27 |
| Arachnidés | | | | | | | | |
| <i>Acarina</i> | | 544 | 628 | 928 | 525 | | | |
| Total individus 2012 | 80 | 1235 | 1622 | 2996 | 483 | 2072 | 608 | 540 |
| Total individus 2011 | 486 | 2936 | 2144 | 9208 | 3694 | 1776 | 624 | 1508 |

Tableau 4.2.4 : Faune associée aux cirripèdes, nombre d'individus par m², septembre 2012

Les densités de *Littorina saxatilis* chutent régulièrement depuis 1985, atteignant des minima en 2008. Après une augmentation en 2009 et 2010, les densités de *Littorina saxatilis* sont à nouveau en baisse en 2011. En 2012 les densités sont en hausse particulièrement au Sémaphore (figure 4.2.10).

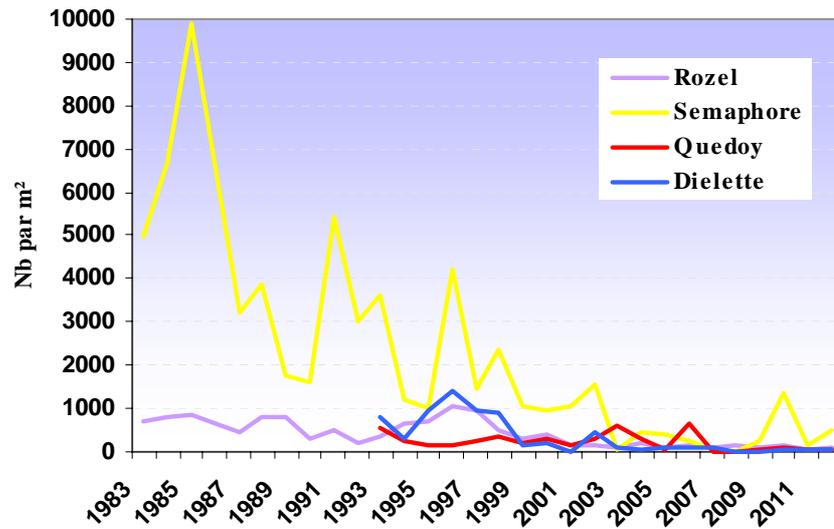


Figure 4.2.10 : Evolution des densités de *Littorina saxatilis* dans les populations de cirripèdes

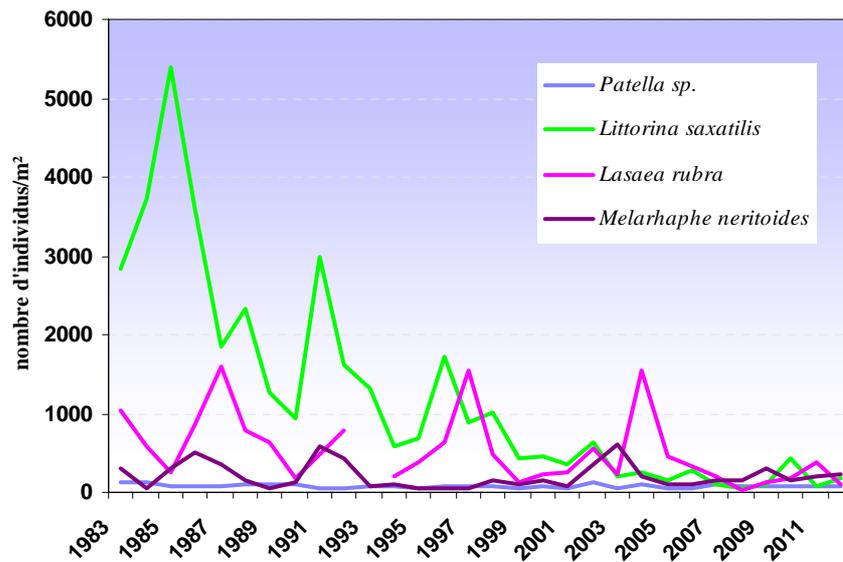


Figure 4.2.11: Evolution des densités des principaux mollusques présents dans les populations de cirripèdes (moyennes des 4 stations suivies)

4.3. Conclusion

Après avoir atteint son minimum en 2011, la biomasse annuelle moyenne de *Fucus serratus* du platier de Dielette est en hausse tant en mars qu'en septembre. Les valeurs restent toutefois inférieures aux moyennes observées sur la période 1983 à 2012. Après la disparition des fucales en limite supérieure de la ceinture en 2010 et 2011, la présence de quelques thalles de *Fucus serratus* est constatée en 2012.

Conformément au développement de l'espèce, c'est en fin d'hiver que la biomasse est la plus basse.

En 2012, la biomasse algale augmente également dans d'autres secteurs en Manche, notamment dans la région de Paluel et aussi à Guissény en Bretagne nord. Cette hausse importante à Flamanville et à Guissény est faible à Paluel.

Les pourcentages de thalles de *Fucus serratus* portant des signes de fertilité en mars, juin et septembre 2011 sont conformes aux valeurs observées depuis le début des études. La population de Fucales de Flamanville se caractérisant par un taux de fertilité élevé en fin d'été.

Le recrutement des cirripèdes est en baisse en 2012. Les quatre stations affichent des valeurs relativement faibles en mars comme en septembre particulièrement au Rozel (pour la seconde année consécutive).

La densité moyenne de cirripèdes évaluée en 2012 est quasiment la même qu'en 2011. Elle reste très inférieure à la moyenne calculée sur la période 1983 à 2012. Les valeurs diminuent particulièrement au Rozel, sont stables à Diélette et à Quédoy et sont en hausse au Sémaphore. *Semibalanus balanoides* reste l'espèce dominante dans la région de Flamanville.

Concernant les Fucales de Diélette et les Cirripèdes de la région de Flamanville, les résultats des observations faites au cours de l'année 2012 n'indiquent pas d'influence directe des rejets de la centrale.

5. Le domaine halieutique

Etude et rapport réalisés au sein de l'Ifremer par

*Jocelyne
Ivan*

*Martin
Schlaich*

*(RBE/EMH)
(RBE/HMMN/RHPEB)*

*avec la collaboration
pour les missions en mer de*

*Olivier
Paul
Adrien
Jerome
Nicolas*

*Berthelé
Bourriau
Tableau
Quinquis
Goascoz*

*(RBE/EMH)
(RBE/EMH)
(RBE/EMH)
(RBE/HMMN/RHPEB)
(RBE/HMMN/RHPEB)*

et du Laphy pour le tri des larves d'araignée

5.1. Larves de crustacés

5.1.1. Matériel et méthodes

5.1.1.1. *Nature et fréquence des observations. Localisation des points de mesures*

Comme pour les autres sites étudiés, les observations effectuées à Flamanville comprennent des pêches de zooplancton auxquelles sont associés des relevés hydrologiques. Le calendrier des missions est donné dans la première partie du rapport (tabl. 1.2.2 page 23). Les cinq missions sur les six prévues par le contrat depuis 1997 se sont déroulées cette année du 13 juin au 27 août à bord du chalutier artisanal le *SALTIMBANQUE* avec des intervalles de temps compris entre huit et trente trois jours ; celui de 33 jours est dû à un effectif de personnels aptes à l'embarquement en baisse depuis 2008. La dernière mission prévue courant septembre n'a pu être réalisée en raison de mauvaises conditions météorologiques.

L'échantillonnage du zooplancton et les relevés hydrologiques sont, depuis 1988, réalisés en quatre points dont la position est indiquée sur la figure 1.2.1 page 21 : le point *canal d'aménée*, le point *rejet* et deux points hors tache thermique (le point 3 étudié depuis le début des études et le point *référence* plus côtier et commun à l'étude du domaine pélagique). Au cours des deux missions allégées ajoutées au contrat en 1997 afin de mieux cerner le pic d'éclosion des zoés d'araignée de mer, seuls ces deux derniers points sont étudiés.

Dans la mesure du possible, la date des campagnes est choisie en fonction des coefficients de marée les plus faibles et, au moins pour les points *canal d'aménée* et *rejet* très proches l'un de l'autre, les mesures sont faites aux alentours de la renverse de courant (généralement renverse de flot qui a lieu environ trois heures après la pleine mer du port de Saint-Malo ; annexe 5.1).

5.1.1.2. *Paramètres hydrologiques*

Depuis 1984, deux paramètres seulement sont mesurés à chaque point : la température de l'eau et sa salinité. Les relevés sont faits à deux niveaux (subsurface et voisinage du fond) ; la sonde utilisée depuis quelques années est la sonde CTD SEABIRD – modèle Sbe 19 n° de série 2649 — de grande précision ($1.10^{-2}^{\circ}\text{C}$ pour les mesures de température et $1 \cdot 10^{-2}$ eps [*échelle pratique de salinité*] pour les mesures de salinité).

5.1.1.3. *Zooplancton*

L'engin utilisé pour les pêches de larves d'araignée est un échantillonneur de type Bongo grand modèle conçu pour l'échantillonnage de l'ichtyoplancton. Ses caractéristiques et ses performances ont été notamment décrites par Sherman et Honey (1971), Smith (1974), Schnack (1974), Aldebert (1975), Arbault et Lacroix (1975).

Pour les pêches de larves de homard de plus grande taille et plus dispersées, nous utilisons un échantillonneur neustonique d'ouverture plus large et de maillage supérieur.

5.1.1.3..1 Description des échantillonneurs

Bongo grand modèle

L'échantillonneur Bongo grand modèle utilisé pour les études de sites comporte deux filets de maillage 505 µm montés sur une même armature et pêchant en même temps. Chaque filet a un diamètre d'ouverture de 0,61 m, mesure 3 m de longueur et présente une partie cylindrique à l'avant du cône de filtration terminal. A chaque embouchure du couple de filets est fixé un débitmètre (2030 *Digital Flowmeter* 10 à 500 cm.s⁻¹ de General Oceanics) permettant le calcul des volumes d'eau filtrés. Un dépresseur en V de 40 kg environ assure la plongée et la stabilité de l'engin en pêche. Chaque filet se termine par un collecteur à oreilles où les organismes se rassemblent dans un volume d'environ 2 litres empêchant leur détérioration.

Neuston

Cet engin, utilisé par Nichols *et al.* (1980), se compose d'un cadre en tube d'aluminium (2 m x 0,80 m) sur lequel est monté un filet de forme conique ayant une longueur de 3 m ; le filet se termine aussi par un collecteur à oreilles. La maille utilisée, tant sur le filet que sur les oreilles du collecteur, est de 1 250 µm. Comme le Bongo, l'ouverture du *Neuston* est équipée d'un débitmètre (*Digital Flowmeter*) afin de calculer le volume d'eau filtré à chaque traict.

5.1.1.3..2 Méthode d'échantillonnage

La méthodologie d'échantillonnage du *Bongo* s'inspire du manuel de standardisation des méthodes (Jossi *et al.*, 1975) édité par le *North East Fishery Center* des Etats-Unis, notamment depuis 1984 où l'on a abandonné les paliers destinés à filtrer un volume d'eau plus important pour compenser la faible profondeur des eaux côtières.

Depuis 1984, la pêche se fait ainsi en traict oblique, depuis le fond jusqu'à la surface à une vitesse de 2 nœuds environ (1 m.s⁻¹). Le volume filtré au cours d'un simple traict oblique (comprenant la descente puis la remontée du filet) a varié cette année entre 60 m³ et 333 m³. Les données concernant chaque traict (sonde, durée, volume filtré) sont indiquées dans l'annexe 5.1 page 187.

L'échantillonneur *Neuston*, utilisé en subsurface à partir de 1983, est totalement immergé depuis 1984 afin d'obtenir des volumes filtrés plus réalistes (par mer agitée, même faiblement, l'immersion aux 2/3 préconisée ne pouvait être effective).

Un deuxième *Neuston* a été utilisé simultanément pour échantillonner l'ensemble de la colonne d'eau de 1988 à 1998 ; selon la profondeur, deux ou trois traicts obliques étaient réalisés à la suite de façon à réaliser un traict de durée suffisante (environ 15 minutes) et similaire à celle du traict de surface. La comparaison des densités de larves de homard pêchées en subsurface et sur l'ensemble de la colonne d'eau au cours de ces onze années a montré (Drévès *et al.*, 2000) que les prélèvements de surface étaient plus adaptés à la récolte des larves de homard. C'est pourquoi nous n'effectuons plus de prélèvements au *Neuston* sur toute la colonne d'eau depuis 1999.

Les prélèvements sont toujours effectués de jour (annexe 5.1 page 187) ce qui est important pour les prélèvements de surface, les larves étant réputées pour se diriger vers la lumière.

Après chaque traict, les filets sont rincés à l'eau de mer afin de rassembler les planctontes dans les collecteurs ; le contenu de chaque collecteur est recueilli dans des flacons de 2 litres.

5.1.1.3.3 Conservation des échantillons

Les échantillons sont fixés à l'aide de la solution décrite par Mastail et Battaglia (1978) légèrement modifiée (Bigot, 1979). Ce liquide conservateur est réalisé à base de formol (solution saturée de formaldéhyde à 36 % environ en masse) neutralisé et dilué à 3 % en volume dans de l'eau de mer additionnée d'agents antioxydants et complexants.

5.1.1.3.4 Dépouillement des échantillons

Comme le prévoit le contrat depuis 1986, l'étude halieutique (partie œufs et larves) ne porte plus que sur le homard et l'araignée.

Les larves de ces deux espèces sont comptées sur la totalité des échantillons et leur stade est identifié.

5.1.1.4. Saisie, stockage et traitement des données

Les données brutes du comptage sont saisies au Centre Ifremer de Nantes sur micro-ordinateur où les effectifs, par espèce et stade de développement, sont ramenés à l'unité de volume filtrée (10 m³). L'ensemble des données est archivé sur la base Quadrige.

5.1.2. Résultats

Les résultats des paramètres hydrologiques (température et salinité), mesurés dans le cadre de l'étude halieutique, figurent annexe 5.2 page 188.

5.1.2.1. Larves de homard, *Homarus gammarus* L. (annexe 5.3 page 189)

La figure 5.1.1 qui rassemble tous les résultats obtenus depuis 1979 par prélèvement de subsurface, montre (symboles bleus) que les densités des trois stades zoés relevées au cours de l'été 2012 sont peu élevées (densité maximale de 0,02 par 10 m³ pour le total des trois stades) et la mégalope récoltée donne une densité de 0,005 par 10m³ du même ordre de grandeur que celles précédemment observées.

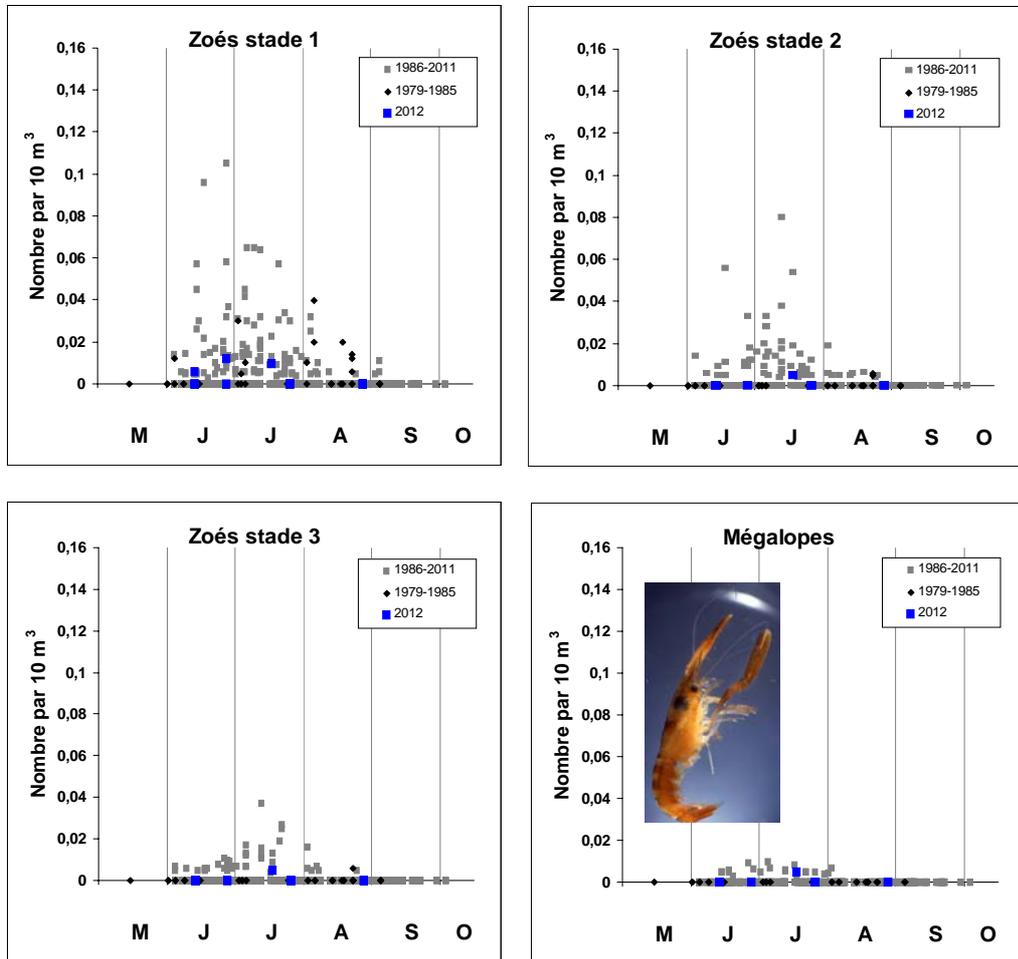


Figure 5.1.1 : Densité des quatre stades larvaires du homard relevées en subsurface depuis le début des études

Aucune larve n'a été observée dans les prélèvements au Bongo.

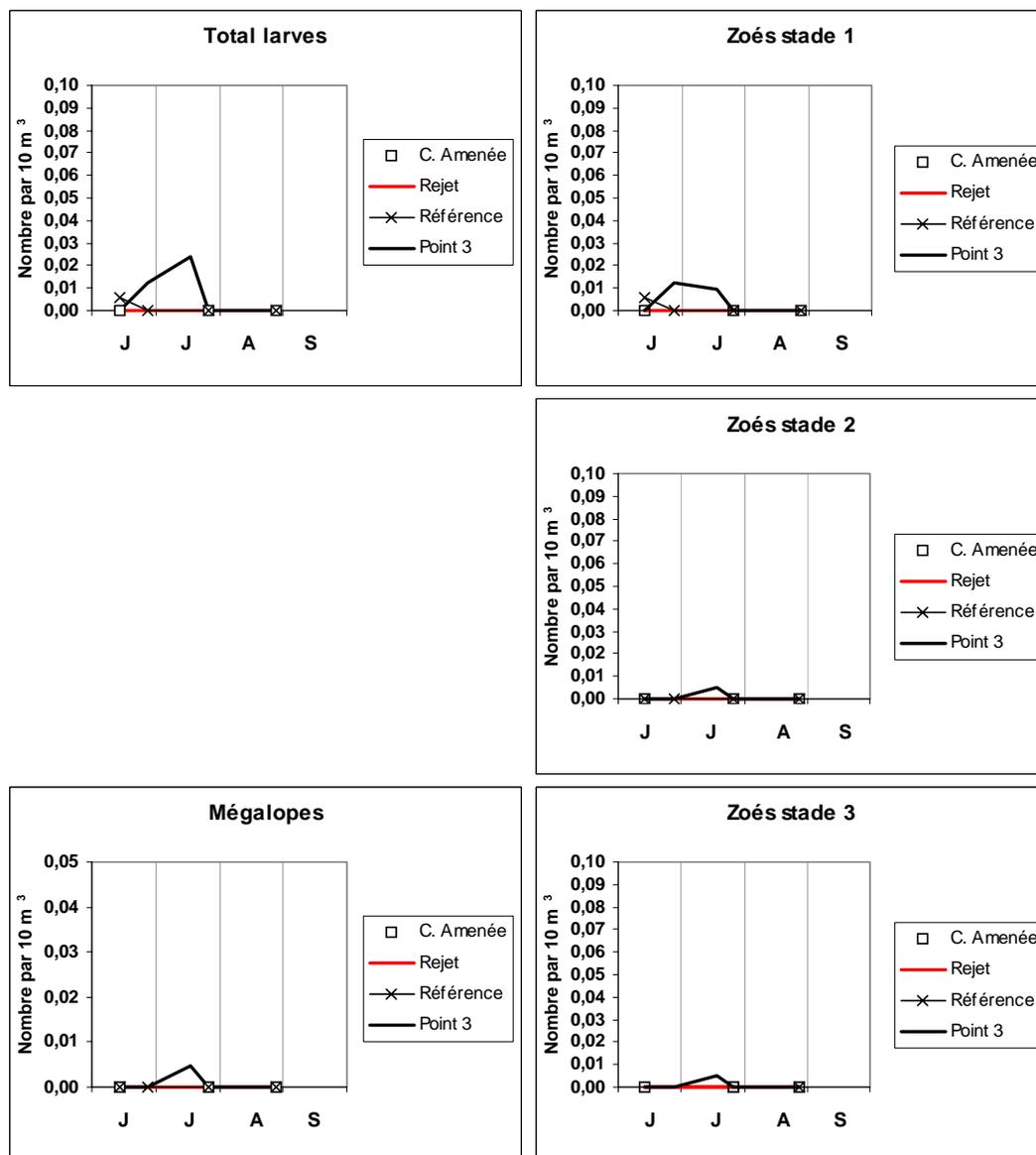


Figure 5.1.2 : Densité des quatre stades larvaires du homard *Homarus gammarus* relevées en subsurface en 2012

La figure 5.1.2 relative à l'année 2012 et aux récoltes de subsurface au neuston montre que les larves de homard ont été observées au cours des trois premières missions, soit du 13 juin au 17 juillet et que les quatre stades sont représentés. Les stades 1 ont été récoltés sur l'ensemble de la période, les stades suivants seulement le 17 juillet.

La figure 5.1.3 qui illustre la répartition des larves aux différents points de prélèvement, montre que celles-ci se partagent essentiellement entre le point référence et le point 3 avec souvent des densités supérieures au point référence. Cette année lors de la première mission de juin la seule larve observée (stade 1) a été récoltée en ce point où il n'en a pas été récolté d'autres par la suite ; il est donc possible qu'il y ait eu d'autres éclosions au point référence avant la première mission. Aucune larve n'a été observée depuis 2008 aux environs du rejet où leur présence est plus sporadique. Leur absence dans les prélèvements du canal d'amenée est habituelle puisque nous n'en avons observé qu'une fois (en 2004) depuis 1988.

