

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

ifremer

Luc	DREVES
Chantal	ABERNOT-LE GAC
Luis	LAMPERT
Jocelyne	MARTIN
Jean-Michel	BRYLINSKI
Loïc	NOGUES
Ivan	SCHLAICH
Dorothée	VINCENT

Mars 2007 - RST DOP/LER/07-03

Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Flamanville

Année 2006

Rapport scientifique annuel



Le Rozel – Photographie Denise Guillerm

Numéro d'identification du rapport : <p style="text-align: right;">DOP/LER/07.01</p>		date de publication : mars 2007 nombre de pages : 190 p. bibliographie : oui illustration(s) : oui langue du rapport : français																																													
Diffusion : libre : <input type="checkbox"/> restreinte : <input checked="" type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/>																																															
Validé par : Luc Drévès Adresse électronique : dopler@ifremer.fr																																															
Titre de l'article <p style="text-align: center;"><i>Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville Année 2006 – rapport scientifique annuel</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Ecological and fisheries monitoring of the Flamanville nuclear power plant 2006 Annual scientific report</i></p>																																															
Contrat n° Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport provisoire <input checked="" type="checkbox"/>																																															
Auteur(s) principal(aux) : <table style="width: 100%; border: none;"> <tr><td style="width: 50%;">Drévès</td><td style="width: 50%;">Luc</td></tr> <tr><td>Abernot – Le Gac</td><td>Chantal</td></tr> <tr><td>Lampert</td><td>Luis</td></tr> <tr><td>Martin</td><td>Jocelyne</td></tr> <tr><td>Brylinski</td><td>Jean-Michel</td></tr> <tr><td>Nogues</td><td>Loïc</td></tr> <tr><td>Schlaich</td><td>Ivan</td></tr> <tr><td>Vincent</td><td>Dorothee</td></tr> </table>		Drévès	Luc	Abernot – Le Gac	Chantal	Lampert	Luis	Martin	Jocelyne	Brylinski	Jean-Michel	Nogues	Loïc	Schlaich	Ivan	Vincent	Dorothee	Organisme / Direction / Service, laboratoire <table style="width: 100%; border: none;"> <tr><td>Ifremer / DOP / LER</td></tr> <tr><td>Ifremer / DOP / DCB / DYNECO – Benthos</td></tr> <tr><td>Ifremer / DOP / LER – N</td></tr> <tr><td>Ifremer / DOP / DCN / EMH</td></tr> <tr><td>Université du Littoral Côte d'Opale</td></tr> <tr><td>Ifremer / DOP / LER – N</td></tr> <tr><td>Ifremer / DOP / DCMMN / HMMN – RHPEB</td></tr> <tr><td>Université du Littoral Côte d'Opale</td></tr> </table>	Ifremer / DOP / LER	Ifremer / DOP / DCB / DYNECO – Benthos	Ifremer / DOP / LER – N	Ifremer / DOP / DCN / EMH	Université du Littoral Côte d'Opale	Ifremer / DOP / LER – N	Ifremer / DOP / DCMMN / HMMN – RHPEB	Université du Littoral Côte d'Opale																					
Drévès	Luc																																														
Abernot – Le Gac	Chantal																																														
Lampert	Luis																																														
Martin	Jocelyne																																														
Brylinski	Jean-Michel																																														
Nogues	Loïc																																														
Schlaich	Ivan																																														
Vincent	Dorothee																																														
Ifremer / DOP / LER																																															
Ifremer / DOP / DCB / DYNECO – Benthos																																															
Ifremer / DOP / LER – N																																															
Ifremer / DOP / DCN / EMH																																															
Université du Littoral Côte d'Opale																																															
Ifremer / DOP / LER – N																																															
Ifremer / DOP / DCMMN / HMMN – RHPEB																																															
Université du Littoral Côte d'Opale																																															
<u>Collaborateurs</u> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr><td style="width: 50%;">Antoine</td><td style="width: 50%;">Virginie</td></tr> <tr><td>Crassous</td><td>Marie-Pierre</td></tr> <tr><td>Dejouy</td><td>Cathy</td></tr> <tr><td>Desroy</td><td>Nicolas</td></tr> <tr><td>Fiant</td><td>Liliane</td></tr> <tr><td>Foucher</td><td>Eric</td></tr> <tr><td>Françoise</td><td>Sylvaine</td></tr> <tr><td>Gaffet</td><td>Jean-Dominique</td></tr> <tr><td>Grellier</td><td>Patrick</td></tr> <tr><td>Guillerm</td><td>Denise</td></tr> <tr><td>Halgand</td><td>Daniel</td></tr> <tr><td>Justome</td><td>Vincent</td></tr> <tr><td>Lamort</td><td>Laure</td></tr> <tr><td>Pierre-Duplessix</td><td>Olivier</td></tr> <tr><td>Quinquis</td><td>Jérôme</td></tr> </table>		Antoine	Virginie	Crassous	Marie-Pierre	Dejouy	Cathy	Desroy	Nicolas	Fiant	Liliane	Foucher	Eric	Françoise	Sylvaine	Gaffet	Jean-Dominique	Grellier	Patrick	Guillerm	Denise	Halgand	Daniel	Justome	Vincent	Lamort	Laure	Pierre-Duplessix	Olivier	Quinquis	Jérôme	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr><td>Ifremer / DOP / LER – N</td></tr> <tr><td>Ifremer / DOP / DCB / DYNECO – Pelagos</td></tr> <tr><td>Ifremer / DOP / DCN / EMH</td></tr> <tr><td>Ifremer / DOP / LER – FBN</td></tr> <tr><td>Ifremer / DOP / LER – N</td></tr> <tr><td>Ifremer / DOP / DCMMN / HMMN - RHPEB</td></tr> <tr><td>Ifremer / DOP / LER – N</td></tr> <tr><td>Ifremer / DOP / DCB / DYNECO – Benthos</td></tr> <tr><td>Ifremer / DOP / DCN / EMH</td></tr> <tr><td>Ifremer / DOP</td></tr> <tr><td>Ifremer / DOP / DCN / EMH</td></tr> <tr><td>Ifremer / DOP / LER – N</td></tr> <tr><td>Ifremer / DOP / LER – N</td></tr> <tr><td>Ifremer / DOP / LER – N</td></tr> <tr><td>Ifremer / DOP / DC MMN / HMMN - RHPEB</td></tr> </table>	Ifremer / DOP / LER – N	Ifremer / DOP / DCB / DYNECO – Pelagos	Ifremer / DOP / DCN / EMH	Ifremer / DOP / LER – FBN	Ifremer / DOP / LER – N	Ifremer / DOP / DCMMN / HMMN - RHPEB	Ifremer / DOP / LER – N	Ifremer / DOP / DCB / DYNECO – Benthos	Ifremer / DOP / DCN / EMH	Ifremer / DOP	Ifremer / DOP / DCN / EMH	Ifremer / DOP / LER – N	Ifremer / DOP / LER – N	Ifremer / DOP / LER – N	Ifremer / DOP / DC MMN / HMMN - RHPEB
Antoine	Virginie																																														
Crassous	Marie-Pierre																																														
Dejouy	Cathy																																														
Desroy	Nicolas																																														
Fiant	Liliane																																														
Foucher	Eric																																														
Françoise	Sylvaine																																														
Gaffet	Jean-Dominique																																														
Grellier	Patrick																																														
Guillerm	Denise																																														
Halgand	Daniel																																														
Justome	Vincent																																														
Lamort	Laure																																														
Pierre-Duplessix	Olivier																																														
Quinquis	Jérôme																																														
Ifremer / DOP / LER – N																																															
Ifremer / DOP / DCB / DYNECO – Pelagos																																															
Ifremer / DOP / DCN / EMH																																															
Ifremer / DOP / LER – FBN																																															
Ifremer / DOP / LER – N																																															
Ifremer / DOP / DCMMN / HMMN - RHPEB																																															
Ifremer / DOP / LER – N																																															
Ifremer / DOP / DCB / DYNECO – Benthos																																															
Ifremer / DOP / DCN / EMH																																															
Ifremer / DOP																																															
Ifremer / DOP / DCN / EMH																																															
Ifremer / DOP / LER – N																																															
Ifremer / DOP / LER – N																																															
Ifremer / DOP / LER – N																																															
Ifremer / DOP / DC MMN / HMMN - RHPEB																																															
Cadre de la recherche : Programme = Surveillance et évaluation de la qualité du milieu marin Projet = Impact des Grands Aménagements (I.G.A.) Commande d'exécution EDF n° 5100-CSY-4200132742 du 11 décembre 2006 Contrat C349C65050																																															
Organisme commanditaire : nom développé, sigle, adresse <p style="text-align: center;">Electricité de France (EDF) – Production Transport – C.N.P.E. de Flamanville B.P. 4 – 50 340 Les Pieux</p>																																															

Résumé

L'étude de surveillance n° 24 du site électronucléaire de Flamanville (département de la Manche) concerne l'année 2006. Sont étudiés les domaines benthique, halieutique et pélagique. L'année 2006 est la 21^e année de fonctionnement de la Centrale de Flamanville.

Abstract

Monitoring n° 24 of the Flamanville nuclear power plant takes into account studies conducted between March and September 2006. Impacts on hydrology, microbiology, phytoplankton, zooplankton, fisheries, intertidal phytobenthos and zoobenthos are reported. This power plant has been in operation for twenty-one years.

Mots-clés

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

Words keys

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

Commentaire

Ce document doit être cité de la manière suivante :

Drévès L., Abernot-Le Gac C. (coordinateurs), Lampert L., Martin J., Brylinski J., Nogues L., Schlaich I., Vincent D., 2007.- Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, année 2006 - Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST.DOP/LER/07.03, mars 2007, 190 p.

La commande d'exécution passée par EDF-CNPE de Flamanville à Ifremer (document référencé 5100-CSY-4200132742) pour les cinq années 2006 à 2010 prévoit la fourniture par Ifremer des documents contractuels suivants

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

Pour le site de Flamanville, les travaux de prélèvements et d'analyses sont réalisés conformément à l'arrêté ministériel du 11 mai 2000 (J.O. du 6 juin 2000) « *autorisant EDF à poursuivre les prélèvements d'eau et rejets d'effluents liquides et gazeux pour l'exploitation du site nucléaire de Flamanville* ».

Concernant la surveillance scientifique du CNPE de Flamanville réalisée au cours de l'année 2006,

- L'état d'avancement a été adressé à EDF le 21 juillet 2006 [Drévès L. (coordinateur) et al. (2006).- Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, année 2006 – Etat d'avancement des travaux – premier semestre. Rapp. Ifremer DOP/LER/06.03, juillet 2006, 36 p.].
- L'édition provisoire du rapport annuel fait l'objet du présent document.

Sommaire

	Page
Préambule	9
Partie 1 Fonctionnement de la Centrale et programme d'intervention d'Ifremer en 2006	
1.1. Fonctionnement de la Centrale	13
1.2. Travaux réalisés par Ifremer	17
Partie 2 Caractéristiques environnementales de l'année 2006	
2.1. Climatologie	21
2.2. Température de l'eau de mer	27
Partie 3 Le domaine pélagique	
3.1. Méthodologie	31
3.2. Hydrologie	31
3.3. Phytoplancton	62
3.4. Zooplancton	77
3.5. Microbiologie	95
Partie 4 Le domaine benthique	
4.1. Phytobenthos	113
4.2. Zoobenthos	125
Partie 5 Le domaine halieutique	
5.1. Larves de crustacés	145
5.2. Surveillance de la pêche côtière	157
Partie 6 Conclusion	179
Bibliographie	183
Liste des rapports d'études publiés depuis 1976	187

Préambule

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

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

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

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

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

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

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.

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

² Centre National pour l'Exploitation des Océans

³ Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes

Au cours de 2006, 21^è année de fonctionnement de cette Centrale, les études réalisées par l'Ifremer sur le site de Flamanville sont menées sous la responsabilité de :

- **Luc Drévès**, DOP-LER⁴ et **Chantal Abernot-Le Gac**, DOP-DYNECO-Benthos⁵, pour les caractéristiques environnementales (climatologie, température de l'eau de mer), le domaine benthique, et la coordination de l'ensemble des études sur ce site ;
- **Luis Lampert** et **Loïc Nogues**, DOP-LER-N⁶, pour l'hydrologie, le phytoplancton et la microbiologie;
en collaboration avec le laboratoire Franck Duncombe de Caen (microbiologie et trihalométhanes), et le laboratoire départemental de Rouen (Bore) ;
- **Jocelyne Martin**, DOP-EMH⁷, pour les larves de crustacés ;
- **Ivan Schlaich**, DOP-HMMN-RHPEB⁸, pour la surveillance de la pêche côtière des crustacés ;
- **Jean-Michel Brylinski** et **Dorothée Vincent**, Université du Littoral Côte d'Opale, pour le zooplancton.

⁴ *Direction des Opérations (DOP), Département des Laboratoires Environnement littoral et Ressources aquacoles (LER)*

⁵ *Département DYNamiques de l'Environnement COTier (DYNECO), Laboratoire Benthos*

⁶ *Laboratoire Environnement Ressources de Normandie (LER/N)*

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

⁸ *Département Halieutique Manche Mer du Nord (HMMN), laboratoire Ressources Halieutiques de Port-en-Bessin (RHPEB)*

1. Fonctionnement du C.N.P.E. de Flamanville et programme d'intervention de l'Ifremer au cours de l'année 2006

Luc Drévès

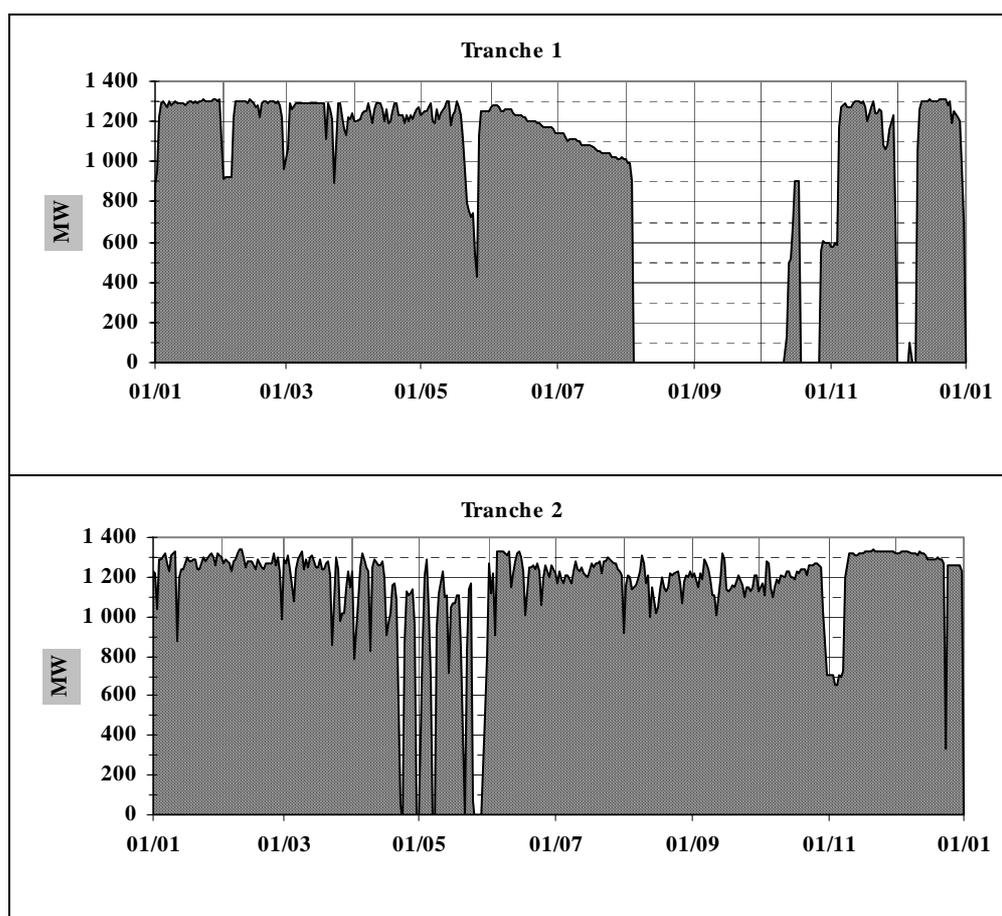
1.1. Fonctionnement de la Centrale

La centrale de Flamanville, située sur la côte ouest du Cotentin, comporte deux tranches de puissance électrique de 1 300 MW, mises en service en décembre 1985 pour la tranche 1, et juillet 1986 pour la tranche 2.

Pour le refroidissement de ses condenseurs, la centrale aspire de l'eau de mer dans le canal d'amenée à raison d'un débit moyen de $43 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Les eaux échauffées sont évacuées par un bassin de rejet communiquant avec une galerie souterraine creusée à -75 mètres, d'une longueur de 460 mètres pour la tranche 1, de 604 mètres pour la tranche 2. Les têtes de rejet, situées à l'extrémité ouest de ces galeries, sont localisées aux alentours de l'isobathe 10 mètres.

L'année 2006 est la vingt et unième année de fonctionnement de la centrale de Flamanville, la vingt quatrième année consécutive des études de Surveillance menées par l'Ifremer.

Le principal arrêt de tranche observé au cours de l'année 2006 a eu lieu en tranche 1 de début août à fin octobre (figure 1.1).



Le relevé quotidien, effectué par EDF (à 16 h), de la température de l'eau de mer dans le canal d'amenée (à l'entrée des pompes) et à la sortie des deux condenseurs, est transmis chaque mois à l'Ifremer. Un premier traitement de ces données est présenté

sous forme graphique (figures 1.2 et 1.3). Les arrêts de tranche se traduisent par une diminution de la température de l'eau de mer à la sortie du condenseur de la tranche concernée.

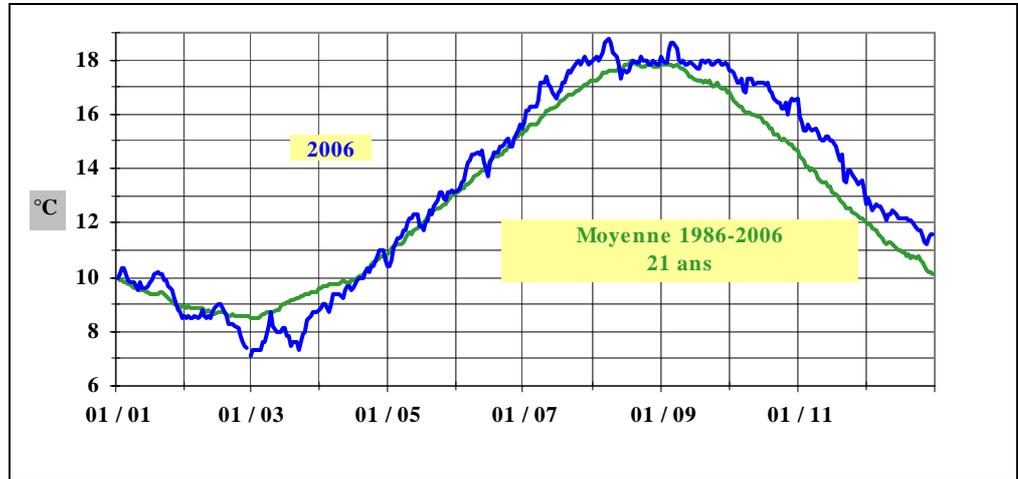


Figure 1.2 : Évolution de la *température journalière* (à 16 h) de l'eau de mer dans le canal d'amenée du C.N.P.E. de Flamanville au cours de l'année 2006, comparée à la *moyenne journalière* enregistrée depuis 1986.

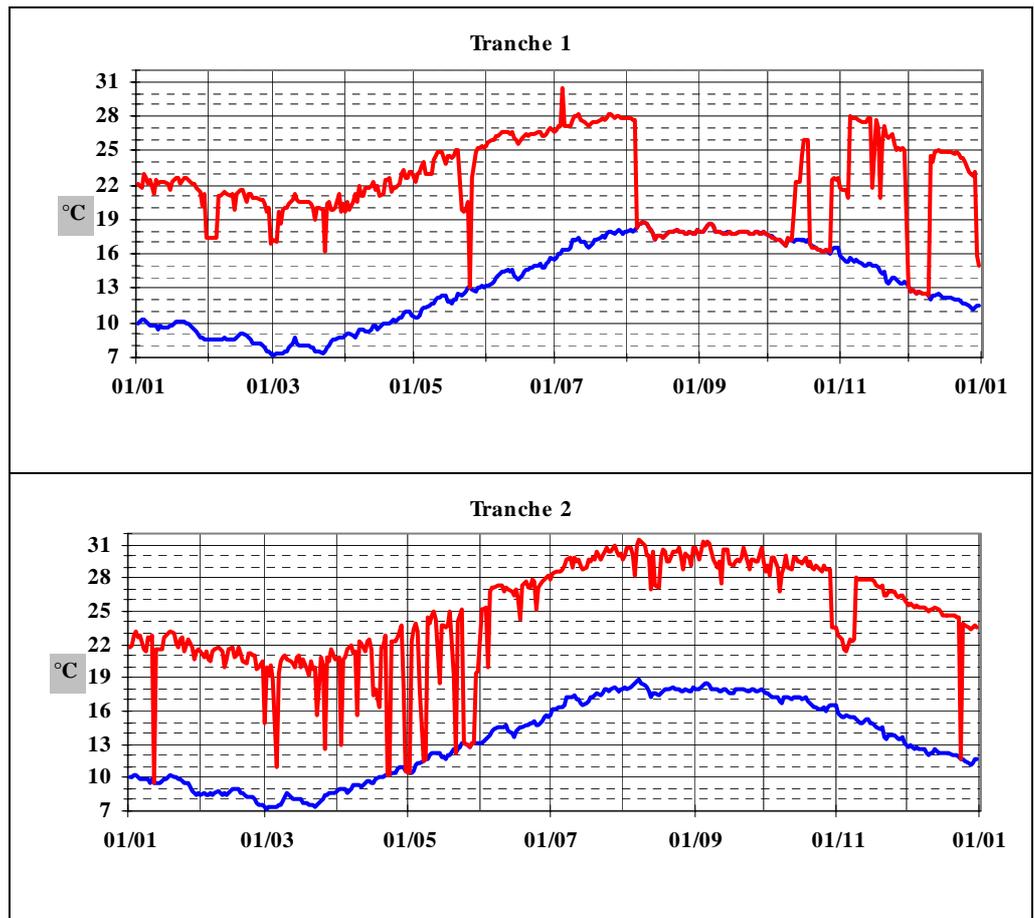


Figure 1.3 : Comparaison de la température de l'eau de mer entre le canal d'amenée et la sortie des condenseurs des tranches 1 et 2, au cours de l'année 2006.

L'écart journalier moyen entre la sortie des condenseurs et le canal d'aménée peut ainsi être calculé (figure 1.4). Cet écart thermique journalier moyen est à rapprocher de la puissance nette moyenne des deux tranches (figure 1.5).

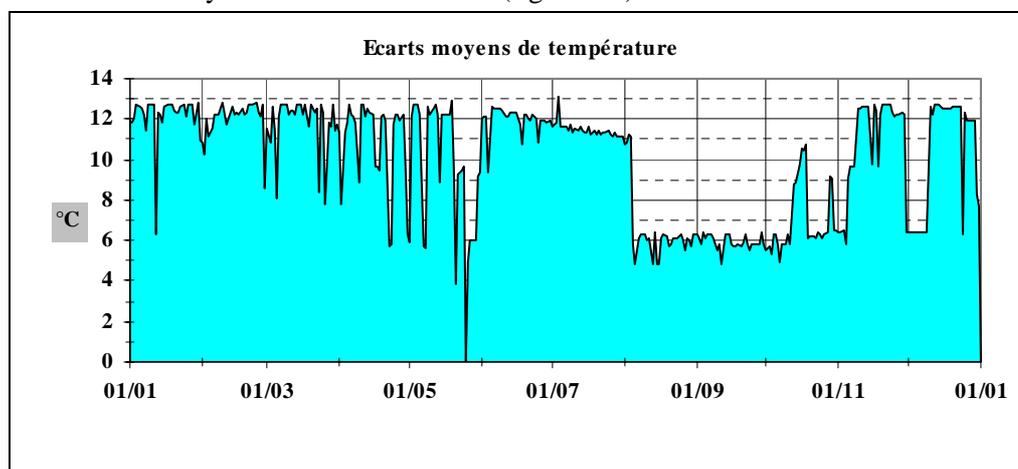


Figure 1.4 : Écarts journaliers moyens de la température de l'eau de mer entre la sortie des deux condenseurs et le canal d'aménée, au cours de l'année 2006.

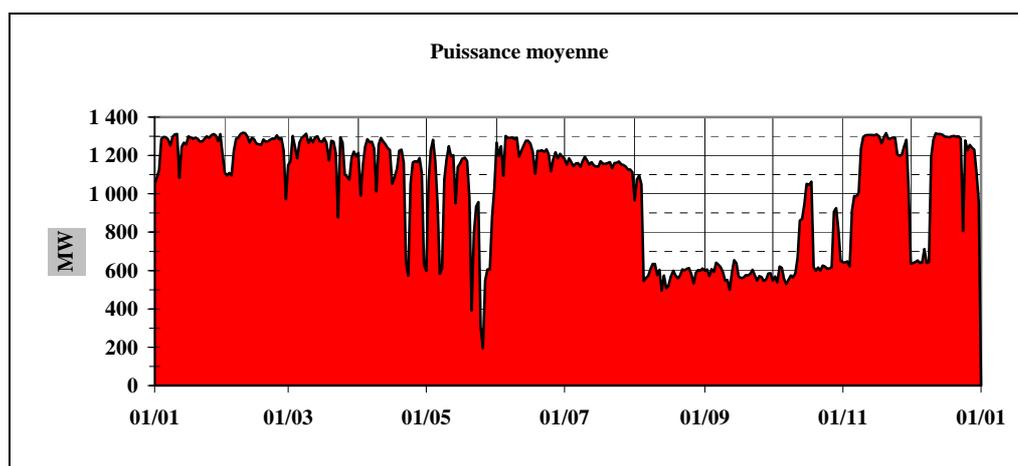


Figure 1.5 : Puissance nette moyenne du CNPE de Flamanville, au cours de l'année 2006.

La procédure antisalissure par électrochloration a fonctionné à compter du 24 avril en tranche 2, du 26 avril en tranche 1.

