

Thème 2 – Surveillance, usage et mise en valeur des zones
côtières

Thème 4 – Ressources halieutiques, exploitation durable et
valorisation

Luc DREVES - Luis LAMPERT - Chantal ABERNOT-LE GAC
Jocelyne MARTIN - Pierre ARZEL - Frank DUMAS
Ivan SCHLAICH – Daniel LATROUITE – Daniel WOEHLING

Mars 2006 - Rapport DOP/LER/06.03

Synthèse hydrobiologique du site électronucléaire de Flamanville



Site avant la construction de la centrale

Marché EDF n° DER5-001

Type de rapport : RST (Rapports de résultats de recherches scientifiques et/ou techniques)	
Numéro d'identification du rapport : DOP/LER/06.03	date de publication : mars 2006
Diffusion : libre - restreinte - interdite	nombre de pages : 386
Validé par :	bibliographie :
Adresse électronique :	illustration(s) : Oui
- chemin UNIX :	langue du rapport : Français
- adresse WWW :	
Titre et sous-titre du rapport :	
Synthèse hydrobiologique du site électronucléaire de Flamanville	
Titre traduit :	
Auteur(s) principal(aux) : nom, prénom	Organisme / Direction / Service, laboratoire
DRÉVÈS Luc LAMPERT Luis ABERNOT - LE GAC Chantal MARTIN Jocelyne ARZEL Pierre DUMAS Franck LATROUITE Daniel SCHLAICH Ivan WOEHLING Daniel	IFREMER – DOP - LER - D LER - LER-N DCB - DYNECO-Benthos DCN - EMH DCB - STH - LBH DCB - DYNECO-PHYSED DCB - STH - LBH DCMMN/HMMN/RHPEB DCN - EMH
Collaborateur(s) : nom, prénom	Organisme / Direction / Service, laboratoire
Organisme commanditaire : nom développé, sigle, adresse	
Électricité de France (EDF) - Production Transport - C.N.P.E. de Flamanville B.P. 4 - 50 340 Les Pieux	
Titre du contrat :	n° de contrat Ifremer
Organisme(s) réalisateur(s) : nom(s) développé(s), sigle(s), adresse(s)	
IFREMER Centre de Brest, B.P. 70, 29 280 Plouzané	
IFREMER Centre de Nantes, B.P. 21 105, 44 311 Nantes Cedex 03	
IFREMER Station de Port-en-Bessin, Av. du Général de Gaulle, 14 520 Port-en-Bessin	
Responsable scientifique : Luc DRÉVÈS - Ifremer - Brest - DOP - LER	
Cadre de la recherche :	
Programme :	Convention de marché
Surveillance et évaluation de la qualité du milieu marin	Marché EDF n° DER5-001
Projet : I.G.A.	Autres (préciser) :
Impact des Grands Aménagements	
Mots-clés :	
Centrale nucléaire, Flamanville, Synthèse, Surveillance ; Benthos, Halieutique, Pelagos.	

Résumé :

Ce rapport de synthèse fait le point sur l'état des connaissances hydrobiologiques marines acquises aux abords du site électronucléaire de Flamanville (nord-ouest Cotentin), dans le cadre des différents programmes de projet et de surveillance des domaines pélagique, benthique et halieutique, menés sur ce site depuis 1976.

Chaque domaine est divisé, autant que nécessaire, en compartiments d'étude, tels que l'hydrologie, le phytoplancton, la microbiologie, les larves de crustacés ou les algues macrophytes. Pour chaque compartiment, une série de paramètres, jugés représentatifs de l'évolution de ce compartiment, est étudiée. Ainsi, pour le compartiment hydrologique, sont suivis la température et la salinité de l'eau de mer, les concentrations en nutriments minéraux, les composés halogénés et le bore. Les évolutions de ces différents paramètres ont permis d'élaborer les conclusions suivantes.

La physiologie des espèces animales et végétales est conditionnée par les changements climatiques. L'examen des paramètres pluviométrie et température de l'air montre que la période 1986/2005 est sensiblement plus humide et plus chaude que la période 1949/2005. Cela se répercute également sur la température de l'eau de mer dont les valeurs moyennes croissent régulièrement.

Dans le **domaine pélagique**, le principal paramètre indicateur de l'activité de la centrale est la température de l'eau de mer utilisée dans ses circuits de refroidissement. Les écarts de température observés entre le pompage dans le canal d'amenée et le rejet en mer quelques minutes après oscillent entre 1 °C et 3 °C. Ces écarts sont constatés en surface, dans les quelques dizaines de mètres proches de la verticale des deux tulipes de rejets. Le taux de dilution est très fort du fait des forts courants de marée du secteur de Flamanville. Seul le compartiment zooplanctonique montre des évolutions intervenues depuis le début des études. Au regard de l'influence forte due au réchauffement climatique, il est impossible de déceler celle des rejets thermiques de la centrale.

Pour le **domaine benthique**, le suivi des peuplements de *Fucus serratus* et des crustacés cirripèdes, deux peuplements de substrats durs intertidaux, montre des évolutions importantes sur l'ensemble des périodes d'observations. Il est démontré que le recrutement printanier des cirripèdes est dépendant de la rigueur de l'hiver. Quant aux variations des biomasses algales, elles sembleraient suivre les mêmes fluctuations observées, tant en Bretagne qu'en Normandie, sur les grandes algues de la famille des laminaires.

Dans le **domaine halieutique**, les résultats du suivi des larves de homard et d'araignée de mer ne montrent aucune tendance à la baisse des densités relevées annuellement. Le lien entre la précocité des éclosions et la température de l'eau de mer (qui subit le réchauffement global du climat) a été démontré. L'évolution temporelle des paramètres retenus pour ces

espèces est identique à celle observée à l'échelle de la Manche, et ne permet pas de dégager de tendance sur la période couverte par le suivi. Sur les paramètres étudiés, et avec les stratégies mises en place depuis 1977, aucune influence significative des rejets thermiques et chlorés de la centrale de Flamanville a pu être mise en évidence sur le compartiment halieutique.

Commentaire :

Ce document doit être cité de la manière suivante :

Drévès L., Lampert L., Abernot-Le Gac C. (coordinateurs), Martin J., Arzel P., Dumas F., Schlaich I., Latrouite D., Woehrling D., (2006) – Synthèse hydrobiologique du site électronucléaire de Flamanville –Rapp. IFREMER RST.DOP/LER/06.03, mars 2006, 386 p.

Cette synthèse repose, pour partie, sur les travaux réalisés à l'Ifremer par :

ABERNOT-LE GAC Chantal, ARNAL Olivier, ARZEL Pierre, ARZUL Geneviève, AUFFRET Jean-Paul, BELSHER Thomas, BERNE Serge, BRYLINSKI Jean-Michel, CABIOCH Louis, CHARDY Pierre, CHEVALIER Claire, DAGAULT Françoise, DREVES Luc, DUMAS Franck, ERARD Evelyne, GAFFET Jean-Dominique, GENTIEN Patrick, GRESSELIN François, GUILLAUMONT Brigitte, HALGAND Daniel, HAMON Dominique, JOUAN Gérard, KERGARIOU Gabriel (de), LAMPERT Luis, LA SALLE Patrice (de), LATROUITE Daniel, LAUREC Alain, LEAUTE Jean-Paul, LE BEC Claude, LE FEVRE-LEHOERFF Geneviève, LOARER Ronan, LUNVEN Michel, MARTIN Jocelyne, MENESGUEN Alain, MIOSSEC Dominique, MONBET Philippe, NOEL Philippe, PIRIOU Jean Yves, QUINTIN Jean-Yves, RETIERE Christian, ROMANA Axel, RUMEBE Myriam, RYCKAERT Mireille, SCHLAICH Ivan, SERET Bernard, THILLAYE du BOULLAY Hervé, TOULARASTEL France, VERON Gérard, VIGIER Claire, VINCENT Dorothee, WALKER Patrice, WOEHRLING Daniel.

ANNEZO Jean-Pierre, ANTOINE Virginie, BARBAROUX Olivier, BEILLOIS Pierre, BELLOUIS Michel, BERTHELE Olivier, BODENES Pierre, BOURRIAU Paul, CANN Philippe, CARDIN Laurent, CAROFF Nicolas, CARPENTIER André, CHAPRON Victorien, COCHARD Marie-Laure, COIC Daniel, CRASSOUS Marie-Pierre, CRASSOUS Philippe, DANIEL Anne, DANIELOU Marie-Madeleine, DEJOUY Cathy, DERRIEN Annick, DESBRUYERES Elizabeth, DONNOU Jean-Bernard, DUVAL Audrey, DUVAL Pierre, ELBEE Jean (d'), FIANT Liliane, FOUCHER Eric, GIRARD Floriane, GRELLIER Patrick, GUENNEGAN Yvon, GUERALT Daniel, GUILBAUD Thérèse, HUET Jérôme, JAOUEN Yvon, JOANNY Michel, JOFFRAUD Jean-Jacques, JUSTOME Vincent, KERBOUL André, LAMORT Laure, LE GALL Erwan, LE GOFF Ronan, LE GRAND Jacqueline, LE MENN Rémi, LEROUX Claude, L'YAVANC Jacky, MAHEUX Franck, MARSHALL Paul, MONNIER Christèle, OBATON M., PASCO Laurent, PERROT Fabienne, PETIT de LA VILLEON Loic, PIERRE-DUPLESSIX Olivier, POULARD Jean-Charles, PRUD'HOMME Christian, QUINIOU Françoise, RAILLARD Jean-Michel, RETIERE Nathalie, ROUXEL Catherine, FRANÇOISE Sylvaine, VIGNEAU Joël, VIMONT Cathy, YOUENOU Agnès, YOUENOU Gilles

Sommaire

	PAGE
Préambule	8
Partie 1. Contexte morphosédimentaire et hydrodynamique	
1.1 Contexte morphosédimentaire du nord-ouest Cotentin	14
1.2 Hydrodynamique _____	15
Partie 2. Les caractéristiques environnementales	
2.1 Climatologie _____	23
2.2 Température de l'eau de mer _____	29
Partie 3. Le domaine pélagique	
3.1 Hydrologie _____	41
3.2 Microbiologie _____	87
3.3 Phytoplancton _____	101
3.4 Zooplancton _____	119
3.5 Substances faisant l'objet du DARPE _____	235
3.6 Synthèse des propriétés physico-chimiques de l'eau de mer	252
3.7 Conclusions _____	255
Partie 4. Le domaine benthique	
4.1 Phytobenthos _____	259
4.2 Zoobenthos _____	287
Partie 5. Le domaine halieutique	
5.1 Larves de crustacés _____	307
5.2 Surveillance de la pêche côtière _____	324
5.3 Evolution des pêcheries de crustacés dans le GNB _____	338
Partie 6. Conclusion	353
Partie 7. Bibliographie & glossaire	
7.1 Bibliographie _____	363
7.2 Liste des rapports d'études et de surveillance de Flamanville	369
7.3 Glossaire _____	372

Préambule

Dans le cadre de l'implantation d'une nouvelle tranche sur le site de la Centrale électronucléaire de Flamanville (département de la Manche), **Électricité de France** a confié à l'**IFREMER**¹ la constitution d'une note d'étude présentant la synthèse des études de surveillance réalisées au droit de ce site. Cette synthèse porte plus particulièrement sur les paramètres physico-chimiques, ainsi que sur la faune et la flore marine.

En fonction du contexte législatif en vigueur, Ifremer réalise en effet depuis 1975 les études écologique et halieutique du milieu marin encadrant ce site. Ces études ont été réalisées (et le sont toujours) dans un cadre législatif et réglementaire bien précis :

- 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 Scioto (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.

L'arrêté ministériel du 11 mai 2000, en son titre IV, chapitre IV, article 29, précise la surveillance physico-chimique et biologique de l'environnement marin en incluant l'analyse du bore dans la surveillance du domaine pélagique.

Les travaux actuellement réalisés se déroulent conformément au marché passé par EDF. Ils sont présentés dans le tableau 0.1 ; les points de prélèvements sont localisés sur la carte de la figure 0.1 page suivante.

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

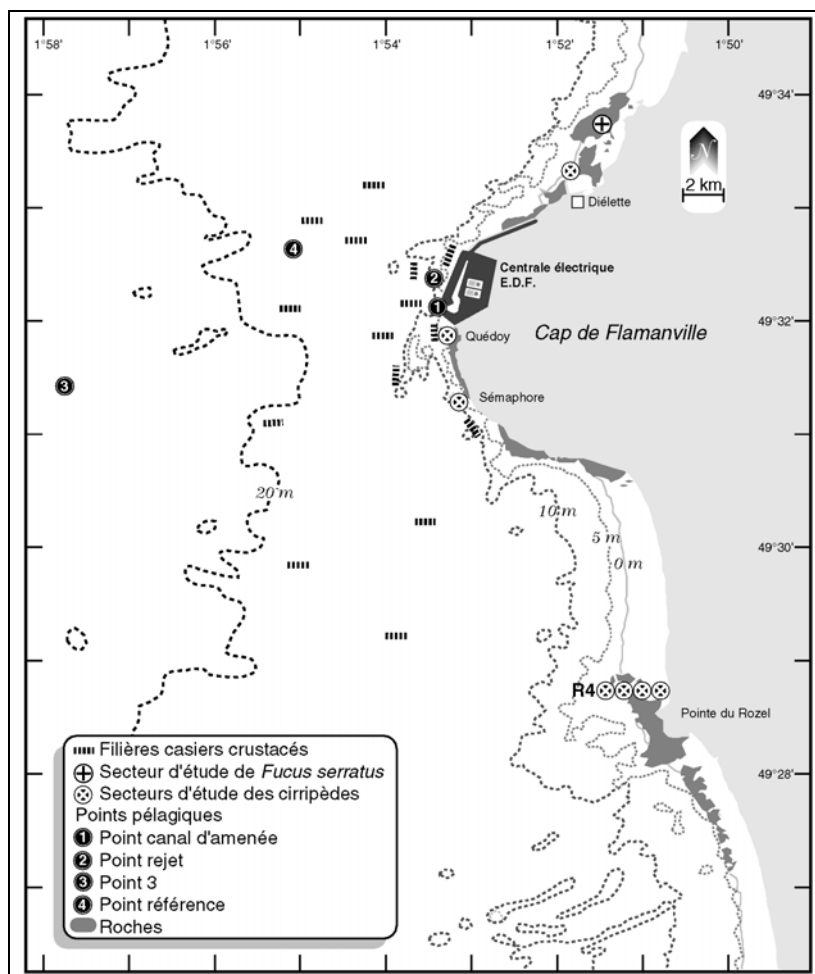


Figure. 0.1 : Carte des abords de Flamanville, indiquant les points de prélèvements échantillonnés par Ifremer

Année type	Points de prélèvements	Paramètres étudiés	Nombre de réplicats à chaque point	Dates missions
DOMAINE PELAGIQUE	Référence	Température M.E.S. Bore	Référence 1 à -10m Rejet 1 subsurf. C.amenée 1 subsurf.	mars juin/juillet septembre
Hydrobiologie		Salinité Haloformes	1 subsurface 2 subsurface	
Phytoplancton		Sels nutritifs NH4	Référence 2 subsurf. 2 à -10m	
Zooplancton		Chlorophylle Phaeopigments Production primaire Identification des espèces	Rejet 4 subsurf. C.amenée 4 subsurf.	
Microbiologie		Biomasse Composition chimique (carbone, azote) Identification des espèces	6 WP2 congelés (2 triples) 1 WP2 formolé	
	Canal d'aménée	Dénombrement des - germes totaux - germes viables Recherche des vibrions halophiles	Référence 4 Rejet 2 C.amenée 2	
DOMAINE BENTHIQUE	Platier de Diélette	<i>Fucus serratus</i> - Biométrie - Longueur	10 pieds tous les 10 m. sur chaque radiale 10 quadrats /secteur	mars [juin*] septembre
Phytobenthos	3 Radiales Dans la zone à <i>Fucus serratus</i> Secteurs 1, 2, 3	- Nbre de dichotomies - Fertilité - Diamètre du thalle - Biomasse		
Zoobenthos	Points ROZEL (1, 2, 3, 4) Point SEM Point QUEDOY Point Diélette	Substrats durs intertidaux - Densité des différentes espèces de cirripèdes - Faune associée	Par point : 8 quadrats 12 comptages 4 grattages	mars [juin*] septembre
	Points 2, SEM, QUEDOY, Diélette	- Étude de recolonisation	Par point : quadrats (3x25)cm ²	
DOMAINE HALIEUTIQUE	[Point 3] Référence Rejet	Densité des larves d'araignée et homard	2 Bongo 1 Neuston surface	6 campagnes entre juin et septembre
Zooplancton et Hydrologie Suivi de l'exploitation et de la biologie des espèces commerciales	Canal d'aménée N.O. Cotentin	- température - salinité Recueil d'informations sur la pêche professionnelle	
	15 points (1 filière par point)	Pêches expérimentales - pour homard, tourteau, araignée, étrille (longueur, sex-ratio) - autres espèces (présence)	4 levées des 15 filières d'au moins 20 casiers	juin septembre

Tableau 0.1 : Récapitulatif de l'activité réalisée par l'Ifremer au cours d'une année type devant le C.N.P.E. de Flamanville

1 Principales caractéristiques morphosédimentaires et hydrodynamique des abords de Flamanville

Luc Drévès

Franck Dumas

La **côte ouest du Cotentin**, où est implanté le CNPE de Flamanville, suit, du Cap de la Hague à la baie du Mont Saint-Michel, une direction générale nord-sud qui souligne l'effondrement du golfe normano-breton et recoupe les structures plissées paléozoïques du massif armoricain. En contrebas d'une falaise morte ancienne de 50 à 70 m d'altitude, la zone intertidale est constituée par un platier rocheux arasé, fortement redressé et diaclasé ; il est recouvert, au niveau de la barrière littorale, par des cailloutis et des placages de sables surmontés de dunes.

La barrière littorale, d'une puissance de l'ordre de la dizaine de mètres, isole, entre la côte actuelle et l'ancienne falaise quaternaire, une zone de plaine maritime déprimée que l'alluvionnement, lié au fonctionnement des estuaires (« havres »), comble peu à peu. Seuls quelques pointements rocheux en forme de Caps émergent de cet ensemble, découpant la côte en secteurs plus ou moins indépendants les uns des autres.

Cette côte est directement exposée à l'action des vents et des houles de secteur ouest provenant de l'Atlantique. Les marées ont des amplitudes élevées (12 à 13 m en vives eaux) et sont à l'origine de courants littoraux importants.

Toutes les observations et les mesures faites sur cette côte exposée à des agents dynamiques divers convergent pour montrer qu'en chaque point du littoral l'équilibre actuel de la côte dépend des structures géologiques préexistantes et que l'action de façonnement dominante est due à la houle, en dépit de l'importance du marnage et des courants qui sont induits par la marée.

La côte ouest du Cotentin peut être divisée, du nord au sud, en trois grandes régions :

- la **zone nord-Cotentin**, du Cap de la Hague au Cap de Carteret ; la côte est rocheuse ou formée de dunes directement accrochées sur la falaise ;
- la **zone Cotentin-centre**, du Cap de Carteret à la pointe du Roc à Granville ; la zone intertidale, s'élargissant progressivement du nord (~ 1 km) au sud (~ 4 km), est caractérisée par la grande extension de platiers rocheux en avant d'une barrière littorale dunaire ; les falaises anciennes restent en arrière-côte et les rivières, mêmes modestes, débouchent à la mer à travers la barrière littorale par l'intermédiaire de lagunes envahies à chaque marée, les havres ; les obstacles sont nombreux en avant de la côte ;
- le **domaine sédimentaire de la baie du Mont Saint Michel**.

Dans le cadre de notre étude, nous nous intéresserons tout particulièrement à la région nord.

1.1 Contexte bio-morphosédimentaire de la zone nord-Cotentin

En dépit de la violence des courants de marée au large, la morphologie de cette zone côtière apparaît comme directement liée au déferlement des grandes houles qui parviennent sans rencontrer d'obstacles (en dehors des îles anglo-normandes assez lointaines) depuis l'Atlantique jusqu'au littoral.

La zone intertidale reste peu développée et peu diversifiée transversalement, en dépit des 10 à 11 mètres de marnage qu'il est possible d'observer en période de vives-eaux. Les zones rocheuses de la Hague et de Flamanville encadrent des secteurs sédimentaires à Vauville et à Sciotot, et les séparent d'autant plus franchement l'un de l'autre qu'il n'y a aucune évidence nette de l'existence de facteurs dynamiques permettant des transports de matériel sédimentaire vers la côte.

L'anse de Sciotot a été étudiée en deux périodes de l'année (fin d'hiver et fin d'été) de 1983 à 1992. Cette anse, adossée à une dune attaquée en falaise vive de 4 à 5 mètres de commandement, se présente comme un vaste estran sableux très battu, caractérisé par une pente douce (avoisinant 2 %), régulière et sans rupture apparente. L'absence de ripple-marks lui confère un aspect lisse, excepté au moment des fortes tempêtes d'ouest où se forment des mégarides de 0,50 m de hauteur, espacées de 1 à 2 mètres par des cuvettes de rétention. Dans le nord de l'anse, à proximité immédiate du Cap de Flamanville, l'hydrodynamisme est moins important. L'estran, large de 350 à 400 mètres, présente un pavage de galets sur une trentaine de mètres en haut de plage, et un bombement de 0,20 m de hauteur environ au niveau de la mi-marée.

Entre l'anse de Sciotot et le havre de Portbail, les formations intertidales sont plus développées, avec un passage d'un régime de plages homogènes au nord à celui de plages plus différenciées au sud, la coupure pouvant s'établir au niveau de Carteret.

La plage de Surtainville, entre la pointe du Rozel et le Cap de Carteret, est, avec ses 10 km de longueur, l'une des plus grandes de la côte.

Le sédiment de ces plages ouvertes est constitué essentiellement de sables fins à moyens homogènes sur les quinze premiers centimètres, puis en dessous un faciès plus grossier et hétérogène avec de petits galets mous. La fraction graveleuse est faible ; la fraction pélitique, pratiquement inexistante. La fréquente remise en suspension du sédiment constitue un facteur sélectif et limitant pour l'endofaune qui présente de ce fait de faibles densités et biomasse (inférieure à 1 g de matière sèche au m²). Les Crustacés amphipodes dominent très largement en nombre sur l'ensemble de la zone alors que les Annélides, également bien représentés, colonisent préférentiellement les secteurs les plus abrités. Il est à noter l'absence de mollusques bivalves.

Les pointements rocheux (La Hague, Flamanville, le Rozel, Carteret) constituent l'essentiel des substrats durs intertidaux de la zone nord-Cotentin. La forte intensité des actions hydrosédimentaires s'y traduit par le développement de peuplements animaux de mode battu (cirripèdes) et une couverture algale réduite.

1.2 Hydrodynamique

1.2.1 La marée

Le processus dominant le régime hydrodynamique en Manche est la marée. Dans le golfe Normano-Breton, elle résulte de la propagation d'une onde incidente à l'ouest de la Manche qui se réfléchit sur la presqu'île du Cotentin.

Autour de Flamanville, comme le long de toutes les côtes françaises en Manche, la marée est semi-diurne (deux pleines mers et deux basses mers par jour) à inégalité diurne (les marées du matin et du soir ne sont pas de même amplitude). Le marégraphe du port de Diélette situé juste au nord du Cap de Flamanville donne les marnages suivants :

- en vives eaux moyennes (coefficient 95) : 8,6m
- en mortes eaux moyennes (coefficient 45) : 4,0m

Les inégalités diurnes mesurées sur le marnage sont de l'ordre du mètre (figure 1.1)

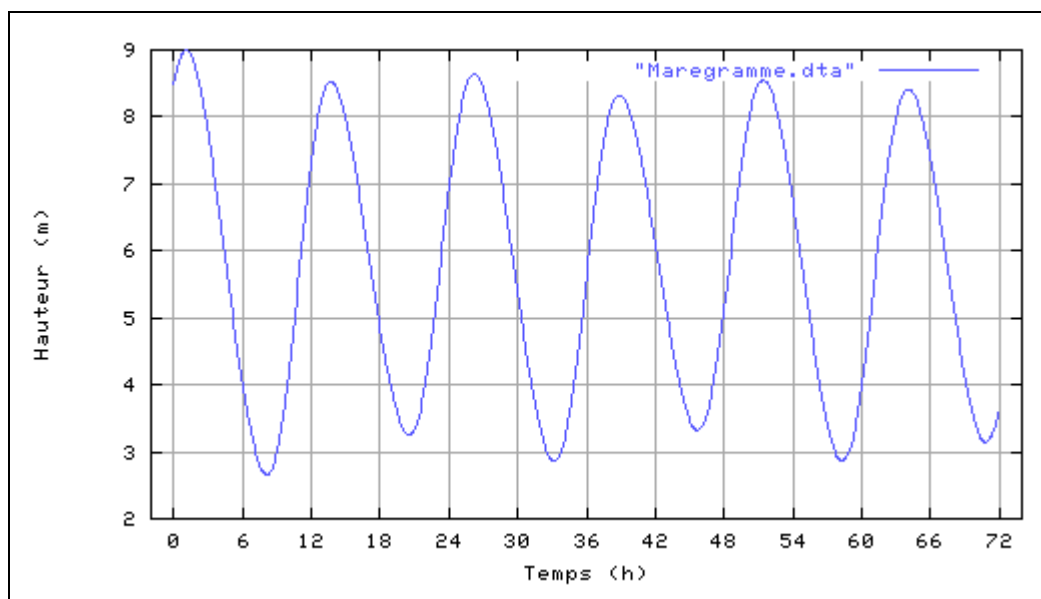


Figure 1.1 : Marégraphe au port de Diélette montrant l'évolution de la position de la surface libre par rapport au zéro hydrographique local (coefficient variant de 58 à 56).

Les marnages enregistrés autour du Cap de Flamanville sont donc très grands. Ce Cap est situé au nord de la baie du Mont Saint Michel où les marnages sont exceptionnels (14 m en vives eaux de coefficient 110) et juste au sud du Cap de La Hague autour duquel les caractéristiques de la marée évoluent très vite : la marée à Diélette est en avance de 1h00 à 1h15 (suivant les coefficients) par rapport à Cherbourg.

1.2.2 Les courants de marée instantanés

Les courants de marée dans le golfe Normano-Breton sont alternatifs au nord et dans le tiers sud du golfe, de même à proximité de la côte du Cotentin autour du Cap de Flamanville (figure 1.2.). Devant ce Cap, les courants sont totalement contraints par la côte et donc orientés comme elle.



Figure 1.2 : Roses de courant en vives eaux (coefficient 92). Extrait de *Golfe Normano-Breton. Etude régionale intégrée. Ifremer/Dero-El-86.27 1986.*

Les courants sont nettement giratoires dans le sens anti-horaire sur toute la zone. Au niveau de Diélette, le courant de flot qui porte au nord accompagne la pleine mer : il débute environ trois heures avant elle et se termine trois heures après. Le courant de jusant, portant lui au sud, débute environ 3h30 après la pleine mer et se termine 2h30 après la basse mer.

L'atlas de courant publié par le service hydrographique de la Marine montre que le Cap de Flamanville est à PM+2 de Saint Malo, et est un point de divergence du flux de marée provenant de l'ouest qui se sépare en deux branches passant de part et d'autre du Cap. Six heures plus tard, il devient un point de convergence des courants provenant de l'anse de Vauville et ceux venant de l'anse de Sciotot (figure 1.3).

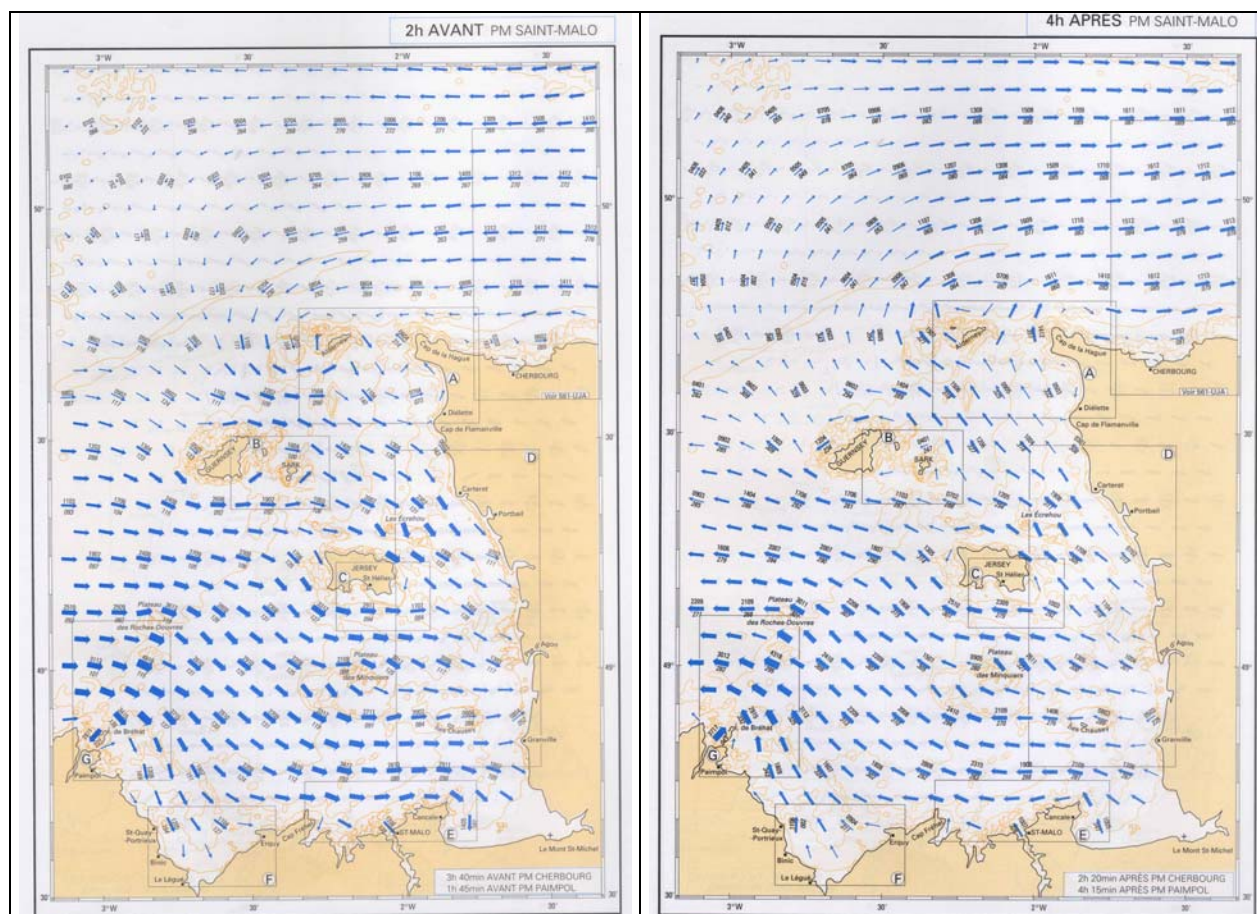


Figure 1.3 : Atlas de courant du golfe normano-breton PM-2 et PM+4 (source SHOM)

L'intensité des courants maxima de marée donne une vue synoptique du niveau de turbulence généré par frottement de l'écoulement de marée sur le fond et une indication sur les transports de sédiments par charriage. La figure 1.4 montre ces courants calculés à l'aide d'un modèle numérique de marée en vives-eaux. Il apparaît deux gradients :

- Un gradient nord-sud : Dans le Raz Blanchard, l'intensité de ces courants peut atteindre les 3m/s (6 nœuds) entre Aurigny et le Cap de La Hague. Ces courants, liés aux variations rapides des caractéristiques de la marée autour du Cap, s'atténuent rapidement vers le sud, pour n'être plus qu'inférieur au mètre par seconde au niveau de Flamanville.
- Un gradient côte large : on passe de 1m/s au sud d'Aurigny à moins de 50 cm/s dans les anses de Vauville et de Scioto.

On notera une légère rehausse des maxima de courants devant le Cap de Flamanville, attribuée précisément à la présence de cette aspérité du trait de côte. L'intensité maximum des courants de marée en vives-eaux atteint devant le Cap 1,25 m/s. Ces courants maxima portent au nord.

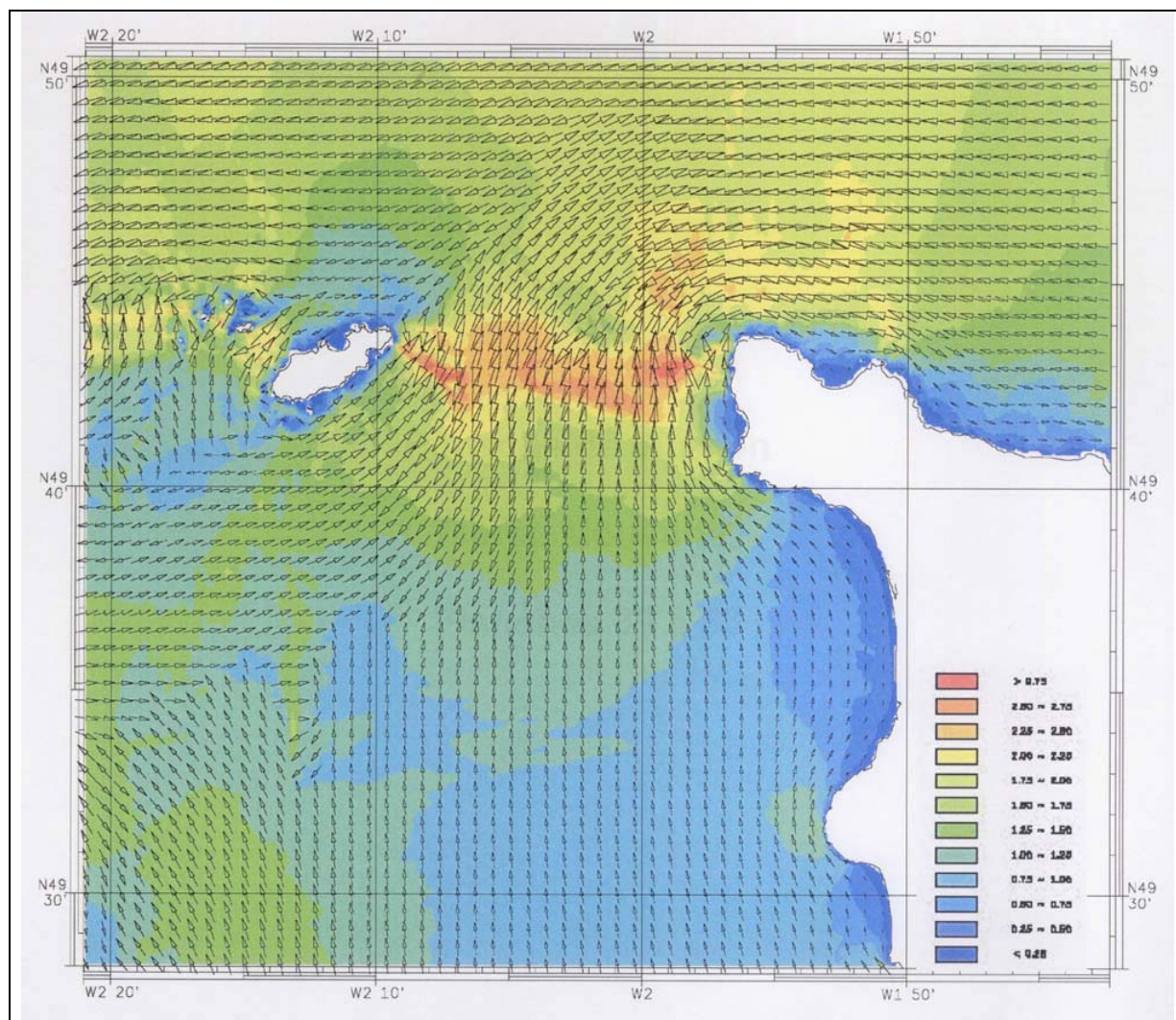


Figure 1.4 : Courants maxima de marée en m/s. Coefficient 95.

1.2.3 Les courants de marée résiduels et le transport des masses d'eau

Les courants instantanés ne donnent pas d'information directe sur le transport à long terme des masses d'eau. Le courant résiduel lagrangien est la seule grandeur qui puisse être interprétée en terme de transport.

La figure 1.5 montre les lignes, d'une part, les vecteurs, d'autre part, du champ de courants résiduels lagrangiens obtenu pour un coefficient 95 en l'absence de vent.

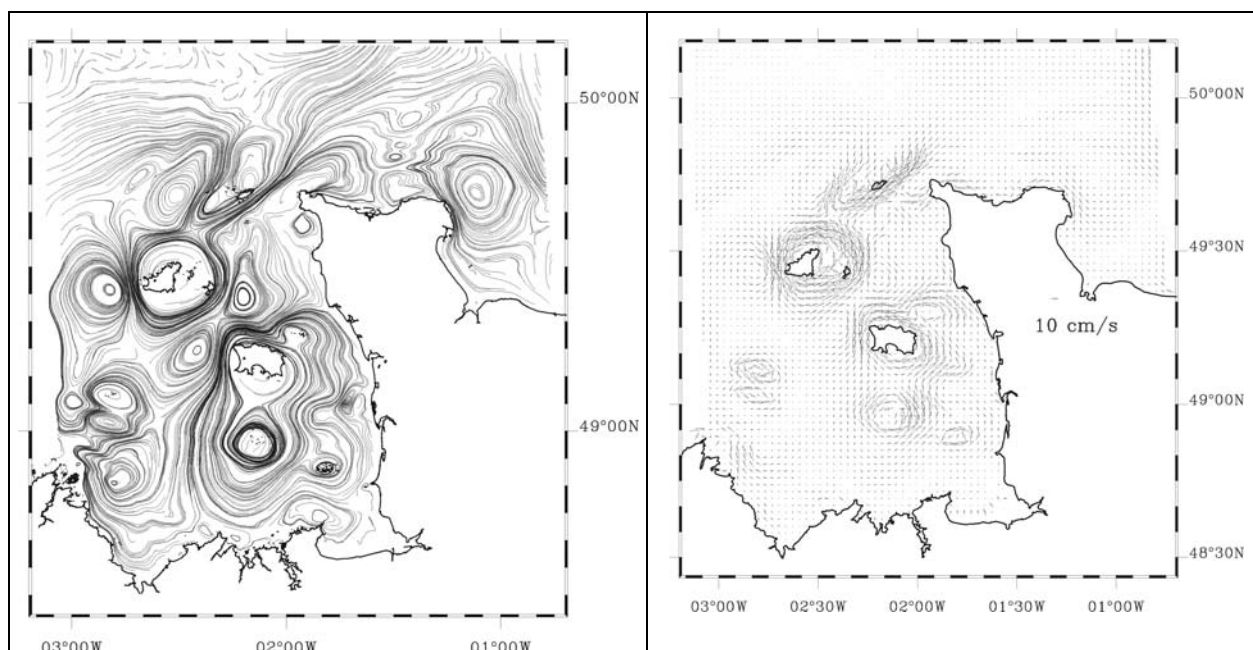


Figure 1.5 : Lignes de courants résiduels lagrangiens (panel gauche). Vecteurs de courants résiduels lagrangiens (panel droit). Coefficient 95, en l'absence de vent.

Cette figure montre la présence de cellules de circulation l'une qui entoure le banc de la Schole et l'autre située dans l'anse de Vauville. Le sens de circulation de ces cellules est lié au sens de rotation des courants instantanés d'après Pingree et Maddock (1985) : il est anti-horaire. Le Cap de Flamanville se situe sur la ligne de partage de ces deux cellules : au nord les masses d'eau ont tendance à partir vers le nord tandis qu'au sud elles partent vers le sud. L'intensité de ces courants est de l'ordre de quelques cm/s (1 à 5 cm/s) ce qui représente une distance journalière d'un à 5 kilomètres par jour.

Les structures décrites sur la figure 5 sont robustes aux vents. L'intensité des courants résiduels est modulée par le vent.

2 Les caractéristiques environnementales

Luc Drévès

2.1 Climatologie

Les données communiquées par le centre de METEO-FRANCE de Cherbourg proviennent d'enregistrements réalisés au sémaphore d'Auderville¹ (température de l'air et pluviométrie) depuis janvier 1949, et à la station de Valognes² (insolation) depuis janvier 1986.

2.1.1 Pluviométrie

Depuis 1949, la pluviométrie inter annuelle moyenne sur le nord-ouest Cotentin (tableau 2.1 et figure 2.1) est maximale d'octobre à janvier, le maximum des précipitations étant noté en novembre avec 89,7 mm de hauteur moyenne d'eau. La période la plus sèche s'étend d'avril (44,6 mm) à août (44,2 mm), avec une valeur moyenne mensuelle minimale en juillet (37,2 mm). Le mois de décembre 1999 a été le plus humide avec 236 mm (le second est septembre 1976 avec 180 mm), et le mois de mars 1961 le plus sec avec 0 mm (seulement des traces). Le total annuel moyen sur la période de 1949-2005 est de 712 mm, variant de 430 mm en 1953 à 1001 mm en 1994.

	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	Moyenne
1949/2005	75,7	59,0	50,9	44,6	43,6	39,1	37,2	44,1	62,1	78,2	89,6	88,2	59,4
1986/2005	83,4	61,9	50,2	55,1	39,6	44,5	40,3	45,0	58,5	96,7	86,3	95,3	63,1
Bilan	7,7	2,9	- 0,8	10,5	- 4,0	5,4	3,2	0,9	- 3,6	18,5	- 3,3	7,1	3,7

Tableau 2.1 : Cumuls pluviométriques mensuels moyens (en mm) sur les périodes janvier 1949-décembre 2005 et janvier 1986-décembre 2005, et bilan mensuel moyen.

La période 1986/2005 est sensiblement plus humide que la période 1949/2005

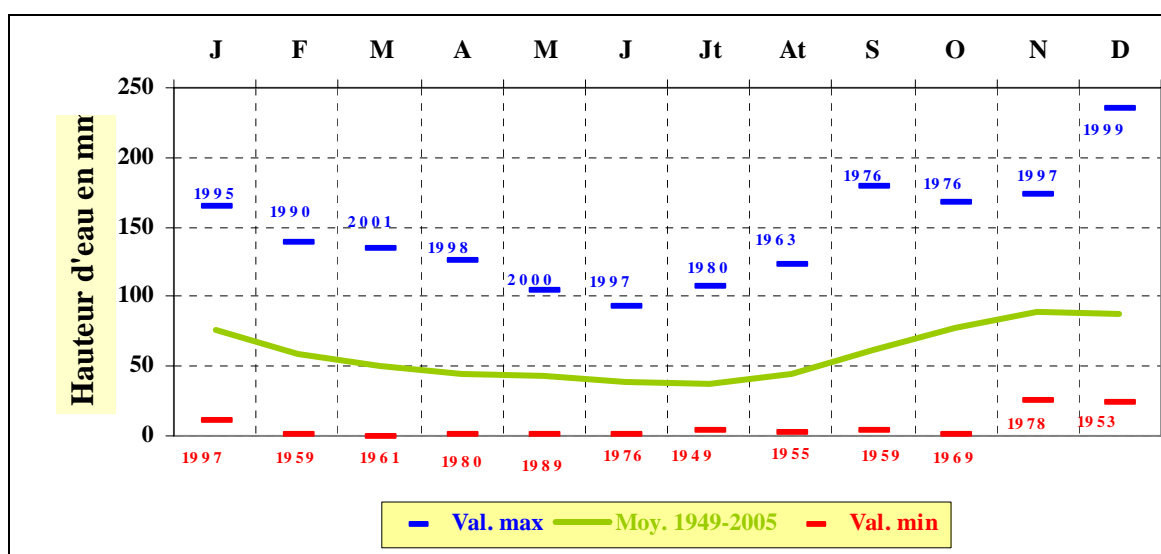


Figure 2.1 : Pluviométrie mensuelle au sémaphore de La Hague ; moyenne et valeurs extrêmes mensuelles obtenues depuis 1949.

¹ Situé au Cap de La Hague. Altitude : 3 m ; latitude : 49° 43'6 N ; longitude : 001° 56'4 W

² Altitude : 61 m ;

Sur la période janvier 1949-septembre 2005, l'observation des cumuls annuels par période décennale (figure 2.2) permet d'apprécier la forte pluviométrie de la décennie 1989-1998, avec un cumul moyen de 771 mm, comparée à celle notée au cours de la décennie précédente (689 mm). La décennie 1949-1958 est la plus sèche (651 mm).

L'observation des périodes quinquennales montre une hausse des précipitations encore plus importante. Ainsi, le cumul moyen annuel augmente de 133 mm entre les périodes 1984-1988 (669 mm) et 1994-1998 (802 mm). Pour la période 1999-2003, la plus humide, ce cumul moyen annuel est de 810 mm, soit près de 25 % supérieur à la période 1954-1959 la plus sèche (648 mm) !

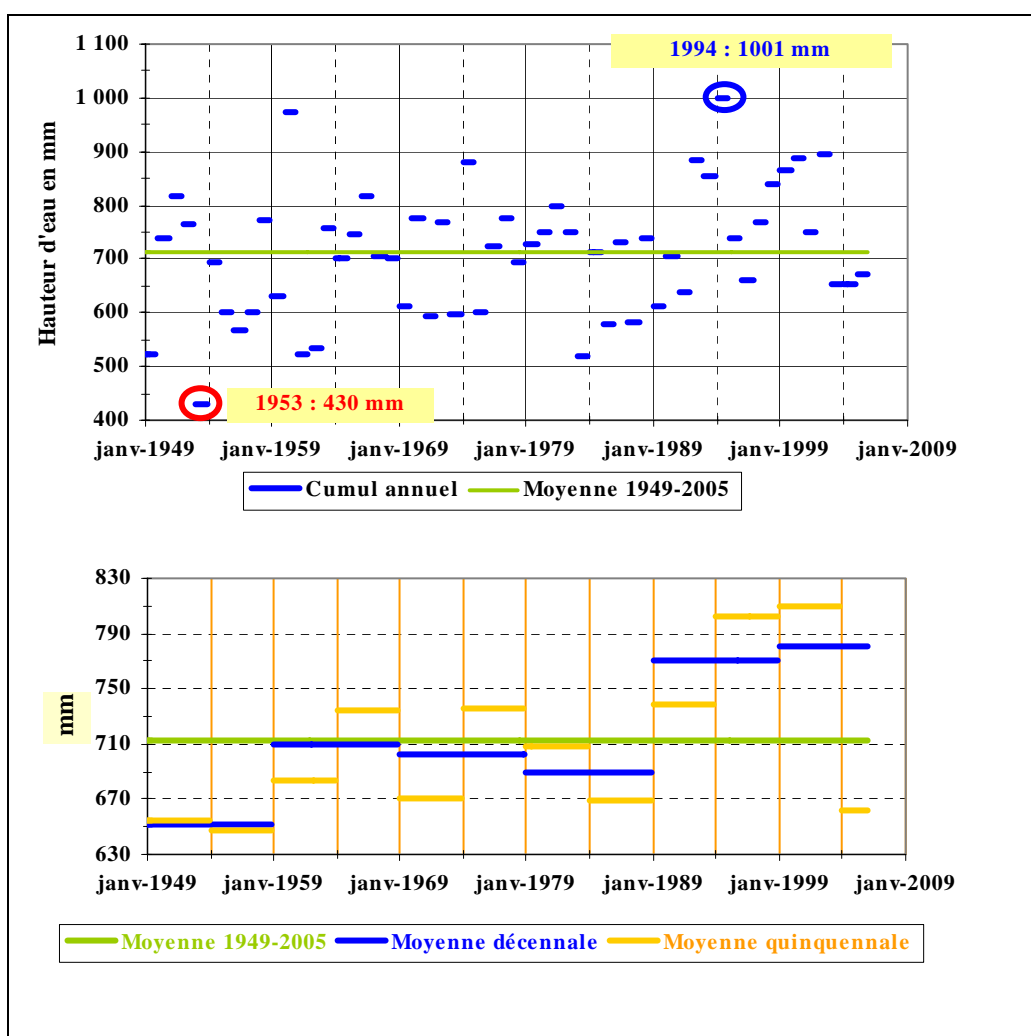


Figure 2.2 : Pluviométrie au sémaphore de La Hague de 1949 à 2005.
 Comparaison des cumuls annuels, quinquennaux et décennaux
 au cumul moyen annuel observé sur la totalité de la période.

2.1.2 Insolation

L'importance de l'insolation mensuelle moyenne (figure 2.3) est directement dépendante de la durée même du jour. Elle est de ce fait minimale en décembre (50 heures) et en janvier (55 heures), et maximale en juillet (210 heures). La couverture nuageuse peut perturber ce schéma. Ainsi, le mois de juin présente une durée d'insolation moyenne (200 heures) inférieure à celle enregistrée en mai (209 heures) et en juillet. Ce comportement particulier de juin, depuis 1986, s'explique par le caractère plus pluvieux de ce mois par rapport à mai et juillet.

L'insolation annuelle moyenne depuis 1986 (figure 2.4) est de 1 587 heures, les années extrêmes étant 1990 (2 034 heures) et 1991 (1 241 heures).

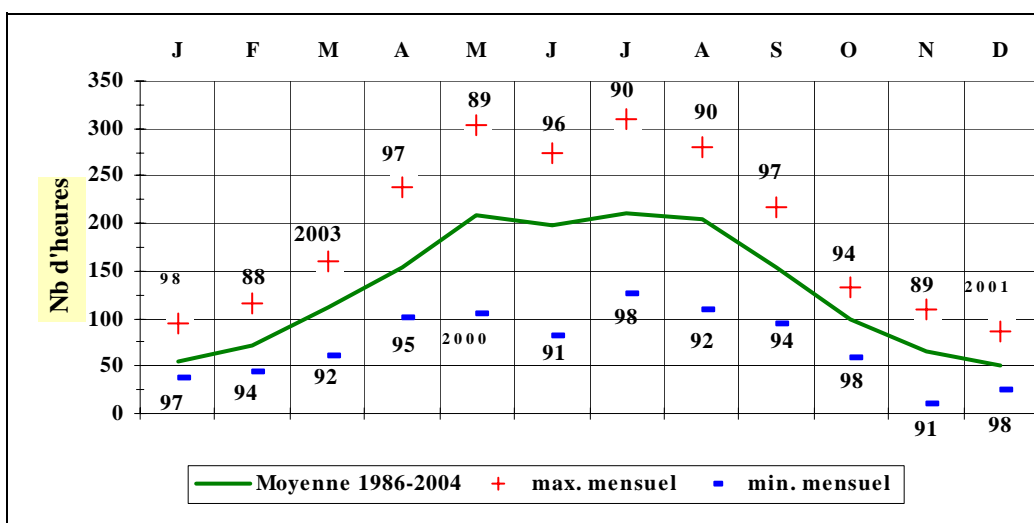


Figure 2.3 : Insolation mensuelle à Valognes ; moyenne et valeurs extrêmes mensuelles obtenues depuis 1986.

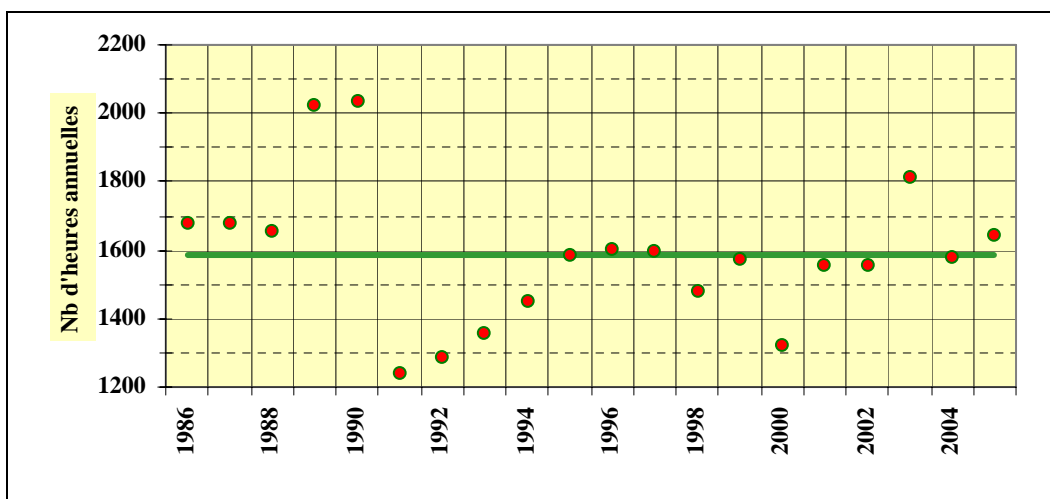


Figure 2.4 : Insolation annuelle à Valognes depuis 1986, comparée à la moyenne annuelle obtenue sur la totalité de la période.

2.1.3 Température de l'air

Au cours des 57 dernières années (1949-2005), la température moyenne mensuelle de l'air (figure 2.5) varie de 6,7 °C en février à 16,9 °C en août. Les moyennes mensuelles extrêmes ont été enregistrées en janvier 1963 (2,0 °C) et en août 1995 (18,5 °C).

	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	Moyenne
1949/2005	7,1	6,7	7,9	9,3	11,7	14,2	16,2	16,9	15,9	13,6	10,4	8,3	11,5
1986/2005	7,6	7,3	8,5	9,6	12,1	14,5	16,5	17,3	16,1	13,9	10,7	8,6	11,9
Bilan	+ 0,5	+ 0,6	+ 0,6	+ 0,3	+ 0,4	+ 0,3	+ 0,3	+ 0,4	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,3	+ 0,4	+ 0,4

Tableau 2.2 : Températures mensuelles moyennes de l'air (en °C) sur les périodes janvier 1949-décembre 2005 et janvier 1986 - décembre 2005, et bilan mensuel moyen.

La période 1986/2005 est sensiblement plus chaude que la période 1949/2005.

Sur la période 1949/2005, la température moyenne annuelle est de 11,51 °C, avec un écart thermique moyen de 10,19 °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 12,58 °C, succédant à 1999 (12,51 °C) et 1989 (12,43 °C) ; la plus froide, 1963 avec 9,99 °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 1974 avec 8,9 °C.

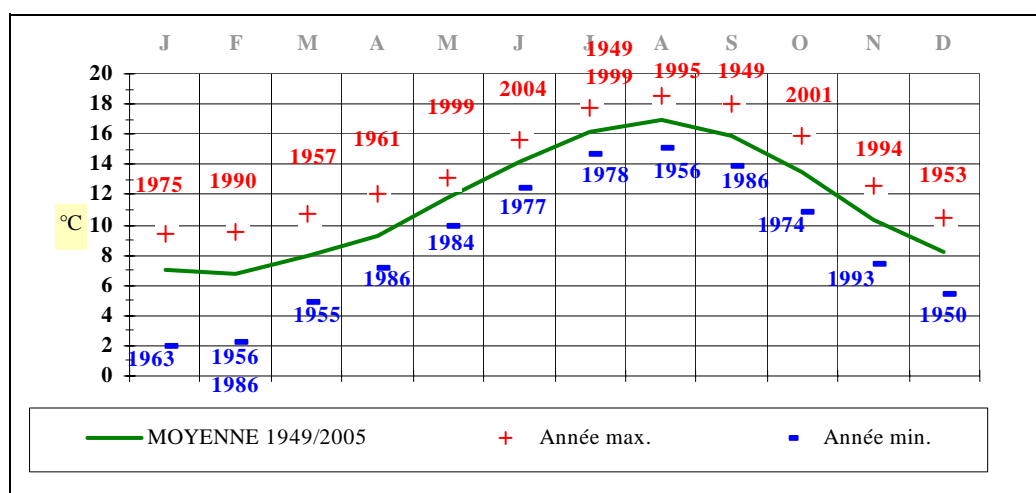


Figure 2.5 : Température mensuelle moyenne de l'air à La Hague ; moyenne et valeurs extrêmes mensuelles enregistrées depuis 1949.

Sur la période 1949-2005, l'observation de la température mensuelle moyenne de l'air par période décennale (figure 2.6) permet d'apprécier l'échauffement moyen de 0,72 °C entre les décennies 1979/1988 (température moyenne de 11,2 °C) et 1989/1998 (11,9 °C).

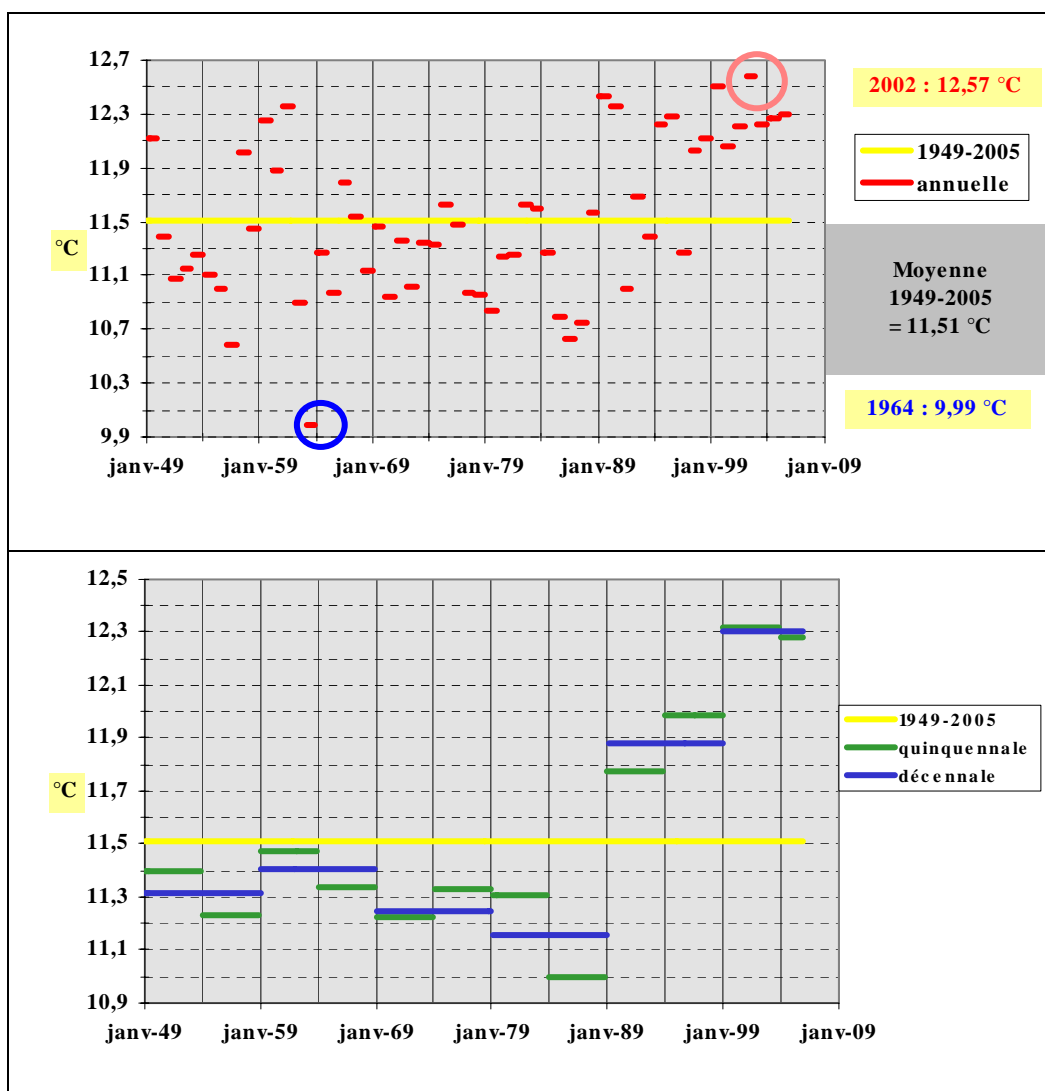


Figure 2.6 : Température de l'air au sémaphore de La Hague de 1949 à 2005. Comparaison des moyennes mensuelles calculées sur 1, 5 et 10 ans, à la moyenne sur la totalité de la période.

L'observation des périodes quinquennales montre un échauffement encore plus important : augmentation de 1,3 °C de la température moyenne de l'air entre les périodes 1984/1988 (11,0 °C) et 1999/2003 (12,32 °C).

De même, l'examen des températures moyennes saisonnières (figure 2.7 ; « hiver » = janvier - février - mars) permet de constater pour chaque saison de fortes variations inter-annuelles d'une part, une tendance à la hausse d'autre part.

L'été 2003 (17,58 °C), qualifié de caniculaire, arrive en troisième position après ceux de 1949 (17,80 °C) et 1989 (17,63 °C), sensiblement plus chauds mais moins médiatiques.

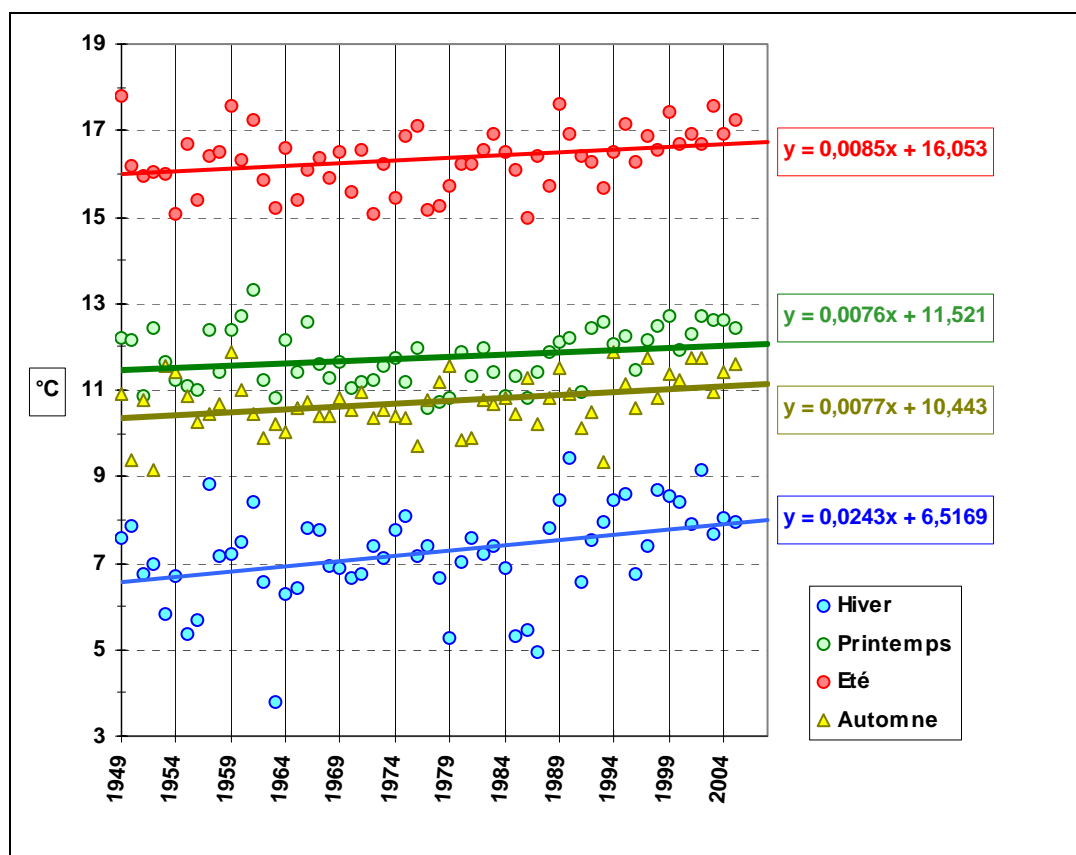


Figure 2.7 : Evolution des températures de l'air par saison (= trimestre) depuis 1949.

	Maximum	Moyenne	Minimum
1 ^{er} trimestre	9,43 °C	7,22 °C	3,77 °C
Année	1990		1963
2 nd trimestre	13,30 °C	11,76 °C	10,59 °C
Année	1961		1977
3 ^{ème} trimestre	17,80 °C	16,34 °C	14,97 °C
Année	1949		1986
4 ^{ème} trimestre	11,90 °C	10,73 °C	9,17 °C
Année	1959		1952
Moyenne annuelle	12,58 °C	11,51 °C	9,99 °C
Année	2002		1963

Tableau 2.3 : Moyennes saisonnières et annuelles des températures de l'air au Cap de La Hague depuis 1949.

2.2 Température de l'eau de mer

La température de l'eau de mer est un paramètre moins suivi que la température de l'air. Les données disponibles lors de l'élaboration du projet industriel étaient relativement anciennes.

Ainsi, les températures moyennes mensuelles citées dans la demande d'autorisation de rejet d'eau (EDF, 1977) sont issues des travaux de l'Institut Fur Meereskunde de Kiel ; les données de base ont été enregistrées entre 1905 et 1954 (tableau 2.4).

Mois	Janv	Févr	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Octo	Nov	Déce
T °C	9	8	8	9	11	13	15	16,5	16	15	13	10,5

Tableau 2.4 : Températures moyennes mensuelles de l'eau de mer devant Flamanville (Institut Fur Meereskunde, Kiel, 1905-1954)

Parmi les rares autres sources de données existantes, citons celles publiées par J. R. LUMBY en 1935 (Ministry of Agriculture and Fisheries, London), présentant un ensemble de valeurs de salinité et de température enregistrées entre 1903 et 1927, dans 41 secteurs différents répartis des Isles of Scilly et le large de l'île d'Ouessant à l'ouest, au détroit du Pas de Calais à l'est. La région qui intéresse notre étude est la « région 26 », rectangle limité par les îles d'Alderney au nord, Guernesey à l'ouest, Serk au sud, et la côte du Cotentin à l'est. Les levés ont été fait aux abords du point de latitude nord 49° 37', et de longitude ouest 02° 14', de 1904 à 1923. Les valeurs moyennes mensuelles sont présentées dans le tableau 2.5, le détail dans le tableau 2.9.

Mois	Janv	Févr	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Octo	Nov	Déce
T °C	9,45	8,42	8,34	8,89	10,63	12,55	14,49	15,81	15,89	15,00	12,86	10,95

Tableau 2.5 : Températures moyennes mensuelles de l'eau de mer dans la « région 26 » à l'ouest de Flamanville entre 1904 et 1923 (Lumby, 1935)

Afin de compléter, et surtout actualiser, ces quelques données bibliographiques anciennes, la Direction de l'Équipement d'EDF, en collaboration avec le Laboratoire National d'Hydraulique, a installé des thermographes Fertex et Aanderaa à une profondeur de 12 mètres au point de latitude nord 49° 32' 29'' N et de longitude ouest 001° 53' 49''. La température de l'eau de mer a ainsi pu être enregistrée, d'une manière discontinue, de septembre 1976 à mai 1980. Les valeurs moyennes mensuelles obtenues pendant ces cinq années sont présentées dans le tableau 2.6, le détail dans le tableau 2.10.

Mois	Janv	Févr	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Octo	Nov	Déce
T °C	8,32	7,91	8,01	9,28	10,76	12,75	14,98	16,28	16,53	15,65	13,31	10,57

Tableau 2.6 : Températures moyennes mensuelles de l'eau de mer à l'ouest de Flamanville entre 1976 et 1980 (EDF, comm. mars 2005).

Depuis 1986 (soit 20 années de mesures), EDF effectue un **relevé quotidien** (à 16h00) de la température de l'eau de mer dans le canal d'amenée, à l'entrée du circuit de pompage des eaux de refroidissement de la Centrale. Les valeurs moyennes mensuelles obtenues pendant ces vingt années sont présentées dans le tableau 2.7, le détail dans le tableau 2.11.

Mois	Janv	Févr	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Octo	Nove	Déce
T °C	9,43	8,73	9,05	10,07	11,95	14,18	16,30	17,67	17,35	15,60	13,12	10,98

Tableau 2.7 : Températures moyennes mensuelles de l'eau de mer dans le canal d'amenée de Flamanville entre janvier 1986 et décembre 2005 (EDF, comm. janvier 2006).

Le minimum de température mensuelle moyenne de l'eau de mer dans le canal d'amenée (8,73 °C) est noté en février (figure 2.8), les valeurs extrêmes étant enregistrées en 1986 (6,80 °C) et 2002 (10,16 °C). Le maximum mensuel moyen (17,67 °C) est observé en août, oscillant entre 16,28 °C en 1986 et 18,44 °C en 2003. La température moyenne annuelle (période 1986-2005 ; 20 années) est de 12,88 °C, les extrêmes étant 11,37 °C en 1986 et 13,61 °C en 2002.

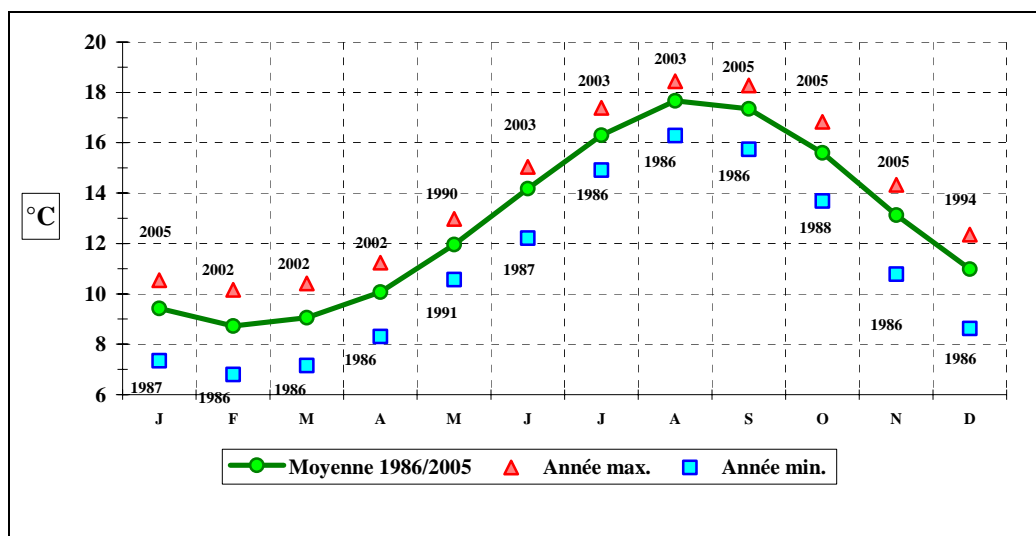


Figure 2.8 : Évolution de la température moyenne mensuelle de l'eau de mer dans le canal d'amenée du CNPE de Flamanville comparée aux valeurs extrêmes mensuelles enregistrées de janvier 1986 à décembre 2005.

Pour un jour donné, l'écart journalier à la moyenne quotidienne estimée au cours de ces 20 années est calculé. Les valeurs oscillent entre - 3,26 °C (les 14 et 15/11/1986) et + 2,35 °C (le 03/11/2005). La représentation graphique de ces anomalies journalières permet de visualiser la dominante thermique d'une année donnée (figure 2.9), ou, par exemple, les conditions thermiques des périodes précédant les jours de prélèvements.

Ces écarts, moyennés sur l'année, permettent d'apprécier le bilan thermique (exprimé en °C.j⁻¹) d'une année par rapport à une autre. Dans le tableau 2.8 présentant ces bilans thermiques annuels, l'année 2005 en cours n'est pas prise en compte.

Année	2002	2005	2003	1999	1995	2001	2004	1990	1989	1998
Ecart en °C.j ⁻¹	+ 0,72	+ 0,56	+ 0,54	+ 0,54	+ 0,50	+ 0,45	+ 0,40	+ 0,33	+ 0,31	+ 0,24
Année	1997	1994	2000	1992	1993	1996	1988	1991	1987	1986
Ecart en °C.j ⁻¹	+ 0,08	+ 0,06	+ 0,03	- 0,21	- 0,32	- 0,49	- 0,62	- 0,71	- 0,90	- 1,52

Tableau 2.8 : Bilan thermique moyen journalier de 1986 à 2005 (les années sont classées de la plus chaude à la plus froide).

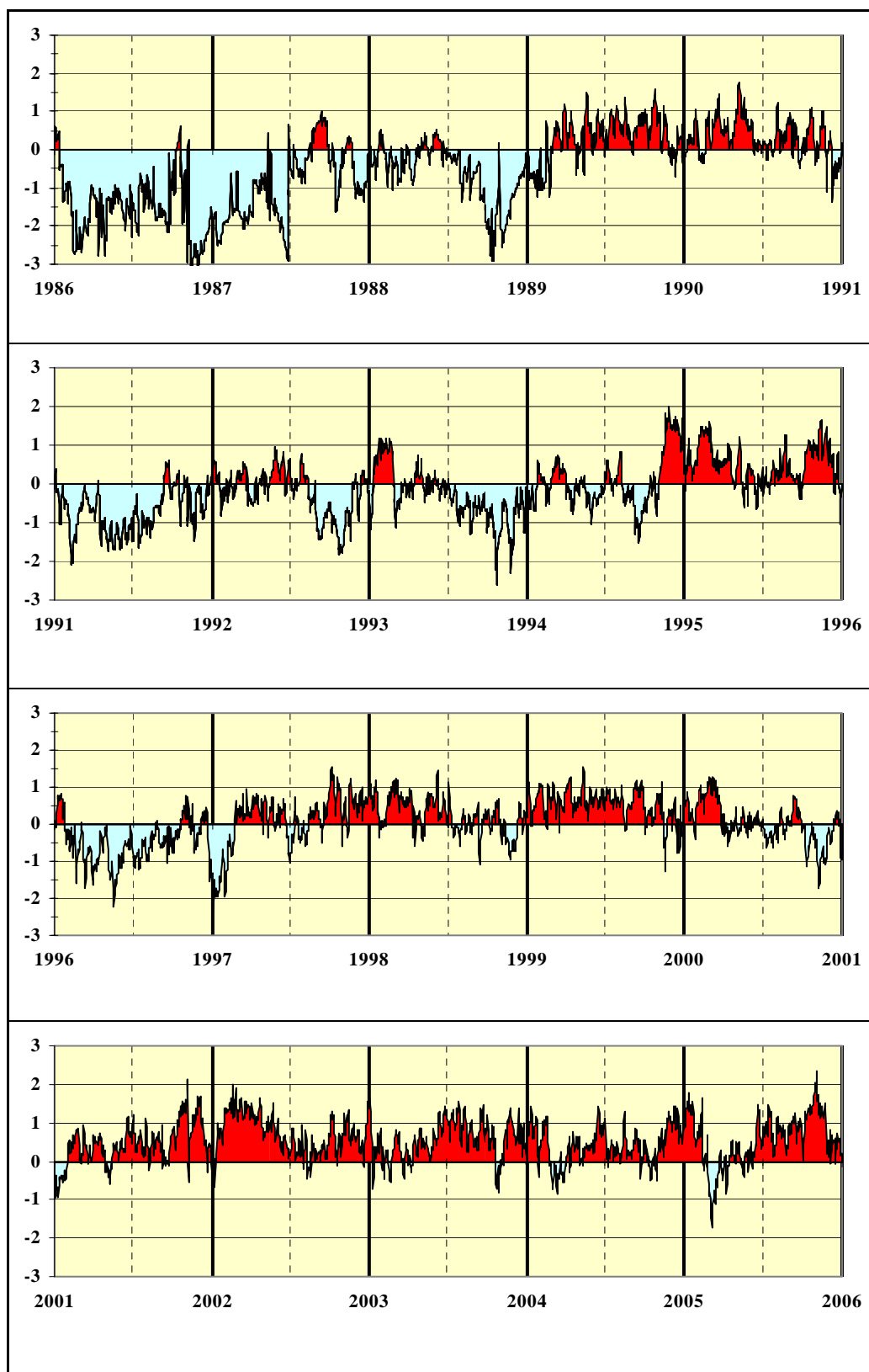


Figure 2.9 : CNPE de Flamanville – Anomalies de la température de l'eau de mer. Écart journalier, en °C, à la moyenne quotidienne (moyenne du jour estimée sur la période janvier 1986 – décembre 2005).



Ces températures de l'eau de mer observées à Flamanville (Manche-ouest) sont comparées à celles enregistrées, depuis 1991, dans le canal d'aménée des deux autres sites de Paluel et Penly situés en Manche-est (figure 2.10).

Au cours de cette période commune aux trois sites (1991 à 2005), le caractère plus océanique de Flamanville apparaît nettement par rapport au caractère plus continental des deux autres sites, à savoir :

- Des températures hivernales plus douces, des températures estivales plus fraîches. Le minimum hivernal moyen est ainsi de 8,73 °C à Flamanville, alors qu'il est de 7,19 °C à Paluel et 6,25 °C à Penly. De même, le maximum estival moyen est, dans le même ordre géographique, de 17,67 °C, 20,13 °C et 19,70 °C.
- Un écart thermique plus faible entre l'hiver et l'été, à savoir 8,94 °C à Flamanville alors qu'il est de 12,86 °C à Paluel et 13,45 °C à Penly.

Au cours de cette période 1991-2005, la température moyenne annuelle de l'eau de mer à proximité de la côte est de 12,42 °C à Penly, 13,19 °C à Paluel et 13,04 °C à Flamanville. Ces valeurs sont en augmentation de 0,03 °C par rapport aux moyennes annuelles de la période 1991-2003, qui présentaient elles-même une augmentation similaire par rapport à 1991-2002.

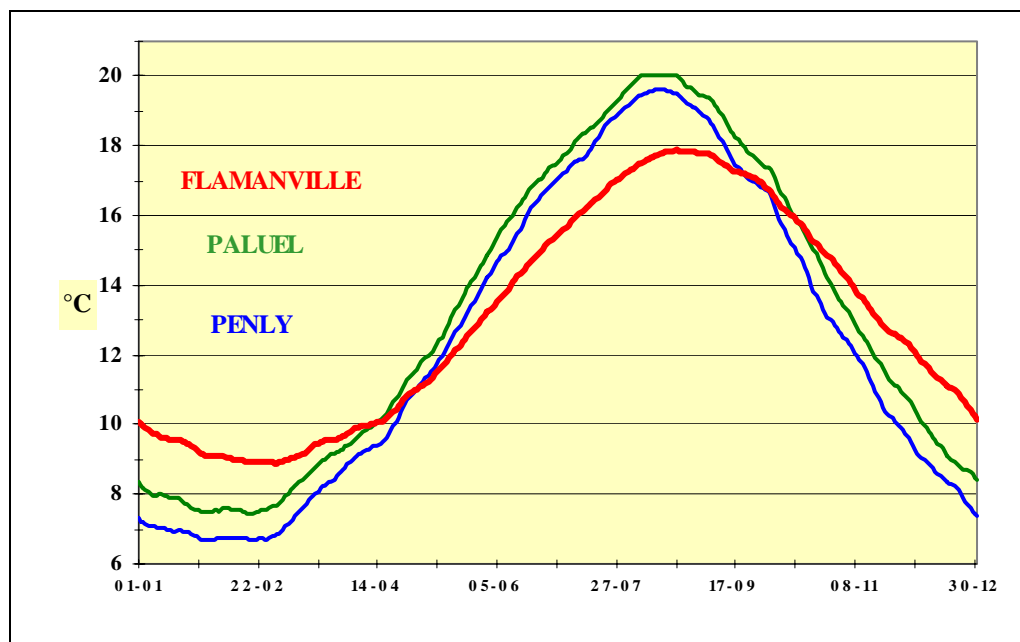


Figure 2.10 : Comparaison des températures moyennes journalières de l'eau de mer à Penly (PY), Paluel (PAL) et Flamanville (FLA) depuis le 1^{er} janvier 1991.

La comparaison des données de température de l'eau acquises par EDF avec celles acquises de 1905 à 1954 par l'*Institut Fur Meereskunde* de Kiel, de 1903 à 1927 par le *Ministry of Agriculture and Fisheries* (Lumby, 1935), montrerait un échauffement de l'eau de mer au cours des trois premiers trimestres (figure 2.11). L'interprétation se doit d'être prudente du fait, d'une part, d'un positionnement

géographique différent des points de mesures (des points au large ou côtiers, même très côtier et « abrité » comme le canal d'aménagé), d'autre part, d'une profondeur de mesure également différente.

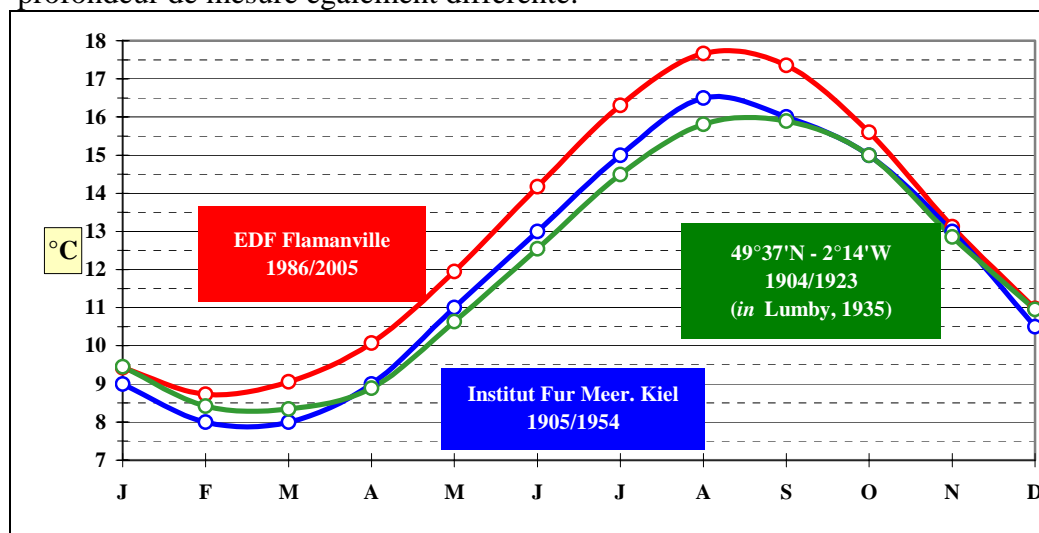


Figure 2.11 : Comparaison des données de températures de l'eau de mer acquises dans le secteur nord-ouest Cotentin..

La comparaison, pendant la période 1986-2005 (20 années), des moyennes mensuelles des températures de l'air à La Hague et de l'eau de mer à Flamanville montre le lien entre ces deux éléments, les variations annuelles de température de l'eau suivant celles de l'air avec un léger décalage dû à l'inertie de la masse d'eau.

Au cours de cette période, la température moyenne mensuelle est de 12,86 °C pour l'eau de mer, 11,91 °C pour l'air (pour rappel, cette dernière est de 11,51 °C au cours de la période 1949-2005).

La comparaison de ces températures (figure 2.12), soit par moyenne mobile calculée sur les 12 derniers mois, soit par période quinquennale, montre sur le long terme la similitude des échauffements observés tant dans l'eau que dans l'air dans ce secteur du nord-ouest Cotentin.

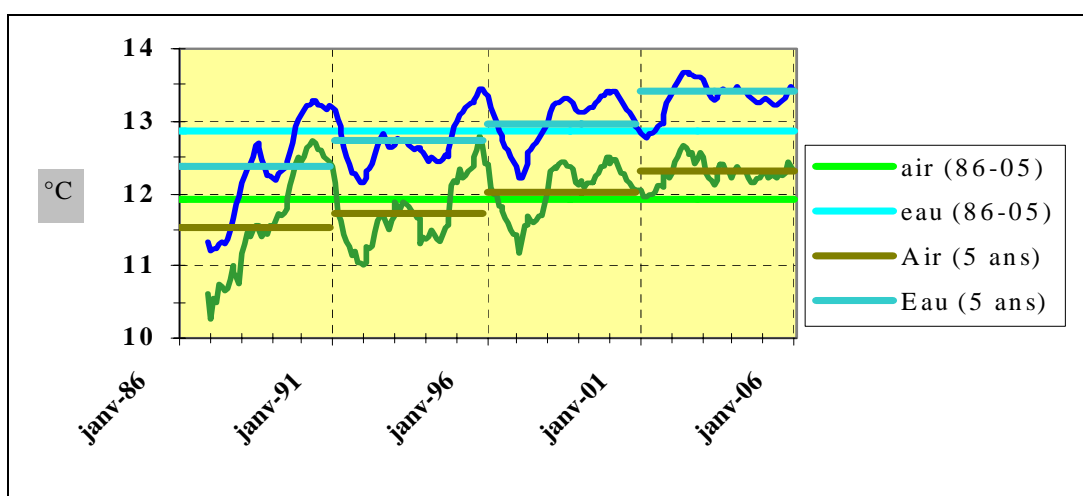


Figure 2.12 : Comparaison des "anomalies" mensuelles des températures de l'air (Cap de La Hague) et de l'eau de mer (Flamanville) de janvier 1986 à septembre 2005.

Une corrélation significative est établie entre ces deux paramètres (figure 2.13). Elle montre un échauffement plus lent de l'eau de mer de janvier à juillet (points situés sous la courbe de tendance). Il en est de même pour le refroidissement d'août à décembre (points au-dessus de la courbe).

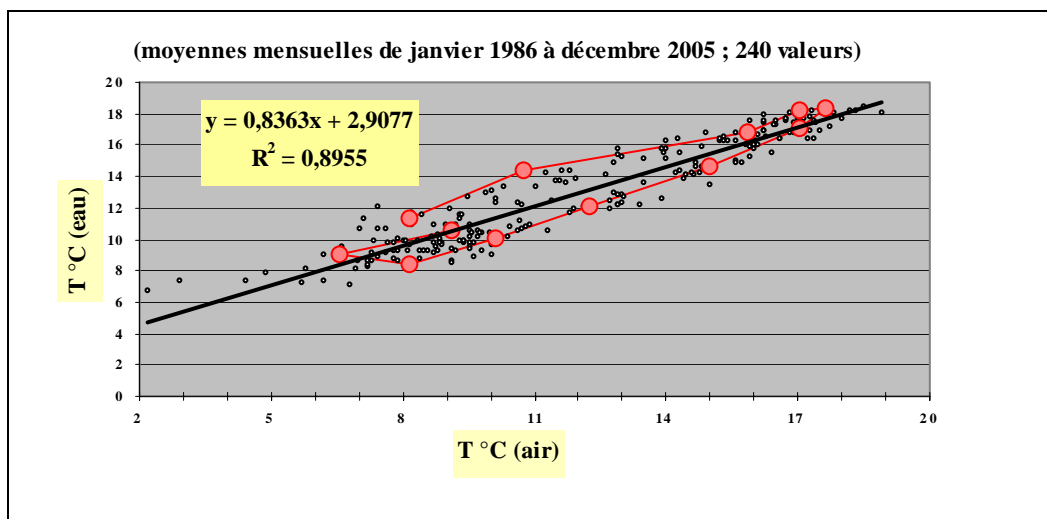


Figure 2.13 : Variation de la température moyenne mensuelle de l'eau de mer (données EDF) en fonction de celle de l'air (données Météo-France). Pour illustrer un cycle annuel, les données concernant l'année 2005 sont repérées en rouge.

Source = Lumby (1935). Salinity and temperature of the English Channel. Fishery investigations, Series II, Vol. XIV, N° 3.

R26	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Nb mois	Nb Valeurs	Moy. M	Moy. J
1904					2	4	4	2	3	4	4	5	8	28	13,78	12,19
1905	5	2	4	4	4	4	4	5	4	4	4	5	12	49	11,38	11,38
1906	4	4	4	4	4	4	4	4	3	5	4	6	12	50	11,53	11,53
1907	7	5	6	6	6	7	6	7	6	5	6	6	12	74	11,73	11,72
1908	5	4	4	4	4	5	5	4	4	5	4	4	12	52	11,92	11,92
1909	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	12	51	11,87	11,87
1910	4	4	4	4	5	4	4	3	6	5	5	4	12	52	11,86	11,86
1911	1	4	3	2	2	4	4	2	3	4	3	5	12	37	11,85	11,85
1912	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	12	45	12,10	12,18
1913	2	2	3	4	4	4	4	5	3	5	3	4	12	42	12,56	12,56
1914	4	4	3	5	4	4	5	2	4	3	3	5	12	46	12,37	12,37
1915	4	4	4	4	3	4	4	2	2	3	1	1	12	35	11,88	11,88
1916	2	2	1	1	2	2	2	5	1	1	1	1	10	20	11,81	11,81
1917	2	1	3	2	1	1	1	3	1	2	3	2	10	20	10,75	11,07
1918	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	2	11	15	11,93	11,65
1919	1	9,7			1	9,7	2	11,8					3	4	10,40	11,46
1920						1	12,2						1	1	12,20	11,59
1921							1	16,4	1	16,6	3	17,1	3	5	16,70	13,24
1922													0	0		
1923								1	16,0				1	1	16,00	12,13
Nb années	15	14	14	12	16	16	15	17	16	14	15	15	R26	49° 37' N		
Nb Valeurs	49	45	48	46	55	58	56	57	51	53	51	58		02° 14' W		
Moy. M		9,32	8,31	8,23	8,80	10,52	12,48	14,48	15,82	15,89	14,92	12,78				
Moy. J		9,45	8,42	8,34	8,89	10,63	12,55	14,49	15,81	15,89	15,00	12,86				

Tableau 2.9 : Bilan détaillé des mesures de température de l'eau de mer effectuées entre 1904 et 1923 dans la « région 26 », et publié par Lumby en 1935. Pour chaque mois, sont mentionnés le nombre de mesures effectuées et la moyenne de ces mesures. Pour chaque bilan annuel, sont mentionnées la température moyenne obtenue à partir des 12 valeurs mensuelles et celle obtenue à partir de l'ensemble des mesures réalisées pendant l'année.

Source = acquisition mesures EDF - LNHE ; traitement Ifremer Drèvés (2005)

FLA	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Nb mois	Nb Valeurs	Moy. 12 M	Moy. 365 J											
1976									10	17,6	7	16,2	22	12,1	31	10,2	4	70	14,03								
1977	31	8,4	14	8,4	2	9,0	30	9,6	10	10,6	15	13,1	31	15,0	31	16,2	30	16,2	31	15,3	30	13,3	14	10,6	12	269	12,14
1978	14	8,1	26	7,5			14	9,0	31	10,6	27	12,7			11	17,0	31	15,9	14	15,3	14	10,0	9	182	11,79		
1979	31	7,9	28	7,2	31	7,6	9	8,0	16	11,0	30	12,6	31	15,0	31	16,3	30	16,4	31	15,6	30	13,3	31	11,2	12	329	11,84
1980	31	8,7	29	8,7	31	8,4	30	9,4	28	10,8															5	149	9,20
Nb années	4		4		3		4		4		3		2		2	4		4		4		4		4			
Nb Valeurs	107		97		64		83		85		72		62		62	81		100		96		90					
Moy. M		8,28		7,95		8,33		9,00		10,75		12,80		15,00		16,25		16,80		15,75		13,50		10,50			
Moy. J		8,32		7,91		8,01		9,28		10,76		12,75		14,98		16,28		16,53		15,65		13,31		10,57			

Tableau 2.10 : Bilan détaillé des mesures de température de l'eau de mer effectuées entre 1976 et 1980 par EDF au point de longitude nord 49° 32' 29'' et de latitude ouest 001° 53' 49''. Pour chaque mois, sont mentionnés le nombre de mesures effectuées et la moyenne de ces mesures.

Source = acquisition mesures EDF - CNPE de Flamanville ; traitement Ifremer Drèvés (2005)

FLA	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Nb mois	Nb Valeurs	Moy. 12 M	Moy. 365 J												
1986	31	9,11	28	6,80	31	7,16	30	8,31	31	10,61	30	12,63	31	14,91	31	16,28	30	15,74	31	15,12	30	10,78	31	8,63	12	365	11,34	11,37
1987	31	7,34	28	7,21	31	7,34	30	9,02	31	10,95	30	12,22	31	15,83	31	17,65	30	18,01	31	14,96	30	13,00	31	10,05	12	365	11,97	11,99
1988	31	9,34	29	8,41	31	8,65	30	9,76	31	12,08	30	14,28	31	16,05	31	16,91	30	16,35	31	13,69	30	11,28	31	10,24	12	366	12,25	12,27
1989	31	8,74	28	8,17	31	9,59	30	10,38	31	12,44	30	14,61	31	16,95	31	18,23	30	17,95	31	16,44	30	12,41	31	11,01	12	365	13,08	13,21
1990	31	9,76	28	8,86	31	9,74	30	10,51	31	12,98	30	14,43	31	16,38	31	18,19	30	17,59	31	15,98	30	13,36	31	10,65	12	365	13,20	13,23
1991	31	9,04	28	7,44	31	8,57	30	9,31	31	10,57	30	12,90	31	15,29	31	16,80	30	17,33	31	15,47	30	12,55	31	10,65	12	365	12,16	12,19
1992	31	9,49	29	8,64	31	9,15	30	9,94	31	12,21	30	14,54	31	16,45	31	17,41	30	16,33	31	14,35	30	12,48	31	10,91	12	366	12,66	12,67
1993	31	9,78	28	9,52	31	8,74	30	10,19	31	11,93	30	14,09	31	15,89	31	16,98	30	16,77	31	14,37	30	12,04	31	10,36	12	365	12,56	12,57
1994	31	9,25	28	8,65	31	9,47	30	9,81	31	11,68	30	13,89	31	16,44	31	17,59	30	16,53	31	15,35	30	14,12	31	12,35	12	365	12,93	12,96
1995	31	9,94	28	10,02	31	9,67	30	10,53	31	12,21	30	14,22	31	16,42	31	18,15	30	17,46	31	16,36	30	14,21	31	11,30	12	365	13,37	13,39
1996	31	9,77	29	8,12	31	8,19	30	9,36	31	10,66	30	13,54	31	15,48	31	17,22	30	16,85	31	15,51	30	13,11	31	10,75	12	366	12,38	12,40
1997	31	7,88	28	8,16	31	9,39	30	10,54	31	12,24	30	14,19	31	16,08	31	17,74	30	17,58	31	16,41	30	13,65	31	11,55	12	365	12,95	12,98
1998	31	9,93	28	9,28	31	9,77	30	10,50	31	12,35	30	14,72	31	16,31	31	17,69	30	17,38	31	15,83	30	12,71	31	10,99	12	365	13,12	13,14
1999	31	10,01	28	9,31	31	9,67	30	10,84	31	12,72	30	14,85	31	17,00	31	18,10	30	18,24	31	15,86	30	13,33	31	10,99	12	365	13,41	13,43
2000	31	9,76	29	9,53	31	9,77	30	9,97	31	11,95	30	14,23	31	16,01	31	17,64	30	17,66	31	15,22	30	12,21	31	10,90	12	366	12,90	12,92
2001	31	8,92	28	9,24	31	9,33	30	10,49	31	11,99	30	14,77	31	16,81	31	18,12	30	17,58	31	16,55	30	14,24	31	11,67	12	365	13,31	13,34
2002	31	9,884	28	10,16	31	10,41	30	11,24	31	12,85	30	14,68	31	16,68	31	17,80	30	17,63	31	16,25	30	13,91	31	11,64	12	365	13,59	13,61
2003	31	9,881	28	8,70	31	9,36	30	10,35	31	12,37	30	15,04	31	17,39	31	18,44	30	18,11	31	15,85	30	13,80	31	11,61	12	365	13,41	13,44
2004	31	10,13	29	9,20	31	8,71	30	10,41	31	12,24	30	14,97	31	16,58	31	18,04	30	17,69	31	15,59	30	13,81	31	11,95	12	366	13,28	13,29
2005	31	10,54	28	9,02	31	8,38	30	10,11	31	12,06	30	14,71	31	17,08	31	18,37	30	18,28	31	16,83	30	14,34	31	11,39	12	366	13,43	13,41
Nb années	20		20		20		20		20		20		20		20		20		20		20		20					
Nb Valeurs	620		565		620		600		620		600		620		620		600		620		600		620					
Moy. M		9,42		8,72		9,05		10,08		11,95		14,18		16,30		17,67		17,35		15,60		13,07		10,98				
Moy. J		9,42		8,72		9,05		10,08		11,95		14,18		16,30		17,67		17,35		15,60		13,07		10,98				

Tableau 2.11 : Bilan détaillé des mesures de température de l'eau de mer effectuées entre janvier 1986 et décembre 2005 par EDF dans le canal d'aménée de la Centrale de Flamanville. Pour chaque mois, sont mentionnés le nombre de mesures effectuées et la moyenne de ces mesures, les valeurs extrêmes étant repérées en trame bleue (moyenne minimale) ou rouge (moyenne maximale). Pour chaque bilan annuel, sont mentionnées la température moyenne obtenue à partir des 12 valeurs mensuelles et celle obtenue à partir de l'ensemble des mesures réalisées pendant l'année.

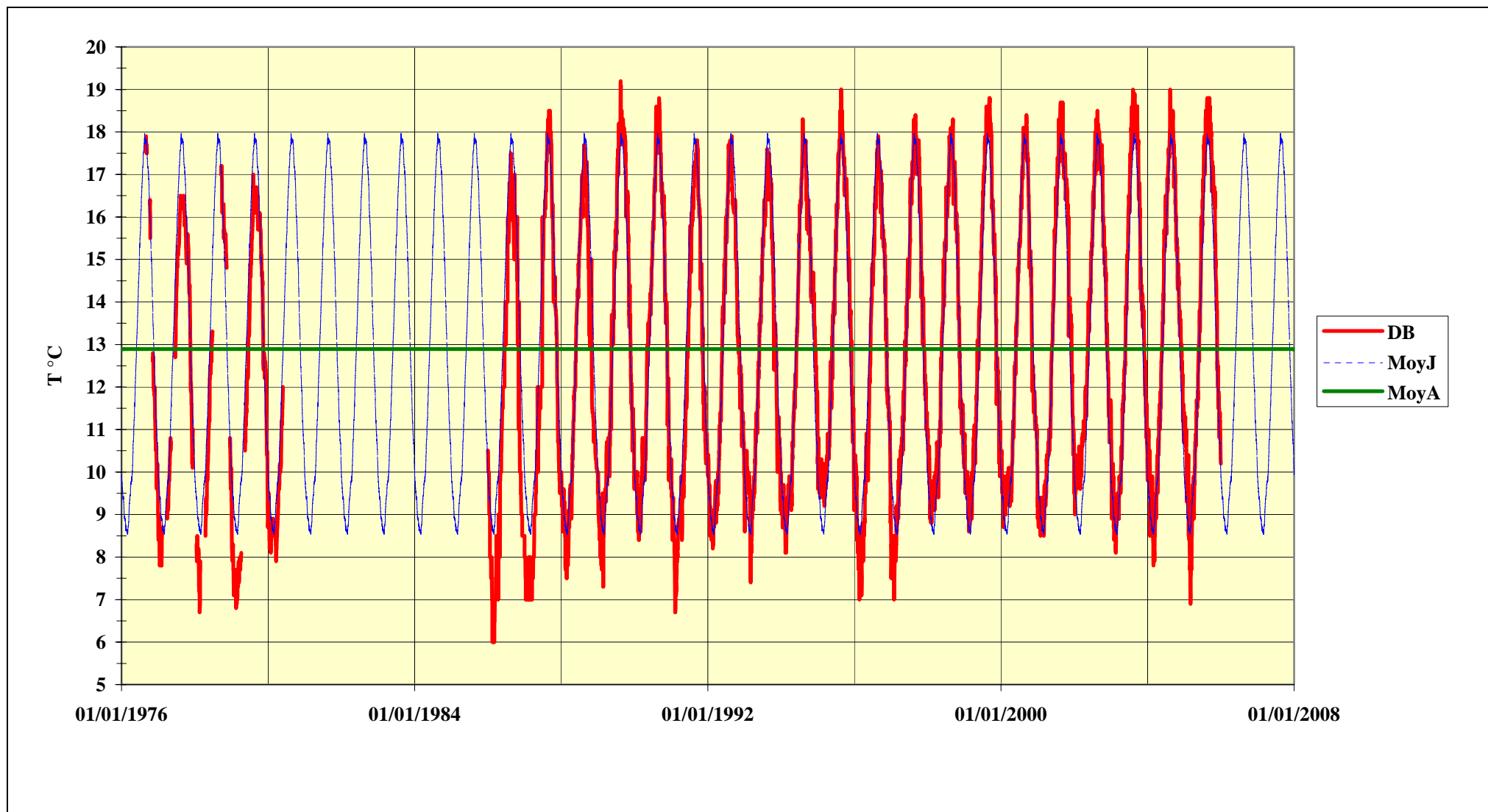


Figure 2.14 : Comparaison des données (DB) de température de l'eau de mer acquises par EDF depuis 1976 au droit du site de Flamanville au cycle moyen des températures de l'eau de mer obtenu entre janvier 1986 et décembre 2005. La température moyenne sur la période est 12,9 °C

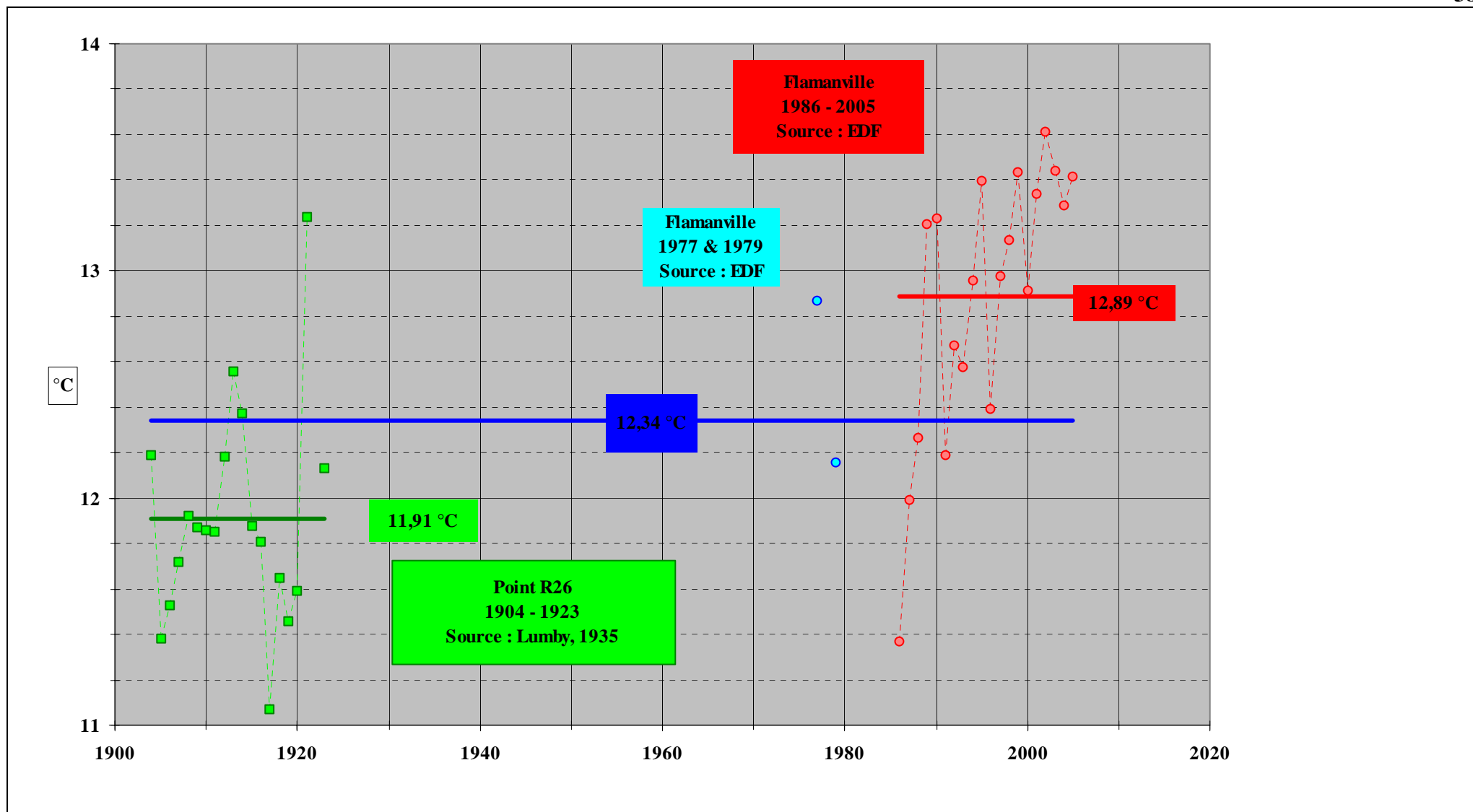


Figure 2.15 : Comparaison des températures moyennes annuelles de l'eau de mer au droit du site de Flamanville, entre 1904 et 2005

3. Le domaine pélagique

Rédaction :

Luis **LAMPERT** (**LER-N**)
Compartiments hydrologie,
microbiologie, phytoplancton et
substances chimiques

Daniel **WOEHLING** (**DCN-EMH**)
Compartiment zooplancton

3.1. Compartiment hydrologique

3.1.1. Introduction

Les protocoles d'études du domaine pélagique ont variés au cours des trois périodes suivantes :

- **Étude de projet (premier et deuxième cycles)**, entre 1976 et 1978, avec une fréquence mensuelle de sorties en mer, pouvant atteindre parfois deux sorties mensuelles (tableau 3.1.1). Les points échantillonnés lors de cette première phase ont été : 301 (A), 302 (B), 303 (C) et 304 (D) (figure 3.1.1).
- **Étude de Surveillance (première phase), de 1983 à 1986** : les sorties en mer pour l'échantillonnage ont eu lieu entre les mois de février et de novembre, avec une fréquence accrue entre les mois d'avril et de juillet. Les points échantillonnés ont été : 302 (B), 306 (E) et 307 (H).
- **Étude de Surveillance (deuxième phase), depuis 1987 à nos jours** : la stratégie d'échantillonnage, mise en place dès la mise en service de la centrale, prévoit trois périodes annuelles : début de printemps, début d'été et début d'automne.

Les points échantillonnés sont : 308 (canal d'amenée), 309 (rejet), 311 (référence) et 310 (contrôle). Ce dernier point n'a été échantillonné qu'entre 1987 et 1993.

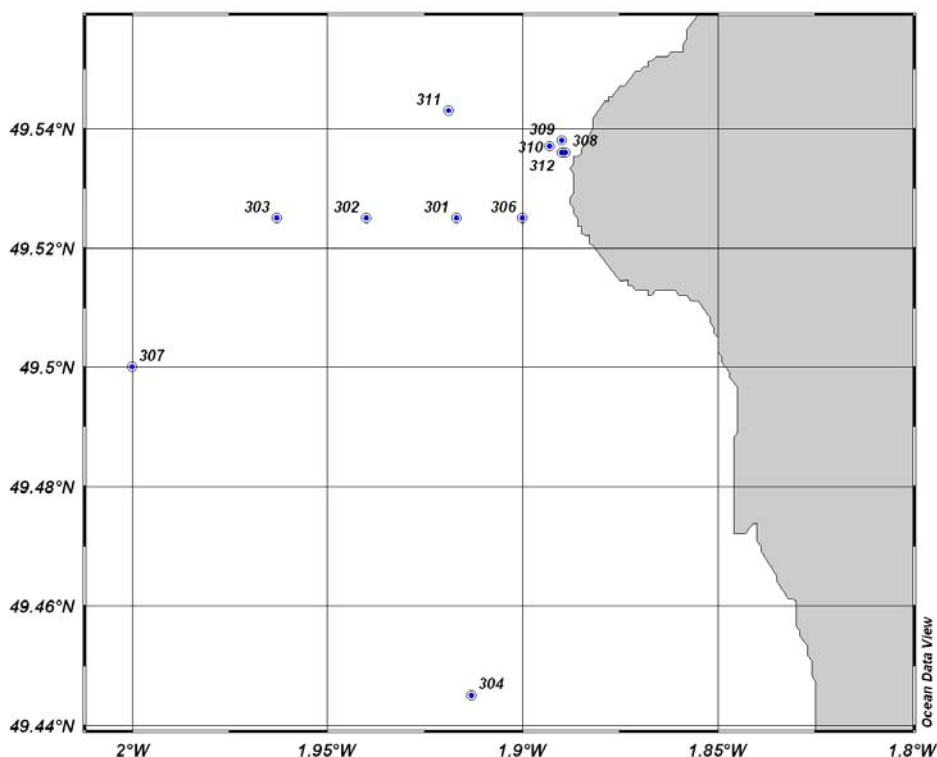


Figure 3.1.1 : Positionnement des points d'échantillonnage suivis entre 1976 et 2004

Année	Mois de l'année												Point
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
AVANT FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE													
Étude de projet													
1976				6			8-23	6-21	4-6	3	3-19	16	301-302 303-304
1977	5-9	2-17	3	14	10-24	16-30	12-29	11-26	6-21	20	27	20	301-302 303-304
1978	5-17	7-21	2	6-20 28	12-30	15-29							301-302 303-304
Surveillance													
1983			10		13	9-30	24	30			8		302-306 307
1984		14	20	5-26	9-29	12	17			16			306-307
1985		26		26	14		5-26	25	20	22			306-307
APRES FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE													
1986			11		23	11	22		23				306-307
Surveillance nouvelle stratégie													
1987					7		17		1				308-309 310-311
1988					8		14				5		308-309 310-311
1989				22			13		23				308-309 310-311
1990				21			2		27				308-309 310-311
1991					7		2		17				308-309 310-311
1992				11			9		20				308-309 310-311
1993				29		29			26				308-309 310-311
1994			20				2			1			308-309 311
1995				9			4		18				308-309 311
1996				12		24			6				308-309 311
1997				19		30			29				308-309 311
1998			20				1		15				308-309 311
1999			28			27			17				308-309 311
2000			30			23			4				308-309 311
2001				1			6		10				308-309 311
2002			22				5		17				308-309 311
2003			27			23			19				308-309 311
2004			29			22			24				308-309 311

Tableau 3.1.1 : Date des campagnes effectuées depuis 1976 dans le domaine pélagique. Les chiffres figurant dans les cases représentent le jour du mois où les prélèvements ont été effectués

Année	Paramètre étudié											
	T°	S‰	pH	O ₂	NH ₄	NO ₂	NO ₃	PO ₄	Si(OH) ₄	MES	Trihalométhanes	Bore
AVANT FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE												
Étude de projet												
1976-1978	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Surveillance												
1983	X	X		X	X	X	X	X	X	X		
1984	X	X			X	X	X	X	X			
1985	X				X	X	X	X	X			
APRES FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE												
1986	X	X		X	X	X	X	X	X	X		
Surveillance nouvelle stratégie												
1987	X	X			X	X	X	X	X		X	
1988	X	X			X	X	X	X	X		X	
1989	X	X			X	X	X	X	X		X	
1990	X	X			X	X	X	X	X		X	
1991	X	X			X	X	X	X	X		X	
1992	X	X			X	X	X	X	X		X	
1993	X	X			X	X	X	X	X		X	
1994	X	X			X	X	X	X	X		X	
1995	X	X			X	X	X	X	X		X	
1996	X	X			X	X	X	X	X		X	
1997	X	X			X	X	X	X	X		X	
1998	X	X			X	X	X	X	X		X	
1999	X	X			X	X	X	X	X		X	
2000	X	X			X	X	X	X	X		X	X
2001	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
2002	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
2003	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
2004	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X

Tableau 3.1.2 : Fréquence d'étude de chaque paramètre depuis 1976 dans le domaine pélagique

Trois grandes stratégies d'échantillonnage se sont succédées depuis 1976. Lors du projet d'études, il a été adopté une haute fréquence d'échantillonnage et un grand nombre de paramètres afin d'avoir une connaissance aussi fine que possible de l'état du milieu. Cette phase devait permettre de définir les paramètres et les fréquences d'échantillonnage pertinentes à adopter pour les suivis de surveillance.

Dès 1983, en conformité avec la réglementation et la législation, les campagnes de surveillance commencent. L'expérience tirée des campagnes de l'étude de projet permet d'écartier les paramètres pH, oxygène et MES, ne présentant aucun intérêt particulier pour cette région de la Manche. Les fréquences d'échantillonnage ont été réduites de huit à six campagnes par an, centrées sur les périodes biologiques plus représentatives : le printemps, l'été et le début d'automne. La centrale étant encore en construction en 1983, un nouveau réseau de points d'échantillonnage *ad hoc* est aussi défini (tableau 3.1.1).

En 1987 la centrale de Flamanville démarre sa production d'énergie. Bien que les paramètres suivis restent sensiblement les mêmes que ceux étudiés de 1983 à 1986, les points d'échantillonnage s'adaptent aux rejets des eaux chaudes de la centrale. Il est alors défini le réseau de prélèvements actuel qui permet de prendre des mesures à l'entrée du canal d'amenée, au point rejet et sur un point non influencé par les rejets (point référence). Dans la période 1987-1993, le point contrôle (310) a été suivi en même temps que les points canal (308), rejet (309) et référence (311). Sa proximité par rapport au point rejet n'a pas justifié son suivi dès 1994.

Ainsi le suivi depuis 1987 est effectué sur trois périodes de l'année :

- Printemps : développements phytoplanctoniques printaniers centrés autour des mois de mars et avril en Manche.
- Été : période de fort épuisement des nutriments minéraux (nitrate, phosphate et silicate) ; échantillonnage entre juin et juillet.
- Automne : cette période qui correspond à la fin de l'été et au début de l'automne est très marquée par la régénération des nutriments et l'apparition possible d'efflorescences automnales. La presque totalité des campagnes se sont déroulées au mois de septembre.

Les résultats des campagnes hydrologiques sont présentés sous forme de courbes et de boîtes à moustaches. L'utilisation de la médiane est préférée à la moyenne car elle permet de minimiser l'influence des valeurs extrêmes. Pour la série de valeurs obtenues après la mise en fonctionnement de la centrale, les valeurs sont présentées par saison (printemps, été et automne). Ces trois périodes regroupent les mois de mars et avril pour le printemps, de juin et juillet pour l'été, et le mois de septembre pour l'automne. Les campagnes qui ont été effectuées en-dehors de ces périodes ont été écartées car elles sont difficilement comparables avec les données obtenues avant 1986.

Étant donné que les points d'échantillonnage des campagnes effectuées avant et après la mise en service de la centrale ne sont pas les mêmes, la comparaison des paramètres est effectuée selon le tableau 3.1.3 :

PERIODE	Côte	Large
1987 - 2004	308 (canal)	311 (référence)
1976 - 1985	306	301 - 302-303

Tableau 3.1.3 : Points d'échantillonnage qui ont servi aux comparaisons des valeurs avant et après la mise en service de la centrale.

Les données acquises lors des campagnes menées en 1986 n'ont pas été exploitées dans la présente étude. Elles ne peuvent pas être incorporées dans la série de valeurs 1976-1985 car la mise en route de la centrale a eu lieu au cours de l'année 1986. Elles ne sont pas utilisables non plus dans la série 1987-2004 car la stratégie d'échantillonnage n'est pas la même, interdisant alors les comparaisons entre les points d'échantillonnage.

Vu la faible variabilité observée entre les valeurs des paramètres hydrologiques mesurés entre la surface et le fond, et les faibles profondeurs rencontrées, les valeurs de la période 1976-1985 utilisées pour les comparaisons incluent les enregistrements effectués à toutes les profondeurs.

Afin d'approcher l'évolution temporelle des paramètres dans le milieu marin, hors impact de la centrale, une étude est effectuée au point référence. La période retenue s'étend de 1987 à 2004 et ne concerne que le mois de septembre, car seules les campagnes automnales présentent une longue série de valeurs centrées sur le même mois (à l'exception de la campagne automnale réalisée en novembre 1988). Les périodes printanières et estivales ne sont pas retenues car elles présentent une forte dispersion temporelle dans la réalisation des campagnes, ce qui empêche toute interprétation évolutive. Lors de cette étude, les valeurs antérieures à 1987 n'ont pas été retenues en raison du biais introduit par l'hétérogénéité géographique des points d'échantillonnage et le faible taux d'échantillonnage des points 301 et 302 au mois de septembre.

La comparaison entre les valeurs enregistrées à Flamanville et celles obtenues par des réseaux de surveillance locaux a été focalisée sur l'utilisation du Réseau de surveillance PHYtoplanctonique (REPHY), géré par l'IFREMER depuis 1984. Des comparaisons avec les résultats observés aux centrales de Paluel et Penly sont effectuées. Elles portent sur la radiale canal-référence à Paluel et la radiale canal-contrôle à Penly. Ces deux radiales ont les mêmes configurations et dimensions que la radiale canal-référence de Flamanville.

Les concentrations en nutriments minéraux sont exprimées en $\mu\text{mol/L}$ (μM). Elles peuvent être converties en mg/L en multipliant les valeurs (μM) par les coefficients suivants :

- Ammonium : 0,018
- Nitrite : 0,046
- Nitrate : 0,062
- Phosphate : 0,095
- Silicate : 0,060

3.1.2. Température

3.1.2.1. Température avant la mise en service de la centrale (1976-1985)

L'évolution annuelle de la température présente une forme sinusoïdale caractéristique des mers tempérées, avec un maximum observé en août avec $17,4\text{ }^\circ\text{C}$ au point 306 et un minimum de $6,0\text{ }^\circ\text{C}$ au mois de février au point 304 (figure 3.1.2).

Les variations observées le long de la radiale côte-large matérialisée par les points 301-303 sont faibles et atteignent environ $0,2\text{ }^\circ\text{C}$ en février pour les campagnes réalisées entre 1976 et 1978. Les températures du point 302, situé entre les points 301 et 303, présentent de plus fortes valeurs que celles des points qui l'encadrent et tout particulièrement aux mois de février, mars, août et septembre. Aux mois de juin et novembre, ces valeurs se situent en dessous de celles observées aux points 301 et 303.

De décembre à avril, le point 304, situé plus au sud, présente des températures plus faibles que la radiale 301-303. Le reste de l'année, elles sont supérieures, à l'exception de la valeur du mois de septembre qui présente une très faible valeur de température ($15,8\text{ }^\circ\text{C}$).

Température 1976-1985

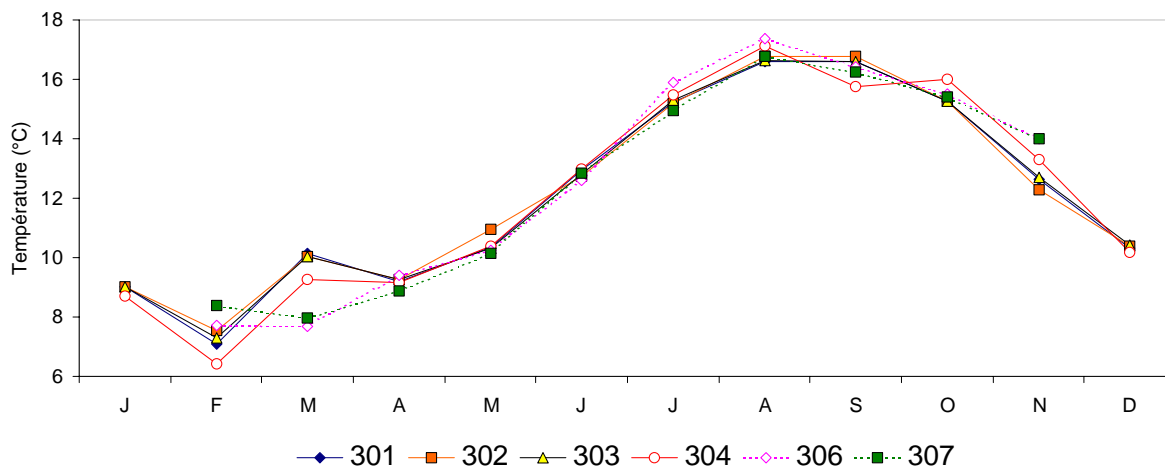


Figure 3.1.2 : Températures médianes de l'eau de mer par point et par mois pour la période d'études 1976-1985

La distribution des températures aux points 304 et 306, échantillonnées entre 1983 et 1985, suit la même tendance décrite précédemment. Elle met en évidence l'importance des fluctuations climatiques inter-annuelles, avec un mois de mars plus froid que lors de la période 1977 et 1978. Ce phénomène est aussi perceptible au mois de novembre.

La dispersion de valeurs à l'intérieur de chaque série de données mensuelles est plus forte en février et mars pour la période printanière et en septembre, octobre et novembre pour la période automnale (figure 3.1.3). Les dispersions minimales sont enregistrées en hiver et en été.

Températures 1976-1985

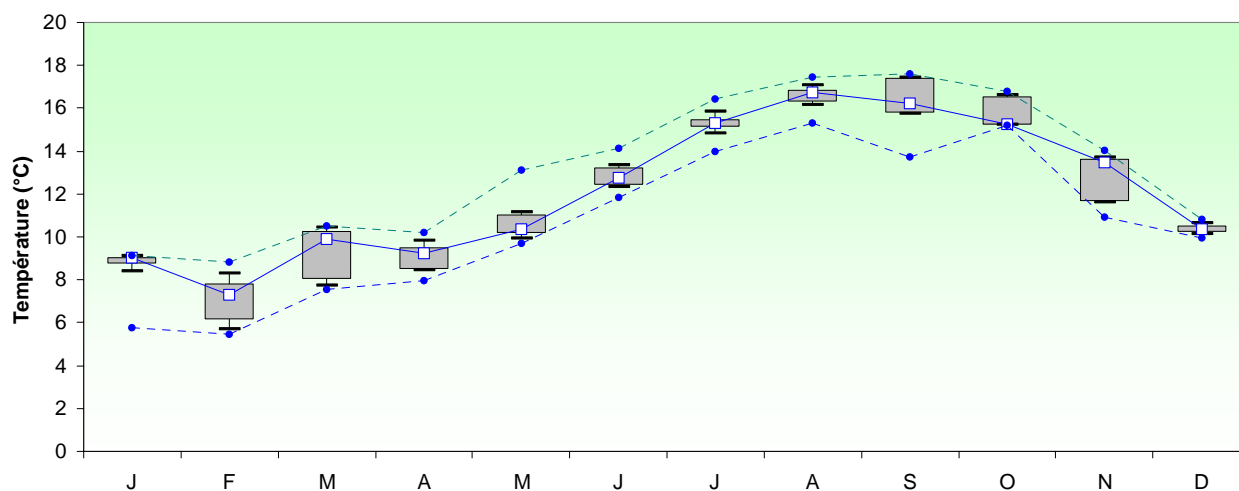


Figure 3.1.3 : Distribution de la médiane générale des températures de l'eau de mer tous points confondus par mois sur la période d'études 1976-1985 ainsi que les valeurs maximum et minimum. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▭) ; les moustaches 80 % des valeurs (┆). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●)

Le fort hydrodynamisme et les faibles profondeurs de la zone d'études interdisent la création d'une stratification significative de la colonne d'eau. Celle-ci ne dépasse pas 0,5 °C et elle est principalement mise en évidence au printemps et en automne.

3.1.2.2. Température après la mise en service de la centrale (1987-2004)

La distribution des médianes présente une augmentation régulière de la température de l'eau de mer du printemps vers l'automne (figure 3.1.4). Du fait de l'activité de la centrale, les températures du point rejet sont systématiquement supérieures à celles des points canal et référence. Les écarts des médianes constatés entre le point référence (considéré non influencé par les rejets de la centrale) et le point rejet ne dépassent pas 2 °C (figure 3.1.5).

La température médiane observée au point canal est supérieure à celle du point référence sur les trois périodes de l'année. Cet écart est maximum au printemps (environ 1,5 °C) et minimum en automne (environ 0,7 °C).

Les médianes des températures enregistrées après la mise en service de la centrale sont systématiquement supérieures à celles observées lors de la période 1976-1985. Ces différences varient entre 0,2 °C pour le point référence au printemps et 1,5 °C au même point en été.

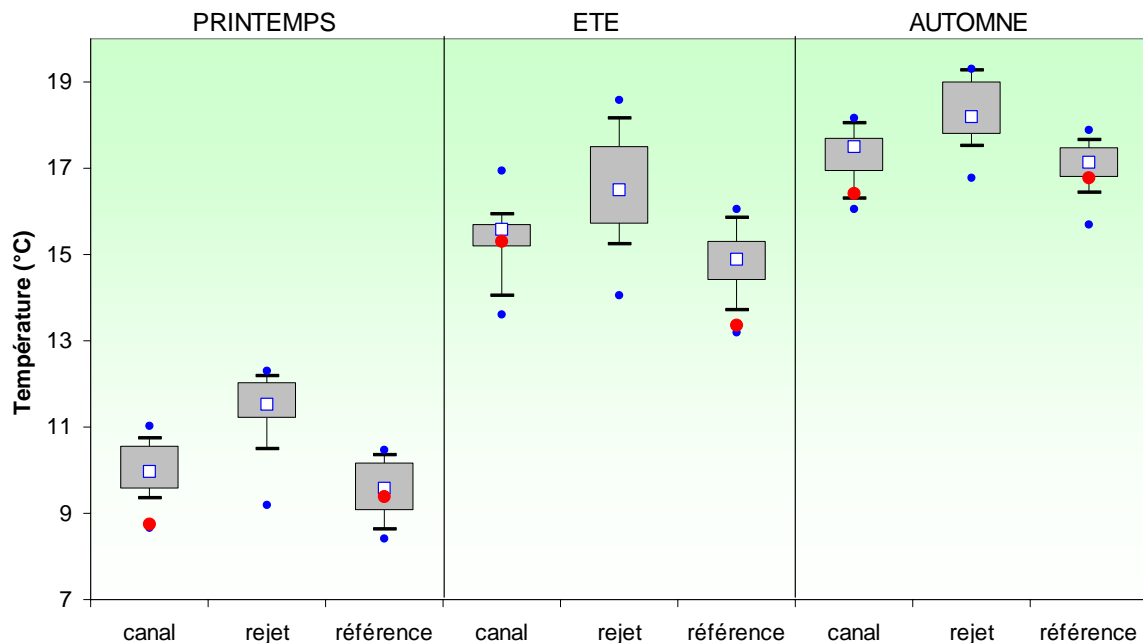


Figure 3.1.4 : Distribution de la température médiane de l'eau de mer par point sur la période d'études 1987-2004. Les points rouges représentent les valeurs médianes de température observées dans la période 1976-1985

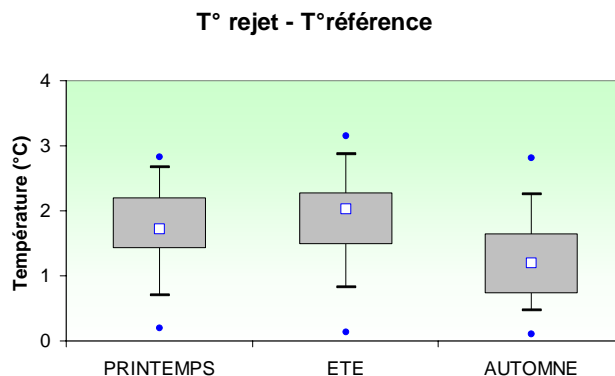


Figure 3.1.5 : Écart de température entre les points rejet et référence sur la période d'études 1987-2004

La figure 3.1.6 présente l'évolution de la température au point référence de 1987 à 2004. Cette évolution met en évidence de plus fortes variations de température observées entre 1990 et 1994 par rapport à celles enregistrées entre 1995 et 2004. 2004 marque une importante décroissance de la température par rapport aux années précédentes.

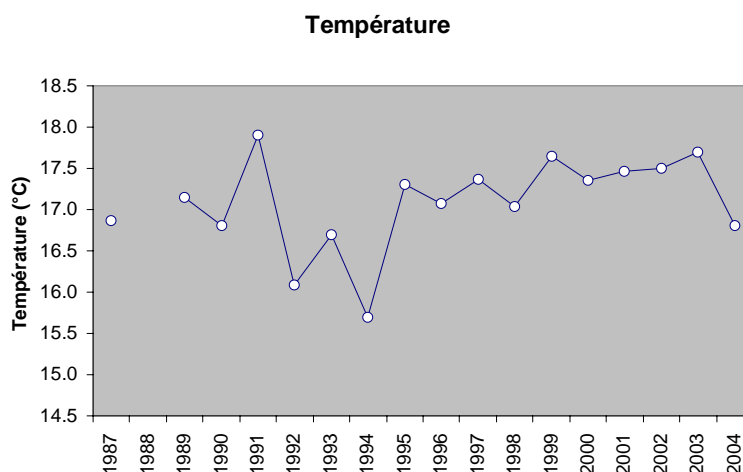


Figure 3.1.6 : Évolution de la température mesurée au point référence lors des campagnes de septembre sur la période 1987-2004

3.1.2.3. Discussion

Les différences de température constatées avant et après la mise en service de la centrale peuvent être influencées par les changements dans les fréquences d'échantillonnage, par les différences géographiques dans le positionnement des points de prélèvement ou, surtout, par les conditions climatiques propres à chaque année d'échantillonnage. La série de valeurs enregistrées avant 1985 n'est pas complète, et sur certains points, seules les températures observées entre 1976 et 1978 sont disponibles.

Il existe un phénomène de plus grande échelle qui peut influencer la distribution des températures dans le temps. Il s'agit du réchauffement global (Quero *et al.*, 1998 ; Koutsikopoulos *et al.*, 1998 ; Clark and Frid, 2001 ; Woehrling *et al.*, *in press*). Ce phénomène est aussi perceptible sur la série de valeurs de température enregistrées par EDF au canal d'amenée depuis 1987 (voir chapitre 2, p. 29 à p. 38) et sur la série de valeurs de la figure 3.1.6 enregistrées au point référence lors des campagnes automnales.

La figure 3.1.4 met en évidence les différences de température existantes entre les points *canal* et *référence* de 1987 à 2004. Deux hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cette différence autrement que par l'influence de la centrale :

- En raison de leur caractère alternatif, les courants de marée peuvent ramener de l'eau réchauffée devant la centrale. Les travaux de Malherbe et Manoha (1977) sur le site de Flamanville ont montré que ce phénomène pouvait conduire à une élévation de la température au droit de la centrale.

Les vents de secteur nord peuvent aussi avoir une influence dans l'advection des masses d'eau réchauffées vers le point *canal*. En septembre 2002 et 2003, l'arrêt total de la centrale de Flamanville a permis de lever le doute sur ce point : l'absence de différence significative de température entre les trois points d'échantillonnage a suggéré que les différences de température constatées tous les ans entre les points *canal* et *référence* peuvent être attribuables en partie aux eaux réchauffées du *rejet*.

Les rejets de la centrale de Flamanville sont disposés à une distance de 200 à 300 mètres des digues du canal d'aménée, et distants l'un de l'autre de 100 à 150 mètres. Violeau et Dribault (1997) ont modélisé le panache thermique de Flamanville à l'aide du modèle TELEMAT-3D pour une morte-eau moyenne et une vive-eau moyenne. Les résultats des simulations confirment, à pleine mer, l'élévation de température sur le canal d'aménée par le panache du rejet. Les résultats montrent que l'impact thermique dépend fortement des courants de marée. Selon que l'on soit en période de flot ou de 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 par la centrale reste très localisé, et confirment les résultats issus des mesures lors des campagnes de surveillance.

- Une deuxième explication de l'écart de température entre les points *référence* et *canal* peut être donnée : en effet, le point *référence*, situé plus au large que le point *canal* pourrait se trouver dans la masse d'eau de la Manche, plus chaude en hiver et au printemps que le 'fleuve côtier' (Brylinski *et al.*, 1991).

Les deux hypothèses sont plausibles et la réalité pourrait être une combinaison des deux hypothèses.

La température mesurée au point *rejet* dépend en grande partie de la proportion d'eau chauffée. La différence entre les eaux réchauffées et celles du milieu récepteur ne doivent pas excéder, selon les termes de l'arrêté, 15 °C (Malherbe et Manoha, 1977). Le taux de dilution théorique moyen ainsi calculé sur la période 1987-2004 est d'environ 90 % sur quelques dizaines de mètres autour du rejet.

Des thermographies aériennes réalisés par l'Institut Géographique National (IGN) entre 1988 et 1989 présentent un panache de température supérieure à 1 °C par rapport à celle du milieu qui s'étend sur 4 km vers le sud sur une largeur d'environ 500 m (Angely et Bordet, 1994).

Les écarts de température observés entre le rejet (mesure effectuée à quelques dizaines de mètres de la grille) et le point référence sont inférieurs à 3 °C. Grâce au fort taux de

dilution et aux courants de marée, l'étendue de la tache thermique dans les eaux proches de la centrale est fortement réduite.

3.1.2.4. Contexte local, régional ou global

Les études de l'hydrologie de la Manche sont rares et ne portent qu'un regard ponctuel dans l'espace et dans le temps. Afin de donner un cadre géographique à l'évolution de la température dans le secteur proche de la centrale de Flamanville, nous avons utilisé les valeurs de température enregistrées entre 1987 et 2004 par le réseau national de surveillance phytoplanctonique (REPHY) sur les points de suivi situés entre Granville et Barfleur et nous les avons comparées aux valeurs des médianes de température observées au point référence depuis 1987 (figure 3.1.7). Le tableau 3.1.4 présente la synthèse des valeurs de températures médianes obtenues par le REPHY ainsi que leurs maximum et minimum.

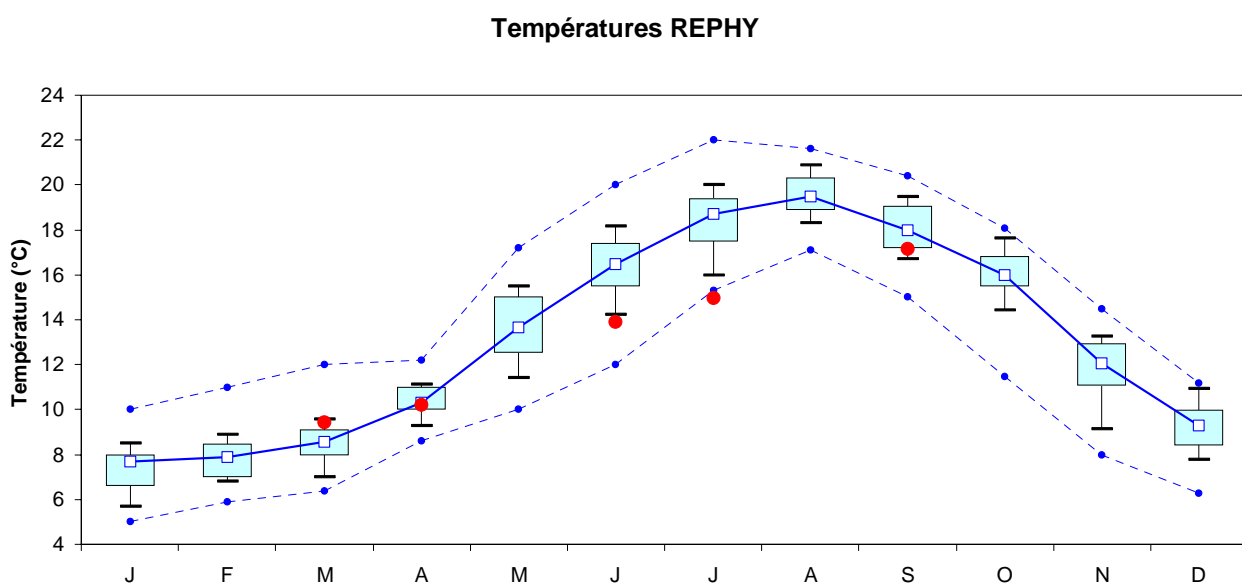


Figure 3.1.7 : Températures médianes et leur dispersion obtenues par le réseau REPHY entre 1987 et 2004 sur les points d'échantillonnage situés entre Granville et Barfleur (672 valeurs). Les points rouges représentent les valeurs médianes du point référence (1987-2004) aux mêmes périodes

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Médiane	7.70	7.90	8.54	10.31	13.65	16.50	18.70	19.50	18.00	16.00	12.05	9.30
Min	5.00	5.90	6.40	8.60	10.00	12.00	15.33	17.09	15.00	11.50	8.00	6.30
Max	10.00	11.00	12.00	12.20	17.20	20.00	22.00	21.60	20.40	18.10	14.50	11.20

Tableau 3.1.4 : Températures médianes obtenues par le réseau REPHY entre 1987 et 2004 sur les points d'échantillonnage situés entre Granville et Barfleur (672 valeurs)

Les températures médianes observées au point référence entre 1987 et 2004 se situent, en général, en dessous des médianes enregistrées par le réseau REPHY pendant la même période. La raison de cet écart, tout particulièrement marqué en été, est le caractère 'océanique' de la masse d'eau située à la pointe du Cotentin, davantage influencée par les eaux atlantiques du large que par celles de la Manche. Ainsi en hiver, cette masse d'eau est plus chaude que celles de la Manche et en été, elle présente des valeurs de température plus faibles. Ce phénomène est clairement mis en évidence dans la distribution des températures du point référence à Flamanville et Paluel et au point contrôle à Penly (figure 3.1.8).

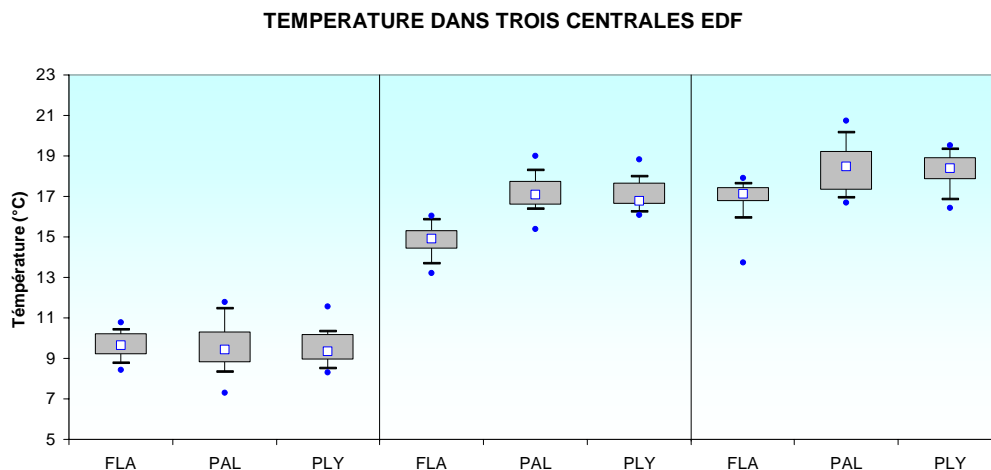


Figure 3.1.8 : Températures médianes du point référence aux centrales nucléaires de Flamanville et Paluel, et du point contrôle à Penly sur la période 1987-2004

3.1.3. Salinité

3.1.3.1. La salinité avant la mise en service de la centrale (1976-1985)

L'évolution des valeurs de salinité pour les points étudiés entre 1976 et 1985 présente une diminution de janvier à juin, une stabilisation entre juin et octobre et ensuite une hausse jusqu'au mois de décembre (figure 3.1.9). Les variations de la salinité restent toutefois faibles, avec un maximum au point 302 en décembre égale à 35,2 et un minimum de 34,7 au point 304 en septembre.

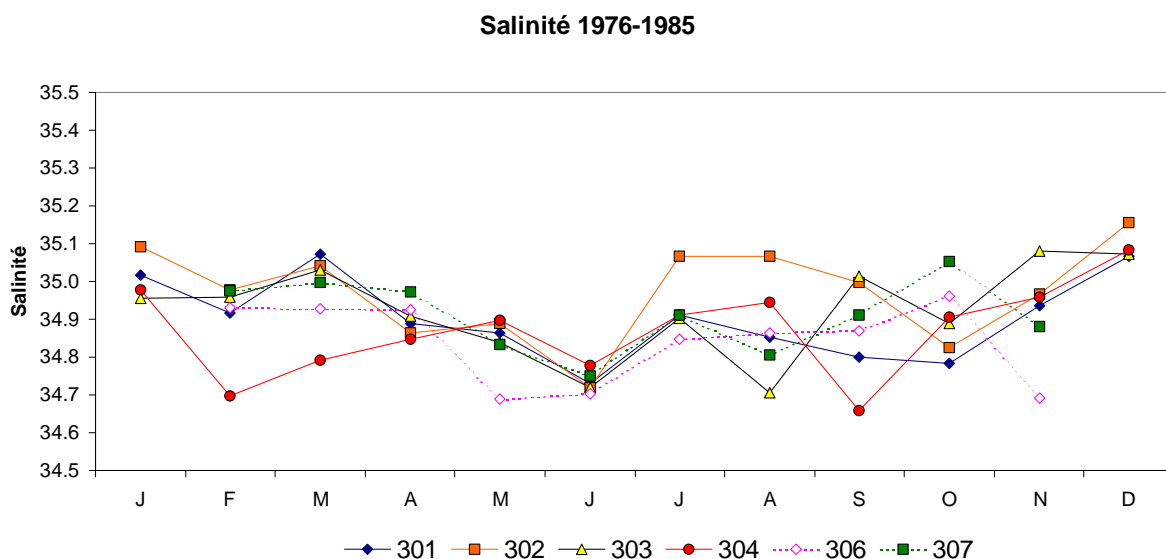


Figure 3.1.9 : Salinités médianes de l'eau de mer par point et par mois pour la période d'études 1976-1985

Les variations de la salinité dépendent fortement du régime de précipitations des zones côtières. Si la pluviométrie, qui est maximale lors de la période hiver-printemps est intense, les salinités des zones côtières seront faibles. Pendant la période d'étiage (été et début d'automne), les salinités présentent les plus fortes valeurs de l'année.

Bien que les variations soient faibles d'un point à l'autre, nous observons une évolution parallèle de décembre à juin des points 301,302 et 303. Le point 301, plus proche de la côte

présente de plus faibles salinités que le point 302, situé à mi chemin entre la côte et le large. Cette situation met en évidence le caractère turbulent du mélange des eaux dans cette partie de la Manche où les courants de marée sont intenses.

Le point 304 présente les plus faibles salinités entre janvier et mars ainsi qu'au mois de septembre. En juillet, août et septembre, nous observons les plus fortes salinités, ce qui rend l'évolution de la salinité annuelle de ce point, différente par rapport à celles qui sont observées plus au nord. L'échantillonnage des points 306 et 307 n'a pas été effectué en même temps que celui du réseau de points 301 à 304 et ce décalage peut expliquer les différences de valeurs observées.

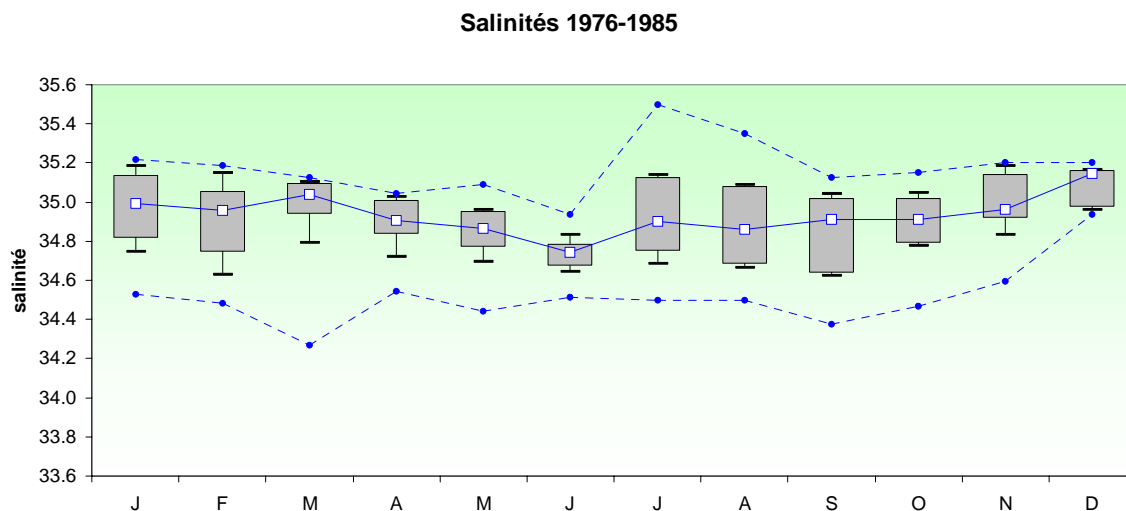


Figure 3.1.10 : Salinité médiane de l'eau de mer tous points confondus par mois sur la période d'études 1976-1985 ainsi que les valeurs maximum et minimum

La dispersion de valeurs est maximale en été, où des orages peuvent influencer fortement ce paramètre sur de courtes périodes (figure 3.1.10). La plus faible variabilité est observée en juin. Les plus forts écarts entre les valeurs maximum et minimum sont observées en juillet et en mars avec respectivement une valeur de 1,0 et 0,8. Le plus faible écart, égal à 0,3 est constaté en décembre.

3.1.3.2. La salinité après la mise en service de la centrale (1987-2004)

Seules les variations observées au printemps dans la radiale canal-référence présentent un gradient halin croissant (figure 3.1.11). En été et en automne, les médianes de la salinité restent à l'intérieur de l'incertitude de la mesure. C'est lors des fortes pluies printanières que l'influence des apports d'eau douce des fleuves peuvent se faire sentir dans la masse d'eau côtière sur une longue période. Les orages d'été peuvent changer rapidement les caractéristiques des eaux proches des embouchures de fleuves et rivières mais leur influence est moins marquée dans le temps.

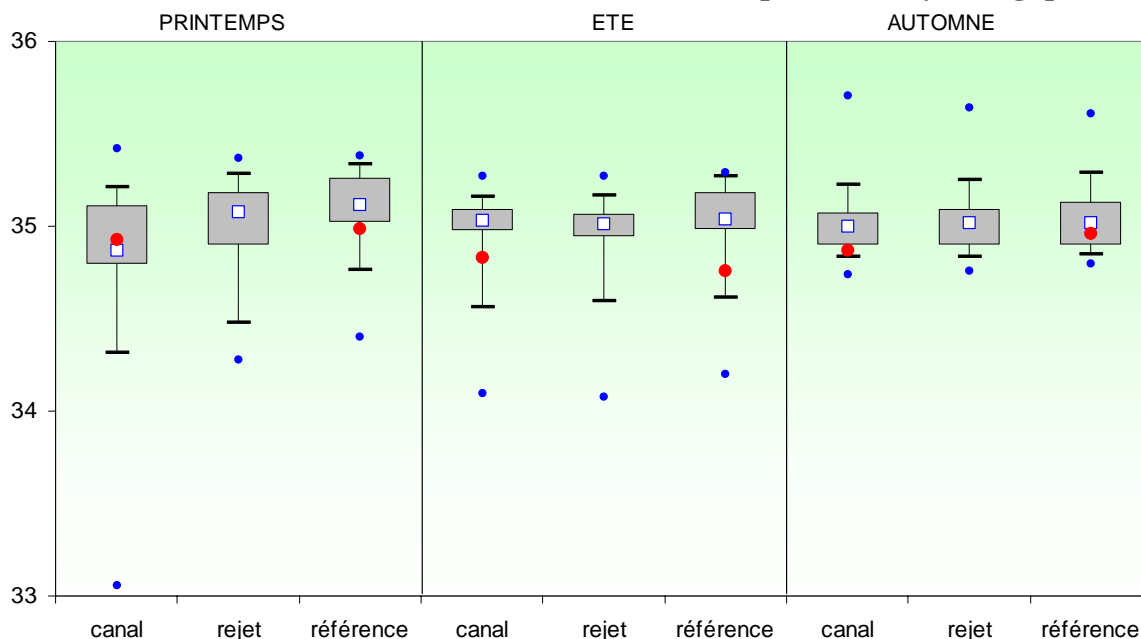


Figure 3.1.11 : Distribution des médianes de la salinité de l'eau de mer sur la période d'études 1987-2004. Les points rouges représentent les médianes de salinité observées dans la période 1976-1985

La forte variabilité inter-annuelle des pluies printanières est mise en évidence par les dispersions des boîtes contenant 50 % des valeurs. Lors de la période estivale, ces dispersions sont les plus faibles. A l'exception de la valeur de salinité observé au point canal au printemps, les valeurs des médianes observées après 1987 se situent au-dessus des valeurs de la période 1976-1985.

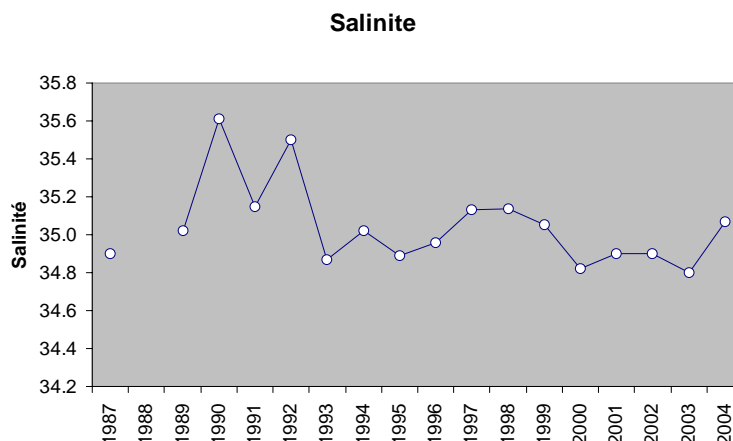


Figure 3.1.12 : Évolution de la salinité du point référence au mois de septembre sur la période 1987-2004

Après des fortes variations de salinité observées entre 1989 et 1993, la valeur mesurée au mois de septembre au point référence reste plus stable (figure 3.1.12). Cependant, elle présente une tendance décroissante dans le temps qui est concomitante avec l'augmentation des précipitations observées à la pointe nord du Cotentin et décrite dans le chapitre climatologie.

3.1.3.3. Discussion

L'influence de la pluviométrie sur la salinité dans ce secteur reste toutefois relativement limitée dans le temps et dans l'espace. Les valeurs de salinité observées sont du même ordre de grandeur que celles habituellement relevées en Manche Occidentale (Armstrong *et al.*, 1972) et reflètent l'influence plus marquée des eaux atlantiques transitant vers la mer du Nord (Pingree et Maddock, 1977 ; Salomon *et al.*, 1993). Cependant, le régime de pluies affectant le nord du Cotentin connaît, tout comme la température, une augmentation régulière depuis le début des années 1980 (chapitre climatologie).

La salinité autour du point rejet peut présenter de rapides variations dues au caractère turbulent du mélange près de la grille de rejets (figure 3.1.13). Ces variations peuvent être négatives, ce qui met en évidence un apport des eaux dessalées, ou positives si des produits ou des composés mélangés aux eaux de refroidissement changent la conductivité de l'eau. Ces variations restent cependant très limitées géographiquement autour de la grille de rejets.

L'hypothèse d'un impact de la centrale pour expliquer les différences de salinités observées est peu probable. Bien que la centrale représente une source d'eau douce *via* les effluents d'eau déminéralisée des circuits primaires, secondaires et annexes pour le refroidissement des auxiliaires de l'îlot nucléaire, ces rejets ne représentent qu'un faible volume vis-à-vis des forts débits des pompes d'eau de mer. Toutefois, le facteur de dilution n'est certainement pas constant, puisque les rejets d'eau douce ne sont pas réguliers, mais ont lieu lors de vidanges ou d'opérations de maintenance.

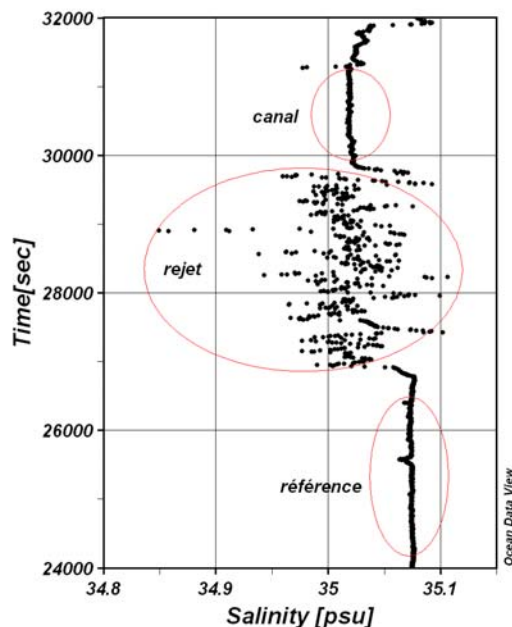


Figure 3.1.13 : Valeurs de salinité obtenues avec le thermo-salinomètre placé à bord du *NO THALIA* lors de la campagne réalisée à Flamanville en septembre 2004

Les salinités observées dans la période 1976-1985 sont inférieures à celles observées de la période 1987-2004 (figure 3.1.11), mais l'évolution de la salinité au point référence (figure 3.1.12) présente une tendance inverse. Ces différences, de faible amplitude,

suggèrent plutôt une variabilité spatiale liée aux différences dans le positionnement des points d'échantillonnage.

3.1.3.4. Contexte local, régional ou global

Peu d'études ont été conduites sur la variabilité spatio-temporelle de la salinité en Manche et les eaux atlantiques qui y rentrent (Armstrong *et al.*, 1972 ; Pingree et Maddock, 1977 ; Salomon *et al.*, 1993). Une étude à plus large échelle, réalisée par Buléon et Hassani (1995) sur le Golfe de Gascogne et Manche Ouest, présente des valeurs moyennes mensuelles de salinité sur la côte ouest du Cotentin (tableau 3.1.5). Ces résultats intègrent les 22 472 mesures effectuées depuis le début du siècle par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Min	35,0	35,1	35,0	35,0	34,9	34,8	34,9	34,9	34,8	34,9	35,1	35,1
Max	35,1	35,2	35,1	35,1	35,1	35,0	35,0	35,1	35,0	35,0	35,3	35,2
Précision	0,18	0,16	0,23	0,23	0,21	0,19	0,28	0,19	0,19	0,18	0,20	0,13

Tableau 3.1.5 : Valeurs minimum et maximum de salinité et leur précision obtenues sur l'ouest Cotentin par Buléon et Hassani (1995)

Les valeurs enregistrées entre 1993 et 2004 par le REPHY entre Granville et Barfleur ont été comparées aux valeurs des médianes de salinité observées depuis 1987 au point référence (figure 3.1.14). Le tableau 3.1.6 présente la synthèse des valeurs de salinités médianes du REPHY et leur maximum et minimum.

Salinité REPHY

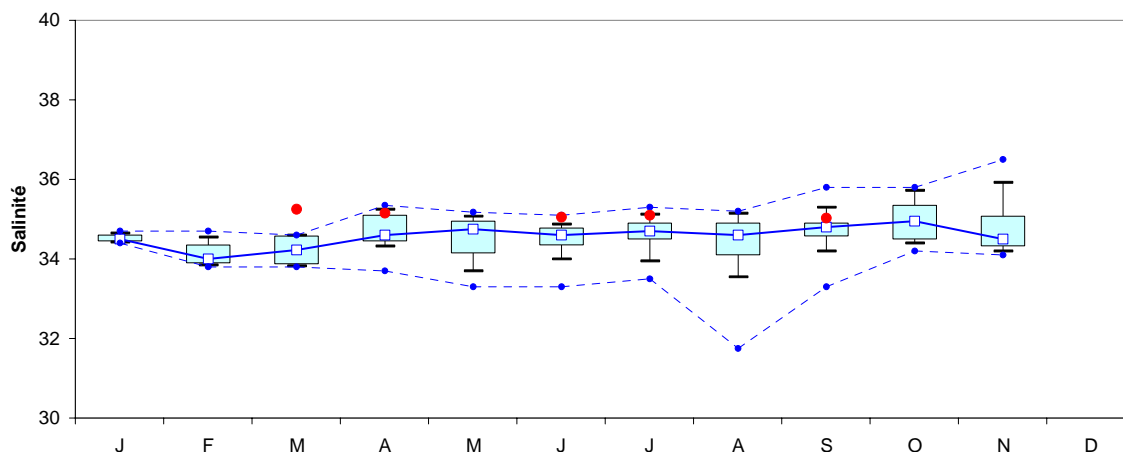


Figure 3.1.14 : Salinités médianes et leur dispersion obtenues lors de l'exécution du réseau REPHY entre 1993 et 2004 sur les points d'échantillonnage situés entre Granville et Barfleur (188 valeurs). Les points rouges représentent les valeurs médianes du point référence (1987-2004) aux mêmes périodes

Les médianes du réseau REPHY restent en dessous des valeurs observées au point référence. Ceci peut s'expliquer par le caractère très côtier des prélèvements effectués lors

de l'exécution du REPHY par rapport au point référence, situé plus au large et donc moins soumis aux effets des eaux dessalées.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Médiane	34.5	34.0	34.2	34.6	34.7	34.6	34.7	34.6	34.8	34.9	34.5	-
Min	34.4	33.8	33.8	33.7	33.3	33.3	33.5	31.8	33.3	34.2	34.1	-
Max	34.7	34.7	34.6	35.3	35.2	35.1	35.3	35.2	35.8	35.8	36.5	-

Tableau 3.1.6 : Salinités médianes obtenues lors de l'exécution du réseau REPHY entre 1993 et 2004 sur les points d'échantillonnage situés entre Granville et Barfleur (188 valeurs)

Le caractère océanique des eaux atlantiques rentrant en Manche se perd peu à peu en se dirigeant vers l'est. La Seine influence fortement les eaux côtières françaises depuis la Baie de Seine et jusqu'en Baie de Somme par l'action du *fleuve côtier* qui transporte les eaux dessalées et chargées en nutriments remontant vers le nord. L'effet de la géographie côtière influence aussi la position du fleuve côtier en éloignant ou en rabattant ces eaux vers la côte.

L'effet du *fleuve côtier* est perceptible dans les salinités observées sur les centrales EDF de Paluel et de Penly, situées respectivement à l'ouest et à l'est de Dieppe (figure 3.1.15). Les salinités à Flamanville sont les plus élevées à cause de l'influence atlantique.

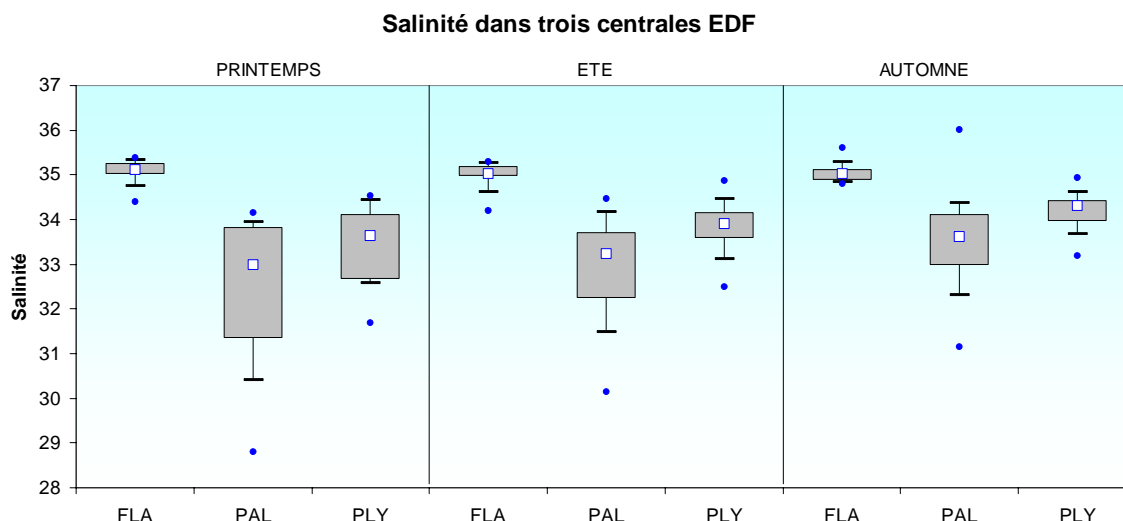


Figure 3.1.15 : Salinités médianes des points référence des centrales nucléaires de Flamanville et Paluel, et du point contrôle à Penly sur la période 1987-2004

Les salinités de surface dans les océans varient essentiellement en fonctions du bilan évaporation-précipitations. Les salinités moyennes de surface des différents bassins océaniques sont les suivantes (Ivanoff, 1975) :

- Océan Atlantique 34,90
- Océan Pacifique 34,62
- Océan Indien 34,76
- Océan global 34,72

Les eaux océaniques sont très stables et ne présentent de variations significatives que sur de longues périodes de temps et sur de grandes distances. Le milieu côtier est très variable, car influence par la présence des continents. De plus, les faibles profondeurs diminuent l'effet d'inertie.

3.1.4. Ammonium

3.1.4.1. L'ammonium avant la mise en service de la centrale (1976-1985)

L'échantillonnage des points 301 à 304 a été effectué de 1976 à 1978 et celui des points 306 et 307 entre 1983 et 1985. La plage de concentrations médianes observées pour l'ammonium varie de 2,27 μM pour le point 307 en février à la limite de détection de la méthode analytique, égale à 0,05 μM (figure 3.1.16).