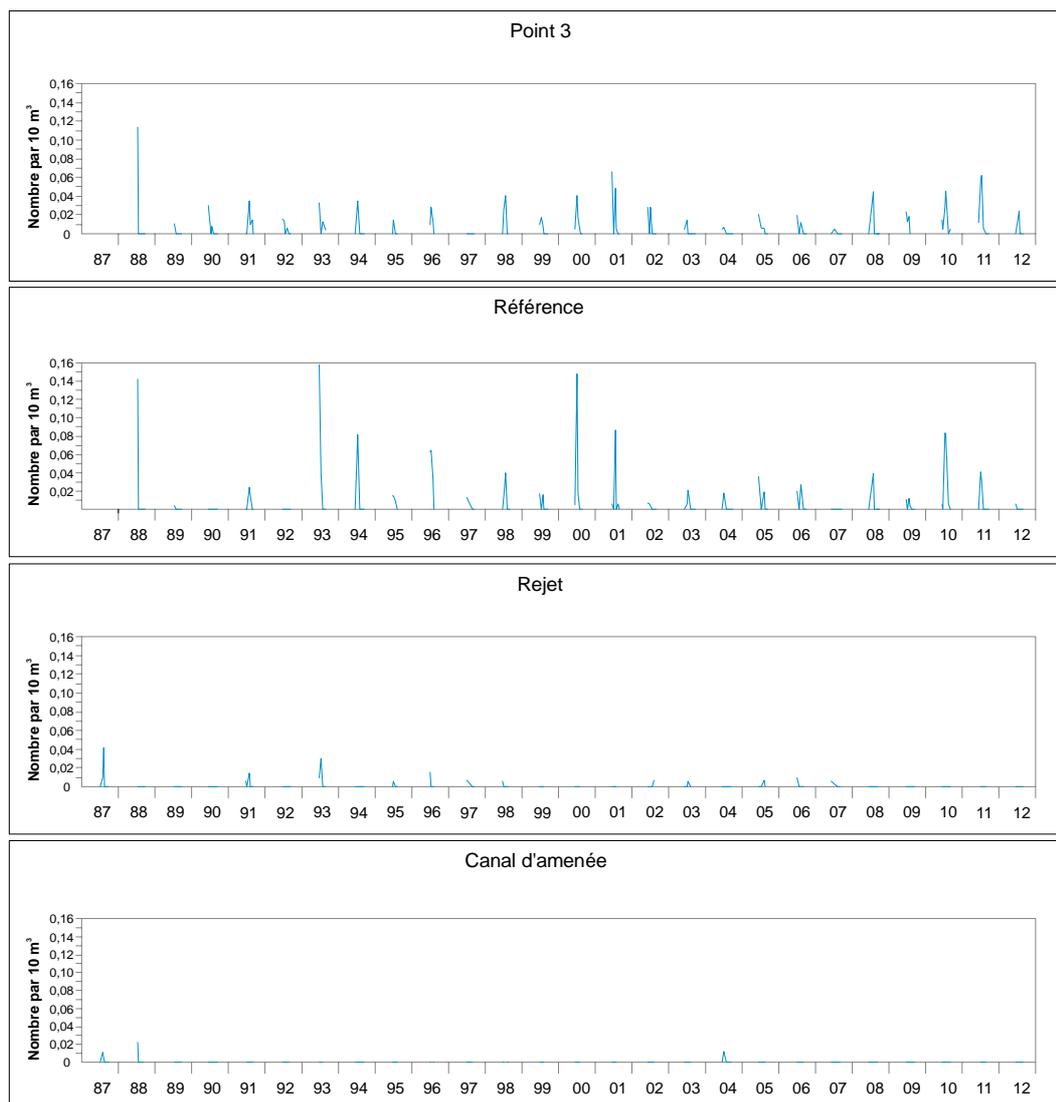


Figure 5.1.3 : Densité des larves de homard relevées en subsurface aux différents points depuis le début de la surveillance 2^e phase

5.1.2.2. Larves d'araignée, *Maja brachydactyla* Balss (annexe 5.4 page 190)

Les récoltes réalisées au point du large (point 3), régulièrement le plus riche en zoés d'araignée et situé en dehors de la tache thermique, nous ont permis d'étudier l'influence du climat sur la période d'éclosion de cette espèce. Nous reprenons ici les résultats de la publication de Martin & Planque (2006) sur les 20 années d'étude de surveillance (1986-2005).

La température de l'eau prise en compte est celle effectuée quotidiennement à l'entrée de la centrale depuis sa mise en fonctionnement (mesure E.D.F. "source amont site"); même si les températures relevées dans cet endroit peu profond sont généralement supérieures (en moyenne $0,6 \pm 0,7^{\circ}\text{C}$) à celles du point 3 où sont échantillonnées les larves et celles de secteurs où se trouvent les femelles pendant l'incubation, voire avant la ponte, elles permettent néanmoins de comparer les cycles annuels entre eux avec une précision acceptable.

L'analyse de la corrélation entre la série de températures cumulées sur différentes périodes et la date d'apparition des zoés dans le plancton qui traduit le début des éclosions (Martin et Planque, 2006) a montré qu'il n'y avait pas de corrélation significative entre la température de janvier et

le démarrage des éclosions alors que la corrélation est significative à partir du mois de février et jusqu'en mai.

Ces résultats ont permis de construire un modèle prédictif de la date d'éclosion à partir des températures mesurées au cours de la période 1^{er} février-31 mai (figure 5.1.4, graphe gauche). Ce modèle montre qu'un accroissement de la température moyenne de 1°C entraîne une avance de 20 jours dans l'apparition des zoés dans le plancton ; plus la quantité de chaleur reçue du 1^{er} février au 31 mai est forte, plus l'éclosion des zoés d'araignée s'avère précoce. Un décalage de 2 mois est observé entre les deux années extrêmes (1986 et 2002) qui montrent un écart de 3°C dans la température moyenne mesurée sur la période 1^{er} février-31 mai. Le modèle de droite (figure 5.1.4) construit à partir des températures mesurées sur une période plus courte, de 4 semaines seulement (1^{er} février-10 mars), explique déjà 75% de la variance. Il est donc possible de prédire la date d'apparition des premières zoés dans le plancton à partir du 10 mars avec une assez bonne précision.

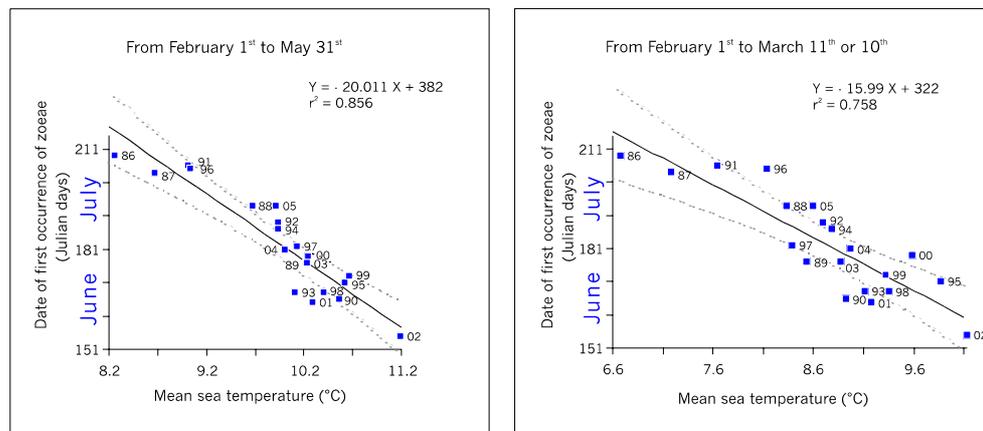


Figure 5.1.4 : Modèles prédictifs de la date d'apparition des zoés d'araignée de mer

En 2012, la température moyenne de l'eau mesurée à l'entrée de la centrale sur la période allant du 1^{er} février au 10 mars était de 9,2°C, température nettement supérieure à la moyenne pour cette période ; selon la prédiction donnée par le modèle de droite on s'attendait à observer les premières zoés vers le 22 juin. En fait des zoés ont été observées dès la première mission le 13 juin. Le début des éclosions s'est donc produit un peu plus tôt. Le modèle de gauche établi à partir des températures de février à mai (moyenne 2012 : 10,6°C) prévoyait d'ailleurs un début des éclosions plus proche de la réalité soit le 17 juin.

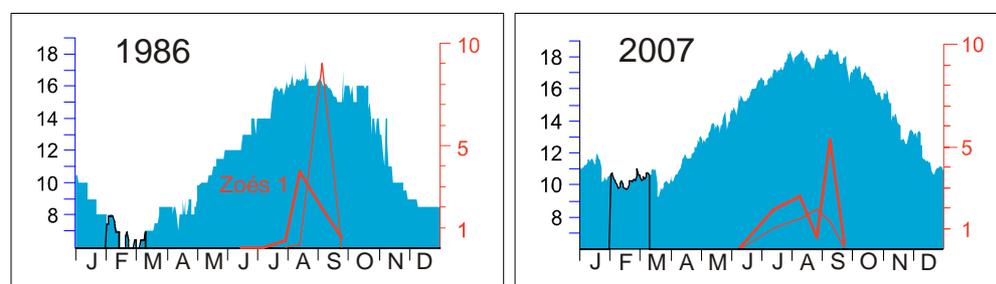


Figure 5.1.5 : Évolution saisonnière des zoés d'araignée lors des deux années extrêmes de la période 1986-2007

La figure 5.1.5 illustre pour les deux années extrêmes de la période 1986-2012 l'évolution saisonnière de la température de l'eau mesurée à l'entrée de la centrale et celle des zoés d'araignée au point 3. On voit que l'apparition précoce des zoés en 2007 (début juin) fait suite à une période février-mai très douce alors que le démarrage tardif observé en 1986 (fin juillet) s'explique par des températures moins clémentes de février à mai.

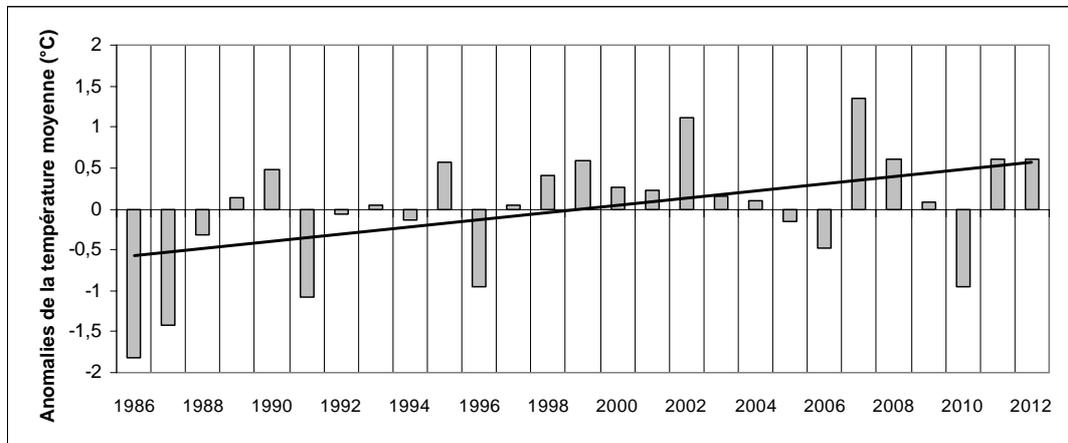


Figure 5.1.6. Anomalies de la température moyenne sur la période février-mai

La tendance au réchauffement démontrée par Martin & Planque à partir de 20 années d'études, tendance observée aussi pour le site de Gravelines (Woehrling *et al.*, 2005) et au niveau mondial (IPPC, 2001) est illustrée par la figure 5.1.6 mise à jour pour les dernières années. Cette figure montre que le printemps 2012 est comme celui de 2011 bien au-dessus de la moyenne après celui de 2010 très froid.

En 2012 la densité maximale de zoés relevée mi juillet (10,4 par 10 m³ ; figure 5.1.7), est de l'ordre des maximales généralement observées mais moins importante que les densités exceptionnelles relevées en 2010 (densité de 24,6 par 10 m³ en référence qui s'explique par une forte abondance de prézoés dans un des deux réplicats) et en 1983 (61 zoés par 10 m³ au point 3).

Le pic d'abondance des zoés au premier stade atteint dès la fin juin au point 3 la valeur de 5,9 par 10 m³ puis diminue pour amorcer fin août un éventuel deuxième pic ; la densité de mégaloopes est maximale de la mi-juillet à la fin juillet.

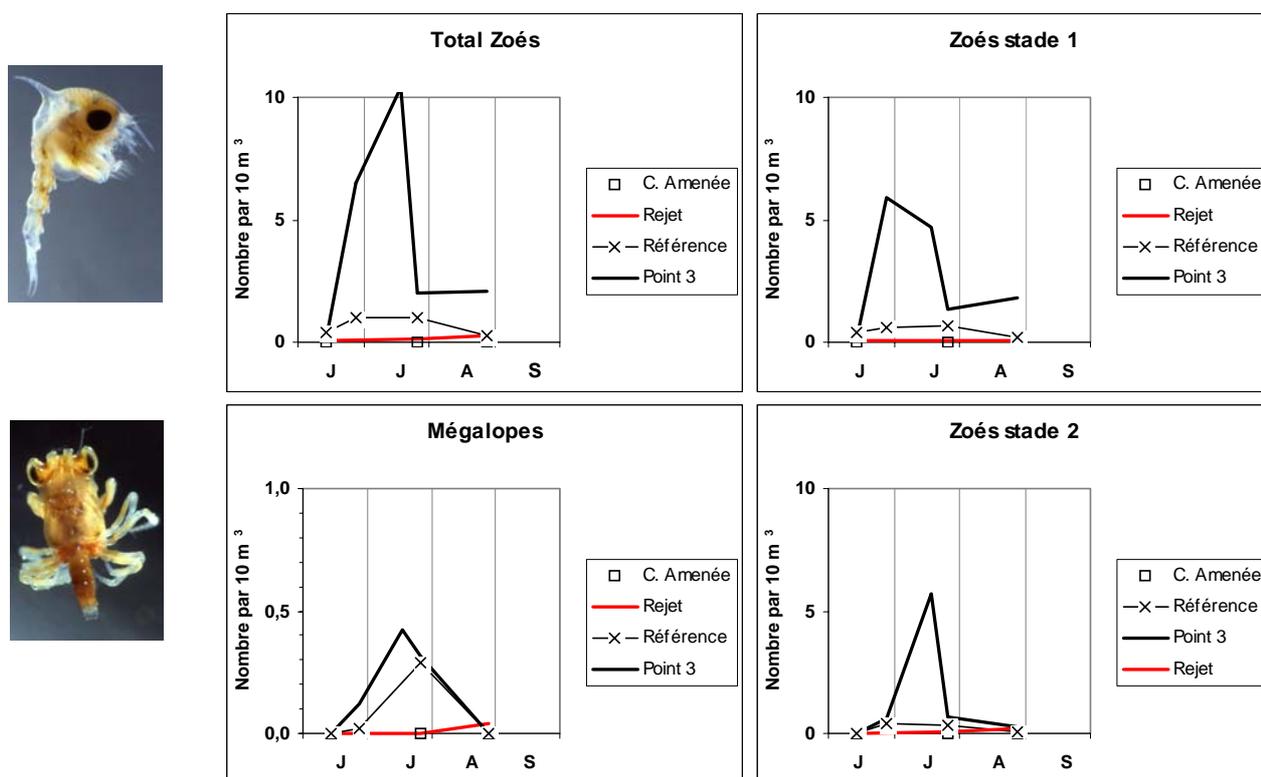


Figure 5.1.7 : Densité des différents stades larvaires d'araignée de mer en 2012

Les figures 5.1.7 à 5.1.9 confirment ce qui a été observé antérieurement quant à la richesse relative des quatre points :

- La richesse en zoés des point 3 et référence comparée aux autres points ; le point 3 présente généralement les plus fortes densités comme c'est le cas encore cette année, le point référence se caractérisant par une abondance notable en zoés, parfois proche de celle du point 3, voire qui la dépasse parfois (en 2002, 2008 et plus particulièrement 2010). La densité de mégaloopes est, comme cette année, généralement bien répartie entre le point 3 ; seules les années 2006 et 2008 présentaient une abondance plus forte au point référence ;
- La faible quantité de larves aux alentours des bouches de rejet avec cette année des densités maximales de 0,26 zoés et 0,04 mégaloopes par 10 m^3 ;
- Aucune larve d'araignée n'a été récoltée cette année encore dans le canal d'amenée ; jusqu'en 1991 leur présence était notée chaque année mais ensuite des zoés n'ont été observées que 3 fois (en 1994, 1996 et 2007) et les mégaloopes 2 fois (en 2000 et 2008).

Rappelons que la surveillance des points canal d'amenée et rejet a été initiée à la demande express de *Électricité de France*. Il nous est difficile de porter un jugement sur les résultats obtenus en ces points car avant les travaux liés à l'implantation de la centrale le point étudié le plus proche de la côte était le point 0 situé au droit du site à une distance de 0,5 miles, donc nettement moins proche de la côte. Ce point présentait des abondances notables de zoés d'araignée en 1978 et 1979 devenues plus faibles de 1983 à 1986 (cf Drévès *et al.*, 2006).

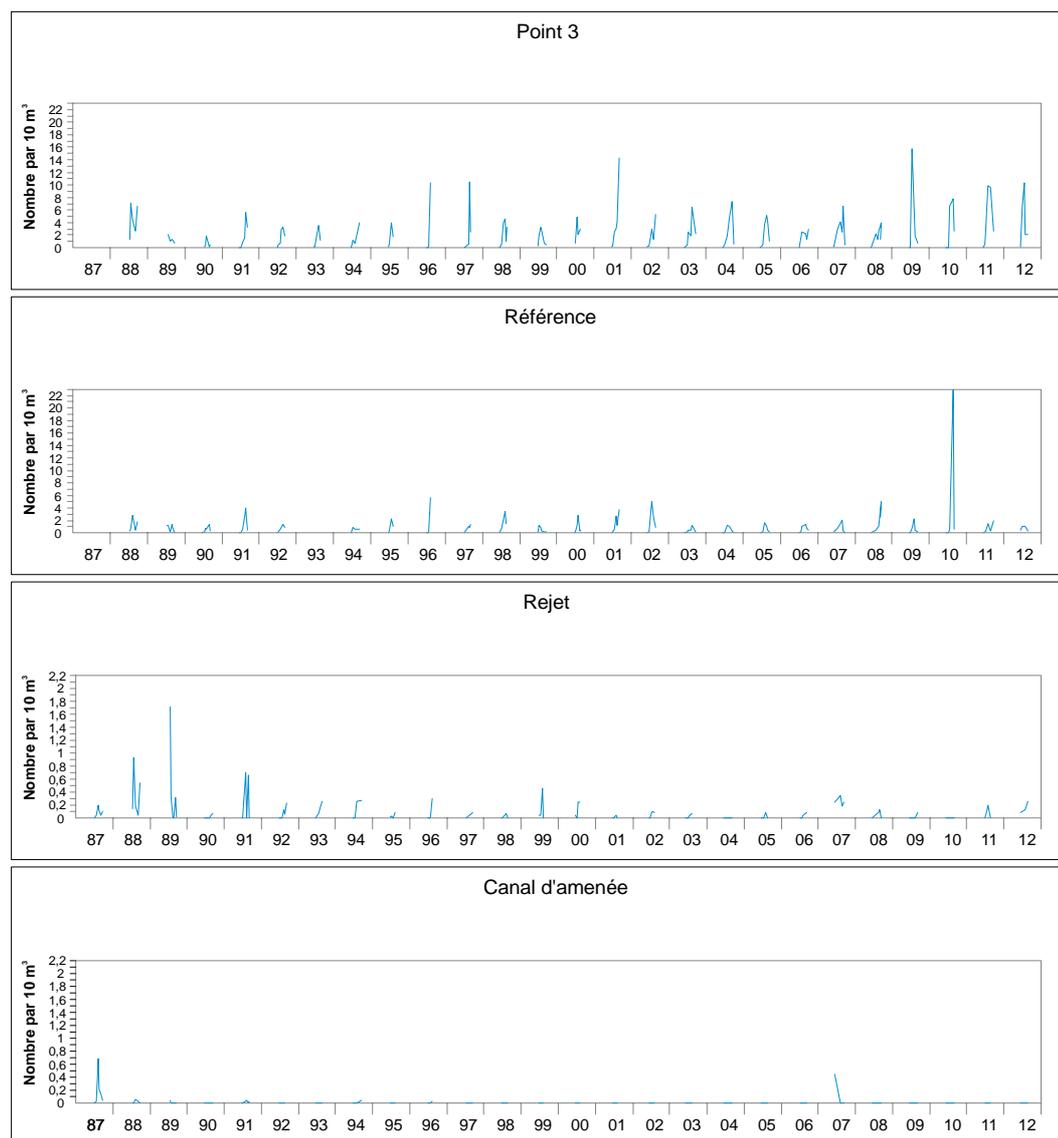


Figure 5.1.8 : Densité des zoés d'araignée de mer relevées aux différents points depuis le début de la surveillance 2^e phase

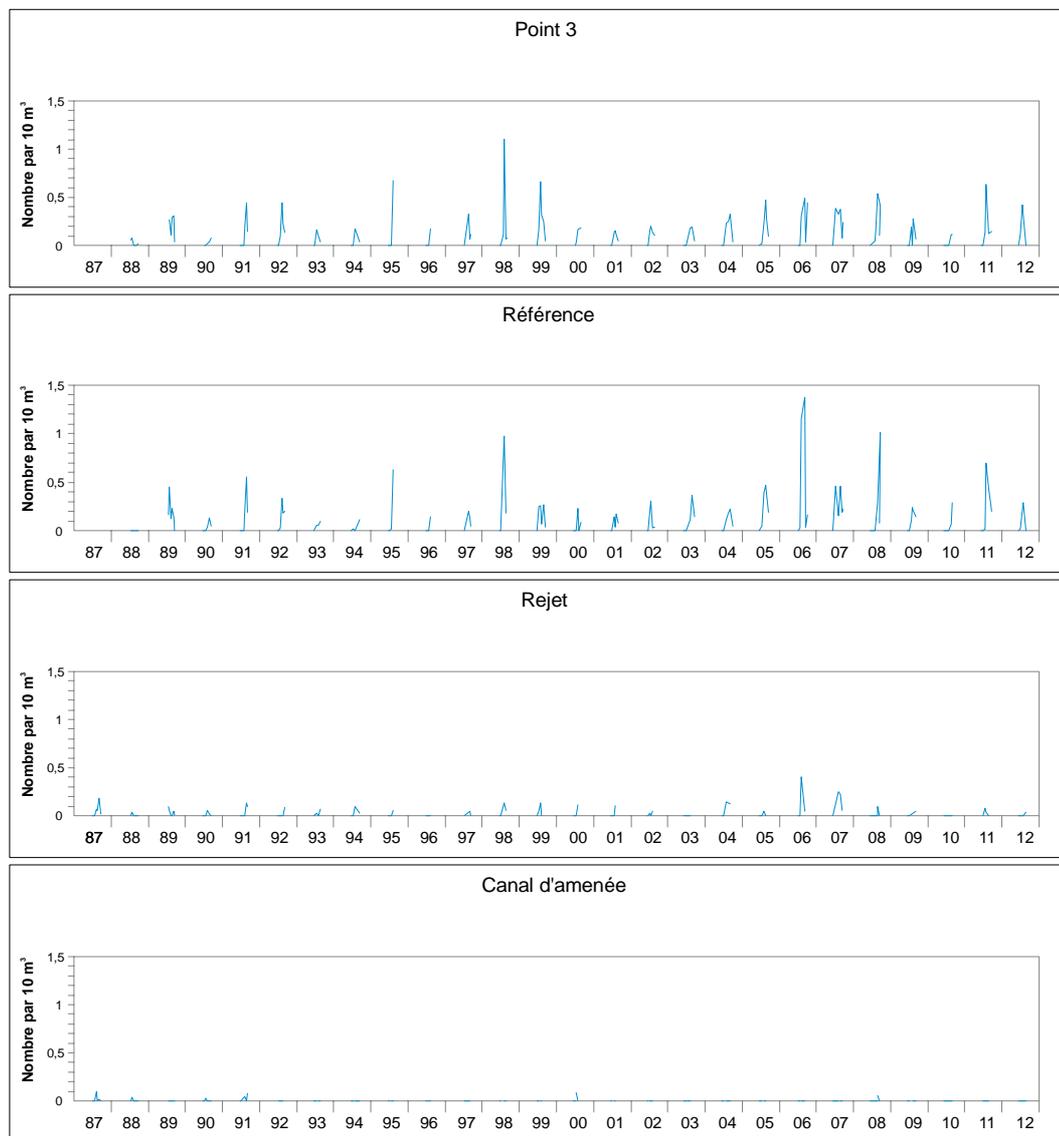


Figure 5.1.9 : Densité des mégalopes d'araignée de mer relevées aux différents points depuis le début de la surveillance 2^e phase

5.1.3. Conclusion

Comme l'illustre la figure 2.2.2 de la page 33 les températures du premier semestre 2012 sont bien au-dessus de la moyenne. C'est ainsi que le début des éclosions de larves d'araignée a commencé au cours de la première quinzaine de juin comme nous pouvions le prévoir dès le début du mois de mars.

La densité de zoés atteint la valeur maximale (10,4 par 10m³) dès la mi juillet, valeur qui se situe parmi les valeurs les plus importantes observées antérieurement en excluant cependant les années 2010 et surtout 1983 qui sont exceptionnelles. La densité maximale de mégalopes observée également mi juillet (0,42 par 10 m³) est moyenne. Notons que les larves d'araignées sont régulièrement assez abondantes depuis 2009.

Après avoir noté en 2010 que le point référence pouvait être un lieu important d'éclosion de larves d'araignée on retrouve cette année comme l'an passé la prépondérance du point 3 ; des zoés et mégalopes d'araignée ont été observées cette année comme l'an passé dans les environs du rejet après leur absence en 2010 mais nous n'en avons observé aucune dans le canal d'amenée où elles sont très rares.

Le pic d'éclosion de larves de homard se dessine fin juin comme en 2011 après quelques années où la précocité des éclosions nous faisait manquer le pic. Comme en 2011 les larves ont été observées jusque fin juillet mais la densité maximale est plus faible (0,02 par 10 m³).