Comme l'indique le tableau 1.1 ci-dessous, 115 tonnes de chlore ont ainsi été injectées dans les circuits de refroidissement au cours du premier semestre 2006.

T chlore	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Total
Tranche 1	0	0	0	4,8	21,9	27,5	14,5	5,0	0	3,9	11,8	0	89,4
Tranche 2	0	0	0	5,7	26,6	28,0	30,6	30,5	29,7	29,7	28,5	29,9	239,4
Total	0	0	0	10,6	48,5	55,5	45,1	35,5	29,7	33,6	40,3	29,9	328,8

Tableau 1.1 : Récapitulatif du tonnage mensuel de chlore injecté dans le circuit d'eau de refroidissement du C.N.P.E. de Flamanville au cours de l'année 2006.

Le tonnage annuel moyen de chlore injecté sur la période 1987-2005 est de 371 tonnes. Les quantités de chlore injectées annuellement sont rappelées dans le tableau 1.2 suivant.

Année	Cumul de janvier à juin	Cumul annuel
1987	100,8	424
1988	59,1	580
1989	189,6	570
1990	104,0	805
1991	60,4	365
1992	29,5	191
1993	5,2	209
Moyenne 87-93		463
<i>Modification du protocole suite à l'élaboration du DARPE EPR</i>		
Année	Cumul de janvier à juin	Cumul annuel
1994	80,1	243
1995	117,4	371
1996	52,7	173
1997	27,6	266
1998	138,3	428
1999	82,7	256
2000	83,7	327
2001	100,2	408
2002	74,7	308
2003	120,0	260
2004	49,1	382
2005	118,8	392
2006	114,6	329
Moyenne 94-06		319

Tableau 1.2 : Récapitulatif du tonnage annuel de chlore injecté dans le circuit de refroidissement du C.N.P.E. de Flamanville

Depuis le changement de protocole en 1994 et suite au renouvellement de l'installation d'électro-chloration, le tonnage annuel de chlore varie de 173 tonnes en 1996 à 428 tonnes en 1998. Le tonnage injecté au cours de l'année 2006 avoisine le tonnage moyen annuel injecté sur la période 1994-2006.

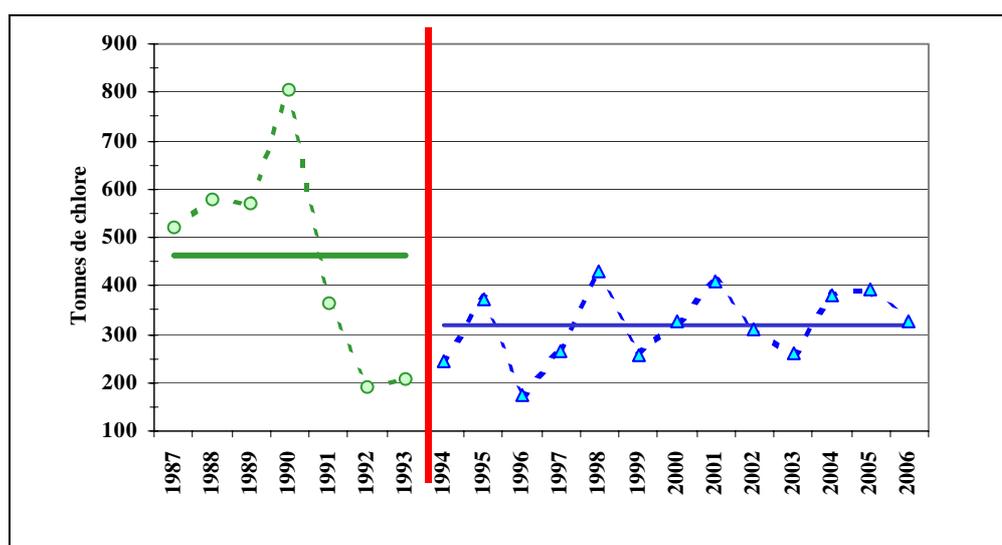


Figure 1.6 : Evolution du tonnage annuel de chlore injecté à Flamanville depuis 1987, comparé aux moyennes annuelles des périodes 1987-1993 et 1994-2006.

1.2. Travaux réalisés par Ifremer

Les travaux réalisés au cours de l'année 2006 ont été menés conformément à la commande d'exécution référencée 5100-CSY-4200132742. Ils sont présentés dans le tableau 1.3.

Les points de prélèvements, inchangés, sont localisés sur la carte de la figure 1.7.

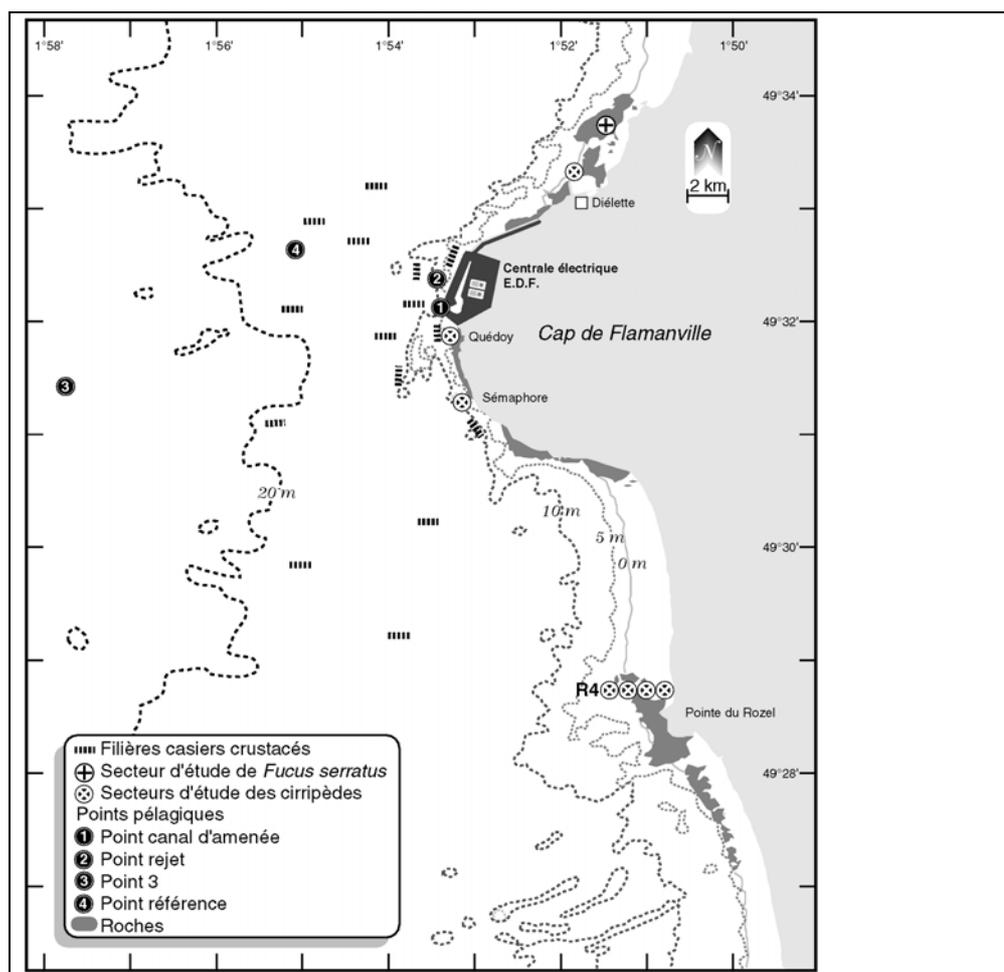


Figure 1.7 : Carte des abords de Flamanville, indiquant les points de prélèvements échantillonnés par Ifremer.

2006	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.	25/03
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'amenée	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 - Nbre de dichotomies - Fertilité - Diamètre du thalle - Biomasse.	10 pieds tous les 10 m. sur chaque radiale 10 quadrats /secteur	29/03 15/06 09/09
Phytobenthos	Radiale Dans la zone à <i>Fucus serratus</i>			
Zoobenthos	ROZEL (points 1, 2, 3, 4) SEMAPHORE QUEDOY DIELETTE ROZEL(Point 2), SEMAPHORE, QUEDOY, DIELETTE	Substrats durs intertidaux - Densité des différentes espèces de cirripèdes - Faune associée - Étude de recolonisation	Par point : 8 quadrats 12 comptages 4 grattages Par point : quadrats (3x25)cm ²	28-29/03 14/06 09-10/09
DOMAINE HALIEUTIQUE	[Point 3] Référence Rejet	Densité des larves d'araignée et homard	2 Bongo 1 Neuston surface	04/07 19/07 02/08
Zooplancton et Hydrologie	Canal d'amenée	- température - salinité		05/09 19/09
Suivi de l'exploitation et de la biologie des espèces commerciales	N.O. Cotentin 15 points (1 filière par point)	Recueil d'informations sur la pêche professionnelle Pêches expérimentales - pour homard, tourteau, araignée, étrille (longueur, sex-ratio) - autres espèces (présence)		03/10 06-09/06 18-21/09

Tableau 1.3 : Récapitulatif de l'activité réalisée par l'Ifremer au cours de l'année 2006 devant le C.N.P.E. de Flamanville.

2. Caractéristiques environnementales de l'année 2006

Luc Drévès

2.1. Climatologie

Les données communiquées par le centre de METEO-FRANCE de Cherbourg proviennent d'enregistrements réalisés au sémaphore d'Auderville⁹ (température de l'air et pluviométrie) depuis janvier 1949, et à la station de Valognes¹⁰ (insolation) depuis janvier 1986.

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

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

2.1.1. Pluviométrie

Depuis 1949, la pluviométrie inter annuelle moyenne sur le nord-ouest Cotentin (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 (44,1mm) à août (43,8 mm), avec une valeur moyenne mensuelle minimale en juillet (37,0 mm). Le mois de décembre 1999 a été le plus humide avec 236 mm (le second est septembre 1976 avec 180 mm), et mars 1961 le plus sec avec 0 mm (seulement des traces).

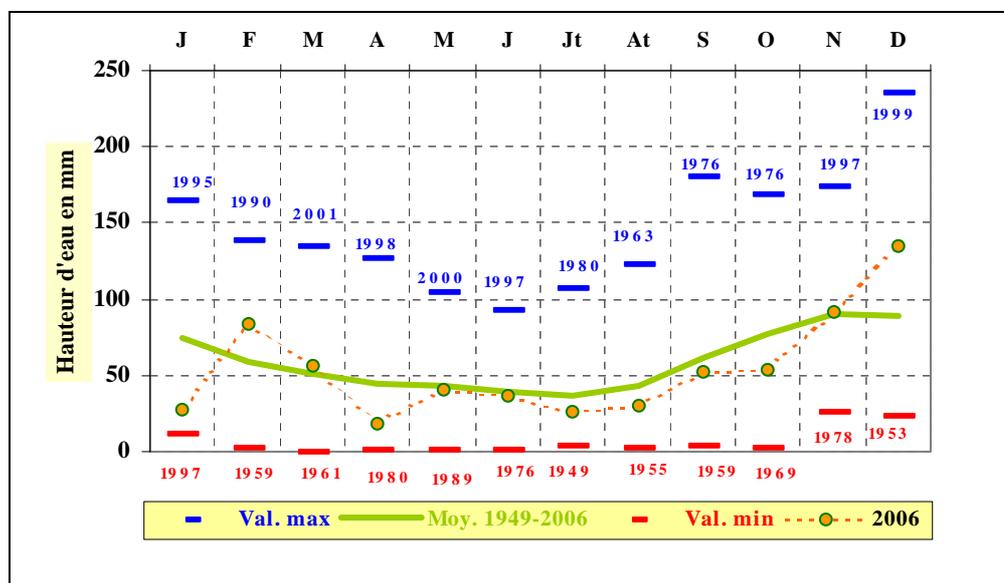


Figure 2.1 : Pluviométrie mensuelle au sémaphore de La Hague au cours de l'année 2006, comparée aux moyennes et valeurs extrêmes mensuelles obtenues depuis 1949.

Le cumul annuel moyen sur la période de 1949/2006 est de 711 mm, variant de 430 mm en 1953 à 1001 mm en 1994 (figure 2.2).

⁹ Altitude : 3 m ; latitude : 49° 43'6 N ; longitude : 001° 56'4 W

¹⁰ Altitude : 61 m ;

Sur la période 1949/2006, 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) et, surtout, la décennie 1949/1958 (651 mm).

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

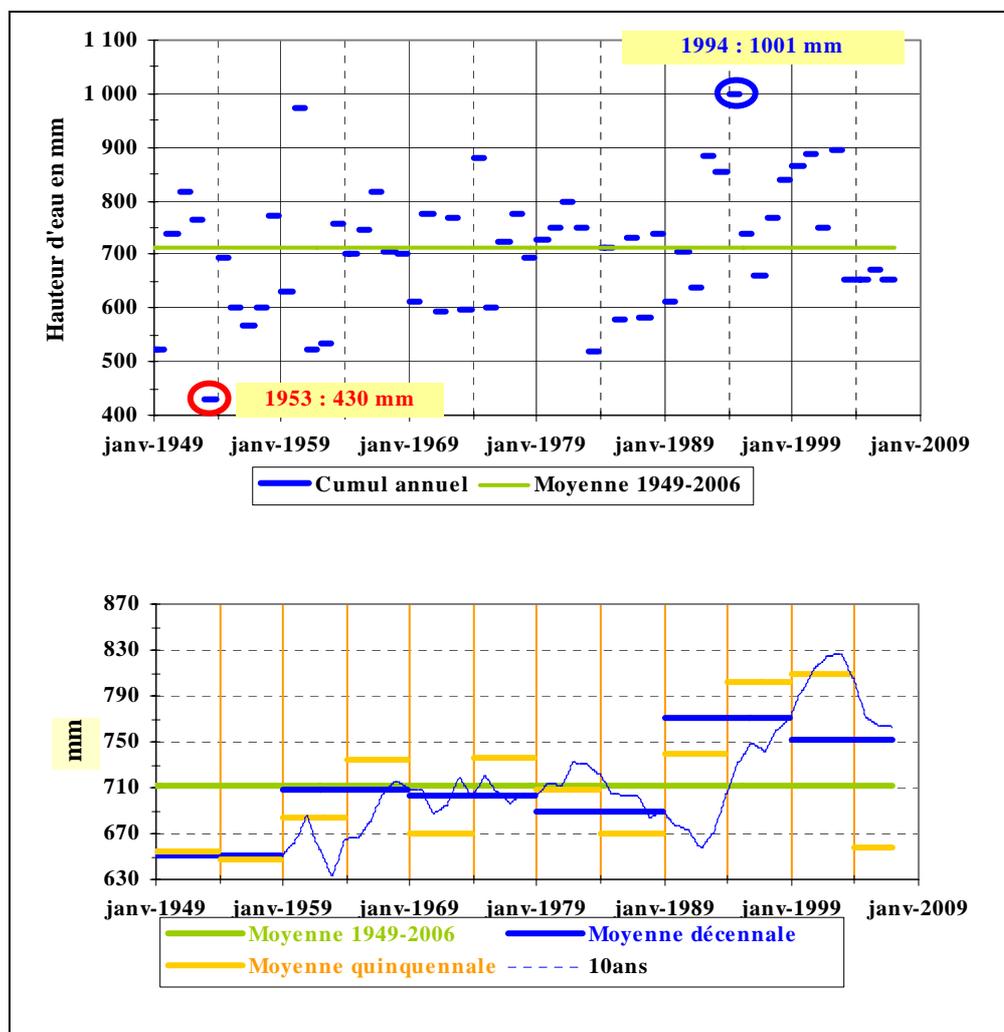


Figure 2.2 : Pluviométrie au sémaphore de La Hague de 1949 à 2006. Comparaison des cumuls annuels, quinquennaux et décennaux au cumul moyen annuel observé sur la totalité de la période.

A noter les quatre années déficitaires consécutives (2003, 2004, 2005 et 2006) succédant à six années excédentaires (de 1997 à 2002).

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 (49 heures) et janvier (54 heures), maximale en juillet (214 heures). La couverture nuageuse peut perturber ce schéma. Ainsi, le mois de juin présente une durée d'insolation moyenne (203 heures) inférieure à celles enregistrées en mai (206 heures) et juillet. Ce comportement particulier de juin, depuis 1986, s'explique par le caractère plus pluvieux de ce mois par rapport à mai et juillet.

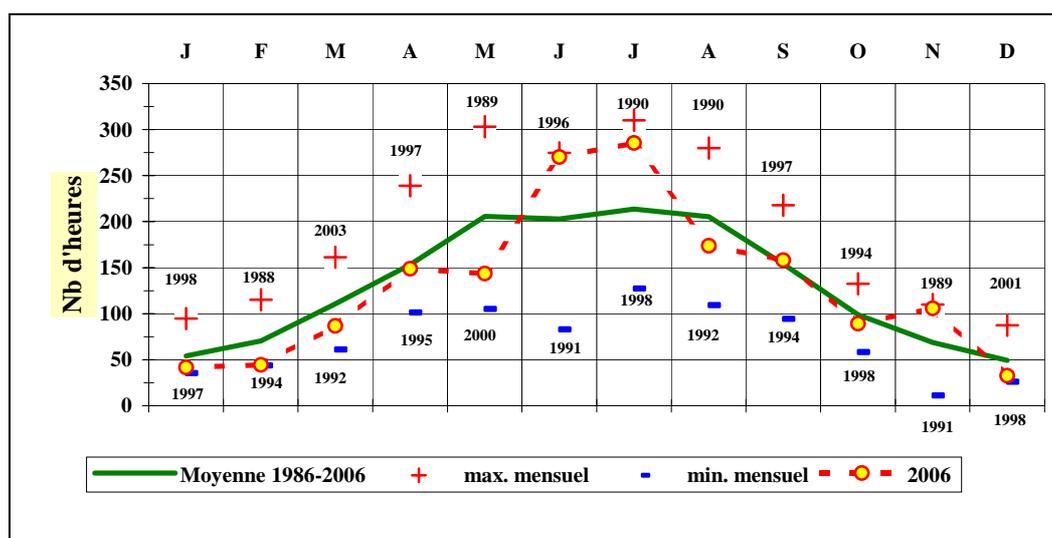


Figure 2.3 : Insolation mensuelle à Valogne au cours de l'année 2006, comparée aux moyennes et valeurs extrêmes mensuelles obtenues depuis 1986.

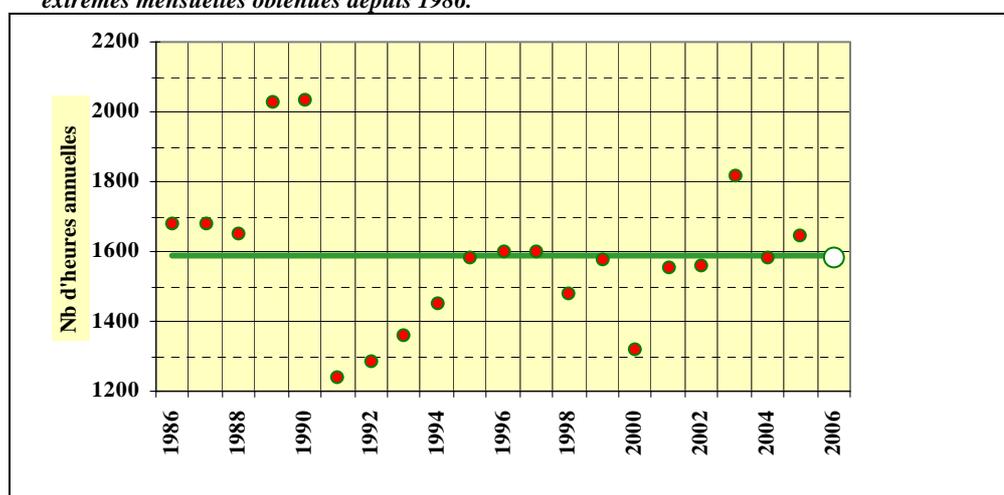


Figure 2.4 : Insolation annuelle à Valogne depuis 2006, comparée à la moyenne annuelle obtenue sur la totalité de la période.

Au cours des 21 dernières années, l'insolation annuelle moyenne est de 1587 heures.

2.1.3. Température de l'air

Au cours des 58 dernières années (1949/2006), la température moyenne mensuelle de l'air (figure 2.2) 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).

Sur la période 1949/2006, la température moyenne annuelle est de 11,52 °C, avec un écart thermique moyen de 10,21 °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, suivie par 1999 (12,51 °C) et 1989 (12,43 °C) ; la plus froide, 1963 avec 9,99 °C, suivie par 1956 (10,58 °C) et 1986 (10,63 °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.

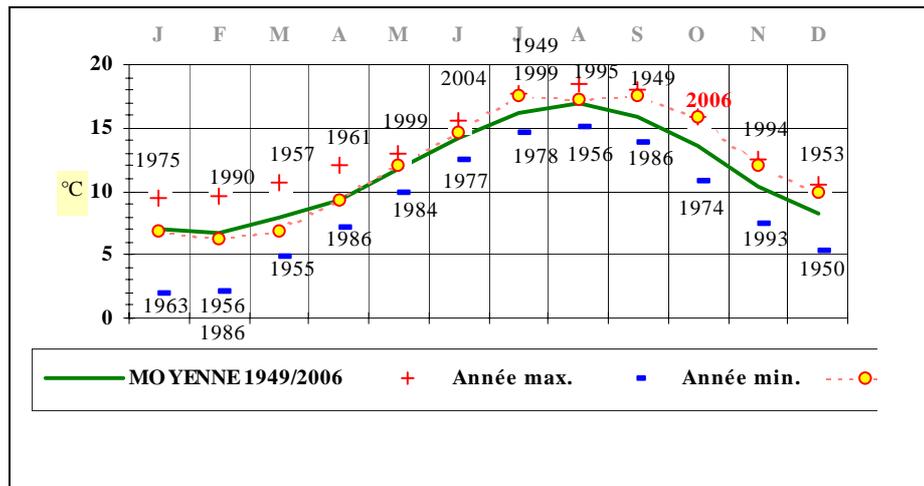


Figure 2.5 : Température mensuelle moyenne de l'air à La Hague au cours de l'année 2006, comparée aux moyennes et valeurs extrêmes mensuelles enregistrées depuis 1949.

Sur la période 1949/2006, 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).

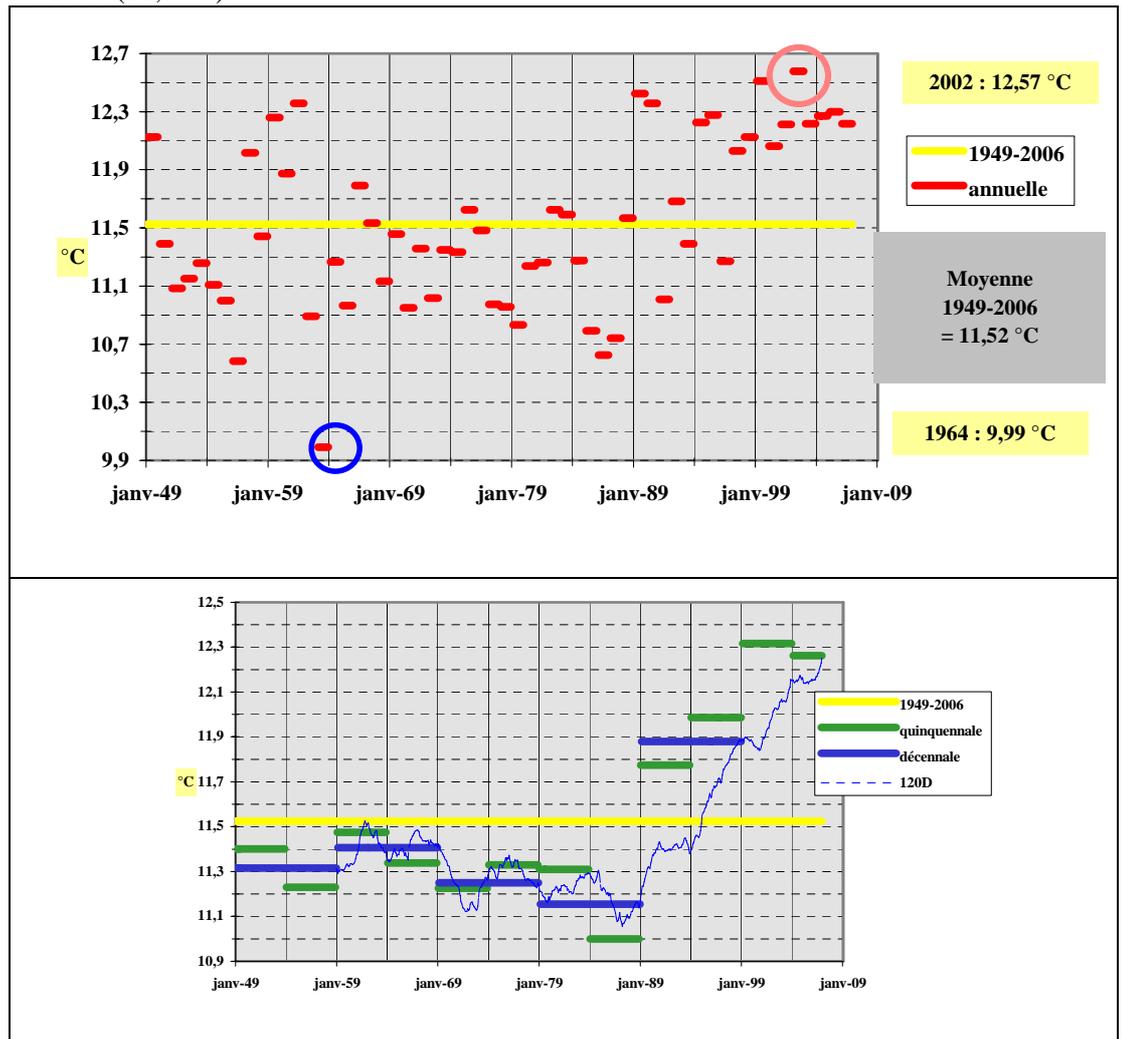


Figure 2.6 : Température de l'air au sémaphore de La Hague de 1949 à 2006. Comparaison des moyennes annuelles, quinquennales et décennales à la moyenne observée sur la totalité de la période.

L'observation des moyennes glissantes sur dix ans permet d'identifier les deux décennies extrêmes : avril 1977 / mars 1987 (11,06 °C) et janvier 1997/ décembre 2006 (12,25 °C), l'échauffement moyen étant de 1,2 °C.