Ammonium 1976-1985

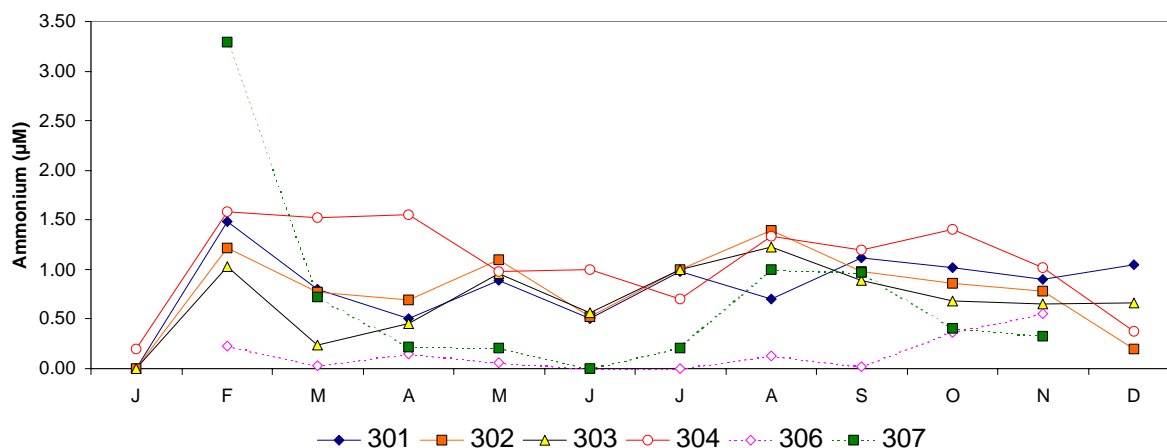


Figure 3.1.16 : Distribution des médianes d'ammonium dans l'eau de mer par point et par mois pour la période d'études 1976-1985

De janvier à juillet, les valeurs mesurées aux points 301 à 304 présentent des fortes variations avec des maximum aux mois de février, avril et juillet et des minimum en janvier, mars et juin. De juillet à décembre, les valeurs restent relativement stables autour de 1,0 μM . Le point 304, situé plus au sud, présente de valeurs supérieures à celles observées sur la radiale 301-303.

Ammonium 1976-1985

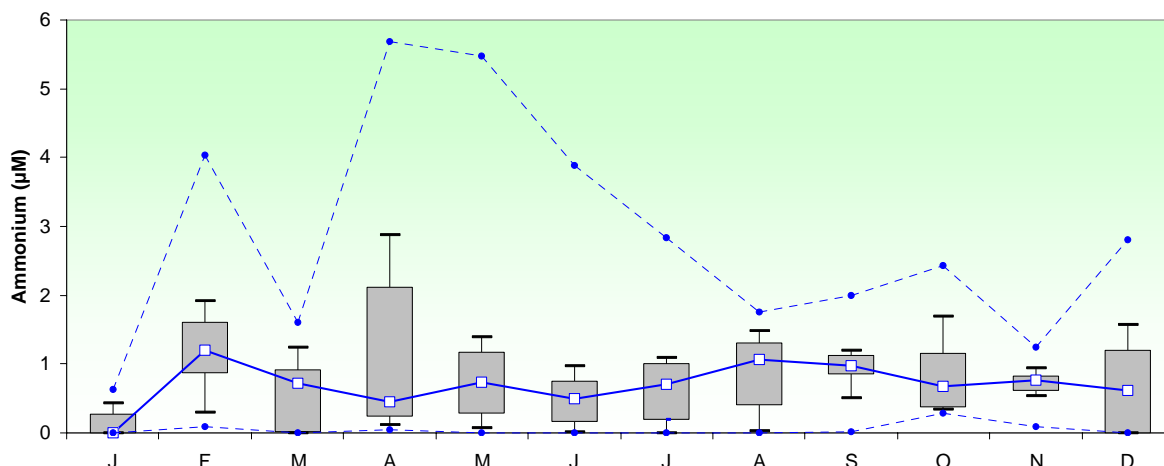


Figure 3.1.17 : Distribution des médianes d'ammonium dans l'eau de mer tous points confondus et par mois sur la période d'études 1976-1985, ainsi que les valeurs maximum et minimum

La radiale 306-307, suivie entre 1983 et 1985, présente un gradient croissant côte-large avec des écarts maximum observés en février-mars et août-septembre. Les valeurs d'ammonium, lors de cette série de campagnes, restent inférieures à celles de la série obtenue entre 1976 et 1978.

Les valeurs maximales observées de 1976 à 1985 se situent en avril et mai avec respectivement 5,7 et 5,5 μM (figure 3.1.17). La médiane générale se situe autour de 1 μM avec un minimum au mois de janvier. Les plus fortes dispersions sont observées au mois d'avril et les plus faibles en novembre, septembre et janvier.

3.1.4.2. L'ammonium après la mise en service de la centrale (1987-2004)

En été et en automne, nous observons un gradient croissant côte-large, tandis qu'au printemps les médianes des points canal et référence sont sensiblement similaires (figure 3.1.18). Les médianes au point rejet en été et automne présentent des valeurs intermédiaires à celles enregistrées aux points canal et référence, ce qui suggère que la concentration observée au point rejet s'explique par le mélange de ces deux masses d'eau. Au printemps, la médiane et sa dispersion au point rejet sont supérieures à celles des autres deux points. Les plus fortes dispersions sont observées en été et en automne et les plus faibles lors des campagnes printanières.

La comparaison des valeurs d'ammonium de la période 1987-2004 avec la série enregistrée entre 1976 et 1985 (points rouges de la figure 3.1.18) présente, pour les trois saisons, la même tendance. Au point canal, les valeurs observées après 1987 sont systématiquement supérieures à celles d'avant 1985, tandis qu'au point référence cette tendance est inversée. Il est frappant de constater que les valeurs d'ammonium au point canal en été et en automne, avant 1985, sont très proches de zéro.

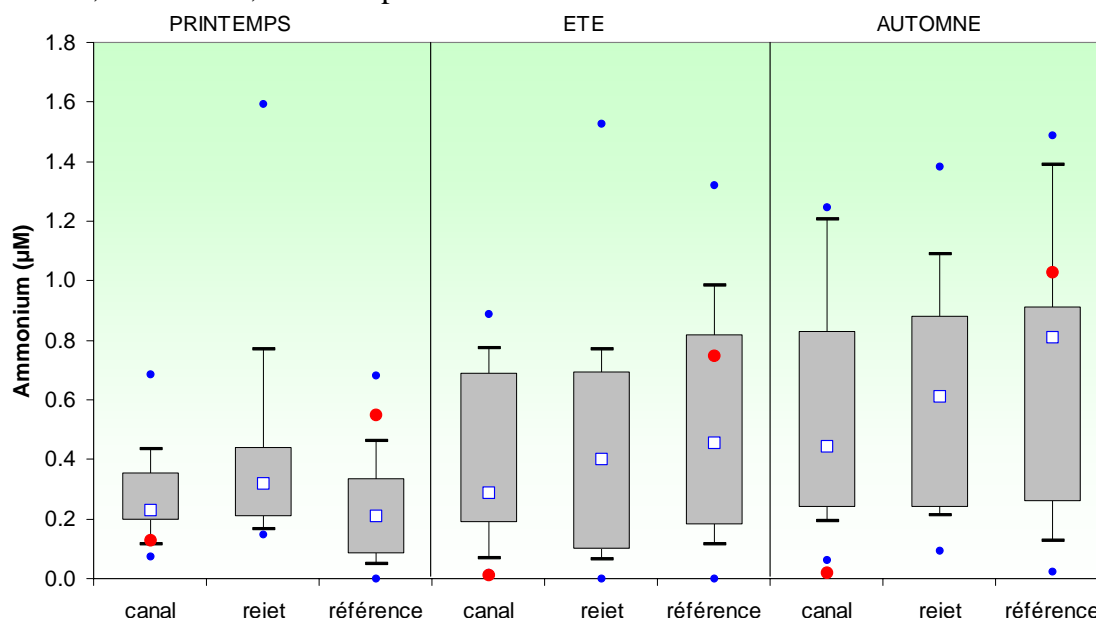


Figure 3.1.18 : Distribution des médianes d'ammonium dans l'eau de mer, par point, sur la période d'études 1987-2004. Les points rouges représentent les médianes de salinité observées dans la période 1976-1985

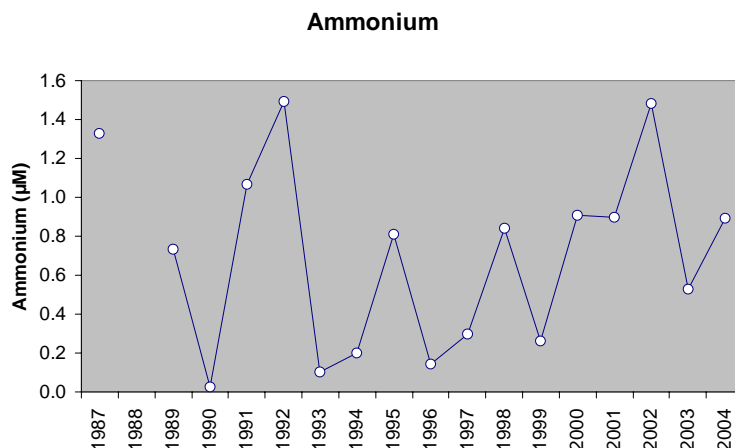


Figure 3.1.19 : Évolution de l'ammonium du point référence au mois de septembre sur la période 1987-2004

L'évolution en 'dent de scie' de l'ammonium présente une étendue maximale de 1,4 µM environ, sans tendance apparente (figure 3.1.19).

3.1.4.3. Discussion

La comparaison des concentrations en ammonium des points canal et référence, avant et après la mise en service de la centrale (figure 3.1.18) restent difficiles à expliquer, mais ne mettent pas en cause l'activité de la centrale. En effet, s'il s'agissait de l'ammonium rejeté par EDF ces valeurs seraient systématiquement plus fortes au point canal, situé plus proche des rejets que du point référence, situé dans la masse d'eau non influencée par les rejets.

Une possible explication à ce phénomène peut venir du positionnement des points d'échantillonnage qui ne sont pas les mêmes (figure 31.1 et tableau 3.1.1). Le point canal lors des campagnes réalisés après 1986 se situe à l'entrée même du canal d'amenée, alors que le point le plus proche dont nous disposons pour la comparaison est le point 306, plus au sud et plus au large. Il est donc cohérent de penser que l'activité zooplanctonique et la dégradation de la matière organique, responsables en grande partie de la production d'ammonium est supérieure dans la zone très côtière et abritée du canal.

Pour la situation observée au point référence, le même type d'explication peut être avancé car en été et en automne, les gradients de biomasse et d'abondance zooplanctoniques sont généralement croissants vers le large, et ici la comparaison du point référence (311) est effectuée comme nous l'avons vu plus haut avec les points 301 et 302, qui sont situés plus au large.

Au printemps, la concentration en ammonium observée au point rejet est supérieure à celle observée deux autres points d'échantillonnage. Cette différence est très faible et peut aisément s'expliquer par les incertitudes liées à l'échantillonnage, mais il peut aussi suggérer une plus forte activité des espèces zooplanctoniques capables de déplacements dans la masse d'eau tels que les copépodes.

3.1.4.4. Contexte local, régional ou global

Les valeurs enregistrées entre 2001 et 2004 par le REPHY entre Granville et Barfleur ont été comparées aux valeurs médianes d’ammonium observées depuis 1987 au point référence (figure 3.1.20). Le tableau 3.1.7 présente la synthèse des valeurs des concentrations en ammonium du réseau REPHY ainsi que leur maximum et minimum. Aucune valeur n’est disponible pour le mois de décembre et une seule valeur est disponible pour le mois de novembre.

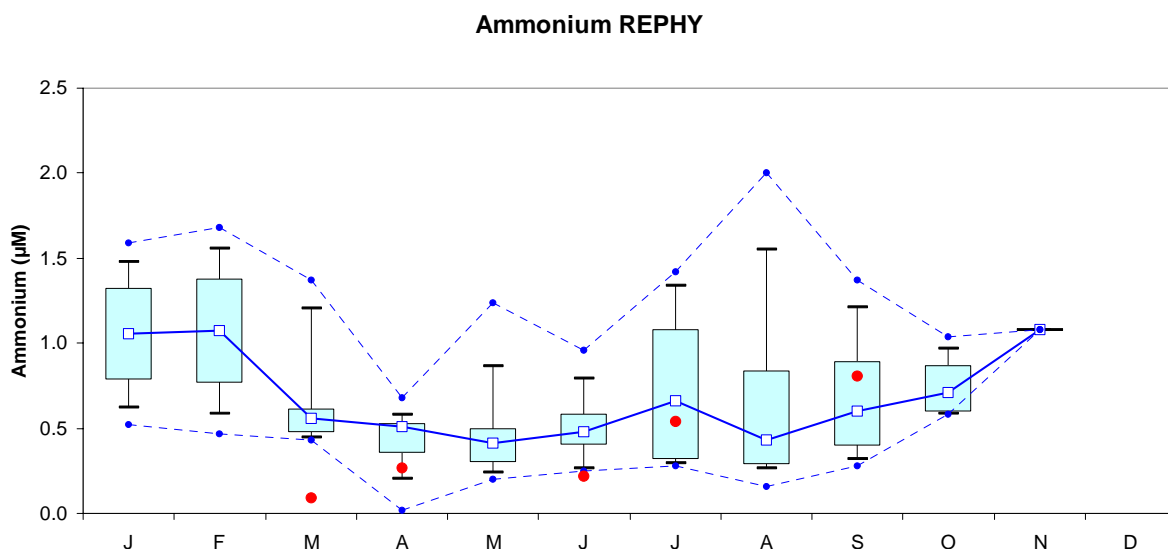


Figure 3.1.20 : Valeurs médianes d’ammonium et leur dispersion obtenues lors de l’exécution du réseau REPHY entre 2001 et 2004 sur les points d’échantillonnage situés entre Granville et Barfleur (149 valeurs). Les points rouges représentent les valeurs du point référence (1987-2004) aux mêmes périodes

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
Médiane	1.06	1.08	0.56	0.51	0.42	0.48	0.66	0.43	0.60	0.71	1.08
Min	0.52	0.47	0.43	0.02	0.20	0.25	0.28	0.16	0.28	0.58	1.08
Max	1.59	1.68	1.37	0.68	1.24	0.96	1.42	2.00	1.37	1.04	1.08

Tableau 3.1.7 : Valeurs médianes d’ammonium (µM) obtenues lors de l’exécution du réseau REPHY entre 2001 et 2004 sur les points d’échantillonnage situés entre Granville et Barfleur (149 valeurs)

Les valeurs des concentrations en ammonium observées au point référence depuis 1987 se situent dans l’environnement proche des médianes du réseau REPHY, à la seule exception du mois de mars, où la valeur moyenne du point référence est nettement inférieure à celles du REPHY et lié probablement au caractère océanique de la masse d’eau du point référence.

Les comparaisons des concentrations médianes en ammonium des trois centrales nucléaires EDF en Normandie montrent que les plus faibles valeurs se situent à la centrale de Flamanville, confirmant encore le caractère essentiellement marin de la zone ouest du Cotentin (figure 3.1.21).

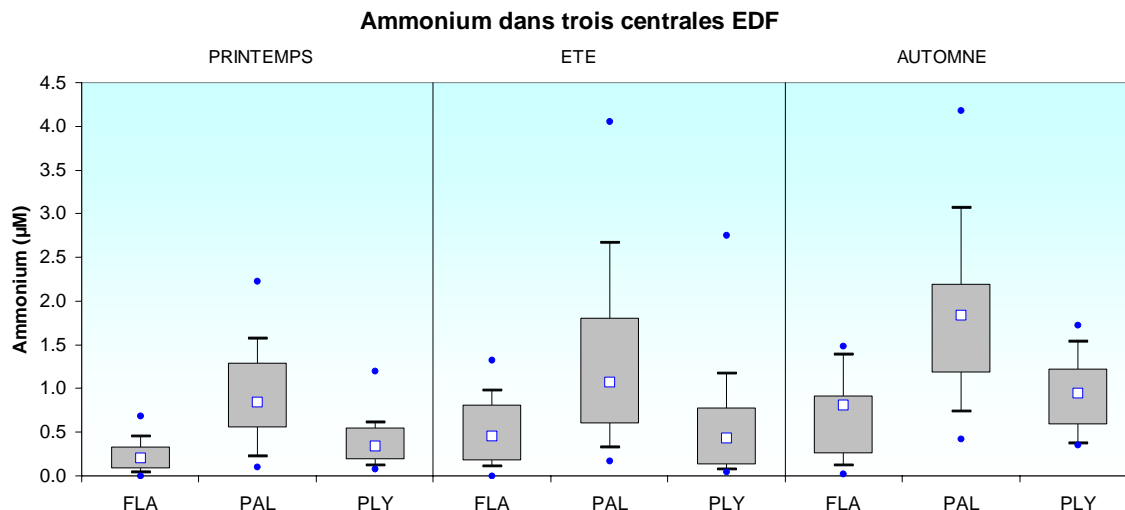


Figure 3.1.21 : Valeurs médianes d'ammonium des points référence des centrales nucléaires de Flamanville et Paluel, et du point contrôle à Penly sur la période 1987-2004

L'azote ammoniacal, issue de l'excrétion animale et de la décomposition de la matière organique est utilisé par le phytoplancton comme source d'azote. Les eaux côtières non polluées et les océans présentent des concentrations inférieures à 1 μM . Les eaux côtières polluées et sous l'influence des apports agricoles et urbains peuvent atteindre des concentrations de plusieurs dizaines, voir des centaines de micromoles par litre. Les eaux profondes ne contiennent pas d'ammonium (Aminot et Chaussepied, 1983).

3.1.5. Nitrite

3.1.5.1. Nitrite avant la mise en service de la centrale (1976-1985)

L'échantillonnage des points 301 à 304 a été réalisé principalement de 1976 à 1978 et celui des points 306 et 307 entre 1983 et 1985. La plage de valeurs observées pour le nitrite varie entre 0,62 μM pour le point 306 en novembre et la limite de détection analytique du nitrite, égale à 0,01 μM (figure 3.1.22).

Qu'il s'agisse des valeurs enregistrées lors des campagnes de l'étude de projet (1976-1978) ou lors de la surveillance avant la mise en service de la centrale (1982-1985), l'étendue des valeurs par mois dépassant rarement 0,1 μM . Les concentrations en nitrite décroissent régulièrement de février à juillet, avant de connaître une forte augmentation jusqu'au mois d'octobre. D'octobre à janvier, les concentrations diminuent pour atteindre le minimum hivernal qui a lieu entre décembre et janvier. Seules les valeurs observées au point 304 en mars et en septembre se démarquent du reste de valeurs, ainsi que le maximum observée au point 306 en novembre.

Nitrite 1976-1985

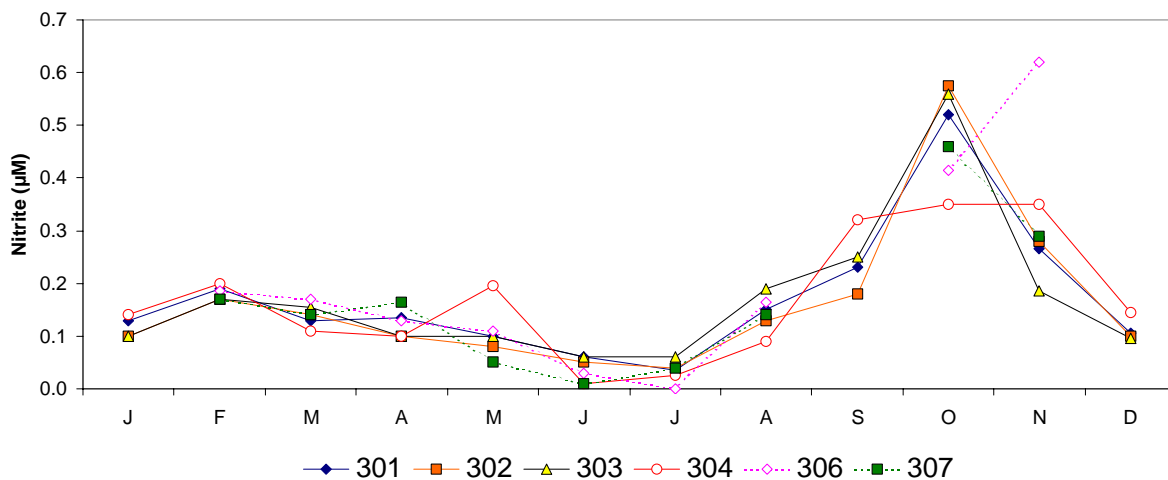


Figure 3.1.22 : Distribution des médianes du nitrite dans l'eau de mer, par point et par mois pour la période d'études 1976-1985

Nitrite 1976-1985

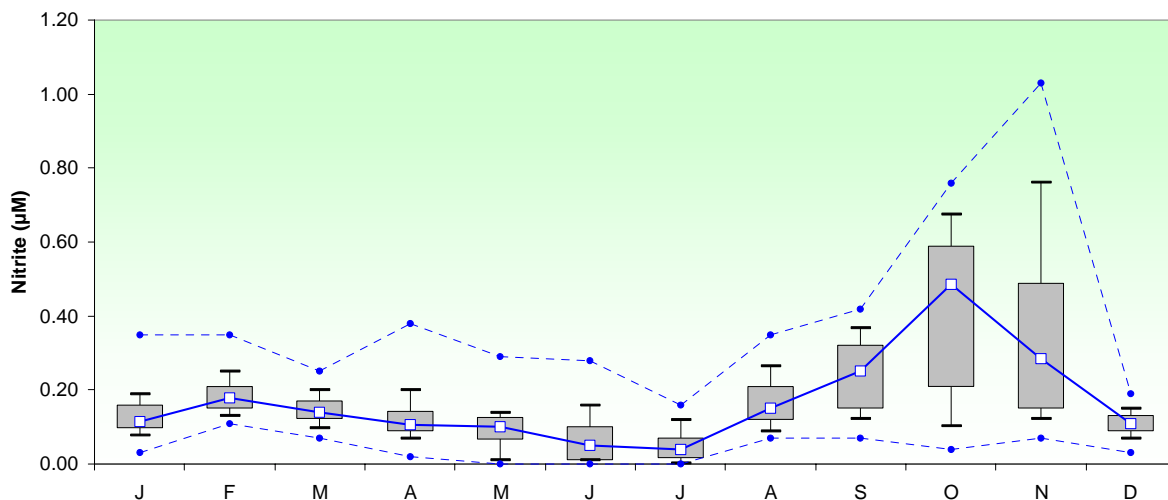


Figure 3.1.23 : Distribution des médianes du nitrite dans l'eau de mer tous points confondus par mois sur la période d'études 1976-1985, ainsi que les valeurs maximum et minimum

Les plus fortes dispersions pour l'ensemble de valeurs sont observées à la période automnale et les plus faibles de décembre à juillet (figure 3.1.23). La valeur maximale est enregistrée en novembre avec 1,03 µM.

3.1.5.2. Nitrite après la mise en service de la centrale (1987-2004)

Les médianes des concentrations en nitrite observées dans la période 1987-2004 présentent une faible variabilité entre les points d'échantillonnage quelque soit la saison (figure 3.1.24).

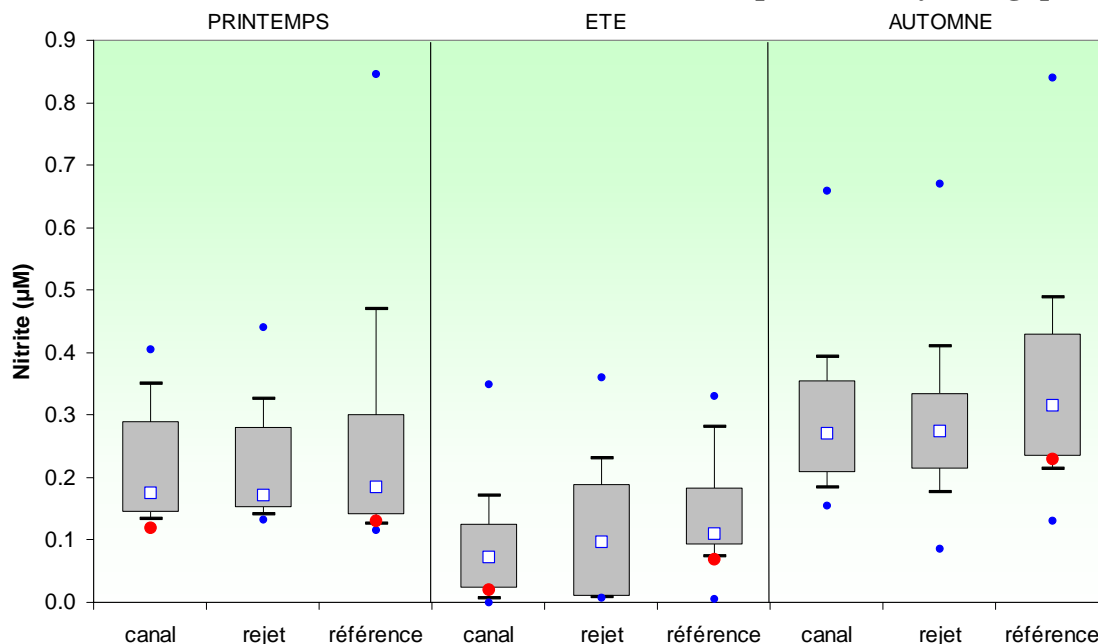


Figure 3.1.24 : Distribution des médianes du nitrite dans l'eau de mer sur la période d'études 1987-2004 par point d'échantillonnage. Les points rouges représentent les médianes du nitrite observées dans la période 1976-1985.

Nous observons cependant des médianes légèrement plus élevées au point référence par rapport aux valeurs du point canal, mettant en évidence un léger gradient croissant côte-large. Pour le mois de septembre, aucune valeur de la série 1976-1985 n'est disponible au point 306, interdisant la comparaison avec le point canal de la période allant de 1987 à 2004. Toutes les valeurs observées après la mise en service de la centrale sont supérieures à celles enregistrées pendant la période 1976 à 1985.

A partir de 1997, les concentrations en nitrite mesurées au mois de septembre au point référence augmentent régulièrement jusqu'à atteindre un maximum d'environ 0,8 μM en 2003 (figure 3.1.25). En 2004, les valeurs retrouvent le même niveau que celui observée en 2002.

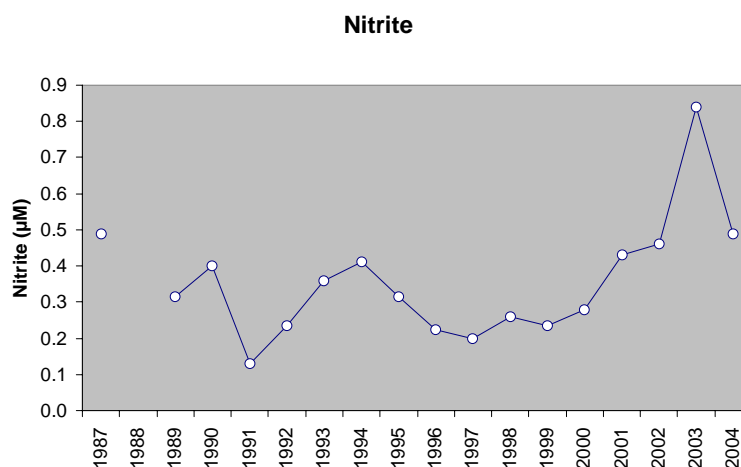


Figure 3.1.25 : Évolution des médianes du nitrite du point référence au mois de septembre sur la période 1987-2004

3.1.5.3. Discussion

Le nitrite étant une forme de transition de l'azote, issu du processus de nitrification aboutissant à l'ammonium, les remarques émises pour ce dernier sont aussi valables pour le nitrite. L'évolution de l'ensemble 'nitrite + nitrate' donnera de meilleures indications sur les processus qui ont pu avoir lieu lors de ces deux périodes d'études. Ce point sera abordé dans le chapitre 'Nitrate'.

3.1.5.4. Contexte local, régional ou global

La figure 3.1.26 présente les médianes du point référence observées à la centrale de Flamanville de 1987 à 2004 et du point contrôle à la centrale de Penly entre 1989 et 2004. Les plus faibles valeurs sont enregistrées en été. En été et en automne, les médianes à Flamanville sont supérieures à celles de Penly, tandis qu'au printemps la situation s'inverse. L'ensemble de valeurs restent en dessous de 1,0 μM .

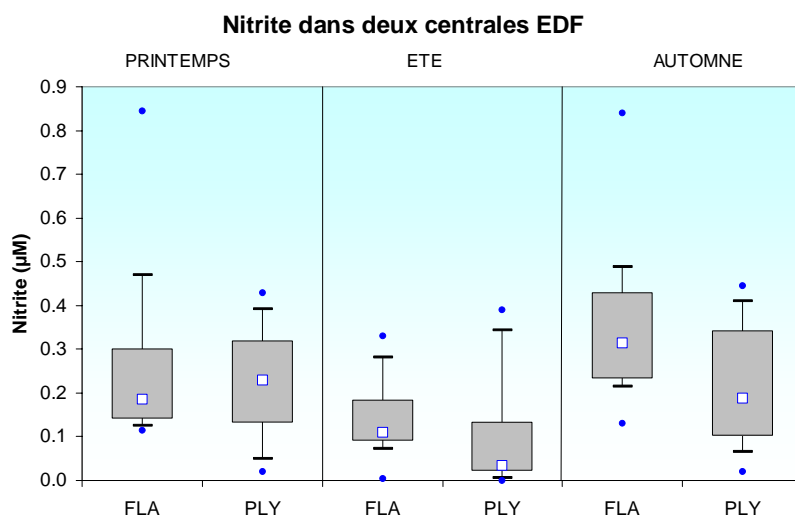


Figure 3.1.26 : Valeurs médianes en nitrite du point référence à la centrale nucléaire de Flamanville, et du point contrôle à Penly sur la période 1987-2004

En milieu océanique, les concentrations en nitrite sont souvent inférieures à 0,1 μM . En milieu côtier, elles varient entre 0,5 et 1 μM en hiver et peuvent atteindre la limite analytique en été. Les fortes charges en matières organiques en milieu estuarien induisent une diminution des concentrations en oxygène dissous et par conséquence une augmentation du nitrite à des seuils pouvant dépasser 5 μM (Aminot et Chaussepied, 1983).

3.1.6. Nitrate

3.1.6.1. Nitrate avant la mise en service de la centrale (1976-1985)

L'échantillonnage des points 301 à 304 a été réalisé en grande partie de 1976 à 1978 et celui des points 306 et 307 entre 1983 et 1985. La plage de valeurs médianes observées pour le nitrate varie entre 11,3 μM pour le point 306 en mars et la limite de détection du nitrate, égale à 0,1 μM (figure 3.1.27).

Nitrate 1976-1985

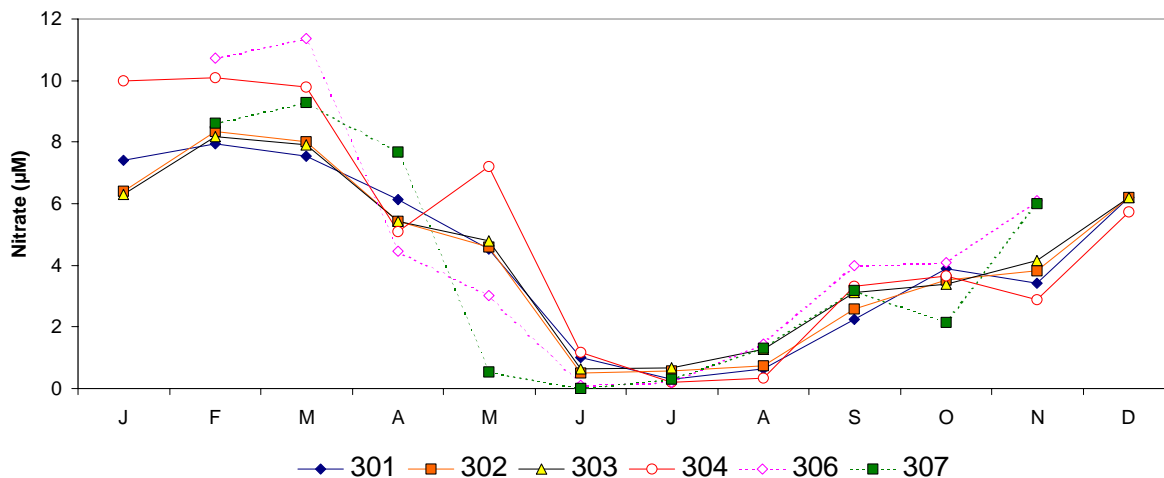


Figure 3.1.27 : Distribution des médianes du nitrate dans l'eau de mer par point et par mois pour la période d'études 1976-1985

Les concentrations en nitrate sont maximales en hiver, diminuant ensuite rapidement pour devenir proches de zéro en été. A partir de juillet, les valeurs augmentent régulièrement jusqu'à devenir maximales en février-mars.

Les valeurs de la radiale 301 à 303 évoluent de façon similaire avec une très faible variabilité entre les points. Au point 304, plus au sud, nous observons des concentrations plus élevées lors des premiers six mois de l'année. Les points 306 et 307 présentent des plus fortes valeurs en février et mars, ainsi qu'aux mois de septembre à novembre, tandis qu'elles restent inférieures à celles de la radiale 301-303 d'avril à juillet.

Nitrate 1976-1985

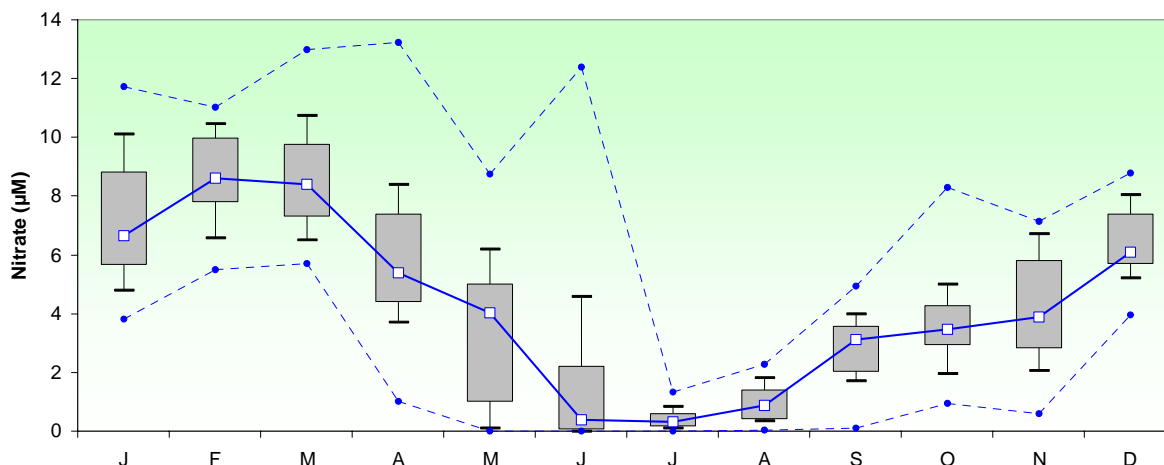


Figure 3.1.28 : Distribution des médianes du nitrate dans l'eau de mer tous points confondus, par mois, sur la période d'études 1976-1985, ainsi que les valeurs maximum et minimum observées

Les plus faibles dispersions sont observées au mois de juillet et les plus fortes en mai (figure 3.1.28). La valeur maximale de nitrate enregistrée durant la période d'études 1976-1985 est de 13,2 μM en avril. Les concentrations minimum de la période allant de décembre à mars restent supérieures à 4 μM .

3.1.6.2. Nitrate après la mise en service de la centrale (1987-2004)

Comme pour le nitrite, l'ensemble de médianes du nitrate observées dans la période 1987-2004 présentent une faible variabilité entre les points d'échantillonnage pour chaque saison (figure 3.1.29). Les valeurs sont maximales au printemps et minimales en été.

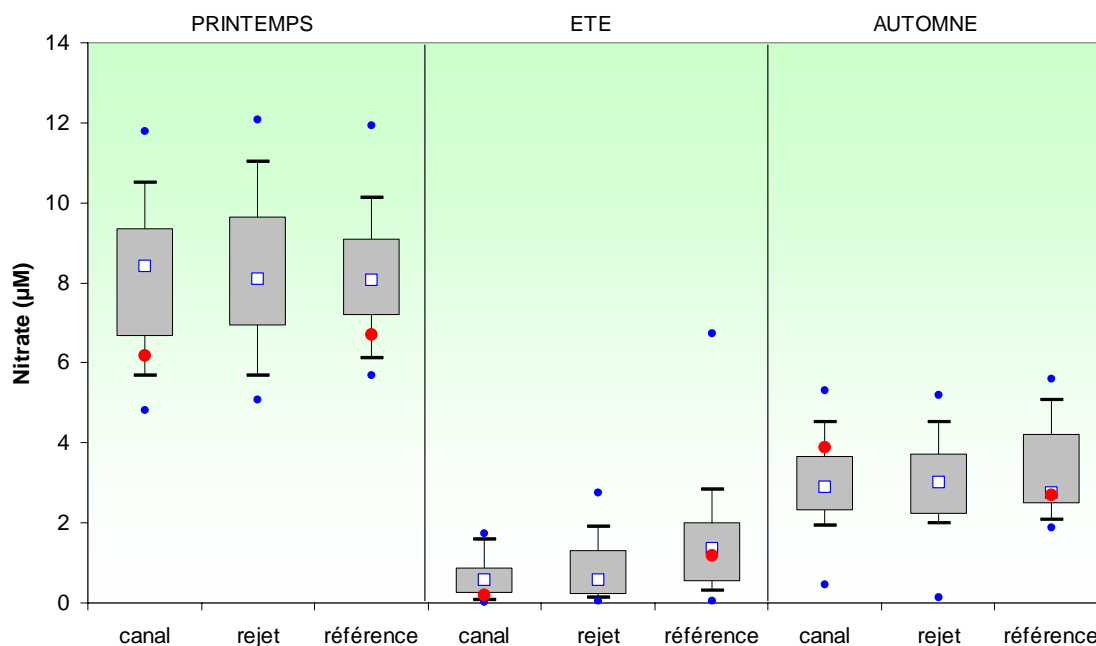


Figure 3.1.29 : Distribution des médianes du nitrate dans l'eau de mer, par point, sur la période d'études 1987-2004. Les points rouges représentent les moyennes du nitrate observées dans la période 1976-1985.

La médiane observée au point canal au printemps est faiblement supérieure à celle du point référence. En été, le point référence présente une concentration supérieure à celle du point canal. Une forte homogénéité est observée sur les trois points d'échantillonnage en automne.

Au printemps et en été, les médianes de nitrate observées après la mise en service de la centrale se situent au-dessus des moyennes enregistrées avant 1985. La différence est moins prononcée en été où les valeurs sont proches. En automne, nous observons la même tendance, avec la valeur du point 306 (1982-1985) supérieure à celle du point canal (1987-2004).

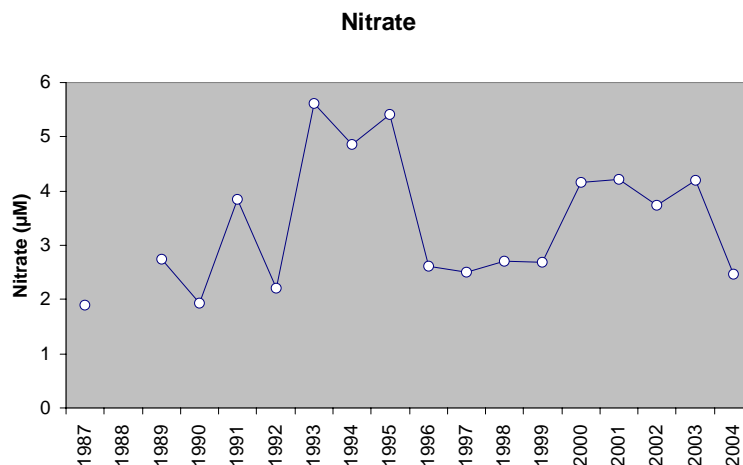


Figure 3.1.30 : Évolution du nitrate du point référence au mois de septembre sur la période 1987-2004

L'évolution du nitrate au point référence au mois de septembre présente des périodes d'environ 3 à 4 ans qui oscillent tantôt au-dessous, tantôt au-dessus d'une valeur de 3,5 µM, sans toutefois suivre une claire tendance évolutive (figure 3.1.30). L'année 2004 marque une forte diminution par rapport à la valeur observée en 2003.

3.1.6.3. Discussion

L'évolution observée sur la série de valeurs enregistrées avant et après la mise en service de la centrale présentent le même cycle annuel. Elle suggère l'action du phytoplancton pour expliquer l'épuisement des nutriments disponibles dans l'eau de mer suivant un cycle saisonnier classique : consommation par le phytoplancton des sels nutritifs entre le printemps et l'été à la suite de l'augmentation de l'ensoleillement, suivie en automne par des processus de régénération et de mélange. La régénération est la conséquence de l'action des agents bactériens sur les particules détritiques de matière organique. D'autre part, c'est en automne que l'augmentation du régime de vents favorise le mélange des eaux au large et ainsi l'arrivée des nutriments du réservoir profond *via* l'advection vers les régions plus côtières. Cette disponibilité des nutriments donne lieu aux efflorescences automnales, caractéristiques des régions tempérées. L'augmentation du débit des fleuves permet aussi une fertilisation des eaux côtières par le lessivage des sols et les apports anthropiques.

La comparaison des valeurs observées avant et après la mise en service de la centrale ne présente pas de tendance particulière, à l'exception du printemps (mars et avril) où les valeurs du point 306 (1982-1985) restent en dessous de celles de la période de surveillance 1987-2004. Cette situation est aussi observée pour le nitrite. Ces différences peuvent être liées à la variabilité spatiale car les points échantillonnées ne sont pas les mêmes.

3.1.6.4. Contexte local, régional ou global

Les valeurs enregistrées entre 2001 et 2004 par le REPHY entre Granville et Barfleur ont été comparées aux valeurs observées depuis 1987 au point référence de Flamanville (figure 3.1.31). Le réseau REPHY s'intéressant essentiellement aux concentrations nitrate+nitrite, nous avons additionné les valeurs de ces deux nutriments obtenues à Flamanville. Le tableau 3.1.8 présente la synthèse des valeurs des concentrations en nitrite+nitrate du réseau REPHY ainsi que leur maximum et minimum.

L'évolution saisonnière des concentrations en nitrite+nitrate observées lors de l'exécution du REPHY est proche de celle mise en évidence pour le nitrate entre 1976 et 1985. Ceci s'explique par la forte dominance des concentrations du nitrate par rapport à celles du nitrite dans les eaux côtières françaises (rapport 1:10).

Les valeurs de nitrate+nitrite enregistrées à Flamanville entre 1987 et 2004 se situent à l'intérieur du cadre défini par les valeurs maximum et minimum du REPHY.

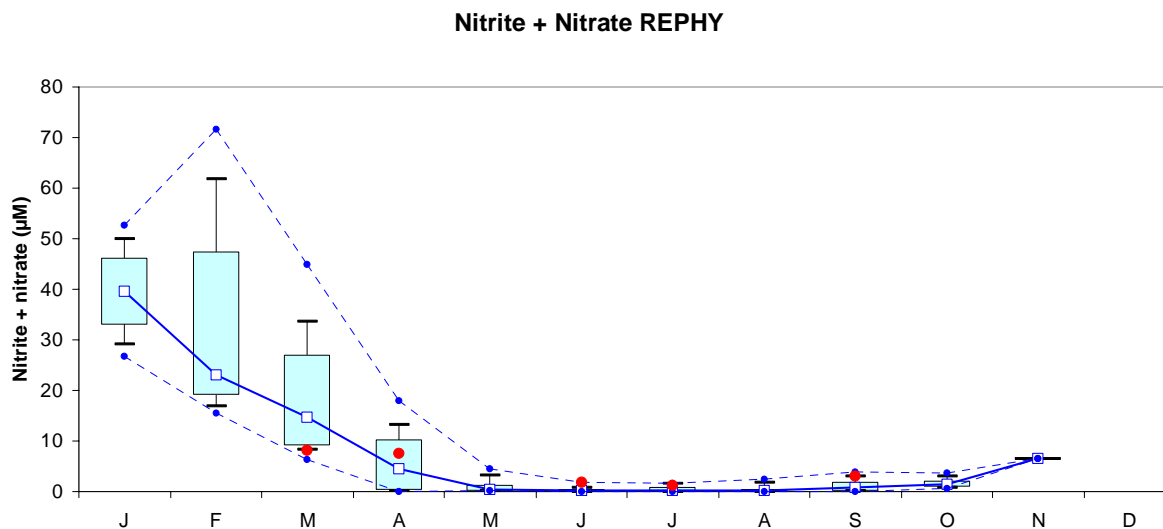


Figure 3.1.31 : Valeurs médianes du nitrate+nitrite et leur dispersion obtenues lors de l'exécution du réseau REPHY entre 2001 et 2004 sur les points d'échantillonnage situés entre Granville et Barfleur (147 valeurs). Les points rouges représentent les médianes du point référence (1987-2004) pour les mêmes périodes

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
Médiane	39.7	23.0	14.6	4.5	0.5	0.2	0.2	0.2	0.9	1.3	6.6
Min	26.7	15.5	6.3	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.6	6.6
Max	52.7	71.6	44.9	17.9	4.4	1.9	1.7	2.5	3.8	3.6	6.6

Tableau 3.1.8 : Valeurs médianes de nitrate+nitrite (µM) obtenues lors de l'exécution du réseau REPHY entre 2001 et 2004 sur les points d'échantillonnage situés entre Granville et Barfleur (147 valeurs)

Les valeurs médianes de nitrate enregistrées lors des campagnes de surveillance des centrales nucléaires normandes nous permettent de comparer les valeurs de Flamanville à celles de la centrale de Penly, où le nitrate dans l'eau de mer est suivi à la même fréquence d'échantillonnage qu'à Flamanville (figure 3.1.32). Les médianes au point référence observées à Flamanville, au printemps et en automne, restent inférieures à celles enregistrées à Penly. Au printemps, la dispersion de valeurs à Flamanville est très inférieure à celle observée à Penly. En été, les médianes et la dispersion des valeurs pour les deux centrales est similaire.

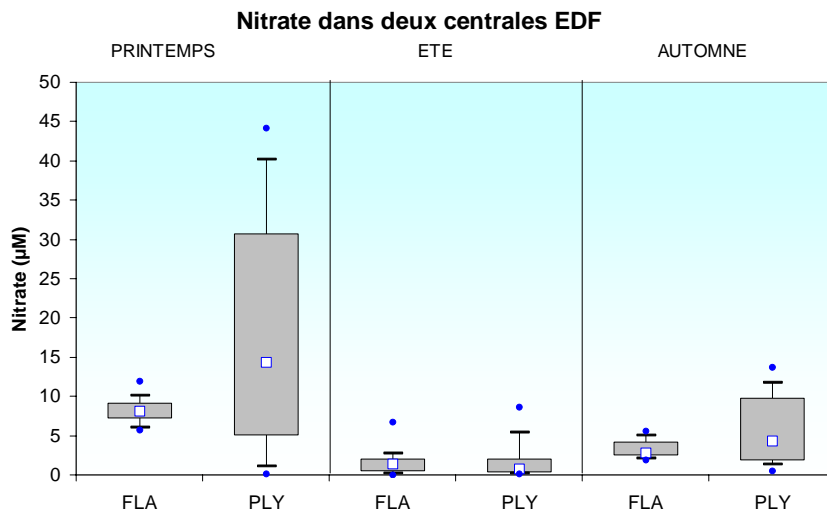


Figure 3.1.32 : Valeurs médianes en nitrate au point référence à la centrale nucléaire de Flamanville, et au point contrôle à Penly sur la période 1987-2004

Le nitrate, qui a comme origine les apports terrigènes ou la régénération bactérienne, est la principale source d'azote pour la croissance du phytoplancton. Si la consommation est supérieure aux apports ou à la régénération, il devient le facteur limitant de la croissance. Ce phénomène est fréquent dans le milieu côtier au printemps et en été. Les eaux océaniques profondes sont plus riches en nitrate (environ 40 μM) que les eaux côtières (10 à 15 μM), mais les concentrations mesurées en période de fort apport par les fleuves peuvent atteindre plusieurs centaines de micromoles par litre (Aminot et Chaussepied, 1983).

3.1.7. Phosphate

3.1.7.1. Phosphate avant la mise en service de la centrale (1976-1985)

La distribution des médianes de phosphate par point d'échantillonnage lors de la période précédant la mise en service de la centrale, présente le même cycle annuel que celle de nitrate+nitrite (figure 3.1.33). Le maximum mesuré au mois de février (1,02 μM) est suivi d'une diminution régulière des concentrations en phosphate jusqu'à juin-juillet. Il s'en suit une augmentation de valeurs jusqu'au mois de novembre avec une légère diminution en décembre.

Aucun schéma clair ne se dégage lors de l'étude de la distribution de ce paramètre dans la radiale 301-303. Aucun gradient n'est mis en évidence et les valeurs observées au point 302, situé entre les points 301 et 303 sont rarement en position intermédiaire. Le point 304, situé plus au sud, présente deux valeurs maximales, en mai et en novembre. La radiale 306-307 présente des valeurs légèrement inférieures à celles de la radiale 301-303, avec en général, des concentrations en phosphate au point 307 similaires ou inférieures à celles mesurées au point 306.

Phosphate 1976-1985

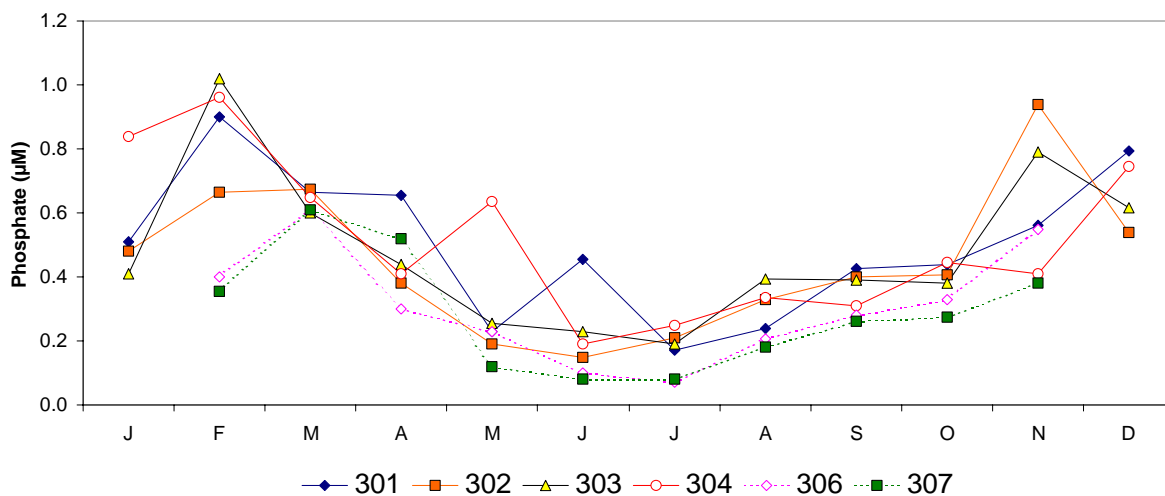


Figure 3.1.33 : Distribution des médianes du phosphate dans l'eau de mer, par point et par mois, pour la période d'études 1976-1985

Phosphate 1976-1985

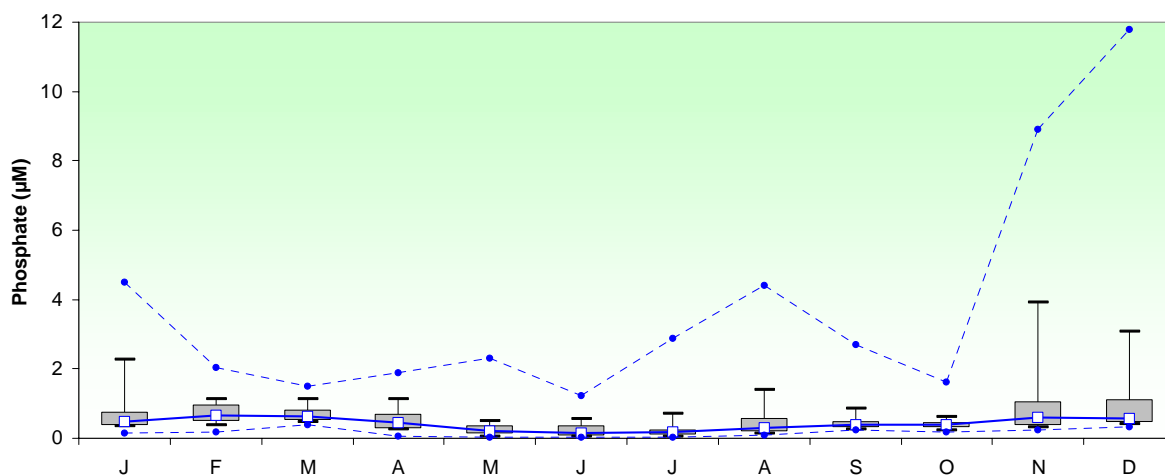


Figure 3.1.34 : Distribution des médianes du phosphate dans l'eau de mer tous points confondus, par mois, sur la période d'études 1976-1985, ainsi que les valeurs maximum et minimum observées

Bien que l'étude des valeurs médianes par point et par mois montre des concentrations en phosphate comprises entre 0,2 et 1,0 µM, les valeurs maximales observées à l'automne ont dépassée 10 µM (figure 3.1.34). C'est lors de cette période automnale que les plus fortes dispersions de valeurs sont observées.

3.1.7.2. Phosphate après la mise en service de la centrale (1987-2004)

Un très faible gradient croissant côte-large est observé au printemps et en été (figure 3.1.35). Les concentrations sont maximales au printemps et minimales en été. Les

plus fortes dispersions sont observées au printemps. Lors des trois campagnes annuelles, les valeurs obtenues au point canal avant la mise en service de la centrale se situent en dessous des valeurs observées après 1987. La situation est inverse au point référence.

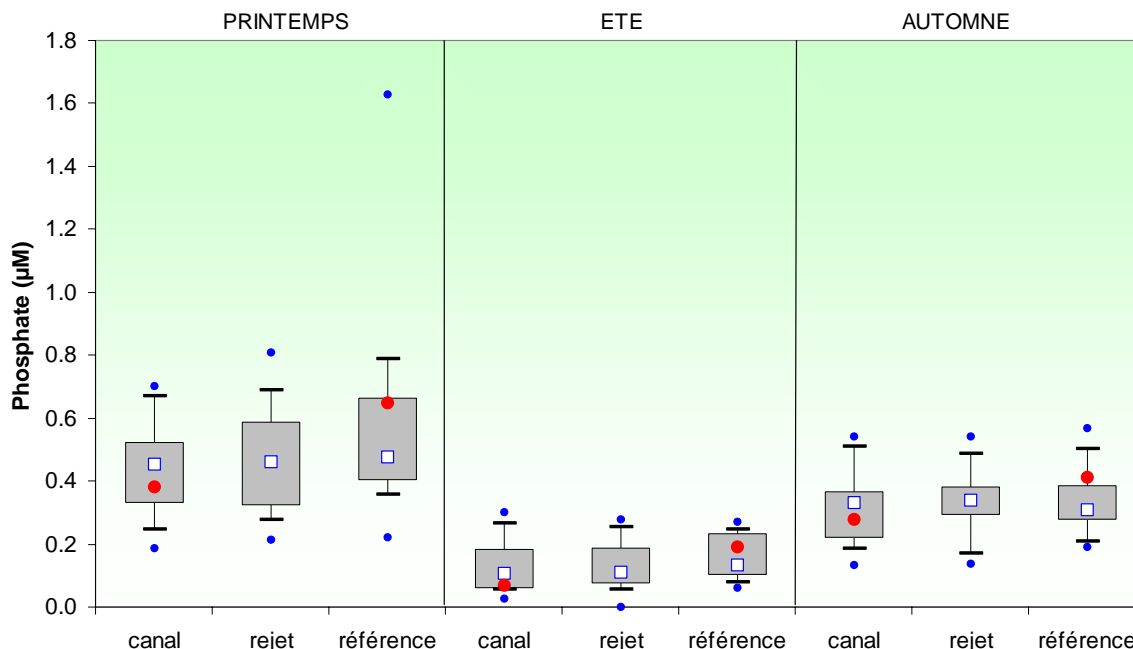


Figure 3.1.35 : Distribution des médianes du phosphate dans l'eau de mer par point sur la période d'études 1987-2004. Les points rouges représentent les médianes du phosphate observées dans la période 1976-1985

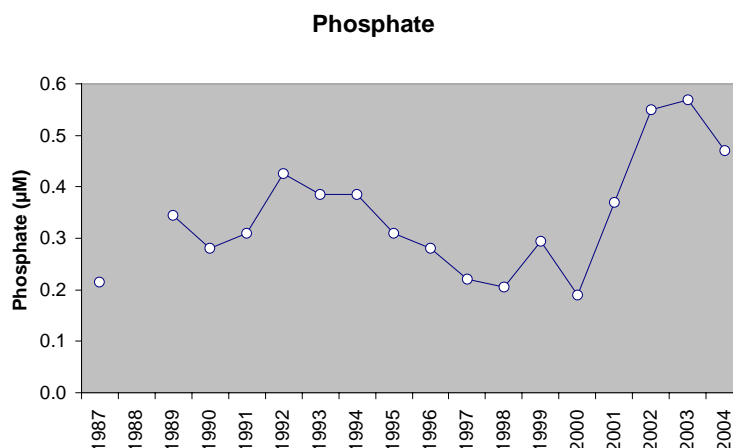


Figure 3.1.36 : Évolution du phosphate du point référence au mois de septembre sur la période 1987-2004

Les concentrations en phosphate enregistrées au point référence en septembre décroissent de 1992 à 1998 (figure 3.1.36) pour croître à nouveau à partir de 2000 et atteindre un maximum en 2003. La concentration mesurée en 2004 est inférieure à la valeur observée en 2003.

3.1.7.3. Discussion

Comme c'était le cas pour d'autres paramètres étudiés, les valeurs observées au point 302, intermédiaire dans la radiale 301-303, ne sont que rarement situées entre les valeurs de ces deux derniers points. Le fort hydrodynamisme de ce secteur peut produire des mélanges favorisant ce type de situations.

Comme lors de l'étude de l'ammonium, une possible explication aux différences observées entre les valeurs enregistrées avant et après la mise en service de la centrale peut venir de la situation géographique des points d'eau échantillonnées, qui ne sont pas les mêmes avant et après 1987. Le point canal, lors des campagnes réalisés après 1987, se situe à l'entrée même du canal d'amenée, alors que le point le plus proche dont nous disposons pour sa comparaison est le point 306, plus au sud et plus au large. Pour la situation observée au point référence, le même type d'explications peut être avancé car la comparaison du point référence (311) est effectuée, comme nous l'avons vu plus haut, avec les points 301 et 302, situés en moyenne plus au large et plus au sud.

L'évolution du phosphore en mer suit en règle générale celui de l'azote car il fait partie des nutriments majeurs nécessaires à la croissance phytoplanctonique. Les arguments avancés dans le paragraphe 3.1.6.3 pour le nitrate+nitrite sont donc aussi valables pour le phosphore.

3.1.7.4. Contexte local, régional ou global

Les valeurs enregistrées entre 2001 et 2004 par le REPHY entre Granville et Barfleur ont été comparées aux valeurs des médianes de phosphate observées depuis 1987 au point référence (figure 3.1.37). Le tableau 3.1.9 présente la synthèse des valeurs médianes des concentrations en phosphate du réseau REPHY ainsi que leur maximum et minimum.

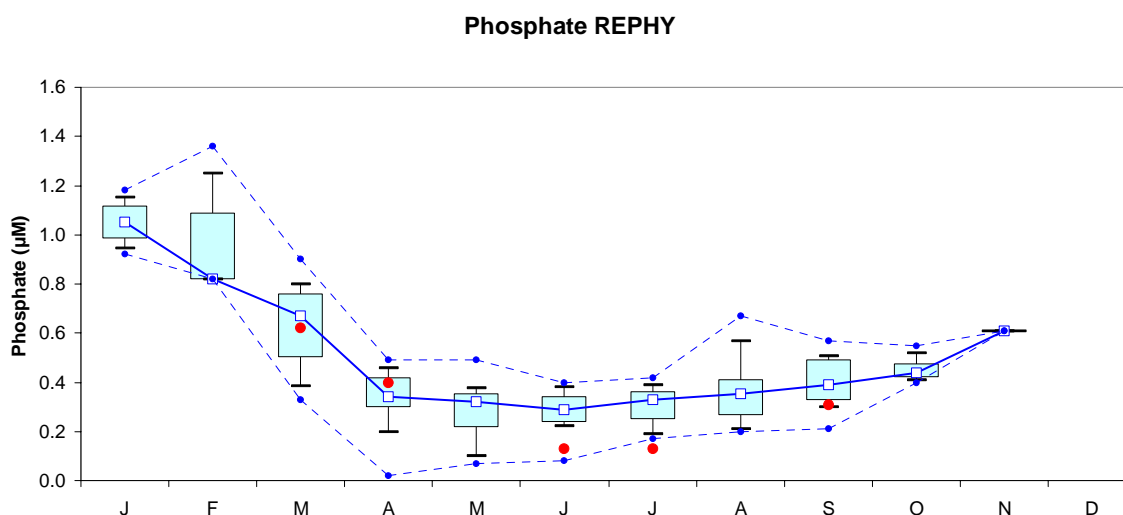


Figure 3.1.37 : Valeurs médianes du phosphate et leur dispersion obtenues lors de l'exécution du réseau REPHY entre 2001 et 2004 sur les points d'échantillonnage situés entre Granville et Barfleur (146 valeurs). Les points rouges représentent les médianes du point référence (1987-2004) aux mêmes périodes

L'évolution temporelle des concentrations en phosphore observées dans le cadre du REPHY est similaire à celle enregistrée dans le cadre de l'étude de projet et de la surveillance, avant la mise en service de la centrale. La valeur maximale observée au mois

de février est d'environ 1,4 μM . Le minimum est atteint au mois d'avril avec des valeurs proches du seuil de détection (0,01 μM). Les plus fortes dispersions sont obtenues au printemps et les plus faibles en été.

En avril, mai et septembre, les concentrations observées au point référence depuis 1987 sont proches des médianes du réseau REPHY. En juin et juillet, elles sont inférieures, mettant en évidence le caractère marin du point référence.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Mediane	1.05	0.82	0.67	0.34	0.32	0.29	0.33	0.36	0.39	0.44	0.61	
Min	0.92	0.82	0.33	0.02	0.07	0.08	0.17	0.20	0.21	0.40	0.61	
Max	1.18	1.36	0.90	0.49	0.49	0.40	0.42	0.67	0.57	0.55	0.61	

Tableau 3.1.9 : Valeurs médianes de phosphate (μM) obtenues lors de l'exécution du réseau REPHY entre 2001 et 2004 sur les points d'échantillonnage situés entre Granville et Barfleur (146 valeurs)

L'étude de l'évolution du phosphate au point contrôle à la centrale de Penly nous permet de le comparer aux résultats obtenus au point référence à Flamanville (figure 3.1.38). La position des médianes et la dispersion des valeurs est similaire à celle déjà mise en évidence pour le nitrate au chapitre 3.1.6.4.

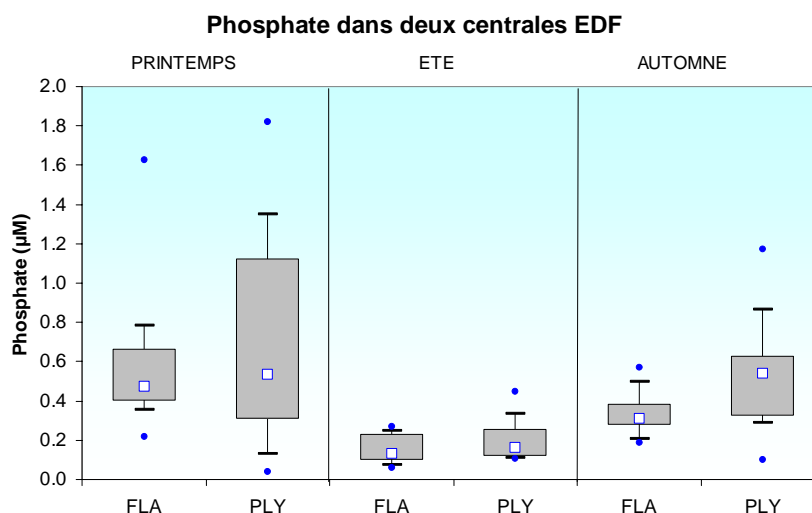


Figure 3.1.38 : Valeurs médianes en phosphate du point référence à la centrale nucléaire de Flamanville, et du point contrôle à Penly sur la période 1987-2004

Les eaux océaniques profondes constituent le principal réservoir de phosphore dissous avec des concentrations de l'ordre de 3 μM . En surface, elles peuvent varier entre 0 et 1 μM . Les estuaires qui subissent les apports agricoles et domestiques voient leurs concentrations en phosphore atteindre parfois plusieurs dizaines de micromoles par litre (Aminot et Chaussepied, 1983).

3.1.8. Silicate

3.1.8.1. Silicate avant la mise en service de la centrale (1976-1985)

La distribution des valeurs de la radiale 301-303 présente les plus faibles concentrations au point 301, situé plus près de la côte (figure 3.1.39). Au mois de mai, les valeurs des points 301 et 303 sont sensiblement similaires, tandis que celle du point 302, encadré

géographiquement par ces deux derniers, est nettement supérieure. La radiale 306-307, échantillonnée entre 1983 et 1985 présente un gradient croissant côte-large en mars, avril et mai et décroissant le reste de l'année.

Silicate 1976-1985

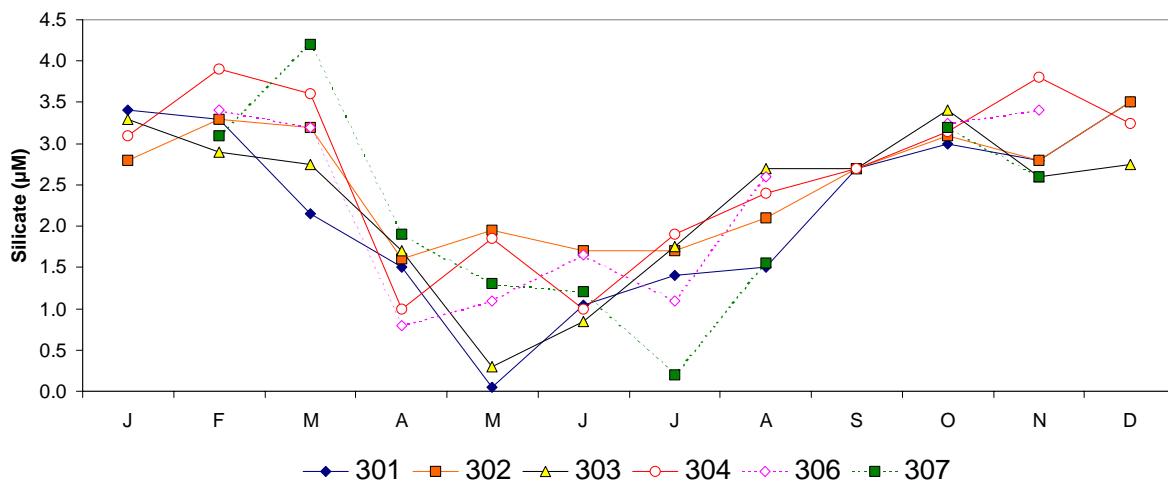


Figure 3.1.39 : Distribution des médianes du silicate dans l'eau de mer par point et par mois pour la période d'études 1976-1985

La valeur maximale est observée au point 307 en mars avec 4,2 µM. Tandis que la valeur minimum (proche de zéro) est atteinte au point 301 en mai (seuil de détection = 0,1 µM).

Silicate 1976-1985

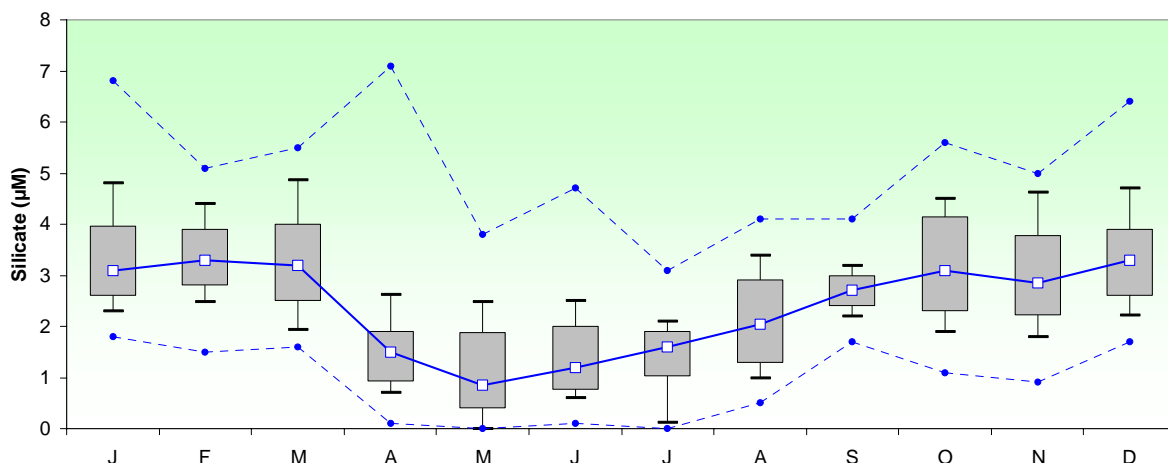


Figure 3.1.40 : Distribution de la médiane du silicate dans l'eau de mer tous points confondus, par mois sur la période d'études 1976-1985, ainsi que les valeurs maximum et minimum

L'évolution de la médiane générale des concentrations du silicate sur la période 1976-1985 est similaire à celle de l'azote et du phosphore (figure 3.1.40). Pour le silicate, la reprise automnale après la chute estivale de concentrations est plus marquée que pour les deux autres nutriments minéraux. Les dispersions restent homogènes tout au long de l'année avec une faible valeur observée au mois de septembre. La plus forte concentration de silicate enregistrée atteint 7,1 µM au mois d'avril. Les plus faibles, proches de la limite analytique, sont observées d'avril à juin.

3.1.8.2. Silicate après la mise en service de la centrale (1987-2004)

La figure 3.1.41 présente la distribution des valeurs médianes de silicate sur les trois points d'échantillonnage étudiés entre 1987 et 2004. Leur évolution temporelle est proche de celle déjà observée pour l'azote et le phosphore, avec une diminution des concentrations entre le printemps et l'été et une augmentation, plus conséquente dans le cas du silicate, à l'automne.

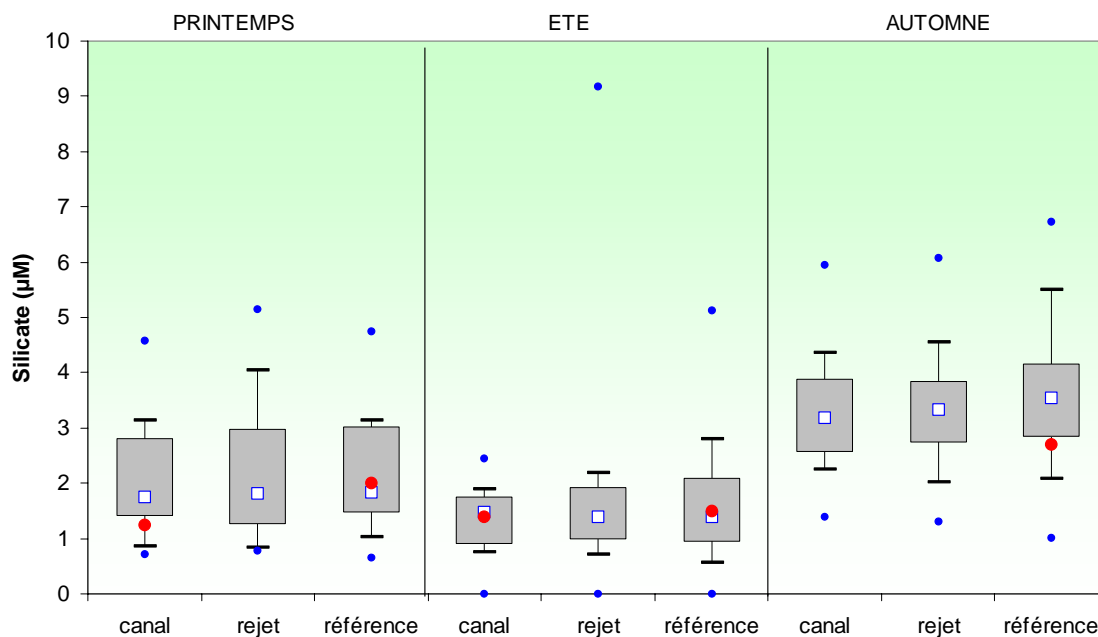


Figure 3.1.41 : Distribution des médianes du silicate dans l'eau de mer, par point, sur la période d'études 1987-2004. Les points rouges représentent les médianes du silicate observées dans la période 1976-1985

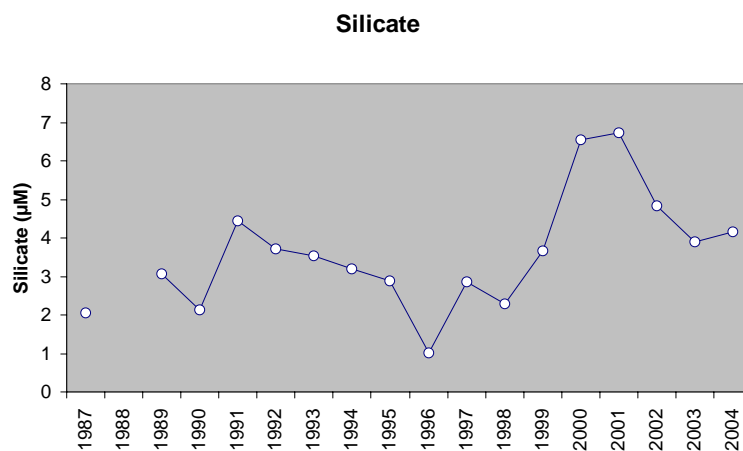


Figure 3.1.42 : Évolution du silicate du point référence au mois de septembre sur la période 1987-2004

La variabilité spatiale entre les trois points d'échantillonnage est faible pour toutes les saisons. Seul lors des campagnes automnales nous observons un faible gradient croissant côte-large. Les dispersions sont légèrement supérieures au printemps et plus faibles en été. La comparaison avec les valeurs de la période 1975-1985 met en évidence des différences moins prononcées que pour les autres nutriments.

Après une diminution régulière de concentrations entre 1991 et 1996, la concentration en silicate, au point référence en septembre, montre une phase de croissance jusqu'au maximum observé en 2001 (figure 3.1.42). Dès 2002, les valeurs sont en diminution par rapport à ce maximum.

3.1.8.3. Discussion

Le silicate (acide orthosilicique) mesuré dans l'eau de mer, est utilisé par les diatomées pour construire leur 'test' ou carapace siliceuse. Leur accumulation dans les fonds marins donne lieu à la création de l'opale. Les diatomées dominent le phytoplancton marin dans nos latitudes et leur évolution annuelle conditionne les concentrations en silicate observées dans l'eau de mer de la même façon que l'azote et le phosphore.

Le phénomène de régénération semble plus marqué pour le silicate que pour les autres sels minéraux (Ragueneau *et al.*, 1994).

Ce paramètre semble présenter moins de variabilité spatiale que l'azote et le phosphore, car malgré les différents points d'échantillonnage suivis avant et après 1987, les écarts entre leurs médianes sont réduits.

3.1.8.4. Contexte local, régional ou global

Les valeurs enregistrées entre 2001 et 2004 par le REPHY entre Granville et Barfleur ont été comparées aux valeurs des médianes de silicate observées depuis 1987 au point référence (figure 3.1.43). Le tableau 3.1.9 présente la synthèse des valeurs médianes des concentrations en silicate du réseau REPHY ainsi que leur maximum et minimum.

Silicate REPHY

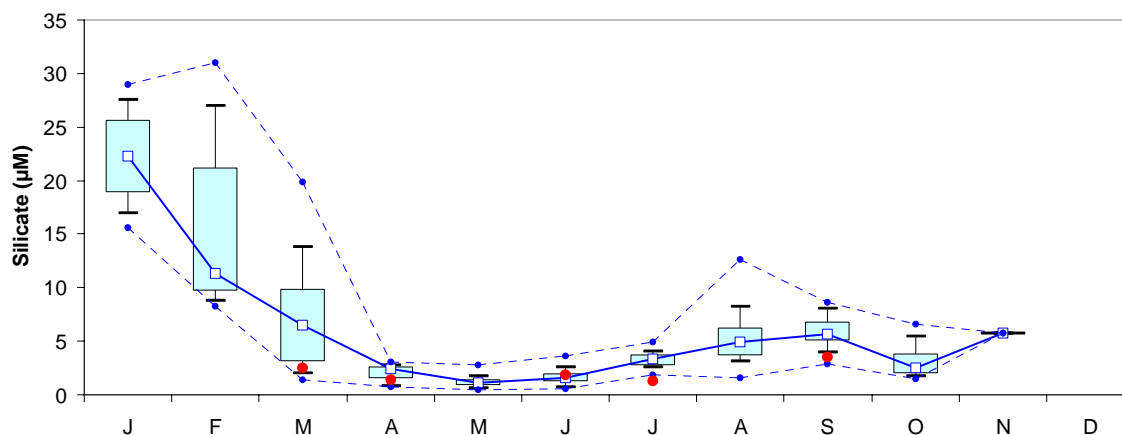


Figure 3.1.43 : Valeurs médianes du silicate et leur dispersion obtenues lors de l'exécution du réseau REPHY entre 2001 et 2004 sur les points d'échantillonnage situés entre Granville et Barfleur (146 valeurs). Les points rouges représentent les valeurs médianes du point référence (1987-2004) aux mêmes périodes

L'évolution du silicate dans l'eau de mer mise en évidence par le réseau REPHY suit la même tendance que celle observée lors des campagnes à Flamanville entre 1976 à 1985. Les concentrations enregistrées par le REPHY en hiver sont cependant supérieures à celles mesurées à Flamanville (figure 3.1.40). Le caractère plus côtier des eaux prélevées dans le cadre du REPHY sont la cause probable de cette situation.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Mediane	22.28	11.33	6.54	2.41	1.13	1.59	3.35	4.93	5.70	2.55	5.75	
Min	15.63	8.23	1.42	0.71	0.42	0.57	1.90	1.61	2.88	1.51	5.75	
Max	28.93	30.98	19.91	3.03	2.82	3.59	4.90	12.59	8.68	6.63	5.75	

Tableau 3.1.9 : Valeurs médianes de silicate (μM) obtenues lors de l'exécution du réseau REPHY entre 2001 et 2004 sur les points d'échantillonnage situés entre Granville et Barfleur (146 valeurs)

Les concentrations en silicate entre les centrales de Flamanville et de Penly présentent le même schéma que celui observé pour l'azote et le phosphore, avec une période automnale où la médiane à Penly est supérieure à celle de Flamanville et des valeurs similaires pour les périodes de printemps et d'été (figure 3.1.44).

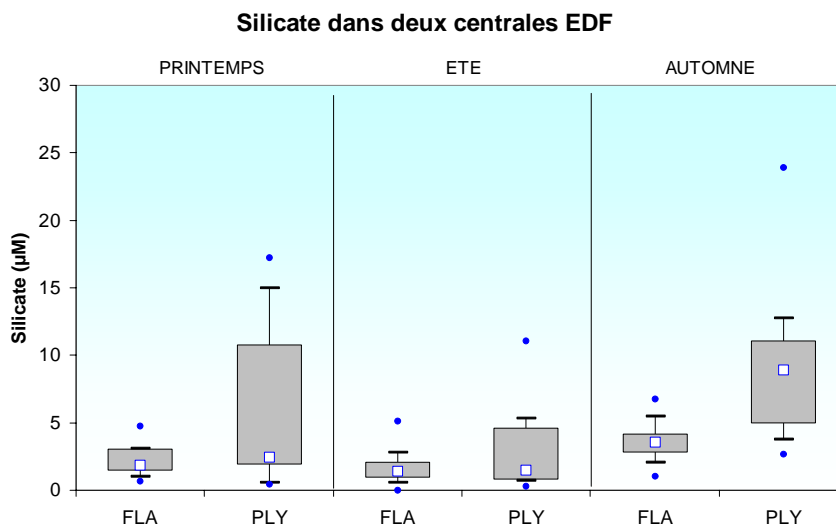


Figure 3.1.44 : Valeurs médianes en silicate du point référence à la centrale nucléaire de Flamanville, et du point contrôle à Penly sur la période 1987-2004

Les concentrations en silicate dans le réservoir profond des océans peuvent atteindre $150 \mu\text{M}$, tandis qu'en surface elles peuvent être inférieures à $1 \mu\text{M}$. Plus on se rapproche des côtes, plus les teneurs en silicate augmentent sous l'influence des apports fluviaux, plus riches en silicate que les océans. Ainsi en milieu estuarien, les silicates qui peuvent dépasser la centaine de micromoles par litre en hiver, atteignent la limite de détection lors des efflorescences printanières et en été (Aminot et Chaussepied, 1983).

3.1.9. Matières en suspension (MES)

Le suivi des matières en suspension à Flamanville n'a pas été effectué de façon régulière depuis 1976 (tableau 3.1.2). Il a fait parti des paramètres suivis lors de l'étude de projet entre 1976 et 1978 et puis lors de quelques campagnes en 1983. Après la mise en service de la centrale, la phase de surveillance a connu plusieurs arrêtés interministériels, mais seul le dernier, établi en 2000, demande le suivi de ce paramètre en routine. Nous ferons donc une comparaison des données obtenues dans la période 1976-1983 et celles enregistrées depuis 2001.

3.1.9.1. MES avant la mise en service de la centrale (1976-1985)

L'échantillonnage des points 301 à 304 a été réalisé majoritairement entre 1976 et 1978 et celui des points 306 et 307 entre 1983 et 1985. Les concentrations en MES varient entre 1 et 17 mg/L (figure 3.1.45).

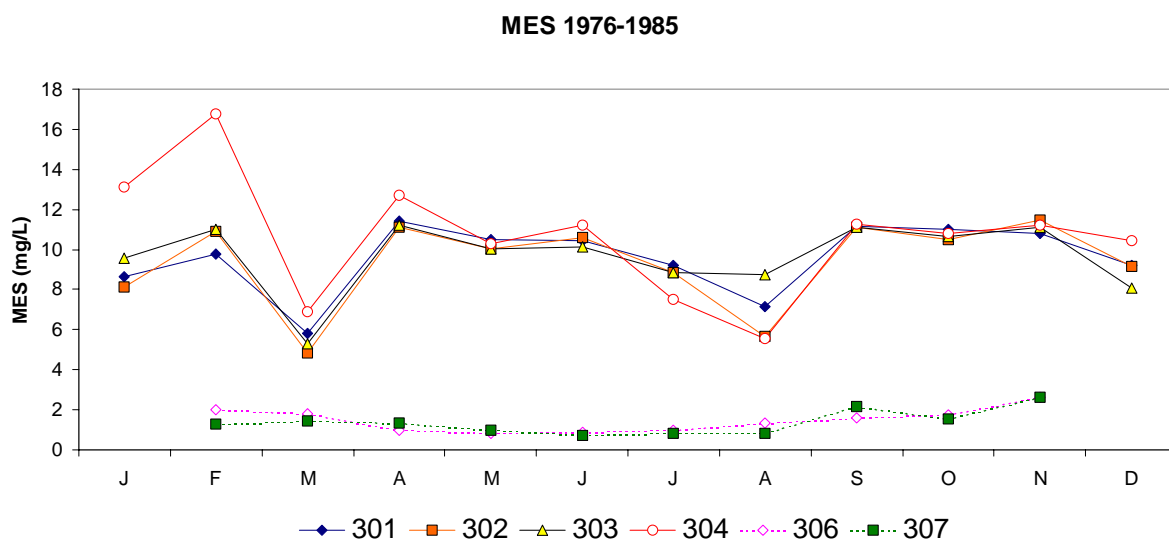


Figure 3.1.45 : Distribution des médianes en MES dans l'eau de mer par point et par mois pour la période d'études 1976-1985

Pour les points d'échantillonnage 301 à 304, les valeurs maximum varient entre 8 et 12 mg/L de janvier à décembre avec deux fortes diminutions des concentrations en mars et en août. La variabilité spatiale est faible et sans tendance claire. Les concentrations mesurées au point 304, situé plus au sud, sont plus élevées en hiver et plus basses en juillet-août que celles observées à la radiale 301-303.

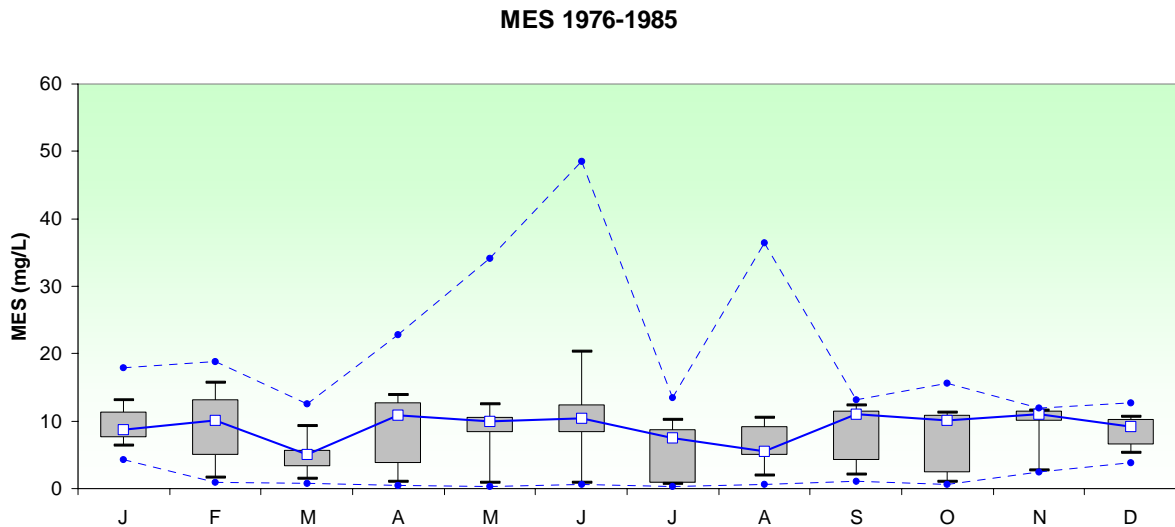


Figure 3.1.46 : Distribution des médianes en MES dans l'eau de mer tous points confondus, par mois sur la période d'études 1976-1985, ainsi que les valeurs maximum et minimum

La radiale 306-307 présente des concentrations en MES plus faibles, de l'ordre de 2 mg/L. Les valeurs, qui diminuent légèrement de janvier à août, présentent une augmentation régulière entre août et novembre. Aucun gradient n'est clairement mis en évidence dans cette radiale.

Dans la figure 3.1.46 sont présentées les médianes générales avec leur dispersion par mois et les valeurs maximum et minimum observées. Les valeurs maximales, enregistrées en juin et août avec respectivement 48 mg/L et 36 mg/L montrent la grande variabilité de ce paramètre dans le temps.

3.1.9.2. MES après la mise en service de la centrale (1987-2004)

Étant donné la faible série de valeurs disponibles, les tendances observées dans la distribution des médianes sont très sensibles aux valeurs extrêmes qui ont été enregistrées lors de ces campagnes. Néanmoins, un gradient décroissant côte-large est observée au printemps, suggérant des remises en suspension des particules par le forte hydrodynamisme de la zone côtière (figure 3.1.47). En automne, ce gradient est inversé.

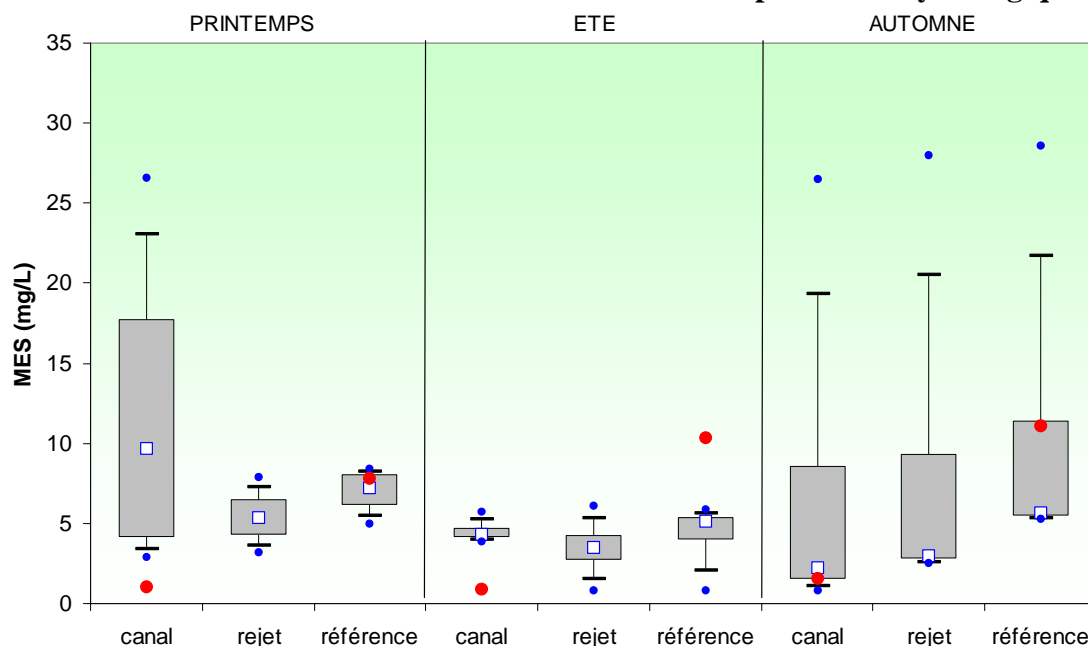


Figure 3.1.47 : Distribution des médianes des MES dans l'eau de mer sur la période d'études 2001-2004. Les points rouges représentent les valeurs observées dans la période 1976-1983

3.1.9.3. Discussion

Les différences de concentration observées entre les radiales 301-304 et 306-307 peuvent être attribuées à la forte variabilité naturelle de ce paramètre et à l'état de la mer rencontrée lors des campagnes de prélèvement. Cette hypothèse semble être confirmée par les valeurs observées au point 302 en mars, mai et juin 1983, plus faibles que celles enregistrées au même point dans la période 1976-1978.

Les valeurs en MES de la période 2001-2004 mesurées avant et après la mise en service de la centrale (points rouges de la figure 3.1.47) montrent la même tendance. Au point canal, les valeurs observées après 2001 sont systématiquement supérieures à celles d'avant 1985, tandis qu'au point référence cette tendance est inversée.

Comme il a déjà été évoqué lors de l'étude de l'ammonium, une possible explication à ce phénomène peut venir de la différence géographique des points d'échantillonnage. Le point canal, lors des campagnes réalisés après 2000, se situe à l'entrée même du canal d'amenée, alors que le point le plus proche dont nous disposons pour la comparaison est le point 306, plus au sud et plus au large. Pour la situation observée au point référence, le même type d'explication peut être avancé car la comparaison du point référence (311) est effectuée, comme nous l'avons vu plus haut, avec les points 301 et 302, situés en moyenne plus au large. D'autre part, lors de ces campagnes effectuées entre 1976 et 1978, les valeurs en MES ont été particulièrement élevées.

Ce paramètre a le défaut d'être très influencé par l'état de la mer, qui peut remettre en suspension de nombreuses particules des sédiments. Au canal d'amenée les profondeurs sont faibles et l'action de la houle entretient plus aisément la remise en suspension des particules. Ce phénomène peut encore être plus marqué au rejet où la vitesse de sortie du flux de refroidissement peut produire une eau turbide.

3.1.9.4. Contexte local, régional ou global

Les MES ne sont pas un paramètre suivi en routine par les réseaux de l'IFREMER, donc aucune évolution annuelle des eaux côtières normandes ne permettent de réaliser une comparaison. Nous disposons cependant des données issues des campagnes de surveillance menées dans les centrales de Penly et Paluel (figure 3.1.48). Ces campagnes sont effectuées au même temps que celles de Flamanville, ce qui permet de comparer les valeurs sur les mêmes périodes.

Pour l'étude des centrales de Penly et de Paluel, les séries de valeurs remontent respectivement à 1989 et 1988, permettant donc de mieux amortir l'effet des années avec fortes valeurs dues aux mauvaises conditions de mer. Malgré ces différences, nous constatons que les médianes des trois centrales sont similaires et en dessous de 10 mg/L. Au printemps et en été, les dispersions de valeurs de Penly et de Paluel sont par contre, très au-dessus de celles observées à Flamanville. Les dispersions observées en automne restent plus homogènes.

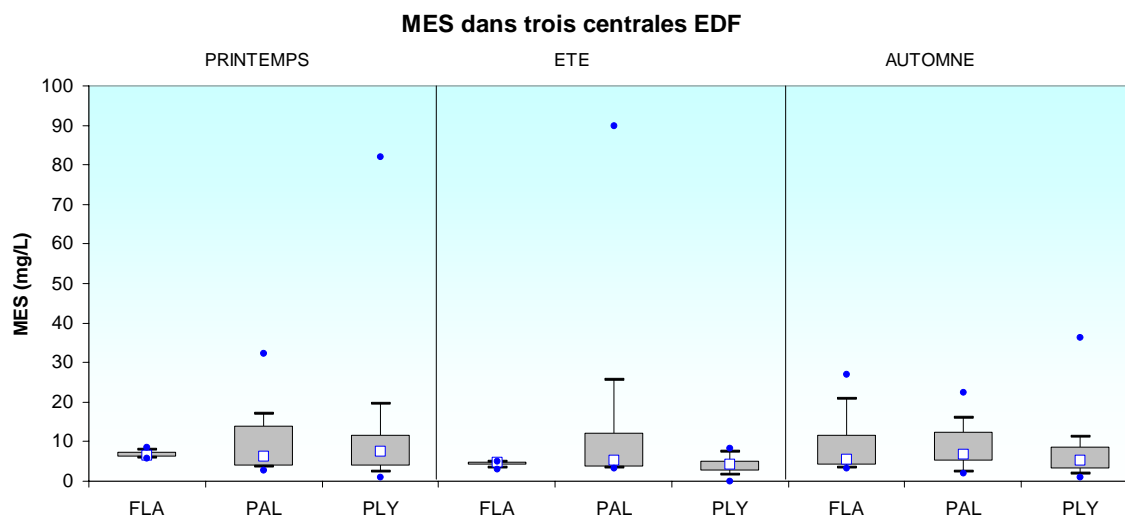


Figure 3.1.48 : Valeurs médianes en MES du point référence des centrales nucléaires de Flamanville (2001-2004) et de Paluel, et du point contrôle à Penly sur la période 1987-2004

Les concentrations des eaux océaniques de surface varient entre 0,5 et 1 mg/L et elles diminuent avec la profondeur. En milieu côtier, les concentrations en MES sont influencées par les apports terrigènes, le plancton et les conditions météorologiques (tempêtes). Des valeurs de 0,5 à 5 mg/L sont couramment observées et elles peuvent atteindre plusieurs grammes par litre dans les zones de turbidité maximum (Aminot et Chaussepied, 1983).

3.1.10. Trihalométhanes

Pour éviter le *fouling* dans les canalisations de rejet, les centrales nucléaires du bord de mer utilisent la chloration comme méthode préventive hors période hivernale. Les composés dérivés pouvant se retrouver dans les eaux du rejet sont essentiellement les trihalométhanes. Il s'agit des composés volatils les plus fréquemment identifiés dans les eaux chlorées et dont les concentrations sont les plus élevées. Leur structure est homologue à celle du chloroforme (Abarnou *et al*, 1990). Le bromoforme est ainsi la forme chimique dominante ; dans l'eau de mer son demi-temps de vaporisation est inférieure à une heure (Abarnou, 1981). Les concentrations de tous ces composés varient selon les quantités de matière organique et d'ammoniaque dissous.

Les formes organo-halogénées recherchées sont :

- Tribromométhane = 'bromoforme' (CH Br_3),
- Dibromomonochloro-méthane ($\text{CH Br}_2 \text{Cl}$),
- Dichloromonobromo-méthane (CH Br Cl_2),
- Trichlorométhane = 'chloroforme' (CH Cl_3).

Ces composés dérivés sont toxiques pour la faune et la flore marine. Erickson et Freeman (1978) ont réalisé des expériences écotoxicologiques sur des cultures de microalgues (*Skeletonema costatum*, *Thalassiosira pseudonana*, *Glinodinium halli* et *Isochrysis galbana*) et ont constaté un taux d'inhibition de croissance de 50 % par rapport aux cultures témoins pour des concentrations en chloroforme et bromoforme supérieures à 32 mg/L. Des valeurs inférieures à 10 µg/L sont considérées tout à fait acceptables pour le milieu marin (Abarnou *et al*, 1990), ce qui est confirmé par le Groupe Radioécologie Nord-Cotentin dans son rapport : Évaluation de risques associés aux rejets chimiques des installations nucléaires du Nord-Cotentin (Anonyme, Volume 3, décembre 2002).

3.1.10.1. Trihalométhanes à Flamanville

Depuis 1988, des mesures des dérivés du chlore sont effectuées dans les eaux proches de la centrale de Flamanville. Sur toute cette période, une seule valeur significative supérieure au seuil de détection, égale à 0,1 µg/L a pu être mise en évidence (point rejet en 1992).

3.1.10.2. Contexte local, régional ou global

Le suivi des trihalométhanes dans l'eau de mer n'est pas fréquent. Il est réalisé dans le cadre des rejets des produits chlorés en mer comme c'est le cas pour les centrales nucléaires en bord de mer. Nous pouvons donc, regarder les résultats obtenus lors des campagnes de surveillance menées à Penly et à Paluel (figures 3.1.49 et 3.1.50).

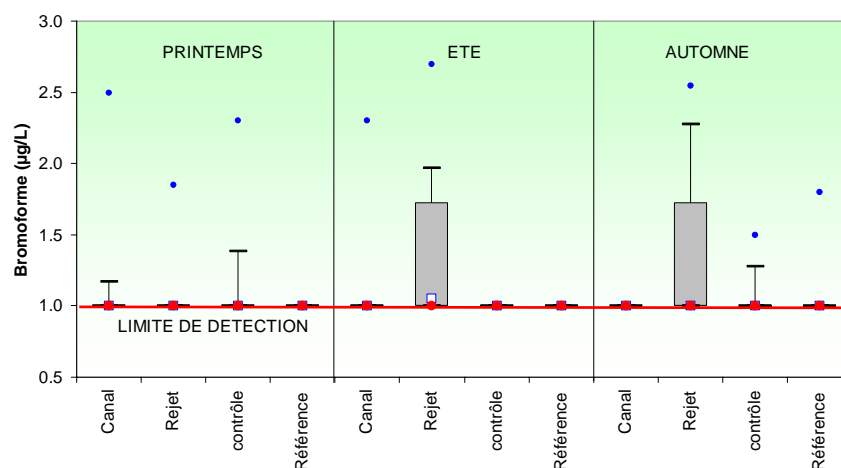


Figure 3.1.49 : Concentrations en bromoforme observées lors des campagnes de surveillance à la centrale nucléaire de Penly entre 1991 et 2004

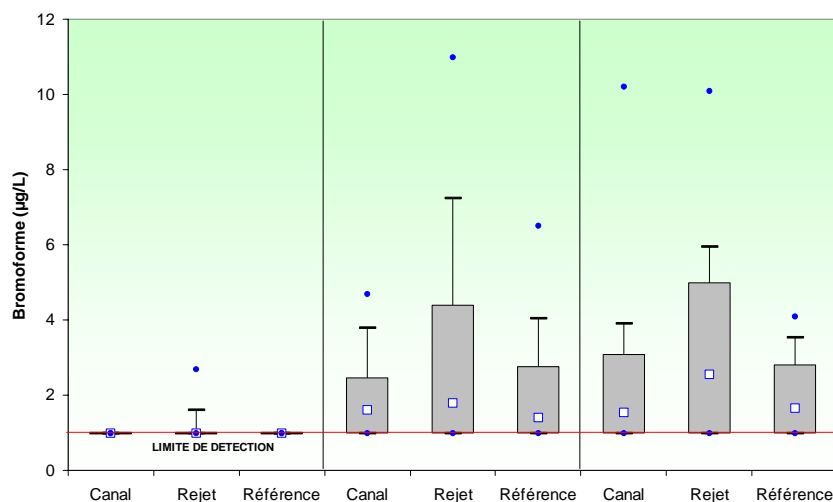


Figure 3.1.50 : Concentrations en bromoforme observées lors des campagnes de surveillance à la centrale nucléaire de Paluel entre 1988 et 2004

Les plus faibles valeurs sont observées à Penly, avec des concentrations maximales ne dépassant pas 3 µg/L. A Paluel, les médianes se situent autour de 2 µg/L et les valeurs maximales atteignent ponctuellement les 10 µg/L.

3.1.11. Bore

L'acide borique (H_3BO_3) fait partie des produits de conditionnement qui, ajoutés à l'eau déminéralisée, sont introduits dans le circuit primaire des réacteurs. Ce produit est utilisé dans l'eau du circuit primaire en tant qu'absorbeur neutronique pour compenser les lentes variations de réactivité. Le rejet dans le milieu marin se fait par l'intermédiaire des effluents radioactifs liquides qui sont eux mêmes rejetés en conformité avec les normes fixées par la réglementation (40 tonnes d'acide borique selon les termes de l'arrêté interministériel du 11 mai 2000). Dans le cadre des nouvelles dispositions prises par cet arrêté, les premières mesures de bore dans le milieu marin ont été réalisées le 6 septembre 2000. Aucune autre mesure systématique de ce produit n'a été effectuée avant la mise en service de la centrale.

La concentration normale d'acide borique dans l'eau de mer est de 25,6 mg/L, ce qui correspond à environ 4,5 mg/L de bore. Un essai inter-laboratoire national a été réalisé en janvier 1987 afin de comparer la répétabilité et la reproductibilité des méthodes de dosage sur un même échantillon. L'écart type obtenu est de 0,06 mg/L pour la répétabilité, et 0,18 mg/L pour la reproductibilité.

3.1.11.1. Bore après la mise en service de la centrale (2000-2004)

Les médianes printanières (environ 5 mg/L) observées dans la figure 3.1.51 semblent légèrement supérieures à celles observées en été et en automne (environ 4,5 mg/L). Les valeurs maximales n'ont jamais dépassé 5,5 mg/L au printemps, tandis qu'une valeur proche de 6 mg/L a été observée au point rejet en juin 2004. C'est lors de l'été 2004 que

les plus fortes valeurs en bore ont été enregistrées. Ces valeurs proches de 6 mg/L pourraient être dues à des problèmes analytiques, car aucun rejet de bore n'a été effectué par la centrale lors des échantillonnages et ce phénomène a été aussi observée à la centrale de Paluel.

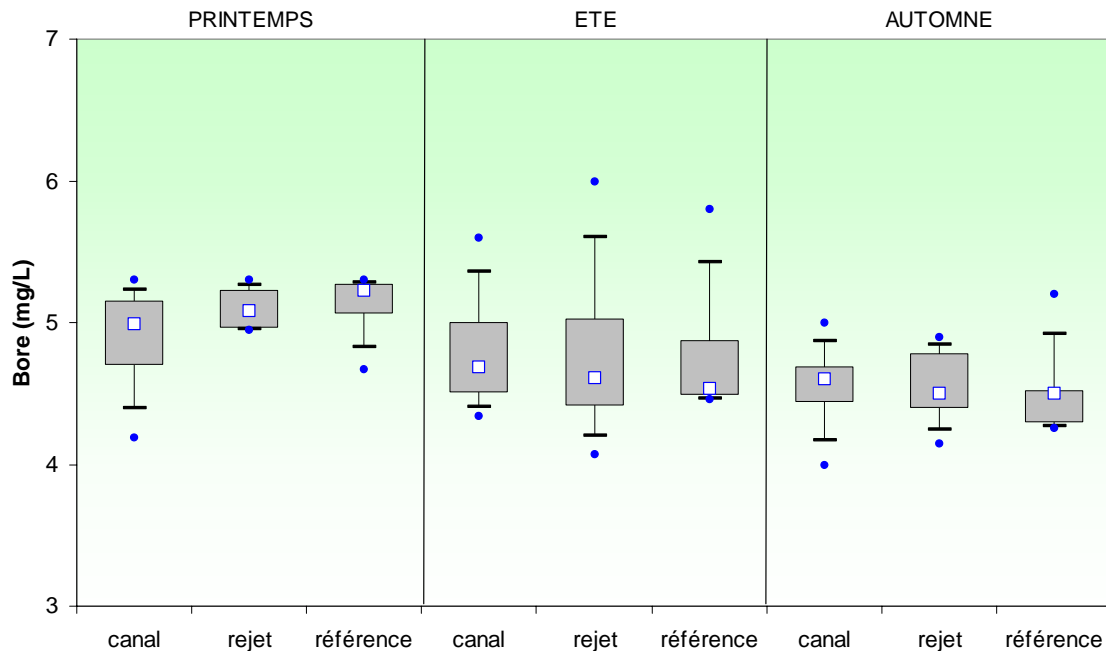


Figure 3.1.51 : Concentrations médianes en bore dans l'eau de mer observées lors des campagnes de surveillance à la centrale nucléaire de Flamanville depuis 2000

Ce phénomène ne semble pourtant pas être directement lié aux rejets de la centrale car les concentrations en bore au point rejet sont sensiblement les mêmes que celles observées au même moment au point référence.

3.1.11.2. Contexte local, régional ou global

Le suivi du bore dans l'eau de mer n'est pas fréquent. Il est réalisé dans le cadre des rejets de certaines centrales nucléaires en bord de mer. Seule les concentrations mesurées à Paluel sont donc disponibles pour effectuer des comparaisons. (figure 3.1.52).

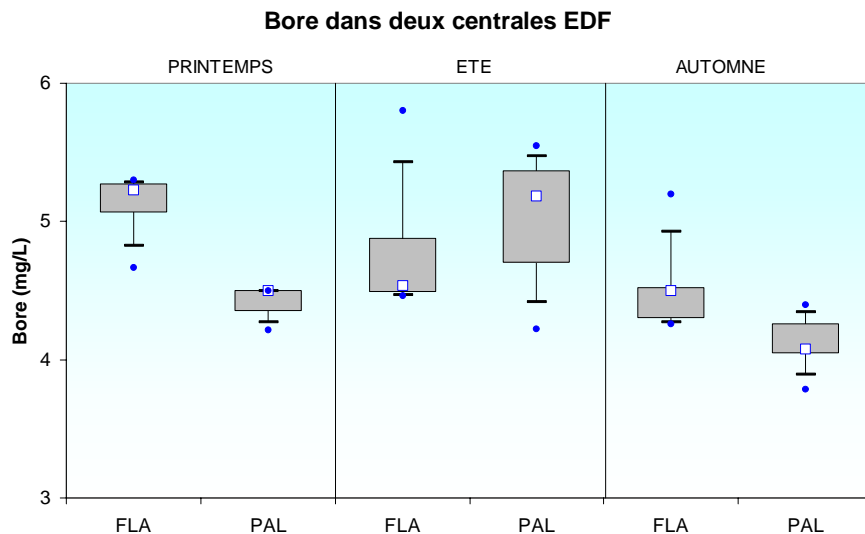


Figure 3.1.52 : Valeurs médianes en bore au point référence aux centrales nucléaires de Flamanville et de Paluel sur la période 2000-2004

Au printemps et en automne, les médianes des concentrations en bore observées à Flamanville se situent au-dessus de celles enregistrées à Paluel. En été, la situation s'inverse. Les plus faibles dispersions sont observées au printemps et en été.

3.1.12. Conclusions

Le suivi du compartiment hydrologique dans la surveillance écologique des rejets thermiques et chlorés de la centrale de Flamanville est pleinement justifié du fait que c'est la température de l'eau de mer qui est le principal paramètre modifié à la suite du passage dans les échangeurs des réacteurs. Son influence est cependant restreinte à quelques kilomètres pour une différence de température par rapport au milieu naturel de 1 °C, avec des taux de dilution théoriques de l'ordre de 90 % sur quelques dizaines de mètres autour du rejet.

Les nutriments minéraux dissous représentent la base de la chaîne alimentaire, qui commence par le phytoplancton et s'achève par les ressources halieutiques. Avec de la lumière, du carbone et des nutriments, les cellules phytoplanctoniques vont se développer et contrôler à leur tour le niveau des concentrations en nutriments dans l'eau. Les apports excessifs des nutriments par les fleuves peuvent perturber le cycle côtier du carbone et ainsi toute la chaîne alimentaire, d'où l'intérêt d'étudier les facteurs physico-chimiques qui conditionnent le démarrage et l'entretien de cette chaîne biologique.

Les paramètres étudiés semblent suivre le cycle classiquement observée en Manche, avec des gradients côte-large qui varient dans l'espace et dans le temps. En général, les valeurs observées au point rejet ne sont pas supérieures à celles des points canal et référence. Seul l'ammonium présente une concentration médiane légèrement supérieure à celles des points canal et référence au printemps. Ce phénomène peut être naturel, suite à l'activité des brouteurs sur le phytoplancton, ou lié aux rejets de la centrale. Ces valeurs restent toutefois dans la plage de valeurs d'ammonium couramment observées dans cette région de la Manche et ne mettent pas en danger l'équilibre écologique du milieu.

Le suivi des trihalométhanes et plus particulièrement du bromoforme se justifie par l'utilisation des produits chlorés par la centrale afin de limiter le *fouling* des canalisations d'eau de mer. La diminution dans leur utilisation et les forts courants marins constatés à la pointe du Cotentin se traduisent par des valeurs en dessous des seuils analytiques.

Les tendances croissantes des concentrations des nutriments observées en septembre au point référence peuvent cependant n'être que l'effet d'un décalage temporel des phénomènes biologiques et non une réelle augmentation des concentrations liées aux apports extérieurs. Avec l'étude du seul mois de septembre sur le point référence, nous constatons une augmentation de valeurs dans le temps. Mais l'augmentation globale des températures peut décaler les phénomènes liés aux développements phytoplanctonique et zooplanctonique de quelques semaines, et ce sont ces développements qui vont conditionner le niveau du stock des nutriments.

Les tendances pluriannuelles, déduites de l'étude des concentrations observées au point référence au mois de septembre (1987 à 2004) suggèrent une augmentation des températures de l'eau de mer, une diminution de la salinité et une augmentation des nutriments, excepté pour le nitrate qui reste stable. Cette tendance est particulièrement marquée pour les nitrite, phosphate et silicate. Une diminution des valeurs semble cependant être entamée dès 2004. Ces tendances, qui s'inscrivent davantage dans l'évolution climatique global ou dans les rejets urbains et agricoles, peuvent se traduire par des modifications des paramètres physico-chimiques et biologiques locaux. Il s'agit de tendances à long terme qui peuvent difficilement être mises en évidence par les stratégies de surveillance menées sur les centrales nucléaires. Il est cependant intéressant de constater que l'évolution de la température de l'air et la pluviométrie à La Hague (Météo France) suivent la même tendance que les mesures effectuées au point référence depuis 1987 dans le cadre de la surveillance annuelle ou sur la série enregistrée quotidiennement par EDF. L'étude comparative des concentrations aux point canal, rejet et référence ne permet pas de mettre en évidence le rôle de la centrale dans ces tendances à long terme. En outre, les valeurs issues de la surveillance de Flamanville restent cohérents avec les mesures du REPHY.

3.2. Compartiment microbiologique

3.2.1. Introduction

Le suivi du compartiment microbiologique dans une étude écologique intégrée devient incontournable par l'importance croissante des risques de santé publique et par la connaissance de la variabilité de ces paramètres par rapports aux variables environnementales. Les fréquences, ainsi que les points d'échantillonnage, ont été sensiblement les mêmes que ceux suivis et présentés dans le chapitre hydrologie. Cependant quelques modifications ont été apportées à ce plan d'échantillonnage.

Étude de projet (premier et deuxième cycles) : elle s'est déroulée entre 1976 et 1978 avec une fréquence mensuelle de sorties en mer, pouvant atteindre parfois deux sorties mensuelles (tableau 3.1.1 du chapitre hydrologie). Les points échantillonnés lors de cette première phase ont été : 301 (A), 302 (B), 303 (C) et 304 (D) (figure 3.1.1 du chapitre hydrologie). Plusieurs mesures ont pu être effectuées à différents moments de la marée par point d'échantillonnage et plus particulièrement au point 302. Un nombre restreint d'analyses a été effectué aux points 301 et 303, raison pour laquelle seules les valeurs des points 301 et 304, quand elles existent, seront utilisées pour cette étude.

Étude de Surveillance, 1983 à 1986 : les sorties en mer pour l'échantillonnage ont eu lieu entre les mois de février et de novembre, avec une fréquence accrue entre les mois d'avril et de juillet. Les points échantillonnés ont été : 302 (B), 306 (E) et 308a (point se situant 500 m au large du point 308).

Étude de Surveillance, 1987 à 2004 : cette stratégie d'échantillonnage, mise en place dès la mise en service de la centrale, prévoit trois périodes annuelles : printemps, été et automne. Les points échantillonnés ont été : 308 (canal), 309 (rejet), 311 (référence) et 310 (contrôle). Le point 310 a été échantillonné uniquement entre 1987 et 1993.

Pour le descriptif détaillé des périodes d'échantillonnage et des choix des années et des périodes d'études, se référer au chapitre 3.1.1 du compartiment hydrologique.

Année	Paramètre étudié							Points suivis
	G.totaux	G.revivifiables	Vibrions halophiles	G.sulfato-réducteurs	Coliformes totaux	Coliformes fécaux	Streptocoques fécaux	
AVANT FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE								
Étude de projet								
1976-1977	X	X	X	X				301 - 302 - 303 - 304
1977-1978	X	X	X	X				301 - 302 - 303 - 304
Surveillance								
1983	X	X	X		X	X	X	308a
1984	X		X		X	X	X	308a
1985	X	X	X		X	X		308a
APRES FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE								
1986	X	X	X					308a
Surveillance nouvelle stratégie								
1987	X	X	X					308 - 309 - 310 - 311
1988	X	X	X					308 - 309 - 310 - 311
1989	X	X	X					308 - 309 - 310 - 311
1990	X	X	X					308 - 309 - 310 - 311
1991	X	X	X					308 - 309 - 310 - 311
1992	X	X	X					308 - 309 - 310 - 311
1993	X	X	X					308 - 309 - 310 - 311
1994	X	X	X					308 - 309 - 311
1995	X	X	X					308 - 309 - 311
1996	X	X	X					308 - 309 - 311
1997	X	X	X					308 - 309 - 311
1998	X	X	X					308 - 309 - 311
1999	X	X	X					308 - 309 - 311
2000	X	X	X					308 - 309 - 311
2001	X	X	X					308 - 309 - 311
2002	X	X	X					308 - 309 - 311
2003	X	X	X					308 - 309 - 311
2004	X	X	X					308 - 309 - 311

Tableau 3.2.1 : Paramètres du compartiment microbiologique suivis depuis 1976

Une étude sur les concentrations en coliformes et streptocoques a été entreprise en 1983, mais l'absence répétée de ces germes dans les échantillons d'eau de mer a conduit à l'arrêter dès 1986. Il en est de même pour les germes sulfato-réducteurs qui ont été analysés lors de l'étude de projet, entre 1976 et 1978.

3.2.2. Germes totaux

Le dénombrement des germes totaux (autotrophes et hétérotrophes) se fait par identification au microscope à épifluorescence des cellules colorées en vert (vivantes) ou en rouge (mortes). Les cellules sont filtrées sur une membrane de 0,45 µm de porosité et ensuite colorées à l'acridine orange, qui va teinter différemment les cellules qui possèdent de l'ADN intact de celles dans lesquelles l'ADN est altéré. Les valeurs utilisées

correspondent aux concentrations maximales observées au point 302 lors de la réalisation d'une station d'échantillonnage. Une station peut se composer de plusieurs prélèvements successifs, ou décalés dans le temps en fonction de la marée.

3.2.2.1. Germes totaux avant la mise en service de la centrale (1976-1985)

Les séries de valeurs disponibles pour ce paramètre sont celles de l'étude de projet (1976-1978) et celles des études de surveillance de la période 1983-1985 (figure 3.2.1.). Lors de l'étude de projet, la valeur maximale observée a été de 738 300 germes/mL le 24 mai 1977, tandis que le minimum a été de 853 germes/mL le 8 février 1978, tous les deux au point 302. la moyenne dénombrée dans cette période a oscillé entre 10 000 et 100 000 germes/mL.

La série de valeurs de la période 1983-1985 présente une tendance croissante avec des maximums observés lors des mois d'été. La valeur maximale atteinte a été de 3 636 500 germes/mL le 29 août 1985 et le minimum 35 500 germes/mL le 25 octobre 1983. Les moyennes de ces deux séries présentent une différence supérieure à un facteur multiplicateur de dix.

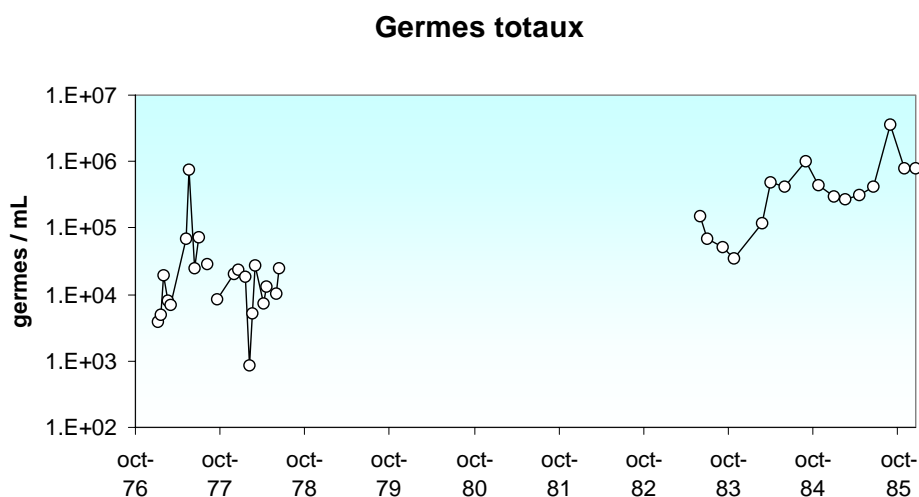


Figure 3.2.1 : Distribution temporelle des concentrations en germes totaux au point 302

3.2.2.2. Germes totaux après la mise en service de la centrale (1987-2004)

Le suivi temporel des concentrations en germes totaux montre une même évolution temporelle pour les campagnes réalisées au printemps, en été et à l'automne (figure 3.2.2). Certaines discontinuités sont visibles dans cette figure, mais nous rappelons que les campagnes retenues, servant à caractériser le printemps, sont celles effectuées en mars et avril, juin et juillet pour l'été et septembre pour l'automne. Il y a donc, des valeurs non exploitées du fait du décalage extrême dans la réalisation de la campagne. Les abondances sont restées très stables autour d'une plage de valeurs variant entre 500 000 germes/L et 2 000 000 germes/L quel que soient la campagne ou le point d'échantillonnage. En 1991 et 2004, une chute d'un facteur dix est constatée dans les abondances sur l'ensemble de points.

Les boîtes à moustaches de la figure 3.2.3 suggèrent une remarquable stabilité de la valeur des médianes saisonnières. Il convient de rappeler qu'en bactériologie, deux échantillons ne sont considérés comme différents que si leurs effectifs sont séparés au moins d'un facteur dix. Les valeurs des médianes du point référence sont inférieures à celles des points canal et rejet pour les trois campagnes. Le point rejet présente une médiane légèrement supérieure à celle du point canal.

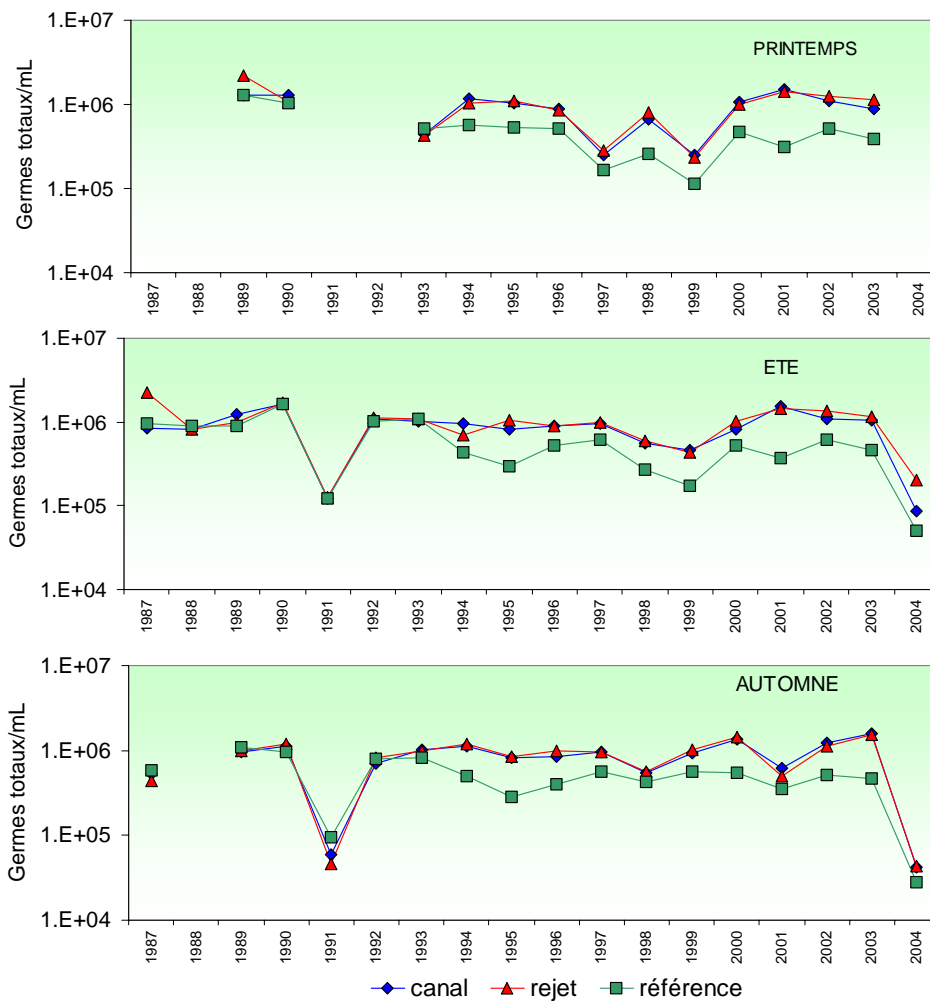


Figure 3.2.2 : Germs totaux par mL dénombrés par épifluorescence depuis 1987

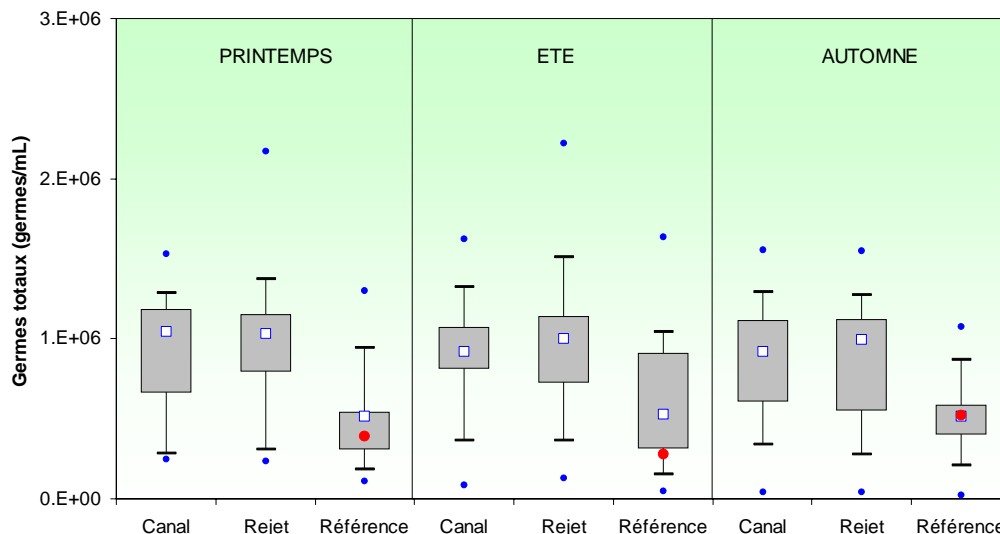


Figure 3.2.3 : Abondances médianes en germes totaux depuis 1987 dénombrés par épifluorescence. Les médianes des valeurs de la série 1983-1985 (point 308a) sont représentées en rouge

Les abondances de la série 1983-1985 échantillonnées aux mêmes mois que la série 1987-2004 sont présentées dans la figure 3.2.3 en rouge. Ces valeurs se situent à l'intérieur de la boîte contenant 50 % des valeurs pour le printemps et l'automne et légèrement en dessous en été.

Depuis 1999, les résultats des dénombrements en germes totaux sont réalisés simultanément au *rejet nord* et au *rejet sud* (figure 3.2.4).

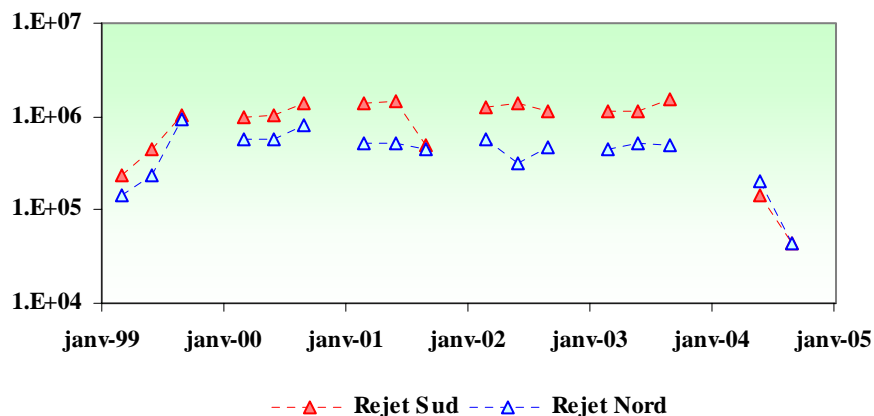


Figure 3.2.4 : Germes totaux (nombre par mL) depuis 1999 sur les deux rejets

Une plus forte abondance de germes totaux est observée sur la presque totalité de couples échantillonnés au *rejet sud*. Les valeurs du *rejet nord*, plus proches de celles observées au point référence, suggèrent des conditions plus difficiles pour le développement de germes.

3.2.2.3. Discussion

La différence de concentrations en germes totaux entre les séries 1976-1978 et 1983-1985 peut s'expliquer aisément par les nombreux changements dans la méthodologie utilisée. Les analyses effectuées entre 1976 et 1977 (Étude de projet – 1^{er} cycle) ont été réalisées sur membrane Millipore avec du matériel et une méthodologie qui entraînaient des fortes contaminations. Dès 1977, une amélioration des conditions de travail a permis d'obtenir des meilleurs résultats, mais ce n'est qu'à partir de 1983 que les résultats sont devenus plus reproductibles, avec l'utilisation des membranes Nuclepore noires, l'achat d'un microscope à épifluorescence et la mise en place d'un protocole validé par l'institut Pasteur de Lille et le laboratoire départemental de Caen. Ces diverses améliorations se traduisent par une augmentation régulière de la quantité de germes dénombrés entre 1983 et 1985. Lors de cette phase de validation, des tests de reproductibilité ont été faits, et une variabilité de 20 % des résultats est constatée selon l'opérateur.

La série 1987-2004 a été confiée au laboratoire départemental de Caen, collaboration qui se poursuit encore aujourd'hui. La forte chute des abondances en 2004 pourrait bien s'expliquer par les changements de l'opérateur des dénombrements ou bien par le mauvais état de la mer qui, par mélange, pourrait diluer les plus fortes concentrations de la couche de surface sur toute la colonne d'eau.

Ce paramètre, extrêmement constant dans le temps, nous suggère l'existence d'un gradient décroissant côte-large, avec des niveaux d'abondance similaires aux point canal et rejet. Les différences observées entre les abondances des rejets nord et sud peuvent être la conséquence du déversement des eaux usées dans le canal d'amenée près des pertuis d'aspiration d'eau de mer de la tranche 1, correspondant au rejet sud. Ces eaux, d'une plus forte charge bactérienne, se trouveraient ainsi au point rejet au moment des échantillonnages.

3.2.2.4. Contexte local, régional ou global

Les dénombrements de germes (procaryotes) au microscope à épifluorescence présentent le désavantage de dénombrer tous les peuplements des procaryotes vivants, que ce soit des autotrophes (avec des pigments photosynthétiques) ou des hétérotrophes, où certains de ces organismes peuvent présenter un potentiel pathogène. En règle générale, les autotrophes sont majoritaires par rapport aux hétérotrophes et ne présentent pas de danger pour la santé humaine.

Aucun réseau, sanitaire ou océanographique, n'a jamais été mis en place, à notre connaissance, pour le suivi de ce paramètre. Aucune valeur au niveau local n'est alors disponible pour effectuer des comparaisons. Par contre à un niveau plus régional, il est possible d'effectuer des comparaisons avec les résultats obtenus lors des campagnes de surveillance des centrales nucléaires de Paluel et de Penly, situées en Haute-Normandie (76).

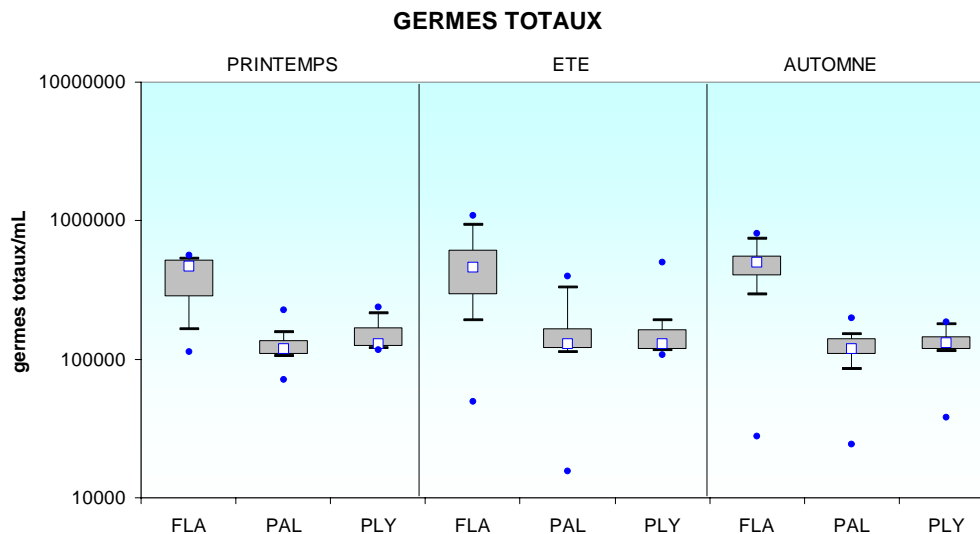


Figure 3.2.5 : Abondances médianes de germes totaux obtenues sur les trois centrales nucléaires normandes aux points référence (Paluel et Flamanville) et contrôle (Penly) entre 1992 et 2004

Le nombre de germes totaux est supérieur à Flamanville, avec une médiane générale d'environ 800 000 germes/mL, par rapport aux abondances observées aux centrales de Paluel et de Penly, toutes deux proches de 200 000 germes/mL (figure 3.2.5). Le contexte océanique de Flamanville, considéré comme oligotrophe, vis-à-vis des eaux de la Manche orientale, semble peu adapté aux plus fortes abondances observées à Flamanville par rapport aux autres deux centrales. L'explication probable de ce paradoxe peut venir du fait que les analyses de Flamanville sont effectuées par un laboratoire différent de celui des deux centrales haut-normandes. Encore, la méthodologie et l'opérateur pourraient être à la base des différences trouvées sur ce paramètre.

Zubkov *et al.* (1998) ont démontré l'effet de la latitude dans la distribution de bactéries hétérotrophes, de *Prochlorococcus* et de *Synéchooccus* (ces deux dernières autotrophes) sur un transect nord-sud en Atlantique (de l'Angleterre jusqu'aux Iles Malouines). *Prochlorococcus* présentait des abondances maximales de 280 000 cellules/mL dans la couche 60-100m, très appauvrie en nutriments des zones tropicales. Les abondances maximales de *Synéchooccus* ont été supérieures à 100 000 cellules/mL dans la couche 0-50m au nord du 45°N, au sud de 30°S et dans la zone 10°-20°N, où une augmentation de nutriments a été sensible.

La distribution des cyanophycées et prochlorophycées semble donner un avantage à *Synéchooccus* dans les couches de surface de zones mésotrophes ; restent les couches inférieures de la zone euphotique, plus riches en nutriments, plus favorables au développement de prochlorophycées.

3.2.3. Germes revivifiables

L'étude de ce paramètre est basé sur le dénombrement de bactéries cultivées sur milieu Zobell à une température proche de 20 °C pendant 9 à 11 jours, selon les différents protocoles analytiques utilisés depuis 1976. Elle exprime le potentiel de réactivation des cellules dormantes, si les conditions du milieu deviennent favorables.

3.2.3.1. Germes revivifiables avant la mise en service de la centrale (1976-1985)

Le niveau des abondances en germes revivifiables au point 302 lors des campagnes 1976-1978 est toujours resté en dessous de 300 germes/mL, sauf les 3 novembre 1976 et 17 janvier 1978, où leurs concentrations ont atteint respectivement 793 et 576 germes/mL (figure 3.2.6.). En 1983 est observée la plus forte valeur de toute la période précédant la mise en fonctionnement de la centrale, avec 1120 germes/mL le 28 août 1983. La moyenne de la période 1976-1978 est de 138 germes/mL et celle de la période 1983-1985 de 247 germes/mL. S'agissant des bactéries ces différences son faibles ; aucune tendance particulière ne peut être mise en évidence.

Germes revivifiables

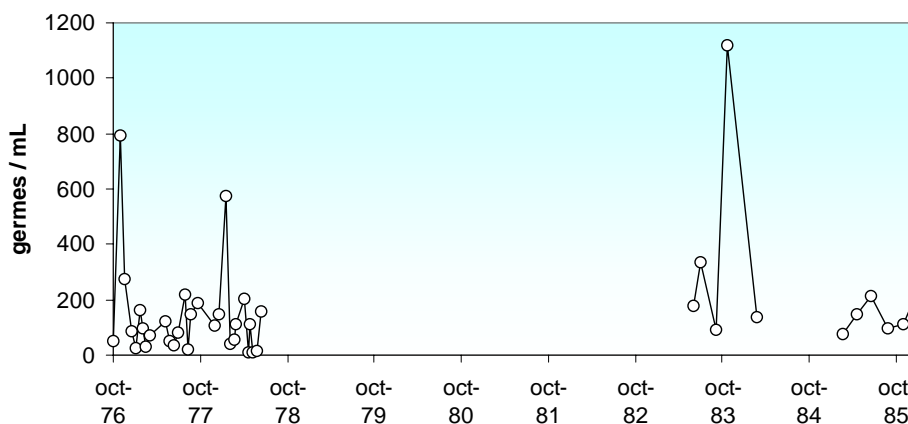


Figure 3.2.6 : Nombre de germes revivifiables par mL au point 302 sur la période 1976-1985

Un certain nombre d'échantillons a pu être réalisé en parallèle aux points 302 et 304, permettant de mettre en évidence, pendant les périodes du printemps et d'été 1977, des plus fortes abondances au point 304, situé plus au sud et au large que le point 302 (figure 3.2.7).

Germes revivifiables

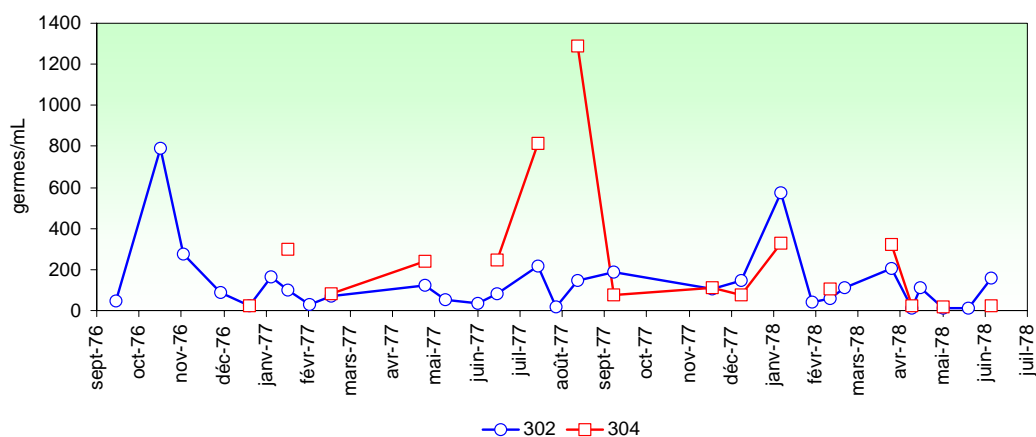


Figure 3.2.7 : Nombre de germes revivifiables par mL aux points 302 et 304 sur la période d'études 1976-1978

3.2.3.2. Germes revivifiables après la mise en service de la centrale (1987-2004)

Depuis 1987, des valeurs semblables à celles observées en septembre 2004 ont déjà été enregistrées aux mois de septembre des années 1989, 1994, 1998 et 1999. On peut noter que les plus fortes valeurs du nombre de germes revivifiables observées depuis 1988 se situent systématiquement sur le point canal (figure 3.3.8). Les valeurs maximum ne dépassent pas 1000 germes/mL et la moyenne générale, tous points et saisons confondus se situe aux alentours de 200 germes/mL.

Dans la figure 3.2.9, les *boîtes à moustaches* de printemps présentent une plus forte dispersion des valeurs par rapport à celles d'été et d'automne. Les plus faibles médianes pluriannuelles du nombre de germes revivifiables sont enregistrées, pour l'ensemble des saisons, au point référence, tandis que les plus fortes médianes sont observées au point canal. Les valeurs observées au point rejet peuvent suggérer alors, le mélange des eaux du canal (via le pompage) et de la référence. Les abondances médianes en germes revivifiables de la série 1976-1985 (points 302 et 308a) se situent au-dessus des médianes de la série 1987-2004 (point référence [311]), tout en restant à l'intérieur de la boîte contenant 50 % des valeurs au printemps et en automne.

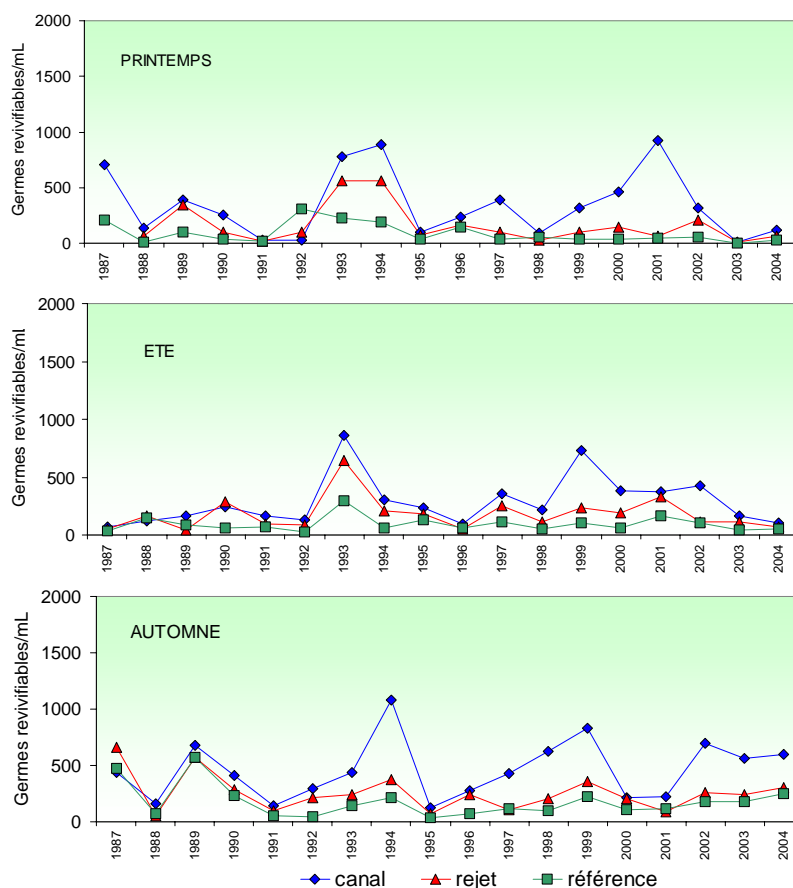


Figure 3.2.8 : Germes revivifiables (nombre par mL d'eau de mer) dénombrés sur milieu de Zobell depuis 1987

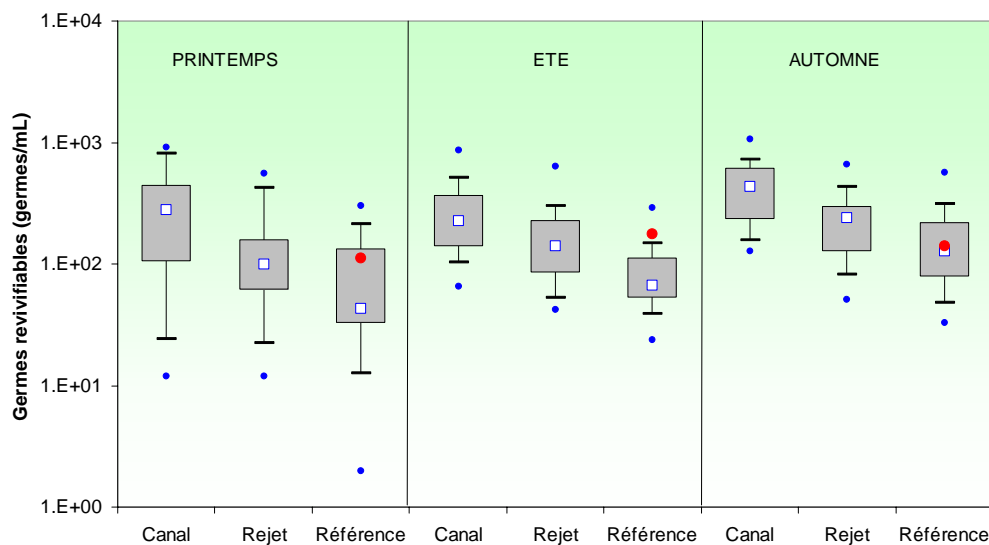


Figure 3.2.9 : Abondances médianes en germes revivifiables dénombrés depuis 1987. Les valeurs de la série 1976-1985 (points 302 et 308a) sont représentées en rouge

3.2.3.3. Discussion

Ce paramètre a connu une phase de mises au point des protocoles analytiques qui a engendré des biais dans les résultats lors des premières années. Ainsi les milieux de culture ont connu des petits changements et les températures et temps de mise en culture aussi. Lors de l'étude de projet, le temps de mise en culture, de 10 jours à 20 °C, est passé à 9 jours à 25 °C dans les années 90, pour aboutir à 11 jours à 20 °C actuellement. Cette situation n'est pas sans conséquences dans les niveaux des abondances observées. Ainsi les résultats obtenus avec un même protocole peuvent permettre de comparer des évolutions temporelles, mais il devient difficile de faire la même chose si une autre série a été effectuée par un autre laboratoire.

Tout comme les germes totaux, les plus faibles abondances sont observées au point référence, plus au large, où les effets de l'activité humaine sont moins marqués.

3.2.3.4. Contexte local, régional ou global

Aucun réseau, sanitaire ou océanographique n'a jamais été mis en place, à notre connaissance, pour le suivi de ce paramètre. Aucune valeur au niveau local n'est alors disponible pour effectuer des comparaisons. Seul au niveau régional nous pouvons effectuer des comparaisons avec les résultats obtenus lors des campagnes de surveillance des centrales nucléaires de Paluel et de Penly, situées en Haute-Normandie (76).

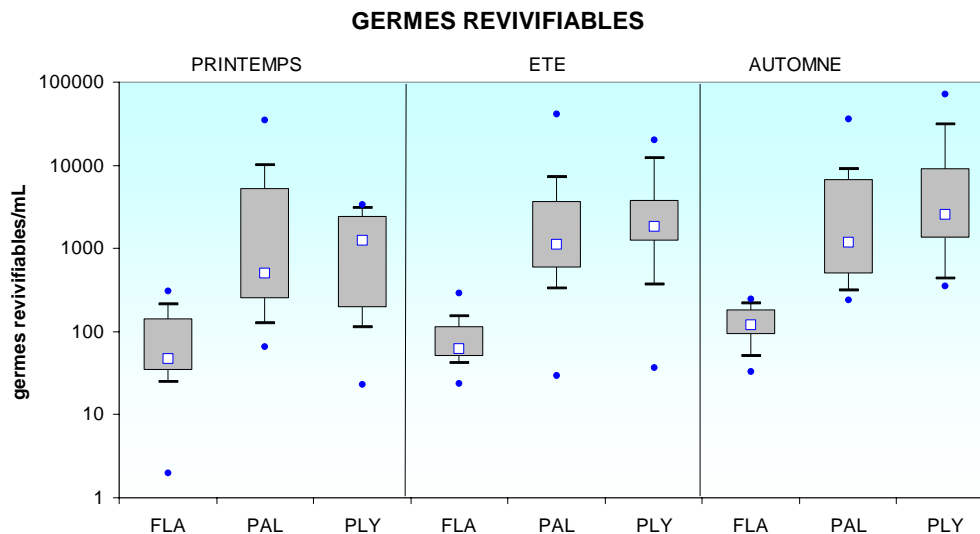


Figure 3.2.10 : Abondances médianes de germes revivifiables obtenues sur les trois centrales nucléaires normandes aux points référence (Paluel et Flamanville) et contrôle (Penly) entre 1992 et 2004

Contrairement aux résultats observés pour les germes totaux (figure 3.2.5), les abondances en germes revivifiables à Flamanville, présentent les plus faibles niveaux des trois centrales normandes (figure 3.2.10). Les abondances observées aux centrales de Paluel et de Penly ont des valeurs similaires (plus forte médiane à Penly) par rapport aux médianes de Flamanville, inférieures d'un facteur *dix* environ et présentant des plus faibles dispersions.

La plus forte abondance en germes totaux conjuguée à la plus faible abondance en germes revivifiables, font que le rapport G.totaux/G.revivifiables à Flamanville, soit 100 fois inférieur à ceux des deux autres centrales.

3.2.4. Vibrions halophiles

Le suivi des vibrions halophiles est effectué avec une attention particulière du fait du potentiel pathogène des souches marines. Cependant, l'évolution du protocole utilisé pour l'identification des vibrions halophiles a changé au fil des années pour devenir plus sélectif. Les résultats obtenus doivent alors être pris avec la plus grande prudence en ce qui concerne une probable tendance évolutive.

L'expérience acquise dans ce domaine, partagé avec les laboratoires départemental de Caen et régional de Rouen, ainsi qu'avec l'Institut Pasteur de Lille, ont permis de mettre en pratique un protocole unique, développé par l'Institut Pasteur, pour l'identification et le dénombrement des vibrions halophiles. Ce nouveau protocole, appliqué dès 2004 sur l'ensemble des centrales nucléaires implantées sur le littoral, permettra d'obtenir des résultats fiables et comparables sur la façade atlantique.

3.2.4.1. Vibrions halophiles avant la mise en service de la centrale (1976-1985)

Sur l'ensemble des campagnes effectuées avant la mise en service de la centrale, seules deux souches de vibrions halophiles ont été identifiées, *Vibrio alginolyticus*, pour la plupart de cas et *V. parahaemolyticus*, une seule fois en juillet 1983 (tableau 3.2.2).

Année	Mois de l'année												Points suivis
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
AVANT FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE													
Étude de projet													
1976				6			8-23	6-21	4-6	3 * 302	3-19	16	301-302 303-304
1977	5-9	2-17	3	14	10-24	16-30	12-29	11-26	21 * 302	20	30 * 302-304	20 * 302-304	301-302 303-304
1978	5-17	7-21 * 302	2	6-20 28	12-30	15 *-29 302							301-302 303-304
Surveillance													
1983						1	4 * 308a		8 * 308a	25 ** 308a			308a
1984		23		5 - 26	9 - 29	12	17			16			308a
1985		18		17		17		29		30		17	308a

* *Vibrio alginolyticus* ** *Vibrio parahaemolyticus*

Tableau 3.2.2 : Dates des campagnes entre 1976 et 1985 pour le compartiment microbiologique. Les chiffres figurant dans les cases représentent le jour du mois où les prélèvements ont été effectués. Entre parenthèses figurent les dates où la présence de vibrions a été observée. L'astérisque indique la souche identifiée. Le nom du point, indiqué sous la date, est celui où la souche a été identifiée.

3.2.4.2. Vibrions halophiles après la mise en service de la centrale (1987-2004)

La souche la plus fréquemment identifiée dans la période 1987-2004 est sans doute *V. alginolyticus* (figure 3.2.11). Suite à son identification, en septembre 1987, sur les trois points d'échantillonnage, il s'en suit une longue période où aucune souche n'est identifiée. Dès l'automne 1992, *V. alginolyticus* est à nouveau observée sur l'ensemble de points, et à partir de 1995, c'est tous les ans, et plus particulièrement en été et automne.

V. parahaemolyticus et *Ph. damsela* sont, quant à eux, observés d'une façon plus sporadique dès 1995, avec une absence totale en 2000 et 2001.

V. fluvialis n'a été observé que 5 fois sur la période 1987-2004, trois fois au point rejet et deux fois au point référence.

V. cholerae n'a été identifié qu'une seule fois en 1995 dans les eaux du canal d'amenée. Cette souche, envoyée à l'Institut Pasteur de Lille, s'est révélée non pathogène.

V. metschnikovii n'a été observée qu'en 1998 au point canal.

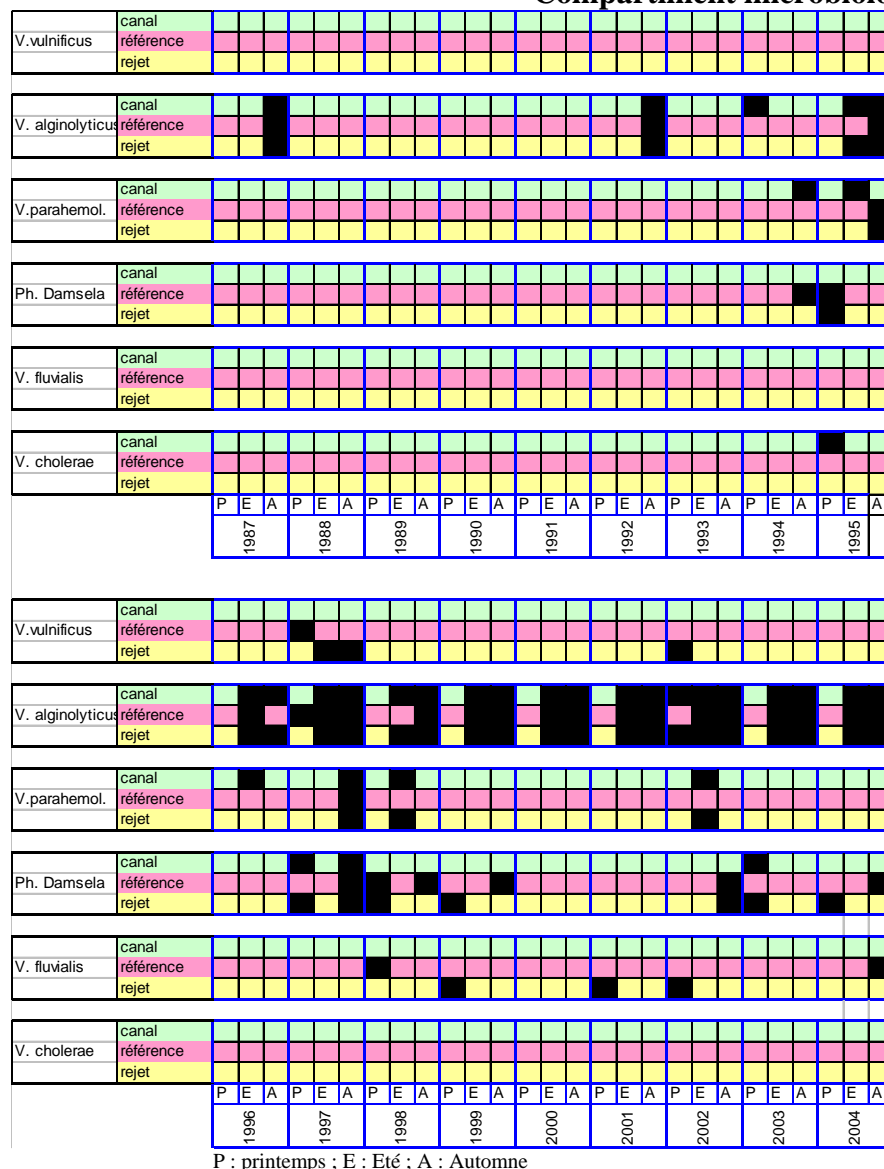


Figure 3.2.11 : Identification des souches de vibrions halophiles par saison et par point de 1987 à 2004

3.2.4.3. Discussion

Des changements dans la méthodologie ont eu lieu lors des premiers essais concernant essentiellement les milieux de culture. Dès 1986, la fréquence dans l'identification des souches de vibrions halophiles avait surpris les experts qui se sont posés la question de la qualité du milieu de culture Akiyama utilisé. La présence de ces souches n'est cependant pas inquiétante car il s'agit des souches autochtones marines. Leur évolution temporelle pourrait suggérer une augmentation dans leur identification, mais les aspects aléatoires des méthodes utilisées nous incitent à une grande prudence, d'autant plus qu'il n'y a pas eu de dénombrement de vibrions. Ce travail a été entrepris dès 2004.

V. alginolyticus est une souche potentiellement pathogène pour l'homme selon l'Institut Pasteur, pouvant provoquer des otites, voire des septicémies.

V. parahaemolyticus, peut être la cause, chez l'homme des gastro-entérites à la suite de l'ingestion de coquillages contaminés.

V. vulnificus a été incriminé aux Etats-Unis dans des décès humains suite à la consommation de coquillages (Oliver, 1995 ; Whitesides et Oliver, 1997).

V. fluvialis et *Ph. damsela* sont des souches pathogènes pour les poissons.

L'identification de *V. cholerae* en 1995 dans le point canal suggère un mauvais fonctionnement de la station d'épuration de la centrale, dont les eaux sont déversées dans le canal d'amenée.

3.2.4.4. Contexte local, régional ou global

Les vibrions halophiles se rencontrent couramment dans les eaux marines et leur activité pathogène pour l'homme a été mise en cause à la suite de simples contacts avec de l'eau de mer dans vingt neuf cas en France entre 1995 et 1998. Il s'agissait dans tous les cas de vibrions non cholériques, parmi lesquels, *Vibrio parahaemolyticus* (31 % des cas), *Vibrio alginolyticus* (24 % des cas), *Vibrio vulnificus* (17 %) et *Vibrio hollisae* (4 %) (Geneste, 1999 ; Miossec, 2002). *Photobacterium damsela*, anciennement appelé *Vibrio damsela* et puis *Listonella damsela* n'est pas connu comme agent pathogène pour l'homme. On peut noter également, qu'en 2003, sur les plages proches du Havre, un baigneur ayant une plaie au pied a été contaminé par *V. vulnificus*.

	Flamanville	Paluel	Penly
<i>V. alginolyticus</i>	62	40	45
<i>V. vulnificus</i>	4	14	9
<i>V. parahaemolyticus</i>	12	4	4

Tableau 3.2.3 : Occurrences des principales souches de vibrions halophiles entre 1992 et 2004 sur les trois centrales nucléaires normandes du bord de mer

Au niveau régional nous pouvons comparer les occurrences des principales souches observées sur les trois centrales normandes (tableau 3.2.3). La dominance de *V. alginolyticus* ne fait pas de doutes dans les eaux côtières de la Manche. La plus fréquente identification de *V. alginolyticus* dans les eaux proches de la centrale de Flamanville par rapport à celles de Paluel et de Penly est probablement la conséquence du milieu de culture, plus adapté, mis au point par le laboratoire départemental de Caen.

3.2.5. Conclusions

L'augmentation de la température de l'eau de mer autour des rejets des centrales de production d'électricité a conduit à suivre l'évolution des peuplements bactériens. Le suivi repose sur le dénombrement optique des germes totaux par comptage en épifluorescence après coloration, des germes revivifiables (pouvant reprendre une activité pathogène si les conditions du milieu leur devenaient favorables) et l'identification des vibrions halophiles.

Le nombre de germes totaux et revivifiables observés avant et après la mise en service de la centrale ne semble pas être significatif compte tenu des problèmes analytiques rencontrés lors de la première phase de l'étude. La température supérieure au point rejet semble avoir une influence sur le nombre de germes totaux, et sur le nombre d'identifications de vibrions halophiles. 41 occurrences ont été dénombrées au point rejet, 34 dans le canal et 33 au point référence. Le facteur température ne semble pas affecter particulièrement le nombre de germes revivifiables.

3.3. Compartiment phytoplanctonique

3.3.1. Introduction

L'étude de l'activité photosynthétique des peuplements phytoplanctoniques complétée par la mesure de la biomasse ainsi que par l'identification et le dénombrement des cellules, permet de suivre l'évolution des peuplements et d'évaluer l'influence des facteurs abiotiques.

L'activité photosynthétique d'une communauté phytoplanctonique dépend autant de la quantité et de la qualité des pigments contenus dans les chloroplastes que de la quantité d'énergie lumineuse reçue. La biomasse du phytoplancton est souvent exprimée en concentration de chlorophylle *a* présente dans l'ensemble des organismes autotrophes. La production primaire met en évidence la vitesse de reproduction des peuplements phytoplanctoniques autotrophes tandis que le paramètre 'abondance cellulaire' permet de caractériser une population phytoplanctonique par le dénombrement et l'identification de ces cellules.

Les prélèvements d'eau en vue de l'étude du phytoplancton ont été réalisés aux mêmes points et niveaux que pour les paramètres physico-chimiques et avec le même matériel (voir chapitre 3.1.1).

3.3.2. Biomasse phytoplanctonique

A chaque point de prélèvement, deux répliqués par bouteille ont été réalisés pour les analyses de chlorophylle *a* (chl_a). Pour la mesure de la production primaire, le nombre d'échantillons a été doublé.

Un échantillon d'un litre environ est filtré aussitôt après le prélèvement sur un filtre en fibre de verre type GF/F Whatman (Aminot et Chaussepied, 1983). La quantité de chlorophylle *a* a été mesurée par la méthode spectrophotométrique monochromatique de Lorenzen (1967) pour les campagnes effectuées de 1984 à 2004, et par la méthode fluorimétrique de 1976 à 1983.

3.3.2.1. Biomasse avant la mise en service de la centrale (1976-1985)

La figure 3.3.1 présente l'évolution de la biomasse phytoplanctonique par sa concentration en chlorophylle *a* dans la période 1976-1985. De janvier à mars nous observons une faible augmentation de la biomasse, celle-ci augmente jusqu'à atteindre le maximum annuel au mois de mai. Il s'ensuit une diminution brutale de sa concentration au mois de juin. Les points 301 à 304, échantillonnés entre 1976 et 1978 suivent une évolution parallèle avec une faible variabilité entre les points d'échantillonnage. Seules les valeurs du point 304, situé plus au sud que la radiale 301-303 se détachent faiblement en février, mars et novembre. La valeur maximale enregistrée a été de 3 µg/L en mai au point 307 et la valeur minimale a été d'environ 0,2 µg/L.