Les résultats de l'année 2012 ne révèlent pas de déséquilibre du milieu qui pourrait être imputé au CNPE de Flamanville. Les fluctuations temporelles de la date des pics d'éclosion sont le reflet des variations climatiques.

5.2. Surveillance de la pêche côtière des crustacés

L'étude de Projet relative aux ressources halieutiques du site de Flamanville a mis en évidence l'intérêt de la pêcherie de crustacés du Nord-Ouest Cotentin pour la flottille artisanale travaillant au casier dans ce secteur. Les observations se poursuivent donc depuis 1980.

5.2.1. Pêche professionnelle

5.2.1.1. Flottille

En 2011, la flottille est répartie de la façon suivante :

- 3 bateaux à Goury,
- 7 à Dielette,
- 19 à Carteret
- 6 à Portbail.

5.2.1.2. Activité

Les conditions météorologiques observées dans cette zone ne permettent pas aux petits navires de travailler de façon régulière toute l'année, les obligeant souvent à rester à quai pendant la période hivernale. Ainsi sur les 36 navires armés à la pêche en 2011 seuls 14 sont partiellement actifs au mois de janvier (Tab.5.2.1). Les plus gros, c'est à dire ceux dont la longueur est comprise entre 10 et 12 m, sont basés à Carteret et travaillent presque toute l'année. D'une manière générale la flottille fréquentant les lieux de pêche est plutôt ancienne puisque l'âge moyen est de 22 ans. Les bateaux les plus récents sont basés à Portbail. Ce sont pour la plupart des gros doris en alu dont la longueur est comprise entre 8 et 10,5 m et qui pratique la pêche au bulot. Il y a donc très peu de renouvellement et encore moins de changement radical d'activité.

Les crustacés sont considérés comme des espèces régionales. En conséquence, leur pêche n'est pas encadrée par un système de quotas européen mais dépend des comités Régionaux des pêches et en l'occurrence ici, de celui de Basse Normandie. Celui ci fixe annuellement une quantité de licences de pêche dont le nombre est constant depuis quelques années.

Les problèmes de ressources ainsi que la limitation du nombre de casiers par homme embarqué ont poussé les pêcheurs de crustacés ou de bulot à diversifier leur activité. Ceux qui possédaient une autre licence de pêche l'ont utilisée. Quant aux autres, ils se sont reportés vers d'autres espèces.

Ainsi les caseyeurs à gros crustacés de la zone, et en fonction des périodes de pêche, peuvent pratiquer simultanément le casier à bulot, le casier à seiche ou le filet à sole. L'interdiction de pêche dirigée vers la raie brunette instaurée en 2010 a considérablement limité l'activité, très largement pratiquée auparavant, du filet à raie. D'autres métiers plus confidentiels et considérés comme opportunistes peuvent venir en complément et faire qu'à certaines périodes de l'année un patron peu pratiquer jusqu'à 4 métiers dans un même mois. L'effort de pêche de cette flottille, de loin la plus importante en nombre d'unités, reste concentré dans les zones très côtières en marées de vives-eaux, dans les secteurs plus larges du cap de la Hague ou des Ecréhous en marées de mortes-eaux. Les sorties en mer dépassent très rarement les 12 heures.

Parallèlement, il existe une petite quinzaine de bateaux dont l'activité principale est dirigée vers le bulot. La zone de pêche fluctue au cours de l'année mais reste assez côtière. Elle s'étend du sud de Portbail à l'anse de Sciotot mais se développe un peu ces dernières années au nord de Flamanville.

Les métiers de la drague à coquille, du chalut de fond ou à perche sont pratiqués par des unités de tailles plus importantes, dépassant parfois les 11 m. Elles fréquentent pendant l'hiver principalement les petits gisements situés au large de Carteret ou ceux du nord Cotentin pour les coquillards, le nord de Jersey pour les perchistes ou le sud de la zone étudiée pour les chalutiers. Ces bateaux sont essentiellement basés à Carteret.

Les périodes d'activités des principaux métiers pratiqués par la flottille travaillant aux alentours de la centrale de Flamanville sont répertoriées dans le tableau 5.2.1.

| Année 2011 | Mois | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Casier à crustacés | 8 | 13 | 14 | 14 | 17 | 19 | 15 | 15 | 14 | 14 | 14 | 13 |
| Casier à bulot | 2 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 |
| Casier à seiche | | | 2 | 9 | 8 | | | | | | | |
| Filet à sole | 2 | 3 | 4 | 4 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 |
| Palangre | | | | | | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Chalut de fond | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Chalut à perche | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| Ligne à bar ou à lieu | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Drague à praire | | | | | | | | | | | | 2 |
| Drague à coquille | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | | | | | | 1 | 2 |

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Bateaux inactifs | 21 | 7 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| Bateaux actifs | 14 | 28 | 33 | 34 | 34 | 34 | 32 | 33 | 34 | 34 | 33 | 33 |
| Total | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |

I : Nombre de navires ayant pratiqué au moins une fois un métier dans le mois

Tableau 5.2.1 : Périodes d'activités des principaux métiers pratiqués par la flottille

5.2.1.3. Production

En 2011, les déclarations faites par les professionnels fréquentant le secteur de Flamanville (source BCS) font apparaître une production de 274 tonnes de crustacés, soit une augmentation de 46% par rapport à 2010. Le plus gros des apports est composé de homards et de tourteaux dont les poids débarqués sont respectivement de 95 et 109 tonnes. L'araignée arrive en troisième position avec 66 tonnes.

La production de buccin est de 1500 tonnes. Cette quantité représente une augmentation de 200 tonnes par rapport à l'an passé. Cela s'explique par le fait que les professionnels déclarent maintenant régulièrement leurs captures.

D'autres espèces, parmi lesquelles on trouve : la Coquille Saint Jacques (122 T), les praires (6 T) ou les vanneaux (21 T) représentent la quasi-totalité des captures de bivalves pour une production totale d'environ 150 tonnes déclarés en 2011.

Les céphalopodes (37 T) ont été capturés principalement d'avril à mai par les caseyeurs fréquentant la bande des 3 miles du sud de Carteret au nord de Dielette. L'ensemble des captures est représenté par la seiche (36 T) dont les quantités déclarées sont en légère augmentation par rapport à l'an dernier. Les fluctuations inter-annelles sont très importantes et dépendent beaucoup de la période d'arrivée de cette espèce sur les côtes.

Les poissons sont essentiellement représentés par les différentes espèces de raies (42 T), mais aussi par d'autres espèces de sélaciens, petite et grande roussette (56 T) ou bien encore la sole (53 T) chez les poissons plats.

Cette liste n'est évidemment pas exhaustive et on peut estimer qu'en 2011 la production déclarée de la flottille du nord ouest Cotentin est d'environ 2200 tonnes soit une augmentation de 22% par rapport à 2010. Cette évaluation en très forte augmentation par rapport à l'an passé est basée sur les déclarations 2011 issues des journaux de bord et fiches de pêches déclaratives des captures des navires du nord ouest Cotentin dont le retour a été encore plus important qu'en 2010. Elle peut donc fluctuer annuellement en fonction du retour ou non des documents déclaratifs. Bien que le retour des fiches de pêche soit encore perfectible, il semble qu'un nombre important de professionnels rendent de façon régulière leurs déclarations de captures. Malgré l'interdiction de la pêche à de la raie brunette (*Raja undulata*), il y a toujours autant de raies capturées dans le secteur du nord ouest Cotentin.

5.2.2. Pêches expérimentales

Les pêches expérimentales aux casiers ont été réalisées au cours des mois de juin et septembre.

5.2.2.1. Matériel et méthode

La série historique est basée sur un échantillonnage systématique composé de 15 points de prélèvements dont les positions sont identiques depuis 1985 (figure 5.2.1).

En 2011 le professionnel a changé sa méthode de travail et utilise désormais des filières de 30 casiers couvrant un linéaire de 700 mètres. Nous avons tenu compte de ce changement en comptabilisant l'ensemble des captures réalisées sur la totalité de chacune des filières. Celles placées dans la réserve n'ont pas été modifiées et comportent toujours un maximum de 20 casiers.

La création en 2000 d'un cantonnement de 1,2 km² pour préserver une fraction du stock de homard a induit un changement dans les captures et tout particulièrement dans celles réalisées à proximité du cap de Flamanville. Cette petite zone interdite à la pêche au casier, située aux abords de la centrale, fait partie intégrante du protocole d'échantillonnage des pêches expérimentales. Les filières 2 et 8 sont à l'intérieur de son périmètre, et trois autres (3, 9 et 13) sont en périphérie. Cette mesure de gestion se traduit par une augmentation des rendements de pêche ce qui introduit depuis cette date un biais dans la série historique des campagnes.

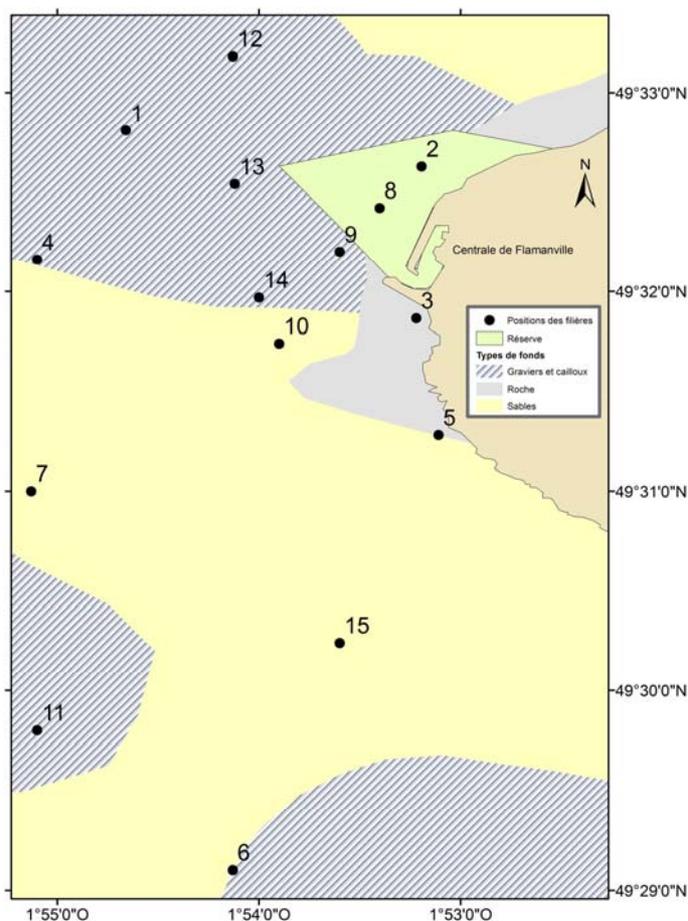


Figure 5.2.1 : Faciès sédimentaire du site étudié (d'après Larssonneur) et localisation des points échantillonnés

Chaque campagne comporte quatre jours de pêche consécutifs (sauf conditions météorologiques défavorables) au cours d'une marée de mortes-eaux.

Les 15 filières sont relevées, dans la mesure du possible, à chaque sortie.

Les casiers utilisés sont identiques à ceux employés les années précédentes. L'appât utilisé est du chinchard congelé.

Calendrier des sorties

Le tableau 5.2.2 indique les dates des campagnes, le nombre de filières relevées chaque jour ainsi que la quantité de casiers utilisés.

| Mission | Date | Nombre de filières | Nombre de casiers relevés |
|-----------|------|--------------------|---------------------------|
| Juin | 13 | 15 | 430 |
| | 14 | 15 | 430 |
| | 15 | 15 | 430 |
| | 17 | 15 | 450 |
| Septembre | 10 | 15 | 430 |
| | 11 | 15 | 430 |
| | 12 | 15 | 430 |
| | 13 | 15 | 430 |

Tableau 5.2.2 : Dates des campagnes 2012 et nombre de filières relevées

Observations réalisées

Les observations réalisées en 2012 reposent sur 3 440 casiers relevés. Le nombre d'individus capturés par casier est noté pour les espèces suivantes : homard, tourteau, araignée, étrille, buccin et paguridés. Les données biologiques prises en compte pour les crustacés (exceptés les paguridés) sont la taille, le sexe, la présence éventuelle d'œufs, la dureté de la carapace (pour l'étrille) et la maturité (pour l'araignée). Les mauvaises conditions météorologiques rencontrées lors de la campagne du mois de juin nous ont obligé à décaler d'une journée le dernier jour de sortie.

Traitement des données

Les données sont saisies en temps réel sur un ordinateur puis traitées à la station de Port en Bessin grâce à un logiciel de gestion de base de données. Les indicateurs utilisés ont été développés, testés et validés au sein du groupe de travail *Indicateurs de population et de peuplement*. Ils ont fait l'objet de synthèses scientifiques (Rochet et al, 2005) ou ont été édités sous forme de bilan (J.C. Poulard et al, 2007) et retenus pour analyser l'évolution temporelle des populations des crustacés présentes dans la zone échantillonnée. Les tendances, quand elles sont significatives, sont représentées par une droite. La combinaison des différents indicateurs permet de donner un état des populations suivies pendant ces campagnes. Les graphes sont représentés avec un intervalle de confiance à 95 %.

5.2.2.2. Principaux résultats

Les résultats de l'année 2012 concernent les paramètres biologiques définis au cours des années 1980 à 1985, années de référence avant la mise en service de la Centrale EDF. Ils sont comparés aux résultats des missions de juin et septembre des années 1985 à 2011, soit 27 ans de campagnes.

Le poids individuel est calculé à partir de la relation taille - poids élaborée en 1983 par les biologistes du Comité Régional des Pêches et Cultures marines de Bretagne (CORPECUM), du Comité Local des Pêches de Blainville, des Stations ISTPM de Roscoff et de Ouistreham et utilisée depuis pour l'ensemble de la Manche Ouest :

$$W = aLc^b$$

avec W = poids (en g)
et Lc = longueur céphalothoracique ou largeur du céphalothorax (mm)

***Homard** (annexe 5.5)

➤ Rendements

Les rendements (nombre d'individus pêchés pour 80 casiers relevés) observés en juin et septembre sont toujours dans une tendance haussière depuis 1985. Cette variation temporelle dont le point d'inflexion se situe dans les années 1995-1997, période à laquelle ont été enregistrés de fortes abondances de jeunes individus, est en augmentation constante jusqu'en 2006. Depuis on note une stabilité des captures au niveau le plus élevé avec de très légères fluctuations annuelles. La mise en place de la réserve en 2000 a nettement participé à ce phénomène.

Lors des deux campagnes, les captures ont été multipliées par 10 depuis le plus bas historique en 1987. Ils sont cette année de 63 individus pour 80 casiers sur l'ensemble de la zone étudiée avec un maximum de 66 individus pour 80 casiers lors de la campagne de septembre. Cette valeur est le plus fort indice jamais rencontré depuis le début du suivi réalisé sur le site de Flamanville. Cette augmentation n'est toutefois pas significativement différente des cinq années précédentes ce qui a pour effet de maintenir les rendements au plus haut niveau depuis 10 ans.

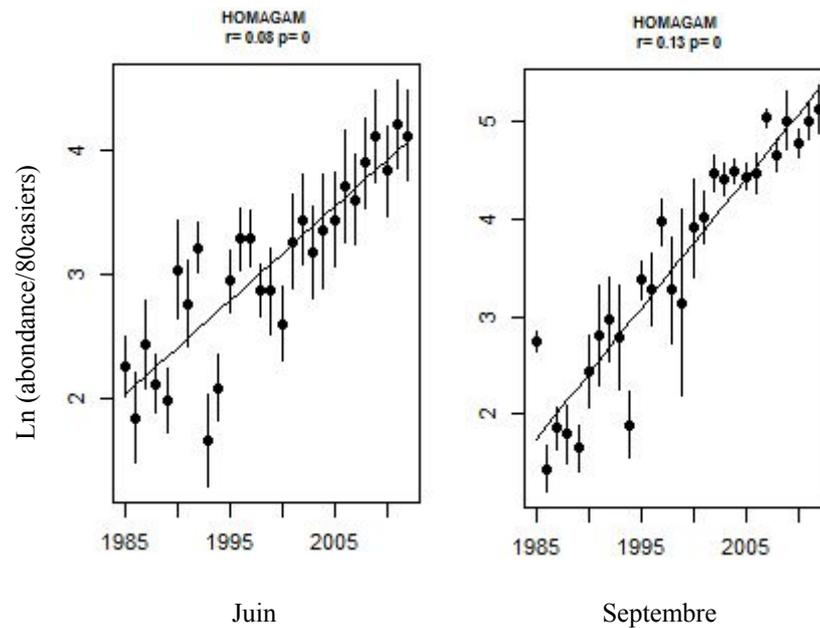


Figure 5.2.2 : Evolution de l'abondance (log) des homards depuis 1985.

Les filières de la réserve ont habituellement une productivité très nettement supérieures aux autres filières et participent généralement pour plus du tiers à l'indice global. Toutefois cette année, celles situées au sud de la zone tels que la 3, 5 ou 10 ont respectivement des rendements de 143, 169 et 103 individus pour 80 casiers. Ces filières pourtant en dehors de la réserve représentent les plus forts rendements jamais observés depuis 2000 en dehors de la réserve. Ces filières ont même des rendements égaux ou supérieurs à ceux observés dans la réserve puisque ces derniers ne dépassent pas en moyenne les 103 ind./80casiers. Ainsi la Figure A (annexe 5.3.6) présente une vue globale des rendements dont les plus forts ne sont plus, pour la première fois cette année, à l'intérieur de la réserve mais surtout au sud de celle ci principalement dans la partie rocheuse. Les indices d'abondance les plus faibles sont observés dans les points situés au large, en particulier dans les filières 7 et 11. Les rendements y sont le plus souvent inférieurs à 24 individus pour 80 casiers.

➤ Répartition des tailles

Les profils de taille sont très proches entre les deux campagnes. La taille moyenne des homards capturés en 2012 est de 85 mm (Fig.5.2.3). Cette taille relativement faible associée à des abondances élevées ces dernières années montre nettement qu'il existe une quantité importante de jeunes individus sur l'ensemble de la pêcherie depuis 2007. Cette évolution est amplifiée par le fait que l'engin de capture utilisé dispose d'une certaine sélectivité intrinsèque qui provoque une troncature d'une partie de la population représentée par les plus jeunes individus dont la taille est inférieure à 70 mm. Ceci devrait avoir pour effet de maintenir la taille moyenne à un niveau artificiellement élevé comme cela est encore le cas cette année.

La proportion d'individus de taille commerciale en dehors de la réserve est de 33%, alors que la même proportion est de 74 % dans la réserve. Les filières qui comptabilisent le plus grand nombre de jeunes individus sont observées dans les filières les plus productives situées au sud de la centrale. Ils représentent 92% des captures dans la filière 5 lors de la campagne du mois de juin.

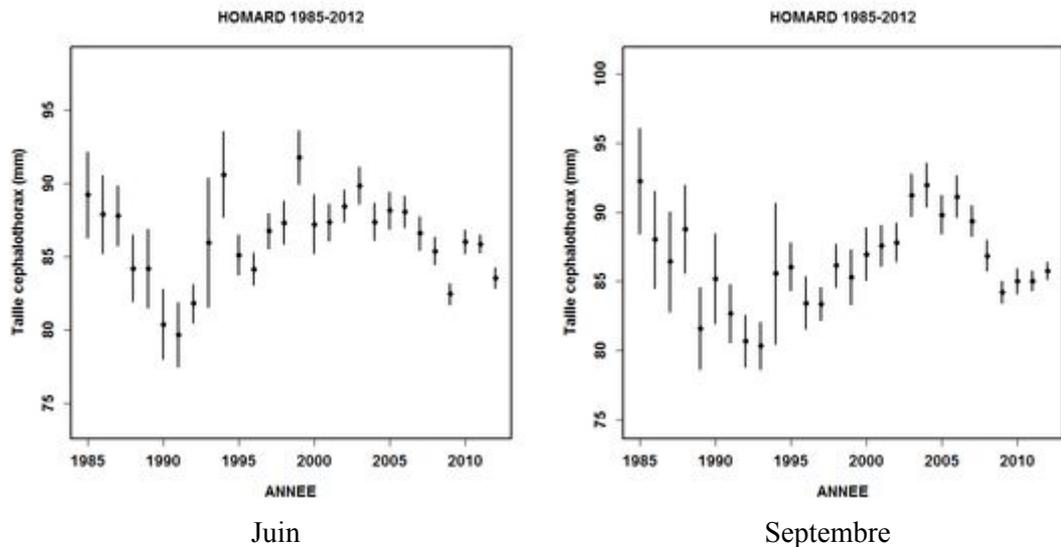


Figure 5.2.3 : Evolution de la taille moyenne des homards depuis 1985

➤ Poids individuel

Les relations *taille-poids* utilisées sont les suivantes :

les mâles : $a=187.10^{-6}$ et $b=3,289$

les femelles : $a=371.10^{-6}$ et $b=3,122$

Le poids moyen des homards en 2012 est de 415 g (annexe 5.5). Celui ci est fortement dépendant des filières situées à la côte et dont les rendements importants sont composés d'individus dont la taille céphalotoraxique moyenne est inférieure à 80 mm. Il faudra encore un à deux ans pour que ces individus atteignent la taille commerciale ce qui correspond à un poids d'environ 480 g.

Il n'existe pas d'évolution temporelle significative de ce paramètre mais il est très probable que du fait de la sélectivité de l'engin utilisé, seuls les individus dont le poids est généralement supérieur à 200 g sont capturés (Fig. 5.2.4). La fraction la plus jeune de la population est en effet plutôt mal échantillonnée. L'absence de petits individus pourrait aussi venir du fait que la zone d'étude ne dispose pas d'un habitat susceptible de convenir à cette phase juvénile. Une prospection sera réalisée en 2013 dans le sud de Carteret où semble-t-il l'habitat est plus favorable à leur développement.

➤ Proportion des sexes

La moyenne annuelle du pourcentage de mâles sur le nombre total de captures est restée stable d'une année sur l'autre. Elle est toujours voisine de celle observée lors des années de référence : 51 % des individus sont de sexe mâle en 2012.

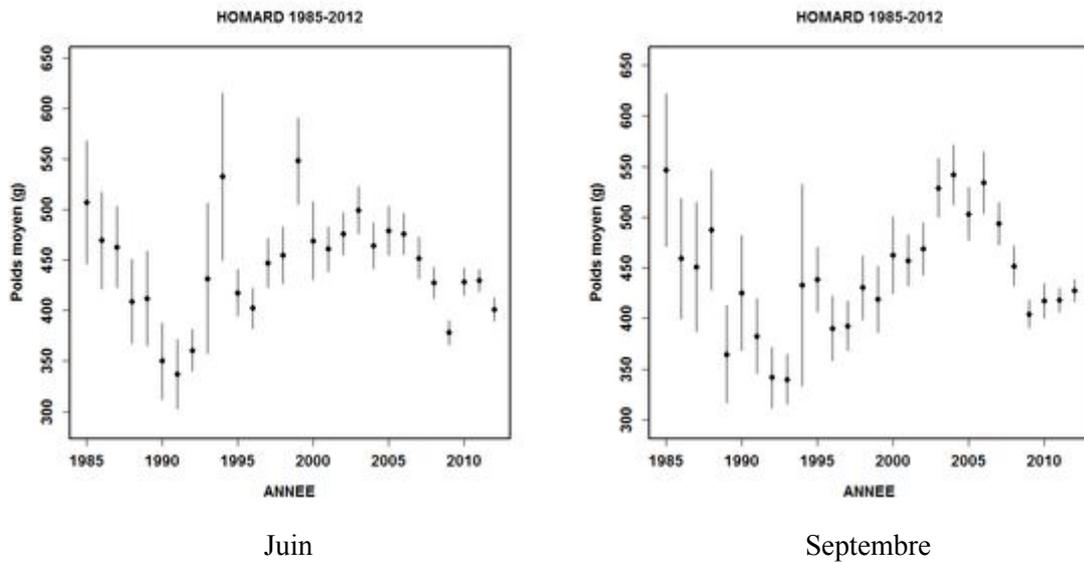


Figure 5.2.4: Evolution du poids moyen des homards capturés depuis 1985

5.2.2.2.1 Le tourteau (*Cancer pagurus*)

➤ Evolution temporelle des rendements

Les rendements observés lors de deux campagnes ne donnent pas la même tendance cette année (Fig. 5.2.5).