L'observation des températures moyennes de l'air sur des périodes pluriannuelles (5 ou 10 ans) montre, certes un échauffement évident, mais surtout la brutalité du phénomène à partir de la fin des années 1980.

2.1.4. Caractéristiques de l'année 2006

L'année 2006 se caractérise par :

- Un cumul des précipitations (652 mm, identique à ceux enregistrés en 2003 et 2004, voisin des 672 mm observés en 2005) inférieur au cumul moyen enregistré depuis 1949 (711 mm). Un seul trimestre excédentaire (le quatrième) par rapport aux normales saisonnières, dû à la bonne pluviométrie du mois de décembre.
- Une insolation annuelle moyenne (1581 heures) avoisinant la moyenne enregistrée depuis 1986 (1587 heures). A noter l'enregistrement d'une insolation proche des optima mensuels pour les mois de juin (270 pour 275), juillet (285 pour 310) et novembre (1006 pour 110), malgré une pluviométrie proche des moyennes mensuelles en juin et novembre.
- (i) Une température moyenne annuelle de l'air (12,22 °C) supérieure à la moyenne enregistrée sur la période 1949-2006 (11,52 °C). (ii) Des moyennes mensuelles inférieures aux moyennes saisonnières au cours des quatre premiers mois de l'année, supérieures pour les huit mois suivants avec un nouvel optimum moyen pour le mois d'octobre (15,94 °C, supérieur de 2,3 °C à la normale de ce mois). (iii) Des températures moyennes remarquables pour les deux derniers trimestres, élevée pour le troisième (en 5^e rang pour le troisième trimestre) et record pour le quatrième (12,67 °C) lui permettant d'être plus chaud que le second. Il ressort de l'examen des 58 dernières années le constat d'un printemps généralement plus doux que l'automne. 2006 fait exception à cette règle, au même titre que les années 1954, 1977, 1978, 1979 et 1986.

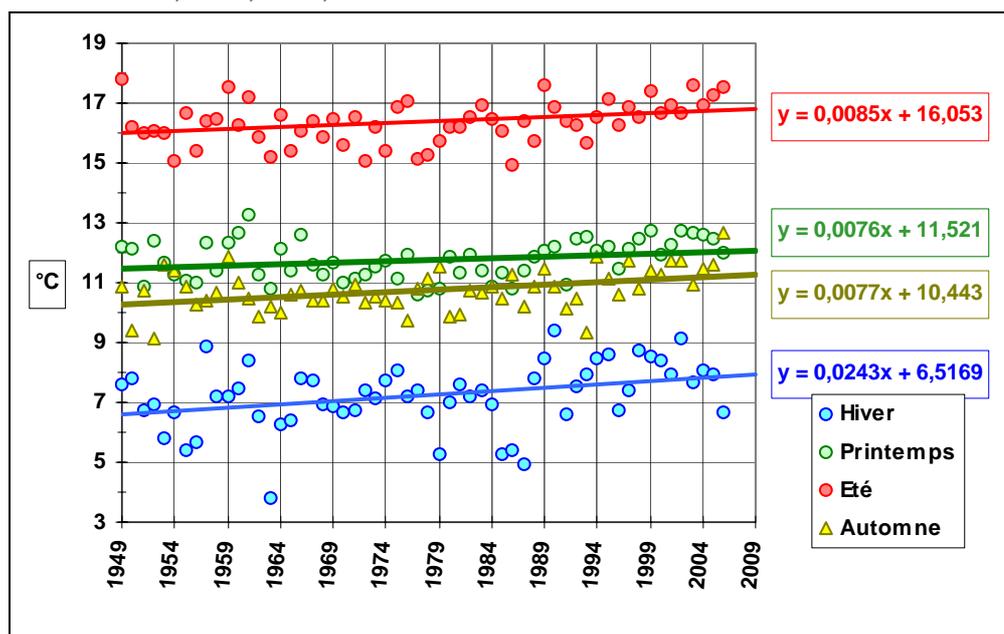


Figure 2.7 : Évolution des températures trimestrielles moyennes de l'air depuis 1949.

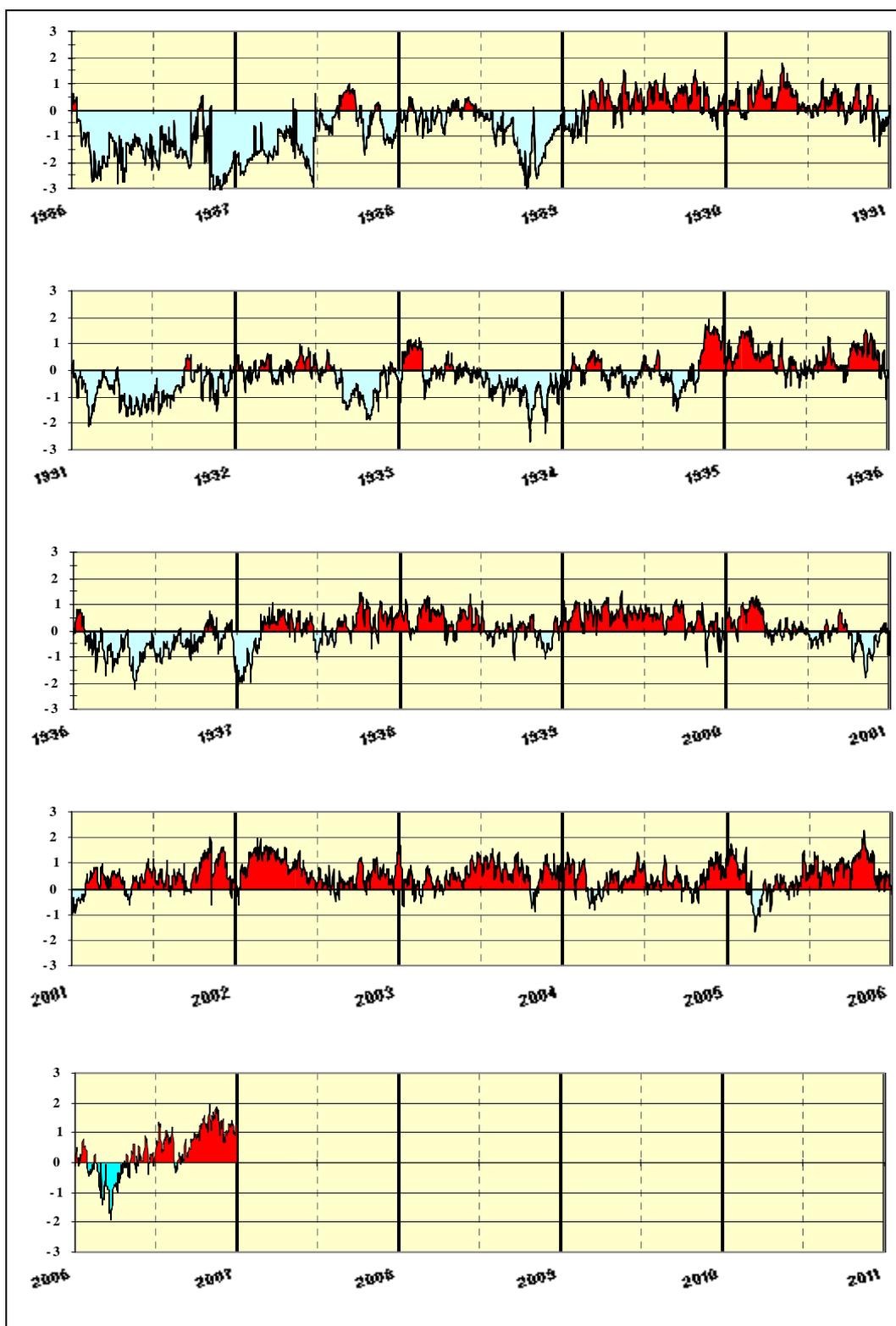


Figure 2.9 : Anomalies de la température de l'eau de mer à Flamanville – Ecart journalier, en °C, à la moyenne quotidienne (moyenne estimés sur la période 1986-2006).

2.2. Température de l'eau de mer

Depuis 1986 (soit 21 années de mesures), EDF effectue un relevé quotidien (à 16h00) de la température de l'eau de mer dans le canal d'aménée. Le résultat des levés réalisés au cours de l'année 2006 est présenté à la figure 1.2 (page 14).

Sur l'ensemble de ces 21 années, le minimum de température mensuelle moyenne de l'eau de mer dans le canal d'aménée est noté en février (8,71 °C), les valeurs extrêmes étant enregistrées en 1986 (6,80 °C) et 2002 (10,16 °C). Le maximum mensuel moyen est observé en août (17,68 °C), oscillant entre 16,28 °C en 1986 et 18,44 °C en 2003. La température moyenne annuelle est de 12,91 °C, les extrêmes étant 11,37 °C en 1986 et 13,61 °C en 2002.

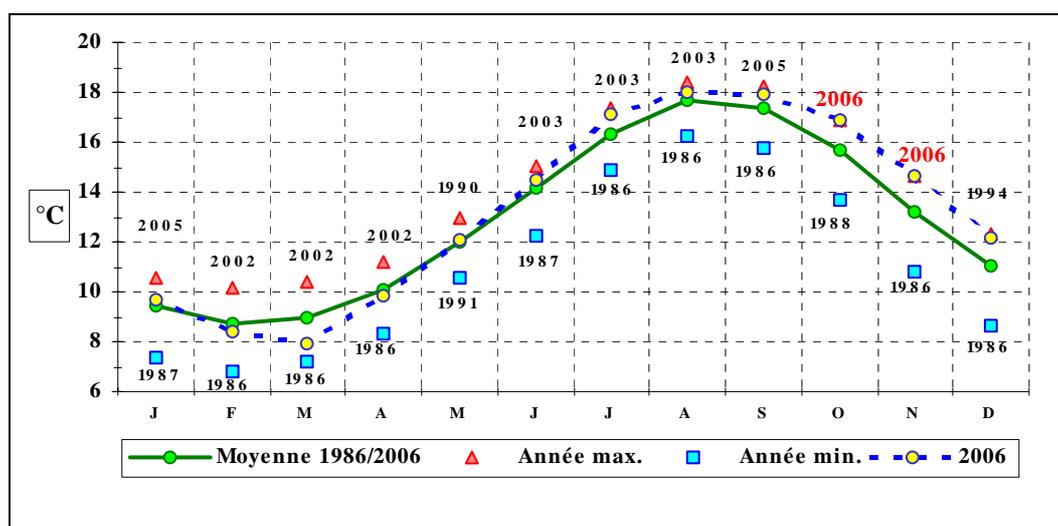


Figure 2.8 : Évolution de la température moyenne mensuelle de l'eau de mer dans le canal d'aménée du CNPE de Flamanville en 2006, comparée aux moyennes et valeurs extrêmes mensuelles enregistrées depuis 1986.

A l'instar des observations faites sur la température de l'air, les premiers mois de l'année 2006 présentent des moyennes mensuelles inférieures aux normales saisonnières. Puis, les moyennes deviennent supérieures jusqu'à atteindre de nouveaux optima en octobre et en novembre, pour la deuxième année consécutive pour ces deux mois. La température journalière a varié de 7,1 °C le 1^{er} mars à 18,8 °C le 8 août.

Pour un jour donné, l'écart journalier à la moyenne quotidienne estimée au cours de ces 21 années est calculé. Les valeurs oscillent entre - 3,35 °C (le 14/11/1986) et + 2,29 °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 excédentaire de l'année 2006 (+ 0,38 °C.j⁻¹) qui, malgré un début d'été « caniculaire » et un automne relativement doux, présente un classement moyen (tableau 2.1).

Année	2002	2005	2003	1999	1995	2001	2004	2006	1990	1989	1998
Ecart en °C.j ⁻¹	+0,72	+0,54	+0,52	+0,52	+0,49	+0,43	+0,39	+0,38	+0,31	+0,29	+0,22
Année	1997	1994	2000	1992	1993	1996	1988	1991	1987	1986	
Ecart en °C.j ⁻¹	+0,06	+0,04	+0,02	-0,23	-0,33	-0,51	-0,64	-0,73	-0,92	-1,55	

Tableau 2.1 : Bilan thermique moyen journalier de 1986 à 2006 (les 21 années sont classées de la plus chaude à la plus froide)

La comparaison, pendant la période 1986/2006, des moyennes mensuelles des températures de l'air à la Hague et de l'eau de mer à Flamanville montrent le lien entre

ces deux éléments, les variations de température de l'eau de mer suivant celles de l'air avec un léger décalage dû à l'inertie de la masse d'eau.

Au cours des 21 années, la température moyenne annuelle est de 12,88 °C pour l'eau de mer, 11,92 °C pour l'air (pour rappel, cette dernière est de 11,53 °C au cours de la période 1949-2006).

Le comparaison de ces températures (figure 2.9), 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.

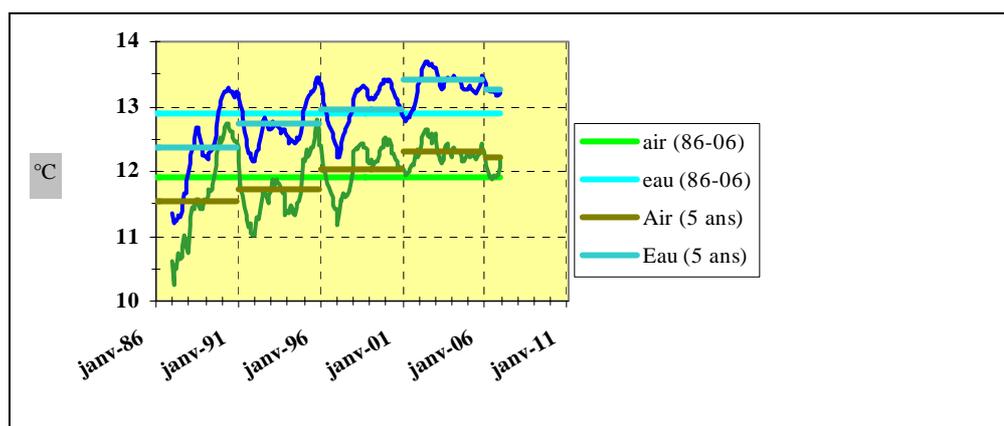


Figure 2.9 : Comparaison des « anomalies » mensuelles des températures de l'air (Cap de La Hague) et de l'eau de mer (Flamanville) au cours des 21 dernières années (1986-2006).

Une corrélation significative est établie entre ces deux paramètres (figure 2.10). 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 situés au-dessus de la courbe).

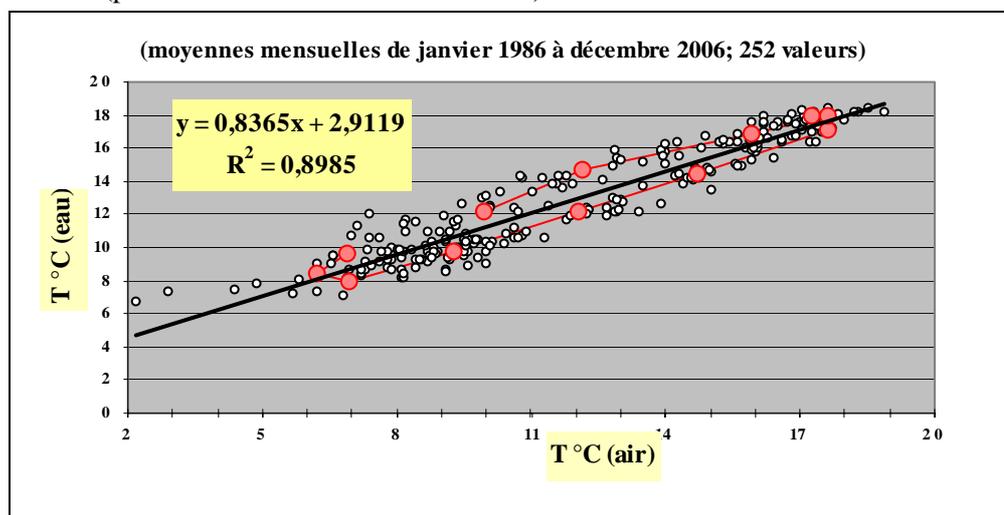


Figure 2.10 : Variation de la température moyenne mensuelle de l'eau de mer (données EDF) en fonction de celle de l'air (données Météo-France). Les données 2006 sont repérées en rouge.

3. Le domaine pélagique

Etude et rapport réalisés

à l'Ifremer par

<i>Luis</i>	<i>Lampert</i>	<i>(LER / N)</i>	<i>Hydrologie, Phytoplancton, Microbiologie</i>
<i>Loïc</i>	<i>Nogues</i>	<i>(LER / N)</i>	<i>Microbiologie</i>

à l'Université du Littoral et Côte d'Opale (ULCO), par

<i>Jean-Michel</i>	<i>Brylinski</i>	<i>(Wimereux)</i>	<i>Zooplancton,</i>
<i>Dorothée Vincent</i>	<i>(Wimereux)</i>	<i>Zooplancton</i>	

Avec la collaboration pour les prélèvements et les analyses de

<i>Virginie</i>	<i>Antoine</i>	<i>(LER / N)</i>
<i>Marie-Pierre</i>	<i>Crassous</i>	<i>(DYNECO / Brest)</i>
<i>Liliane</i>	<i>Fiant</i>	<i>(LER / N)</i>
<i>Sylvaine</i>	<i>Françoise</i>	<i>(LER / N)</i>
<i>Vincent</i>	<i>Justome</i>	<i>(LER / N)</i>
<i>Laure</i>	<i>Lamort</i>	<i>(LER / N)</i>
<i>Olivier</i>	<i>Pierre-Duplessix</i>	<i>(LER / N)</i>

et des

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

Laboratoire municipal et régional d'analyses de Rouen (Bore)

3.1. Méthodologie

Conformément à la stratégie mise en place pour la surveillance du site de Flamanville, les points échantillonnés (figure 1.7, page 17) sont :

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

Le matériel et les méthodes d'analyses utilisés en 2006 sont les mêmes que ceux appliqués les années précédentes, en application de l'arrêté interministériel du 11 mai 2000.

Le calendrier des missions, les paramètres étudiés et le nombre d'échantillons prélevés en chaque point sont donnés dans le tableau 1.3 à la page 18. Les campagnes se sont déroulées les 25 mars, 20 juin et 29 septembre en période de mortes eaux à bord du *NO THALIA* (hydrobiologie, phytoplancton et zooplancton) et au moyen du Zodiac de la SNSM de Diélette (bactériologie et trihalométhanes).

3.2. Hydrologie

3.2.1. Méthode

3.2.1.1. Prélèvements

Aux points *canal* et *rejet*, un prélèvement est effectués en surface. Au point *référence*, les échantillons sont prélevés en surface et à mi-profondeur.

3.2.1.2. Paramètres mesurés et précisions

Les paramètres hydrologiques mesurés sont la température, la salinité, les sels nutritifs (ammonium, nitrate, nitrite, phosphate et silicate). Les techniques appliquées à l'échantillonnage et à la mesure de ces différents paramètres sont présentées dans *Hydrologie des écosystèmes marins, paramètres et analyses* (Aminot et Kérouel, 2004). La précision sur la mesure des différents paramètres est indiquée dans le tableau 3.1.

	Temp. (°C)	Salinité	NO_3^- (μM)	NO_2^- (μM)	NH_4^+ (μM)	PO_4^{3-} (μM)	$Si(OH)_4^-$ (μM)	MES (mg/L)
PRECISION	± 0,01	± 0,01	± 0,1	± 0,01	± 0,05	± 0,01	± 0,05	± 0,1

Tableau 3.1 : Précision des analyses

La température et la salinité sont mesurées par une sonde YSI 660 QS. De plus, le thermosalinomètre SeaBird SBE 21, installé sur le circuit d'eau de mer du *NO THALIA*, a été utilisé lors des campagnes d'échantillonnage. Il permet notamment d'enregistrer toutes les variations de température et de salinité pendant le transit et lors de l'échantillonnage. La fréquence d'acquisition des valeurs est de 6 secondes et l'immersion de la prise d'eau de mer est située à 2,5 m en dessous du niveau de flottaison. La conversion des données hexadécimales en valeurs physiques est assurée par la chaîne informatique de traitement de SeaBird avec les coefficients du dernier étalonnage (SHOM). La cartographie est réalisée par le programme Ocean Data View, développé par l'université de Bremerhaven pour le compte de la communauté océanographique internationale. Les précisions des capteurs est de 0,01 °C pour la température et de 0,001 S/m pour la conductivité.

Les analyses du bore sont effectuées en dosage direct par ICP-AES optique à la longueur d'onde de 249,773 nm. Les analyses des trihalométhanes en eau de mer sont effectuées selon la méthode NF T 90-125.

3.2.1.3. Présentation graphique

Les résultats des campagnes hydrologiques sont présentés sous forme de courbes, d'histogrammes et de boîtes à moustaches. Les courbes présentent les valeurs obtenues lors de l'année 2006, avec leur variabilité saisonnière et spatiale. Les histogrammes et les boîtes à moustaches présentent l'ensemble des données acquises depuis 1987. L'utilisation de la médiane dans les boîtes à moustaches, permet de minimiser l'influence des valeurs extrêmes par rapport à la moyenne.

Les résultats 2006 sont présentés avec une couleur différente par rapport aux années précédentes. Pour chaque paramètre et pour chaque point, les histogrammes sont regroupés par campagne (printemps, été et automne).

3.2.1.4. Traitement statistique

Un traitement statistique a été réalisé pour les paramètres étudiés sur la période 1987-2006. Cette étude permet de comparer les données observées aux points *référence*, *rejet* et *canal* afin d'établir s'il existe ou non des différences significatives sur l'ensemble des données par point à long terme. Avant de choisir et d'effectuer des tests statistiques appropriés, il est essentiel de vérifier la normalité des distributions des données. Cette vérification a été réalisée grâce aux coefficients d'asymétrie et d'aplatissement standardisés. Lorsque la distribution s'avère normale, nous avons utilisé le test de Student pour les échantillons appariés afin de comparer les données. Dans le cas contraire (distribution non normale), la comparaison des données a été réalisée par le test des signes.

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

3.2.2. Résultats des mesures de la surveillance hydrologique pour l'année 2006

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de mesure pour l'année 2006 sur le site de Flamanville sont présentés dans le tableau 3.2.

(Valeurs moyennes \pm écart type)	CANAL D'AMENEE	REJET	REFERENCE		
			SURFACE	-10 m	
25 MARS	Température (°C)	7,80	9,00	7,40	7,38
	Salinité	34,84	34,86	34,82	34,81
	Nitrate (μ M)	9,2	9,5	10,5	10,7
	Nitrite (μ M)	0,16	0,15	0,15	0,15
	Ammonium (μ M)	0,10	0,05	0,05	0,05
	Phosphate (μ M)	0,37	0,39	0,44	0,47
	Silicate (μ M)	4,13	4,71	4,84	4,76
	MES (mg/L)	3,9	2,8	31,1	5,0
	Bore (mg/L)	5,5	4,7	4,7	5,2
	Bromoforme (μ g/L)	<4	<4	<4	<4
20 JUIN	Température (°C)	14,85	16,01	13,68	13,79
	Salinité	35,08	35,31	35,14	35,04
	Nitrate (μ M)	0,1	0,1	1,0	1,0
	Nitrite (μ M)	0,01	0,01	0,07	0,08
	Ammonium (μ M)	0,05	0,42	0,64	0,52
	Phosphate (μ M)	0,06	0,05	0,09	0,10
	Silicate (μ M)	1,95	2,07	2,75	2,47
	MES (mg/L)	1,8	1,5	2,4	1,4
	Bore (mg/L)	6,6	6,7	5,5	6,2
	Bromoforme (μ g/L)	<4	<4	<4	<4
29 SEPTEMBRE	Température (°C)	17,71	19,00	17,40	17,40
	Salinité	35,02	34,92	35,08	35,09
	Nitrate (μ M)	2,6	3,3	3,5	3,4
	Nitrite (μ M)	0,34	0,42	0,50	0,50
	Ammonium (μ M)	0,42	0,38	0,38	0,35
	Phosphate (μ M)	0,23	0,26	0,28	0,27
	Silicate (μ M)	3,38	3,90	4,07	3,96
	MES (mg/L)	2,2	2,5	1,6	2,2
	Bore (mg/L)	4,6	4,7	4,6	4,6
	Bromoforme (μ g/L)	<4	<4	<4	<4

Tableau 3.2 : Récapitulatif des résultats de surveillance pour l'année 2006

3.2.2.1. Température de l'eau de mer

3.2.2.1.1 Variations saisonnières de la température

Au cours des campagnes de surveillance 2006, la température de l'eau de mer a varié de 7,80 à 17,71°C au point *canal*, de 9,00 à 19,00 °C au point *rejet* et de 7,40 à 17,40°C au point *référence* (figure 3.1). Lors des trois campagnes, nous constatons des valeurs de température plus faibles au point *référence* par rapport au point *canal*. Les différences entre ces deux points se situent entre 0,3 et 1,2 °C. Au printemps et en automne, les écarts de température observés au point *référence* entre la surface et la mi profondeur restent à l'intérieur des incertitudes liées à la mesure. En été, cette différence est égale à 0,1 °C.

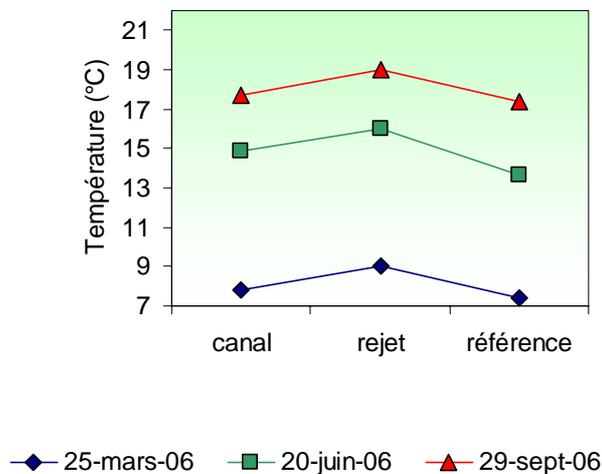


Figure 3.1 : Température de l'eau en surface aux trois campagnes 2006

Comme l'année précédente, l'écart thermique entre le printemps et l'automne a été supérieur d'environ deux degrés par rapport aux années 2003 et 2004 ($\delta T=10^{\circ}\text{C}$ en moyenne). Les faibles températures du début d'année, conjuguées aux fortes températures de l'eau de mer observées en fin d'été sont à l'origine de cette différence. En règle générale, l'écart thermique est lié au brassage important de la colonne d'eau dans ce secteur où les courants de marée sont très forts. Dans les secteurs où l'énergie dissipée par la marée est suffisante pour contrecarrer l'effet de stratification induit par le réchauffement en été, les courants de marée rendent la colonne d'eau homogène.