Chlorophylle 1976-1985

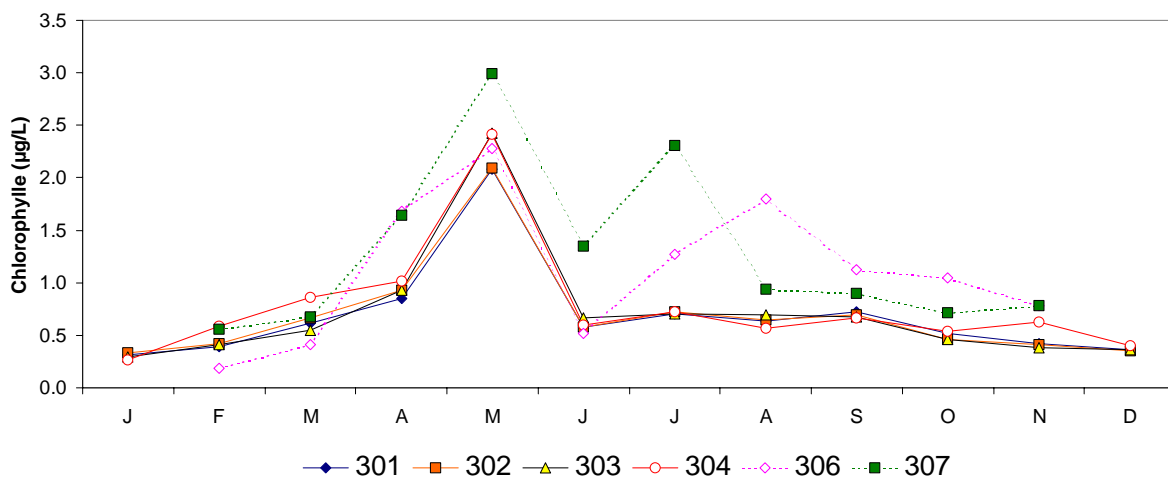


Figure 3.3.1 : Distribution des médianes de la chla dans l'eau de mer par point et par mois pour la période d'études 1976-1985

L'évolution des points de la radiale 306-307 sur la période de 1983 à 1985, présente une allure générale similaire, avec des concentrations en chla plus élevées que celles de la période 1976-1978. Elle met également en évidence une augmentation de la biomasse au mois de juillet au point 307. Le même phénomène est observé au point 306 avec un décalage d'un mois.

Chlorophylla 1976-1985

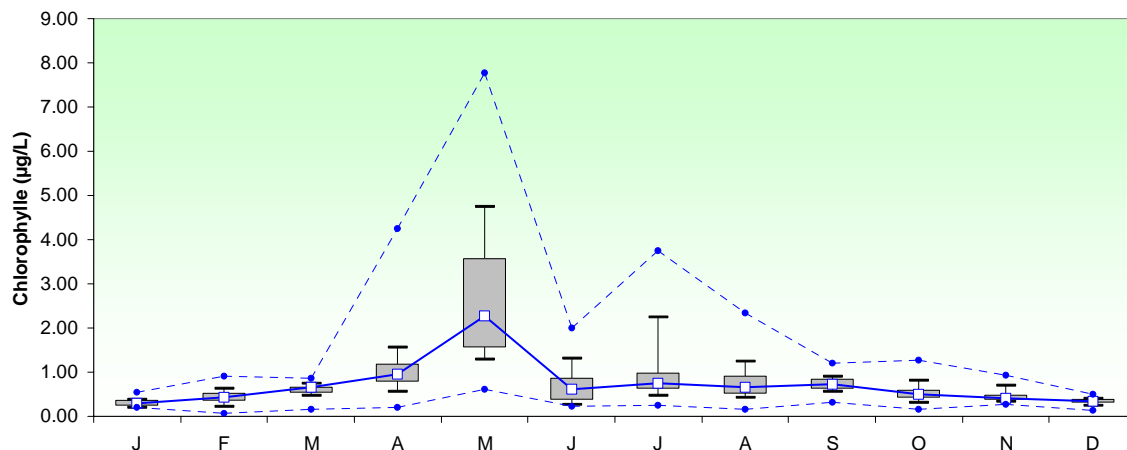


Figure 3.3.2 : Distribution de la médiane de chla dans l'eau de mer, tous points confondus et par mois, sur la période d'études 1976-1985, ainsi que les valeurs maximum et minimum

L'évolution de la médiane générale (figure 3.3.2), tous points confondus, reste similaire à celle observée dans la figure 3.3.1 avec un maximum de biomasse au mois de mai, des faibles valeurs entre juillet et septembre et une diminution aux valeurs hivernales entre octobre et janvier. Les plus fortes dispersions sont observées d'avril à juin, avec un maximum en mai, ce qui suggère des fortes variations inter-annuelles de ce paramètre. La

valeur maximale observée dans la période 1976-1985 atteint 7,8 $\mu\text{g/L}$ au mois de mai. La valeur minimale, proche de 0,1 $\mu\text{g/L}$, est enregistrée en février.

3.3.2.2. Biomasse après la mise en service de la centrale (1987-2004)

Une très faible variabilité est observée entre les médianes des points canal, rejet et référence à l'intérieur de chaque période d'échantillonnage (figure 3.3.3). Aucun gradient clair ne se dégage de l'ensemble des données enregistrées entre 1987 et 2004. Les valeurs intra-annuelles ne présentent pas de forte variabilité non plus et l'ensemble de médianes quelque soit la saison évoluent autour de 1 $\mu\text{g/L}$. Ceci s'explique par le choix de la stratégie d'échantillonnage suivie depuis 1987, qui positionne les campagnes en mars-avril pour le printemps, en juin-juillet pour l'été et au mois de septembre pour l'automne.

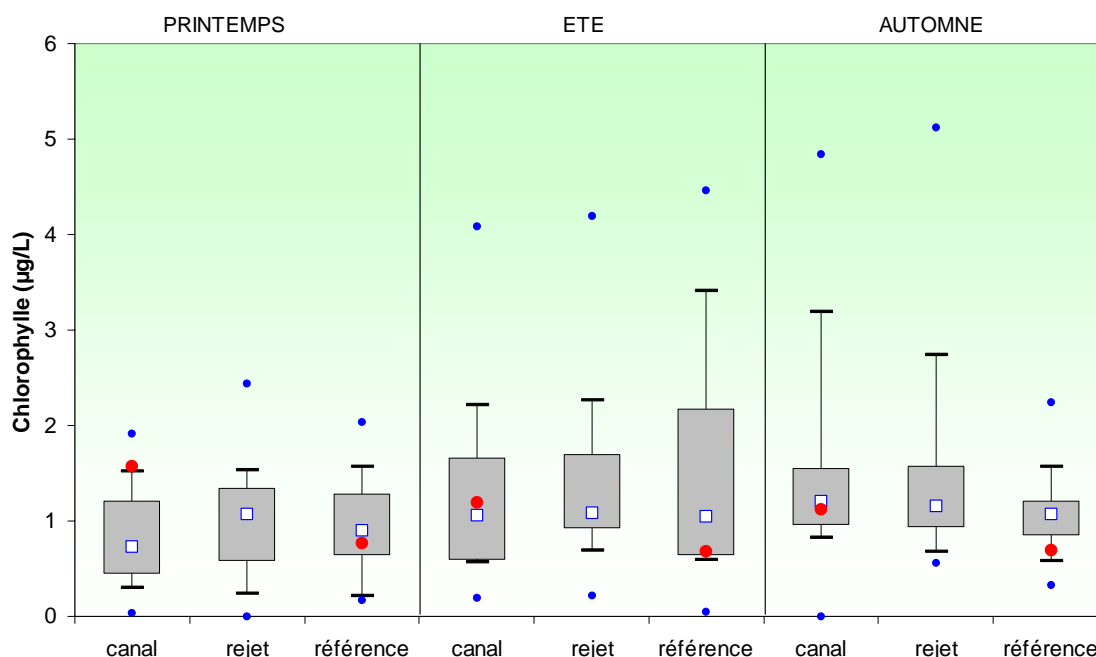


Figure 3.3.3 : Distribution des médianes de la chla dans l'eau de mer sur la période d'études 1987-2004. Les points rouges représentent les valeurs observées dans la période 1976-1985.

La comparaison des médianes de la période avant et après la mise en service de la centrale est présentée dans la figure 3.3.3. Elle met en évidence, pour les trois périodes de l'année, des valeurs du même ordre de grandeur. Les concentrations en chla observées dans la période 1976-1985 au point canal sont égales ou supérieures à celles enregistrées entre 1987 et 2004. Pour le point référence, la situation s'inverse. Ceci suggère un gradient décroissant côte-large de la radiale 306-307 entre 1982 et 1985. Les plus faibles dispersion sont observées au printemps, tandis qu'en été et en automne elles sont similaires. Les concentrations en chla les plus élevées ont été enregistrées en septembre avec des valeurs proches de 5 $\mu\text{g/L}$.

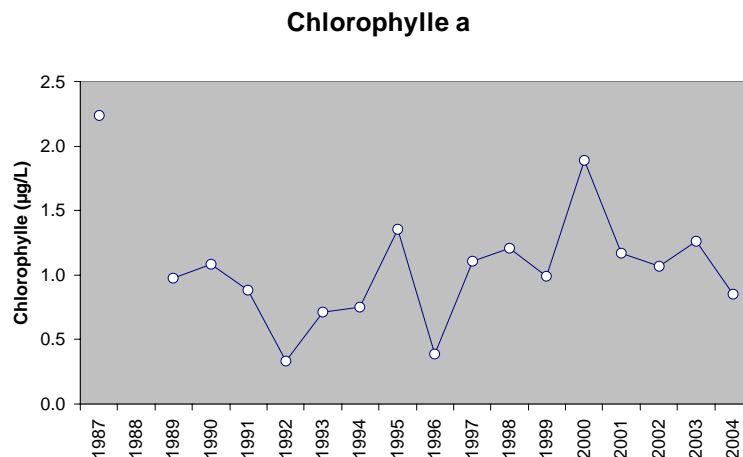


Figure 3.3.4 : Évolution de la chlorophylle au point référence du mois de septembre sur la période 1987-2004

L'évolution de la chlorophylle au point référence au mois de septembre montre une faible croissance sur les seize dernières années avec une tendance décroissante observée depuis 2000 (figure 3.3.4).

3.3.2.3. Discussion

L'évolution de la biomasse phytoplanctonique suit le cycle classiquement décrit dans les mers tempérées, avec une augmentation de la biomasse progressive en fin d'hiver suite à l'augmentation de l'ensoleillement, et des efflorescences qui épuisent les nutriments dès que l'hydrodynamisme le permet. Ainsi le stock hivernal de nutriments est rapidement réduit pour les phosphate, nitrate et silicate. Il s'en suit une période estivale où la biomasse stagne et évolue en équilibre en fonction des apports extérieurs (fleuves) et de la régénération de la matière organique par les bactéries. Des poussées ponctuelles de biomasse sont ainsi observées en été suite à des orages ou à des vents violents en mer. Les espèces présentes en été doivent faire face à une pénurie de nutriments et seulement celles qui sont capables de mieux tirer parti des faibles concentrations se développent. Il existe donc, une succession des espèces phytoplanctoniques tout au long de l'année qui répond à l'évolution des paramètres physico-chimiques dominants.

A l'automne, lors des premiers coups de vent, la masse d'eau du large, stratifiée jusque là, se mélange, permettant l'arrivée des eaux profondes, riches en nutriments vers la surface. Grâce aux courants, ces eaux arrivent dans les zones côtières, favorisant l'apparition des efflorescences automnales, de moindre intensité qu'au printemps. Le faible ensoleillement hivernal entretient une faible activité phytoplanctonique de base qui permet l'accumulation des nutriments dans la colonne d'eau jusqu'au printemps prochain.

Les valeurs des concentrations en chla observées à Flamanville avant et après la mise en service de la centrale sont relativement modestes et mettent encore en évidence le caractère océanique de la masse d'eau qui circule devant la façade ouest du Cotentin.

3.3.2.4. contexte local, régional ou global

Afin de donner un cadre géographique à l'évolution de la chlorophylle dans le secteur proche de la centrale de Flamanville, nous avons utilisé les valeurs enregistrées entre 2001 et 2004 par le réseau national de surveillance phytoplanctonique (REPHY) sur les points

de suivi situés entre Granville et Barfleur et nous les avons comparés aux valeurs observées depuis 1987 au point référence de Flamanville (figure 3.3.5). Le tableau 3.3.1 présente la synthèse des valeurs des concentrations en chlorophylle du réseau REPHY ainsi que leur maximum et minimum.

Chlorophylle REPHY

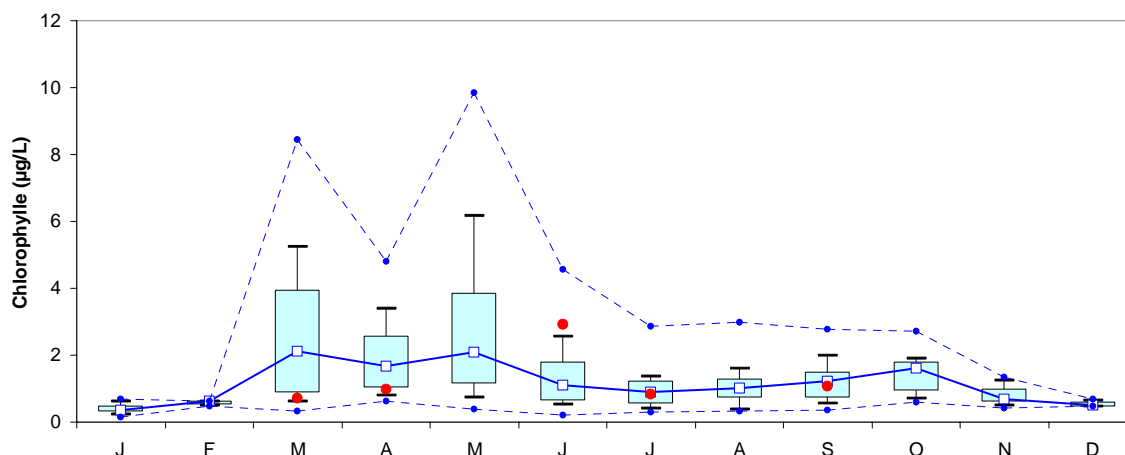


Figure 3.3.5 : Valeurs médianes de chl a et leur dispersion obtenues lors de l'exécution du réseau REPHY entre 2001 et 2004 sur les points d'échantillonnage situés entre Granville et Barfleur (245 valeurs). Les points rouges représentent les valeurs médianes du point référence (1987-2004) aux mêmes périodes

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Médiane	0.37	0.64	2.13	1.66	2.10	1.09	0.90	1.01	1.21	1.60	0.69	0.52
Min	0.16	0.47	0.32	0.64	0.38	0.21	0.29	0.32	0.36	0.59	0.42	0.48
Max	0.70	0.64	8.46	4.81	9.86	4.58	2.88	2.99	2.78	2.72	1.35	0.69

Tableau 3.3.1 : Valeurs médianes de chl a obtenues lors de l'exécution du réseau REPHY entre 2001 et 2004 sur les points d'échantillonnage situés entre Granville et Barfleur (245 valeurs)

L'évolution de la médiane en chl a observée par le réseau REPHY présente une allure similaire à celle de la figure 3.3.2, avec une période productive plus étendue (mars à mai) et un pic automnal plus marqué. Les concentrations maximales atteintes sont de l'ordre de 9 à 10 µg/L. C'est lors de ces trois mois de production intensive que les dispersions de valeurs sont les plus élevées, se réduisant par la suite progressivement jusqu'à atteindre le minimum entre décembre et février. Les valeurs observées au point référence entre 1987 et 2004 se situent à l'intérieur de la plage définie par le réseau REPHY. Aux mois de mai et d'avril les valeurs au point référence se situent en dessous de la médiane du REPHY, suggérant un retard dans le démarrage de l'activité phytoplanctonique du large par rapport à la zone très côtière.

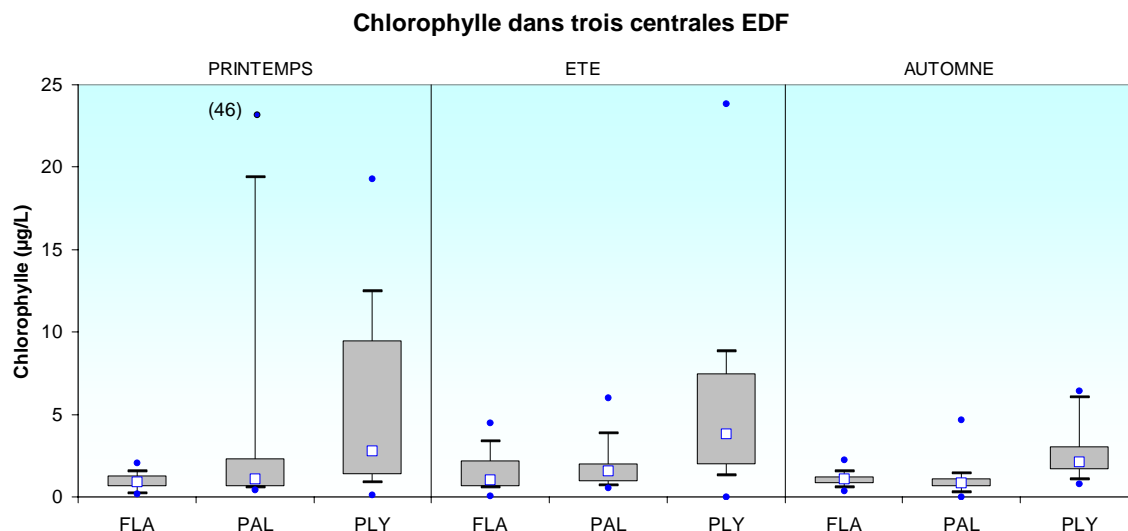


Figure 3.3.6 : Valeurs médianes en chla des points référence des centrales nucléaires de Flamanville et Paluel, et du point contrôle à Penly sur la période 1987-2004

Les médianes de chla observées dans les centrales de Flamanville et de Paluel sont inférieures à celles observées à la centrale de Penly, située à l'est de Dieppe (figure 3.3.6). Bien que les médianes de Flamanville soient comparables à celles de Paluel, les dispersions de cette dernière sont nettement supérieures et présentent une valeur maximale de 46 µg/L, enregistrée au printemps 1993.

En règle générale les concentrations en chla dans l'océan ouvert restent inférieures à 1 µg/L. Au milieu estuarien, elles peuvent atteindre plusieurs dizaines de microgrammes par litre (Aminot et Chaussepied, 1983). Les panaches fluviaux, qui peuvent apporter des nutriments sur plusieurs dizaines de kilomètres en mer, jouent le rôle de fertilisants donnant lieu à des concentrations en chla supérieures à celles du milieu environnant. Lors des campagnes Modycot, menées conjointement entre le SHOM et l'IFREMER (Lampert, 2001) au début du mois de juin 1999 dans le Golfe de Gascogne, les concentrations mises en évidence varient de 0,5 µg/L à plus de 6 µg/L dans les panaches de la Loire et de la Gironde.

3.3.3. Production primaire

La méthode de mesure de la production primaire a été conçue par Steeman Nielsen (1951, 1952) et décrite en détail par Brouardel et Rink (1963). Elle consiste à mesurer la quantité de carbone 14 (^{14}C) proposée sous forme de carbonate de sodium ($\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$) retenue par les organismes d'un échantillon d'eau de mer pendant un laps de temps donné. Une quantité connue de carbonate de sodium marquée au carbone radioactif est introduite dans un échantillon d'eau de mer. Grâce à la photosynthèse, les organismes autotrophes contenus dans l'échantillon assimilent le carbone pour élaborer leur matière organique (croissance, reproduction). Après un temps donné d'exposition à la lumière (incubation), l'échantillon est filtré. L'activité du ^{14}C contenu dans les organismes retenus par le filtre est mesurée et comparée à l'activité du $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ introduit.

La quantité de carbone assimilée par unité de temps varie selon le nombre et l'état physiologique des organismes, la qualité de la lumière (intensité, longueur d'onde) et la constitution physico-chimique de l'eau de mer échantillonnée.

Le ^{14}C mesuré sur le filtre ne correspond pas entièrement au carbone assimilé par photosynthèse. À ce dernier s'ajoute le carbone absorbé par processus physique ou par les bactéries. Pour estimer l'absorption du carbone par des phénomènes autres que la photosynthèse, l'échantillon d'eau est placé dans deux flacons : un à parois transparentes et l'autre à parois obscures. L'inoculation et l'incubation des deux sous-échantillons s'effectuent dans les mêmes conditions. Les résultats présentés correspondent aux incubations des flacons clairs sans corrections.

3.3.3.1. Production primaire avant la mise en service de la centrale (1976-1985)

Les analyses de production primaire lors du projet d'études (1976-1978) n'ont porté que sur les points 302 et 304 ; puis, la radiale 306-307 a été effectuée entre 1983 et 1985. L'évolution des valeurs de production primaire des points 302 et 304 suit celle de la biomasse phytoplanctonique, avec une augmentation de valeurs de janvier à mai, où nous observons le maximum annuel, suivi d'une diminution des valeurs dès le mois de juin (figure 3.3.7). Une plus faible augmentation de valeurs est enregistrée en septembre, ce qui correspond à la période de production automnale. Lors de la période productive printanière, les valeurs du point 304 sont supérieures à celles du point 302. Ce gradient s'inverse dès le mois de juin et se maintient jusqu'à novembre.

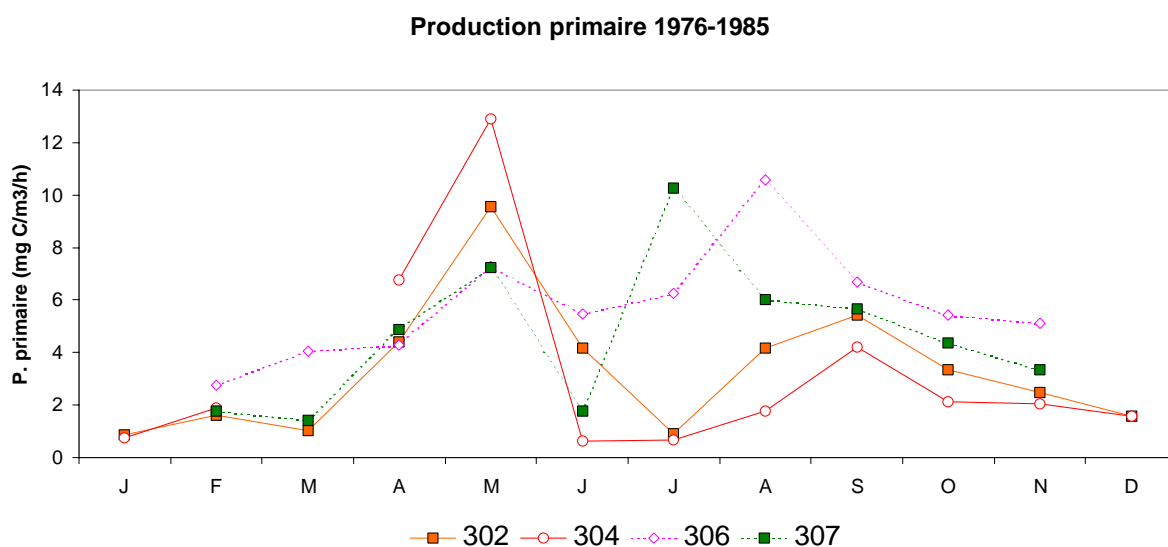


Figure 3.3.7 : Distribution de la production primaire dans l'eau de mer par point et par mois pour la période d'études 1976-1985

Le maximum de juillet observé au point 307, suivi de celui d'août au point 306, présentent la même tendance déjà observée lors de l'étude de la chlorophylle. En règle générale, les valeurs observées au point 306 sont supérieures à celles du point 307, situé plus au large.

La médiane de l'ensemble de données enregistrées entre 1976 et 1985 (figure 3.3.8) montre clairement la période productive qui s'étend du mois de mars au mois de mai, où elle atteint son maximum (environ $10 \text{ mg C/m}^3/\text{h}$). Au mois de juin les valeurs descendent pour rester stables autour de $5 \text{ mg C/m}^3/\text{h}$ jusqu'au mois d'août.

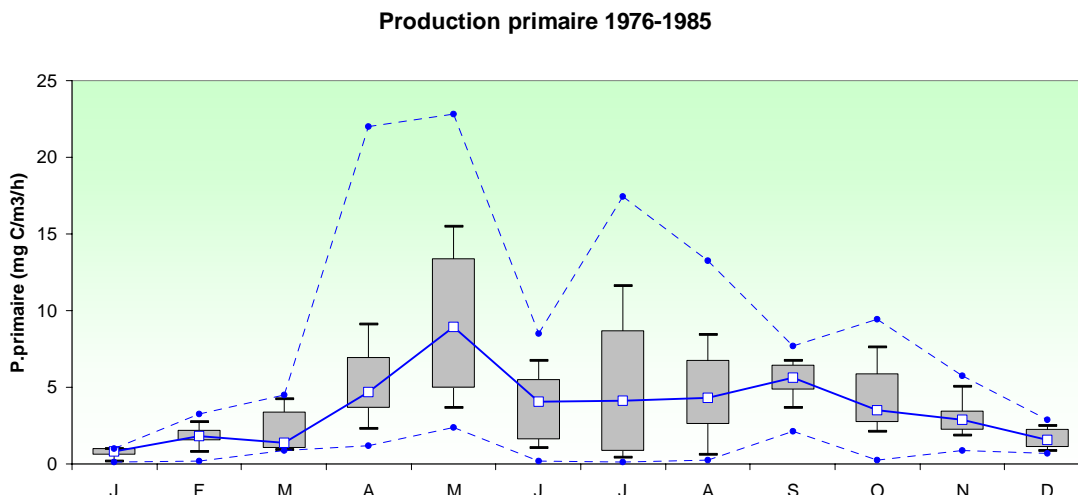


Figure 3.3.8 : Distribution de la médiane de production primaire dans l'eau de mer, tous points confondus et par mois, sur la période d'études 1976-1985, ainsi que les valeurs maximum et minimum

Un faible pic automnal est observé en septembre. Les plus fortes dispersions sont observées au printemps et en automne, avec des valeurs maximum en mai et juillet. Des valeurs minimum de production primaire inférieures au seuil de détection sont enregistrées en janvier et en juillet. Les maximum ont été observés en avril et mai avec des valeurs se situant autour de 23 mg C/m³/h.

3.3.3.2. Production primaire après la mise en service de la centrale (1987-2004)

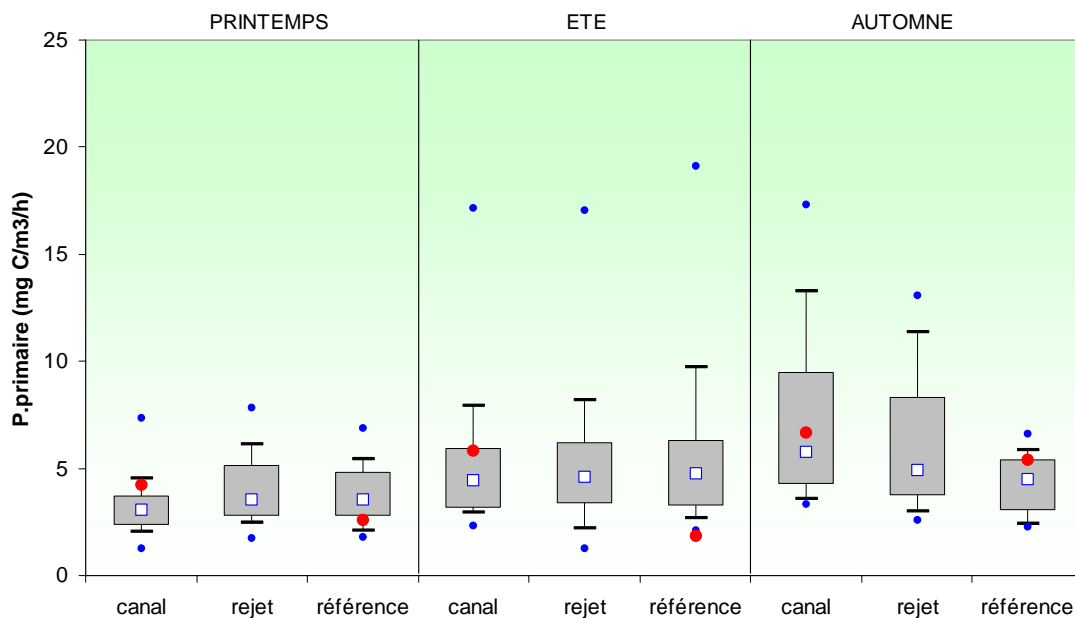


Figure 3.3.9 : Distribution des médianes de la production primaire dans l'eau de mer sur la période d'études 1987-2004. Les points rouges représentent les valeurs observées dans la période 1976-1985

Les médianes de production primaire de la période 1987-2004 sont du même ordre de grandeur que celles de la période 1976-1985. Une augmentation faible, mais régulière, est

observée du printemps vers l'automne (figure 3.3.9). Les plus fortes valeurs automnales correspondent au sursaut de production de septembre, déjà mis en évidence par la biomasse dans la figure 3.3.5.

Au printemps et en été, la variabilité entre les points d'échantillonnage est très faible et ne permet pas de mettre en évidence un gradient clair. En automne un gradient décroissant côte-large est perceptible, suggérant une plus forte dynamique phytoplanctonique dans les eaux abritées du canal d'aménée. Les plus faibles dispersions se situent dans la période printanière et les plus fortes en été. En automne, le point référence présente une faible dispersion comparée à celle observée au point canal.

La comparaison des deux séries suit le même schéma que nous avons déjà décrit pour la chlorophylle, avec des valeurs de la série 1976-1985 supérieures au point canal et inférieures au point référence, à l'exception de la situation observée au mois de septembre.

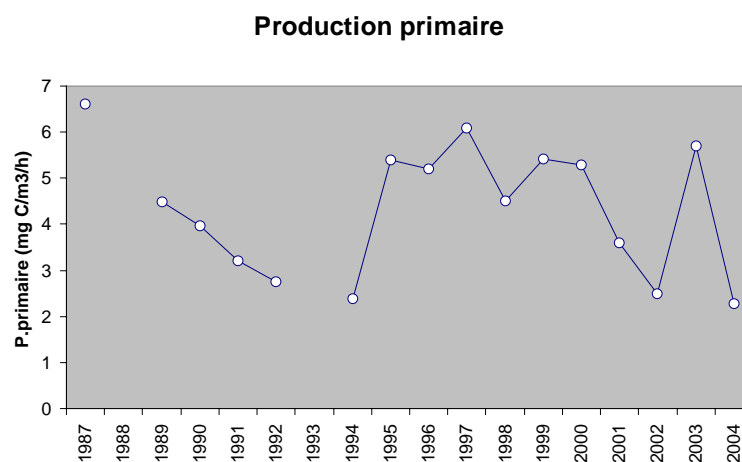


Figure 3.3.10 : Évolution de la production primaire au point référence du mois de septembre sur la période 1987-2004

A l'exception de la valeur observée en 2003, l'évolution de la production primaire au point référence en septembre présente une faible tendance à la baisse à partir de 1987 (figure 3.3.10). Les années 1995 et 2003 ont montré des fortes augmentations par rapport aux années précédentes et en moindre mesure en 1997 et 1999. En 2004, on retrouve des valeurs proches de celles déjà observées en 2002.

3.3.3.3. Discussion

Ce paramètre fournit une information dynamique de l'évolution de la biomasse phytoplanctonique. En effet, si la chlorophylle présente une image instantanée de la biomasse dans un endroit et à un moment T_0 , la production primaire donne une idée de son taux de reproduction, de sa dynamique. Une forte biomasse peut être le fruit d'une accumulation de cellules dans une convergence, ou la conséquence d'un faible taux de broutage par le zooplancton, accompagné d'une faible production de biomasse. Cependant, l'évolution de ces deux paramètres est similaire, ce qui suggère l'action des mêmes facteurs externes dans le contrôle de biomasse et production primaire.

3.3.3.4. Contexte local, régional ou global

Dans le domaine côtier, la production primaire n'est pas un paramètre de routine car c'est un trop fort consommateur de temps et de matériel. Les réseaux locaux et régionaux tel que le REPHY n'utilisent que la biomasse et les abondances cellulaires pour caractériser le compartiment phytoplanctonique. Nous pouvons cependant effectuer des comparaisons entre les valeurs obtenues lors des campagnes de surveillance de trois centrales normandes, Flamanville, Paluel et Penly (figure 3.3.11).

Au printemps, les médianes de production primaire à Flamanville et à Paluel sont du même ordre de grandeur. Celles observées à Penly restent légèrement au-dessus de ces deux dernières. En été nous observons un gradient croissant ouest-est qui se dessine, tandis qu'en automne les valeurs sont homogènes. C'est sur le site de Flamanville que nous trouvons les plus faibles dispersions de valeurs. Au printemps, les plus fortes valeurs de production primaire observées à Flamanville dans la période 1987-2004 ne dépassent pas 10 mg C/m³/h, tandis qu'à Paluel et Penly, elles atteignent 50 mg C/m³/h.

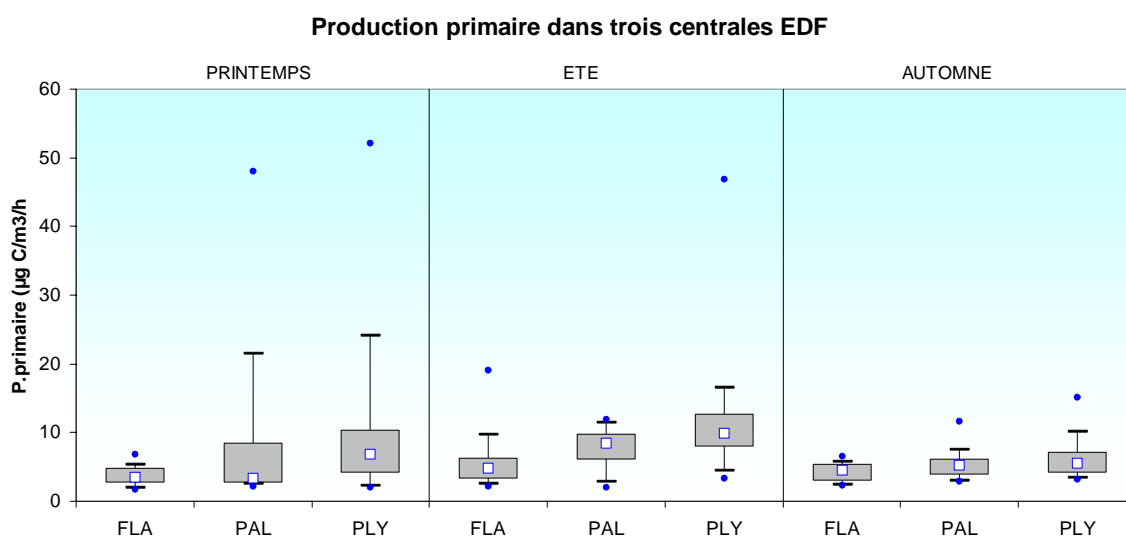


Figure 3.3.11 : Valeurs médianes en production primaire des points référence des centrales nucléaires de Flamanville Paluel et Penly sur la période 1987-2004

3.3.1. Abondances microphytoplanctoniques

Pour les dénombrements phytoplanctoniques, des échantillons de 100 mL sont fixés immédiatement au Lugol acide à bord du bateau. Au laboratoire, des fractions de 10 mL sont mises à décanter dans des cuves pendant 4 heures selon la technique d'Utermöhl (Utermöhl, 1958). L'identification et le comptage des espèces s'effectuent au microscope inversé à contraste de phase. Un minimum de 100 cellules est dénombré afin d'obtenir une précision de $\pm 20\%$ (Lund, 1958).

Lors de l'étude de projet, les dénombrements phytoplanctoniques ont été réalisés sur deux classes de taille, le microphytoplancton (200 à 20 μm) et le nanophytoplancton (20 à 2 μm). Cette pratique a été abandonnée par la suite, lors des campagnes de surveillance, où seul la fraction microphytoplanctonique a été suivie. Le microphytoplancton, plus aisé à identifier au microscope optique, est composé des cellules de grande taille contenant plus de chl *a* que les petites cellules du nanophytoplancton. Cependant, bien souvent il arrive que le nombre de cellules de petite taille compense leur faible contenu en chl *a*, et cette fraction, souvent méconnue, prend toute son importance en terme de biomasse. Il se peut aussi que ce soit la fraction picophytoplanctonique (0,2 à 2 μm) qui devienne majoritaire quand les nutriments sont épuisés et les grandes cellules ne peuvent pas se développer (Lampert, 2001). Ce phénomène est plus particulièrement observé dans les eaux du large où les apports terrigènes et fluviaux deviennent négligeables et la stratification thermique est plus favorable.

3.3.4.1. Abondances avant la mise en service de la centrale (1976-1985)

L'étude des abondances phytoplanctoniques est réalisée sur la base des dénombrements de la fraction microphytoplanctonique des points 301, 302, 303 et 304 échantillonnés en surface entre 1976 et 1978 ; les points 306 et 307 n'étant que faiblement suivis pour ce paramètre.

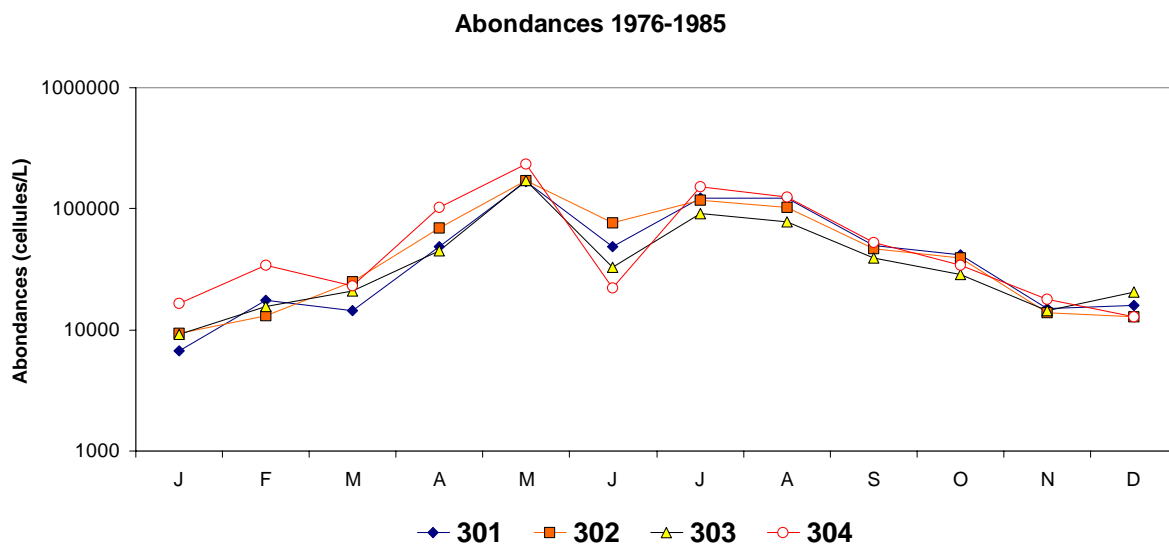


Figure 3.3.12 : Médiannes de l'abondance microphytoplanctonique dans l'eau de mer par point et par mois pour la période d'études 1976-1978

Compartiment phytoplanctonique 112

L'évolution de l'ensemble de points est similaire tout au long de l'année (figure 3.3.12). Elle présente un maximum d'abondance, au mois de mai au point 304 avec 232 000 cellules/L et un minimum, observée au point 301 en janvier, avec 6 700 cellules/L.

Les valeurs d'abondance augmentent de janvier à mai pour atteindre leur maximum annuel. Le mois de juin présente une discontinuité des abondances dans la courbe en forme de cloche et à partir de juillet il s'en suit une diminution régulière jusqu'au mois de novembre. De novembre à décembre les valeurs restent stables autour de 15 000 cellules/L. De juin à novembre un gradient décroissant de faible ampleur côte-large est mis en évidence. Les valeurs du point 304, situé plus au sud que la radiale 301-303, semblent supérieures à celles de la radiale 301-303, sauf au mois de juin et décembre où elles représentent le minimum.

Étant donné la faible variabilité entre les points échantillonnés, la médiane générale de la figure 3.3.13 présente la même allure que celle de la figure 3.3.12. La valeur maximale observée en juin a été d'environ 600 000 cellules/L et les valeurs minimum, proches de 6 000 cellules/L, ont été enregistrées en janvier et novembre. La plus forte dispersion de valeurs (environ 80 000 cellules/L) est située au mois de juin et la plus faible en novembre.

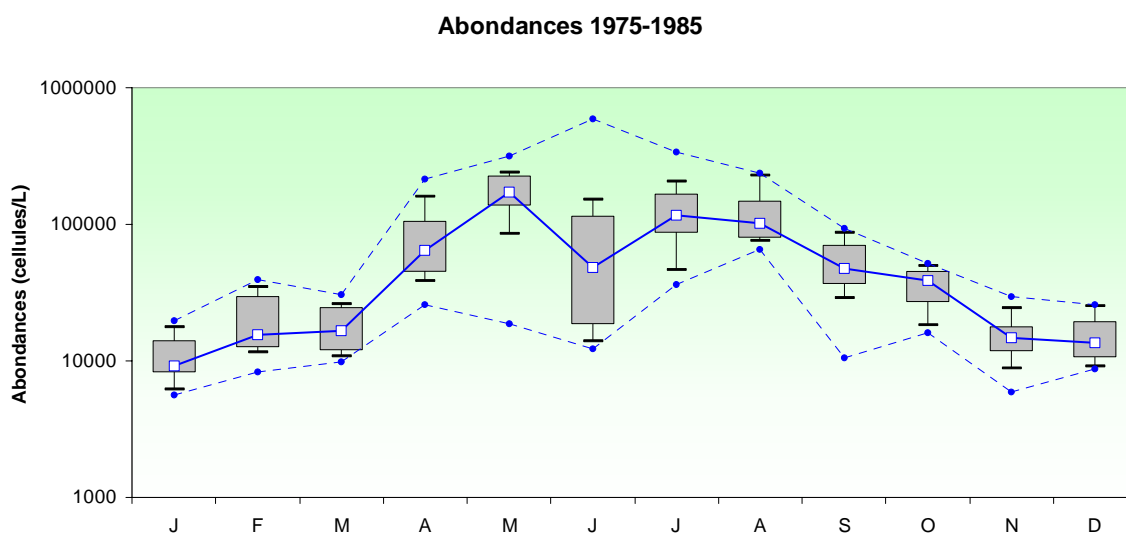


Figure 3.3.13 : Distribution des abondances microphytoplanctoniques médianes dans l'eau de mer, tous points confondus et par mois, sur la période d'études 1976-1985, ainsi que les valeurs maximum et minimum observées

3.3.4.2. Abondances après la mise en service de la centrale (1987-2004)

L'évolution des abondances médianes suit de près celles de la biomasse et de la production primaire, avec des valeurs homogènes sur les trois points au printemps et en été et un gradient décroissant côte-large en automne (figure 3.3.14). La même situation se reproduit pour les dispersions, où les plus faibles valeurs sont trouvées lors de l'exécution des campagnes printanières.

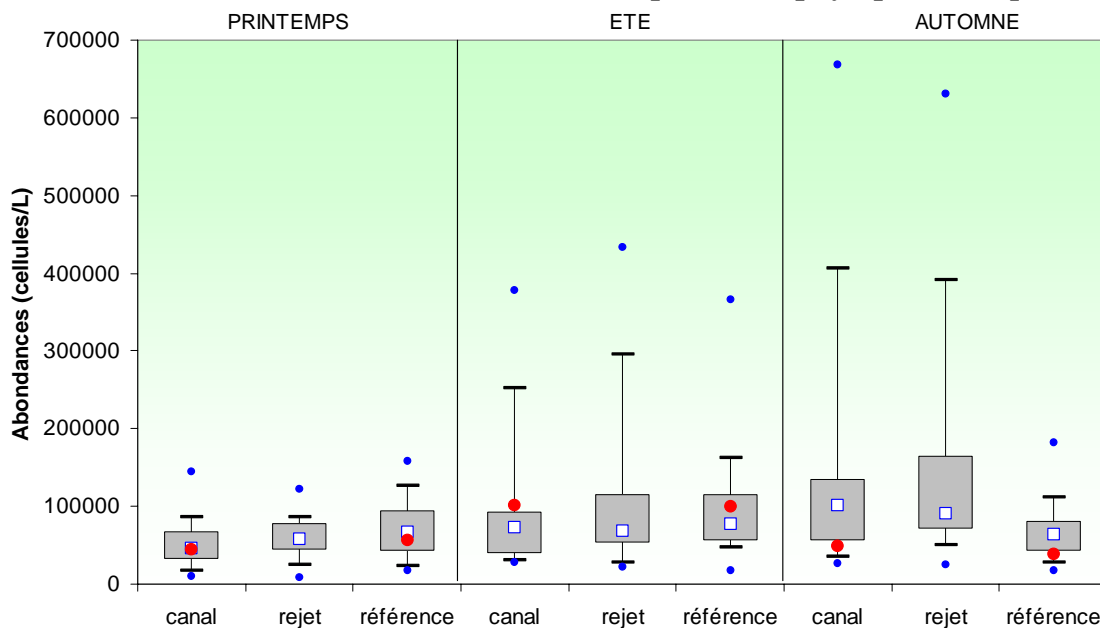


Figure 3.3.14 : Médianes des abondances microphytoplanctoniques dans l'eau de mer sur la période d'études 1987-2004. Les points rouges représentent les valeurs observées dans la période 1976-1978.

Au printemps, les valeurs enregistrées entre 1976 et 1978 se situent près des médianes, au dessus de celles-ci en été, et en dessous en automne. Aucune tendance particulière n'est mise en évidence de l'étude de ces deux séries de valeurs.

La série de valeurs d'abondances microphytoplanctoniques présente une faible tendance à la diminution sur la période 1987-2004 (figure 3.3.15). Les valeurs maximales ont été observées en 1987, 1993, 2000 et 2003. Une forte chute d'abondances est enregistrée en 2004 par rapport à la valeur observée en 2003.

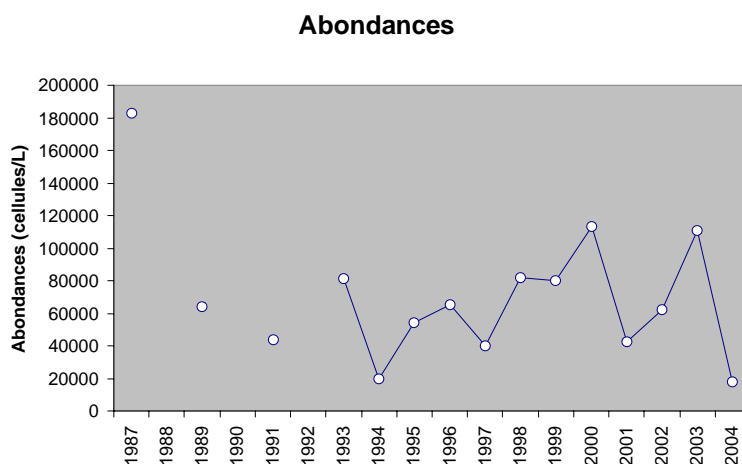


Figure 3.3.15 : Évolution des abondances microphytoplanctoniques au point référence du mois de septembre sur la période 1987-2004

3.3.4.3. Discussion

Les abondances microphytoplanctoniques dépendent en grande partie de l'expérience de l'opérateur et de la qualité de son microscope. C'est un travail long et fastidieux, peu répétable, qui s'ajoute à la forte variabilité liée à l'échantillonnage.

En été, quand les vents sont faibles, il est possible de voir des tâches de couleur sur la surface de la mer en forme de bandes étirées à des distances variant entre quelques mètres et quelques dizaines de mètres. Il s'agit bien souvent des populations phytoplanctoniques en fortes concentrations (parfois en bloom) qui sont dispersées par les vents et par la circulation à faible échelle (cellules de Langmuir par exemple). La validité des conclusions sur toute la zone d'études à partir des données de l'échantillon, sera entachée d'une forte incertitude. Un échantillon pris à quelques mètres ou dizaines de mètres de distance, peut alors, conduire à une interprétation écologique différente.

Même dans un milieu dit 'homogène' d'un point de vue macroscopique, la distribution des cellules phytoplanctoniques ne l'est pas. A la petite échelle (1cm-1m) les organismes vivants se regroupent, ('patches' en anglais) et cette hétérogénéité vient encore compliquer l'inférence de l'échantillon sur la population. Une conséquence de ce phénomène est mise en évidence par les résultats divergents dans les comptages microscopiques effectués avec des cuves de décantation de faible volume (5 mL à 50 mL) issues d'une même bouteille de prélèvements.

Les avantages et inconvénients des dénombrements microscopiques sont :

- Faible reproductibilité : (Des choix de stockage, d'opérateur et de fixation des échantillons différents contribuent à avoir des résultats divergents) ;
- Faible précision : $\pm 20\%$ si 100 cellules du même type sont comptées (Loi de Poisson) ;
- Calcul des biomasses difficile : Le calcul des biovolumes est peu précis car le rapport biovolume/C est variable avec l'espèce ;
- Faible résolution : Le microphytoplancton est bien résolu par le microscope optique, le nanophytoplancton l'est difficilement et le picophytoplancton ne peut pas l'être. La biomasse totale sera alors fortement sous-estimée si elle est composée de cellules picophytoplanctoniques. Dans ce cas, l'utilisation d'un microscope à épifluorescence peut améliorer le dénombrement des cellules autotrophes ;
- Faible représentativité : Les caractéristiques de la population sont inférées à partir de celles de l'échantillon. Dans le cas des comptages effectués dans le milieu côtier, les cuves de décantation ont un faible volume (5, 10 ou 25 mL). Donc les phénomènes d'hétérogénéité du milieu prennent ici toute leur importance ;
- Méthode lente : Pour l'identification et le dénombrement en routine des échantillons d'eau de mer, un opérateur peut compter entre 2 et 4 échantillons par jour ;
- Bonne résolution des espèces : Pour le microphytoplancton, le microscope optique permet d'identifier jusqu'au niveau de l'espèce. Quelques espèces nanophytoplanctoniques peuvent aussi être identifiées si la qualité des optiques utilisées le permet.

L'avantage indiscutable des dénombrements microscopiques est de pouvoir atteindre le niveau du genre, voir parfois l'espèce. Ceci peut devenir indispensable dans le suivi des espèces 'marqueurs' des conditions écologiques ou des espèces nuisibles pour l'activité économique ou la santé humaine.

D'un point de vue faunistique, les successions phytoplanctoniques qui ont lieu dans les eaux de la Manche et le proche Atlantique présentent des variations locales souvent très significatives à cause des raisons évoquées plus haut. Les diatomées sont dominantes à plus de 95 % et les dinoflagellés atteignent parfois des fortes abondances lors des efflorescences ponctuelles et très localisées géographiquement à la fin de l'été.

Depuis 1976 et jusqu'à présent nous avons pu observer une période hivernale où les espèces *Skeletonema costatum*, *Paralia sulcata*, *Thalassiosira sp.* sont souvent dominantes et partagent leur niche écologique avec des espèces plus cosmopolites telles que *Navicula sp.*, *Nitzschia sp.* et *Thalassionema sp.* Le printemps est marqué par des fortes efflorescences qui vont consommer rapidement le stock de nutriments dissous. Les espèces et genres les mieux représentés sont *Rhizosolenia sp.*, avec des efflorescences récurrentes de l'espèce *Rhizosolenia delicatula* (Klein et Sournia, 1987). Nous observons aussi *Pseudonitzschia sp.*, *Skeletonema costatum*, *Leptocylindrus sp.* et *Chaetoceros sp.* En été c'est souvent des cellules de petite taille qui profitent mieux des faibles concentrations en nutriments qui vont se développer, comme *Chaetoceros socialis*, *Chaetoceros sp.*, et quelques rhizosoleniacées.

De très fortes efflorescences de *Phaeocystis pucheti* (prymnésiophycée) ont été observées entre avril et mai avec des abondances dépassant parfois 4 millions de cellules par litre sur la côte ouest du Cotentin.

Les tendances observées au point référence depuis 1987 doivent être prises avec précaution du fait de l'extrême variabilité de ce paramètre et de son évolution dans le temps. La présente stratégie n'étant pas adaptée à définir l'évolution temporelle, nous ne ferons que constater cette tendance. A la lumière des résultats obtenus avant et après la mise en service de la centrale, aucune différence qui pourrait mettre en cause l'activité de la centrale n'est décelable en dehors de la variabilité propre de ce paramètre dans le milieu et des incertitudes liées aux méthodes rattachées.

3.3.4.4. contexte local, régional ou global

Afin de donner un cadre géographique à l'évolution des abondances dans le secteur proche de la centrale de Flamanville, nous avons utilisé les valeurs enregistrées entre 1992 et 2004 par le réseau national de surveillance phytoplanctonique (REPHY) sur les points de suivi situés entre Granville et Barfleur et nous les avons comparés aux valeurs observées depuis 1987 au point référence de Flamanville (figure 3.3.16). Le tableau 3.3.2 présente la synthèse des valeurs des abondances du réseau REPHY ainsi que leur maximum et minimum.

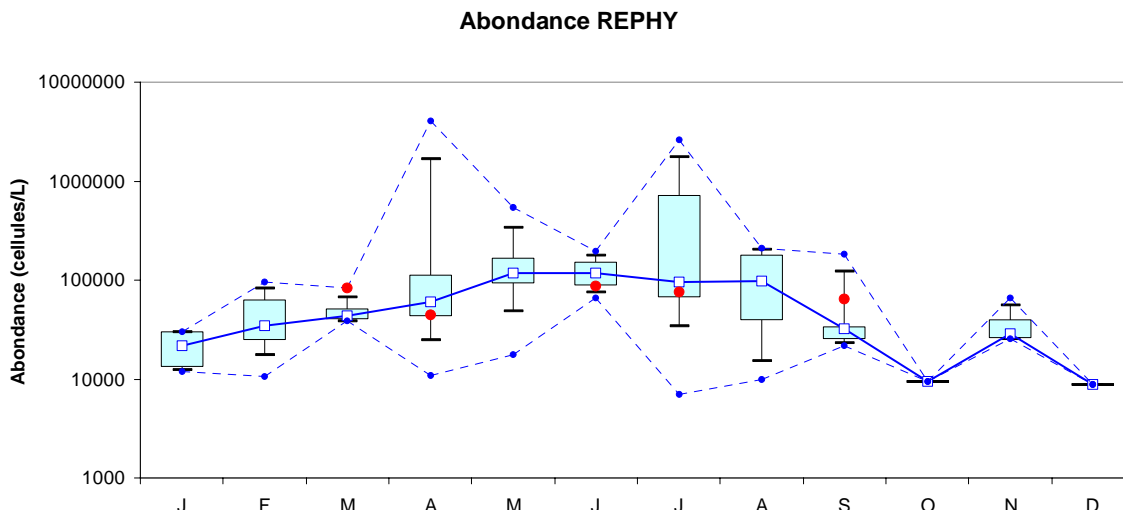


Figure 3.3.16 : Valeurs médianes des abondances et leur dispersion obtenues lors de l'exécution du réseau REPHY entre 1992 et 2004 sur les points d'échantillonnage situés entre Granville et Barfleur (58 valeurs). Les points rouges représentent les valeurs médianes du point référence (1987-2004) aux mêmes périodes

L'évolution de la courbe de médianes des abondances obtenue par le réseau REPHY (1992 à 2004) sur les points de suivi régionaux présente la même allure que celles déjà étudiées dans les deux derniers chapitres (figure 3.3.16). Une augmentation du nombre de cellules est observée entre janvier et mai, avec un plateau maximum situé entre mai et juin. Les abondances diminuent par la suite avec des possibilités d'observer un pic automnal.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Médiane	21950	34100	43950	59600	118300	117200	95900	96650	32000	9400	28500	8800
Min	12000	10500	38600	10800	17700	66000	7000	10000	21800	9400	25400	8800
Max	30300	95000	82900	4053200	541600	195700	2628800	210800	183800	9400	66600	8800
N	4	6	6	7	7	5	6	6	5	1	4	1

Tableau 3.3.2 : Valeurs médianes des abondances obtenues lors de l'exécution du réseau REPHY entre 1992 et 2004 sur les points d'échantillonnage situés entre Granville et Barfleur (58 valeurs).

Les valeurs des abondances enregistrées entre 1987 et 2004 se situent dans la plage de valeurs observées par le réseau REPHY, avec des valeurs supérieures à la médiane en mai et septembre et inférieures en avril, juin et juillet. Les plus fortes dispersions sont observées aux mois d'avril et juillet.

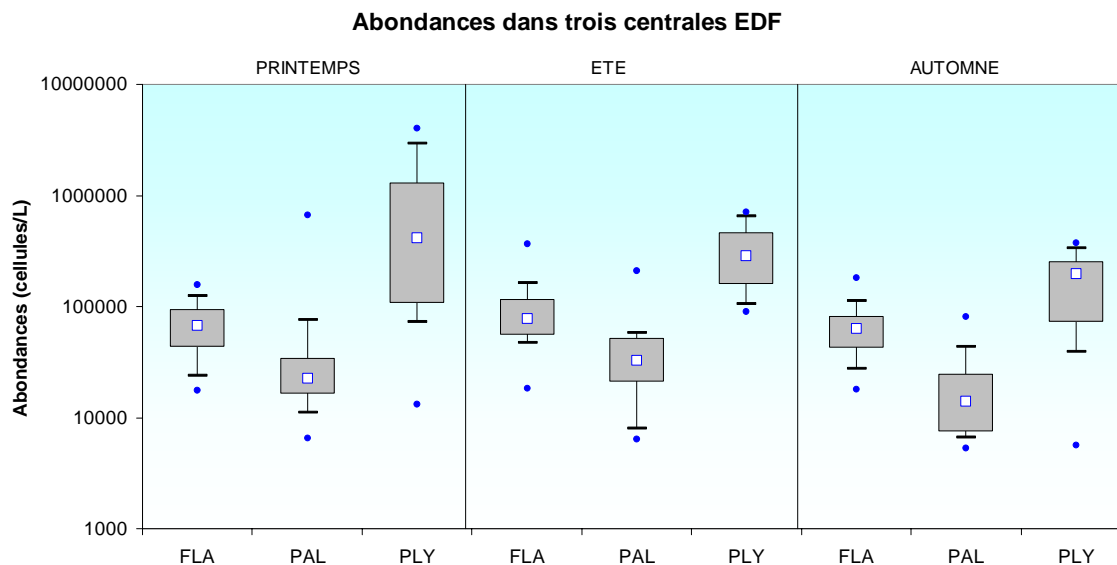


Figure 3.3.17 : Valeurs médianes d'abondances phytoplanctoniques des points référence des centrales nucléaires de Flamanville et Paluel, et du point contrôle à Penly sur la période 1987-2004

La comparaison des médianes d'abondance observées entre 1987 et 2004 à Flamanville avec celles des autres deux centrales nucléaires normandes montre le même schéma sur les trois saisons étudiées (figure 3.3.17). A Paluel nous enregistrons les plus faibles abondances, tandis que les plus élevées sont observées à la centrale de Penly. Les valeurs d'abondance de Flamanville se situent entre ces deux extrêmes. Les dispersions de valeurs sont homogènes à l'exception de la situation observée à Penly au printemps, où la boîte contenant 50 % de valeurs, présente une étendue deux fois supérieure à celles des autres centrales.

3.3.1. Conclusions

Les paramètres suivis dans l'étude du compartiment phytoplanctonique sont : la biomasse chlorophyllienne, la production primaire et les abondances phytoplanctoniques. Le suivi de ce compartiment permet de faire le lien entre les facteurs abiotiques de la colonne d'eau et le compartiment zooplanctonique, qui se situe en aval dans la chaîne alimentaire. Par sa capacité de produire de la matière organique à partir de l'énergie lumineuse et des nutriments minéraux, le phytoplancton est à la base de la pyramide du monde vivant.

Tenant compte de la très forte variabilité de ce paramètre et des incertitudes liées à l'échantillonnage, l'évolution spatio-temporelle des trois paramètres étudiés a été similaire sur les séries des valeurs d'avant et d'après la mise en service de la centrale. Les faibles valeurs hivernales augmentent progressivement pour atteindre le maximum annuel de mai à juin. Il s'en suit une diminution progressive vers le minimum hivernal. Un sursaut automnal est souvent observé sous nos latitudes. Il est lié aux apports de nutriments favorisés par les changements des conditions climatiques en automne.

Les valeurs de biomasse et d'abondances phytoplanctoniques ne sont pas différentes de celles observées couramment dans la zone d'études. De plus, les valeurs observées au point

rejet ne sont pas sensiblement différentes de celles enregistrées aux points canal et référence. Seule la valeur en chlorophylle du rejet au printemps (1987-2004) a été supérieure à celles des points canal et référence, ce qui s'explique plus aisément par la variabilité spatiale, liée au temps de passage de la masse d'eau qui rentre dans le canal d'amenée, reste quelques heures dans le bassin d'amenée, et est pompée et rejetée ensuite. En effet, le canal d'amenée constitue un réservoir d'eau important, ce qui apporte un décalage de quelques heures dans le passage d'une particule d'eau qu'y rentre avant d'être pompée et rejetée en mer.

Les espèces identifiées avant et après les mises en service de la centrale sont les mêmes qui ont été observées par des études locales ou par les réseaux de surveillance de l'IFREMER. Donc, aucun des paramètres du compartiment phytoplanctonique n'a permis de mettre en évidence un déséquilibre du milieu généré par l'activité de la centrale de Flamanville avec les différentes stratégies mises en place.

3.4. ZOOPLANCTON

Situé en Manche occidentale, le site de Flamanville allie les caractéristiques biologiques d'une situation plus méridionale à celles relevant de sa situation de zone de confluence des eaux de Manche et de l'Atlantique soumise à l'influence océanique. À la première composante en filiation avec les gradients biogéographiques de Manche et modifiant les dominances spécifiques, s'ajoute ainsi une deuxième composante amenant de nouvelles espèces. Enfin, il faut y ajouter la part due au substrat rocheux du cap de Flamanville en alternance avec des fonds sableux. Si les deux premières composantes se manifestent plutôt dans le compartiment holoplanctonique (plancton permanent), la troisième s'exprime essentiellement dans le compartiment méroplanctonique (plancton temporaire), encore qu'il faille tempérer cette dichotomie simpliste par la répartition géographique des producteurs benthiques ou nectoniques d'œufs et de larves ou encore de phases planctoniques sexuées libres (cnidaires).

C'est cette résultante complexe qui dessine les traits originaux du site de Flamanville, caractérisé globalement par une biodiversité supérieure à celle des autres sites de Manche et de mer du Nord, ce qui résulte de son caractère océanique, avec globalement des abondances moindres, du moins pour certaines espèces.

Les résultats obtenus à Flamanville seront souvent comparés à ceux de cinq autres sites, du sud au nord : Plogoff (nord du golfe de Gascogne), Golfe normand-breton que nous appellerons de manière abrégée 'GNB' (Manche-ouest, au sud et au large de Flamanville), Paluel (Manche-est), Penly (Manche-est) et enfin Gravelines (sud de la mer du Nord). Pour éviter les répétitions fastidieuses, nous nous contenterons de citer les sites par leur nom sans préciser à chaque fois leur localisation.

3.4.1. MÉTHODOLOGIE

Échantillonnage

Domaine pélagique

Le volet 'Écologie pélagique' de l'étude du site est orienté vers l'étude du compartiment zooplanctonique en général et vise surtout la récolte du mésozooplancton (tailles autour du mm) à la fois dans sa composante holoplanctonique liée plutôt aux caractéristiques hydrologiques et dans sa composante méroplanctonique liée de surcroît, au moins pour certains taxons, aux caractéristiques du substrat.

Période

On distingue trois grandes périodes d'échantillonnage dans l'étude du domaine pélagique à visée écologique :

- l'étude de projet, s'étendant sur deux cycles annuels, le premier allant de juin 1976 à juin 1977, le second de juin 1977 à juin 1978, que nous appellerons dorénavant respectivement 'Projet 1^{er} cycle' et 'Projet 2^e cycle'. Cette période fut caractérisée par un grand nombre de points et de taxons (si possible l'ensemble de la faune accessible aux prélèvements) échantillonnés, comportant souvent plusieurs stations, et quelques-uns comportant plusieurs prélèvements réalisés les uns au filet de 200 µm, les autres au filet de 80 µm destiné à l'étude des stades larvaire de crustacés copépodes ;

- l'étude de surveillance première phase ('Surveillance 1'), entreprise en 1984, deux ans avant la mise en service de la centrale et qui s'est étendue jusqu'en 1994. Cette phase est caractérisée par la réduction drastique du nombre de taxons suivis qui passe de plus d'une centaine (140 environ) à moins d'une quarantaine qui sont les taxons cibles représentatifs du site. À partir de 1987 et jusqu'en 1993 inclus, les dénombrements de taxons n'étaient plus réalisés qu'une année sur deux, alternant avec de simples mesures de biomasses ; ainsi, en 1988, 1990 et 1992, nous ne disposons pas de résultats de dénombrement ;
- l'étude de surveillance deuxième phase ('Surveillance 2'), entreprise en 1995, prenant ainsi le relais de la Surveillance 1 mais sans changement important dans les taxons suivis. Cette phase est encore en cours aujourd'hui.
- Nous serons amenés quelquefois à comparer deux périodes principales s'étendant respectivement avant et après la mise en service de la centrale. La première comprend l'étude de Projet et les deux premières années de la phase de Surveillance I et sera dénommée ci-après 'période Avant', la seconde s'étendant de 1986 à 2004 inclus et sera dénommée 'période Après'.

Engin

L'échantillonnage est réalisé en traits verticaux au filet WP2 ('*Working Party 2*') gréé avec des filets de 200 µm de maillage. au cours de la phase de Projet, certains échantillons ont été réalisés avec un filet de 80 µm dédié à l'étude des stades larvaire de crustacés copépodes.

Domaine halieutique

Le volet halieutique de l'étude du site comprend une partie 'zooplancton' lié aux ressources, essentiellement les œufs et larves planctoniques de poissons ainsi que les larves de crustacés décapodes, tous contribuant à enrichir le méroplancton.

En plus des phases planctoniques d'espèces halieutiques, cette partie s'intéresse traditionnellement à d'autres taxons holo et méroplanctoniques présents en même temps dans les échantillons afin de compléter l'étude écologique par la composante méso et macro planctonique (individus de plusieurs cm de taille). C'est de cette partie 'zooplancton halieutique' que nous traiterons ici.

Période

Tout comme pour l'étude écologique, le volet 'zooplancton halieutique' comprend plusieurs périodes successives :

- l'étude de Projet, s'étendant d'avril 1977 à septembre 1979 (recouvre 3 saisons printemps-été. Elle se caractérise par un grand nombre de taxons échantillonnés. Comme on le voit, elle a commencé un an après la phase de Projet de la partie 'Pélagique', mais s'étale également sur 2 cycles annuels consécutifs.
- L'étude de surveillance, commencée en 1983 (un an plus tôt que l'étude de surveillance 'Pélagique'), comportant elle aussi deux parties : une première phase s'étendant jusqu'en 1985 inclus, avec le même spectre de taxons suivis ; une seconde phase, à partir de 1986, focalisée exclusivement sur les larves de homard et d'araignée de mer.

Engin

Pour le volet 'zooplanctologie halieutique', nous utilisons l'échantillonneur 'Bongo' grand modèle, constitué de 2 filets cylindro-coniques de 3 m de longueur, de 0,5 mm (500 µm) de maillage et de 61 cm de diamètre d'ouverture, montés sur une armature métallique. Pour la phase de surveillance, cet engin a été conservé pour la récolte des larves d'araignées, mais il a été doublé d'un échantillonneur 'Neuston' à ouverture rectangulaire de 1 m², muni de flotteurs et d'un filet de 1 mm de maille et destiné à la pêche des larves de homard, lesquelles se tiennent essentiellement en surface le jour (pour les détails, voir annexe Chapitre V).

Comparaison inter-sites

Pour la comparaison inter-sites, nous avons utilisé les résultats de zooplancton obtenus dans l'étude du domaine halieutique (échantillonnage au filet Bongo) qui sont pour beaucoup de taxons très voisins de ceux du domaine Pélagique, et en tous cas comparables entre eux. Les effectifs moyens calculés représentent la moyenne des échantillons positifs ; en toute rigueur, on aurait du tenir compte des effectifs nuls lorsque l'espèce n'a pas été rencontrée. Néanmoins, les moyennes ainsi comparées reflètent assez bien les différences entre les sites.

Enfin, un certain nombre de taxons n'ont pas été suivis au-delà de 1986, certains même n'ont été dénombrés qu'au cours de l'étude de Projet, d'autres au cours d'une période encore plus restreinte. S'ils ne peuvent participer à la comparaison 'Avant'- 'Après', ils participent néanmoins à l'appréciation générale portée sur le site et contribuent utilement à l'analyse des résultats.

Comparaison 'dedans-dehors'

Dans la présente étude, nous n'avons pas distingué les points de prélèvement renonçant volontairement, du moins pour cette fraction du zooplancton, à la comparaison 'dedans-dehors' (par rapport à la tache thermique). En effet, si une telle stratégie demeure pleinement justifiée pour des organismes microscopiques du phytoplancton et du microzooplancton, pour lesquels l'impact est rapidement mesurable au niveau des effectifs, il n'en est pas de même pour ceux du méso et du macrozooplancton plus résistant et dont le temps de réaction est plus important ; ces derniers organismes, peu affectés numériquement, ont de surcroît tout loisir de se mélanger avec les éléments allogènes apportés par les courants (advection), d'autant plus que le fort hydrodynamisme de Flamanville entraîne un brassage relativement important. Ceci rend délicate, bien plus que pour les mesures hydrobiologiques, toute comparaison de points proches du fait de la variabilité de l'échantillonnage.

L'observation en site 'fixe' permet en revanche d'intégrer les variations – naturelles ou non – considérées à l'échelle d'un secteur plus vaste, selon un point de vue Eulérien. Nous avons donc privilégié l'analyse des variations temporelles, saisonnières et annuelles, en considérant les prélèvements réalisés aux différents points comme autant de repliquats d'échantillonnage.

3.4.2. RÉSULTATS

3.4.2.1. Cnidaires

L'embranchement des cnidaires est essentiellement représenté d'une part par de grandes méduses holoplanctoniques (scyphoméduses), d'autre part et surtout par des 'hydroméduses' en majorité de petite taille (quelques millimètres à quelques centimètres), phase sexuée libre d'hydrozoaires. À Flamanville elles sont présentes une grande partie de l'année, plus abondantes cependant à la fin du printemps et en été où elles atteignent quelques individus par m³ (Fig. 3.4.1). Comparé aux autres sites de Manche, le site de Flamanville se distingue par une diversité plus grande dans ce groupe (on y recense une vingtaine de taxons), ce qui rejoint une caractéristique biogéographique générale

Globalement, tous taxons confondus, les méduses de cnidaires sont plus abondantes au cours de la période 'Après' qu'au cours de la période 'Avant' (Fig. 3.4.2). D'un rôle trophique négligeable, les cnidaires sont principalement des prédateurs et des compétiteurs pour les autres organismes pélagiques.

Hybocodon prolifer

Parmi les méduses d'hydrozoaires (hydroméduses) on note essentiellement les méduses de l'espèce *Hybocodon prolifer* (Tubulariidae), petite méduse (de taille inférieure à 1 mm), présente dans toute la Manche, dont l'aire de répartition s'étend du sud de l'Atlantique jusque dans les zones arctiques. C'est ce qu'on pourrait appeler une 'espèce d'eaux froides', au cycle restreint par la température dans les zones tempérées, qui se reproduit à la fin de l'hiver et au printemps par bourgeonnement asexué entre 9 et 11°, puis par reproduction sexuée (par œufs et actinules) lorsque la saison s'avance. On observe une diminution des effectifs puis une quasi-disparition dès que la température de l'eau dépasse 13-14° (vers fin mai et début juin). *H. prolifer* est une espèce typique du premier semestre ; elle apparaît lorsque la température est encore basse et disparaît quasi-complètement des effectifs à partir de juillet (Fig. 3.4.3).

À Flamanville, cette espèce a été d'abord échantillonnée en Projet 2° cycle, puis de manière constante depuis 1984. Alors que les effectifs étaient de quelques individus par 10 m³ lors des deux premières périodes mentionnées, ils s'élèvent d'un facteur 2 ou 3 en moyenne après 1984 avec des pics de quelques dizaines à 150 ind. par 10 m³ (Fig. 3.4.4). Ce résultat est intéressant dans la mesure où *H. prolifer*, espèce d'eaux tempérées froides, présente des effectifs supérieurs au cours de la période 'Après'.

Sarsia

Contrairement aux *Hybocodon*, les méduses du genre *Sarsia* (*S. gemmifera*, *S. eximia* et *S. prolifera*), autres hydroméduses, sont typiquement estivales (Fig. 3.4.5). Elles n'ont été échantillonnées qu'au cours de l'étude de Projet (quelques individus par 10 m³), de sorte qu'on ne peut pas faire de comparaison 'avant-après'.

Obelia

Les méduses du genre *Obelia* sont plus abondantes (de quelques individus à plus de 10 ou 20 par 10 m³) et régulières dans le plancton de Flamanville. On les rencontre de mars à octobre (Fig. 3.4.6). Elles ont été échantillonnées au cours de l'étude de Projet ainsi qu'à partir de 1997 où l'on relève des abondances plus importantes d'un facteur 10 avec un pic en 2003 de plus de 700 ind. par 10m³ (Fig. 3.4.7).

Phialidium hemisphaericum

C'est l'hydroméduse la plus abondante de juillet à octobre (ses *éphyrules*, jeunes stades, sont émis en hiver). Ses effectifs sont sensiblement du même ordre que ceux d'*Obelia* mais on ne la rencontre qu'à partir de mai (Fig. 3.4.8). L'espèce a été identifiée au cours de l'étude de Projet puis à nouveau de manière irrégulière en 1984 et 1985 où ses effectifs étaient légèrement inférieurs du fait sans doute d'un artefact, l'échantillonnage n'ayant pas eu lieu au moment du maximum. Par ailleurs, cette grande espèce manifeste sans doute des comportements d'évitement par rapport au filet de 200 μm dont la maille, relativement petite, est susceptible de provoquer un certain refoulement.

Autres espèces

Parmi les autres espèces identifiées à Flamanville, on rencontre les autres tubulariidae *Ectopleura dumortieri* (0,20 ind. par 10m³) et *Steenstrupia nutans* (0,20 à 0,70), identifiés tous deux au cours du 2^e cycle de l'étude de Projet, l'hydroméduse *Corymorpha nutans* (Projet 1^{er} cycle) vivant dans des fonds de 5 à 25 m sur substrats sablo-graveleux, les méduses *Agastra mira* et *Phialella quadrata*, de présence estivale et automnale (Projet 2^e cycle), *Eucheilota maculata* (identifiée au cours du Projet 1^{er} cycle, puis à nouveau à partir de 2002 ; en 2004, ses effectifs atteignaient 60 ind. par 10m³), *Dipurena halterata* (0,10 à 2,70 ind. par 10m³, étude de Projet) et *D. ophiogaster* (0,10, Projet 2^e cycle).

Le siphonophore *Muggiaea atlantica*, essentiellement estival et automnal a été identifié en 1976 et 1977.

3.4.2.2. Cténaires

Les cténaires sont constitués pour l'essentiel par l'espèce *Pleurobrachia pileus* ('groseille de mer') répandue partout en Manche. Environ 10 fois moins abondante que dans le sud de la mer du Nord où elle constitue un risque sérieux de colmatage des grilles de filtration, elle atteint cependant à Flamanville des densités de quelques individus à plus d'une dizaine par 10 m³ au moment du pic du mois de juin, début juillet (Fig. 3.4.9). En-dehors de cette période, les effectifs demeurent inférieurs à 10 individus par 10 m³ voire moins. Les densités demeurent stables et il ne semble pas y avoir de différence significative entre les deux périodes, 'Avant' et 'Après' (Fig. 3.4.10). Compte tenu du maillage du filet et du faible volume d'eau filtrée, les résultats obtenus dans la partie 'Pélagique' concernent essentiellement les formes juvéniles, plus petites, alors que le filet 'Bongo' utilisé dans la partie 'halieutique' pêche davantage les formes adultes. Les abondances pour les deux modes de prélèvement sont très comparables.

Variabilité inter-sites

Comparé aux autres sites, on observe un gradient d'abondance très net et régulier du nord du golfe de Gascogne (Plogoff) à la mer du Nord (Gravelines) en passant par la Manche-ouest (Golfe Normand-breton et Flamanville) et la Manche-est (Paluel et Penly). Les effectifs moyens à Gravelines atteignent la centaine par 10 m³ (Fig. 3.4.11).

3.4.2.3. Annélides

La plupart des annélides sont benthiques, sédentaires ou errantes. À l'état adulte, ces vers peuplent les zones sub-tidales au droit du cap de Flamanville mais surtout des anses de Sciottot et de Surtainville situées de part et d'autre. Beaucoup d'annélides benthiques émettent des larves planctoniques lors du réchauffement printanier qui agit sur la maturation des adultes. Celles-ci constituent une part importante du plancton temporaire (méroplancton) et sont présentes la majeure partie de l'année (Fig. 3.4.12).

Globalement, les effectifs de larves d'annélides, toutes espèces confondues ne présentent pas de différence quantitative très marquée entre les périodes 'Avant' et 'Après', si ce n'est à partir de l'année 2002 ; plus précisément, et à l'instar d'autres groupes zooplanctoniques, on remarque une plus grande variabilité temporelle, avec des maxima plus élevés mais aussi des périodes de 'récession' comme autour des années 1996-99 (Fig. 3.4.13).

Les formes holoplanctoniques (tomoptéridés notamment) sont peu nombreuses chez les annélides. Néanmoins, lors de l'étude de projet, nous avons pu identifier l'espèce *Tomopteris helgolandica* dont la présence est surtout estivale.

Sur la vingtaine d'espèces d'annélides relevés à Flamanville, 50 % appartiennent à la famille des spionidés dont les variations pluriannuelles reflètent en les amplifiant la variabilité habituellement constatée pour les annélides (Fig. 3.4.14). Alors que le genre *Spio* marquait une nette régression au démarrage de la Surveillance I par rapport à la période de Projet (surtout le pic de plusieurs dizaines d'individus par 10 m³ observé en 1978), les spionidés montrent globalement (toutes espèces confondues) une augmentation de leurs effectifs entre la période 'Avant' et la période 'Après'. Les densités passent ainsi de quelques unités par 10 m³ à quelques dizaines voire centaines, sans que l'on puisse invoquer un artefact du à l'éclatement des résultats par taxon pour la première période alors qu'on tient ne compte que du cumul des espèces pour la seconde ; si les résultats avaient été cumulés pour la période 'Avant' également, cela n'aurait pas fondamentalement changé le tableau, chaque taxon ne contribuant qu'à hauteur de quelques unités aux densités totales, à l'exception de *Spio*.

Les spionidés, *Spio*, *Pygospio*, *Polydora*, *Malacoceros* et *Scolelepis* constituent un contingent d'espèces parmi les plus originaux à Flamanville ; ils sont en effet beaucoup plus abondants qu'en Manche orientale. C'est pourquoi ce groupe fait l'objet d'un suivi (bien qu'il comprend des espèces plutôt hivernales comme celles des genres *Malacoceros* et *Scolelepis* (qui ont été groupées sur la figure 3.4.15). ou printanières comme *Spio* (Fig. 3.4.16) voire estivales comme *Polydora ciliata* (Fig. 3.4.17). ou *Pygospio elegans*, espèce thermophile identifié au cours du 2^e cycle de l'étude de Projet.

Le genre *Nephtys* constitue, avec *Spio*, le groupe le plus original à Flamanville ; il est en effet plus abondant que sur les sites de Manche orientale. C'est un taxon printanier (Fig. 3.4.18).

L'annélide tubicole *Lanice conchylega* est intéressante dans la mesure où elle est suivie sur l'ensemble des sites. Espèce des substrats sableux et sablo-vaseux, on la rencontre dans l'ensemble de la Manche (voir ci-dessous). À Flamanville, ses larves sont présentes une grande partie de l'année avec une dominance au printemps (Fig. 3.4.19). Bien que plus modeste, l'augmentation de ses effectifs est également nette entre la période 'Avant' et 'Après' (Fig. 3.4.20). Les larves d'annélides

constituent une part appréciable de la nourriture des larves de poissons plats, en particulier *Lanice conchylega* et *Nephtys*.

Variabilité inter-sites

Les larves d'annélides sont globalement moins abondantes que sur les sites de Manche orientale et du sud de la mer du Nord. À Flamanville comme sur les autres sites de Manche et de mer du Nord, l'espèce majoritaire est encore *Lanice conchilega*, ver tubicole des substrats sablo-vaseux.

Ce sont ces zones sablo-vaseuses qui fournissent les gros contingents de larves *Lanice* dont les adultes vivent enfouis dans le substrat et dont les larves sont abondantes en avril-mai. On observe là encore un gradient d'abondance très net de Plogoff à Gravelines en passant par le Golfe Normand-breton, Flamanville, Paluel et Penly (Fig. 3.4.21). Les effectifs moyens à Gravelines sont de l'ordre de 500 par 10 m³ alors qu'ils atteignent à peine 2 à Flamanville.

3.4.2.4. Chaetognathes

Le groupe des chaetognathes forme un petit embranchement à part ; ces petits organismes, au corps fusiforme de quelques millimètres de longueur, sont de redoutables prédateurs capables de chasser des larves de poissons et bien entendu des copépodes. Leur période d'abondance se situe en automne-hiver où leurs effectifs atteignent quelques individus à quelques centaines par 10 m³ (Fig. 3.4.22).

Le groupe est surtout représenté par l'espèce de grande taille relative *Sagitta setosa* affectionnant les eaux 'tièdes', de salinité inférieure à 35 qui alterne avec *S. elegans*, indicateur d'eaux de salinité plus élevée (tendance océanique) et qui affectionnent les eaux plus froides. Alors qu'on trouve *S. setosa* pendant une grande partie de l'année (avec une période plus marquée au printemps puis au début de l'automne (Fig. 3.4.23), la période d'abondance de *S. elegans* est plus restreinte et centrée sur l'été (Fig. 3.4.24).

On n'observe pas de différence flagrante entre les densités de chaetognathes 'Avant' et 'Après', si ce n'est l'augmentation de la variabilité et la période de récession des années 1996-99 (Fig. 3.4.25).

Les trois sites 'méridionaux' (Plogoff, GNB, Flamanville) ont des effectifs moyens comparables et de l'ordre de 5 par 10 m³ ; ils se distinguent des sites de Manche et mer du Nord dont les effectifs moyens sont comparables entre eux et environ 3 fois plus élevés (Fig. 3.4.26).

3.4.2.5. Bryozoaires

Les bryozoaires forment un petit embranchement à part, représenté par de petits animaux sessiles vivant souvent en épizoonthes sur les feuilles d'algues. Ils sont présents dans le plancton de Flamanville sous la forme de leurs larves cyphonaute, présentes pendant toute l'année avec deux périodes de maximum : avril (le plus important) et septembre, correspondant probablement aux périodes de reproduction de deux espèces ou groupes taxinomiques différents (Fig. 3.4.27).

Les larves de bryozoaires présentent elles aussi des densités globalement plus élevées pour la période 'Après' qu' 'Avant' (Fig. 3.4.28).

3.4.2.6. Mollusques

Tous les groupes de mollusques ont des larves pélagiques. Les larves de mollusques représentent également de par leur abondance relative une particularité du plancton de

Flamanville. Elles sont présentes une grande partie de l'année avec deux périodes de présence plus marquée : juillet et septembre (Fig. 3.4.29), autant pour les gastéropodes (Fig. 3.4.30), que pour les bivalves, bien que moins nettement pour ces derniers (Fig. 3.4.31). On note une augmentation importante des effectifs de larves de gastéropodes lors de la période 'Après', beaucoup plus marquée que pour les bivalves (Fig. 3.4.32 et 3.4.33).

Une mention particulière doit être réservée aux larves (ou plutôt juvéniles) de céphalopodes, autre originalité du plancton de Flamanville, récoltés aux filets 'Bongo' et dont l'abondance est surtout automnale (Fig. 3.4.34). Bien que relativement peu abondants numériquement (moins de 1 individu pour 10 m³ lors du maximum), ces éléments sont révélateurs de la fonction de nourricerie du site pour certaines espèces de céphalopodes.

3.4.2.7. Crustacés

Les crustacés forment une partie essentielle du zooplancton. Aux espèces holoplanctoniques de petite taille (notamment les copépodes) s'ajoutent à certaines saisons les stades larvaires méroplanctoniques d'espèces benthiques : nauplii de copépodes et autres crustacés 'inférieurs', *zoés* (larves) et *mégaloques* (post-larves) de décapodes (crevettes, homard, crabes, araignées ...).

Cladocères

À Flamanville les cladocères, groupe essentiellement estival (Fig. 3.4.35), sont représentés par les genres *Daphnia*, *Bosmina*, *Evadne* et *Podon* (espèce *Podon leukarti*). On n'observe aucune modification notable des abondances de cladocères entre les périodes 'Avant' et 'Après'.

Ostracodes

Les ostracodes, autres petits crustacés holoplanctoniques, n'ont été identifiés qu'au cours de deux cycles de l'étude de Projet.

Copépodes

Les crustacés copépodes représentent une fraction importante du zooplancton permanent (holoplancton, dont les espèces présentent un cycle de vie entièrement pélagique) de Manche. Leur nombre peut atteindre plus de 50 % des effectifs de planctontes, tendance cependant moins accentuée à Flamanville qu'en Manche orientale et dans le sud de la mer du Nord.

Compte tenu de l'importance numérique et écologique de ce groupe, il était intéressant en première approche de grouper tous les copépodes afin d'analyser leur variation pluriannuelle globale. Ainsi, tous taxons confondus, les copépodes sont nettement plus abondants (d'un facteur 5 à 10 en moyenne) au cours de la période 'Après' qu'au cours de la période 'Avant' (Fig. 3.4.36).

Calanus

Le genre *Calanus* comporte principalement les espèces épicontinentales *C. helgolandicus* et *C. finmarchicus*, les deux espèces néritiques des eaux tempérées froides. *C. helgolandicus* est présent toute l'année et abondant une bonne partie du printemps et jusqu'en automne, avec un pic en juin-juillet-août (Fig. 3.4.37). Les effectifs sont généralement situés autour de 100 individus par 10 m³, mais dépassent les 1000 en 1986, quelques centaines en 1999, 2003 et

2004. Comparée à la période 'Avant', la période 'Après' se caractérise ainsi par des effectifs moyens similaires mais des pics d'abondance plus élevés (Fig. 3.4.38). Les filets de 200 μm de maillage échantillonnent surtout les juvéniles. L'espèce *C. finmarchicus*, plus nordique et de caractère plus océanique, n'est rencontrée que de manière sporadique (quelques individus épars dans les échantillons).

Variabilité inter-sites

Les échantillons réalisés aux mêmes périodes à l'aide de filets Bongo de 500 μm de maillage montrent des effectifs de *Calanus* nettement supérieurs à Flamanville (d'un facteur 5 à 10) pour ces grands copépodes de plusieurs mm de taille (Fig. 3.4.39). Les 3 sites méridionaux se distinguent à nouveau des 3 sites de Manche-est et sud de la mer du Nord par leurs effectifs, de l'ordre de plusieurs centaines par 10 m³ contre quelques unités pour les 3 autres. C'est à Flamanville que l'on rencontre les effectifs les plus élevés (Fig. 3.4.40).

Eucalanus crassus

Ce calanidé n'a été observé qu'en 1983-84 et 1997. IL est surtout présent à la fin de l'été et en automne.

Paracalanus parvus et *Pseudocalanus minutus*

Bien que présente une grande partie de l'année, *Paracalanus parvus* est une espèce plutôt automnale avec un pic au mois de septembre (Fig. 3.4.41). Comme *Calanus helgolandicus*, elle ne manifeste pas véritablement d'augmentation de ses effectifs lors de la période 'Après', mais une accentuation des pics d'abondance et une variabilité accrue (Fig. 3.4.42).

Contrairement à *Paracalanus parvus*, l'espèce *Pseudocalanus minutus* est à tendance boréale et arctique laquelle se reproduit en Manche-ouest en hiver et se montre abondante au printemps (Fig. 3.4.43). Ses effectifs, comparables à ceux de l'espèce précédente, ont accusé un net accroissement de 1984 à 1987 (avec un pic en 1987) et sont restés globalement supérieurs par la suite à ceux de la période 'Avant', avec une récession autour des années 1997-98 (Fig. 3.4.44). Ses variations pluriannuelles d'effectifs sont ainsi plus fluctuantes que pour les espèces précédente.

Variabilité inter-sites

L'ensemble *Paracalanus parvus* + *Pseudocalanus minutus* (les espèces ne sont pas distinguées dans l'étude halieutique) exprime un gradient positif de Gravelines à Flamanville (les effectifs moyens sont deux fois supérieurs sur ce dernier site – Fig. 3.4.45).

Euchaeta hebes

Copépode des couches superficielles, d'une taille de 3 mm, pouvant être transporté sur de longues distances par les courants, l'espèce *Euchaeta hebes* se trouve en Manche ouest toujours de préférence au large et indique une origine nettement océanique.

Il a été rencontré à Flamanville au cours de l'étude de Projet, principalement en été et en automne ; l'espèce, bien que ses effectifs fussent généralement nettement inférieurs à 1 ind. par 10 m³, comme sur les autres sites de Manche

et mer du nord, est ainsi intéressante de par sa fonction d'indicateur d'une influence océanique. À Plogoff, ses effectifs sont de 100 fois supérieurs (Fig. 3.4.46).

Temora longicornis

Temora longicornis est une espèce d'affinité boréale abondante au printemps et en été (Fig. 3.4.47), qui manifeste un gradient net et régulier du sud au nord. Elle est dominante à Gravelines où elle peut atteindre le million d'individus par 10 m^3 lors des pics, mais secondaire à Flamanville (ses effectifs sont inférieurs d'un facteur 5 environ à ceux des espèces *Paracalanus parvus* et *Pseudocalanus minutus*, et d'un facteur 10 à ceux d'*Acartia clausi* – voir plus loin – ; les maxima sont de l'ordre de 7000 ind. par 10 m^3).

On n'observe pas de différence quantitative globale entre les périodes 'Avant' et 'Après', si ce n'est une fois de plus l'importance des fluctuations pluriannuelles et la période de 'récession' 1996-99 (Fig. 3.4.48).

Variabilité inter-sites

Les résultats obtenus dans le domaine halieutique montrent un remarquable gradient vers la Manche-est et le sud de la mer du Nord, avec des effectifs moyens à Flamanville de l'ordre de 200 ind. par 10 m^3 (très comparables à ceux obtenus en moyenne dans la partie 'Pélagique') contre 6000 à Gravelines (Fig. 3.4.49) !

Metridia lucens

Ce gros copépode fréquente plutôt les secteurs méridionaux. Sur l'ensemble des sites, on ne commence à le rencontrer qu'à Flamanville au printemps – Fig. 3.4.50. L'espèce *Metridia lucens* a montré en 1994 et 1995 des effectifs bien supérieurs à ceux de la période 'Avant', mais ils n'ont pas été retrouvés par la suite, notamment au cours de la période 2002-2004. On y trouve moins de 2 individus par 10 m^3 en moyenne, contre dix fois plus à Plogoff. (Fig. 3.4.51).

Centropages

L'espèce *Centropages typicus* est nettement moins représentée que son proche parent *C. hamatus* (voir ci-dessous) ; on en récolte que quelques dizaines d'individus par 10 m^3 à une centaine lors du maximum automnal (d'août à octobre – Fig. 3.4.52). Là encore, on décèle une augmentation des effectifs pour la période 'Après' avec toujours les années 1987, 1993-94 qui se distinguent par des pics de densité, ainsi que cette fois-ci l'année 2004 (Fig. 3.4.53).

Centropages hamatus figure parmi les espèces dominantes du site. C'est un copépode à reproduction printanière (on trouve beaucoup de jeunes à cette période) présentant un maximum en juin et début juillet (Fig. 3.4.54). Ses effectifs lors du pic oscillent toujours entre 100 et 1000 ind. par 10 m^3 avec des pointes à plusieurs milliers, notamment au cours des années 1987 (déjà identifiée pour *P. minutus*), 1993-94 et 2003. On note là encore une récession au cours des années 1997-98. Globalement, l'espèce est plus abondante au cours de la période 'Après' qu' 'Avant' (Fig. 3.4.55).

Variabilité inter-sites

Le genre *Centropages* (les espèces n'ont pas été distinguées au niveau de l'étude halieutique) montre un gradient d'abondance vers le nord et ses effectifs sont maximums à Gravelines, environ 10 fois plus élevés qu'à Flamanville (Fig. 3.4.56). Cependant, bien plus que les effectifs absolus, il faut considérer les densités relatives du genre par rapport à celles d'autres copépodes majeurs comme par exemple *Temora longicornis*, autre copépode abondant et constant sur les sites ; le rapport *Centropages* / *Temora* est à ce titre éloquent (Fig. 3.4.57) et montre une augmentation régulière et nette de *Centropages* de Gravelines à Flamanville (le genre n'a pas été dénombré sur les sites GNB et Plogoff).

Isias clavipes

Cette espèce présente des effectifs plus modestes, entre 10 et 100 ind. par 10 m³ lors du pic automnal (fin août et septembre) – Fig. 3.4.58. Elle présente des effectifs comparables entre la période 'Avant' et 'Après'.

Variabilité inter-sites

On note pour *Isias* le même gradient que pour *Centropages* jusqu'à Penly où les effectifs sont maximums ; à Gravelines en revanche les densités ne sont pas plus élevées qu'à Flamanville (Fig. 3.4.59).

Candacia armata

C'est là une forme atlantique typique, très fréquente en Manche à moyenne profondeur, citée comme un indicateur du flux atlantique vers la mer du Nord. À Flamanville, *C. armata* présente des effectifs maximums en été. Les prélèvements aux filets de 0,5 mm semblent nettement mieux adaptés à la capture de ce grand copépode et les effectifs dans les échantillons de l'étude halieutique sont généralement supérieurs de plusieurs ordres de grandeur. On y décèle deux périodes de maximum : fin du printemps et automne (Fig. 3.4.60).

Variabilité inter-sites

L'espèce est encore plus abondante à Plogoff situé au nord du golfe de Gascogne, et montre un gradient rapidement décroissant de la Manche-ouest vers la Manche-est et le sud de la mer du Nord (Fig. 3.4.61).

Anomalocera patersoni

Ce calanidé, de large distribution géographique est récolté de mai à octobre (septembre dans nos prélèvements) avec un effectif maximum de quelques individus par 10 m³ environ (Fig. 3.4.62). Il s'agit d'une espèce typiquement estivale et automnale à Flamanville. L'espèce n'a été observée qu'au cours du Projet ainsi qu'en 1985.

Variabilité inter-sites

Les échantillons réalisés aux mêmes périodes à l'aide de filets Bongo de 500 µm de maillage montrent des effectifs nettement supérieurs (d'un facteur 5 à 10) pour ce grand copépode de 3 à 4 mm de taille. Comme l'espèce précédente, *A. patersoni* est aussi 5 fois plus abondante en moyenne à Plogoff et en Manche-ouest que sur les autres sites (Fig. 3.4.63).

Labidocera wollastoni

Estivale et automnale à Flamanville, l'espèce présente au contraire un gradient d'abondance vers la Manche-est ; à Gravelines ses effectifs sont nettement plus faibles tout en demeurant plus élevés qu'à Flamanville (Fig. 3.4.64).

Parapontella brevicornis

C'est une espèce plutôt estivale qui a son maximum en juin-juillet-août (Fig. 3.4.65). Les effectifs demeurent sensiblement identiques après mise en service de la centrale, mais la période 'Après' se caractérise comme chez beaucoup d'espèces, par une variabilité accrue et une période 'creuse' limitée ici à 1997-98 (Fig. 3.4.66).

Variabilité inter-sites

Fréquent en Manche occidentale, le copépode est pratiquement absent des autres sites de Manche mais présente à nouveau des densités notables à Gravelines (Fig. 3.4.67).

Acartia clausi

A. clausi est le copépode dominant du site. Son maximum a lieu à la fin du printemps et en été, puis on observe un deuxième maximum en automne (septembre) (Fig. 3.4.68). L'espèce est globalement plus abondante pendant la période 'Après' qu' 'Avant', avec des pics de densité dans les années 1986-87, autour de 1995 puis après 2001, mais toujours la récession de 1997-98 (Fig. 3.4.69).

L'espèce accessoire *Acartia discaudata*, à effectifs moindres, présente les mêmes variations (saisonniers – Fig. 3.4.70 – et pluriannuelles) qu' *A. clausi*. L'espèce *Acartia bifilosa* n'a été identifiée qu'en 1994.

Variabilité inter-sites

Les espèces n'ont pas été distinguées dans l'étude halieutique où le genre *Acartia* présente des effectifs voisins de Flamanville à Gravelines (Fig. 3.4.71). ; cependant, comme pour *Centropages*, il faut considérer les densités relatives du genre par rapport à celles d'autres copépodes comme *Temora longicornis*, autre copépode abondant et constant sur les sites ; le rapport *Acartia* / *Temora* est à ce titre éloquent (Fig. 3.4.72) et montre une augmentation régulière et très nette d'*Acartia* de Gravelines à Flamanville (le copépode n'a pas été dénombré sur les sites GNB et Plogoff).

Cyclopoïdes

Les cyclopoïdes présentent un maximum automnal (Fig. 3.4.73) et leurs effectifs augmentent légèrement pendant la période 'Après' (Fig. 3.4.74). Parmi ceux-ci, le genre *Oithona* (principalement l'espèce *Oithona helgolandica*), bien représenté et à maximum estival (Fig. 3.4.75) montre une augmentation de ses effectifs pour la période 'Après', avec un pic en 1987, puis à nouveau pour les années 1994-95 et 2002-2003, ainsi qu'une récession en 1997 (Fig. 3.4.76).

Harpacticoïdes

Les harpacticoïdes – hors *Euterpina* – (Fig. 3.4.77 à 3.4.79) montrent également un accroissement de leurs effectifs au cours de la période 'Après',

manifeste également au niveau de l'espèce majeure du groupe, *Euterpina acutifrons* (Fig. 3.4.80 à 3.4.82), dont les effectifs augmentent ainsi d'un facteur 10.

Variabilité inter-sites

L'ordre des harpacticoides, *Euterpina* exclu, montre un gradient net et régulier de ses abondances moyennes de Flamanville à Gravelines (Fig. 3.4.79). En revanche, *E. acutifrons* manifeste un gradient inverse et présente les plus forts effectifs à Flamanville (Fig. 3.4.82) ; à Gravelines, ses effectifs sont cependant supérieurs à ceux de Penly, discordance qui trouve probablement son explication dans l'affinité de ce copépode mauvais nageur pour les eaux très côtières et les fonds meubles.

Le genre *Oncaea* manifeste la même tendance (Fig. 3.4.83 et 3.4.84), ainsi que les *Corycaeus* (Fig. 3.4.85 et 3.4.86), dont l'espèce *C. anglicus*, identifiée au cours du Projet.

Monstrillidés

La famille des monstrillidés est d'apparition estivale et surtout automnale (Fig. 3.4.87) ; les effectifs sont nettement supérieurs après mise en service de la centrale (Fig. 3.4.88).

Caligidés

Les caligidés, copépodes parasites, ont été rencontrés lors de l'étude de Projet (partie 'Zooplankton halieutique') et à nouveau suivis de 2000 à 2004 ; on y a identifié le genre *Lerneocera*. Les caligidés sont à présence estivale et automnale à Flamanville (Fig. 3.4.89).

Parmi les autres espèces de copépodes, notons encore la présence de *Diaixis hibernica* (en 1978), du genre *Stephos* (*S. scotti* et *S. minor*, observés dès 1978, *S. minor* observée de 2002 à 2004), *Eurytemora affinis* (observé que de 2002 à 2004) et enfin *Pseudocyclops* (observée qu'en 1978).

Le caractère méridional et océanique du site de Flamanville se retrouve au niveau des copépodes dont la diversité est plus élevée que sur les autres sites de Manche,

Cirripèdes

Ces crustacés sessiles, abondants en sites rocheux, sont bien représentés à Flamanville et étudiés dans le cadre de la surveillance benthique. Ils constituent une fraction importante du méroplankton par leurs larves *nauplius* qui présentent deux pics annuels d'abondance, l'un au début du printemps, centré sur les mois de mars et d'avril, l'autre en automne et centré sur le mois de septembre (Fig. 3.4.90). Le premier correspond à la période de reproduction de l'espèce à tendance boréale *Semibalanus balanoides* à recrutement printanier, le second, plus faible, à la période de reproduction des espèces d'eaux plus chaudes du genre *Chtamalus* (*C. montagui* et *C. stellatus*) ainsi que de l'espèce *Elminus modestus*.

Les larves cypris, issues du stade nauplius, se fixent au substrat avant novembre, qui est aussi la période de fertilisation de *S. balanoides*.

L'abondance des larves de cirripèdes semble s'être accrue au cours de la période 'Après' (Fig. 3.4.91), période au cours de laquelle la variabilité des effectifs s'est accrue. On note les mêmes fluctuations pluriannuelles que pour d'autres groupes, avec

des pics dans les années 1987, 1989, 1996, 2003 et 2004, et la fameuse récession des années 1997-98.

Mysidacées

Les Mysidacés sont un groupe de crustacés benthopélagiques nombreux dans certaines zones côtières où ils forment des essaims auprès du fond et constituant une nourriture abondante de par leur taille pour nombre de larves de poissons notamment les poissons plats (ordre des pleuronectiformes).

À Flamanville, dans les prélèvements au filet de 200 µm, les effectifs sont relativement faibles (densités généralement inférieures à 1 ind. par 10 m³). Il s'avère que les filets Bongo de 0,5 mm de maille et pêchant en traicts obliques sont mieux adaptés à l'échantillonnage de ce groupe ; les effectifs sont ainsi supérieurs d'un facteur 10 environ dans les prélèvements réalisés dans le cadre de l'étude du zooplancton 'halieutique'. Les mysidacés sont abondants en toutes saisons avec un large pic en automne (Fig. 3.4.92).

Plusieurs espèces sont rencontrées à Flamanville :

Les espèces du genre *Siriella* (*S. armata* et *S. clausi*) présentent un maximum automnal (Fig. 3.4.93), de même que *Anchialina agilis* (Fig. 3.4.94). Elles n'ont pas été suivies au cours de la période 'Après'.

L'espèce euryhaline *Mesopodopsis slabberi* présente pour cette raison des effectifs nettement plus faibles qu'à Gravelines, et n'a été identifiée qu'au cours de la période 'Avant'. Ses effectifs sont plus importants au début du printemps et à nouveau en automne (Fig. 3.4.95). L'espèce est la plus abondante à Paluel (Fig. 3.4.96).

Les espèces du genre *Gastrosacchus* (*G. spinifer*, *G. normani* et *G. sanctus*) sont réparties plus uniformément au cours de l'année mais présentent également deux pics, l'un en mai et l'autre en septembre (Fig. 3.4.97). Alors que ses effectifs sont comparables sur tous les sites de Manche et à Plogoff, le genre *Gastrosacchus* présente des densités environ 5 fois plus fortes à Gravelines (Fig. 3.4.98).

Il en est de même du genre *Schistomysis* (Fig. 3.4.99 et 3.4.100) pratiquement absent des sites méridionaux jusqu'à Flamanville, et dont les densités s'élèvent à Paluel et surtout Gravelines (*S. spiritus* et *S. kervillei* présentent des variations biogéographiques semblables).

Cumacés

Petits crustacés benthopélagiques, les cumacés sont fréquents auprès des fonds sableux ou vaseux. Ce sont des 'filtreurs de sédiments' phytophages ou saprophages, de taille relativement grande (comparable à celle des copépodes du genre *Calanus*). Ils constituent une nourriture non négligeable pour certains poissons.

Le groupe des cumacés n'a pas été détaillé à l'espèce ; on note un léger maximum estival et automnal (Fig. 3.4.101). Les effectifs sont légèrement supérieurs dans les échantillons au filet Bongo. Ils semblent marquer une récession pour la période 'Après' (Fig. 3.4.102).

Isopodes

Les isopodes sont de petits crustacés plutôt benthiques ou benthopélagiques et côtiers, dont la présence dans les échantillons de plancton du milieu pélagique n'est pas

représentative de leurs abondances réelles. À Flamanville, ils sont présents une grande partie de l'année avec une dominance estivale et automnale (Fig. 3.4.103).

Dans ce groupe figurent les Epicarides, isopodes parasites (Fig. 3.4.104).

Les isopodes du genre *Gnathia* n'ont été identifiés qu'en 2004.

Stomatopodes

Ce groupe particulier de crustacés rassemble des espèces comme la 'cigale de mer'. Les larves de l'espèce *Rissoides desmaresti* (= *Squilla d.*) ont été identifiées au cours de l'étude de Projet. Elles apparaissent en automne (Fig. 3.4.105).

Amphipodes

Comme les isopodes, les amphipodes sont plutôt benthopélagiques et côtiers ; à Flamanville, ils sont abondants une grande partie de l'année avec un maximum estival et automnal (Fig. 3.4.106). L'étude de Projet a permis d'établir que les trois sous-groupes d'amphipodes, gammariens, caprelliens et hypériens étaient présents sur le site.

Les effectifs des amphipodes demeurent également stables entre les périodes 'Avant' et 'Après' (Fig. 3.4.107).

Euphausiacés

Détritivores, phytophages ou prédateurs, les euphausiacés ont un rôle trophique très important pour les prédateurs zooplanctoniques (chaetognathes, céphalopodes, larves de crustacés et de poissons) et les poissons (scombridés, carangidés, gadidés, ...). La plupart des euphausiacés sont cantonnés au domaine océanique, seule l'espèce *Nyctiphanes couchii* est à tendance néritique. Elle a été identifiée au cours de l'étude de Projet dans les prélèvements 'Zooplancton halieutique'.

Dans le plancton de Flamanville, on observe essentiellement les derniers stades larvaires *calyptopis*, *furcilia*, les post-larves et quelques adultes. Les larves jeunes peuplent l'hyponeuston (couches superficielles) tandis que les plus âgées et les adultes se tiennent dans les couches plus profondes. Dans les eaux de Plymouth, la ponte s'étale sur toute l'année avec cependant un maximum printanier.

À Flamanville, les euphausiacés sont présents essentiellement au cours des périodes estivale et automnale (Fig. 3.4.108).

Décapodes

L'ordre des crustacés décapodes forme un groupe important dans lequel on trouve les crustacés commerciaux, donc de grande taille à l'état adulte, souvent benthiques ou benthopélagiques, mais dont les phases larvaires et juvéniles sont planctoniques. Sans entrer dans le détail d'une systématique complexe, on y distinguait deux grands sous-groupes :

* les décapodes « nageurs » ou 'natantia', constitués à Flamanville essentiellement des Caridés comprenant de nombreuses espèces de crevettes, commerciales ou non, dont les crevettes grises et roses ou 'bouquet' ;

* les décapodes « marcheurs » (sous-ordre des Reptantia), comprenant les Astacidés – langoustines et homards – les Scyllaridés – langoustes – et les Thalassinidés), les anomoures (galathées, bernards l'hermite) et enfin les brachyours (crabes et araignées de mer). Seuls le homard *Homarus gammarus* et l'araignée *Maja brachydactyla* sont

suivis dans le cadre de la 2^e phase de surveillance de l'étude 'halieutique', depuis 1986.

Chez les décapodes, excepté chez les pénéidae, les femelles ne libèrent pas leurs œufs dans le plancton, mais les maintiennent pendant la période d'incubation entre leurs appendices abdominaux (*pléopodes*). La durée de cette incubation varie d'une quinzaine de jours à quelques semaines selon l'espèce et la température de l'eau. Cette durée peut atteindre 10 mois chez certaines espèces. À l'éclosion, sont libérées des larves. Une ou plusieurs mues séparent les stades larvaires successifs, suivis d'une métamorphose avant la phase *mégalope*.

Les larves de crustacés décapodes ne constituent pas le 'cœur' des espèces cibles pour l'étude 'pélagique' ; de ce fait, d'une part les espèces sont souvent agrégées au niveau de taxons supérieurs comme la famille ou l'infra-ordre, et d'autre part les identifications n'ont pas suivi un schéma constant. Les résultats de la partie halieutique, plus détaillés, permettent d'avoir une meilleure idée de la composition en espèces et de mieux connaître le site, mais l'identification spécifique ne s'est pas poursuivie au-delà de l'étude de Projet sauf pour le homard et l'araignée, de sorte qu'hormis ces deux dernières, on ne peut avoir une estimation des différences 'avant-après' que globalement.

À Flamanville, les effectifs de larves de décapodes, même considérés séparément, sont importants, souvent de l'ordre de grandeur des groupes planctoniques dominants comme les copépodes.

Caridea

La partie 'Zooplancton halieutique' de l'étude de Projet a permis d'identifier plus de 25 espèces de caridés ('crevettes') parmi lesquelles les hippolytidés (notamment les genres *Eualus* – *E. cranchi*, *E. occultus* et *E. pusiolus* – et *Hippolyte*) qui dominent le groupe, les alphéidés et les crangonidés (avec le genre *Philocheras*, la crevette grise *Crangon crangon* étant rare voire absente) n'arrivant qu'en position plus modeste.

Les filets de 0,5 mm de maille sont bien adaptés à l'échantillonnage de ces planctontes dont la taille avoisine souvent plusieurs millimètres.

À Flamanville, ces larves sont abondantes de la fin du printemps à l'automne avec deux périodes de maximum, l'une en juin-juillet, l'autre en septembre (Fig. 3.4.109). Examinées globalement, les larves de caridés présentent une nette et régulière augmentation de leurs effectifs lors de la période 'Après' (Fig. 3.4.110). On y décèle d'amples fluctuations déjà relevées dans beaucoup de groupes taxinomiques, avec des maxima après 1985 et avant 2005, et des minima autour des années 1997-98.

Reptantia

Astacidae

À Flamanville, ce groupe est constitué exclusivement de l'espèce *Homarus gammarus* dont les larves font l'objet d'un suivi depuis le début (1977) jusqu'en 2004 dans le cadre de l'étude halieutique. ; les résultats étant présentés plus loin, nous ne les détaillerons pas ici.

Scyllaridés

Des larves de langouste *Palinurus elephas* ont été pêchées sporadiquement.

Thalassinidea

Les Thalassinidés, autre infra-ordre de décapodes reptantia, sont principalement représentés par des espèces non commerciales comme *Axius stirhynchus*, (identifié en 1976), le genre *Callinassa* (essentiellement *C. tyrrhena*) et surtout les *Upogebia* (*U. deltaura* et *U. pusilla*) identifiées au cours de l'étude de Projet halieutique, dont les filets sont mieux adaptés à la pêche de ces grandes larves.

Les larves de thalassinidés, considérées globalement, ont fait l'objet d'un suivi dans le cadre de l'étude 'pélagique'. Les gros effectifs peuvent être assimilés sans trop d'erreur à l'espèce *Upogebia deltaura*. Ces larves sont plus franchement estivales, leurs effectifs augmentant brutalement à partir de mi-juin jusqu'à fin septembre (Fig. 3.4.111).

Globalement aussi, la période 'Après' présente des effectifs légèrement supérieurs à ceux de la période précédente, et on y retrouve les pics de 1987, 1989 et 2001-2002 notamment, avec une nette récession au cours des années 1997-98 (Fig. 3.4.112).

Anomoures

Les paguroidea comprennent les Diogenidae (essentiellement *Diogenes pugilator*, l'espèce *Clibanarius erythropus* ayant été identifiée qu'une seule fois au cours de l'étude de Projet halieutique) et les Paguridés (l'étude halieutique a permis d'y identifier les genres *Pagurus* – *P. prideaux*, *P. bernrhodus*, *P. cuanensis* et *P. pubescens* –, *Cestopagurus* – *C. timidus* – et *Anapagurus* – *A. hyndmanni*, et *A. chiroacanthus* –. Ils ont été suivis globalement pour l'ensemble des périodes.

Les Galathéidés comprennent essentiellement les espèces des genres *Galathea* (*G. strigosa*, *G. squamifera*, *G. dispersa*, *G. intermedia*) et *Munida*.

Enfin les Porcellanidés comprennent les deux espèces très abondantes *Porcellana platycheles* et *Pisidia longicornis*.

Comme les caridés, les anomoures, abondants une grande partie de l'année avec une nette prédominance pendant la période estivale et automnale, présentent deux maxima, l'un en juin-juillet, l'autre en septembre-octobre (Fig. 3.4.113).

Tous taxons confondus, les anomoures présentent des effectifs légèrement supérieurs pour la période 'Après' (Fig. 3.4.114); on y retrouve la récession observée au cours des années 1997-98 pour les thalassinidés.

Les paguridés, galathéidés et porcellanidés sont suivis par groupe dans l'étude 'Pélagique'.

Brachyoures

Un grand nombre de taxons ont été identifiés à Flamanville, dont, parmi les espèces commerciales l'araignée de mer, actuellement nommée *Maja brachydactyla* (autrefois dénommée *M. squinado*), le tourteau *Cancer pagurus* et l'étrille *Necora puber*. On y trouve encore des espèces secondaires comme le crabe vert *Carcinus maenas*. Seules les larves d'araignée font l'objet d'un suivi dans l'étude halieutique ; comme pour le homard, les résultats étant présentés plus loin, nous ne les détaillerons pas ici.

Les larves de brachyours sont identifiées globalement dans l'étude 'Pélagique' ; elles présentent trois maxima, l'un au printemps (mars-avril), l'autre en juillet, le troisième, plus discret, en août-septembre (Fig. 3.4.115). Les résultats de l'étude halieutique ont montré que les forts effectifs de larves sont dus essentiellement au printemps au genre *Atelecyclus*, du printemps à l'été, aux espèces du genre *Liocarcinus* (anciennement *Macropipus*), au mois d'août à deux espèces *Pinnotheres pisum* et *Pilumnus hirtellus*.

Comme pour d'autres groupes planctoniques, on observe pour les décapodes une tendance à l'augmentation des effectifs pour la période 'Après', qui se manifeste par des pics relativement importants dans un contexte de variabilité plus grande des densités.

Ce suivi montre une fois de plus des pics pour les années 1986-87 ou 1989, la récession de 1997-98 puis à nouveau des maxima dans les années 2001-2002. Globalement aussi, les effectifs semblent légèrement supérieurs pour la période 'Après' (Fig. 3.4.116).

3.4.2.8.Echinodermes

Les larves d'échinodermes (Ophiurides – ophiures) ont été identifiées au cours de l'étude de Projet 'Pélagique' ; leurs densités sont toujours très faibles.

3.4.2.9.Prochordés

Les larves d'ascidies sont plus abondantes. Quasi exclusivement estivales et automnales (Fig. 3.4.117), elles montrent à partir de 1994, lorsqu'elles furent à nouveau prises en compte, des effectifs en nette augmentation par rapport à la période 'Avant' (Fig. 3.4.118).

Appendiculaires

Deux taxons figurent à ce groupe holoplanctonique important, le genre *Oikopleura* (en fait, l'espèce *O. dioica*) et l'espèce *Fritillaria borealis*, identifiée à partir de 2002.

Les appendiculaires forment un maillon essentiel dans la chaîne trophique de par leur mode de nutrition : en effet, la logette filtrante qu'ils secrètent est périodiquement abandonnée et d'une part constitue un substrat pour l'adsorption et le développement d'un microplancton opportuniste, d'autre part sert de nourriture à son tour, en plus des appendiculaires eux-mêmes, à divers organismes zooplanctoniques et notamment des larves de poissons.

Leurs densités sont importantes et peuvent atteindre plusieurs milliers par 10 m^3 . Ils sont présents une bonne partie de l'année, surtout du printemps à l'automne, avec un maximum estival (juin-juillet) – Fig. 3.4.119.

Là encore, la période 'Après' est plus riche et plus variable, avec les pics de 1987 et 2003, et la récession de 1997-98, qui paraît ainsi générale (Fig. 3.4.120).

Variabilité inter-sites

Le site de Flamanville se caractérise par une grande richesse en appendiculaires, supérieure même à celle de Gravelines qui se situe à l'extrémité d'un gradient croissant sud-nord partant de Paluel (Fig. 3.4.121).

3.4.2.10. 'Poissons'

Les vertébrés ne sont représentés dans le plancton que par le groupe des poissons, dénomination actuellement obsolète, le groupe étant divisé en plusieurs clades majeurs ; parmi ceux-ci, seuls les téléostéens présentent des phases pélagiques et l'effectif global de leurs œufs et larves planctoniques peut atteindre des densités de plusieurs dizaines d'éléments par 10 m³.

L'étude de Projet (partie 'halieutique') et le début de l'étude de surveillance (jusqu'en 1985 inclus) ont montré que le site de Flamanville se caractérise par une diversité spécifique dans ce groupe supérieure à celle des autres sites, mais des densités moindres pour les poissons de grande valeur commerciale comme la sole par exemple. Cette partie de l'étude permet de dégager quelques éléments donnant une impression générale du site ; en revanche, l'identification spécifique ne s'est pas poursuivie au-delà de 1985.

Seule la partie 'Pélagique' a poursuivi les dénombrements de ces phases planctoniques de poissons, mais en groupant tous les taxons sous le vocable 'œufs' ou 'larves' de téléostéens. Tous taxons confondus, ceux-ci manifestent des densités globalement plus élevées au cours de la période 'Après', tant au niveau des œufs qu'à celui des larves ; à l'instar de nombreux autres groupes zooplanctoniques, cette variation d'une part affecte les densités moyennes mais d'autre part se manifeste par des pics très élevés, l'ensemble laissant une impression de plus grande variabilité.

Très curieusement, on retrouve au niveau des œufs et larves de poissons les mêmes périodes de maxima que pour les autres groupes zooplanctoniques, notamment le pic de 1986-87, la recrudescence des effectifs après 2002 et enfin la récession des années 1997-98.

Clupéidés

Les clupéidés sont représentés par la sardine *Sardina pilchardus* et le sprat *Sprattus sprattus* dont les œufs représentent quelques unités par 10 m³, ce qui est relativement peu pour le sprat comparativement aux sites de Manche-est et surtout de Gravelines (où les densités atteignent plusieurs dizaines), ainsi que pour la sardine dont les effectifs atteignent plusieurs dizaines voire centaines d'œufs par 10 m³ lors des maxima.

La sardine *Sardina pilchardus*

Les populations de sardine Manche seraient initialement issues de celles du golfe de Gascogne. Lors de la reproduction, des rassemblements ont lieu au milieu de la Manche notamment occidentale en vue du frai et de la nutrition ; quelques frayères se sont aussi établies en zone côtière.

La ponte débute vers avril-mai et s'échelonne jusqu'en automne, du fait de l'émission des œufs par lots et des pontes successives d'individus d'âge différent. Deux périodes principales sont cependant mentionnées par les auteurs : l'une au printemps (mai-juin), l'autre en automne (septembre). Le site de Flamanville reflète bien ces deux maxima (Fig. 3.4.122) ; cette observation, jointe à la proportion élevée de jeunes stades, indique une ponte sur le site ou à proximité immédiate.

Variabilité inter-sites

Les effectifs d'œufs de sardine à Flamanville demeurent modestes en comparaison de ceux relevés en Manche-est (Paluel et surtout Penly où ils sont plus de 10 fois supérieurs en moyenne) ou à Plogoff. On observe ainsi un double gradient vers la Manche-est (qui ne se prolonge pas jusqu'à Gravelines) et vers le golfe de Gascogne.

Le sprat *Sprattus sprattus*

Les œufs du sprat sont rencontrés à Flamanville d'avril à juin (Fig. 3.4.123). Les larves de sardine et de sprat, pas toujours aisées à discriminer en raison de leur taille (4 à 20 mm), ont été groupées ; les larves de clupéidés peuvent représenter une dizaine d'individus par 10 m³ (on a observé un maximum de 60 en juin 1979). La période principale de présence des larves de clupéidés se situe en juin et début juillet (Fig. 3.4.124).

Œufs et variabilité inter-sites (Fig. 3.4.125)

Comme pour la sardine, les densités d'œufs sont loin d'avoisiner celles relevées sur les autres sites en Manche et dans le sud de la mer du Nord (à Penly et Gravelines, elles atteignent ainsi fréquemment des valeurs de plusieurs dizaines par 10 m³) mais leur présence est néanmoins l'indice de pontes proches.

Cependant, au contraire de la sardine, la proportion plus élevée d'œufs aux stades âgés jointe à un gradient vers le large semble indiquer plutôt une alimentation du site par des frayères situées au large. Ceci semble confirmé par les effectifs d'œufs de sprat dans le golfe normand-breton où furent mesurés des densités de plusieurs dizaines par 10 m³ (20 à 40) lors des maxima, alors que les larves y étaient au contraire plus rares que sur le site côtier de Flamanville, conformément à la biologie de cette espèce pélagique à nourriceries littorales.

On observe pour les œufs et larves de sprat à partir de Flamanville un double gradient à la fois vers le nord-est et vers l'ouest et le sud.

Engraulidés : l'anchois *Engraulis encrasicolus*

On rencontre à Flamanville quelques rares œufs d'anchois (1977, 1978 et 1983). Cela semble être une caractéristique des secteurs de Manche-ouest ; ils sont à peine plus abondants à Plogoff pourtant situé à l'extrémité des frayères du golfe de Gascogne, localisée il est vrai plus au large. En revanche, les abondances s'élèvent en Manche-est selon un gradient ouest-est et sont maximales à Penly (Fig. 3.4.126).

L'anchois de Manche est interprété comme le résidu d'une population relictuelle issue des populations du Zuidersee lors de la fermeture de celui-ci,

ce qui explique encore son abondance dans le secteur de Gravelines bien que moindre qu'à Penly (25 par 10 m³ n moyenne contre 42).

Gadidés

Le total des œufs de gadidés (lotidés – loches – exceptées) n'excède pas 1 par 10 m³ (Fig. 3.4.127) de même que celui de leurs larves. Compte tenu de la difficulté à distinguer les œufs de gadidés entre eux et avec certaines autres espèces (les critères discriminants sont rares sur les œufs et insuffisants lorsque les diamètres et la structure sont voisins), nous avons basé notre analyse essentiellement sur les larves.

Celles-ci regroupent le **merlan** *Merlangius merlangus* (maximum d'avril à juin atteignant généralement 0,4 par 10 m³ – Fig. 3.4.128), mieux représenté en Manche (Fig. 3.4.129), de **lieu jaune** *Pollachius pollachius* (maximum d'avril à juin atteignant généralement 0,25 par 10 m³ – Fig. 3.4.130) et de deux petites espèces de faible valeur commerciale, le **capelan** *Trisopterus minutus* (maximum d'avril à juin atteignant généralement 0,6 par 10 m³ – Fig. 3.4.131) et le **tacaud** *Trisopterus luscus* (idem – Fig. 3.4.132). La ponte du capelan a lieu de février à juin, à des profondeurs variant de 50 à 100 m. Le tacaud, plus septentrional, se reproduit sur des fonds d'environ 60 m.

La famille des **lotidés** groupe un certain nombre de petites espèces non commerciales (loches) que nous avons renoncé à distinguer lors de l'identification, à l'exception de la lingue *Molva molva* dont on ne rencontre d'ailleurs que les larves, apportées par les courants, la ponte s'effectuant au large. Les œufs et larves de lotidés sont beaucoup plus abondants que ceux des autres gadidés ; les œufs atteignent des densités de plusieurs dizaines par 10 m³ lors du maximum d'avril, ainsi que les larves globalement moins nombreuses cependant, avec un maximum plus tardif, en mai-juin (Fig. 3.4.133).

Le site de Flamanville reçoit ainsi le frai d'un certain nombre de gadidés pour lesquels il s'inscrit dans un vaste ensemble de zones de reproduction accessoires et opportunistes, sans que sa fonction de frayère soit marquante.

Variabilité inter-sites

On observe un gradient vers la Manche-est des larves de merlan, dont le maximum se situe à Penly (Fig. 3.4.129). En revanche, les lotidés présentent des densités légèrement plus élevées à Flamanville que sur les sites de Manche (Fig. 3.4.134). C'est le site de Plogoff qui se démarque plus nettement de tous les autres.

Belonidés : l'orphie ou 'aiguillette' *Belone belone belone*

Cette espèce de vaste aire de répartition, fréquente les secteurs rocheux. Ses larves, sporadiques, ont été rencontrées à Flamanville en été.

Syngnathidés

Petite famille comportant les syngnathes et hippocampes, les syngnathidés sont présents sous la forme de leurs larves (les œufs sont benthiques ou portés par le mâle) principalement en été et en automne (juin à septembre) et leurs effectifs sont inférieurs à 1 larve par 10 m³ (Fig. 3.4.135).

Triglidés ou 'grondins'

Poissons côtiers benthiques et grégaires, vivant aux faibles et moyennes profondeurs sur des substrats variés, les triglidés se reproduisent probablement sur le site ou à proximité. La ponte s'étend de mai à août et les larves sont présentes en été (Fig. 3.4.136).

Variabilité inter-sites

La densité des œufs, même faible (moins de 1 œuf par 10 m³), est de l'ordre de grandeur de celles de Plogoff, mais moins élevée qu'au large du golfe Normand-breton tout proche. On observe un gradient régulier vers l'est et le nord à travers la Manche jusqu'à Gravelines (Fig. 3.4.137).

Cottidés

Les larves de cottidés sont rencontrées de mai à septembre, avec un pic (3 par 10 m³) en juin-juillet (Fig. 3.4.138).

Moronidés : le bar *Dicentrarchus labrax*

De grande valeur commerciale, le bar (appelé 'loup' en Méditerranée), de vaste distribution, fréquente le plateau continental et effectue des migrations vers la côte au printemps et en été. Le frai a lieu sur le site ; les œufs sont rencontrés principalement en mai avec un maximum d'environ 1 œuf par 10 m³ tandis que les larves ont leur maximum en juin (Fig. 3.4.139).

Variabilité inter-sites

C'est le site de Paluel qui se situe pour cette espèce dans un 'creux' de gradient qui augmente à la fois vers l'ouest et le sud jusqu'à Plogoff en passant par Flamanville, et à l'inverse vers l'est et le nord jusqu'à Gravelines du moins pour les œufs, car sur ce dernier site les larves sont plus rares qu'en Manche (Fig. 3.4.140). On pense que le bar, espèce plutôt méridionale, est d'apparition récente sur le site, et sa présence est probablement liée aux rejets d'eaux chaudes. Si les géniteurs sont favorisés, il ne semble pas que l'ensemble du cycle de reproduction puisse encore s'y dérouler de manière optimale.

Carangidés : le chinchard *Trachurus trachurus*

Après des concentrations hivernales dans le golfe de Gascogne et en mer Celtique, le chinchard effectue des migrations de nutrition-reproduction à travers la Manche au printemps et en été. Les œufs sont rencontrés à Flamanville à partir de juin et jusqu'en septembre, les larves en août-septembre (Fig. 3.4.141).

La proportion élevée d'œufs aux stades embryonnés et les effectifs de larves relativement plus élevés que pour les œufs ainsi qu'une avance de la présence des larves par rapport à celle des œufs suggère que le frai n'a pas lieu directement à proximité du site.

Variabilité inter-sites

Les œufs de chinchard sont beaucoup plus abondants dans le golfe Normand-breton et suivent un gradient régulier vers la Manche pour être à nouveau très abondants à Gravelines. Les larves suivent la même variation globale (Fig. 3.4.142).

Mullidés : le rouget barbet *Mullus surmuletus*

Petit poisson de grande valeur commerciale, le rouget barbet est moyennement représenté à Flamanville, comparativement à Plogoff et surtout à Penly (Fig. 3.4.143).

Labridés

D'intérêt commercial varié selon les régions, les labres ou 'vieilles' sont des poissons côtiers qui recherchent des eaux peu profondes et des substrats rocheux.

Plusieurs espèces font probablement partie de la faune de Flamanville, dont le labre commun ou petite vieille *Ctenolabrus rupestris*. Leurs œufs sont faciles à confondre avec ceux de la limande, mais la faible présence des larves de cette dernière espèce sur le site permet de rattacher les œufs incriminés plutôt au labridé.

Les œufs de *C. rupestris* sont relativement nombreux (Fig. 3.4.144), près d'une dizaine par 10 m^3 lors du maximum de juin-juillet. Curieusement, on note une nette augmentation de ces éléments en 1984 et 1985. Les larves de labridés sont présentes essentiellement en été (à partir de juin et jusqu'en septembre) avec un maximum de 1 œuf par 10 m^3 (Fig. 3.4.145).

Variabilité inter-sites

Alors que les effectifs à Flamanville sont de l'ordre de grandeur de ceux de Manche et à peine plus élevés, l'espèce est mieux représentée dans le GNB et à Plogoff (Fig. 3.4.146), suivant à la fois un gradient global nord-sud et une augmentation de la densité moyenne des substrats rocheux qui constituent son habitat de prédilection.

Ammodytidés : lançons et équilles

Les lançons et équilles forment une famille de petits poissons sans intérêt commercial, fréquentant les fonds sableux. Leurs larves sont relativement abondantes à Flamanville, atteignant des effectifs de quelques individus par 10 m^3 lors du maximum en juin-juillet (Fig. 3.4.147).

Trachinidés : la petite vive *Echiichthys vipera*

Les œufs de la petite vive *Echiichthys vipera* (anciennement *Trachinus vipera*) sont rencontrés de juin à septembre et ses larves en août. Les œufs et larves de cette espèce présentent des densités maximales de 1,5 par 10 m^3 (Fig. 3.4.148).

L'espèce est nettement mieux représentée sur les sites de Manche-est et sud mer du Nord, globalement plus riches en substrats sableux, qu'à Flamanville et en Manche-ouest en général (Fig. 3.4.149).

Blenniidés

Les larves de blennies, petits poissons non commerciaux du littoral, sont nettement plus abondantes à Flamanville que nombre d'espèces, atteignant des densités de 7 ind. Par 10 m^3 lors du maximum de juillet (Fig. 3.4.150).

Callionymidés

Œufs et larves de callionyme ou 'dragonnet' (probablement l'espèce *Callionymus lyra*) sont représentés à quelques 1 ou 2 individus par 10 m^3 et

présents d'avril à août. L'espèce se reproduit probablement sur le site et à proximité (Fig. 3.4.151).

Variations inter-sites

Les callionymes sont à effectifs quasi identiques sur tous les sites sauf à Penly qui présente des densités plus de 10 fois supérieures (Fig. 3.4.152).

Gobiidés

Les larves de gobies (les œufs sont benthiques et accrochés au fond), petit poisson benthique, sont relativement abondantes et présents une bonne partie de l'année, d'avril à octobre, avec une période de maximum en juin et juillet (Fig. 3.4.153). Nous n'avons pas distingué les espèces dans cette famille.

Scombridés : le maquereau *Scomber scombrus*

Le maquereau est une espèce pélagique et néritique. Le site de Flamanville est alimenté par les reproducteurs qui se rattachent au stock dit 'de l'ouest' (golfe de Gascogne, mer Celtique, Manche) au moment où il effectue sa migration de nutrition-reproduction en Manche vers le nord-est. Les œufs sont présents de juin à août, les larves avec un léger décalage, en juillet et août (Fig. 3.4.154).

Variations inter-sites

Œufs et larves de maquereau suivent un gradient positif de Flamanville à Plogoff ; un second gradient positif, beaucoup plus marqué, est observé en direction inverse vers la Manche-est et Gravelines (où les densités d'œufs sont près de 100 fois supérieures à celles de Flamanville), mais qui concerne essentiellement les œufs, les larves étant aussi peu abondantes qu'à Flamanville (Fig. 3.4.155).

Pleuronectiformes ('poissons plats')

Les poissons 'plats' comportent un grand nombre d'espèces commerciales. Ce sont pour la quasi totalité des espèces benthiques néritiques pouvant présenter sur les fonds meubles un mode de vie partiellement enfoui. La plupart sont côtières notamment au cours de leurs phases de nutrition et de reproduction dont les aires sont confondues et qui les amènent à la côte au printemps à partir de zones d'hivernage situées plus ou moins au large. Leurs œufs sont pélagiques ainsi que les larves, lesquelles après quelques semaines, au moment de la métamorphose, colonisent le fond.

L'ordre des pleuronectiformes est bien représenté à Flamanville puisque les quatre familles (scophthalmidés, bothidés, pleuronectidés et soléidés) sont présentes, bien que les effectifs soient relativement modestes.

Scophthalmidés

Six espèces au total sont représentées dans cette famille, reflétant une fois de plus la diversité spécifique du groupe ; parmi elles, les deux espèces à forte valeur commerciale, le turbot *Psetta maxima* et la barbue *Scophthalmus rhombus*, caractéristiques des zones exposées et de ce fait bien représentées à Flamanville. Barbue et turbot ont en effet une écologie voisine.

Le turbot *Psetta maxima*

Les œufs de turbot, présentent des effectifs faibles, de l'ordre de 0,1 par 10 m³ lors du maximum en mai-juin. Les larves sont légèrement plus abondantes,

avec des maxima de mai à juillet de l'ordre de 0,2 par 10 m³ (Fig. 3.4.156) ; ceci semble indiquer une alimentation du site à partir de frayères adjacentes.

Variations inter-sites

Le site de Flamanville est le moins riche en œufs de turbot ; il se situe à nouveau au milieu d'un double gradient en direction de Plogoff d'une part, de la Manche-est d'autre part. Les larves suivent cette répartition, à un degré moindre cependant, et le site de Flamanville est presque aussi 'riche' que les autres sites (Fig. 3.4.157).

La barbue *Scophthalmus rhombus*,

Les œufs de barbue sont plus abondants que ceux du turbot (de l'ordre de 0,5 par 10 m³ lors du maximum de juillet à septembre) et la période de reproduction semble plus étalée (Fig. 3.4.158). Les larves en revanche présentent des effectifs voisins de ceux du turbot et leur maximum se situe en juin, alors que les œufs sont encore rares ; ce dernier fait suggère là encore que le frai ne se déroule pas sur le site lui-même, mais probablement dans des secteurs adjacents ou vers le large. L'alimentation du site en éléments exogènes est rendue vraisemblable aussi par la durée généralement longue des œufs.

Variations inter-sites

On retrouve pour la barbue une distribution biogéographique proche de celle du turbot, mais la disparité entre les sites est moins accentuée ; les effectifs de Flamanville ne sont que 2 fois en général moins élevés qu'en Manche-est pour les œufs (Fig. 3.4.159).

Bothidés

Les bothidés sont représentés par l'espèce *Arnoglossus laterna*, ou 'fausse limande', rencontrée une seule fois, en août 1979.

Pleuronectidés

Cette famille comporte 5 espèces à Flamanville. Y figurent des espèces très communes comme la plie, la limande ou le flet

La plie *Pleuronectes platessa*

Des larves de plie ont été récoltées sporadiquement en 1977 et 1978, provenant vraisemblablement des frayères situées au centre de la Manche occidentale et qui alimentent les nourriceries côtières du secteur, notamment celle du golfe normand-breton pour laquelle la côte du Cotentin constitue la marge septentrionale. Néanmoins, le secteur proche du site, notamment les anses sableuses situées de part de d'autre du cap de Flamanville, ne semblent pas constituer une nourricerie pour l'espèce d'après les pêches de juvéniles effectuées au chalut-perche.

Cela dit, quelle que soit l'importance d'une nourricerie, les densités de larves de plie en zone côtière ne sont jamais élevées, en raison notamment de leur grande dispersion, de leur mortalité élevée due à la longueur de la phase pélagique, et enfin de leur présence fugace dans le plancton côtier au moment où elles sont proches du stade benthique.

Variations inter-sites

Les œufs et larves de plie exhibent à partir du GNB un magnifique gradient, très régulier, des sites de Manche-ouest vers la Manche-est et le sud de la mer du Nord. On note la présence d'un nombre relativement important d'œufs de plie sur le site de Plogoff, avoisinant celui relevé à Gravelines (Fig. 3.4.160).

La limande *Limanda limanda*

Cette espèce est mieux représentée, avec des effectifs de larves de 0,1 à 0,4 ind par 10 m³ mors du maximum entre avril et juin (Fig. 3.4.161). L'espèce abonde dans les zones côtières sableuses ainsi que sur les bancs du large. On peut penser que le secteur constitue pour la limande une partie d'une frayère étendue couvrant l'ensemble des aires de nutrition printanières de l'espèce dont les plus fréquentées se situent à moyenne profondeur, à quelque distance de la côte ; la présence de jeunes larves semble confirmer ce point de vue.

Variations inter-sites

Les larves de limande ne sont pas plus abondantes sur le site du golfe normand-breton, mais leurs effectifs remontent à Plogoff. En direction inverse, elles suivent un net gradient en direction de la Manche-est jusqu'à Gravelines où leur abondance est maximale et de 20 fois supérieure en moyenne (Fig. 3.4.162).

Le flet *Platichthys flesus*,

Les larves du flet, espèce plus côtière que la limande, sont présentes à des effectifs comparables, mais le maximum a lieu en avril (Fig. 3.4.163).

Variations inter-sites

Les larves de flet suivent un double gradient, l'un régulier en direction de la Manche-est et Gravelines (densités 20 fois plus importantes), l'autre vers le GNB et Plogoff (Fig. 3.4.164).

Soléidés

La famille des soléidés est représentée dans les secteurs côtiers de Manche et mer du Nord par quatre espèces dont la plus importante sur le plan économique est la sole commune ou 'sole' *Solea Solea* (= *S. vulgaris*) ; deux autres espèces, la sole perdris *Solea lascaris* et la sole panachée *Microchirus variegatus* sont de taille voisine et présentes accessoirement dans les captures commerciales du secteur bien que n'ayant pas strictement la même écologie. Enfin, la solenette ou 'petite sole jaune' *Buglossidium luteum*, de la taille du céteau, est présente mais n'a pas un grand intérêt halieutique.

Ce sont des espèces néritiques typiques, fréquentes dans les eaux peu profondes à substrat sableux et sablo-vaseux (Gravelines) ou présentant une alternance de tels substrats avec des fonds hétérogènes voire rocheux (Penly, Paluel ou Flamanville).

La sole commune *Solea solea*

Commune dans les eaux du nord-ouest Cotentin, la sole *Solea Solea* peut être considérée comme l'espèce ichthyoplanctonique la plus importante à Flamanville de par sa valeur commerciale et l'abondance relative de ses œufs et larves au sein de cette fraction du zooplancton, par ailleurs assez pauvre dans l'ensemble sur ce site.

Les œufs, présents d'avril à septembre, ont une densité de l'ordre de quelques unités par 10 m^3 , environ 6 lors du maximum de mai (Fig. 3.4.165) ; les larves sont plus tardives : bien que leur présence s'étende sur la même période, leur maximum est plutôt centré sur mai-juin. Cette période est identique à celle observée dans des secteurs plus septentrionaux, alors qu'on s'attendrait à un décalage (une précocité accrue) compte tenu des températures hivernales plus élevées à Flamanville. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les premières pontes en Manche ouest s'effectue vers le large où les températures sont plus faibles qu'à la côte au printemps, se rapprochant ainsi de celles de Penly ou de Gravelines. Par ailleurs, il est possible qu'en Manche ouest, on ait un faible mélange de populations de Manche à ponte côtière avec celles de mer Celtique et du golfe de Gascogne, à ponte hivernale ; le taux doit en être faible, car la ponte à Flamanville est typiquement printanière.

À l'inverse, l'extension de la période de ponte jusqu'à l'automne (confirmée par l'observation des stades de maturité sexuelle des femelles) peut s'expliquer par les températures estivales moins élevées à Flamanville et en Manche ouest que dans le sud de la mer du Nord où les pontes s'achèvent généralement en juin qui présente des température aussi élevées qu'en été à Flamanville.

Variations inter-sites

Les densités d'œufs et de larves y sont nettement inférieures qu'en Manche-est à Penly (globalement d'un facteur 3 à 5 pour les œufs, 10 pour les larves) ou en mer du Nord à Gravelines (d'un facteur 10 pour les œufs, autant pour les larves) – Fig. 3.4.166. Ces abondances paraissent surtout liées aux substrats sableux et sablo-vaseux plutôt que suivre un gradient gouvernés par la latitude car en-dehors de ces secteurs, on les voit représentés, bien qu'en densité moindre, à Flamanville et dans le GNB alors que les effectifs sont quasi nuls à Paluel. Les œufs et larves de sole sont aussi abondantes à Flamanville que sur le site Normand-breton bien que l'espèce soit très côtière, du moins au printemps, lors de sa phase de nutrition-reproduction qui l'amène à fréquenter les secteurs littoraux abrités.

Les densités relevées à Flamanville sont de l'ordre de grandeur de celles observées par Riley sur certaines frayères des côtes anglaises du sud de la mer du Nord et citées comme 'moyennement importantes' (1 à 10 œufs par 10 m^3).

Au vu de tous ces résultats, on peut dire que le site de Flamanville constitue pour la sole une frayère (ou est inclus dans un ensemble de frayères de Manche ouest) d'importance moyenne. Les œufs et larves qu'on y observe sont le fait de géniteurs du stock de Manche, distinct de celui de mer du Nord et divisé en petites populations distribuées le long des côtes anglaises et françaises.

Leur frai aurait lieu principalement dans des eaux de plus de 50 m de profondeur ; des concentrations secondaires sont observées dans le golfe normand-breton et autour des îles anglo-normandes, et pourraient alimenter partiellement le site en œufs et larves grâce à la composante ouest-est des courants de marée et à la dérive générale vers le nord-est.

Néanmoins, la proportion élevée d'œufs aux premiers stades (50 à 100 %) et l'observation d'un gradient d'abondance vers les points côtiers suggère qu'une partie des pontes s'effectue dans les secteurs côtiers voisins du cap de

Flamanville, notamment dans les anses sableuses, substrat convenant bien à la sole.

La sole perdrix *Solea lascaris*

De même taille que *S. vulgaris* et fréquentant les mêmes substrats, la sole perdrix est essentiellement un compétiteur pour la sole commune. En Manche ouest, elle serait plus fréquente que cette dernière. Néanmoins à Flamanville, les densités relevées sont nettement plus faibles que celles de la sole.

Variabilité inter-sites

Les œufs et larves de *Solea lascaris* exhibent tous deux un magnifique double gradient, l'un vers la Manche-est jusqu'à Gravelines, l'autre, moins intense, vers Plogoff (Fig. 3.4.167).

La sole panachée *Microchirus variegatus*

Espèce généralement d'eaux plus profondes que celles fréquentées par les autres soléidés, on la rencontre moins auprès des côtes. Son aire principale se situerait le long des côtes occidentales des îles britanniques. À Flamanville, ses œufs sont 2 à 5 fois plus abondants que ceux de *S. lascaris*.

Variabilité inter-sites

Les œufs de la sole panachée suivent un double gradient à partir du GNB, l'un vers le nord-est avec un maximum à Gravelines (où ils sont plus de 5 fois plus abondants), l'autre vers Plogoff (Fig. 3.4.168).

La petite sole jaune *Buglossidium luteum*

Espèce d'eaux moyennement profondes des zones sableuses, la petite sole jaune s'approche moins du rivage que la sole commune *Solea solea*. Relativement sédentaire, *B. luteum* pourrait manifester, comme le sprat ou la sole, une différenciation adaptative en populations locales d'écophysiologie particulière.

Sur tous les sites étudiés, elle est toujours la première à pondre parmi les soléidés. À Flamanville, les œufs sont présents dès mars et à des densités quasi identiques à celles relevées lors des maxima. Les larves, plus tardives, sont surtout présentes de mai à août (Fig. 3.4.169).

Variabilité inter-sites

Les abondances sont du même ordre que celles relevées à Paluel ou Plogoff, mais nettement inférieures à celles de Gravelines et surtout de Penly (d'un facteur 20 en moyenne pour les œufs, voire 50 pour le maximum), alors que dans le golfe Normand-breton les densités ne sont que 2 à 3 fois supérieures à celles de Flamanville (Fig. 3.4.170).

3.4.3. CONCLUSION

Le site de Flamanville conjugue des caractères généraux de secteur méridional soumis à l'influence océanique, aux particularités régionales de secteur littoral à l'est du golfe Normand-breton affinées localement par l'alternance des substrats rocheux du cap de Flamanville et sableux voire sablo-vaseux des anses qui l'encadrent.

Le compartiment zooplanctonique exprime les grandes tendances, aussi bien dans sa partie holoplanctonique que méroplanctonique, auxquelles se superposent notamment dans cette seconde fraction la part due aux substrats. Le milieu pélagique intègre cet ensemble et manifeste ainsi plus que tout autre l'originalité du site de Flamanville. On y retrouve les grands gradients biogéographiques nord-sud et néritique (voire continental)-océanique qui font encore la spécificité de la Manche-ouest. Aux côtés d'indicateurs taxinomiques manifestes de ces différentes influences comme certains copépodes, ce carrefour de tendances constitue le fil d'Ariane président à l'interprétation des abondances faunistiques et de la biodiversité du site de Flamanville, plus élevée que sur les sites de Manche et de mer du Nord.

Le gradient biogéographique globalement nord-sud se superpose au gradient néritique-océanique (mer du Nord → Manche-est → Manche-ouest → nord du golfe de Gascogne, ou en d'autres termes Gravelines → Penly → Paluel → Flamanville → GNB → Plogoff). Il se traduit dans les abondances taxinomiques et surtout dans les dominances.

C'est ainsi que Flamanville se situe souvent au minimum d'un gradient de densité en direction du nord-est pour nombre de groupes holoplanctoniques (chaetognathes, *Pleurobrachia pileus*, *Lanice conchilega*, copépodes comme *Temora longicornis*, harpacticoïdes hors *Euterpina*) ou méroplanctoniques (œufs et/ou larves de poissons : anchois, merlan, triglidés, chinchard, petite vive, maquereau, turbot, barbue, plie, limande, flet, sole commune, sole perdrix et sole panachée). Pour certaines espèces, ce gradient demeure localisé en Manche et ne s'étend pas jusqu'à Gravelines (copépodes comme *Isias clavipes* ou *Labidocera wollastoni*, œufs et larves de sardine, de merlan) ou au contraire 'explose' à Gravelines comme pour les mysidacés *Gastrosacchus* et *Schistomysis*.

Pour d'autres taxons, Flamanville est au maximum d'un gradient inverse vers le sud-ouest : copépodes *Calanus*, *Anomalocera patersoni*, *Euterpina acutifrons*, *Parapontella brevicornis* ; quelquefois difficile voire impossible à déceler par l'examen des abondances, ce gradient se révèle par le calcul des dominances comme pour les copépodes des genres *Acartia* ou *Centropages*. (effectifs rapportés à ceux de *Temora*).

Certaines espèces sont directement indicatrices de l'influence océanique comme le chaetognathe *Sagitta elegans* ou les copépodes *Euchaeta hebes*, *Metridia lucens* ou *Candacia armata*, ces derniers d'ailleurs majoritaires à Plogoff.

Souvent enfin, le site de Flamanville semble situé au 'creux' d'un double gradient sud-nord et nord-sud ; c'est le cas pour certaines espèces comme la sardine, le sprat, le bar, le flet, la limande, la sole perdrix et la sole panachée.

De par sa situation géographique, le site de Flamanville est alimenté en œufs et larves de poissons dont les frayères occupent la partie centrale de la Manche (sardine, sprat, chinchard, maquereau), mais s'inscrit aussi de par les caractéristiques du secteur, notamment de par la nature des substrats, dans un ensemble de frayères et/ou nourriceries côtières peu productives cependant (clupéidés, poissons plats).

Cependant, la grande originalité du milieu pélagique de Flamanville, en liaison avec l'abondance des substrats rocheux dans le secteur, vient de la richesse et de la diversité du zooplancton en larves de crustacés décapodes. La plupart des groupes sont présents ; parmi les plus abondants, les caridés qui sont représentés majoritairement par des Hippolytidés des genres *Eualus* et *Hippolyte*, petites 'crevettes' non commerciales, des thalassinidés (principalement le genre *Upogebia*, sans intérêt halieutique), les anomoures (pagures, galathées) et les brachyours (crabes, araignées). Deux espèces dominent les décapodes, à

la fois par leur abondance relativement à tous les autres sites et par leur grande valeur commerciale : le homard (*Homarus gammarus*) et l'araignée de mer (*Maja brachydactyla*).

Comparaison 'Avant-après'

La comparaison 'Avant'-'Après' livre un résultat assez intéressant dans la mesure où pour un grand nombre de taxons les effectifs à partir de 1986 (soit à la date de mise en service de la centrale) sont globalement supérieurs aux effectifs antérieurs et manifestent une variabilité plus grande, de sorte que cette différence se révèle surtout au niveau des pics d'abondance. Pour beaucoup de groupes faunistiques, les résultats sont assez nets pour intégrer la part de variabilité inter-annuelle qui pourrait la nuancer, sachant en plus que la période 'Avant', bien que plus courte que la suivante, porte tout de même sur une dizaine d'années (1976-86).

Pour un grand nombre de taxons, on observe une augmentation sensible des abondances au cours de la période 'Après', mais celle-ci semble résulter autant de l'accroissement de la densité moyenne que de l'amplitude des fluctuations d'effectifs donnant lieu à des maxima relativement élevés. À l'élévation du niveau moyen s'ajoute ainsi une plus grande variabilité pluriannuelle se traduisant par, outre les maxima (comme notamment lors des années 1986-87, 1993 à 1995 voir quelquefois 1996 ou de 2002 à 2004), d'importantes périodes de 'récession' (comme en 1997-98, quelquefois 1999), la position de ces pics ou creux d'amplitude pouvant varier légèrement (d'une année, pas davantage) suivant les différents groupes faunistiques.

Le plus remarquable est que ces fluctuations affectent la plupart des taxons, indépendamment de leur filiation taxinomique ou de leur écologie ; notamment, on y trouve aussi bien des espèces holoplanctoniques que méroplanctoniques. Ainsi, parmi les taxons manifestant un accroissement des effectifs au cours de la période 'Après', citons : les cnidaires *Hybocodon prolifer* et *Obelia*, les larves d'annélides dominantes comme les spionidés et *Lanice conchylega*, les larves de bryozoaires et de mollusques, nombre de copépodes (*Calanus*, *Pseudocalanus minutus*, *Temora longicornis*, *Metridia lucens*, *Centropages*, *Acartia*, harpaticoides, monstrillidés), les larves de crustacés (cirripèdes, caridés, thalassinidés, anomoures un peu moins brachyours), appendiculaires, œufs et larves de poissons. Seuls quelques groupes sont restés stables, notamment les cténaires, de rares copépodes, des crustacés isopodes et amphipodes, voire ont régressé comme les cumacés.

Écologiquement parlant, une élévation du niveau moyen des effectifs ne signifie pas obligatoirement 'accroissement de la richesse', l'augmentation de la productivité se faisant souvent au détriment de la biodiversité, laquelle reste le meilleur critère des écosystèmes 'en bonne santé' ; l'augmentation corrélative de la variabilité des effectifs est plutôt le signe d'une sensibilité accrue de l'écosystème, résultat de son appauvrissement global.

Le fait que la majorité des espèces subissent des variations pluriannuelles quasi parallèles, peut plaider autant en faveur de l'effet phénomènes climatiques généraux que d'une incidence des rejets d'eaux chaudes en continu. Des fluctuations pluriannuelles à longue période ont en effet été mises en évidence sur d'autres sites comme à Gravelines, où les oscillations périodiques du cycle thermique suivent les changements climatiques généraux telles que révélées notamment par l'indice NAO (*North Atlantic Oscillation*). De tels phénomènes se font sentir jusqu'aux zones côtières, notamment en mer du Nord. Bien que les sites de Manche et *a fortiori* du golfe de Gascogne soient réputés moins réactifs, il est possible que la réponse se fasse

sentir jusqu'à Flamanville. L'augmentation de l'indice NAO moyen à partir de 1988 ainsi que son anomalie négative en 1996-97 ne sont pas sans évoquer les fluctuations pluriannuelles observées sur le site sensiblement aux mêmes périodes.

Ainsi, il paraît hâtif d'incriminer obligatoirement la centrale de Flamanville dans les évolutions constatées. On peut à tout le moins penser qu'elle ne peut qu'accroître la pression sur un milieu fragilisé par des phénomènes naturels ou induits par l'activité précédente.