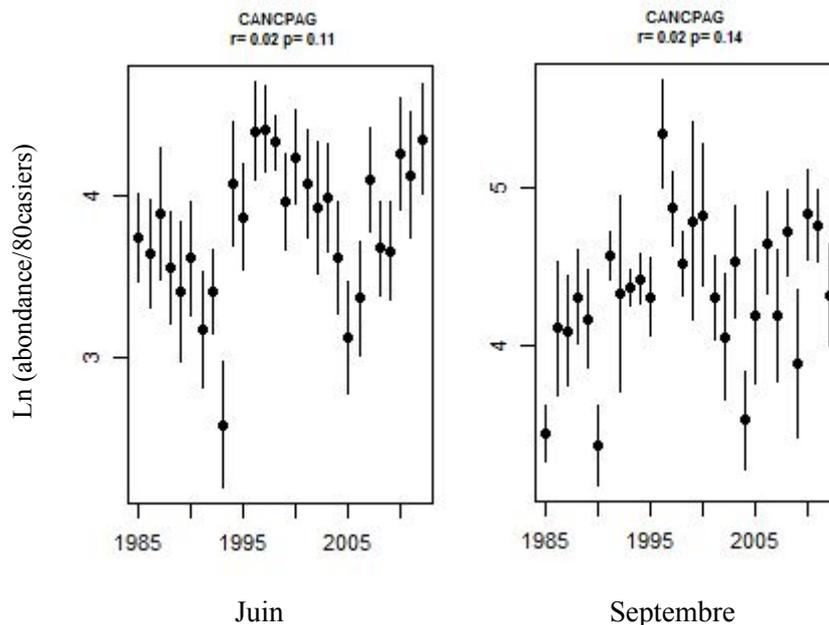


Figure 5.2.5 : Evolution de l'abondance (log) des tourteaux depuis 1985

Ils sont en augmentation en juin avec 81 ind./80 casiers alors qu'ils sont de 59 ind./80 casiers en septembre. On note toutefois une stabilité depuis trois ans sur l'ensemble des deux campagnes.

Les filières situées au sud du cantonnement enregistrent les rendements les plus forts (annexe 5.3.6, Fig.B) comme s'il y avait un phénomène d'échappement des individus de la réserve vers la périphérie de celle ci. Les filières 9, 10, 13 et 14 sont ainsi les plus productives avec des

rendements respectifs de 152, 106, 100 et 133 individus pour 80 casiers. Il semble qu'en dessous de 80 homards pour 80 casiers les tourteaux aient encore la possibilité d'accéder à l'appât qui se trouve dans les casiers. Au-dessus, il se pourrait qu'il y ait un phénomène d'exclusion compétitive qui oblige le tourteau à rester à l'écart, limitant ainsi sa capturabilité. Les diminutions de rendements dans certaines filières sont donc probablement liées au comportement territorial agressif du homard qui colonise petit à petit la zone protégée ainsi que le sud de celle-ci. Toutefois avec 3015 individus (annexe 5.6) capturés cette année, le tourteau est toujours l'espèce la plus abondante dans nos captures et représente cette année l'un des indices le plus important (70 ind./80 casiers) avec ceux des années 1996 et 1997.

➤ Répartition des tailles

En dehors de 2010, la taille moyenne des individus capturés (largeur du céphalothorax) lors des campagnes 2012, n'a pas significativement évolué depuis 10 ans (Fig. 5.2.6). Elle se situe autour de 130 mm ce qui est très proche des captures réalisées en 1985.

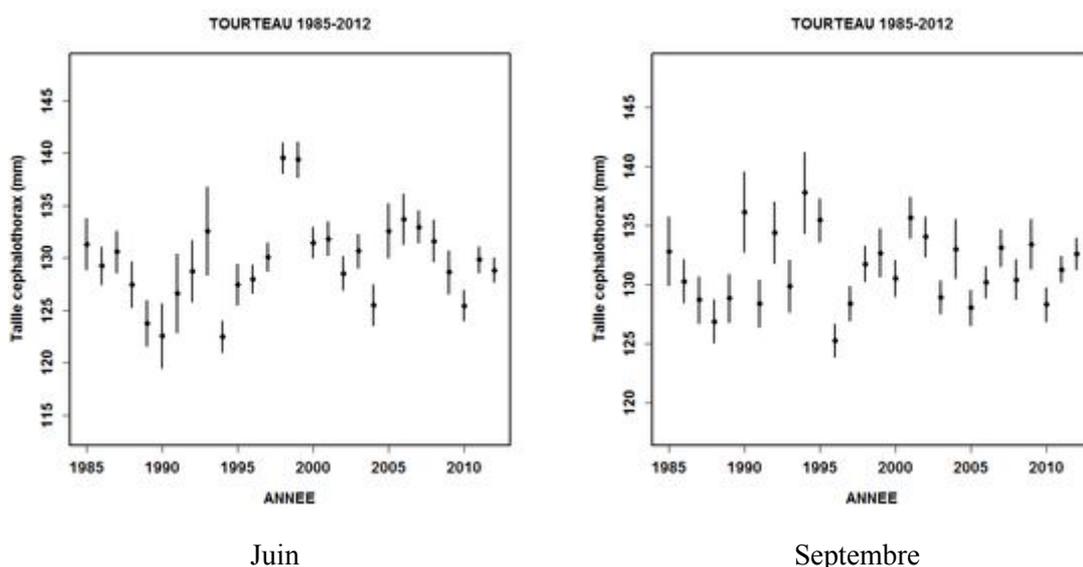


Figure 5.2.6 : Evolution de la taille moyenne du tourteau depuis 1985

35% des individus capturés sont de taille marchande en 2012 alors qu'il y en avait 33% en 2011 (annexe 5.6). Les plus petits individus sont observés à la côte dans les filières 2, 3 ou 5, alors que les plus gros sont capturés dans les filières du large comme par exemple la 4, 6 ou la 11.

➤ Poids individuel

Le poids moyen (g) est calculé à partir des paramètres suivants :

les mâles : $a=24 \cdot 10^{-6}$ et $b=3,388$

les femelles : $a=324 \cdot 10^{-6}$ et $b=2,848$

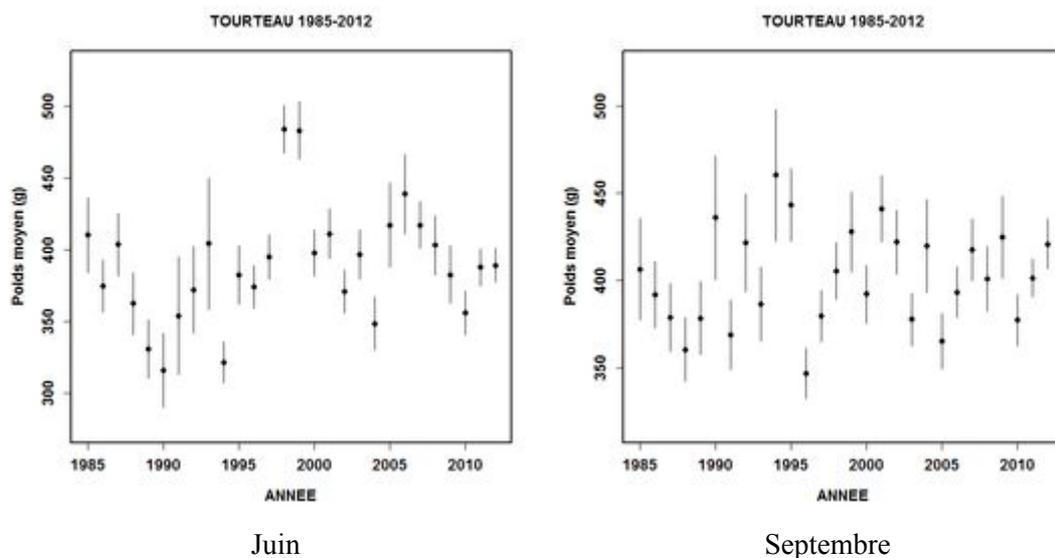


Figure 5.2.7 : Evolution du poids moyen des tourteaux capturés depuis 1985

Il est de 399 g sur l'ensemble des deux campagnes annuelles et n'a pas, en dehors des fluctuations temporelles, varié de façon significative depuis 1985 (Fig. 5.2.7).

➤ Proportion des sexes

Le sex-ratio des captures est composé à 64 % de mâles (annexe 5.6).

5.2.2.2.2 L'araignée (*Maja brachydactyla*)

➤ Evolution temporelle des rendements

Les rendements sont de 31 individus pour 80 casiers soit le double de 2011. Les résultats enregistrés montrent une augmentation des rendements lors des deux campagnes.

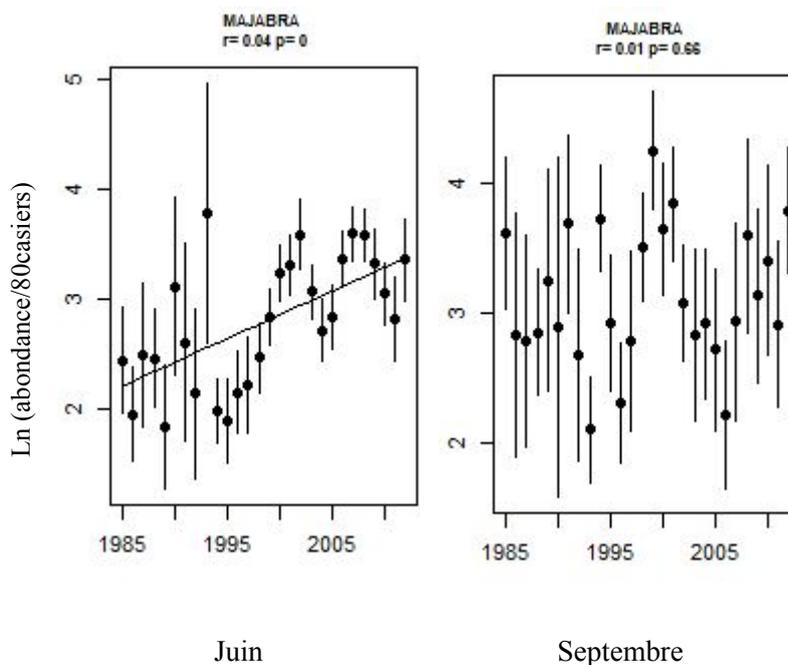


Figure 5.2.8 : Evolution de l'abondance (log) des araignées depuis 1985

Celle de septembre avec 38 ind./80 casiers est proche des meilleurs rendements observée depuis 1985 tout en restant dans les limites des fluctuations temporelles que l'on observe depuis le début de la série historique (Fig. 5.2.8). Les fluctuations inter-annuelles ne sont pas très importantes et semblent plutôt évoluer sur des périodes plus longues de l'ordre de 8 à 10 ans. La campagne du mois de juin donne les résultats les plus réguliers en nombre total d'individus capturés sur l'ensemble de la zone (annexe 5.7). Les filières 2 et 8 situées dans la réserve et disposées sur des fonds rocheux ainsi que celles situées proche de la côte, sont peu productives en septembre (annexe 5.3.6, Fig. C). Les captures les plus importantes sont observées dans les filières 6, 7, 11 sur les fonds sableux situés à l'ouest de l'anse de Sciotot. Elles représentent respectivement 56, 66 et 70 individus pour 80 casiers en 2012.

Répartition des tailles

La longueur céphalothoracique moyenne des araignées capturées en 2012 est de 9,6 cm (Fig. 5.2.9). La campagne du mois de juin montre une diminution régulière de la taille des captures depuis 2007. Cette diminution est principalement due à un nombre important de toutes petites araignées capturées aussi bien en juin qu'en septembre. Le pourcentage d'individus de taille commerciale (18 %) est faible en 2012 (annexe 5.7). La sélectivité de l'engin utilisé ne permet pas la capture des plus gros spécimens, principalement des mâles, pêchés plutôt au filet fixe par les professionnels. Leur longueur céphalothoracique dépassant le plus souvent les 15 cm et ne peuvent rentrer dans les casiers.

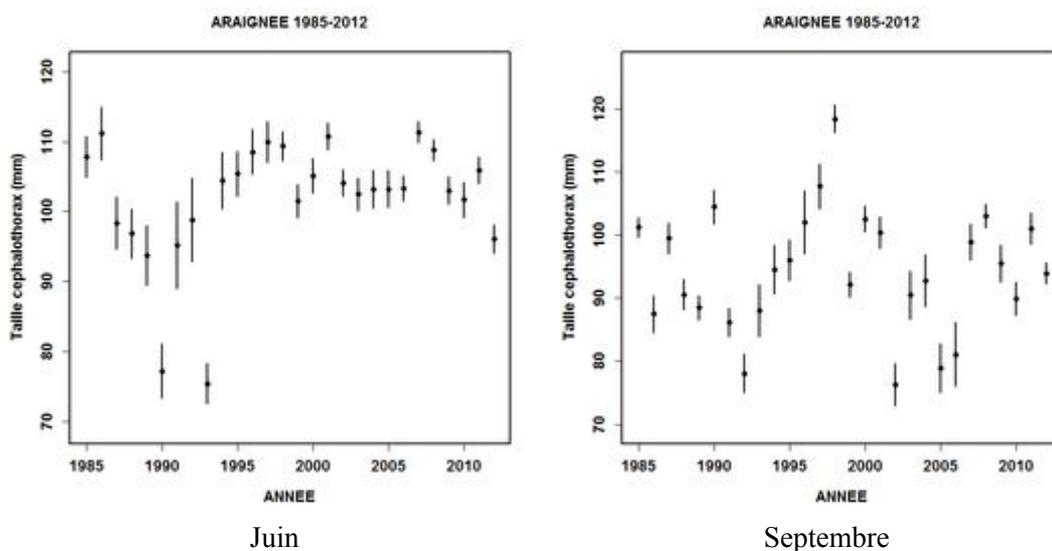


Figure 5.2.9 : Evolution de la taille moyenne des araignées depuis 1985

➤ Poids individuel

Le poids moyen est calculé à partir des paramètres suivants :

* pour les individus immatures

les mâles : $a=462 \cdot 10^{-6}$ et $b=2,88$

les femelles : $a=102 \cdot 10^{-5}$ et $b=2,698$

* pour les individus matures

les mâles : $a=517 \cdot 10^{-7}$ et $b=3,382$

les femelles : $a=316 \cdot 10^{-6}$ et $b=2,996$

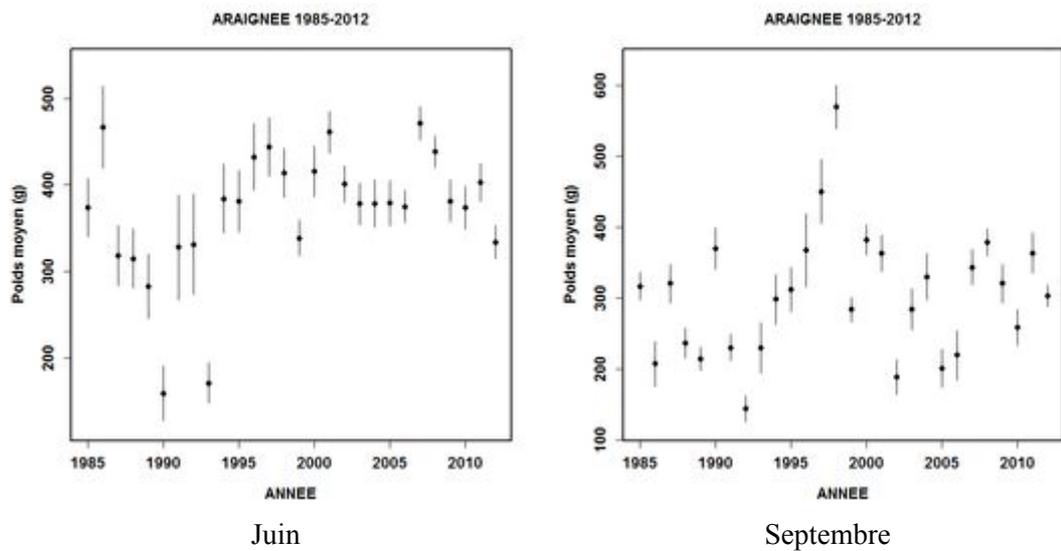


Figure 5.2.10 : Evolution du poids moyen des araignées capturées depuis 1985

Le poids moyen sur les deux campagnes annuelles est de 321 g, il est généralement plus élevé en juin qu'en septembre. Il n'est pas significativement différent des autres années constituant la période étudiée (Fig. 5.2.10).

➤ Proportion des sexes

La proportion de mâles est de 67 % (annexe 5.7).

5.2.2.2..3 L'étrille (*Necora puber*)

➤ Evolution temporelle des rendements

Les rendements sont en légère augmentation par rapport à 2011 lors de la campagne de juin (Fig. 5.2.11).

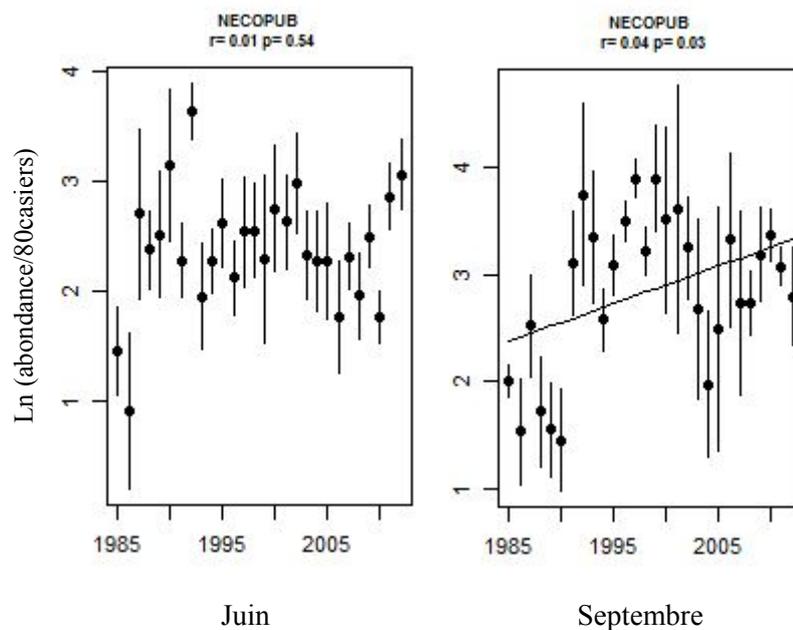


Figure 5.2.11 : Evolution de l'abondance (log) des étrilles depuis 1985

Ils se situent généralement au-dessus de ceux observés depuis 1987 et sont proches des plus hauts historiques avec 22 individus pour 80 casiers. Par contre, lors de la campagne de septembre on remarque une diminution de rendements depuis 3 ans qui n'est toutefois pas significative aux vues des fluctuations temporelles importantes. Les meilleurs rendements sont observés aux points 1,5, 9,13 avec respectivement 24, 31, 21 et 28 individus pour 80 casiers (annexe 5.3.6, Fig. D).

Répartition des tailles

Cette année, la taille moyenne est de 51 mm et est en augmentation significative aussi bien en juin qu'en septembre par rapport à 2011. En dehors de quelques fluctuations inter annuelles, l'étude des longueurs moyennes met en évidence une certaine stabilité de la taille depuis 10 ou 11 ans (Fig. 5.2.12). Par contre, sur une période plus longue on observe une diminution constante de la taille moyenne. C'est aussi la seule espèce de la communauté étudiée à présenter une telle configuration. On peut naturellement se poser la question d'une surexploitation ou d'une forme de nanisme au niveau de la pêcherie locale. Il n'est toutefois pas possible pour l'instant d'envisager l'une ou l'autre de ces hypothèses. Il est en effet étonnant qu'une population exploitée à l'aide d'un engin sélectif, tel que le casier à gros crustacés, puisse connaître sur une période aussi longue, une diminution globale des tailles de l'ordre d'un centimètre en 20 ans. Les fortes captures de juin 1992, ainsi que la stabilité de l'abondance, à un niveau élevé jusqu'en 2002, n'ont pas inversé la tendance mais permettent certainement de stabiliser la taille moyenne autour des 50 mm.

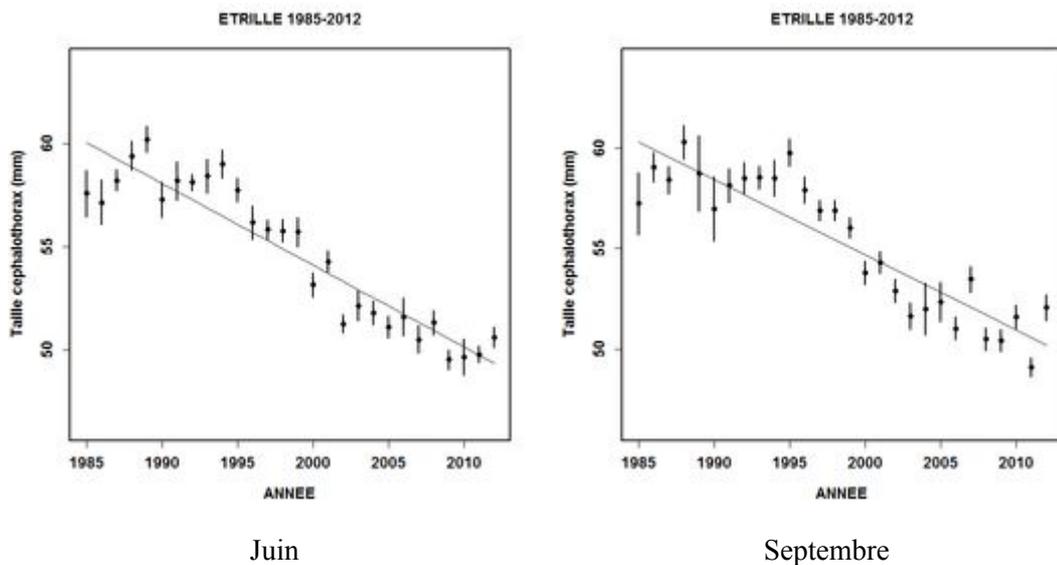


Figure 5.2.12 : Evolution de la taille moyenne des étrilles depuis 1985

Le recrutement doit être suffisant et la taille de première maturité relativement faible pour assurer la continuité de la population locale. En effet il semble que la taille de première maturité chez le mâle soit de 34 mm pour des individus capturés sur les côtes anglaises (Norrman, 1989). Les femelles capturées au nord de la Loire ont quant à elles, une taille de première maturité légèrement inférieure à 30 mm (Wilhelm, 1995).

➤ Poids individuel

Le poids moyen (g) est calculé à partir des paramètres suivants :

les mâles : $a=61.10^{-5}$ et $b=3,024$

les femelles : $a=6.10^{-4}$ et $b=3,008$

Il est de 92 g sur l'ensemble des deux campagnes annuelles (Fig. 5.2.13). Il est proche de la valeur généralement observée depuis une dizaine d'année.

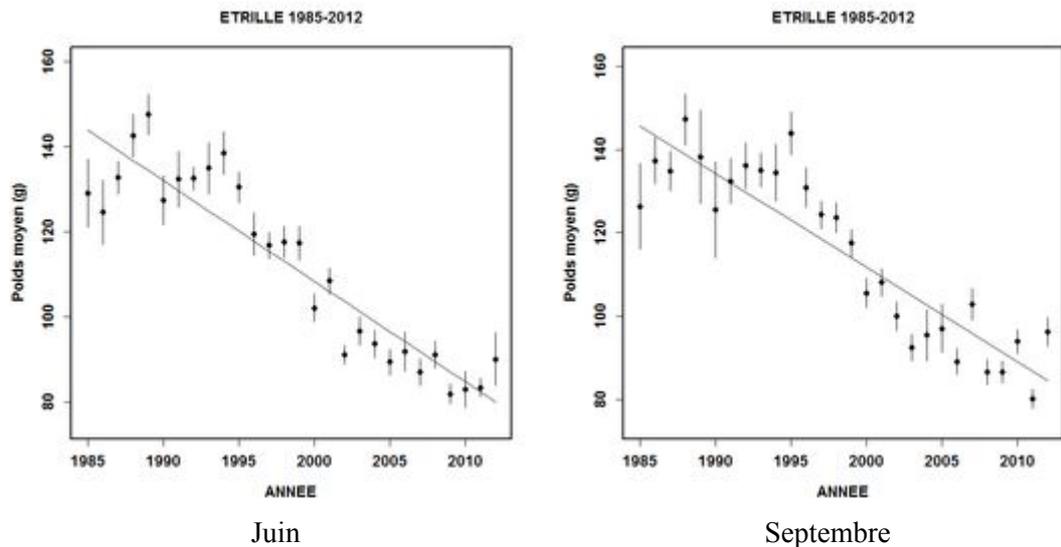


Figure 5.2.13 : Evolution du poids moyen des étrilles capturées depuis 1985

➤ Proportion des sexes

Comme chaque année le sex-ratio (annexe 5.8) est déséquilibré en faveur des mâles (86 %).