La figure 3.2 présente une caractérisation du renouvellement de mélange en Manche à travers le paramètre de stratification 'H/u³' défini par Simpson et Hunter (1974) où H représente la hauteur de la colonne d'eau et 'u' le module de la vitesse moyenne de courant au cours d'un cycle de marée. Les faibles valeurs du paramètre de stratification (< 2,0) indiquent que la colonne d'eau est brassée et les fortes valeurs (> 3,0) définissent les zones où la colonne d'eau peut présenter une stratification en été. La figure 3.2 montre que la centrale est située dans une zone où la colonne d'eau est brassée. Ceci réduit alors le réchauffement estival en surface et explique la gamme réduite de variation de température.

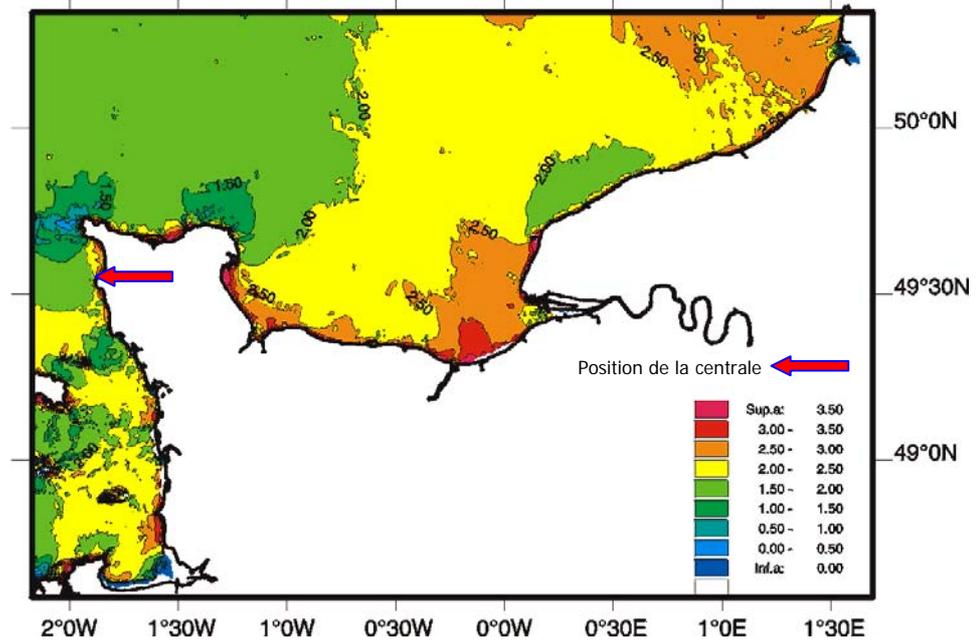


Figure 3.2 : Évolution spatiale du paramètre de stratification (H/u^3) en Manche réalisée à l'aide d'un modèle hydrodynamique 2D (IFREMER DEL/AO-LERN)

3.2.2.1.2 Variations inter-annuelles

La figure 3.3 montre que les températures de l'eau de mer enregistrées au cours des trois campagnes réalisées en 2006 présentent des températures inférieures à celles observées en 2005. Les plus forts écarts se situent aux points *rejet* et *référence* lors de la campagne de mars. Les températures des points *canal* et *référence* sont légèrement supérieures aux températures décrites dans les études de projet, réalisées entre 1976 et 1985. Ils en est de même des rapports de Agoumi *et al.* (1983), Taylor et Stephens (1983), Bentley et Maillard-Quisthoudt (1990) et Jones et Jeffs (1991), qui indiquent des températures de plus faible amplitude en été dans ce secteur de la Manche.

A l'exception de 1988, année où la campagne automnale s'est déroulée début novembre, les campagnes automnales ont toujours été réalisées au mois de septembre depuis 1987. Les valeurs observées de la température de l'eau de mer présentent une tendance croissante sur cette période (figure 3.4).

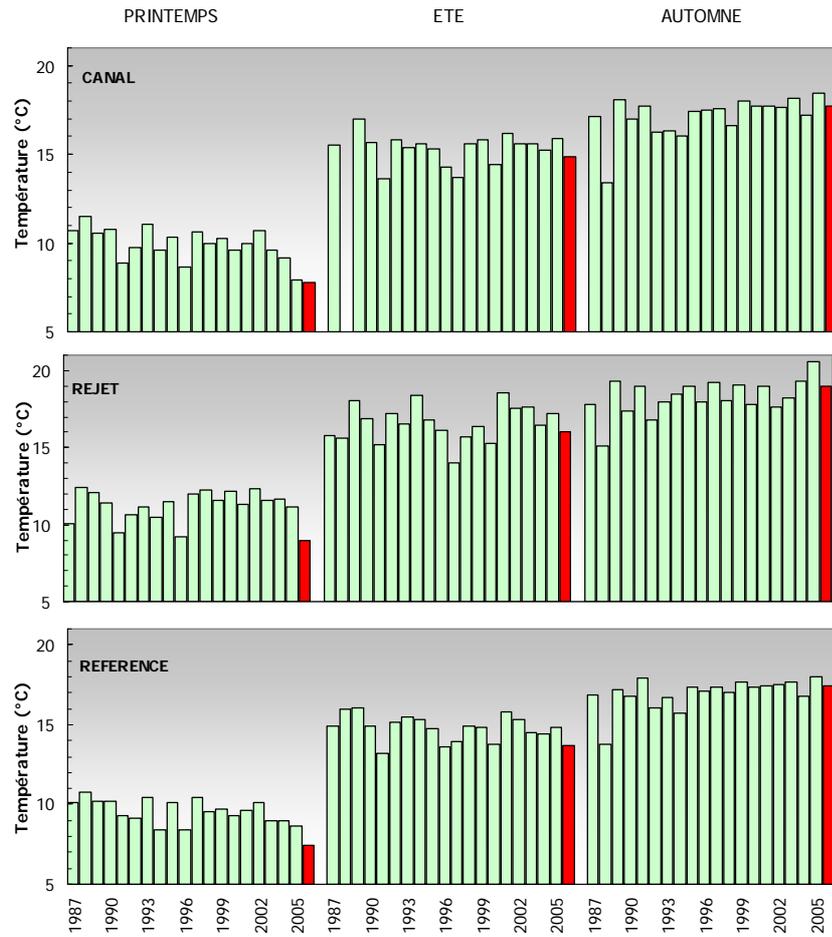


Figure 3.3 : Température de l'eau en surface sur la période 1987-2006. Les années 1987 à 2005 sont en vert clair. 2006 est en rouge

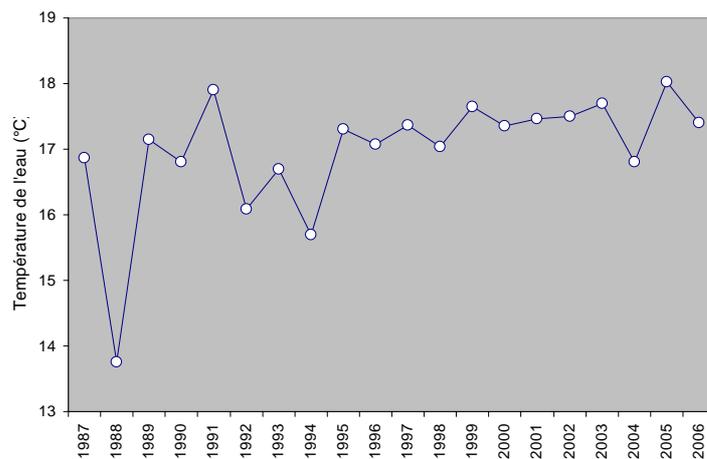


Figure 3.4 : Évolution de la température de l'eau de mer, enregistrée depuis 1987 lors des campagnes de fin d'été – début d'automne (mois de septembre à l'exception de 1988).

Si l'on compare les distributions de température obtenues depuis 19 ans, par saison et par point, figure 3.5, on observe que la valeur médiane pour le *rejet* est toujours supérieure à celles des points *référence* et *canal*, celle du *canal* étant légèrement supérieure à celle du point *référence*. Les températures printanières de 2006 ont été très inférieures aux médianes pluriannuelles. En été, elles ont été inférieures, et en automne, au dessus des médianes.

Les températures de l'eau de mer observées à l'automne 2005 représentaient les maxima absolus de la série pluriannuelle, tandis que celles enregistrées en mars 2006, sont les plus basses observées depuis 1987 à cette période.

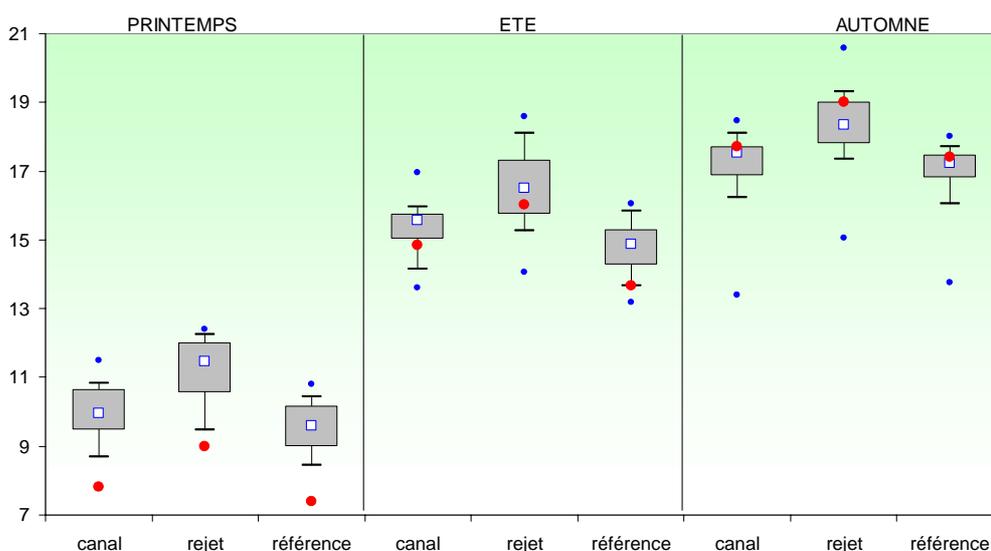


Figure 3.5 : Comparaison des distributions de la température par campagne et par point depuis 1987. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50% des valeurs (▭) ; les moustaches, 80% des valeurs (┌┐). Les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2006 (●).

Les valeurs de la température de l'eau de mer sont à rapprocher des températures de l'air (mesurées à la Hague) au cours de la même période (figure 2.4). Il existe une corrélation significative entre la température de l'air et celle de l'eau mesurée (données EDF) au niveau du canal d'amenée (figure 2.14). Les températures de l'eau enregistrées en 2006 peuvent donc s'expliquer par les températures de l'air enregistrées pendant l'année.

3.2.2.1.3 Température au *rejet* et taux de dilution

Les différences de température en 2006 entre les points *rejet* et *canal* ainsi qu'entre les points *rejet* et *référence* ont été en moyenne de 1,2° et 1,8°C sur l'ensemble des trois campagnes. C'est à dire, inférieures de 0,2 C à celles observées en 2004 et 2005. Les différences de température mesurées entre les points *rejet* et *référence* sur les trois campagnes depuis 1987 sont présentées dans la figure 3.6. Elles mettent en évidence des écarts de température de l'ordre de 1 à 3 °C à quelques dizaines de mètres du diffuseur de rejet. En 2006 ces écarts ont varié entre 1,6 et 2,3°C.

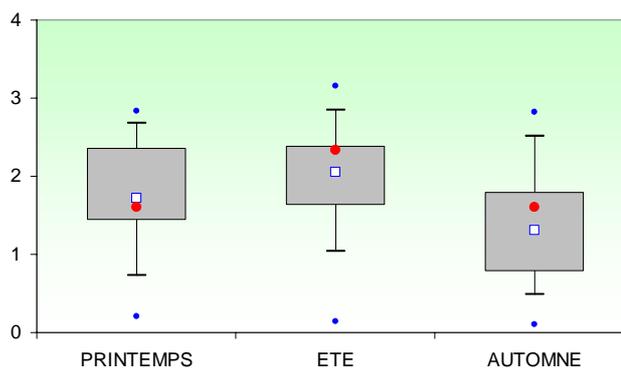


Figure 3.6 : Distribution par campagne des différences de température entre les points rejet et référence depuis 1987

Les variations de température du point *rejet* au moment de l'échantillonnage sont très localisées autour du point *rejet* (figures 3.7 et 3.8). Celles-ci ont été enregistrées par le thermosalinomètre lors de la campagne d'échantillonnage de septembre.

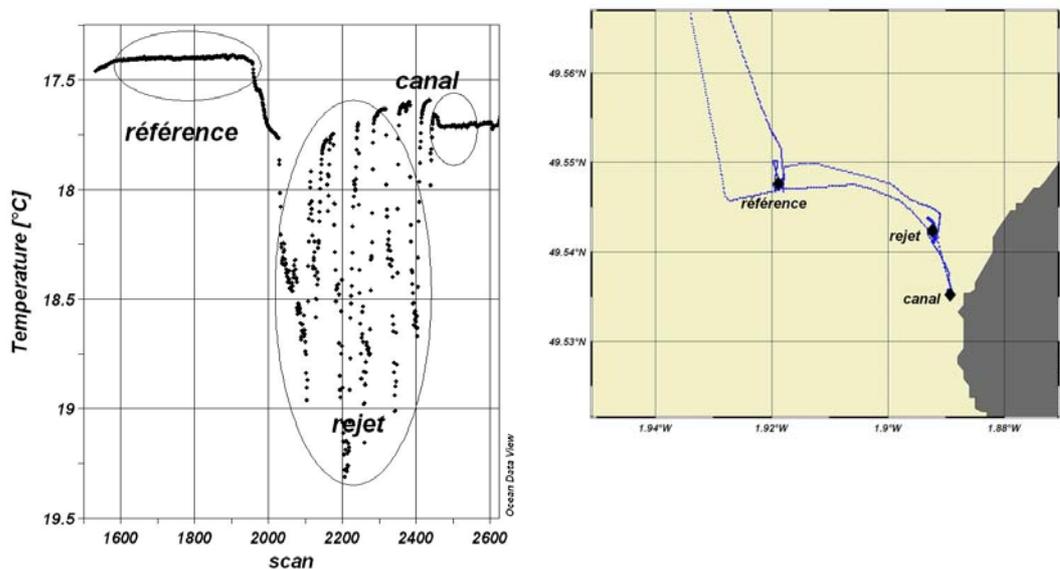


Figure 3.7 : Évolution de la température de l'eau de mer obtenue par le thermosalinomètre et parcours du NO THALIA lors de la campagne d'échantillonnage de septembre 2006

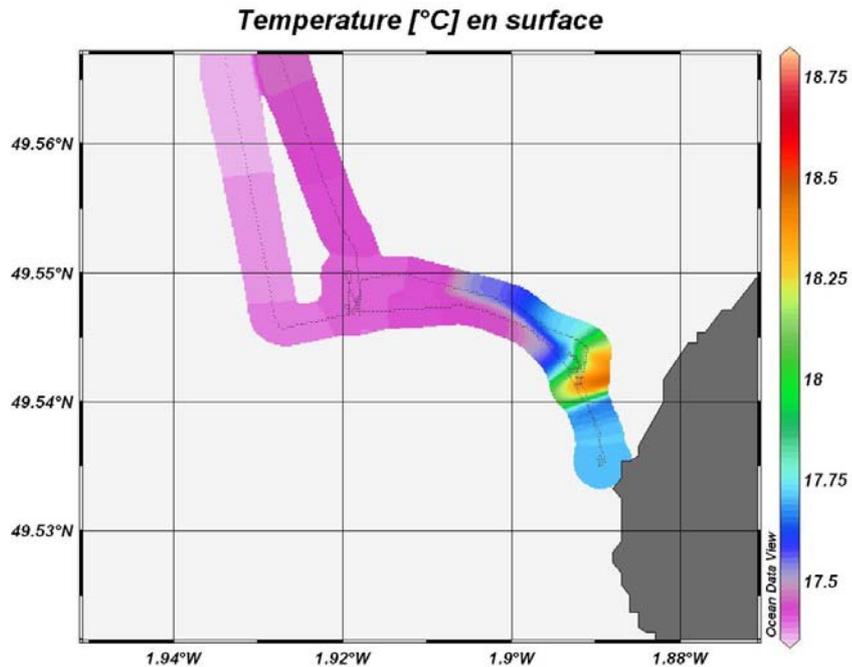


Figure 3.8 : Distribution spatiale de la température de l'eau de mer obtenue par le thermosalinomètre lors de la campagne d'échantillonnage de septembre 2006

Les figure 3.6 et 3.7 montrent clairement l'influence thermique de la centrale dans les eaux proches du point *rejet*. La température mesurée au point *rejet* dépend en grande partie de la proportion d'eau chauffée. Cette proportion peut être calculée d'après la formule suivante :

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

π représente la proportion d'eau échauffée potentielle. $t^{\circ}Rejet$, $t^{\circ}Canal$ et $t^{\circ}SC$ représentent respectivement les températures au point *rejet*, au point *canal* et à la sortie du condenseur. Le dénominateur de l'équation (1) représente la différence de température entre les eaux réchauffées et celles du milieu récepteur. Par arrêté du 11/05/07, cette différence ne doit pas excéder les 15°C (Malherbe et Manoha, 1977). Les proportions d'eau réchauffée, ainsi que les taux de dilution théorique qui en découlent sont répertoriés dans le tableau 3.

%	MARS	JUILLET	SEPTEMBRE
PROPORTION D'EAU ECHAUFFEE π	8	8	9
TAUX DE DILUTION ($1-\pi$)	92	92	91

Tableau 3.3 : Taux de dilution théorique calculés pour l'année 2006

Des taux de dilution de 91 % à 92 % sont observés lors des trois prélèvements de l'année 2006. Le taux de dilution théorique moyen observé depuis 19 ans sur les trois points, est également d'environ 92 %.

3.2.2.1.4 Approche statistique

Le tableau 3.4 présente les résultats des tests statistiques réalisés sur la température.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0	0	0
RÉFÉRENCE / REJET	0	0	0
CANAL / RÉFÉRENCE	0	0	0,015

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

Tableau 3.4 : « p -value » des tests statistiques sur la température

L'étude statistique confirme que la température de l'eau de mer au point *rejet* a toujours été significativement différente (au seuil de 5 % d'erreur) de celles des points *canal* et *référence* entre 1987 et 2006. Ce résultat significatif confirme l'existence de l'influence thermique de l'activité de la centrale sur le point *rejet*.

En outre, l'étude statistique montre aussi que les températures du *canal* sont significativement différentes de celles du point *référence*. Deux hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cette différence. Premièrement, lors du réchauffement de la colonne d'eau, il s'établit en général un gradient côte large. Cependant, c'est en automne, lorsque la température de l'eau est la plus élevée, que ce gradient devrait être le plus marqué. Or en cette saison, il n'existe qu'une différence faiblement significative entre le point *canal* à la côte et le point *référence* au large. La seconde hypothèse susceptible d'expliquer la différence de température pourrait être liée aux courants marins. En effet, en raison de leur caractère alternatif, ils peuvent ramener de l'eau réchauffée devant la centrale. Les travaux de Malherbe et Manoha (1977) ont montré que ce phénomène pouvait conduire à une élévation de la température d'environ 1°C devant la centrale. Les vents de secteur nord peuvent aussi avoir une influence dans l'advection des masses d'eau réchauffées sur le canal d'amenée.

En 2003, comme en 2002, l'arrêt total de la centrale en automne, a permis de lever le doute sur ces deux hypothèses. L'absence de différence significative de température entre les trois points d'échantillonnage en septembre 2002 et les faibles écarts constatés en septembre 2003 suggèrent que les températures constatées aux points *canal* et *référence* sont attribuables pour 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'amenée 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 TELEMAC-3D pour une morte-eau moyenne et une vive-eau moyenne. Les résultats de cette modélisation confirment, à pleine mer, l'élévation de température sur le canal d'amené par le panache du rejet. Les résultats montrent que l'impact thermique dépend fortement des courants de marée. Selon le flot ou le jusant, le panache thermique s'affine et s'allonge davantage vers le sud que vers le nord.

Toutefois, quelle que soit la marée, les résultats issus de la modélisation montrent que l'impact thermique lié au rejet d'eau échauffée par la centrale reste très localisé et confirment les résultats issus des mesures lors des campagnes de surveillance.

3.2.2.2. Salinité**3.2.2.2.1 Variations spatiales et saisonnières de la salinité**

Les salinités moyennes en 2006 (figure 3.9) ont été comprises entre 34,81 et 35,31. Les valeurs les plus faibles ont été mesurées en mars (entre 34,81 et 34,86 sur les trois points), et les plus élevées en juin avec un maximum de 35,31 au point *rejet*.

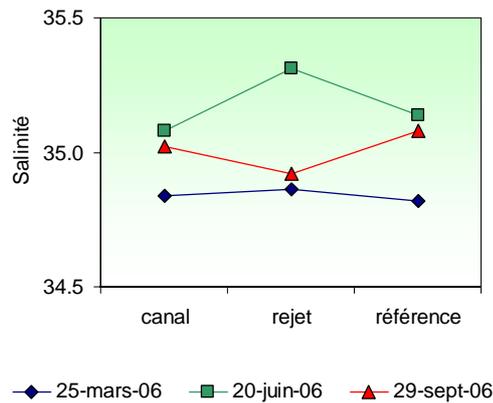


Figure 3.9 : Salinité de l'eau de surface pour les campagnes 2006

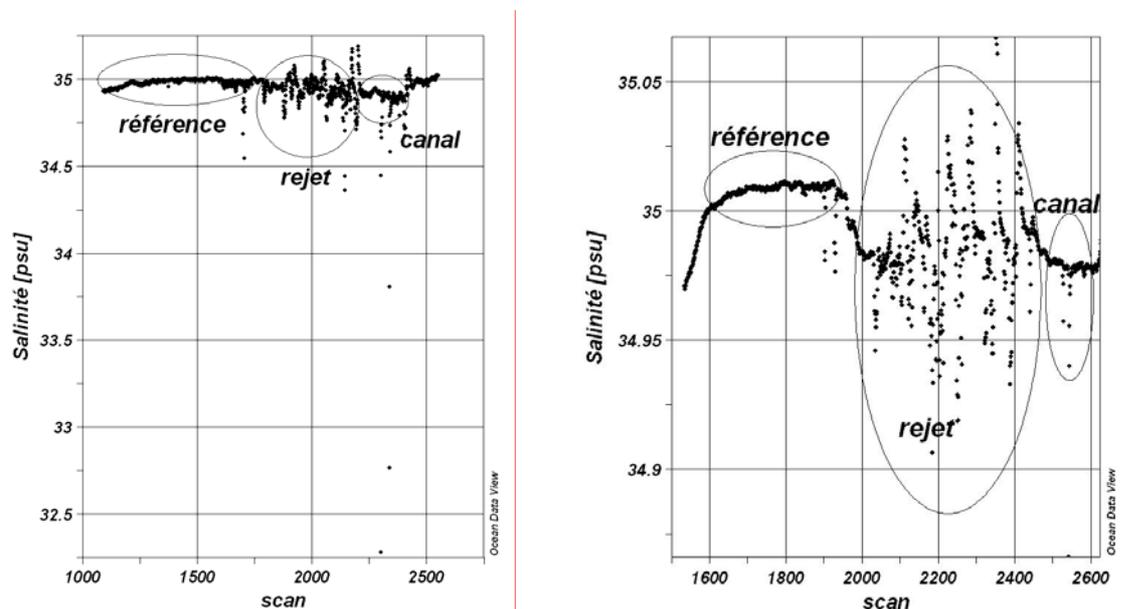


Figure 3.10 : Évolution de la salinité de l'eau de mer enregistrée par le thermosalinomètre lors des campagnes d'échantillonnage de : a) mars 2006 et b) septembre 2006

Les mesures de la salinité présentent une grande stabilité de valeurs tout au long de l'année. Les mesures sont effectuées avec une sonde multiparamètres de marque YSI en parallèle des enregistrements du thermosalinomètre Sea Bird. C'est au moyen de ce dernier que nous pouvons apprécier les rapides variations de salinité autour du point *rejet* dues au caractère turbulent du mélange près du diffuseur de rejet (figure 3.10).

Ces variations restent cependant très limitées géographiquement autour du diffuseur de rejet.

3.2.2.2 Variations inter-annuelles

La figure 3.11 présente les valeurs de salinité sur la période 1987-2006. Elle montre des salinités plus élevées en 2006 pendant les campagnes de mars et juin et de plus faibles salinités en septembre par rapport à celles observées en 2005. Depuis 2003 nous observons sur les trois points d'échantillonnage, une tendance décroissante de la salinité au printemps, une relative stabilité de celle-ci en été et une augmentation en automne. 2006 altère ces tendances, avec une augmentation au printemps et en été et une diminution en automne.