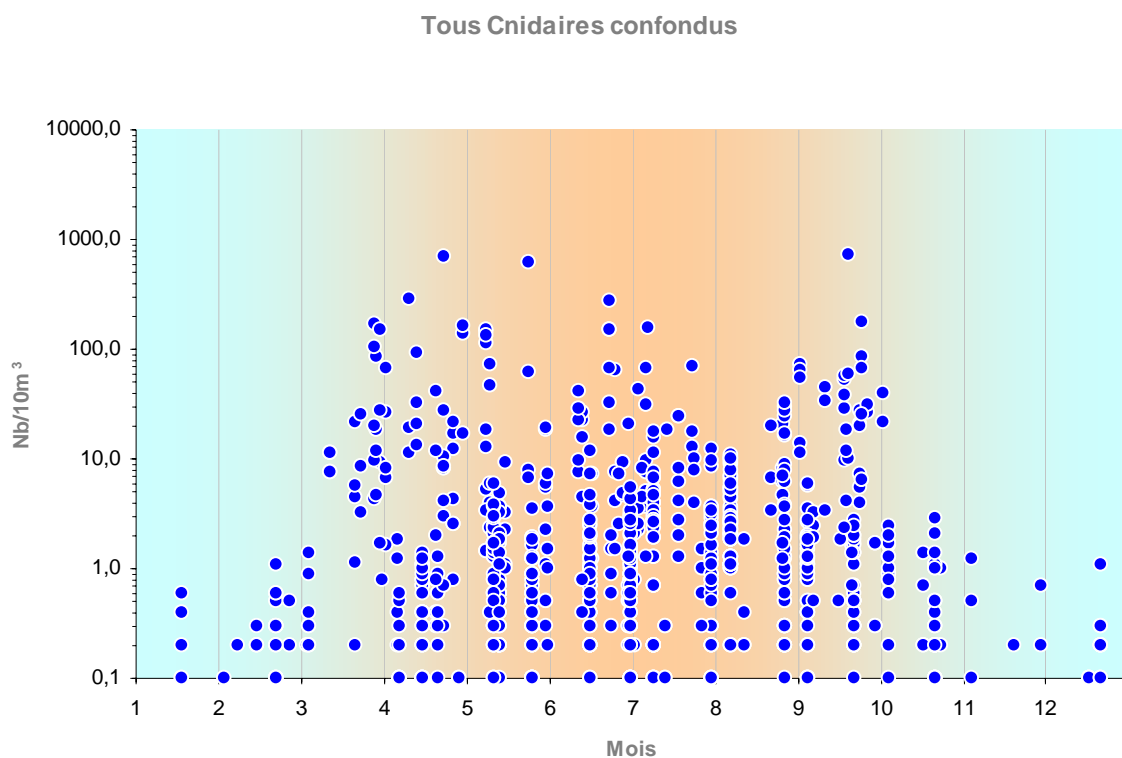


Fig. 3.4.1

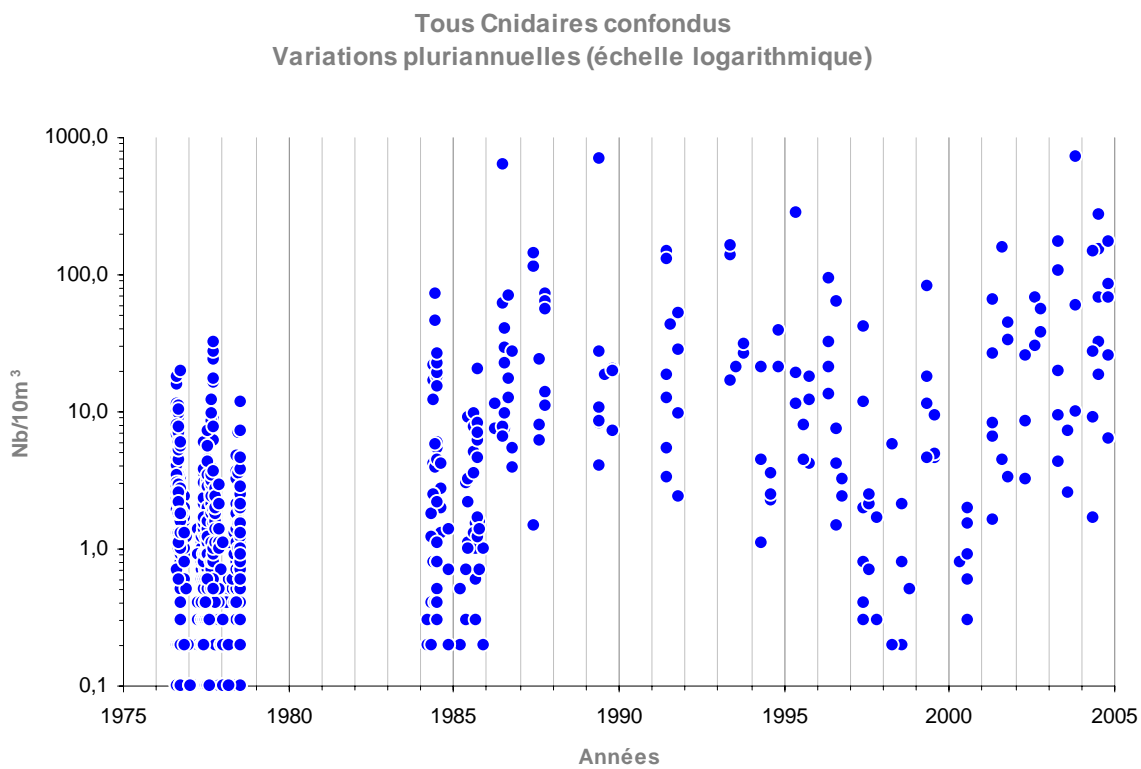


Fig. 3.4.2

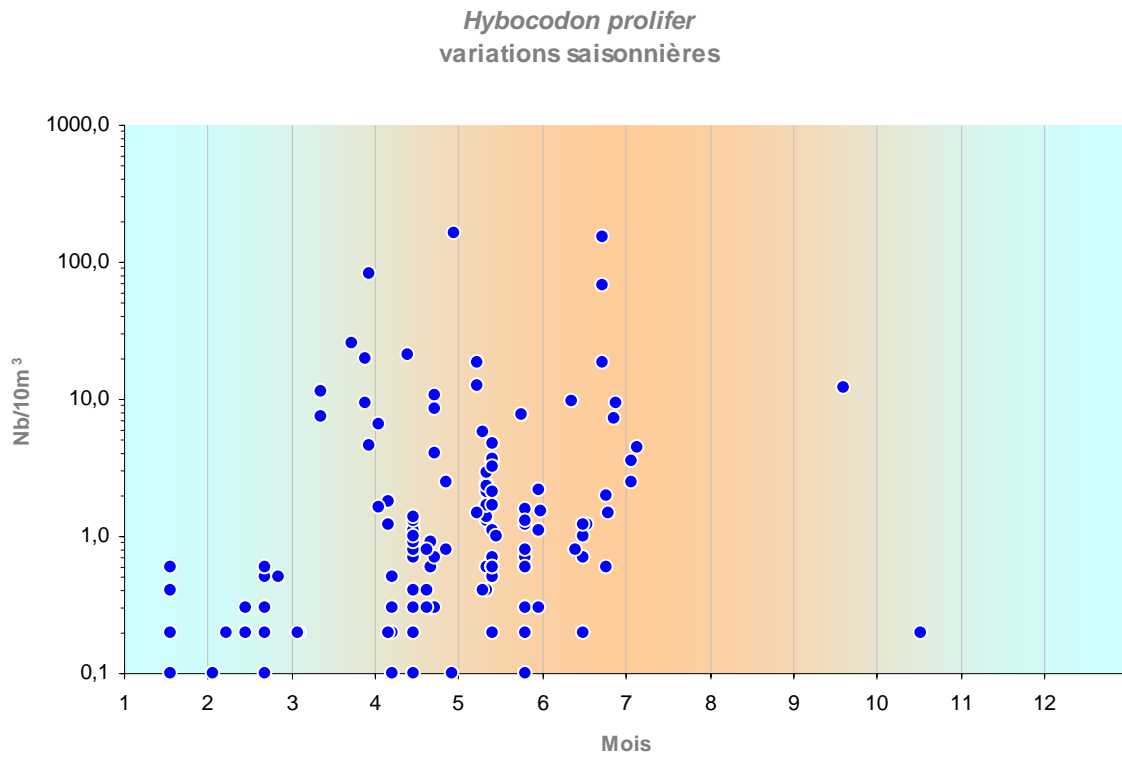


Fig. 3.4.3

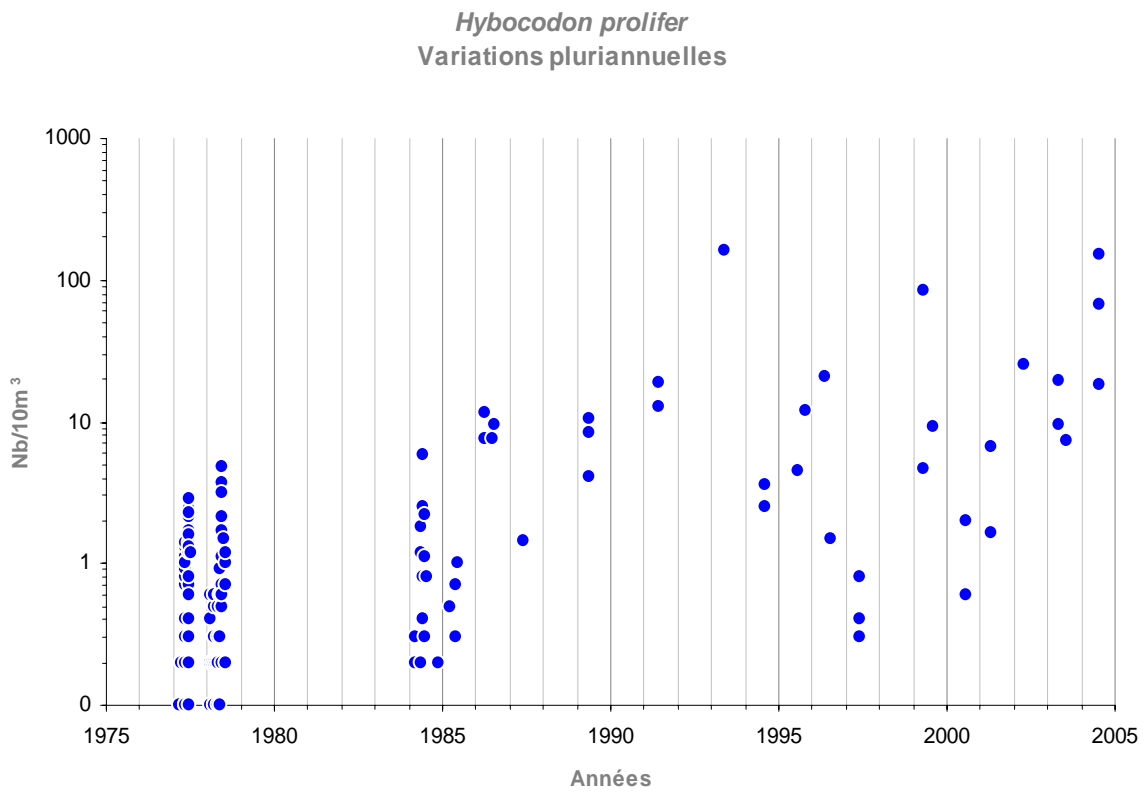


Fig. 3.4.4

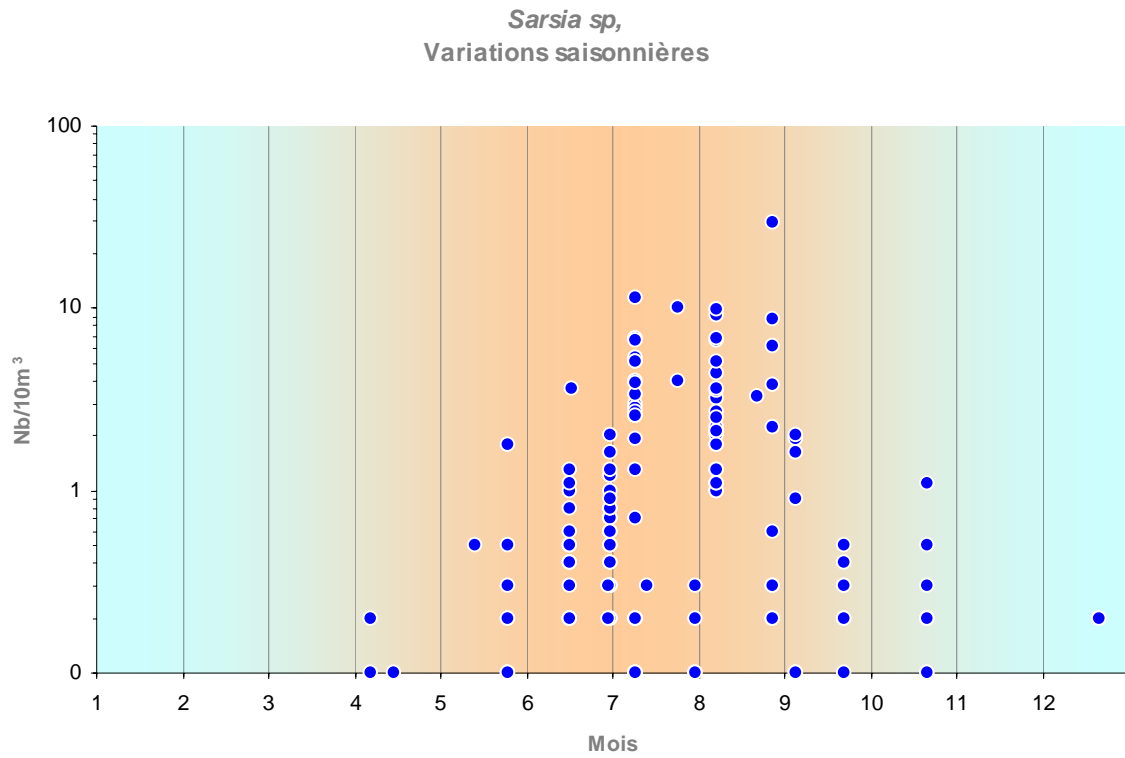


Fig. 3.4.5

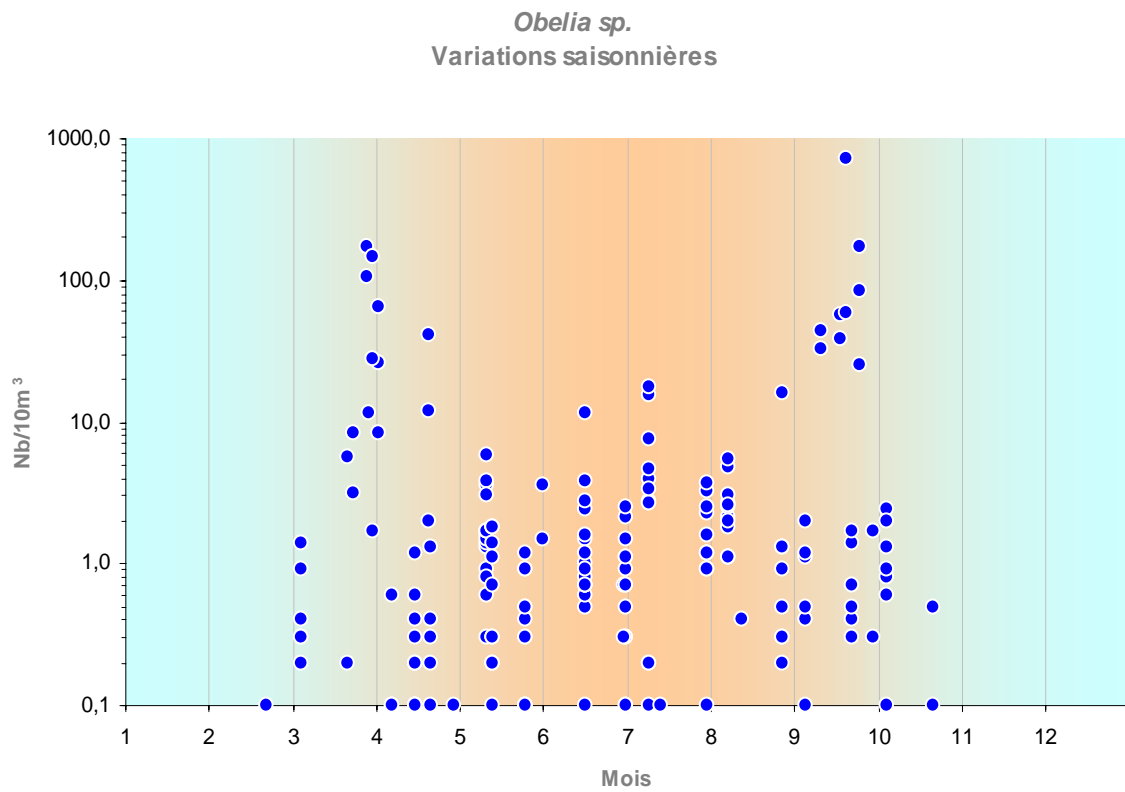


Fig. 3.4.6

Obelia sp.
Variations annuelles

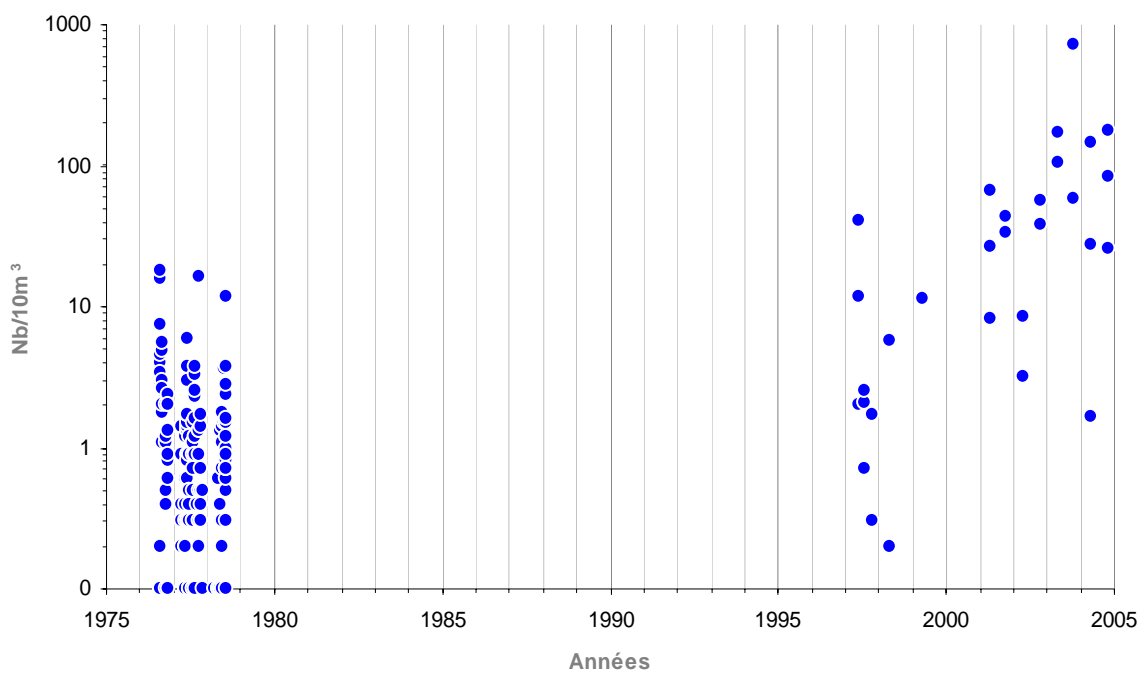


Fig. 3.4.7

Phialidium hemisphaericum
Variations saisonnières

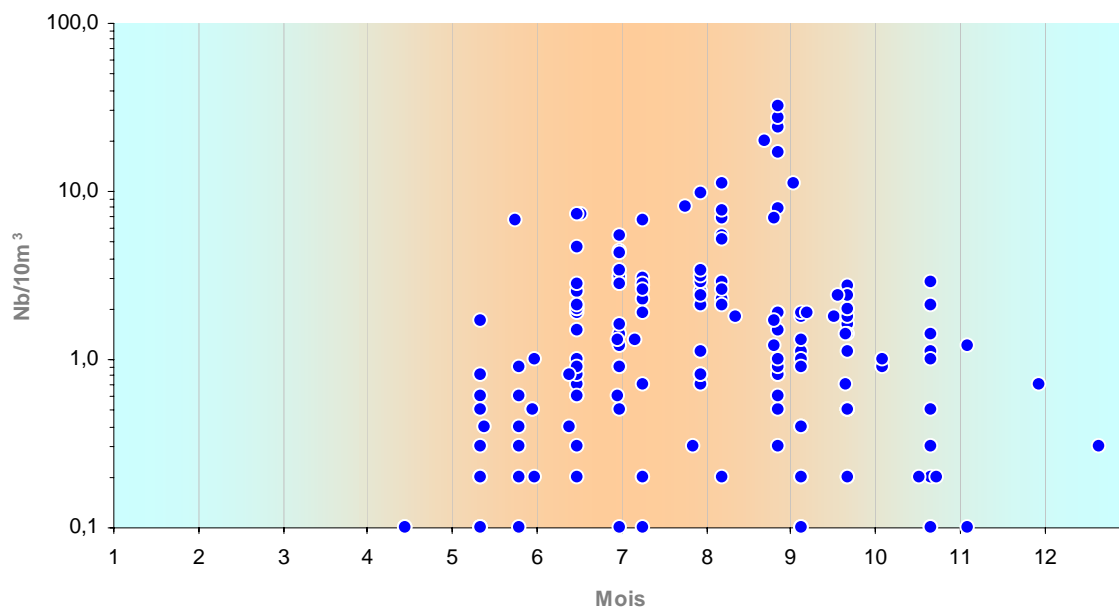


Fig. 3.4.8

Cténaires filet 0,5 mm

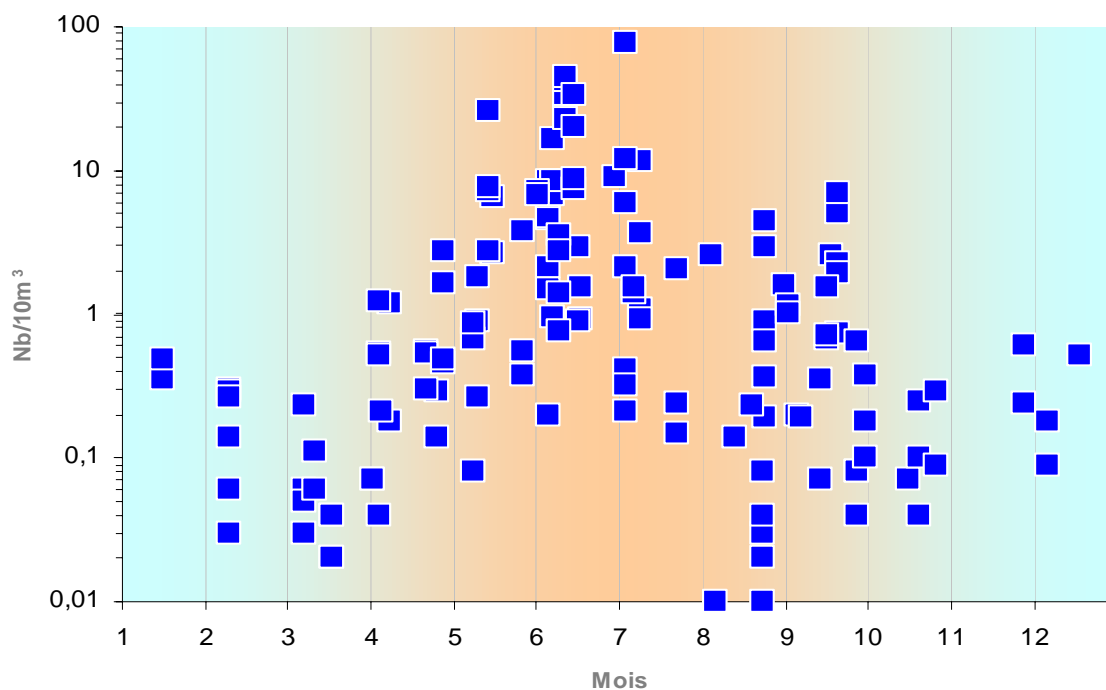


Fig. 3.4.9

Pleurobrachia pileus
Variations pluriannuelles

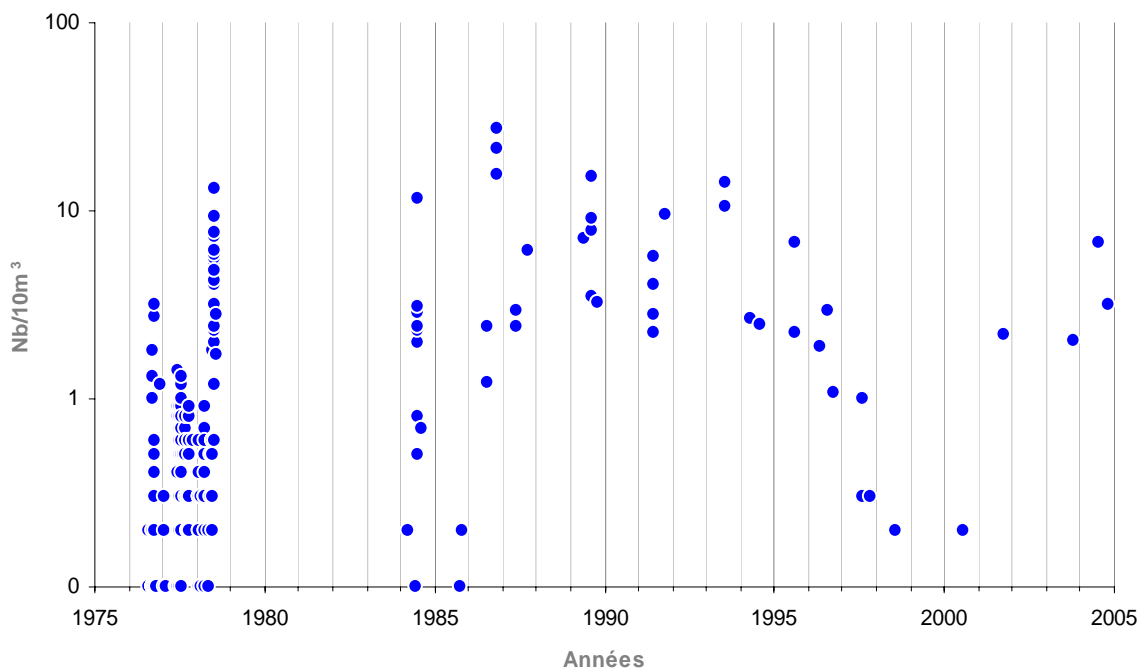


Fig. 3.4.10

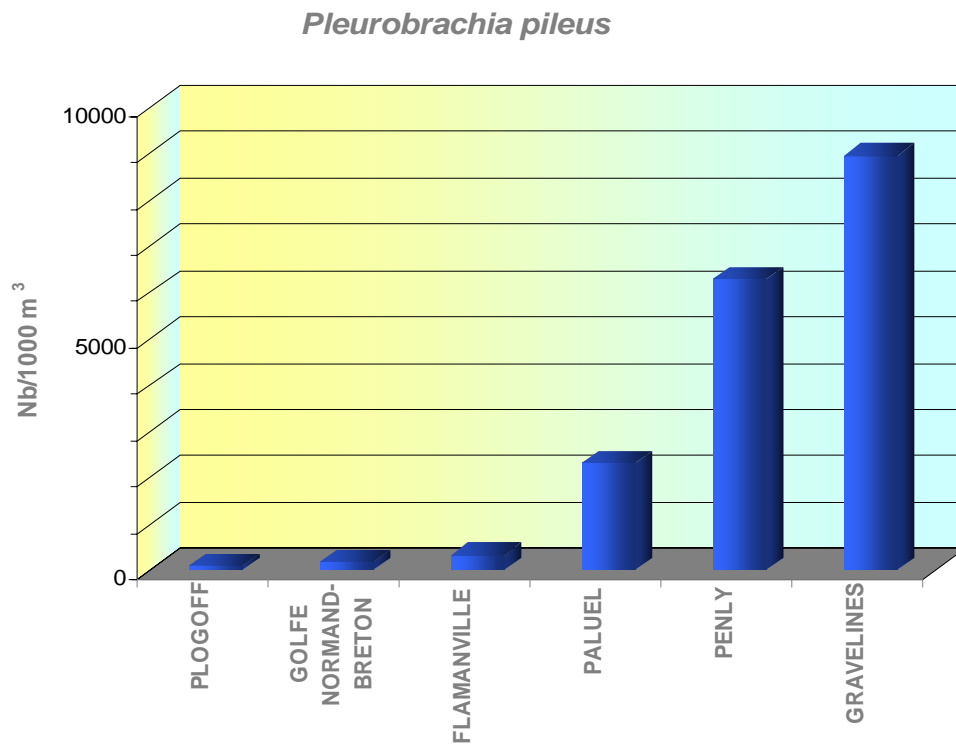


Fig. 3.4.11

Larves d'annélides filet 0,5 mm

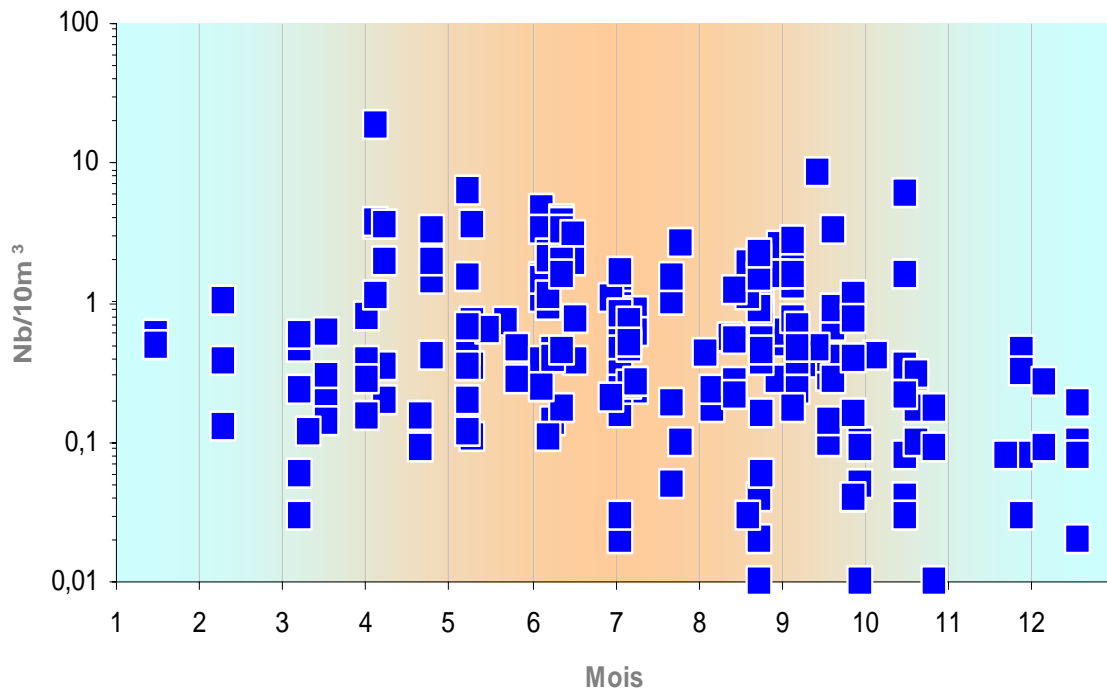


Fig. 3.4.12

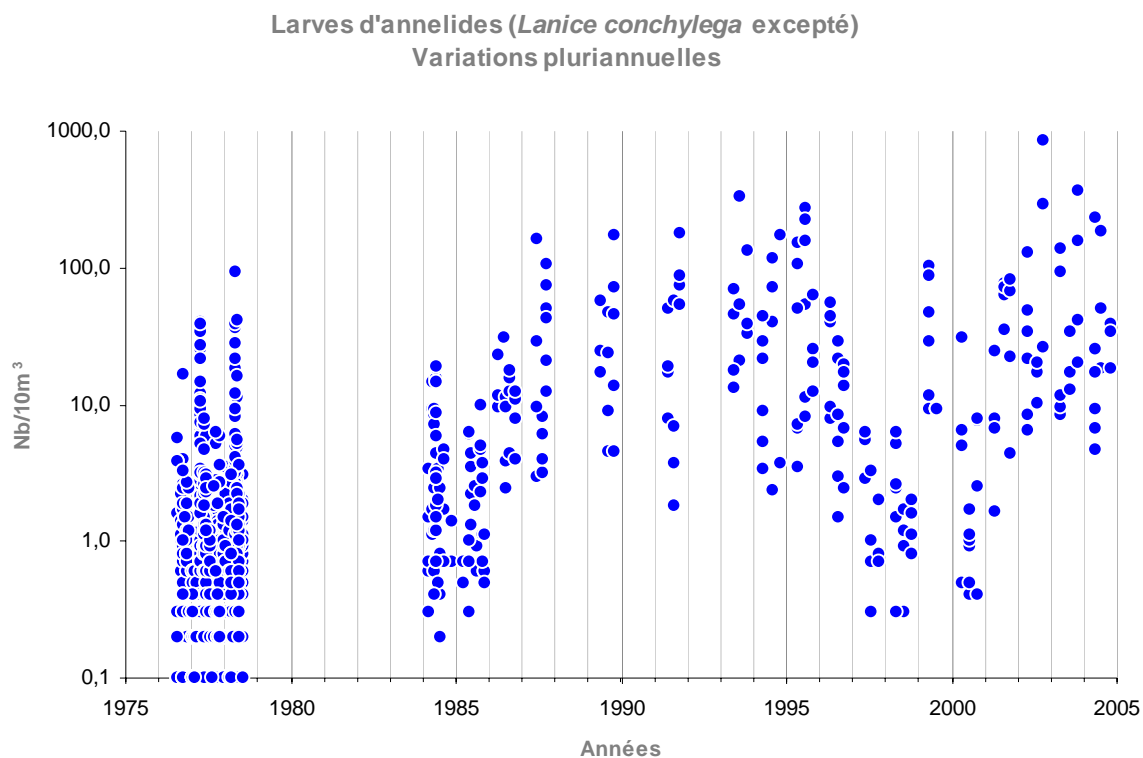


Fig. 3.4.13

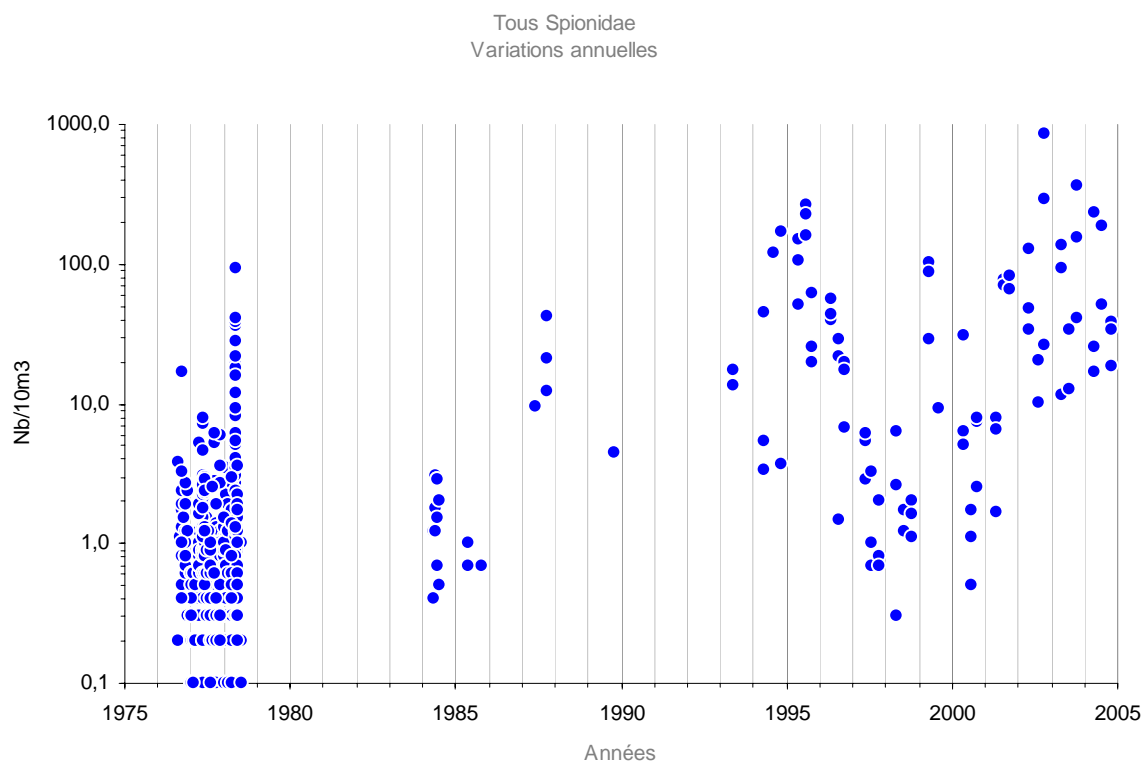


Fig. 3.4.14

Malacoceros sp, + *Solelepis* sp.
Variations saisonnières

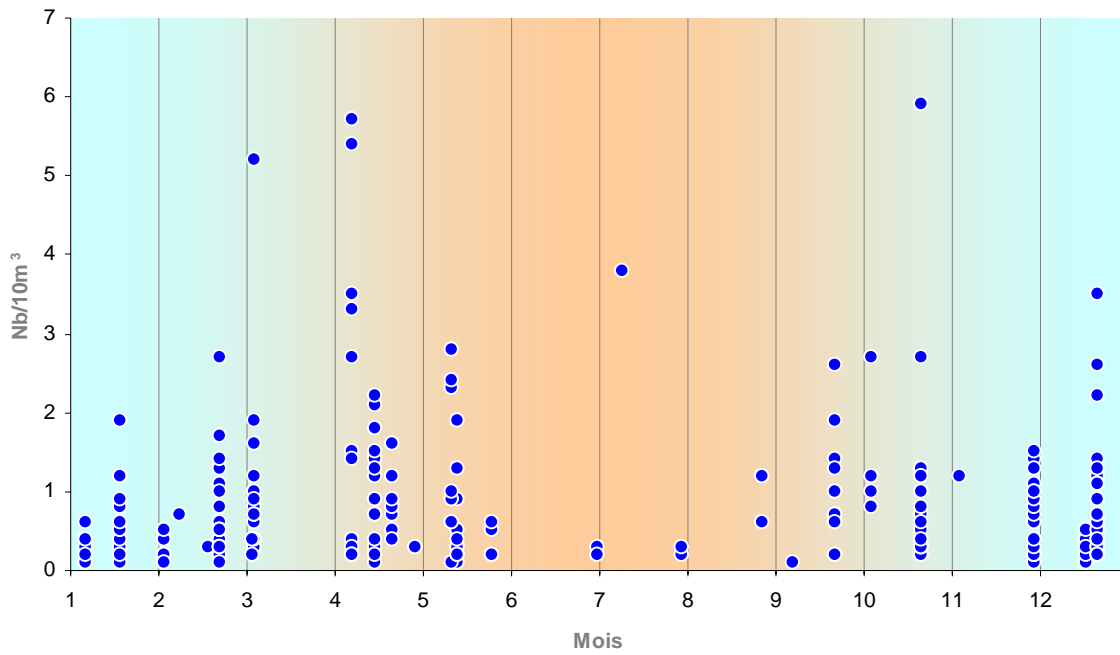


Fig. 3.4.15

Spio sp,
Variations saisonnières

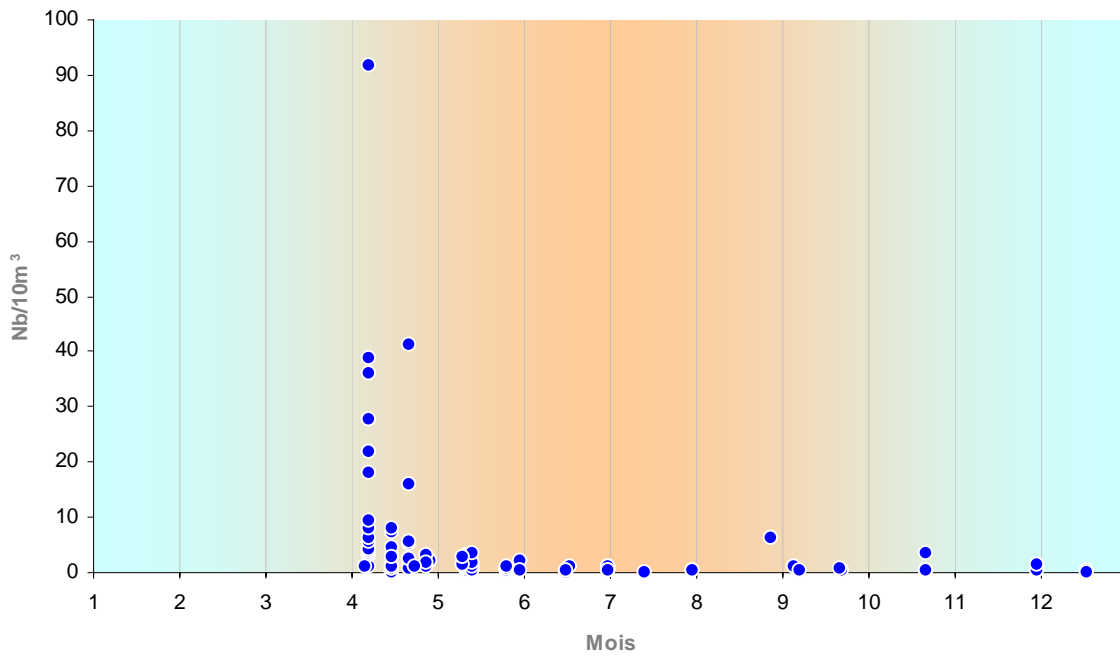


Fig. 3.4.16

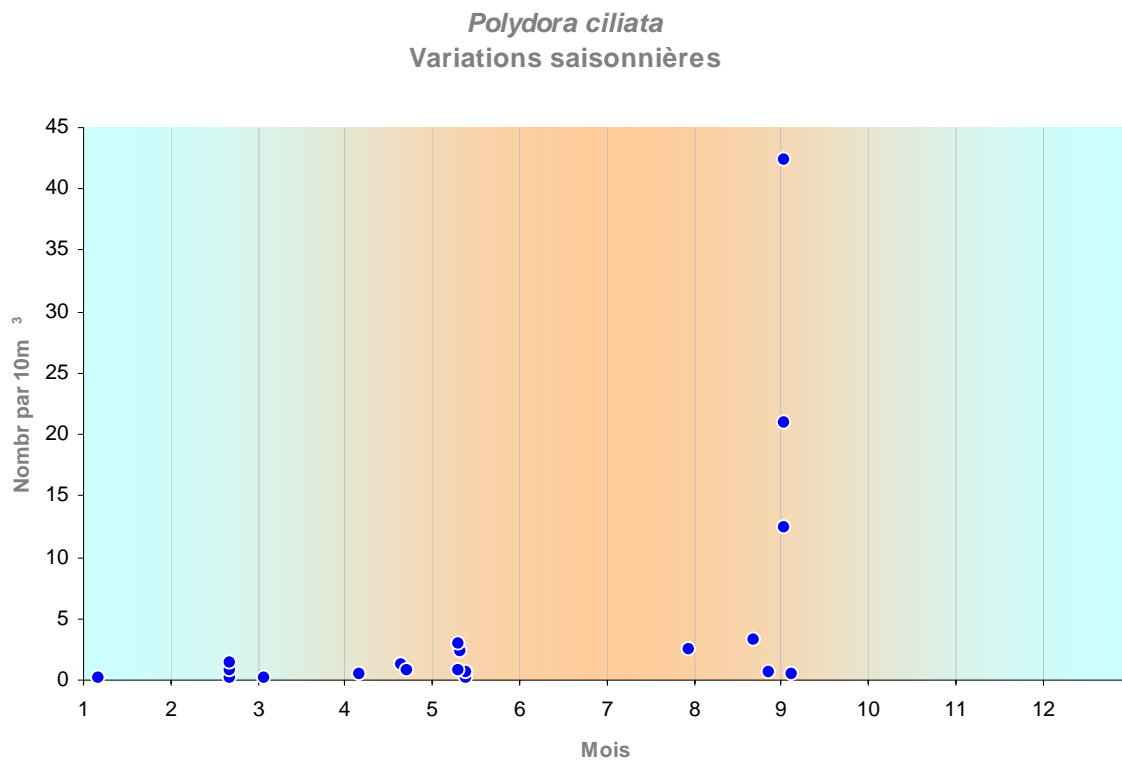


Fig. 3.4.17

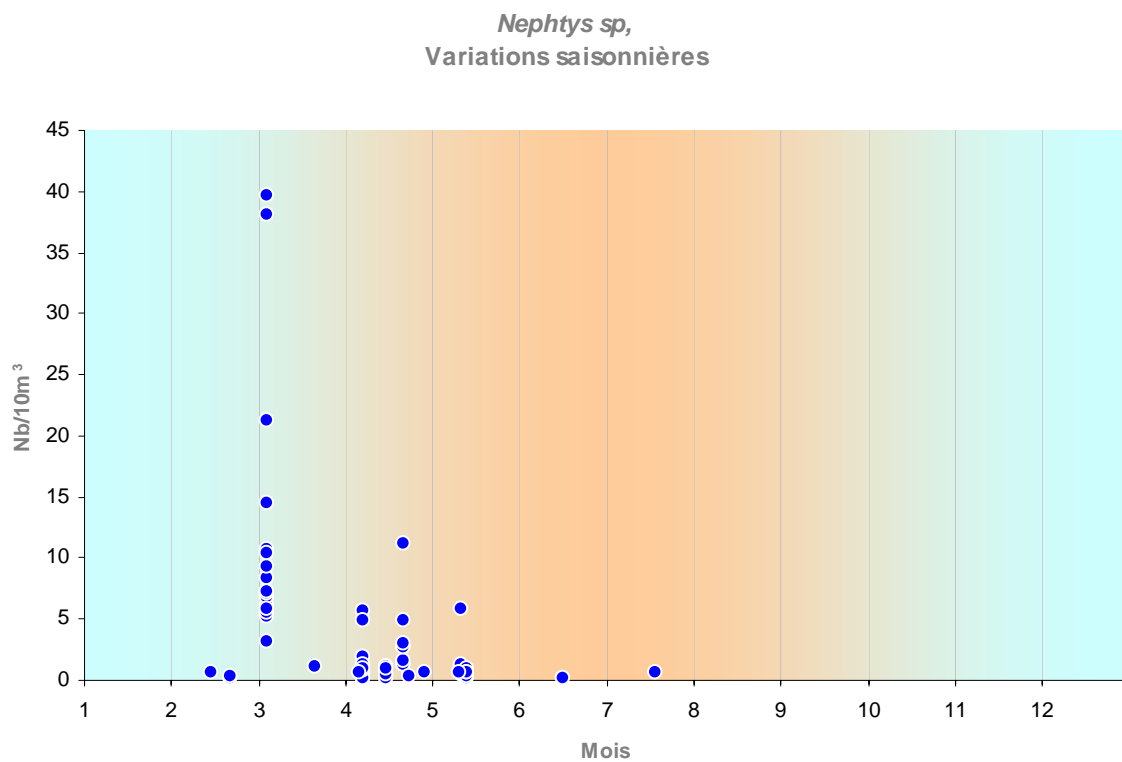


Fig. 3.4.18

Lanice conchylega
Variations saisonnières

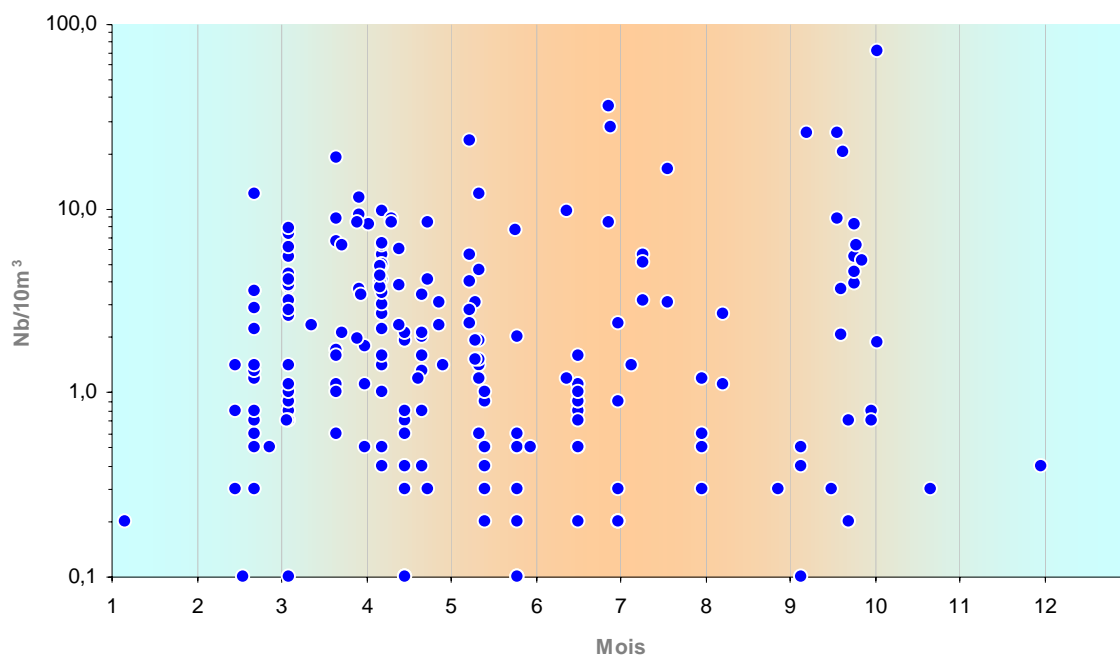


Fig. 3.4.19

Lanice conchylega
Variations annuelles

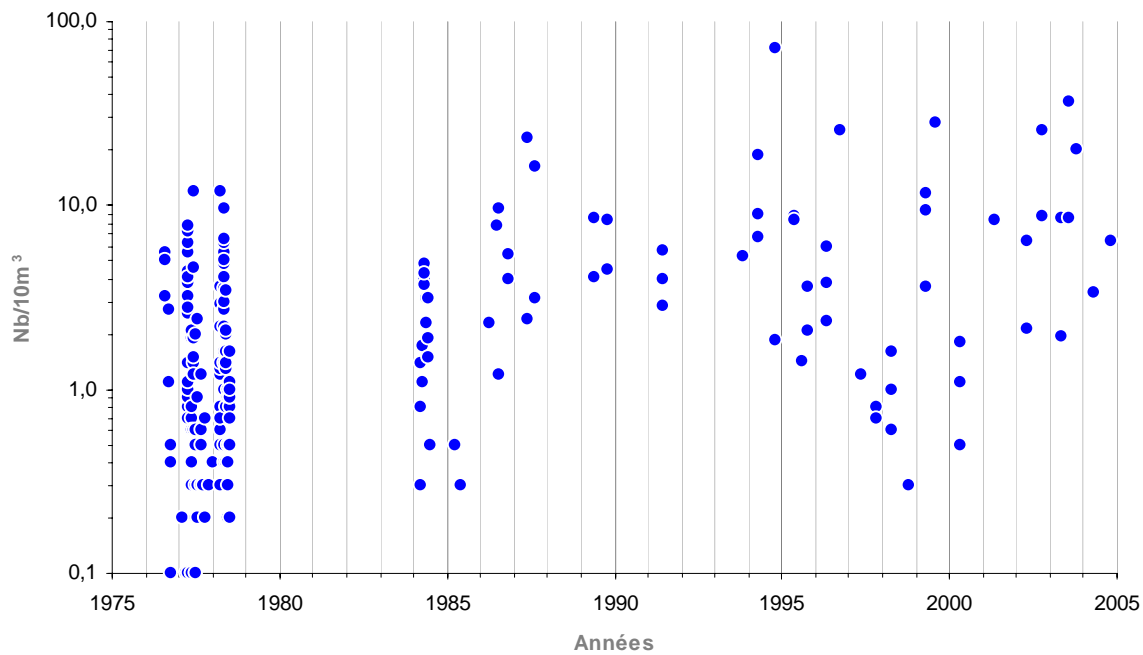


Fig. 3.4.20

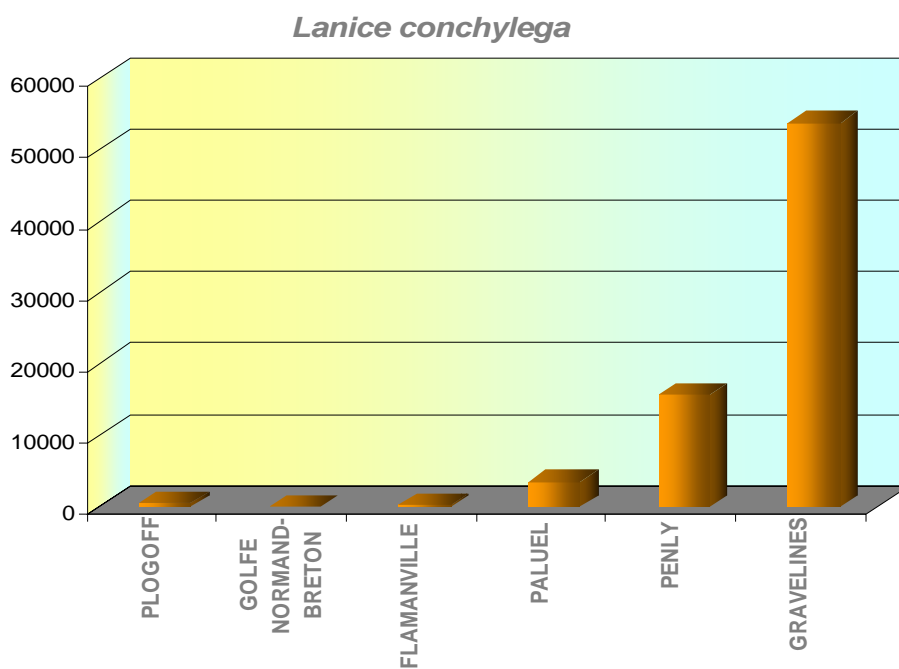


Fig. 3.4.21

Chaetognathes filet 0,5 mm

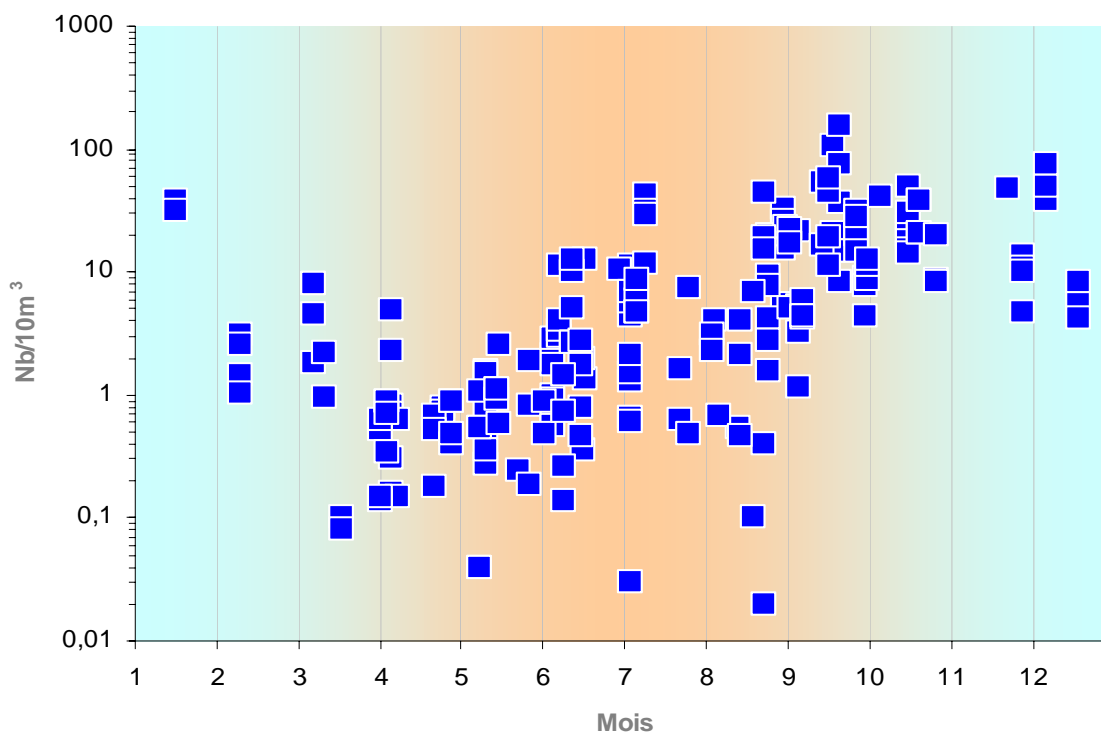


Fig. 3.4.22

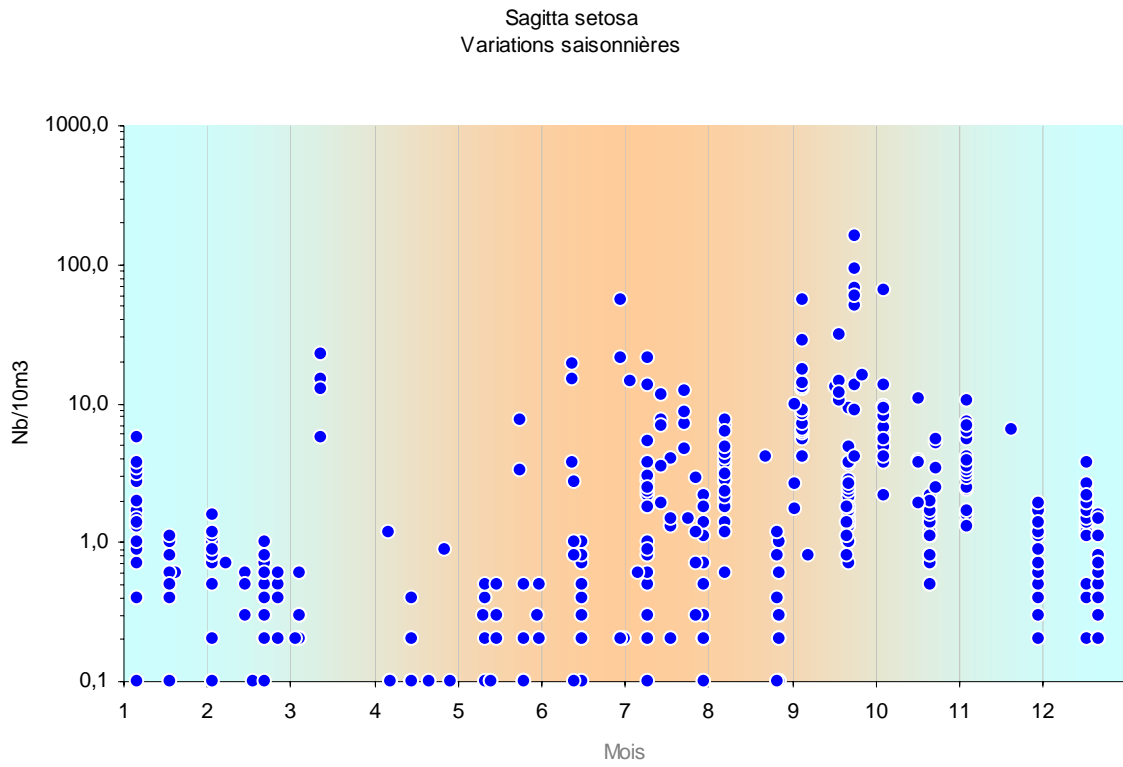


Fig. 3.4.23

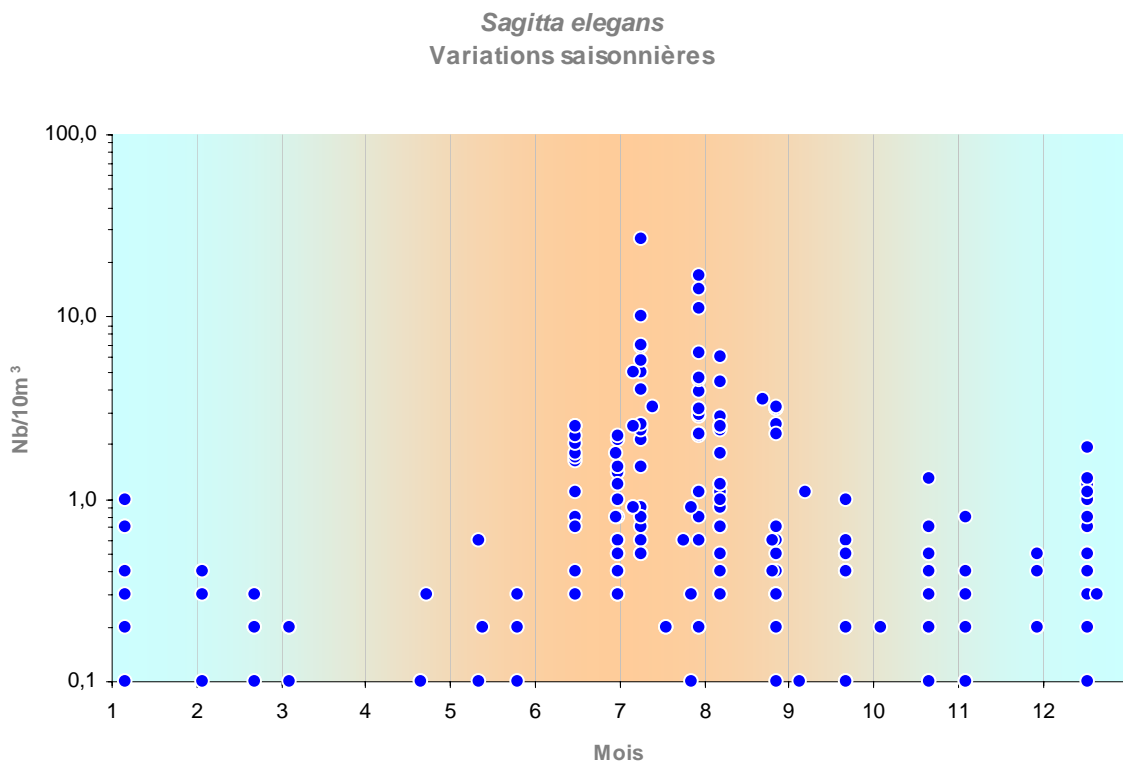


Fig. 3.4.24

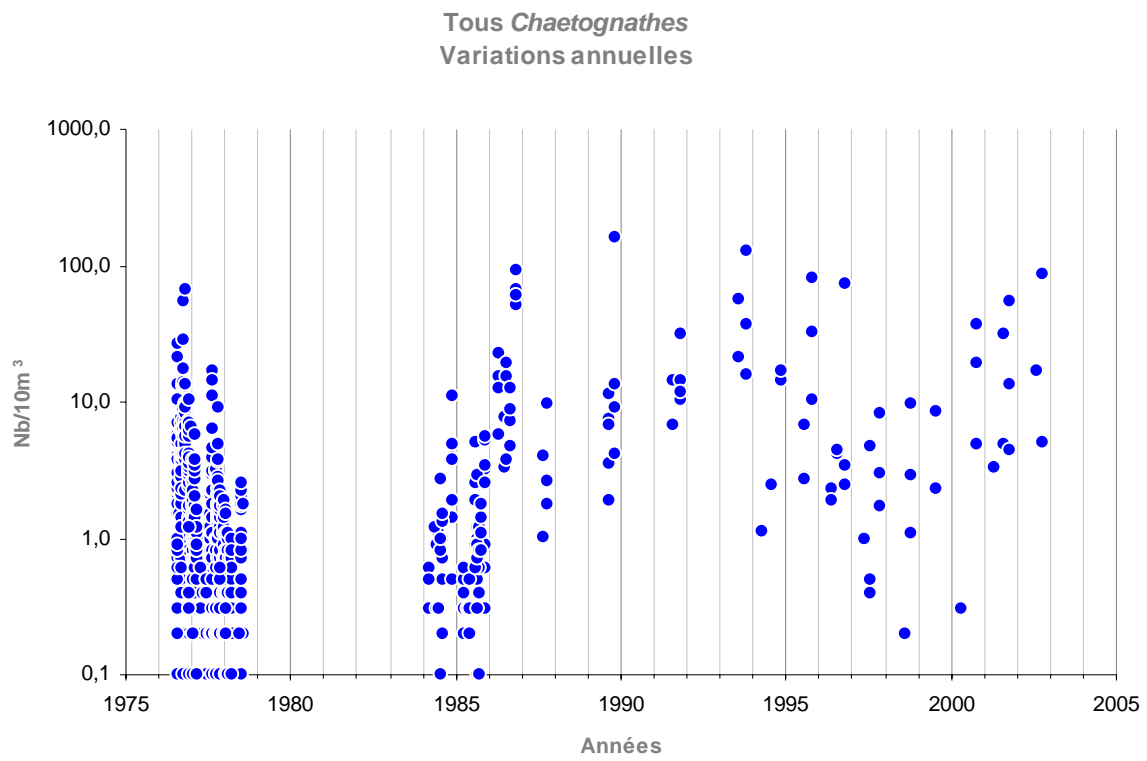


Fig. 3.4.25

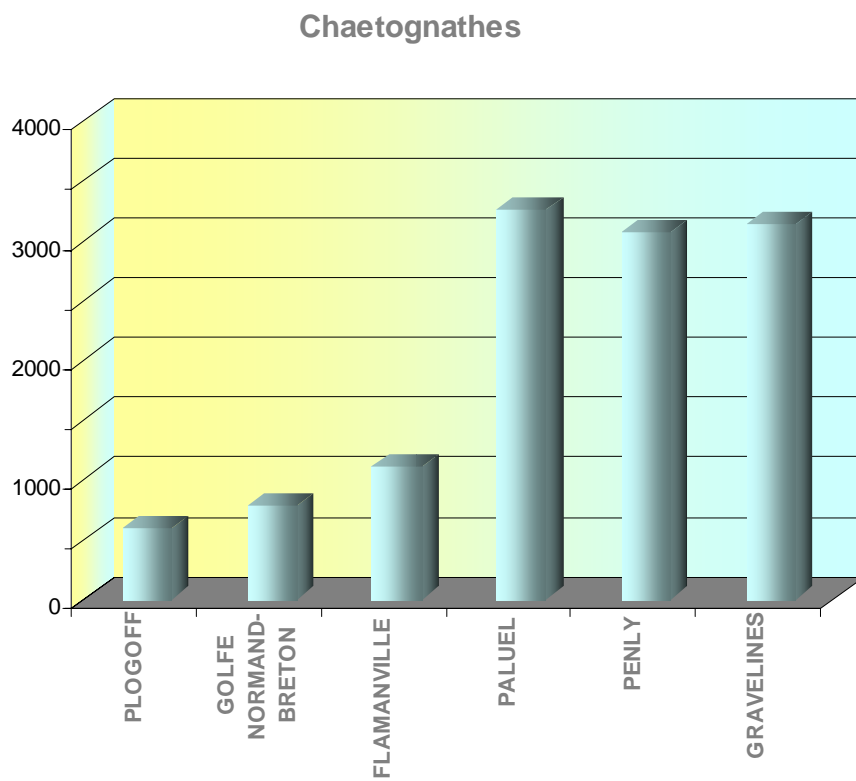


Fig. 3.4.26

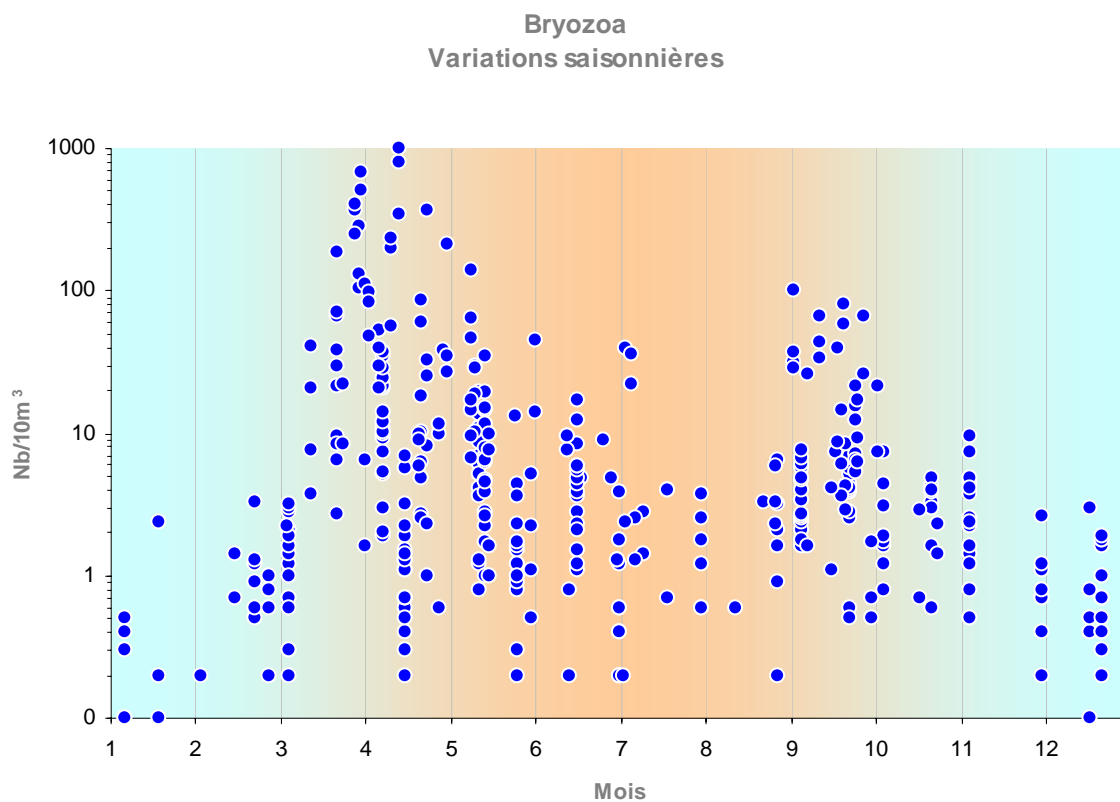


Fig. 3.4.27

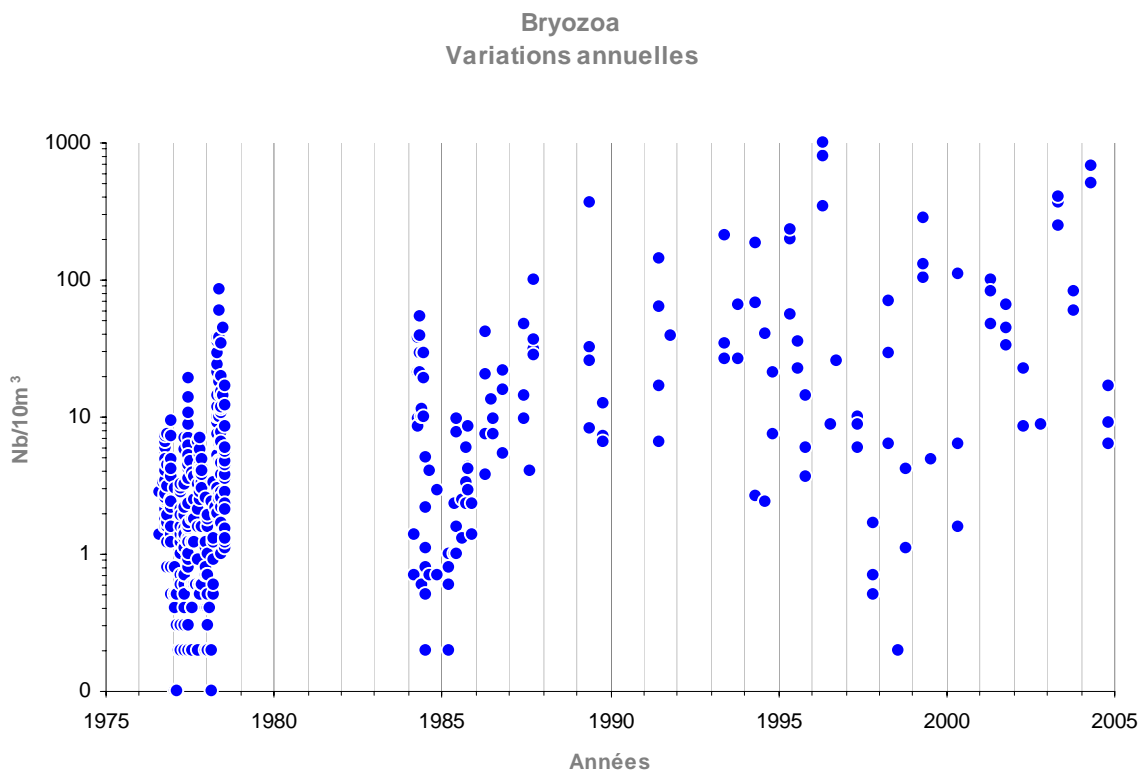


Fig. 3.4.28

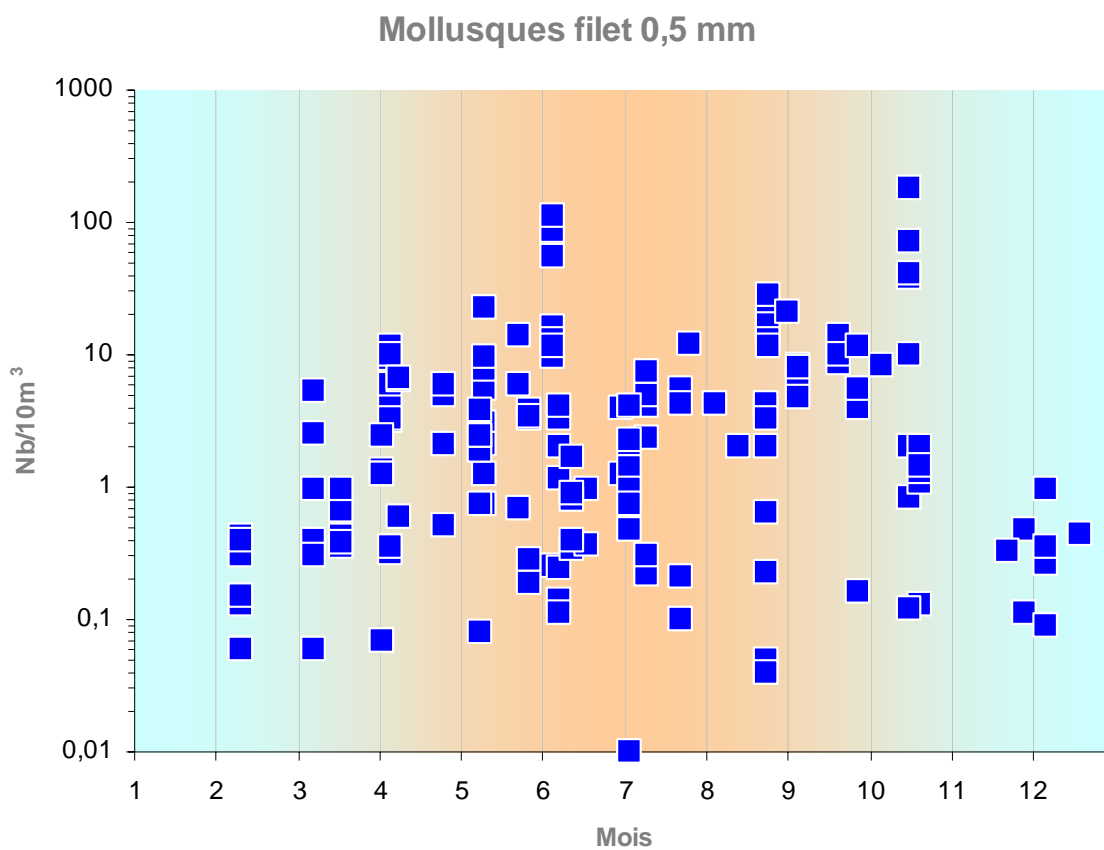


Fig. 3.4.29

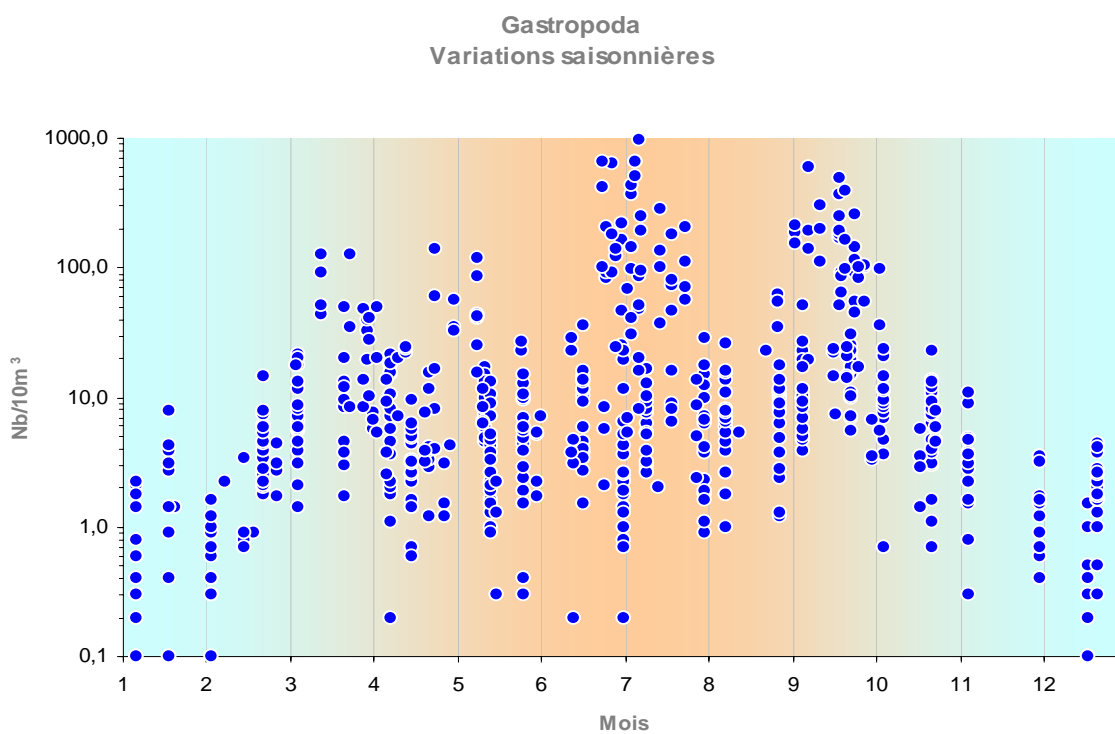


Fig. 3.4.30

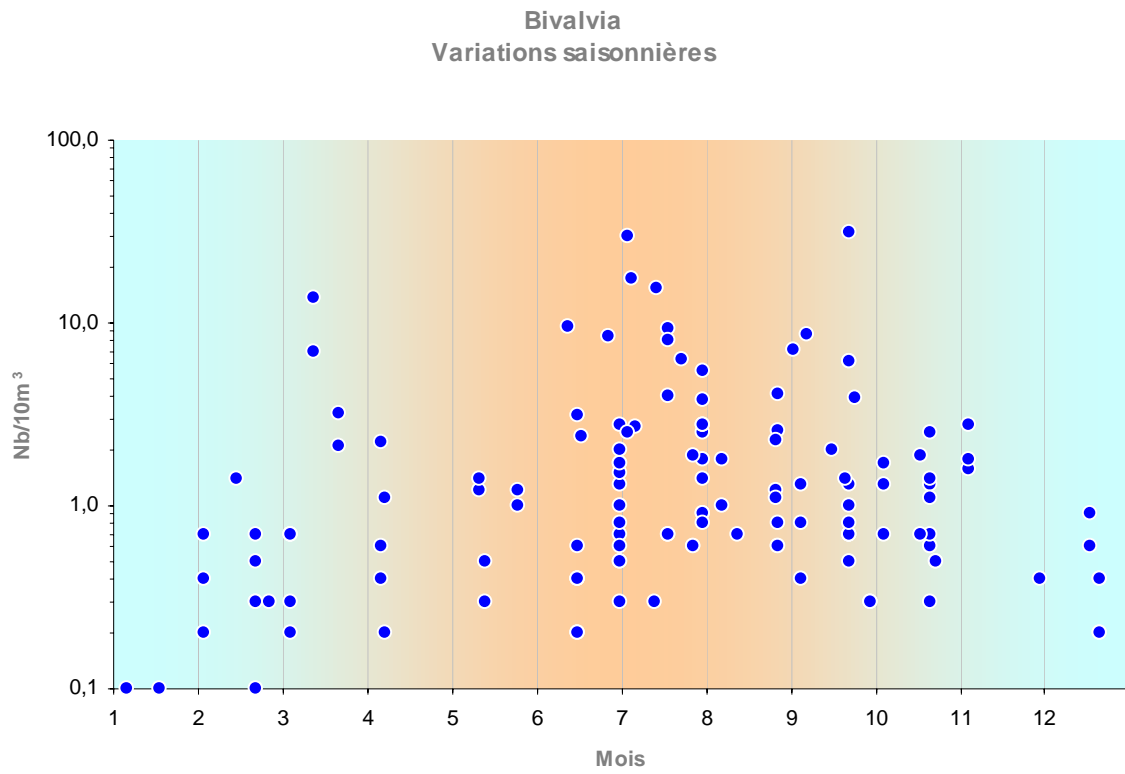


Fig. 3.4.31

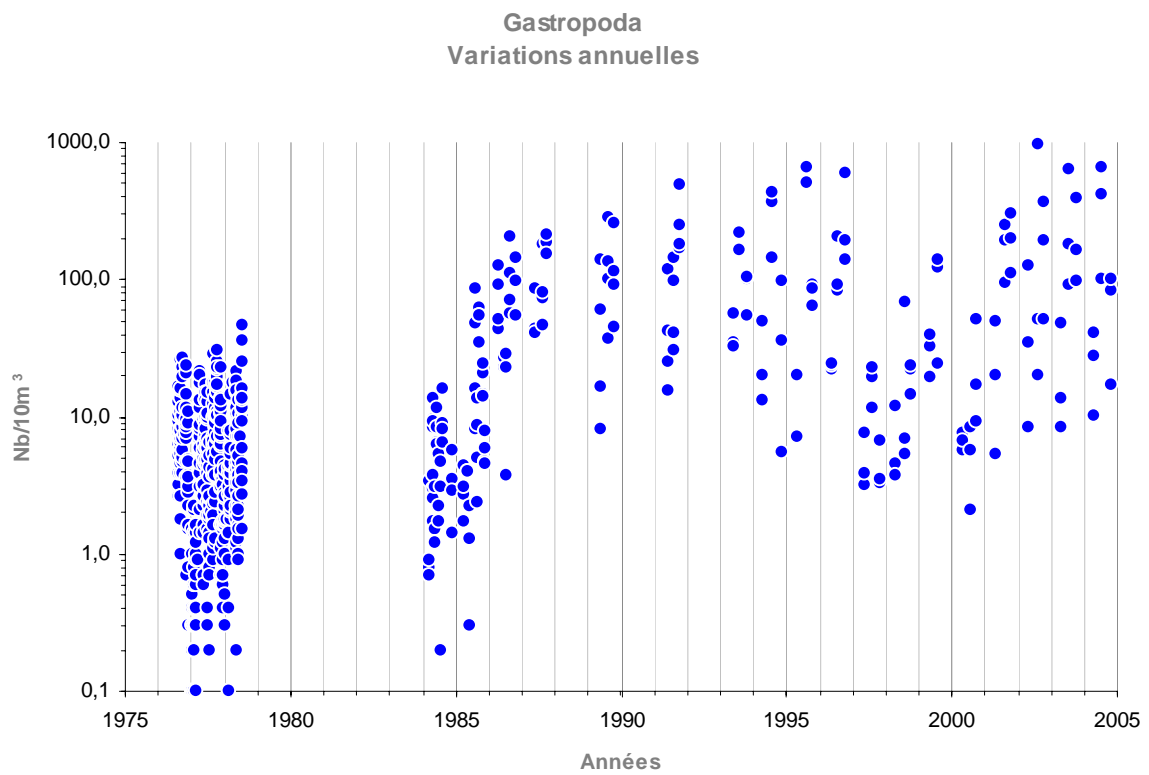


Fig. 3.4.32

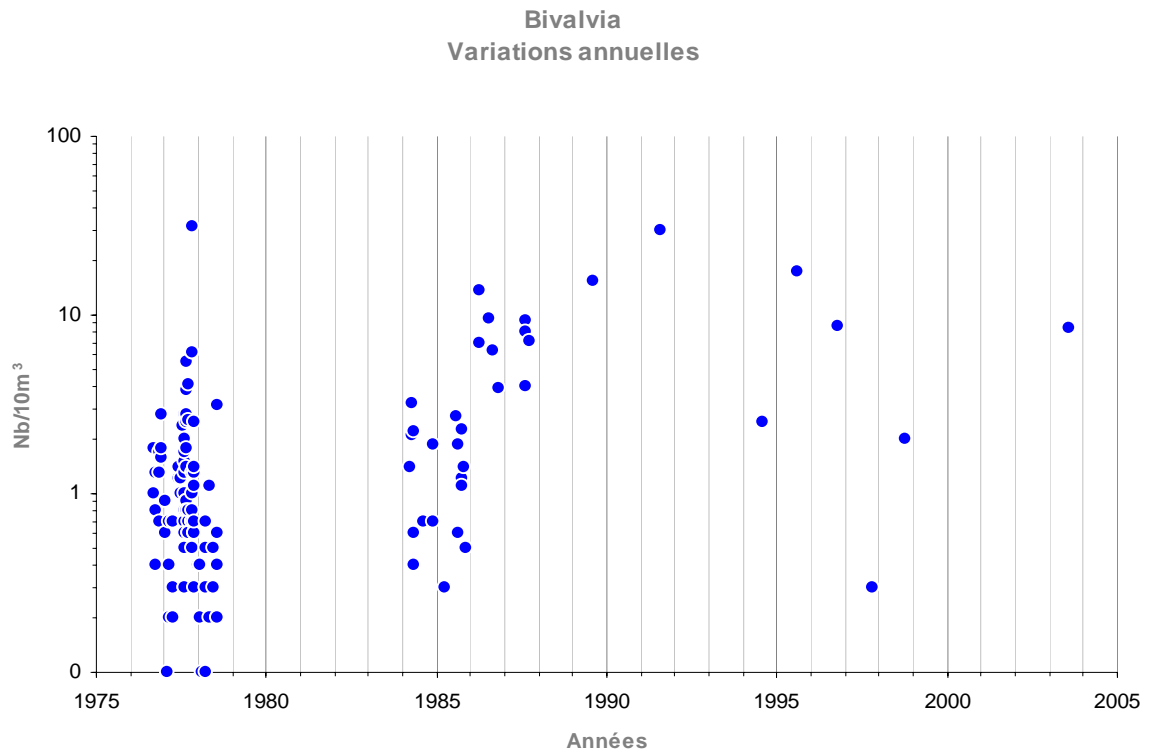


Fig. 3.4.33

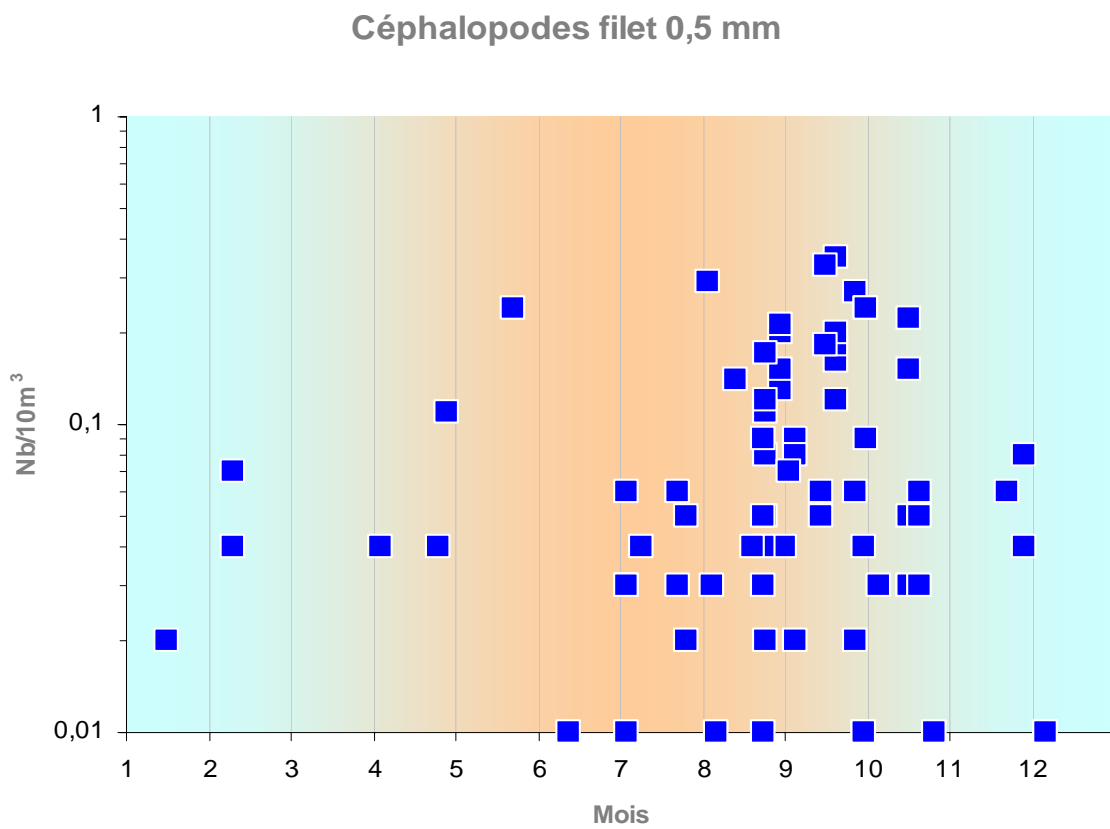


Fig. 3.4.34

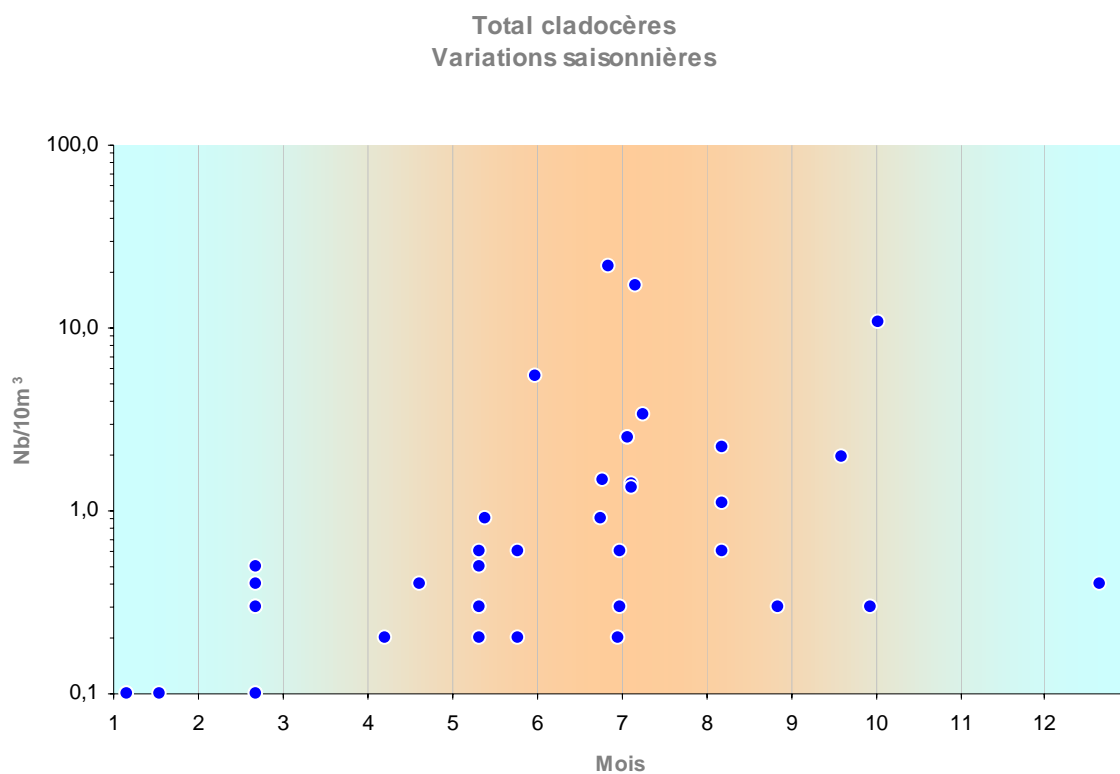


Fig. 3.4.35

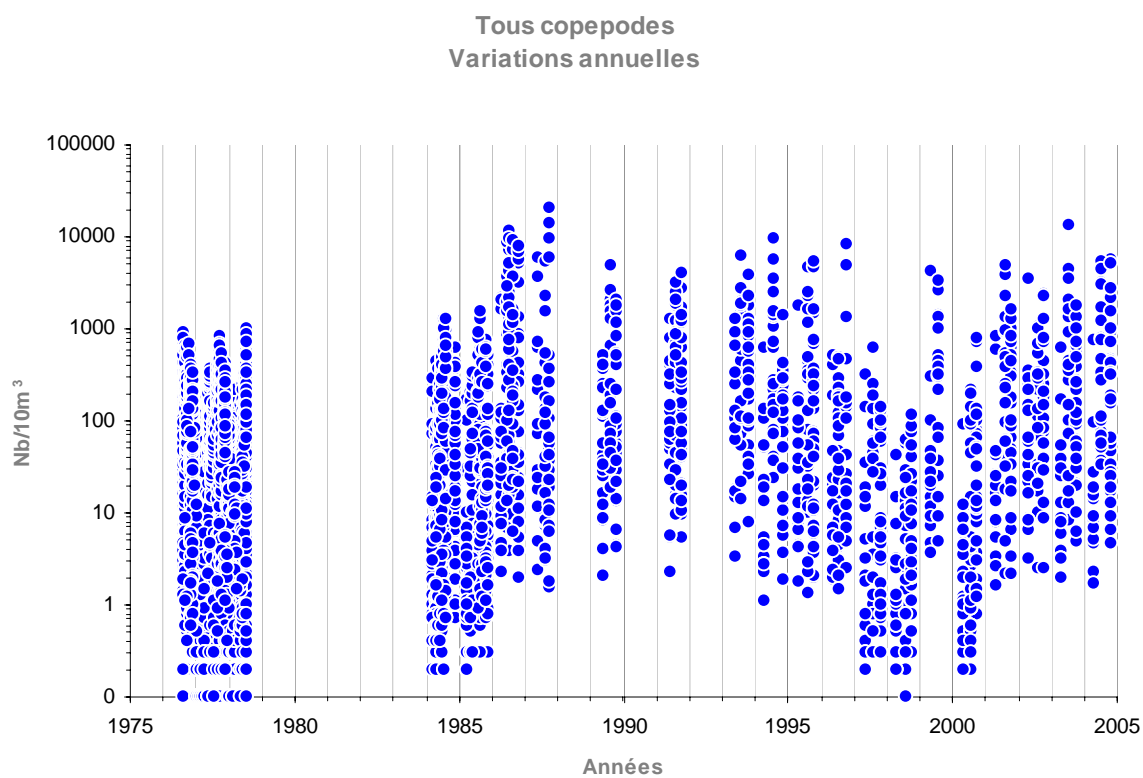


Fig. 3.4.36

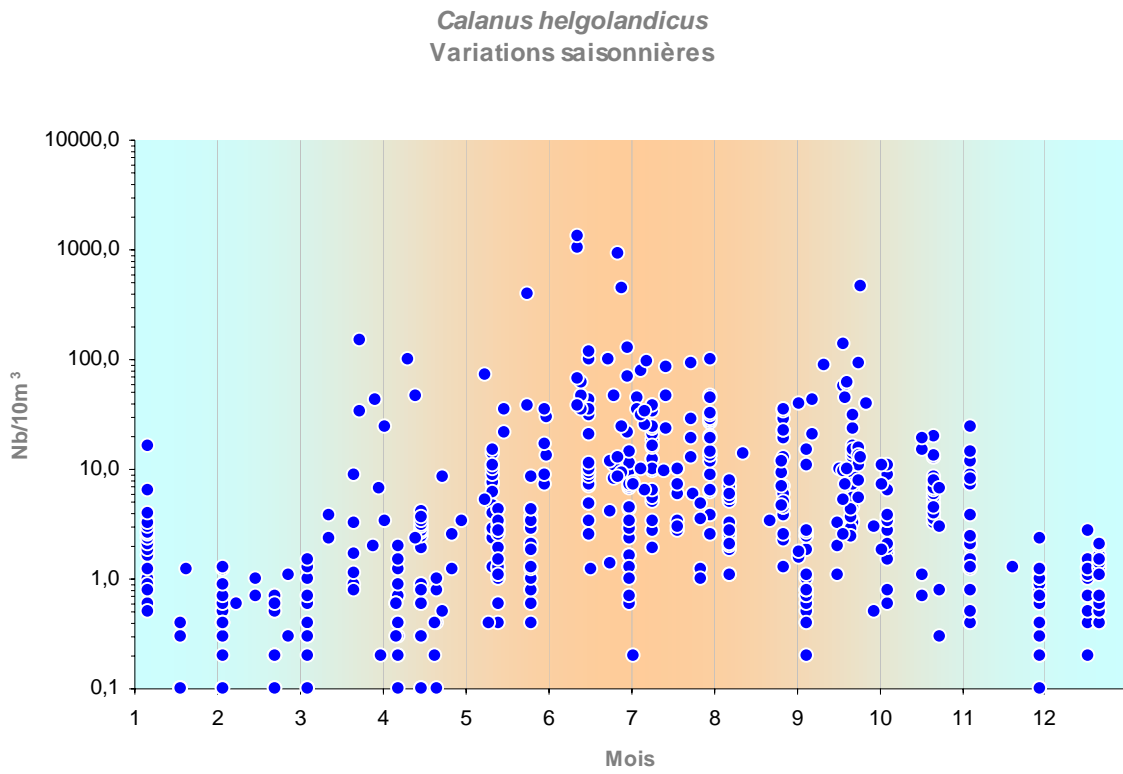


Fig. 3.4.37

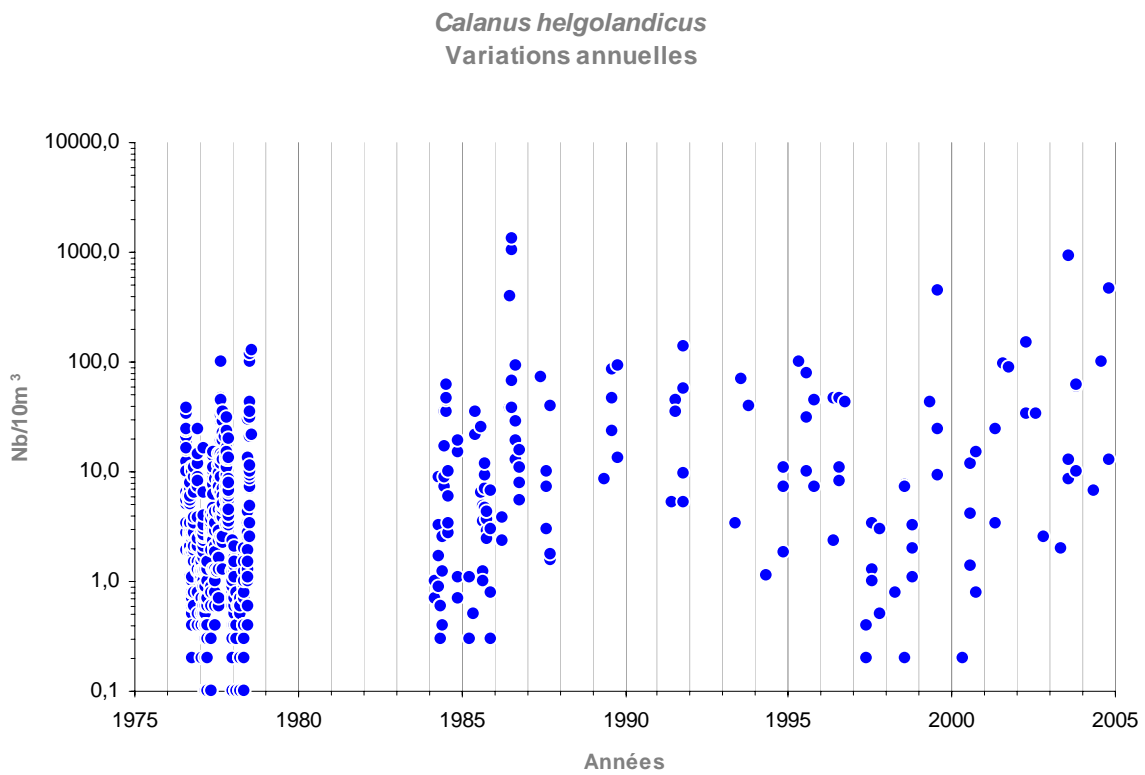


Fig. 3.4.38

Calanus sp. filet 0,5 mm

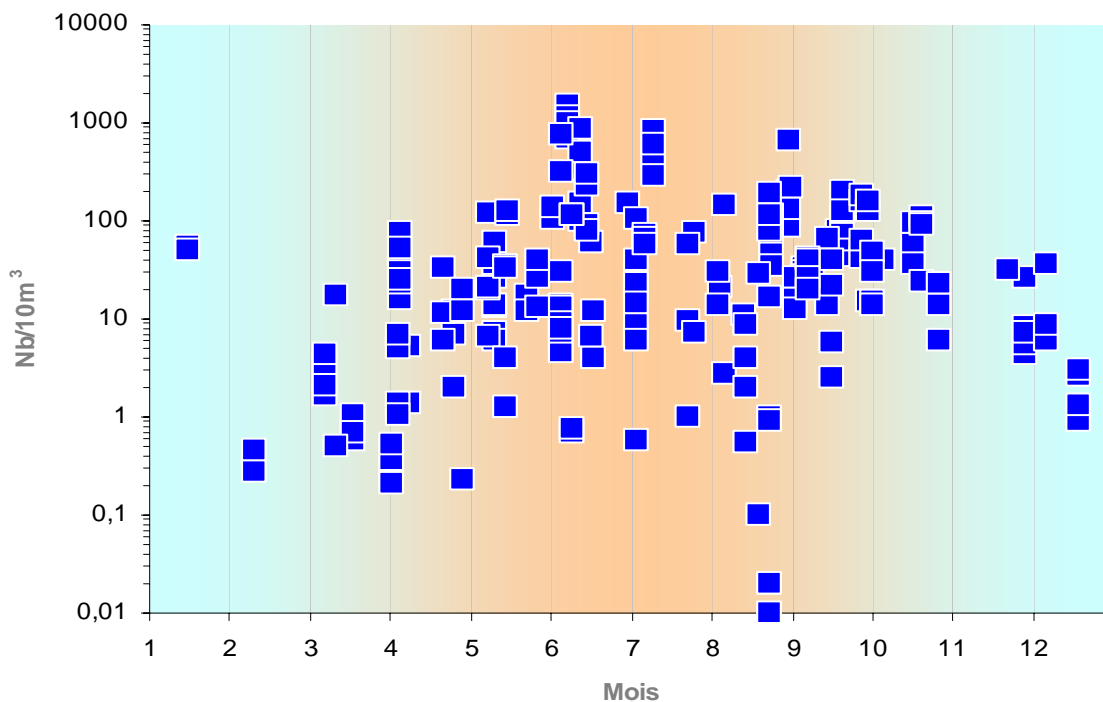


Fig. 3.4.39

Calanus

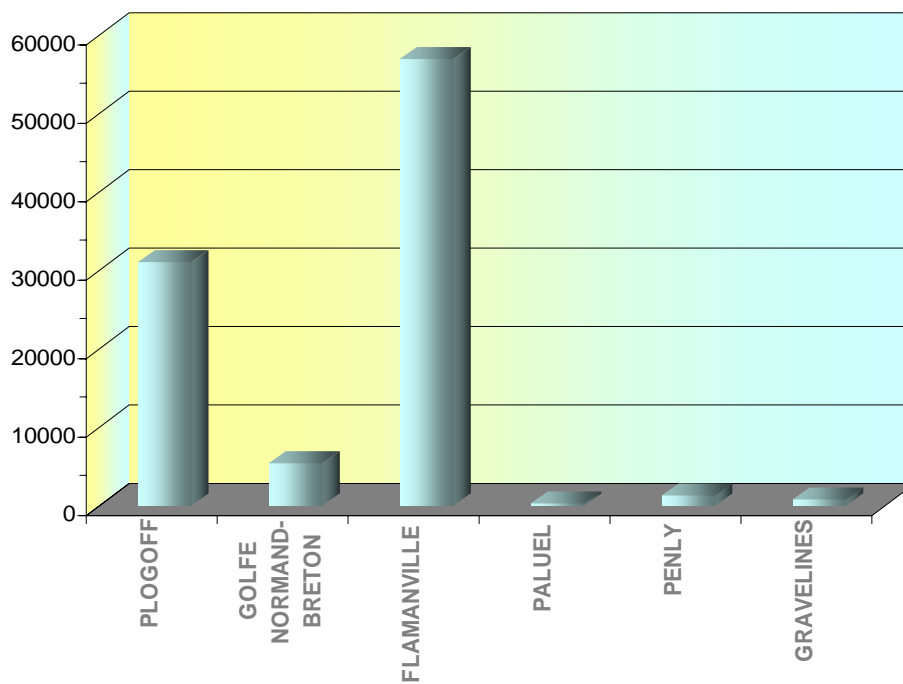


Fig. 3.4.40

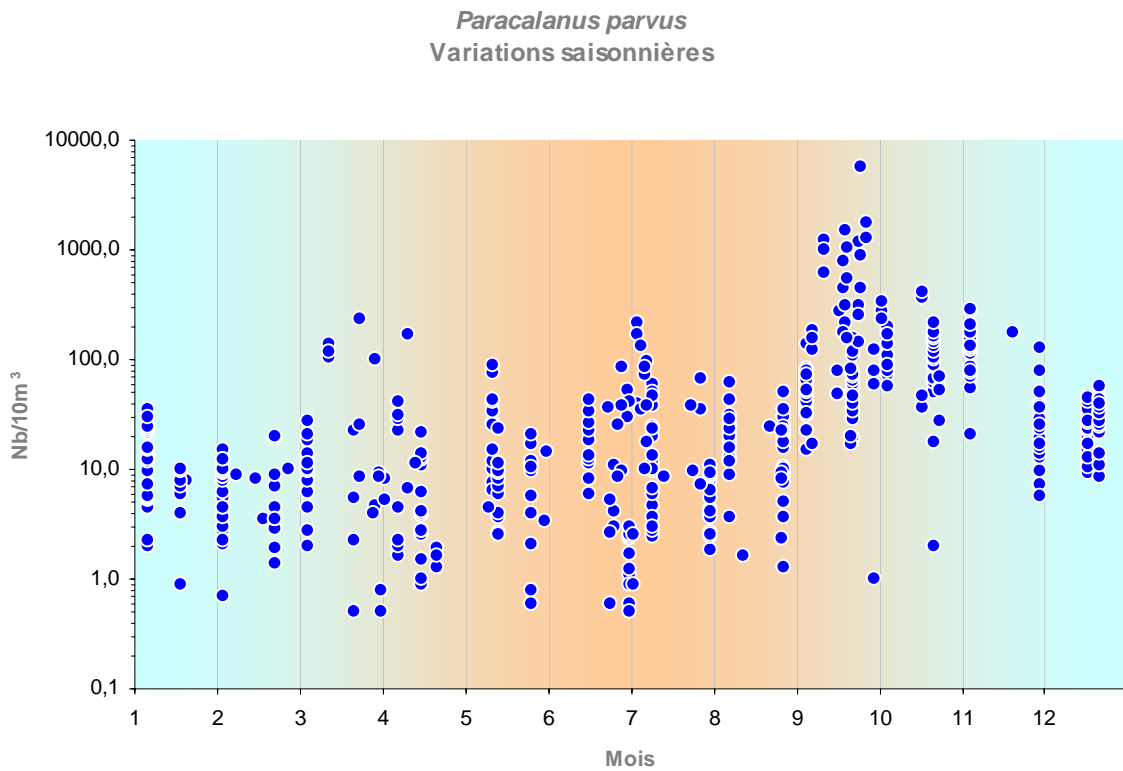


Fig. 3.4.41

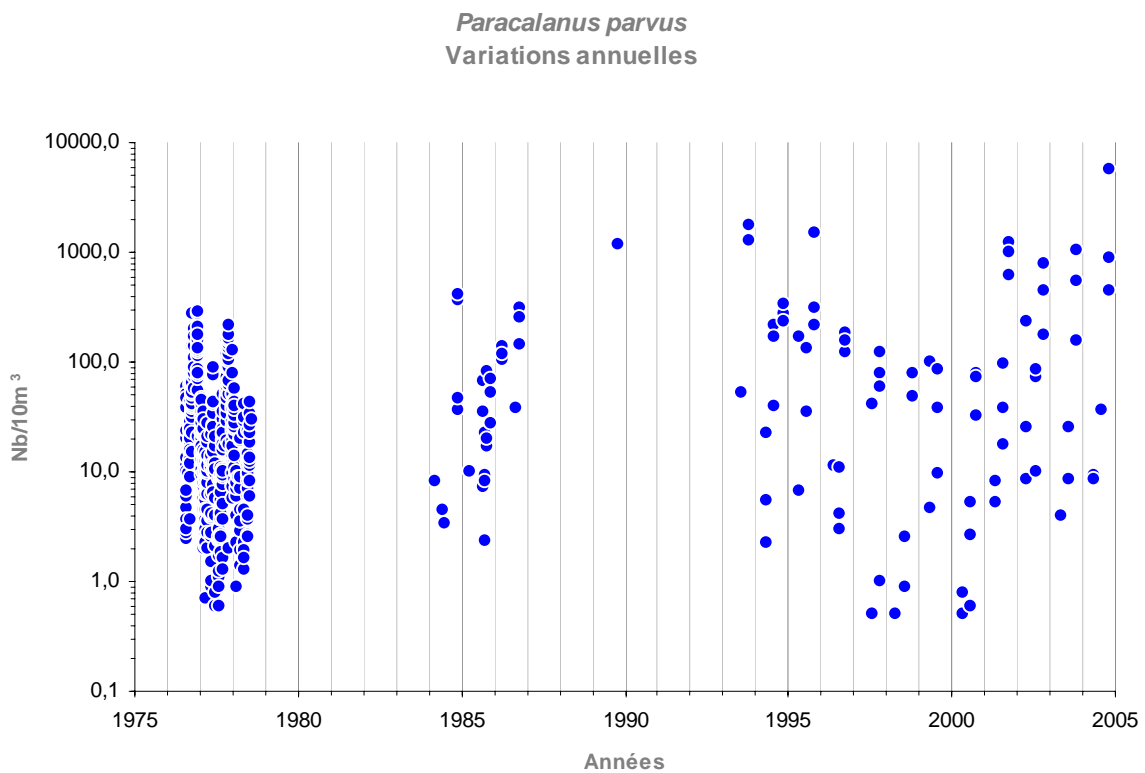


Fig. 3.4.42

Pseudocalanus minutus
Variations saisonnières

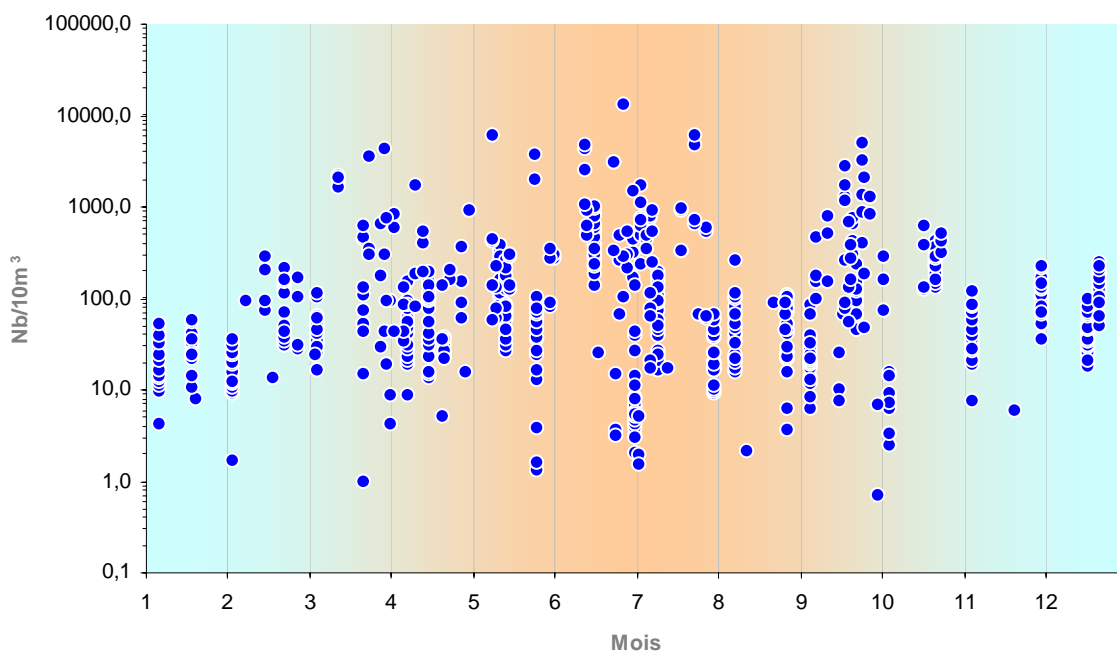


Fig. 3.4.43

Pseudocalanus minutus
Variations annuelles

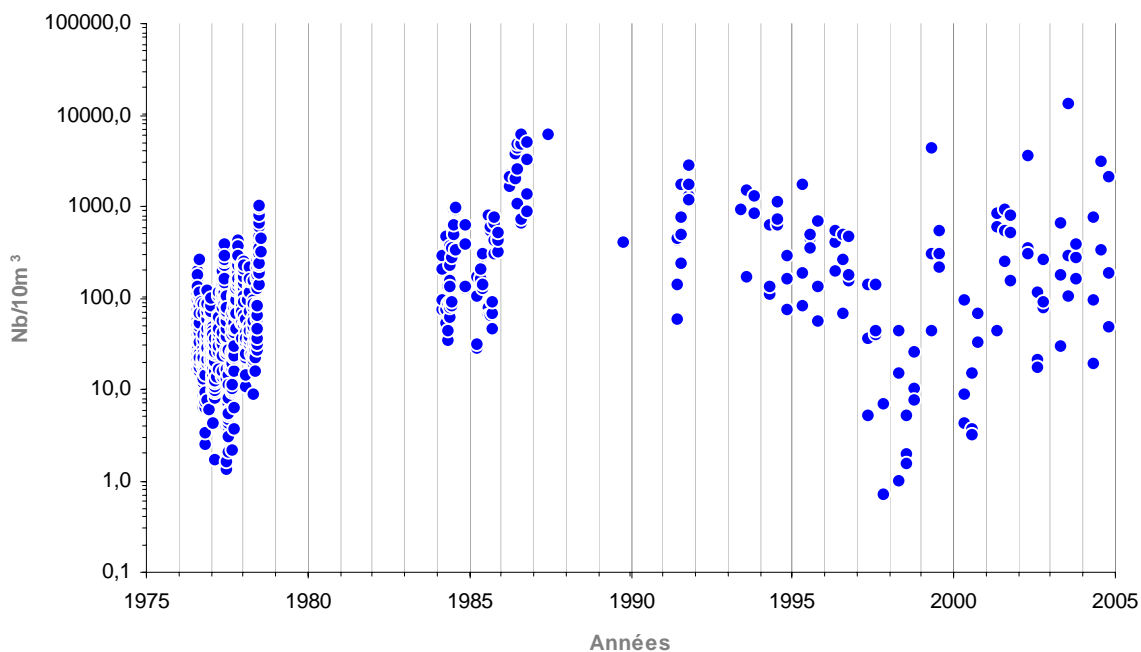


Fig. 3.4.44

Paracalanus sp. + Pseudocalanus sp.