➤ Proportion d'individus mous

Le pourcentage d'individus mous est de 10 % en juin.

5.2.2.2..4 Buccin et paguridés (annexe 5.9)

Les filières 6 11 et 15 situées au sud du cap de Flamanville, représentent 83% des captures de buccins. La fraction échantillonnée se situe dans la partie supérieure du spectre de taille de la population. Ceci est dû à la sélectivité du maillage des casiers qui provoque une troncature importante de la distribution. Il permet en effet à la plupart des individus de moins de 5 cm de ressortir ou de passer au travers du maillage principalement lors de la phase de remontée des filières à bord du navire.

Les rendements en buccins sont en diminution importante cette année (Fig. 5.2.14). Ils sont de 3.1 individus pour 10 casiers alors que ceux concernant les paguridés sont identiques à 2011 (11.4 ind./10 casiers). Comme l'année dernière les filières placées au large ont permis de capturer des quantités relativement importantes de paguridés.

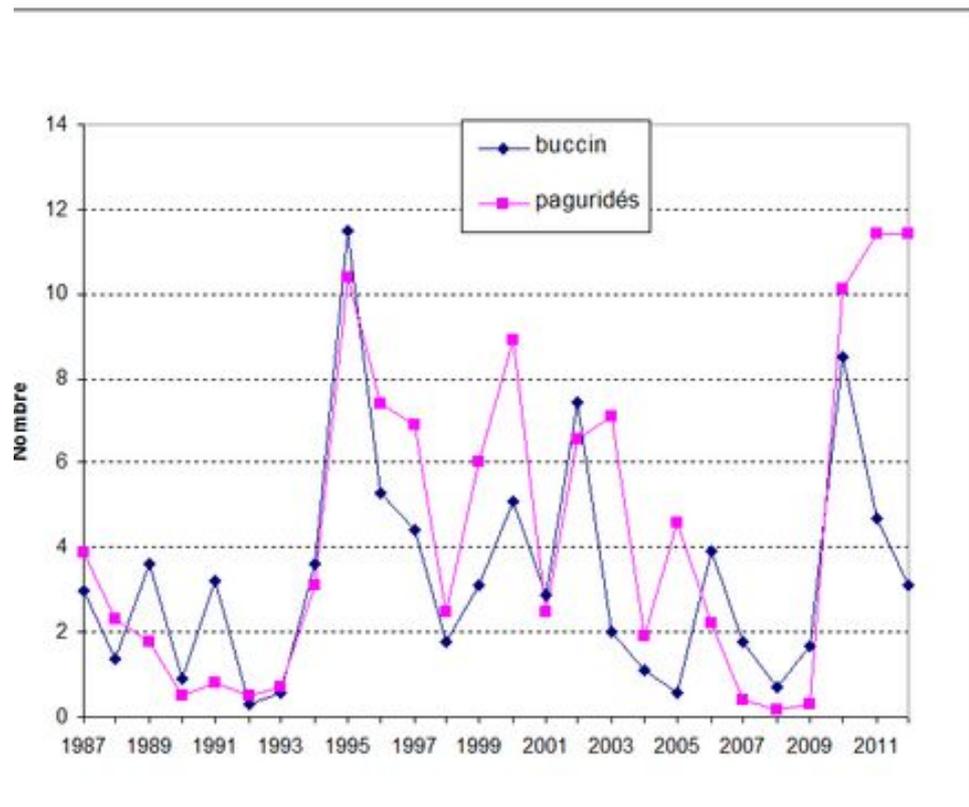


Figure 5.2.14 : Rendements en nombre d'individus pour 10 casiers

5.2.2.3. Zone du Cantonnement

5.2.2.3.1 Le homard

Les filières 2 et 8 ont des rendements respectifs de 102, 104 homards pour 80 casiers. En dehors de l'année 2010, les résultats sont semblables aux années précédentes (Fig. 5.2.15). Les trois premières années qui ont fait suite à la mise en place de la réserve ont permis de mettre en évidence une augmentation importante et significative du nombre de homards dans la zone protégée. Cette tendance est beaucoup moins importante ces dernières années et met en évidence un pallier qu'il semble aujourd'hui difficile de franchir. Cette stabilisation à un niveau élevé des captures s'explique probablement par le fait que les homards n'ont plus suffisamment d'abris pour se stabiliser dans la zone, ce qui oblige certainement les plus petits individus à sortir du cantonnement. Ceux ci pourraient avoir tendance à ce rapprocher des rochers situés au sud de la centrale et profiter des enrochements pour y trouver un nouvel abri, plus adapté à leur taille et où ils sont moins exposés lors des périodes de mues plus fréquentes que leurs congénères adultes. Les rendements plus importants de juvéniles dans les filières 3 et 5 pourraient être la concrétisation de cette hypothèse.

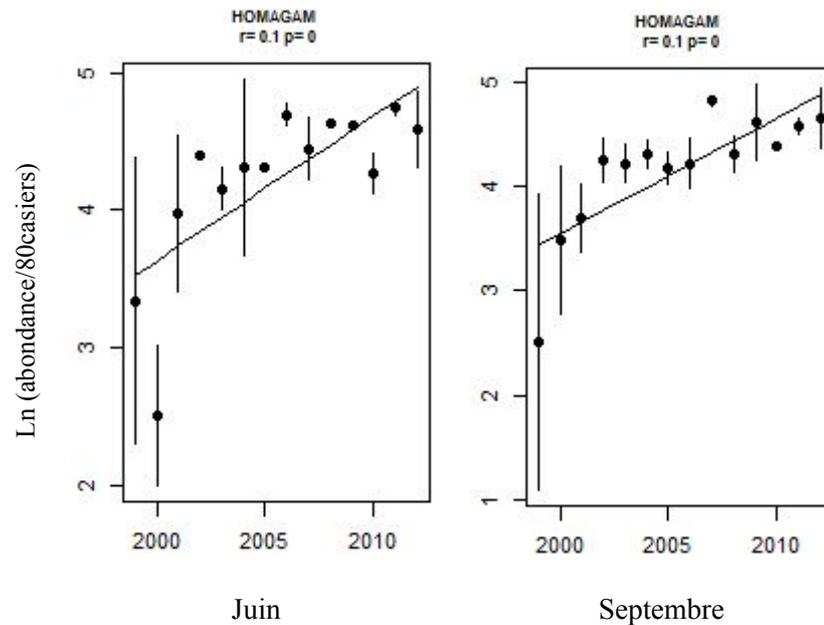


Figure 5.2.15 : Evolution de l'abondance (log) des homards dans le cantonnement depuis 1999

Le nombre de femelles oeuvées capturées dans la réserve (6 Ind./80 casiers) est plus important que dans le reste de la zone (1 Ind./80 casiers). Ceci s'explique par le fait que dans la zone protégée le nombre d'individus adulte est plus important, la taille moyenne y est de 95 mm (Fig.5.2.16) alors qu'à l'extérieur la majorité des individus ne dépasse pas les 86 mm (Fig. 5.2.3) et sont pour la plupart immatures.

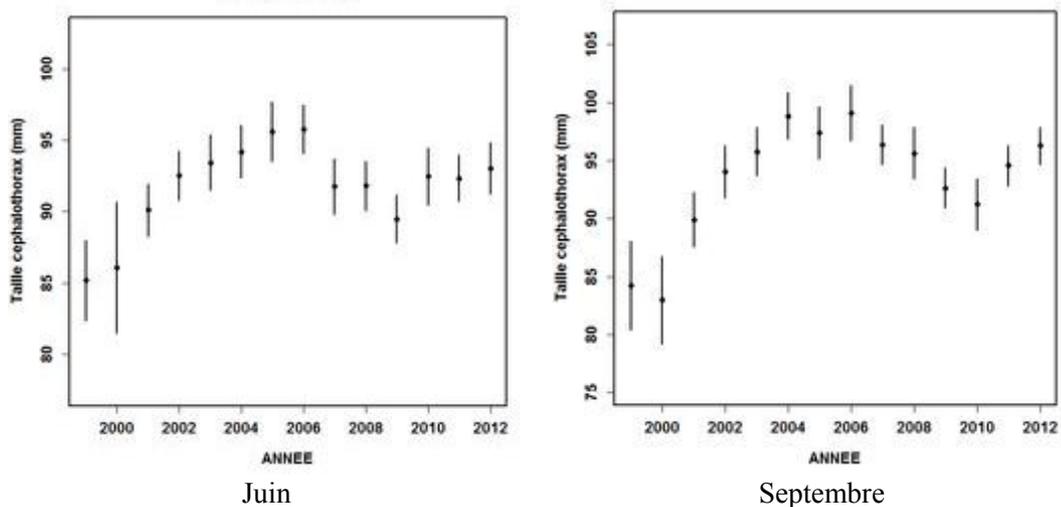


Figure 5.2.16 : Evolution temporelle de la taille moyenne des homards dans le cantonnement depuis 1999

5.2.2.3..2 Le Tourteau

Les rendements diminuent, sans que cela soit significatif significativement, encore cette année (Fig. 5.2.17) et sont de 14 individus pour 80 casiers sur l'ensemble de la réserve. Ils sont, en dehors des années 2008 et 2010, du même ordre que ceux observés depuis 2001. Jusqu'à présent on avait remarqué que lorsqu'il y avait des conditions météorologiques défavorables pour les captures de homard, c'est à dire générant une houle importante comme cette année au mois de juin, il y avait une augmentation des captures de tourteaux. Hors cette année cela ne semble pas être le cas. L'hypothèse la plus crédible serait une exclusion compétitive du tourteau de la zone

de la réserve entièrement colonisée par le homard dont le comportement territorial semble aller bien au-delà de la simple conquête de nourriture.

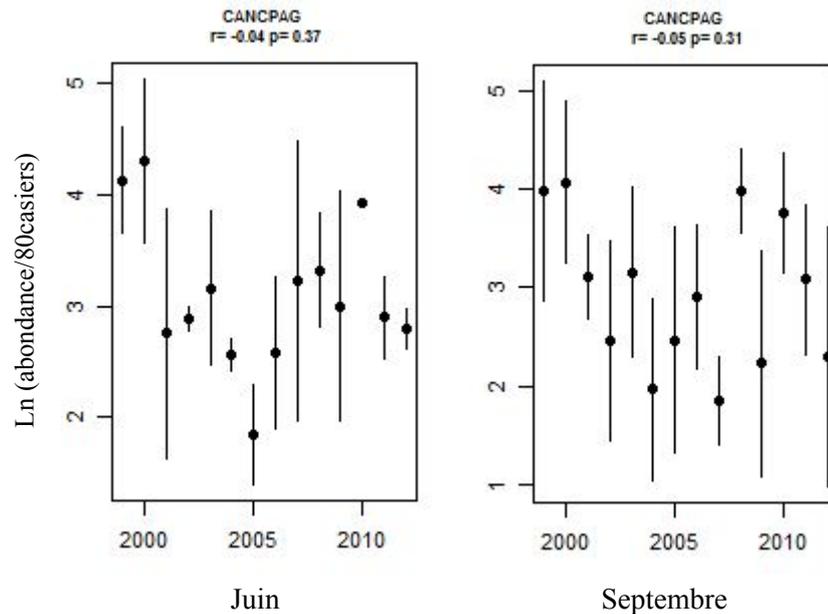


Figure 5.2.17 : Evolution temporelle des captures des tourteaux dans le cantonnement depuis 1999

L'intérêt d'une réserve est généralement de favoriser la biodiversité en permettant aux espèces qui s'y trouvent de se reproduire et grandir sans contrainte anthropique.

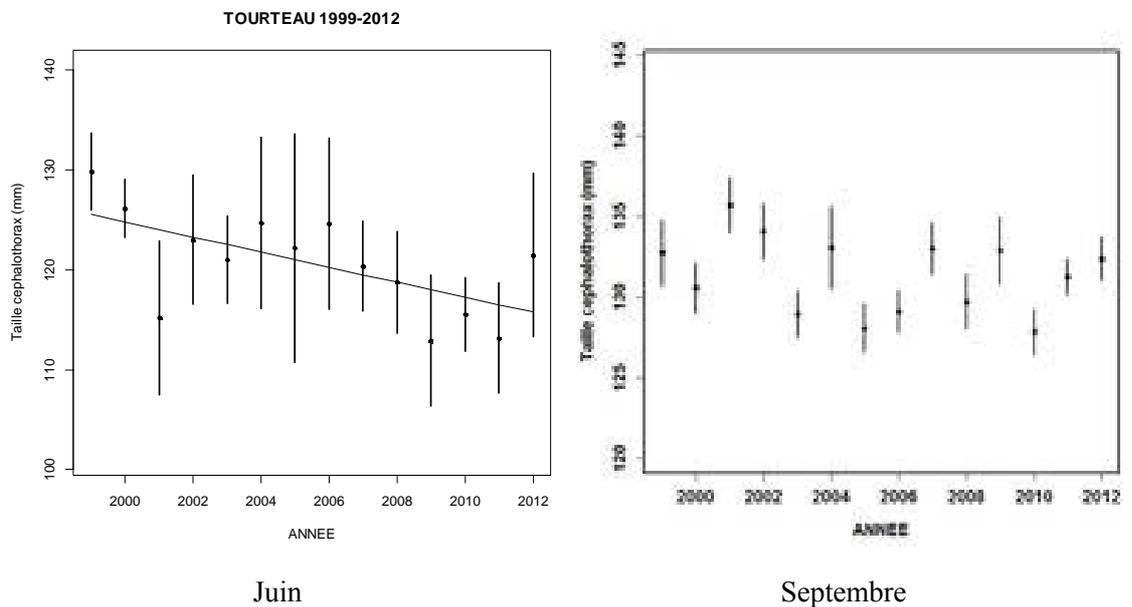


Figure 5.2.18 : Evolution temporelle de la taille moyenne des tourteaux dans le cantonnement depuis 1999

Le graphe du mois de juin montre au contraire une diminution de la taille moyenne de cette espèce alors que celui du mois de septembre affiche une fluctuation temporelle ne dégageant aucune tendance (Fig 5.2.18). Ce qui peut paraître surprenant et renforcer l'idée que les plus gros individus sont exclus de la zone par les homards qui cherchent un habitat susceptible de les protéger. Les petits tourteaux disposant quant à eux d'abris encore adaptés à leur taille.

5.2.3. Conclusion

* Les rendements en homard de cette année sont parmi les plus élevés depuis 1985. La tendance significative est haussière sur l'ensemble de la série historique. La taille moyenne est toujours inférieure à la taille marchande. Il semble que la population profite encore d'une augmentation du nombre de juvéniles d'un à trois ans que l'on retrouve en très forte proportion au sud du cantonnement. Il n'est pas possible de savoir si ces petits homards proviennent de la réserve dans la mesure où il est difficile, pour des raisons de capturabilité, de mortalité importante et de mues rapprochées, de marquer les juvéniles de moins de 60 mm de longueur céphalothoracique. Cette augmentation semble provenir de méta-population ou d'un stock plus important car les professionnels travaillant en manche ouest remarquent parallèlement une recrudescence importante de juvéniles sur une période aussi longue. L'habitat rocheux situé au sud du CNPE de Flamanville est de toute façon très favorable au développement de juvéniles.

* Le tourteau est toujours la principale espèce capturée cette année et ceci malgré la forte abondance du homard dans les filières placées au sud de la réserve. Généralement une forte concentration en gros homards provoque un phénomène d'exclusion compétitive des tourteaux vis à vis probablement de la nourriture. Toutefois lorsque la concentration de tourteau dans un secteur est importante comme dans les filières 9,10 et 14, la compétition entre les deux espèces semble s'équilibrer.

* Les captures d'araignée sont en augmentation cette année tout en restant dans les limites des fluctuations annuelles importantes observées depuis dix ans. D'autre part la taille moyenne diminue, probablement à cause d'une grande quantité de petits individus observés dans les filières situées principalement sur les zones de sable.

* La taille moyenne des étrilles capturées est en légère augmentation cette année mais n'a pas significativement varié depuis six ans. Elle correspond probablement au seuil de sélectivité de l'engin. Il faut toutefois noter que les rendements augmentent encore cette année lors de la campagne du mois de juin. Les résultats concernant l'étrille sont plutôt positifs dans la mesure où l'indice d'abondance est en augmentation sur l'ensemble de la zone et que la taille est relativement stable depuis plusieurs années.

Dans la réserve, un certain nombre de points peuvent être mis en avant :

* Les captures de homards sont encore importantes cette année et sont au plus haut depuis la création de la réserve. La taille moyenne a légèrement augmenté cette année ce qui voudrait dire que la proportion de gros individus est plus importante dans la réserve et que comme nous l'avons supposé l'an passé, il doit y avoir un phénomène d'échappement des petits individus vers l'extérieur et notamment le long de la côte vers le sud de la zone. Le nombre de femelles oeuvées est plus important qu'à l'extérieur. Ce qui devrait permettre une plus grande production de larves, favorisant selon les courants, la population de la réserve et la connectivité entre les populations avoisinantes. Il est prévu de faire un point zéro sur une zone située au sud de Carteret dont l'habitat est favorable au développement de petits individus.

Comme cela a déjà été souligné au cours des années précédentes, les rejets du CNPE de Flamanville n'ont pas eu d'incidence sur la diversité et la structure de la communauté des crustacés suivis dans le cadre de la surveillance écologique.

5.3. Annexes

| Mission | Date | Coeff. Marée | Point | Nuages | Sonde | Engin | Heure début (T.U.+2) | Durée | Temps après P.M. | Volume (m ³) |
|---------|------------|--------------|-----------|--------|-------|-----------|----------------------|--------|------------------|--------------------------|
| 217 | 13 juin | 44 | C. Amenée | | 7 | Bongo 1 | 19h07 | 1mn52 | 4h07 | 73 |
| | | | | | | Bongo 2 | 19h15 | 2mn29 | 4h15 | 108 |
| | | | | | | Neuston S | 19h25 | 8mn29 | 4h25 | 793 |
| | | | Rejet | | 17 | Bongo 1 | 18h32 | 2mn52 | 3h32 | 82 |
| | | | | | | Bongo 2 | 18h40 | 3mn26 | 3h40 | 169 |
| | | | | | | Neuston S | 18h50 | 9mn30 | 3h50 | 1065 |
| | | | Référence | | 23 | Bongo 1 | 17h35 | 3mn20 | 2h35 | 186 |
| | | | | | | Bongo 2 | 17h44 | 4mn29 | 2h44 | 219 |
| | | | | | | Neuston S | 17h50 | 16mn35 | 2h50 | 1753 |
| | | | Point 3 | | 27 | Bongo 1 | 16h23 | 4mn30 | 1h23 | 333 |
| | | | | | | Bongo 2 | 16h42 | 4mn34 | 1h42 | 308 |
| | | | | | | Neuston S | 16h55 | 15mn45 | 1h55 | 1839 |
| 218 | 27 juin | 58 | Référence | | 23 | Bongo 1 | 16h05 | 5mn44 | 2h55 | 231 |
| | | | | | | Bongo 2 | 16h18 | 5mn16 | 3h08 | 258 |
| | | | | | | Neuston S | 16h25 | 15mn29 | 3h15 | 2009 |
| | | | Point 3 | | 26 | Bongo 1 | 17h00 | 4mn16 | 3h50 | 210 |
| | | | | | | Bongo 2 | 17h08 | 3mn59 | 3h58 | 214 |
| | | | | | | Neuston S | 17h12 | 16mn05 | 4h02 | 1669 |
| 219 | 17 juillet | 61 | Point 3 | | 28 | Bongo 1 | 8h40 | 3mn00 | 1h51 | 151 |
| | | | | | | Bongo 2 | 8h50 | | 2h01 | 161 |
| | | | | | | Neuston S | 9h00 | 15mn | 2h00 | 2075 |
| 220 | 25 juillet | 70 | C. Amenée | 0 | 6 | Bongo 1 | 15h19 | 2mn30 | 3h24 | 72 |
| | | | | | | Bongo 2 | 15h24 | 2mn50 | 3h29 | 60 |
| | | | | | | Neuston S | 15h31 | 11mn | 3h36 | 1434 |
| | | | Rejet | 0 | 18 | Bongo 1 | 14h42 | 2mn30 | 2h47 | 117 |
| | | | | | | Bongo 2 | 14h58 | 2mn30 | 3h03 | 144 |
| | | | | | | Neuston S | 14h58 | 14mn | 3h03 | 1642 |
| | | | Référence | 0 | 24 | Bongo 1 | 14h03 | 3mn30 | 2h08 | 180 |
| | | | | | | Bongo 2 | 14h11 | 3mn20 | 2h16 | 201 |
| | | | | | | Neuston S | 14h20 | 15mn30 | 2h125 | 2166 |
| | | | Point 3 | 0 | 29 | Bongo 1 | 13h13 | 4mn | 1h18 | 191 |
| | | | | | | Bongo 2 | 13h22 | 3mn50 | 1h27 | 219 |
| | | | | | | Neuston S | 13h32 | 15mn | 1h37 | 2085 |
| 221 | 27 août | 53 | C. Amenée | 8 | 9 | Bongo 1 | 19h40 | 1mn40 | 3h22 | 61 |
| | | | | | | Bongo 2 | 19h43 | 2mn01 | 3h25 | 69 |
| | | | | | | Neuston S | 19h50 | 8mn46 | 3h32 | 831 |
| | | | Rejet | 8 | 15 | Bongo 1 | 19h00 | 3mn21 | 2h42 | 58 ²¹ |
| | | | | | | Bongo 2 | 19h08 | | 2h50 | 118 |
| | | | | | | Neuston S | 19h15 | 10mn | 2h57 | 1008 |
| | | | Référence | 8 | 25 | Bongo 1 | 18h05 | 4mn | 1h47 | 166 |
| | | | | | | Bongo 2 | 18h13 | 4mn15 | 1h55 | 183 |
| | | | | | | Neuston S | 18h20 | 15mn57 | 2h02 | 1632 |
| | | | Point 3 | 6 | 28 | Bongo 1 | 17h14 | | 0h56 | 130 |
| | | | | | | Bongo 2 | 17h22 | | 1h04 | 179 |
| | | | | | | Neuston S | 17h30 | 15mn51 | 1h12 | 1924 |

Annexe 5.1. Caractéristiques des prélèvements effectués en 2012

²¹ Un des deux filets pollué par une grosse méduse n'a pas été analysé.

| Mission | Date | Point | Température (°C) | | DT maximum (°C) | | Salinité | | Densité | |
|---------|------------|-----------|------------------|-------|-----------------|------|----------|-------|---------|-------|
| | | | Surf. | Fond | Surf. | Fond | Surf. | Fond | Surf. | Fond |
| 217 | 13 juin | C. Amenée | 14,01 | 14,02 | 2,3 | | 35,14 | 35,29 | 26,30 | 26,41 |
| | | Rejet | 16,27 | | | | 35,16 | 35,14 | 26,22 | 26,32 |
| | | Référence | 13,60 | 13,56 | | | 35,19 | 35,20 | 26,41 | 26,43 |
| | | Point 3 | 13,47 | 13,29 | | | 35,20 | 35,25 | 26,47 | 26,53 |
| 218 | 27 juin | Référence | 14,64 | 14,50 | | | 35,22 | 35,26 | 26,22 | 26,28 |
| | | Point 3 | 14,36 | 14,35 | | | 35,24 | 35,25 | 26,30 | 26,31 |
| 219 | 17 juillet | Point 3 | 15,59 | 15,54 | | | 35,20 | 35,22 | 25,99 | 26,03 |
| 220 | 25 juillet | C. Amenée | 16,81 | 16,76 | 0,4 | | 35,23 | 35,34 | 25,74 | 25,83 |
| | | Rejet | 17,23 | | | | 35,27 | 35,28 | 25,80 | 25,83 |
| | | Référence | 15,96 | 15,94 | | | 35,23 | 35,24 | 25,94 | 25,94 |
| | | Point 3 | 15,79 | 15,77 | | | 35,25 | 35,25 | 25,99 | 25,99 |
| 221 | 27 août | C. Amenée | 17,86 | 17,86 | 1,9 | | 35,15 | 35,18 | 25,42 | 25,44 |
| | | Rejet | 19,75 | | | | 35,13 | 35,20 | 24,96 | 25,49 |
| | | Référence | 17,54 | 17,54 | | | 35,21 | 35,19 | 25,54 | 25,53 |
| | | Point 3 | 17,36 | 17,28 | | | 35,21 | 35,23 | 25,59 | 25,62 |