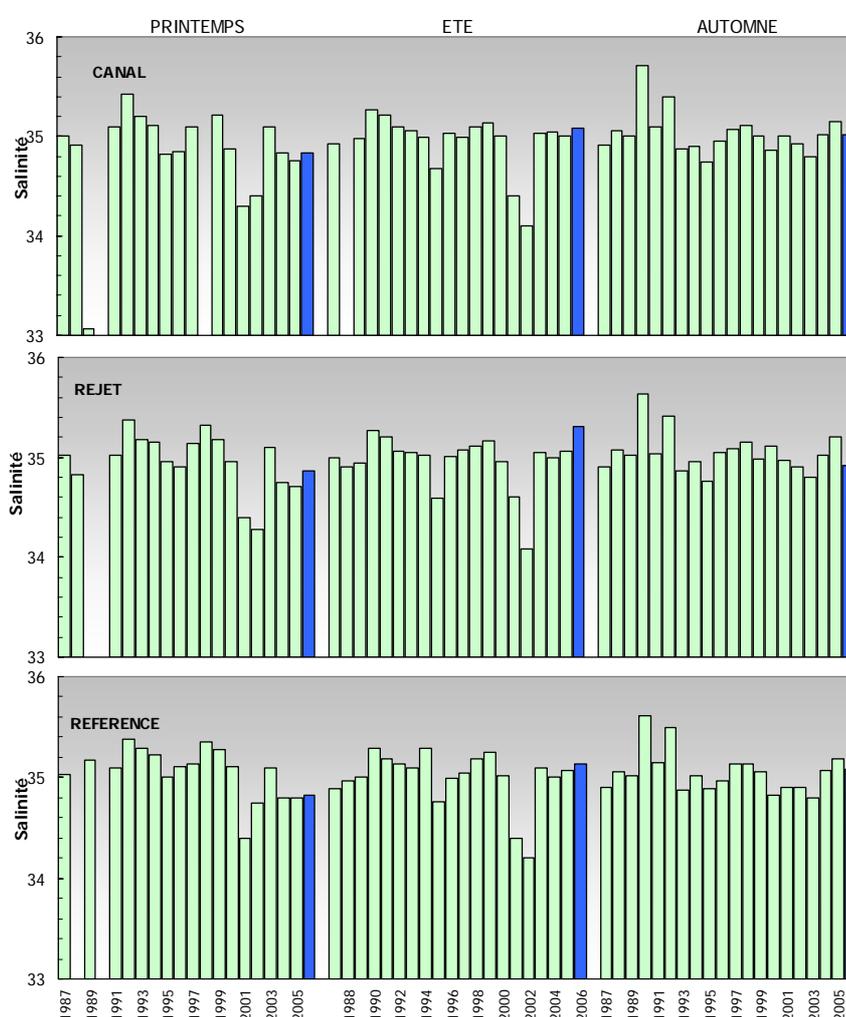


Figure 3.11 : Salinité de l'eau de surface pour les campagnes 1987 à 2006

La figure 3.12 nous permet de mieux visualiser les salinités enregistrées en 2006 par rapport à la série pluriannuelle obtenue depuis 1987. Ainsi, les salinités en mars 2006 se situent en dessous des médianes, tandis que les valeurs observées en juillet sont supérieures. En septembre les valeurs enregistrées se situent autour des médianes. Cette figure montre aussi la relative stabilité des médianes aux alentours de 35, sur les

dix-neuf dernières années, confirmant le caractère *marin* de la zone. Au printemps et en été les salinités médianes du point *rejet* se trouvent entre les valeurs des points *canal* et *référence*, suggérant que ces valeurs peuvent être issues du mélange de ces deux masses d’eaux. En septembre, le régime de pluies est faible, ce qui explique la similarité des valeurs de salinité observées sur les trois points d’échantillonnage.

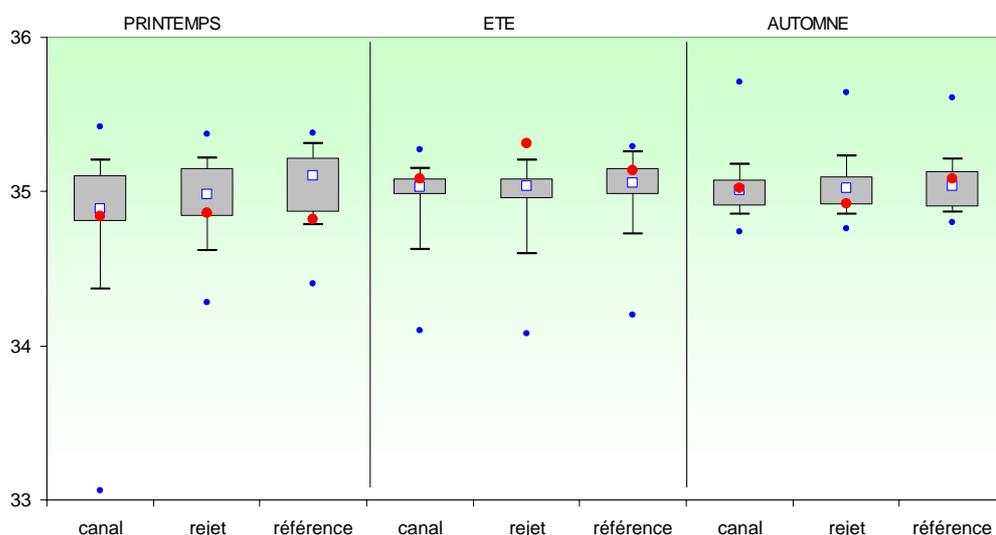


Figure 3.12 : Comparaison des distributions de la salinité par campagne et par point depuis 1987

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).

3.2.2.2.3 Approche statistique

Le tableau 3.5 présente les résultats des tests statistiques réalisés sur les salinités observées depuis 1987.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,632	0,152	0,297
REFERENCE / REJET	0,011	0,360	0,717
CANAL / REFERENCE	0,005	0,013	0,206

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

Tableau 3.5: « *p-value* » des tests statistiques sur la salinité

Les tests indiquent, qu’en générale, il n’existe pas de différence significative entre les points. Seules les différences de salinités entre le point référence et les points rejet et

canal se sont avérées significatives lors des campagnes du printemps. Il est de même pour les points canal et référence en été. Ceci confirme l'approche graphique de la figure 3.11. Les points canal et rejet, proches de la côte, sont caractérisés par des salinités toujours légèrement inférieures à celles du point référence situé plus au large. Cette différence pourrait s'expliquer par la présence d'un gradient côte-large lié aux apports d'eau douce d'origine continentale, plus abondants au printemps.

L'hypothèse d'un impact de la centrale pour expliquer les différences de salinités observées au printemps est peu probable. Bien que la centrale représente une source d'eau douce via les effluents d'eau déminéralisée des circuits primaires, des circuits secondaires, ainsi que des circuits annexes pour le refroidissement des auxiliaires de l'îlot nucléaire, les rejets ne représentent qu'un faible volume par an et par tranche 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.

3.2.2.3. Ammonium

3.2.2.3.1 Variations spatiales et saisonnières de l'ammonium

Les teneurs en ammonium ont varié au cours des campagnes 2006 de 0,05 à 0,42 μM aux points canal et rejet, et de 0,05 à 0,64 μM au point référence (figure 3.13).

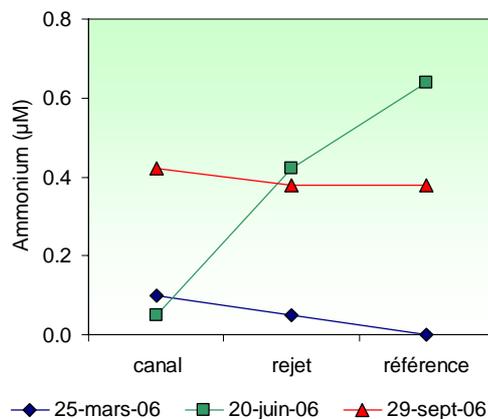


Figure 3.13 : Concentrations en ammonium (μM) dans les eaux de surface lors des campagnes 2006

Classiquement l'augmentation des concentrations en ammonium du printemps vers l'été reflète l'augmentation de l'activité hétérotrophe. Ce schéma est suivi en 2006, avec des concentrations plus élevées en juin et septembre. Comme en 2005, en mars et en septembre, nous observons un faible gradient décroissant côte-large, tandis que lors de l'été 2006, ce gradient est tout particulièrement inversé.

3.2.2.3.2 Variations inter-annuelles

Les variations de concentration en ammonium aux différents points depuis 1987 sont présentées sur les figures 3.14 et 3.15. Toutes les valeurs observées en 2006 sont inférieures à celles enregistrées en 2005. Il est difficile d'observer une tendance évolutive de ce paramètre, pour lequel une forte variabilité inter-annuelle est constatée. Nous pouvons cependant constater que l'évolution croissante des concentrations des campagnes printanières, sur les trois points de suivi, s'est arrêtée en

2006. Ce constat est aussi valable, lors des campagnes automnales, pour les points *canal* et *rejet*.

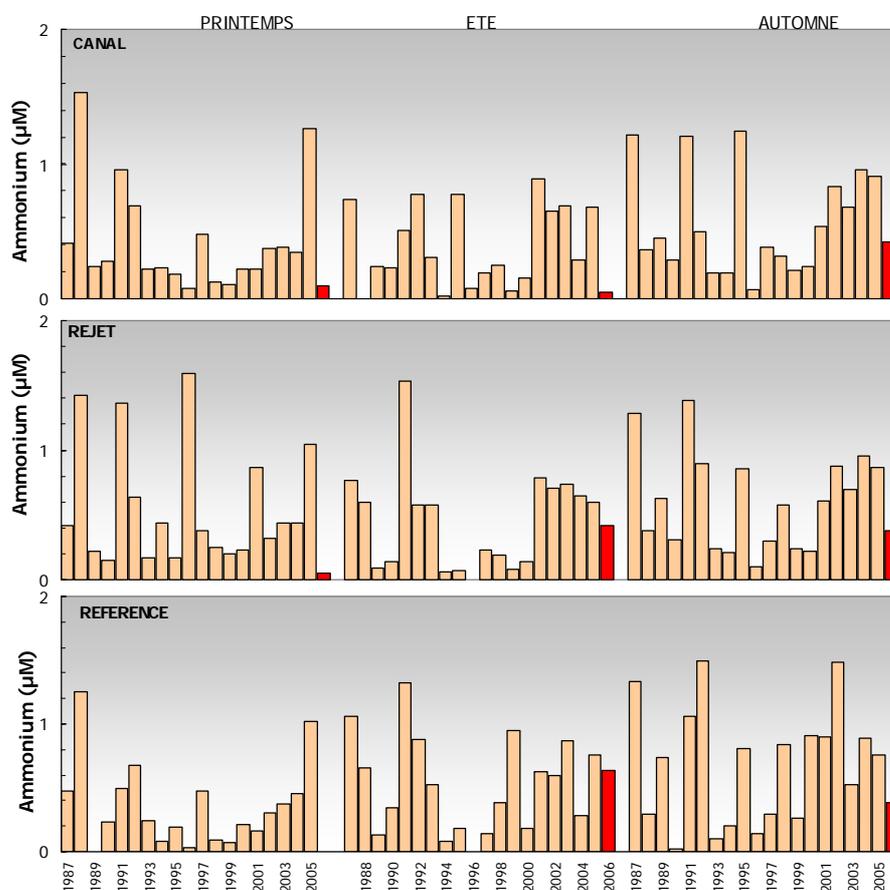


Figure 3.14 : Concentrations en ammonium dans l'eau de surface lors des campagnes de 1987 à 2006

La médiane du point *rejet* est sensiblement supérieure à celle des deux autres points au printemps (figure 3.15). En été et en automne, nous observons un gradient croissant côte-large. Les concentrations présentent une forte dispersion à l'intérieur de la boîte où se trouvent 50 % des valeurs.

A l'exception de la concentration en ammonium du point *référence* au mois de juin, toutes les autres valeurs ont été inférieures aux médianes observées sur la période 1987-2005. Il est remarquable de constater qu'en mars 2006 le gradient est décroissant, en juin il est croissant et stable en septembre.

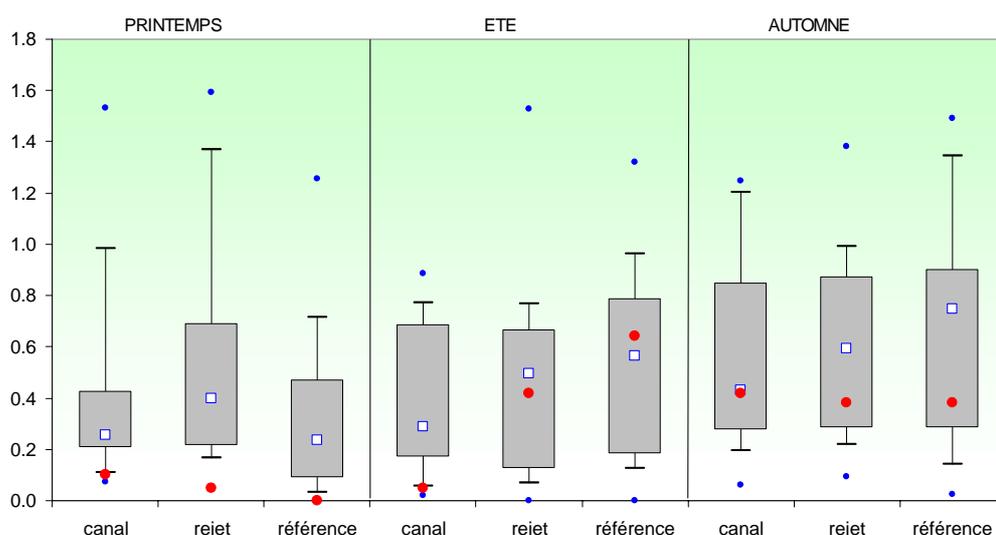


Figure 3.15 : Comparaison des distributions des concentrations de l'ammonium par campagne et par point depuis 1987

3.2.2.3.3 Approche statistique

Les résultats des tests relatifs à l'étude statistique des teneurs en ammonium depuis 1987 à Flamanville sont présentés dans le tableau 3.6.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,526	0,984	0,103
REFERENCE / REJET	0,038	0,159	0,264
CANAL / REFERENCE	0,012	0,012	0,179

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

Tableau 3.6 : « $p\text{-value}$ » des tests statistiques sur l'ammonium

Les résultats montrent qu'il n'existe pas de différence significative entre les trois points pour ce sel nutritif, excepté au printemps en été entre les points *canal* et *référence* et au printemps entre les points *référence* et *rejet*. La $p\text{-value}$ de ce dernier couple étant proche du seuil de signification.

La centrale peut représenter une source potentielle d'ammonium via des rejets d'ammoniaque. Le conditionnement du circuit secondaire nécessite en effet l'utilisation de ce produit chimique. Les vidanges de ce circuit occasionnent des rejets d'environ 10 t/an (7,71 t en 2004, Rapport annuel de surveillance de l'environnement ; EDF), ce qui est peu, et devrait être imperceptible du fait du taux de mélange. Toutefois, il faut souligner que les vidanges d'ammonium par la centrale dans les rejets sont ponctuelles et elles peuvent être décelées lors des campagnes de surveillance, comme il a été le cas en juin 2004. En 2006, le point *rejet* n'a présenté aucune concentration en ammonium supérieure à celles des autres points de suivi.

3.2.2.4. Nitrate et nitrite

3.2.2.4.1 Variations spatiales et saisonnières du nitrate et du nitrite

Les teneurs en nitrate mesurées au cours des campagnes de surveillance 2006 ont été comprises entre 0,1 et 9,2 μM au *canal*, entre 0,1 et 9,5 μM au *rejet* et 1,0 et 10,5 μM à la *référence*. Les concentrations en nitrite ont varié de 0,01 à 0,34 μM au *canal*, de 0,154 et 0,42 μM au *rejet* et 0,159 et 0,64 μM à la *référence* (figures 3.16 et 3.176).

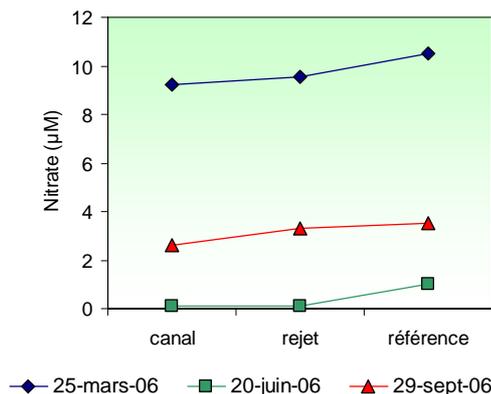


Figure 3.16 : Concentrations en nitrate (μM) dans les eaux de surface pour les campagnes 2006

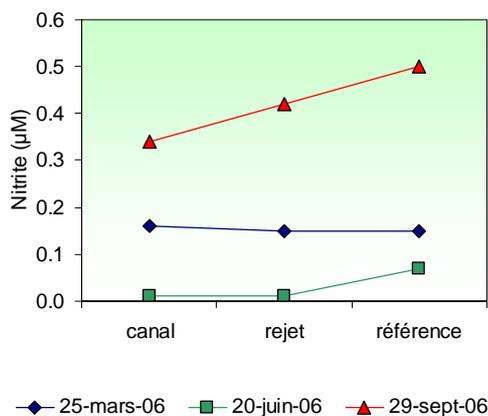


Figure 3.17 : Concentrations en nitrite (μM) dans les eaux de surface pour les campagnes 2006

L'été est caractérisé par une forte chute des teneurs en nitrate et nitrite sur tous les points. Cette diminution met en évidence l'utilisation intensive des nutriments par le phytoplancton, phénomène confirmé par la concentration en chlorophylle *a* (chapitre 3.3). Ces valeurs sont du même ordre que celles observées au large du plateau continental atlantique français à la fin de l'été par Lampert (2001) et par le Réseau Hydrologique du Littoral Normand (RHLN). Nous observons de fortes concentrations de nitrite en septembre, où la régénération de ce nutriment a dépassé celles du stock hivernal, enregistrées au mois de mars.

Suivant le cycle phytoplanctonique annuel classique, la diminution rapide des nitrates pourrait être attribuée au développement printanier du phytoplancton. En automne, les teneurs augmentent probablement sous l'effet des processus de nitrification, plus intenses durant cette saison.

Les valeurs de nitrate observées présentent un gradient croissant côte-large pour les trois campagnes annuelles. Les concentrations du point *rejet* se situent entre celles des points *canal* et *référence*. Ceci est également vrai pour le nitrite, à l'exception de la situation de mars, où un faible gradient décroissant est observé.

3.2.2.4.2 Variations inter-annuelles

Les variations des concentrations en nitrate et nitrite sur la période 1987-2006 sont respectivement présentées sur les figures 3.18 et 3.19.

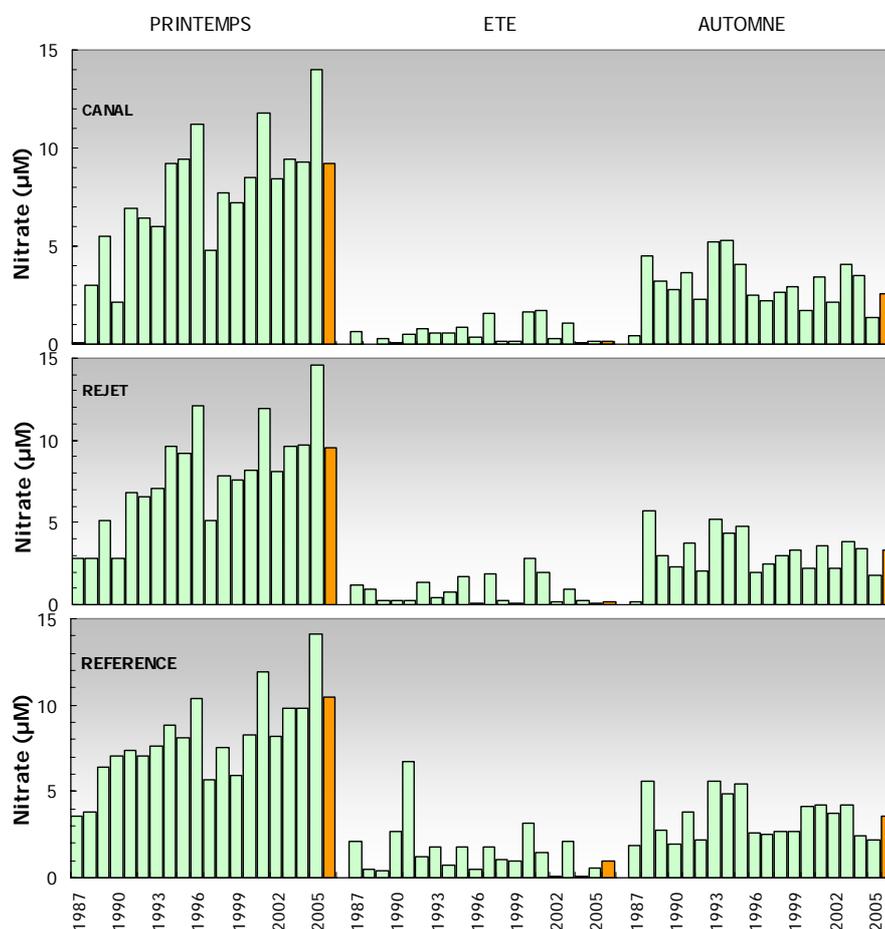


Figure 3.18 : Concentrations en nitrate dans l'eau de surface pour les campagnes de 1987 à 2006

Toutes les concentrations en nitrate observées lors de la campagne du printemps 2006 ont été inférieures à celles de l'année 2005. Lors de la campagne d'été, nous observons des valeurs en nitrate proches de la limite du seuil de détection analytique aux points *canal* et *rejet*. Pendant la campagne d'automne, les valeurs enregistrées ont été toutes au-dessus des valeurs observées en 2005. En hiver et en début de printemps, le nitrate

dans les eaux de la Manche est en général sous l'influence des eaux atlantiques et caractérisé par des teneurs de l'ordre de 5 à 6 μM pour des salinités comprises entre 35,25 et 35,30 (Laane, 1992). Lors des campagnes que nous avons menées depuis 1987, nous constatons que les valeurs observées au printemps ont rarement été inférieures à 5 μM . Les concentrations mesurées lors de la campagne de mars 2006 se situent donc bien au dessus de ces valeurs.

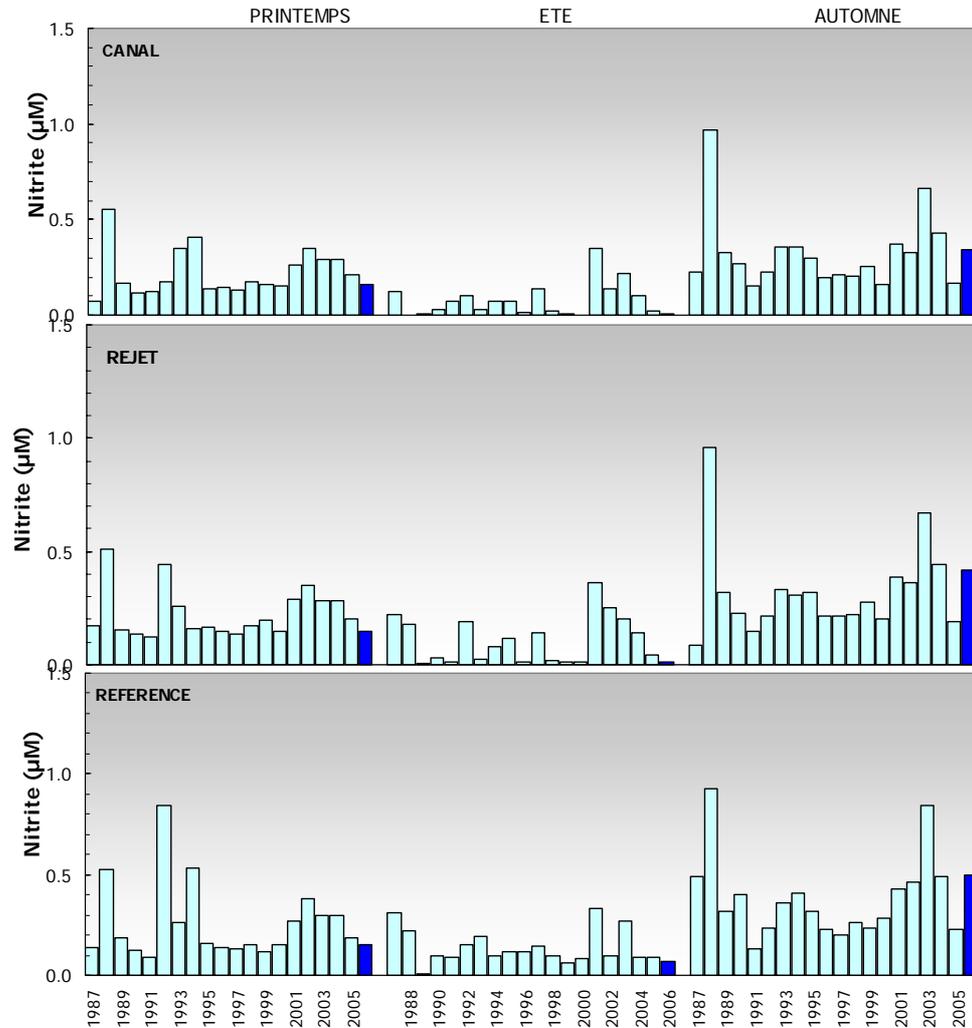


Figure 3.19 : Concentrations en nitrite dans l'eau de surface pour les campagnes 1987 à 2006

Le nitrite, présente un schéma similaire à celui observé pour le nitrate, mais avec des valeurs en diminution depuis cinq ans lors des campagnes de printemps et d'été. Les plus forts écarts par rapport aux valeurs de l'année 2005 sont enregistrées lors de la campagne automnale, où les valeurs en nitrite de 2006 ont doublé par rapport à celles de 2005. La gamme de concentrations couramment observées en Manche pour des salinités comprises entre 34,7 et 35,2 se situe entre la limite analytique et 0,6 μM (Laane, 1992). Les valeurs observées lors des campagnes de 2006 rentrent dans cette gamme de valeurs.

La régénération du nitrate en automne est bien mise en évidence sur la figure 3.20, où sont présentées les médianes et leur dispersion. Les plus fortes dispersions sont observées au printemps, suggérant que les prélèvements ont été réalisés, selon les

années, avant ou après le premier bloom phytoplanctonique. En effet, pour une même date, il est possible de trouver des différents niveaux de développement phytoplanctonique d'une année sur l'autre du fait de la variabilité naturelle des paramètres physiques et chimiques, eux mêmes dépendants des conditions météorologiques.

Les valeurs de nitrate de mars 2006 se situent au-dessus des médianes pluriannuelles, tandis qu'en été et en automne, elles se situent proches de ces médianes.