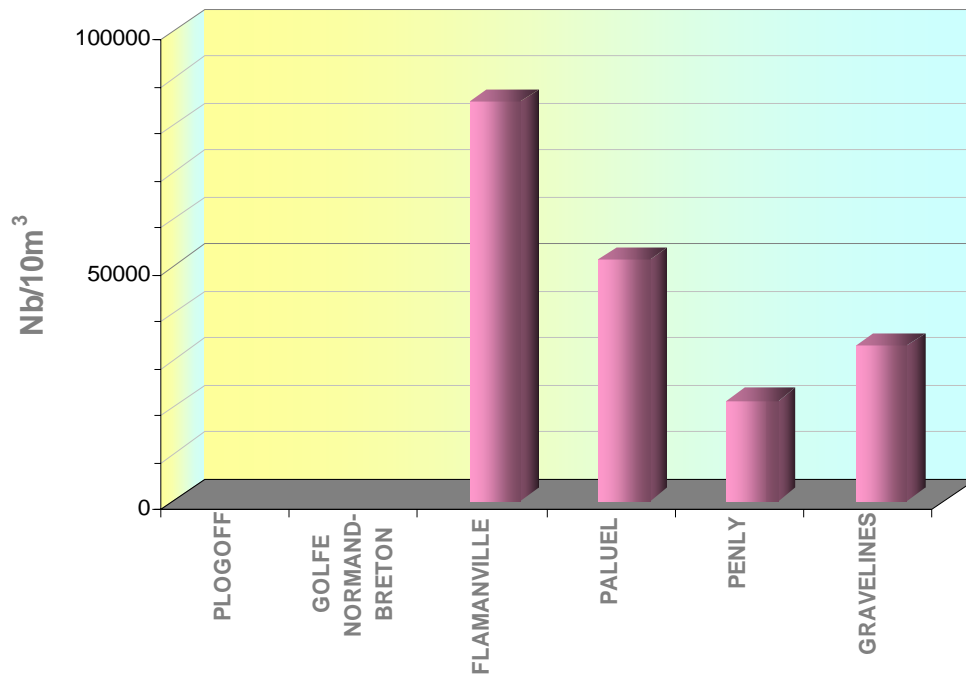


Fig. 3.4.45

Euchaeta hebes

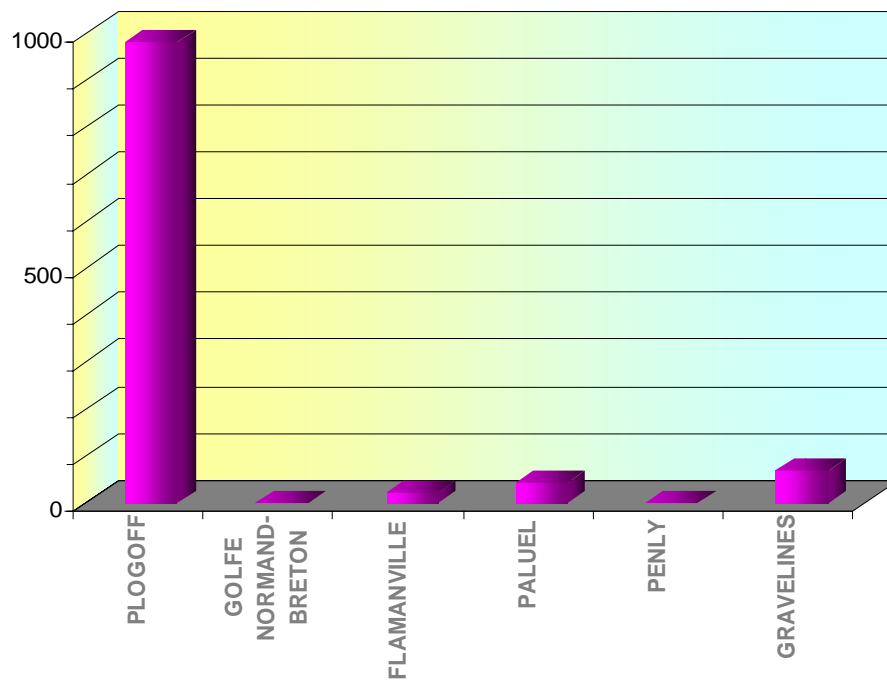


Fig. 3.4.46

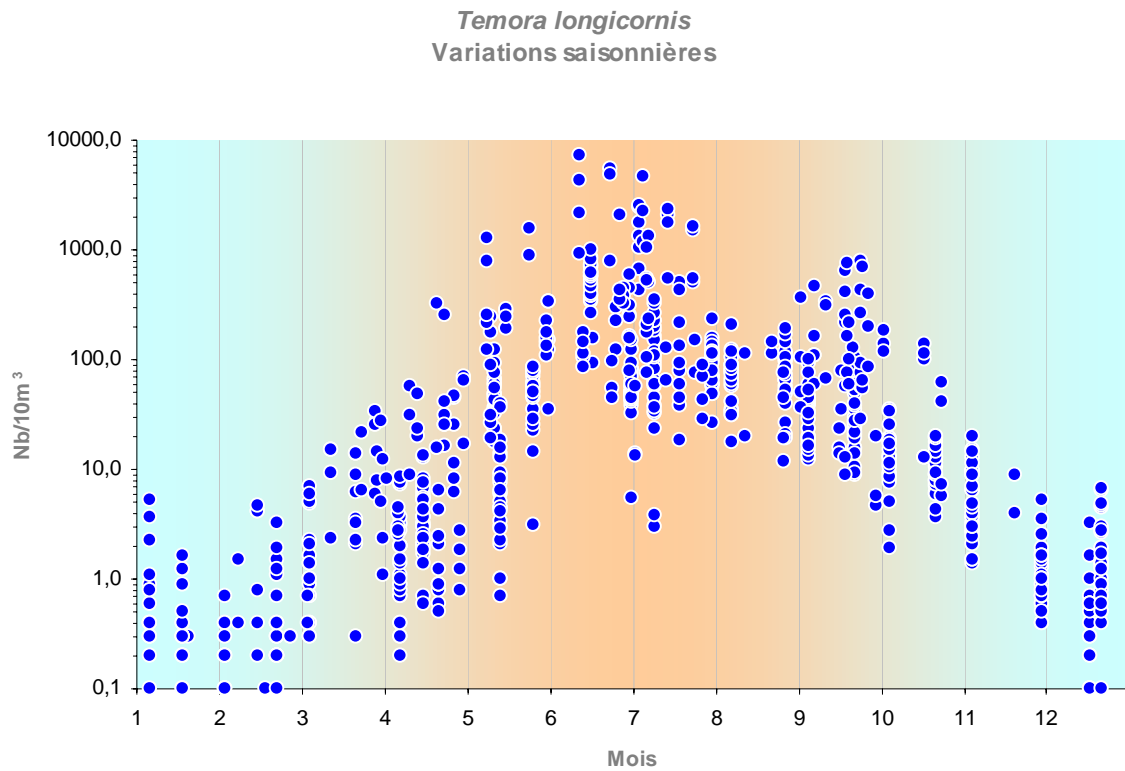


Fig. 3.4.47

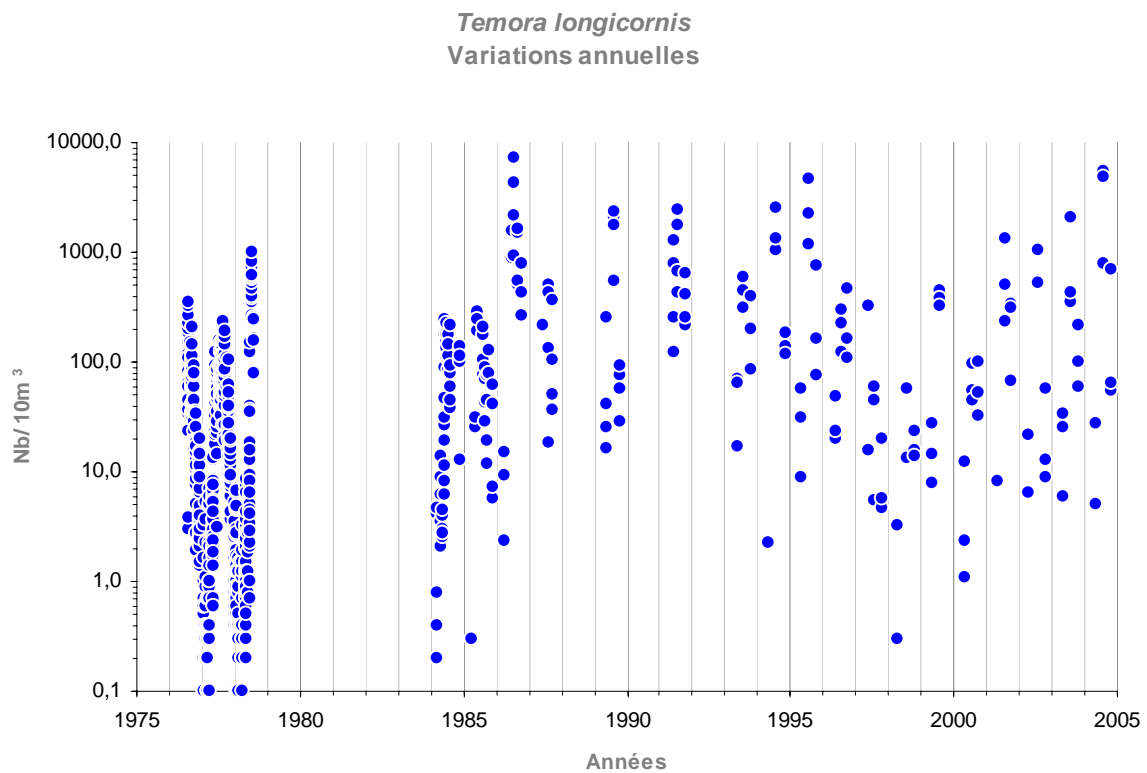


Fig. 3.4.48

Temora longicornis

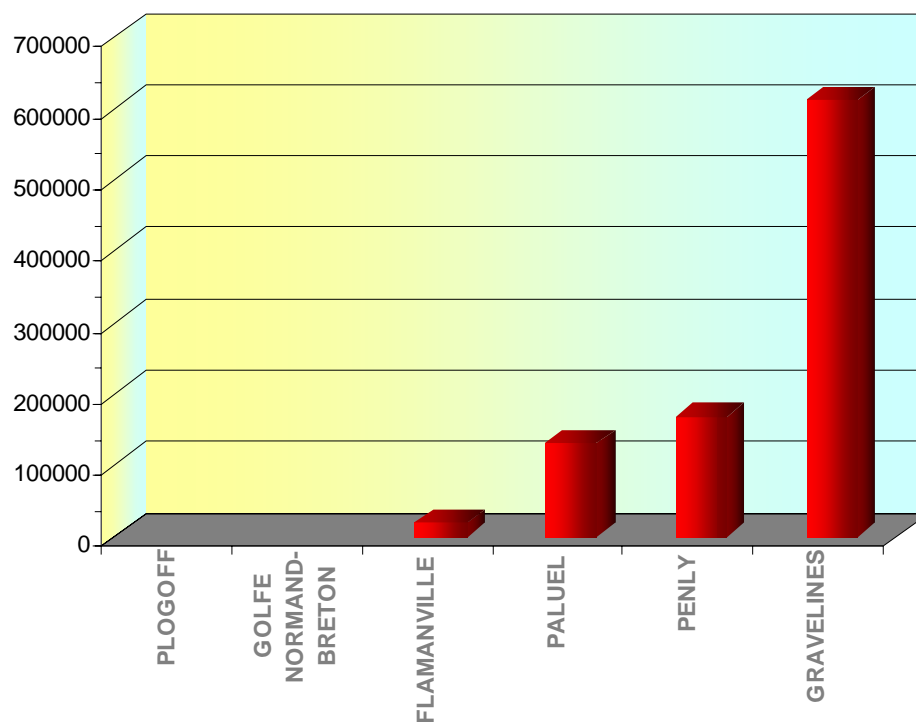


Fig. 3.4.49

Metridia lucens
Variations saisonnières

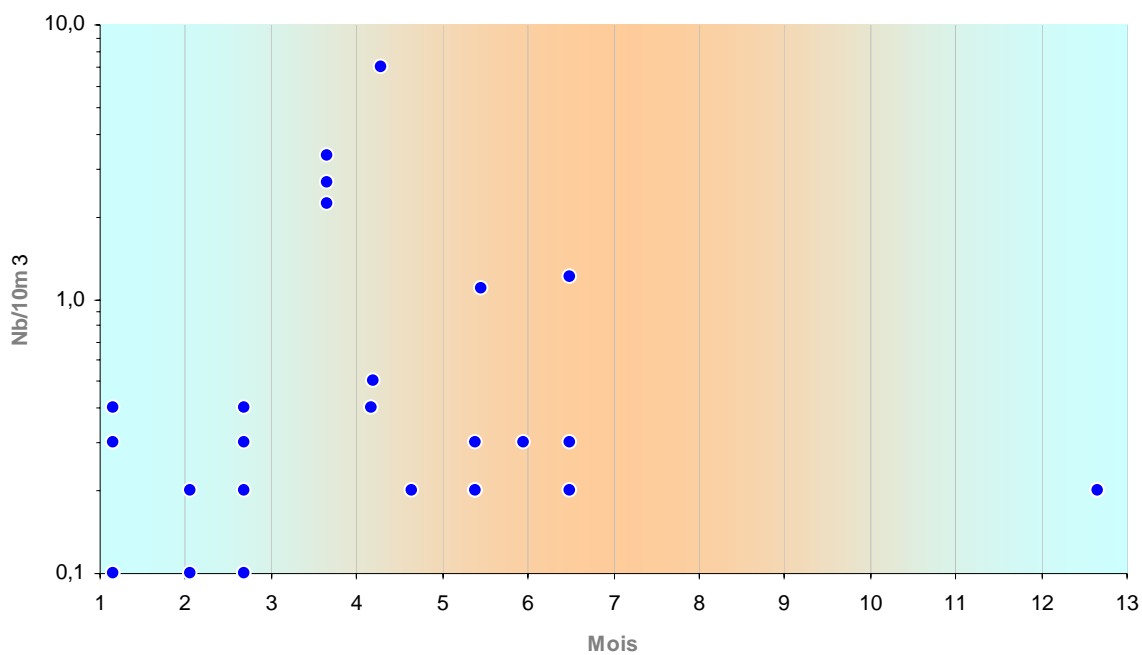


Fig. 3.4.50

Metridia lucens

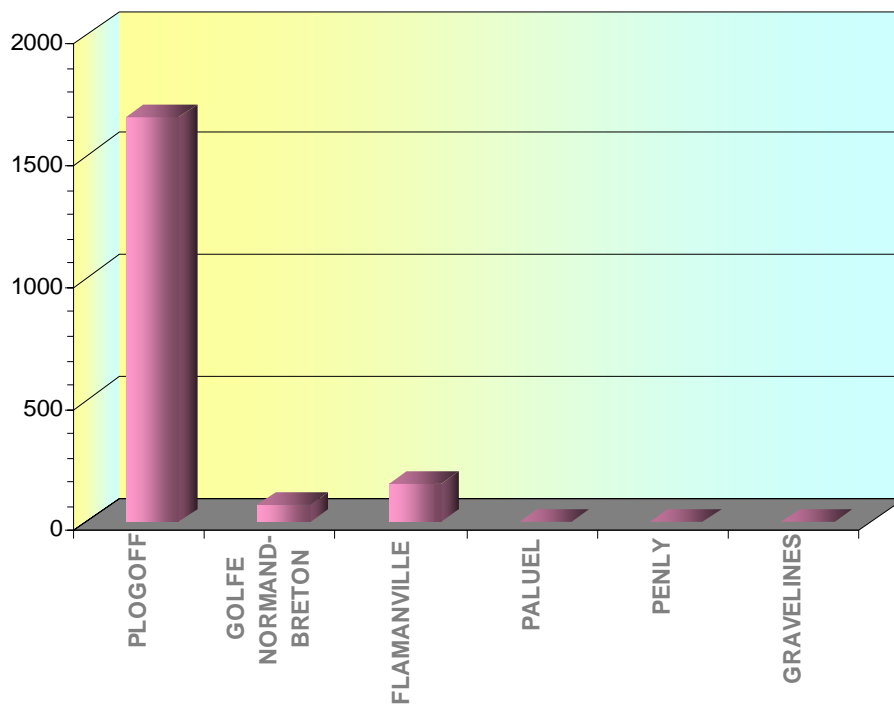


Fig. 3.4.51

Centropages typicus
Variations saisonnières

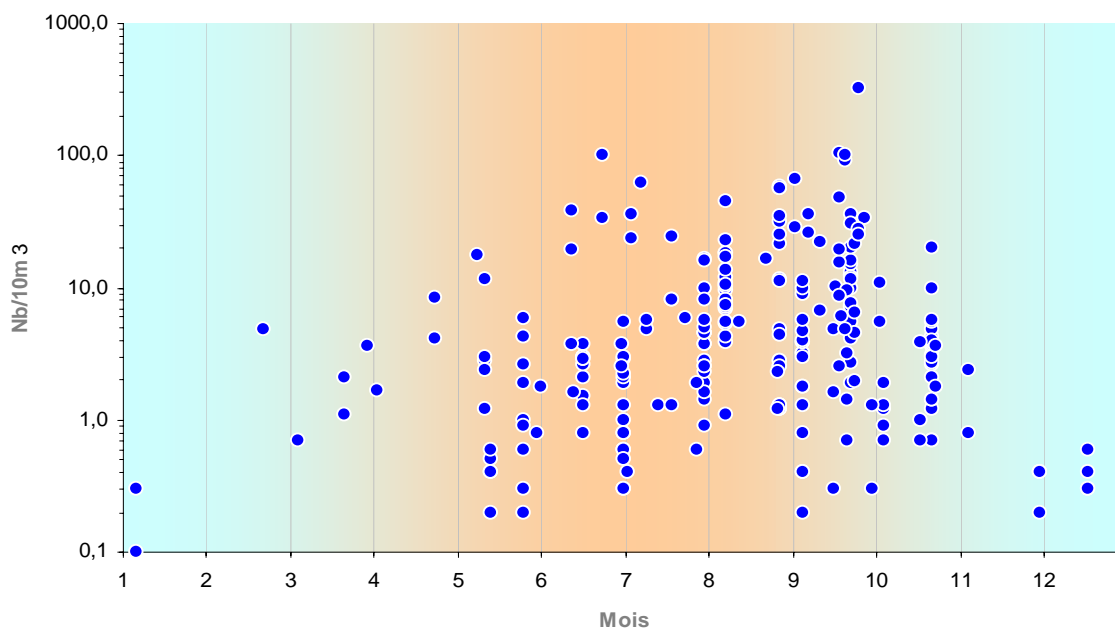


Fig. 3.4.52

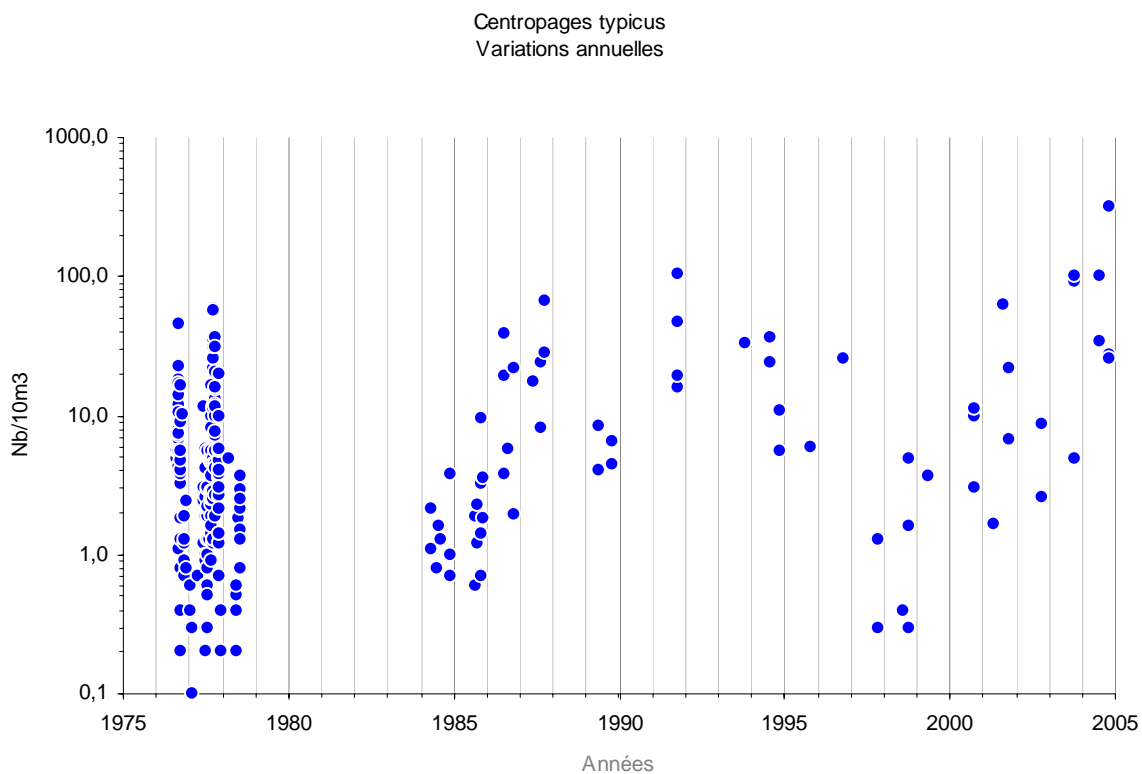


Fig. 3.4.53

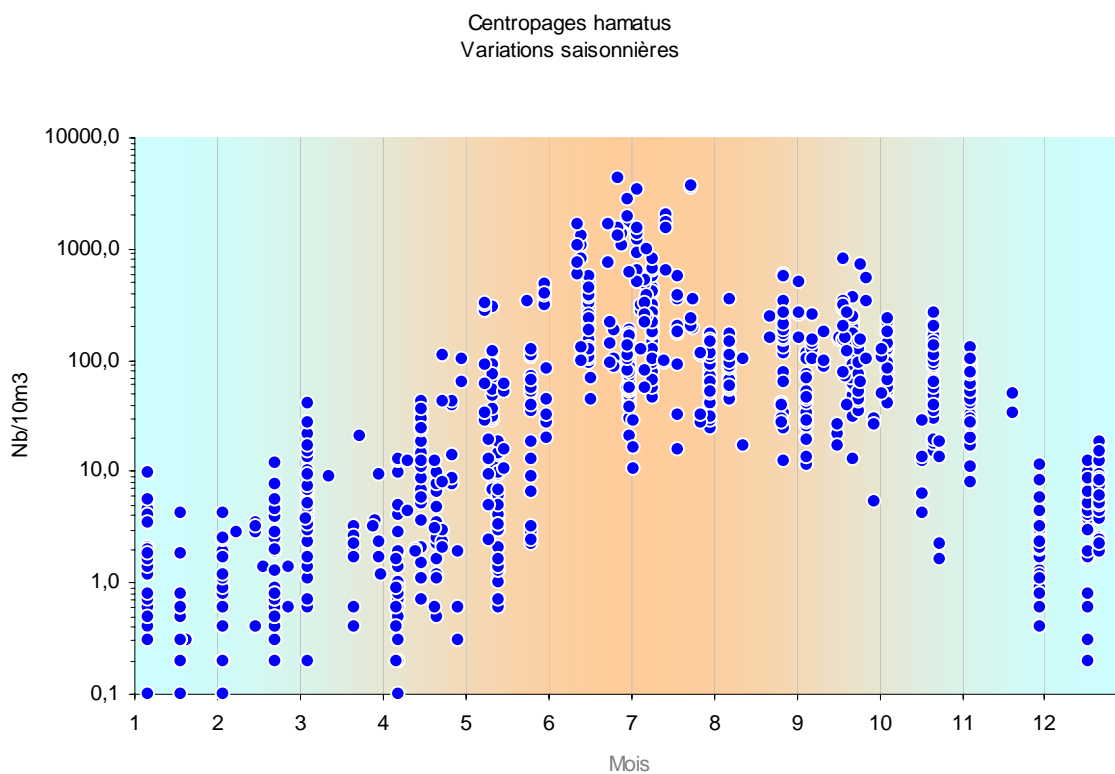


Fig. 3.4.54

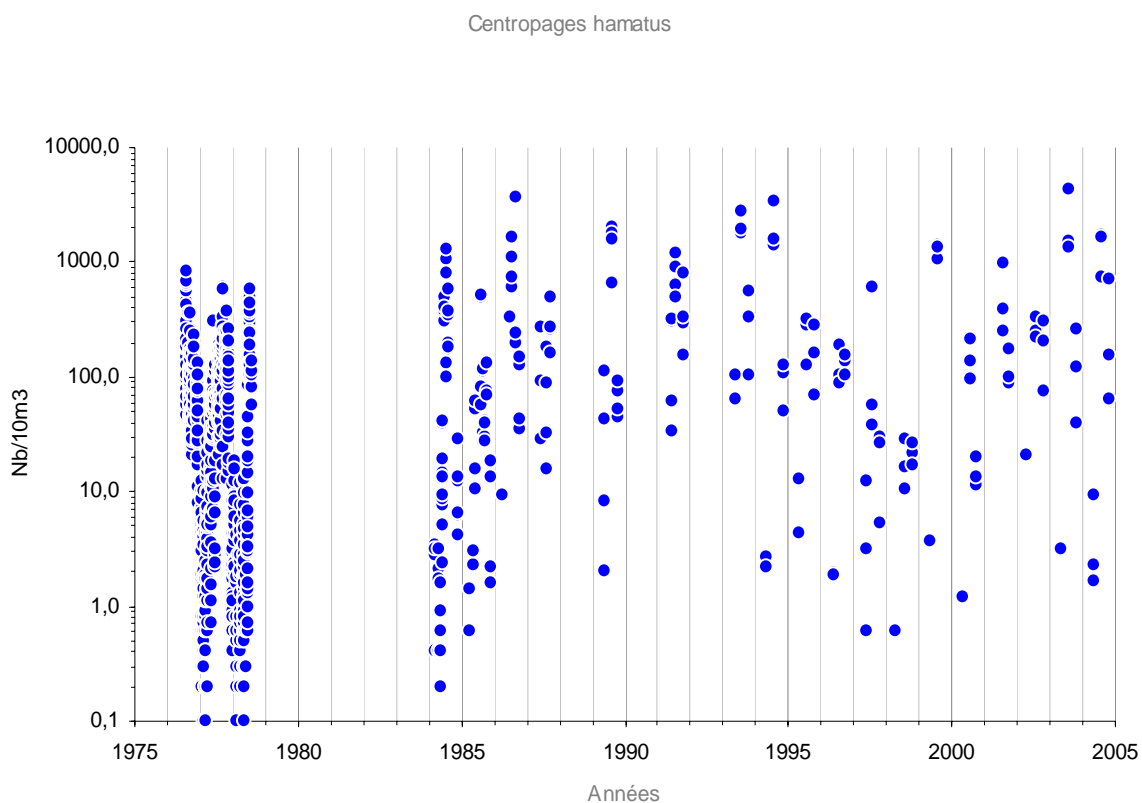


Fig. 3.4.55

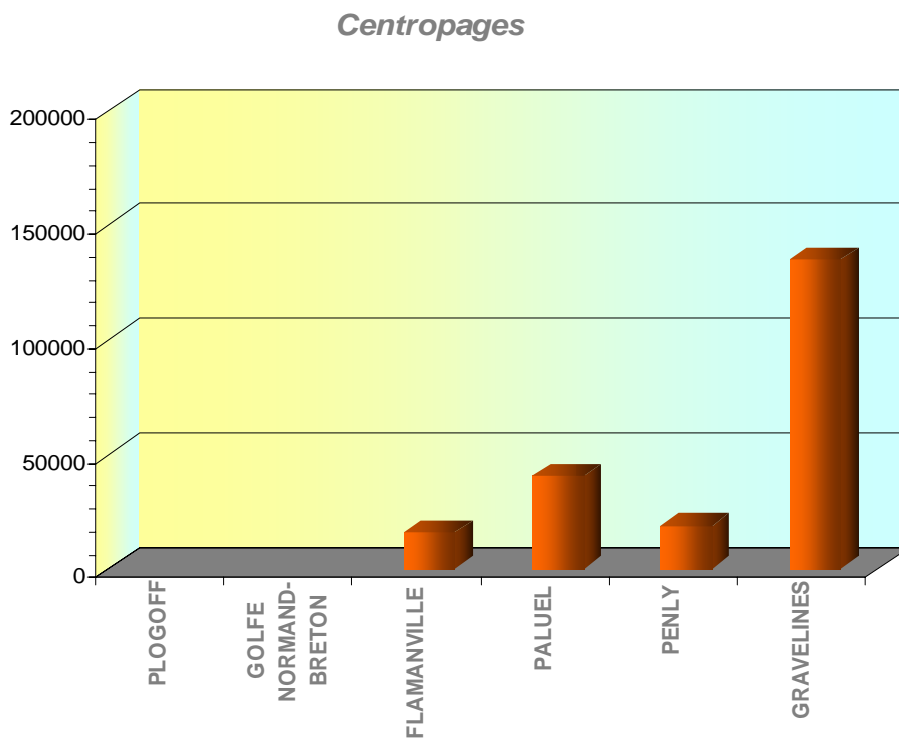


Fig. 3.4.56

Centropages / Temora longicornis

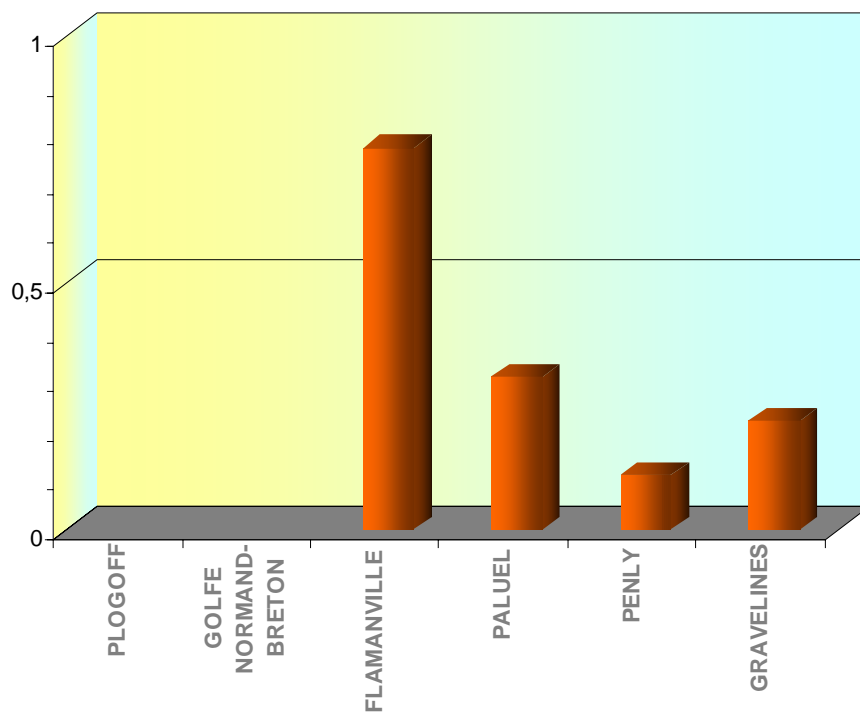


Fig. 3.4.57

Isias clavipes
Variations saisonnières

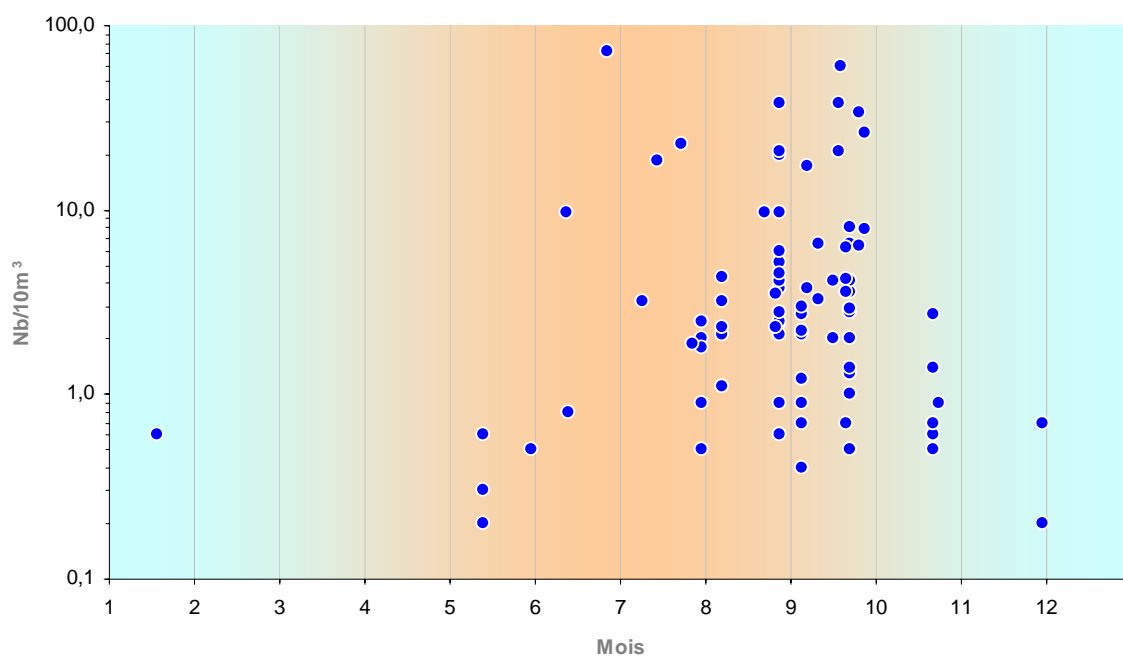


Fig. 3.4.58

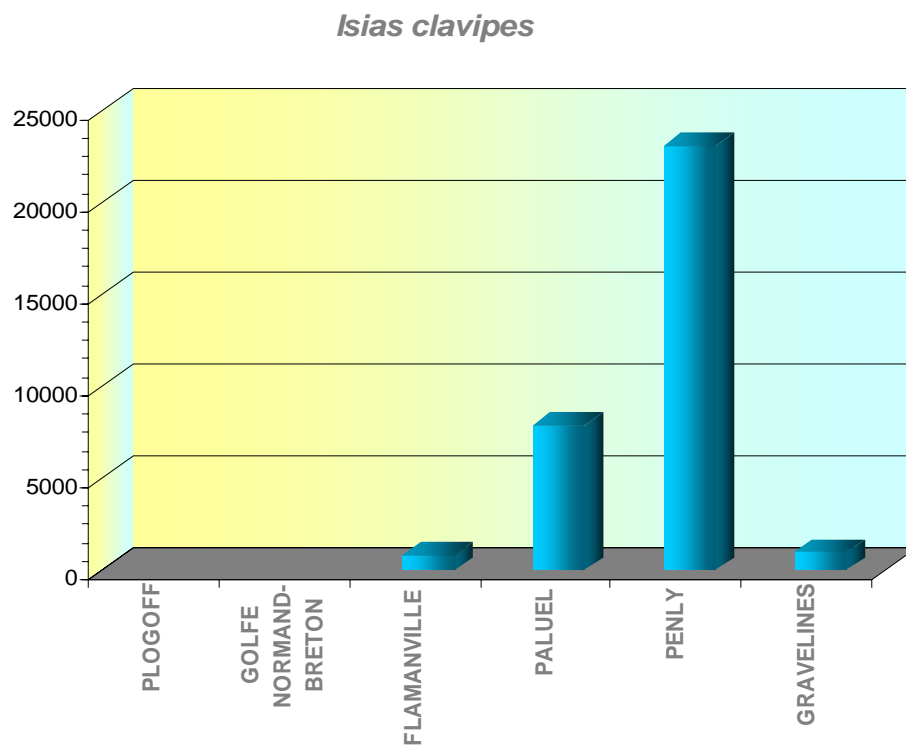


Fig. 3.4.59

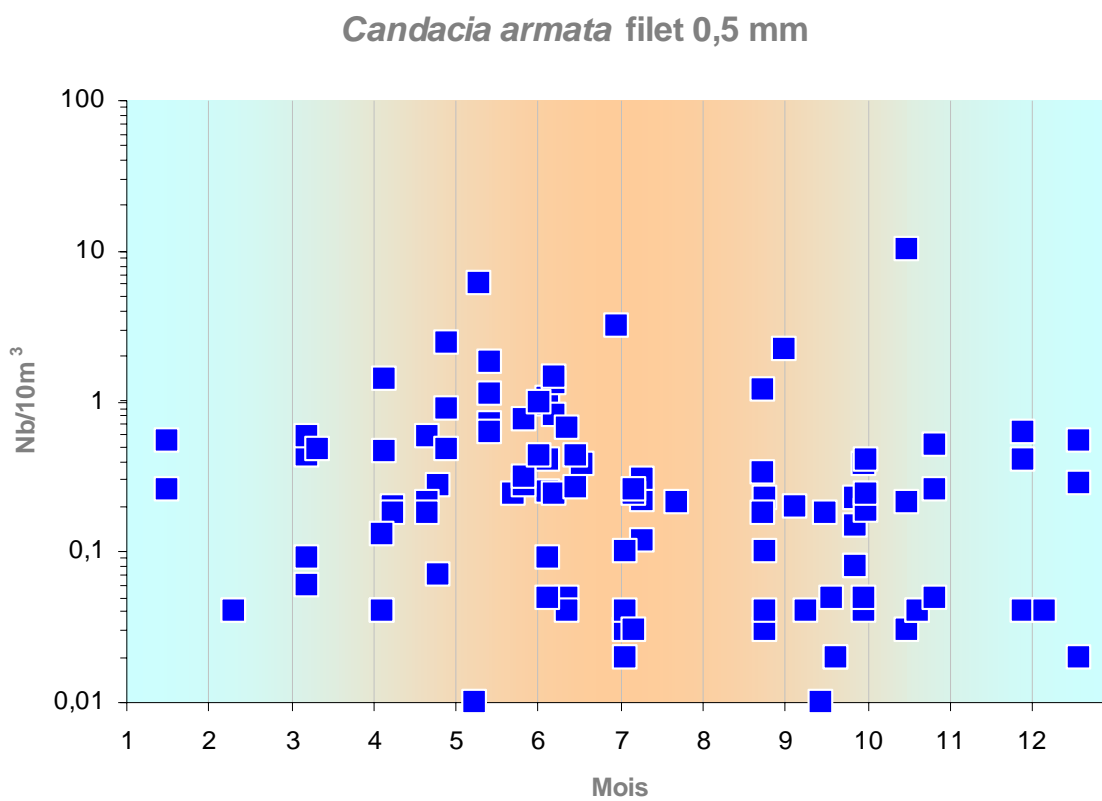


Fig. 3.4.60

Candacia armata

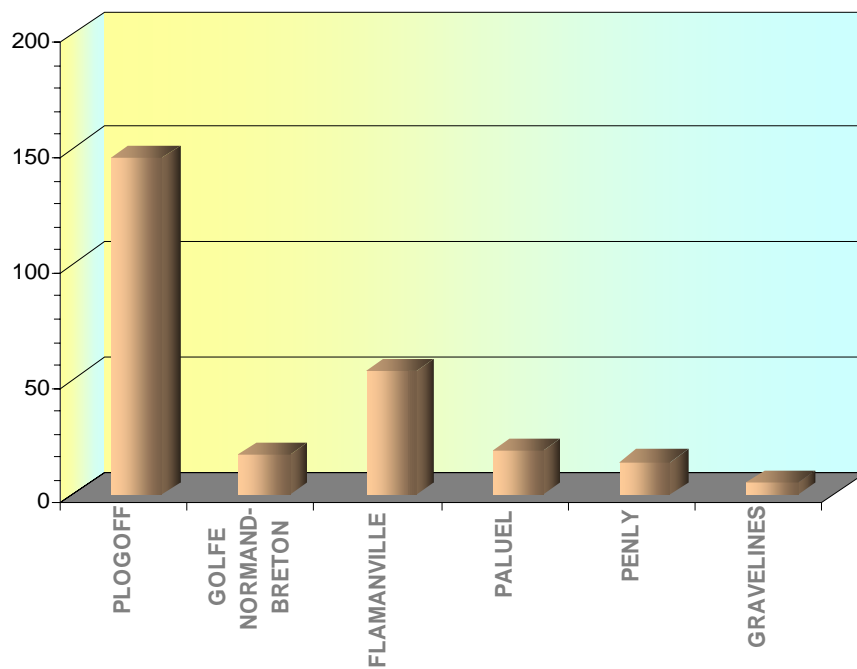


Fig. 3.4.61

Anomalocera patersoni filet 0,5 mm

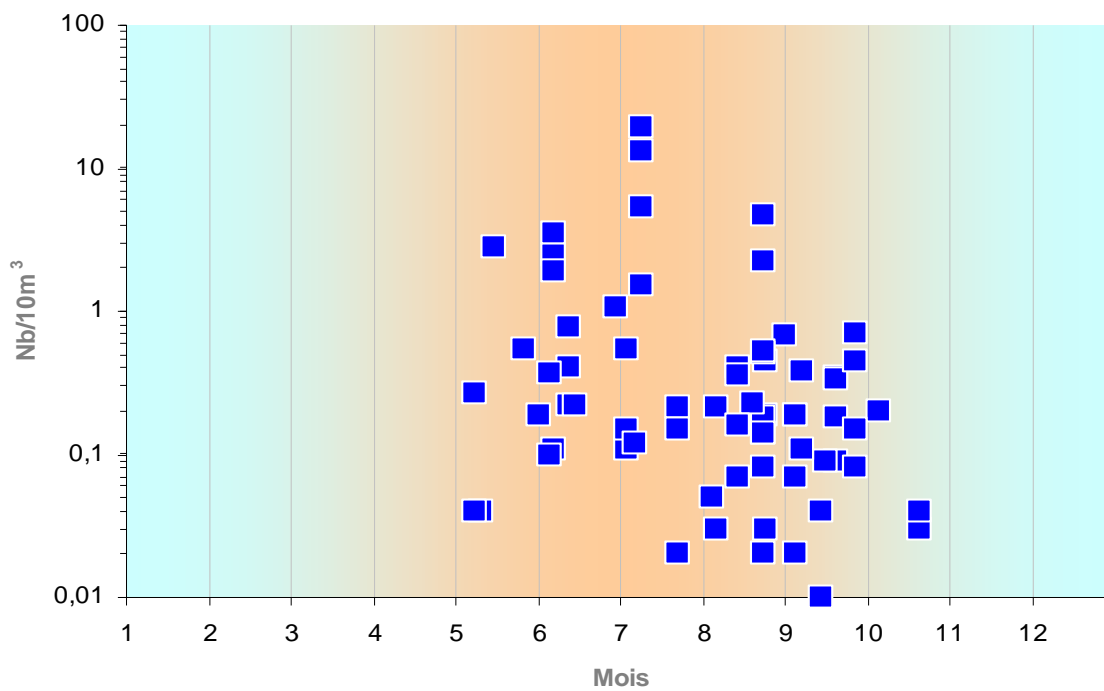


Fig. 3.4.62

Anomalocera pateroni

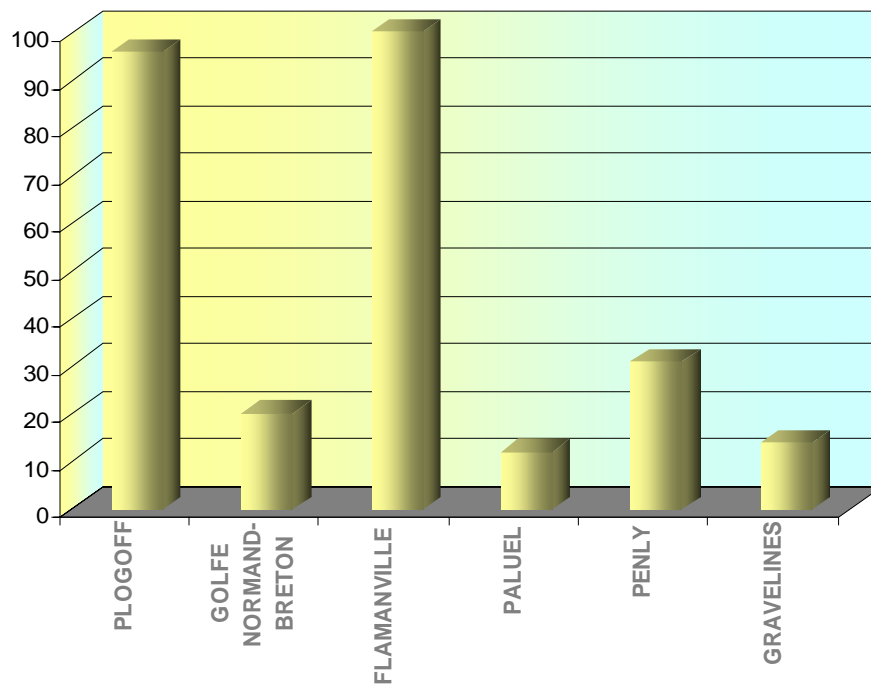


Fig. 3.4.63

Labidocera wollastoni

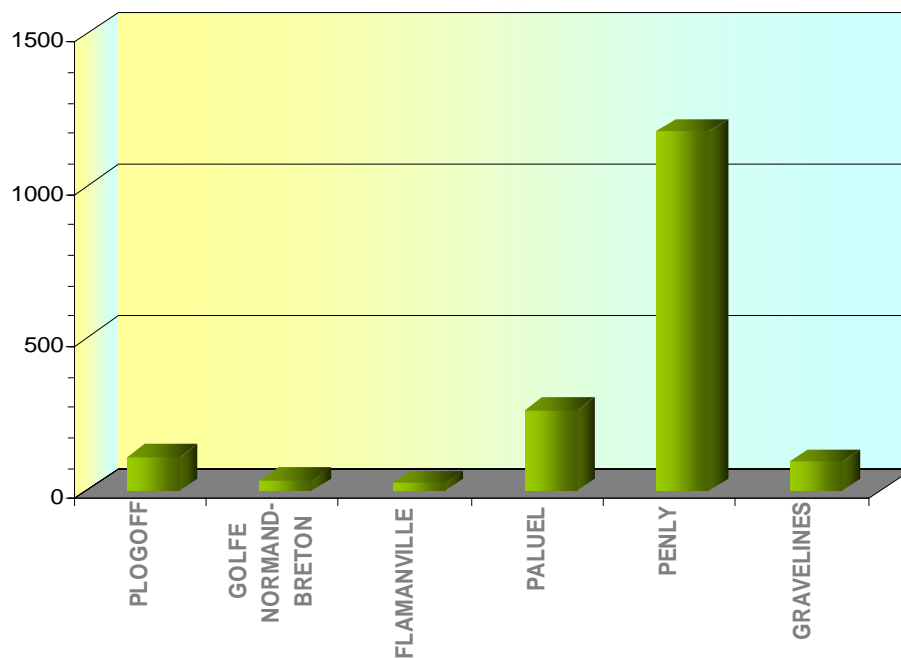


Fig. 3.4.64

Parapontella brevicornis

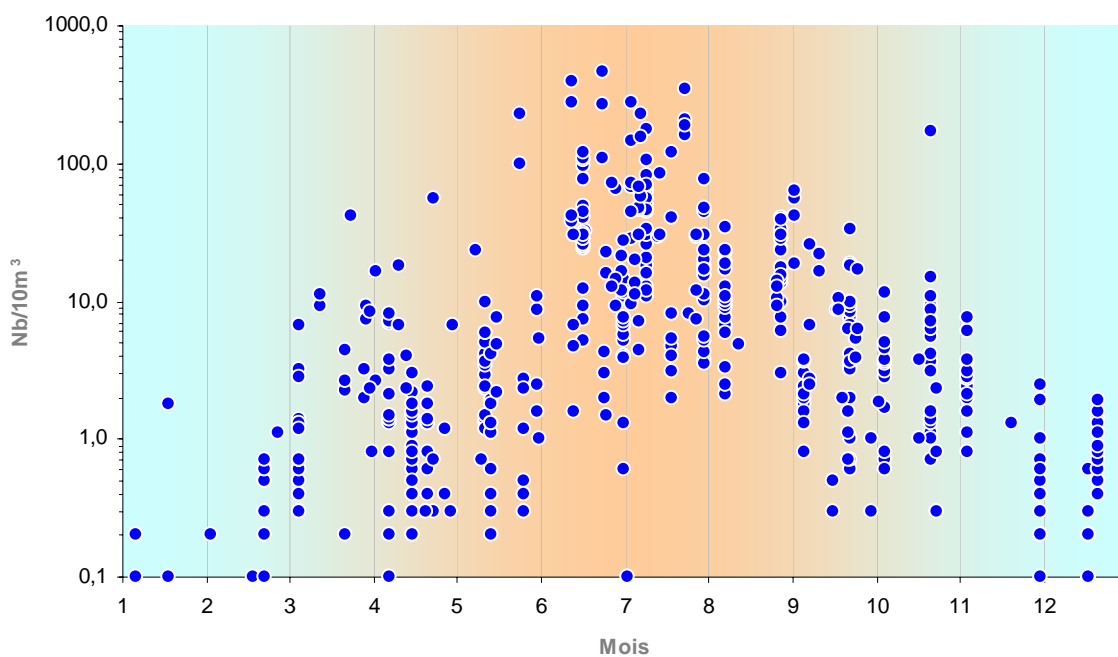


Fig. 3.4.65

Parapontella brevicornis

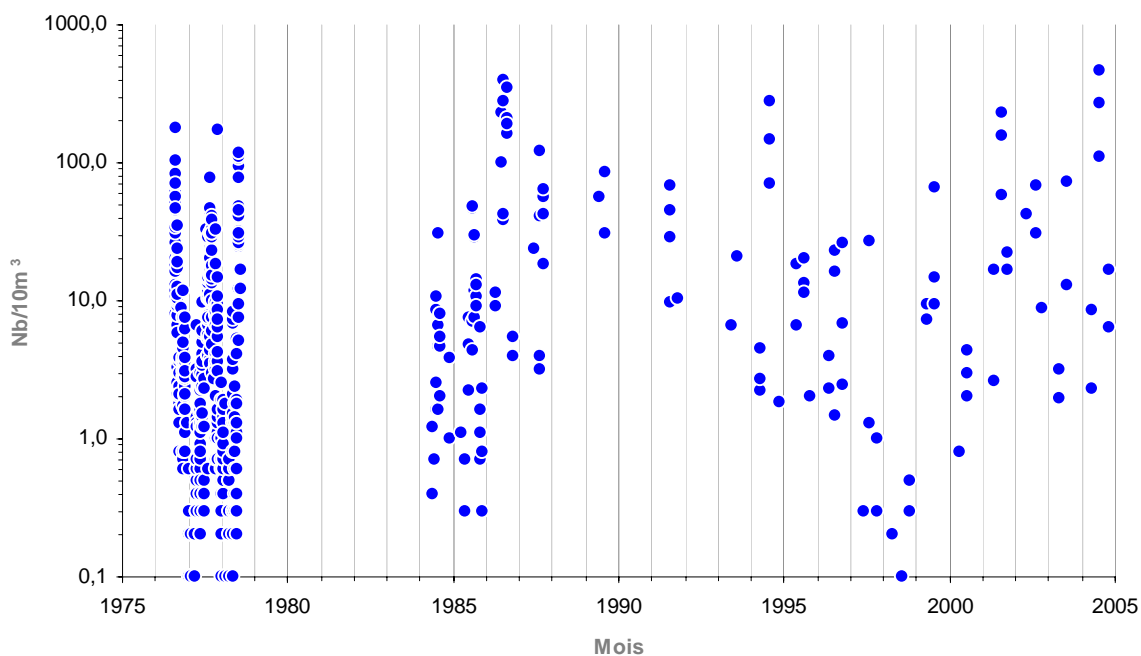


Fig. 3.4.66

Parapontella brevicornis

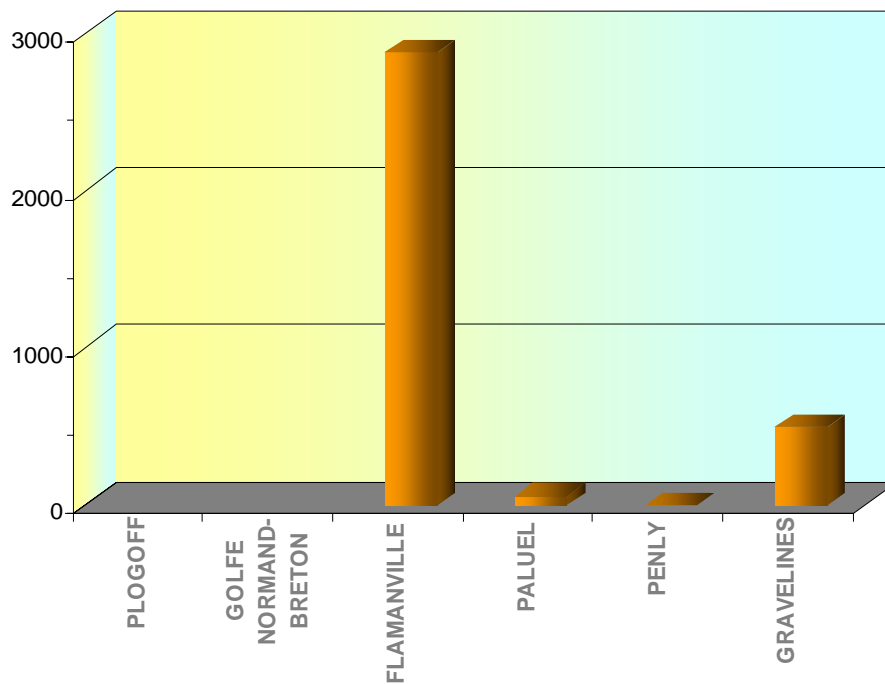


Fig. 3.4.67

Acartia clausi

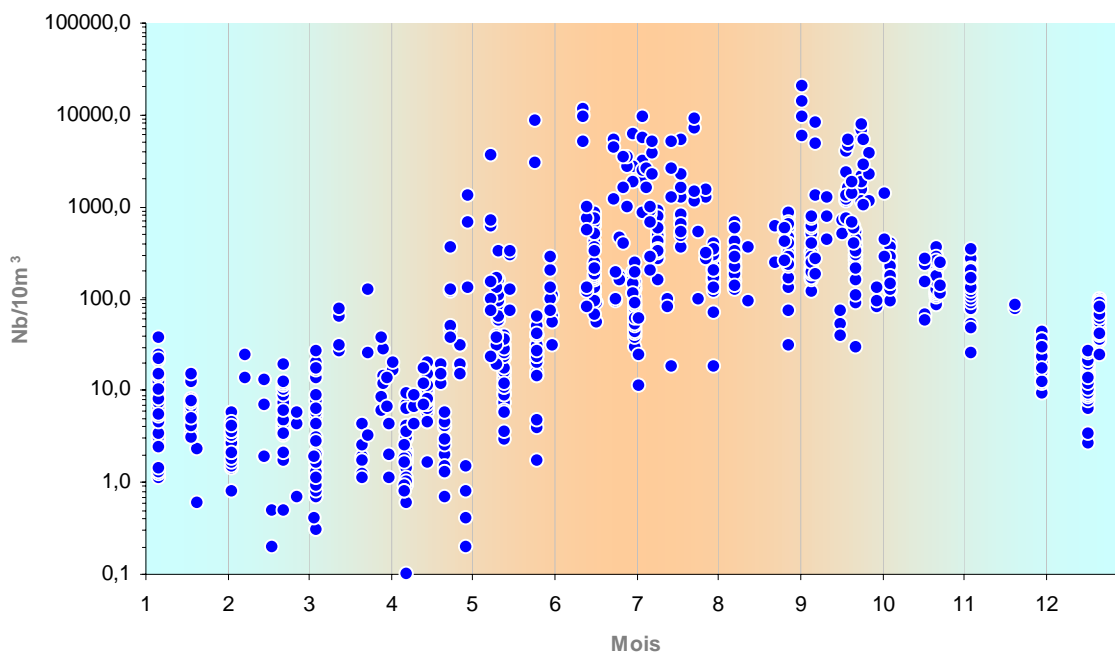


Fig. 3.4.68

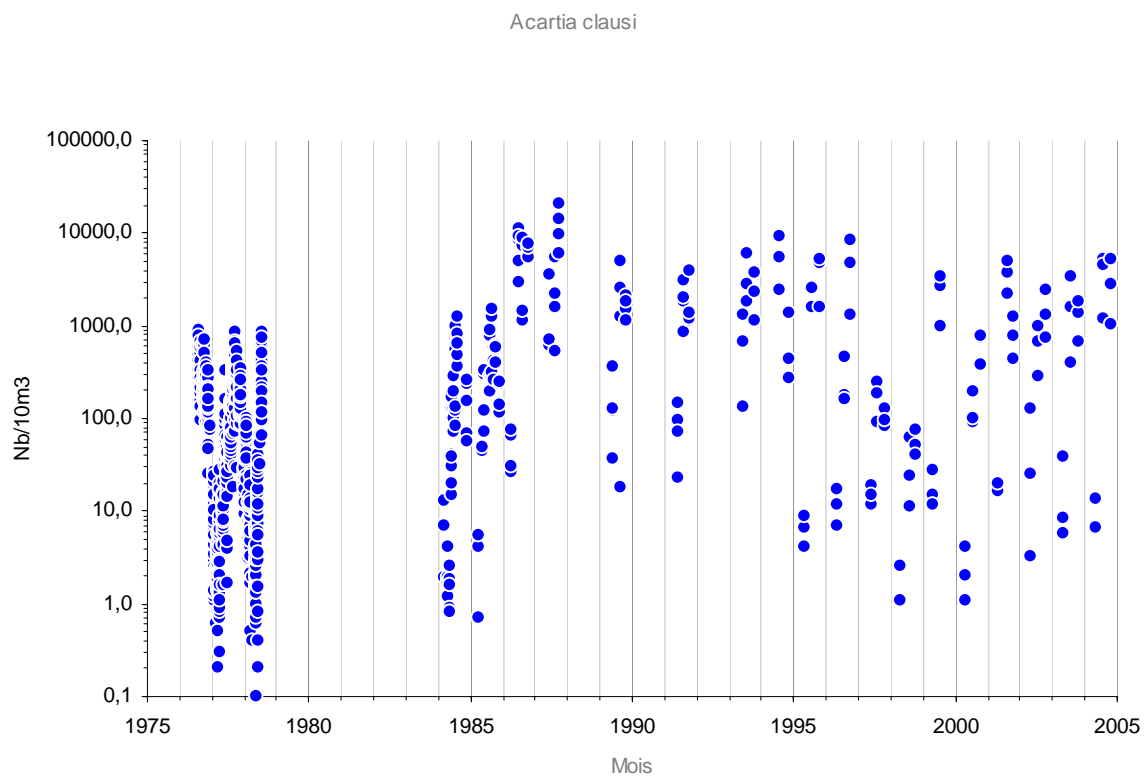


Fig. 3.4.69

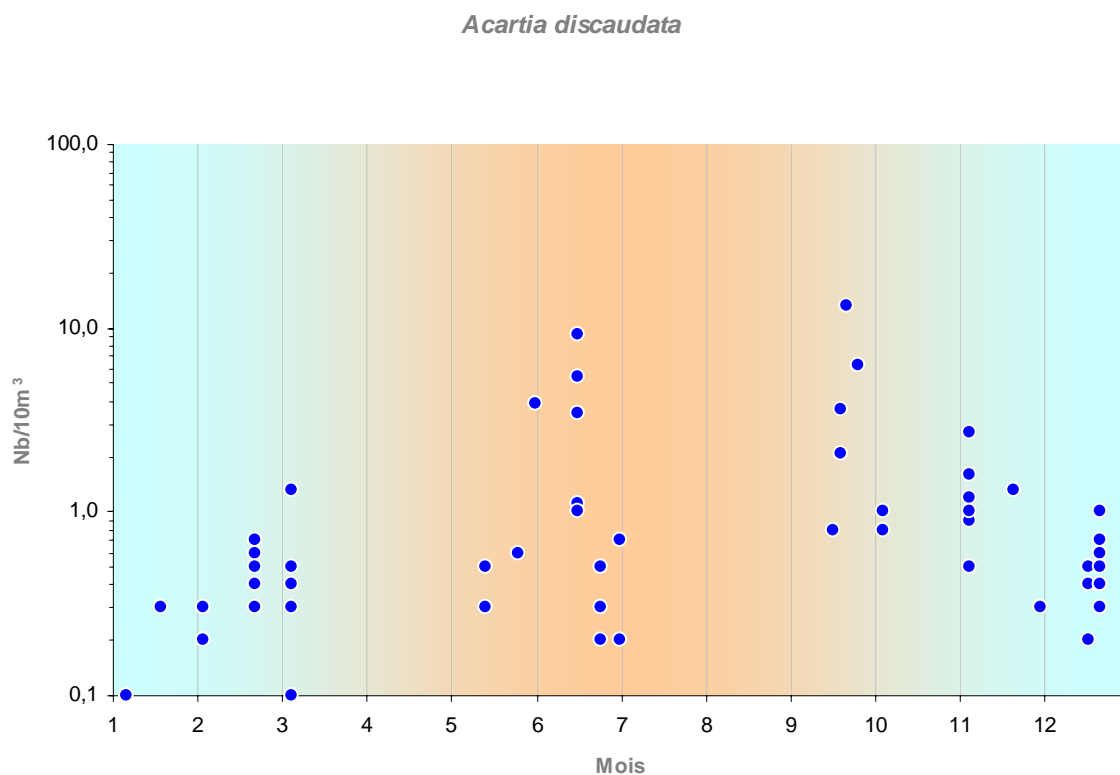


Fig. 3.4.70

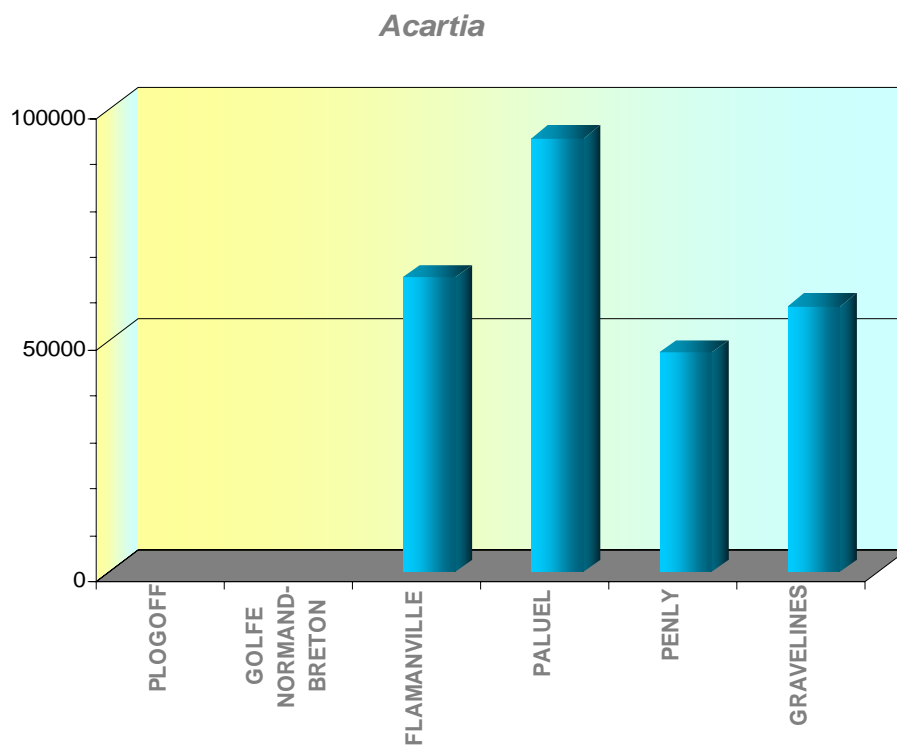


Fig. 3.4.71

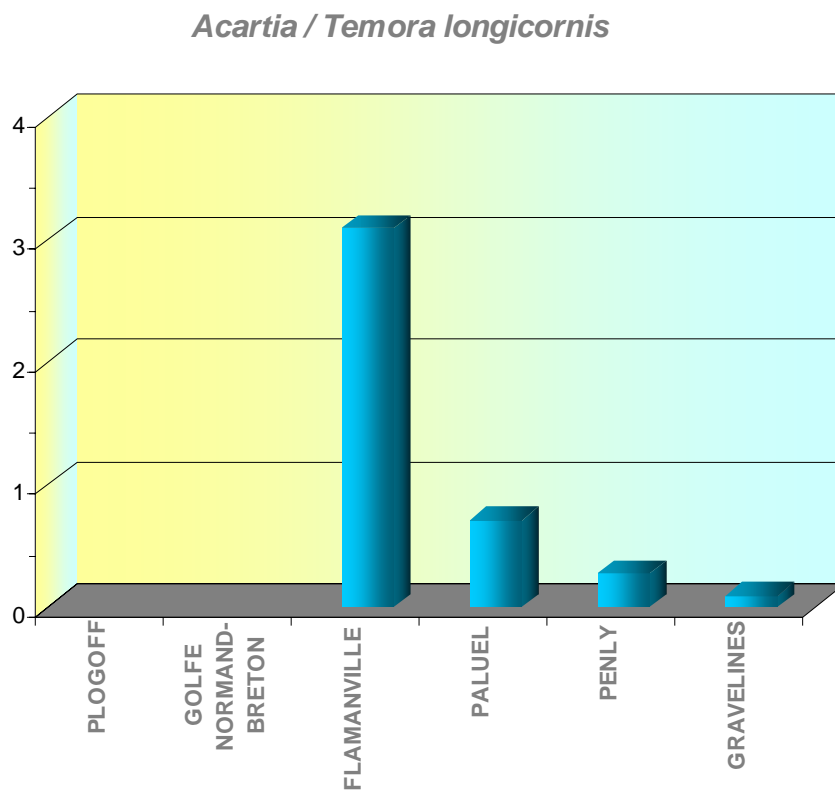


Fig. 3.4.72

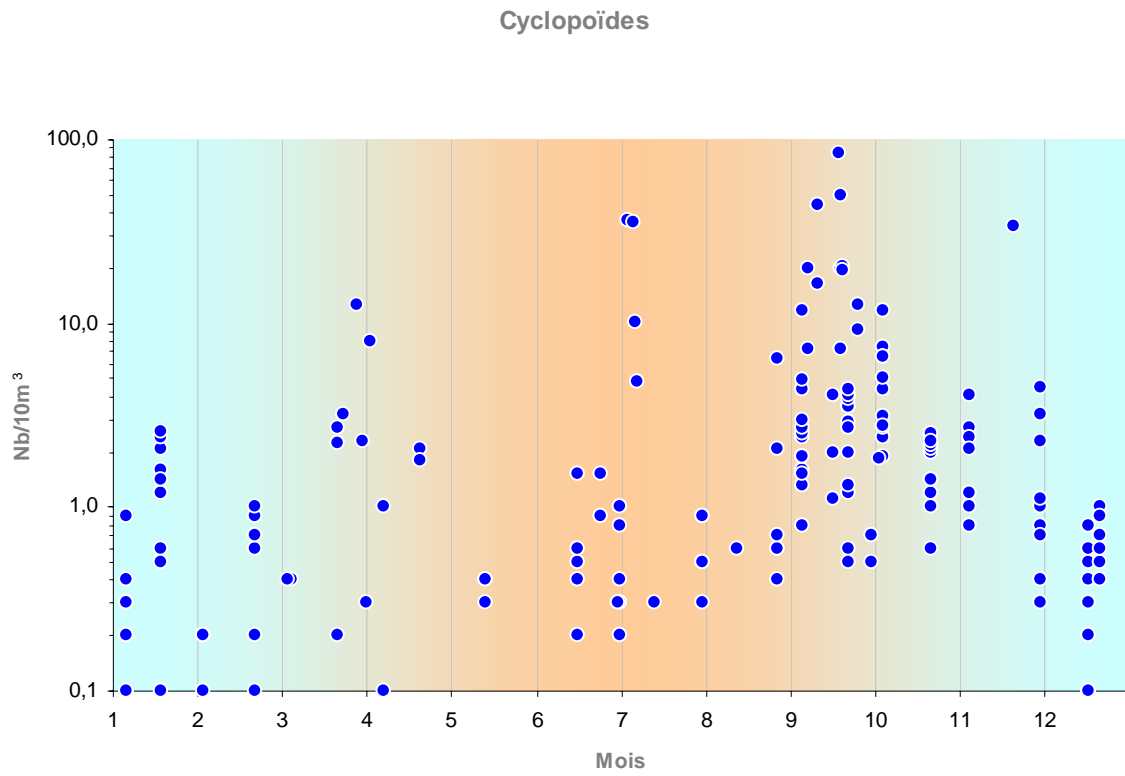


Fig. 3.4.73

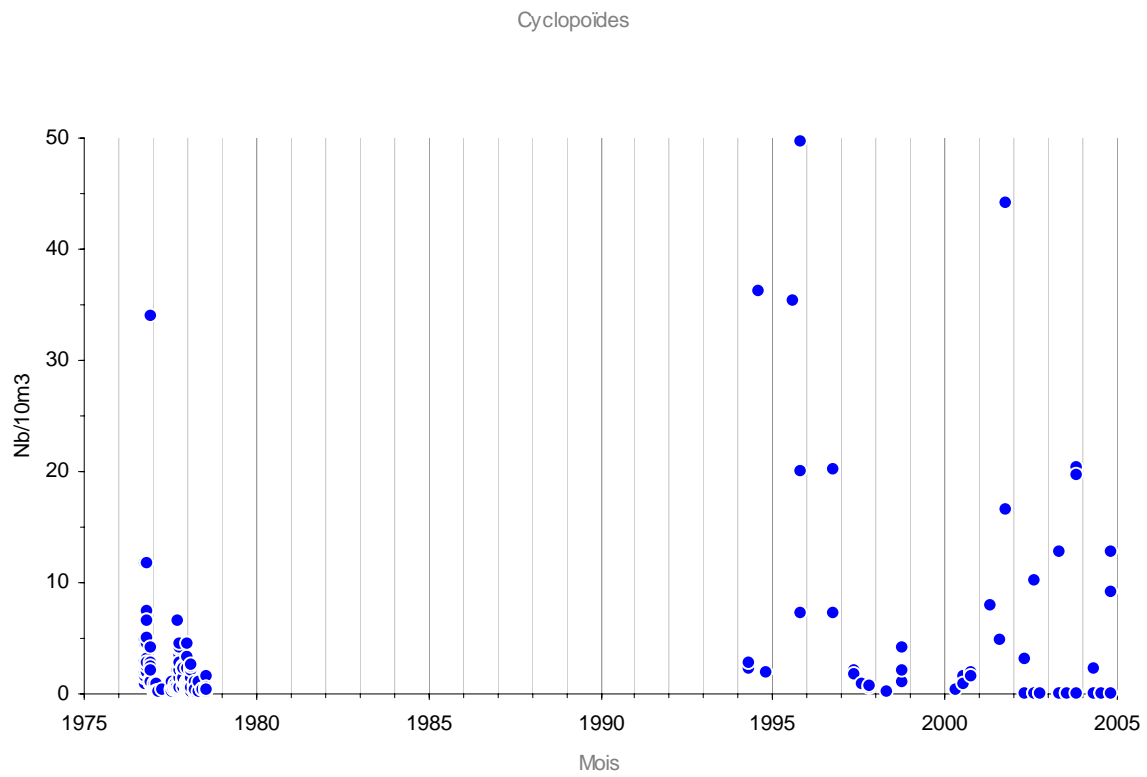


Fig. 3.4.74

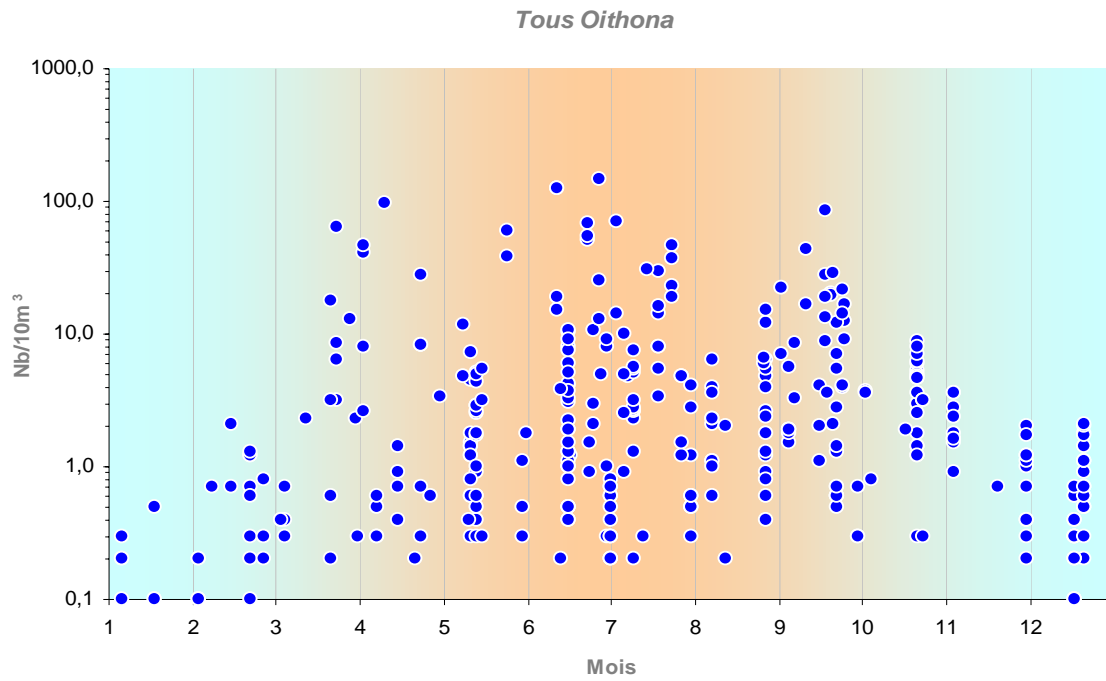


Fig. 3.4.75

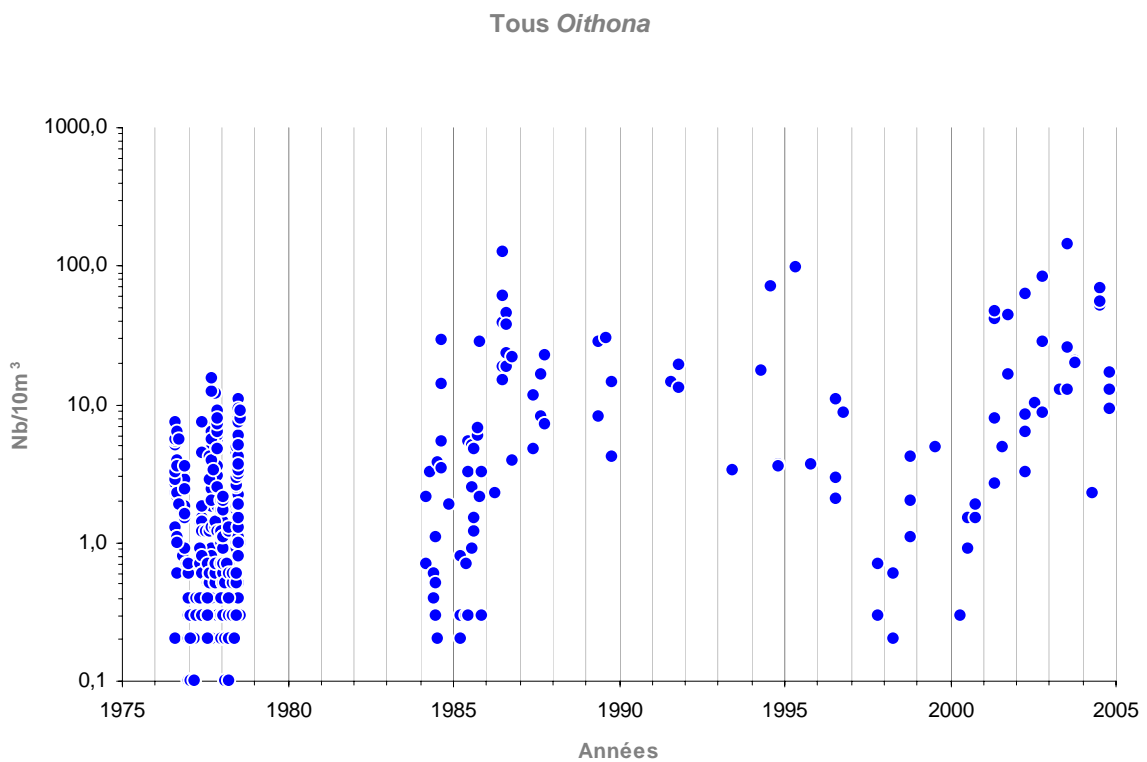


Fig. 3.4.76

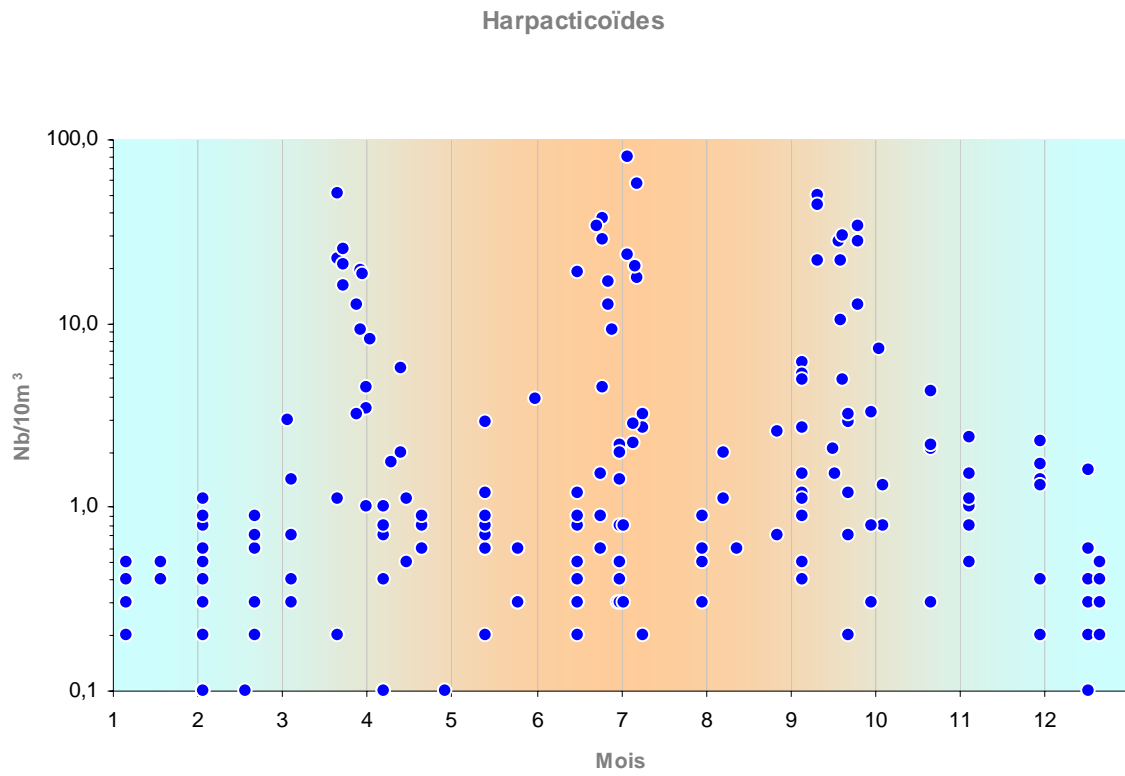


Fig. 3.4.77

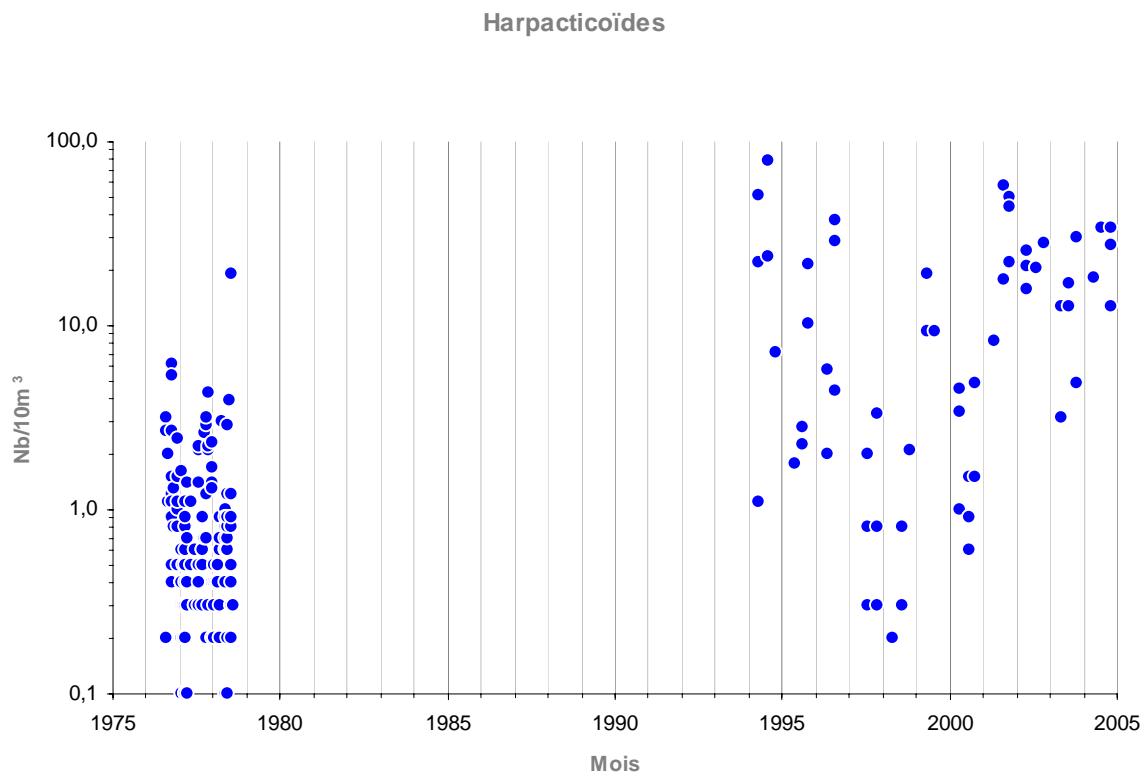


Fig. 3.4.78

Harpacticoides

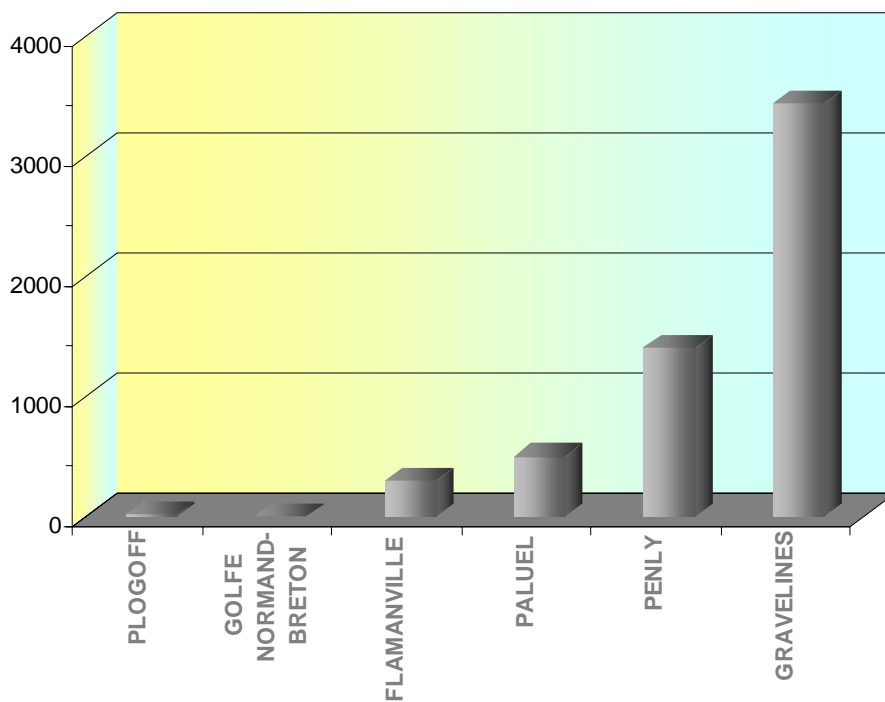


Fig. 3.4.79

Euterpina acutifrons

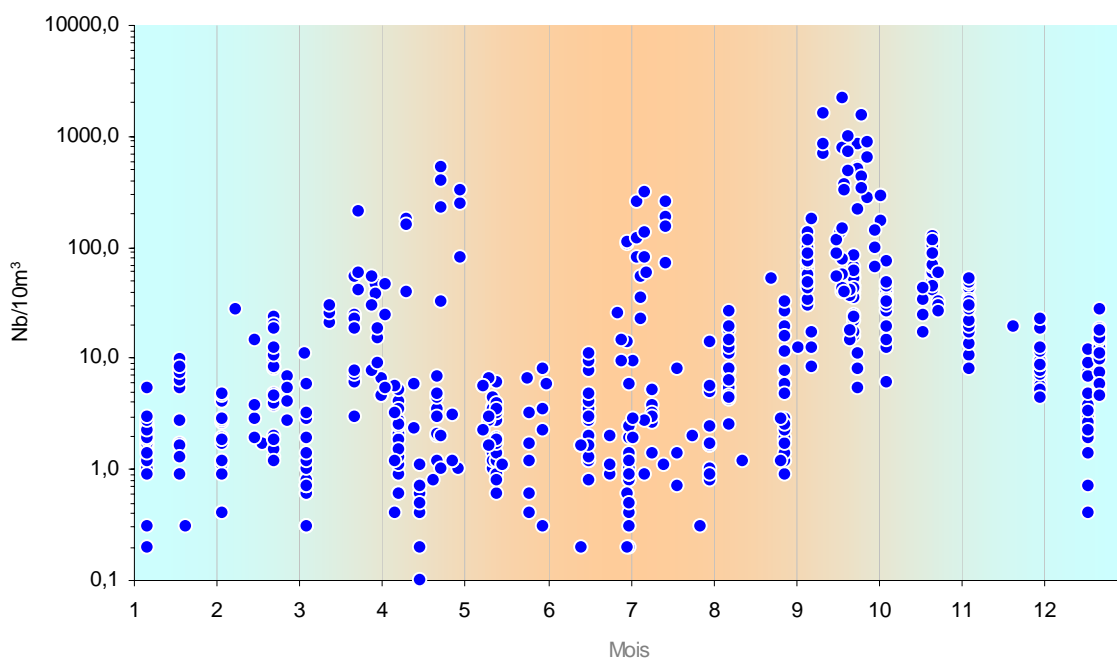


Fig. 3.4.80

Euterpina acutifrons

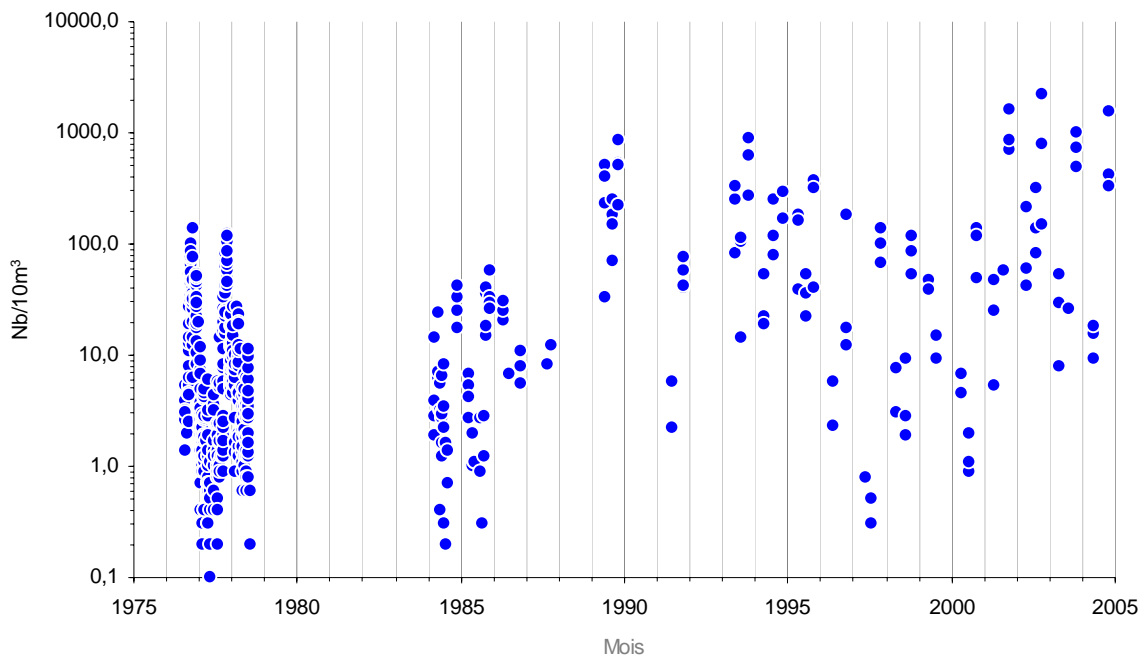


Fig. 3.4.81

Euterpina acutifrons

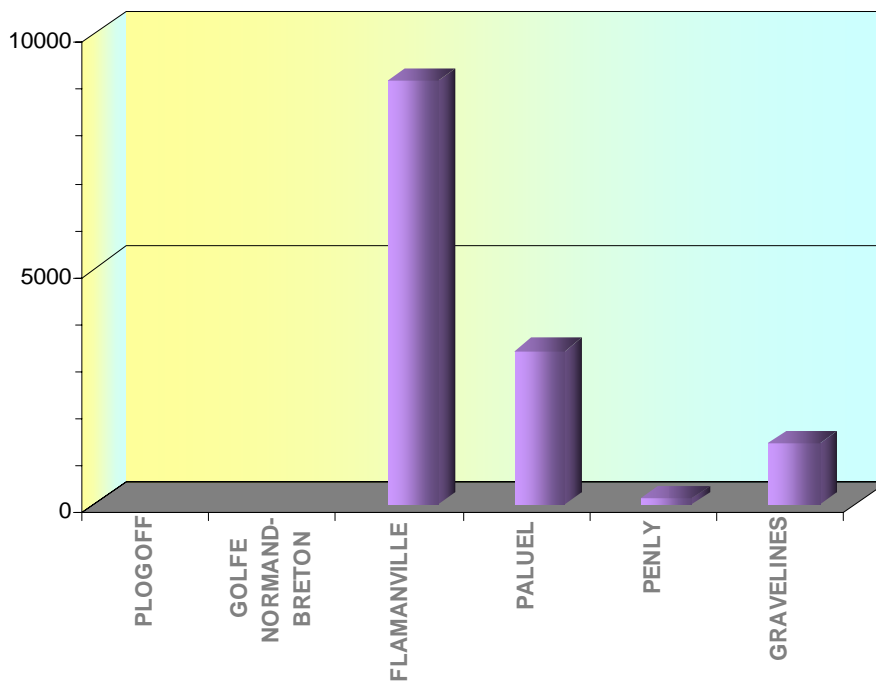


Fig. 3.4.82

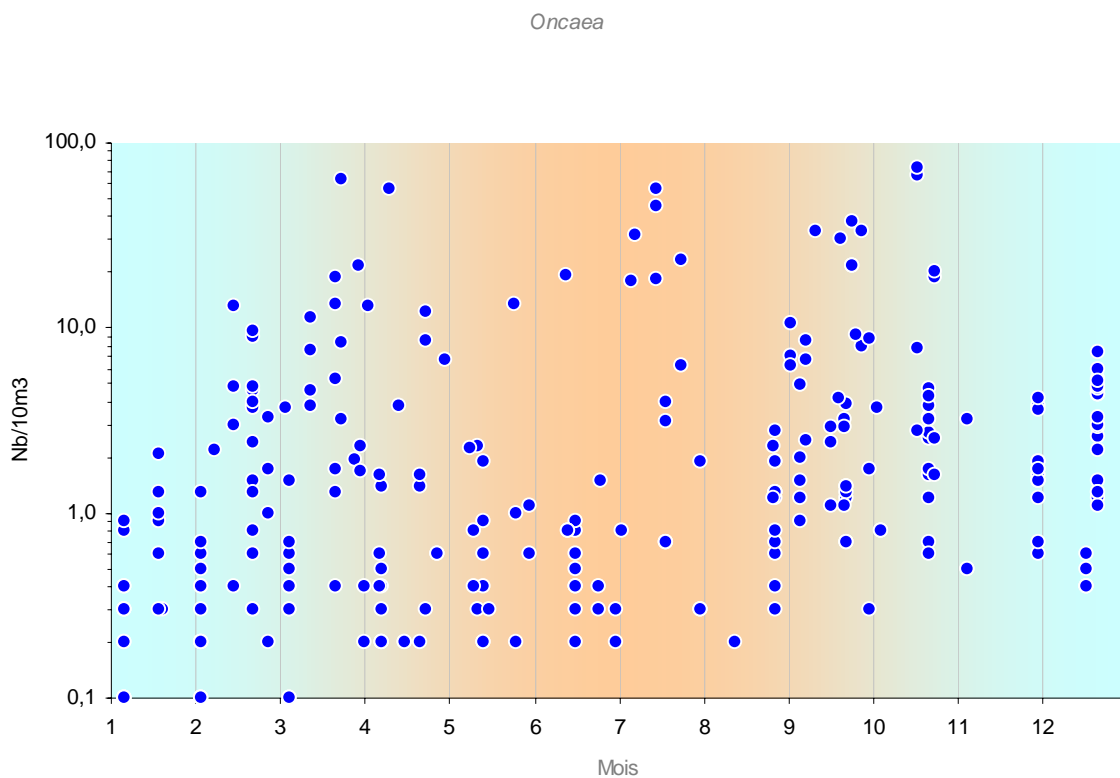


Fig. 3.4.83

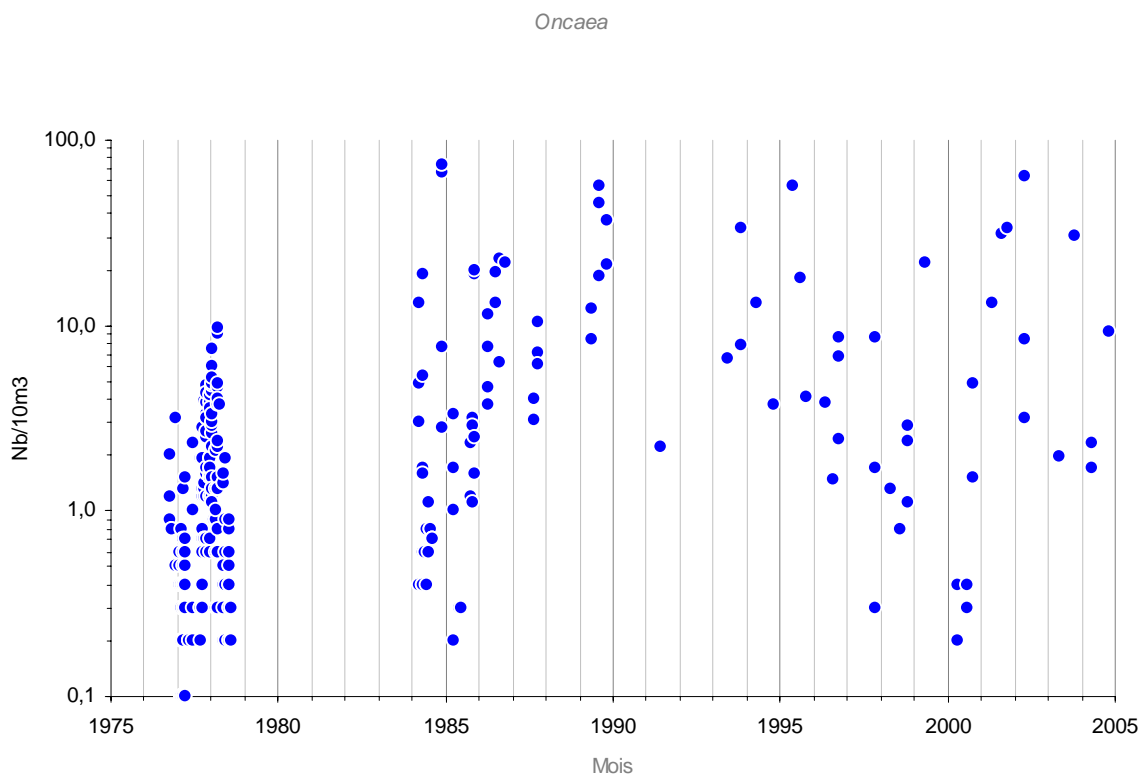


Fig. 3.4.84

Total *Corycaeus* sp.

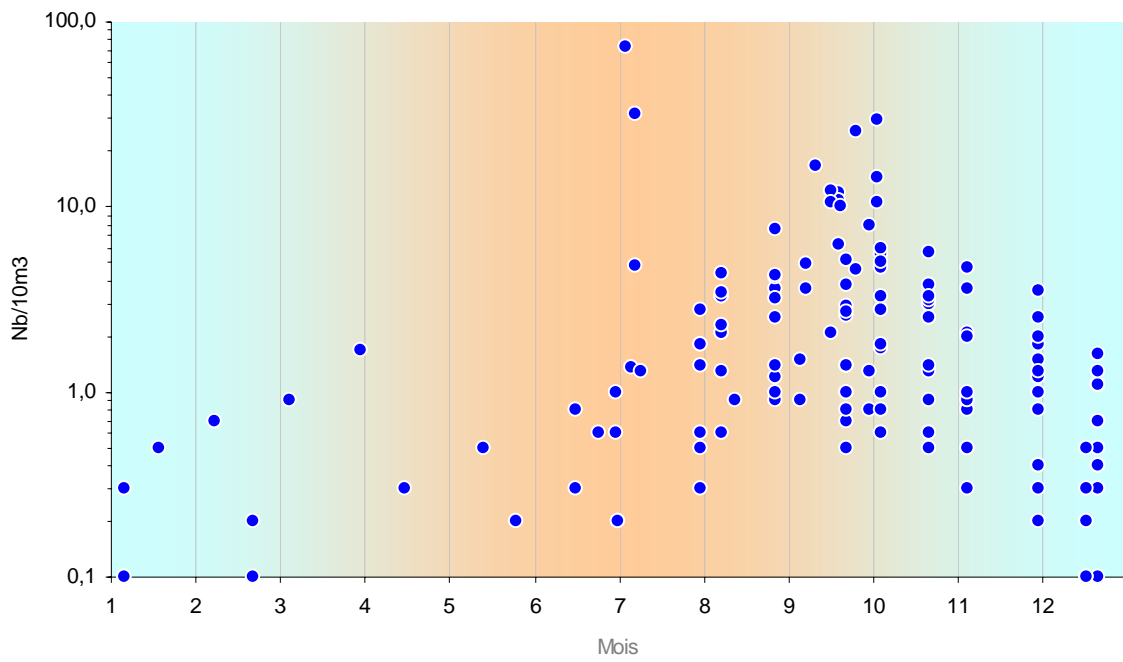


Fig. 3.4.85

Total *Corycaeus* sp

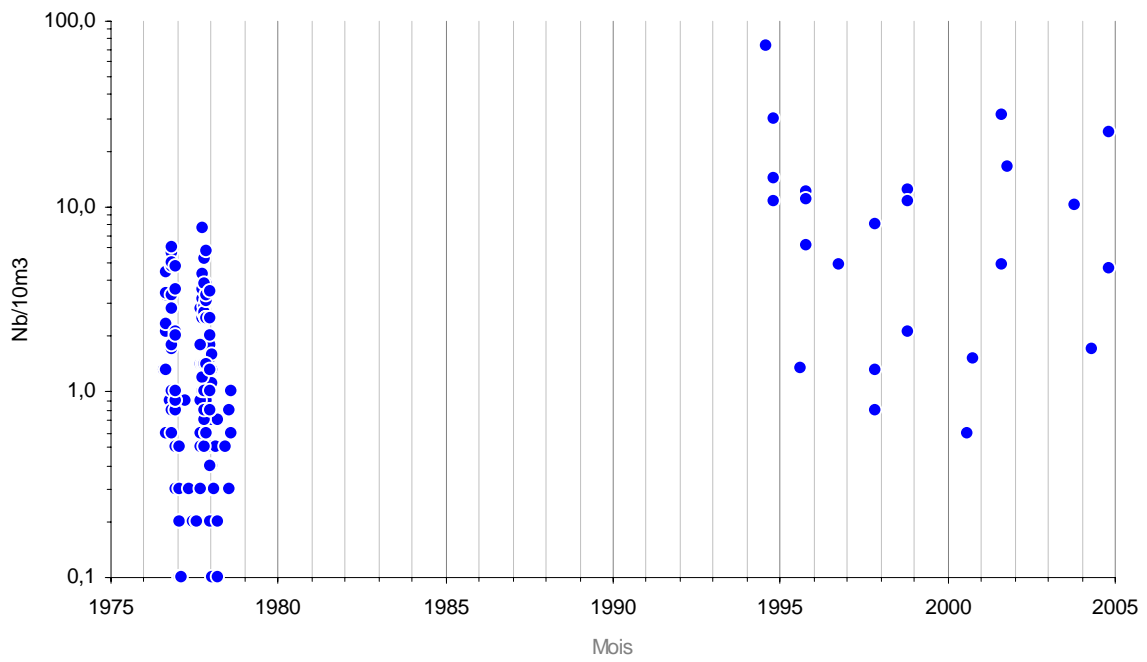


Fig. 3.4.86

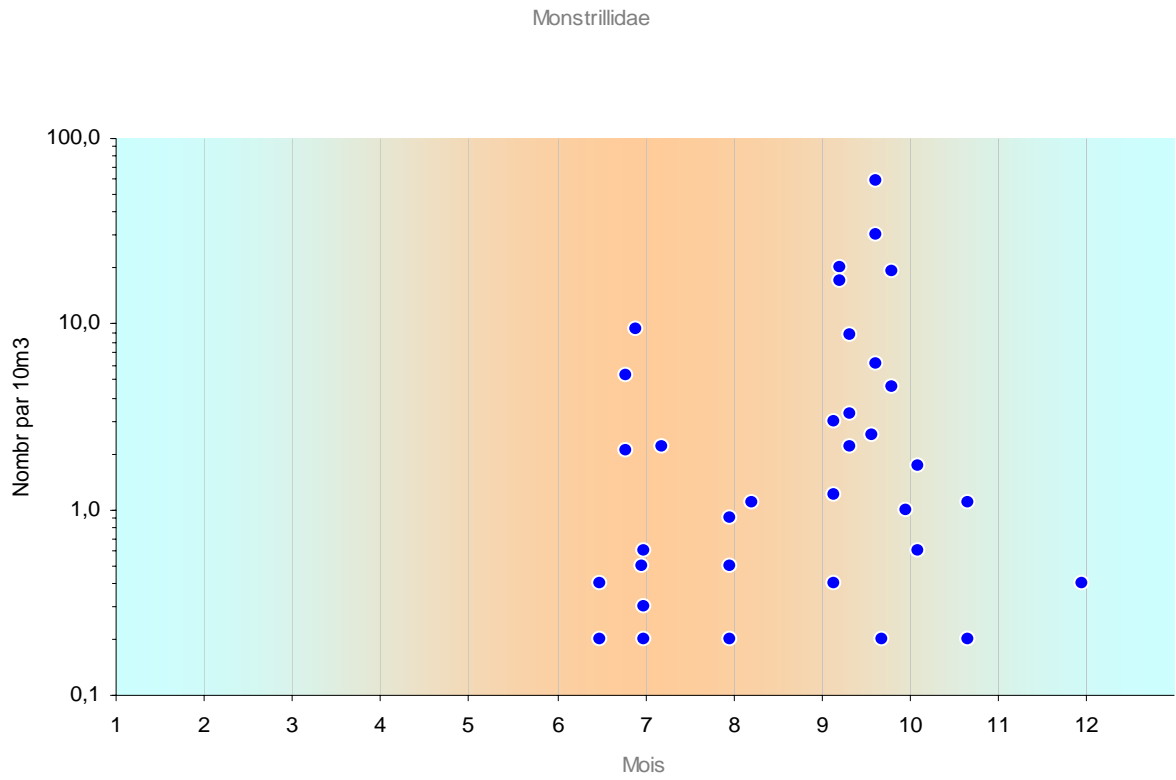


Fig. 3.4.87

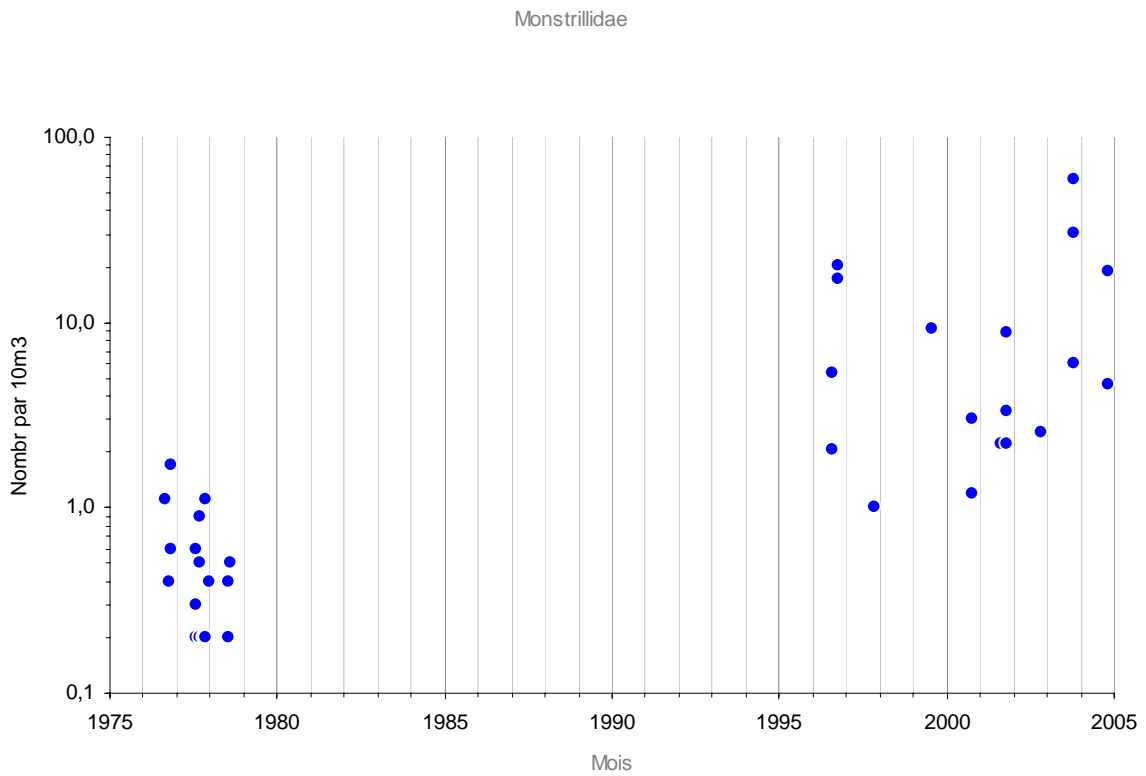


Fig. 3.4.88

Caligidés filet 0,5 mm

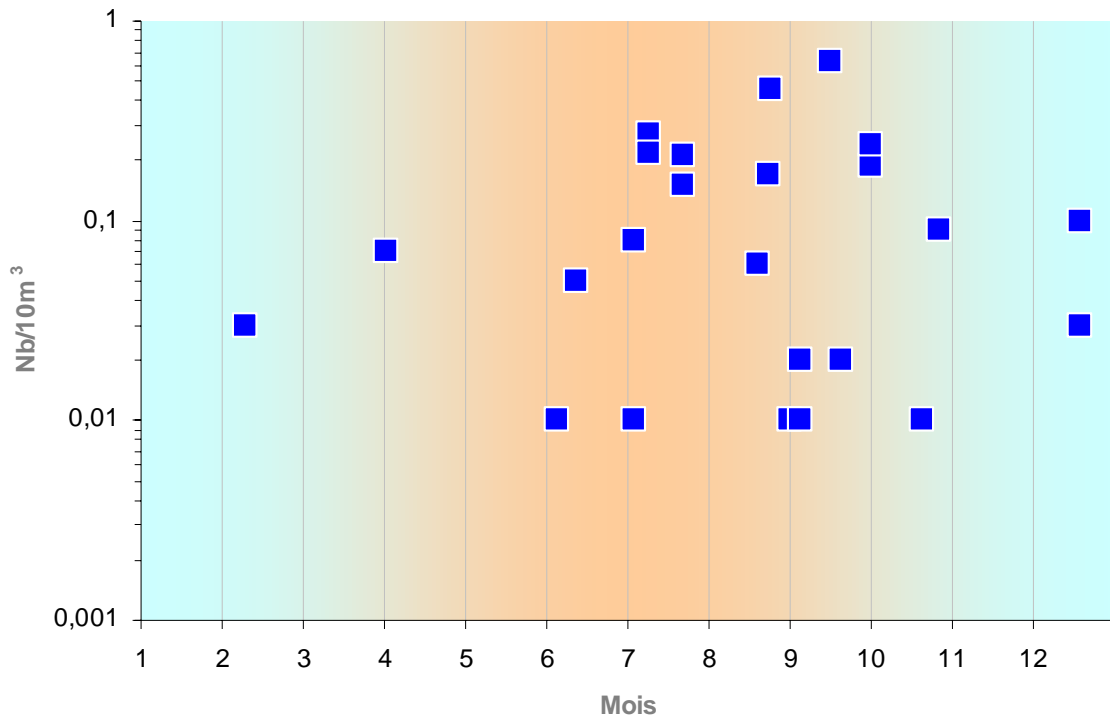


Fig. 3.4.189

Cirripèdes

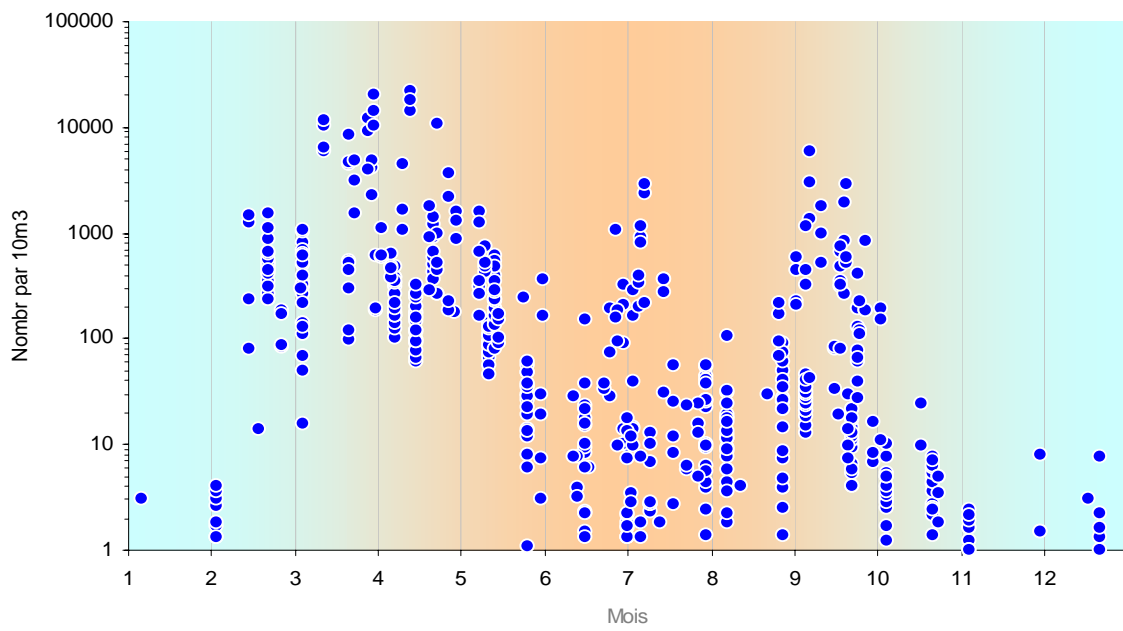


Fig. 3.4.90

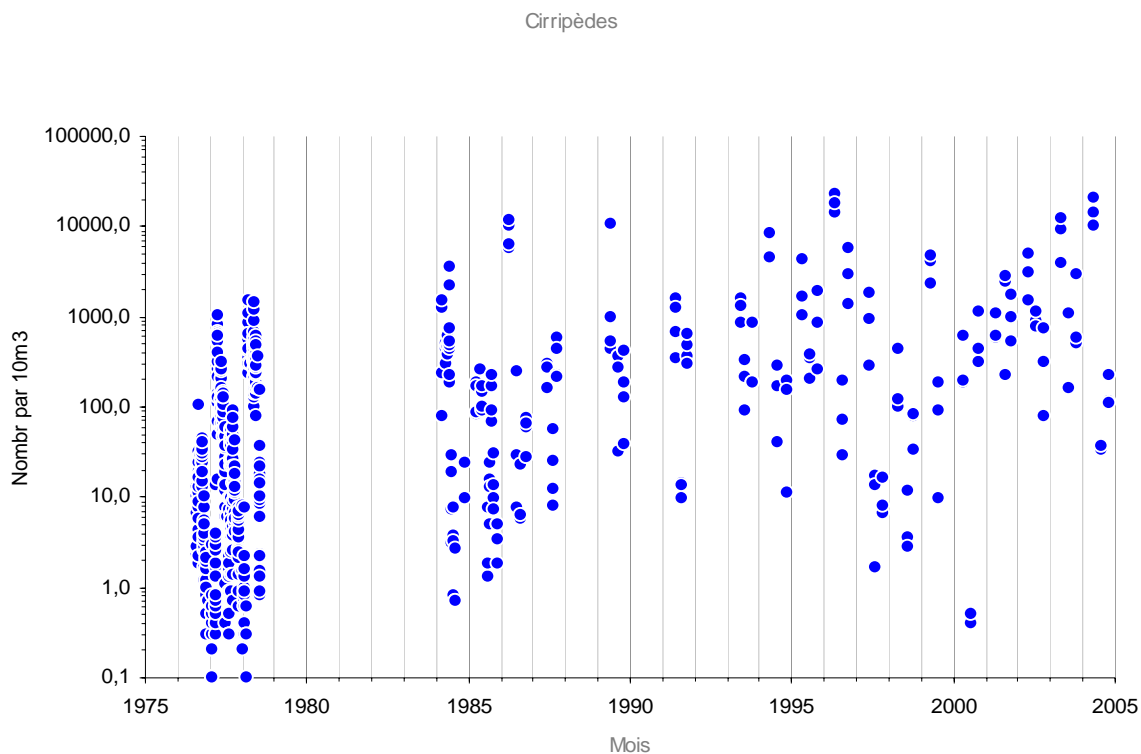


Fig. 3.4.91

Mysidacées filet 0,5 mm

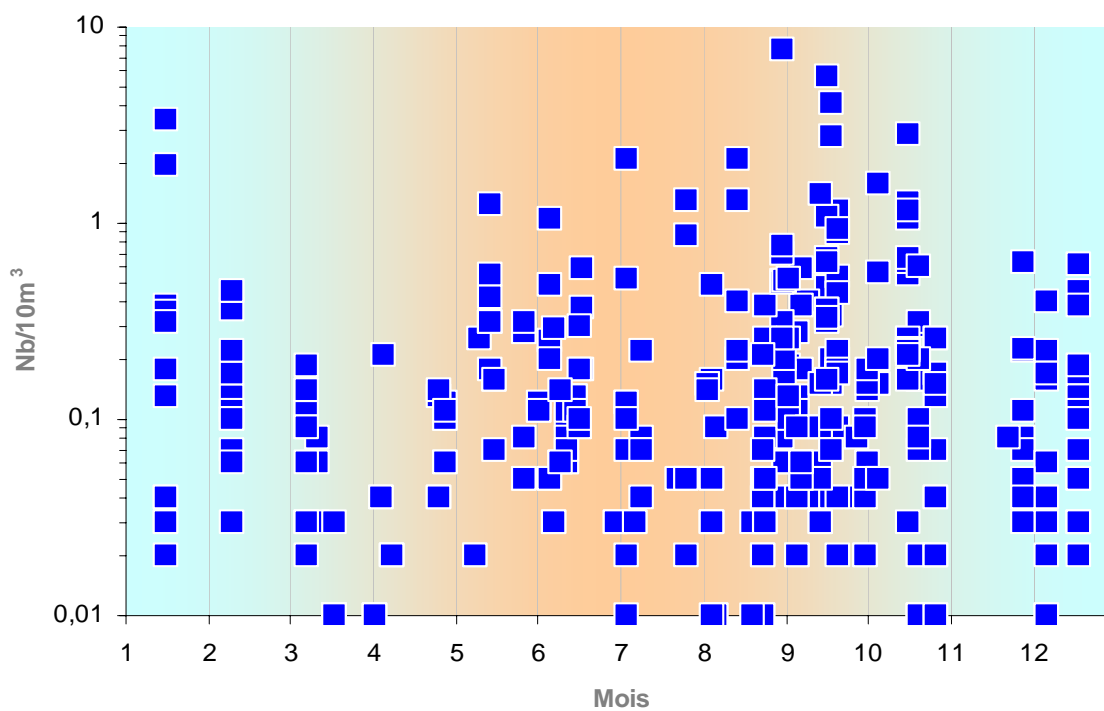


Fig. 3.4.92

Siriella filet 0,5 mm

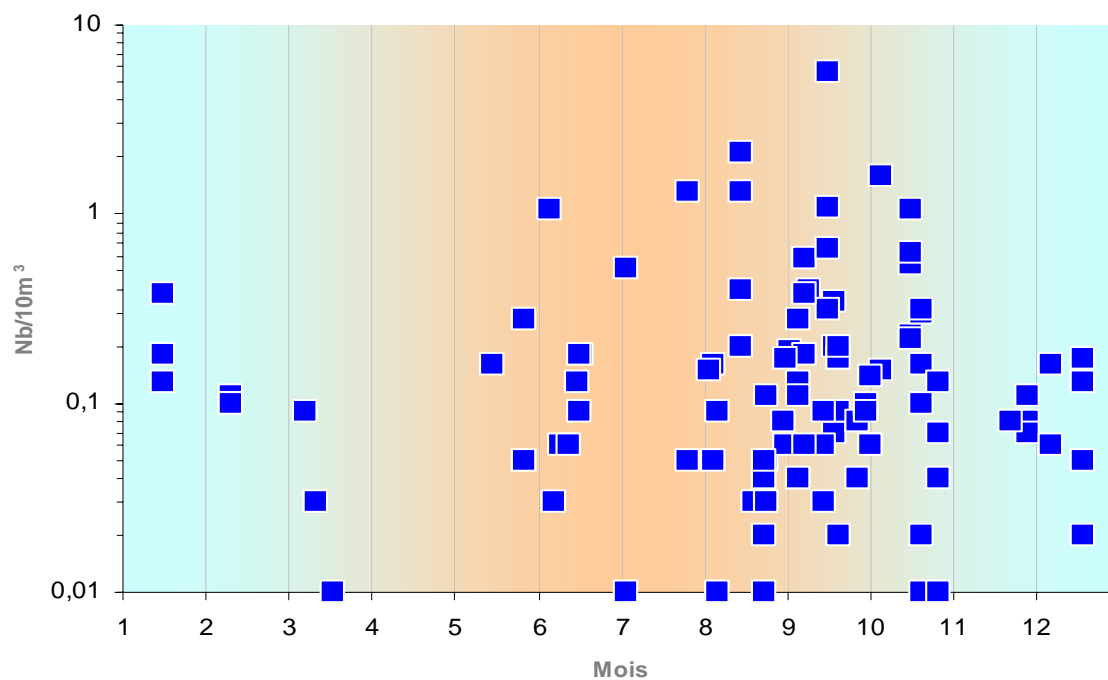


Fig. 3.4.93

Anchialina agilis filet 0,5 mm

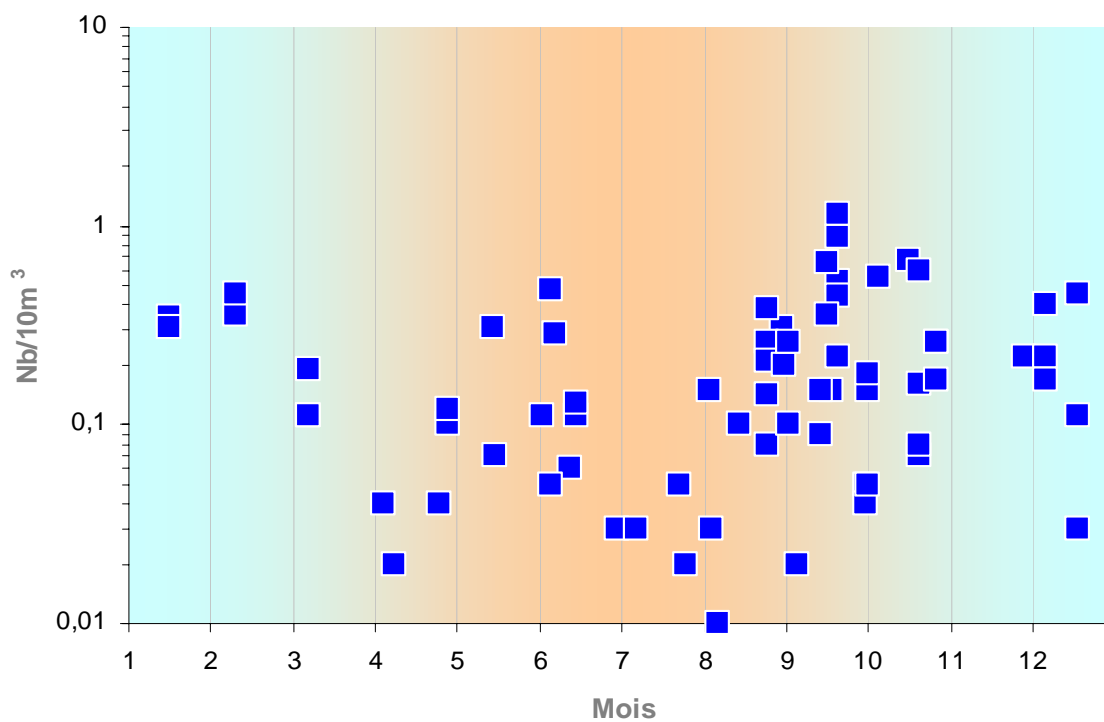


Fig. 3.4.94

Mesopodopsis slabberi filet 0,5 mm

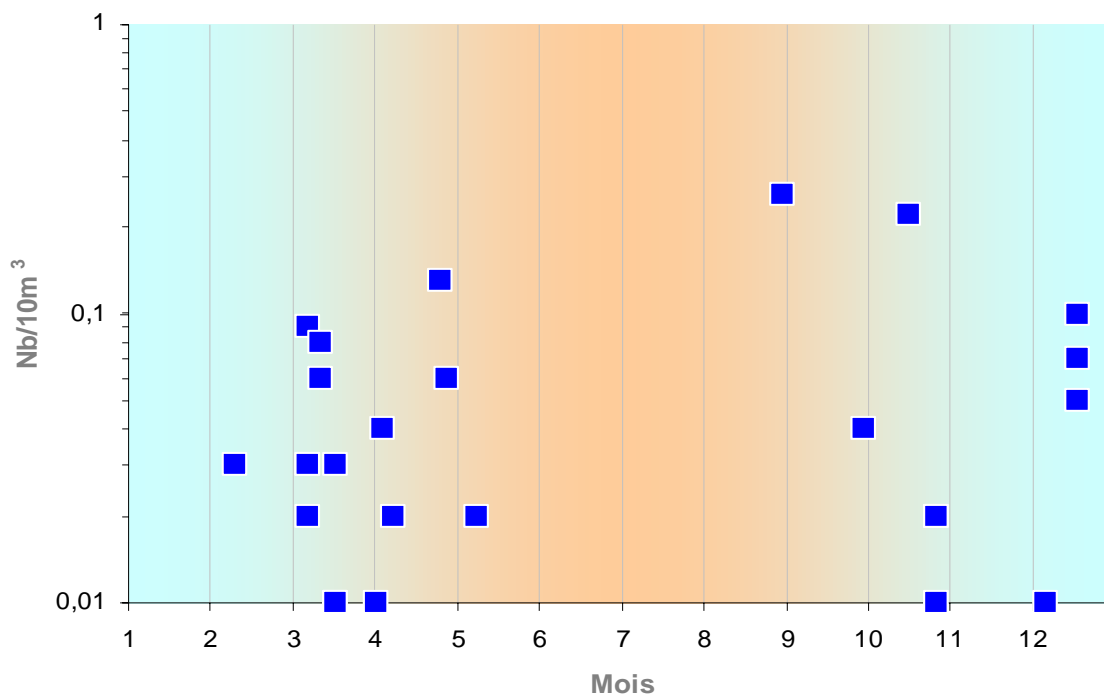


Fig. 3.4.95

Mesopodopsis slabberi

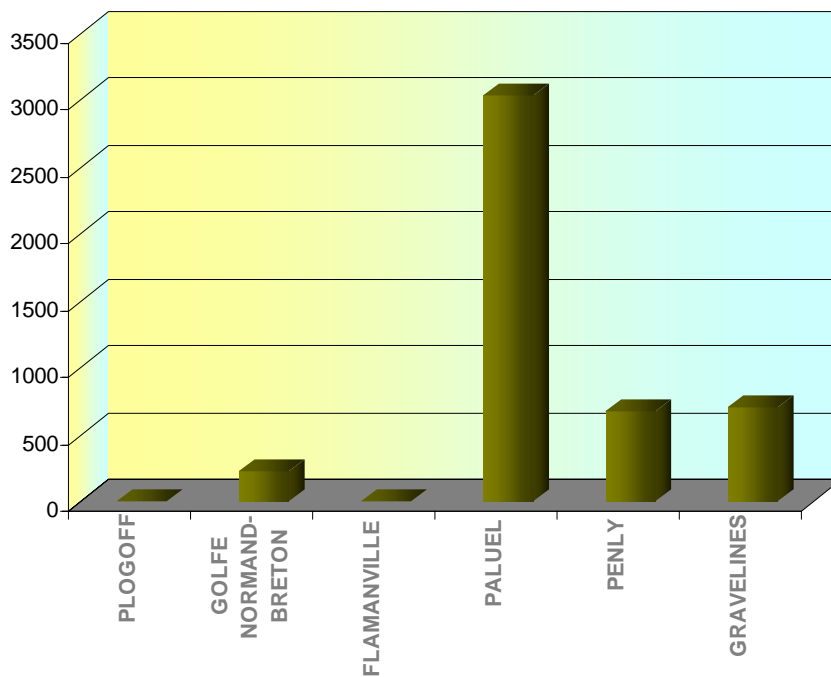


Fig. 3.4.96

Gastrosacchus sp. filet 0,5 mm

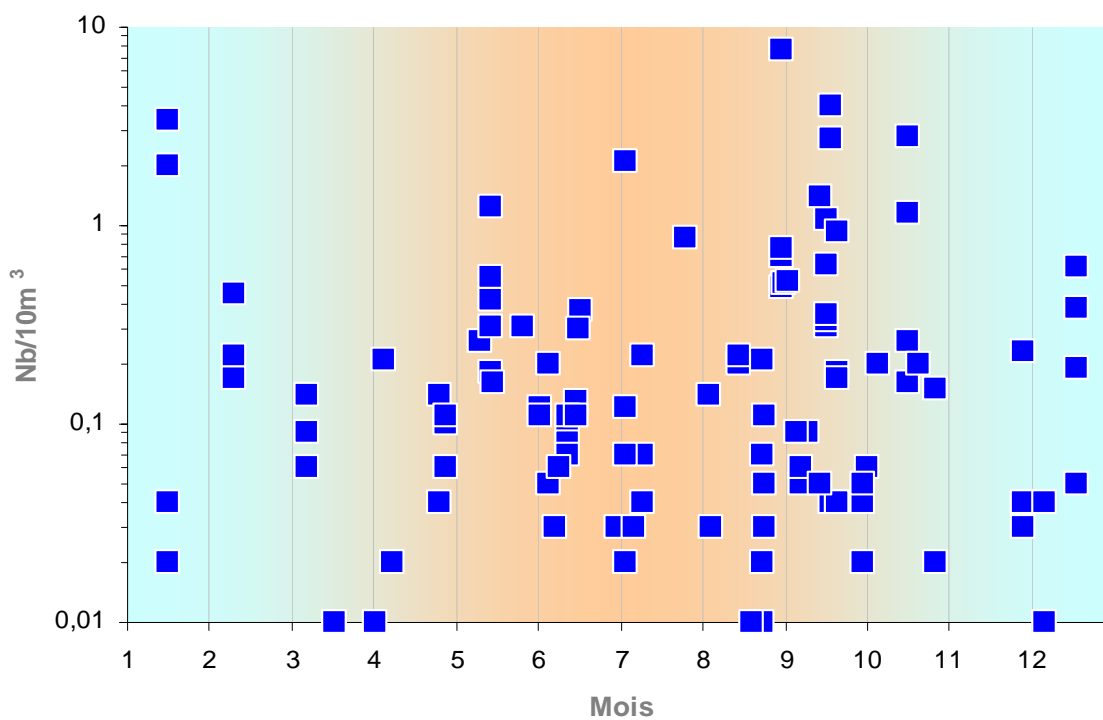


Fig. 3.4.97

Gastrosacchus

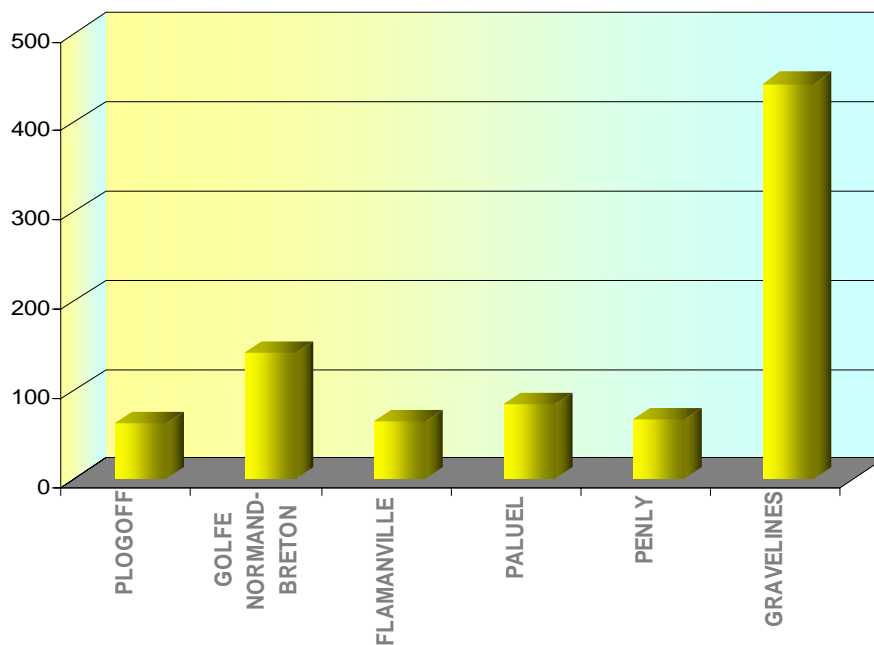


Fig. 3.4.98

Schistomysis sp. filet 0,5 mm

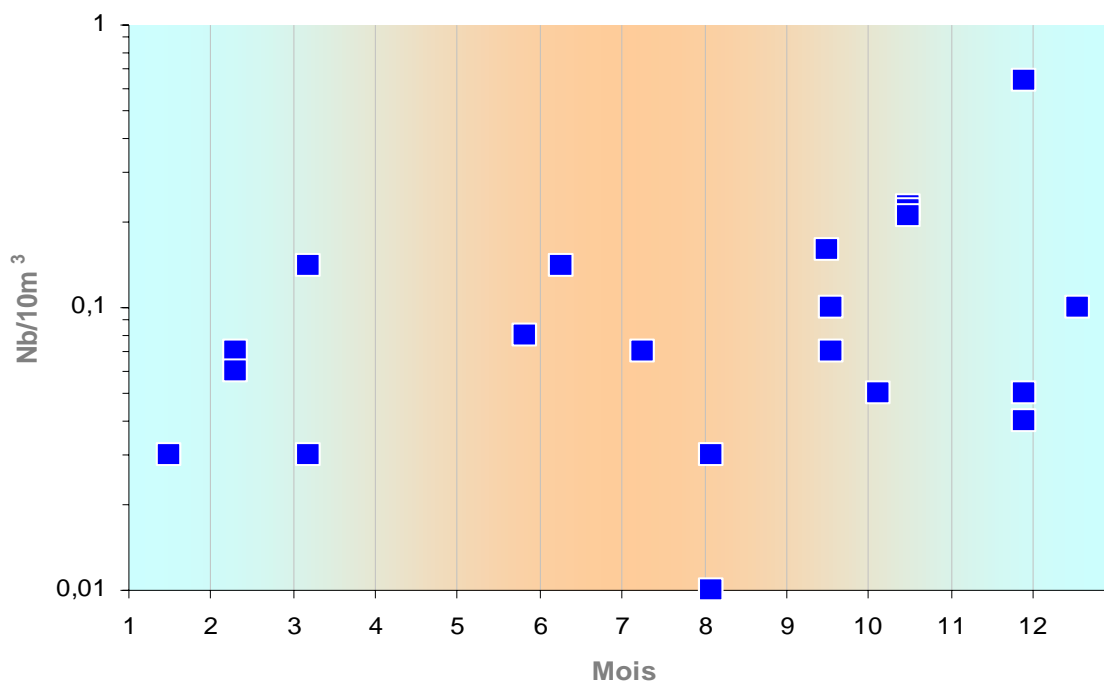


Fig. 3.4.99

Schistomysis

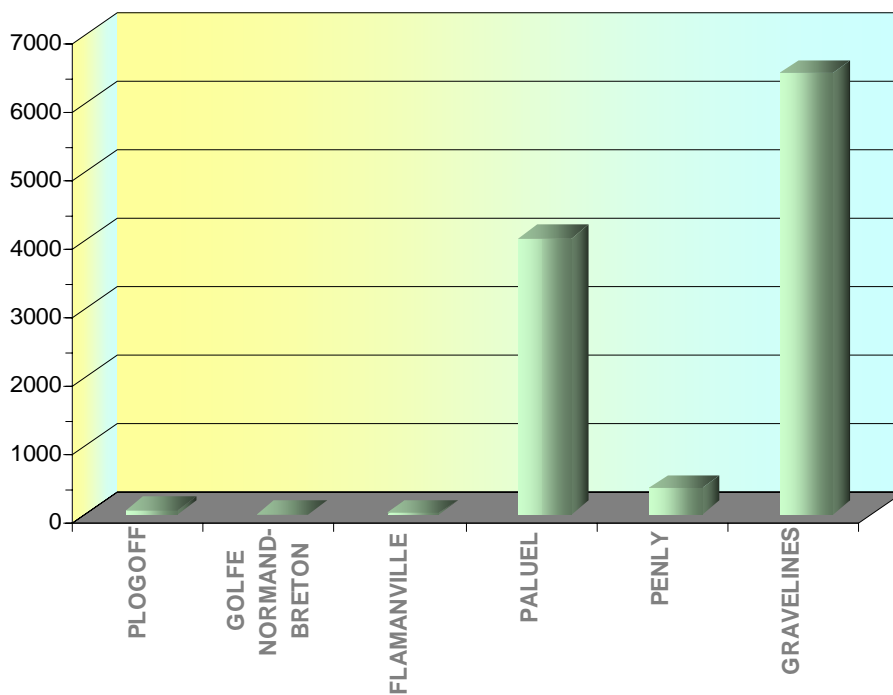


Fig. 3.4.100

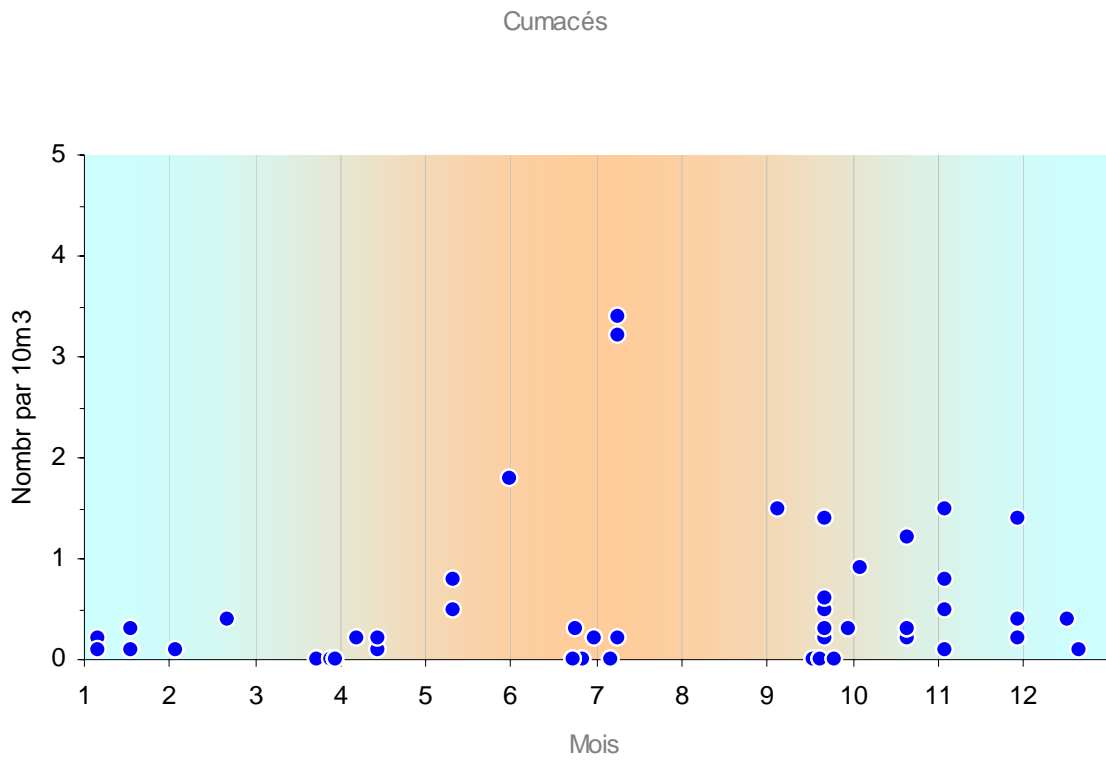


Fig. 3.4.101

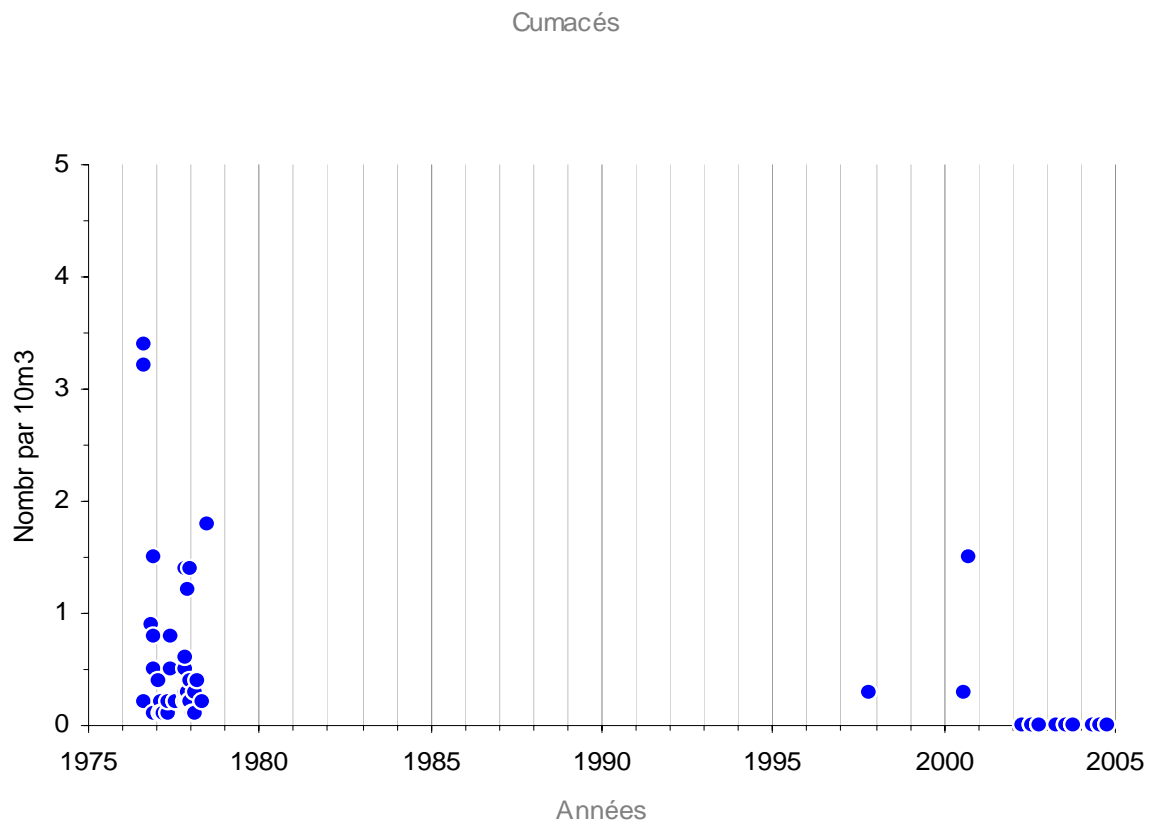


Fig. 3.4.102

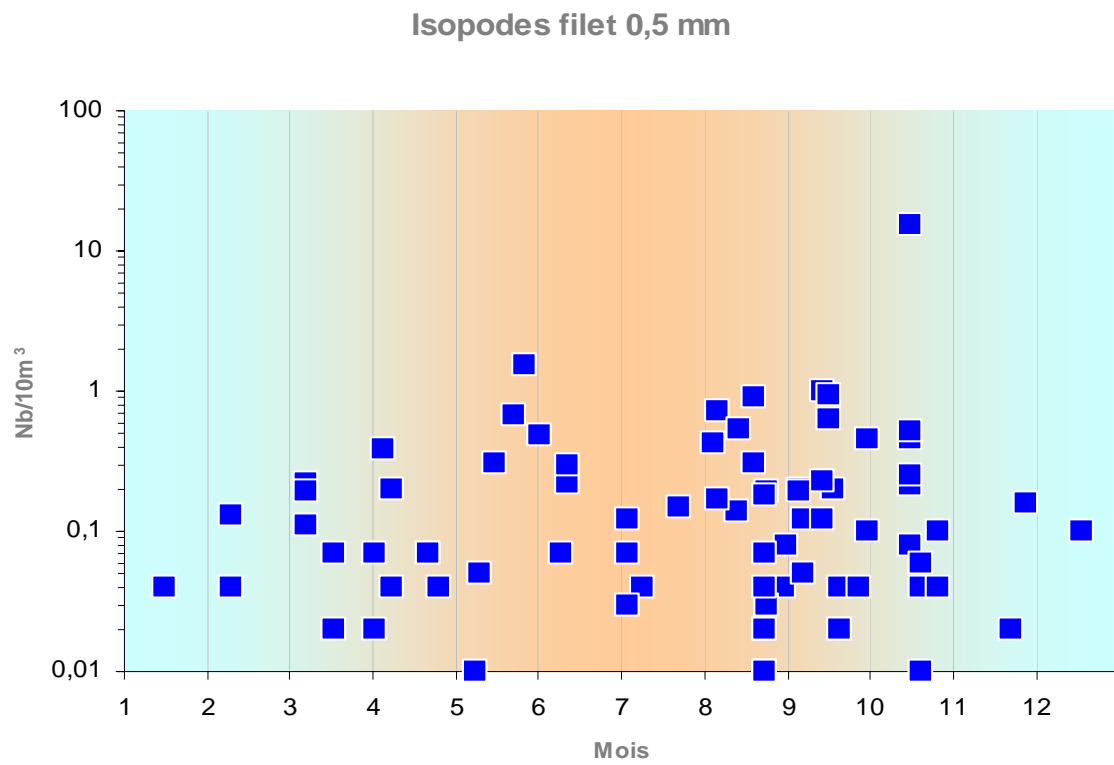


Fig. 3.4.103

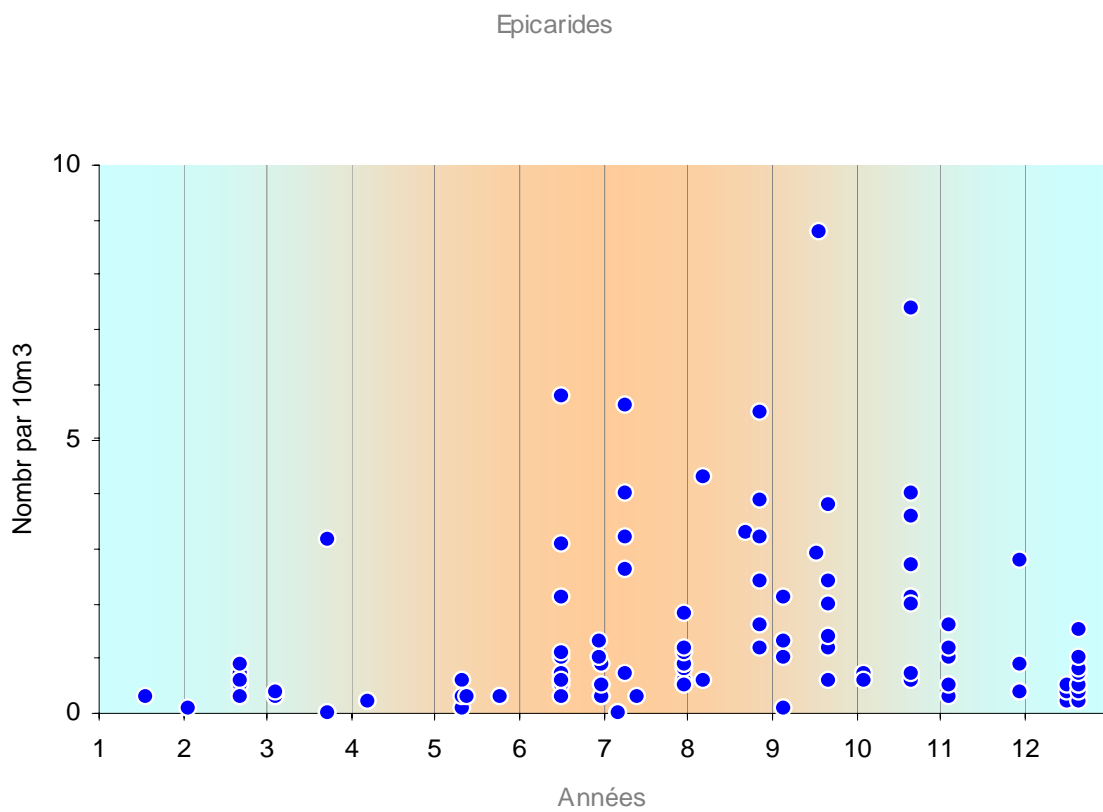


Fig. 3.4.104

Rissoides desmaresti = *Squilla d.* filet 0,5 mm

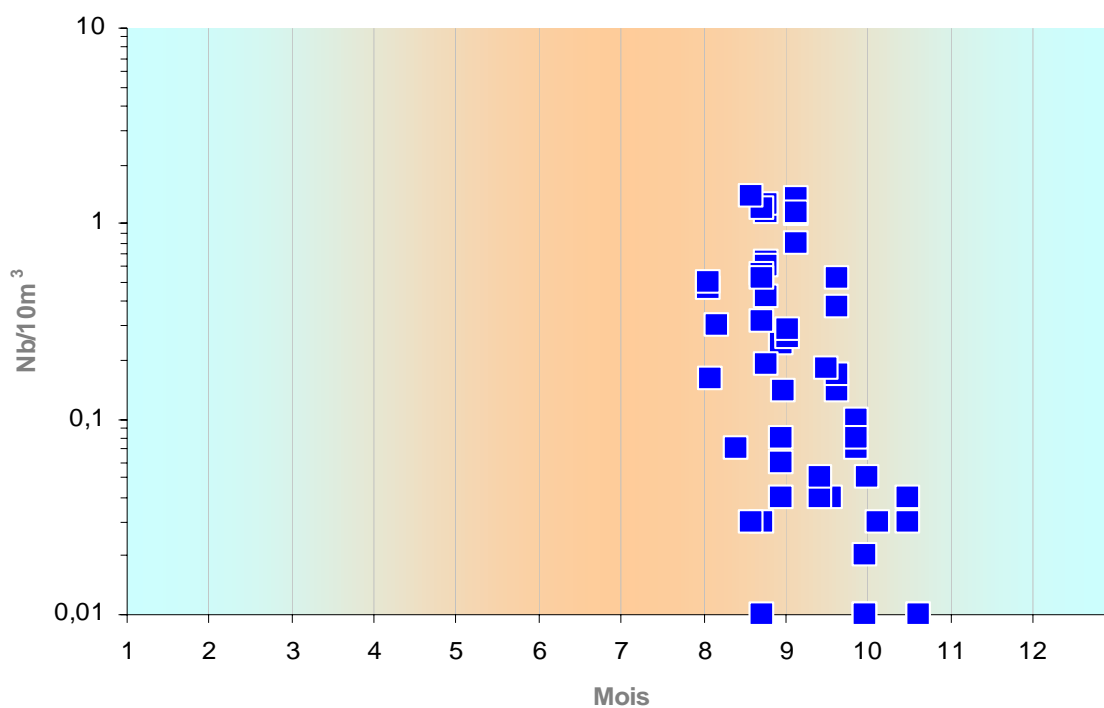


Fig. 3.4.105

Total Amphipodes

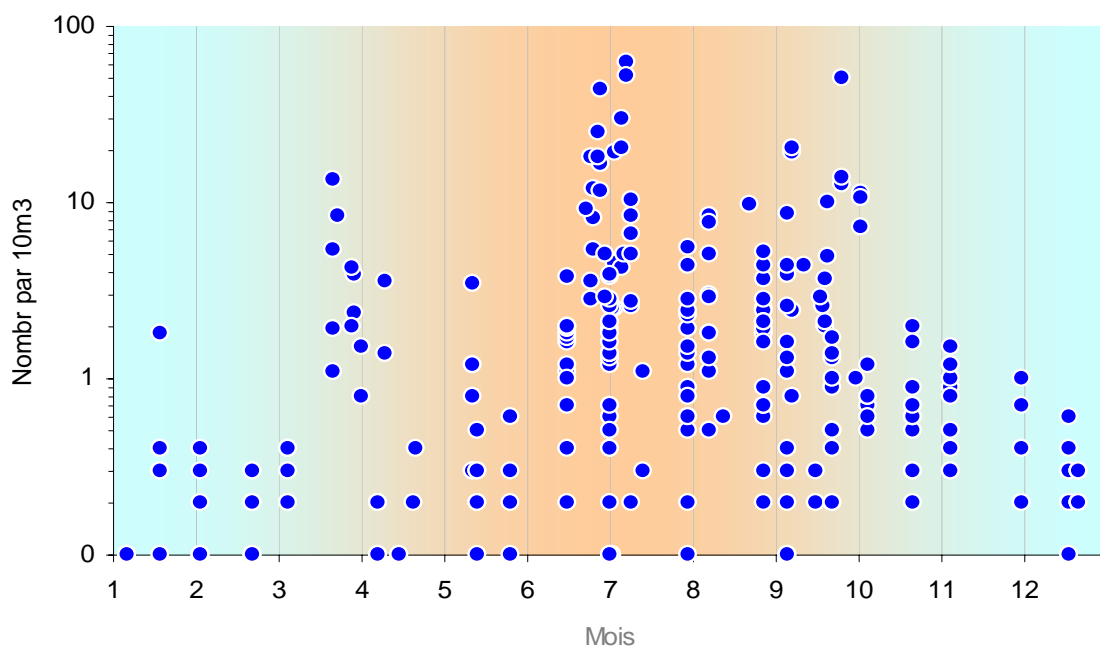


Fig. 3.4.106

Tous Amphipodes confondus

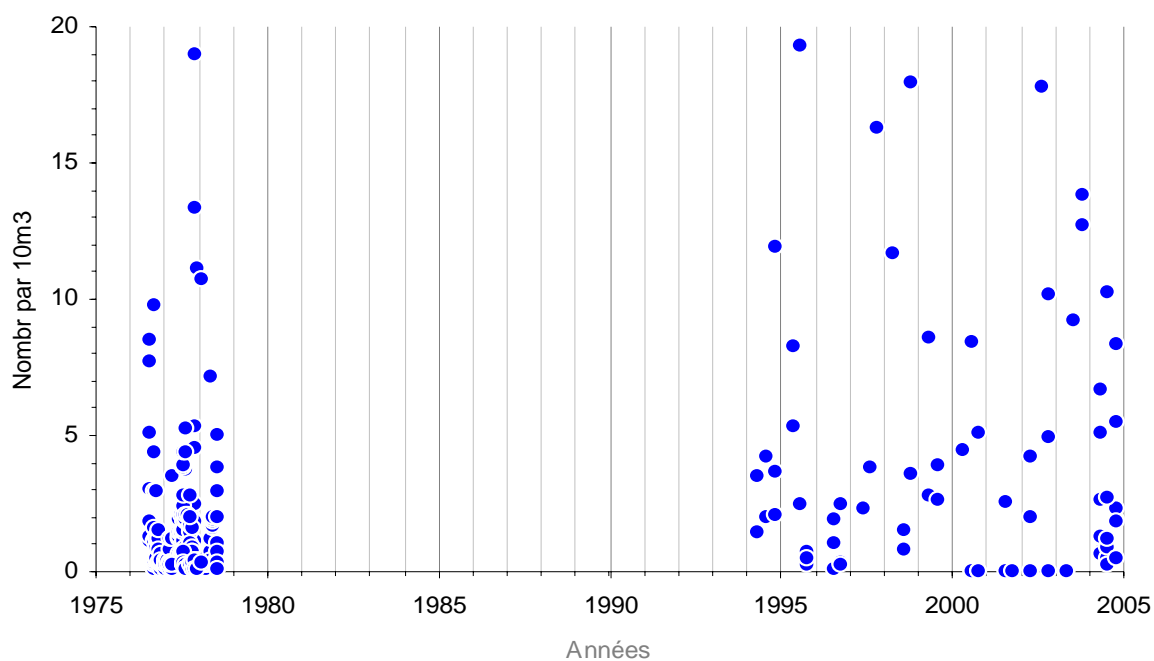


Fig. 3.4.107

Euphausiacés

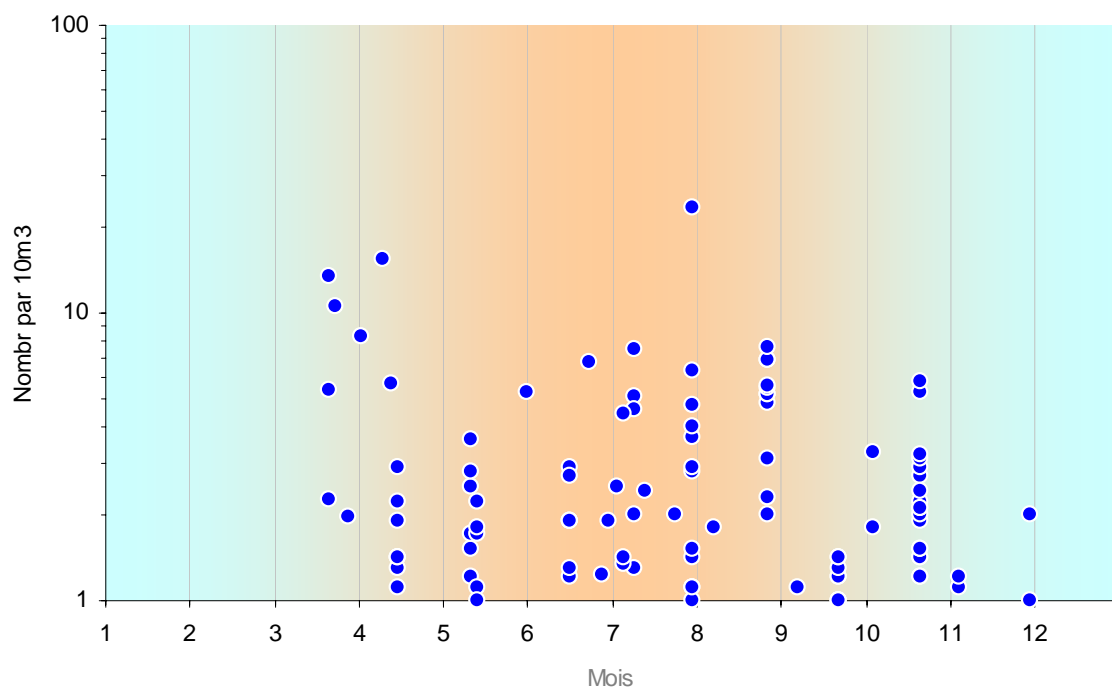


Fig. 3.4.108

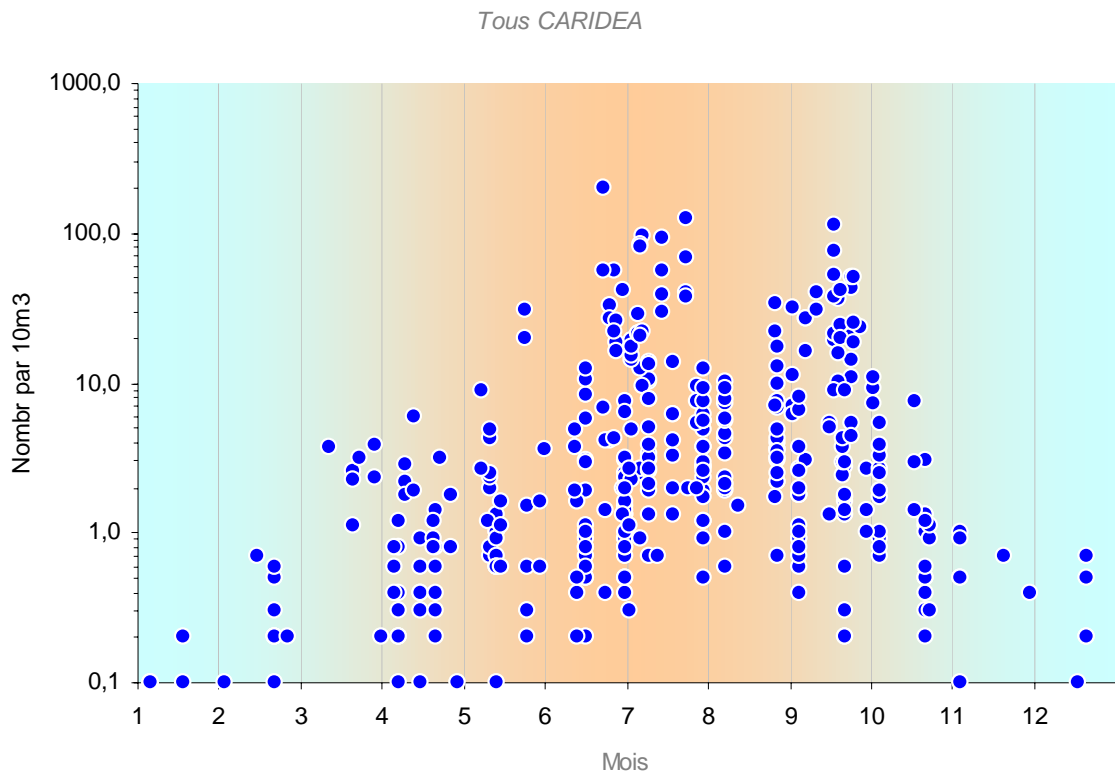


Fig. 3.4.109

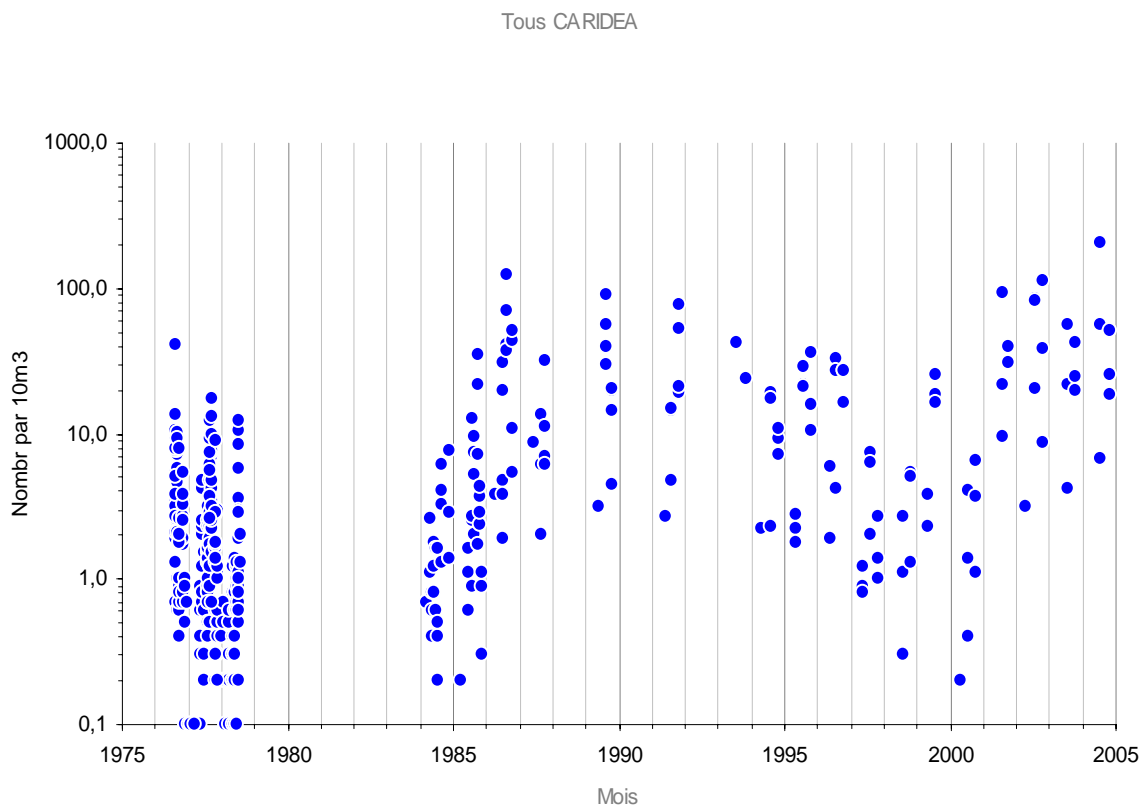


Fig. 3.4.110

Tous THALASSINIDAE

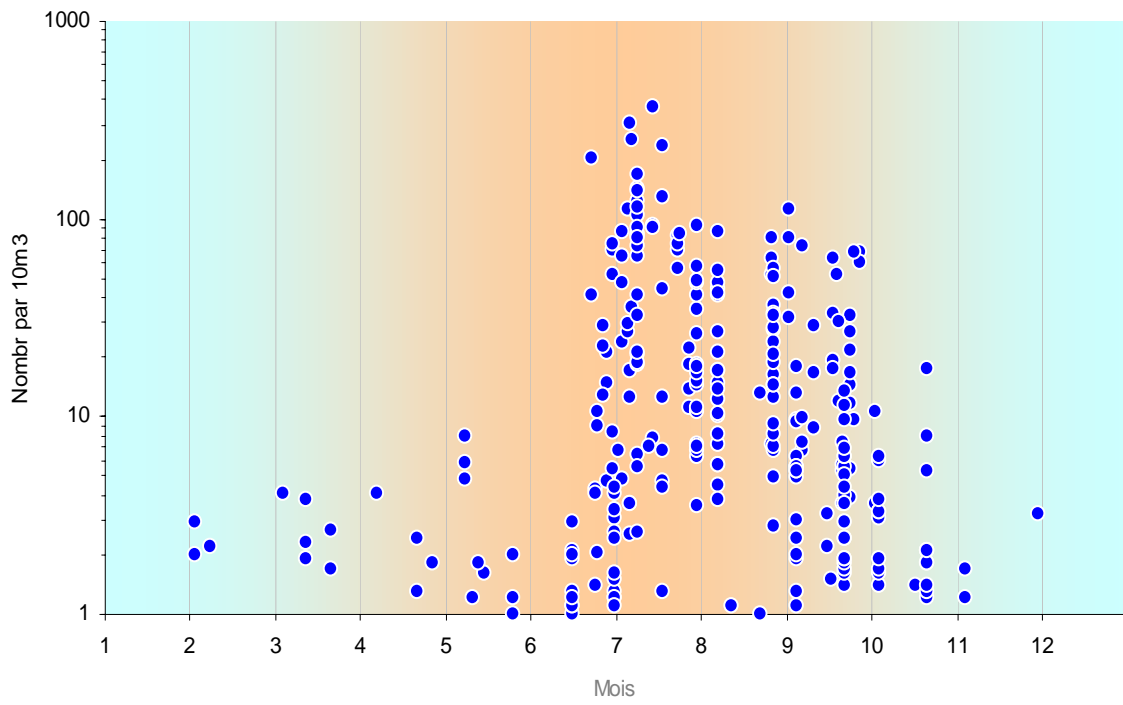


Fig. 3.4.111

Tous THALASSINIDAE

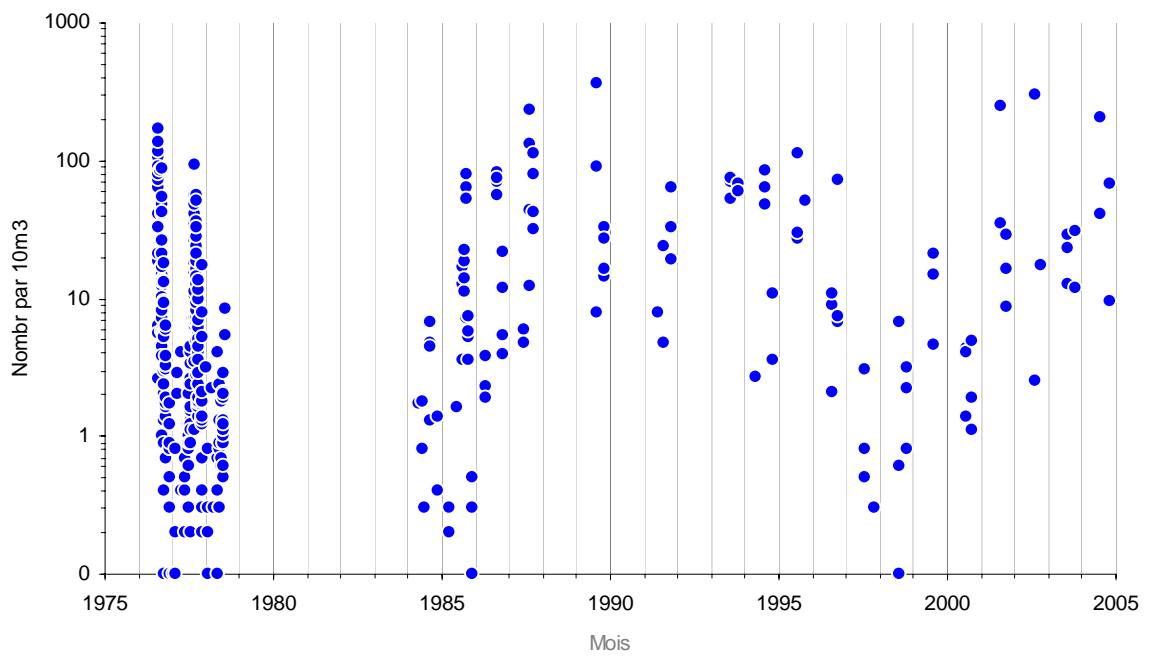


Fig. 3.4.112

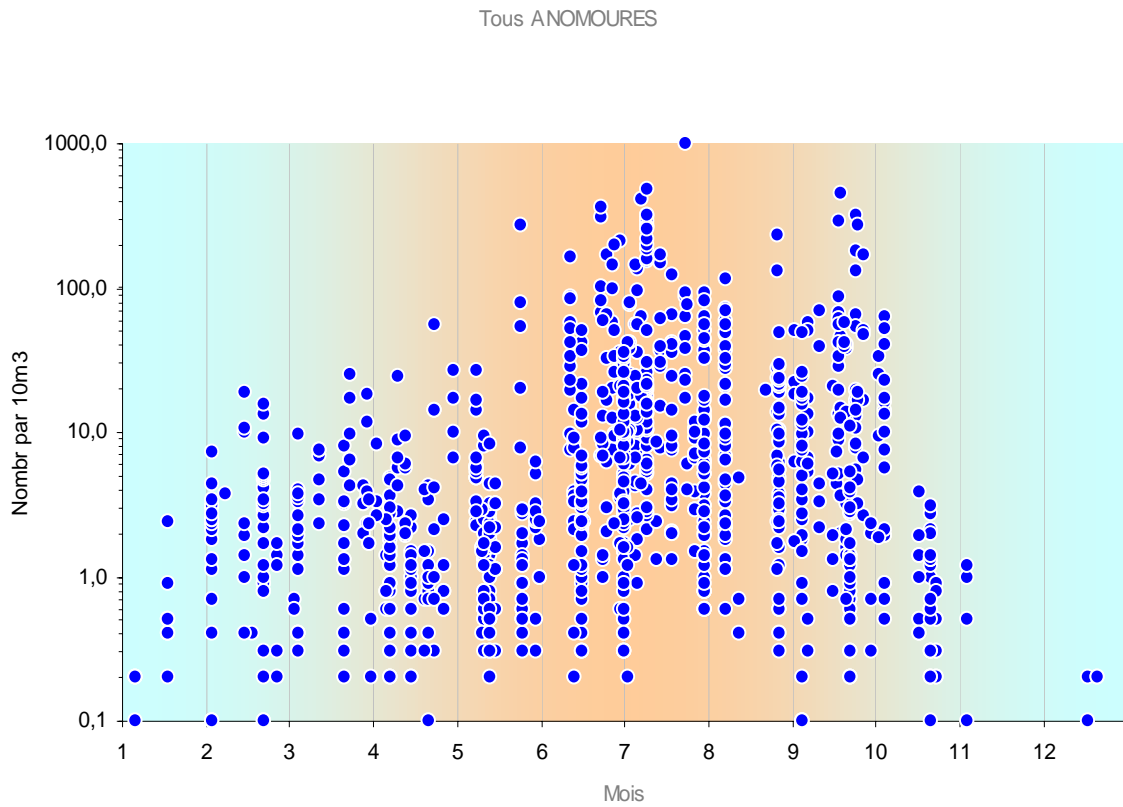


Fig. 3.4.113

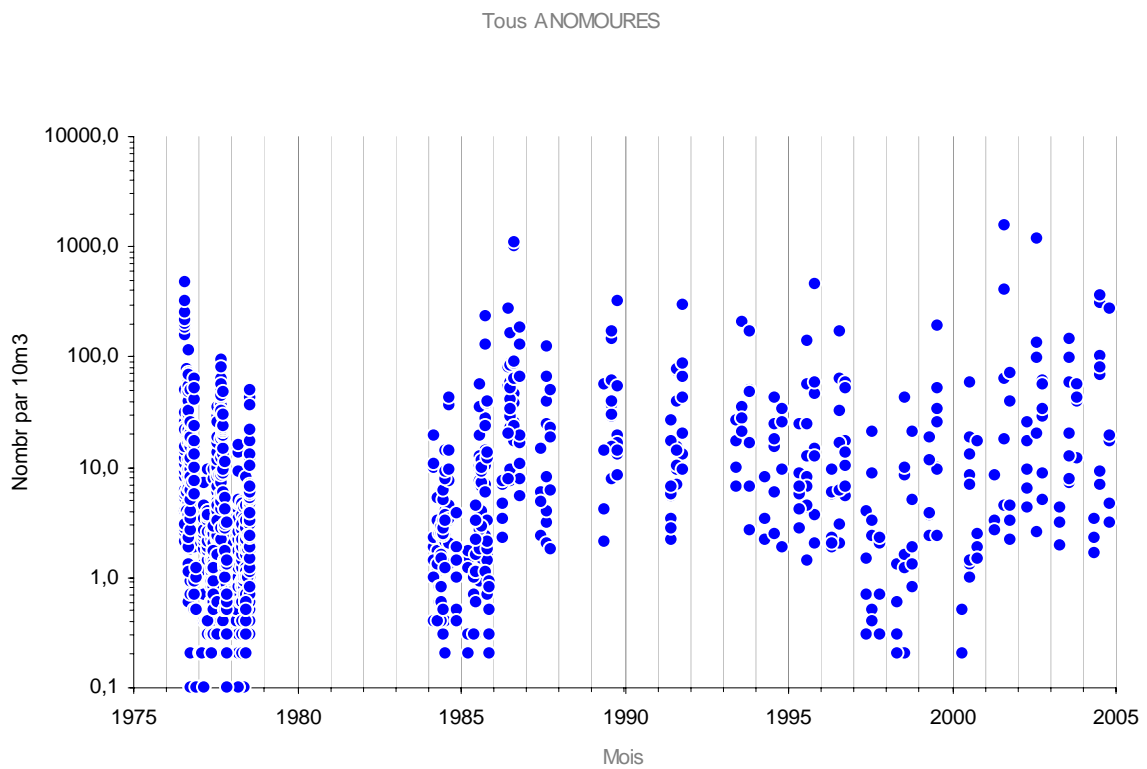


Fig. 3.4.114

BRACHYPOURES

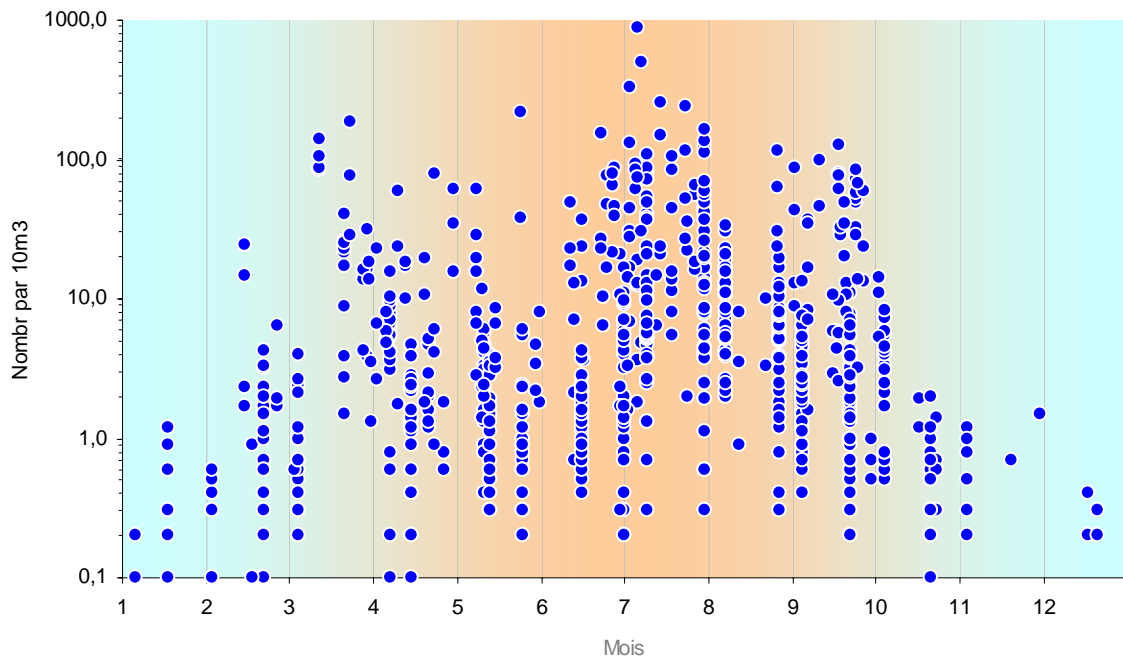


Fig. 3.4.115

BRACHYPOURES

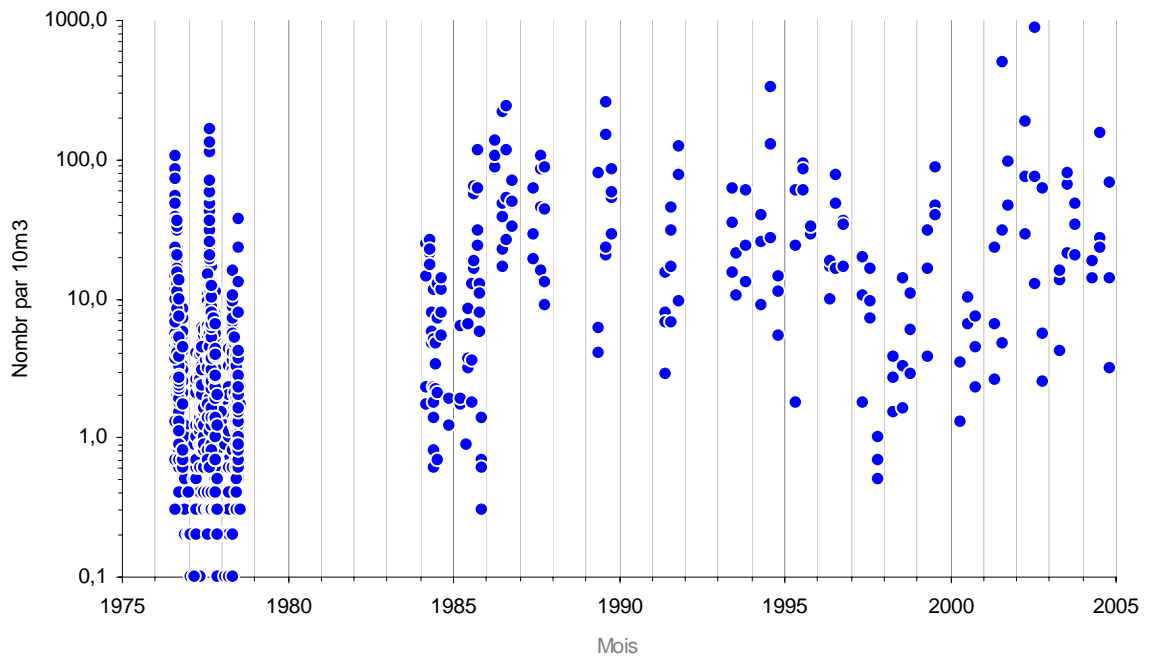


Fig. 3.4.116

Ascidiacés

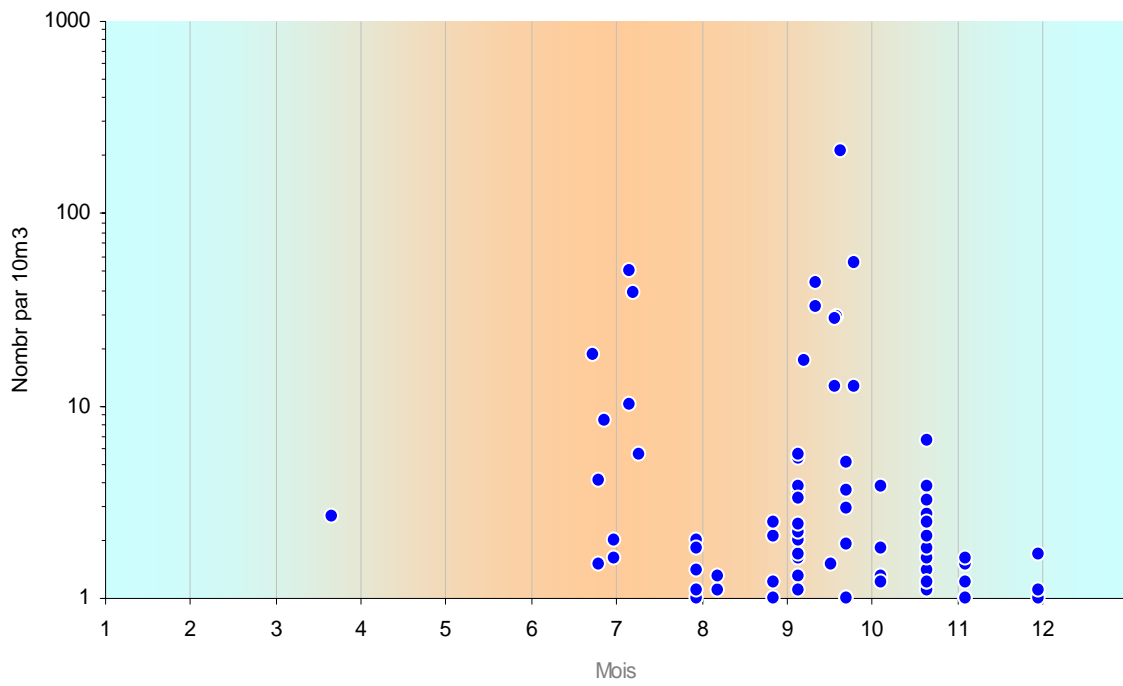


Fig. 3.4.117

Ascidiacés

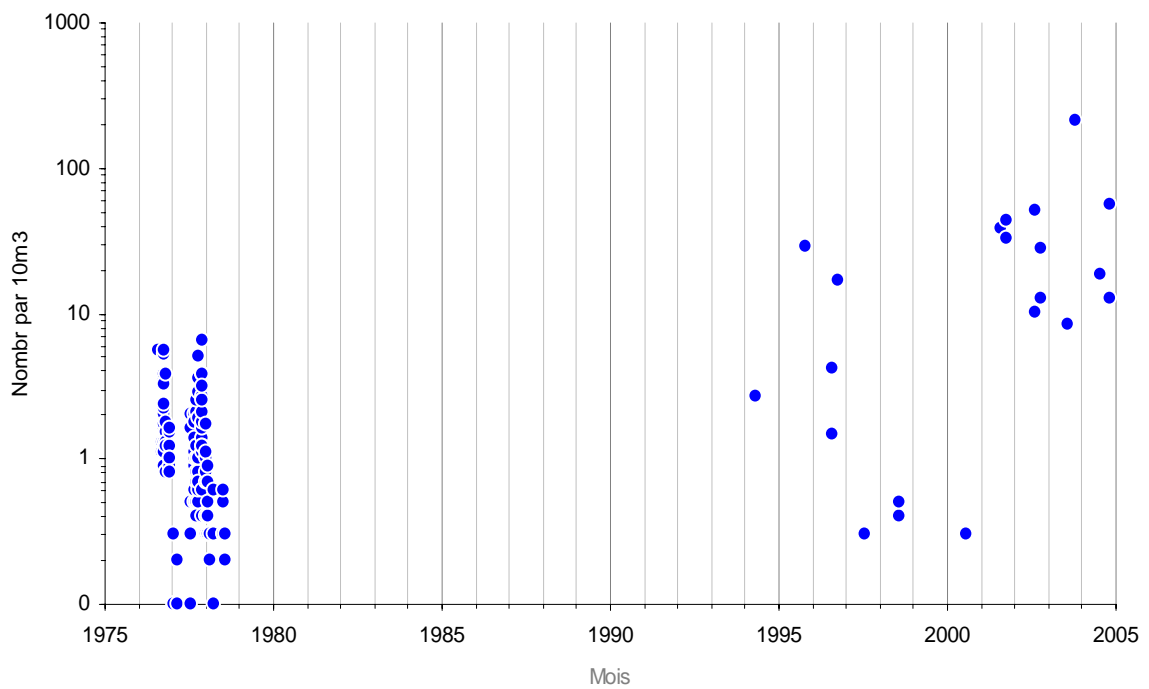


Fig. 3.4.118

Oikopleura + O. dioica

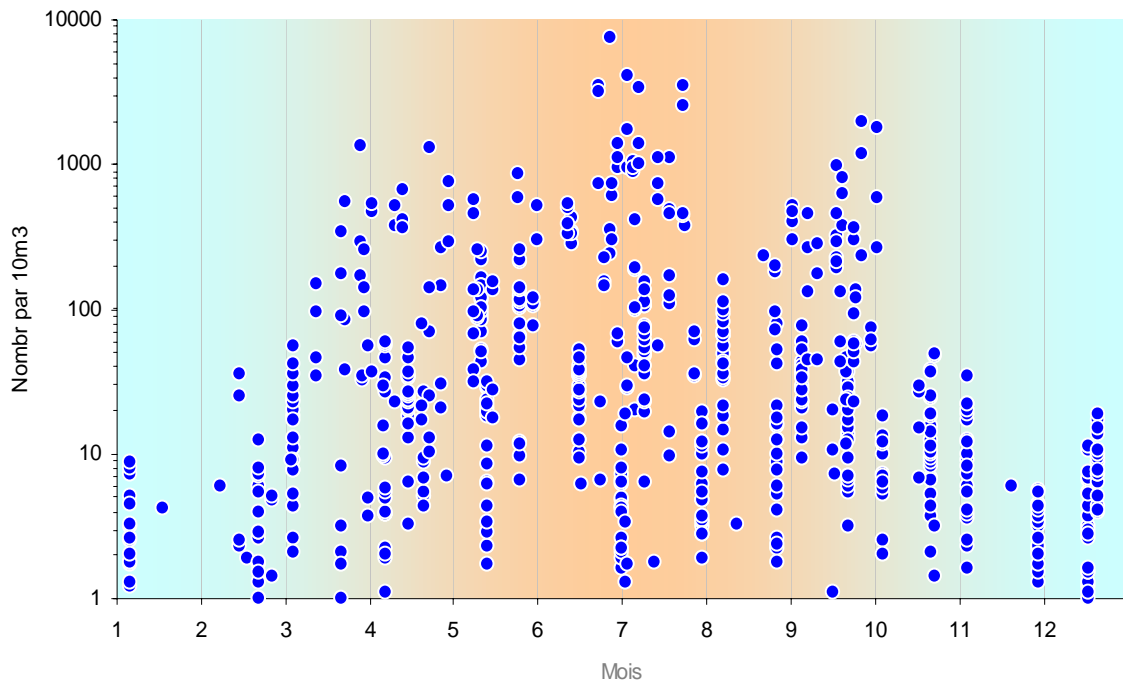


Fig. 3.4.119

Oikopleura + O. dioica

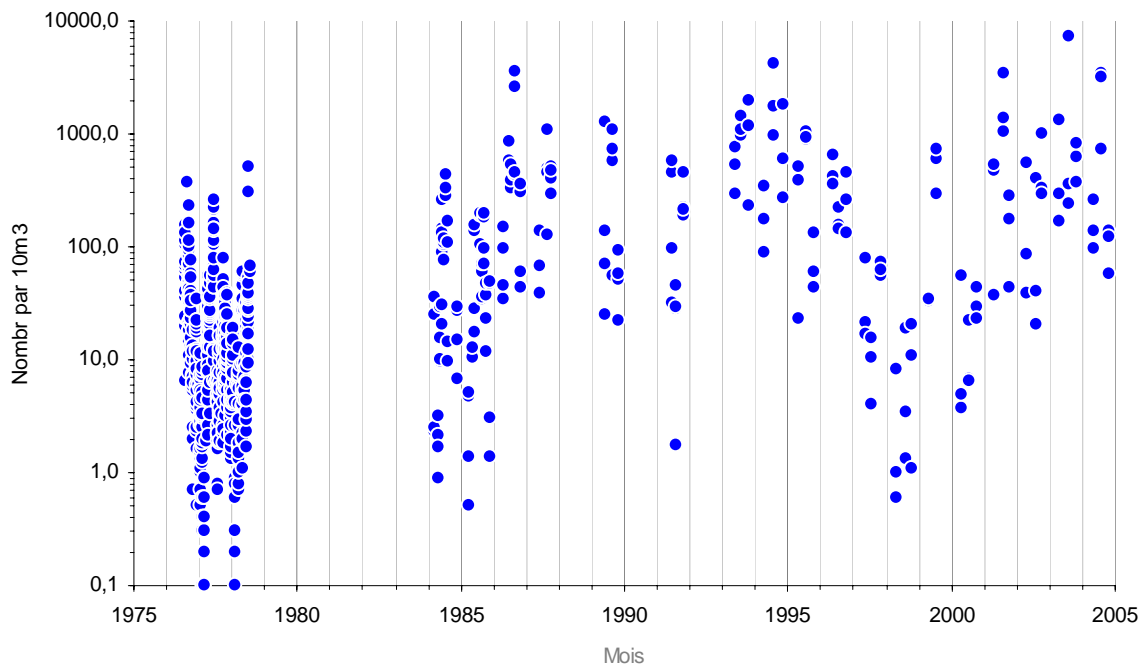


Fig. 3.4.120

Appendiculaires

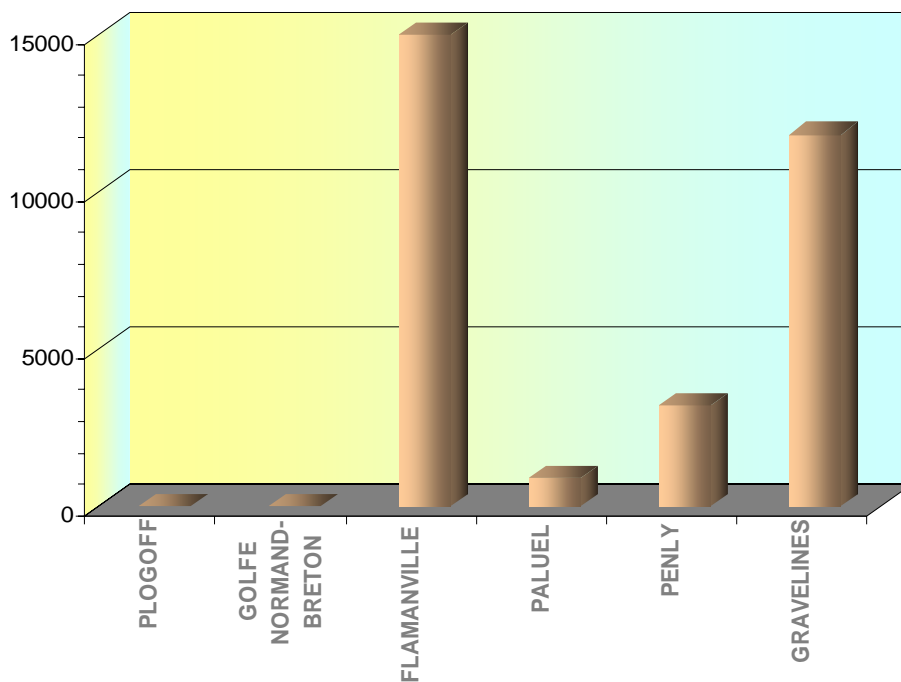


Fig. 3.4.121

Sardina pilchardus (sardine)

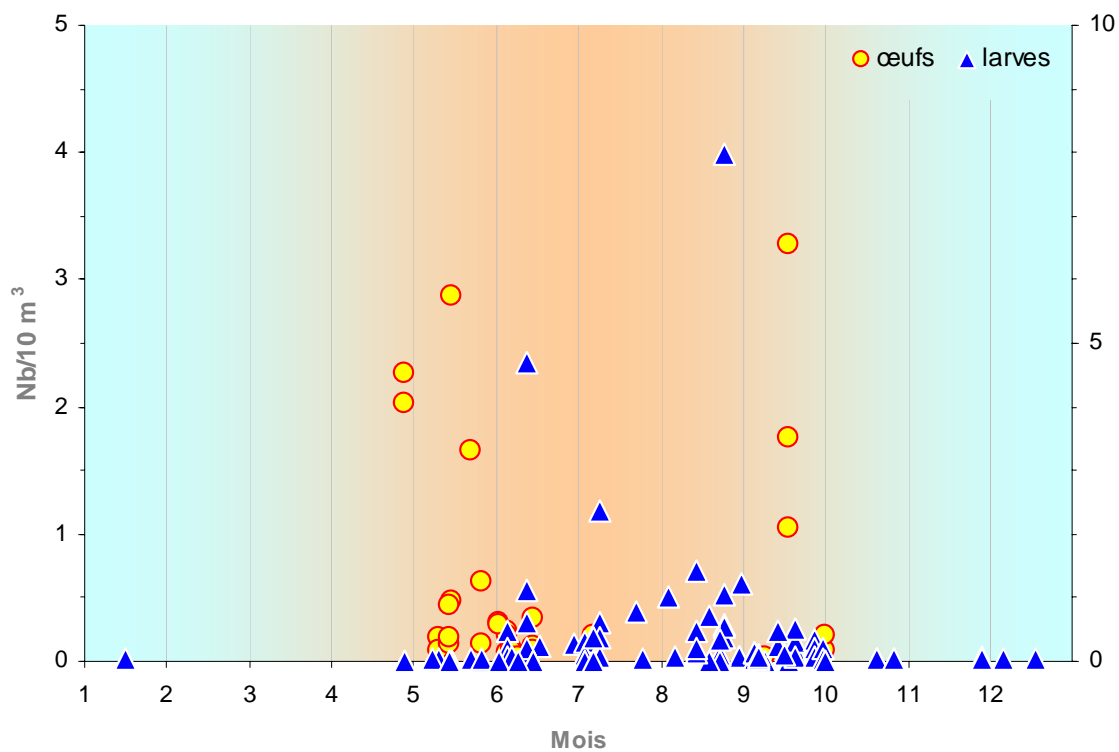


Fig. 3.4.122

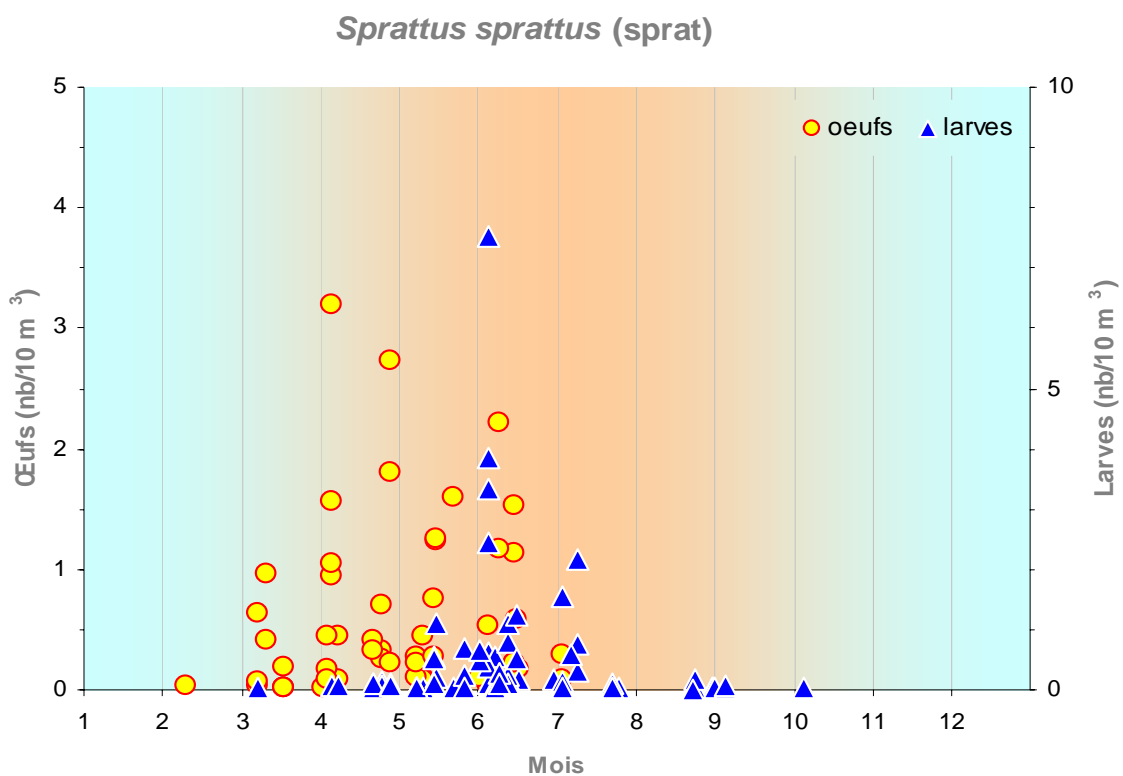


Fig. 3.4.123

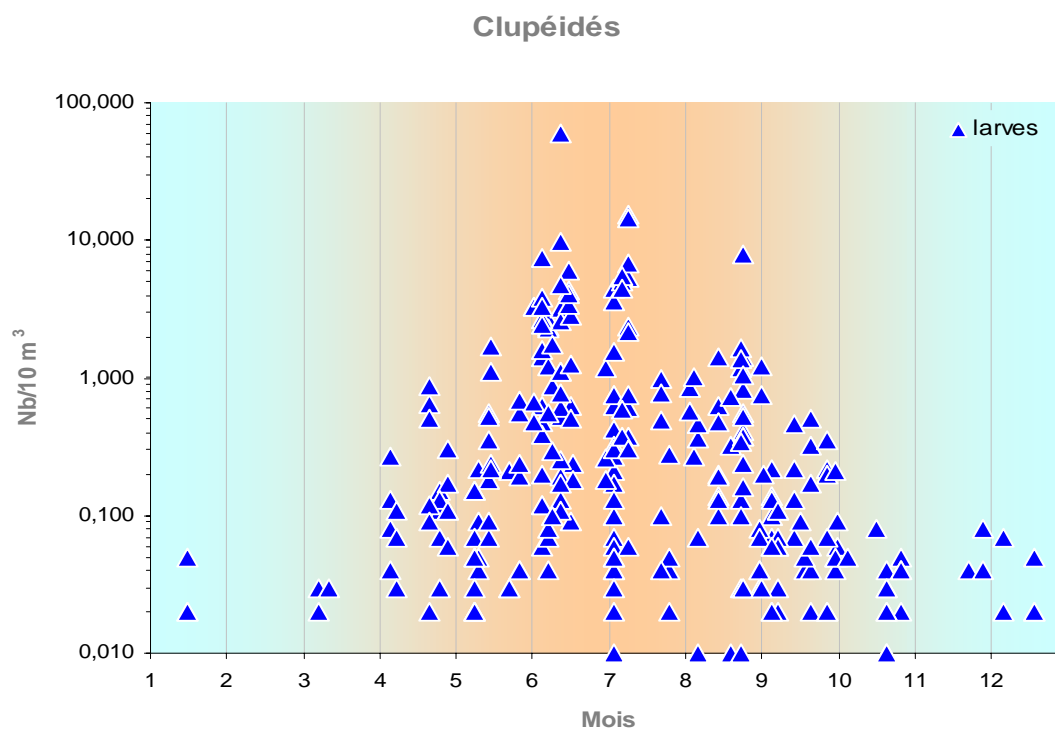


Fig. 3.4.124

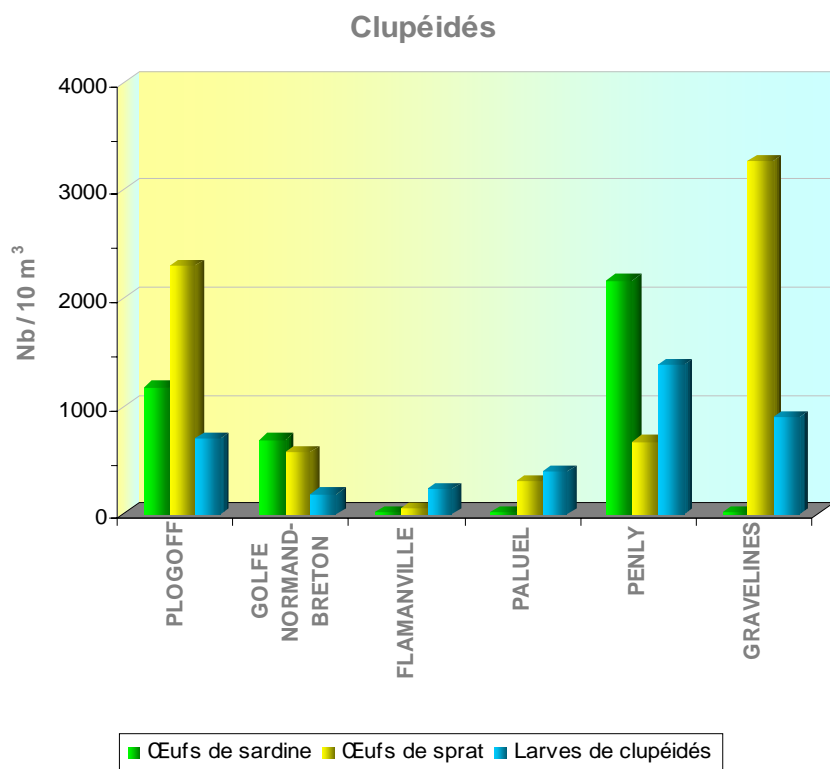


Fig. 3.4.125

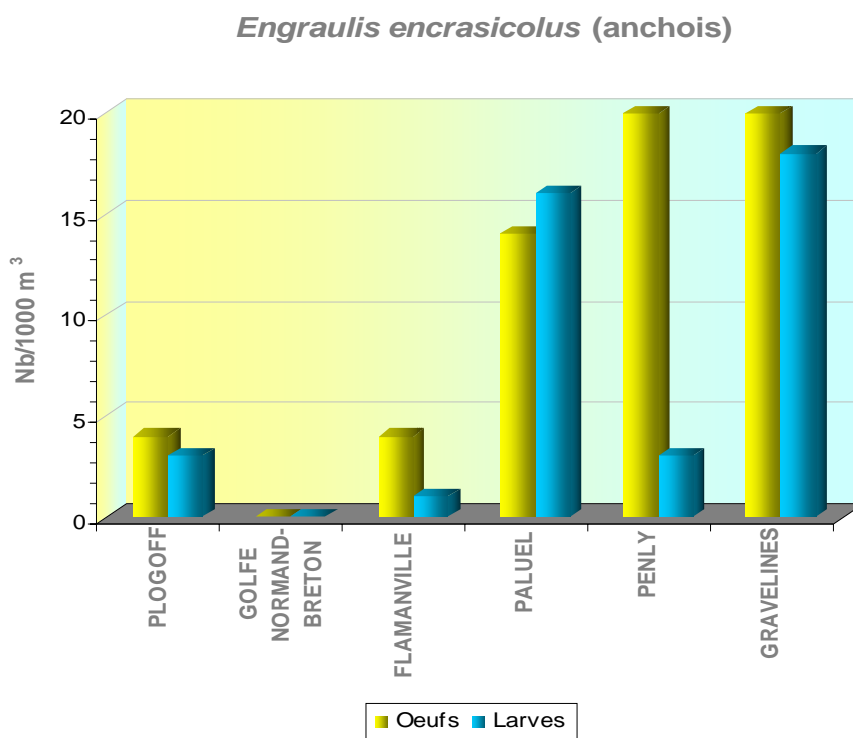


Fig. 3.4.126

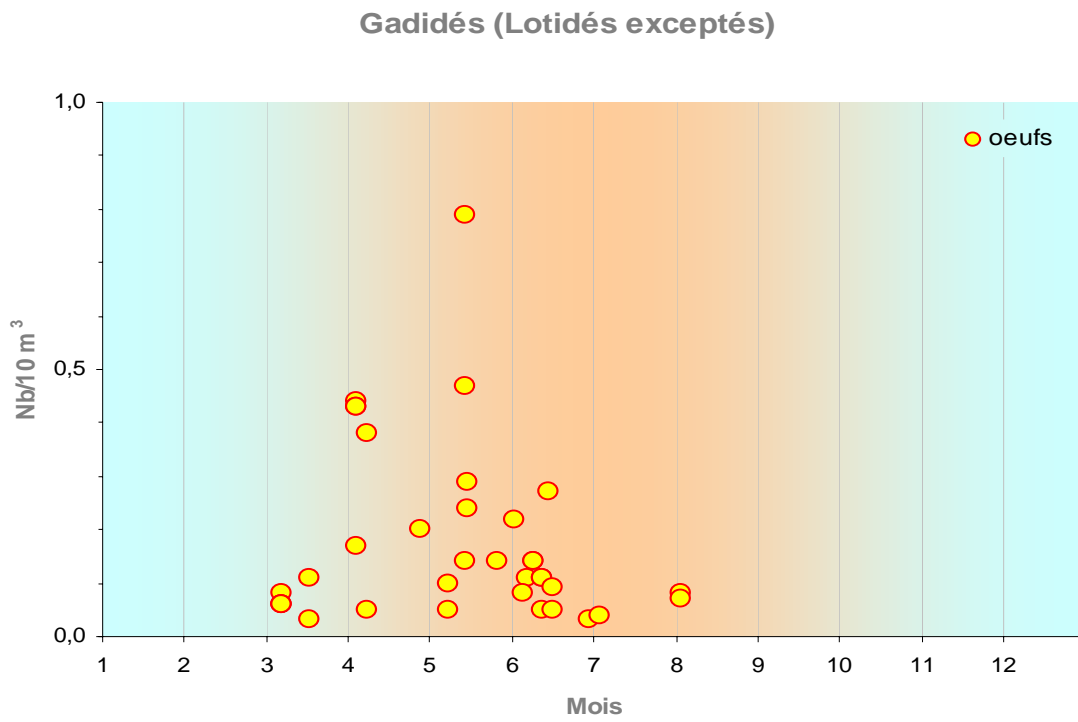


Fig. 3.4.127

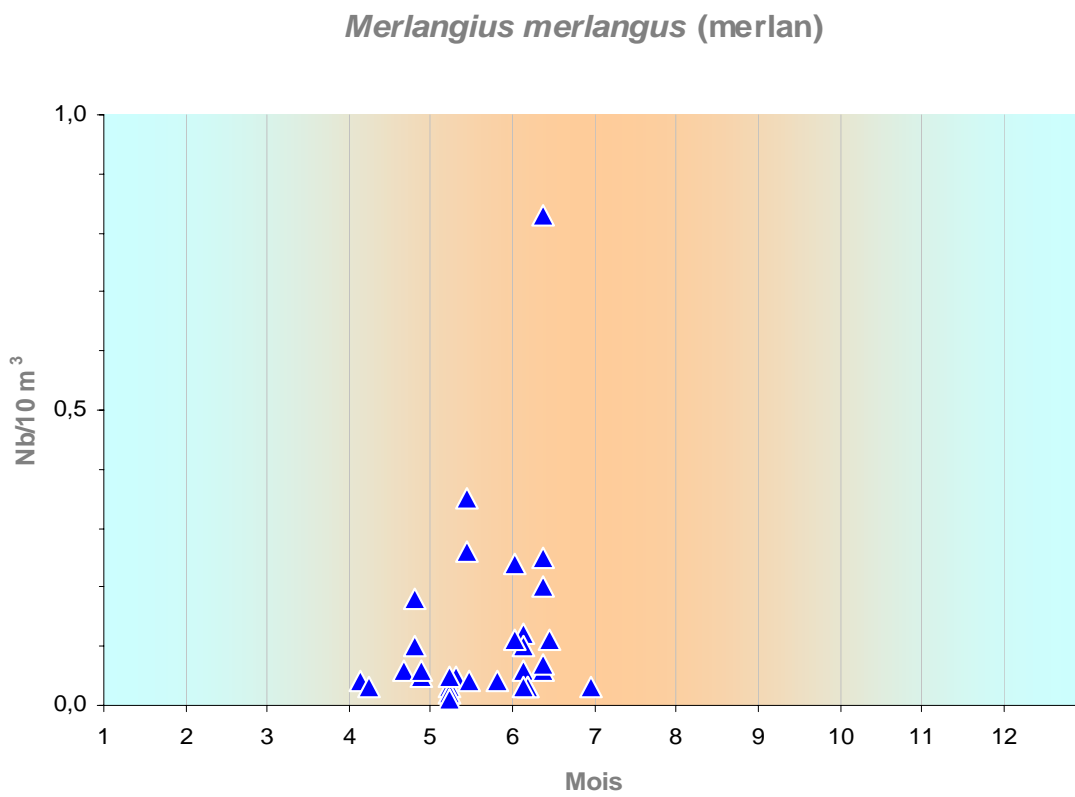


Fig. 3.4.128

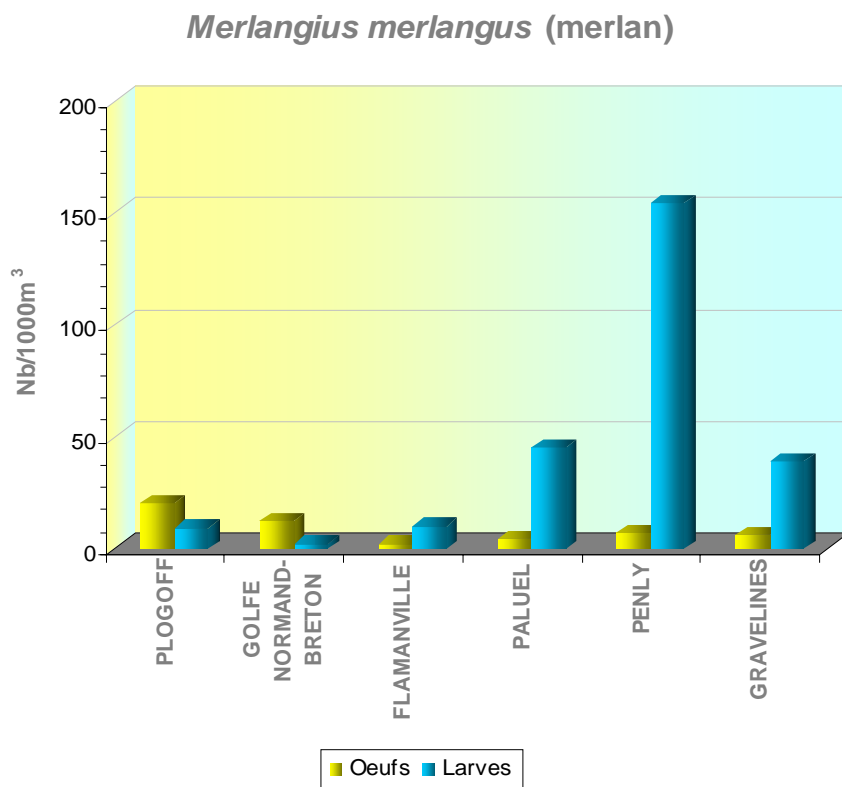


Fig. 3.4.129

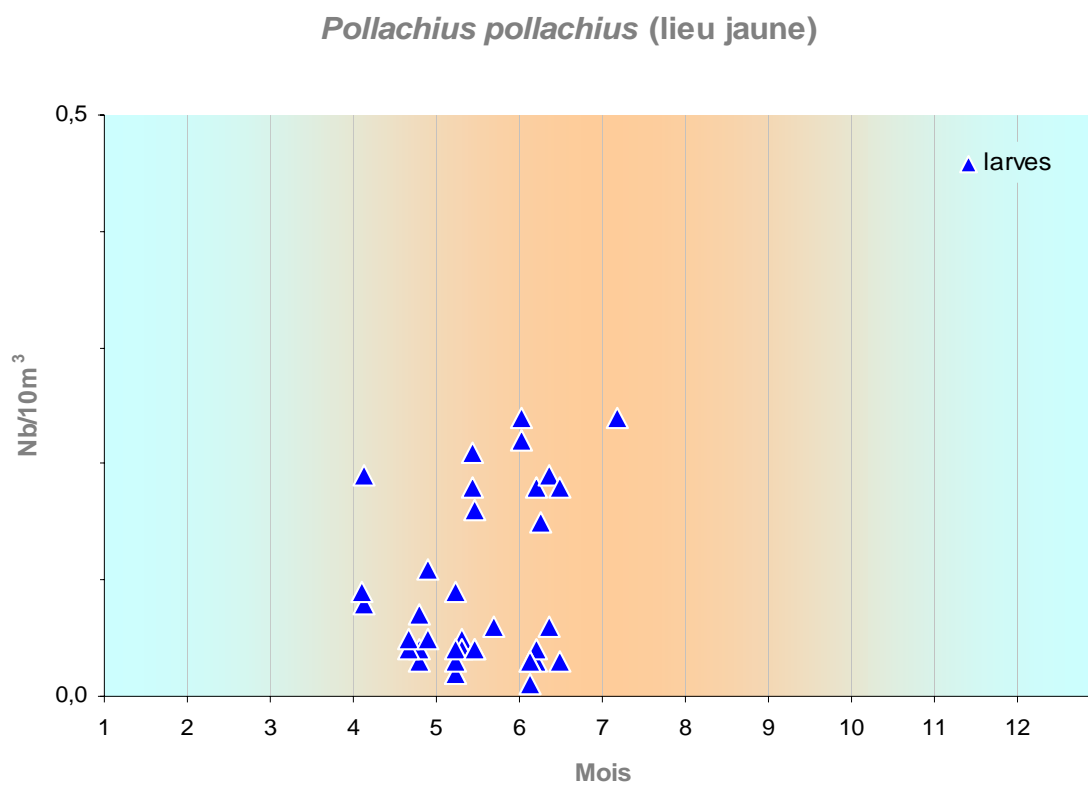


Fig. 3.4.130

Trisopterus minutus (capelan)