Annexe 5.2. Résultats des mesures hydrologiques effectuées en 2012

| Mission | Date | Point | Nuages | Engin | Total larves | Zoés stade 1 | Zoés stade 2 | Zoés stade 3 | Mégaloopes |
|---------|------------|-----------|--------|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|
| 217 | 13 juin | C. Amenée | | Bongo 1 Bongo 2 Neuston S | | | | | |
| | | Rejet | | Bongo 1 Bongo 2 Neuston S | | | | | |
| | | Référence | | Bongo 1 Bongo 2 Neuston S | 0,006 | 0,006 | | | |
| | | Point 3 | | Bongo 1 Bongo 2 Neuston S | | | | | |
| 218 | 27 juin | Référence | 8 | Bongo 1 Bongo 2 Neuston S | | | | | |
| | | Point 3 | 8 | Bongo 1 Bongo 2 Neuston S | 0,012 | 0,012 | | | |
| 219 | 17 juillet | Point 3 | | Bongo 1 Bongo 2 Neuston S | 0,024 | 0,010 | 0,005 | 0,005 | 0,005 |
| 220 | 25 juillet | C. Amenée | 0 | Bongo 1 Bongo 2 Neuston S | | | | | |
| | | Rejet | 0 | Bongo 1 Bongo 2 Neuston S | | | | | |
| | | Référence | 0 | Bongo 1 Bongo 2 Neuston S | | | | | |
| | | Point 3 | 0 | Bongo 1 Bongo 2 Neuston S | | | | | |
| 221 | 27 août | C. Amenée | 8 | Bongo 1 Bongo 2 Neuston S | | | | | |
| | | Rejet | 8 | Bongo 1 Bongo 2 Neuston S | | | | | |
| | | Référence | 8 | Bongo 1 Bongo 2 Neuston S | | | | | |
| | | Point 3 | 8 | Bongo 1 Bongo 2 Neuston S | | | | | |

Annexe 5.3. Densités des larves de homard en 2012 (en nombre par 10 m³)

| Mission | Date | Point | Engin | Mégalopes | Total Zoés | Zoés stade 1 | Zoés stade 2 |
|-----------|------------|-----------|---------|-----------|------------|--------------|--------------|
| 217 | 13 juin | C. Amenée | Bongo 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | Bongo 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | Rejet | Bongo 1 | 0,00 | 0,12 | 0,12 | 0,00 |
| | | | Bongo 2 | 0,00 | 0,06 | 0,06 | 0,00 |
| | | | Moyenne | 0,00 | 0,09 | 0,09 | 0,00 |
| | | Référence | Bongo 1 | 0,00 | 0,27 | 0,27 | 0,00 |
| | | | Bongo 2 | 0,00 | 0,50 | 0,50 | 0,00 |
| | | | Moyenne | 0,00 | 0,39 | 0,39 | 0,00 |
| | | Point 3 | Bongo 1 | 0,00 | 0,06 | 0,06 | 0,00 |
| | | | Bongo 2 | 0,00 | 0,26 | 0,26 | 0,00 |
| | | | Moyenne | 0,00 | 0,16 | 0,16 | 0,00 |
| | | 218 | 27 juin | Référence | Bongo 1 | 0,04 | 1,43 |
| Bongo 2 | 0,00 | | | | 0,58 | 0,35 | 0,23 |
| Moyenne | 0,02 | | | | 1,00 | 0,63 | 0,38 |
| Point 3 | Bongo 1 | | | 0,14 | 7,94 | 7,22 | 0,71 |
| | Bongo 2 | | | 0,09 | 5,04 | 4,52 | 0,51 |
| | Moyenne | | | 0,12 | 6,49 | 5,87 | 0,61 |
| 219 | 17 juillet | Point 3 | Bongo 1 | 0,53 | 11,41 | 4,84 | 6,57 |
| | | | Bongo 2 | 0,31 | 9,36 | 4,53 | 4,84 |
| | | | Moyenne | 0,42 | 10,39 | 4,68 | 5,70 |
| 220 | 25 juillet | C. Amenée | Bongo 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | Bongo 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | Rejet | Bongo 1 | 0,00 | 0,26 | 0,17 | 0,09 |
| | | | Bongo 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | Moyenne | 0,00 | 0,13 | 0,09 | 0,04 |
| | | Référence | Bongo 1 | 0,28 | 0,78 | 0,56 | 0,22 |
| | | | Bongo 2 | 0,30 | 1,20 | 0,80 | 0,40 |
| | | | Moyenne | 0,29 | 0,99 | 0,68 | 0,31 |
| | | Point 3 | Bongo 1 | 0,26 | 1,57 | 1,10 | 0,47 |
| | | | Bongo 2 | 0,36 | 2,46 | 1,64 | 0,82 |
| | | | Moyenne | 0,31 | 2,02 | 1,37 | 0,65 |
| | | 221 | 27 août | C. Amenée | Bongo 1 | 0,00 | 0,00 |
| Bongo 2 | 0,00 | | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Rejet | Bongo 1 | | | 0,00 | 0,34 | 0,17 | 0,17 |
| | Bongo 2 | | | 0,08 | 0,17 | 0,00 | 0,17 |
| | Moyenne | | | 0,04 | 0,26 | 0,09 | 0,17 |
| Référence | Bongo 1 | | | 0,00 | 0,48 | 0,36 | 0,12 |
| | Bongo 2 | | | 0,00 | 0,11 | 0,05 | 0,05 |
| | Moyenne | | | 0,00 | 0,30 | 0,21 | 0,09 |
| Point 3 | Bongo 1 | | | 0,00 | 2,08 | 2,00 | 0,08 |
| | Bongo 2 | | | 0,00 | 2,13 | 1,68 | 0,45 |
| | Moyenne | | | 0,00 | 2,10 | 1,84 | 0,26 |

Annexe 5.4. Densités des larves d'araignée en 2012 (en nombre par 10 m³)

| JUIN | Nombre total | Nombre mâles | Nombre femelles | Nombre femelles oeuvées | Longueur céphalothoracique moyenne (cm) | Poids moyen (g) | Sex-ratio (Pourcentage de mâles) |
|-------------------|--------------|--------------|-----------------|-------------------------|---|-----------------|----------------------------------|
| filière 1 | 49 | 21 | 27 | 1 | 8.7 | 455 | 43 |
| filière 2 | 113 | 69 | 41 | 3 | 9.2 | 538 | 61 |
| filière 3 | 199 | 95 | 101 | 3 | 7.9 | 323 | 48 |
| filière 4 | 31 | 19 | 10 | 2 | 9.3 | 597 | 61 |
| filière 5 | 246 | 111 | 134 | 1 | 7.5 | 271 | 45 |
| filière 6 | 47 | 24 | 23 | | 8.4 | 426 | 51 |
| filière 7 | 33 | 16 | 17 | | 9.0 | 510 | 48 |
| filière 8 | 85 | 47 | 31 | 7 | 9.5 | 591 | 55 |
| filière 9 | 80 | 43 | 33 | 4 | 8.4 | 408 | 54 |
| filière 10 | 164 | 89 | 74 | 1 | 8.0 | 338 | 54 |
| filière 11 | 45 | 22 | 23 | | 8.8 | 469 | 49 |
| filière 12 | 38 | 16 | 19 | 3 | 9.0 | 491 | 42 |
| filière 13 | 67 | 40 | 24 | 3 | 8.5 | 411 | 60 |
| filière 14 | 63 | 36 | 27 | | 8.3 | 396 | 57 |
| filière 15 | 61 | 30 | 31 | | 9.0 | 494 | 49 |
| Sous total | 1321 | 678 | 615 | 28 | 8.4 | 401 | 51 |

| SEPTEMBRE | Nombre total | Nombre mâles | Nombre femelles | Nombre femelles oeuvées | Longueur céphalothoracique moyenne (cm) | Poids moyen (g) | Sex-ratio (Pourcentage de mâles) |
|-------------------|--------------|--------------|-----------------|-------------------------|---|-----------------|----------------------------------|
| filière 1 | 21 | 9 | 12 | | 9.5 | 592 | 43 |
| filière 2 | 90 | 41 | 44 | 5 | 9.5 | 583 | 46 |
| filière 3 | 229 | 116 | 111 | 2 | 8.2 | 358 | 51 |
| filière 4 | 30 | 19 | 10 | 1 | 8.7 | 456 | 63 |
| filière 5 | 262 | 142 | 119 | 1 | 8.0 | 324 | 54 |
| filière 6 | 97 | 41 | 55 | 1 | 8.5 | 423 | 42 |
| filière 7 | 29 | 16 | 13 | | 9.2 | 557 | 55 |
| filière 8 | 122 | 54 | 60 | 8 | 9.7 | 624 | 44 |
| filière 9 | 107 | 53 | 53 | 1 | 8.3 | 382 | 50 |
| filière 10 | 145 | 75 | 66 | 4 | 8.2 | 355 | 52 |
| filière 11 | 34 | 19 | 13 | 2 | 9.0 | 525 | 56 |
| filière 12 | 45 | 23 | 20 | 2 | 9.3 | 574 | 51 |
| filière 13 | 53 | 27 | 23 | 3 | 8.7 | 437 | 51 |
| filière 14 | 69 | 30 | 37 | 2 | 9.1 | 493 | 43 |
| filière 15 | 97 | 51 | 46 | | 8.5 | 411 | 53 |
| Sous total | 1430 | 716 | 682 | 32 | 8.6 | 428 | 50 |

| | | | | | | | |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-----------|------------|------------|------------|
| Total | 2751 | 1394 | 1297 | 60 | 8.5 | 415 | 51% |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-----------|------------|------------|------------|

Annexe 5.5 : Résultats des pêches expérimentales de homard en 2012

| JUIN | Nombre total | Nombre mâles | Nombre femelles | Largeur céphalothoracique moyenne (cm) | Poids moyen (g) | Sex-ratio (Pourcentage de mâles) |
|-------------------|--------------|--------------|-----------------|--|-----------------|----------------------------------|
| filière 1 | 102 | 69 | 33 | 13.5 | 462 | 68 |
| filière 2 | 15 | 11 | 4 | 12.6 | 353 | 73 |
| filière 3 | 50 | 38 | 12 | 11.7 | 281 | 76 |
| filière 4 | 119 | 72 | 47 | 14.1 | 502 | 61 |
| filière 5 | 138 | 81 | 57 | 11.0 | 239 | 59 |
| filière 6 | 64 | 30 | 34 | 14.5 | 536 | 47 |
| filière 7 | 105 | 60 | 45 | 14.5 | 532 | 57 |
| filière 8 | 18 | 13 | 5 | 11.7 | 300 | 72 |
| filière 9 | 270 | 156 | 114 | 12.4 | 326 | 58 |
| filière 10 | 146 | 99 | 47 | 11.6 | 270 | 68 |
| filière 11 | 52 | 31 | 21 | 14.4 | 529 | 60 |
| filière 12 | 91 | 41 | 50 | 13.6 | 431 | 45 |
| filière 13 | 202 | 108 | 94 | 12.5 | 339 | 53 |
| filière 14 | 268 | 163 | 105 | 12.8 | 370 | 61 |
| filière 15 | 103 | 63 | 40 | 14.3 | 520 | 61 |
| Sous total | 1743 | 1035 | 708 | 12.9 | 384 | 59 |

| SEPTEMBRE | Nombre total | Nombre mâles | Nombre femelles | Largeur céphalothoracique moyenne | Poids moyen (g) | Sex-ratio (Pourcentage de mâles) |
|-------------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| filière 1 | 76 | 44 | 32 | 14.6 | 548 | 58 |
| filière 2 | 22 | 17 | 5 | 11.2 | 228 | 77 |
| filière 3 | 108 | 80 | 28 | 11.3 | 244 | 74 |
| filière 4 | 113 | 84 | 29 | 14.2 | 506 | 74 |
| filière 5 | 49 | 41 | 8 | 13.3 | 431 | 84 |
| filière 6 | 73 | 59 | 14 | 14.2 | 537 | 81 |
| filière 7 | 55 | 32 | 23 | 15.0 | 590 | 58 |
| filière 8 | 3 | 2 | 1 | 13.2 | 395 | 67 |
| filière 9 | 185 | 119 | 66 | 12.5 | 332 | 64 |
| filière 10 | 172 | 115 | 57 | 12.1 | 310 | 67 |
| filière 11 | 38 | 22 | 16 | 14.5 | 542 | 58 |
| filière 12 | 76 | 63 | 13 | 14.2 | 520 | 83 |
| filière 13 | 99 | 69 | 30 | 13.8 | 469 | 70 |
| filière 14 | 130 | 102 | 28 | 12.9 | 380 | 78 |
| filière 15 | 73 | 56 | 17 | 14.4 | 513 | 77 |
| Sous total | 1272 | 905 | 367 | 13.3 | 419 | 71 |

| | | | | | | |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| Total | 3015 | 1940 | 1075 | 13.0 | 399 | 64% |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|

Annexe 5.6 : Résultats des pêches expérimentales de tourteau en 2012

| JUIN | Nombre total | Nombre mâles | Nombre femelles | Nombre femelles oeuvées | Longueur céphalothoracique moyenne | Pourcentage d'individus de taille commerciale | Sex-ratio (Pourcentage de mâles) |
|-------------------|--------------|--------------|-----------------|-------------------------|------------------------------------|---|----------------------------------|
| filière 1 | 26 | 25 | 1 | | 10.7 | 31 | 96 |
| filière 2 | 34 | 30 | 1 | 3 | 11.3 | 29 | 88 |
| filière 3 | 46 | 45 | 1 | | 11.0 | 24 | 98 |
| filière 4 | 40 | 39 | 1 | | 10.2 | 20 | 98 |
| filière 5 | 19 | 16 | 3 | | 11.2 | 32 | 84 |
| filière 6 | 58 | 50 | 5 | 3 | 9.0 | 9 | 86 |
| filière 7 | 40 | 36 | | 4 | 9.5 | 15 | 90 |
| filière 8 | 47 | 43 | 2 | 2 | 11.2 | 40 | 91 |
| filière 9 | 17 | 16 | | 1 | 11.5 | 53 | 94 |
| filière 10 | 17 | 17 | | | 11.6 | 41 | 100 |
| filière 11 | 44 | 37 | 1 | 6 | 8.2 | 11 | 84 |
| filière 12 | 20 | 19 | | 1 | 10.0 | 10 | 95 |
| filière 13 | 16 | 16 | | | 11.0 | 38 | 100 |
| filière 14 | 23 | 23 | | | 10.9 | 26 | 100 |
| filière 15 | 70 | 67 | 1 | 2 | 7.5 | 11 | 96 |
| Sous total | 517 | 479 | 16 | 22 | 9.9 | 22 | 93 |

| SEPTEMBRE | Nombre total | Nombre mâles | Nombre femelles | Nombre femelles oeuvées | Longueur céphalothoracique moyenne | Pourcentage d'individus de taille commerciale | Sex-ratio (Pourcentage de mâles) |
|-------------------|--------------|--------------|-----------------|-------------------------|------------------------------------|---|----------------------------------|
| filière 1 | 97 | 58 | 39 | | 9.1 | 27 | 60 |
| filière 2 | 6 | 4 | 2 | | 7.4 | 0 | 67 |
| filière 3 | 0 | | | | 0.0 | 0 | 0 |
| filière 4 | 87 | 54 | 33 | | 9.6 | 21 | 62 |
| filière 5 | 3 | 2 | 1 | | 9.3 | 33 | 67 |
| filière 6 | 109 | 47 | 62 | | 8.7 | 10 | 43 |
| filière 7 | 158 | 75 | 83 | | 10.6 | 26 | 47 |
| filière 8 | 2 | 1 | 1 | | 11.1 | 50 | 50 |
| filière 9 | 1 | 1 | | | 9.1 | 0 | 100 |
| filière 10 | 16 | 8 | 8 | | 7.7 | 0 | 50 |
| filière 11 | 167 | 70 | 97 | | 10.6 | 17 | 42 |
| filière 12 | 11 | 6 | 5 | | 7.8 | 18 | 55 |
| filière 13 | 18 | 7 | 11 | | 7.9 | 6 | 39 |
| filière 14 | 15 | 9 | 6 | | 8.6 | 7 | 60 |
| filière 15 | 130 | 73 | 57 | | 7.7 | 3 | 56 |
| Sous total | 820 | 415 | 405 | 0 | 9.4 | 16 | 51 |
| 0 | | | | | | | |
| Total | 1337 | 894 | 421 | 22 | 9.6 | 19% | 67% |

Annexe 5.7 : Résultats des pêches expérimentales d'araignée en 2012

| JUIN | Nombre total | Nombre mâles | Nombre femelles | Nombre femelles oeuvées | Longueur céphalothoracique moyenne | Pourcentage d'individus mous | Sex-ratio (Pourcentage de mâles) |
|-------------------|--------------|--------------|-----------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| filière 1 | 64 | 52 | 9 | 3 | 5.0 | 14 | 81 |
| filière 2 | 8 | 8 | | | 5.3 | 13 | 100 |
| filière 3 | 30 | 28 | 1 | 1 | 5.1 | 3 | 93 |
| filière 4 | 19 | 17 | 2 | | 5.3 | 11 | 89 |
| filière 5 | 81 | 73 | 3 | 5 | 5.0 | 6 | 90 |
| filière 6 | 42 | 35 | 5 | 2 | 5.2 | 14 | 83 |
| filière 7 | 18 | 16 | 2 | | 5.1 | 17 | 89 |
| filière 8 | 2 | 2 | | | 5.8 | 0 | 100 |
| filière 9 | 39 | 33 | 4 | 2 | 5.0 | 8 | 85 |
| filière 10 | 26 | 25 | | 1 | 5.0 | 8 | 96 |
| filière 11 | 16 | 14 | 1 | 1 | 5.1 | 31 | 88 |
| filière 12 | 34 | 27 | 4 | 3 | 5.0 | 3 | 79 |
| filière 13 | 47 | 36 | 7 | 4 | 4.9 | 4 | 77 |
| filière 14 | 31 | 26 | 4 | 1 | 5.0 | 6 | 84 |
| filière 15 | 22 | 19 | 2 | 1 | 5.2 | 18 | 86 |
| Sous total | 479 | 411 | 44 | 24 | 5.1 | 10 | 86 |

| SEPTEMBRE | Nombre total | Nombre mâles | Nombre femelles | Nombre femelles oeuvées | Longueur céphalothoracique moyenne | Pourcentage d'individus mous | Sex-ratio (Pourcentage de mâles) |
|-------------------|--------------|--------------|-----------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| filière 1 | 9 | 7 | 2 | | 5.0 | 0 | 78 |
| filière 2 | 10 | 9 | 1 | | 5.4 | 0 | 90 |
| filière 3 | 26 | 25 | 1 | | 5.3 | 0 | 96 |
| filière 4 | 10 | 9 | 1 | | 5.2 | 10 | 90 |
| filière 5 | 11 | 10 | 1 | | 5.2 | 0 | 91 |
| filière 6 | 17 | 13 | 4 | | 5.2 | 0 | 76 |
| filière 7 | 5 | 4 | 1 | | 5.4 | 0 | 80 |
| filière 8 | 3 | 2 | 1 | | 5.5 | 0 | 67 |
| filière 9 | 25 | 24 | 1 | | 5.3 | 0 | 96 |
| filière 10 | 29 | 26 | 3 | | 5.1 | 0 | 90 |
| filière 11 | 7 | 3 | 4 | | 5.0 | 0 | 43 |
| filière 12 | 11 | 10 | 1 | | 5.4 | 0 | 91 |
| filière 13 | 36 | 33 | 3 | | 5.1 | 0 | 92 |
| filière 14 | 9 | 8 | 1 | | 5.3 | 0 | 89 |
| filière 15 | 7 | 5 | 2 | | 5.3 | 0 | 71 |
| Sous total | 215 | 188 | 27 | 0 | 5.2 | 0 | 87 |
| Total | 694 | 599 | 71 | 24 | 5.1 | 7% | 86% |

Annexe 5.8 : Résultats des pêches expérimentales d'étrille en 2012

| | Nombre de casiers relevés | | | Nombre de buccins pêchés | | | Nombre de pagures pêchés | | |
|--------------|---------------------------|-----------|-------|--------------------------|-----------|-------|--------------------------|-----------|-------|
| | Juin | Septembre | Total | Juin | Septembre | Total | Juin | Septembre | Total |
| filière 1 | 120 | 120 | 240 | 11 | 8 | 19 | 252 | 166 | 418 |
| filière 2 | 80 | 80 | 160 | 0 | 0 | 0 | 4 | 3 | 7 |
| filière 3 | 120 | 120 | 240 | 0 | 1 | 1 | 2 | 33 | 35 |
| filière 4 | 120 | 120 | 240 | 4 | 3 | 7 | 98 | 270 | 368 |
| filière 5 | 120 | 120 | 240 | 0 | 0 | 0 | 6 | 7 | 13 |
| filière 6 | 120 | 120 | 240 | 225 | 59 | 284 | 347 | 508 | 855 |
| filière 7 | 120 | 120 | 240 | 44 | 54 | 98 | 440 | 374 | 814 |
| filière 8 | 80 | 80 | 160 | 0 | 42 | 42 | 5 | 95 | 100 |
| filière 9 | 120 | 120 | 240 | 0 | 1 | 1 | 1 | 4 | 5 |
| filière 10 | 120 | 120 | 240 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| filière 11 | 120 | 120 | 240 | 441 | 25 | 466 | 617 | 131 | 748 |
| filière 12 | 120 | 120 | 240 | 2 | 1 | 3 | 39 | 34 | 73 |
| filière 13 | 120 | 120 | 240 | 0 | 0 | 0 | 8 | 108 | 116 |
| filière 14 | 120 | 120 | 240 | 0 | 0 | 0 | 14 | 7 | 21 |
| filière 15 | 120 | 120 | 240 | 26 | 121 | 147 | 31 | 299 | 330 |
| Total | 1720 | 1720 | 3440 | 753 | 315 | 1068 | 1864 | 2041 | 3905 |