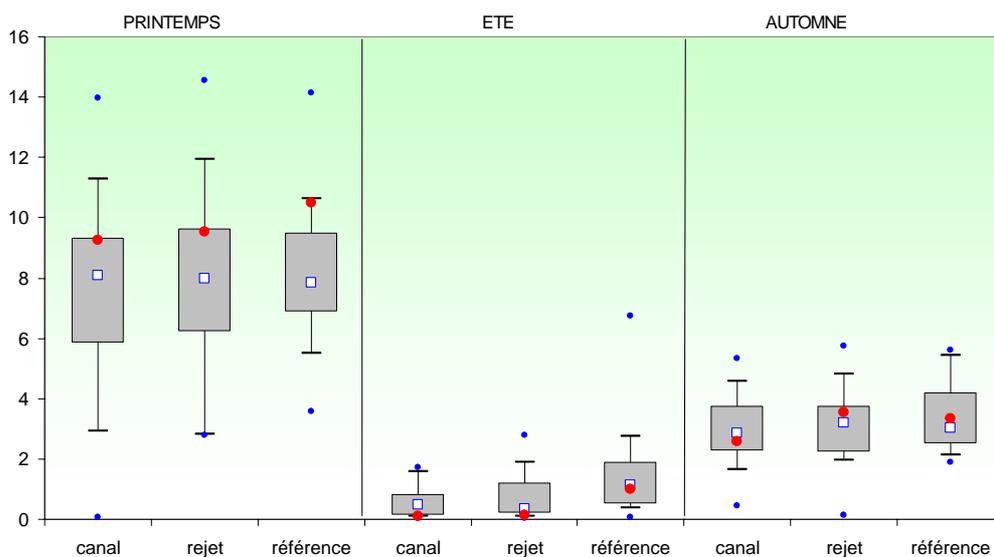


Figure 3.20 : Comparaison des distributions des concentrations en nitrate par campagne et par point depuis 1987

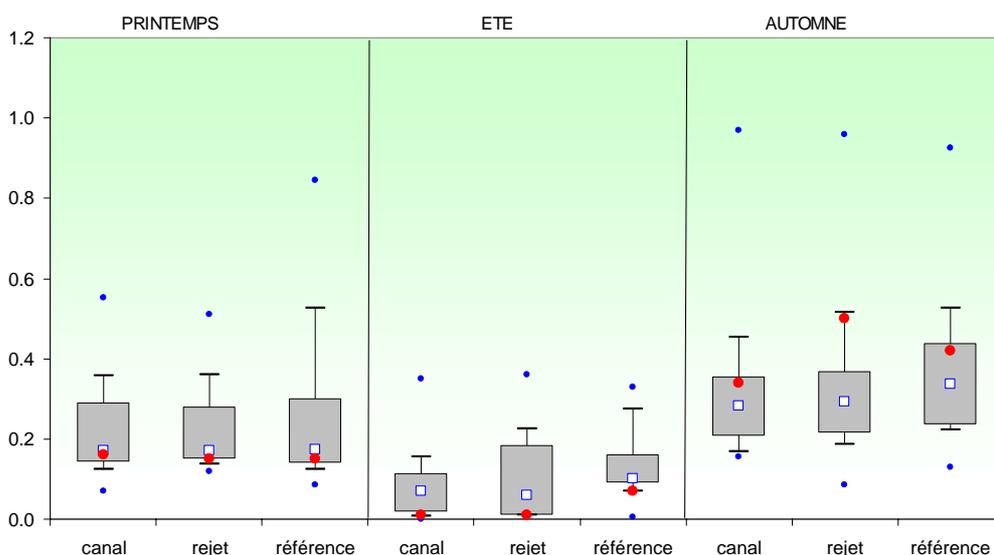


Figure 3.21 : Comparaison des distributions des concentrations en nitrite par campagne et par point depuis 1987

La figure 3.21 présente les variations du nitrite par saison. L'ensemble des valeurs observées en mars se situe juste au-dessous des médianes pluriannuelles. En juillet les

valeurs restent en dessous, tandis que les concentrations enregistrées en septembre se situent au-dessus des médianes. Le phénomène de régénération du nitrite en automne semble plus marqué que pour le nitrate. Les médianes du point *référence* en été et en automne présentent des valeurs supérieures à celles des deux autres points.

3.2.2.4.3 Approche statistique

Le tableau 3.7 présente les résultats des tests statistiques réalisés pour le nitrate et le nitrite entre 1987 et 2006.

	COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
NITRATE	CANAL / REJET	0,038	0,059	0,339
	REFERENCE / REJET	0,452	0,015	0,087
	CANAL / REFERENCE	0,167	0	0,045
NITRITE	CANAL / REJET	0,861	0,106	0,325
	REFERENCE / REJET	0,568	0,035	0,026
	CANAL / REFERENCE	0,704	0,001	0,003

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

Tableau 3.7 : « *p-value* » des tests statistiques sur les nitrate et nitrite

L'ensemble des résultats statistiques issus des comparaisons des valeurs en nitrate et en nitrite depuis 1987, indique des différences significatives entre le point *référence* et les points *canal* et *rejet* en été et en automne. Remarquons toutefois qu'à propos du nitrite, les résultats du test sont très proches de la valeur seuil (0,05) pour le couple de points *référence* - *rejet*. Enfin, il n'y a pas de différence globale marquée à long terme entre les eaux du *canal* et celles du point *rejet*, et il n'y a donc *a priori* pas de tendance lourde mesurable sur ce paramètre sur la série de 19 années d'observations.

Finalement en 2006, les variations des teneurs en nitrate et en nitrite sont caractéristiques d'un cycle saisonnier classique. La centrale semble donc ne pas avoir d'influence significative ni sur le cycle annuel, ni sur les teneurs de ces sels nutritifs.

3.2.2.5. Phosphate et silicate

3.2.2.5.1 Variations spatiales et saisonnières du phosphate et du silicate

Les teneurs en phosphate mesurées au cours du programme de surveillance 2006 ont été comprises entre 0,06 et 0,37 μM au point *canal*, entre 0,05 et 0,39 μM au point *rejet* et 0,09 et 0,44 μM à la *référence* en surface. Les concentrations en silicate ont varié de 1,95 à 4,13 μM au *canal*, de 2,07 à 4,71 μM au *rejet* et de 2,75 à 4,84 μM à la *référence* en surface (figures 3.22 et 3.23).

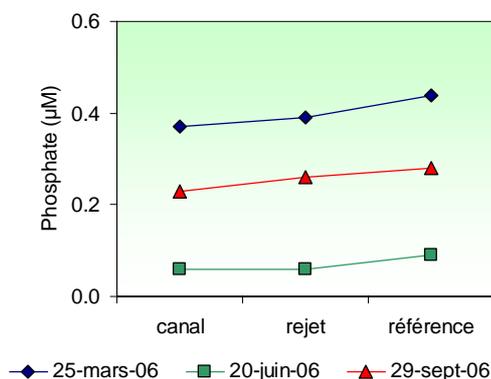


Figure 3.22 : Concentrations en phosphate (μM) dans les eaux de surface lors des campagnes 2006

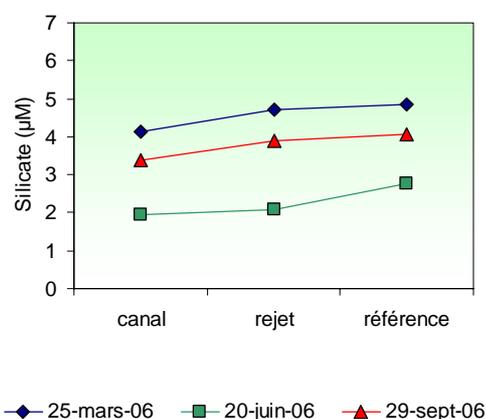


Figure 3.23 : Concentrations en silicate (μM) dans les eaux de surface lors des campagnes 2006

Les teneurs des deux sels présentent très peu de variabilité spatiale et leur évolution saisonnière est tout à fait comparable à celles observées depuis 2002. Sur l'ensemble des campagnes d'échantillonnage, les teneurs du point *référence* sont similaires en surface et à mi-profondeur. Ces résultats sont liés au caractère homogène de la colonne d'eau dans ce secteur de la Manche.

Les teneurs en phosphate présentent des variations saisonnières comparables à celles du nitrate. Au début du printemps, les concentrations sont élevées sous l'influence des apports telluriques en provenance des bassins versants et du fait de la faible activité phytoplanctonique. Elles sont du même ordre de grandeur que celles relevées par Laane (1992) au large, en Manche occidentale (0,4 à 0,5 μM pour le phosphate pour des salinités variant de 35,25 à 35,30).

En été, les teneurs diminuent fortement en raison du développement du phytoplancton. La diminution des concentrations en silicate est attribuable à une utilisation rapide de la silice par les diatomées, espèce phytoplanctonique dominante dans ce secteur tout au long de l'année (voir chapitre 3.3). En automne, les teneurs des deux sels nutritifs augmentent. Cette accumulation dans la colonne d'eau peut correspondre à des processus de régénération. Celle de la silice biogénique est en général plus marquée

que celle du phosphate sur le plateau continental Atlantique français (Ragueneau *et al.*, 1994 ; Lampert, 2001), cependant en 2006, les niveaux de régénération ont été comparables.

3.2.2.5.2 Variations inter-annuelles

Les variations des concentrations en phosphate et silicate sur la période 1987-2006 sont présentées sur les figures 3.24 et 3.25 respectivement.

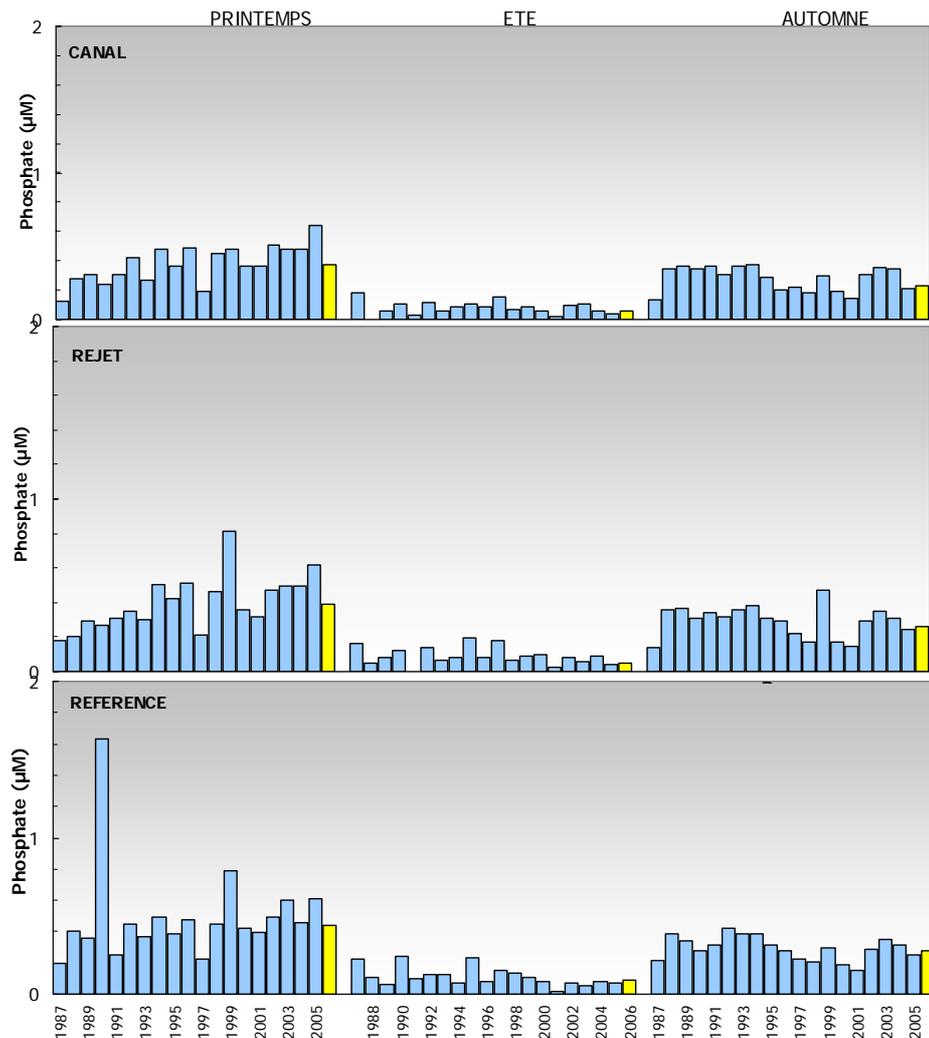


Figure 3.24 : Concentrations en phosphate dans l'eau de surface lors des campagnes 1987 à 2006

Les concentrations en phosphate observées au mois de mars sont inférieures à celles enregistrées depuis cinq années, tandis qu'en juin et septembre, celles-ci ont été légèrement supérieures à celles de 2005.

Tout comme pour le phosphate, les concentrations en silicate présentent une diminution printanière et une augmentation en juin et septembre par rapport aux concentrations de l'année 2005. Le contraste entre les valeurs des mois de mars et juin par rapport à celles de 2005 est plus marquée qu'en septembre. Les valeurs de silicate lors des campagnes printanières semble présenter une tendance croissante depuis

19 ans. Ceci reste à confirmer du fait de la forte variabilité des dates d'exécution des campagnes de printemps. Un cycle de 5 à 6 ans se détache également des figures, au mois de septembre.

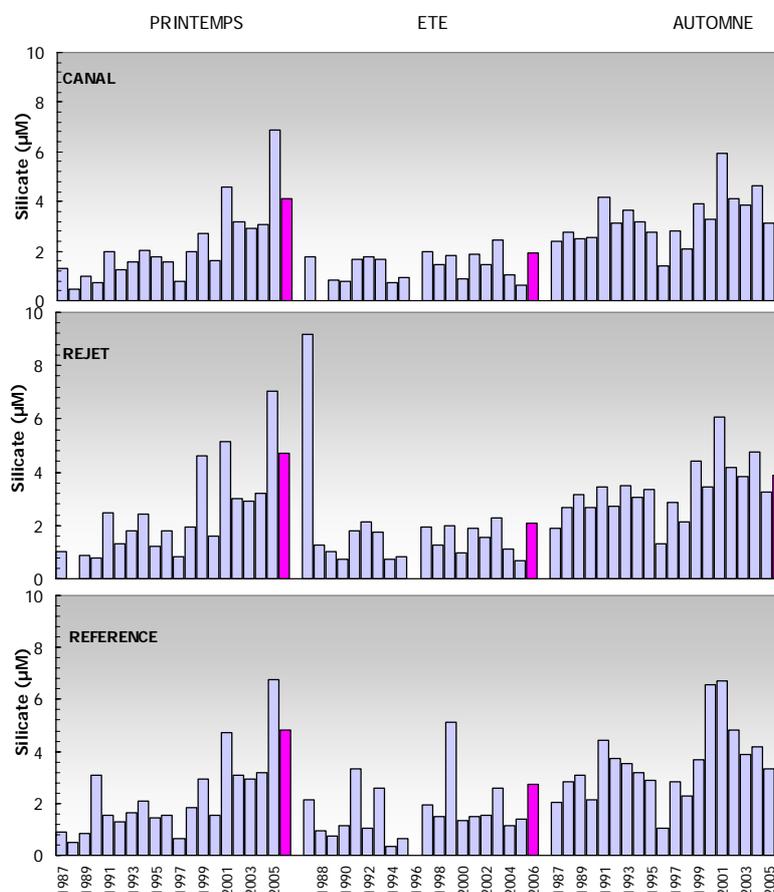


Figure 3.25 : Concentrations en silicate dans l'eau de surface lors des campagnes 1987 à 2006

La tendance saisonnière avec consommation des nutriments en été et régénération en automne est bien mise en évidence dans les figures 3.26 et 3.27. Les concentrations en phosphate sont, pour les trois campagnes, proches des médianes pluriannuelles. Au mois de septembre celles-ci ont été juste en dessous des ces médianes. Les valeurs en silicate observées sur les trois campagnes d'échantillonnage 2006 ont été supérieures aux médianes, et tout particulièrement en mars et en juin, où les valeurs se situent aux alentours du seuil haut de 80 % de valeurs. Pour ces deux nutriments, le gradient côte-large n'est pas très marqué, et seulement au mois de mars, nous observons un léger décalage à la hausse pour le phosphate et à la baisse pour le silicate. Le silicate semble avoir une plus forte dispersion que le phosphate, avec une plus faible différence entre les médianes du printemps et celles de l'été. La tendance sur les 19 dernières années est donc en accord avec les cycles phytoplanctoniques saisonniers traditionnellement décrits dans la littérature scientifique. Le phosphate semble pourtant rester dans des concentrations plus élevées que celles enregistrées sur le plateau continental français.

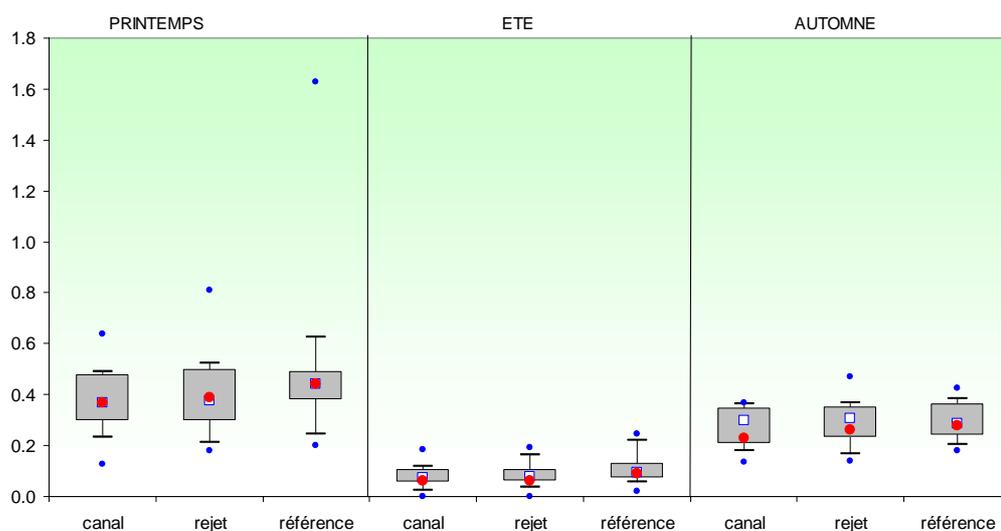


Figure 3.26 : Comparaison des distributions des concentrations en phosphate par campagne et par point depuis 1987

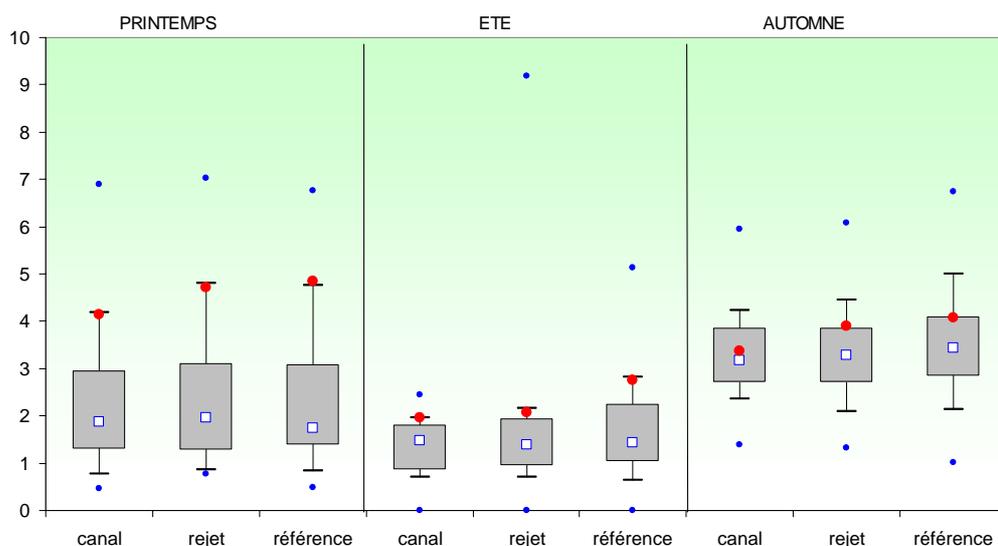


Figure 3.27 : Comparaison des distributions des concentrations en silicate par campagne et par point depuis 1987

3.2.2.5.3 Approche statistique

Les résultats des tests statistiques réalisés sur les teneurs en phosphate et en silicate aux différents points sont présentés dans le tableau 3.8. Cette étude révèle qu'il n'existe généralement pas de différence spatiale significative des teneurs sur la période 1987-2006.

Seules les teneurs en phosphate du couple *référence* – *rejet* au printemps, et en été du point *référence* par rapports aux autres deux points, s'avèrent significativement différentes. Cependant, notons la *p-value* proche du seuil de 0,05 pour le test du phosphate en été.

	COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
PHOSPHATE	CANAL / REJET	0,383	0,280	0,717
	REFERENCE / REJET	0,062	0,024	0,138
	CANAL / REFERENCE	0,007	0,018	0,068
SILICATE	CANAL / REJET	0,064	0,131	0,567
	REFERENCE / REJET	0,061	0,433	0,211
	CANAL / REFERENCE	0,737	0,077	0,130

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

Tableau 3.8 : « *p-value* » des tests statistiques les phosphate et silicate

La centrale peut représenter une source en phosphate. La réfrigération de certains circuits auxilliaires est assurée par de l' eau déminéralisée conditionnée au phosphate trisodique (Na₃PO₄). Les purges des circuits auxiliaires occasionnent des rejets qui atteignent environ 1 t/an (0,56 t en 2004 ; cf. Rapport annuel de surveillance de l'environnement ; EDF). Les résultats des tests statistiques montrent que ces rejets ne sont pas perceptibles. Les teneurs en phosphate et en silicate semblent présenter des variations saisonnières classiques, avec des concentrations en silicate printanières élevées. Finalement, la centrale via ses rejets, ne semble donc pas avoir d'impact sur les teneurs et sur les variations saisonnières de ces deux nutriments.

3.2.2.6. Matières en suspension (MES)

3.2.2.6.1. Variations spatiales et saisonnières des matières en suspension

Les teneurs en MES mesurées au cours du programme de surveillance 2006 ont été comprises entre 1,8 et 3,9 mg/L au point *canal*, entre 1,5 et 2,8 mg/L au point *rejet* et 1,6 et 31,1 mg/L au point *référence* (figure 3.28). Les valeurs en MES décroissent du printemps vers l'été, mettant en évidence le plus fort hydrodynamisme du début de printemps.

La valeur de 31,1 mg/L observée au point *référence* en mars, semble cependant ne pas correspondre au schéma classiquement rencontré, où en cas de fort hydrodynamisme, l'ensemble de valeurs est affecté. Il peut donc s'agir d'une erreur analytique ou d'échantillonnage.

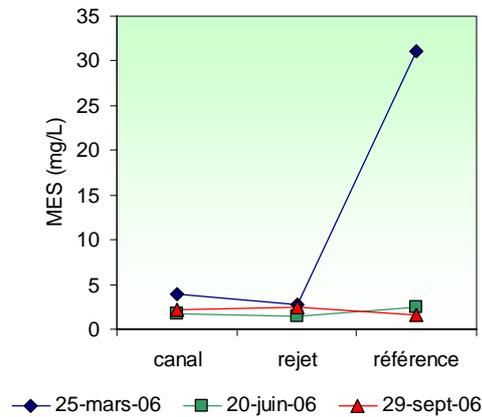


Figure 3.28 : Concentrations en MES dans les eaux de surface lors des campagnes 2006

3.2.2.6.2. Variations inter-annuelles

Les variations en MES observées depuis le début de la surveillance de la centrale de Flamanville sont présentées dans la figure 3.29. Les premières mesures en MES, qui ont eu lieu en 2001, ont fait suite au nouvel arrêté d’autorisation de rejet de mai 2000.

Nous observons l'extrême variabilité de ce paramètre, plus influencé par les conditions météorologiques et les courants de marée dans la zone côtière que par la production phytoplanctonique ou l’activité de la centrale.

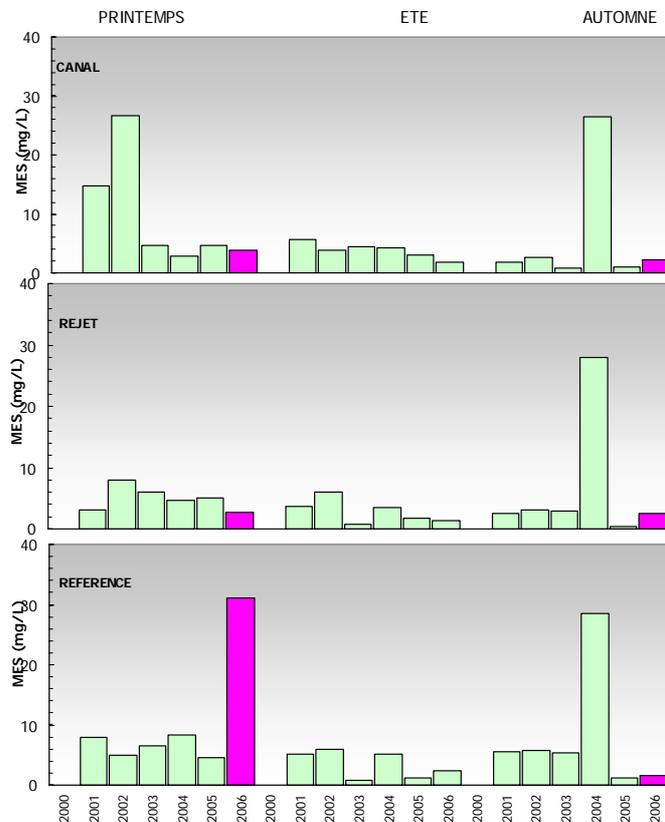


Figure 3.29 : Concentrations en MES dans l'eau de surface lors des campagnes 2000 à 2006

La faible quantité de valeurs dont nous disposons aujourd'hui ne permet pas encore de réaliser des approches statistiques satisfaisantes pour ce paramètre.

3.2.2.7. Bore

Les circuits d'eau de la centrale doivent répondre à des spécifications chimiques très strictes qui sont respectées en ajoutant à l'eau déminéralisée des produits de conditionnement. Parmi ceux-ci, l'acide borique (H_3BO_3) est utilisé dans l'eau du circuit primaire en tant qu'absorbant neutronique pour compenser les variations lentes de réactivité.

Les rejets en milieu marin se font par l'intermédiaire des effluents radioactifs liquides en conformité avec la valeur fixée par la réglementation (40 tonnes d'acide borique selon les termes de l'arrêté interministériel du 11 mai 2000).

La concentration en acide borique couramment observée en eau de mer est de 25,6 mg/L, soit environ 4,5 mg/L de bore.