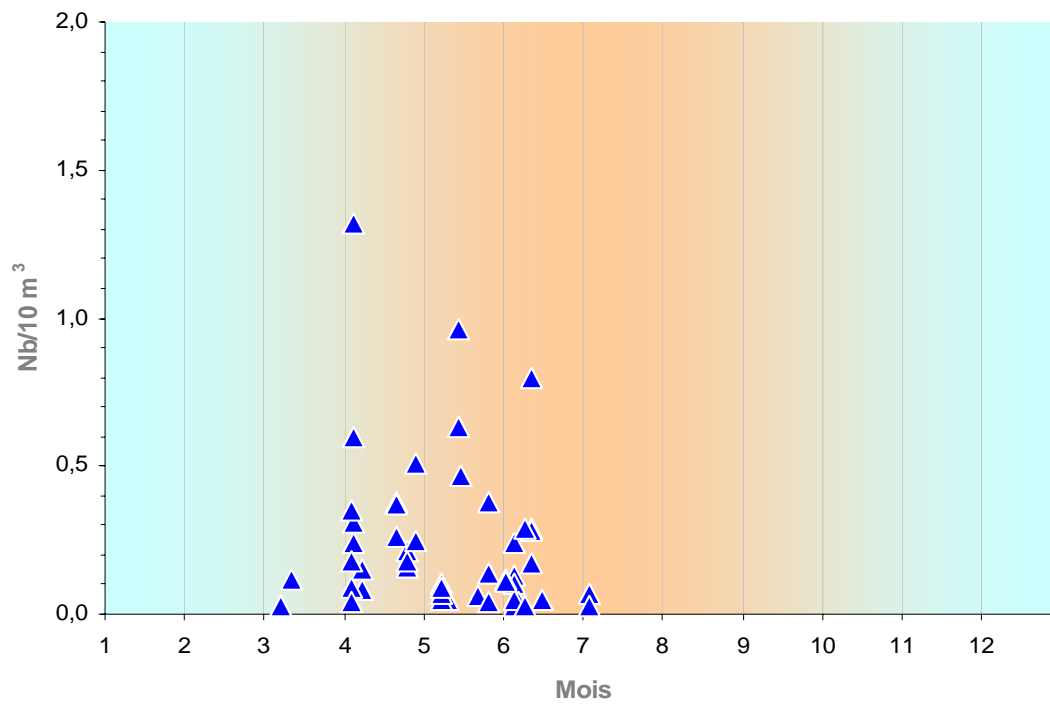


Fig. 3.4.131

Trisopterus luscus (tacaud)

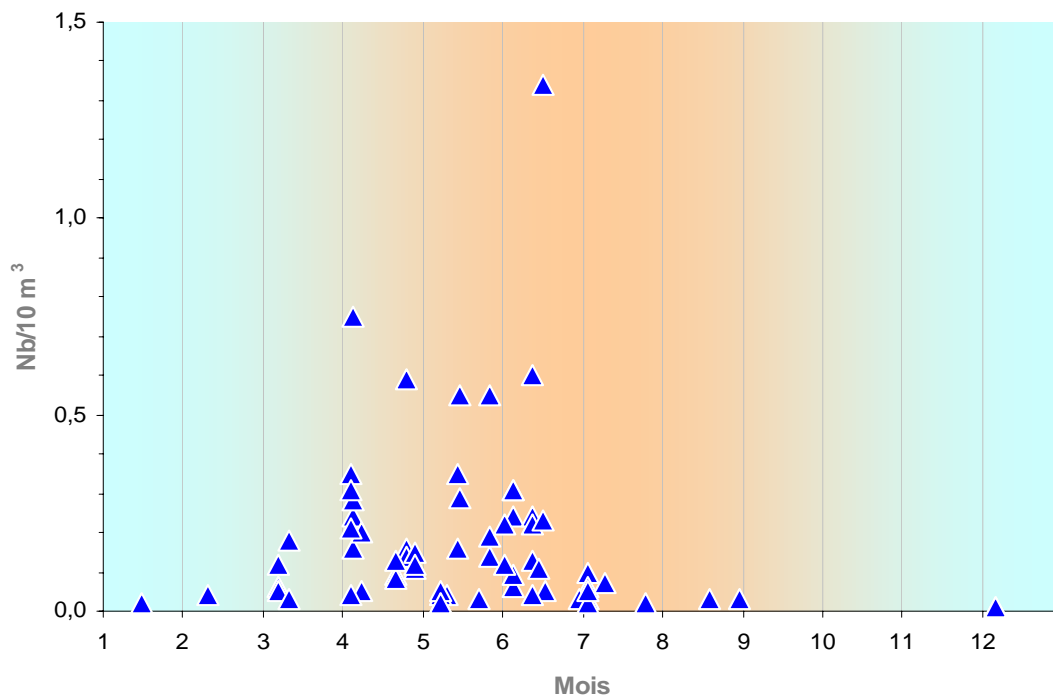


Fig. 3.4.132

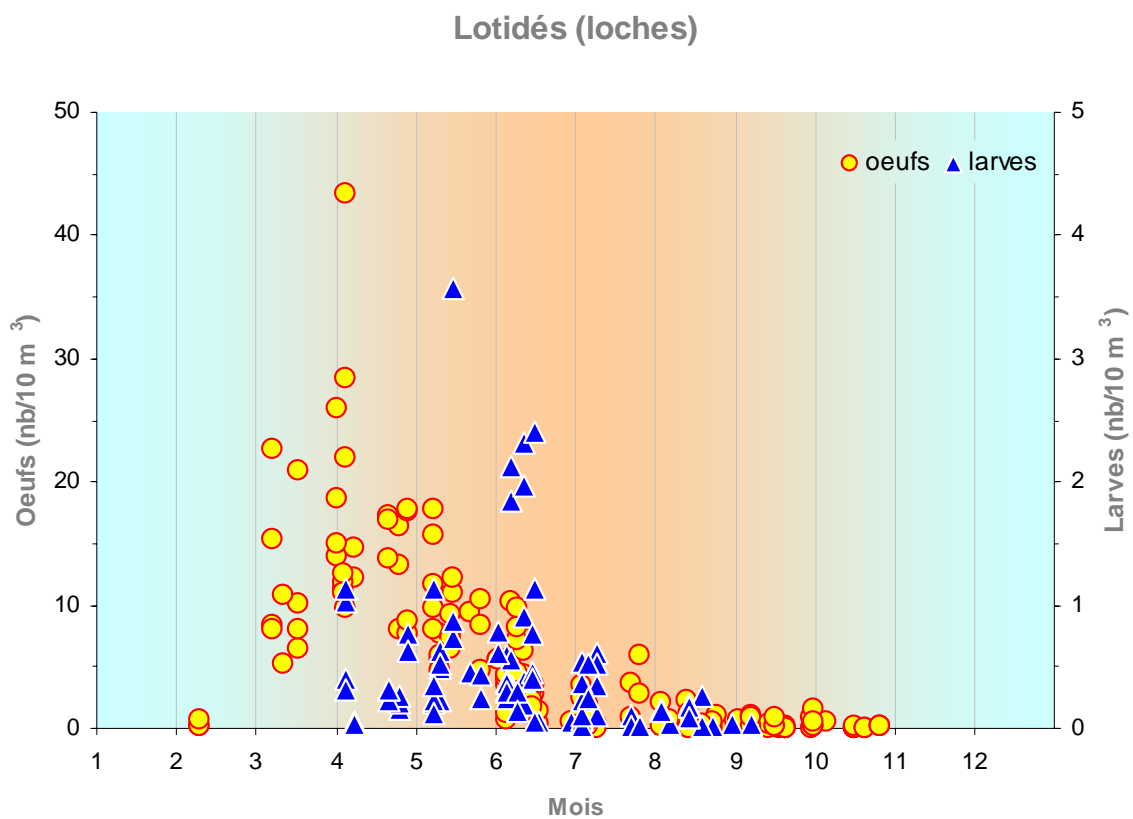


Fig. 3.4.133

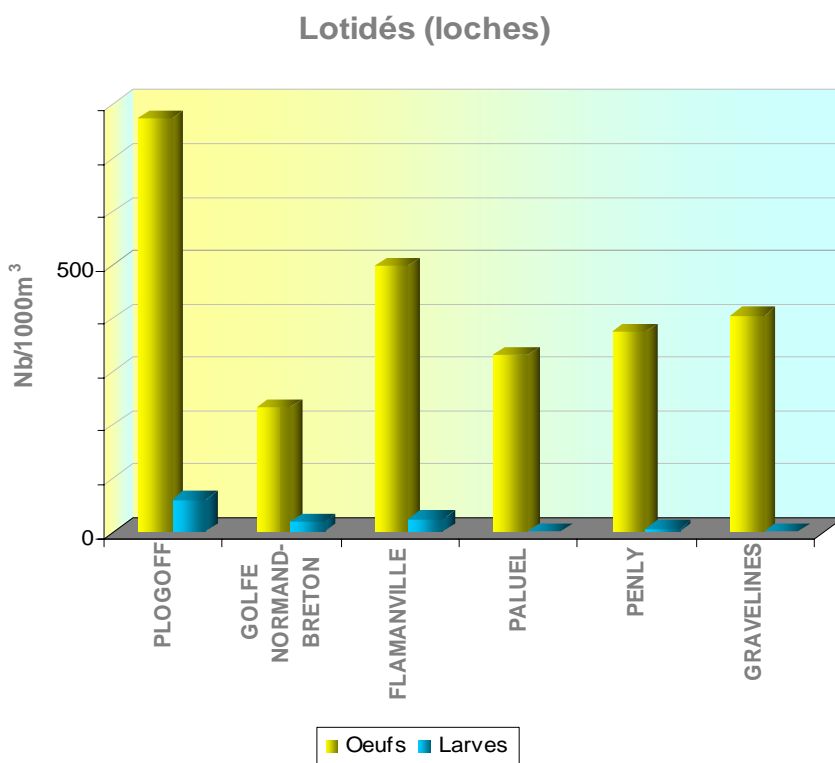


Fig. 3.4.134

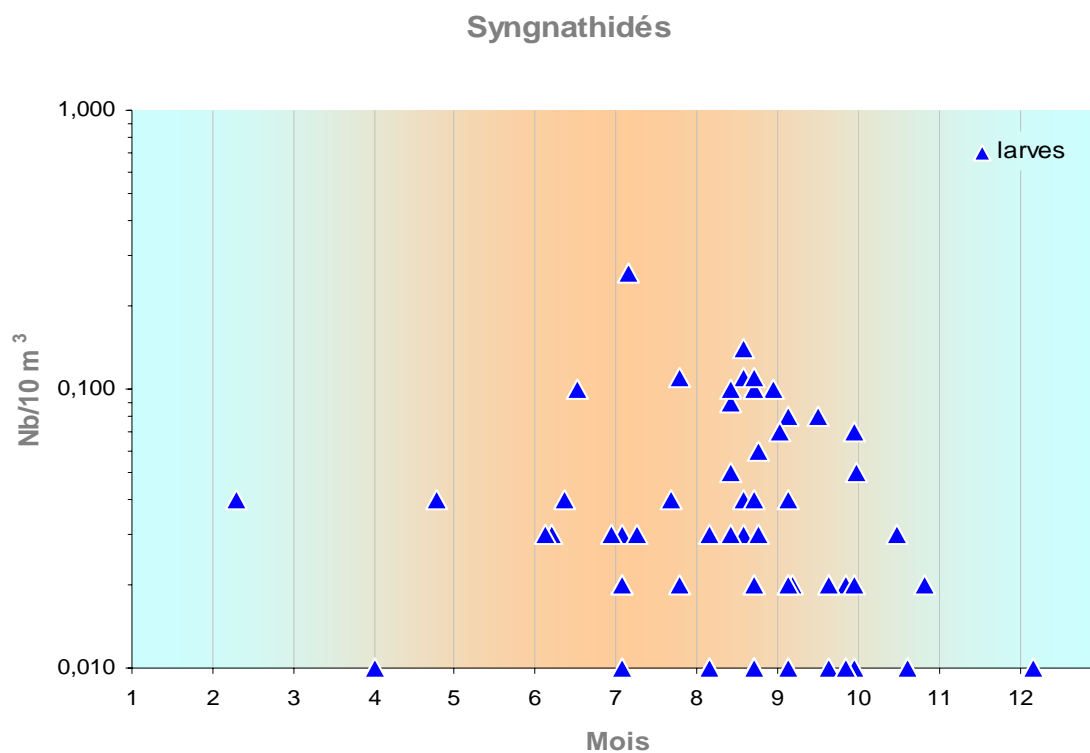


Fig. 3.4.135

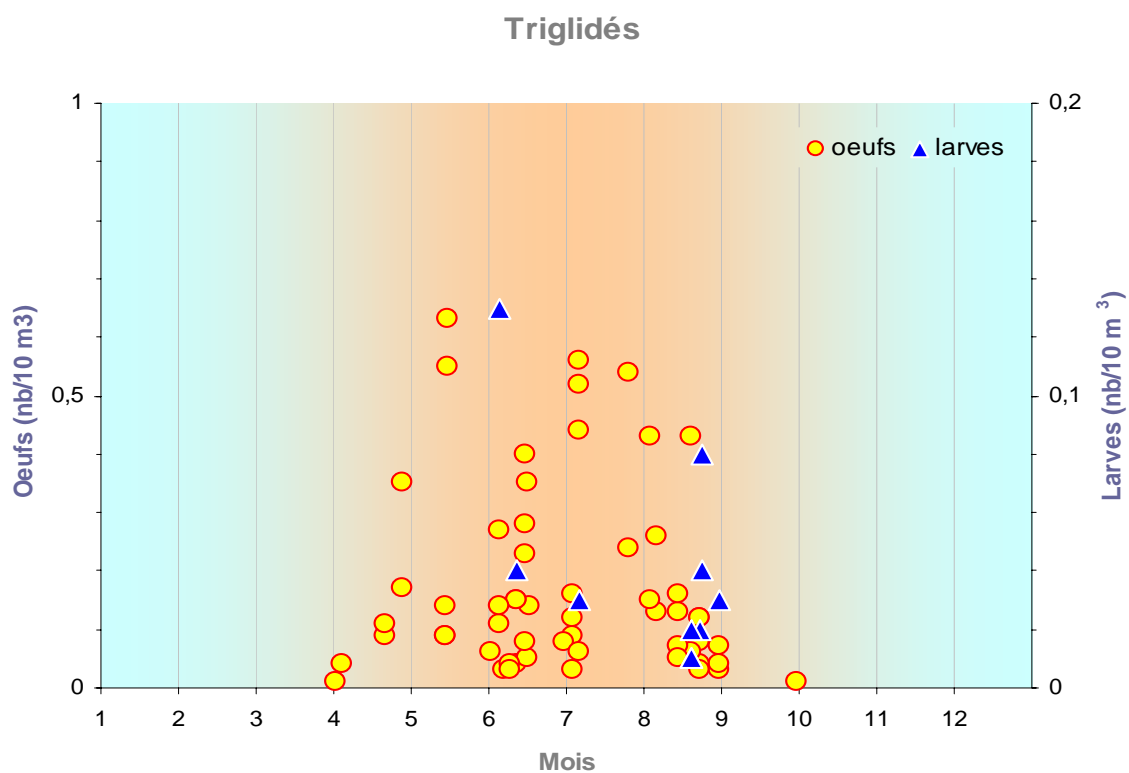


Fig. 3.4.136

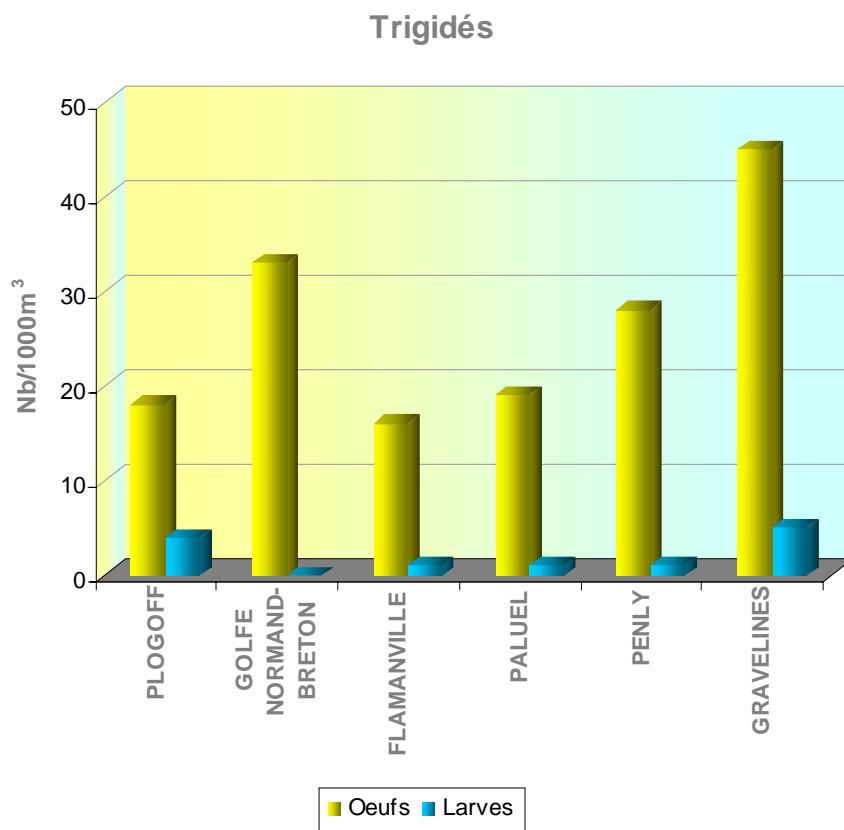


Fig. 3.4.137

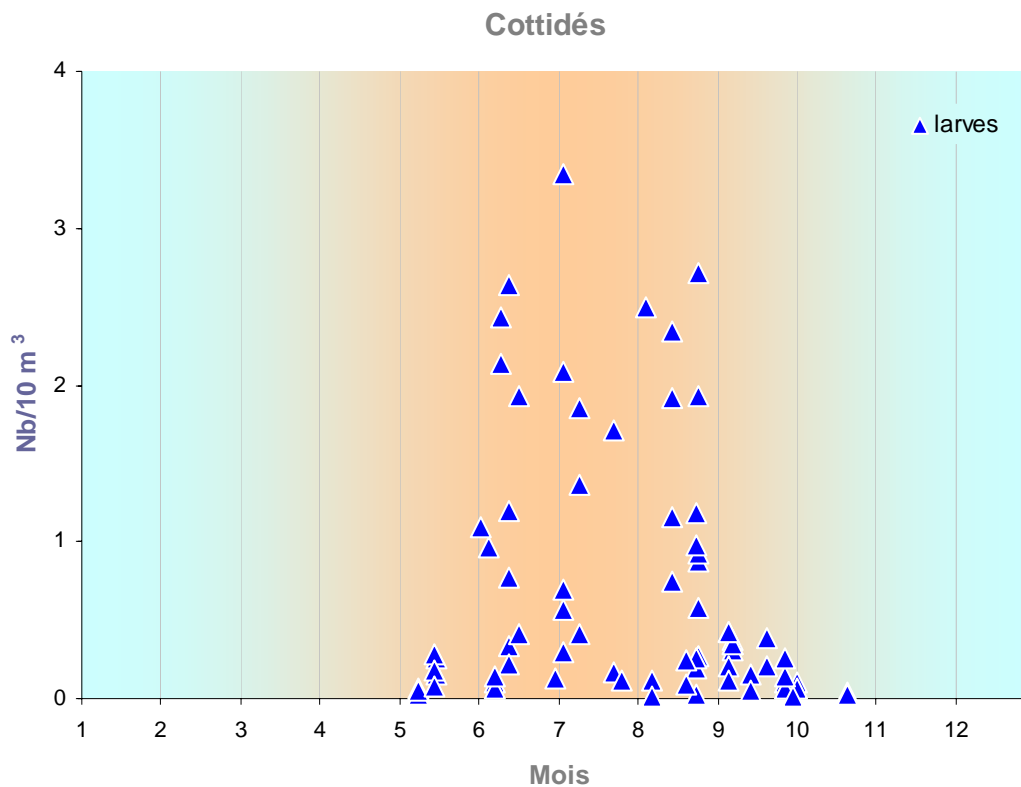


Fig. 3.4.138

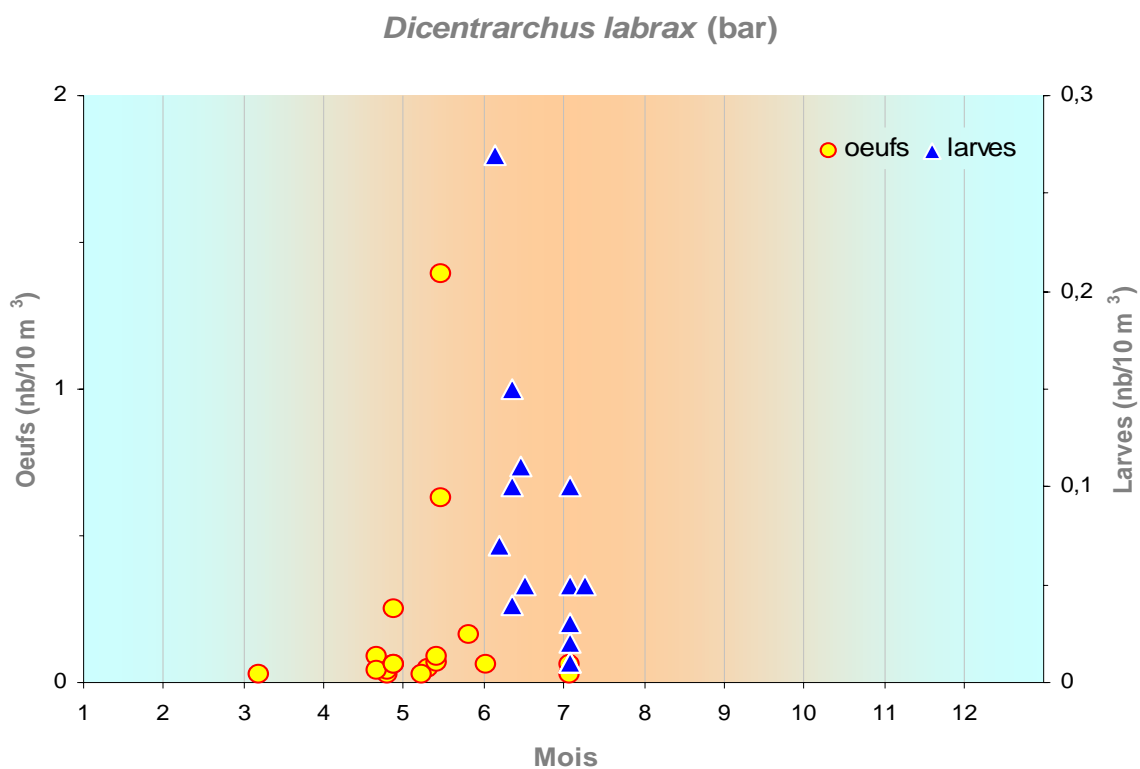


Fig. 3.4.139

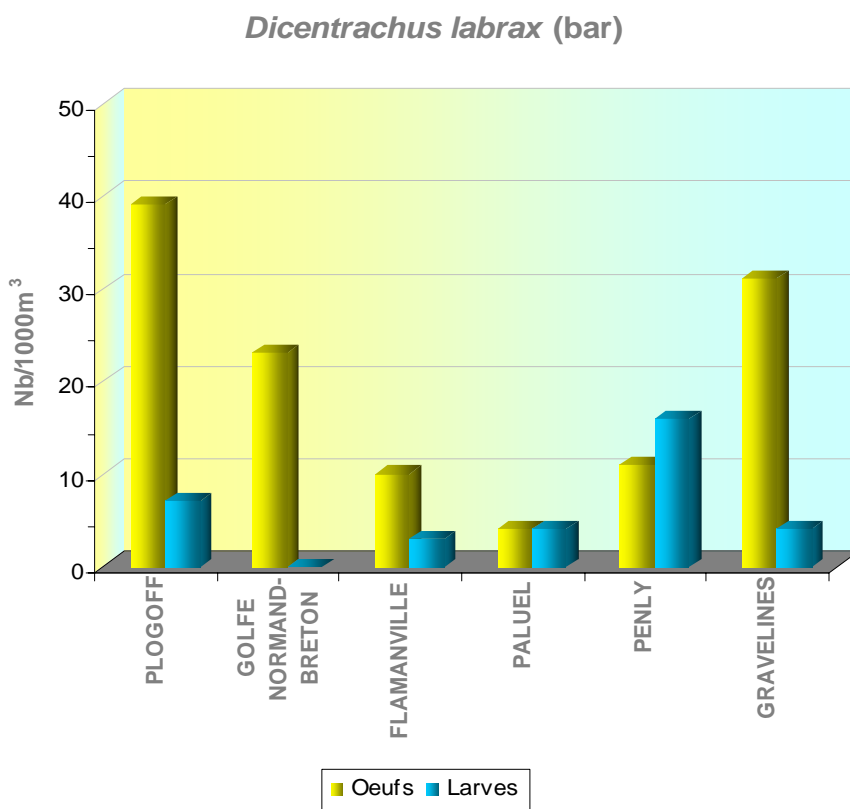


Fig. 3.4.140

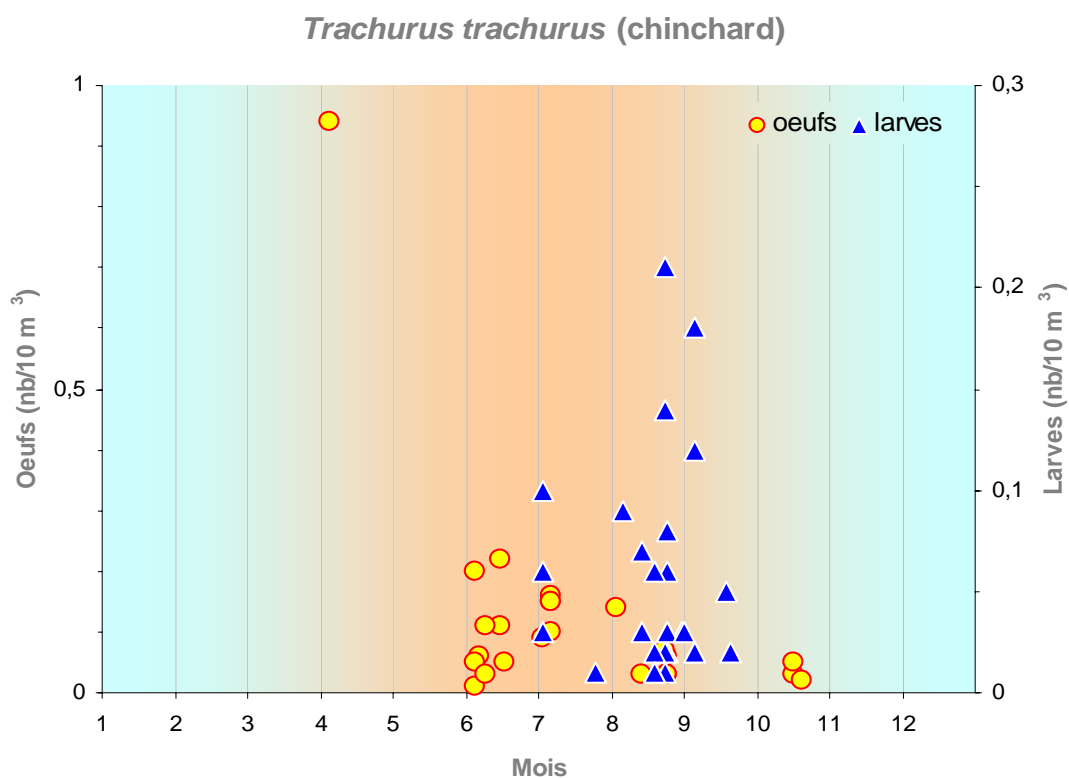


Fig. 3.4.141

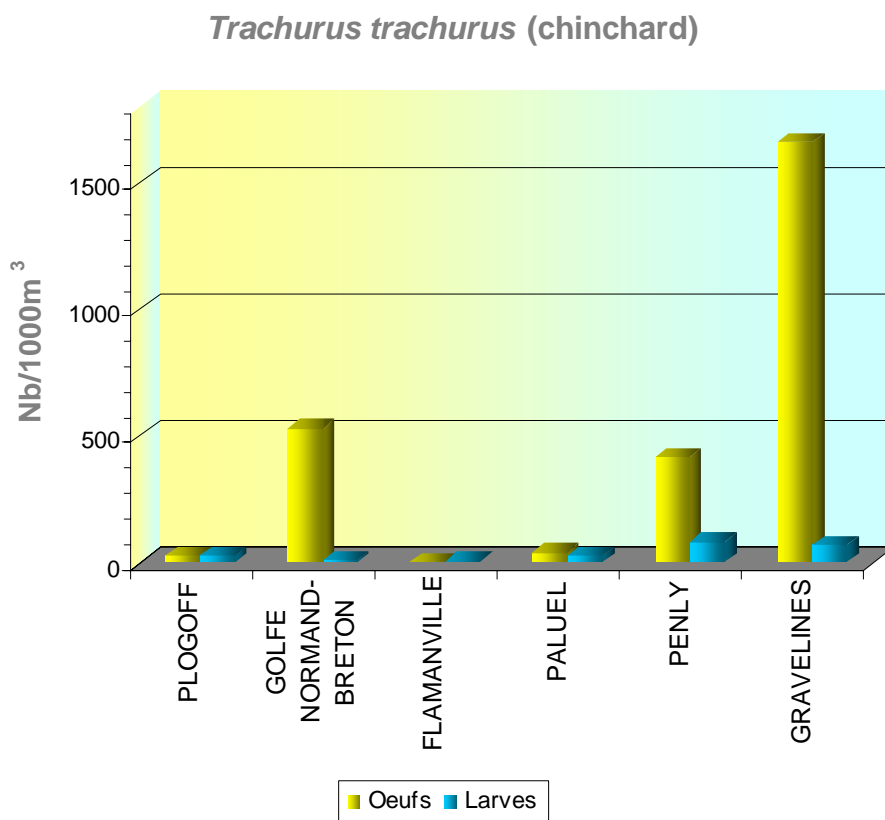


Fig. 3.4.142

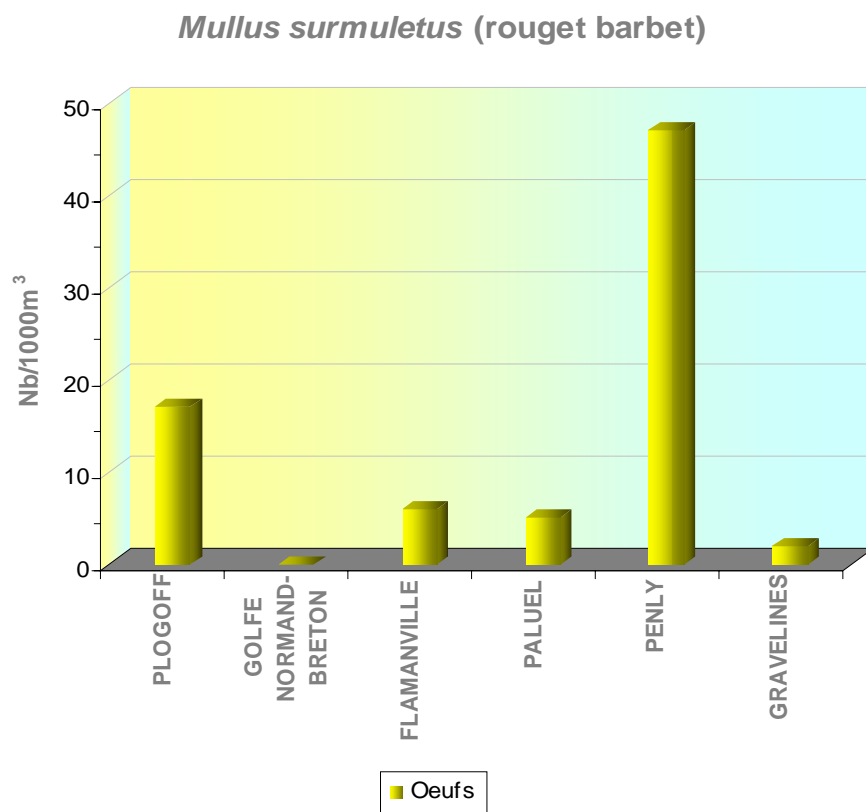


Fig. 3.4.143

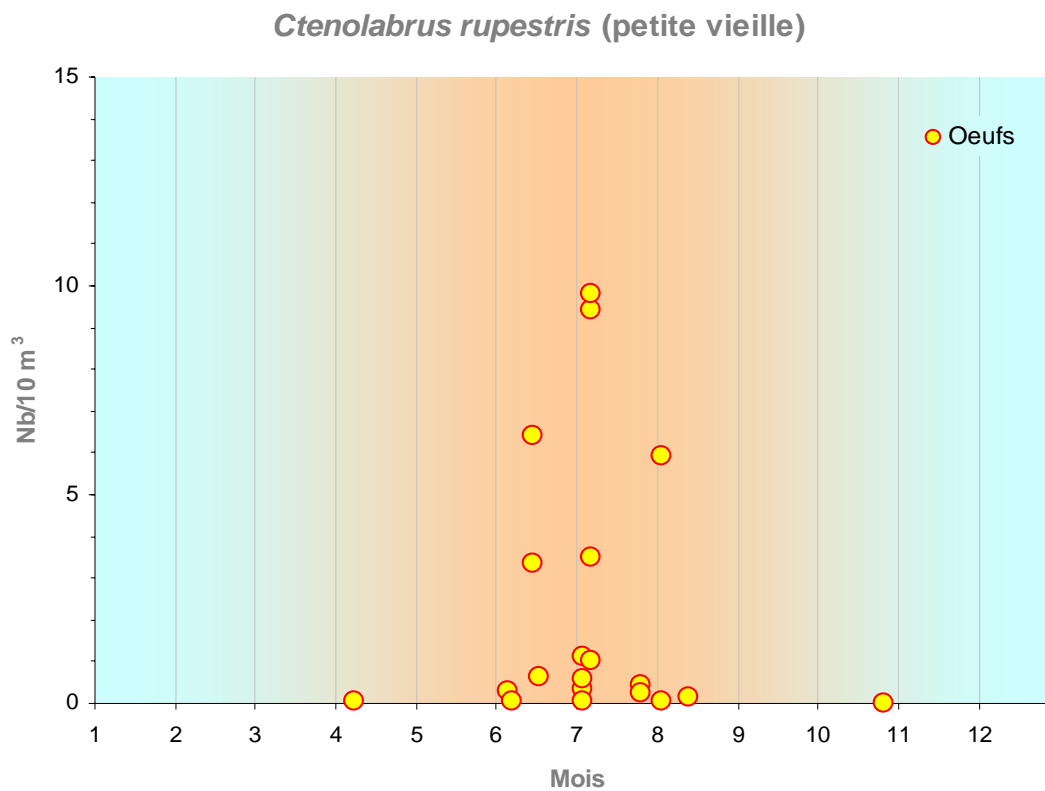


Fig. 3.4.144

Larves de labridés

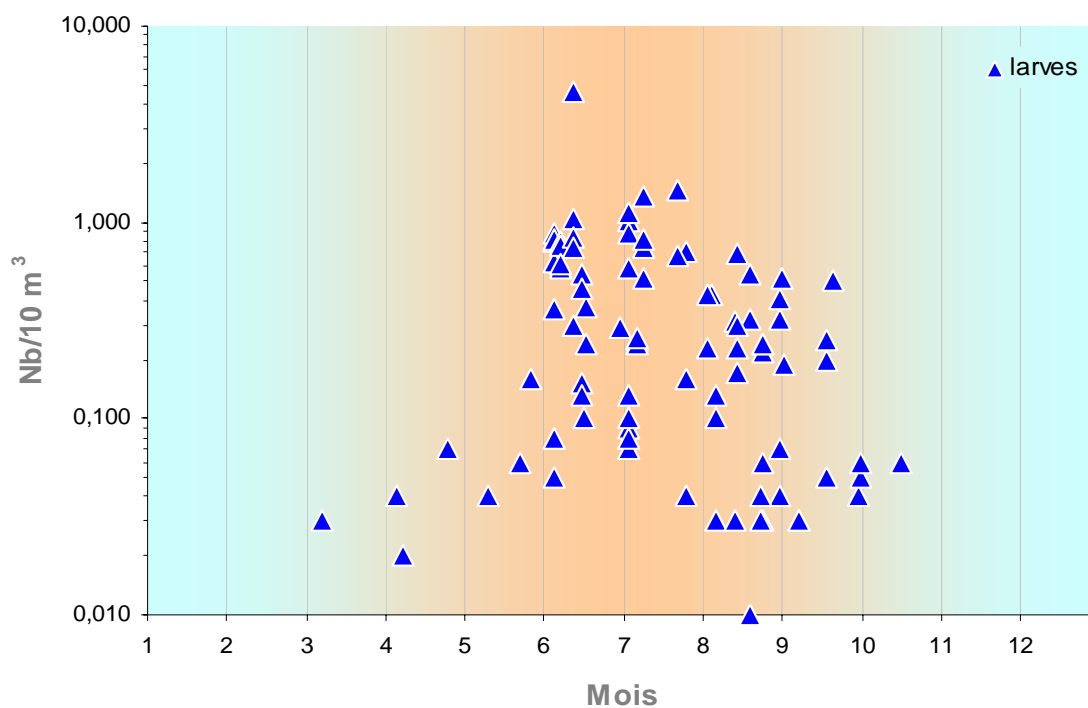


Fig. 3.4.145

Ctenolabus rupestris (petite vieille)

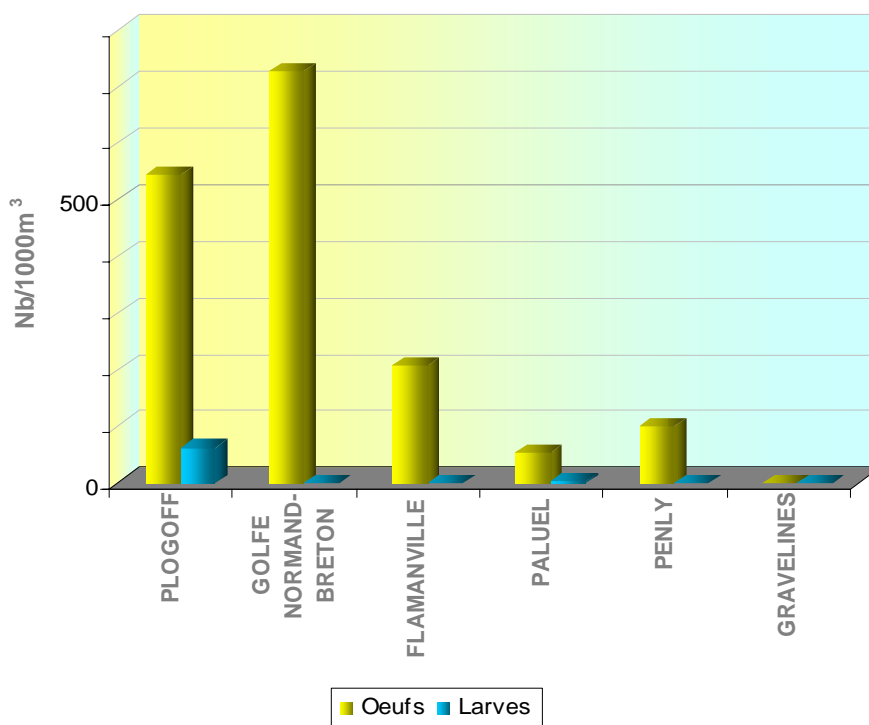


Fig. 3.4.146

Ammodytidés

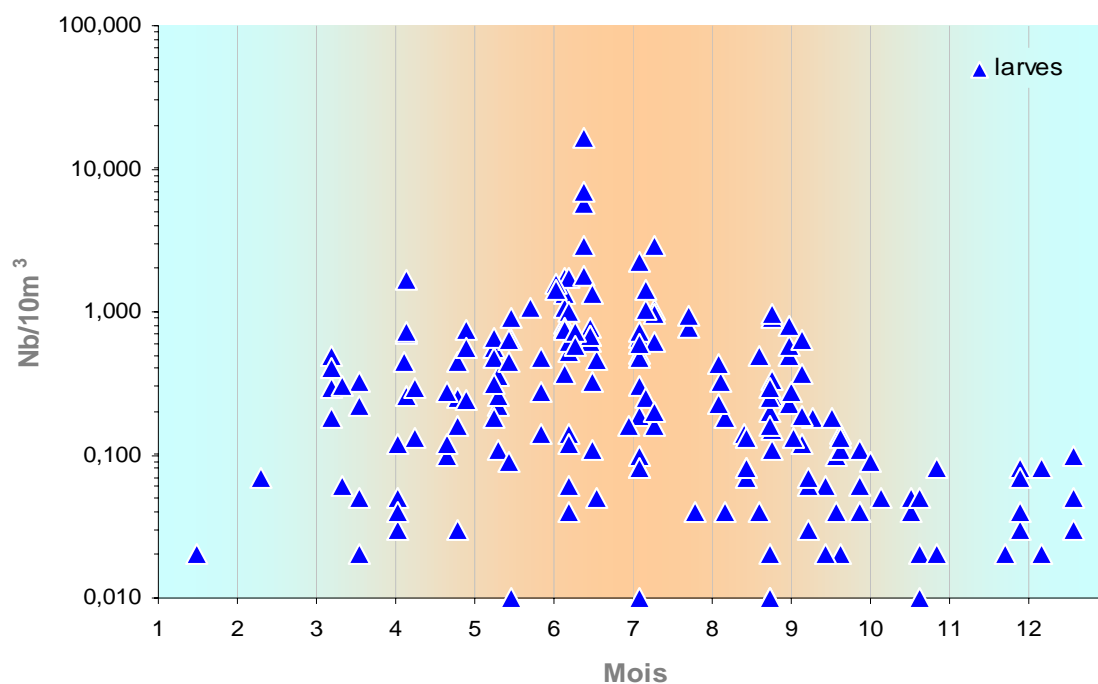


Fig. 3.4.147

Echiichthys vipera (petite vive)

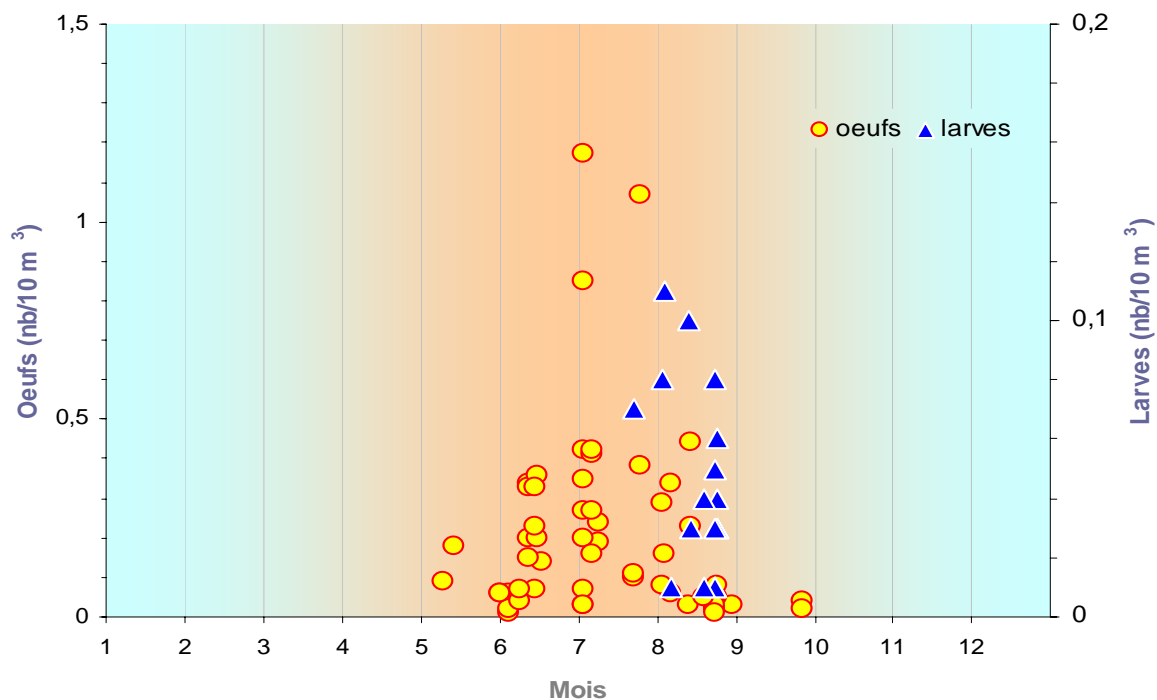


Fig. 3.4.148

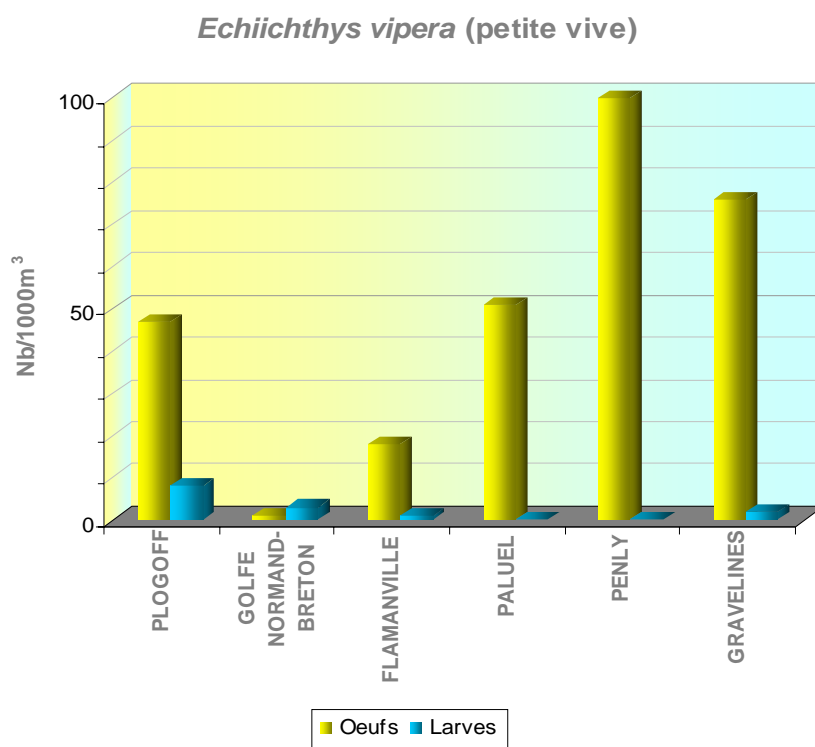


Fig. 3.4.149

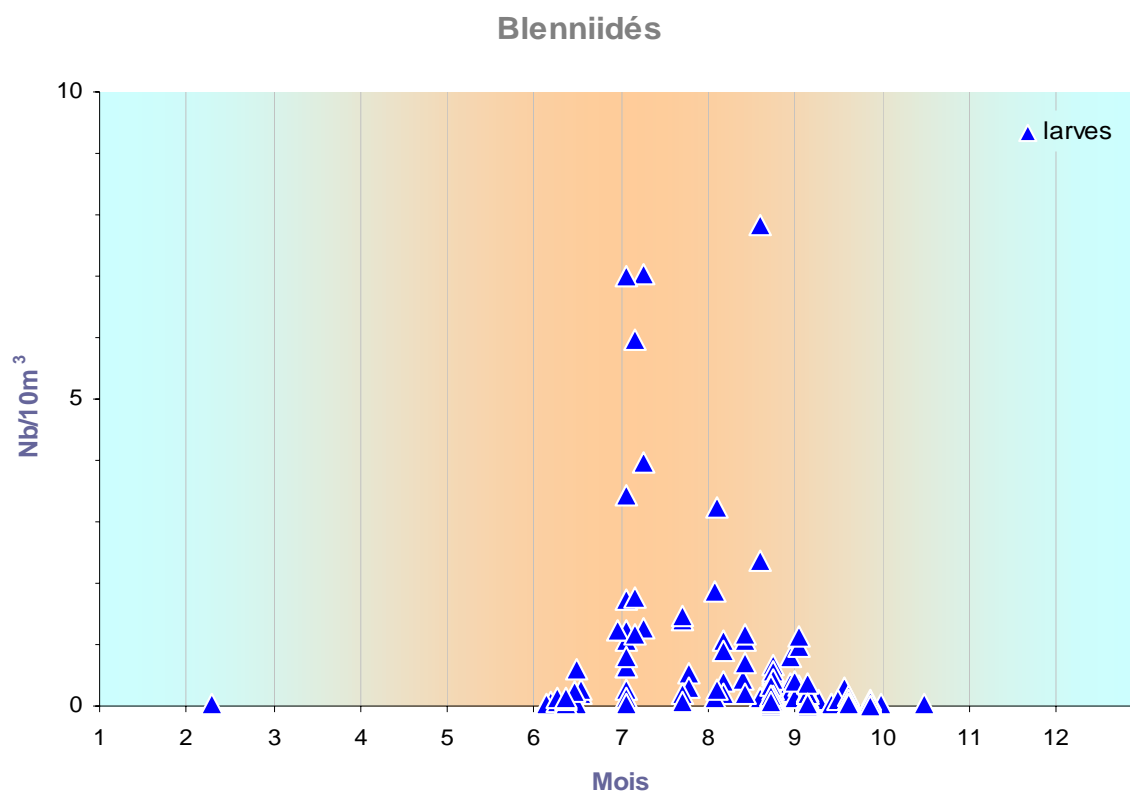


Fig. 3.4.150

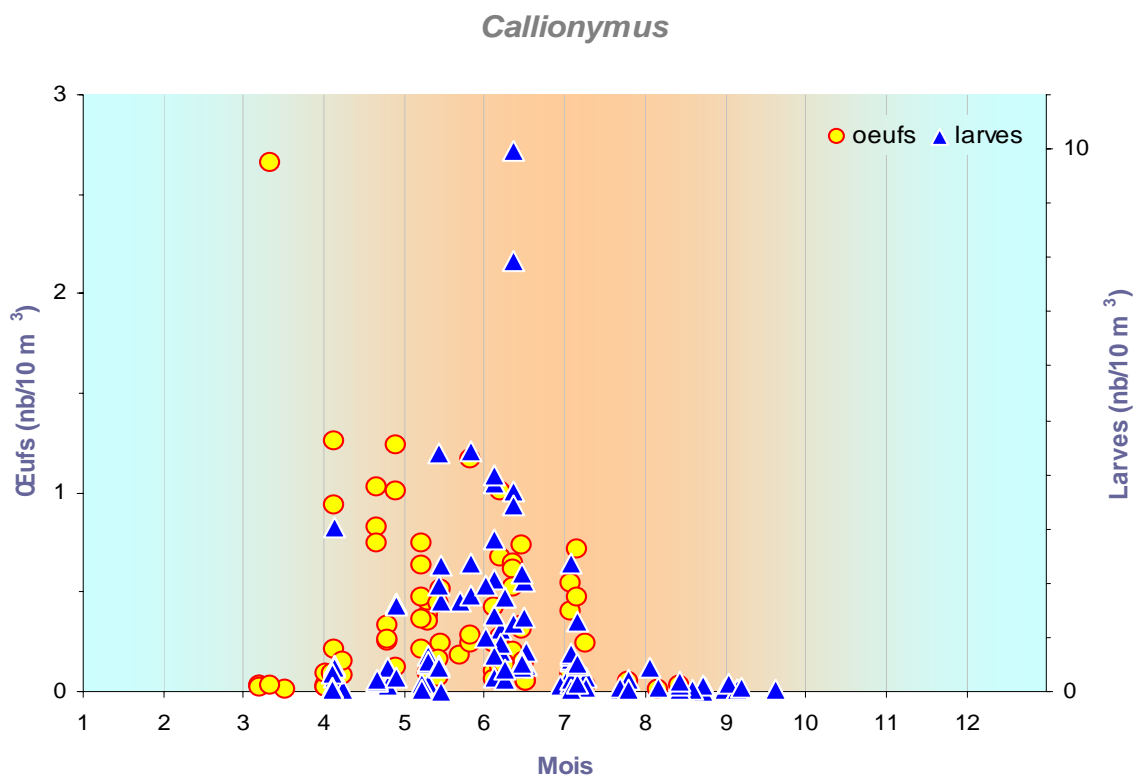


Fig. 3.4.151

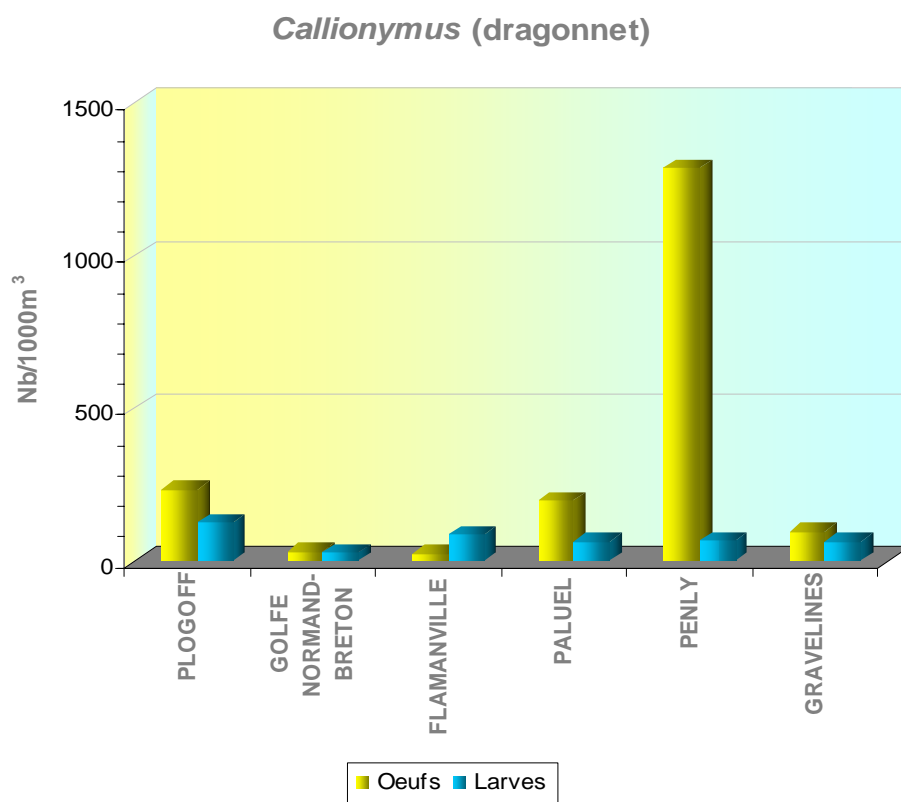
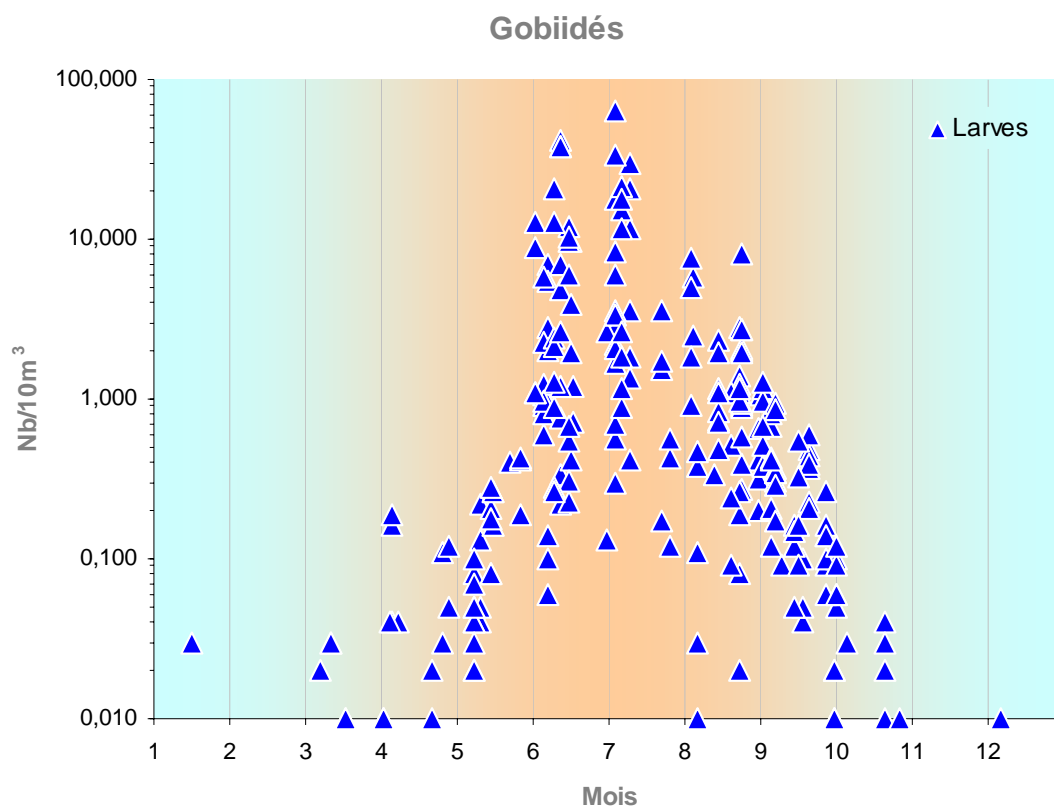


Fig. 3.4.138



x
Fig. 3.4.153

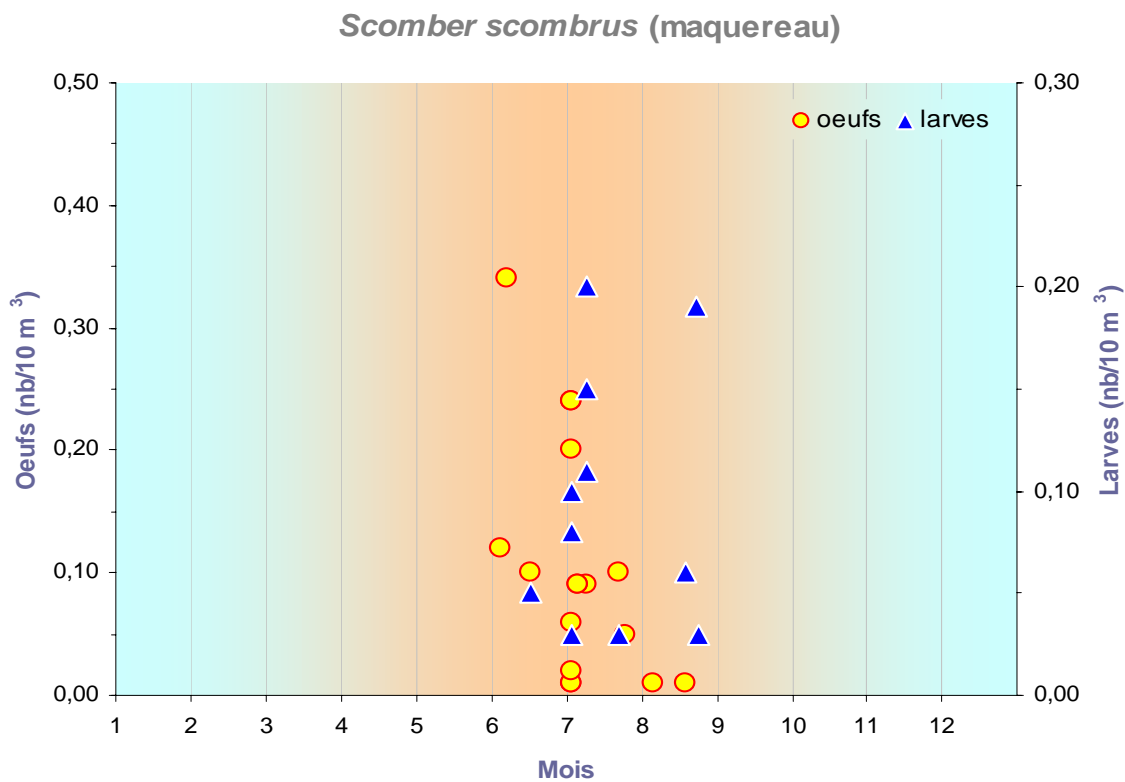


Fig. 3.4.154

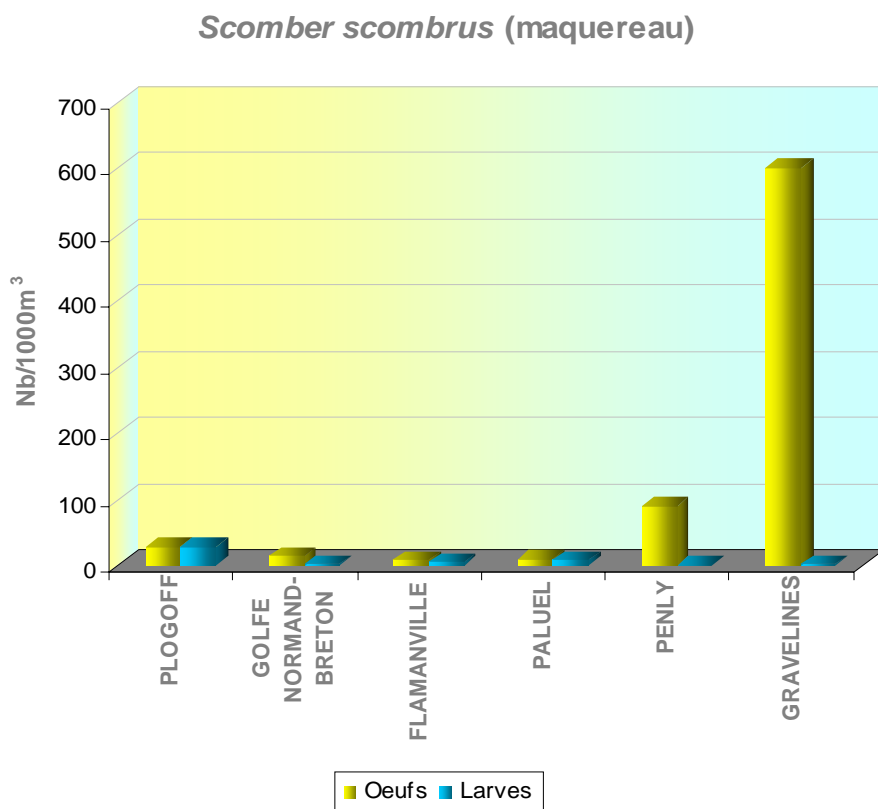


Fig. 3.4.155

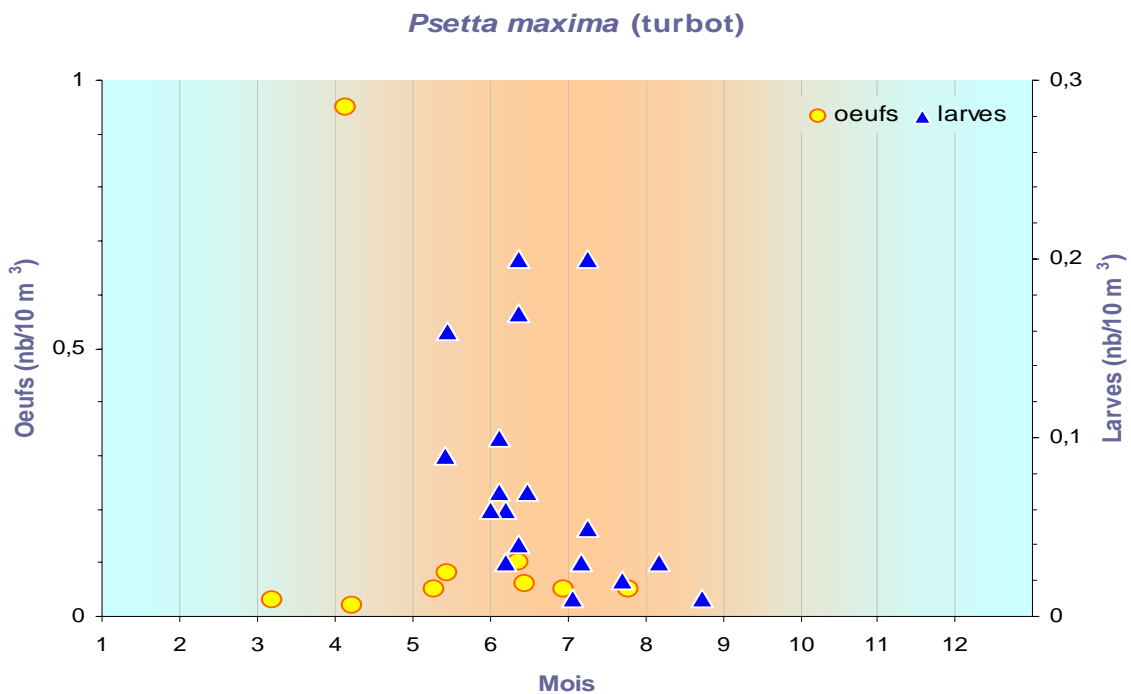


Fig. 3.4.156

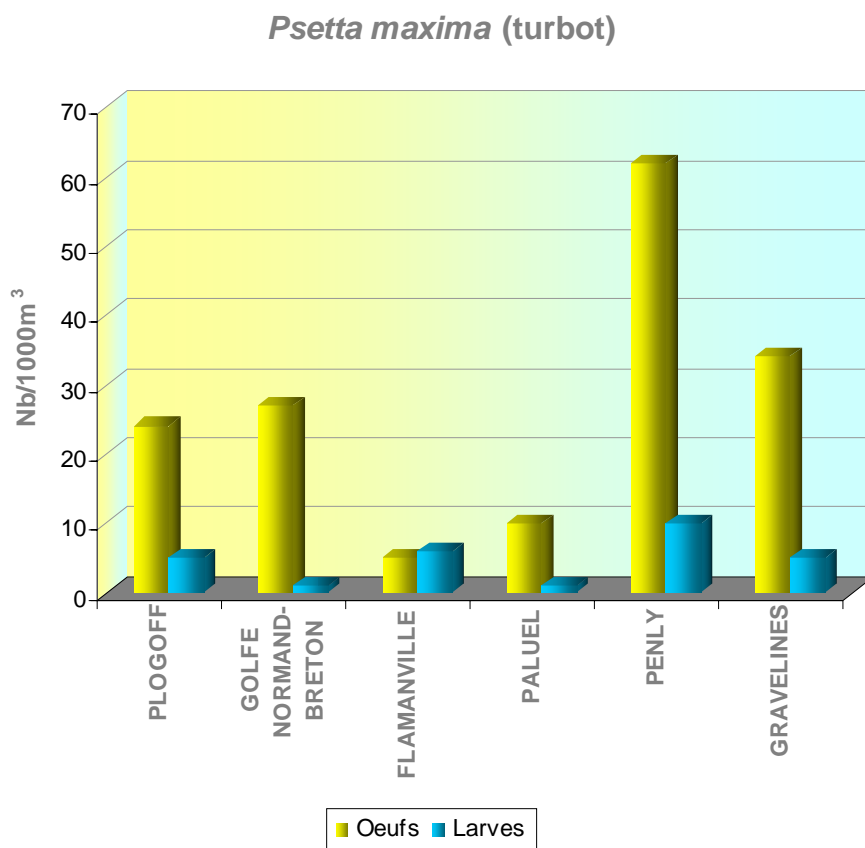


Fig. 3.4.157

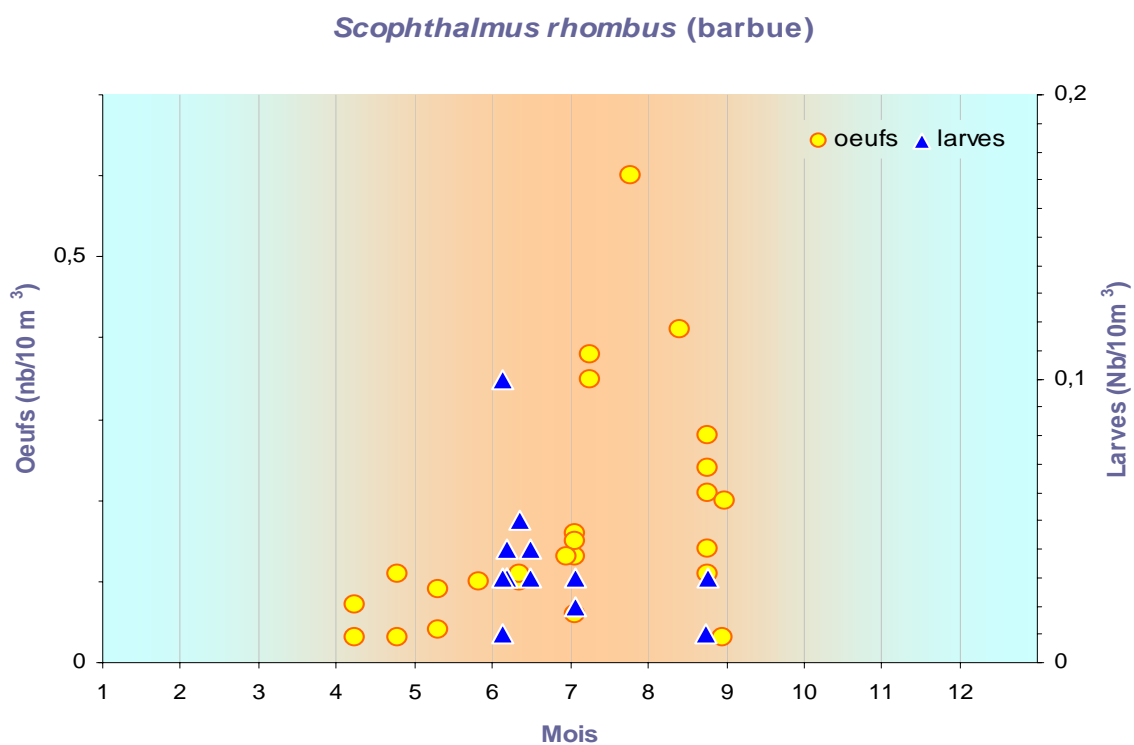


Fig. 3.4.158

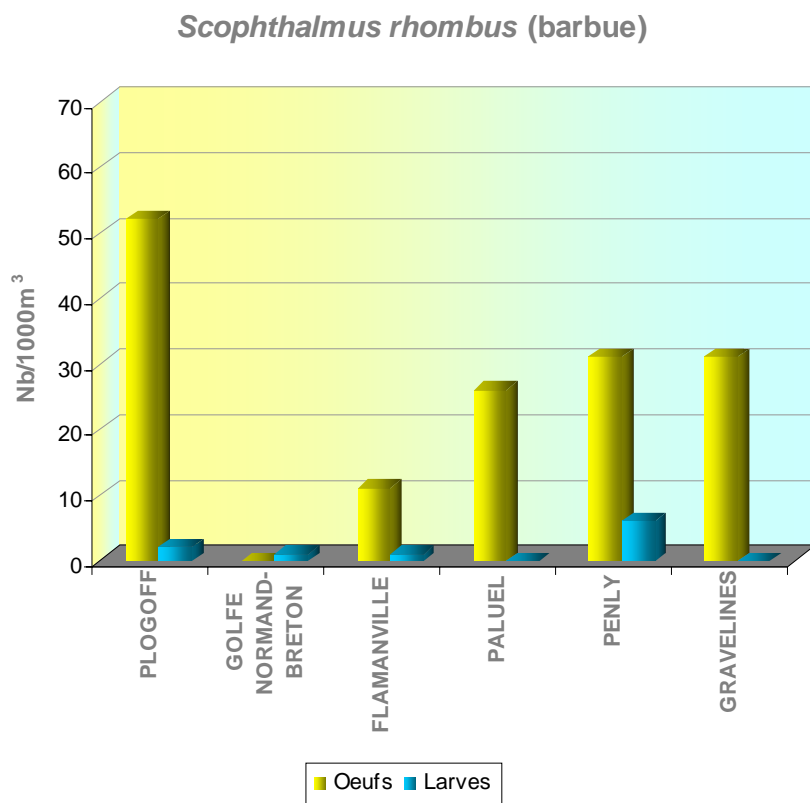


Fig. 3.4.159

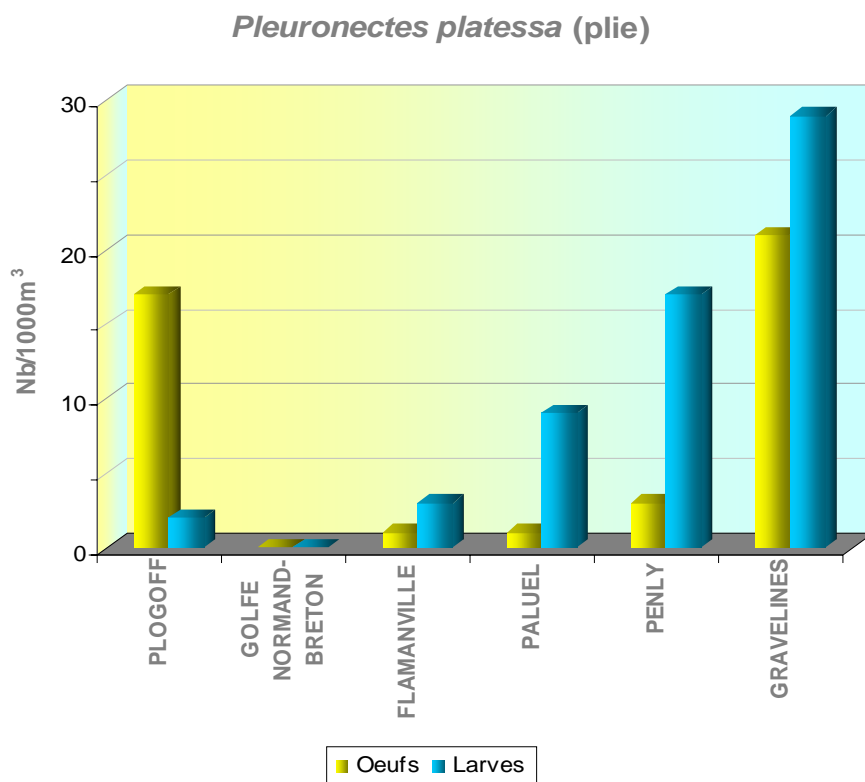


Fig. 3.4.160

Limanda limanda (limande)

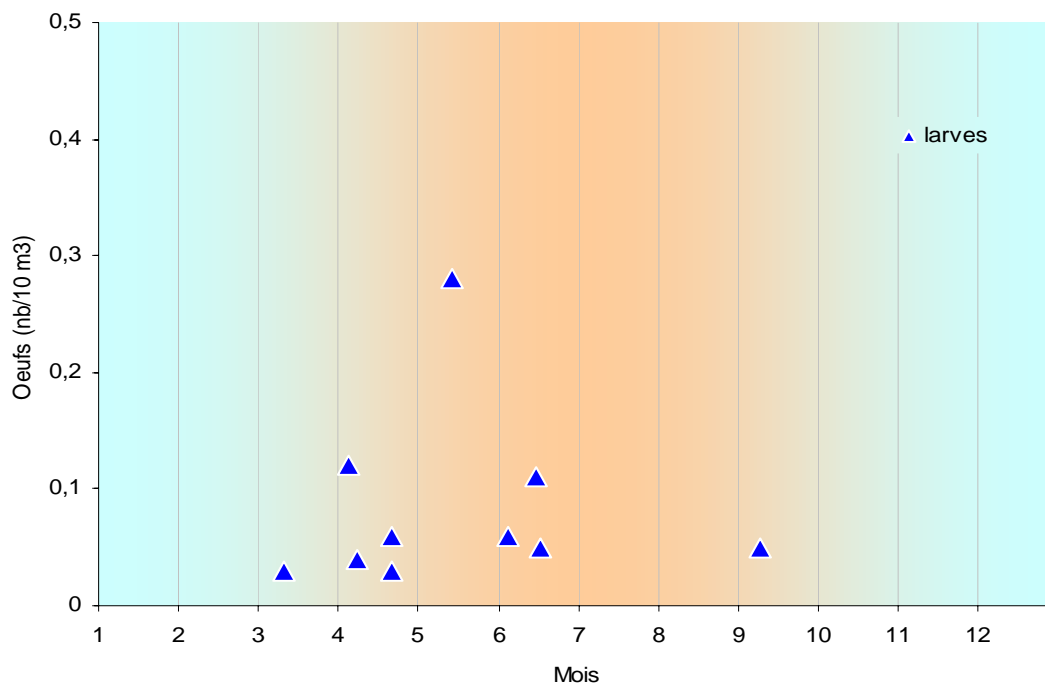


Fig. 3.4.161

Limanda limanda (limande)

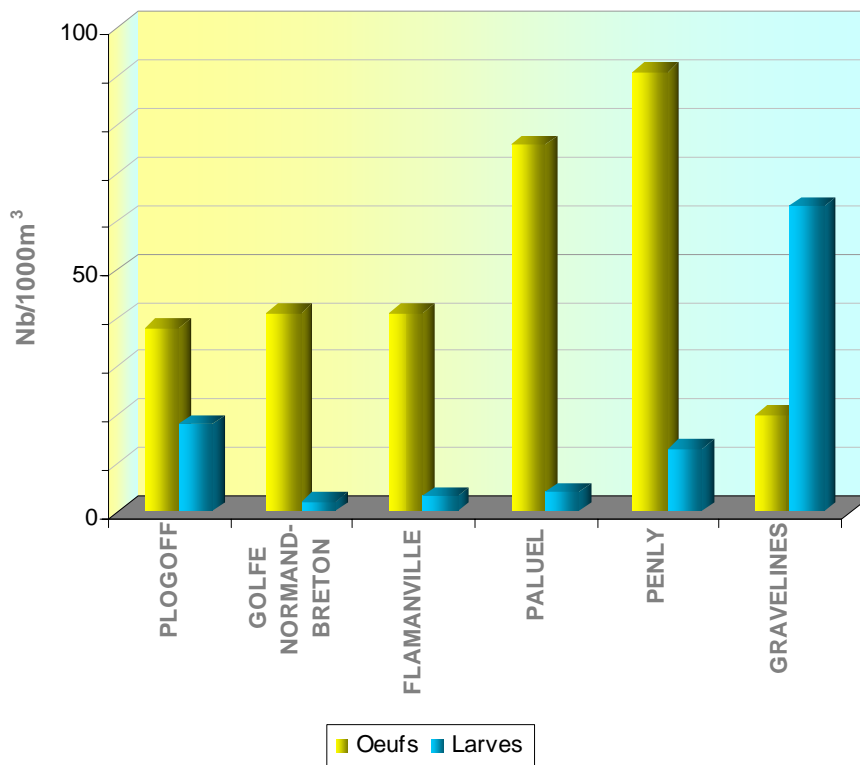


Fig. 3.4.162

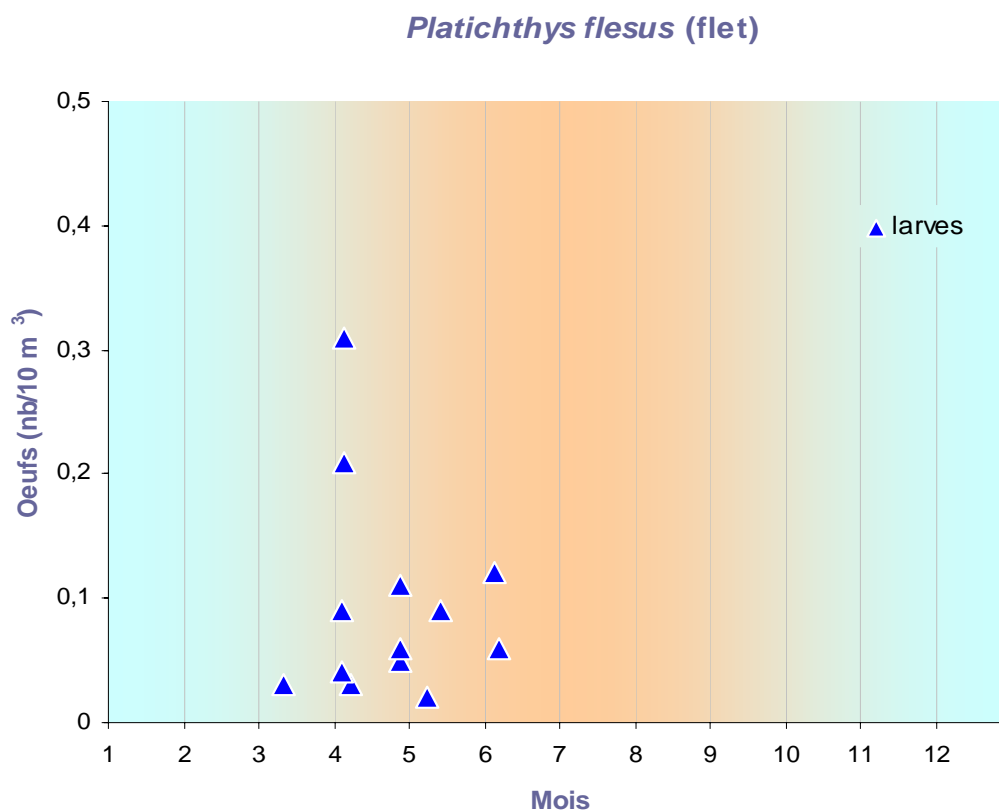


Fig. 3.4.163

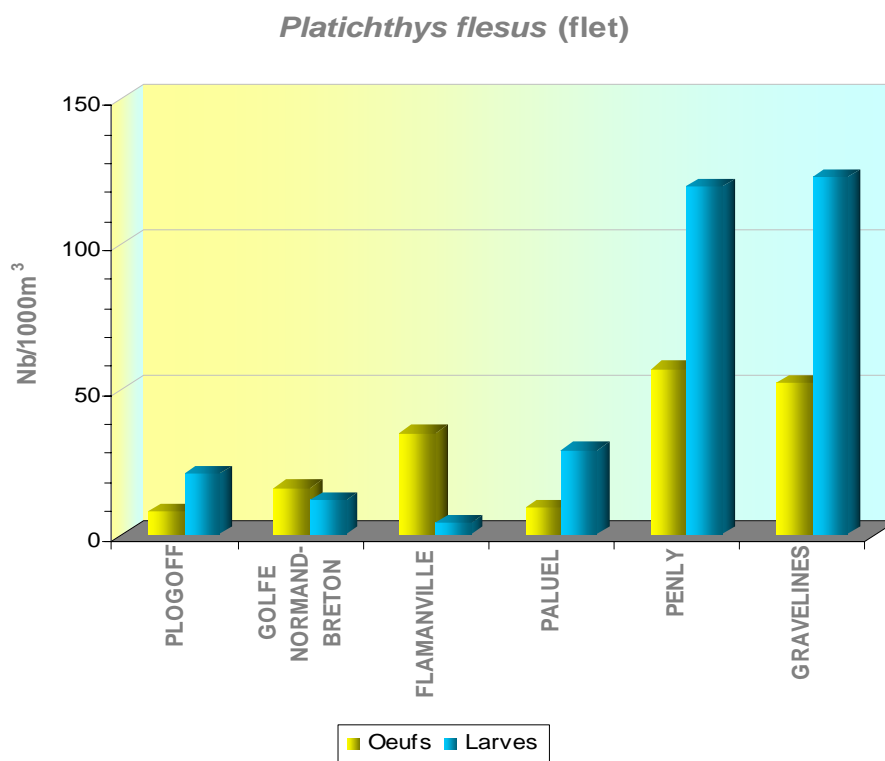


Fig. 3.4.164

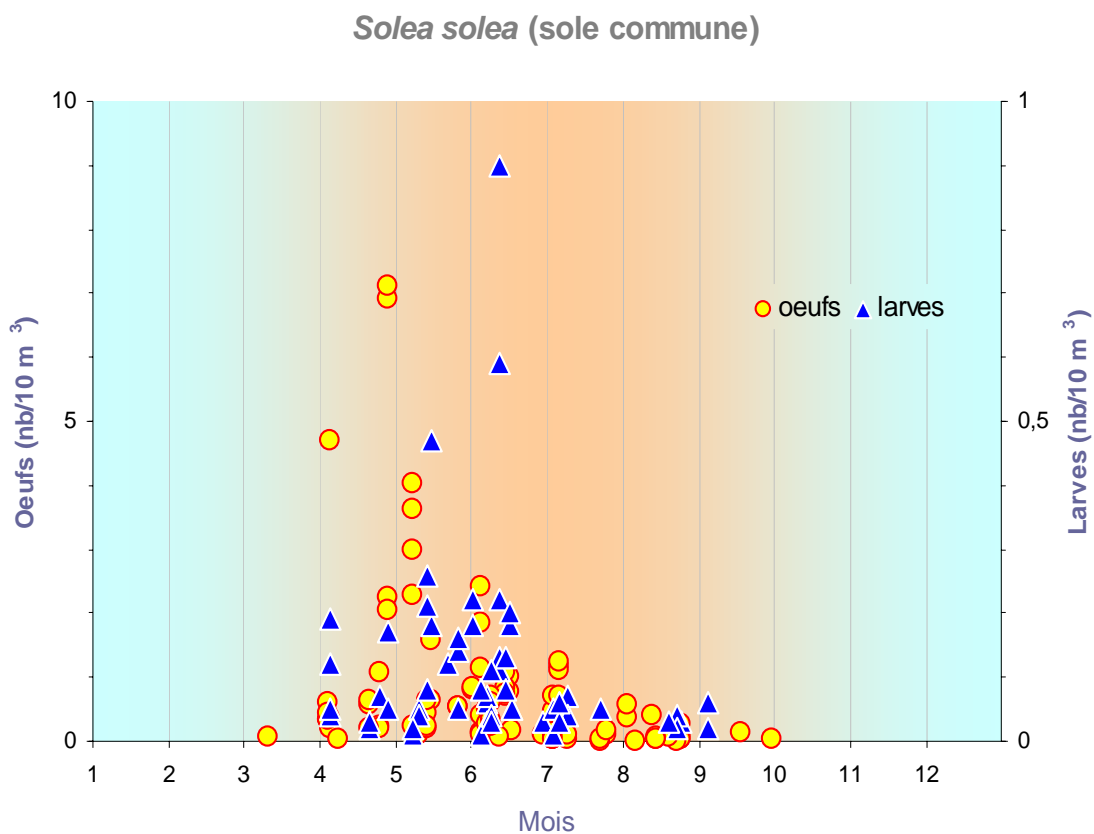


Fig. 3.4.165

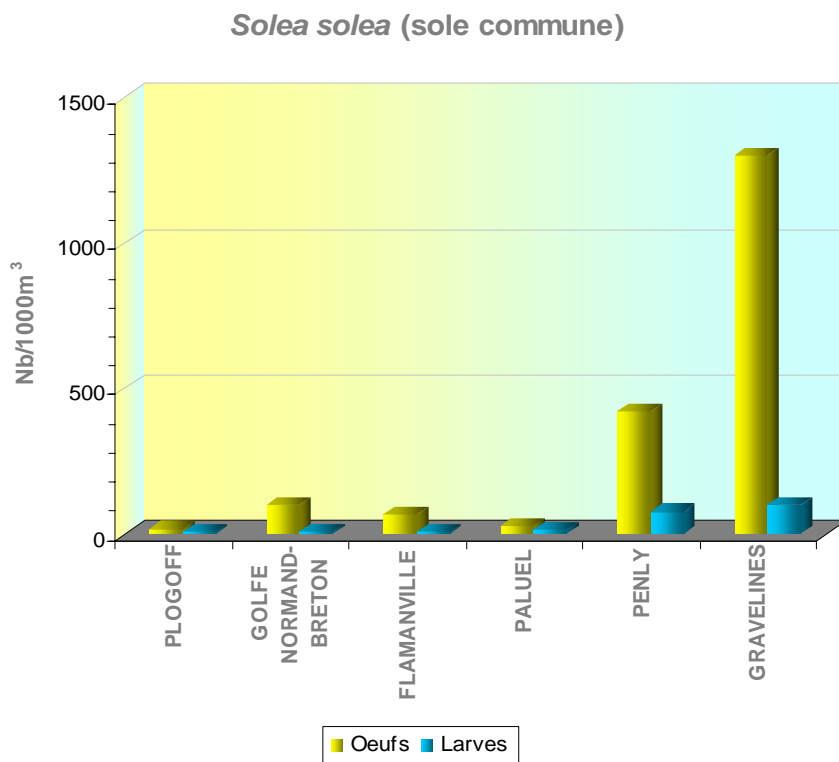


Fig. 3.4.166

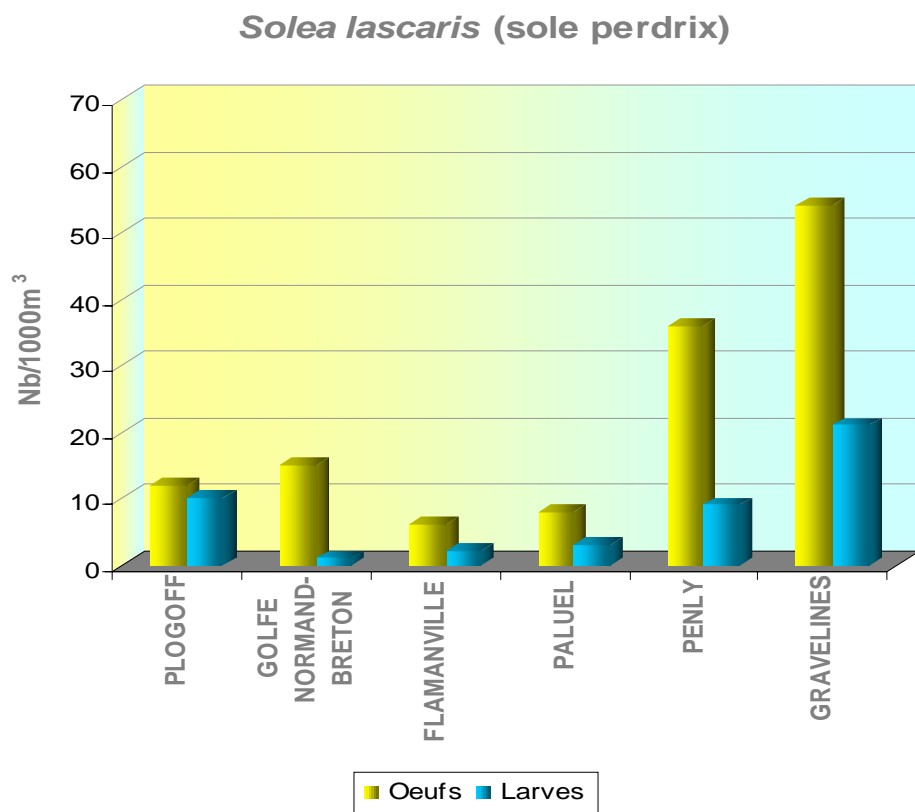


Fig. 3.4.167

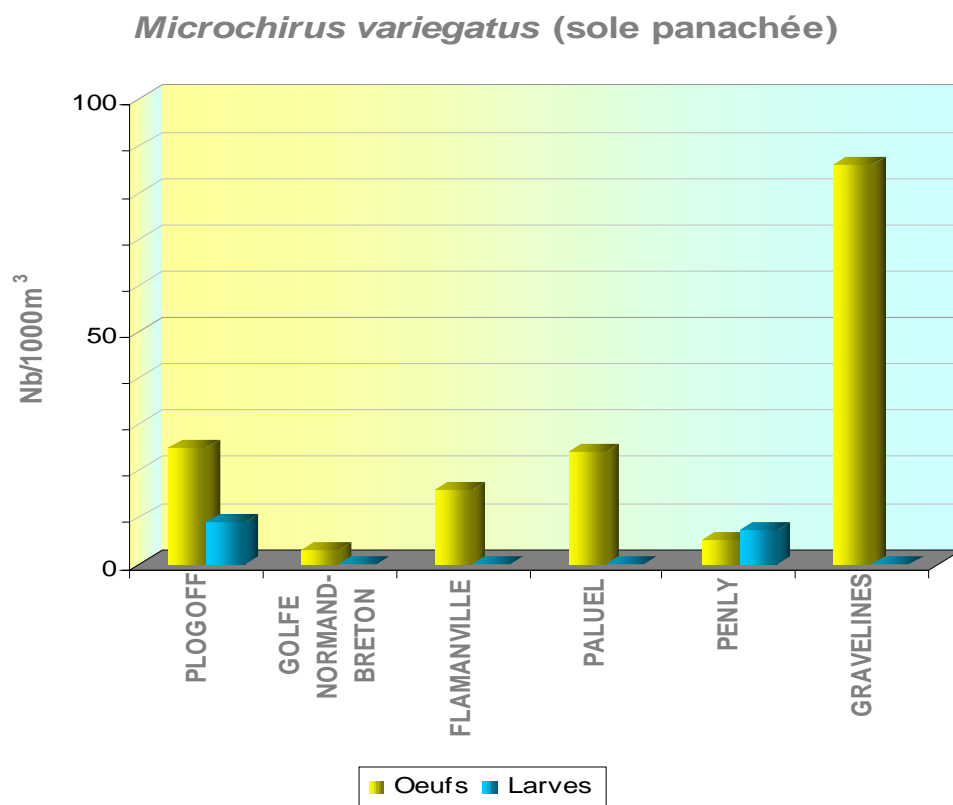


Fig. 3.4.168

Buglossidium luteum (petite sole jaune)

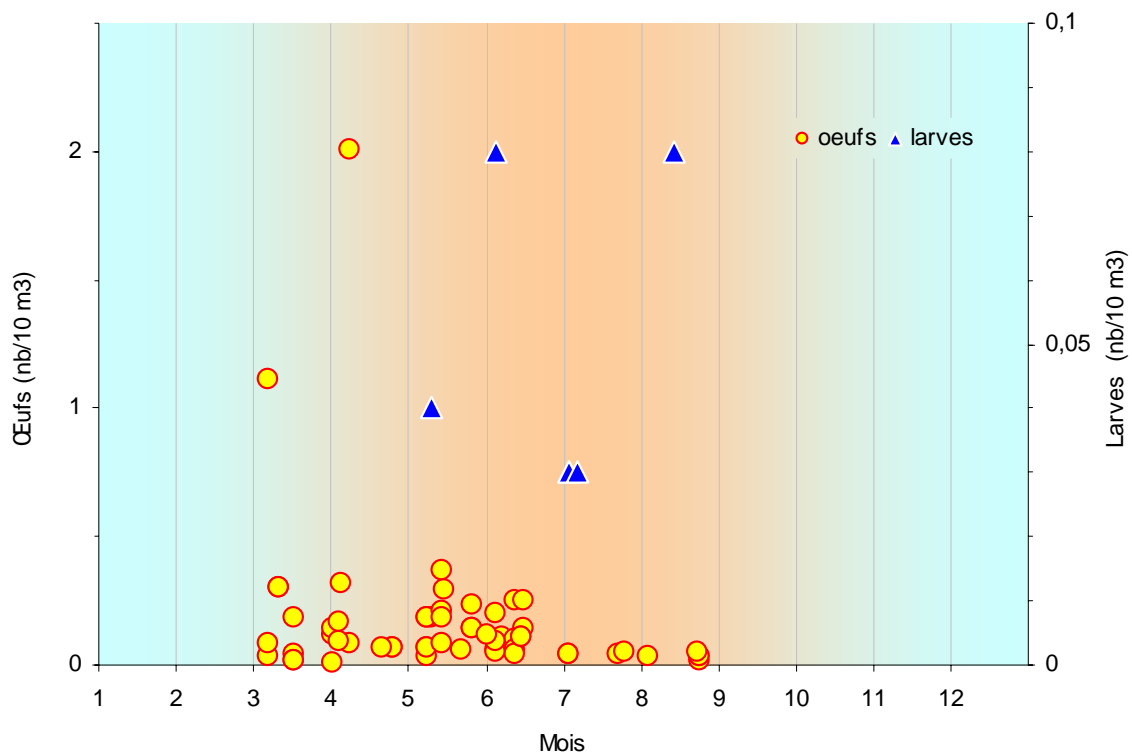


Fig. 3.4.169

Buglossidium luteum (petite sole jaune)

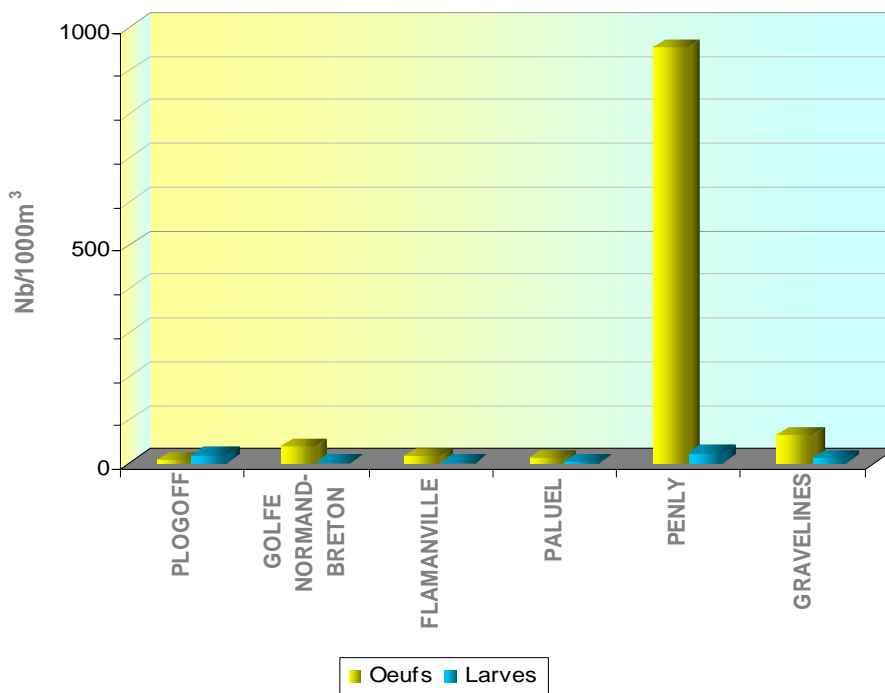


Fig. 3.4.170

3.5. Synthèse régionale des substances chimiques dans l'eau de mer

Dans ce chapitre seront étudiés les éléments et substances qui ne font partie ni des études de projet ni des suivis de surveillance, mais qui peuvent servir à décrire un état de référence chimique de la masse d'eau.

3.5.1. Introduction

Étant donné les faibles niveaux de concentration de certains contaminants, tels que les métaux lourds, le DDT, PCB et Hydrocarbures dans l'eau de mer, l'IFREMER a choisi d'analyser ces éléments dans des organismes bio-accumulateurs sessiles telles que les moules et les huîtres. Ainsi les plus faibles contaminations qui ont pu transiter sur un point seront stockées dans la 'mémoire' de la biomasse animale et amplifiées afin de permettre une évaluation plus fiable du contaminant. Quand des valeurs de concentrations dans l'eau de mer sont disponibles, elles sont aussi données à titre indicatif.

Les éléments et substances des paragraphes 3.5.2 à 3.5.10 sont régulièrement étudiés par le Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin (RNO) et/ou suivis dans le cadre de la surveillance écologique du site de la Cogéma à La Hague. Le réseau RNO a pour objectif l'évaluation des niveaux et des tendances des contaminants chimiques et des paramètres généraux de la qualité du milieu marin dans la matière vivante et les sédiments. Créé en 1974 par le Ministère chargé de l'Environnement, le RNO est coordonné par l'IFREMER.

Les données du RNO permettent à la France de remplir ses obligations dans le cadre de certaines conventions internationales. Plusieurs documents IFREMER reprennent les résultats marquants de l'année et les modifications méthodologiques (documents annuels du réseau RNO, Stanisière, 2001 ; Stanisière et Andral, 2001 ; Andral *et al.*, 2001 ; Andral et Stanisière, 1999).

Depuis la mise en place du réseau, la fréquence d'échantillonnage du RNO était de quatre prélèvements par an réalisés au cours des mois de février, mai, août et novembre. Depuis 2002, cette fréquence est passée à deux échantillons par an. Les paramètres étudiés par le réseau RNO sont :

Contaminants mesurés dans la matière vivante
Métaux : mercure (Hg), cadmium (Cd), plomb (Pb), zinc (Zn), cuivre (Cu). Depuis 2002 : chrome (Cr), argent (Ag), nickel (Ni) et vanadium (V)
Organochlorés : DDT, DDD, DDE, lindane (g -HCH), a -HCH, polychlorobiphényles (Congénères 28, 52, 101, 105, 118, 138, 153, 180).
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) Naphthalène, Acénaphthylène, Acénaphthène, Fluorène, Phénanthrène, Anthracène, Fluoranthène, Pyrène, Benzo(a)anthracène, Chrysène, Benzo(b)fluoranthène, Benzo(k)fluoranthène, Benzo(a)pyrène, Dibenzo(a,h)anthracène, Benzo(g,h,i)pérylène, Indéno(1,2,3-cd)pyrène.

Tableau 3.5.1 : Mesures effectuées sur les points RNO de Basse Normandie

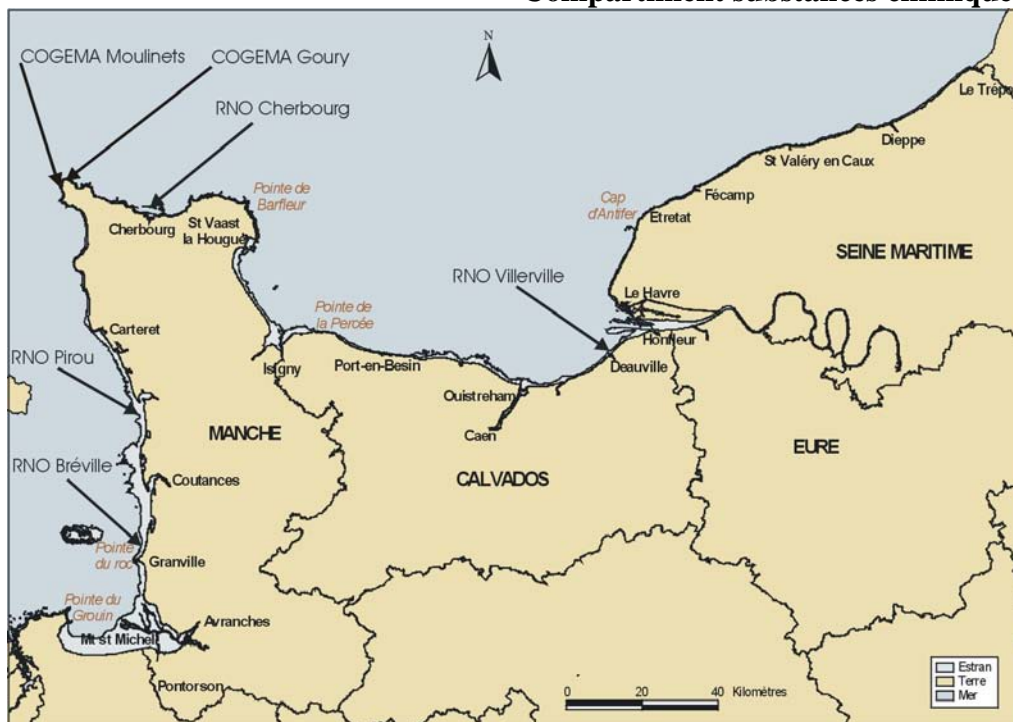


Figure 3.5.1 : Situation des points RNO et COGEMA sur le plan régional utilisés pour les comparaisons

Depuis 1994, les niveaux des contaminations par les HAP sont donnés par la somme de 15 molécules d'hydrocarbures (au lieu de 16 mesurées initialement, les résultats sur l'acénaphthylène étant peu fiables).

Depuis 1979 la stratégie du RNO a évolué pour plusieurs contaminants. Par exemple, depuis 1992 les teneurs en PCB étaient exprimées par la somme des concentrations de huit congénères (CB 28, 52, 101, 105, 118, 138, 153, 180) et non plus en équivalent de mélange technique (Aroclor 1254). Depuis peu, le CB₁₅₃ seul est utilisé pour représenter la contamination par le PCB. En effet, les difficultés analytiques de la mesure des PCB induisent un nombre de valeurs manquantes non négligeable pouvant fausser la somme des huit congénères mesurés.

Les valeurs des contaminants observées sur la façade régionale (figure 3.5.1) seront comparées à la médiane nationale quand elle existe. Cependant, les statistiques des valeurs nationales sont disponibles avec un décalage de deux années. Les valeurs les plus récentes sont celles enregistrées lors de l'étude de surveillance du site de COGEMA qui a débuté en 2002.

3.5.2. Plomb

Rarement disponible à l'état natif, le plomb est présent dans de nombreux minerais, notamment la galène (PbS). Utilisé pour la fabrication d'accumulateurs, ou encore il y a quelques années comme antidétonant dans les carburants, il arrive majoritairement en milieu marin par les apports atmosphériques. Les formes inorganiques sont moins écotoxiques que les formes organiques (composés alkylés) qui inhibent la croissance du phytoplancton. Le plomb peut également provoquer des anomalies dans le développement embryonnaire des bivalves.

Compartiment substances chimiques 237

Le règlement européen N° 221/2002 qui a pris application le 6 février 2002 fixe la teneur maximale en plomb dans les mollusques bivalves commercialisables à 1,5 mg/Kg de poids humide. Les résultats du RNO étant exprimés en poids sec, il convient d'appliquer un facteur de conversion de 0,20 (rapport du poids sec sur poids humide) aux valeurs observées pour les comparer au seuil sus-mentionné. Ce seuil est matérialisé par la zone orange de la figure 3.5.2 (7,5 mg/Kg de poids sec).

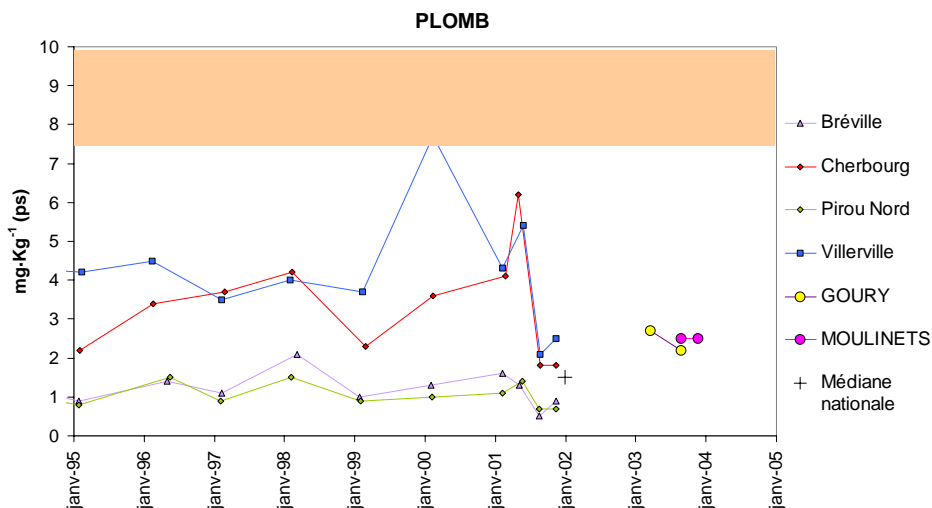


Figure 3.5.2 : Concentrations en plomb dans la chair des moules sur les sites RNO régionaux. Rappel de la médiane nationale (1999-2001)

L'évolution des valeurs des sites régionaux depuis 1995 montre que les plus fortes valeurs sont situées entre Cherbourg et Villerville (contaminants des industries riveraines apportés par la Seine). Les valeurs obtenues à Goury et aux Moulinets se trouvent dans la plage de valeurs observées entre ces deux sites. Toutes ces valeurs se situent dans la plage couramment observée par le réseau RNO et bien en dessous de la valeur maximale observée, située au dessus de 25 mg/Kg (ps) (figure 3.5.3). La médiane nationale sur la période 1999-2001 a été de 1,4 mg/Kg (ps).

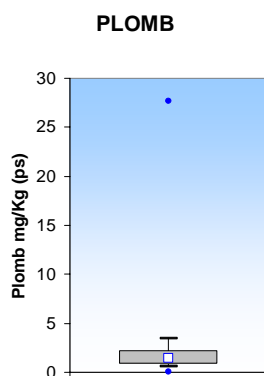


Figure 3.5.3 : Boîte à moustaches présentant les valeurs de plomb sur la série nationale RNO (1999-2001) en mg/kg (ps). Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▭) ; les moustaches, 80 % des valeurs (┘). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●)

Les valeurs de concentrations de plomb qui ont été obtenues par le réseau RNO dans l'eau de mer figurent dans le tableau 3.5.2.

site	Support	Médiane	Maximum	Nbre valeurs	Années
Honfleur radar	Eau filtrée	0,25 µg/L	15,2 µg/L	97	1995-2003

Tableau 3.5.2 : Concentrations en plomb dans l'eau de mer obtenues par le réseau RNO en Baie de Seine

3.5.3. Cuivre

Son emploi est extrêmement diversifié, sa toxicité étant mise à profit dans les peintures antisalissures (en remplacement du tributylétain), dans le traitement des bois et dans des produits phytosanitaires (désherbants, insecticides, fongicides). Le cuivre est un matériau de base de l'industrie électrique (en concurrence avec l'aluminium) et de la construction (conduites d'eau). Ses qualités mécaniques rendent possibles de nombreux procédés d'usinage (emboutissage, forgeage, laminage, matriçage, tréfilage). Il altère le développement embryonnaire des bivalves et la croissance du phytoplancton.

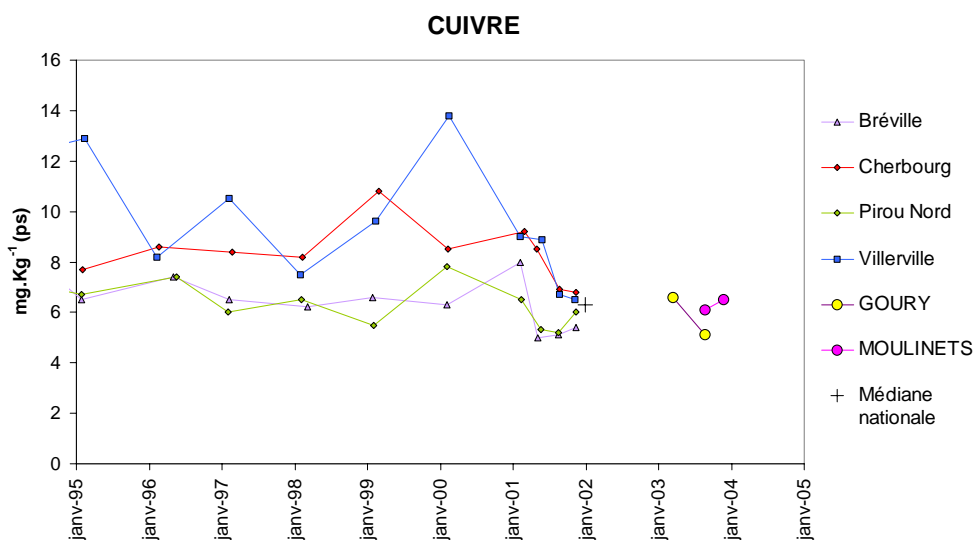


Figure 3.5.4 : Concentrations en cuivre dans la chair des moules sur les sites RNO régionaux et médiane nationale (1999-2001)

Les valeurs observées sur les points de Cherbourg et Villerville sont proches de celles observées aux Moulinets en août et en novembre (figure 3.5.4). La concentration en cuivre observée à Goury en août 2003 est du même ordre de grandeur que celles trouvées au même moment à Pirou et à Bréville, valeur qui se situe en dessous de la médiane nationale RNO (figure 3.5.5). Aux Moulinets, les valeurs enregistrées en août et en novembre 2003 se situent autour de la médiane nationale 1999-2001, égale à 6,6 mg/Kg (ps).

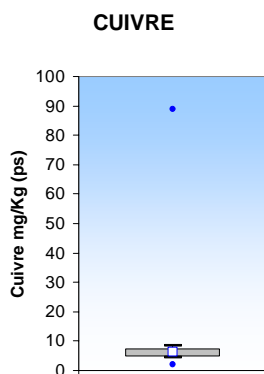


Figure 3.5.5 : Boîte à moustaches présentant les valeurs de cuivre dans la chair des moules sur la série nationale RNO (1999-2001) en mg/kg (ps)

Les valeurs de concentrations en cuivre qui ont été obtenues par le réseau RNO dans l'eau de mer figurent dans le tableau 3.5.3.

Site	Support	Médiane	Maximum	Nbre valeurs	Année
Honfleur radar	Eau filtrée	2,5 µg/L	8,3 µg/L	98	1995-2003
Trouville	Eau brute	54 µg/L	65 µg/L	7	1990-1992
Houlgate	Eau brute	54,9 µg/L	70 µg/L	7	1990-1992
Courseulles	Eau brute	52,9 µg/L	70 µg/L	7	1990-1992
Hermanville	Eau brute	54 µg/L	80 µg/L	7	1990-1992

Tableau 3.5.3 : Concentrations en cuivre dans l'eau de mer obtenues par le réseau RNO en Baie de Seine

Les échantillons au point Honfleur radar ont été plus nombreux que sur les autres points de Baie de Seine ; de plus, les analyses ont été effectués sur de l'eau filtrée, raison pour laquelle les concentrations sont inférieures environ d'un ordre de grandeur.

3.5.4. Zinc

Il s'agit d'un oligo-élément indispensable au développement de la vie. Les usages du zinc sont multiples : peintures antisalissures, produits pharmaceutiques et phytosanitaires, conduits d'évacuation des eaux pluviales (gouttières, tuyaux de descente, etc.) et piles. Une grande partie des apports en zinc dans l'environnement est imputable à la métallurgie, à la combustion des bois et des charbons. Sa toxicité pour les organismes aquatiques n'est mise en évidence que pour les fortes concentrations. Il agit sur la reproduction des huîtres et la croissance des larves.

Les valeurs obtenues sur les points de Goury et des Moulinets en août et en novembre 2003 sont en dessous de la médiane nationale ou proches d'elle, mais restent supérieures aux valeurs observées à Villerville, Cherbourg, Pirou et Bréville en 2001 aux mêmes périodes (figure 3.5.6). La Manche présente des valeurs de concentration en zinc inférieures à celles trouvées en Atlantique et en Méditerranée, ce qui se traduit par une médiane nationale proche de la valeur observée à Goury et aux Moulinets. La figure 3.5.7 présente la médiane nationale de 1999 à 2001 et sa dispersion des valeurs. Toutes les valeurs régionales sont proches de la médiane nationale (113,5 mg/Kg [ps]), voire inférieures.

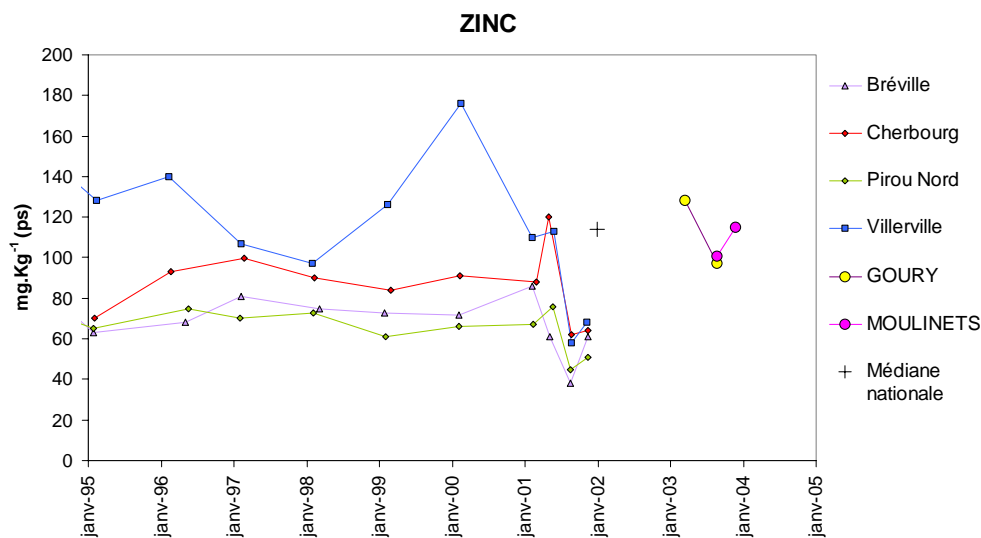


Figure 3.5.6 : Concentrations en zinc dans la chair des moules sur les sites RNO régionaux. Rappel de la médiane nationale (1999-2001)

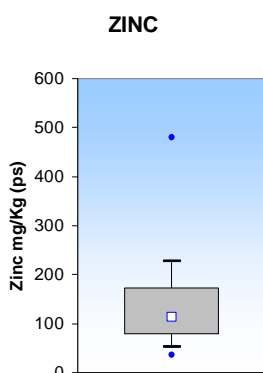


Figure 3.5.7 : Boîte à moustaches présentant les valeurs de zinc dans la chair des moules sur la série nationale RNO (1999-2001) en mg/kg (ps)

Les valeurs de concentrations en zinc qui ont été obtenues par le réseau RNO dans l'eau de mer figurent dans le tableau 3.5.4.

Site	Support	Médiane	Maximum	Nbre valeurs	Année
Honfleur radar	Eau filtrée	4 µg/L	12 µg/L	98	1995-2003
Trouville	Eau brute	20 µg/L	20 µg/L	7	1990-1992
Houlgate	Eau brute	20 µg/L	20 µg/L	7	1990-1992
Courseulles	Eau brute	20 µg/L	20 µg/L	7	1990-1992
Hermanville	Eau brute	20 µg/L	20 µg/L	7	1990-1992

Tableau 3.5.4 : Concentrations en zinc dans l'eau de mer obtenues par le réseau RNO en Baie de Seine

Les échantillons au point Honfleur radar ont été plus nombreux que sur les autres points de Baie de Seine ; de plus, les analyses ont été effectuées sur de l'eau filtrée, raison pour laquelle les concentrations sont inférieures environ d'un ordre de grandeur.

3.5.5. Nickel

L'introduction de nickel d'origine anthropique vers l'atmosphère provient de l'utilisation des combustibles fossiles et de la production de métaux non ferreux. L'activité volcanique et l'érosion éolienne constituent l'essentiel des flux naturels vers l'atmosphère. Le nickel est beaucoup moins toxique pour les organismes marins que le cadmium ou le mercure. Faiblement bio-accumulable, des effets sur le développement embryonnaire d'invertébrés marins ont cependant été observés.

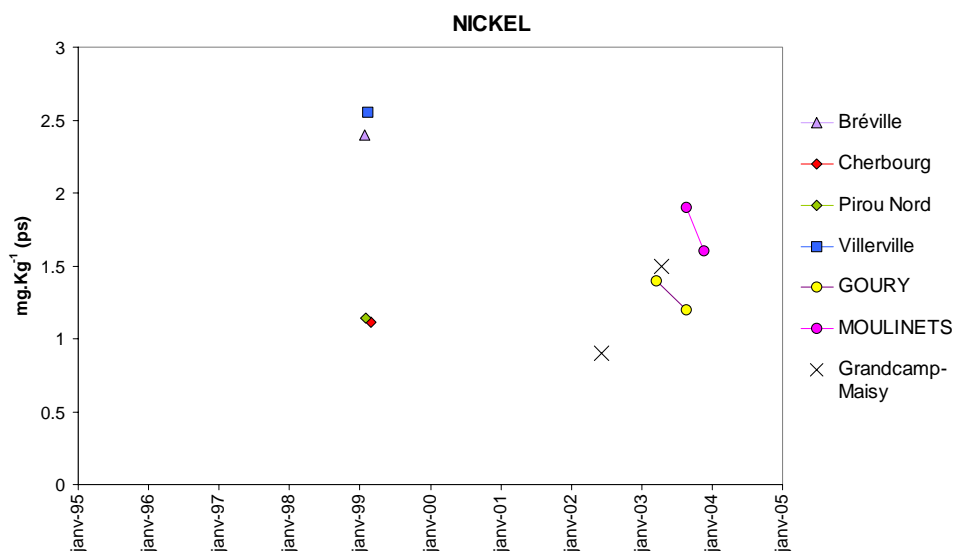


Figure 3.5.8 : Concentrations en nickel dans la chair des moules sur les sites RNO régionaux de la Manche et de la Cogema

Le nickel n'est un élément suivi en routine par le réseau RNO que depuis 2002. Nous disposons cependant des résultats obtenus en février 1999 sur des points régionaux (figure 3.5.8), des valeurs obtenues lors de la réalisation des états *zéro* (situation à Grandcamp-Maisy) et du suivi des moules à COGEMA en 2002 et 2003. Les concentrations en nickel observées à Goury en 2003 se situent en dessous de celles des Moulinets. Les valeurs sur les deux points COGEMA se placent entre les valeurs observées à Villerville–Bréville et Pirou-Cherbourg en 1999. Les concentrations en nickel à Grandcamp-maisy sont proches de celles observées à Pirou et Cherbourg et de l'ordre de la médiane nationale (février 1999, figure 3.5.9).

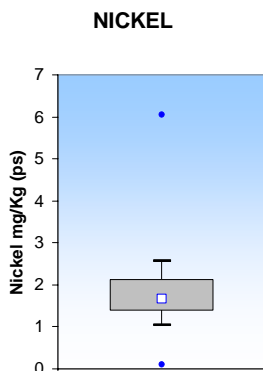


Figure 3.5.9 : Boîte à moustaches présentant les valeurs du nickel dans la chair des moules sur la série nationale RNO (février 1999) en mg/kg (ps)

Les valeurs de concentrations du nickel, obtenues par le réseau RNO dans l'eau de mer, figurent dans le tableau 3.5.5.

Site	Support	Médiane	Maximum	Nbre valeurs	Année
Honfleur radar	Eau filtrée	2,75 µg/L	19 µg/L	62	1990-1995

Tableau 3.5.5 : Concentrations du nickel dans l'eau de mer obtenues par le réseau RNO en Baie de Seine

3.5.6. Chrome

Le chrome fait partie des métaux les plus utilisés (10 millions de tonnes par an) dans le monde (industrie chimique, métallurgie, technologie des réfractaires). La majeure partie du chrome parvenant à la mer depuis le continent provient des fleuves, l'atmosphère constituant une source beaucoup moins importante. Sa forme réduite (Cr III) fait partie des éléments essentiels dans la vie animale, la forme oxydée (Cr VI) est par contre extrêmement toxique, cancérigène à forte dose pour l'homme, et elle provoque des anomalies dans le développement larvaire des bivalves.

Le chrome n'est pas un élément suivi en routine par le réseau RNO, mais nous disposons de résultats obtenus en 2001 sur des points régionaux (figure 3.5.10) et des résultats de COGEMA en 2003. La concentration en chrome constatée en août 2003 à Goury est inférieure à celle observée dans l'anse des Moulinets pour la même période. Les valeurs aux Moulinets en 2003 se situent au dessus de la médiane nationale et des valeurs des sites régionaux proches observées en 2001.

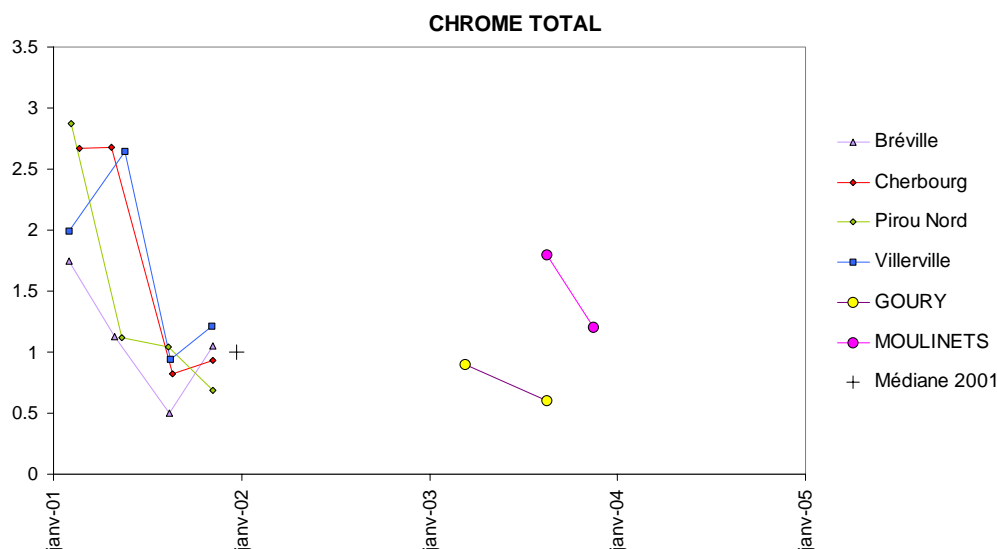


Figure 3.5.10 : Concentrations en chrome dans la chair des moules sur les sites RNO régionaux et la Cogema

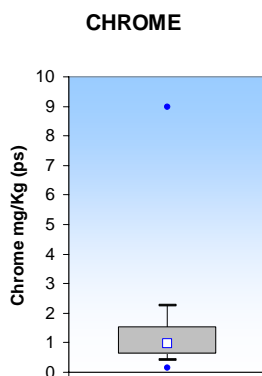


Figure 3.5.11 : Boîte à moustaches présentant les valeurs du chrome sur la série nationale RNO (2001) en mg/kg (ps)

Toutes les valeurs régionales observées se situent environ, entre la médiane nationale (0,98 mg/Kg [ps]) et le percentile 80, égal à 2,3 mg/Kg [ps] (figure 3.5.11). Les concentrations observées sur le point Moulinets en août et novembre sont juste au dessus de la médiane nationale, mais assez éloignées de la valeur maximale enregistrée par le réseau (9 mg/Kg [ps]).

Les valeurs de concentrations du chrome qui ont été obtenues par le réseau RNO dans l'eau de mer figurent dans le tableau 3.5.6.

Site	Support	Médiane	Maximum	Nbre valeurs	Année
Honfleur radar	Eau filtrée	0,3 µg/l	0,3 µg/L	61	1990-1995

Tableau 3.5.6 : Concentrations du chrome dans l'eau de mer obtenues par le réseau RNO en Baie de Seine

3.5.7. Fer

Après l'oxygène, le silicium et l'aluminium, le fer est l'élément le plus abondant de la croûte terrestre, environ 45 g de fer par kilogramme de croûte terrestre. Il ne se trouve à l'état natif que dans les nombreux météorites arrivées sur terre. Ses composés dans la nature se trouvent sous la forme de magnétite et d'hématite. Il est peu soluble dans les eaux bien oxygénées, mais très présent dans les bassins anoxiques sous la forme de Fe(II). Dans les eaux marines nous le trouvons essentiellement sous les formes Fe²⁺ et Fe³⁺.

Utilisé depuis plus de vingt siècles par l'Homme, le fer rentre dans la composition de nombreux alliages, notamment avec le carbone, le nickel, le chrome et le vanadium. Le fer rejeté en mer est principalement dû aux activités industrielles et à la fabrication des engrais. Ces rejets sont en nette diminution depuis 1991. Le fer est un élément nécessaire à la vie ; il rentre dans la composition de l'hémoglobine des mammifères et il est nécessaire pour le développement de l'activité phytoplanctonique en mer.

Le fer n'est pas un élément suivi en routine par le réseau national RNO. Nous pouvons cependant observer les résultats obtenus sur les points COGEMA de Goury et des Moulinets

en 2002 et 2003 et les valeurs de l'état zéro des lots de moules utilisées et prises en charge chez un producteur à Grandcamp-Maisy (Calvados).

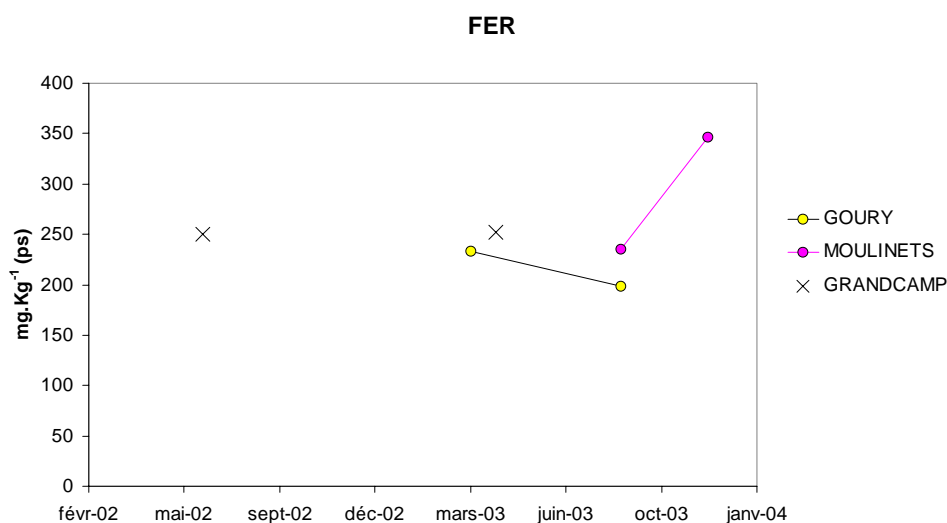


Figure 3.5.12 : Concentrations en fer des lots de moules sur Grandcamp-Maisy (état zéro), à Goury et aux Moulinets

Les valeurs à Goury et aux Moulinets en août sont inférieures à celles observées à Grandcamp-Maisy (figure 3.5.12). Seule la concentration en fer enregistrée au point Moulinets en novembre s'est avérée supérieure aux valeurs des états zéro. En août, la valeur observée au point Moulinets est supérieure à celle du point Goury.

Les valeurs de concentrations en fer qui ont été obtenues par le réseau RNO dans l'eau de mer figurent dans le tableau 3.5.6.

Site	Support	Médiane	Maximum	Nbre valeurs	Année
Honfleur radar	Eau filtrée	2,55 µg/L	160 µg/L	62	1990-1995
Trouville	Eau brute	70 µg/L	170 µg/L	7	1990-1992
Houlgate	Eau brute	49,9 µg/L	370 µg/L	7	1990-1992
Courseulles	Eau brute	49,9 µg/L	130 µg/L	7	1990-1992
Hermanville	Eau brute	49,9 µg/L	139,8 µg/L	7	1990-1992

Tableau 3.5.6 : Concentrations en fer dans l'eau de mer obtenues par le réseau RNO en Baie de Seine

Les échantillons au point Honfleur radar ont été plus nombreux que sur les autres points de la Baie de Seine ; de plus, les analyses ont été effectuées sur de l'eau filtrée, raison pour laquelle les concentrations sont inférieures d'un ordre de grandeur environ.

3.5.8. Aluminium

L'aluminium, troisième élément le plus répandu sur la terre, représente 8 % de la masse de la croûte terrestre. Très réactif, il ne se trouve pas à l'état pur dans la nature, mais combiné avec l'oxygène, le silicium ou le fluor. La production d'aluminium, très consommatrice d'énergie, a notablement augmenté dans les dernières 50 années, atteignant une production de $14 \cdot 10^6$ tonnes dans le monde. L'aluminium est utilisé dans l'industrie automobile, le bâtiment, l'électroménager, dans la fabrication de câbles électriques, l'industrie alimentaire et cosmétique ainsi que dans la composition des médicaments. Très controversé actuellement à cause des effets neurologiques, il est responsable des pathologies affectant les os, les reins, l'estomac et le cerveau.

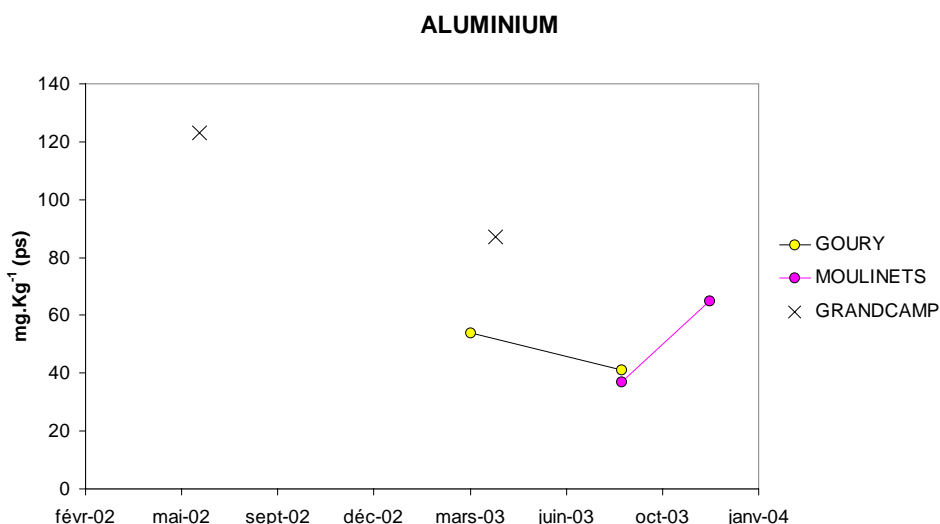


Figure 3.5.13 : Concentrations en aluminium dans la chair des moules à Grandcamp-Maisy, Goury et aux Moulinets

L'aluminium n'est pas un élément suivi en routine par le réseau national RNO. Nous pouvons cependant comparer les résultats COGEMA obtenus sur les points Goury et Moulinets en 2002 et 2003 avec les valeurs de l'état *zéro* des lots de moules prises en charge chez un producteur à Grandcamp-Maisy (Calvados).

Les valeurs à Goury et aux Moulinets en août et en novembre sont inférieures à celles observées à Grandcamp-Maisy (figure 3.5.13). En août, la valeur observée au point Moulinets est légèrement inférieure à celle du point Goury.

3.5.9. Manganèse

Le manganèse se trouve dans la croûte terrestre sous forme d'oxydes, de silicates et des carbonates (moins d'un gramme par kilogramme de croûte terrestre). Le manganèse rentre dans la composition de nombreux alliages avec le fer, l'aluminium et le cuivre. Il rentre dans divers procédés chimiques pour la fabrication des peintures, le verre, les piles sèches,

des pesticides, la conservation du bois, le traitement du cuir, l'alimentation du bétail et les engrais. Il est nécessaire pour le développement des os chez les êtres vivants et certaines maladies ont leur origine à la suite de l'inhalation de poussières ou des fumées riches en manganèse. Il joue un premier rôle dans l'utilisation de la vitamine B1 et sa toxicité dans le milieu aquatique est réduite. Dans les eaux marines nous le trouvons essentiellement sous la forme Mn^{2+} .

Le manganèse n'est pas un élément suivi en routine par le réseau national RNO. Nous pouvons cependant comparer les résultats COGEMA obtenus sur les points Goury et Moulinets 2002 et 2003 avec les valeurs de l'état zéro des lots de moules prises en charge chez un producteur à Grandcamp-Maisy (Calvados).

Les valeurs à Goury et aux Moulinets en août sont inférieures à celles observées à Grandcamp-Maisy (figure 3.5.14). Seule la concentration en manganèse enregistrée au point Moulinets en novembre s'est avérée supérieure aux valeurs des états zéro. En août, la valeur observée au point Moulinets est supérieure à celle du point Goury.

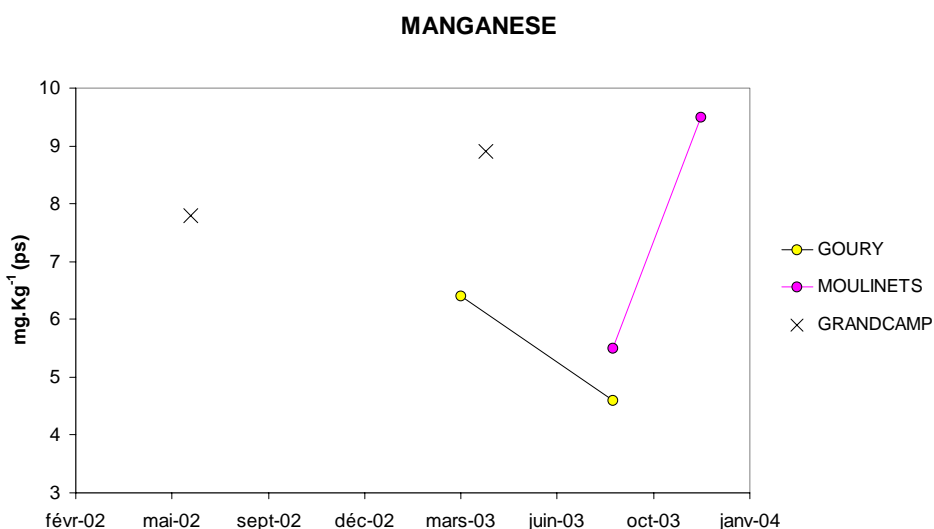


Figure 3.5.14 : Concentrations en manganèse dans la chair des moules à Grandcamp-Maisy, à Goury et aux Moulinets

Les valeurs de concentrations en manganèse qui ont été obtenues par le réseau RNO dans l'eau de mer figurent dans le tableau 3.5.7.

Élément	Support	Médiane	Maximum	Nbre valeurs	Année
Honfleur radar	Eau filtrée	4 µg/L	61,9 µg/L	62	1990-1995

Tableau 3.5.7 : Concentrations en manganèse dans l'eau de mer obtenues par le réseau RNO en Baie de Seine

3.5.10. Hydrocarbures

Les HAP présents dans l'environnement résultent de différents processus : la biosynthèse par les organismes vivants, les pertes à partir du transport, la pyrolyse des matières organiques à haute température, les feux de forêts ou l'utilisation des carburants fossiles, charbons, pétroles. La combustion des charbons et pétroles constitue la principale voie

Compartiment substances chimiques 247

d'introduction des HAP dans l'environnement et résulte majoritairement des activités anthropiques. Les activités industrielles telles que les usines de production d'aluminium, les raffineries de pétrole ou les rejets urbains contribuent également de manière importante aux apports atmosphériques et aquatiques.

Certains HAP sont cancérigènes pour l'homme et toxiques pour la flore et la faune marine. Certains sont également très rémanents dans l'environnement.

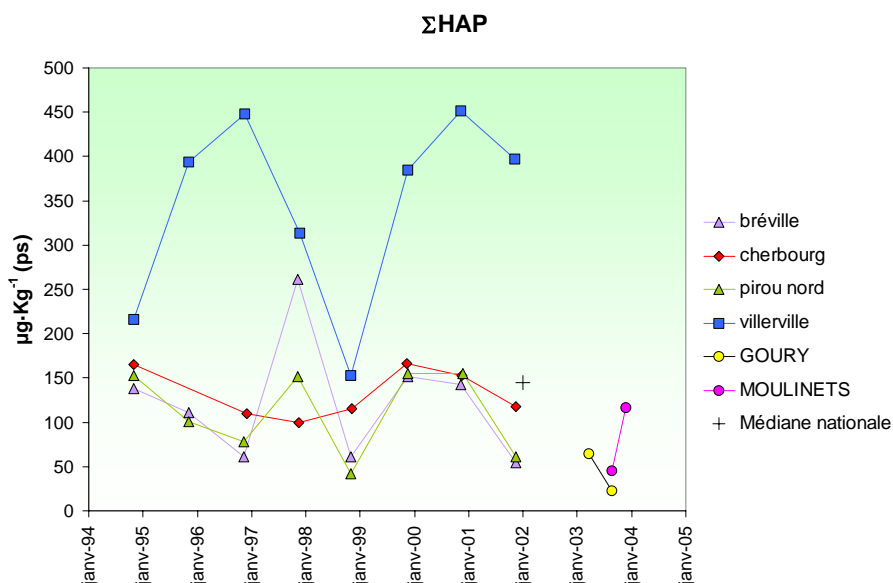


Figure 3.5.15 : Concentrations de la somme des HAP sur les sites RNO régionaux. Rappel de la médiane nationale (1999-2001)

Les concentrations en HAP observées sur le site de Villerville sont les plus élevées de l'ensemble des sites régionaux (figure 3.5.15), mais encore bien loin des valeurs extrêmes observées dans la période 1999-2001 (figure 3.5.16). Ceci s'explique par la forte activité pétrochimique du Havre. Les valeurs enregistrées en 2001 sur l'ensemble de points régionaux sont inférieures à la valeur de la médiane nationale (145 µg/Kg [ps] sur la période 1999-2001).

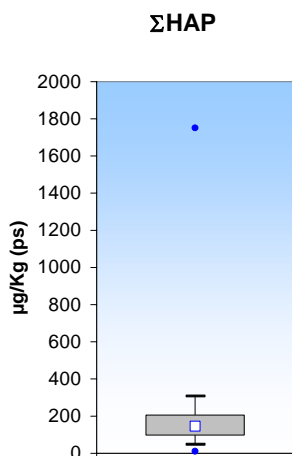


Figure 3.5.16 : Boîte à moustaches présentant les valeurs de la somme des HAP sur la série nationale RNO (1999-2001) en µg/kg (ps)

3.5.11. Sodium et Chlorures

Le sodium fait partie des constituant majeurs de l'eau de mer grâce à la forte proportion de chlorure de sodium (NaCl) dans la quantité totale des sels dissous. Dès le début du XIX^e siècle, on savait que, si la quantité totale de sels dissous pouvait varier d'une mer à une autre (40 g/kg en mer Rouge et 10 g/kg en mer Baltique), la proportion relative des principaux sels restait constante. Dittmar publie en 1884 les relations existantes entre les principaux sels et définit ainsi ce qui est appelé encore 'Loi de Dittmar'.

La plupart des sels se trouvent à l'état d'ions à cause de leur forte solubilité dans l'eau. Ainsi 97,7 % du sodium se trouve à l'état ionique et seul 2,2 % est associé au sulfate et 0,03 % au carbonate.

L'ion Na⁺⁺ représente ainsi 30,6 % des sels dissous et son rapport à la chlorinité est de 0,556. Sa concentration pour une eau de mer de chlorinité égale à 19,37 ‰ est de 10,755 g/kg d'eau de mer (Dietrich, 1957). Certains auteurs la situent entre 10,76 et 10,77 g/Kg. La proportion des cations et des anions dans l'eau douce des fleuves diffère de celle de l'eau de mer, raison pour laquelle, au voisinage des estuaires, la composition de l'eau saumâtre peut différer de celle de l'eau de mer.

Bien que l'un des constituant majeurs de l'eau de mer, le sodium n'est étudié en océanographie en tant qu'élément mais à travers de ses composées et plus particulièrement le NaCl dans l'évolution de la salinité.

L'ion Cl⁻ représente 55,0 % des sels dissous ; son rapport à la chlorinité est de 0,999. Sa concentration pour une eau de mer de chlorinité égale à 19,37 ‰ est de 19,3505 g/kg d'eau de mer (Dietrich, 1957).

3.5.12. Calcium

Selon Pytkowicz et Kester (1971), à pression atmosphérique, avec un pH de 8 et à une température de 25 °C, le calcium se trouve dans l'eau de mer sous les formes suivantes : Ca⁺⁺ (88 %), CaSO₄ (11 %), CaHCO₃⁺ (0,6 %) et CaCO₃ (0,1 %) (Ivanoff, 1972). Sa concentration moyenne dans l'eau de mer est d'environ 412 mg/Kg.

3.5.13. DCO et matières oxydables

La demande chimique d'oxygène (DCO) est une mesure complémentaire de la demande biologique d'oxygène (DBO). Elle est couramment utilisée dans les études environnementaux des eaux continentales. Cette méthode utilise le bichromate de potassium en milieu acide porté à ébullition pendant deux heures.

Les matières oxydables sont calculées à partir des valeurs de la DBO₅ (DBO à 5 jours) et la DCO par la formule suivante :

$$\text{Matières oxydable} = (\text{DCO} + \text{DBO}_5) / 3$$

Quelques ordres de grandeur en milieu continental :

La pollution d'origine domestique peut être estimée à 120 à 140 g/habitant/jour de charge organique dissoute exprimé en DCO dont 5 g/hab/j non biodégradables.

Ce paramètre, cependant, n'est pas approprié pour les analyses d'eau où la salinité de l'échantillon dépasse 3,5 (Champiat et Larpent, 1988). Donc il s'agit d'une mesure inapplicable en eau de mer.

3.5.14. Lithine

La lithine (LiOH) ou hydroxyde de lithium, légèrement alcaline, est utilisée dans les centrales nucléaires pour maîtriser le pH du circuit primaire. Elle est en partie recyclée et n'est rejetée que 1 kg/an/tranche (source EDF).

Sa mesure dans le domaine marin étant nouvelle, aucun réseau ou étude particulière n'ont été trouvés, permettant d'apporter des mesures récentes ou anciennes. De même, aucune étude écotoxicologique n'a été réalisée à ce jour.

3.5.15. Hydrazine

L'hydrazine (N₂H₄) est utilisée comme combustible des fusées et plus particulièrement dans les centrales nucléaires comme réducteur pour éliminer l'oxygène dissous. A l'état liquide, elle est claire et hygroscopique ; à l'état solide, blanche. Elle est toxique, inflammable et caustique et constitue un fort agent réducteur.

Par arrêté interministériel, l'hydrazine fait partie des nouvelles substances à mesurer dans les eaux de la Gironde dans le cadre de la surveillance des rejets de la centrale nucléaire du Blayais.

Le seuil de détection analytique (HPLC) est de 0,05 mg/L et le seuil de quantification de 0,10 mg/L. Sa mesure dans le domaine marin étant nouvelle, aucun réseau ou étude particulière n'ont été trouvés permettant d'apporter des mesures récentes ou anciennes. Seules les valeurs obtenues dans le cadre de la surveillance en 2004 des eaux estuariennes proches de la centrale nucléaire du Blayais sont disponibles. En 2004, toutes les valeurs ainsi obtenues ont été inférieures au seuil de détection.

Cette molécule n'étant ni soluble ni bioaccumulable, il n'y a pas d'intérêt à la rechercher dans le sédiment ou la matière vivante. Les rejets d'hydrazine liés à la centrale de Flamanville s'élevaient à 22 kg en 2000.

3.5.16. Morpholine

La morpholine (C₄H₉NO) est utilisée dans les centrales nucléaires comme anticorrosif. C'est un produit toxique, sans couleur et hygroscopique.

Par arrêté interministériel, la morpholine fait partie des nouvelles substances à mesurer dans les eaux de la Gironde dans le cadre de la surveillance des rejets de la centrale nucléaire du Blayais.

Le seuil de détection analytique (HPLC) est de 0,05 mg/L et le seuil de quantification de 0,10 mg/L. Sa mesure dans le domaine marin étant nouvelle, aucun réseau ou étude particulière n'ont été trouvés permettant d'apporter des mesures récentes ou anciennes. Seules les valeurs obtenues dans le cadre de la surveillance en 2004 des eaux estuariennes proches de la centrale nucléaire du Blayais sont disponibles. Toutes les valeurs ainsi obtenues ont été inférieures au seuil de détection.

Depuis 1989, les rejets de morpholine par la centrale de Flamanville sont nuls.

3.5.17. Ethanolamine

L'éthanolamine (C₂H₇NO) est incolore, inflammable et toxique.

Par arrêté interministériel, l'éthanolamine fait partie des nouvelles substances à mesurer dans les eaux de la Gironde dans le cadre de la surveillance des rejets de la centrale nucléaire du Blayais. Les campagnes effectuées en 2004 constituent la toute première série de valeurs et elles ont été toutes inférieures au seuil de détection.

Le seuil de détection analytique (HPLC) est de 0,05 mg/L et le seuil de quantification de 0,10 mg/L. Sa mesure dans le domaine marin étant nouvelle, aucun réseau ou étude particulière n'ont été trouvés permettant d'apporter des mesures récentes ou anciennes. Seules les valeurs obtenues dans le cadre de la surveillance en 2004 des eaux estuariennes proches de la centrale nucléaire du Blayais sont disponibles. Toutes les valeurs ainsi obtenues ont été inférieures au seuil de détection.

3.5.18. Détergents anioniques

Utilisés pour le nettoyage de surfaces par leur propriété tensioactive, ils sont très répandus dans l'industrie et la vie des ménages. L'IFREMER dispose d'une série de mesures des détergents anioniques en eau de mer obtenus entre la Baie de Saint Brieuc et la Baie de Seine de 1977 à 1992 (figure 3.5.17). Ces résultats, obtenus par la méthode de colorimétrie à l'orthophénantroline cuivrique présentent une grande majorité de mesures égales au niveau du seuil de détection analytique, ce qui se traduit dans la figure par une boîte (contenant 50 % des valeurs) réduite à une ligne qui se confond avec la médiane. Les quelques valeurs qui dépassent ce seuil sont matérialisées par une moustache haute ou tout simplement par la valeur maximale atteinte.

Lors de l'année de surveillance 2003, les valeurs de janvier aux point Jobourg et Barneville ont été respectivement égales à 50 et 82 µg/L. Au mois d'août le point Jobourg présentait 52 µg/L, dépassant de peu le seuil analytique de la méthode utilisée (50 µg/L).

RNO - Détergents anioniques

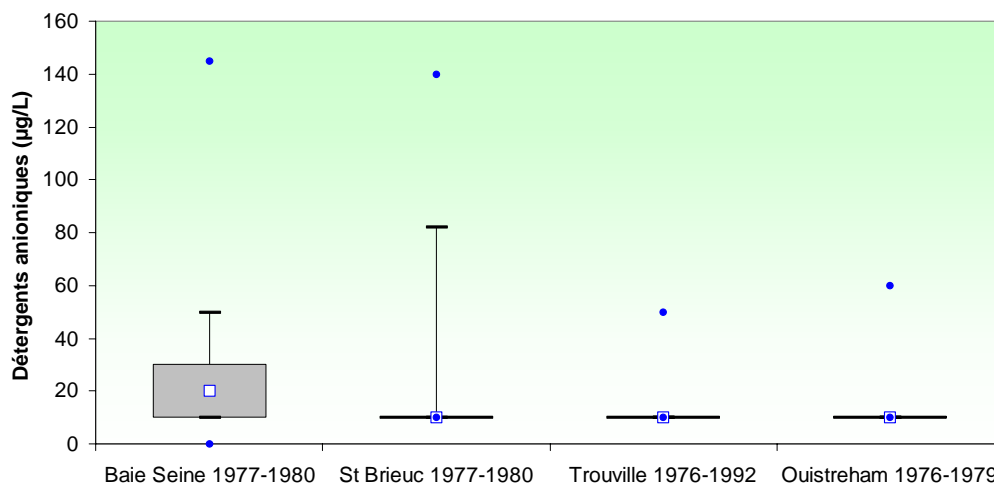


Figure 3.5.16 : Boîte à moustaches présentant les concentrations en détergents anioniques dans l'eau de mer obtenus par l'Ifremer de 1976 à 1992 sur quatre sites

3.5.19. Oxydants résiduels de chloration

Pour limiter le biofouling des conduits et installations des centrales refroidies à l'eau de mer, des injections de chlore à des concentrations de 0,5 à 1,5 mg/L de Cl₂ sont couramment pratiquées. Grâce à la forte demande d'oxydants de l'eau de mer, les concentrations résiduelles restent l'ordre de 0,1 à 0,2 mg/L.

Le chlore est très réactif, et en présence de matière organique il y a formation de sous produits :

- Trihalométhanes (THM)
- Haloacétonitriles (HAN)
- Halophénols (HPh)
- Halo acide acétiques (HAA)

Les THM ont été décrits au compartiment hydrologique (chapitre 3.1.10). Le bromoforme représente environ 95 % des THM en eau de mer (Allonier et *al.*, 2000). Quelques travaux ont été menés sur la distribution en mer de ces substances, très volatiles et présentes en très faibles concentrations. Les autres composants, observés en faibles concentrations dans l'eau de mer, sont les formes bromées telles que dibromoacétonitrile et 2,4,6-tribromophénol.

Mais la formation de composés halocarbonés n'a pas pour seule origine les activités humaines. Des halocarbonés bromés et chlorés volatiles, ainsi que le chloroforme et d'autres composés chlorés, peuvent avoir des sources naturelles. Il est estimé qu'environ 70 % du bromoforme mondial est produit par les algues benthiques et pélagiques (Abrahamsson et *al.*, 2003).

Compartiment substances chimiques 252

Connan et *al.* (1997) trouvent en Baie de Morlaix une bonne corrélation entre les variations saisonnières des dibromométhane (CH_2Br_2) et bromodichlorométhane (CHBrCl_2) et la biomasse phytoplanctonique. Les variations du dibromométhane en Baie de Morlaix varient de 1 $\mu\text{g/L}$ en automne et hiver et jusqu'à 12 $\mu\text{g/L}$ en été. Les concentrations en bromodichlorométhane ont varié entre 0,4 $\mu\text{g/L}$ et 1,1 $\mu\text{g/L}$.

Pruvost et *al.* (1999) trouvent en septembre 1998 dans l'estuaire de la Loire (analyses réalisées 24 h après l'échantillonnage) les concentrations suivantes :

CHCl_3	CHBr_3	CH_2Br_2	CHBrCl_2	CHBr_2Cl
7,98 ng/L	53,04 ng/L	6,43 ng/L	0,70 ng/L	2,26 ng/L

Sur les mesures effectuées sur quatre centrales électriques marines du Royaume Uni, sur la centrale de Paluel et celle de Maasvlakte en Hollande, les concentrations de haloacétonitriles (seul le dibromoacétonitrile a été détecté) par rapport au bromoforme, ont varié de 3 % à 11 % (Khalanski, 2003). Les halophénols (2,4,6-tribromophénol) ont été mesurés sur cette même série d'échantillons et seul 46 % de résultats ont été au-dessus de la limite de détection. La plus forte concentration, égale à 0,29 $\mu\text{g/L}$, a été observée à Maasvlakte.

3.6. Synthèse des propriétés physico-chimiques de l'eau de mer

La composition moyenne de l'eau de mer est relativement stable pour les masses d'eau océaniques. Pour les eaux côtières, l'influence des continents et des îles est appréciée au travers de leurs apports en substances et éléments, se retrouvant dans l'eau de mer sous forme dissoute ou particulaire.

Afin d'encadrer les divers résultats des analyses physico-chimiques des chapitres précédents, nous présenterons dans un premier temps une liste des éléments et substances qui composent cette eau de mer océanique obtenue de la littérature scientifique (tableau 3.6.1).

Le manque de références d'une eau de mer de La Manche *type* nous mène à identifier, pour les différents paramètres étudiés, les valeurs extrêmes (maximum et minimum) observées entre Barfleur et Granville par les réseaux de l'IFREMER et sur l'ensemble des études en relation avec cette zone (tableau 3.6.2).

Élément	concentration	Élément	concentration
Ag	2.5	Mo	10 000
Al	300	N	0.42 E6
As (V)	1 700	Na	10.8 E9
Au	0.03	Nb	10
B	4.5 E6	Nd	4.2
Ba	15 000	Ni	530
Be	0.21	P	65 000
Bi	0.0042	Pd	0.07
Br	67 E6	Pr	0.87
C	28 E6	Pt	0.27
Ca	448E6	Ra	130 E-6
Cd	79	Rb	0.12 E6
Ce	1.7	Re	8
Cl	18.8 E9	Ru	≤0.005
Co	1.2	S	898 E6
Cr (VI)	250	Sb	150
Cs	306	Sc	0.86
Cu	210	Se (VI)	100
Dy	1.5	Si	2.5 E6
Er	1.3	Sm	0.84
Eu	0.21	Sn	0.6
F	1.3 E6	Sr	7.8 E6
Fe	250	Ta	≤2.5
Ga	1.7	Tb	0.21
Gd	1.3	Te (VI)	0.05
Ge	4.3	Th	0.05
Hf	3.4	Ti	10
Hg	0.45	Tl	14
I (V)	58 000	Tm	0.25
In	0.1	U	3 200
Ir	0.002	V	2 150
K	390 E6	W	100
La	5.6	Y	13
Li	0.18 E6	Yb	1.5
Lu	0.32	Zn	320
Mg	1.29 E9	Zr	17
Mn	72		

Tableau 3.6.1 : Composition des principaux éléments dissous dans l'eau de mer en 10^{-12} g/g. Source : Li, Y. H., Distribution patterns of the elements in the ocean: A synthesis, Geochim. Cosmochim. Acta, 55 , 3223-3240, 1991

Paramètre	Unité	Maximum/ période	Minimum/ période	Source	Emprise géographique	Observations
PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES						
T° mer	°C	22° / juillet	5° / janvier	REPHY 1987-2004	Barfleur- Granville	
Salinité	sans unité	36,5 / nov	31,8 / août	REPHY 1993-2004	Barfleur-Granv	manque décembre
NH4	µM	2 / août	0,02 / avril	REPHY 2001-2004	Barfleur-Granv	
NO2	µM	1,03 / nov	0 / mai à juillet	FLA	point référence et 301 à307	pas de valeurs REPHY
NO3+NO2	µM	71,6 / fév	0 / juin	REPHY 2001-2004	Barfleur-Granv	avril à sept valeurs ≈ 0,1 µM
PO4	µM	1,36 / fév	0,02/ avril	REPHY 2001-2004	Barfleur-Granv	avril à juin valeurs < 0,1 µM
Si(OH)4	µM	30,98 / fév	0,42 / mai	REPHY 2001-2004	Barfleur-Granv	janv à mars valeurs > 20 µM
Chla	µg/L	9,86 / mai	0,16 / janv	REPHY 2001-2004	Barfleur-Granv	
Production primaire	mg C/m ³ /h	23 / mai	0 / janv et juillet	FLA	point référence, 302 et 306	1976-1978 : 302 et306 1987-2004 : référence
Abondances phytoplancton	cellules/L	2 600 000 / juillet	6 000 / janv et nov	REPHY 2001-2004 FLA 1976- 2004	Barfleur-Granv ----- FLA	----- 1976-1978 tous points 1987-2004 référence
CONTAMINANTS (dans la chaire des moules)						
Plomb	mg/kg (ps)	7,6	0,5	RNO + Cogéma	Villerville à Bréville	RNO 1995 Cogéma 2002-2003
Cuivre	mg/kg (ps)	14	5	RNO + Cogéma	Villerville à Bréville	RNO 1995 Cogéma 2002-2003
Zinc	mg/kg (ps)	180	35	RNO + Cogéma	Villerville à Bréville	RNO 1995 Cogéma 2002-2003
Nickel	mg/kg (ps)	2,7	0,8	RNO + Cogéma	Villerville à Bréville	RNO 1999 Cogéma 2002-2003
Chrome	mg/kg (ps)	2,9	0,5	RNO + Cogéma	Villerville à Bréville	RNO 1995 Cogéma 2002-2003
Fer	mg/kg (ps)	350	200	Cogéma	sur 3 points uniquement	2002-2003
Aluminium	mg/kg (ps)	125	38	Cogéma	sur 3 points uniquement	2002-2003
Manganèse	mg/kg (ps)	9,5	4,5	Cogéma	sur 3 points uniquement	2002-2003
HAP	µg/kg (ps)	450	20	RNO + Cogéma	Villerville à Bréville	RNO 1994 Cogéma 2002-2003
Détergents anioniques	µg/L	150	10	RNO + Cogéma	Sait Briec Baie de Seine	RNO 1976-1992 (DANS L'EAU DE MER)

FLA = Flamanville

Tableau 3.6.2 : Étendue des valeurs pour les différents paramètres physico-chimiques observées le long des côtes nord et ouest du Cotentin.

3.7. Conclusions

Actuellement, aucune substance chimique n'est analysée dans le cadre du programme de surveillance écologique des quatre CNPE implantés en bord de mer. Seules la lithine, la morpholine, l'hydrazine et l'éthanolamine font partie du groupe de substances nouvelles mentionnées dans le nouvel arrêté interministériel concernant le CNPE du Blayais (Gironde).

Cependant, grâce aux données acquises par le réseau national RNO sur ce secteur nord-Cotentin et aux études de surveillance menées pour la COGEMA, une synthèse des concentrations en métaux et substances diverses dans l'eau de mer et dans la chair de coquillages a pu être faite. Le secteur nord-ouest-Cotentin présente des concentrations en éléments et substances chimiques en général bien inférieures à celles observées, par exemple, en Baie de Seine où de nombreuses industries, implantées tant près de l'embouchure qu'en amont, génèrent une pollution sensible, mais en constante diminution grâce aux efforts des pouvoirs publics.

4. Le domaine benthique

<i>Chantal</i>	<i>Abernot-Le Gac</i>	<i>DYNECO-Benthos</i>
<i>Luc</i>	<i>Drévès</i>	<i>LER-D</i>
<i>Pierre</i>	<i>Arzel</i>	<i>STH-LBH</i>

L'étude de projet menée sur ce site (1976-1978) a permis, tout d'abord, de définir les grandes lignes de l'inventaire phyto- et zoobenthique, puis de sélectionner les secteurs pour le suivi de peuplements caractéristiques et pour la réalisation d'études de dynamique de populations.