Annexe 5.9 : Résultats des pêches expérimentales d'autres espèces en 2012

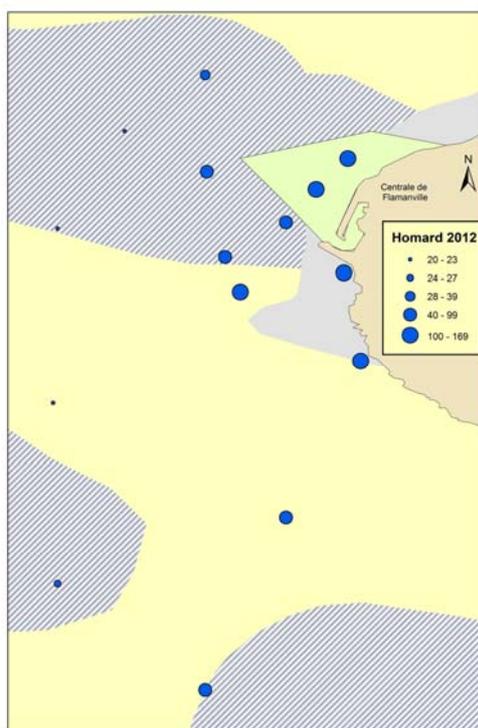


Figure A : Nombre de homards pour 80 casiers

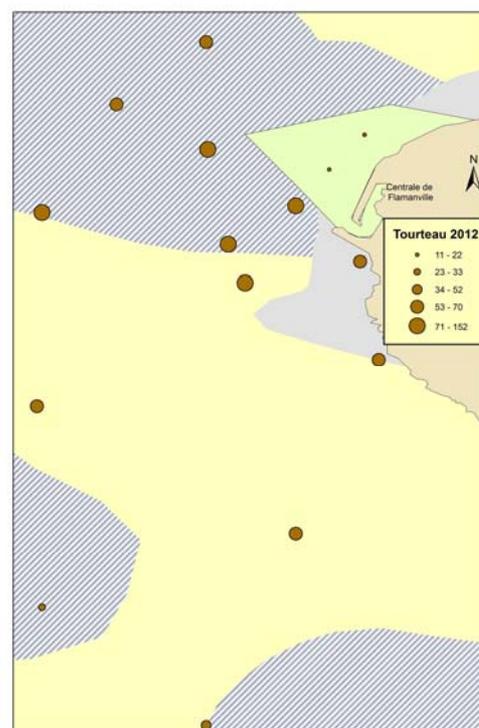


Figure B : Nombre de tourteaux pour 80 casiers

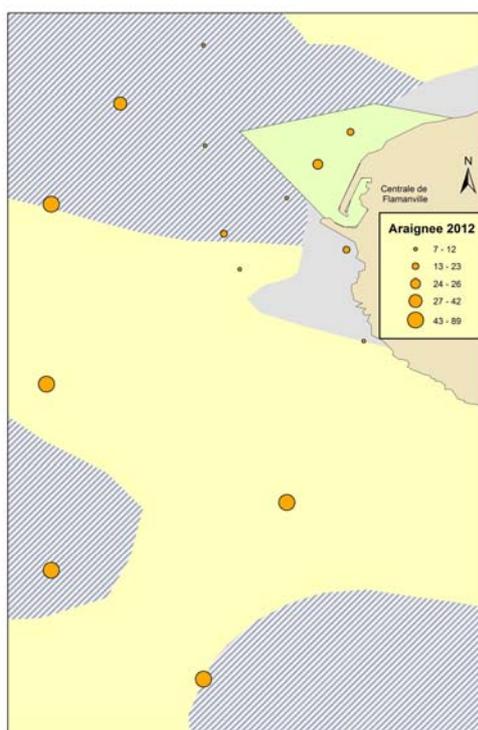


Figure C : Nombre d'araignées pour 80 casiers

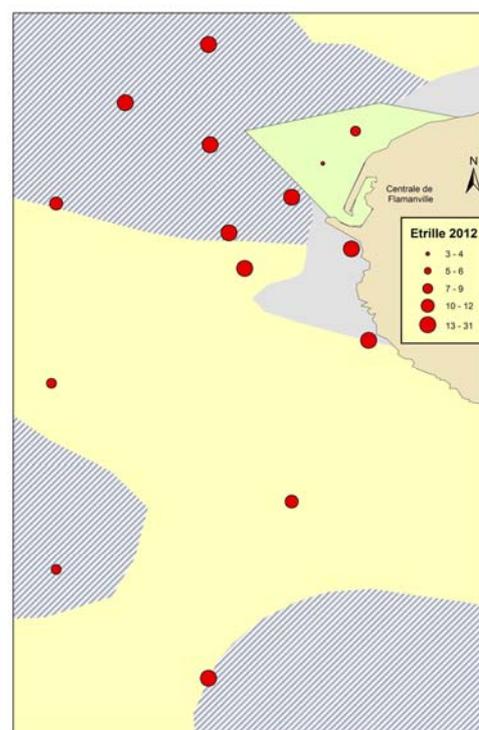


Figure D : Nombre d'étrilles pour 80 casiers

Annexe 5.10 : Répartition spatiale des quatre espèces de crustacés en 2012

6. Conclusion

6.1. Le domaine pélagique

Hydrologie

Les températures d'eau de mer mesurées en 2012 ont été supérieures à celles de l'année précédente au printemps et en automne, et sensiblement inférieures en été sur l'ensemble des points de surveillance. Les écarts de température entre les points *rejet-référence* et *rejet-canal* ont été généralement élevés et en particulier en automne. Les différences de températures au niveau du point *rejet* sont significatives toute au long de l'année avec les autres points de surveillance (*canal* et *référence*). Néanmoins, les mesures de températures des campagnes 2012, appuyées des résultats de modélisation, indiquent que l'étendue du panache de rejet reste toujours géographiquement très limitée.

Les salinités enregistrées au cours de l'année 2012 ont été généralement supérieures à celles de 2011 sur les différentes stations de surveillance toute l'année. Les salinités 2012 sont toujours supérieures aux valeurs médianes pluriannuelles calculées sur la période 1987-2011. La plus forte salinité depuis le début de la période de surveillance a été mesurée cette année au point *référence* au printemps. Habituellement, il existe un gradient côte-large croissant entre les points côtiers (*canal* et *rejet*) et celui du large (*référence*). Cette année, cela n'a été observé qu'au printemps. Le gradient côte-large qui est lié aux apports d'eau douce d'origine continentale n'a donc pas été clairement marqué.

L'ensemble des nutriments mesurés lors des campagnes de surveillance 2012 présente une évolution saisonnière classique. Suite à l'augmentation de l'ensoleillement, les sels nutritifs sont assimilés et consommés par le phytoplancton qui se développe entre le printemps et l'été. En particulier, cette année, la campagne réalisée au printemps montre que le bloom printanier avait déjà débuté. En automne, principalement sous l'effet de l'activité bactérienne, la dégradation de la matière organique produite au printemps et en été conduit à la régénération des nutriments dans la colonne d'eau. Dans l'ensemble, les concentrations en nutriments ont été généralement plutôt inférieures aux médianes pluriannuelles établies depuis 1987. A différentes reprises, elles définissent de nouveaux minima et notamment en automne, pour le nitrate au point *référence* et pour le nitrite au point *canal*.

Cette année, différents changements sont intervenus au niveau du protocole de surveillance. La mesure de la turbidité est venue remplacer celle des concentrations en MES. Ce paramètre a été caractérisé par une distribution spatiale très limitée. Sur le plan temporel, les turbidités se sont avérées plus importantes au printemps qu'aux autres saisons. Des mesures de concentrations des composés chimiques hydrazine et éthanolamine ont été effectuées aux différentes saisons sur les différents points de surveillance. Seule l'hydrazine a été détectée au point *canal* en automne à une concentration très proche de la limite de détection.

En conclusion, les données acquises au cours des trois campagnes de surveillance en 2012 ne permettent pas de déceler d'anomalie dans la distribution et la variation des paramètres hydrologiques au niveau de la centrale électronucléaire de Flamanville. L'activité de la centrale à travers ses rejets chimiques et thermiques ne semble donc pas modifier de manière sensible et significative les caractéristiques hydrologiques intrinsèques du milieu.

Microbiologie

Le nombre de germes revivifiables est dans l'ensemble resté stable en 2012 par rapport aux deux années précédentes à l'exception des points *canal* et *rejet* en automne. Au point *rejet*, les abondances de germes revivifiables ont été les plus importantes depuis 1987. La distribution spatiale reste inchangée avec un gradient décroissant marqué côte-large.

L'identification des vibriens halophiles par la « méthode EDF » (mise au point par le laboratoire Pasteur de Lille) confirme la présence et la dominance de l'espèce *Vibrio alginolyticus* parmi les vibriens halophiles cultivables à 37 ° C dans les eaux proches de la centrale. La présence de cette espèce a été identifiée en été et en automne mais à des concentrations relativement faibles (< 20 UFC Vibrio/L). Aucun autre vibriion n'a été identifié en 2012 dans les eaux proches de la centrale.

L'ensemble des paramètres du compartiment microbiologique présente généralement un gradient décroissant entre les points *canal* et *référence*, qui outre l'effet de la température, peut être expliqué par (1) les plus fortes teneurs en matière organique et en MES près des côtes et (2) un plus fort impact des activités humaines en général. Parallèlement, les abondances constatées au point *rejet* se situent généralement entre celles des points *canal* et *référence*.

L'examen des résultats 2012 pour le compartiment microbiologique indique qu'il n'existe aucun déséquilibre marqué du milieu lié à l'activité de la centrale de Flamanville.

Phytoplancton

L'année 2012 a été marquée par une biomasse phytoplanctonique élevée au cours du printemps, les concentrations en Chlorophylle *a* ayant atteint des valeurs de 4,82 et 5,22 µg/L sur les points *rejet* et *canal* respectivement à cette période. Ces concentrations exceptionnelles représentent les valeurs maximales enregistrées sur la zone depuis 1987. Ce bloom phytoplanctonique printanier n'a pas été restreint à la proximité du CNPE de Flamanville mais a concerné toute la zone côtière de l'ouest Cotentin, comme le montrent les images satellites du mois mars (figure 3.4.4). Les conditions hydro-climatiques de l'année 2012 peuvent expliquer ce phénomène global (i.e. ensoleillement en mars). Si les biomasses phytoplanctoniques observées au printemps 2012 sont exceptionnelles pour la zone, elles restent cependant dans la gamme des valeurs observées dans les eaux côtières de l'ouest Cotentin. Par la suite, les valeurs de biomasse mesurées en été et automne 2012 sont restées très proches des médianes pluri-annuelles, et le cycle saisonnier des communautés phytoplanctoniques observé en 2012 à proximité du CNPE sont en accord avec le cycle observé habituellement sur l'Ouest Cotentin.

Au printemps 2012, un gradient côté/ large est observé pour les différents paramètres suivis : biomasse phytoplanctonique, production primaire et abondances phytoplanctoniques. Les concentrations en Chlorophylle *a* et les abondances phytoplanctoniques diminuent de la côte vers le large. Le même pattern spatial est observé pour les paramètres photosynthétiques, avec des valeurs de r-ETR et de Y-max plus élevées à la côte qu'au large, qui témoignent d'une production primaire plus élevée et d'un meilleur état physiologiques des cellules. La période printanière est caractérisée par la dominance de *Thalassiosira* sp. et *Skeletonema costatum* sur l'ensemble de la zone. Cependant, le point *canal* se différencie en termes de proportion de diatomées (moins de 41%) liée à de fortes abondances de Prymnésiophycées sur ce point à cette période. Le point *référence* se caractérise quant à lui par une forte proportion de dinoflagellés.

En été de faibles biomasses phytoplanctoniques sont observées sur l'ensemble de la zone. Les paramètres photosynthétiques montrent la même évolution, avec une diminution du r-ETR et de Y-max par rapport aux valeurs mesurées au cours du printemps. En revanche, les abondances phytoplanctoniques sont plus élevées à cette période qu'au cours du printemps, et présentent un gradient décroissant de la côte vers le large. Les diatomées dominent largement la communauté phytoplanctonique sur l'ensemble de la zone au cours de l'été représentant plus de 87% de

l'abondance totale. Un gradient côte/large est observé au regard de la composition de la communauté de diatomées au cours de cette période (figure 3.4.14). En effet, les points *canal* et *rejet* sont caractérisés par la dominance du genre *Leptocylindrus* accompagné par les genres *Pseudonitzschia* et *Guinardia*. Le genre *Pseudonitzschia* qui domine sur le point du large, accompagné des genres *Guinardia* et *Rhizosolenia*. La période estivale est aussi marquée par une forte proportion de dinoflagellés à la côte (i.e. point *canal*), et des fortes abondances d'Euglènes sur les points *canal* et *rejet*. L'abondance de dinoflagellés en période estivale est un phénomène courant dans les eaux côtières tempérées. La consommation de silice par les diatomées au cours du bloom phytoplanctonique printanier est à l'origine de la diminution des concentrations en silice au cours de l'été, et la potentielle limitation de la croissance des diatomées en été par ce sel nutritif. Ces conditions nutritives ainsi qu'une relative stabilité de la colonne d'eau en période estivale sont propices à la croissance des dinoflagellés. Les fortes abondances d'Euglènes peuvent s'expliquer par des apports d'eau douce plus importants au cours de cette période. En effet ces organismes sont inféodés aux eaux douces et leur présence sur la zone côtière est le marqueur d'apports fluviaux plus abondants. La diminution de l'abondance de ces organismes de la côte vers le large observé en juin 2012 confirme cette hypothèse.

La période automnale est marquée par une relative augmentation de la biomasse phytoplanctonique sur l'ensemble de la zone par rapport au mois de Juin. Ceci s'accompagne d'une augmentation du r-ETR traduisant une production primaire plus intense qu'au cours de l'été. Ceci est en accord avec le cycle saisonnier observé en zone côtière Atlantique, caractérisé par un bloom printanier suivi d'un deuxième bloom moins intense en automne. Concernant Ymax, un gradient côte/large est observé en septembre, avec une diminution des valeurs de la côte vers le large, qui suggère un meilleur état physiologique des cellules phytoplanctoniques à la côte qu'au large au cours de la période automnale. Des conditions nutritives plus drastiques au large peuvent expliquer ce résultat. En septembre les diatomées dominent la communauté phytoplanctonique, représentant 85% à 97% de l'abondance totale. Cette période est caractérisée par une relative homogénéité de la communauté de diatomées sur l'ensemble de la zone (figure 3.4.14). En effet, les 3 points sont caractérisés par la dominance de 2 genres (*Leptocylindrus* et *Guinardia*), représentant à eux seuls plus de 73% de l'abondance totale des diatomées. Le point le plus large (i.e. point *référence*) se distingue cependant des 2 autres points par l'importance des genres *Pseudonitzschia* et *Chaetoceros*. Ces deux genres sont aussi présents sur les points *canal* et *rejet*, mais leur contribution reste très marginale. Les dinoflagellés représentent moins de 3% de l'abondance totale au cours de cette période. Le genre le plus représenté sur l'ensemble de la zone est *Alexandrium*. Ce genre comporte certaines espèces toxiques. Cependant, les abondances cellulaires observées en septembre sur les 3 points restent très marginales et ne suggèrent donc aucun risque.

Le cycle saisonnier du phytoplancton ainsi que la structure des communautés phytoplanctoniques observés en 2012 ne présentent pas de caractéristiques pouvant mettre en cause l'activité du CNPE de Flamanville. Leur évolution dans le temps est en concordance avec celle observée sur la zone ouest Cotentin.

Zooplancton

En 2012, les abondances zooplanctoniques correspondaient à ce qui est habituellement observé sur le site de surveillance depuis 1991, avec toutefois de fortes abondances observées au point *référence* en mars. L'évolution de l'abondance zooplanctonique depuis 1991 montre une différence significative entre les points de prélèvement au printemps et en été mais pas en automne. L'abondance zooplanctonique moyenne au point *canal* depuis 1991 étant significativement plus faible qu'au point *référence* au printemps. Le point *canal* de part sa position en milieu peu profond et abrité dans l'enclave du canal d'entrée de la centrale de Flamanville présente souvent une proportion d'individus holoplanctoniques (copépodes, appendiculaires, chaetognathes) plus faible.

Au printemps 2012, le méroplancton représentait plus de 90 % du zooplancton total. Cette fraction était surtout composée de larves de cirripèdes. L'holoplancton quant à lui dominait largement le zooplancton en été et à l'automne (jusqu'à 94 %). Comme toujours en milieu côtier tempéré, il était essentiellement caractérisé par les copépodes. Les espèces dominantes étaient, dans l'ordre, *Acartia clausi*, *Centropages hamatus*, *Paracalanus parvus*, *Euterpina acutifrons*, *Pseudocalanus elongatus* et *Temora longicornis* et chacune de ces espèces respecte, pour ce que peut montrer cette analyse de trois campagnes annuelles, leur répartition saisonnière habituelle. Les faibles abondances observées de *T. longicornis* vont dans le sens de la tendance observée ailleurs en Manche depuis quelques années.

Aux trois périodes d'observations, les valeurs enregistrées au niveau du rejet en mer s'inscrivent dans l'intervalle de celles des points *canal* et *référence*. L'influence des rejets de la centrale, si elle existe, n'est donc pas décelable.

6.2. Le domaine benthique

Après avoir atteint son minimum en 2011, la biomasse annuelle moyenne de *Fucus serratus* du platier de Dielette est en hausse tant en mars qu'en septembre. Les valeurs restent toutefois inférieures aux moyennes observées sur la période 1983 à 2012. Après la disparition des fucales en limite supérieure de la ceinture en 2010 et 2011, la présence de quelques thalles de *Fucus serratus* est constatée en 2012.

Conformément au développement de l'espèce, c'est en fin d'hiver que la biomasse est la plus basse.

En 2012, la biomasse algale augmente également dans d'autres secteurs en Manche, notamment dans la région de Paluel et aussi à Guissény en Bretagne nord. Cette hausse importante à Flamanville et à Guissény est faible à Paluel.

Les pourcentages de thalles de *Fucus serratus* portant des signes de fertilité en mars, juin et septembre 2011 sont conformes aux valeurs observées depuis le début des études. La population de Fucales de Flamanville se caractérisant par un taux de fertilité élevé en fin d'été.

Le recrutement des cirripèdes est en baisse en 2012. Les quatre stations affichent des valeurs relativement faibles en mars comme en septembre particulièrement au Rozel pour la seconde année consécutive.

La densité moyenne de cirripèdes évaluée en 2012 est quasiment la même qu'en 2011. Elle reste très inférieure à la moyenne calculée sur la période 1983 à 2012. Les valeurs diminuent particulièrement au Rozel, sont stables à Diélette et à Quédoy et sont en hausse au Sémaphore. *Semibalanus balanoides* reste l'espèce dominante dans la région de Flamanville.

Concernant les Fucales de Diélette et les Cirripèdes de la région de Flamanville, les résultats des observations faites au cours de l'année 2012 n'indiquent pas d'influence directe des rejets d

6.3. Le domaine halieutique

Larves de crustacés

Les températures du premier semestre 2012 sont bien au-dessus de la moyenne. C'est ainsi que le début des éclosions de larves d'araignée a commencé au cours de la première quinzaine de juin comme nous pouvions le prévoir dès le début du mois de mars.

La densité de zoés atteint la valeur maximale (10,4 par 10m³) dès la mi juillet, valeur qui se situe parmi les valeurs les plus importantes observées antérieurement en excluant cependant les années 2010 et surtout 1983 qui sont exceptionnelles. La densité maximale de mégalopes observée également mi juillet (0,42 par 10 m³) est moyenne. Notons que les larves d'araignées sont régulièrement assez abondantes depuis 2009.

Après avoir noté en 2010 que le point référence pouvait être un lieu important d'éclosion de larves d'araignée on retrouve cette année comme l'an passé la prépondérance du point 3 ; des zoés et mégalopes d'araignée ont été observées cette année comme l'an passé dans les environs du rejet après leur absence en 2010 mais nous n'en avons observé aucune dans le canal d'amenée où elles sont très rares.

Le pic d'éclosion de larves de homard se dessine fin juin comme en 2011 après quelques années où la précocité des éclosions nous faisait manquer le pic. Comme en 2011 les larves ont été observées jusque fin juillet mais la densité maximale est plus faible (0,02 par 10 m³).

Les résultats de l'année 2012 ne révèlent pas de déséquilibre du milieu qui pourrait être imputé au CNPE de Flamanville. Les fluctuations temporelles de la date des pics d'éclosion sont le reflet des variations climatiques.

Surveillance de la pêche côtière des crustacés

Les rendements en homard de cette année sont parmi les plus élevés depuis 1985. La tendance significative est haussière sur l'ensemble de la série historique. La taille moyenne est toujours inférieure à la taille marchande. Il semble que la population profite encore d'une augmentation du nombre de juvéniles d'un à trois ans que l'on retrouve en très forte proportion au sud du cantonnement. Il n'est pas possible de savoir si ces petits homards proviennent de la réserve dans la mesure où il est difficile, pour des raisons de capturabilité, de mortalité importante et de mues rapprochées, de marquer les juvéniles de moins de 60 mm de longueur céphalothoracique. Cette augmentation semble provenir de méta-population ou d'un stock plus important car les professionnels travaillant en manche ouest remarquent parallèlement une recrudescence importante de juvéniles sur une période aussi longue. L'habitat rocheux situé au sud du CNPE de Flamanville est de toute façon très favorable au développement de juvéniles.

Le tourteau est toujours la principale espèce capturée cette année et ceci malgré la forte abondance du homard dans les filières placées au sud de la réserve. Généralement une forte concentration en gros homards provoque un phénomène d'exclusion compétitive des tourteaux vis à vis probablement de la nourriture. Toutefois lorsque la concentration de tourteau dans un secteur est importante comme dans les filières 9,10 et 14, la compétition entre les deux espèces semble s'équilibrer.

Les captures d'araignée sont en augmentation cette année tout en restant dans les limites des fluctuations annuelles importantes observées depuis dix ans. D'autre part la taille moyenne diminue, probablement à cause d'une grande quantité de petits individus observés dans les filières situées principalement sur les zones de sable.

La taille moyenne des étrilles capturées est en légère augmentation cette année mais n'a pas significativement varié depuis six ans. Elle correspond probablement au seuil de sélectivité de la méthode de prélèvement. Il faut toutefois noter que les rendements augmentent encore cette année lors de la campagne du mois de juin. Les résultats concernant l'étrille sont plutôt positifs dans la mesure où l'indice d'abondance est en augmentation sur l'ensemble de la zone et que la taille est relativement stable depuis plusieurs années.

Dans la réserve, un certain nombre de points peuvent être mis en avant :

Les captures de homards sont encore importantes cette année et sont au plus haut depuis la création de la réserve. La taille moyenne a légèrement augmenté cette année ce qui voudrait dire que la proportion de gros individus est plus importante dans la réserve et que comme nous l'avons supposé l'an passé, il doit y avoir un phénomène d'échappement des petits individus vers l'extérieur et notamment le long de la côte vers le sud de la zone. Le nombre de femelles oeuvées est plus important qu'à l'extérieur. Ce qui devrait permettre une plus grande production de larves, favorisant selon les courants, la population de la réserve et la connectivité entre les populations avoisinantes. Il est prévu de faire un point zéro sur une zone située au sud de Carteret dont l'habitat est favorable au développement de petits individus.

Comme cela a déjà été souligné au cours des années précédentes, les rejets du CNPE de Flamanville n'ont pas d'incidence sur la diversité et la structure de la communauté des crustacés suivis dans le cadre de la surveillance écologique.