3.2.2.7.1. Variations spatiales et saisonnières du bore

La concentration du bore en 2006 a varié de 4,6 à 6,7 mg/L (figure 3.30). Les valeurs observées en juin sont supérieures à celles observées en mars et septembre. Les concentrations en bore en 2006 ont été en général supérieures à celles observées en 2005, tout particulièrement au mois de juin où les valeurs aux points canal, rejet et référence sont supérieures à 5.5 mg/L. Le rejet par la centrale d'effluents contenant une faible quantité de bore au moment de l'échantillonnage, ne permet pas d'expliquer, après prise en compte de la dilution, ces concentrations mesurées dans le milieu. Ce paramètre fera l'objet d'une vigilance particulière lors des prochaines campagnes de surveillance. Depuis le début du suivi du bore, en septembre 2000, les valeurs du mois de juin 2006 représentent les maxima absolus enregistrés. Au mois de mars, la concentration du bore dans les eaux du point *canal* est supérieure à celles des points *rejet* et *référence*. Au mois de septembre les trois valeurs sont similaires et aucun gradient n'est observé. Les valeurs de bore au point *rejet* sont tantôt inférieures à celles des autres points, tantôt supérieures.

Un essai inter laboratoire national a été réalisé en janvier 1987 afin de comparer la répétitivité et la reproductibilité des méthodes d'analyse sur un même échantillon. L'écart type obtenu est de 0,06 mg/L pour la répétitivité et de 0,18 mg/L pour la reproductibilité. Ces valeurs, bien qu'anciennes, permettent de calculer l'intervalle de confiance liée à la méthodologie.

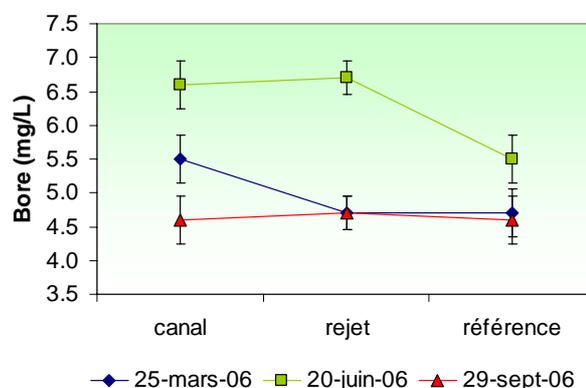


Figure 3.30 : Concentrations en bore dans l'eau de surface lors des campagnes 2006 avec les intervalles de confiance ($\alpha = 0,05$)

3.2.2.7.2. Variations inter-annuelles

Les variations en bore observées dans le cadre de la surveillance de la centrale de Flamanville sont présentées dans la figure 3.31. Les concentrations en bore en 2006 ont été en général supérieures à celles observées en 2005, et tout particulièrement au mois de juin, qui semble présenter une augmentation régulière des concentrations.

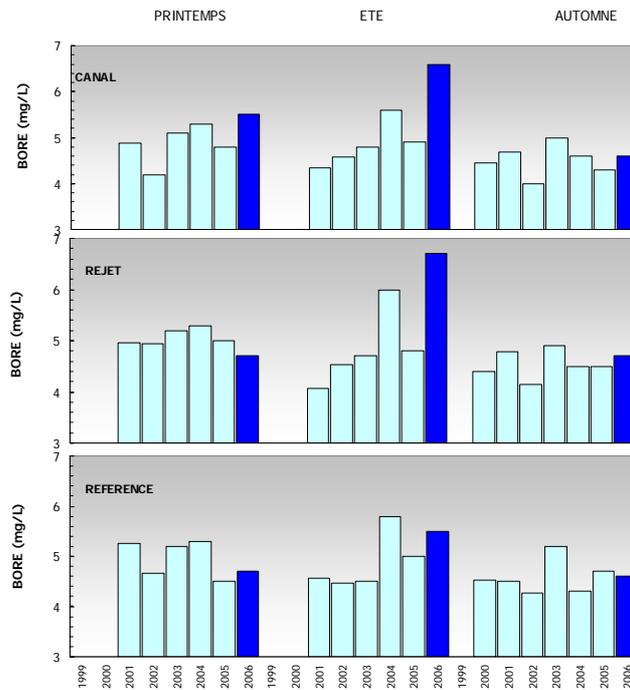


Figure 3.31 : Concentrations en bore dans l'eau de surface lors des campagnes 2000 à 2006

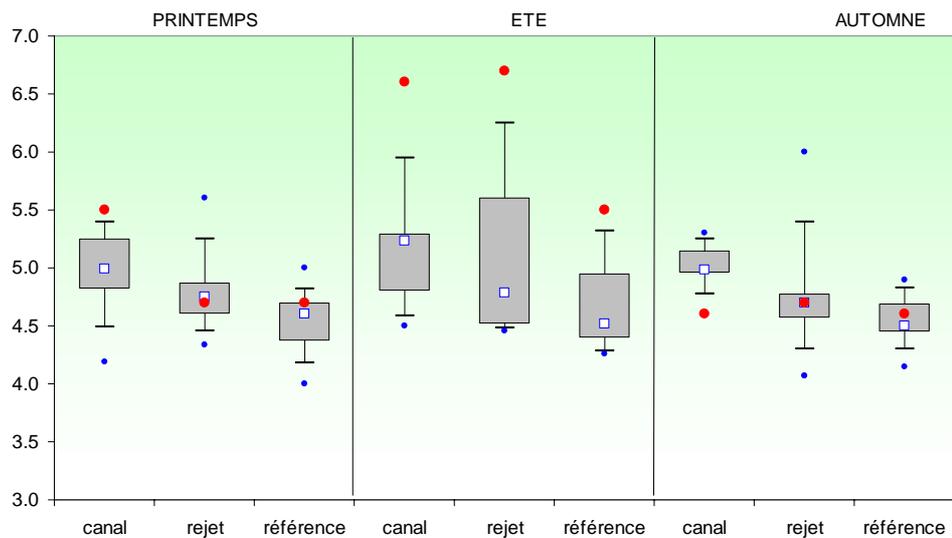


Figure 3.32 : Comparaison des distributions des concentrations en bore (mg/L) par campagne et par point depuis septembre 2000

Avec cinq ou six résultats minimum obtenus sur l'ensemble de points, nous pouvons déjà faire une représentation en boîte à moustaches (figure 3.32). Bien que ponctuellement les gradients côte-large aient des allures différentes, les médianes présentent un gradient décroissant entre les points *canal* et *référence*.

3.2.2.7. Trihalométhanes

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

Les quatre formes organo-halogénées recherchées sont :

- Tribromométhane = 'bromoforme' (CHBr_3),
- Dibromomonochloro-méthane (CHBr_2Cl),
- Dichloromonobromo-méthane (CHBrCl_2),
- Trichlorométhane = 'chloroforme' (CHCl_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 ils ont constaté que le taux d'inhibition de croissance de 50 % par rapports aux cultures témoins se trouvait à des concentrations en chloroforme et bromoforme supérieures à 32 mg/L.

Les résultats obtenus à l'issue des trois campagnes annuelles n'ont pas dépassé les limites de détection analytique de la méthode utilisée. Ce seuil est égal à 4 $\mu\text{g/L}$ pour le bromoforme et de 1 $\mu\text{g/L}$ pour les trois autres composés.

3.2.3. Conclusion

Les températures de l'eau de mer enregistrées lors des campagnes 2006 montrent l'effet d'un automne avec des valeurs supérieures aux médianes pluriannuelles, inférieures en juin et très inférieures en mars, où les valeurs minimales de la série ont été atteintes. Les écarts de température entre les point *rejet* et *référence* se situent autour des médianes pour les trois campagnes, sans dépasser cependant 2,5° C. Les échantillons prélevés aux abords du rejet (quelques dizaines de mètres) présentent des taux de dilution théoriques importants (environ 90% en moyenne depuis 1987). D'ailleurs, la modélisation du rejet montre que l'évolution spatiale de la tâche thermique est fortement dépendante des courants de marée, mais que l'impact thermique reste très localisé autour de la centrale et près des côtes.

La salinité a suivi un schéma annuel peu classique, avec des valeurs, au mois de septembre, qui se situent entre celles des mois de mars et juin. Ce phénomène suggère l'action de la pluviométrie des jours précédant la campagne de juin. Le 25 juin ont été enregistrées 24,6 mm de pluie sur le site de Flamanville.

L'ensemble de nutriments mesurés pendant les campagnes 2006 présente un cycle saisonnier classique : suite à l'augmentation de l'ensoleillement, les sels nutritifs sont consommés par le phytoplancton entre le printemps et l'été, puis les processus de régénération suivent en automne. Les concentrations en ammonium ont suivi un cycle inverse, avec une forte valeur observée au point *référence* en juin. Les concentrations en silicate ont été supérieures aux médianes pluriannuelles sur l'ensemble de points.

Les MES présentent des valeurs inférieures à 5 mg/L sur toutes les campagnes, à l'exception de la valeur égale à 31,1 mg/L enregistrée au point *référence* au mois de mars. Lors des campagnes de mars et de septembre, les concentrations en bore ont été celles observées couramment depuis 2000. En juin celles-ci ont atteint les valeurs maximum de la série pluriannuelle, avec respectivement 6,7 et 6,6 mg/L aux points rejet et canal. Les valeurs de l'ensemble des produits de chlorations recherchés dans l'eau de mer ont été inférieures au seuil de détection analytique.

Hors les valeurs élevées de bore en juin, que nous ne pouvons pas expliquer dans le contexte local, le principal impact sur l'écosystème est l'échauffement de l'eau aux abords proches du *rejet*. La centrale via ses rejets ne semble donc pas modifier les caractéristiques hydrologiques intrinsèques du milieu (teneurs et variations saisonnières).

3.3. Phytoplancton

L'étude quantitative de l'activité photosynthétique des peuplements phytoplanctoniques complétée par la détermination de la biomasse, l'identification et le dénombrement des cellules, permet de suivre l'évolution des populations 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.

C'est au moyen des descripteurs précités que ce chapitre traitera des résultats quantitatifs et qualitatifs de l'étude des populations phytoplanctoniques présentes lors des trois campagnes de surveillance réalisées en 2006.

3.3.1. Matériel et méthode

Les prélèvements d'eau en vue de l'étude du phytoplancton ont été réalisés aux mêmes points et niveaux que pour les paramètres physico-chimiques et avec le même matériel (voir § 3.2.1.1. page 34). Les prélèvements sont effectués avec des bouteilles Niskin, en surface pour les points *canal* et *rejet*, et en surface et à mi profondeur pour le point *référence*. A chaque point de prélèvement, trois échantillons sont prélevés pour les analyses de la production primaire. Un pour la production sans lumière, et deux pour la production « claire ».

3.3.1.1. **Mesure de la chlorophylle et de la production primaire**

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

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

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) retenue par les organismes d'un échantillon d'eau de mer pendant un laps de temps donné. Une quantité connue de carbonate de sodium à atome de 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 déterminé 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. A 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 à la fois dans un flacon à parois claires et dans un flacon à parois obscures. L'inoculation et l'incubation des deux sous-échantillons s'effectuent dans les mêmes conditions. Les résultats présentés correspondent aux incubation des flacons clairs.

3.3.1.2. Étude systémique du phytoplancton

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

3.3.2. Résultats

Les résultats obtenus en 2006 sont donnés par le tableau 3.10 ci-dessous.

	(Valeurs moyennes \pm écart type)	CANAL D'AMENEE	REJET	REFERENCE	
				SURFACE	-10 M
25 MARS	<i>Chlorophylle a</i> ($\mu\text{g/L}$)	2,33	2,47	1,20	1,33
	<i>Phéopigments</i> ($\mu\text{g/L}$)	0,84	0,66	0,19	0,18
	<i>Prod. Primaire</i> ($\text{mg C/m}^3/\text{h}$)	7,5	7,8	5,3	4,9
	<i>microphytoplancton</i> (nbre/L)	121 900	105 900	62 400	69 150
20 JUIN	<i>Chlorophylle a</i> ($\mu\text{g/L}$)	0,90	1,24	0,97	0,96
	<i>Phéopigments</i> ($\mu\text{g/L}$)	0,40	0,09	0,14	0,19
	<i>Prod. Primaire</i> ($\text{mg C/m}^3/\text{h}$)	3,9	4,9	6,4	7,4
	<i>microphytoplancton</i> (nbre/L)	104 200	125 050	33 400	17 800
29 SEPTEMBRE	<i>Chlorophylle a</i> ($\mu\text{g/L}$)	1,70	1,72	0,98	0,75
	<i>Phéopigments</i> ($\mu\text{g/L}$)	0,62	0,79	0,25	0,42
	<i>Prod. Primaire</i> ($\text{mg C/m}^3/\text{h}$)	7,9	8,0	4,8	5,4
	<i>microphytoplancton</i> (nbre/L)	208 900	91 800	112 500	83 400

Tableau 3.10 : Moyenne et écart type des paramètres phytoplanctoniques au droit du CNPE de Flamanville en 2006

3.3.2.1. Biomasse chlorophyllienne**3.3.2.1.1 Variations spatiales et saisonnières de la chlorophylle**

Au cours de l'année 2006, les valeurs de chlorophylle *a* s'échelonnent entre 0,75 µg/L au point *référence* (mi profondeur) en septembre et 2,47 µg/L au point *rejet* en mars (figure 3.33). Ces valeurs mettent en évidence les faibles biomasses phytoplanctoniques observées lors des campagnes 2006 par rapport aux valeurs observées sur la Manche orientale (centrales de Paluel et de Penly). Ces valeurs sont en accord avec les valeurs observées en 1978 lors de l'étude écologique de projet de la centrale de Flamanville (1980). Au printemps nous observons les plus fortes valeurs de biomasse, avec un gradient décroissant *canal-référence*. Ce même gradient est enregistré lors de la campagne de septembre, et un gradient inverse en été. Le point *référence* présente une étonnante stabilité de valeurs lors des trois campagnes annuelles.

Les concentrations en chlorophylle, suivent l'évolution des nutriments, avec des valeurs maximales au printemps, minimales en été, et intermédiaires en automne. (cf. 3.3.2.).

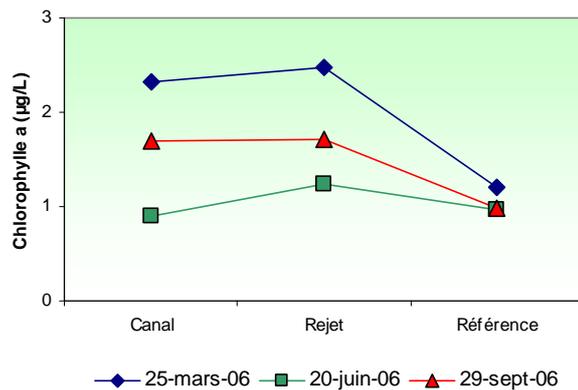


Figure 3.33 : Évolution de la chlorophylle lors des trois campagnes de surveillance 2006

3.3.2.1.2 Variations inter-annuelles

Les valeurs de concentration en chlorophylle aux mois de mars et septembre ont été supérieures à celles observées en 2005 (figure 3.34). Au mois de mars, aux points *canal* et *rejet*, les valeurs enregistrées ont doublé par rapport à l'année précédente. En été toutes les valeurs ont été inférieures à celles de 2005.

La figure 3.35 montre une plus faible dispersion des valeurs au printemps par rapport aux deux autres saisons. Les boîtes (50% des valeurs et 80% dans les moustaches) restent homogènes entre elles avec peu de variabilité sur les trois points. L'été présente une plus forte dispersion avec des boîtes qui restent relativement réduites et dont les tailles sont proches de celles du printemps. Les moustaches par contre, s'étalent vers les fortes valeurs, les valeurs extrêmes dépassent 4 µg/L. Bien qu'en automne les boîtes soient plus réduites, la forte dispersion des valeurs est toujours présente avec des valeurs maximales jusqu'à cinq fois supérieures à la médiane.

Les concentrations en chlorophylle des points *canal* et *rejet*, enregistrées en mars et septembre, se situent au dessus des médianes, où pour le mois de mars, celles-ci

représentent les maxima absolus de la série pluriannuelle. En été les valeurs de chlorophylle sont proches des médianes.

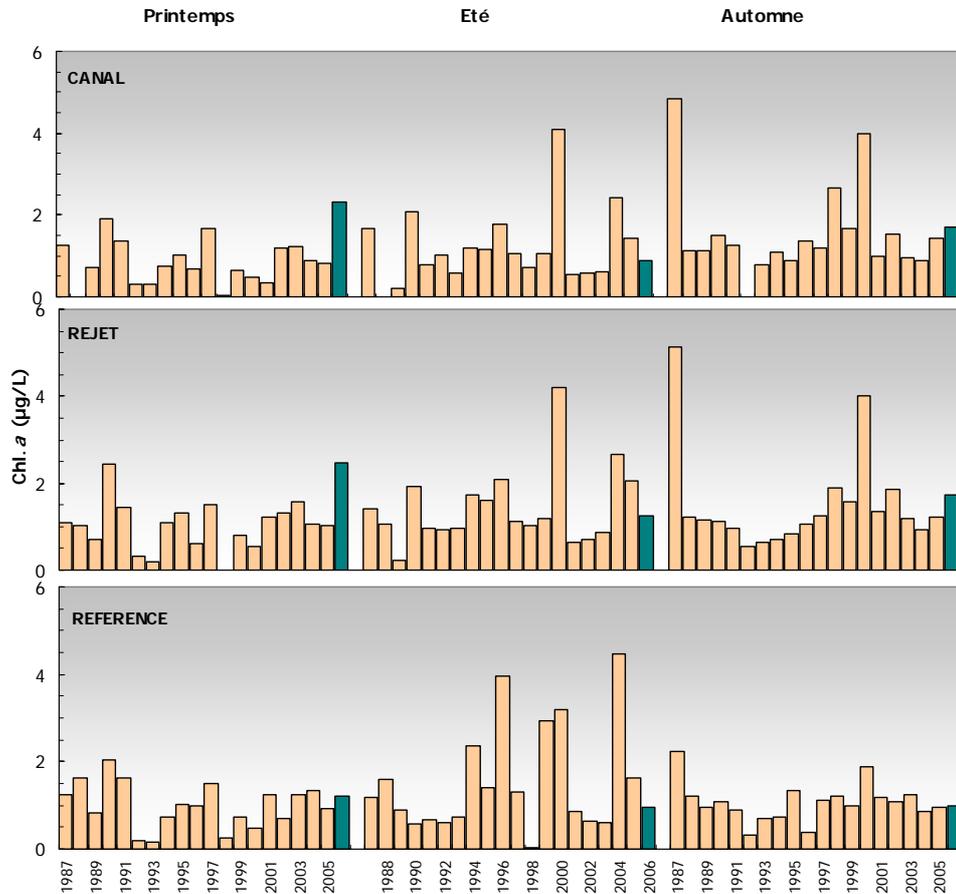


Figure 3.34 : Évolution de la chlorophylle de 1987 à 2006

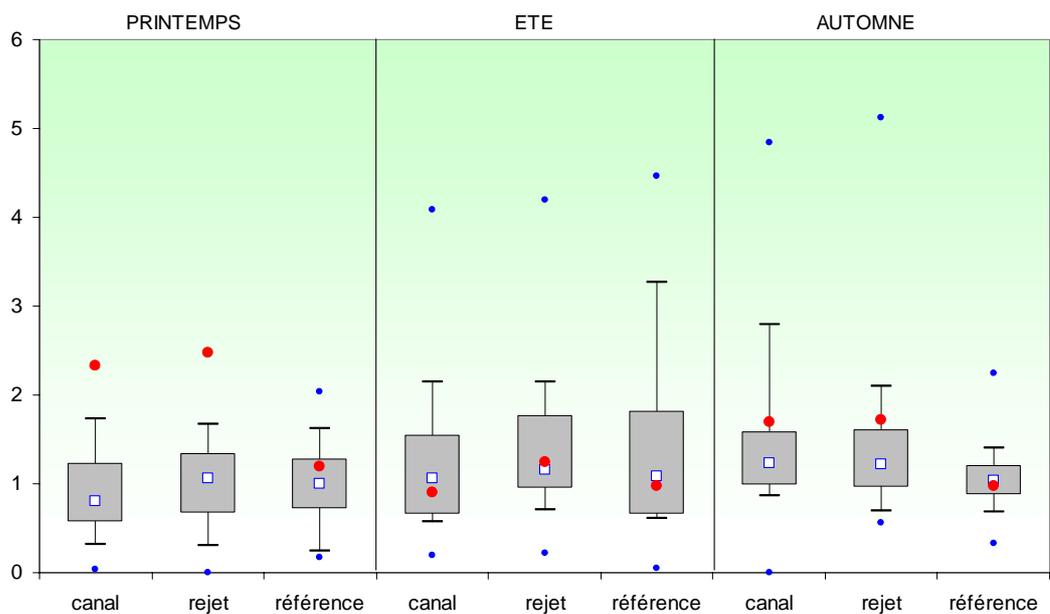


Figure 3.35 : Évolution de la chlorophylle de 1987 à 2006

3.3.2.1.3 Approche statistique

Les tests statistiques présentés dans le tableau 3.11 confirment les tendances pluriannuelles déjà mises en évidence dans la figure 3.35. Il faut noter essentiellement la différence significative observée en automne entre le point *référence* et les deux autres points.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,033	0,002	0,688
REFERENCE / REJET	0,507	0,609	0,003
CANAL / REFERENCE	0,514	0,240	0,014

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

Tableau 3.11 : « *p-value* » des tests statistiques sur la chlorophylle

3.3.2.2. Production primaire

3.3.2.2.1 Variations spatiales et saisonnières de la production primaire

Les valeurs mesurées en 2006 sont comprises entre 3, 9 mg C/m³/h en juin au point *canal* et 8,0 mg C/m³/h au point *rejet* en septembre (figure 3.36).

En 2006, les plus faibles valeurs de production primaire sont observées en été, aux points *canal* et *rejet*, avec un gradient croissant côte-large. Les valeurs observées en mars et septembre ont été très similaires sur les trois points de suivi. Celles-ci montrent un gradient inverse à celui mis en évidence au mois de juin.

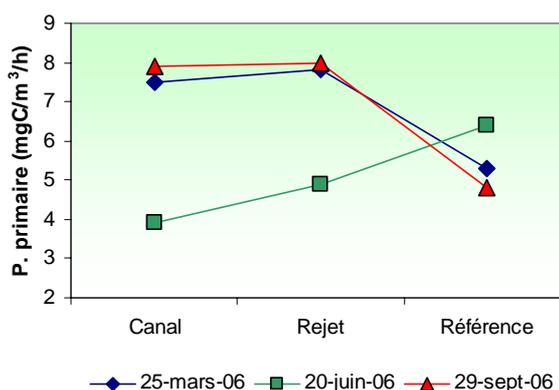


Figure 3.36 : Évolution de la production primaire lors des trois campagnes de surveillance 2006

3.3.2.2.2 Variations inter-annuelles

Toutes les valeurs de production primaire obtenues en mars 2006 ont été supérieures à celles observées en 2005 (figure 3.37). En juin et septembre, et à l'exception de la valeur du point *rejet* de septembre, toutes les valeurs ont été inférieures à celles de 2005.

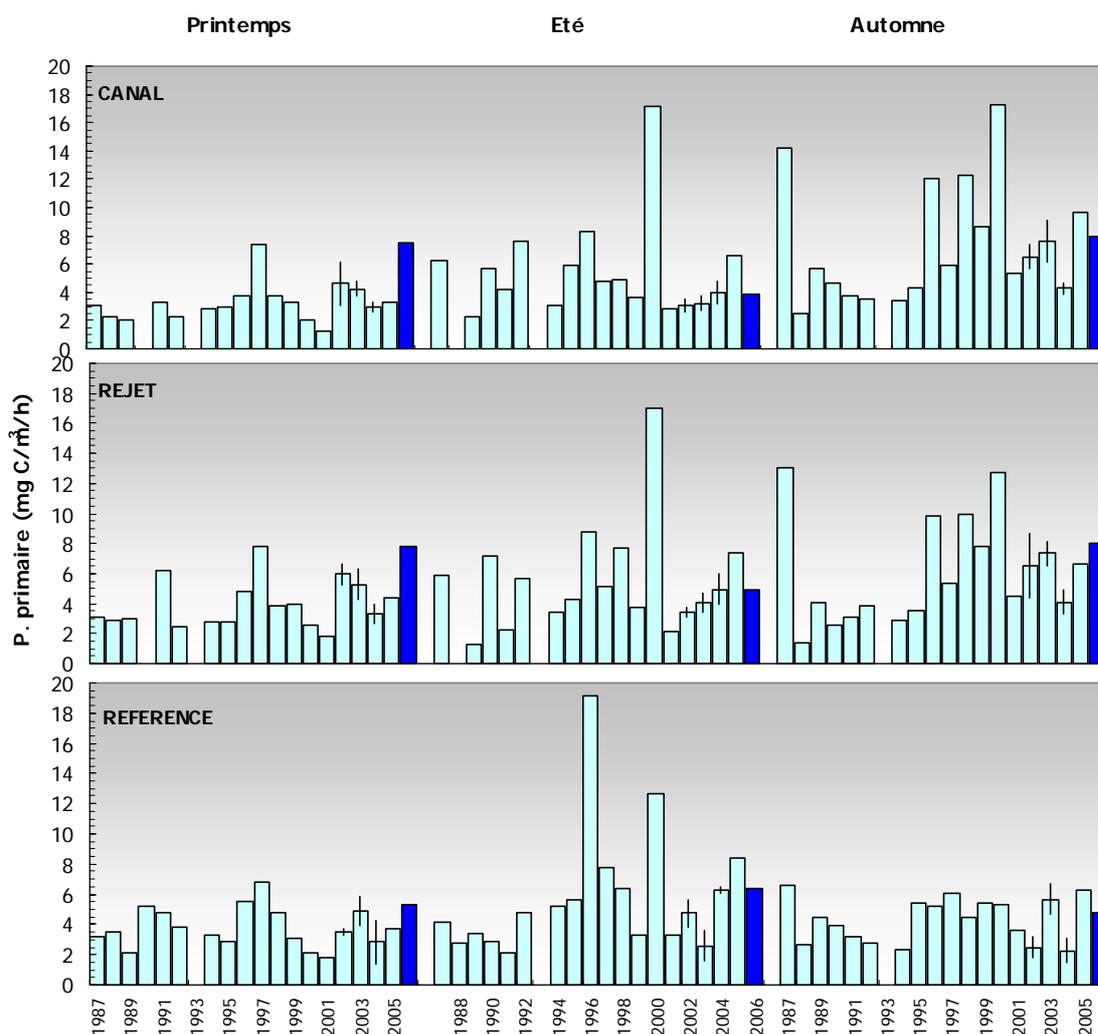


Figure 3.37 : Évolution de la production primaire de 1987 à 2006

Tout comme pour la biomasse chlorophyllienne, la dispersion des valeurs observées sur les trois points en mars est moindre qu'en juillet et septembre (figure 3.38). Les valeurs des médianes printanières sont légèrement inférieures à celles de juillet, mettant en évidence une moins forte production primaire au printemps. Les valeurs de production primaire observées en 2006, se situent en règle générale, au-dessus des médianes pluriannuelles.