En zone intertidale, ont ainsi été retenus :

- Le suivi des peuplements des substrats meubles dans l'anse de Sciotot, complété d'une étude de dynamique de la population du crustacé amphipode *Urothoë brevicornis*. Ce suivi et cette étude ont été arrêtés en 1992.
- L'étude des peuplements animaux des substrats durs, plus précisément ceux des crustacés cirripèdes. Cette étude, limitée dans un premier temps à la Pointe du Rozel, est étendue au Cap de Flamanville, en contrebas du sémaphore en 1983 et à l'anse de Quédoy en 1993. Le platier de Diélette est également étudié depuis 1993. Cette étude se poursuit en 2005.
- L'étude de dynamique de population de l'algue *Fucus serratus* du platier de Diélette, seule population jugée susceptible de fournir des résultats significatifs d'impacts des rejets de la centrale (jugement porté en 1978). Cette étude se poursuit également en 2005.

En zone sublittorale, les inventaires faunistiques et floristiques ont été réalisés entre septembre 1977 et août 1978 à l'aide d'une drague Rallier du Baty. Seuls les peuplements faunistiques sublittoraux ont été étudiés à partir de 1983 au travers de l'étude de dynamique de population du bivalve *Nucula nucleus*. Cette étude a été arrêtée en 1991.

Mentionnons l'étude du domaine sublittoral réalisée par sonar latéral et prises de vues sous-marines en 1983 et 1984. Les résultats cartographiques obtenus, complétés de travaux réalisés au nord (Auffret, 1986) et au sud de la zone (Berné, 1989) ont fait l'objet de l'édition de la *Carte des formations superficielles sous-marines aux abords de Flamanville* (Augris, 2005).

L'état des connaissances présenté dans ce chapitre porte sur le phytobenthos des substrats durs intertidaux et subtidaux, ainsi que sur le zoobenthos des substrats durs intertidaux. Dans le sous-chapitre phytobenthos, seront brièvement abordées les problématiques abordant (1) la dérive des macro-algues et leur échouage, (2) la modification de la distribution des grands peuplements algaux.

4.1. Phytobenthos

Une population relativement dense de *Fucus serratus* Linné est présente sur la zone intertidale du platier de Diélette, situé au nord du site de la centrale de Flamanville. A l'issue de l'étude de projet menée sur ce site (1976-1978), cette population de *Fucus serratus* a été sélectionnée en tant qu'indicatrice possible de perturbations éventuelles dues aux rejets de la centrale.

Cette population algale fait donc l'objet d'un suivi en continu depuis mars 1983, ce qui n'est pas le cas des autres peuplements végétaux marins (laminaires, rhodophycées, ...).

4.1.1. Phytobenthos intertidal

La zone intertidale correspond à la zone de balancement des marées (figure 4.1).

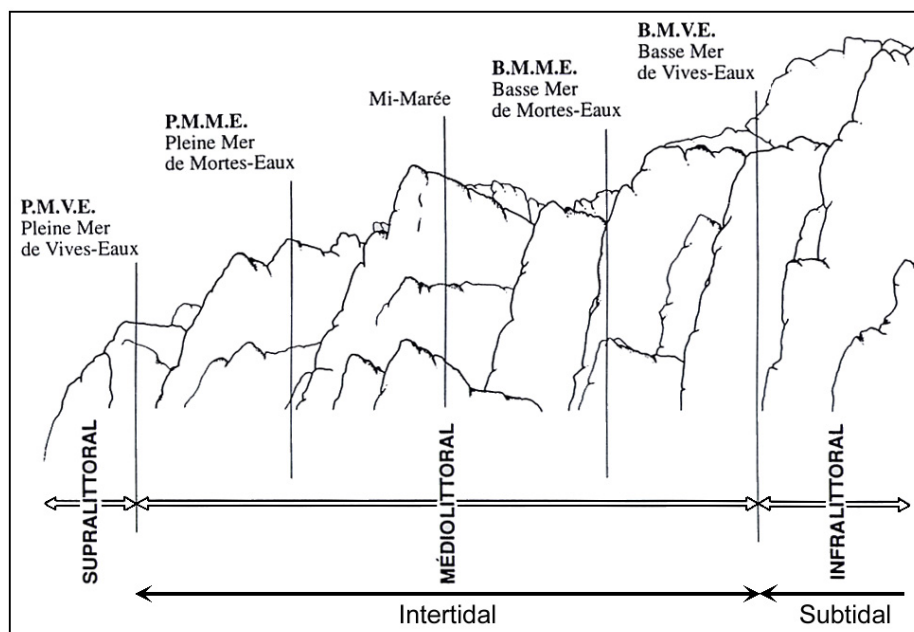


Figure 4.1: Descriptif schématique de la zone intertidale

4.1.1.1. Inventaires 1976 et 1977 réalisés dans le cadre des études d'avant-projet et de projet

Ce paragraphe concerne uniquement les études réalisées en 1976 et 1977 dans le cadre des études d'avant-projet et de projet de la centrale.

Le recouvrement algal des substrats durs intertidaux du secteur de Flamanville, à l'image de celui des autres pointements rocheux voisins (La Hague, Le Rozel et Carteret), est relativement faible, du fait même d'une forte intensité des actions hydrosédimentaires. De nombreuses zones sont ainsi dépourvues de végétation, en particulier les hauts niveaux.

Les Rhodophycées (algues rouges) dominent tant quantitativement que qualitativement (Belsher, 1977), en particulier les Corallinacées (algues calcifiées par suite du dépôt de cristaux de calcite dans leurs parois cellulaires). Les espèces de mode calme, telles les algues brunes *Fucus spiralis*, *Ascophyllum nodosum* se font rares. Les cuvettes de rétention parsèment les estrans rocheux, permettant l'installation d'espèces de niveaux inférieurs.

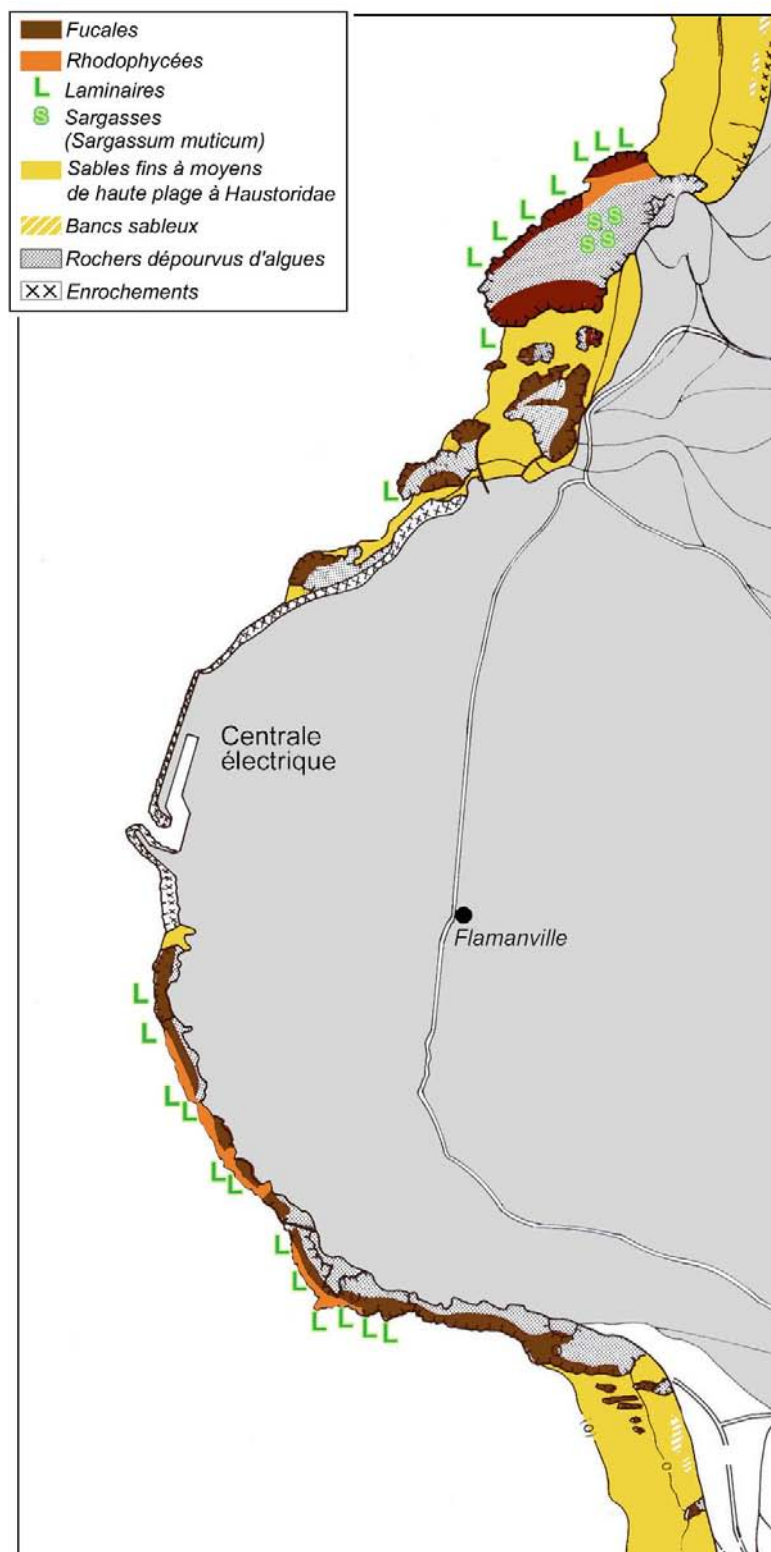


Figure 4.2 : Carte biomorphosédimentaire de la zone intertidale au 1/25 000 Golfe Normano-Breton. Extrait de la carte 1 – Les Pieux (Guillaumont et al., 1987)
NB : Cette carte, publiée en 1987, est le résultat d'observations réalisées entre 1982 et 1984, et la compilation de données diverses, dont celles collectées en 1976-1978.

Les bas niveaux, c'est à dire ceux qui bordent les Laminaires, présentent une couverture florale constituée principalement d'algues brunes du genre Fucales, vertes

du genre Ulvales et rouges du genre Gigartinales. Les Rhodophycées dominent tant en diversité qu'en quantité. C'est un groupe stable, les fluctuations saisonnières étant le fait des Phéophycées (algues brunes) et des Chlorophycées (algues vertes) principalement. Sur la Platier de Dielette, la configuration des lieux a permis le développement d'une population de *Fucus serratus*.

Cap de Flamanville

- Etage médiolittoral supérieur : Rares touffes de l'algue brune *Pelvetia canaliculata*.
- Etage médiolittoral inférieur : ceintures très fragmentées de *Fucus vésiculosus* et *Fucus serratus*. Les cuvettes de rétention sont tapissées par l'algue encroûtante rose *Lithophyllum incrustans* devenant plus dense vers les bas niveaux. On y trouve aussi l'algue verte *Enteromorpha compressa*.
D'autres algues traduisent par leur apparition et leur abondance le passage progressif du médiolittoral supérieur à l'infralittoral supérieur : *Corallina officinalis*, *Corallina elongata* (= *Corallina mediterranea*), *Bifurcaria bifurcata* (= *Bifurcaria rotunda*), *Fucus vesiculosus*.

- Etage infralittoral supérieur émergeant aux basses mers de vives eaux : abondance des Rhodophycées *Rhodomenia palmata* et *Osmundea pinnatifida* (= *Laurencia pinnatifida*), et des Phéophycées *Laminaria saccharina* et *Laminaria digitata*.

De part et d'autre du Cap, une ceinture à *Rhodothamniella floridula* a été observée au niveau des rochers ensablés. Grandes taches rouges de l'algue *Hildenbrandia rubra* (= *Hildenbrandia prototypus*).

Pointe du Rozel

- Etage médiolittoral supérieur : ceinture de *Pelvetia canaliculata* mélangée de *Fucus spiralis* dans sa partie inférieure.
Nombreuses cuvettes de rétention.
- Etage infralittoral : Importantes ceintures algales : *Palmaria palmata* (= *Rhodomenia palmata*), *Laminaria saccharina*, *Laminaria digitata*.

4.1.1.2. Etude du Golfe Normano-Breton

Dans le cadre de l'Etude Régionale Intégrée du Golfe normano-breton¹, sept cartes ont été établies sur un fond IGN au 1/25 000. Les renseignements y figurant sont issus de la synthèse de données acquises, pour l'essentiel, entre 1982 et 1984 sur la base de l'interprétation de photographies aériennes IGN et d'études biologiques et sédimentologiques, et la compilation de données diverses (Figure 4.2).

¹ *Guillaumont B., Hamon D., Lafond L., Le Rhun J., Levasseur J. & Piriou J.Y., 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).*

4.1.1.3. Observations réalisées en mars 2005

Afin d'actualiser les connaissances sur ce secteur, tout particulièrement sur les espèces dominantes, la mission sur le terrain réalisée en mars 2005 a été mise à profit pour acquérir de nouvelles observations. Toutefois, l'objet principal de la mission étant les mesures contractuelles sur la radiale de *Fucus serratus* et sur les cirripèdes, ces observations supplémentaires ont été limitées par le temps et la marée.

Pour des données plus précises (prospection sur plusieurs radiales, accès aux laminaires, ...), une mission de terrain devrait être programmée spécifiquement à cette fin, en profitant de forts coefficients de marée.

Les secteurs observés en mars 2005 concernent, du nord au sud, le platier de Diélette, le Cap de Flamanville (l'anse de Quédoy et le bas du Sémaphore) et la Pointe du Rozel.

Diélette

Les thalles de *Porphyra sp.* tapissent quelques blocs le long de la digue sud de la plage de Diélette (photo 4.1 droite et gauche). Sur ces substrats, des Chlorophycées ont pu être observées à d'autres périodes de l'année. Plus bas, dans les cuvettes rocheuses, les Corallinacées abondent : *Corallina elongata* , *Lithophyllum sp.* (photo 4.2 droite et gauche, photo 4.3 droite).



Photo 4.1

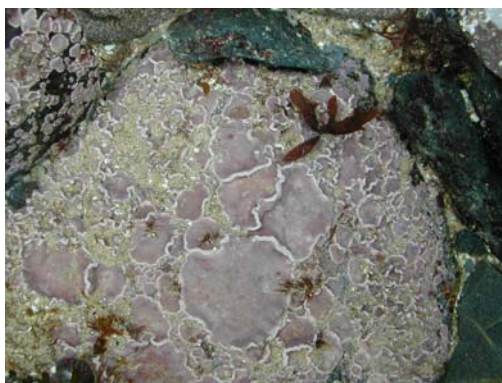


Photo 4.2



Photo 4.3



Sur le platier, l'espèce *Fucus serratus* (photo 4.3 gauche) mêlée à quelques plants de *Fucus vesiculosus* constitue la seule population importante de Phéophycées sur le médiolittoral de la région de Flamanville (les laminaires se situant sur l'infralittoral).

Vers le bas de l'estran, ainsi que tout autour de la population de *Fucus*, les Rhodophycées (photo 4.4 droite) redeviennent majoritaires, avec en particulier les Gigartinales (*Chondrus crispus*, *Mastocarpus stellatus*...), et la Cérámiale *Osmundea pinnatifida*. Les espèces *Calliblepharis sp.*, *Lomentaria articulata* et *Cryptopleura ramosa* ont été observées.

Dans les grandes cuvettes, la flore est abondante : Ulves, Sargasses, et toujours Corallinacées... (photo 4.4 gauche).



Photo 4.4



Quédoy

Sur les blocs, une zone est recouverte de *Porphyra sp.* Plus bas, quelques *Fucus vesiculosus* (photo 4.5 droite). Quelques algues vertes localisées (photo 4.5 gauche).

A la limite médio/infralittoral, avant les laminaires, on retrouve les mêmes espèces d'algues rouges qu'aux autres stations : les Corallinacées, Les Gigartinales (*Mastocarpus stellatus*, *Chondrus crispus*...)(photo 4.6).



Photo 4.5

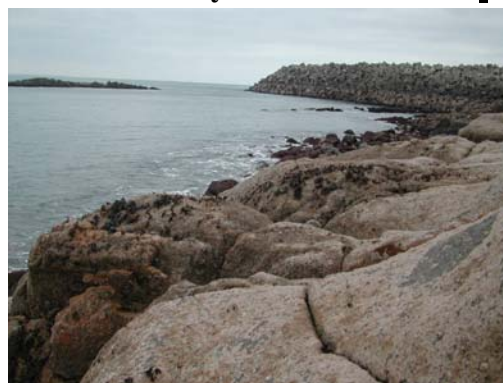


Photo 4.6



Cap de Flamanville-Sémaphore

Les Rhodophycées sont relativement abondantes en limite inférieure de la zone intertidale, formant une ceinture régulière (photo 4.7 gauche) longeant les premières *Laminaria digitata*. (photo 4.8 gauche et droite).

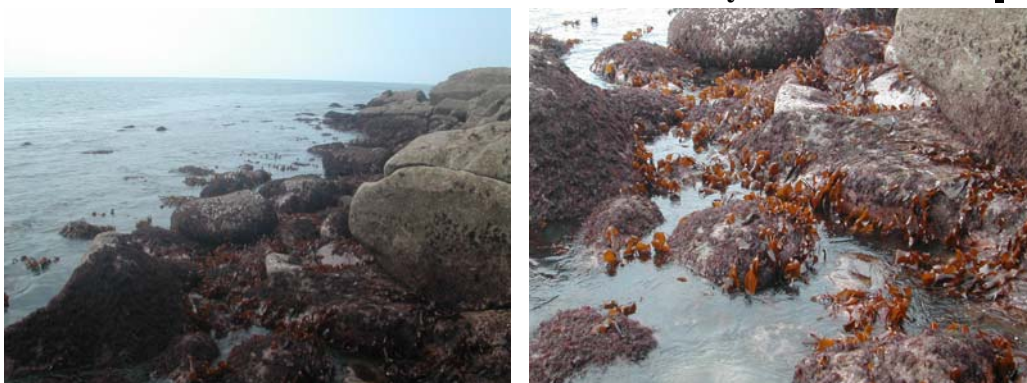
Ce ruban rouge est composé en majorité de Gigartinales (*Chondrus crispus...*) et d'algues calcaires (*Corallina elongata*, *Lithophyllum incrustans*, *Lithophyllum lenormandii...*) (photo 4.7 droite).



Photo. 4.7



Photo.4.8



Pointe du Rozel

Les algues calcaires dominent sur tout le médiolittoral (photo 4.9 gauche). Quelques lames éparses de l'algue rouge *Porphyra sp.* sont observées. L'espèce *Osmundea pinnatifida* (photo 4.9 droite) est bien représentée également. Elle forme avec les Gigartinales (*Chondrus crispus* en majorité) et les Corallinales une ceinture d'algues rouges assez abondante en bas du médiolittoral (photo. 4.10 droite et gauche).

En septembre, présence d'une petite Cyanophycée (algue bleue), *Rivularia bullata*, parmi les cirripèdes (photo 4.11 droite et gauche). Cette espèce estivale forme de petites boules de 1 à 2 cm de diamètre, de couleur vert sombre souvent bleutée, gélatineuses et élastiques, sur les rochers battus au niveau moyen des pleines mers de morte-eau.

Photo 4.9

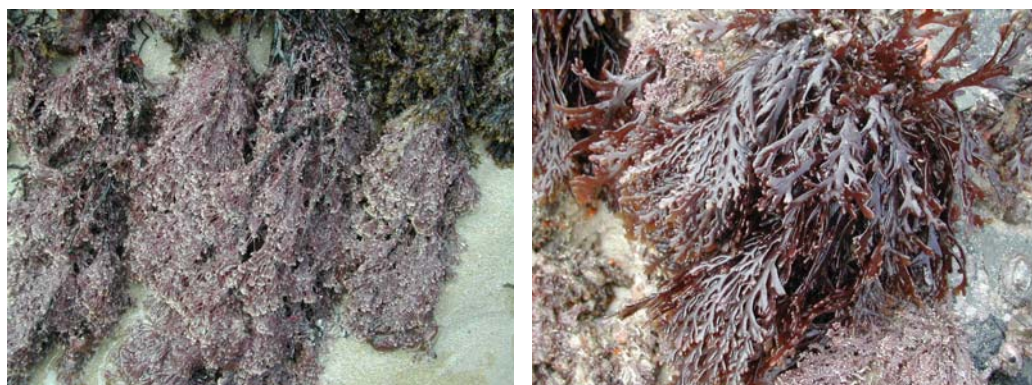


Photo.4.10





Photo.4.11

4.1.1.4. Suivi d'une population de *Fucus serratus*

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 (figures 4.3 et 4.9). Etudiée 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.

4.1.1.4.1. 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.

Photo
4.12 :

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.

- **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.

Photo 4.13 :

Fucus serratus
Réceptacles
contenant les
gamétocytes
mâles ou
femelles.



- **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.

4.1.1.4.2. Méthodologie

L'étude de dynamique essaye d'appréhender les principales variations de croissance, niveau de reproduction et biomasse, susceptibles de se produire dans l'année, au cours du cycle biologique.

a) Evolution du stock

Des prélèvements réguliers sont effectués depuis septembre 1983 dans trois secteurs de référence de la population de *Fucus serratus* sur le platier de Diélette (figures 4.3 et 4.9). 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.

Sur chacune des radiales repérées, 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. 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.

b) Baguages sur radiales

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.



Photo 4.14 :

Pieds de Fucus serratus bagués sur le platier de Diélette.

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 2004. 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.

c) Paramètres mesurés (figure 4.4)

Au cours de chaque mission, 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.
- Le diamètre (ϕ) en cm : le diamètre maximal est mesuré à la base, juste au-dessus de l'épatement formé par le système de fixation.
- La fertilité : présence ou non de conceptacles.

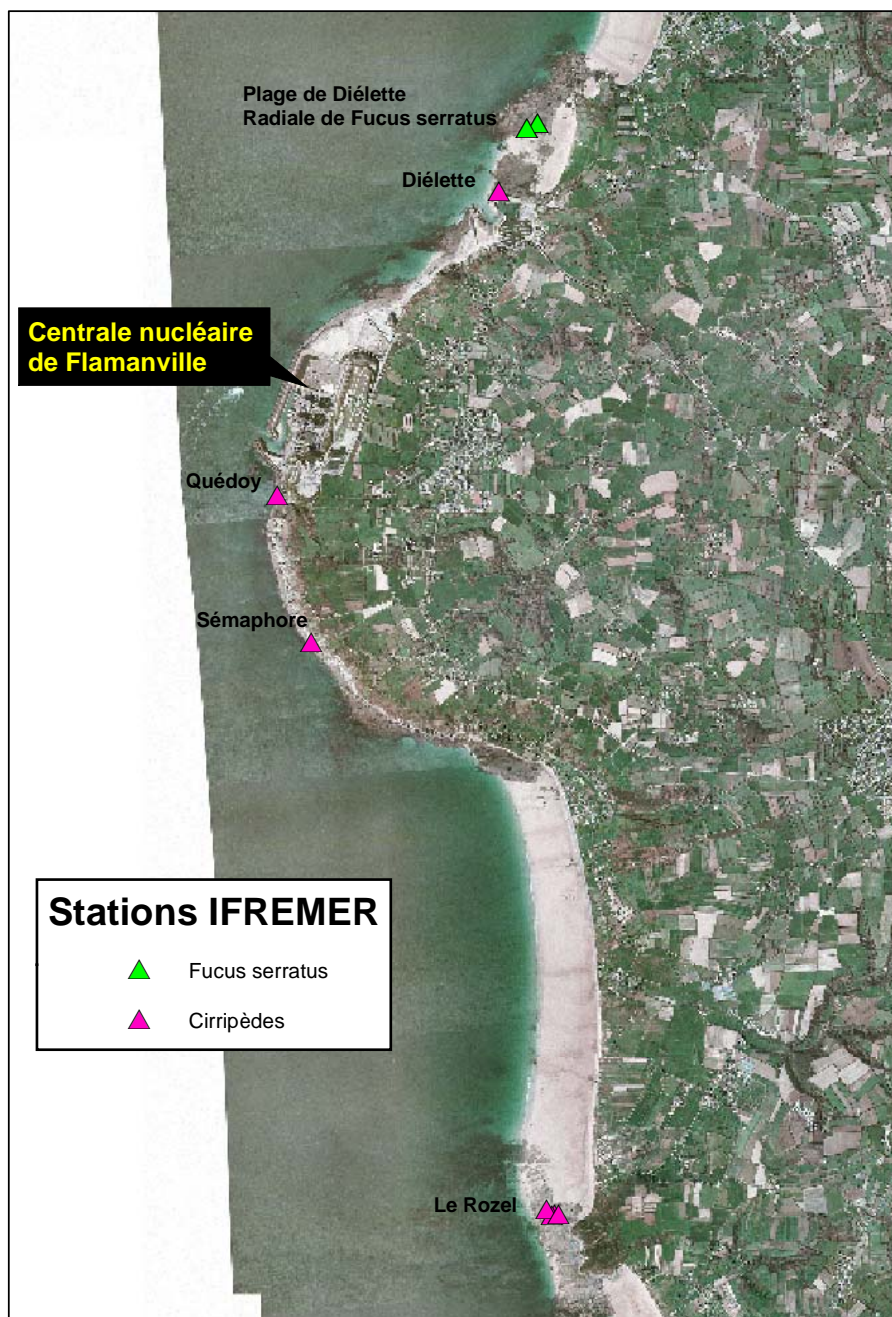


Figure 4.3: Localisation de la radiale d'étude de *Fucus serratus* sur le platier de Diélette et des stations d'échantillonnage des cirripèdes.

Photographie mars 2002 © ortholittorale 2000

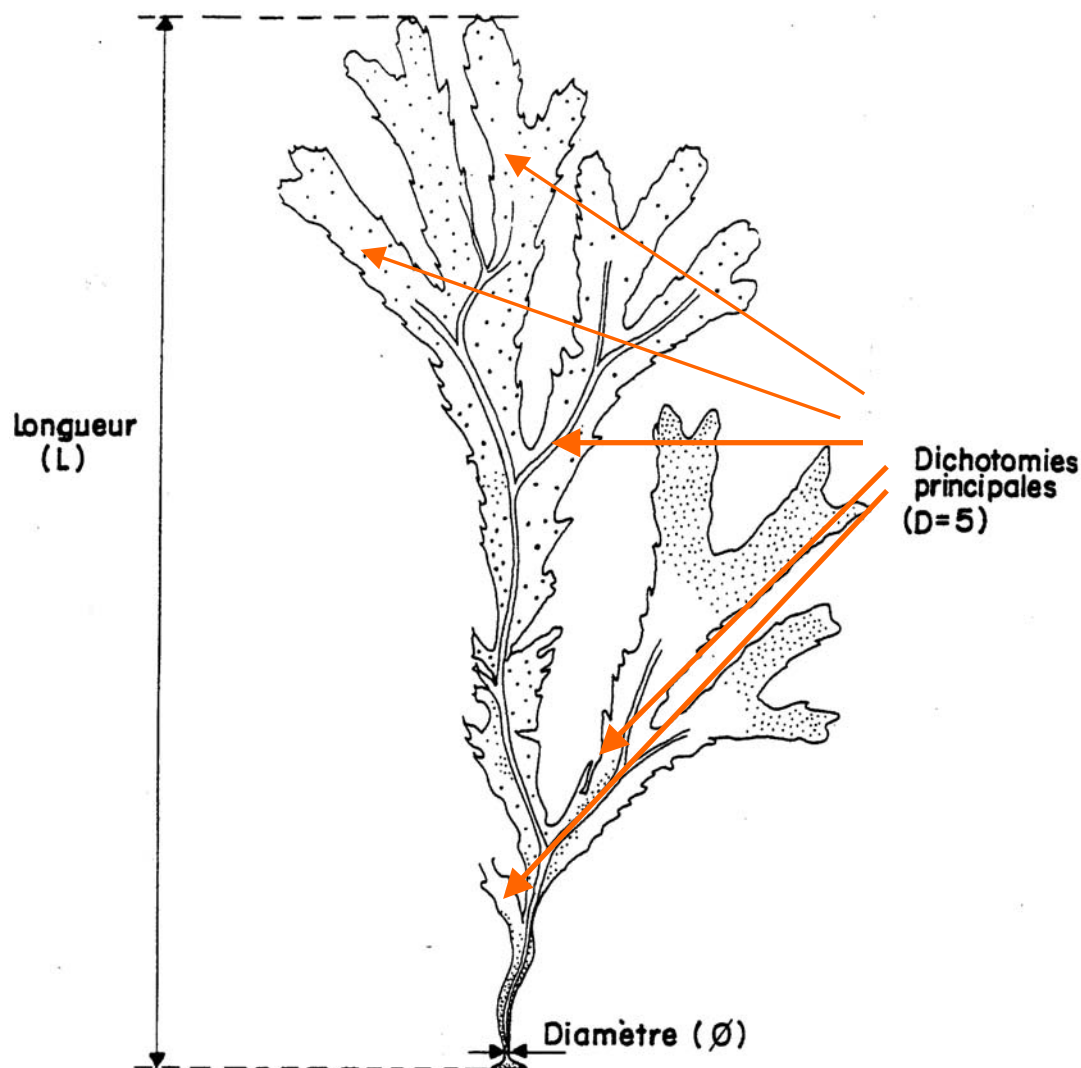


Figure 4.4 : *Fucus serratus*, paramètres mesurés : longueur, diamètre et nombre de dichotomies.

4.1.1.4.3. Résultats

a) Evaluation du stock de *Fucus serratus*

Tous les résultats, présentés ci-après, sont exprimés en grammes par quart de m² et en poids sec.

Tous secteurs confondus, les valeurs les plus importantes de poids sec sont enregistrées en début d'étude (200 à 225 g en mars 1984 et 1985 ; aux environs de 500 g en septembre 1983 et 1984).

Les estimations décroissent par la suite, des valeurs faibles étant constatées de 1990 à 1992, tant en fin d'hiver qu'en fin d'été (figure 4.5).

De 1993 à 2000, la tendance générale s'est inversée, permettant d'observer un niveau avoisinant les moyennes saisonnières connues sur ce site. Mais, depuis 2001, la biomasse algale continue à chuter, avec une valeur moyenne minimale en

2004 de 36 g en mars et de 196 g en septembre (valeur avoisinant les 194 g de 2003).

b) Biométrie des algues baguées

***Nombre de dichotomies.**

La jeunesse de la population baguée en 1993 se voyait confirmée par le nombre moyen de ramifications des pieds de *Fucus serratus* noté tant en mars (11,7) qu'en septembre (13,6).

Par la suite, ce nombre croît régulièrement de mars 1994 (16,7) à mars 1995 (18,2). La baisse observée en septembre 1995 du nombre de dichotomies (16,6) est confirmée en mars 1996 (10,0). La valeur observée en septembre 1996 (15) avoisine la moyenne (16) sur ce site. Les valeurs observées de 1998 (19 et 20) à 2003 (21 et 22) montrent une sensible augmentation. En 2004, le nombre moyen de dichotomies continue à croître pour atteindre 24 en septembre, valeur maximale observée sur ce site (figure 4.6).

***Diamètre des stipes.**

À l'exception des diamètres moyens notés en 1983 et 1984 (7 mm et plus), ceux-ci se situaient de 1985 à 1993 aux alentours de 5 mm.

De mars 1994 à septembre 2001, le diamètre moyen des individus bagués est supérieur à la valeur moyenne obtenue sur ce site depuis 1977 (6,4 mm). Cet accroissement du diamètre moyen est à lier à celui de la longueur moyenne des thalles. Depuis 2002, les valeurs se situent près de la moyenne (figure 4.6).

***Longueur des thalles.**

La croissance des algues se fait entre mars et septembre ; ceci explique l'augmentation de la longueur moyenne à cette période. Les pieds les plus grands, qui sont également les plus fertiles, sont aussi les plus fragiles. Arrachés facilement en période hivernale, ils induisent une baisse de la longueur moyenne des thalles en mars suivant, suivie d'une nouvelle augmentation en fin d'été.

L'observation des données de longueurs moyennes acquises depuis 1977 ne permet pas, pour l'instant, de conclure à une évolution significative de ce paramètre que ce soit en relation avec le fonctionnement de la Centrale ou avec une évolution climatique. Notons depuis 1994 une tendance à une augmentation des longueurs moyennes aux deux périodes d'observations, même si cette augmentation est moindre en 2001 et 2002 (figure 4.6).

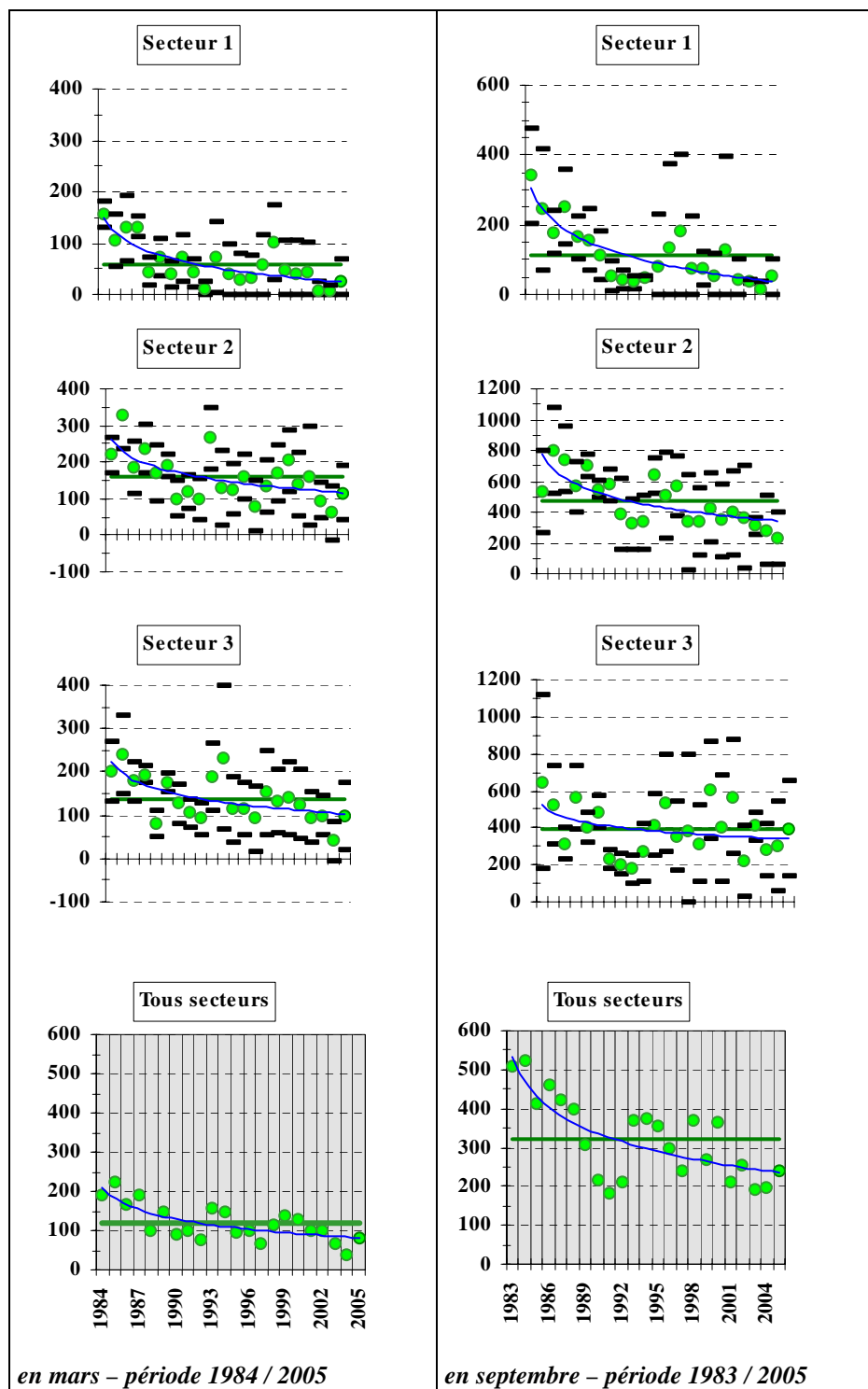


Figure 4.5 : Evolution du poids sec de *Fucus serratus* (en g/0,25 m²). Moyenne et écart-type, comparés au stock moyen estimé sur la totalité de la période.

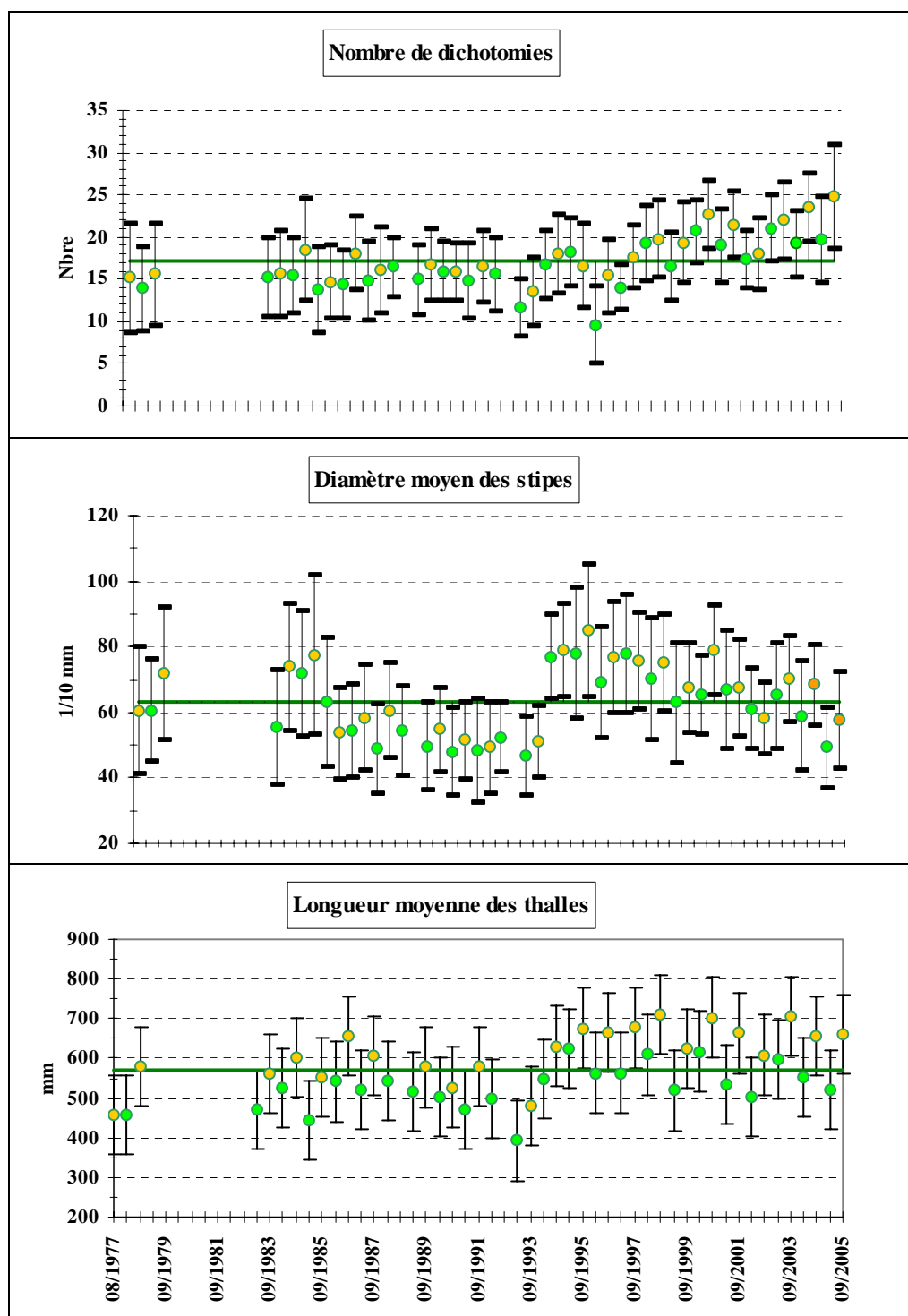


Figure 4.6 : Evolution saisonnière (mars en vert et septembre en orange) des paramètres mesurés chez *Fucus serratus* à Diélette (moyenne et écart-type) par rapport à la mesure moyenne estimée de 1977 à 2005.

***Fertilité**

L'examen visuel de l'extrémité des thalles permet de nuancer depuis 1993, le classement de la fertilité en cinq stades différents (figure 4.7), de l'absence totale de réceptacles (stade 0) à la présence sur chaque fronde de réceptacles terminaux (stade 4). Le taux de fertilité moyen est de 19 % en mars, 35 % en juin et 66 % en septembre.

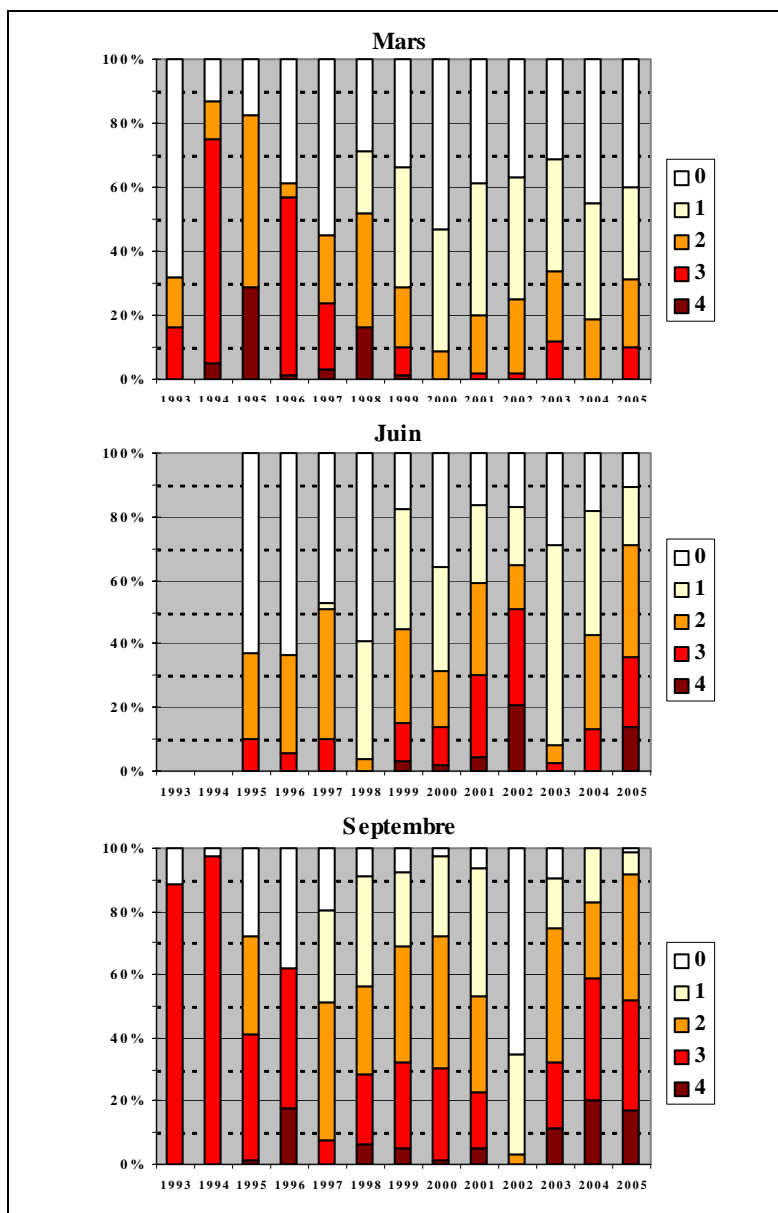


Figure 4.7 : Evolution de la fertilité de *Fucus serratus* depuis 1993, stade par stade.

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 fertilité. Les pieds de *Fucus serratus* possèdent des conceptacles

renfermant des organes mâles ou femelles, selon les individus, plus ou moins fertiles tout au long de l'année.

La période optimale de fertilité s'étendrait principalement d'août à janvier, ce que confirment nos observations faites en septembre, exception faite de 2002. En juin, le nombre de pieds fertiles observés au cours des quatre premières années d'observations est faible ; ceux qui le sont, présentent des réceptacles défoliés. Mais, de 1999 à 2004, ce nombre est élevé.

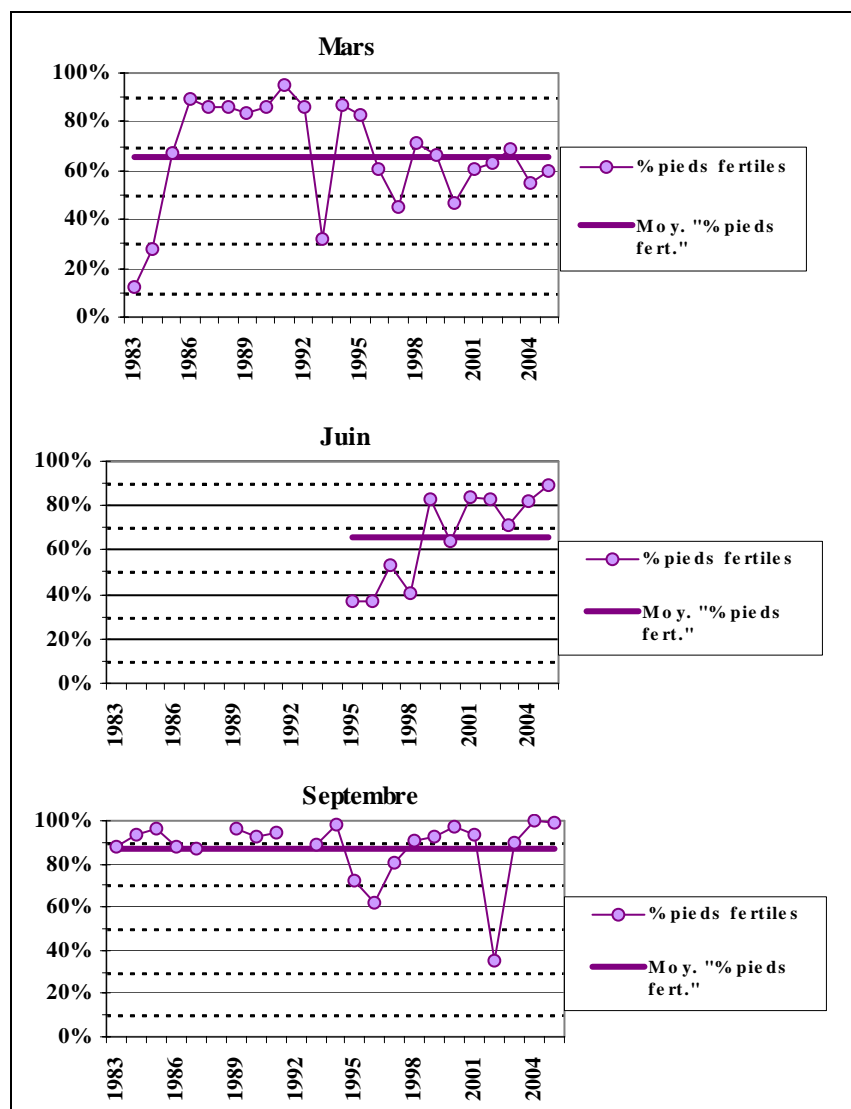


Figure 4.8: Evolution saisonnière du pourcentage de pieds fertiles de *Fucus serratus* depuis 1983.

Le peuplement de *Fucus serratus* du platier de Diélette est globalement fertile toute l'année, avec toutefois une période de fertilité plus importante en fin d'été, tant en nombre de pieds présentant des caractères de fertilité (83 %) qu'en taux moyen (49 %) obtenu en tenant compte des différents stades (moyennes sur période 1993/2004). La fertilité décroît pendant la période hivernale pour

atteindre respectivement pour ces deux approches, 61 % et 32 % en fin d'hiver, puis 63 % et 30 % en fin de printemps (figure 4.8).

Les variations les plus importantes de ces taux sont notées en fin d'hiver. Elles s'expliqueraient plus par le fait que la période de mesure choisie (mars) se situerait dans une phase charnière dans la décroissance de cette fertilité.



Figure 4.9 : Platier de Diélette – Limites de la population de Fucus serratus étudiée.

© Ortholittorale 2000

4.1.2. Phytobenthos subtidal

Le domaine subtidal se situe en-dessous de la zone de balancement des marées et ne découvre donc jamais à marée basse (figure 4.1) . C'est là que vivent, entre autres algues, les laminaires.

C'est à ce niveau que deux campagnes de prélèvements à la drague et une série de plongées ont été réalisées de 1975 à 1977 pour les études d'avant projet et de projet de la centrale.

4.1.2.1. Etudes d'avant projet et de projet de la centrale

Deux campagnes de prospection par prélèvements à la drague ont été menées en 1975 et 1976, dans le cadre des études d'avant-projet et de projet de la centrale (Localisation des dragages, figure 4.10). Le dépouillement des échantillons a permis de dresser les grandes lignes de la répartition des peuplements benthiques.

Au delà du champ de laminaires et de sa flore associée, trois peuplements principaux se différencient :

- **Peuplement à Corallinacées encroûtantes dont l'épiflore est à dominante d'espèces de substrat rocheux.** Ce peuplement occupe une partie des fonds situés entre l'isobathe - 10 m et l'isobathe - 20 m, de l'anse de Sciotot au plateau de Diélette.

L'épiflore comprend essentiellement les espèces suivantes :

- Groupe des Rhodophycées ou algues rouges : *Acrosorium uncinatum*, *Delesseria sanguinea*, *Cryptopleura ramosum*, *Calliblepharis ciliata*, *Palmaria palmata*, *Plocamium cartilagineum*.
- Groupe de Phéophycées ou algues brunes : *Dictyota dichotoma*.

- **Peuplement à Corallinacées encroûtantes et à épiflore de substrat caillouto-graveleux.**

Ce peuplement occupe une partie des fonds situés entre les isobathes - 10 m et - 20 m, approximativement :

- du Cap de Flamanville à la pointe du Rozel.
- au sud de la pointe du Rozel
- au nord du 49°35' de latitude.

L'épiflore de substrat rocheux a tendance à disparaître (*Delessaria sanguinea*, *Palmaria palmata*...) au profit d'espèces plus petites, telles les Rhodophycées *Heterosiphonia plumosa* et *Acrosorium uncinatum*, et la Phaeophycée *Spacelaria plumula*

- **Faciès d'appauvrissement à Corallinacées encroûtantes**, telles *Lithothamnium lenormandii*, *Lithophyllum incrustans*, *Lithothamnium calcareum* (maerl), sont généralement les seules espèces présentes.

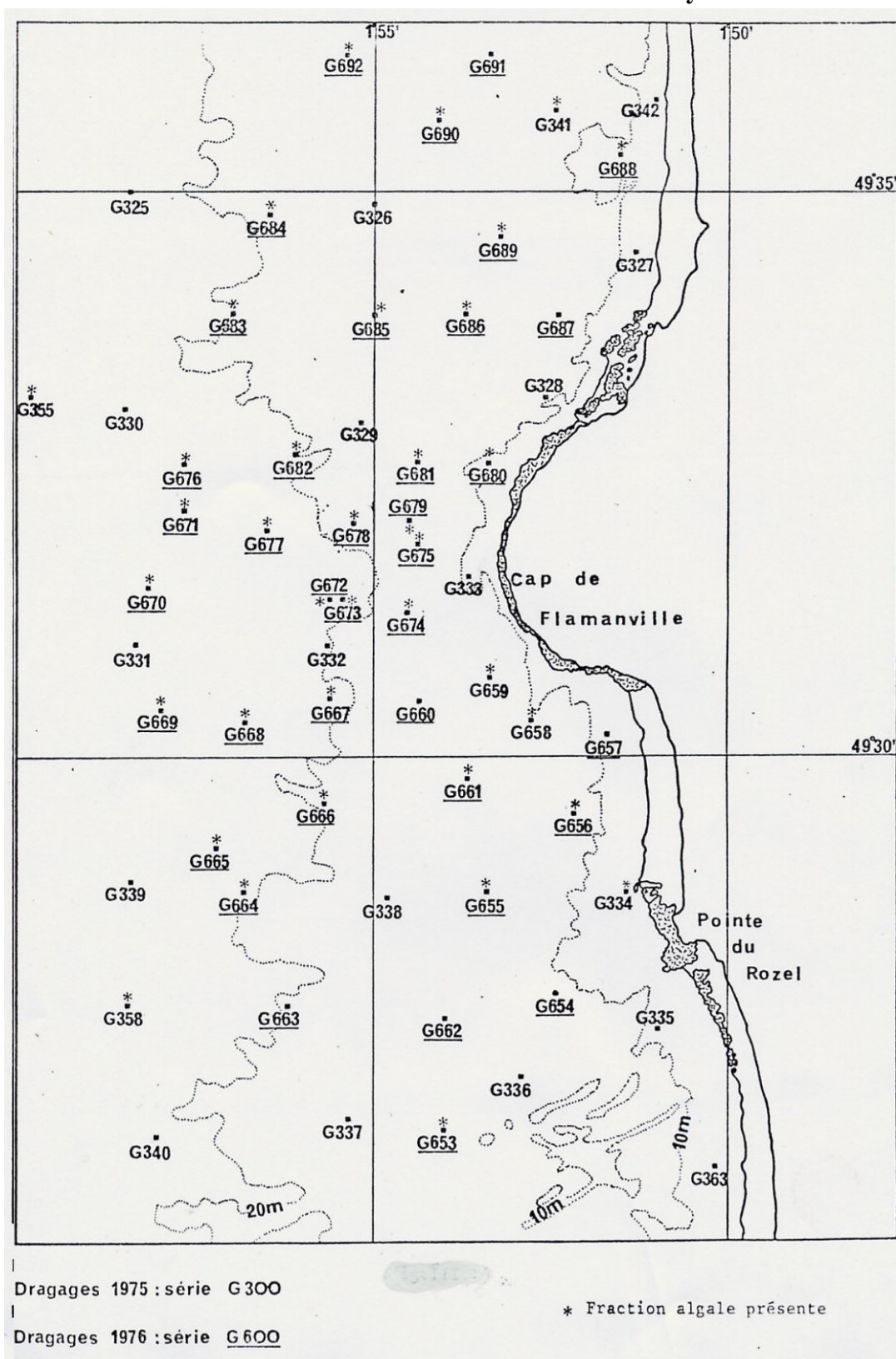


Figure 4.10 : Localisation des points de prélèvements au cours des campagnes de 1975 et 1976, dans le cadre des études de projet et d'avant projet de la centrale

En juin 1977, une série de plongées au droit du sémaphore de Flamanville, a été réalisée afin de prospecter une zone située entre 0 et -12 m de profondeur. (prélèvements qualitatifs). Les observations réalisées nous indiquent la présence d'un **Champ de laminaires dominé par *Laminaria digitata*** relativement réduit et fractionné. Ce champ recouvre les blocs jusqu'à l'isobathe -10 m ; quelques dénombrements font état de 19 à 27 pieds / m². Puis entre -12 et -15 m, les blocs disparaissent et laissent place à un sable caillouto-graveleux.

Les résultats obtenus par ces différentes campagnes ont conduit à l'élaboration d'une carte de répartition des peuplements phytobenthiques (figure 4.11).

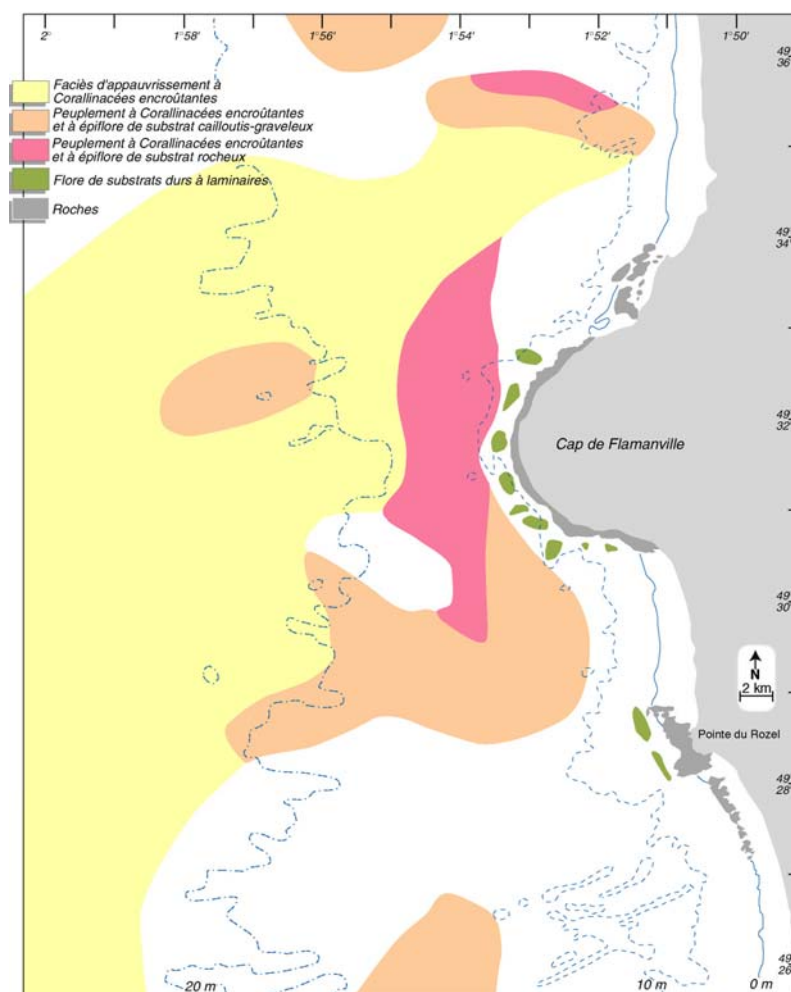


Figure 4.11 : carte de répartition des peuplements phytobenthiques

4.1.3 Algues en dérive, échouages (Piriou, 1984)

L'arrachage des algues, leur dérive, puis leur échouage ont fait l'objet d'une étude (Piriou, 1984) à une époque où ce phénomène était fréquemment observé sur les côtes du nord-ouest Cotentin. Depuis cette date, la composition algale de ces

échouages, et leur volume ont évolué jusqu'à quasi disparaître en certains endroits. Le rappel des principales conclusions de cette étude est intéressant, les évolutions cycliques des stocks d'algues pouvant produire à nouveau de tels échouages.

Les espèces algales, à courte durée de vie et à biomasse importante, sont celles susceptibles de gêner le bon fonctionnement des stations de pompage de la centrale thermo-nucléaire de Flamanville. Dans le cycle biologique des Fucacées, des Laminariales, des Cystoseiracées, des Rhodyméniales et, parmi les Sargasses, de *Sargassum muticum*, l'automne s'avère être la saison où ces algues deviennent les plus fragiles après leurs périodes de croissance maximale et de reproduction. Les conditions météorologiques générales de cette saison favorisent l'arrachage de ces algues.

Les algues peuvent dériver à différents niveaux dans la masse d'eau, suivant leur morphologie (lame ou non, présence de flotteurs ou non ...) et leur état de dégradation physiologique.

Les algues pourvues de flotteurs (*Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus*...) se déplacent à la surface de l'eau, alors que les laminaires dérivent dans une tranche proche du fond. Les sargasses, dont les flotteurs perdent leur efficacité dès la fin de l'été, se fragmentent, se détachent, tombent au fond et sont entraînées par les courants. Ce sont là, après *Laminaria hyperborea*, les espèces majoritaires en biomasse dans le secteur de Flamanville.

Les mesures indiquent que, plusieurs jours après un vent fort d'ouest, des algues (surtout les laminaires) stagnent dans les bas fonds des anses sableuses, où elles sont abritées des courants violents.

Devant le cap de Flamanville, les algues transitent très rapidement après le début du coup de vent et ceci le plus souvent avant l'accalmie. A priori, une grande partie de la biomasse algale mise en dérive est susceptible de s'échouer dans la zone intertidale. Les algues sont disséminées sur les plages en fonction de divers paramètres changeants : profil de la plage, courants marins, direction et force des vents, coefficient de la marée... Les algues qui s'échouent sur les plages ne sont pas remises en suspension immédiatement.

Elles sont le plus souvent remises à l'eau à toutes les marées, ce qui provoque des répartitions différentes à chaque basse mer. En général, celles qui sont pourvues de vésicules (certains *Fucus*, *Ascophyllum nodosum*) se déposent sur la partie la plus haute de la plage, et les plus lourdes (Laminaires) près du niveau de la basse mer ou dans les cuvettes.

Les dépôts d'algues les plus importants sont bien localisés : dans l'anse du Pou, l'anse de Sciotot et la plage de Diélette, lieux qui peuvent être considérés comme des pièges à algues. Les échouages sont irréguliers dans le temps et subissent des fluctuations importantes d'un jour à l'autre. La plage de Diélette supportait, par exemple, 128 tonnes d'algues en épave le 9 septembre 1983, seulement 3,8 tonnes le 10 septembre, puis 277 tonnes le 11 septembre.

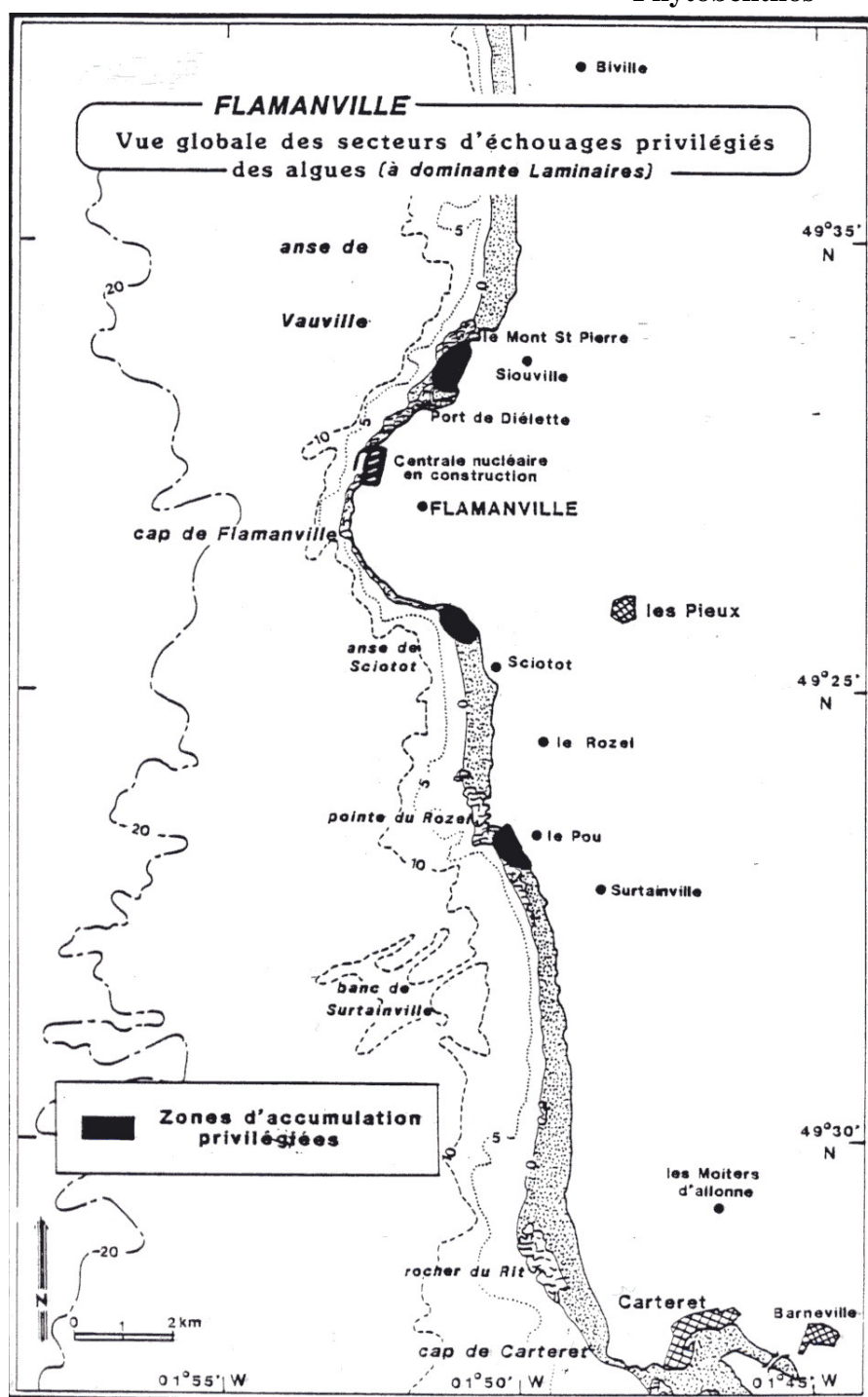


Figure 4.12 : Principaux secteurs d'échouages des algues (1984).

L'échouage est dépendant des conditions météorologiques, et la remise à l'eau des algues leur permet de dériver à nouveau, seulement dans certaines conditions physiques, mais toujours vers le nord. C'est pourquoi les algues en épave à basse

mer, au sud du Cap de Flamanville, peuvent progresser de plage en plage vers le nord, avec le risque de passage à un moment donné devant la prise d'eau de la centrale électro-nucléaire.

4.1.4 Modifications de la distribution des populations phytobenthiques

Les grands champs d'algues qui se développent en zone côtière représentent l'une des composantes essentielles de la biodiversité. Leur abondance, de même que leur diversité, varient tout au long du littoral métropolitain. C'est à la pointe occidentale de la Bretagne que ces deux caractéristiques sont maximales ; on y dénombre près de 670 espèces, dominées par les algues brunes telles que les Fucales et les Laminariales.

A titre d'illustration, mentionnons qu'un champ de laminaires se présente comme une vaste forêt sous-marine s'étendant de la zone de basse mer de vives eaux jusqu'à 25 mètres de profondeur. Cinq espèces y assurent l'essentiel de la biomasse, parmi lesquelles *Laminaria digitata* (L) Lamouroux, *Saccorhiza polyschides* (Lightfoot) Batters, son principal compétiteur pour l'espace, et *Laminaria hyperborea* (Gunner) Foslie, de loin la plus importante de toutes.

La compétition entre les deux premières espèces citées est en effet classique. Toutefois, depuis quelques années (dans le courant des années 90), l'équilibre établi entre ces deux espèces semble rompu, au bénéfice de la seconde. Ainsi, en Bretagne sud, la décroissance avérée de *Laminaria digitata* est bien contrebalancée par la progression de *Saccorhiza polyschides*.

La question posée est de savoir si c'est la première qui régresse du fait de conditions moins favorables à son développement, laissant ainsi du champ libre à la seconde, ou si c'est la seconde qui prolifère, restreignant de ce fait la place disponible pour la première. En tout état de cause, quelle que soit la cause réelle, le résultat observé est le même.

La réduction des champs de *Laminaria digitata* peut parfois prendre des proportions plus inquiétantes, comme sur les côtes du Calvados (Manche-est) où cette espèce a quasiment disparu (Cosson, 1999), pour être remplacée par *Sargassum muticum*. D'autres espèces, comme *Chondrus crispus* Stachhouse ou *Ascophyllum nodosum* (L) Le Jolis, présentent également des variations d'abondance.

Les fluctuations de *Laminaria digitata* pourraient être attribuées à différents facteurs (Arzel, 2005) :

- **La température de l'eau de mer** ; *Laminaria digitata* est en limite sud de répartition sur les côtes bretonnes. Un réchauffement de l'eau de mer, surtout en période estivale, peut avoir un impact direct sur cette algue dont les températures supérieures à 20 °C sont létales (Goux, 1999), ce qui n'est pas le cas de *Saccorhiza polyschides* naturellement adapté à supporter des températures plus élevées du fait même de son aire géographique de répartition s'étendant jusqu'aux côtes ouest de l'Afrique (Norton, 1970).

- **La lumière.** Des lésions apparaissent sur les individus à la suite de fortes insolation estivales au moment des basses mers de vives eaux.
- **Les tempêtes,** provoquant l'arrachage des plants adultes (effet direct) et le déplacement du sable sur le fond (effet indirect de l'abrasion des sédiments sur les plus jeunes stades de vie). Si les tempêtes ont toujours existé, il est noté que la force et la fréquence des perturbations se sont accrues depuis une dizaine d'années (Carter, 1999).
- L'action de ces trois facteurs peut être amplifiée par les **variations naturelles d'importance des marées**, selon un cycle de 18 ans, appelé cycle de Saros, qui voit l'amplitude des marées augmenter pendant 9 ans pour diminuer pendant les 9 années suivantes. L'effet de ce cycle sur l'étagement des algues a été décrit (Swinbanks, 1982). L'amplitude des marées augmente jusqu'en 1997, conduisant à une augmentation de la durée d'exondation des champs d'algues, soumis dans le même temps aux effets des trois premiers facteurs cités. Une réduction d'abondance associée à ces phénomènes a été observée. A la décroissance actuelle du cycle d'émersion semble correspondre une restauration des champs exploités de *Laminaria digitata* du nord Finistère

Concernant la côte ouest du Cotentin, et plus précisément celle du Cap de Flamanville, aucune étude récente ne permet d'apprécier l'état actuel des champs de laminaires notés lors des levés réalisés entre 1975 et 1977. A plus large échelle géographique, la dernière cartographie des stocks de la totalité des populations de Laminariales du littoral bas-normand entre Granville (département de la Manche) et Lion-sur-Mer (département du Calvados) a été réalisée entre 1980 et 1982 (Thouin, 1983). Cette étude conclut, en ce qui concerne la côte ouest du Cotentin, à une diminution des populations de laminaires du nord vers le sud.

Bien que ne disposant d'aucune information quantitative récente, il n'y a aucune raison pour que ce secteur présente une évolution de ses peuplements algaux inverse à celle observée, de façon générale et depuis une dizaine à une quinzaine d'années, à savoir de profondes modifications des peuplements de phytobenthos.

Le suivi, depuis 1983 (*cf.* chapitre 4.1.1.4.), de la population de *Fucus serratus* du platier de Diélette permet d'observer une tendance à la baisse des biomasses, en fin tant d'hiver que d'été. Des oscillations, certes perceptibles, sont irrégulières (figure 4.5). En Bretagne-sud, la diminution des champs de fucales (*Ascophyllum nodosum* et *Fucus sp*) est estimée à environ 70 % depuis 1977. L'hypothèse avancée est le broutage de ces algues par les patelles (Le Roux, 2005).

L'évolution de la ceinture à *Ascophyllum nodosum* des estrans bretons serait du à l'évolution de la température et à la modification des plans de houle (Lasterre, 2005).

Ces observations sur la diminution des stocks d'algues brunes sont toutefois à rapprocher de celles faites par EDF au niveau des circuits de pompage de ses centrales de bord de mer.

Ainsi, EDF enregistre depuis 1996 une augmentation des incidents de colmatage de ses circuits avec deux informations intéressantes :

- Le colmatage est moindre sur les grilles, mais s'est déplacé sur les tambours. Ceci démontre l'arrivée moindre de grandes algues, comme les laminaires, remplacées par des individus plus petits, ce que précise le point suivant.

- Les arrivées en épave de laminaires (Flamanville) et/ou de fucales (Flamanville et Paluel) diminuent, alors qu'augmentent les apports d'algues rouges (Flamanville ; *Plocamium cartilagineum*, *Cryptopleura sp.*, ...) et/ou d'algues vertes (Paluel et Penly ; ulves et enteromorphes)

L'augmentation des algues vertes, phénomène bien connu en Bretagne, est due à l'enrichissement du milieu par des apports terrigènes excessifs, principalement de nitrate véhiculé par les eaux de ruissellement de l'ensemble du bassin versant vers l'embouchure du fleuve (Seine pour Paluel et Penly) ou de la rivière (Diélette pour Flamanville).

4.1.5 Conclusion du sous-chapitre phytobenthos

Dans ce secteur du nord-ouest Cotentin, au droit du site de Flamanville, le recouvrement algal en zone intertidale est relativement pauvre, tant en quantité qu'en diversité. Dans ce contexte de pauvreté floristique, le groupe d'algues marines dominant reste celui des Rhodophycées.

Au niveau de l'étage médio littoral rocheux, parsemé de zones de rétention d'eau, les algues calcaires du genre *Lithothamnion sp.* et *Corallina sp.* recouvrent les substrats durs d'un tapis rosé.

Sur les platiers du Rozel et de Diélette, l'espèce *Osmondea pinnatifida* est relativement courante.

Sur l'ensemble du secteur intertidal, peu d'algues brunes sont observées, mis à part la population de *Fucus serratus* du platier de Diélette, et quelques Sargasses dans les cuvettes. L'étude menée sur l'espèce cible *Fucus serratus* montre une diminution de la biomasse moyenne depuis plus de 20 ans, ainsi que des fluctuations de la fertilité.

En ce qui concerne le domaine subtidal, l'absence de campagnes de prospection récentes ne permet pas d'apprécier l'importance et la répartition actuelles des laminaires. Il ne peut être fait référence qu'aux études réalisées dans ce secteur il y a plus d'une vingtaine d'années, concluant à la présence d'un champ de laminaires dans la zone rocheuse du Cap de Flamanville. Ces mêmes études concluent à la forte présence des algues rouges, dont en grande partie des algues encroûtantes de la famille des Corallinacées.

L'évolution de la biomasse moyenne de l'espèce *Fucus serratus* est à replacer dans le contexte général de l'évolution des principaux peuplements algaux, comme celui des laminaires, observée tant en Bretagne qu'en Normandie depuis une à deux décennies. Les hypothèses actuellement avancées portent d'une part sur l'exploitation de la ressource (pour les algues ayant un intérêt économique ; modification de l'exploitation avec de nouveaux outils et/ou sur de nouvelles zones), d'autre part sur l'impact de phénomènes naturels (cycle de marée de 18 ans ; modification de la température de l'eau de mer ; ...) pouvant avoir des répercussions sur la circulation des masses d'eau, la fréquence des coups de vent, etc.

A l'échelle réduite du secteur marin au droit du Cap de Flamanville, aucun impact des rejets de la centrale sur ce compartiment biologique n'a pu être mis en évidence.

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 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 de la ceinture à *Semibalanus balanoides* à la pointe du Rozel (figure 4.3) 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, l'autre dans le port de Diélette (platier rocheux au nord de la sortie du port).

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

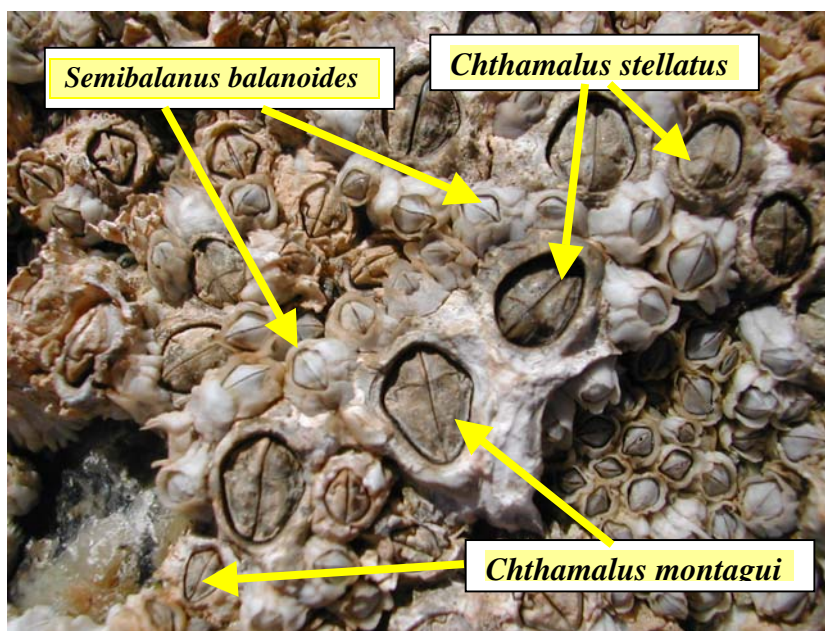


Photo
4.15 :

Cirripèdes
au point de
surveillance
du
sémaphore

4.2.1 Biologie des cirripèdes

Les cirripèdes, balanes ou anatifes, font partie de la classe des crustacés. Ces crustacés très particuliers ont la particularité de se fixer au terme de leur vie larvaire. 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. Après maturation des oeufs à l'intérieur de la muraille, 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 Méthodologie

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 *in situ* sur des quadrats de 0,05 m x 0,05 m, complétée depuis 2003 par des photographies numériques permettant de confirmer ultérieurement en laboratoire les densités relevées, et également de déterminer les différentes espèces. Le pourcentage de recouvrement du substrat par ces crustacés est évalué *in situ*.

Photo 4.16 :

*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 d'évaluer les pourcentages des différentes espèces de cirripèdes présentes.

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 m² (quadrat 0,25 m x 0,25 m) ; les patelles sont dénombrées sur le terrain à raison de 12 comptages par point alors que les autres espèces sont récoltées par grattage (4 par point), puis déterminées et comptées au laboratoire.

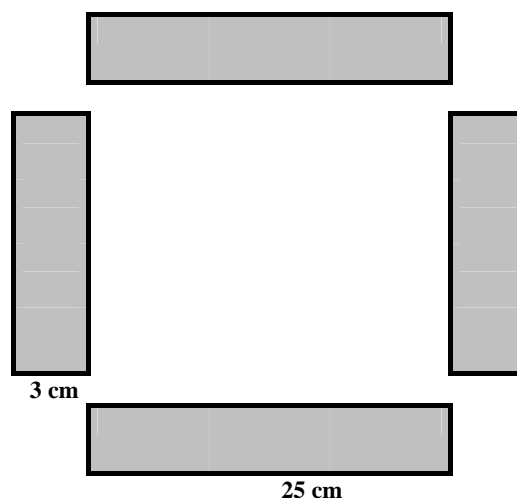
4.2.2.3 Recolonisation du substrat



Photo 4.17 :

*Recrutement
printanier de
Balanus
balanoides*

Les points Rozel (n°2), SEM, Quédoy et Diélette servent également à une étude de recolonisation du substrat par les 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

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.

Toutes stations confondues, le nombre moyen d'individus recrutés par année, obtenu par comptages sur les quadrats de 75 cm^2 en mars, juin et septembre, sur la période 1983/2005 atteint 564 (Figure 4.13). Le maximum atteint 2 259 en 1986, le minimum 55 en 1990.

Les valeurs les plus fortes ont été observées en 1986 et 1987. Elles s'élevaient alors respectivement à 4 519 et 3601. Les comptages des cirripèdes se faisaient alors simplement au Rozel et au Sémaphore. La valeur la plus basse, 110 individus a été recensée en 1990.

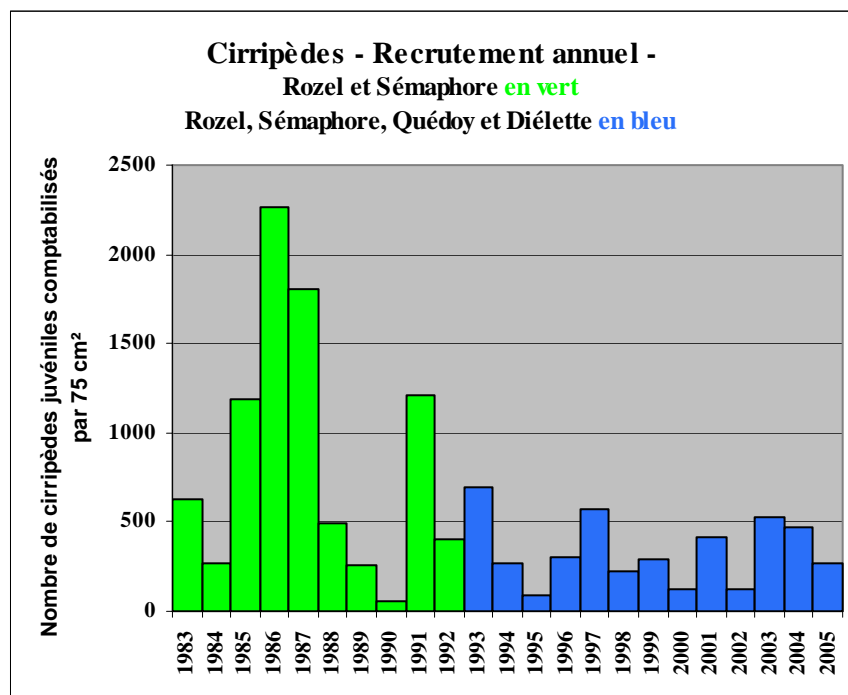


Figure 4.13 : Recrutement annuel (Somme des recrutements automno-hivernal, printanier et estival comptabilisés au Rozel, Sémaphore, Quédoy et Diélette sur les quadrats de 75 cm²).

Le recrutement printanier (entre la mi-mars et la mi juin) représente, selon les années, de 77 % à 99,6 % du phénomène annuel, à l'exception toutefois du printemps 1990 où il n'atteint que 48 % à la pointe du Rozel et 61 % au cap de Flamanville. Il concerne exclusivement *Semibalanus balanoides*.

Le recrutement estival (de la mi juin à la mi-septembre), beaucoup plus faible (3 % en moyenne du recrutement annuel sur la période 1983-2004 ; de 1 à 50 individus par 75 cm²), concerne en priorité les espèces *Chthamalus montagui*, *Chthamalus stellatus*, et *Elminius modestus*.

	Air	Eau		Air	Eau
1986	2,20	6,80	1988	7,20	8,41
1987	2,90	7,21	1994	7,24	8,65
1985	4,10		2001	7,42	8,92
1991	4,41	7,44	2004	7,61	8,71
1997	4,86	7,88	2000	7,65	9,53
1983	5,20		1989	7,80	8,28
1996	5,80	8,12	1999	7,88	9,31
1984	6,40		1995	8,00	9,67
2005	6,54	8,38	1998	8,06	9,28
1992	6,56	8,64	2002	8,33	9,88
1993	6,56	8,74	1990	8,70	8,86
2003	6,96	8,70			

Tableau 4.1 : Température mensuelle minimale de l'air au Cap de La Hague (1983-2005) et de l'eau de mer à Flamanville (1986-2005). Les années sont classées selon l'importance croissante des températures de l'air.

La recolonisation observée entre septembre et mars (2 % en moyenne; de 1 à 90 individus par 75 cm²) n'est en fait que la fin du recrutement estival intervenu après les observations effectuées en septembre précédent.

L'importance numérique globale du recrutement printanier confirme la relation étroite entre l'importance du recrutement et la rigueur de l'hiver (température moyenne de l'air et/ou de l'eau du mois le plus froid de l'année ; tableau 4.1 & figure 4.14). On observe que le recrutement suit de très près la courbe de tendance au sémaphore et à Quédoy. Au Rozel et surtout à Diélette, les valeurs sont plus dispersées.

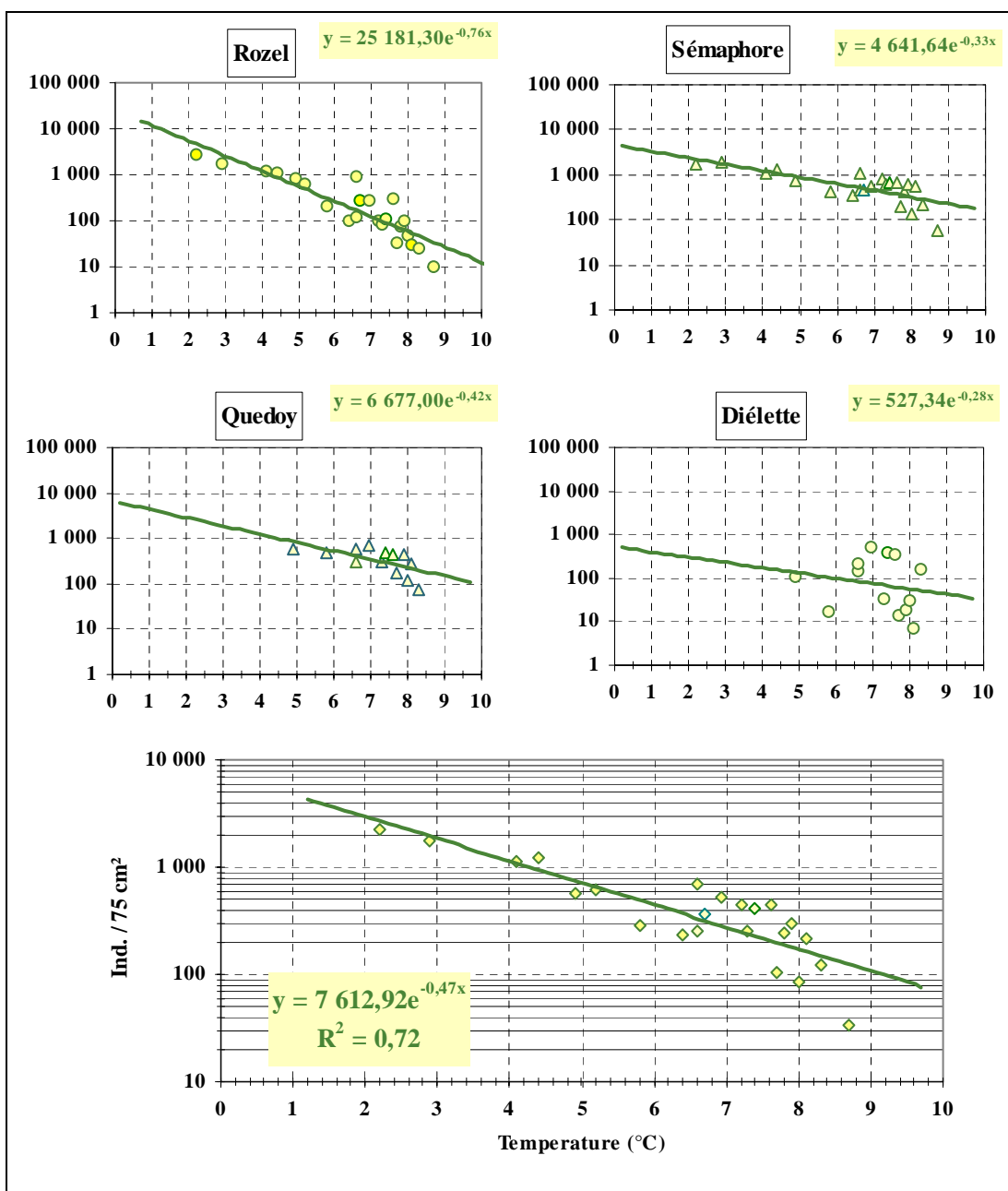


Figure 4.14 : Recrutement printanier des crustacés aux abords de Flamanville (nombre d'individus par 75 cm², exprimé en fonction de la température mensuelle moyenne de l'air du mois le plus froid de l'hiver [°C]).

4.2.3.2 Evaluation des densités et des pourcentages des différentes espèces de cirripèdes

Les densités globales de cirripèdes observées en fin d'été varient d'une année à l'autre et d'une station à l'autre (figures 4.15 et 4.16).

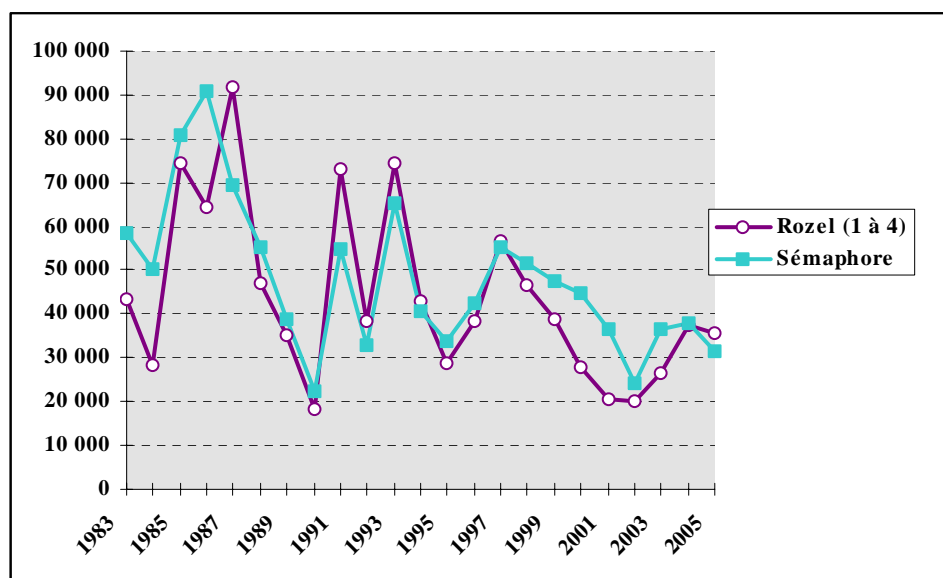


Figure 4.15 : Evolution des densités de cirripèdes (nombre d'individus par m²) depuis 1983, au sémaphore

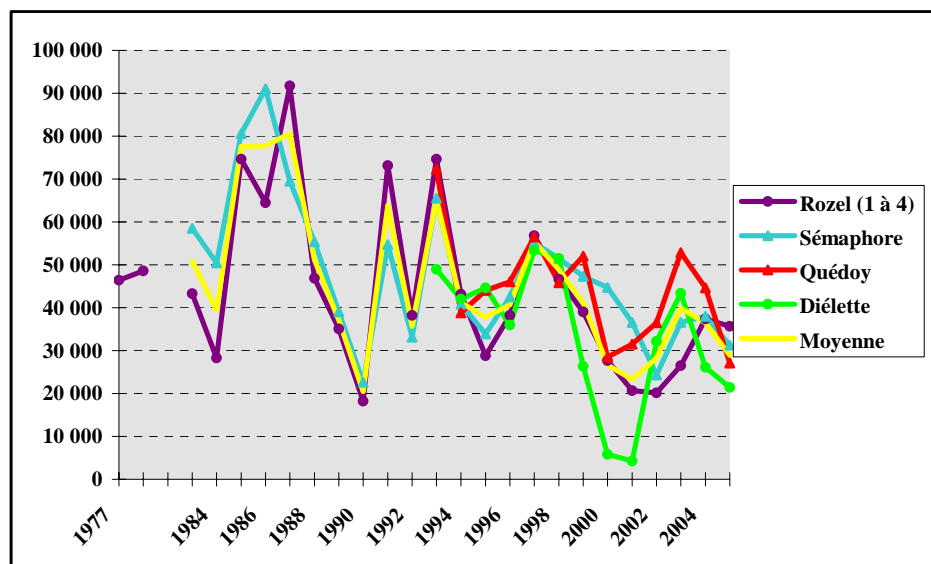


Figure 4.16 : Evolution des densités de cirripèdes (nombre d'individus par m²) depuis 1993, au sémaphore, au Roze1, à Quédoy et à Diélette.

Une relation directe peut être établie entre chaque recrutement printanier, dépendant de la rigueur de l'hiver, et les densités en place observées en septembre (figure 4.17).

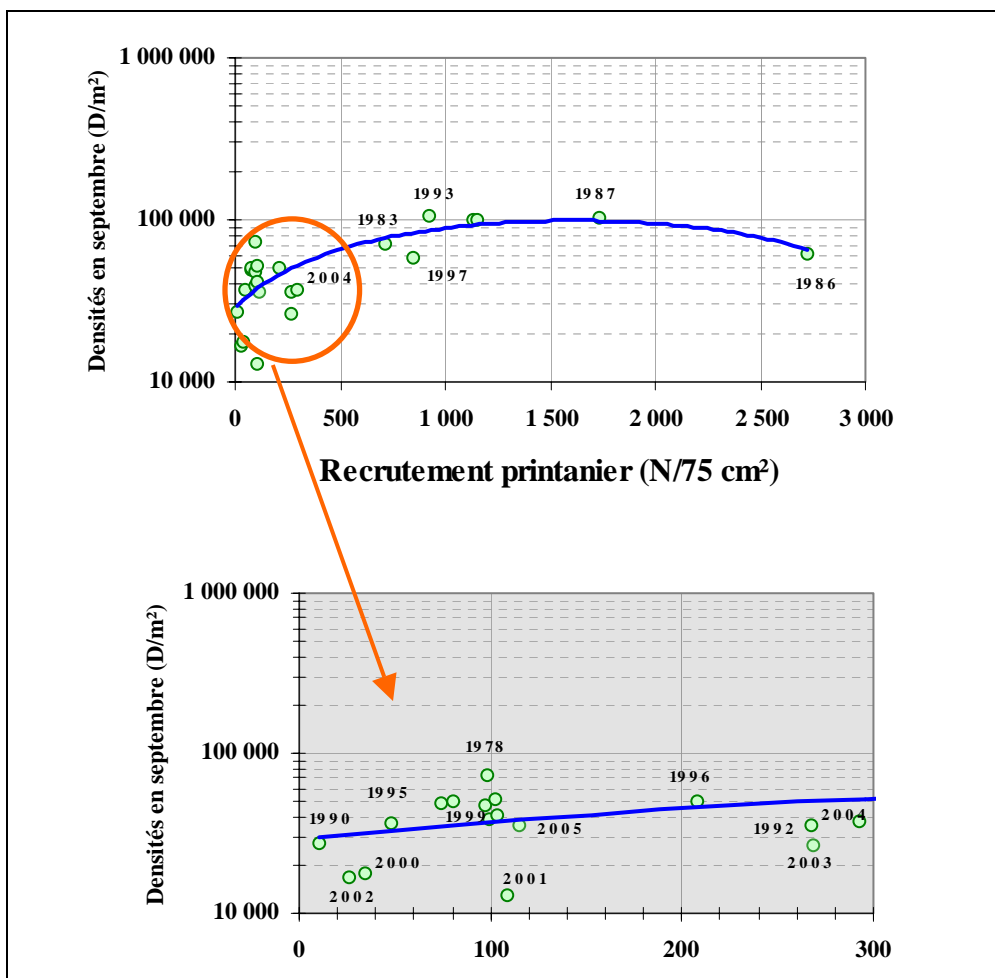
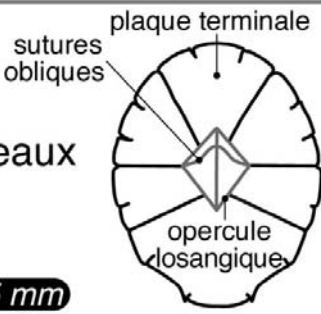
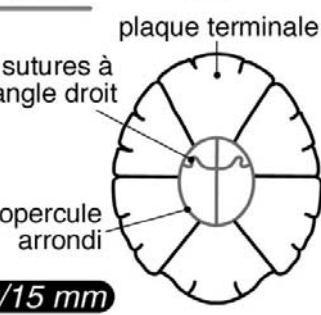
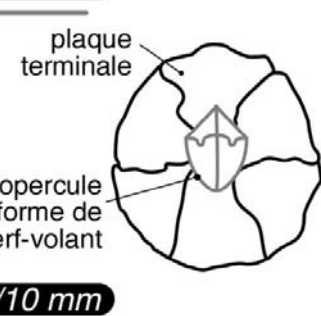
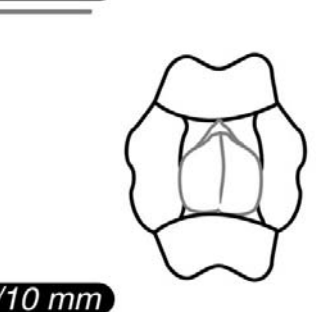


Figure 4.17 : Pointe du Rozel – Variations des densités de cirripèdes en place en septembre en fonction du recrutement printanier. (année indiquée sur les graphiques).

NB: Le graphique inférieur est une « loupe » de la partie gauche du graphique supérieur.

Les proportions des différentes espèces de cirripèdes sont calculées à chaque point. Au niveau du domaine intertidal de ce secteur du nord-ouest Cotentin, quatre espèces sont en compétition pour l'espace, à savoir :

Principaux cirripèdes en zone intertidale sur Flamanville

<p>S <i>emibalanus balanoides</i></p> <p>Muraille : 6 plaques Sous les pleines mers de mortes-eaux <i>Atlantique, Manche ouest et est.</i></p>	 <p>plaque terminale sutures obliques opercule losangique</p> <p>15 mm</p>
<p>C <i>hthamalus stellatus</i></p> <p>Muraille : 6 plaques Niveau sup. de la zone intertidale Zones exposées <i>Méditerranée, Atlantique, Manche ouest.</i></p>	 <p>plaque terminale sutures à angle droit opercule arrondi</p> <p>10/15 mm</p>
<p>C <i>hthamalus montagui</i></p> <p>Niveau sup. de la zone intertidale Zones abritées <i>Méditerranée, Atlantique, Manche ouest.</i></p>	 <p>plaque terminale opercule en forme de cerf-volant</p> <p>6/10 mm</p>
<p>E <i>lminius modestus</i></p> <p>Muraille : 4 plaques symétriques Origine Nouvelle-Zélande <i>Extension en cours</i></p>	 <p>5/10 mm</p>

Les variations des pourcentages (figures 4.18 et 4.19) et des densités (figures 4.15 et 4.16) respectifs de ces quatre espèces se répercutent principalement sur *Semibalanus balanoides*, espèce largement dominante dans le secteur de Flamanville.

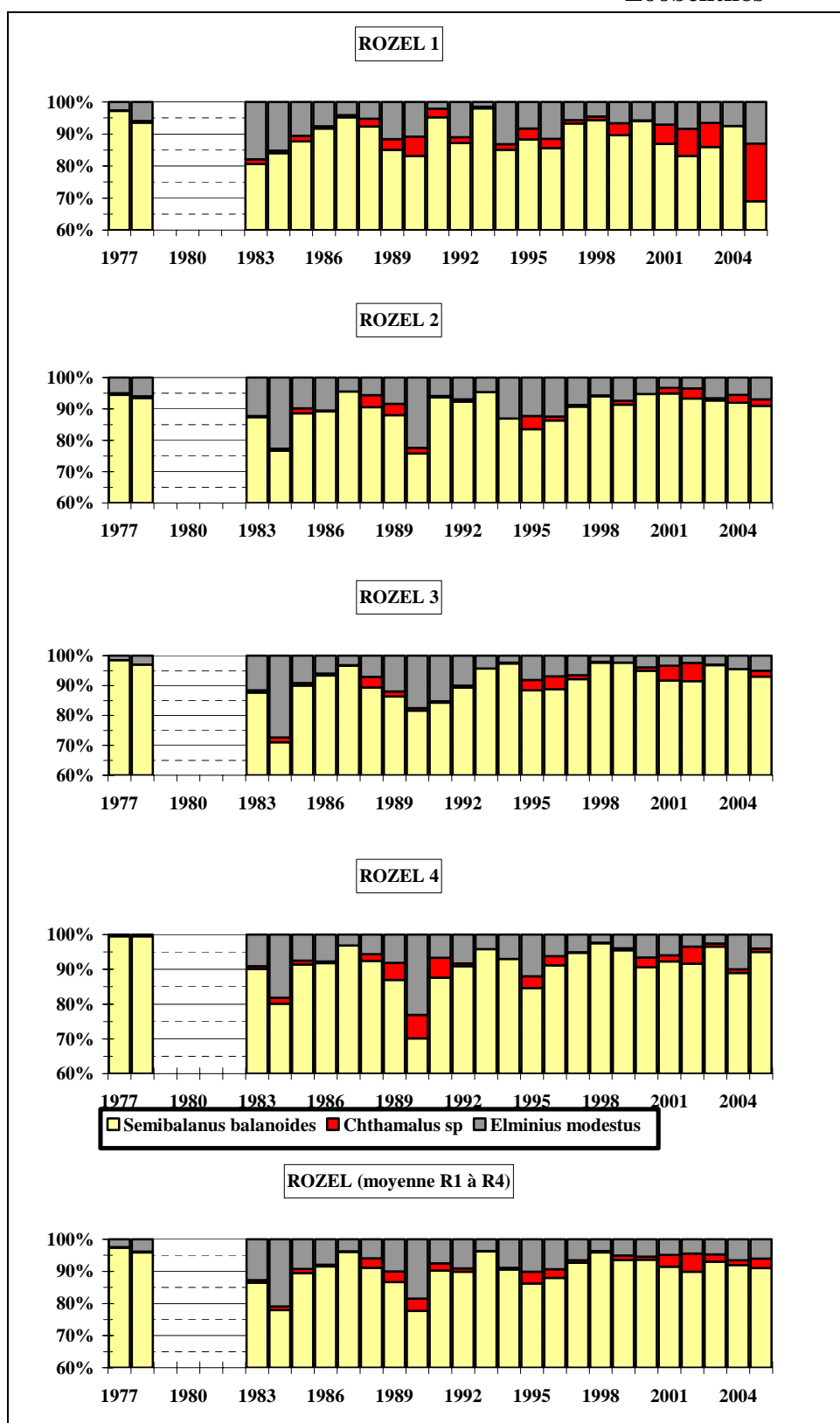


Figure 4.18 : Evolution en % des quatre espèces de cirripèdes à la pointe du Rozel depuis 1977. (Les deux espèces de Chthamales ont été regroupées au niveau du genre)

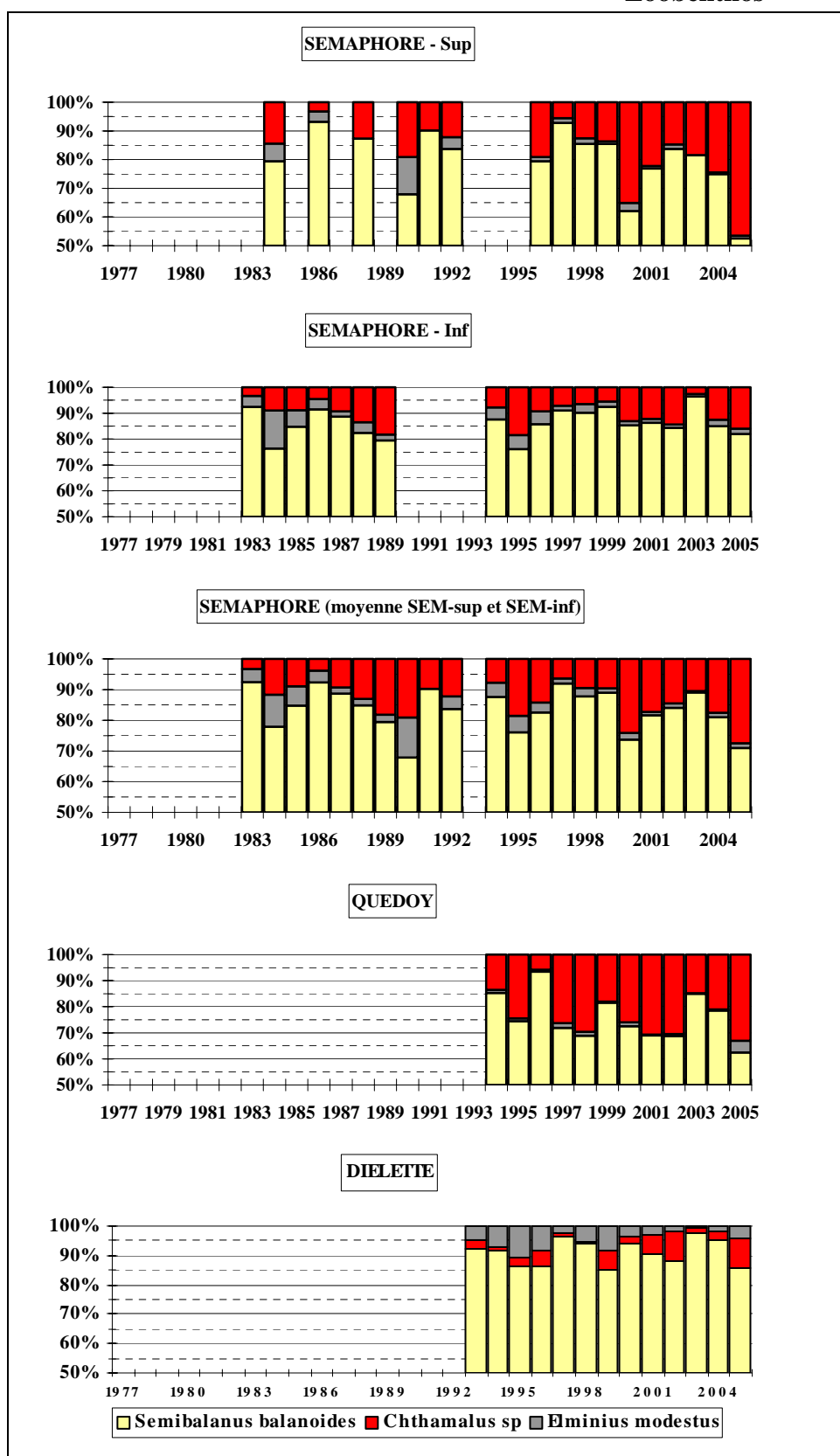


Figure 4.19 : Evolution en %, des quatre espèces de cirripèdes au cap de Flamanville depuis 1983. (Les deux espèces de Chthamales ont été regroupées au niveau du genre).

Sur l'ensemble des diverses périodes d'observations, le pourcentage de *Semibalanus balanoides* varie de 77 % à Quedoy à 91 % à Diélette. Ce pourcentage est de 84 % en bas du Sémaphore et de 90 % au Rozel. Cette espèce domine donc largement le peuplement, confirmant l'analyse réalisée il y a plus de 25 ans sur ce site.

L'importance moyenne des Chthamales est minimale au Rozel (2 %) et à Diélette (4 %), points où le substrat est schisteux. Elle est maximale en bas du sémaphore (12 %) et à Quédoy (22 %), points où le substrat est granitique. Ces deux points présentent également la particularité d'être les plus proches de la centrale.

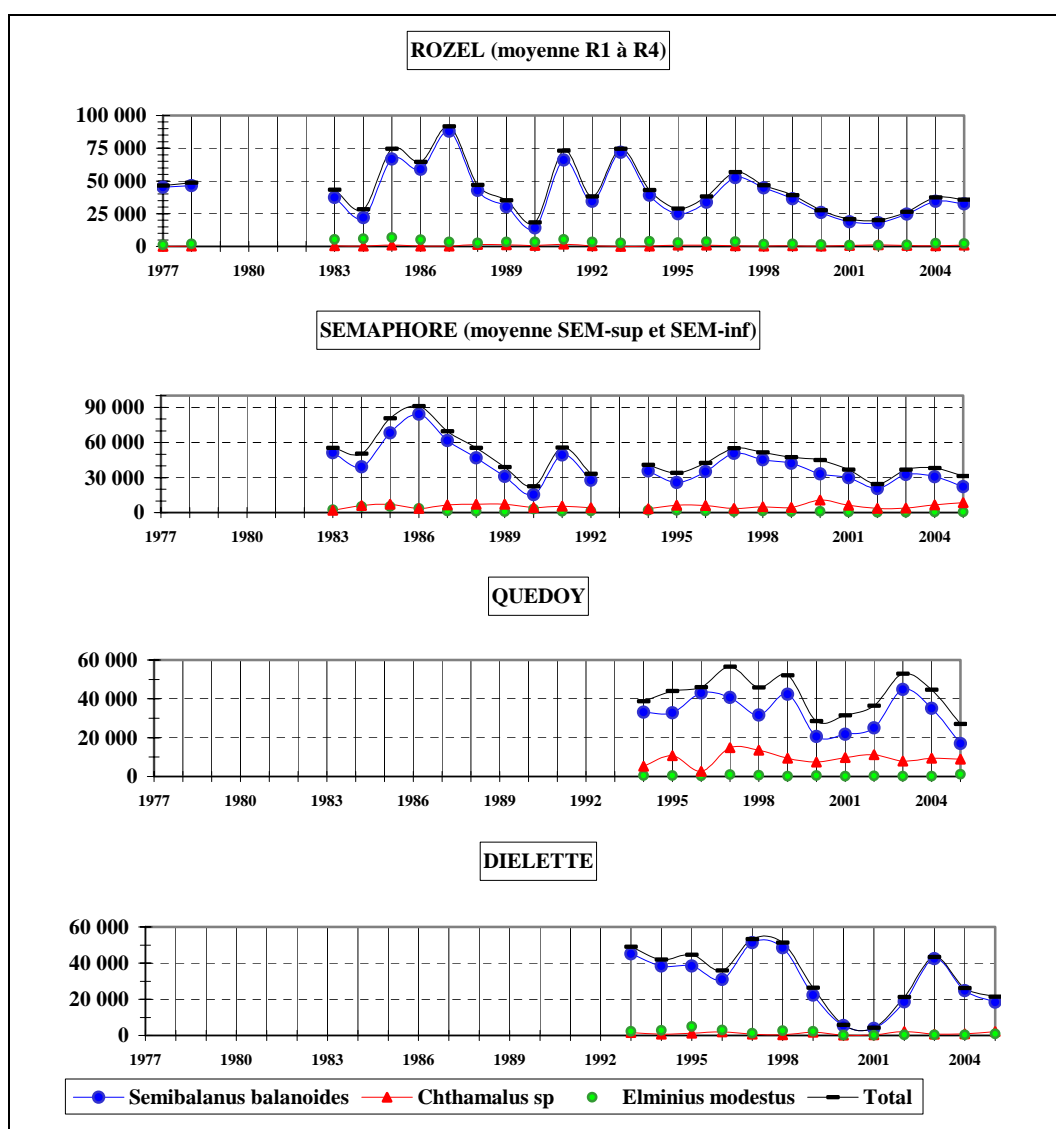


Figure 4.20 : Evolution, en nombre d'individus par m², des densités des quatre espèces de cirripèdes depuis 1983

Quant à *Elminius modestus*, sa présence oscille entre 1 % à Quedoy, 4 % au Sémaphore, 5 % à Diélette et 8 % au Rozel.

De même que le recrutement printanier de *Semibalanus balanoides* est proportionnel à la rigueur de l'hiver (figure 4.14), 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 4.21).

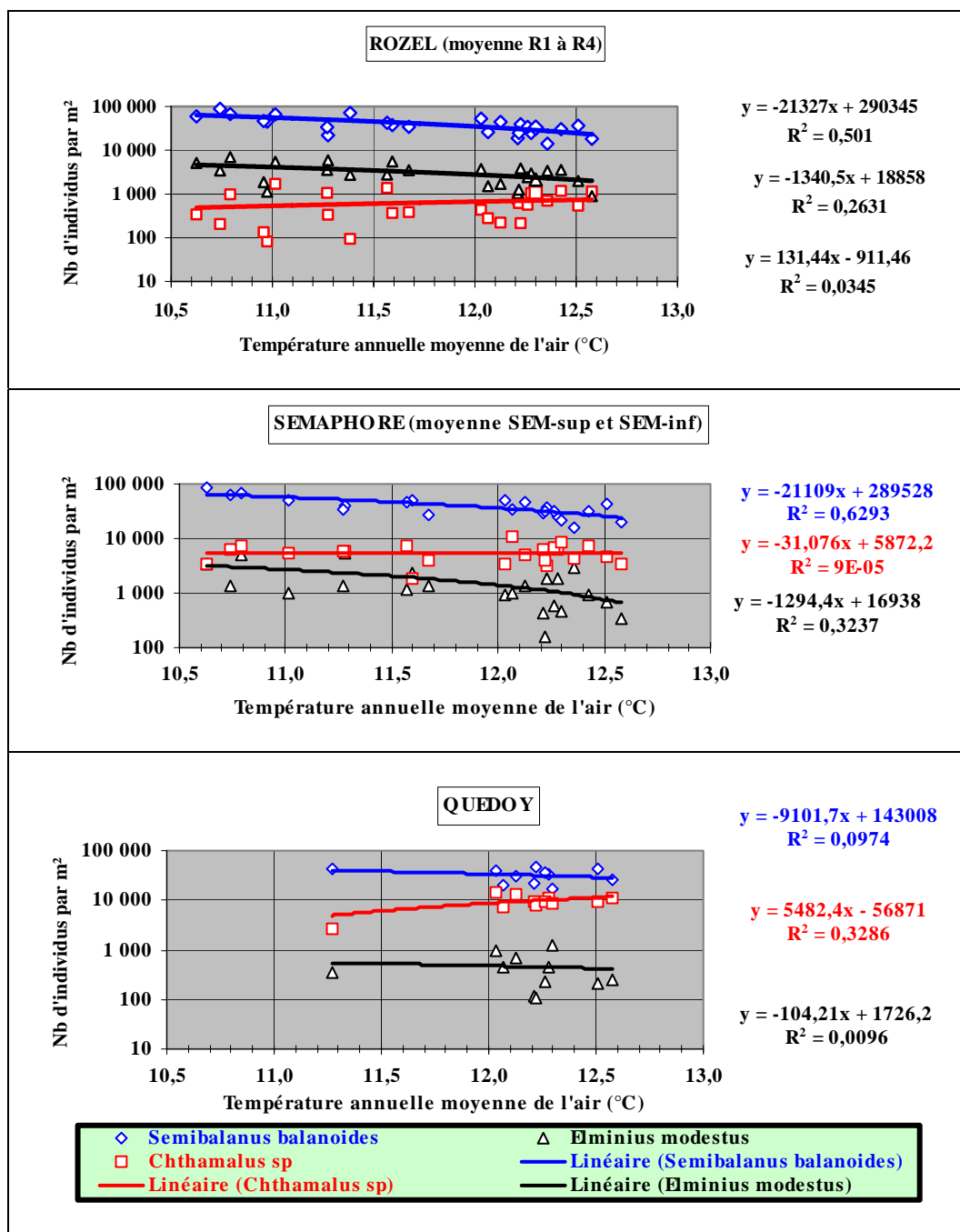


Figure 4.21 : Evolution des densités des cirripèdes intertidaux à la pointe du Rozel (1977-2005) et au cap de Flamanville, en bas du sémaphore (1983-2005) et dans l'anse de Quédoy (1994-2005), en fonction de la température annuelle moyenne de l'air au cap de La Hague.

Au cours des périodes étudiées, les densités de *Semibalanus balanoides* et d'*Elminius modestus* décroissent en fonction de l'élévation de la température

moyenne annuelle de l'air, confortant la relation établie pour la première espèce citée, 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. Il faut toutefois être prudent au regard de la série d'observations (11 années) par comparaison à celles à notre disposition tant en contrebas du sémaphore (21 années) qu'à la pointe du Rozel (23 années).

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.

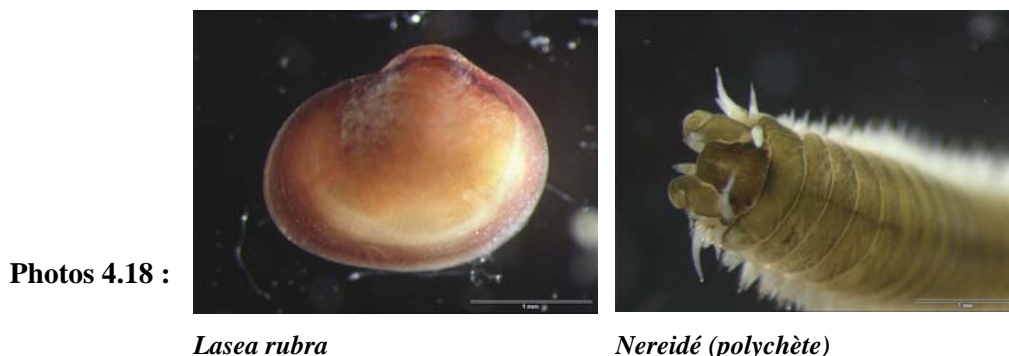
4.2.3.3 Evaluation des densités des principales espèces accompagnatrices

Les cirripèdes abritent une microfaune abondante et variée. Ainsi, l'étude des prélèvements effectués en septembre nous révèle différentes espèces de gastéropodes (*Littorina saxatilis*, *Mélaraphe neritoides*), de bivalves (*Lasea rubra*), de polychètes, d'amphipodes, d'isopodes (*Campecopea hirsuta*) et même d'acariens...

Quatre mollusques (photos 4.18) sont retenus pour cette étude dont un petit bivalve, *Lasea rubra*, et trois gastéropodes brouteurs d'algues :

Patella sp (coquille conique, hôte de l'estran rocheux, souvent en mode battu), *Mélaraphe neritoides* (petit bigorneau, coquille sombre de 2 à 3 mm ; ancienne appellation = *Littorina neritoides*), *Littorina saxatilis* (petit bigorneau à coquille colorée, jusqu'à 1 cm de hauteur).

L'abondance de cette faune est très irrégulière (figure 4.22).



Photos 4.18 :
Principales
espèces
associées aux
cirripèdes



Littorina saxatilis



Campeopea hirsuta



Melaraphe neritoides



Thais lapillus

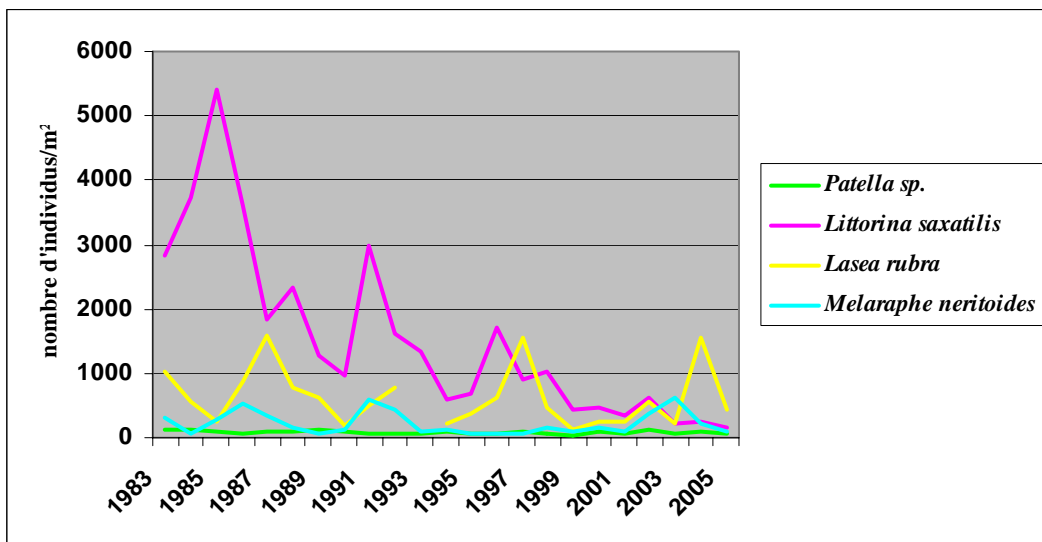


Figure 4.22 : Evolution des densités des principaux mollusques présents dans les populations de cirripèdes étudiées dans le secteur de Flamanville. Moyenne des 4 stations suivies.

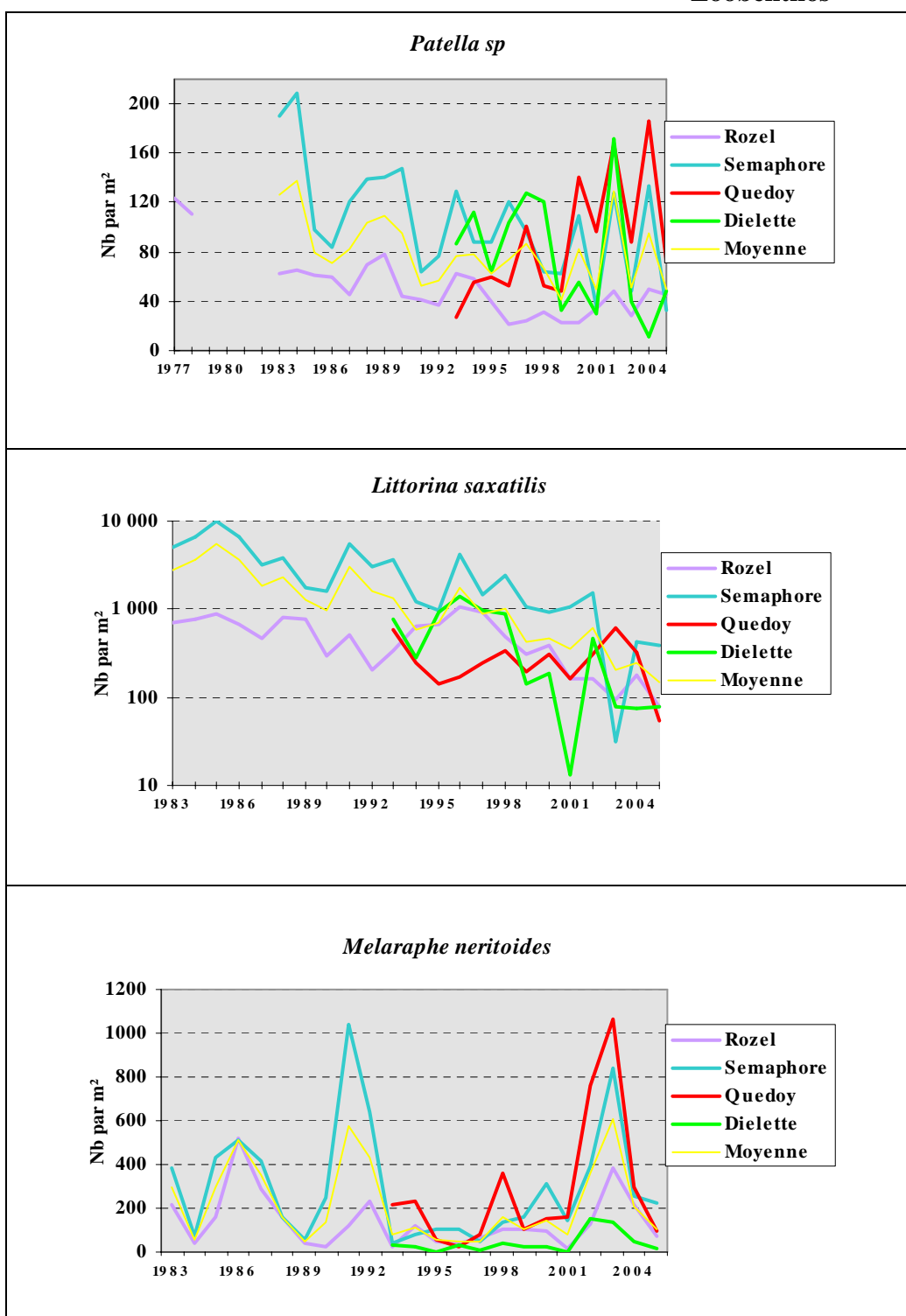


Figure 4.23 : Evolution des densités de quelques mollusques présents dans le peuplement des crustacés cirripèdes, par station.

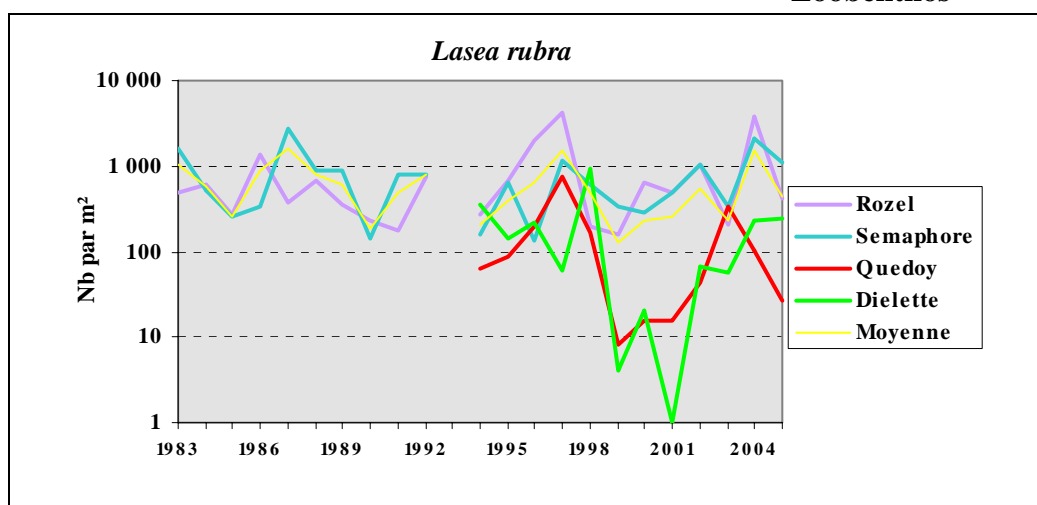


Figure 4.24 : Evolution des densités de quelques mollusques présents dans le peuplement des crustacés cirripèdes par station.

L'observation de ces quelques espèces accompagnatrices des crustacés cirripèdes met en évidence des fluctuations d'abondance irrégulières d'une année sur l'autre, d'un point à un autre. Il peut être cependant noté :

- Une décroissance régulière depuis 1986 des densités de *Littorina saxatilis*, espèce très abondante au début des études de surveillance et majoritaire jusqu'en 1997 (figure 4.24).
- Des densités importantes de *Melaraphe neritoides* en 1991 et 2003 au Cap de Flamanville.
- Deux pics d'abondance de *Lasea rubra* en 1997 et 2004 à la Pointe du Rozel.
- Une richesse spécifique moindre de Diélette par rapport aux autres stations pour les espèces *Littorina saxatilis*, *Melaraphe neritoides* et *Lasea rubra*.
- Une baisse importante en 2001, toujours à Diélette, des densités de *Littorina saxatilis* et de *Lasea rubra*, en lien avec la baisse des densités de cirripèdes.
- La présence irrégulière et faible au début des études de *Modiolus barbatus* remplacée depuis quelques années par *Mytilus edulis*. Le pas d'observation (faible fréquence) et le réseau de stations trop restreint ne permettent pas de préciser la date d'apparition de cette espèce dans ce secteur.

4.2.4 Conclusion du sous-chapitre zoobenthos

Le suivi du peuplement des crustacés cirripèdes intertidaux a permis l'acquisition d'une série à long terme tant sur les densités en place que sur les proportions des principales espèces et l'importance de leur recrutement annuel.

Il ressort de ces études menées depuis presque trente ans :

- Une certaine stabilité entre les quatre espèces de cirripèdes. L'espèce boréo-artique *Semibalanus balanoides*, décrite comme majoritaire dans les années 1977-1978, l'est restée jusqu'à aujourd'hui, indépendamment des aménagements industriels ou portuaires entrepris dans le secteur, et des rejets associés.
- Une stagnation d'*Elminius modestus* à un niveau très faible. Cette espèce néo-zélandaise, introduite dans l'hémisphère nord au cours de la 2nde guerre mondiale, montrait au début des années de surveillance une croissance de ses effectifs d'une année sur l'autre.
- La mise en évidence d'une relation entre les températures hivernales et le recrutement printanier de ces cirripèdes. L'importance de ce recrutement, qui représente les 4/5 du recrutement annuel, est proportionnel à la rigueur de l'hiver précédent.
- L'observation depuis quelques années de recrutements printaniers de faibles importances, en lien avec la douceur des températures hivernales. L'effet le plus direct est l'observation d'une baisse des densités globales de ces crustacés.

4.3 Conclusion générale du chapitre benthos

Les études menées dans le domaine benthique ont permis d'observer et d'enregistrer des évolutions significatives de certains peuplements ou certaines espèces plus particulières. La recherche d'explications pour comprendre ces évolutions a conduit à établir des liens de cause à effet avec des changements naturels, comme le changement climatique. Les impacts des rejets de la centrale sur le compartiment benthique n'ont pas été mis en évidence.

5. Le domaine halieutique

Etude et rapport réalisés par

Jocelyne

MARTIN EMH/Nantes

Larves de crustacés

Yvan

SCHLAICH HMMN/Port-en-Bessin

Pêches côtières

Daniel

Latrouite STH-LBH/Brest

Contexte régional des pêcheries de crustacés

5.1. LARVES DE CRUSTACES

Comparé aux autres sites d'implantation de centrales nucléaires allant de la Bretagne sud au sud de la mer du Nord, le secteur de Flamanville est caractérisé par sa richesse en larves de crustacés décapodes comme le montre le tableau 5.1.1 extrait de Martin (2001). Parmi les espèces d'intérêt halieutique (bouquet, crevette grise, langouste, homard, araignée, tourteau, étrille) nous avons retenu pour l'étude de surveillance les larves de homard et d'araignée particulièrement bien représentées dans ce secteur.

Nombre de taxons (espèces ou genres)	Bretagne sud (Plogoff)	Manche Ouest (Flamanville, golfe normano-breton)	Manche Est (Paluel, Penly)	mer du Nord Gravelines
Caridea	24	24	23	19
Astacidea, Thalassinidea	8	6	4	5
Anomura	16	18	12	10
Brachyura	23	24	21	19
Total Decapoda	71	72	60	53

5.1.1. Larves de homard

5.1.1.1. Période 1977-1985

C'est sur le site de Flamanville qu'en 1977 furent récoltées pour la première fois des larves de homard sur les côtes françaises. Elles furent trouvées dans le filet bongo avec les autres larves. Leur grande taille (1 cm à l'éclosion), leur dispersion dans l'eau et le fait qu'elles soient présumées se trouver plus souvent en surface nous a conduit à utiliser un échantillonneur de grande ouverture et gréé d'un filet de grand maillage (1,250 mm) pour éviter le colmatage. Avant de construire l'échantillonneur Neuston décrit en annexe quelques essais sont effectués en surface en 1979 avec un autre engin (le WP3) d'ouverture circulaire d'un diamètre de 1,13 m gréé d'un filet de même maillage.

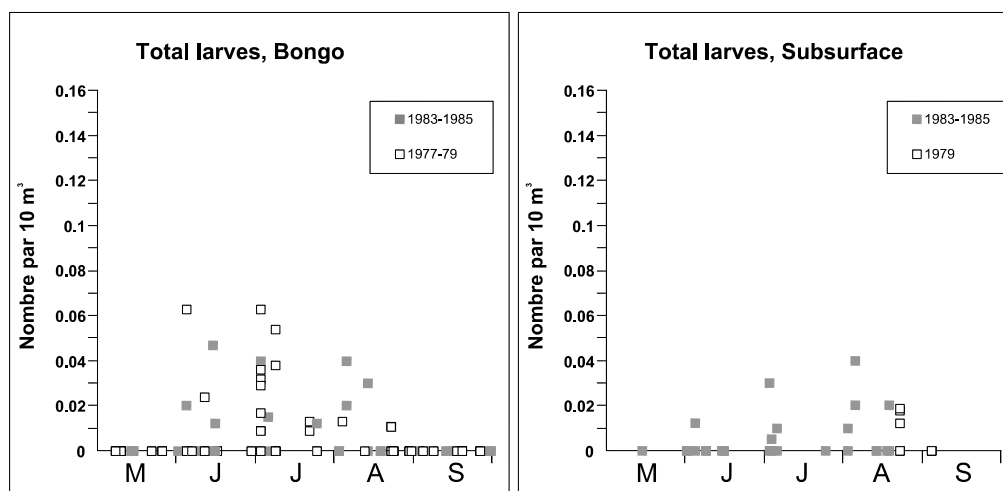


Figure 5.1.1.1. Densité des larves de homard observées avant mise en marche de la centrale

La figure 5.1.1.1 groupe tous les résultats obtenus sur le site même, avec l'échantillonneur Bongo utilisé sur l'ensemble des missions (figure de gauche) et en prélèvement de subsurface à partir de fin août 1979 (WP3 ou Neuston, figure de droite). Ces résultats nous ont permis de situer la période de présence des larves de homard dans le plancton entre début juin et fin août. Parallèlement l'échantillonnage des adultes réalisé pour l'étude de projet a montré que le pourcentage de femelles œuvées diminuait dans les pêches au cours de cette même période.

Entre la fin de l'étude de projet (1979) et le début de la surveillance (1983) des essais ont été réalisés pour mieux cerner la répartition des larves de homard dans des secteurs plus ou moins proches de la centrale.

La campagne des 22 et 23 juillet 1980 réalisée dans un secteur un peu plus grand avec un filet WP3 traîné en subsurface pendant une heure, nous a permis de trouver une densité de larves du stade 1 (0,065 par 10 m³) supérieure à celles relevées jusque-là, à 4 milles de la côte au nord-ouest du cap de Flamanville.

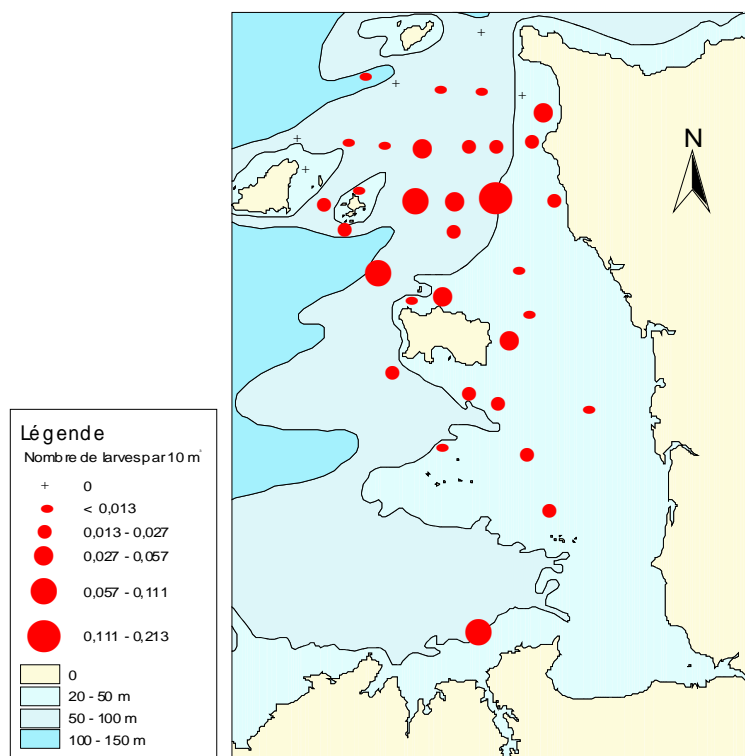


Figure 5.1.1.2 : Répartition des larves de homard récoltées en surface à l'échantillonneur Neuston du 7 au 12 juillet 1981

La campagne du 7 au 12 juillet 1981 élargie à l'ensemble du golfe normano-breton (Bertrand, 1982) a montré que l'échantillonneur Neuston maintenu légèrement émergé pêchait davantage de larves que le filet WP3 en subsurface. La figure 5.1.1.2 relative aux prélèvements du neuston montre que sur l'ensemble du golfe la plus forte densité de larves de homard (0,21 par 10 m³) a été observée au sud-ouest du cap de Flamanville. Cette valeur dépasse la valeur maximale obtenue avec le même échantillonneur sur le site de Flamanville (0,16 par 10 m³ au point référence en 1993).

En 1983 l'étude d'une usine marémotrice dans le golfe normano-breton fut une autre opportunité de situer les abondances de Flamanville par rapport à une zone plus étendue. Un seul point (au sud-ouest de Jersey) montrait une abondance (0,055 par 10 m³) plus forte que le point 3 de Flamanville lors de la même campagne (début juillet ; Martin et Halgand, 1990).

5.1.1.2. Période 1986-2004

Six missions entre juin et septembre (quatre seulement de 1993 à 1997 suite à une diminution contractuelle de l'effort d'échantillonnage) à bord d'un chalutier artisanal avec des intervalles de temps compris entre 8 et 30 jours selon les conditions météorologiques (exceptionnellement entre 5 et 51 en 1997 suite aux problèmes techniques du bateau) mais ne dépassant pas dans 60% des cas l'intervalle souhaité de 15 jours.

L'échantillonnage du zooplancton et les relevés hydrologiques sont, depuis 1988, réalisés en quatre points dont la position est indiquée sur la figure : le point *canal d'amenée*, 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) ; depuis 1998 deux missions "allégées" sur les six missions annuelles sont exécutées en ces deux derniers points.

De 1988 à 1998, deux échantillonneurs Neuston ont été utilisés simultanément, l'un pour échantillonner la couche de surface (70 cm) où les larves étaient supposées se trouver préférentiellement et l'autre sur l'ensemble de la colonne d'eau ; selon la profondeur, deux ou trois traicts obliques étaient réalisés à la suite de façon à réaliser un traict de durée similaire à celui réalisé en surface (environ 15 minutes). Ces onze années de prélèvements simultanés ont montré que les densités les plus fortes étaient toujours obtenues par prélèvements de surface (Martin, 2000).

Nous ne reporterons donc ici que les résultats issus des prélèvements de surface, exécutés de la même façon depuis 1983.

La figure 5.1.1.3. montre la répartition des quatre stades larvaires du homard depuis 1986. La présence du stade 3 dès le début du mois de juin indique que des éclosions se sont produites parfois dès le mois de mai au cours de cette période, soit avant la première mission.

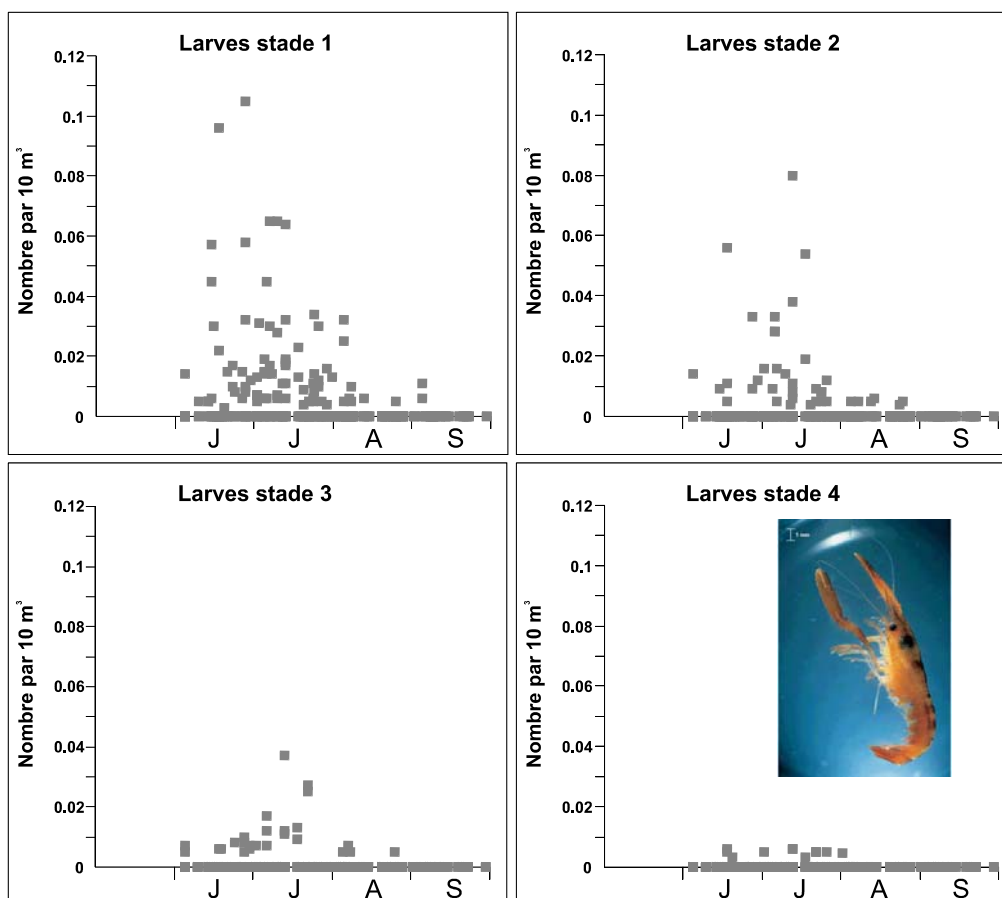


Figure 5.1.1.3 : Répartition des quatre stades larvaires du homard prélevés en subsurface sur l'ensemble des points suivis de 1986

La figure 5.1.1.4 qui illustre la répartition des larves de homard aux différents points de prélèvement, montre pour la moitié des années une récolte au point *référence* supérieure à celle du point 3. Aux environs du rejet leur présence est plus sporadique. Dans le canal d'aménée une larve a été récoltée en 2004 alors qu'on n'en avait pas pêché depuis 1988.

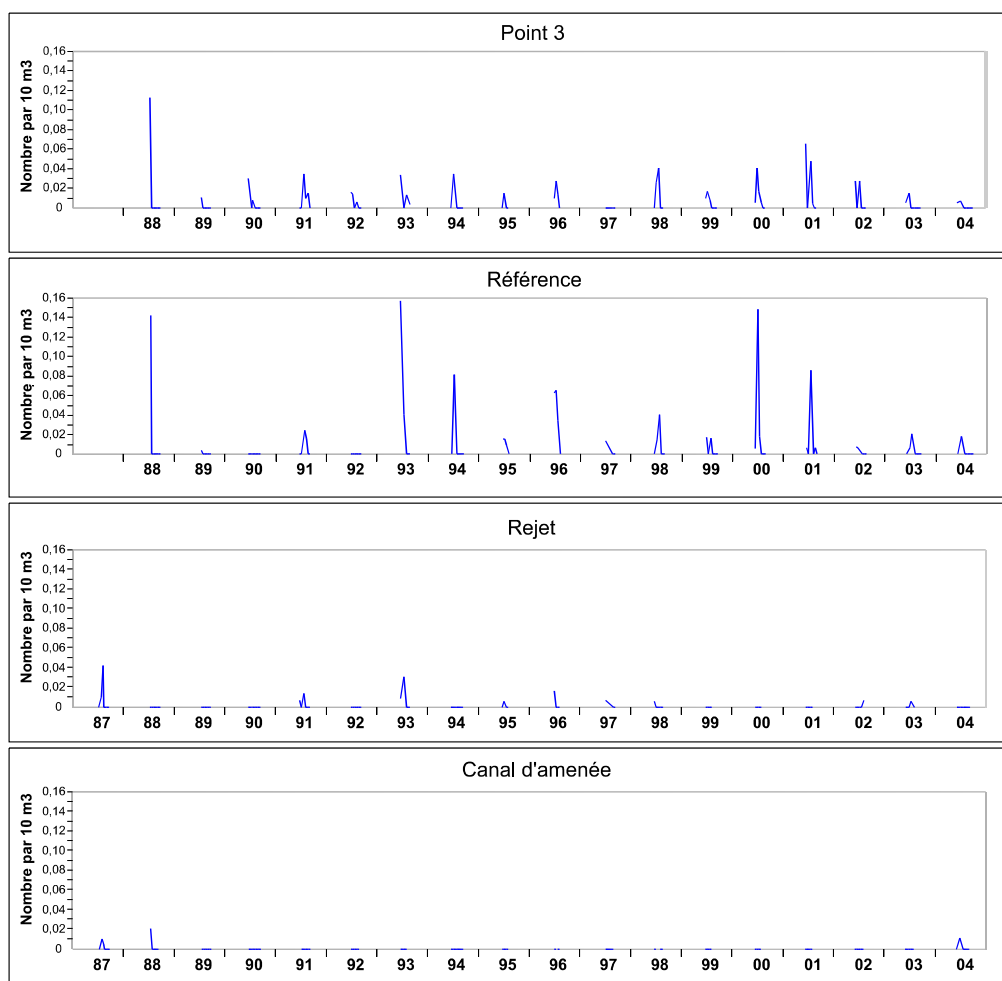


Figure 5.1.1.4 : Densité des larves de homard pêchées en subsurface au Neuston aux quatre points étudiés depuis la mise en marche de la centrale.

5.1.1.3. Discussion

Il est indéniable que le site de Flamanville se caractérise par sa richesse en larves de homards puisqu'on n'a jamais mesuré de densités beaucoup plus importantes sur d'autres secteurs plus ou moins proches.

Même si les abondances fluctuent d'une année à l'autre et que compte tenu du nombre peu élevé de prélèvements de surface effectués avec le Neuston au cours de la première période il soit difficile d'interpréter la différence d'abondance qui apparaît sur la figure 5.1.1.5. entre les deux périodes, celle-ci ne fait pas apparaître d'influence négative ou positive liée au fonctionnement de la centrale.

En revanche, la figure montre que la période de présence des larves sur le site va de début juin à début septembre, avec une plus forte abondance en juillet et août pour la première période et en juin et juillet pour la deuxième. Il semblerait ainsi que la période d'éclosion commence plus tôt depuis quelques années comme nous l'indique aussi la présence de larves au stade 3 dès le début du mois de juin. On peut y voir l'influence des températures printanières plus chaudes observées ces dernières années et dues au réchauffement climatique. Son influence sur les éclosions de larves d'araignée a été démontrée (§ 5.1.2.3).

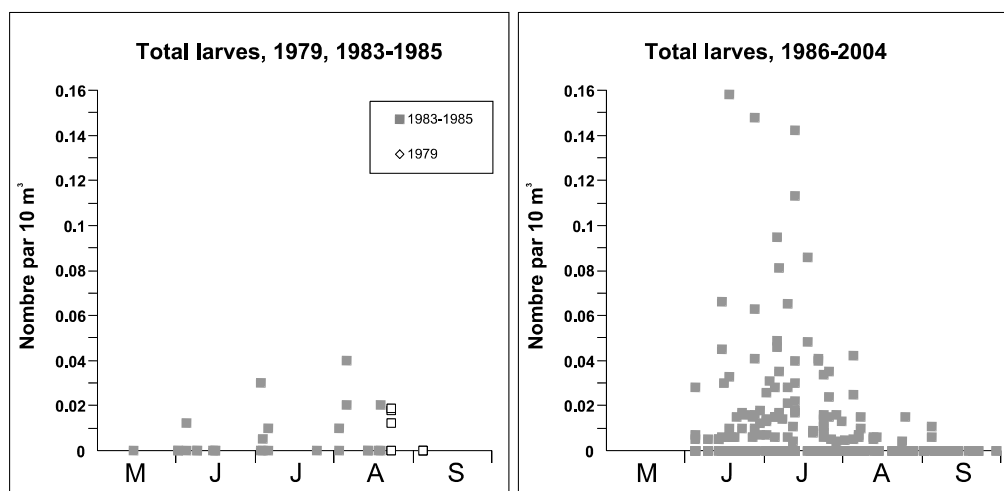


Figure 5.1.1.5 : Densité des larves de homard pêchées en subsurface avant et après mise en service de la centrale

5.1.2. Larves d'araignée *Maja brachydactyla* Balss

5.1.2.1. Période 1977-1985

L'étude de projet réalisée de 1977 à 1979 a porté sur près de trois cycles annuels avec des prélèvements au minimum mensuels, bimensuels au cours de l'été et effectués sur une radiale au droit du site, du point 0 le plus près de la côte (à 0,5 mille) au point 3 situé à 3 milles ; le point 4 situé au sud du point 1 en face de la pointe du Rozel devait servir de référence. Le complément d'étude réalisé au cours des trois années précédant la mise en fonctionnement ne portait que sur deux points, l'un théoriquement situé dans le futur panache (point 0) et le point 3 en dehors de celui-ci.

Sur l'ensemble des années étudiées entre 1977 et 1985, la densité maximale de larves en phase zoé (figure 5.1.2.1) observée en un point est comprise, selon les années, entre 3,8 et 13,3 par 10 m³, si l'on écarte l'année 1983 où la densité atteint au point 3 la valeur exceptionnelle de 61 par 10 m³ ; la densité maximale de larves en phase mégalope (figure 5.1.2.2) est comprise entre 0,10 et 0,68 par 10 m³. Les graphes situés en bas et à gauche des figures 5.1.2.1 et 5.1.2.2 montrent qu'au cours de cette période, les zoés et mégalopes d'araignée ont été observées entre fin juillet et fin octobre.

La répartition des zoés selon les points ne semble pas très reproductible d'une année à l'autre : de 1977 à 1978 les densités les plus fortes sont observées aux points les plus côtiers alors que le point 3 présente en 1983 une densité exceptionnelle non relevée au point 0.

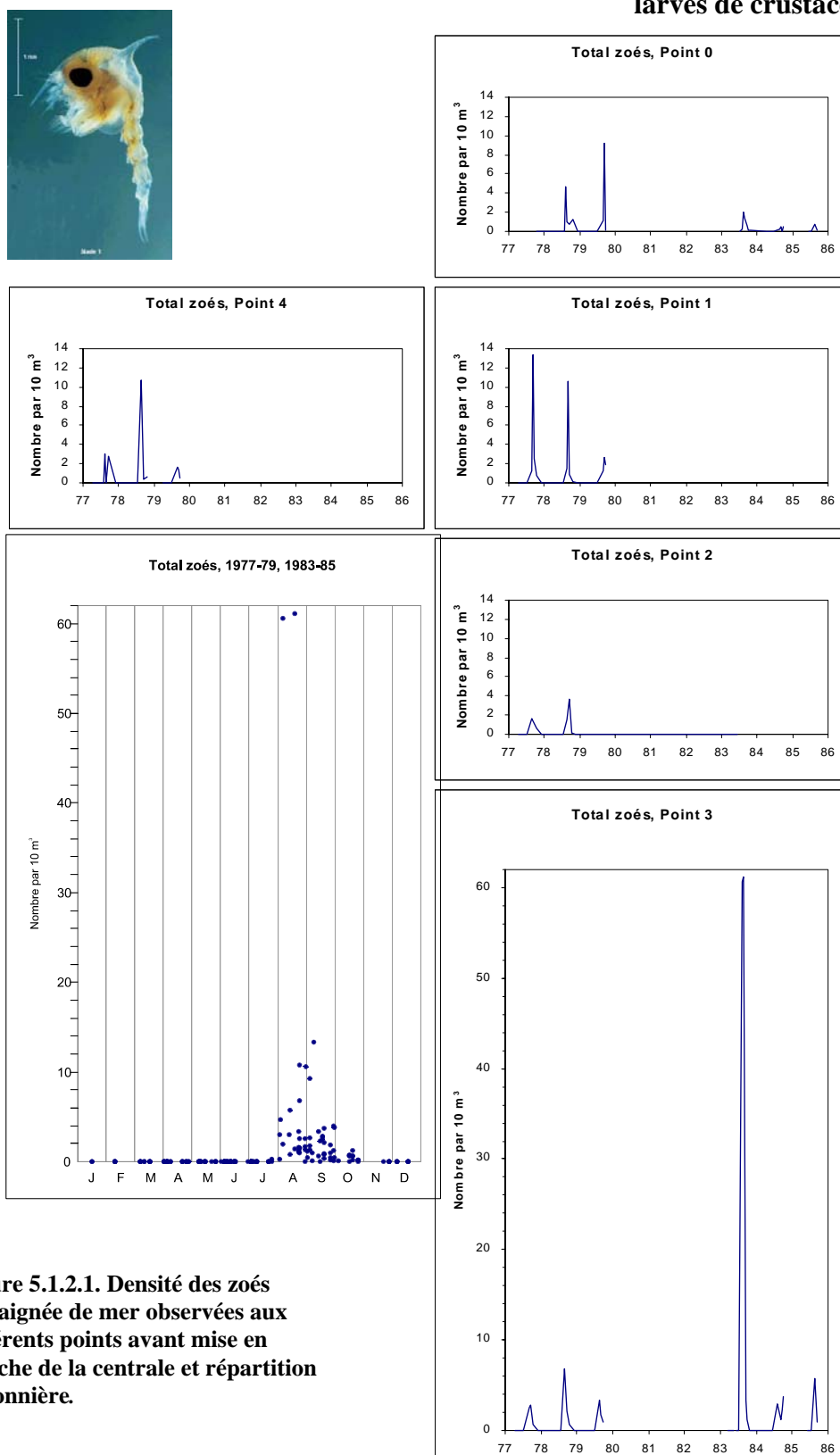


Figure 5.1.2.1. Densité des zoés d'araignée de mer observées aux différents points avant mise en marche de la centrale et répartition saisonnière.

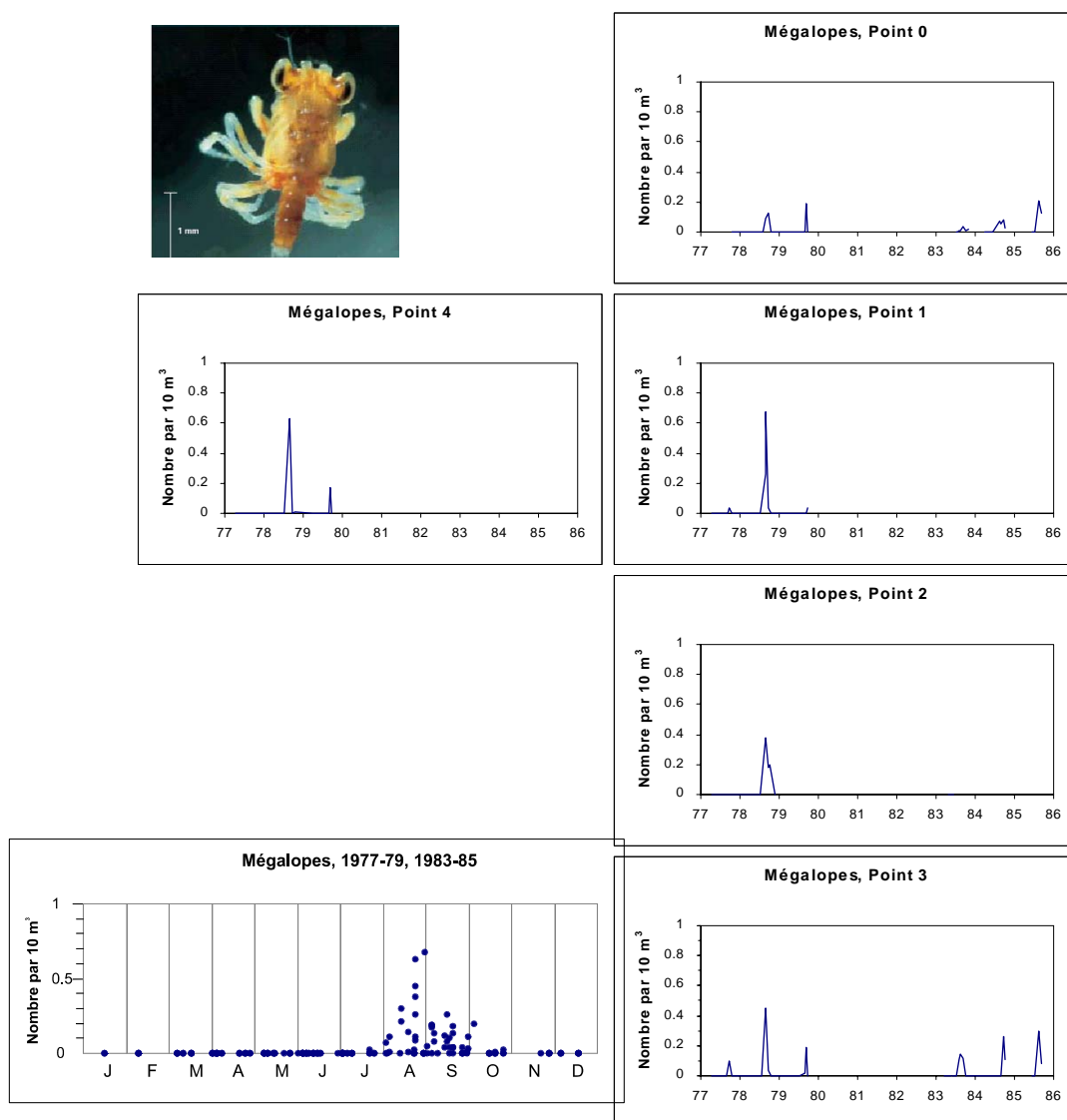


Figure 5.1.2.2 : Densité des mégaloopes d'araignée de mer observées aux différents points avant mise en marche de la centrale et répartition saisonnière.

5.1.2.1.1 Période 1986-2004

Jusqu'en 1983 inclus les pêches à l'échantillonneur Bongo étaient effectuées en trois paliers de cinq minutes (voisinage du fond, mi-profondeur et sub-surface) alors que depuis 1984, elles sont faites en traict oblique, depuis le fond jusqu'en surface. Le volume filtré est de ce fait moins important qu'auparavant mais en revanche deux répliquats sont réalisés à chaque point et la densité en un point est la moyenne des densités obtenues avec les deux répliquats.

Le calendrier des missions et les points échantillonnés sont les mêmes que pour les larves de homard.

La figure 5.1.2.3 montre que sur la période 1986-2004 les zoés d'araignée ont été observées dès le début du mois de juin, les mégaloopes à partir du mois de juillet,

les densités les plus élevées se situant de juillet à septembre pour les zoés, de fin juillet à début septembre pour les mégalopes.

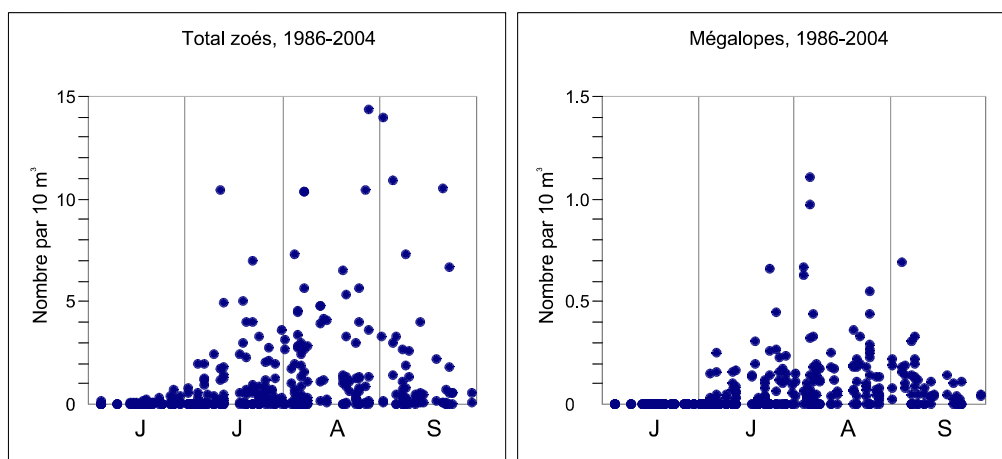


Figure 5.1.2.3 : Période de présence des deux phases larvaires d'araignée sur l'ensemble des points suivis de 1986 à 2004

Les figures 5.1.2.4 et 5.1.2.5 permettent de comparer l'évolution pluriannuelle des quatre points échantillonnés ; elles montrent :

- la richesse en zoés du point 3 comparé aux autres points, la densité la plus forte atteignant 14,4 par 10 m^3 ; seul le point *référence* se caractérise par une abondance notable en zoés, parfois proche de celle du point 3 (en 1990, 1991, 1996 et 1998) voire qui la dépasse légèrement (en 2002) mais les densités les plus fortes (valeur maximale : 5,7 par 10 m^3) ne sont pas trouvées au cours des mêmes années pour les deux points. En revanche, les densités de mégalopes sont toujours partagées entre les points 3 et *référence* qui montrent généralement des valeurs assez proches ; la phase mégalope correspondant au début d'adaptation des larves à leur vie benthique cette phase larvaire est probablement moins sensible au courant ; Les densités de mégalopes sont de l'ordre du dixième des densités de zoés ;

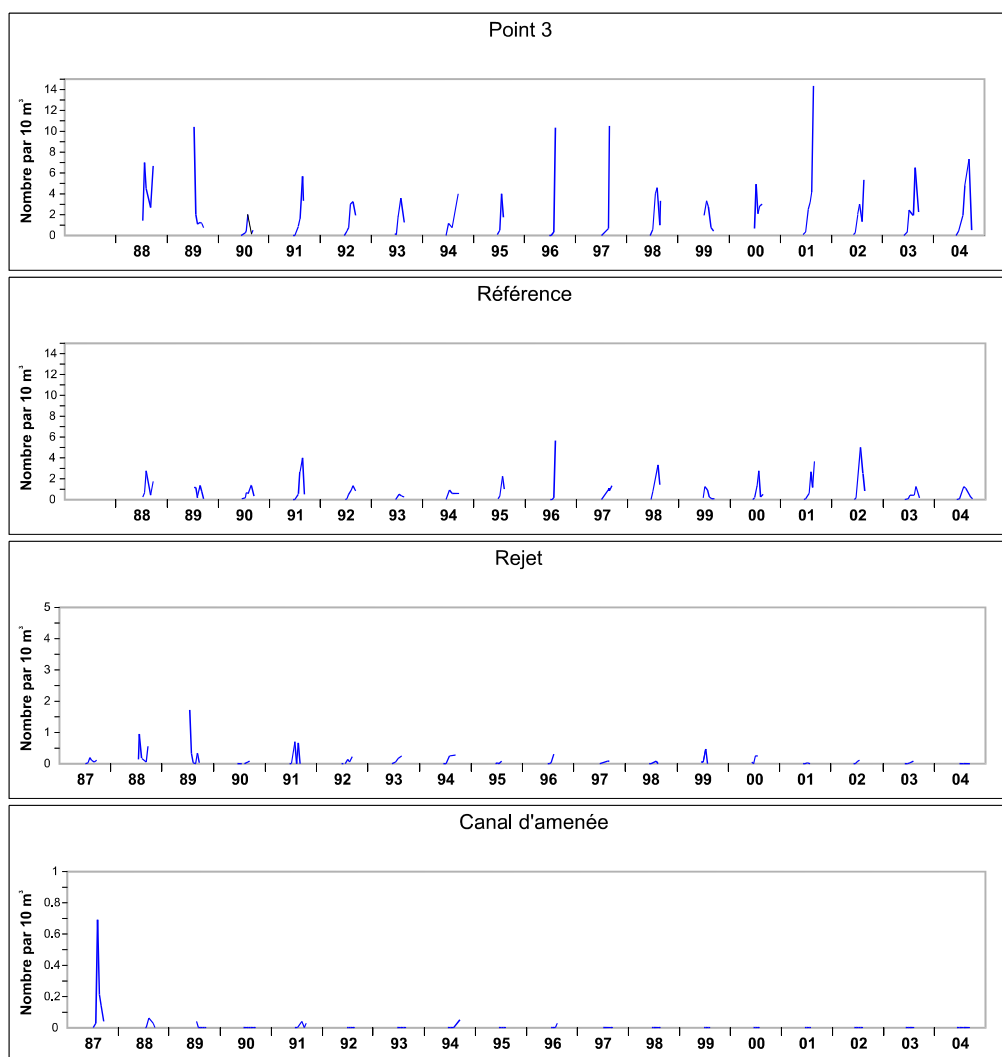


Figure 5.1.2.4 : Densité des zoés d'araignée de mer aux quatre points étudiés depuis la mise en marche de la centrale

- la faible quantité de larves aux alentours des tulipes de rejet (densités maximales 1,7 zoés et 0,19 mégaloque par 10 m³) ; il semblerait que la tendance à la baisse observée pour les densités de zoés ne s'applique pas aux mégaloques dont les effectifs sont plus réguliers ;
- l'absence quasi régulière de larves d'araignée (zoés et mégaloques) dans le canal d'aménée depuis 1989 après les deux premières années (1987 et 1988) où ce point a été étudié et où leur présence était notée au cours de toute la saison (densité maximale 0,7 par 10 m³) ; explication possible : la modification hydrodynamique liée à la mise en service des pompes.