* * *

7. Bibliographie

- ABARNOU A., 1981.- Trihalométhanes formés par chloration de l'eau de mer. *In* : 2èmes journées de la thermo-écologie, Nantes, 14-15 novembre 1979. Electricité de France Ed., 247-266.
- ABARNOU, A., 1981.- Aspects chimiques de la chloration de l'eau de mer. Rapport ISTPM, 92 pp.
- ABARNOU, A., GUILLAUD, J-F., MIOSSEC, L., BATT, A. 1990.- La chloration des effluents urbains avant rejet en mer. Rapports scientifiques et techniques de l'Ifremer. N°20, 167 pp.
- AGOUMI, A., ENDERLE, M.J. & GRAS, R.A. 1983.- Modélisation du régime thermique de la Manche. *Oceanologica Acta*, 6, (4) 393-406
- ALDEBERT (Y.), 1975.- Comparaison des rendements du "Bongo".- Rapport FAO - ISTPM.
- AMINOT A., CHAUSSEPIED M. 1983.- « Manuel des analyses chimiques en milieu marin » Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO), Brest, 395 pp.
- AMINOT A., KEROUEL R., 2004.- Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Ed. Ifremer, 336 p.
- ARBAULT S. et LACROIX N., 1975.- Essais comparatifs des pouvoirs de capture de deux filets à plancton (GULF III encasé et Bongo).- *Cons. int. Explor. Mer*, Comité des poissons pélagiques (sud), J:8.
- ARMSTRONG, F.A.J., BUTLER, E.I. & BOALCH, G.T. 1972.- Hydrographic and nutrient surveys in the western English Channel during 1963 and 1964. *Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom*, 52, 915-930
- BENTLEY, D. & MAILLARD-QUISTHOUDT, C. 1990 « Hydrographic and nutrient surveys in the western English Channel during 1963 and 1964 ». *Journal pour la Recherche Océanographique*, 15, (3/4) 135-141
- 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.
- BROUARDEL, J., RINCK, E. 1963.- « Mesure de la production organique en Méditerranée, dans les parages de Monaco, à l'aide du 14C » *Ann. Inst. Océanogr. Monaco*, n. Sér., 40 (2) :109-164.
- CABIOC'H J., et AL. 1992. Guide des algues des mers d'Europe. Ed. Delachaux et Nestlé, 232 p.
- COCHLAN W.P., 1986. Seasonal study of uptake and regeneration of nitrogen on the scotian shelf. *Continental Shelf Research* 5, 555-577
- DREVES L., 2001. Effets climatiques sur les écosystèmes marins. Exemple du recrutement des crustacés cirripèdes sur la côte ouest du Cotentin. *Hydroécol. Appl.* (2001) Tome 13 Vol. 1, pp. 101-112.
- DREVES L., ABERNOT-LE GAC C., GAFFET J.D., MAHEUX., 2009. Observations de trois peuplements de *Fucus serratus* en Manche. Colloque ALGIMAC, Concarneau, décembre 2009. *Cryptogamie, Algol*, 30 (4): 311-341.
- ERICKSON, S. J. et FREEMAN, A. E., 1978 Toxicity screening of fifteen chlorinated and brominated compounds using four species of marine phytoplankton. *In* : *Water Chlorination*. vol. 2., 307-310. Jolley et al. Ed.
- FRONTIER, 1972.- Calcul de l'erreur sur un comptage de zooplancton. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 8, pp. 121-132

- 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.
- GENTILHOMME, V., LIZON, F. 1998.-** « Seasonal cycle of nitrogen and phytoplankton biomass in a well-mixed coastal system (Eastern English Channel). *Hydrobiologia*. 361 : 191-199.
- GOHIN, F., DRUON, J-N., LAMPERT, L., 2002.** « A five channel chlorophyll concentrations applied to SeaWiFS data processed by SeaDAS in coastal waters». *Int. J. Remote Sensing*. Vol. 23 N°8, 1639-1661.
- GOHIN, F., LAMPERT, L., GUILLAUD, J-F., HERBLAND, A., NEZAN, E., 2003.** « Satellite and in situ observation of the late winter phytoplankton bloom, in the northern Bay of Biscay ». *Continental Shelf Research* 23, 1117-1141.
- IPCC, 2001.** Climate change 2001, Synthesis report, Watson R. T. and the Core Writing Team Editors, Cambridge University Press, Cambridge U.K., New-York U.S.A., 1-111.
- JONES, S.R. & JEFFS, T.M. 1991.-** « Near surface sea temperatures in coastal waters of the North Sea, English Channel and Irish Sea ». *Fisheries Research Data Report*, n°24
- 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.
- KILHAM, P., KILHAM, S.S. 1980.-** « The evolutionary ecology of phytoplankton » In. Morris I. (ed.). The physiological ecology of phytoplankton. Pp. 571-597. *Blackwell Scientific Publications*. Oxford.
- KLEIN, B. ET SOURNIA, A.1987.-** « A daily study of the diatom spring bloom at Roscoff (France) in 1985. II. Phytoplankton pigment composition studied by HPLC analysis » *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 37 : 265-275.
- LAANE, R.W.P.M. 1992.-** « Background concentrations of natural compounds ». *Ministry of transport, Public Works and Water Management*, Report DGW-92.033
- LABRY, C., HERBLAND, A., DELMAS, D., LABORDE, P., LAZURE, P., FROIDEFOND, J-F., JEGOU, A-M., SAUTOUR, B., 2001.** Initiation of winter phytoplankton blooms within Gironde plume waters in the Bay of Biscay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 212, 117-130.
- LAMPERT, L. 2001.-** « Dynamique saisonnière et variabilité pigmentaire des populations phytoplanktoniques dans l'Atlantique Nord (Golfe de Gascogne) ». Thèse de troisième cycle, *Université de Bretagne Occidentale*. 328 pp.
- L'HELGUEN, S., MADEC, C. ET LE CORRE, P., 1993.-** « Nutrition azotée du phytoplancton dans les eaux brassées de la Manche Occidentale ». *Oceanologie Acta* 16, 653-660
- LORENZEN, C.J. 1966.-** « A method for the continuous measurements of *in vivo* chlorophyll concentrations ». *Deep-Sea Res.* 13: 223-227.
- LUMBY, J.R. 1935.-** « Salinity and temperature of the English Channel ». *Fishery Investigations, series II, vol. XIV, n°3*.
- LUND, J.W.G., KIPLING, C., LE CREN, E.D. 1958.-** « The inverted microscop method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting ». *Hydrobiologia* 11 : 143-178
- MALHERBE, J.F. & MANOHA, B. 1977.-** « Centrale de Flamanville-Avis C ; Influence courantologique et thermique ». *Electricité De France, Direction des études et recherches*, HE041/77.013

- MARTIN (J.), 1996.-** Hatching period of the larvae of spider crab *Maja squinado* Herbst in the English Channel according to seawater temperature. Poster presented at the 2nd European Crustacean Conference, Liège (september 2-6).
- MARTIN J. & PLANQUE B., 2006.** Variability in the onset of hatching of *Maja brachydactyla* Balss, 1922 (Brachyura: Majidae) in the English channel in relation to sea temperature. *Invertebrate Reproduction and Development* 49 (3), 143-150.
- MASTAIL M. & BATTAGLIA A., 1978.** Amélioration de la conservation des pigments du zooplancton, *Cons. Int. Explor. Mer*, L:20.
- MAUCLINE J., 1998.-** The biology of calanoid copepods. *Advances in Marine Biology* 33: 1-710
- MIOSSEC L., 2002.-** Les vibrions pathogènes pour l'homme : le risque associé au milieu marin en France. *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
- NICHOLS (J.H.), BENNET (D.B.) et LAWRENCE (A.), 1980.-** A study of some problems relating to quantitative sampling of lobster larvae, *Homarus gammarus* (L.) - *Cons. int. Explor. Mer*, Comité des Crustacés, L:14.
- PINGREE, R.D. & MADDOCK, L. 1977.-** « Tidal residuals in the English Channel ». *Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom*, 57, 339-354
- POULARD, J.C. & AL, SIH-C, 2007.-** « Poissons et invertébrés au large des côtes de France. Indicateurs issus des pêches scientifiques ». Bilan 2004. Ifremer, Nantes, EMH : 07-001
- QUERO, J.C. (coord.), 1998.** Les fruits de la mer et plantes marines des pêches françaises. Ed. Delachaux et Nestlé, 256 p.
- RAGUENEAU, O., DE BLAS VARELA, E., TREGUER, P., QUEGUINER, B., DEL AMO, Y. 1994.** « Phytoplankton dynamics in relation to the biogeochemical cycle of silicon in a coastal ecosystem of western Europe ». *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 72, 106-157.
- REES, A.P., OWENS, N.J.P., HEATH, M.R., PLUMMER, D.H., ET BELLERBY, R.S., 1995.-** « Seasonal nitrogen assimilation and carbon fixation in a fjordic sea loch ». *Journal of Plankton Research* 17, 1307-1324
- RIOU, J. 1990.-** « Modèle d'écosystèmes phytoplanctonique marin sur le littoral nord breton (Manche Occidentale) ». *Thèse de doctorat, Institut National polytechnique*, Toulouse
- ROCHET, M.J., TRENKEL, V.M., BELLAIL, R., COPPIN, F., LE PAPE, O., MAHE, J.C., MORIN, J., POULARD, J.C., SCHLAICH, I., SOUPLET, A., Y. VERIN, Y., & BERTRAND, J.A., 2005.** Combining indicator trends to assess ongoing changes in exploited fish communities : diagnostic of communities off the coasts of France. *ICES Journal of Marine Science*, 62: 1647-1664.
- ROCHET, M.J., TRENKEL, V.M., COPPIN, F., LE PAPE, O., MORIN, J., POULARD, J.C., SCHLAICH, I., Y. VÉRIN, Y., & BERTRAND, J.A., 2003.** L'état des communautés exploitées au large des côtes de France. Application d'indicateurs à l'évaluation de l'impact de la pêche. 170 p.

- SALOMON, J.C., BRETON, M. & GUEGUENIAT, P. 1993.-** « Computed residual flow through the Dover Strait ». *Oceanologica Acta*, **16**, 449-455
- SHERMAN (K.) et HONEY (A.), 1971.-** Size selectivity of the Gulf III and Bongo zooplankton Samplers.- *icnaf, research bulletin*, n°8 : 45-48.
- SCHERRER, B. 1984.-** « Biostatistique ». *Gaëtan Morin* (ed.) Québec. 850 pp.
- SCHNACK (D.), 1974.-** On the reliability of methods for quantitative surveys of fish larvae.- In : The early life history of Fish, Blaxter J.H.S. rédacteur, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York.
- SIMPSON, J.H. & HUNTER, J.R. 1974.-** « Fronts in the Irish Sea ». *Nature*, **1250**, 404-406
- SMITH (E.), 1974.-** Manual of methods for fisheries resource survey and appraisal.- Part 4, Standard techniques for pelagic fish eggs and larvae surveys.- National Marine Fisheries Service édit., Washington.
- STEEMANN NIELSEN, E. 1951.-** « Measurement of the production of organic matter in the sea » *Nature*, 167 : 684.
- STEEMANN NIELSEN, E. 1952.-** « The use of radioactive carbon (14C) for measuring organic production in the sea » *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.* 18 : 117-140.
- TAPPIN, A.D., HYDES, D.J., BURTON, J.D. & STATHAM, P.J. 1993.-** « Concentrations, distributions and seasonal variability of dissolved Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Pb and Zn in the English Channel ». *Continental Shelf Research*, **13**, (8/9) 941-969.
- TAYLOR, A.H. & STEPHENS, J.A. 1983.-** « Seasonal and year to year changes in the temperatures of the English Channel and the Southern North Sea, 1961-1976 : a budget ». *Oceanologica Acta*, **6**, (1) 63-72
- UGLEM I., 1993.** Influence of shells and as substrate in culture compartments on survival, growth and claw asymmetry in large scale culture of lobsters, *Homarus gammarus* (L.). Proceedings of the First European Crustacean Conference, Paris, August 31 - September 5, 1992, (abstracts), P. Noël coord., éditions du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 1993 : 165 (livret des résumés).
- UTERMOHL, H. 1958.-** « Zur vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt. Int. Verein. Limnol.* 9 : 1-38.
- VIOLEAU, D., DRIBAUT, P. 1997.-** Centrale de Flamanville, calcul 3D d'impact thermique pour la configuration actuelle (2 tranches de 1300MW) ». Note technique EDF, Département Laboratoire National d'Hydraulique. 68 pp.
- WEAR (R.), 1974.-** Incubation in british Decapod Crustacea, and the effects of temperature on the rate and success of embryonic development.- *J. mar. biol. Ass. U.K.*, **54** (3) : 745-762.
- WILHELM G., 1995 -** Contribution à l'étude de l'étrille *Necora puber* dans le Mor-Braz : données halieutiques, biologiques et pathologiques. 244pp.
- WOEHLING D., LEFEBVRE A., LE FÈVRE-LEHOËRFF G. & DELESMONT R., 2005.** Seasonal and longer term trends in sea temperature along the French North Sea coast, 1975 to 2002, *J. Mar. Biol. Ass.*, U.K., 85, 39-48.

SITE ELECTRONUCLEAIRE DE FLAMANVILLE

**RAPPORTS D'AVANT-PROJET ET DE PROJET
DU DOMAINE MARIN COTIER
PRODUITS PAR LE CNEXO AVANT 1983**

BELSHER T., HAMON D., JOUAN G., CABIOCH L., RETIERE C (1976).- Etude écologique d'avant-projet sur le site de Flamanville. Rapp. CNEXO/COB/DELGMM, avril 1976, 94 p. + annexes.

ROMAÑA A., SERET B. (COORDINATEURS), BELSHER T, CHARDY P., DE LA SALLE P., ERARD E., HAMON D., JOUAN G., LAUREC A., RYCKAERT M. (1977). - Etude écologique de Projet – Site de Flamanville – 1^{er} Cycle. Rapp. CNEXO-UL, octobre 1977 :

- Vol. 1 : Rapport général, 260 p.
- Vol. 2 : Traitements mathématiques, 39 p.
- Vol. 3 : Annexes, 213 p.

CHARDY P., ROMAÑA A. (COORDINATEURS), ARNAL O., ARZUL G., BELSHER T., DE LA SALLE P., ERARD E., GUILLAUMONT B., HAMON D., LE FEVRE-LEHOERFF G., LOARER R., RYCKAERT M., TOULARASTEL F. (1986). Etude écologique de Projet – Site de Flamanville – 2^e Cycle de Juin 1977 à Juin 1978. (Edition provisoire : rapp. CNEXO-ELGMM, juin 1979) Rapp. Ifremer DERO-86.22-EL

- Vol. 1 : Le domaine pélagique. Fasc. 1 : Rapport, 269 p. ; Fasc. 2 : Annexes, 168 p.
- Vol. 2 : Le domaine benthique. 221 p.

**RAPPORTS DE SURVEILLANCE
DU DOMAINE MARIN COTIER
PRODUITS PAR L'IFREMER DEPUIS 1983**

LEAUTE J.P. ET C. LE BEC, 1984. - Etude de Surveillance écologique des ressources halieutiques, Site de Flamanville, Zooplanctonologie, ANNEE 1983. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, édit., Nantes, mai 1984, 182 p.

PIRIOU J.Y. ET C. VIGIER, 1984. – Site de Flamanville, étude complémentaire, Biomasse algales, potentielles et en dérive. Rapp. CNEXO/DERO-86.21-EL, novembre 1984, 33 p. + annexes.

VERON G., D. MIOSSEC ET P. NOEL, 1985. - Etude de Surveillance écologique des ressources halieutiques, Site de Flamanville, Surveillance de la pêche côtière. des crustacés, ANNEE 1983. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, édit., Nantes, janvier 1985, 151p.

ARNAL O, T. BELSHER, C. CHEVALIER, L. DREVES, E. ERARD, P. GENTIN, F. GRESSELIN, B. GUILLAUMONT, D. HAMON, R. LOARER, M. OBATON, J.Y. PIRIOU, J.Y. QUINTIN ET P. WALKER, 1985.- Etude de Surveillance écologique sur le site de Flamanville, ANNEE 1983. Rapp. CNEXO/COB/DELGMM, mars 1985, 124 p.

GENTIN P., L. DREVES, E. ERARD-LE DENN, B. GUILLAUMONT, R. LOARER, A. MENESGUEN, J.Y. PIRIOU ET J.Y. QUINTIN, 1986.- Surveillance écologique sur le site de Flamanville, ANNEE 1984. Rapp. IFREMER DERO-86.12 EL, 131 p.

MARTIN J. ET D. HALGAND, 1986.- Etude de surveillance des ressources halieutiques, Site de Flamanville, Zooplanctonologie, avril-octobre 1984. Rapp. interne IFREMER DRV-86.008-RH, décembre 1986, 286 p.

- GUILLAUMONT B., J.P. AUFFRET, S. BERNE, F. GRESSELIN ET P. WALKER, 1987.-** Surveillance écologique, Site de Flamanville, Le domaine benthique, Etude par sonar latéral et prises de vue sous-marines, 1983-1984. Rapp. IFREMER DERO-87.05-EL, 35 p. + 14 cartes.
- GUILLAUMONT B., HAMON D., LAFOND L.R., LE RHUN J., LEVASSEUR J. ET PIRIOU J.P., 1987.** – Etude régionale intégrée du Golfe normano-breton, carte biomorphosédimentaire de la zone intertidale au 1/25 000, côte ouest du Cotentin et Baie du Mont Saint-Michel. Rapp. Ifremer DERO-87.17-EL, 50 p. + 7 cartes.
- VERON G.ET D. MIOSSEC, 1987.-** Etude de Surveillance écologique des ressources halieutiques, Site de Flamanville, Surveillance de la pêche côtière des crustacés, ANNEE 1984. Rapp. interne IFREMER DRV-86.008-RH, mai 1987.
- MARTIN J. (COORDINATEUR), L. DREVES, E. ERARD-LE DENN, P. GENTIEN, J.Y. PIRIOU, J.Y QUINTIN ET G. VERON, 1988.** -Surveillance écologique et halieutique, Site de Flamanville, ANNEE 1985. Rapp. IFREMER DRV-87.19-RH, DERO-87.28-EL, décembre 1988, 311p.
- MARTIN J. (COORDINATEUR), G. ARZUL, L. DREVES, E. ERARD-LE DENN, J.Y QUINTIN ET G. VERON, 1990.** -Surveillance écologique et halieutique, Site de Flamanville, ANNEE 1986. -Rapp. IFREMER DRV-88.06-RH, DERO-88.14-EL, novembre 1990, 136 p.
- MARTIN J. (COORDINATEUR), G. ARZUL, L. DREVES, E. ERARD-LE DENN, D. MIOSSEC, J.Y. PIRIOU ET J.Y QUINTIN, 1990.** -Surveillance écologique et halieutique, Site de Flamanville, ANNEE 1987. [Edition définitive] Rapp. IFREMER DRV-89.017-RH, DERO-89.12-EL, novembre 1990, 182 p.
- MARTIN J. (COORDINATEUR), G. ARZUL, L. DREVES, E. ERARD-LE DENN, D. MIOSSEC, J.Y. PIRIOU ET J.Y QUINTIN, 1991.** -Surveillance écologique et halieutique, Site de Flamanville, ANNEE 1988. Rapp. IFREMER RIDRV-90.46-RH, RIDRO-90.14-EL, mai 1991, 134 p.
- MARTIN J. (COORDINATEUR), G. ARZUL, L. DREVES, E. ERARD-LE DENN, D. MIOSSEC, J.Y. PIRIOU ET J.Y QUINTIN, 1991.** -Surveillance écologique et halieutique, Site de Flamanville, ANNEE 1989. Rapp. IFREMER RIDRV-90.47-RH, RIDRO-90.15-EL, septembre 1991, 148 p.
- DREVES L. (COORDINATEUR), G. ARZUL, E. ERARD-LE DENN, J. MARTIN, D. MIOSSEC ET J.Y QUINTIN, 1991.** -Surveillance écologique et halieutique, Site de Flamanville, ANNEE 1990. Rapp. IFREMER DRO.EL-91.15, juillet 1991, 122 p.
- DREVES L. (COORDINATEUR), G. ARZUL, E. ERARD-LE DENN, J. MARTIN, D. MIOSSEC, J.Y. PIRIOU ET J.Y QUINTIN, 1992.** -Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1991. Rapp. IFREMER DEL/Brest-92.23, juin 1992, 161 p.
- DREVES L. (COORDINATEUR), G. ARZUL, E. ERARD-LE DENN, J. MARTIN, D. MIOSSEC, J.Y. PIRIOU ET J.Y QUINTIN, 1993.** -Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1992. Rapp. IFREMER DEL/Brest-93.14, juillet 1993, 146 p.
- DREVES L. (COORDINATEUR), E. ERARD-LE DENN, M. LUNVEN, J. MARTIN, D. MIOSSEC, J.Y. PIRIOU ET J.Y QUINTIN, 1994.** -Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1993. Rapp. IFREMER DEL/Brest-94.09, juin 1994, 105 p.
- DREVES L. (COORDINATEUR), J.Y QUINTIN, E. ERARD-LE DENN, M. LUNVEN, J. MARTIN ET D. MIOSSEC, 1995.** -Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1994. Rapp. IFREMER DEL/Brest-95.09, juin 1995, 112 p. + annexes.

- DREVES L. (COORDINATEUR), J. MARTIN, E. ERARD-LE DENN, M. LUNVEN, D. MIOSSEC ET J.Y QUINTIN, 1996.** -Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1995. Rapp. IFREMER DEL/Brest-96.07, juin 1996, 114 p. + annexes.
- DREVES L. (COORDINATEUR), ERARD-LE-DENN E., LUNVEN M., MARTIN J., MIOSSEC D., QUINTIN J.Y. (1997)** - Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1996. Rapp. IFREMER DEL/CR/RST/97/09, mai 1997, 108 p. + annexes.
- DREVES L. (COORDINATEUR), ERARD-LE-DENN E., LUNVEN M., MARTIN J., MIOSSEC D., QUINTIN J.Y. (1998)** - Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1997. Rapp. IFREMER DEL/CR/98/04, mars 1998, 112 p. + annexes.
- DREVES L. (COORDINATEUR), ERARD-LE-DENN E., GAFFET J.D., LUNVEN M., MARTIN J., MIOSSEC D., QUINTIN J.Y. (1999)** - Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1998. Rapp. IFREMER DEL/99.09/Brest, juin 1999, 126 p.
- DREVES L. (COORDINATEUR), ERARD-LE-DENN E., LUNVEN M., MARTIN J., MIOSSEC D., QUINTIN J.Y.. (2000)** - Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1999. Rapp. IFREMER DEL/00.04/Brest, juin 2000, 122 p.
- DREVES L. (COORDINATEUR), ERARD-LE-DENN E., GAFFET J.D., DE KERGARIOU G., LUNVEN M., MARTIN J., MIOSSEC D., RUMEBE M., (2001)** - Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 2000. Rapp. IFREMER RST.DEL/01.04, mars 2001, 128 p.
- DREVES L. (COORDINATEUR), MARTIN J., MONBET P., RUMEBE M., SCHLAICH I., DU BOULLAY H., (2002)** - Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 2001. Rapp. IFREMER RST.DEL/02.04, mars 2002, 154 p.
- DREVES L. (COORDINATEUR), LAMPERT L., MARTIN J., RUMEBE M., SCHLAICH I. (2003)** - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, ANNEE 2002 – Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST-DEL/SR/03.04, mars 2003, 166 p.
- DREVES L. (COORDINATEUR), LAMPERT L., MARTIN J., ABERNOT-LE GAC C., GAFFET J., RUMEBE M., SCHLAICH I. (2004)** - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, ANNEE 2003 – Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST-DEL/SR/04.04, mars 2004, 176 p.
- DREVES L. (COORDINATEUR), LAMPERT L., MARTIN J., ABERNOT-LE GAC C., DAGAULT F., GAFFET J., RUMEBE M., SCHLAICH I. (2005)** - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, ANNEE 2004 – Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST-DOP/LER/05.02, mars 2005, 194 p.
- DREVES L. (COORDINATEUR), LAMPERT L., MARTIN J., ABERNOT-LE GAC C., BRYLINSKI J., VINCENT D., GAFFET J., SCHLAICH I. (2006)** - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, ANNEE 2005 – Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST-DOP/LER/06.02, mars 2006, 202 p.
- DREVES L., ABERNOT-LE GAC C. (COORDINATEURS), LAMPERT L., MARTIN J., BRYLINSKI J., NOGUES L., SCHLAICH I., VINCENT D., (2007)** - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, ANNEE 2006 – Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST-DOP/LER/07.03, mars 2007, 190 p.
- DREVES L., ABERNOT-LE GAC C. (COORDINATEURS), ANTAJAN E., LAMPERT L., MARTIN J., NOGUES L., SCHLAICH I., (2008)** - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, ANNEE 2007 – Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST-DOP/LER/08.02, mars 2008, 204 p.

DREVES L., ABERNOT-LE GAC C. (COORDINATEURS), ANTAJAN E., LAMPERT L., MARTIN J., MONBET P., SCHLAICH I., (2009) - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, ANNEE 2008 – Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST-DOP/LER/09.03, mars 2009, 200 p.

DREVES L., ABERNOT-LE GAC C., MONBET P. (COORDINATEURS), ANTAJAN E., MARTIN J., SCHLAICH I., (2010) - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, ANNEE 2009 – Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST-DOP/LER/10.02, mars 2010, 208 p.

ABERNOT-LE GAC C., DREVES L., (COORDINATEURS), ANTAJAN E., FIANT L., MARTIN J., MONBET P., SCHLAICH I., (2011) - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, ANNEE 2010 – Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST-ODE/UL/11.01, mars 2011, 218 p.

ABERNOT-LE GAC C., DREVES L., (COORDINATEURS), ANTAJAN E., MARTIN J., MONBET P., SCHAPIRA M., SCHLAICH I., (2012) - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, ANNEE 2011 – Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST-LER/FBN/12.05, avril 2012, 220 p.

ABERNOT-LE GAC C. (COORDINATRICE), ANTAJAN E., DEVREKER D., DREVES L., MARTIN J., MONBET P., SCHAPIRA M., SCHLAICH I., (2013) - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, ANNEE 2012 – Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST-LER/BO/13.004, mars 2013, 214 p.

ETUDES PARTICULIERES DU DOMAINE MARIN COTIER

DREVES L. (COORDINATEUR), LAMPERT L., ABERNOT-LE GAC C., MARTIN J., ARZEL P., DUMAS F., LATROUITE D., SCHLAICH I., WOEHLING D., (2006) – Synthèse hydrobiologique du site électronucléaire de Flamanville – Rapp. Ifremer RST-DOP/LER/06.03, mars 2006, 386 p.

EHRHOLD A., CHEVALIER C., HAMON D., CAISEY X., GAFFET J.D., ALIX A., (2008) – Campagnes benthiques au large de Flamanville – Etat initial des zones de clapage C3 et C4 – Rapp. Ifremer RST-DYNECO/EB/08.01, janvier 2008, 55 p. + 10 annexes

* * *