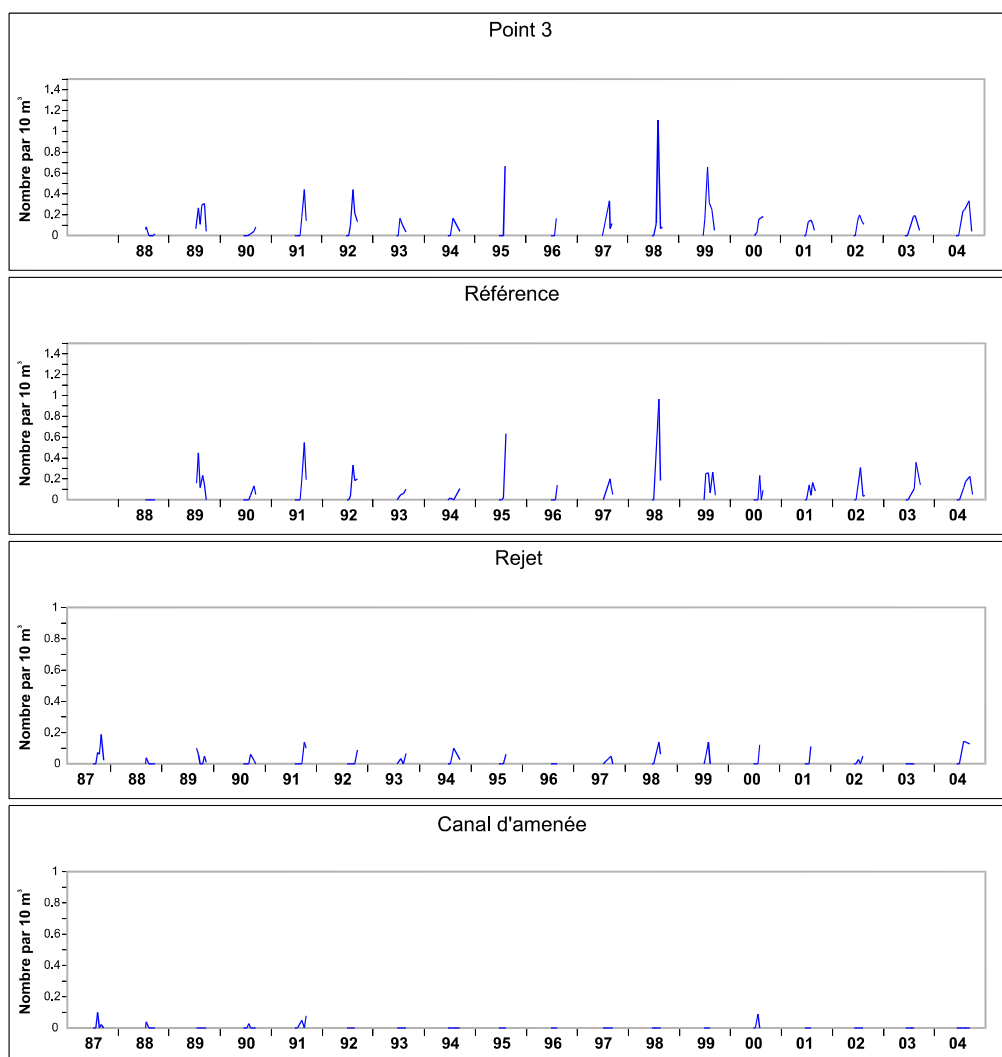


Figure 5.1.2.5 : Densité des mégaloopes d'araignée de mer aux quatre points étudiés depuis la mise en marche de la centrale

5.1.2.2. Discussion :

L'étude de 1983 (mars-octobre) liée au projet d'usine marémotrice dans le golfe normano-breton a montré le rôle important du site de Flamanville pour les éclosions d'araignée de mer par rapport à l'ensemble du golfe (Martin, 1985). La figure 5.1.2.6 montre que les densités les plus fortes sont relevées à l'est et au sud-ouest de Jersey où la valeur atteint 44 par 10 m^3 au cours de la deuxième campagne d'août, en des points qui sont situés comme le point 3 de Flamanville au-delà de la sonde des 20 mètres. Ce résultat peut être relié au comportement des araignées matures qui se rassemblent à la côte pour la ponte et l'incubation de leurs œufs (Kergariou, 1971).

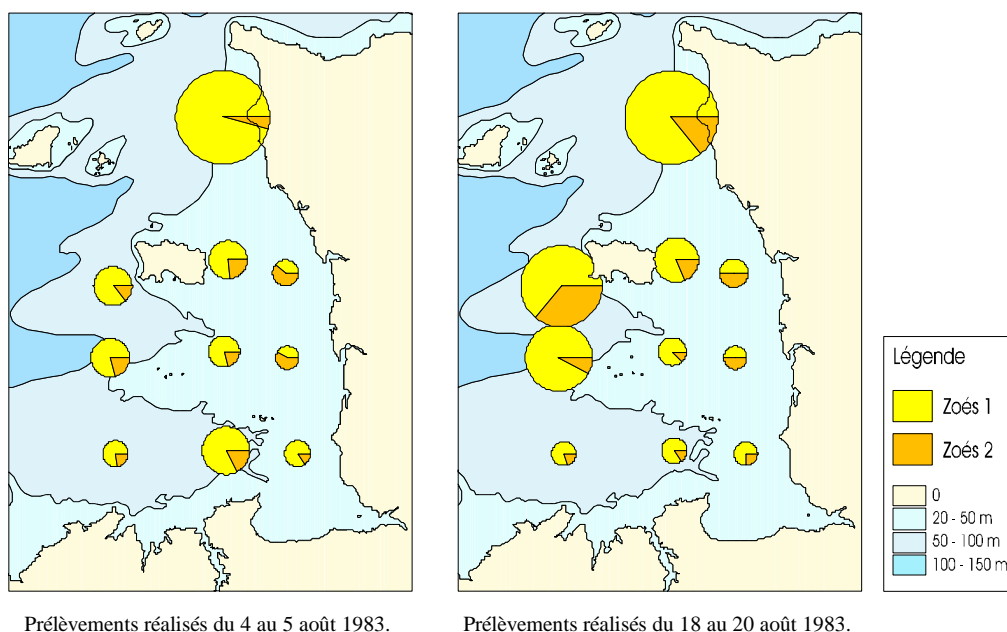


Figure 5.1.2.6 : Répartition des larves d'araignée de mer sur l'ensemble du golfe normano-breton en 1983

Les fortes densités de zoés relevées en ces points du golfe montrent aussi que les densités exceptionnelles observées sur le site de Flamanville ne sont pas dues à un phénomène local. Il est par ailleurs intéressant de noter qu'à Paluel au cours de la même année la densité maximale de zoés observée atteint 13,1 par 10 m^3 , soit une valeur six fois plus importante que celle obtenue sur l'ensemble des années antérieures. En revanche, les densités de mégaloopes observées au cours de l'année 1983 ne présentent pas de valeurs inhabituelles, tant au point 0 qu'au point 3 de Flamanville que pour l'ensemble du golfe normano-breton et que sur le site de Paluel. Compte tenu de la prédation et autres causes de mortalité entre les deux phases larvaires les densités de mégaloopes sont naturellement nettement plus faibles que les densités de zoés, mais les figures précédentes montrent que les maximums ne sont pas observés au cours des mêmes années.

Les récoltes réalisées depuis le début des études sur le site au point du large (point 3) situé en dehors de la tache thermique associées aux mesures de température de l'eau, nous ont permis d'étudier l'influence du climat sur la date de début des éclosions de larves. Il est apparu dès les premières années de surveillance que les zoés apparaissaient plus tôt dans le plancton que lors des études de projet (Martin, 1993).

La mesure de la température de l'eau effectuée quotidiennement à l'entrée de la centrale depuis sa mise en fonctionnement (mesure E.D.F. "source amont site") permet de connaître de façon relativement précise la quantité d'énergie reçue par les œufs lors de l'incubation, voire même par les femelles avant la ponte ; 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 avant la ponte, elles permettent néanmoins de comparer les cycles annuels entre eux avec une précision acceptable.

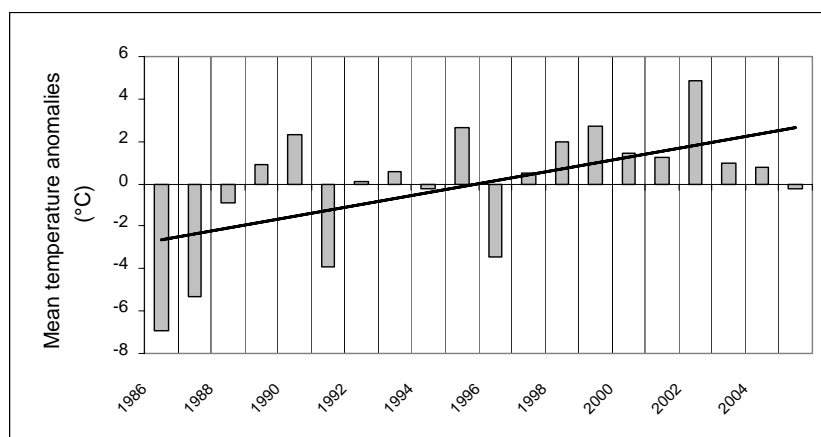


Figure 5.1.2.7. Anomalies de la température moyenne sur la période février-mai

L'analyse des températures de 20 années d'étude (1986-2005) montre qu'il existe une tendance au réchauffement (Martin & Planque, sous presse), observée aussi pour le site de Gravelines (Woehrling et al., 2005) et au niveau mondial (IPPC, 2001). La figure 5.1.2.7 montre que l'année la plus froide sur la période février-mai est 1986 et la plus chaude 2002.

La figure 5.1.2.8 illustre 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 au cours de ces deux années extrêmes (1986 et 2002). On voit que les zoés d'araignée ne sont récoltées qu'à partir de fin juillet en 1986 alors qu'elles apparaissent dans le plancton dès le début du mois de juin en 2002.

Correlation coefficient (r) *	January			February			March			April			May		
	1 st	11 th	21 st	1 st	11 th	21 st	1 st	11 th	21 st	1 st	11 th	21 st	1 st	11 th	21 st
10 days period	0.10	0.19	0.36	0.61	0.80	0.86	0.52	0.67	0.57	0.85	0.76	0.72	0.73	0.83	0.79
20 days period		0.28		0.76		0.75	0.65		0.84		0.75		0.83		
		0.05	0.50	0.86	0.61	0.75	0.81	0.79							
30 days period		0.16	0.82	0.64	0.86	0.82									
			0.40	0.83	0.75	0.80									
				0.67	0.72	0.79	0.79								

* Pearson correlation coefficient on first-order differenced time-series.

□ non significant □ 0.05 > p > 0.01 □ 0.01 > p > 0.001 □ p < 0.001

Tableau 5.1.2.1 : Corrélation entre les températures cumulées sur différentes périodes et la date d'éclosion des zoés d'araignée

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 (tableau 5.1.2.1) montre qu'il n'y a 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, seulement un peu plus faible autour de début mars. Précisons que pour 1989 où le pic d'abondance s'est produit lors de la première mission, nous avons considéré que la date d'apparition des zoés 1 s'était produit 15 jours avant.

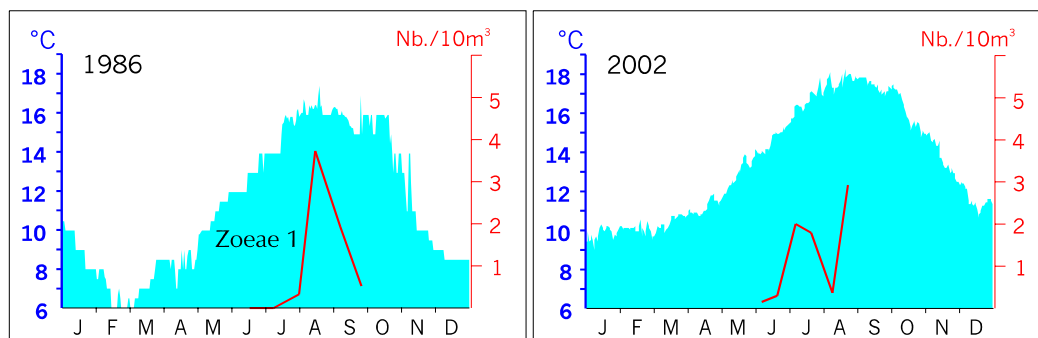


Figure 5.1.2.8 : Évolution saisonnière des zoés d'araignée au 1^{er} stade lors de deux années extrêmes

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 5.1.2.8, graphe gauche). Ce modèle montre qu'un accroissement de température 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 5.1.2.9) construit à partir des températures mesurées sur une période plus courte, de 4 semaines seulement (1^{er} février-10 avril), 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 avril avec une assez bonne précision.

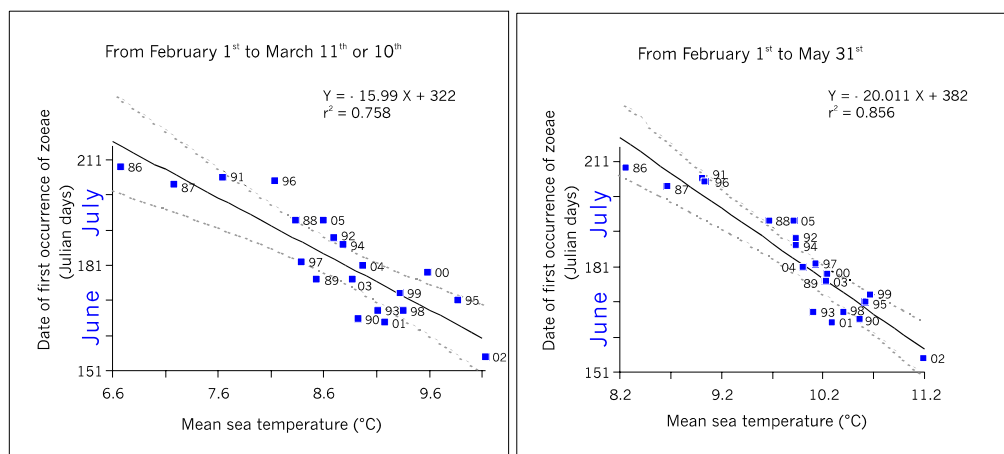


Figure 5.1.2.9. Modèles prédictifs de la date d'apparition des zoés d'araignée de mer

5.1.3. Conclusion

Les études réalisées dans un secteur plus large montrent que le site de Flamanville est situé près des zones d'éclosion des deux espèces de crustacés de grand intérêt commercial suivies depuis 1986, le homard et l'araignée de mer.

L'évolution des densités de larves de ces deux espèces aux point de référence et au point du large ne montre pas de tendance à la baisse depuis la mise en marche de la centrale. La forte densité de zoés d'araignée trouvée en août 1983 qui est de 5 à 10 fois supérieure aux autres maximums annuels, reste inexpliquée et cette augmentation ne se retrouve pas dans les densités de mégalopes, phase larvaire suivante. La fluctuation des densités maximales de larves de homard d'une année à l'autre peut être en partie liée à la date de la première mission qui semble se situer parfois après le pic d'éclosions.

Les faibles quantités de larves observées aux alentours des tulipes de rejet et plus particulièrement au niveau du canal d'amenée pourraient s'expliquer par la position très côtière de ces points et la modification engendrée par les digues ; en effet, les densités de larves relevées au cours des premières années de surveillance de ces points sont supérieures aux suivantes.

Le suivi des larves d'araignée de mer sur le site a permis de montrer l'influence du réchauffement du climat sur la précocité des éclosions.

Annexe 5.1.1. Matériel et méthodes.

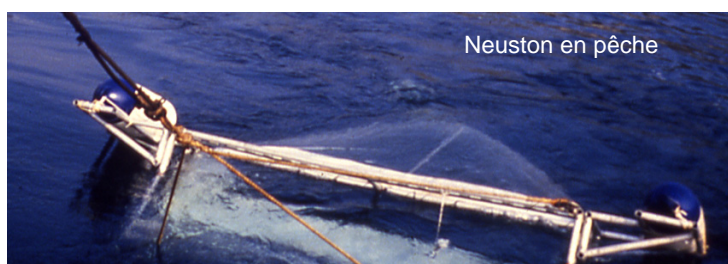
La température de l'eau et sa salinité ont été mesurés à chaque point de prélèvement depuis le début des études. Les relevés sont faits à deux niveaux (subsurface et voisinage du fond) à l'aide d'une sonde. La précision de la sonde TURO, modèle T 611 D acquise en 2002 ($5 \cdot 10^{-2}^{\circ}\text{C}$ pour les mesures de température et $2 \cdot 10^{-1}$ eps [échelle pratique de salinité] pour les mesures de salinité) est proche de celle de la Valeport utilisée jusqu'en 2001.



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. Il comporte deux filets de maillage $505 \mu\text{m}$ montés sur une même armature et pêchant en même temps. Chaque filet a un diamètre d'ouverture de $0,61 \text{ m}$, 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 $500 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 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.

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 assez important malgré la faible profondeur des eaux côtières. Pour compenser le volume plus faible un réplicat est réalisé et le résultat est la moyenne des deux pêches.

L'échantillonneur utilisé pour les larves de homard réalisé d'après celui utilisé par Nichols *et al.* (1980), se compose d'un cadre en tube d'aluminium ($2 \text{ m} \times 0,70 \text{ m}$) 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 1250 micromètres . 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.



L'échantillonneur Neuston, utilisé à partir 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).

Les deux échantillonneurs sont traînés à une vitesse de 2 nœuds environ (1 m.s^{-1}).

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

Chaque filet se termine par un collecteur à oreilles (photo ci-contre) où les organismes se rassemblent dans un volume d'environ 2 litres empêchant leur détérioration. Après chaque traict, les filets sont rincés à l'eau de mer afin de rassembler les planctons dans les collecteurs ; le contenu de chaque collecteur est recueilli dans des bocaux de 2 litres.

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.

Les larves de homard et d'araignée de mer sont comptées sur la totalité des échantillons (ou sur une fraction seulement pour les larves d'araignée au début des études) et leur stade est identifié.

Les données brutes du comptage sont saisies au sur micro-ordinateur où les effectifs, par espèce et stade de développement, sont ramenés à l'unité de volume filtrée (10 m^3) L'ensemble des données est archivé à Nantes sur la mini-base créée spécialement pour la partie "œufs et larves" du domaine halieutique.

5.2 Surveillance des pêches côtières

L'étude de la surveillance halieutique des crustacés sur le site électronucléaire de Flamanville se décompose en deux phases :

- L'étude de Projet (1977 à 1982), visant à établir un état de référence général des ressources halieutiques du secteur. Elle a montré l'intérêt de suivre la population des crustacés à partir de 1980, et ceci avant la mise en service de la centrale en 1986.
- L'étude de Surveillance, débutant en 1983 avec quatre campagnes annuelles. Elle fut allégée à deux missions par an après les six premières années de fonctionnement de la centrale.

Les sorties ont toujours eu lieu lors de marées de morte-eau. La zone d'étude est divisée en 15 unités d'échantillonnage (figure 5.2.1). Chaque unité est composée d'une filière de 20 casiers, régulièrement répartie du nord au sud de la Centrale de Flamanville.

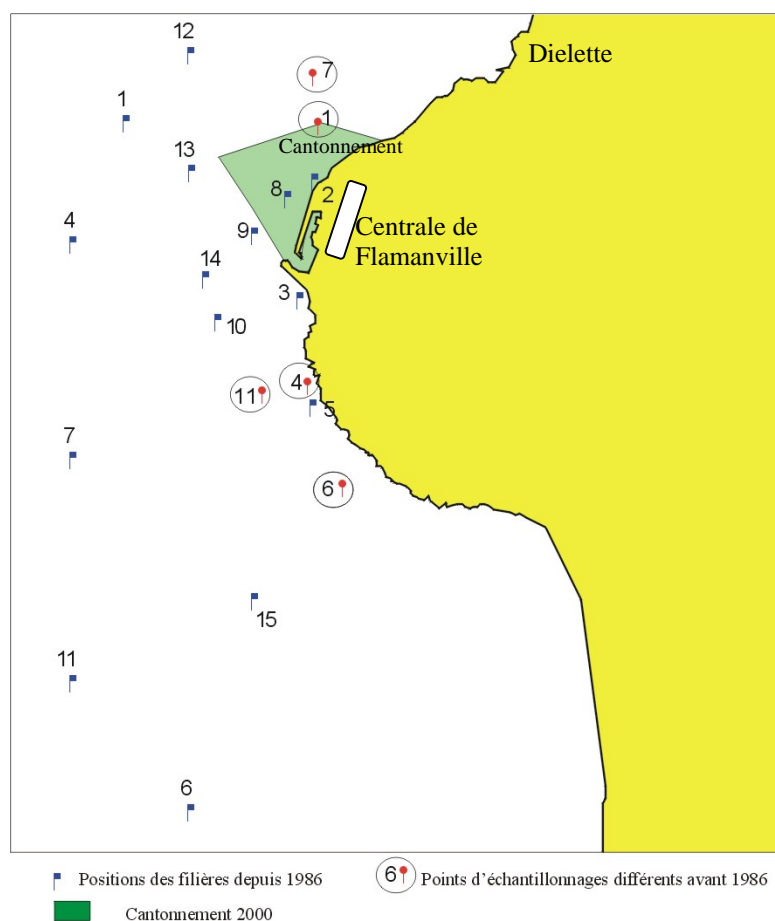


Figure 5.2.1 : Positionnement des points d'échantillonnage suivis entre 1980 et 2004

Le nombre annuel de filières relevées lors de chaque campagne est présenté dans le tableau 5.2.1. A la demande d'Électricité de France, les filières 1, 4, 6, 7, 11 ont

été repositionnées en 1984 pour prendre en compte des zones situées plus au large.

Depuis 1986, elles sont calées par le pêcheur la veille du premier jour de mission selon les coordonnées géographiques identiques chaque année.

ANNEE	MOIS											
	NBCASIERS						NB FILIERES					
	5	6	7	8	9	Total	5	6	7	8	9	Total
1980	890	863	900	674	516	3843	45	43	45	34	28	195
1981	508	995	1149	1176	1028	4856	26	52	60	60	53	251
1982	1174	960	1137	927	1067	5265	59	48	57	48	56	268
1983	1191	838	1168	1314	216	4727	60	43	60	68	11	242
1984	1192	1089	1201	882	1030	5394	59	54	60	44	52	269
1985	1144	922	1138	757	944	4905	60	47	59	40	48	254
1986	835	1124	1070	1067	1113	5209	42	57	55	56	60	270
1987	1139	1010	1088	1029	1184	5450	59	51	55	51	60	276
1988	975	953	714	771	1123	4536	49	48	36	39	57	229
1989	1200	1120	1176	878	1076	5450	60	56	59	44	54	273
1990	1015	360	713	939	706	3733	51	18	36	48	36	189
1991	1159	400	540		989	3088	58	20	27		51	156
1992	1000	575	1120	200	548	3443	50	29	56	10	28	173
1993		420			951	1371		23			53	76
1994		986			419	1405		48			25	73
1995		1200			1100	2300		60			55	115
1996		1160			780	1940		58			39	97
1997		1140			1140	2280		57			57	114
1998		1120			1167	2287		56			59	115
1999		1200			820	2020		60			41	101
2000		1100			1056	2156		55			53	108
2001		1180			1080	2260		59			54	113
2002		1180			1200	2380		59			60	119
2003		1199			1200	2399		60			60	120
2004		1200			1140	2340		60			57	117
Total	13884	23832	13114	10614	22773	85037	701	1198	665	542	1166	4313

Tableau 5.2.1 : Nombre annuel de casiers et de filières relevées lors de chaque campagne

A chaque point et pendant les quatre jours de mission, des observations biologiques sur la faune capturée sont notées pour les principales espèces de crustacés (homard, tourteau, araignée, étrille), de buccin et de paguridés. Les autres espèces, dites accessoires et représentées principalement par les poissons, ne sont pas répertoriées.

L'objectif global de chaque mission est la réalisation d'un minimum de 800 levés de casiers sur un maximum possible de 1200.

Les pêches expérimentales réalisées avant 1980 ne sont pas traitées ici car les conditions de capture étaient celles de la pêche professionnelle. Les points de prélèvement variant en fonction des conditions de pêche des jours précédents (Bertrand 1981), il n'est pas possible de faire un suivi temporel et spatial des captures sur l'ensemble de la période choisie.

La série historique retenue s'étend donc de 1980 à 2004 et ne prend en compte que les campagnes réalisées en juin et septembre.

Suite à la création en 2000 d'un cantonnement de 1 km² interdit à la pêche au casier (figure 5.2.1), nous avons décidé d'identifier cette zone et de la traiter de façon particulière. Elle fait en effet partie intégrante du protocole d'échantillonnage. 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 un biais dans la série historique des campagnes.

D'autres biais possibles doivent être pris en considération pour cette étude, comme par exemple le changement de patron qui, dans le cas présent, a mis à notre disposition du meilleur matériel, ou du fait du navire qui peut être limité par son tirant ou sa manœuvrabilité.

Ces variables sont donc positionnées dans le temps au sein des graphes pour lesquels leur incidence semble la plus significative (figure 5.2.2) : les lettres B, P, C placées sur les axes des années, représentent respectivement les changements de bateau, de patron ou bien encore la création du cantonnement en 2000. Il faut noter aussi que de nombreuses mesures de gestion lors de cette longue période ont pu entraîner des changements sur les différentes populations de crustacés du golfe normano-breton. Ainsi par exemple, on peut s'attendre à ce que l'augmentation de la taille minimale de capture augmente le nombre de femelles primipares. Cette mesure permettra d'augmenter le recrutement et de compenser les différentes pressions anthropiques faites sur cette espèce, surtout si l'effort de pêche associé reste constant.

Les indicateurs retenus en juin et septembre (figures 5.2.2 à 5.2.5) sont les suivants :

- Le rendement en nombre d'individus pour 80 casiers levés ; il est exprimé en logarithme népérien (A et B).
- La longueur céphalothoracique moyenne (C et D).
- Le sex-ratio exprimé en pourcentage de mâles par rapport au total des mâles et des femelles (E et F).

La tendance des indicateurs est analysée et représentée par une droite quand les variations temporelles sont significatives.

L'ensemble de ces indicateurs a été standardisé et validé dans le cadre du traitement des campagnes à la mer réalisées au sein d'Ifremer (Bertrand et *al.*, 2004).

5.2.1. Homard

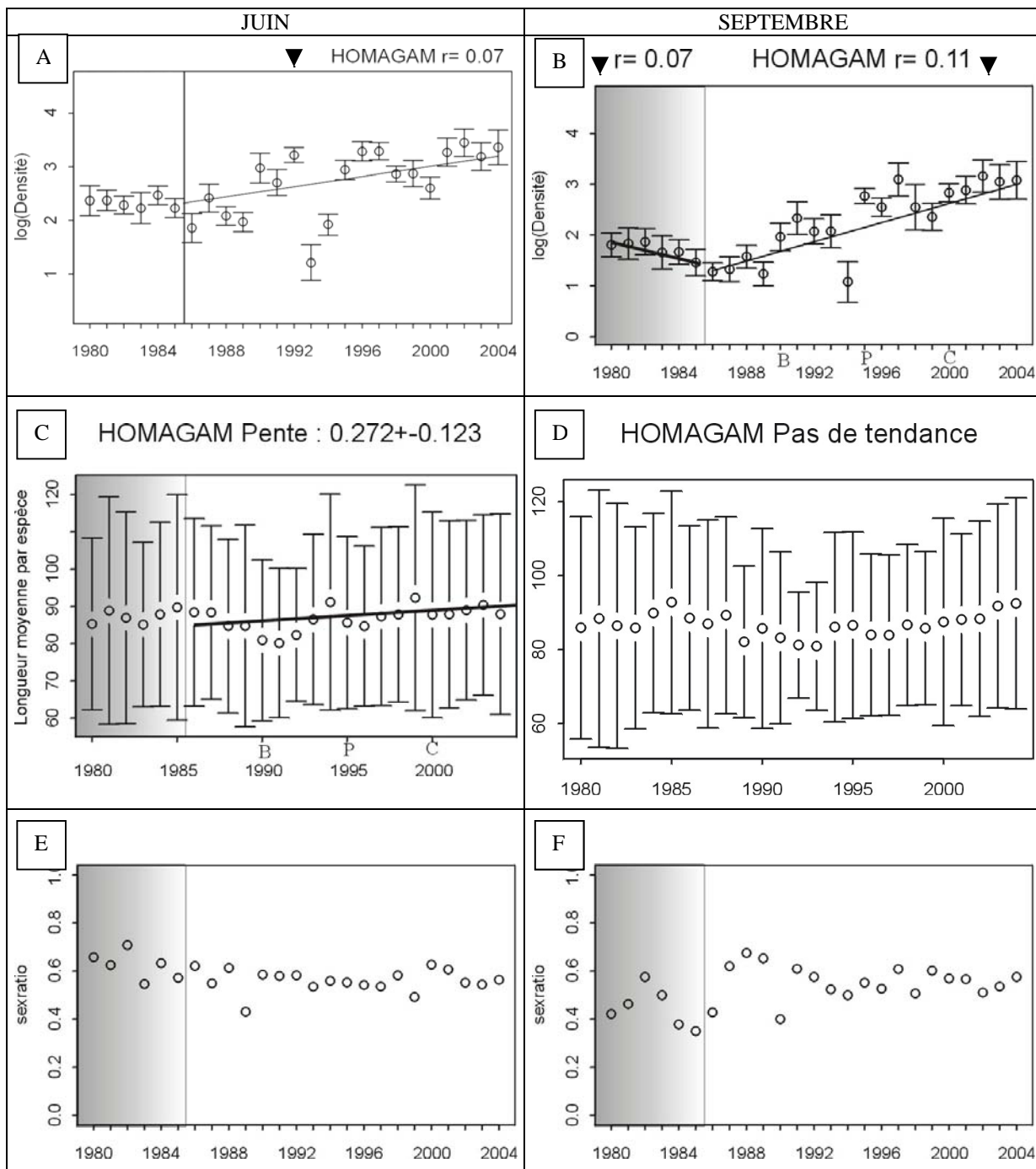


Figure 5.2.2 : Évolution des indicateurs retenus pour le homard

5.2.1.1. Période 1980-1985

- Rendement

Il est fort probable que le déplacement des filières 1, 4, 6, 7 et 11 vers le large soit à l'origine de la diminution du nombre d'individus capturés et de la tendance représentée sur la figure 5.2.2-B. C'est en effet à la côte que les rendements moyens les plus élevés sont observés. Ils se localisent essentiellement le long de la falaise dès le niveau des premiers enrochements de la jetée sud de la centrale, sur les positions 5, 4, 11, 3 et 6. Sur ces points, les rendements moyens sont supérieurs à 12 individus pour 80 casiers (Bertrand, 1981).

Le rendement maximum de 14 individus pour 80 casiers est obtenu en juin 1984.

- Taille moyenne

De la même manière, le déplacement des filières vers le large, entraîne une augmentation de la taille moyenne de la population en 1984 et 1985 (figure 5.2.2- C et D). C'est en effet dans les zones du large que l'on observe les meilleurs rendements pondéraux moyens avec des valeurs supérieures, en 1984, à 6 kg pour 80 casiers sur les filières 15 et 6. La longueur céphalothoracique moyenne observée sur l'ensemble de cette période est de 8,7 cm.

- Proportion des sexes

Aucune tendance générale ne se dégage.

La comparaison des campagnes de juin et septembre (figure 5.2.2 - E et F) montre une inversion du rapport des sexes en faveur des femelles au mois de septembre. Ce renversement pourrait être mis en relation avec une reprise de l'activité des femelles en cette saison. Ceci ayant pour effet de porter à l'équilibre le sex-ratio des captures automnales.

5.2.1.2. Période 1986-2004

- Rendement

La tendance générale est à l'augmentation des captures sur les deux périodes. On passe ainsi d'un minimum de 4 individus pour 80 casiers en septembre 1986 à un maximum de 30 individus pour le même nombre de casiers en juin 2002.

- Taille moyenne

Elle se situe légèrement au dessus de 8,7 cm. Le gradient de taille, croissant de la côte vers le large reste marqué. La tendance présentée sur la figure C n'est pas significative car elle tient compte des homards pêchés dans la réserve. En effet, si l'on retire les filières 2 et 8, la tendance disparaît.

- Proportion des sexes

Aucune tendance générale ne se dégage.

5.2.1.3. Discussion

L'augmentation de rendement est due en grande partie à différents éléments extérieurs qui ont, pendant cette longue période de presque 20 années, perturbés la série des prélèvements :

- L'achat d'un nouveau bateau en 1990 coïncide avec une diminution importante du nombre de casiers levés pendant les cinq années qui suivent. Les variations des rendements (figure 5.2.2 – C et D) sont donc difficilement interprétables sur cette période, le nombre de levés restant inférieur au seuil minimum des 800 par campagne.
- Le rachat du bateau en 1995 par un nouveau patron a eu une incidence importante dans les captures, la moyenne des rendements étant en juin de 20 individus pour 80 casiers. Cette augmentation est probablement due à l'utilisation de filières de casiers plus performants.
- La création en 2000 d'une réserve devant les enrochements de la centrale a provoqué une augmentation générale des indices. Les rendements des deux filières situées dans le cantonnement sont très nettement supérieurs au reste de la zone prospectée et participent pour 40 % à l'indice global. Si ces derniers ne sont pas pris en compte, les rendements restent sensiblement identiques à ceux observés depuis 1995, soit en moyenne 15 individus pour 80 casiers.

Parallèlement à cela, ni la distribution de la taille moyenne, ni le rapport des sexes n'ont connu d'évolution significative.

5.2.2. Tourteau

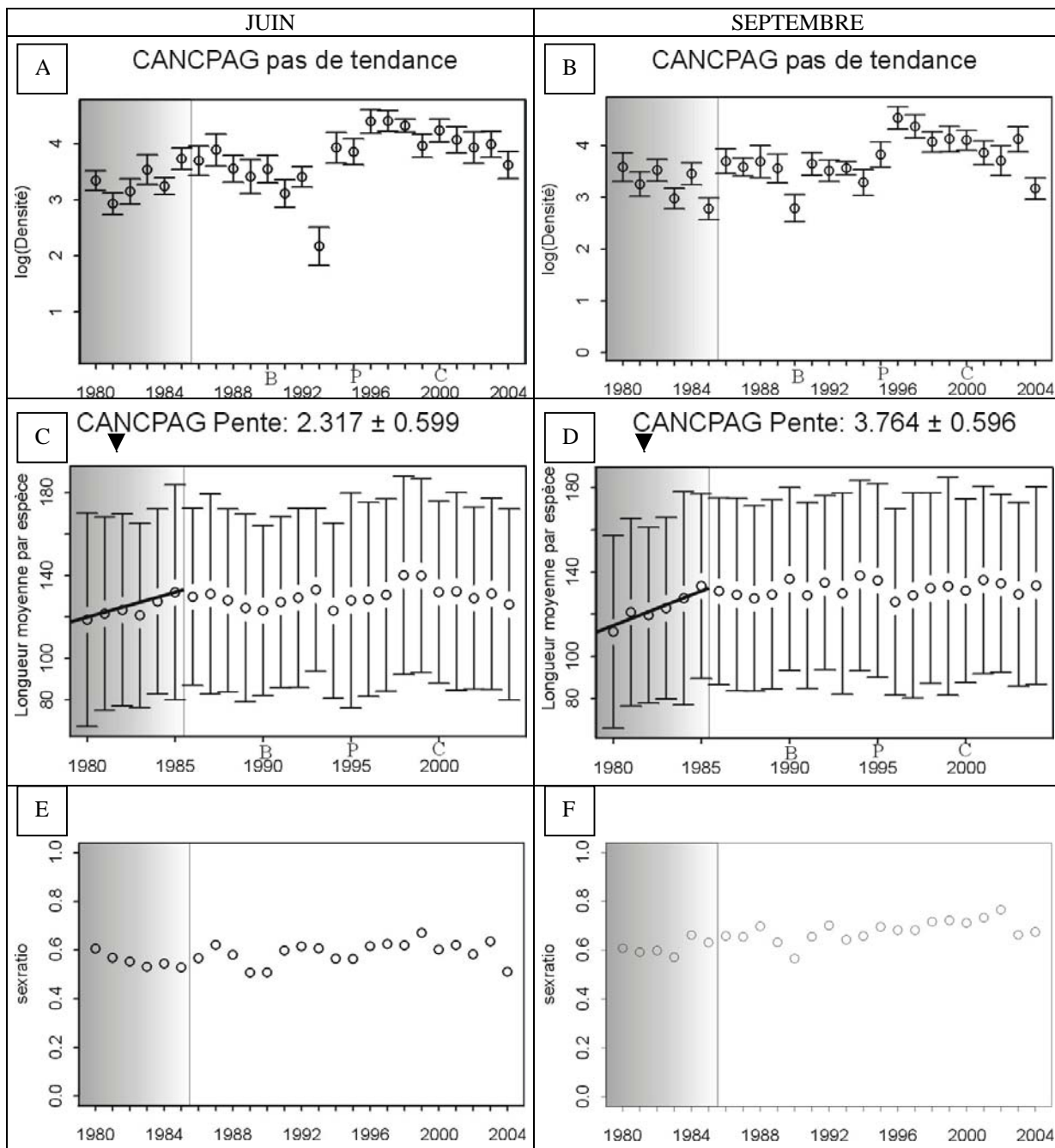


Figure 5.2.3 : Évolution des indicateurs retenus pour le tourteau

5.2.2.1. Période 1980-1985

Les différents paramètres suivis au cours de ces 5 années d'observation sont caractérisés par une assez grande constance et restent relativement stables au cours du temps. On peut remarquer que, d'une manière générale, les captures réalisées lors de la campagne de septembre comportent moins de femelles (figure 5.2.3-F).

L'augmentation de la taille moyenne (figure 5.2.3-C et D) est à resituer dans le contexte où les filières de la côte ont été déplacées vers le large. La distribution spatiale du tourteau étant du même type que celle observée pour le homard, il est logique que la taille moyenne augmente à partir de 1984. Cette tendance n'est donc pas significative.

5.2.2.2. Période 1986-2004

Aucun des paramètres analysés ne présente de tendance sur cette période. Les fluctuations inter annuelles des captures, en dehors de l'influence de certains facteurs éthologiques, sont essentiellement dues aux changements de patron ou à la mise en place du cantonnement. Le changement de patron en 1995 a provoqué une augmentation importante des captures alors que la création de la réserve a eu pour effet d'écarter les tourteaux des filières qui s'y trouvent.

La série temporelle des longueurs moyennes varie peu dans le temps.

Le rapport des sexes montre une dominance des mâles lors de la campagne de septembre. Il est possible qu'à cette époque de l'année, une partie des femelles adultes ait gagné les zones situées plus au large et entrepris la migration alors que les mâles, eux, sont sédentaires (Latrouite et Noël, 1993).

5.2.2.3. Discussion

Les variations constatées avant la mise en service de la centrale s'expliquent par les modifications du protocole d'échantillonnage en 1984 et 1985. Le déplacement des filières vers le large a entraîné une augmentation de la taille moyenne des individus.

Depuis 1986, en dehors de toute fluctuation inter annuelle, on note une grande stabilité de la taille moyenne.

5.2.3. Araignée

Cette espèce effectue des migrations saisonnières liées à la reproduction. Elle vient se reproduire sur les zones de sable plutôt côtières et passe l'hiver au large, dans des fonds de 40 à 120 m.

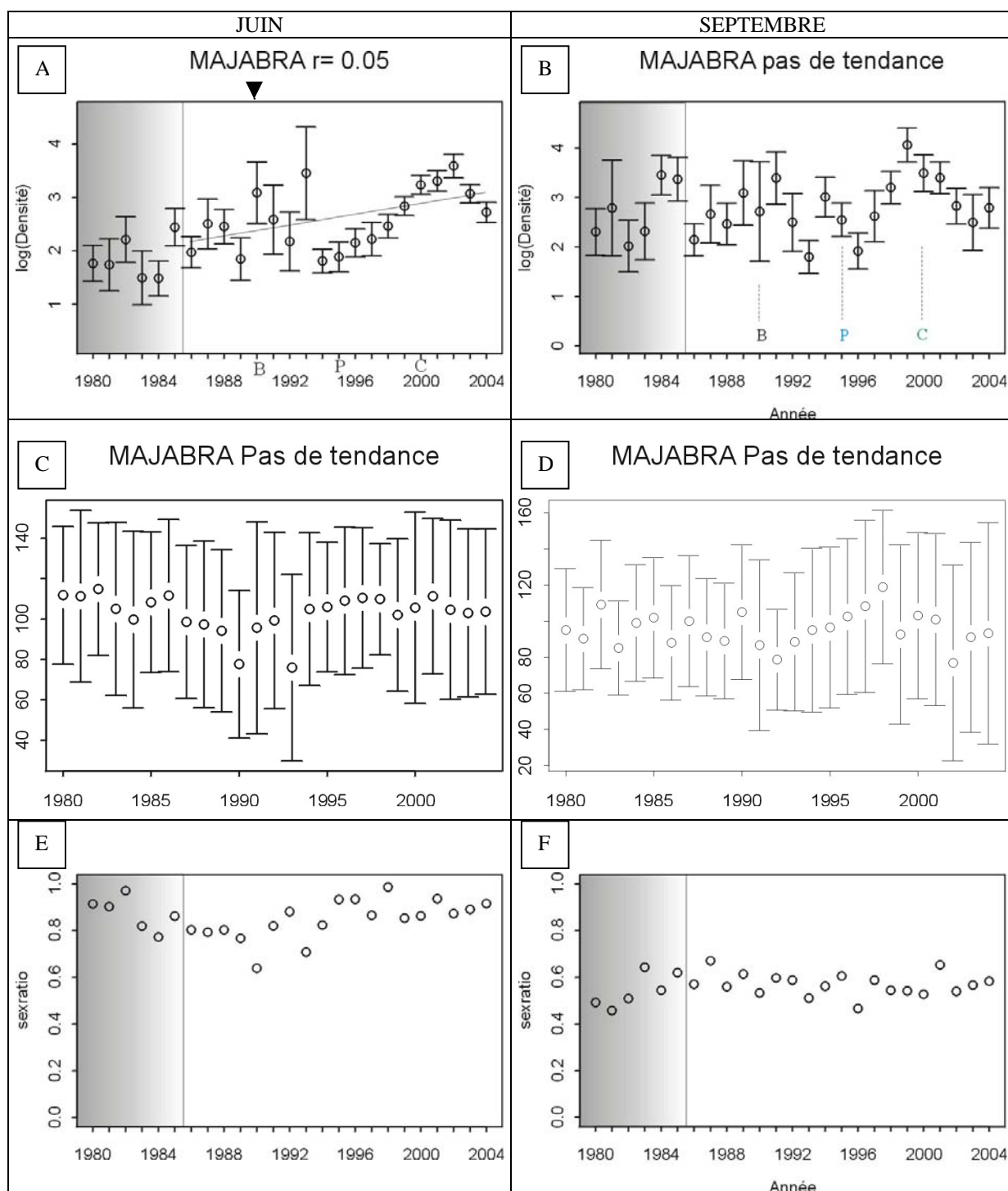


Figure 5.2.4 : Évolution des indicateurs retenus pour l'araignée

5.2.3.1. Période 1980-1985

Pas de tendance sur cette période. Pendant la campagne de juin les captures sont principalement constituées de mâles (figure 5.2.4-E).

5.2.3.2. Période 1986-2004

La tendance observée dans la figure 5.2.4-A n'est pas significative dans la mesure où l'indice de juin 1993 n'est pas représentatif de la population du secteur. Celui-ci décale la tendance vers le haut, ce qui a pour conséquence de modifier la pente de la courbe. Il faut noter cependant que les rendements obtenus lors de la campagne de juin, augmentent d'un façon significative entre 1995 et 2002, puis rechutent à partir de cette date. La campagne de septembre fait apparaître un déficit de mâles sur l'ensemble de la période d'étude.

5.2.3.3. Discussion

D'une manière générale aucune tendance ne peut être dégagée pour cette espèce qui effectue de grandes migrations pour venir se reproduire à la côte au printemps. D'autre part, la sélectivité de l'engin ne permet pas de capturer les plus gros individus dont la population est essentiellement composée de mâles.

5.2.4. Etrille

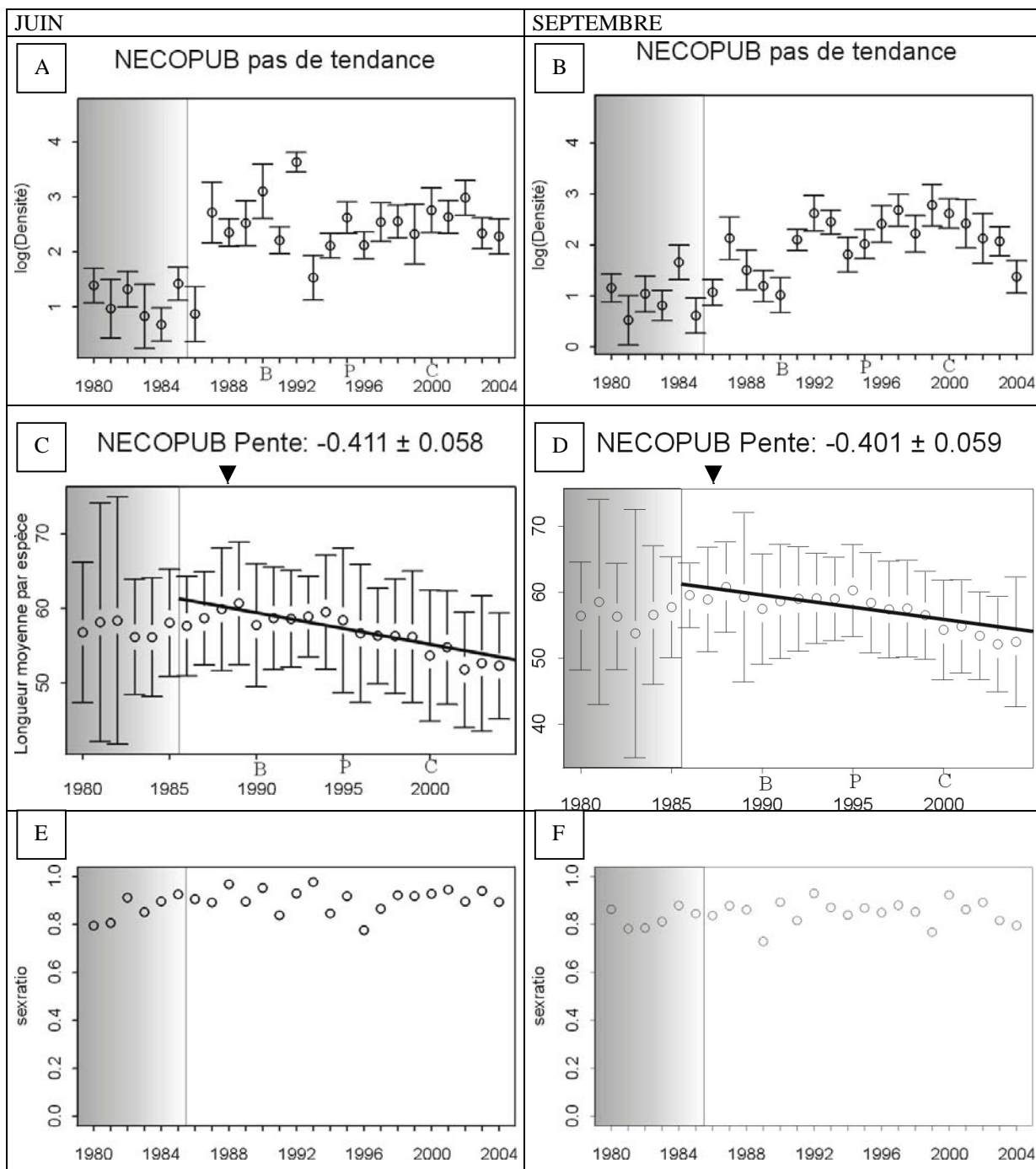


Figure 5.2.5 : Évolution des indicateurs retenus pour l'étrille

5.2.4.1. Période 1980-1985

Il n'existe pas de tendance sur cette période. Les rendements sont assez faibles (figure 5.2.5-A et B) et les tailles moyennes élevées (figure 5.2.5-B et C). Toutefois l'absence de petites étrilles doit avant tout être attribuée à la sélectivité des casiers dont le maillage ne permet pas de retenir les petits individus.

5.2.4.2. Période 1986-2004

Les meilleurs rendements sont obtenus en 1992 et sont en moyenne, de 11 individus pour 80 casiers.

Depuis les années 1989 et 1990, la taille moyenne diminue régulièrement, passant ainsi de 59 à 52 mm en 2004. On peut distinguer deux périodes :

- La première qui correspond à une diminution de la taille et une augmentation des rendements comme c'est le cas jusqu'en 1999. Cela est dû à une augmentation du nombre et de la proportion des petites.
- Une seconde, pendant laquelle la chute des rendements, associée à une diminution de la taille moyenne, montre une baisse du nombre d'individus de grande taille.

5.2.4.3. Discussion

La figure 5.2.5-A montre une différence importante entre les rendements avant 1987 et ceux observés à partir de cette date. Le rendement passe en effet de 2,4 individus pour 80 casiers en 1986, à plus de 13 l'année suivante. Il est fort probable que cette différence soit due aux types de casiers utilisés lors de cette phase expérimentale. Au cours de cette période, ils n'ont pas tous eu la même sélectivité par rapport à cette espèce, nettement plus petite que les autres crustacés étudiés.

5.2.5. Espèces dénombrées

5.2.5.1 Paguridés

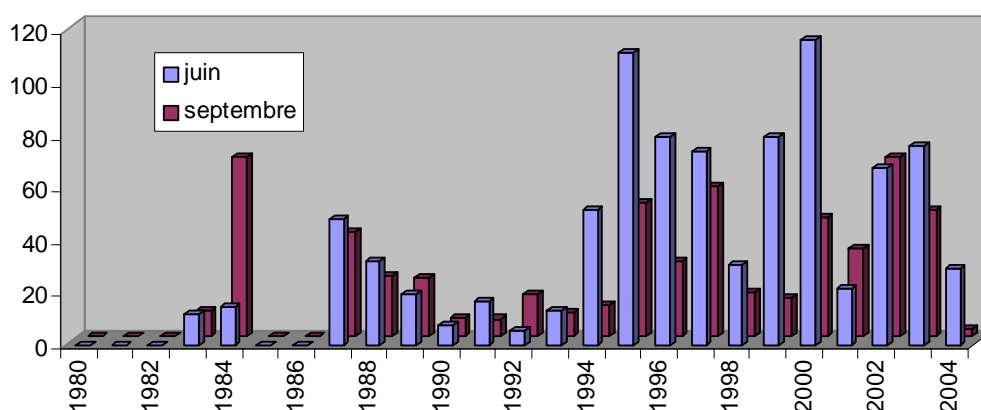


Figure 5.2.6 : Nombre de paguridés pour 80 casiers

Les fluctuations inter annuelles sont très importantes et ne permettent pas de dégager de tendance ni d'effectuer des comparaisons entre les périodes avant et après la mise en service de la centrale. Les problèmes d'échantillonnage pendant les années 1990-1993 n'ont pas permis de suivre correctement les filières situées plus au large.

5.2.5.2. Bulot

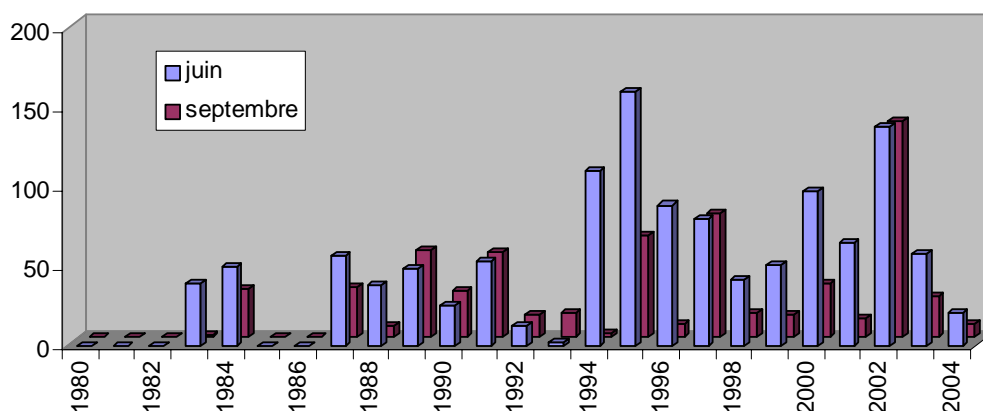


Figure 5.2.7 : Nombre de bulots pour 80 casiers

Les captures de bulot n'ont pas toujours été saisies avant 1987 et nous ne disposons pas de valeurs permettant de réaliser des comparaisons.

Les fluctuations inter annuelles sont très importantes et ne permettent pas de dégager une tendance, ni d'effectuer des comparaisons entre les périodes avant et après la mise en service de la centrale. D'autre part, la sélectivité de ce type d'engin n'est pas adaptée à la capture des individus de petite taille. Seule une petite partie de la population est échantillonnée chaque année. Entre 1989 et 1994, l'ensemble des captures est réalisé sur un petit nombre de filières situées en dehors de la zone de forte abondance de cette espèce. Celle-ci se trouvant en limite nord de la répartition spatiale du bulot dans le golfe normano-breton.

5.2.5.3. Discussion

Ces deux espèces sont mal échantillonnées par l'engin utilisé et leur répartition n'est pas homogène sur l'ensemble de la zone. D'une façon générale les rendements fluctuent de façon importante d'une année sur l'autre.

5.2.6. Conclusion

Les indicateurs de populations retenus pour cette étude font apparaître une grande variabilité temporelle des résultats que différents facteurs peuvent contribuer à expliquer :

- en dépit d'un souci de standardisation, le protocole expérimental a été affecté par quelques modifications dans les unités d'échantillonnage (les filières 1, 4,

6, 7 et 11 déplacées en 1984), par la création du cantonnement en 2000, par un changement de bateau (1990) puis de patron (1995), de casiers et d'appât. L'influence de ces facteurs humains dans la variabilité temporelle des résultats est semble-t-il très importante,

- la capturabilité des crustacés au casier est connue pour être variable et soumise à de multiples paramètres,
- leur état physiologique lié aux phases de mue, reproduction ou migration est susceptible de décalages inter annuelles,
- les conditions météorologiques au cours des campagnes ont potentiellement un effet très important sur les rendements : par exemple, des conditions de houle se traduisent par une activité réduite des homards et accrue des tourteaux,
- La compétition entre espèces influe sur les captures au casier : une abondance particulière (éventuellement locale et conjoncturelle) de crabes se traduira par une diminution des prises de homard. L'exemple du cantonnement montre aussi son contraire : une densité importante de homard entraîne une baisse des captures de tourteaux,
- le cantonnement mis en place en 2000 devant les enrochements de la centrale est à l'origine de l'augmentation des rendements en homard dans cette zone. Les premiers résultats de recapture d'individus marqués ont montré que la courbe de croissance était comparable à la relation taille-poids utilisée depuis 1983. Les données confirment aussi que le homard est assez sédentaire, la majorité des recaptures se faisant lors de campagnes sur les lieux d'immersion, c'est à dire à l'intérieur du cantonnement,
- l'étrille est la seule espèce dont la taille et les rendements diminuent régulièrement ces dernières années,
- Les blocs de ciment devant la centrale ainsi que les rochers situés dans le sud du cap de Flamanville constituent une pépinière de petits individus.

Aux vues de ces bruits de fond que constituent les différents éléments perturbateurs, il ne nous semble pas possible de conclure sur l'existence d'un déséquilibre dû au fonctionnement de la centrale.

5.3. Évolution du contexte des pêcheries de crustacés dans le Golfe normano-breton

La pêche aux crustacés - homard, araignée, tourteau, étrille – est une activité souvent côtière pratiquée pour l'essentiel par des petites unités de type artisanal. La capture des espèces concernées n'est pas encadrée par un système de TAC (Total Admissible de Capture) et quota et si une fraction croissante des débarquements est désormais commercialisée dans le cadre des criées, l'essentiel des ventes s'est historiquement effectué de gré à gré. Cette situation qui vaut pour le littoral français dans son ensemble s'applique sans réserve à la zone d'étude et a chroniquement fait obstacle à une connaissance suffisamment précise de l'activité de pêche (en particulier les productions débarquées et les efforts de pêche correspondants) pour fonder un diagnostic robuste sur l'état des stocks et, plus encore, sur leur évolution inter annuelle. Depuis trois ou quatre années, des efforts importants sont mis en œuvre par les pouvoirs publics et par les professionnels pour améliorer de manière durable la connaissance des flottilles, des activités et des productions : la description proposée ci-après des pêcheries en 2003 en rend compte. Pour autant, en l'absence d'antériorité il ne peut être proposé ni vue dynamique sur la période, ni comparaison avec les années qui précèdent la mise en fonctionnement de la centrale, mais simplement quelques éclairages ponctuels relativement récents.

Bien que le manque de fiabilité des statistiques de production empêche de connaître avec précision la part des débarquements locaux dans la production nationale, on peut avancer que le quartier maritime de Cherbourg est le principal contributeur pour le homard avec probablement plus du tiers de la production nationale, le troisième ou quatrième contributeur pour l'araignée (après Saint Malo, Paimpol et éventuellement Brest) avec 10 à 15% et le troisième ou quatrième contributeur pour le tourteau (après Morlaix, Brest, ..) avec moins de 10% de la production nationale.

5.3.1. Flottilles

En 2003 le quartier maritime de Cherbourg compte 375 des 1657 navires de pêche immatriculés entre Dunkerque et Camaret, soit près du quart de la flottille des quartiers maritimes de la Manche. Ce sont pour l'essentiel des unités de petite taille (78% font moins de 12 mètres) qui travaillent en zone côtière et dont les deux tiers (247 navires) pratiquent les arts dormants : casiers, filets et/ou métiers des hameçons (figure 5.3.1).

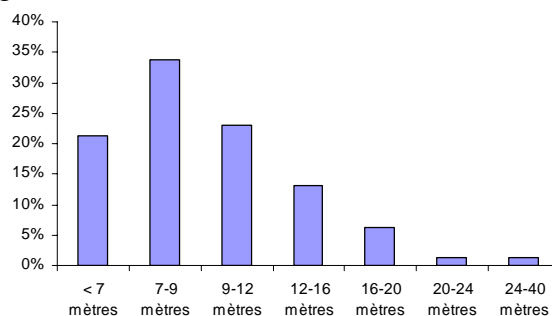


Figure 5.3.1. : Structuration en longueur des navires de pêche du quartier maritime de Cherbourg

Une analyse détaillée de cette flottille pratiquant les arts dormants permet de la structurer en sous flottilles sur la base du, ou des métiers pratiqués mensuellement par chaque navire :

	Nombre de navires
Caseyeurs exclusifs	94
Fileyeurs Caseyeurs	76
Ligneurs et/ou Palangriers exclusifs	40
Caseyeurs et Métiers de l'hameçon	22
Fileyeurs et Métiers de l'hameçon	9
Fileyeurs exclusifs	6
Total	247

Au total, 192 des 247 navires pêchent pendant au moins une partie de l'année avec des casiers (à bulot, seiche et/ou crustacés) : engin exclusif pour 94 d'entre eux, il est complété par des filets ou par des lignes et palangres pour respectivement 76 et 22 unités.

L'effectif et le temps d'activité de ceux qui pêchent les crustacés se répartissent comme suit en fonction des espèces ciblées :

Métier pratiqué	Nombre de navires pratiquant le métier			Nombre de mois
	Total	en métier exclusif	avec un métier complémentaire	
Casier à grands crustacés	148	75	Petits crustacés 23, Crevettes 20, Bulots 40	856
Casier à petits crustacés	30	3	Grands crustacés 23, Crevettes 2, Bulots 12	182
Casier à crevettes	23	3	Grands crustacés 20, Petits crustacés 2	80

- métier des grands crustacés : caseyeurs ciblant araignée, homard, tourteau,
- métier du petits crustacés : caseyeurs ciblant étrille, crabe vert,
- métier de la crevette : caseyeurs ciblant le bouquet,

L'analyse de l'activité par métier en fonction du port de débarquement montre la prépondérance de la côte ouest du Cotentin pour les métiers des grands crustacés et des petits crustacés puisqu'il s'y trouve respectivement 71% et 83% du temps consacré à ces métiers.

	Métier pratiqué		
	Grands crustacés	Petits crustacés	Crevettes
de Saint Marie à Barfleur	8%	13%	29%
de Cosqueville à Goury	21%	4%	29%
de Dielette à Granville	71%	83%	43%

Comme indiqué précédemment il n'y a pas, à notre connaissance, de données qui permette de quantifier, sur l'ensemble de la période de référence, l'évolution de la flottille de pêche aux crustacés du quartier de Cherbourg. L'éclairage partiel suivant peut toutefois être donné :

- Entre 1990 et 2003 l'effectif des navires de pêche immatriculés dans le quartier de Cherbourg, tous métiers confondus, a montré une réduction que l'on retrouve à l'échelle de toute la Manche mais elle y est moins marquée (17% contre 29%),

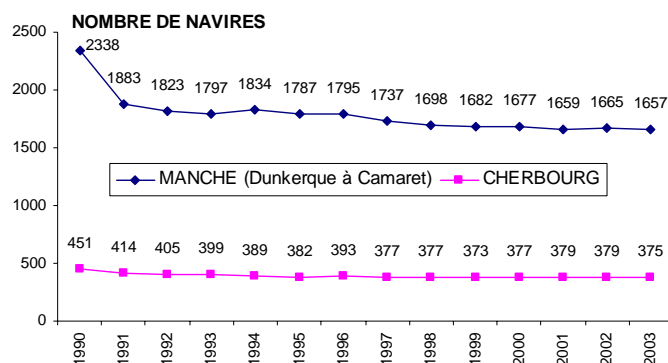


Figure 5.3.2 : Évolution comparée de la flotte de pêche immatriculée dans le quartier de Cherbourg d'une part et dans l'ensemble des quartier maritimes de la Manche d'autre part, entre 1990 et 2003

- Cette réduction a peu modifié le rapport numérique entre les navires (figure 5.3.3) qui utilisent des engins traînants (chaluts et dragues) et ceux qui utilisent des engins dormants (casiers, filets, hameçons),

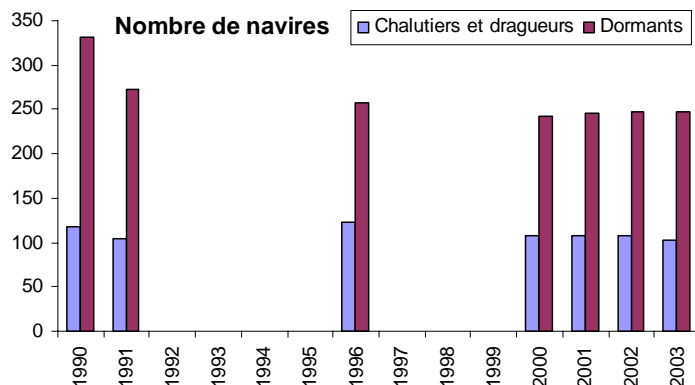


Figure 5.3.3 : Évolution comparée de la flotte de pêche immatriculée dans le quartier de Cherbourg selon le type d'engin de pêche utilisé, entre 1990 et 2003

- Le nombre de navires du quartier de Cherbourg utilisant les casiers (bulot, seiche et/ou crustacé) est passé de 220 en 1996 à 196 en 2000 et 192 en 2003 (source Ifremer). Dans le même temps, le nombre de licences de pêche aux crustacés délivrées par le Comité Régional des Pêches de Basse Normandie pour les quartiers de Cherbourg et Caen passait de 248 à 220 puis à 211.

5.3.2. Productions

Les éléments ci-après, relatifs à la production officielle, sont établis à partir des données du Centre Régional de Traitement Statistique et résultent de l'interrogation de deux bases complémentaires :

- la base « Marée » qui compile les déclarations de capture faites par les pêcheurs dans les journaux de bord (logbooks ou fiches de pêche),
- la base « Vente » qui compile les données des ventes en criée et/ou hors criée.

Pour une même année la production enregistrée étant (plus ou moins) différente d'une base à l'autre, nous avons retenu ci après la donnée la plus élevée de l'une ou de l'autre.

	2000	2001	2002	2003
Araignée	451 594	308 543	539 359	431 183
Crevette bouquet	4 041	3 544	1 996	2 613
Etrille	57 982	20 649	60 574	64 287
Homard	60 996	48 351	92 048	86 773
Tourteau	390 020	183 437	348 300	374 687

Pour une espèce donnée, en particulier pour le homard et le tourteau, les variations inter annuelles qui ressortent des enregistrements sont largement supérieures à ce que l'on attend de la fluctuation naturelle d'abondance de la ressource. Ce constat amène à considérer ces chiffres avec réserve.

Pour tester la fiabilité des statistiques officielles de débarquement et évaluer leur capacité à refléter l'évolution réelle des productions, une analyse détaillée a été conduite pour le homard dans le quartier maritime de Cherbourg en 2002. Il en ressort que :

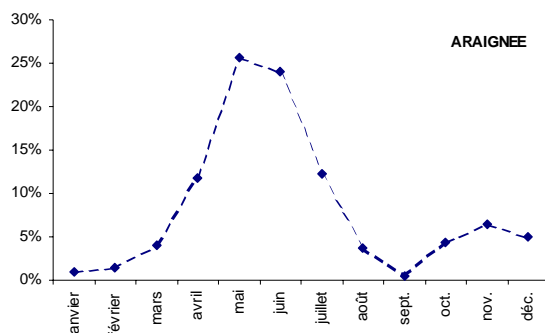
- la production issue de la base « vente » est supérieure à celle de la base « marée » (95 t contre 81 t) mais pour un navire présent dans les deux bases elle peut être supérieure dans la base « marée ».
- l'analyse conjointe des déclarations de production faites par les demandeurs de la licence de pêche aux crustacés 2003 (source Comité Régional des Pêches) et des données issues des bases CRTS aboutit à une estimation de 132 tonnes, supérieure de 43% à celle de la base « vente »

- la production se ventile comme suit en fonction du port de débarquement :

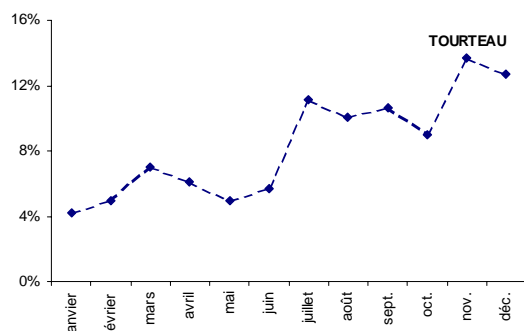
secteur	production
Sainte Marie à Saint Vaast	0.8 t
Réville à Cosqueville	1.4 t
Fermanville à Goury	21.0 t
Diélette à Carteret	51.6 t
Portbail à Saint Germain	11.0 t
Pirou à Agon Coutainville	10.3 t
Hauteville à Donville	0.7 t
Granville à Genêts	35.4 t

Les statistiques officielles postérieures à 2000 étant plus fiables que les statistiques antérieures, il serait vain de vouloir interpréter une série historique sur la période de référence pour en escompter un reflet de l'évolution réelle des productions (du moins pour les crustacés issus de la pêche côtière).

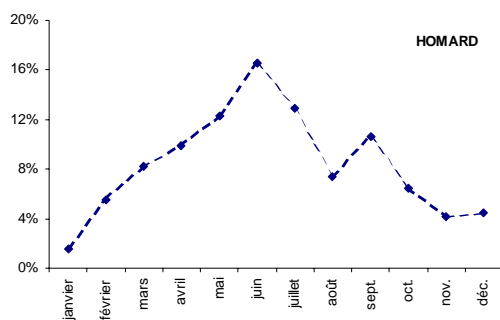
L'analyse des débarquements à l'échelle mensuelle (source CRTS 2003) montre une saisonnalité, plus ou moins marquée selon l'espèce :



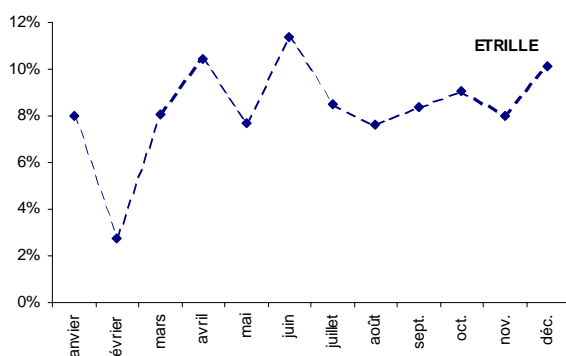
Saisonnalité très forte pour l'araignée dont 75% des débarquements se font sur quatre mois, d'avril à juillet.



Saisonnalité moyenne pour le tourteau dont 67% des débarquements sont enregistrés les six derniers mois de l'année.



Saisonnalité moyenne pour le homard avec 70% lors des six mois d'avril à septembre.



Saisonnalité faible pour l'étrille.

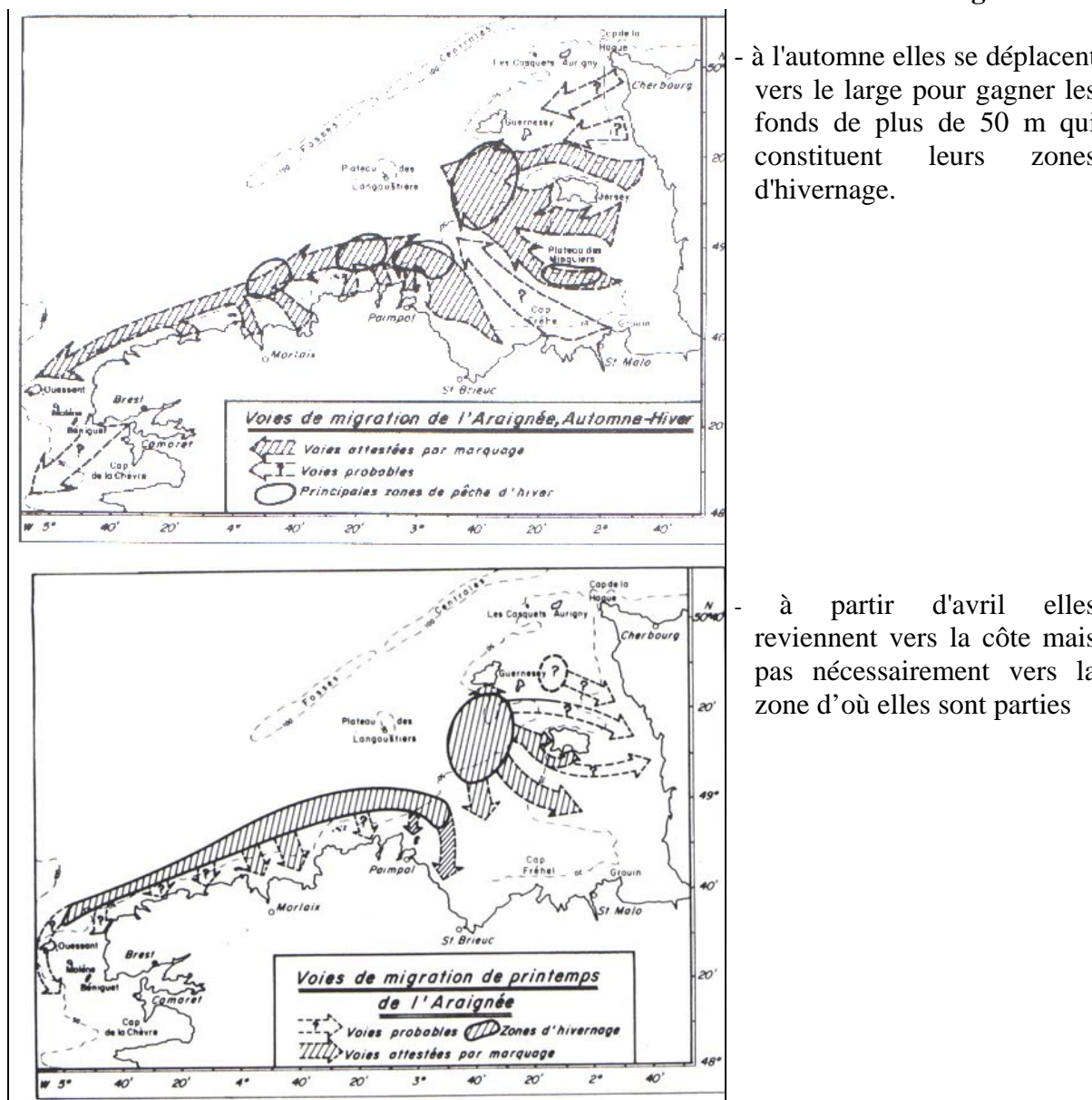
5.3.3 Espèces

5.3.3.1 L'Araignée :

L'araignée *Maja brachydactyla* est répartie du nord de l'Irlande à la Mauritanie mais c'est en Manche occidentale qu'elle présente son abondance maximale. Les grandes zones de production se situent sur la côte anglaise de la baie de Lyme au Solent et, surtout, sur la côte française de Cherbourg à Morlaix.

Les juvéniles, appelés *moussettes*, se concentrent sur des nourriceries situées dans les baies et dans les estuaires sablo-vaseux par moins de 20 m de profondeur.

Après une mue terminale par laquelle elles deviennent adultes, les araignées effectuent des migrations saisonnières :



Aucun échange d'adulte marqué n'ayant été constaté entre les côtes anglaise et française et la dissémination des larves étant relativement peu importante, on peut considérer que les populations nord et sud de la Manche constituent des entités biologiques séparées. Du côté français, la distribution des recaptures montre un faible taux de mélange entre les individus issus des nurseries de l'ouest Cotentin et ceux issus de nord Bretagne et, en terme d'exploitation, (individus > 12 cm), ces deux secteurs peuvent être considérés comme des entités indépendantes.

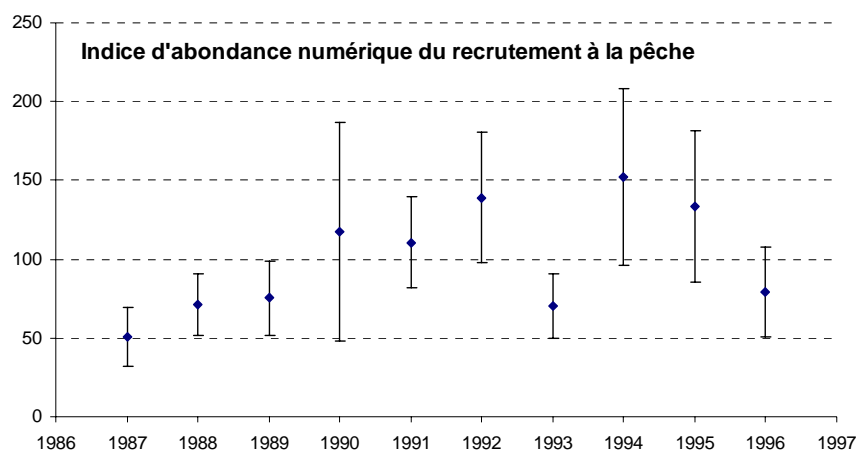
La croissance de l'araignée se fait par des mues successives mais, comme chez les autres crabes majidés, elle est caractérisée par une mue terminale et son cycle vital peut être découpé en deux phases :

- Une phase juvénile dont la durée est de deux ans, au cours de laquelle elle grandit mais est immature.

- Une phase adulte de durée quatre à cinq ans au cours de laquelle elle se reproduit mais ne grandit plus.

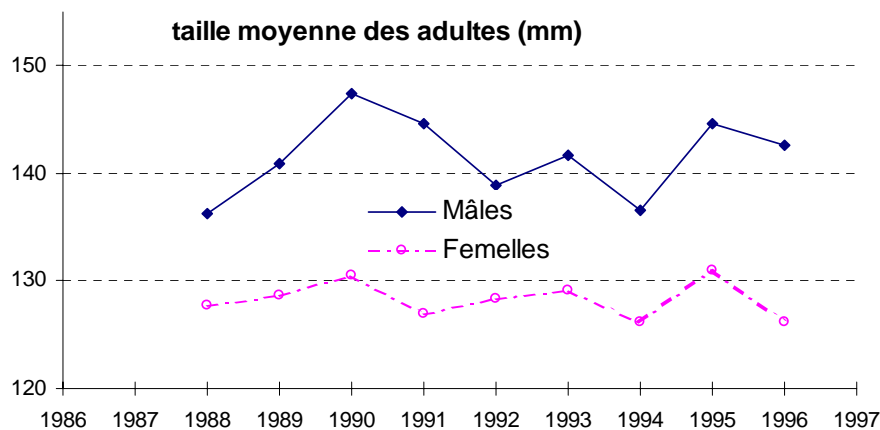
Bien que comme chez tous les crustacés le rejet de l'ensemble des pièces calcifiées lors de la mue empêche de connaître l'âge, la distinction entre juvéniles et adultes est possible sur la base de critères anatomiques. On peut également pendant les quelques mois qui suivent la mue terminale identifier les individus nouvellement devenus adultes.

L'abondance et la composition en taille du recrutement issu des nourriceries de l'Ouest Cotentin ont été étudiées de 1987 à 1996 par pêches expérimentales, réalisées à l'aide d'une drague classique.



Au cours de la période 1987-1996, le nombre d'individus constituant le recrutement annuel à la pêche (adultes de 12 cm ou plus, et immatures qui atteindront cette limite avant ou pendant la saison de pêche)

- a varié d'un facteur proche de trois selon l'année,
- mais n'a pas marqué de tendance.



La taille moyenne des individus composant la cohorte annuelle des nouveaux adultes,

- est toujours plus forte chez les mâles que chez les femelles,
- fluctue d'une année à l'autre pour chacun des deux sexes,

Les variations entre deux années vont dans le même sens pour les deux sexes.

5.3.3.2 Le Homard :

On trouve le homard européen *Homarus gammarus* de la Norvège au sud du Maroc et en Méditerranée mais son abondance est irrégulièrement distribuée : les plus fortes densités s'observent localement autour de l'Irlande, des îles britanniques et en France sur les côtes normande et bretonne. En Manche, les zones les plus productives sont, côté anglais dans l'ouest et autour de l'île de Wight, côté français sur le littoral de Bretagne nord, sur le nord et l'ouest du Cotentin, et autour des îles anglo-normandes. Du côté sud de la Manche, les principales nourriceries sont localisées entre Diélette et Granville, Saint-Quay-Portrieux et Perros-Guirrec, autour de Chausey, des Roches-Douvres, de Jersey et dans les Minquiers. Elles sont en zone côtière peu profonde. Au large, les homards sont moins nombreux qu'à la côte mais leur taille y est plus importante.

La dispersion lors de la phase larvaire pélagique est restreinte puisqu'elle ne dure que trois semaines environ.

Des marquages de juvéniles et d'adultes effectués sur de nombreuses pêcheries (du golfe de Gascogne au nord de l'Ecosse, en passant par le Cotentin ou Jersey) ont montré qu'il n'y avait pas de migration orientée, mais des déplacements effectués au hasard, probablement conditionnés par la compétition locale pour la nourriture ou par le besoin d'un abri plus grand lors de la croissance. Cette conclusion doit toutefois être tempérée par le fait que presque toutes les recaptures sont opérées dans les deux ans qui suivent le marquage et que les déplacements à long terme échappent ainsi à l'observation.

Une modélisation pragmatique de la croissance fondée sur des données expérimentales de marquage *recapture*, sur les tailles maximales moyennes observées dans les captures, et sur les biais afférents aux différentes méthodes, a conduit à une estimation pour les deux sexes combinés de $L_{c\infty}$ à 150 mm et de K à 0.25. Les tailles calculées qui en résultent sont de 76 mm à trois ans, 95 mm à quatre ans, 107 mm à cinq ans, 138 mm à dix ans. Il convient toutefois de garder présent à l'esprit que la variabilité inter individuelle qui affecte ces estimations est forte. La longévité peut être estimée à une vingtaine d'années.

Les fluctuations inter annuelles d'abondance sont difficiles à quantifier de manière fiable pour plusieurs raisons : les évaluations directes avec des engins traînants sont impossibles à cause de la nature des fonds à homard ; les variations de capturabilité perturbent les indices ponctuels issus de pêches expérimentales au

casier ; la qualité des statistiques de production et d'effort est insuffisante (cf. partie production) pour fonder un diagnostic annuel.

Une analyse des carnets de pêche personnels de spécialistes du homard a pu être faite dans les quelques rares cas où des patrons disposaient de ces « mémoires » et ont bien voulu nous les confier :

- 1 bateau travaillant dans la Hague pour la période 1987 à 2002,
- 1 bateau travaillant dans le nord de Carteret pour la période de 1992 à 2000,
- 1 autre bateau dans le nord de Carteret pour la période de 1993 à 2002,
- 1 bateau travaillant dans les Minquiers pour la période, de 1999 à 2003,
- 1 bateau travaillant dans le nord de Morlaix pour la période de 1996 à 2003.

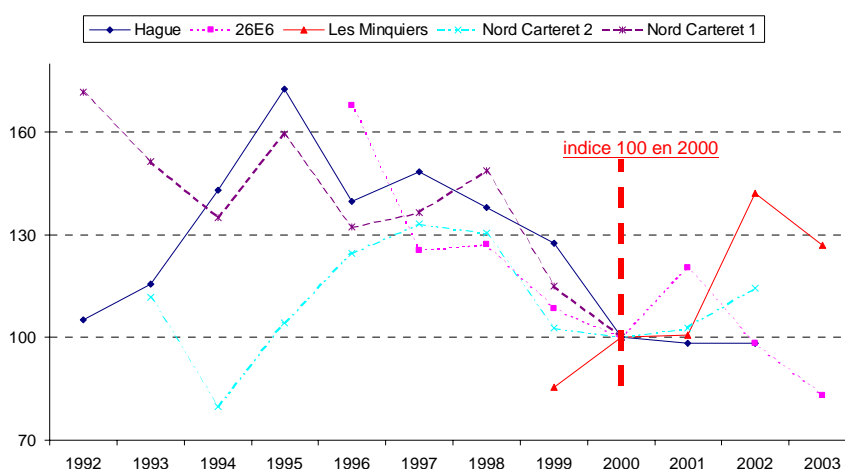


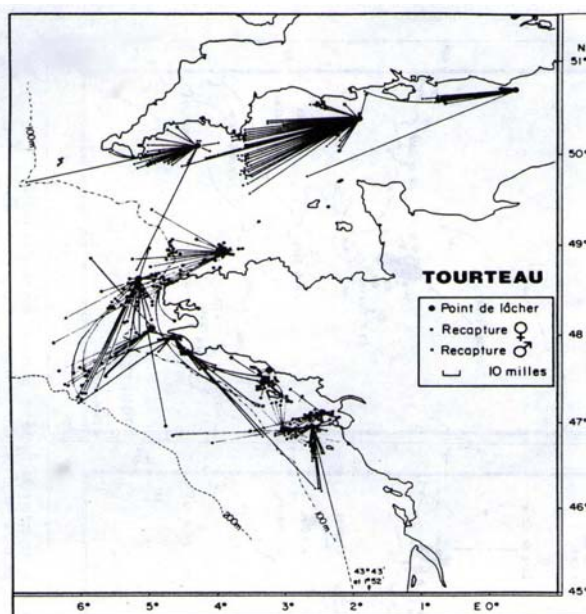
Figure 5.3.4 : Évolution du rendement annuel en homard pour cinq bateaux spécialisés. Les données sont standardisées en affectant à chaque bateau la valeur 100 en 2000

En terme de tendance, les données font apparaître une diminution du rendement annuel entre 1995 et 2000 (fort recrutement en 1995) et une amélioration en 2002 et 2003 dans les Minquiers (figure 5.3.4). On peut toutefois noter que le synchronisme entre bateaux et/ou entre secteurs n'est pas toujours bon et que des phénomènes d'apprentissage ou de ciblage peuvent rendre compte d'une partie des variations. Le faible nombre de carnets disponibles et leur antériorité limitée ne permettent pas de lier ces observations à la mise en fonctionnement de la centrale.

5.3.3.3 LeTourteau :

Le tourteau, *Cancer pagurus* est présent du Nord de la Norvège jusqu'au Maroc mais il est peu abondant au sud de 45°N. Plus ubiquiste que le homard, on trouve sur les fonds durs les juvéniles des deux sexes et les mâles adultes, et sur les fonds meubles les femelles adultes. Il est abondant dans une grande partie de la Manche.

Les juvéniles vivent sur les secteurs rocheux très côtiers jusqu'à l'âge de deux ou trois ans puis gagnent les zones plus profondes. Des marquages effectués sur les côtes anglaise et française de la Manche ont montré qu'à ce mouvement côte-large s'ajoute :



- pour les femelles adultes une migration orientée sur des distances parfois importantes (souvent plus de 50 milles) et à une vitesse moyenne qui peut être de 1 à 2 milles par jour pendant plusieurs semaines,
- pour les mâles des déplacements d'ampleur limitée (généralement moins de 10 milles) et non orientés qui relèvent de l'erratisme.

Les principales zones de ponte se situent aux accores du golfe de Gascogne et à l'entrée et au milieu de la Manche Ouest. Au cours de la phase larvaire, d'une durée de l'ordre de six semaines, la larve pélagique soumise aux courants est ramenée vers la côte.

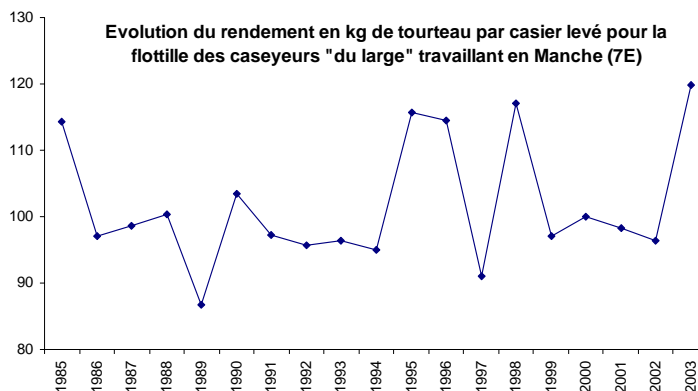
Comme pour le homard la croissance du tourteau a été modélisée dans le cadre d'une utilisation pragmatique des données expérimentales de marquage *recapture*, des tailles maximales dans les captures et des biais afférents aux différentes méthodes. Les paramètres suivants de l'équation de Von Bertalanffy ont été obtenus :

Femelles : $l_{\infty} = 210 \text{ mm}$, $K = 0.25$, $t_0 = -0.82$
Mâles : $l_{\infty} = 232 \text{ mm}$, $K = 0.39$, $t_0 = +0.83$

Sur cette base on calcule qu'il faut 3 à 4 ans aux mâles comme aux femelles pour atteindre 14 cm de largeur (plus grande dimension de la carapace), taille minimale au débarquement et approximativement la taille moyenne de première maturité. La variabilité interindividuelle qui affecte ces estimations est probablement forte. L'estimation de la longévité du tourteau est très conjecturale mais on peut considérer que 15 à 20 ans constitue une fourchette vraisemblable.

Une indication de l'évolution d'abondance de la population de tourteau à l'échelle de la Manche Ouest (division CIEM 7E) est fournie par l'évolution des rendements annuels de la flottille des caseyeurs dits *du large*, soumis depuis 1985

au remplissage des livres de bord européens. La valeur 100 a été attribuée arbitrairement au rendement de l'année 2000.



Par delà les fluctuations d'une année à l'autre, on n'observe pas de tendance sur la période.



6. Conclusion

Les études menées depuis près de trente ans sur le domaine marin du nord-ouest Cotentin, la plupart d'entre elles étant réalisée dans le cadre réglementaire de la surveillance des rejets du CNPE de Flamanville, ont permis de préciser les cycles naturels de quelques éléments physiques, chimiques ou biologiques, et d'en améliorer parfois la compréhension tant de l'évolution que des fluctuations.

La côte ouest du Cotentin suit, du Cap de la Hague à la baie du Mont Saint-Michel, une direction nord-sud. Cette côte souligne l'effondrement du golfe normano-breton, et recoupe les structures plissées paléozoïques du massif armoricain. La région nord, à laquelle s'intéresse plus particulièrement cette synthèse, présente, d'une part une côte rocheuse (Cap de La Hague, Cap de Flamanville, Pointe du Rozel, Cap de Carteret), d'autre part des dunes directement accrochées sur la falaise au droit des anses sableuses encadrant ces caps (anse de Vauville, anse de Sciotot, anse de Surtainville, ...).

La morphologie de cette zone nord-Cotentin est plus le fait du déferlement sur le littoral des grandes houles de l'Atlantique, à peine perturbées par les îles anglo-normandes, que des courants de marée à la violence connue. La zone intertidale, en dépit de l'importance du marnage observable en période de vives-eaux (10 à 11 mètres), est peu développée, étant sans commune mesure avec celle, plus au sud, du Cotentin-centre ou de la baie du Mont Saint-Michel.

Au regard des données climatologiques acquises depuis plus de 50 ans pour la pluviométrie et la température de l'air, 20 ans pour l'insolation, le cycle météorologique annuel moyen est celui d'un régime tempéré et océanique, avec un cumul pluviométrique avoisinant les 700 mm et une température moyenne de l'air de 11,5 °C : la pluviométrie est maximale d'octobre à janvier, minimale d'avril à août ; la température de l'air minimale en février, maximale en août. L'acquisition, depuis début 1986, d'une série originale et ininterrompue de la température journalière de l'eau de mer permet de préciser sa température moyenne annuelle (12,9 °C), avec, comme pour l'air, un minimum en février et un maximum en août. Sur les vingt dernières années, une corrélation significative est d'ailleurs établie entre les températures de l'air et de l'eau de mer.

L'examen par période quinquennale (cumuls pour la pluviométrie ; températures moyennes pour l'air et l'eau) montre une augmentation régulière de 1986-1990 à 2001-2005 de ces trois paramètres, conduisant au constat d'une situation actuelle plus humide et plus chaude. Cette observation se retrouve dans l'examen des tendances pluriannuelles déduites de l'étude des concentrations observées au point référence au mois de septembre depuis 1986 (augmentation des températures de l'eau de mer ; diminution de la salinité en lien avec un apport plus important d'eau douce par les bassins versants littoraux).

Domaine pélagique

Dans ce contexte climatique, les paramètres étudiés dans le cadre des études de surveillance suivent leur cycle respectif classiquement observé en Manche, avec des gradients côte-large variant tant dans l'espace que dans le temps.

Hydrologie

- L'eau de mer étant le principal paramètre modifié à la suite de son passage dans les échangeurs des réacteurs (échauffement et chloration), sa surveillance conduit à l'inobservation d'impact au-delà de quelques dizaines de mètres autour des rejets de la centrale (une différence de température par rapport au milieu naturel de 1 °C, avec des taux de dilution théoriques de l'ordre de 90 %).
- Les nutriments minéraux dissous représentent la base de la chaîne alimentaire. Grâce à la lumière, au carbone et aux nutriments présents dans le milieu, les cellules phytoplanctoniques se développent, contrôlant à leur tour le niveau des concentrations de ces nutriments dans l'eau. Parfois, des apports excessifs de nutriments par les bassins versants perturbent le cycle du carbone en zone côtière, avec des répercussions sur toute la chaîne alimentaire. L'intérêt d'étudier les paramètres physico-chimiques conditionnant le démarrage et l'entretien de cette chaîne biologique est donc établi.

Dans le cadre des études de surveillance, les valeurs observées aux trois points *Canal d'amenée*, *Rejet* et *Référence* sont similaires. Seul l'ammonium présente, au printemps et au point *rejet*, une concentration médiane légèrement supérieure à celles notées aux deux autres points. Ce phénomène peut être naturel, suite à l'activité des brouteurs sur le phytoplancton, ou lié aux rejets de la centrale. Ces valeurs restent toutefois dans la plage de valeurs d'ammonium couramment observées dans cette région de la Manche et ne mettent nullement en danger l'équilibre écologique du milieu.

Les tendances pluriannuelles, déduites de l'étude des concentrations observées au point référence depuis septembre 1987, montrent une augmentation des nutriments, plus particulièrement marquée pour les nitrites, phosphates et silicates, à l'exception toutefois des nitrates demeurant stables. Ces tendances s'inscrivent davantage dans l'évolution climatique global ou dans celle des rejets urbains et agricoles. Elles sont cohérentes avec les mesures obtenues par le réseau national REPHY. A noter que les valeurs observées en 2004 sembleraient entamer une diminution.

- Le suivi des trihalométhanes, et plus particulièrement du bromoforme, se justifie par l'utilisation des produits chlorés par la centrale afin de limiter le *fouling* des canalisations d'eau de mer. La diminution de leur utilisation et la présence de forts courants marins favorisant leur dilution se traduisent par des valeurs en dessous des seuils analytiques.

Microbiologie

Les études entreprises ont porté sur le dénombrement des germes totaux, celui des germes revivifiables (pouvant reprendre une activité pathogène si les conditions du milieu leur devenaient favorables) et l'identification des vibrions halophiles.

L'évolution du nombre de ces germes (totaux et revivifiables), avant et après la mise en service de la centrale, ne semble pas être significatif tant à la côte (point canal) qu'au large (point référence).

Au point rejet, la température supérieure de l'eau de mer semble avoir une influence sur le nombre de germes totaux et sur le nombre d'identifications de vibriions halophiles, plus nombreux, mais pas sur le nombre de germes revivifiables.

Substances chimiques

Actuellement, aucune substance chimique n'est analysée dans le cadre du programme de surveillance écologique des quatre CNPE implantés en bord de mer. Seules la lithine, la morpholine, l'hydrazine et l'éthanolamine font partie du groupe de substances nouvelles mentionnées dans le nouvel arrêté interministériel concernant le CNPE du Blayais (Gironde).

Cependant, grâce aux données acquises par le réseau national RNO sur ce secteur nord-Cotentin et aux études de surveillance menées pour la COGEMA, une synthèse des concentrations en métaux et substances diverses dans l'eau de mer et dans la chair de coquillages a pu être faite. Le secteur nord-ouest-Cotentin présente des concentrations en éléments et substances chimiques en général bien inférieures à celles observées, par exemple, en Baie de Seine où de nombreuses industries, implantées tant près de l'embouchure qu'en amont, génèrent une pollution sensible, mais en constante diminution grâce aux efforts des pouvoirs publics.

Phytoplancton

L'étude du compartiment phytoplanctonique (au travers des paramètres biomasse chlorophyllienne, production primaire et abondances phytoplanctoniques) permet de faire le lien entre les facteurs abiotiques de la colonne d'eau et le compartiment zooplanctonique situé plus en aval dans la chaîne alimentaire. Par sa capacité de produire de la matière organique à partir de l'énergie lumineuse et des nutriments minéraux, le phytoplancton est à la base de la pyramide du monde vivant.

Malgré la très forte variabilité de ce compartiment et les incertitudes liées à l'échantillonnage, les résultats obtenus pour ces trois paramètres décrivent bien le cycle annuel connu en Manche : les faibles valeurs hivernales augmentent progressivement pour atteindre leur maximum annuel de mai à juin ; puis il s'en suit une diminution progressive vers le minimum estival similaire au minimum hivernal. Un sursaut automnal est souvent observé sous ces latitudes ; il est lié aux apports de nutriments favorisés par les changements des conditions climatiques en automne.

Les valeurs observées au point rejet sont sensiblement similaires à celles enregistrées aux deux autres points, à l'exception toutefois de la valeur en chlorophylle notée au printemps (1987-2004). L'explication d'une valeur supérieure en ce point tient à la variabilité spatiale, liée au temps de passage de la masse d'eau qui entre dans le canal d'aménée constituant un réservoir d'eau important, y reste quelques heures avant d'être pompée, et enfin rejetée en mer.

Les espèces phytoplanctoniques identifiées sont les mêmes, avant et après la mise en service de la centrale, et identiques à celles observées dans d'autres études locales ou par les réseaux de surveillance de l'IFREMER.

Zooplancton

Le compartiment zooplanctonique, comme mentionné plus haut, est le maillon suivant dans la chaîne alimentaire marine. Son étude, intégrant celles du holoplancton et du méroplancton, montre, plus que tout autre, l'originalité du site de Flamanville où se retrouvent les grands gradients biogéographiques nord-sud et néritique (voire continental)-océanique qui font encore la spécificité de la Manche-ouest. Aux côtés d'indicateurs taxinomiques manifestes de ces différentes influences comme certains copépodes, ce carrefour de tendances constitue le fil d'Ariane présidant à l'interprétation des abondances faunistiques et de la biodiversité du site de Flamanville, plus élevée que sur les sites de Manche et de mer du Nord.

Le gradient biogéographique globalement nord-sud se superpose au gradient néritique-océanique (mer du Nord → Manche-est → Manche-ouest → nord du golfe de Gascogne). Il se traduit dans les abondances taxinomiques et surtout dans les dominances.

C'est ainsi que Flamanville se situe souvent au minimum d'un gradient de densité en direction du nord-est pour nombre de groupes holoplanctoniques (chaetognathes, *Pleurobrachia pileus*, *Lanice conchilega*, copépodes comme *Temora longicornis*, harpacticoïdes hors *Euterpina*) ou méroplanctoniques (œufs et/ou larves de poissons : anchois, merlan, triglidés, chinchard, petite vive, maquereau, turbot, barbue, plie, limande, flet, sole commune, sole perdrix et sole panachée). Pour certaines espèces, ce gradient demeure localisé en Manche et ne s'étend pas jusqu'à Gravelines (copépodes comme *Isias clavipes* ou *Labidocera wollastoni*, œufs et larves de sardine, de merlan) ou au contraire 'explose' à Gravelines comme pour les mysidacés *Gastrosacchus* et *Schistomysis*.

Pour d'autres taxons, Flamanville est au maximum d'un gradient inverse vers le sud-ouest : copépodes *Calanus*, *Anomalocera patersoni*, *Euterpina acutifrons*, *Parapontella brevicornis* ; quelquefois difficile voire impossible à déceler par l'examen des abondances, ce gradient se révèle par le calcul des dominances comme pour les copépodes des genres *Acartia* ou *Centropages*. (effectifs rapportés à ceux de *Temora*).

Certaines espèces sont directement indicatrices de l'influence océanique comme le chaetognathe *Sagitta elegans* ou les copépodes *Euchaeta hebes*, *Metridia lucens* ou *Candacia armata*, ces derniers d'ailleurs majoritaires à Plogoff.

Souvent enfin, le site de Flamanville semble situé au 'creux' d'un double gradient sud-nord et nord-sud ; c'est le cas pour certaines espèces comme la sardine, le sprat, le bar, le flet, la limande, la sole perdrix et la sole panachée.

De par sa situation géographique, le site de Flamanville est alimenté en œufs et larves de poissons dont les frayères occupent la partie centrale de la Manche (sardine, sprat, chinchard, maquereau), mais s'inscrit aussi de par les caractéristiques du secteur, notamment de par la nature des substrats, dans un ensemble de frayères et/ou nourriceries côtières peu productives (clupéidés, poissons plats).

Cependant, la grande originalité du milieu pélagique de Flamanville, en liaison avec l'abondance des substrats rocheux dans le secteur, vient de la richesse et de la

diversité du zooplancton en larves de crustacés décapodes. La plupart des groupes sont présents ; parmi les plus abondants, les caridés qui sont représentés majoritairement par des Hippolytidés des genres *Eualus* et *Hippolyte*, petites 'crevettes' non commerciales, des thalassinidés (principalement le genre *Upogebia*, sans intérêt halieutique), les anomoures (pagures, galathées) et les brachyoures (crabes, araignées). Deux espèces dominent chez les décapodes, à la fois par leur abondance relativement à tous les autres sites et par leur grande valeur commerciale : le homard (*Homarus gammarus*) et l'araignée de mer (*Maja brachydactyla*).

La comparaison « Avant – Après la mise en service du CNPE » livre un résultat assez intéressant dans la mesure où, pour un grand nombre de taxons, les effectifs à partir de 1986 (soit à la date de mise en service de la centrale) sont globalement supérieurs aux effectifs antérieurs et manifestent une variabilité plus grande, de sorte que cette différence se révèle surtout au niveau des pics d'abondance. Pour beaucoup de groupes faunistiques, les résultats sont assez nets pour intégrer la part de variabilité inter-annuelle qui pourrait la nuancer, sachant en plus que la période 'Avant', bien que plus courte que la suivante, porte tout de même sur une dizaine d'années (1976-86).

Pour un grand nombre de taxons, on observe une augmentation sensible des abondances au cours de la période 'Après', mais celle-ci semble résulter autant de l'accroissement de la densité moyenne que de l'amplitude des fluctuations d'effectifs donnant lieu à des maxima relativement élevés. À l'élévation du niveau moyen s'ajoute ainsi une plus grande variabilité pluriannuelle se traduisant par, outre les maxima (comme notamment lors des années 1986-87, 1993 à 1995 voir quelquefois 1996 ou de 2002 à 2004), d'importantes périodes de 'récession' (comme en 1997-98, quelquefois 1999), la position de ces pics ou creux d'amplitude pouvant varier légèrement (d'une année, pas davantage) suivant les différents groupes faunistiques.

Le plus remarquable est que ces fluctuations affectent la plupart des taxons, indépendamment de leur filiation taxinomique ou de leur écologie ; notamment, on y trouve aussi bien des espèces holoplanctoniques que méroplanctoniques. Ainsi, parmi les taxons manifestant un accroissement des effectifs au cours de la période 'Après', citons : les cnidaires *Hybocodon prolifer* et *Obelia*, les larves d'annélides dominantes comme les spionidés et *Lanice conchylega*, les larves de bryozoaires et de mollusques, nombre de copépodes (*Calanus*, *Pseudocalanus minutus*, *Temora longicornis*, *Metridia lucens*, *Centropages*, *Acartia*, harpaticoïdes, monstrillidés), les larves de crustacés (cirripèdes, caridés, thalassinidés, anomoures un peu moins brachyoures), appendiculaires, œufs et larves de poissons. Seuls quelques groupes sont restés stables, notamment les cténaïres, de rares copépodes, des crustacés isopodes et amphipodes, voire ont régressé comme les cumacés.

Écologiquement parlant, une élévation du niveau moyen des effectifs ne signifie pas obligatoirement 'accroissement de la richesse', l'augmentation de la productivité se faisant souvent au détriment de la biodiversité, laquelle reste le meilleur critère des écosystèmes 'en bonne santé' ; l'augmentation corrélative de la variabilité des effectifs est plutôt le signe d'une sensibilité accrue de l'écosystème, résultat de son appauvrissement global.

Le fait que la majorité des espèces subissent des variations pluriannuelles quasi parallèles, peut plaider autant en faveur de l'effet de phénomènes climatiques généraux (effet suggéré dans les autres compartiments pélagique, benthique ou halieutique) que d'une incidence des rejets d'eaux chaudes en continu. Des fluctuations pluriannuelles à longue période ont en effet été mises en évidence sur d'autres sites comme à Gravelines, où les oscillations périodiques du cycle thermique suivent les changements climatiques généraux telles que révélées notamment par l'indice NAO (*North Atlantic Oscillation*). De tels phénomènes se font sentir jusqu'aux zones côtières, notamment en mer du Nord. Bien que les sites de Manche et *a fortiori* du golfe de Gascogne soient réputés moins réactifs, il est possible que la réponse se fasse sentir jusqu'à Flamanville. L'augmentation de l'indice NAO moyen à partir de 1988 ainsi que son anomalie négative en 1996-1997 ne sont pas sans évoquer les fluctuations pluriannuelles observées sur le site sensiblement aux mêmes périodes.

Domaine benthique

Phytobenthos

Intertidal

Dans ce secteur du nord-ouest Cotentin, au droit du site de Flamanville, le recouvrement algal en zone intertidale est relativement pauvre, tant en quantité qu'en diversité. Dans ce contexte de pauvreté floristique, le groupe d'algues marines dominant reste celui des Rhodophycées. Au niveau de l'étage médio littoral rocheux, parsemé de zones de rétention d'eau, les algues calcaires du genre *Lithothamnion sp.* et *Corallina sp.* recouvrent les substrats durs d'un tapis rosé.

Sur l'ensemble du secteur intertidal, peu d'algues brunes sont observées, mis à part la population de *Fucus serratus* du platier de Diélette, et quelques Sargasses dans les cuvettes. L'étude menée sur l'espèce cible *Fucus serratus* montre une diminution de la biomasse moyenne depuis plus de 20 ans, ainsi que des fluctuations de la fertilité.

Subtidal

En ce qui concerne le domaine subtidal, l'absence de campagnes de prospection récentes ne permet pas d'apprécier l'importance et la répartition actuelles des grands algues de la famille des laminaires. Il ne peut être fait référence qu'aux études réalisées dans ce secteur il y a plus d'une vingtaine d'années, concluant à la présence effective d'un champ de laminaires dans la zone rocheuse du Cap de Flamanville. Ces mêmes études concluent à la forte présence des algues rouges, dont en grande partie des algues encroûtantes de la famille des Corallinacées.

L'évolution de la biomasse moyenne de l'espèce *Fucus serratus* est à replacer dans le contexte général de l'évolution des principaux peuplements algaux, comme celui des laminaires, observée tant en Bretagne qu'en Normandie depuis une à deux décennies. Les hypothèses actuellement avancées portent d'une part sur l'exploitation de la ressource (pour les algues ayant un intérêt économique ; modification de l'exploitation avec de nouveaux outils et/ou sur de nouvelles zones), d'autre part sur l'impact de phénomènes naturels (cycle de marée de 18 ans ; modification de la température de l'eau de mer ; ...) pouvant avoir des

répercussions sur la circulation des masses d'eau, la fréquence des coups de vent, la physiologie des espèces (reproduction, croissance).

Zoobenthos

Le suivi du peuplement des crustacés cirripèdes intertidaux a permis l'acquisition d'une série à long terme tant sur les densités en place que sur les proportions des principales espèces et l'importance de leur recrutement annuel.

Il ressort de ces études menées depuis presque trente ans :

- Une certaine stabilité entre les quatre espèces de cirripèdes. L'espèce boréo-artique *Semibalanus balanoides*, décrite comme majoritaire dans les années 1977-1978, l'est restée jusqu'à aujourd'hui, indépendamment des aménagements industriels ou portuaires entrepris dans le secteur, et des rejets associés.
- Une stagnation d'*Elminius modestus* à un niveau très faible. Cette espèce néo-zélandaise, introduite dans l'hémisphère nord au cours de la 2nde guerre mondiale, montrait au début des années de surveillance une croissance de ses effectifs d'une année sur l'autre.
- La mise en évidence d'une relation entre les températures hivernales et le recrutement printanier de ces cirripèdes, recrutement dominé par celui de *Semibalanus balanoides*. L'importance de ce recrutement, qui représente les 4/5 du recrutement annuel, est proportionnel à la rigueur de l'hiver précédent.
- L'observation depuis quelques années de recrutements printaniers de faibles importances, en lien avec la douceur des températures hivernales. L'effet le plus direct est l'observation d'une baisse des densités globales de ces crustacés.

Les études menées dans le domaine benthique ont permis d'observer et d'enregistrer des évolutions significatives de certains peuplements (crustacés cirripèdes) ou certaines espèces plus particulières (algue *Fucus serratus*). La recherche d'explications pour comprendre ces évolutions a conduit à établir des liens de cause à effet avec des changements naturels, comme le changement climatique (série d'hivers doux ; augmentation des températures annuelles moyennes). Dans ce contexte, les impacts d'aménagement côtier ou de rejets, comme ceux de la centrale, sur le compartiment benthique n'ont pas été décelés.

Domaine halieutique

Le site de Flamanville est proche des zones d'éclosion de deux espèces de crustacés au grand intérêt commercial : le homard et l'araignée de mer. Les études ciblées plus spécialement sur les densités de larves de ces deux espèces ne permettent pas de dégager une tendance à la baisse depuis la mise en service du CNPE. Par contre, l'étude menée sur les larves d'araignée de mer a permis de montrer l'influence du climat sur la précocité des éclosions.

En ce qui concerne le suivi des pêches côtières, les indicateurs de populations retenus pour cette étude font apparaître une grande variabilité temporelle des résultats que différents facteurs peuvent contribuer à expliquer : modifications du protocole expérimental, grande variabilité de la capturabilité des crustacés au casier

due, par exemple, à leur état physiologique (phases de mue, reproduction, ou migration), conditions météorologiques au moment des campagnes de prélèvements (des conditions de houle se traduisent par une activité réduite des homards et accrue des tourteaux), compétition entre espèces (une abondance particulière de crabes se traduira par une diminution des prises de homard), effets du cantonnement mis en place en 2000 (augmentation des rendements en homard dans cette zone ; une densité importante de homard entraîne une baisse des captures de tourteaux). Ce suivi a permis de confirmer le côté sédentaire du homard (la majorité des recaptures se fait sur les lieux d'immersion) et d'observer que l'étrille est la seule espèce dont la taille et les rendements diminuent régulièrement ces dernières années.

Cette synthèse a également été l'occasion de faire un point sur l'évolution du contexte des pêcheries de crustacés dans l'ensemble du Golfe normano-breton. Cette évolution est historiquement et culturellement difficile à appréhender du fait même que l'essentiel des ventes se fait de gré à gré, ne permettant pas une connaissance suffisamment précise de l'activité de pêche, en particulier les productions débarquées et les efforts de pêche correspondants. Le point réalisé dans cette synthèse se base sur la situation de ces pêcheries en 2003.

Ces réserves ayant été formulées, il est cependant possible d'avancer que le quartier maritime de Cherbourg est le principal contributeur national pour le homard, le troisième (ou quatrième) pour l'araignée et pour le tourteau. Les navires de pêche concernés, principalement des petites unités, représentent le quart de la flottille de l'ensemble des quartiers maritimes de la Manche (de Dunkerque à Camaret). La grande majorité de cette flottille pratique les arts dormants (casiers [métier dominant], filets et/ou métiers des hameçons). Comme à l'échelle de la Manche, le nombre de navires de pêche immatriculés dans le quartier de Cherbourg est en diminution entre 1990 et 2003. Par contre, il est impossible d'interpréter l'évolution de la production sur la même période. L'analyse des débarquements à l'échelle mensuelle permet toutefois d'apprécier la forte saisonnalité des débarquements pour l'araignée (avril à juillet), moindre pour le homard (avril à septembre), moyenne pour le tourteau (juillet à décembre). Seule l'étrille ne présente pas de saisonnalité marquée.

* * *

Au travers de l'étude des différents domaines du milieu marin (domaines pélagique, benthique et halieutique ; chacun d'entre eux comprenant plusieurs compartiments) réalisée depuis près de trente ans, il ressort le constat d'un milieu régi par des grands cycles saisonniers, annuels ou pluriannuels selon les espèces ou paramètres étudiés, d'un milieu sous l'influence directe des variations météorologiques pour le court terme, climatiques pour le moyen terme. Les séries chronologiques de données, aujourd'hui disponibles, permettent d'apprécier certaines fluctuations d'un cycle, de les comprendre et les quantifier. Aucun impact significatif sur le milieu marin des rejets du CNPE de Flamanville n'a pu être mis en évidence au cours de ses 20 premières années de fonctionnement.

7. Bibliographie

Glossaire

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.

ABRAHAMSSON, K., CHOO K-S., PEDERSEN, M., JOHANSSON, G., SNOEIJIS, P. 2003
Effects of temperature on the production of hydrogen peroxide and volatile halocarbons by brackish-water algae. *Phytochemistry* 64, 725-734.

AGOUMI, A., ENDERLE, M.J., GRAS, R.A. 1983.- Modélisation du régime thermique de la Manche. *Oceanologica Acta*, 6, (4) 393-406

ALAYSE, J.P., LE NOZER'H, Y. 1997.- Les algues. Ed. Jean-Paul GISSEROT, 32 pp.

ALDEBERT, Y. 1975.- Comparaison des rendements du "Bongo".- Rapport fao - istpm.

ALLONIER, A-S., KHALANSKI, M., BERMOND, A., CAMEL, V. 2000.- Determination of trihalomethanes in chlorinated sea water samples using a purge-and-trap system coupled to gas chromatography. *Talanta*, 51, 467-477.

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.

ANDRAL, B., STANISIERE, J.Y. 1999.- Réseau intégrateurs biologiques RINBIO : évaluation de la qualité des eaux basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules en Méditerranée. Rapport de contrat dans le cadre des conventions n°991452 et n°992461 pour l'agence de l'Eau RMC, *Ifremer Toulon*. 67 pp.

ANDRAL, B., STANISIERE, J.Y., MERCIER S. 2001.- Réseau intégrateurs biologiques RINBIO : évaluation de la contamination chimique des eaux basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules en Méditerranée : résultats de la campagne 2000. Convention avec l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse n° 010706. Ifremer Toulon. 87 pp.

ANGELY, C., BORDET, F. 1994.- Synthèse des études écologiques et halieutiques du site de Flamanville de 1983 à 1991. Note d'étude. EDF, 76 pp.

ARBAULT S., 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

- ARZEL P., 2005.-** Evolution à long terme de l'exploitation des algues en Bretagne – Relation avec le climat et les modes d'exploitation. Ouvrage Golfe de Gascogne (sous presse) 10-17.
- AUFFRET J.P., BERNE S., GRESSELIN F., D'OZOUVILLE L., WALKER P., 1986.-** Anse de Vauville – Géologie et dynamique sédimentaire. Carte à l'échelle 1/5 000 et notice Ifremer.
- AUGRIS C., et al., 2005.-** Evolution à long terme de l'exploitation des algues en Bretagne – Relation avec le climat et les modes d'exploitation. Ouvrage Golfe de Gascogne (sous presse) 10-17.
- BARNAY A.S., 2005.-** Carte des formations superficielles sous-marines aux abords de Flamanville (Manche). Plouzané : Ifremer, 2005.- 1 carte dépl. : en coul. ; 21 X 29, 7 cm pliée.
- 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
- BERNE S., BOURILLET J.F., DURAND J., LERICOLAIS G., 1989.-** Les dunes subtidales géantes de Surtainville (Manche ouest). Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine, 13-2, pp. 395-415.
- BERTRAND J.A., MARTIN J., LIOURZOU B., BATTAGLIA A., LEGAGNEUR E., 1981.-** Surveillance de la pêche côtière des crustacées – Pêche aux casiers – Rapport annuel 1980. Contrat EDF-RE Clamart/ISTPM N° FA 1982-045. 141 pp.
- BERTRAND J., 1982.-** Données sur la distribution des larves de homard (*Homarus gammarus* L.) dans le golfe Normando-breton. *Cons. Int. Explor. Mer*, K:32.
- BERTRAND, J.A. , COPPIN, F., LE PAPPE, O., MORIN, J., POULARD, J-C., ROCHET, M-J., SCHLAICH, I., TRENKEL, V., VERIN, Y. 2004.-** L'état des communautés exploitées au large des côtes de France. IFREMER/DRV/RH/RS/ 04-001, 170 pp.
- 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.
- BRYLINSKI J.M., LAGADEUC Y., GENTILHOMME V., DUPONT J.-P., LAFITTE R., DUPEUBLE P.-A., HUAULT M.-F., AUGER Y., PUSKARIC E., WARTEL M. CABIOCH L. 1991.-** Le fleuve côtier, un phénomène hydrologique important en Manche Orientale. Exemple du Pas-de-Calais. *Oceanologica Acta*, 11, 197-203
- BULEON, L., HASSANI, A. 1995.-** Salinité de surface dans le Golfe de Gascogne. Rapport technique du Service hydrographique et Océanographique de la marine N°106/EPHOM/CMO/CM/NP du 19 septembre 1995, 18 pp + annexes.
- CABIOC'H J., et al. 1992.-** Guide des algues des mers d'Europe. Ed. Delachaux et Nestlé, 232 p.
- CHIFFOLEAU, J-F., AUGER, D., BOUTIER, B., ROUZEL, E., TRUQUET, I. 2003.-** Dosage de certains métaux dans les sédiments et la matière en suspension par absorption atomique. Ed. Ifremer, Brest, France ; 45 pp.
- CLARK, R., A. AND FRID, C., L., J. 2001.-** Long-term changes in the North Sea ecosystem. *Environ. Rev.* 9 : 131-187.

CONNAN, O., LE CORRE, P., MARTY, Y. 1997.- Formation du dibromométhane et de bromodichlorométhane par le phytoplancton dans les eaux côtières de la Manche occidentale. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t.324, série II a, p. 25 à 31.

DIETRICH, G. 1957.- General oceanography, John Wiley and Sons, Inc.

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.

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.

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.

GUILLAUMONT B., HAMON D., LAFOND L., LE RHUN J., LEVASSEUR J., PIRIOU J.Y., 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, juillet 1987, notice 50 p. + 7 cartes dépliantes couleur.

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.

KERGARIOU G. DE 1971.- L'araignée de mer *Maia squinado* Herbst sur le littoral de Bretagne., *Science et pêche*, 205 : 11-19.

KHALANSKI, M. 2003.- Organic products generated by the chlorination of cooling water at marine power stations. Journées d'étude du Cebedeau. *Tribune de l'eau*, N° 619-620-621, 224-39.

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., 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.

KOUTSIKOPOULOS, C., BEILLOIS, P., LEROY, C., TAILLEFER, F. 1998.- Temporal trends and spatial structures of the sea surface temperature in the Bay of Biscay. *Oceanologica Acta*, Vol. 21, N°2 335-344.

- 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.
- IVANOFF**, 1972.- Introduction à l'Océanographie. Propriétés physiques et chimiques des eaux de mer. Librairie Vuibert, Paris: 208pp.
- JOSSI J.W., MARAK R.R., PETERSON H.**, 1975. At-sea data collection and laboratory procedures, Marmap survey I manual, Marmap Programm Office, National Marine Fisheries Service, Washington.
- 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.
- LI, Y. H.** 1991.- Distribution patterns of the elements in the ocean: A synthesis, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 55, 3223-3240,
- LAMPERT, L.** 2001.- « Dynamique saisonnière et variabilité pigmentaire des populations phytoplanctoniques dans l'Atlantique Nord (Golfe de Gascogne) ». Thèse de troisième cycle, *Université de Bretagne Occidentale*. 328 pp.
- LATROUITE, D., NOEL, P.** 1993.- Observations sur la maturité sexuelle et la ponte du tourteau *Cancer pagurus* en Manche. *Shellfish Commitee* 1993 ICES C.MC 1993/K-23.1-8.
- LE HIR P., BASSOULLET P., ERARD E., BLANCHARD M., HAMON D., JEGOU A.M., IRIEC**, 1986.- Etude régionale intégrée du Golfe normano-breton. *Vol. 1* Présentation de l'étude et cadre physique, hydrodynamique et sédimentologique. *Vol. 2* Milieu pélagique. *Vol. 3* Benthos subtidal. *Vol. 4* Estrans et zones humides. *Vol. 5* Aspects socio-économiques et juridiques. Vol. 6 Etude particulière : le Mont Saint-Michel. Rapport Ifremer DERO/86.27/EL, Plouzané : 4+265 p., 8+143 p., 10+180 p., 10+182 p. + carte, 9+277 p., 5+303 p.
- LE ROUX A.**, 2005.- Les patelles et la régression des algues brunes dans le Morbihan. *Penn ar Bed*, mars 2005, 192: 1-22.
- LORENZEN C.J.**, 1966.- « A method for the continuous measurements of *in vivo* chlorophyll concentrations ». *Deep-Sea Res.* 13: 223-227.
- 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.**, 1985.- Abondance et distribution des larves d'araignée (*Maia squinado* Herbst) en Manche en 1983, *Cons. Int. Explor. Mer*, K:24.
- MARTIN J.**, 1993.- Période d'éclosion des larves d'araignée de mer *Maja squinado* Herbst en Manche et température de l'eau au printemps, *Cons. Int. Explor. Mer*, K:50.
- MARTIN J.**, 2000.- Le domaine halieutique. In : Drévès L. (coordinateur) *et al.*, 2000. Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, année 1999. Rapp. Ifremer DEL/00.04/Brest, juin 2000, 122 p.
- MARTIN J.**, 2001.- Les larves de crustacés décapodes des côtes françaises de la Manche, Identification, période, abondance, Ifremer, Brest, 2001.

- MARTIN J., HALGAND D.**, 1990.- Contribution à l'étude de faisabilité d'une usine marémotrice dans le golfe normano-breton, Zooplanctonologie halieutique, mars-octobre 1983. Rapp. Interne Ifremer DRV-90, 171 p. +annexes.
- MARTIN J., PLANQUE B.**, 2006.- Variability in the onset of hatching of spider crab (*Maja brachydactyla* Balss, 1922) in the English Channel in relation to sea temperature. *Invertebrate Reproduction & Development*, soumise.
- 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).
- MASTAIL M., BATTAGLIA A.**, 1978.- Amélioration de la conservation des pigments du zooplancton, *Cons. Int. Explor. Mer*, L:20.
- 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.
- NICHOLS (J.H.), BENNET (D.B.), 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.
- OLIVER, J.D.** 1995.- **Sao Paulo, Colloque 3 ISM 27/8 – 10/9/1995.**
- PINGREE, R.D., MADDOCK, L.** 1977.- « Tidal residuals in the English Channel ». *Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom*, **57**, 339-354.
- PROUVOST, J., CONNAN, O., MARTY, Y., LE CORRE, P.** 1999.- A sampling device for collection and analysis of volatile halocarbons in coastal and oceanic waters. *The Analyst*, 124, 1389-1394.
- PYTKOWICZ, R.M., D.R. KESTER.** 1971.- The physical chemistry of seawater. In: Oceanography and Marine Biology, Annual Reviews, Vol. 9, Harold Barnes, ed., George Allen and Unwin, London, pp. 11-60.
- 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.
- RIOU, J.** 1990.- « Modèle d'écosystèmes phytoplanctonique marin sur le littoral nord breton (Manche Occidentale) ». *Thèse de doctorat, Institut National polytechnique, Toulouse*
- SALOMON, J.C., BRETON, M., GUEGUENIAT, P.** 1993.- « Computed residual flow through the Dover Strait ». *Oceanologica Acta*, **16**, 449-455
- SHERMAN (K.), 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.

STANISIERE, J.Y. 2001.- Réseau intégrateurs biologiques RINBIO (campagne 1999): caractérisation des apports du Rhône en contaminants biodisponibles. Qualification d'une stratégie de sécurisation des stations contre le chalutage. *Rapport Ifremer Toulon*. 28 pp.

STANISIERE, J.Y. 2001.- Effet de l'indice de condition sur la bioaccumulation des contaminants chez *Mytilus galloprovincialis*: validation d'une méthode d'ajustement applicable au biomonitoring actif en milieux hétérotrophes. *Rapport Ifremer Toulon*. 26 pp.

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

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.

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.

WHITESIDE, M.D., OLIVER, J.D. 1997.- Studies on resuscitation of *Vibrio vulnificus* from a viable but nonculturable state. *Environ. Microbiol.* 63-1002-1005.

ZUBKOV, M.V., SLEIGH, M.A., TARRAN, G.A., BURKILL, P.H., LEAKEY, J.G. 1998.- Picoplanktonic community structure on an atlantic transect from 50 °N to 50 °S. *Deep-Sea Res.* I 45-1339-1355.

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. GENTHEN, 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.

BELSHER T., BOVE J., CAYEUX M. de, 1986.- Etude bibliographique de quelques espèces planctoniques et benthiques littorales de la Manche – Espèces phytobenthiques. Rapport Ifremer, mars 1986, 112 p.

GENTHEN 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., HALGAND D., 1986.- Etude de surveillance des ressources halieutiques, Site de Flamanville, Zooplanktonologie, 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.
- 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, 311 p.
- 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.-M., 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., LAMPERT L., ABERNOT-LE GAC C. (coordinateurs), MARTIN J., ARZEL P., DUMAS F., SCHLAICH I., LATROUITE D., WOEHLING D., (2006) – Synthèse hydrobiologique du site électronucléaire de Flamanville – Rapp. IFREMER RST.DOP/LER/06.03, mars 2006, 386 p.

GLOSSAIRE

Glossaire océanographique extrait de :

JACQUES, G., TREGUER, P. 1986.- *Ecosystèmes pélagiques marins*, p 227-243. Ed. Masson, Paris. 243 p.

Abyssal (Abysses)

Qualifie les grandes profondeurs marines. Le terme hadal est parfois utilisé pour qualifier les profondeurs extrêmes des fosses marines.

Accore

Employé comme substantif, désigne la ligne de rupture de pente qui est située entre la *pente continentale* et le *plateau continental*.

Advection

Processus de transfert d'une masse d'eau résultant d'un mouvement qu'il soit horizontal ou vertical.

Anoxie (Anoxique)

Absence d'oxygène gazeux dissous.

Un milieu devient anoxique quand la demande biologique ou chimique en oxygène est supérieure à l'apport. L'oxydation de la matière organique et inorganique utilise alors, comme accepteurs d'électrons, les nitrates, voire les sulfates. L'anoxie peut être d'origine naturelle (Pérou) ou anthropique résultant alors d'un phénomène *d'eutrophisation* (Baltique).

Anthropique

Résultant de l'activité humaine. Exemple : nitrates des engrais, phosphates des lessives.

Anticyclonique Voir *Cyclonique*

Aphotique {couche, zone}

Qualifie les profondeurs que la lumière solaire n'atteint pas.

Assimilation

Au sens large désigne l'ensemble des processus aboutissant à l'incorporation dans la matière vivante d'une catégorie trophique donnée, des matières nutritives minérales ou organiques du milieu. Au sens strict, on doit distinguer l'absorption et l'assimilation :

- **l'absorption** correspond au passage de l'élément du milieu externe dans le compartiment intracellulaire (1^o étape)
- **l'assimilation** désigne l'incorporation de l'élément dans la matière organique (2^o étape)

Deux termes plus imprécis sont parfois utilisés : celui de consommation qui fait surtout référence à la diminution de la concentration de l'élément dans le milieu et celui de prise qui indique l'augmentation de la teneur de ce même élément dans l'organisme, Mais ce terme est également employé, dans un sens large, pour désigner l'ensemble de ces deux processus.

Autotrophe

Organisme vivant capable d'élaborer ses propres substances organiques à partir d'éléments minéraux grâce à un apport d'énergie :

- par réactions photochimiques nécessitant la lumière (photo-autotrophie), principalement la photosynthèse,
- par réactions chimiques obscures (chémo-autotrophie).

Bien que les algues du phytoplancton soient généralement considérées comme autotrophes, il ne s'agit pratiquement jamais d'autotrophie stricte car elles ont besoin, pour leur croissance, de traces organiques comme les vitamines.

Azote

En milieu marin, les composés de l'azote existent sous forme inorganique, organique et moléculaire gazeux dissous (95% du total). Les composés inorganiques sont principalement présents aux degrés d'oxydation -3 (NH_4^+), +3 (NO_2^-) et +5 (NO_3^-). Les nitrates représentent la forme la plus stable en milieu aérobie et atteignent 65% du stock total d'azote organique et inorganique dissous de l'océan mondial.

Banquise

Ensemble des glaces formées dans les régions polaires par congélation de l'eau de mer : Son épaisseur est de quelques mètres.

Barotrope

Qualifie un fluide dans lequel les surfaces d'égale densité coïncident avec les surfaces d'égale pression. On dit également barotrope = état de baroclinité nulle.

ANT: Barocline

Bassin de concentration

Bassin dont le bilan hydrique est négatif.

ANT: Bassin de dilution

Bathyal

Qualifie le premier étage du système aphytal (où la photosynthèse n'est plus possible par manque de lumière). Il correspond au peuplement de la *pente continentale* et des fonds en pente douce qui succèdent jusqu'aux environs de 3000 m.

Le système aphytal comprend ainsi trois étages ; respectivement, du moins profond vers le plus profond : les étages bathyal, abyssal et hadal

Benthique

Qualifie les *organismes* et les processus ayant un lien avec les fonds.

Benthos

Ensemble des organismes aquatiques vivant en relation avec le fond.

Biocénose (ou biocoenose)

Ensemble des animaux et végétaux qui vivent dans le même milieu (*biotope*), au voisinage les uns des autres et en dépendance réciproque. C'est un groupement relativement fermé dont d'autorégulation.

Biomasse

Quantité totale de matière vivante présente à un instant donné par unité de surface (ou de volume).

Biotope

Surface (ou volume) aux caractéristiques physiques et chimiques uniformes, occupée par une espèce ou une communauté (*biocénose*) particulière.

Cascading

Mouvement par lequel l'eau de surface plonge en suivant le fond de la plateforme et de la pente continentales.

Céphalopodes

Mollusques exclusivement marins, à symétrie bilatérale dont les bords du pied, transformées en appendices allongés appelés bras ou tentacules sont disposés autour de la bouche. Ils possèdent des yeux et un système nerveux très évolués qui en font d'excellents nageurs et des chasseurs appartenant au *necton*. Seiche, calmar et pieuvre représentent les principaux types de Céphalopodes.

Cétacés

Mammifères aquatiques principalement marins caractérisés par un corps pisciforme, des membres antérieurs transformés en nageoire, une nageoire caudale horizontale et l'absence de membres postérieurs.

- **Odontocètes** : Cétacés dont la bouche est pourvue de dents (cachalot, orque, dauphin)
- **Mystocètes** : Cétacés dont la bouche porte des fanons cornés ce qui leur permet de filtrer l'eau en retenant le plancton.

Chétognathes (ou Chaetognathes)

Invertébrés marins vermiformes, au corps transparent long de quelques centimètres, le plus souvent pélagiques. Ils sont pourvus d'une nageoire caudale et de nageoires latérales. Ce sont des carnassiers qui consomment des proies planctoniques.

Climax

Étape terminale de la *succession écologique* où l'écosystème atteint une maturité maximale : haute diversité spécifique, spécialisation des espèces, moindre flux d'énergie etc. J

-cline

Couche où les propriétés physiques (température, salinité, densité) ou chimiques (nitrates, phosphates) présentent un fort gradient vertical (thermo-, halo-, pycno) (nitra-, phospho-...). Son existence limite fortement les échanges entre les masses d'eau et la diffusion turbulente. Exemple : nitracline, nitricline, phosphacline, pycnocline, thermocline.

Coccolithophoridés

Organismes unicellulaires appartenant à la classe des Prymnésiophycées. D'un diamètre compris entre 3 et 30 μm , essentiellement marins, ils possèdent 2 flagelles inégaux. Leur corps est entouré d'une matrice gélatineuse au sein de laquelle se forment de petites pièces calcaires ou coccolithes. La forme de ces coccolithes et leurs ornements sont à la base de la taxonomie de ce groupe qui est un des composants majeurs du nanoplancton. Les concentrations de Coccolithophoridés peuvent atteindre plusieurs dizaines de millions de cellules par litre.

Coefficient d'absorption (optique)

Coefficient **a**, homogène à l'inverse d'une longueur (m^{-1}), tel que : $F = F_0 e^{-ar}$, où F_0 et F sont les flux transportés par le faisceau lumineux avant et après traversée du milieu absorbant d'épaisseur finie r .

Coefficient d'atténuation (optique)

Dans un milieu à la fois absorbant et diffusant, tel l'eau de mer, on peut écrire; $F = F_0 e^{-cr}$, où c est le coefficient d'atténuation, homogène à l'inverse d'une longueur (m^{-1}), tel que $c = a + b$ (voir définitions des coefficients d'absorption **a** et de diffusion **b**). Ce coefficient est la grandeur optique la plus accessible à la mesure.

Coefficient de diffusion (optique)

Coefficient **b**, homogène à l'inverse d'une longueur (m^{-1}) tel que: $F = F_0 e^{-br}$.

Du fait de diffusions multiples à l'intérieur d'un milieu, la définition du coefficient total de diffusion ; analogue à celle régissant les phénomènes d'absorption, n'est pas rigoureuse (voir Coefficient d'absorption).

Coefficient d'extinction (optique)

Coefficient **k**, homogène à l'inverse d'une longueur (m^{-1}) tel que : $(E\lambda)_{z_2} = (E\lambda)_{z_1} e^{-k(z_2 - z_1)}$. Quand on trace la courbe de la densité spectrale de l'éclairement descendant à une longueur d'onde donnée ($\text{Log } E\lambda$) en fonction de la profondeur, elle est généralement rectiligne entre deux profondeurs voisines z_2 et z_1 telles que $z_2 > z_1$. Pour des eaux très limpides et de faible profondeur, le coefficient d'extinction se rapproche du *coefficient d'absorption* à la même longueur d'onde.

Conservatif (Conservativité)

Qualifie un processus qui dépend seulement de phénomènes physiques. Par exemple, une distribution conservative des nitrates suppose une relation bien définie, en général linéaire, avec un facteur physique comme la salinité. A une salinité donnée, correspond une valeur et une seule de nitrates. La propriété antinomique est la "non-conservativité". Une distribution non-conservative d'un facteur suppose l'intervention à la fois de phénomènes physiques et de phénomènes biologiques.

Convection

Mouvement d'une masse d'eau résultant d'une instabilité de densité, en général d'origine thermique, qui provoque des transports verticaux.

Convergence

Phénomène de rencontre entre deux masses d'eau de directions opposées, s'accompagnant d'une plongée à la ligne de convergence.

Région où se produit ce phénomène.

Copépodes

Crustacés inférieurs de petite taille (< 1 mm) dont les formes libres constituent l'une des parties essentielles du zooplancton. Ils présentent un céphalothorax ovoïde, muni des appendices buccaux et de 4 à 5 paires de pattes natatoires, suivi d'un abdomen étroit et cylindrique terminé par la furca. Les *Calanoïdes* constituent l'ordre

dominant ; remarquables par leurs grandes antennules servant à la locomotion, à la préhension et à la récolte d'informations. Au plan trophique, les Copépodes sont soit herbivores soit omnivores.

Coriolis (force de)

Force de déviation exercée sur tout mobile de masse **m** en mouvement. Elle est engendrée par la rotation de la Terre autour des pôles (vitesse angulaire ω). Elle joue un rôle important dans les circulations atmosphérique et océaniques. Cette force s'exerce perpendiculairement à la vitesse **V** du mobile de masse **m** (à droite dans l'hémisphère nord) et elle équilibre la force qui est à l'origine du mouvement. On peut écrire :

$F_c = 2 \omega m V \sin \phi = m V f$, avec f = paramètre de Coriolis, fonction de la latitude ϕ

Couche de mélange

Couche superficielle de caractéristiques physiques homogènes. Cette homogénéisation de densité provient soit des transferts d'énergie mécanique ou thermique de l'atmosphère vers l'océan, soit, en zone littorale, de l'action des courants de marée. Son épaisseur varie de quelques mètres (zone de résurgence) à une centaine de mètres (Antarctique). Dans des circonstances exceptionnelles, elle peut concerner l'ensemble de la colonne d'eau, soit plusieurs milliers de mètres (Méditerranée).

Courant de densité

Courant produit par un champ de densité non uniforme résultant d'une pente des surfaces d'égale densité (isopycnes).

Courant de dérive

Mouvement de la couche superficielle provoqué par le vent créant une tension à la surface de la mer.

Courant de pente

Part du courant due à la pente de la surface de la mer.

Courant géostrophique

Courant résultant de l'équilibre entre la *Force de Coriolis* et celle engendrée par le gradient de pression. La méthode géostrophique permet de calculer un courant relatif par rapport à une surface isobarique de référence (où la pression est supposée constante).

Cyanophycées

Algues constituées d'éléments cellulaires identiques, isolés ou disposés en files linéaires possédant un pigment bleu caractéristique, la phycocyanine. Ce sont des algues peu évoluées avec un noyau sans membrane définie. Elles sont capables d'utiliser l'azote gazeux comme source d'azote. Encore appelées Algues bleues-vertes.

Cyclonique

Qualifie un mouvement horizontal tourbillonnaire qui s'effectue dans le sens inverse des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère nord.

Démersal

Qualifie les espèces vivant sur le fond ou à son voisinage ; s'applique particulièrement aux poissons.

Densité

Terme généralement, mais improprement, utilisé en océanographie pour désigner la masse volumique ρ de (dimension ML^{-3}). La "densité" étant proche de l'unité pour l'eau de mer, on lui préfère le paramètre Sigma-T.

Diatomées (ou Bacillariophycées)

Algues unicellulaires à squelette externe siliceux dénommé *frustule*. Leur taille varie entre 1 et 1000 μm . Elles jouent un rôle très important aussi bien en milieu pélagique que benthique. Outre les chlorophylles, elles possèdent des pigments bruns, xanthophylles et carotènes, dont certains sont spécifiques : diatoxanthine, diadinoxanthine.

Diffusion

Diffusion moléculaire : transfert d'une propriété entre deux eaux immobiles, du compartiment le plus riche vers le compartiment le plus pauvre.

Diffusion turbulente : en milieu marin, le processus d'échange le plus efficace pour le transfert des propriétés d'une masse d'eau à l'autre est la diffusion turbulente associée au mouvement des masses d'eau. Dans ce processus, les fluides en contact sont animés de mouvements désordonnés (turbulence) autour de leur direction moyenne. De ce fait, ils libèrent une partie de leur quantité de mouvement et des autres propriétés dont ils sont porteurs. A cette notion, est rattachée dans les équations de continuité, l'introduction du coefficient μ (coefficient de viscosité turbulente) pour la quantité de mouvement et K (coefficient de diffusion turbulente) pour les autres propriétés.

Dinoflagellés (ou Péridiniens)

Végétaux unicellulaires microscopiques comprenant des formes parasites, des formes benthiques et des formes libres planctoniques. Caractérisés par la présence de 2 flagelles battant dans 2 plans perpendiculaires. Leur noyau (dinocaryon) possède une structure et un mode de division particuliers.

Dissous (phase, matière)

Les termes "dissous" et "particulaire" correspondent à des notions arbitraires qui sont définies en fonction de la méthodologie : filtration avec différents types de membranes de porosité différente ou ultra-centrifugation. La concentration d'une substance dissoute ou particulaire variera donc dans des proportions non négligeables suivant la technique. Généralement, une substance est considérée comme "dissoute" quand elle n'est pas retenue sur une membrane de porosité 0,45 μm ; par contre, la phase "particulaire" est retenue sur cette même membrane.

Disque de Secchi

Disque blanc (certains comportent 2 quartiers blanc et 2 quartiers noir) de 30 cm de diamètre que l'on descend dans l'eau à l'aide d'un câble étalonné jusqu'à ce qu'il disparaisse de la vue de l'observateur. Sa simplicité d'emploi l'a fait longtemps utiliser systématiquement à bord de tous les types d'embarcations. Même en prenant des précautions pour l'observation, il est difficile de relier, la profondeur de disparition du disque de Secchi (D, en m) soit à une propriété

optique intrinsèque de l'eau de mer (*coefficients d'absorption*, de *diffusion* ou *d'atténuation*) soit au *coefficient d'extinction*. Approximativement la profondeur de la *couche euphotique* est égale à $2,5 \times D$.

Divergence

Mouvements horizontaux opposés de deux masses d'eau à partir d'une même ligne, provoqué soit par l'action des vents soit par une circulation cyclonique. Région où se produit ce phénomène.

Dôme (de divergence)

Région où se produit une divergence caractérisée par un relèvement de la côte vers le large des isothermes, des isopycnes et des isoplèthes de manière à former une structure en forme de dôme.

Ecotone

Zone de transition plus ou moins abrupte séparant deux écosystèmes.

Eau-type

Eau homogène formée dans des régions particulières des océans. Sur un diagramme température-salinité, elle apparaît sous forme d'un point.

Eaux rouges

Coloration de l'eau de mer due au développement massif de certaines espèces planctoniques (Dinoflagellés entre autres) secrétant parfois des toxines. Leur occurrence peut s'accompagner de fortes mortalités d'organismes marins.

Ecosystème

Unité fonctionnelle formée des organismes (*biocénose*) et des facteurs de l'environnement (*biotope*) d'une aire spécifique.

Efficience

Caractérise la capacité de production. Terme à réserver aux expressions sans dimension.

Euphausiacés

Crustacés de taille de l'ordre de 1 à 5 cm à l'état adulte, sans chambre branchiale, dont les trois premières paires de pattes thoraciques ne sont pas transformées en pattes-machoières. Ils sont pourvus d'organes lumineux et effectuent d'importantes migrations verticales de rythme circadien (24 h) ainsi que des déplacements horizontaux. Ces déplacements les font classer à la limite du plancton et du necton (on utilise parfois le terme de micronecton) et leur permettent de se rassembler en essaims.

Voir aussi *Krill*

Euphotique (couche, zone)

Qualifie l'épaisseur d'eau où la lumière suffit à la photosynthèse. La couche euphotique est comprise entre la surface et un plancher assez arbitrairement fixé au niveau qui reçoit seulement 1% de l'énergie arrivant juste sous la surface. En fait, la photosynthèse se déroule parfois à des profondeurs supérieures. Compte tenu de cette approximation, la limite inférieure de la couche euphotique correspond pratiquement à la *profondeur de compensation*.

Eutrophe

Qualifie un milieu à la fois riche en sels nutritifs et à production organique élevée. Attention : le terme *eutrophisation* qui en dérive a pris un sens différent indiquant une exagération du phénomène d'enrichissement (apports anthropiques).

ANT: Oligotrophe

Eutrophisation

Phénomène caractérisé par un déséquilibre écologique avec au départ une fertilisation excessive en éléments minéraux et (ou) organiques d'origine *anthropique*. Ceci entraîne une forte augmentation de la production organique dans la couche superficielle : sa décomposition ultérieure dans la couche sous-jacente diminue, voire annule la teneur en oxygène gazeux dissous. Cette *anoxie* provoque la mort de certains organismes ou le développement d'espèces opportunistes.

Floraison (phytoplanctonique)

Élévation rapide, de type exponentiel, du nombre de phytoplanctons en réponse à une modification des facteurs du milieu se rapprochant de leur optimum : sels nutritifs, lumière, température.

SYN: Poussée phytoplanctonique, bloom

Forcing (du vent)

Effet du vent sur la circulation générale ou sur des phénomènes telles que les remontées d'eau. On peut d'ailleurs utiliser l'expression "effet du vent".

Front, Zone frontale

Zone présentant un gradient horizontal marqué d'une propriété physique, chimique ou biologique. Exemple : front thermique, front halin.

Frustule

Membrane entourant chaque cellule de Diatomées (unicellulaires). Le frustule, formé de pectine et de silice, comporte 2 pièces rigides (thèques) qui s'emboîtent. La forme et l'ornementation des valves, le développement plus ou moins important de leurs bordures (formant le manteau qui possède ou non des pièces supplémentaires ou bandes connectives), la présence d'appendices telles des soies, des épines ou des protubérances, conduisent à des formes et des structures très variées qui sont à l'origine de la taxinomie des diatomées.

Géostrophique

Qualifie l'approximation selon laquelle le gradient horizontal de pression équilibre la *force de Coriolis*. La méthode géostrophique est une méthode de calcul des courants basée sur cette approximation.

Halieutique

Qualifie tout ce qui se rapporte à la pêche.

Hétérotrophe

Qui se nourrit de substances organiques, ne pouvant effectuer la synthèse de ses constituants à partir d'éléments minéraux.

Hydrothermalisme marin

Activité caractérisant les sources hydrothermales marines.

Quand les plaques de la croûte terrestre s'écartent, l'eau de mer s'infiltré dans les roches poreuses, réagit à chaud avec les basaltes et ressurgit en sources bien localisées. Les émanations hydrothermales marines sont acides et fortement enrichies en sulfures (dont l'oxydation ultérieure fournit l'énergie nécessaire à la chimiosynthèse des bactéries qui constituent le maillon de base du réseau trophique), en métaux et en silicates. Elles sont, par contre, pauvres en sulfates et en magnésium.

Icebergs

Blocs de glace de grande taille et de forme très variées composés de glace d'eau douce. Ils se détachent des bordures glaciaires du continent et dérivent en surface, 90% de leur volume total étant immergé.

Inlandsis

Inlandsis = calotte glaciaire
Ensemble des glaciers des régions polaires.

Isoplèthes

Lieu des points où la concentration d'un facteur chimique a la même valeur.

Jet-stream

Courant violent qui se propage dans les couches supérieures de la troposphère au dessus des zones subtropicales.

Krill

Populations denses de Crustacés *Euphausiacés* vivant en bancs ou essaims et dont se nourrissent, en particulier, les Cétacés à fanons.

Lithosphère

Partie externe et rigide de la sphère terrestre, par opposition à l'atmosphère (gaz) et à l'hydrosphère (eau). Épaisse d'une centaine de km, elle est composée de la croûte terrestre (continentale ou océanique) et du manteau supérieur de la Terre.

Masse d'eau

Grand volume d'eau résultant du mélange de 2 ou de plusieurs *eaux*. *types* et pour lequel la relation température-salinité est spécifique ; elle est représentée, sur un diagramme T-S, par une courbe bien définie, en général rectiligne.

Necton

Ensemble des organismes nageurs actifs dont les déplacements leur permettent de s'affranchir de l'action des courants marins. Par ex. poissons, Céphalopodes.

Néritique

Qualifie la zone marine peu profonde située au dessus de la plateforme continentale (8% de la surface de l'océan). Par extension, qualifie tout organisme ou formation qui se trouve dans cette province. ANT: Océanique.

Niche écologique

Terme un peu imprécis qui définit un ensemble fonctionnel et spatial de dimensions limitées, inclus dans un milieu plus vaste, de caractéristiques voisines, et dont il dérive.

Octopodes

Céphalopodes dibranchiaux à coquille rudimentaire ou absente. Espèces relativement sédentaires généralement benthiques. Ex. poulpe, argonaute.

Oligotrophe

Qualifie un milieu à la fois pauvre en sels nutritifs et à production primaire basse.

ANT: Eutrophe

Ondes de Kelvin

Ondes longues de gravité dont la longueur d'onde est relativement petite par rapport à l'amplitude ; celle-ci est fonction du paramètre de Coriolis f et de la profondeur H . Ce sont des ondes longitudinales (la vitesse transversale des particules est nulle).

Ondes internes

Ondes qui résultent de l'effet conjugué de la pesanteur et de la stratification en densité des masses d'eaux. Provoquées par les oscillations des eaux de densité supérieure à celle du milieu ambiant, elles sont observées essentiellement à l'interface de deux masses d'eau séparées par une *pycnocline*. Leur période va de quelques minutes à quelques heures.

Pack

Partie de la *banquise* morcelée (en paquets) constituée de glace de mer en dérive.

Particulaire (phase, matière)

Voir Dissous

Pélagique

Qualifie ce qui vit ou se déroule en pleine eau, sans relation avec le fond.

Pelagos : l'ensemble des organismes du milieu pélagique formant trois communautés, le plancton, le necton et le neuston (se reporter à ces termes). S'oppose à *benthique* et à *benthos*.

Pente continentale Voir *Plateau continental*

Péridiniens

Voir *Dinoflagellés*

Phosphore

Les composés du phosphore en milieu marin existent sous forme inorganique ("phosphates") ou organique au degré d'oxydation +5. Le terme "phosphates" tel qu'il est utilisé en océanographie désigne la somme ($H_2PO_4^- + HPO_4^{2-} + PO_4^{3-}$) déterminée par la méthode d'analyse colorimétrique usuelle. Au pH moyen de l'eau de mer, ces différentes formes de l'acide orthophosphorique représentent respectivement 1%, 87% et 12% du phosphore total inorganique dissous. Généralement, mais à tort, les phosphates sont représentés par PO_4^- qui n'est pourtant pas la forme dominante des espèces chimiques de l'acide orthophosphorique.

Photomètre sous-marin

Désigne les appareils d'optique permettant de mesurer l'éclairement sous-marin. Les modèles les plus simples possèdent une cellule

photoélectrique comme détecteur et des filtres colorés qui permettent de sélectionner une bande spectrale plus ou moins étroite. Certaines lois empiriques permettent de passer du *coefficient d'extinction* à la longueur d'onde du maximum d'irradiance, telle que la mesure le photomètre, à l'irradiance totale entre 400 et 700 nm exprimée en quanta.

Phytoplancton

Plancton végétal. Voir *Plancton*

Phytoplantonte

Organisme appartenant au phytoplancton. On dit aussi planctonte et zooplanctonte.

Plancton

Ensemble des organismes transportés passivement par les courants en raison de leur petite taille et par conséquent de leur faible capacité de déplacement. Forme, avec le *necton* et le *neuston* (vivant dans la pellicule superficielle de l'eau) la communauté *pélagique*. Le plancton est souvent divisé :

- suivant sa nature : phyto- (végétal), bactério- (bactéries), virio- (virus), myco- (champignons) zoo- (animal), avec le protozoo- (protozoaires) et le métazoo- (métazoaires),
- suivant le cycle des organismes, soit qu'ils passent toute leur vie dans cette communauté (holo-) soit seulement une partie, généralement la phase larvaire (méro-),
- suivant les classes de taille :

femto-	0,02 -0,2 μm (virio-)
pico-	0,2 -2 μm (bactério-)
nano-	2 -20 μm (myco-; phyto- et protozoo-)
micro-	20 -200 μm (phyto- et protozoo-)
méso-	0,2 -20 mm (métazoo-)
macro-	2 -20 cm (métazoo- et necton centimétrique)
mégalo-	20 -200 cm (métazoo- et necton décimétrique)

Plateau continental

Bordure sous-marine des continents dont la profondeur maximale à sa limite externe (talus) varie de 100 à 200 m sauf dans quelques régions telle l'Antarctique où il dépasse 500 m. Le plateau est prolongé par la *pente continentale* qui assure la liaison avec la plaine abyssale.

Production

Quantité de matière produite par unité de surface (ou de volume) et unité de temps.

Production primaire : synthèse autotrophique de matière organique, essentiellement due, en zone océanique, au phytoplancton,

Production brute : quantité totale de matière organique élaborée,

Production nette : Production brute diminuée des pertes métaboliques : respiration, excrétion etc... **Production nouvelle** : production photosynthétique utilisant, pour la synthèse de matière organique, les sels nutritifs nouvellement apportés à la couche euphotique, que ce soit à partir du continent ou, surtout, des eaux profondes. La production nouvelle donne une idée réelle de la fertilité du phytoplancton.



Production régénérée : production photosynthétique utilisant, pour la synthèse de matière organique, des sels nutritifs régénérés récemment au sein même de la couche euphotique par minéralisation bactérienne ou excrétion animale. C'est donc la même matière qui tourne rapidement au sein de l'écosystème sans bénéfice réel pour le réseau trophique

Productivité : Capacité de produire, rendement. C'est un rapport entre la production et un élément du système producteur, qu'il appartienne au *biotope* ou à la *biocénose*. *L'efficience* représente un cas particulier d'expression de la productivité.

Profondeur critique

Profondeur au-dessus de laquelle la production photosynthétique moyenne intégrée sur 24 h compense les pertes respiratoires de toute la communauté pélagique pendant le même laps de temps.

Voir *Profondeur de compensation*

Profondeur de compensation

Profondeur où il y a équilibre instantané entre l'élaboration photosynthétique de matière organique par le phytoplancton et son utilisation catabolique par la respiration de toute la communauté pélagique. Sa valeur varie très fortement au cours de la journée solaire, en même temps que la photosynthèse.

Voir *Profondeur critique*

Pycnocline Voir *-cline*

Quantamètre

Photomètre sous-marin mesurant le flux total de photons dans le spectre photosynthétique (entre 350 et 700 nm, c-a-d pratiquement le spectre visible). Dans ce type d'appareil, la répartition spectrale de sensibilité suivant la longueur d'onde est proportionnelle à cette longueur d'onde.

Recyclage

Voir *Régénération*

Régénération

Processus assurant le retour sous forme minérale des éléments constitutifs de la matière vivante, eux-mêmes élaborés à partir des *sels nutritifs*. Trois mécanismes principaux assurent cette régénération :

- l'excrétion et la respiration des animaux et végétaux,
- la biodégradation liée à une action bactérienne,
- la remise en solution par action physico-chimique, processus dominant pour les éléments des carapaces calcaires ou siliceuses des organismes.

Réseau trophique

Ensemble des organismes et de la matière organique en interaction dans le cycle de nutrition au sein d'un écosystème. La notion de réseau s'est petit à petit substituée à celle de chaîne alimentaire tant les relations sont complexes et non linéaires.

Résurgence côtière

Résurgence = remontée d'eau

Phénomène de remontée d'eaux profondes près de la côte engendrée par le vent.

Rorqual ou Balénoptère

Mammifère marin voisin de la baleine avec une face ventrale striée, possédant une nageoire dorsale.

Salpes

Tuniciers planctoniques au corps transparent dépourvus de corde à l'état adulte. Microphages, ils filtrent les aliments dans un pharynx volumineux. L'individu issu de l'œuf produit, par bourgeonnement, des individus sexués qui peuvent vivre en longues chaînes. Les Salpes sont un des constituants d'un ensemble parfois dénommé "gélatineux" comprenant également les Méduses, les Appendiculaires, les Siphonophores etc.

Scavenging

Terme anglais impossible à traduire dans son sens littéral ("scavenger" = éboueur). Ensemble des processus (physiques, chimiques, physico-chimiques, géochimiques) contribuant à la disparition d'un élément métallique de la colonne d'eau, y compris les décompositions radioactives.

Sels nutritifs

= Matières nutritives = nutriments = nutrilites = nutriants

Éléments chimiques indispensables à la synthèse autotrophe de matière organique. Le terme est souvent réservé aux éléments dont la concentration constitue parfois un facteur limitant (ce qui exclut le carbone inorganique toujours en excès dans la couche de surface des océans). Le terme est donc synonyme de l'ensemble azote, phosphore et silicium inorganiques dissous.

Unités utilisées pour préciser leur concentrations.

$1 \text{ matg (N, P, Si)} \cdot \text{m}^{-3} = 1 \text{ } \mu\text{atg (N, P, Si)} \cdot \text{l}^{-1} = 1 \text{ } \mu\text{M (N, P, Si)}$

Seston

Ensemble des particules, minérales ou organiques, vivantes (plancton) ou mortes en suspension dans l'eau. Correspond à un ensemble hétérogène mais qui est celui que l'on retient sur les membranes filtrantes largement utilisées en océanographie (= matériel particulaire).

Silicium

Les composés du silicium restent sous forme inorganique, quelque soit leur phase. Il n'est présent qu'au degré d'oxydation +5. On distingue :

- les minéraux silicatés (minéralogie),
- les silicates Si(OH)_4 , terme utilisé en océanographie pour désigner l'acide orthosilicique dissous H_4SiO_4 , non ionisé à 98% au pH moyen de l'eau de mer,
- la silice en phase solide constituée de quartz (minéral) ou d'opale (biogénique).

Silicoflagellés

Algues Chrysophycées dont les genres les plus connus dépassent la taille de 100 μm et sont constitués d'un squelette interne siliceux ; celui-ci est généralement le seul à persister dans les échantillons de plancton car le protoplasme est très fragile.



Siphonophores

Cnidaires hydrozoaires composés d'animaux exclusivement marins pélagiques, très adaptés à la vie flottante, transparents, urticants et particulièrement fragiles.

Point d'échantillonnage

Position géographique d'une zone où sont exécutées des mesures ou des opérations océanographiques, le navire étant stoppé.

Mesures réalisées à cette station.

Stochastique (phénomène)

Phénomène dont le déterminisme n'est pas absolu (car comportant la présence de variables aléatoires) ; il peut être étudié par la statistique.

Subduction

Phénomène de plongée d'une plaque de la croûte terrestre sous une autre.

Les zones de subduction sont considérées comme des frontières où la croûte se détruit. Au contraire, au niveau des dorsales (zones d'accrétion), elle se renouvelle par remontée de matériel profond de l'athénosphère qui se refroidit et forme la *lithosphère*.

Substances jaunes

Ensemble des matériaux organiques marins résistants à la biodégradation. Ce sont des polymères à longue chaîne en général riches en azote. Ce matériau est encore appelé "matières humiques" et (ou) "matières fulviques" quand on désire indiquer leur origine tellurique (humus). Mais actuellement il apparaît que l'origine endogène est prédominante.

Substrat

En biochimie, désigne la (les) substance sur laquelle agit électivement une *enzyme*. Ce terme est utilisé également dans un sens plus large pour tout composé ou molécule utilisé par un organisme pour son métabolisme ou sa croissance :

Substrat de structure

Composé ou molécule dont la fonction essentielle est de participer à la structure de base de la matière vivante. Son taux de renouvellement est faible,

Substrat fonctionnel

Composé ou molécule qui bien que pouvant être un constituant de la structure de base de la matière vivante, est utilisé dans les différents métabolismes, d'où un taux de renouvellement élevé.

Succession écologique

Processus ordonné d'évolution des communautés marqué par des changements notamment dans la composition et l'abondance des espèces selon une direction constante et prévisible, partant de stades de faible maturité jusqu'à des stades ultimes de stabilité et de complexité formant un *climax*. Le plancton demeure toujours à un stade d'organisation relativement faible.

Taux de croissance

Coefficient (k) qui définit l'accroissement (dn) d'une population (n) en fonction du temps(dt) :

$$k = (dn/dt) \cdot (1/n)$$

On peut le calculer aussi bien à partir du nombre d'individus que des variations d'un matériel cellulaire particulier. Auquel cas on peut parler de taux de croissance brute qui ne tient pas compte des pertes métaboliques (respiration, excrétion etc..) et de taux de croissance nette qui les prend en considération.

Taxon

Désigne toute unité taxonomique de la classification, telle que la famille, le genre, l'espèce. **Taxonomie** (ou Taxinomie). Science des lois de la classification des organismes.

Téledétection

Étymologiquement "détection à distance". Utilisé actuellement pour les méthodes faisant intervenir des capteurs embarqués à bord d'avions ou de satellites (téledétection spatiale).

Tellurique

Qualifie les apports qui proviennent de la terre par lessivage des sols et par les fleuves.

Thermocline

Voir *-cline*

Tintinnidiens

Protozoaires planctoniques vivant pour la plupart en haute mer. Le corps se termine par un pédoncule qui permet à l'organisme de se fixer à la paroi d'une loge qu'il sécrète. Ces loges ont des formes très variées qui sont à base de la classification, ce qui est très contesté aujourd'hui ; elles sont soit transparentes soit partiellement composées de particules agglutinées.

Tourbillon

Masse d'eau affectée d'un mouvement tournoyant. Le terme s'applique dans l'océan à des structures à moyenne échelle (10 à 100 km, 1 à quelques dizaines de jours) à la différence de la circulation à l'échelle des bassins océaniques.

Zooplancton

Plancton animal constitué par des représentants de tous les Embranchements, des Protozoaires aux Vertébrés.

Voir *Plancton*