La tendance pluriannuelle montre une augmentation saisonnière des valeurs médianes de production primaire. Cette tendance ne se confirme pas en 2006, où les plus faibles valeurs ont été observées au mois de juin.

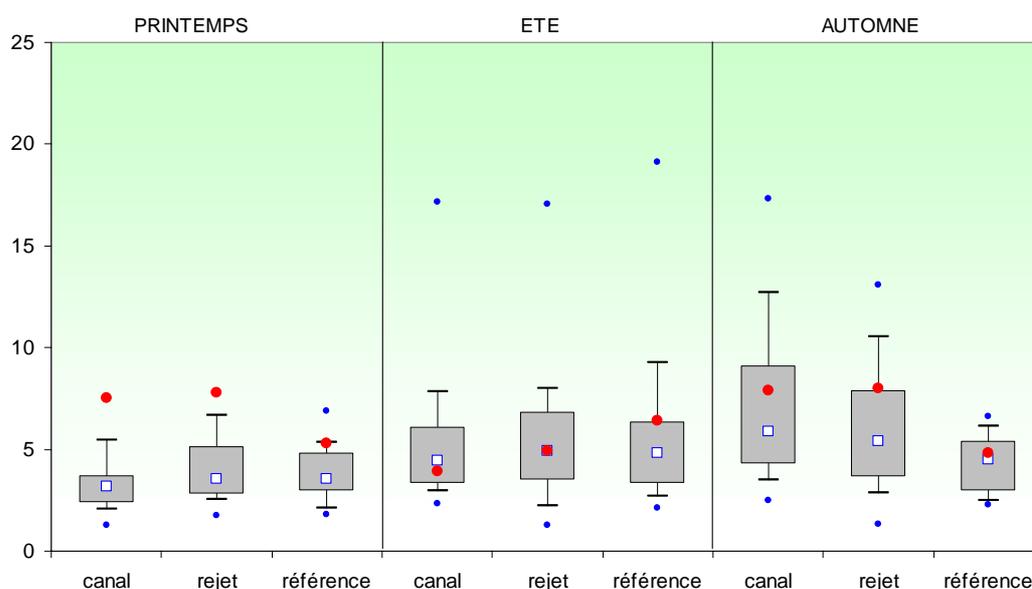


Figure 3.38 : Évolution de la production primaire de 1987 à 2006

Les valeurs estivales présentent les plus fortes dispersions. Le point *référence* en automne présente une étonnante faible dispersion des valeurs par rapport à celles des points *canal* et *rejet*. Cette faible dispersion au point *référence* reste difficile à expliquer et présente en plus, une médiane plus faible.

3.3.2.2.3 Approche statistique

A l'exception de l'automne, où les trois points présentent des différences significatives entre elles, seule la différence entre le point *canal* et *rejet* au printemps est significative (tableau 3.12).

COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,001	0,703	0,001
REFERENCE / REJET	0,164	0,523	0,010
CANAL / REFERENCE	0,215	0,580	0,001

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

Tableau 3.12 : « p-value » des tests statistiques sur la production primaire

3.3.2.3. Microphytoplancton

3.3.2.3.1. Variations spatiales et saisonnières du microphytoplancton

Les dénombrements microphytoplanctoniques effectués en 2006 sont présentés figure 3.39. Ils sont exprimés en nombre de cellules par litre d'eau de mer. Les plus fortes abondances ont été observées sur le point *canal* en septembre avec 208 900 cellules/L et les plus faibles au point *référence* (mi profondeur) en juin avec 17 800 cellules/L. Nous observons un gradient décroissant côte-large (*canal-référence*) sur les trois campagnes annuelles. La valeur observée au point *rejet* est tantôt supérieure, tantôt

inférieure à celles du point *canal*. Les mois de mars et de juin présentent des valeurs similaires.

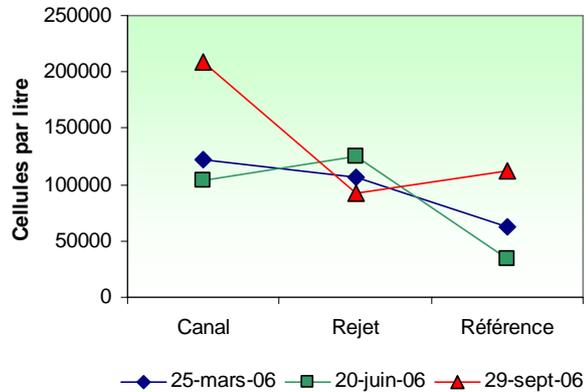


Figure 3.39 : Abondances microphytoplanctoniques pour l'année 2006 en nombre de cellules/L d'eau de mer

3.3.2.3.1 Variations inter-annuelles

A l'exception des valeurs observées au point *canal* en mars, toutes les abondances cellulaires enregistrées en mars et juin 2006 ont été inférieures à celles de 2005 (figure 3.40). Celles observées en septembre 2006 ont été toutes supérieures à celles de 2005.

Suivant le schéma déjà mis en évidence par la chlorophylle *a* et par la production primaire, l'abondance phytoplanctonique présente les plus faibles valeurs et dispersions au printemps (figure 3.41). En juin et septembre les dispersions de valeurs autour de la médiane sont jusqu'à six fois supérieures. Cette dispersion n'est pas homogène. Les boîtes contenant 50 % des valeurs sont relativement réduites et se situent dans la zone des faibles valeurs en été et en automne. Dans ces périodes, la variabilité peut donc être plus forte certaines années. Les valeurs observées en mars se situent toutes au dessus des médianes, ou proche de celle-ci (point *référence*). En juin, seule la valeur du point *référence* se situe en dessous de la médiane, tandis qu'en septembre le point *rejet* reste proche de la médiane et les deux autres points se situent au-dessus.

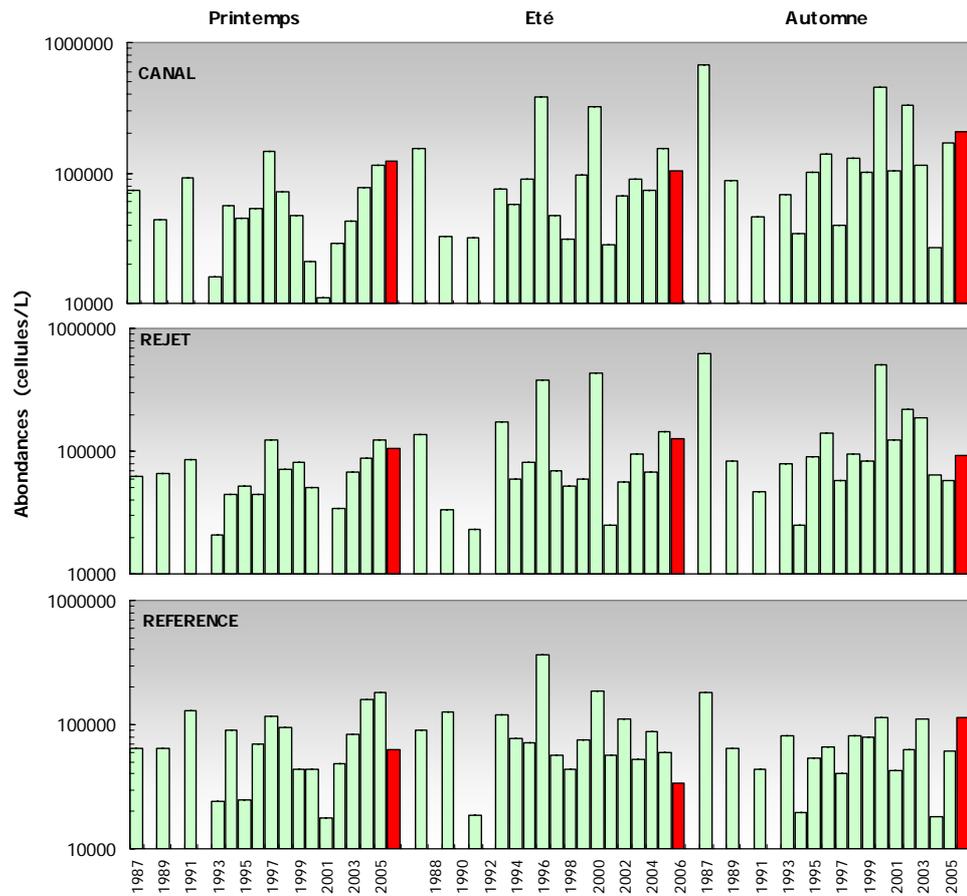


Figure 3.40 : Évolution de l'abondance phytoplanctonique de 1987 à 2006

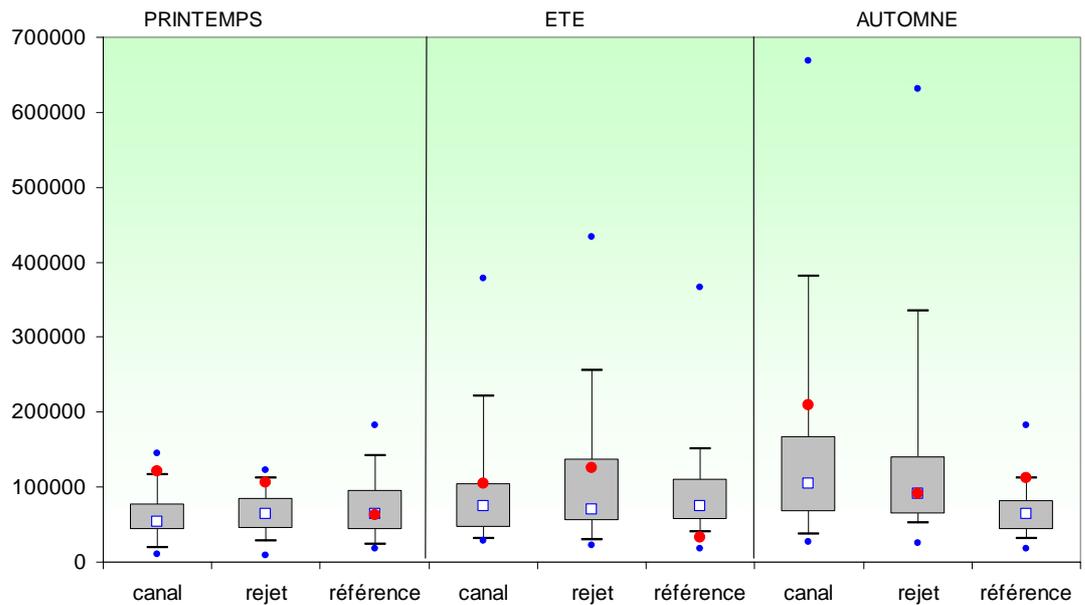


Figure 3.41 : Évolution de l'abondance phytoplanctonique de 1987 à 2006

3.3.2.3.2 Approche statistique

Les tests statistiques du tableau 3.13 confirment, tout comme pour la production primaire, l'existence d'une différence entre les points au mois de septembre, à l'exception du couple *canal-rejet*.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,317	0,796	0,288
REFERENCE / REJET	0,157	0,404	0,001
CANAL / REFERENCE	0,079	0,408	0,001

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

Tableau 3.13 : « *p-value* » des tests statistiques sur l'abondance phytoplanctonique

3.3.2.4. Populations phytoplanctoniques observées en 2006

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

Il faut noter que certaines espèces ont été regroupées car difficilement identifiables par microscopie optique. D'autres ont été identifiées au niveau du genre ou de la classe algale. La fraction microphytoplanctonique en 2006 a été synthétisée en 4 grandes classes : Diatomées, Dinoflagellés, Euglénophycées et Silicoflagellés. En 2006, environ 60 taxons (taxons plus classes algales) ont été dénombrés. Les diatomées représentent plus de 93 % de la communauté microphytoplanctonique, ce qui fait d'elles, la classe microphytoplanctonique dominante (tableau 3.14).

Campagne	Station	MICROPHYTOPLANCTON				TOTAL	Dinoflagellés %	Diatomées %
		diatomées	dinoflagellés	euglènes	silicoflagellés			
IGA 2006-1	canal	121000	450	0	450	121900	0	99
IGA 2006-1	rejet	104600	0	200	1100	105900	0	99
IGA 2006-1	ref surf	60800	1400	0	200	62400	2	97
IGA 2006-1	ref 1/2 prof.	66900	1800	0	450	69150	3	97
IGA 2006-2	canal	103300	450	450	0	104200	0	99
IGA 2006-2	rejet	116900	3200	4500	450	125050	3	93
IGA 2006-2	ref surf	32400	200	800	0	33400	1	97
IGA 2005-2	ref 1/2 prof.	16800	600	400	0	17800	3	94
IGA 2006-3	canal	203100	4300	1200	300	208900	2	97
IGA 2006-3	rejet	91200	600	0	0	91800	1	99
IGA 2006-3	ref surf	104900	5500	1800	300	112500	5	93
IGA 2006-3	ref 1/2 prof.	81200	1400	600	200	83400	2	97

Tableau 3.14 : Abondances des principales classes algales (cellules/L) pour l'année 2006

L'essentiel du microphytoplancton est composé par des diatomées sur les zones côtières de l'Atlantique nord-est. Cependant il faut garder à l'esprit que bien souvent la fraction nanophytoplanctonique (espèces algales dont la taille est comprise entre

2 µm et 20 µm), difficilement accessible par microscopie optique, peut devenir majoritaire, tant par son abondance que sa biomasse (Lampert, 2001).

Les Cryptophycées, représentantes du nanophytoplancton, ont été dénombrées avec des abondances comprises entre 65 800 cellules/L au point *canal* en mars et 378 500 cellules/L au point *référence* en septembre. Ceci donne la mesure de l'importance de la fraction nanophytoplanctonique et son poids en terme de biomasse.

Les principales espèces dénombrées en 2006 ont été les suivantes :

Mars 2006 : comme lors de deux années précédentes, les colonies des genres de diatomées *Thalassiosira* et *Skeletonema* ont représenté entre 65 % et 79 % des espèces microphytoplanctoniques (tableau 3.15 et figure 3.40). *Thalassiosira*, à elle seule, présente des dominances de 40 % et 60 % respectivement, aux points *référence* à mi profondeur et *canal* ; tandis que les dominances des points *rejet* et *référence* en surface sont de 55 % et 43 %. *Thalassiosira levanderii* et *T. rotula* étant les espèces les plus représentées de ce genre. L'espèce *Skeletonema costatum* présente un profil de dominance croisé avec celui de *Thalassiosira sp.* Sa dominance maximale se situe au point *référence* à mi profondeur, point où *Thalassiosira sp.* présente sa plus faible dominance. *Chaetoceros sp.* présente un gradient décroissant côte-large avec des valeurs en surface allant de 9 % à 2 %. *Nitzschia sp.* présente un gradient inverse qui oscille entre 2 % et 8 %. Le genre *Rhizosolenia sp.* est faiblement représenté avec des valeurs de 1 % et 2 % sur l'ensemble des points. Le genre *Plagiogramma* a été observé uniquement au point *référence* avec une dominance maximale de 17 %.

Pendant cette campagne de mars, les dinoflagellés ont représenté au mieux 3 % de l'abondance microphytoplanctonique totale (point *référence* à mi profondeur). Les genres observés ont été *Prorocentrum*, *Gyrodinium* et *Gymnodinium*.

Les Euglènes sont présentes dans les eaux du points *rejet* uniquement, avec une abondance de 200 cellules/L, tandis que les silicoflagellés (Dictyochales) sont répartis sur l'ensemble des points d'échantillonnage avec une abondance maximale de 1100 cellules/L au point *rejet*.

La flore nanophytoplanctonique représentée par les cryptophycées, présente un gradient croissant côte-large et atteint des abondances de 175 900 cellules/L au point *référence*.

juin 2006 : tout comme pour les situations observées pendant les étés 2002, 2003, 2004 et 2005, le genre le plus représenté parmi les diatomées lors de l'été 2006 est le genre *Rhizosolenia* avec des dominances comprises entre 11 % et 58 %. Contrairement aux années précédentes, ce genre est essentiellement représenté par l'espèce *Rhizosolenia fragilissima* avec un gradient décroissant côte-large. L'espèce *R. delicatula* n'a été observée qu'une fois, au point *référence* à mi profondeur. Les dominances de *Chaetoceros sp.* ont varié entre 12 % (*rejet*) et 50 % (*référence*) et celles du genre *Nitzschia*, avec un gradient croissant côte-large, de 8% à 25%. Le genre *Pseudo-Nitzschia* étant présent avec des valeurs de 4 % à 19 %. *Skeletonema costatum*, encore présente dans les eaux proches de la centrale de Flamanville, est observée avec des dominances de 4 % à 10 %. Le genre *Thalassiosira*, faiblement présent en été, atteint une dominance maximale de 3 % au point *référence* en surface.

Contrairement aux années précédentes, l'espèce *Rhizosolenia fragilissima* a été dominante par rapport à *Rhizosolenia delicatula* dans ce mois de juin. Cette dernière a été observée davantage au mois d'août sur les côtes normandes. La littérature signale le développement de *Rhizosolenia delicatula* tous les ans sur les côtes Atlantiques et de la Manche (Klein et Sournia, 1987).

Les dinoflagellés présentent un maximum de 3 % de l'abondance microphytoplanctonique aux points *rejet* et *référence* à mi profondeur. Les genres rencontrés ont été *Heterocapsa*, *Gymnodinium* et *Gyrodinium*.

L'abondance maximale de cryptophycées a été observée au point *rejet* avec une valeur de 125 050 cellules/L.

Campagne	Station	D I A T O M E E S								Cumul %
		RHIZ	NITZ	CHAE	THAL	SKEL	LEPT	GUIN	PSNZ	
IGA 2006-1	canal	2	2	9	60	17	0	0	1	91
IGA 2006-1	rejet	2	6	8	55	24	0	0	1	96
IGA 2006-1	ref surf	1	8	2	43	22	0	0	0	76
IGA 2006-1	ref 1/2 prof.	1	12	4	40	27	0	0	0	84
IGA 2006-2	canal	51	8	28	2	4	0	0	4	97
IGA 2006-2	rejet	58	11	12	1	10	0	0	6	98
IGA 2006-2	ref surf	11	13	50	3	8	0	0	8	93
IGA 2005-2	ref 1/2 prof.	14	25	18	2	7	0	0	19	85
IGA 2006-3	canal	7	2	4	22	61	0	0	2	98
IGA 2006-3	rejet	6	1	11	13	61	2	0	3	97
IGA 2006-3	ref surf	4	4	10	16	57	0	0	1	92
IGA 2006-3	ref 1/2 prof.	2	2	5	15	67	0	0	4	95

Tableau 3.15 : Abondances des principaux genres de diatomées pour l'année 2006

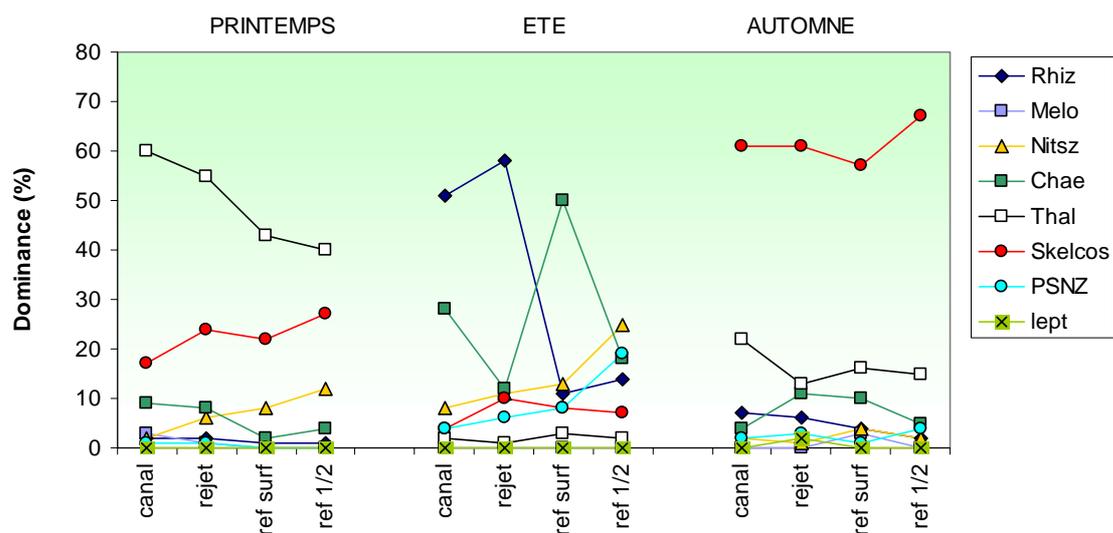


Figure 3.42 : Distribution des abondances en diatomées pour l'année 2006

Septembre 2006 : les genres les plus observés en septembre ont été *Skeletonema*, *Thalassiosira*, *Rhizosolenia* et *Chaetoceros*. *Skeletonema costatum* présente des dominances assez uniformes sur l'ensemble des points d'échantillonnage, avec des valeurs qui varient entre 57 % à 67 %. Les dominances de *Thalassiosira* varient entre

13 % au point *rejet* et 22 % au point *canal*, avec l'espèce *T. levanderii* majoritairement représentée. Le genre *Chaetoceros*, avec des dominances de 4 % à 10 % présente un gradient croissant *canal-référence*. Le genre *Rhizosolenia* est observé avec un gradient inverse, avec des valeurs qui varient entre 7 % et 2 %.

La plus forte dominance de dinoflagellés a été observée sur le point *référence* en surface avec 5 % (5500 cellules/L). Le genre le plus présent dans cette fin d'été a été *Gymnodinium*.

Le maximum d'Euglènes est observé au point *référence* avec une abondance de 1800 cellules/L, et les silicoflagellés, avec 300 cellules/L sont présents aux points *canal* et *référence*.

Les Cryptophycées présentent un gradient décroissant classique côte-large, avec un maximum de 208 900 cellules/L au point *canal*, ce qui représente le maximum observé en 2006.

L'indice de diversité H' de Shannon (Scherrer, 1984) permet d'obtenir une caractérisation de la diversité du peuplement phytoplanctonique. Plus sa valeur est faible, plus la diversité l'est également et le peuplement est pauvre. La figure 3.43 représente l'évolution de cet indice pour l'ensemble des campagnes menées en 2006.

Dans les zones côtières de la Manche et de l'Atlantique, les peuplements sont majoritairement composés de Diatomées. Ces diatomées, constitutives des efflorescences de printemps ont une stratégie du type *r*, caractérisée par des taux de croissance élevés et un comportement écologique « opportuniste » (KILHAM et KILHAM, 1980). En été et en début d'automne, les peuplements sont plus diversifiés, avec des populations adoptant une stratégie du type *k* avec des taux de croissance bas et une meilleure adaptation à l'utilisation des faibles concentrations en nutriments. C'est le cas particulièrement des petites cellules de Diatomées et des Dinoflagellés.

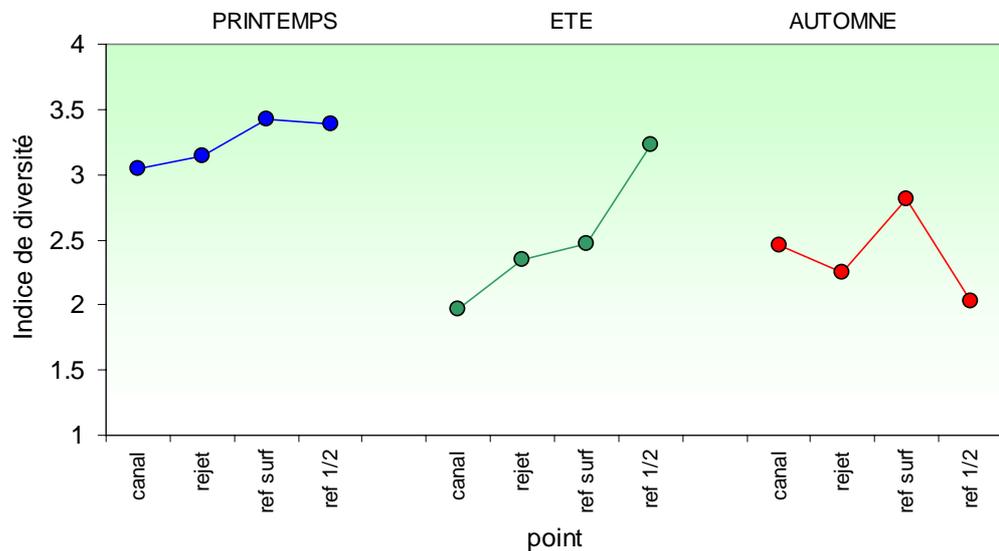


Figure 3.43 : Distribution de l'indice de diversité de Shannon pour l'année 2006

Nous observons une évolution saisonnière de la diversité microphytoplanctonique. Le printemps présente les plus fortes valeurs, avec un faible gradient croissant côte-large. En été ce gradient est fortement marqué, avec des valeurs proches de 2. En automne la

diversité est proche de celle de l'été, avec une plus faible variabilité entre les points d'échantillonnage.

3.3.3. Comparaison des résultats obtenus aux points canal et rejet

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

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

- V_a : valeur observée au canal d'amenée
- V_r : valeur observée au point *rejet*

En utilisant les valeurs mesurées en 2006 pour les trois paramètres précités, les déficits obtenus sont présentés dans le tableau 3.16. Une valeur positive exprime un déficit au point rejet par rapport au point canal.

(%)	<i>Chlorophylle a</i>	<i>Production primaire</i>	<i>microphytoplancton</i>
25 MARS	-6	-4	13
20 JUIN	-38	-26	-20
29 SEPTEMBRE	-1	-1	56

Tableau 3.16 : Déficit des trois paramètres étudiés entre les points canal et rejet

Pour l'ensemble des campagnes, la chlorophylle et la production primaire ont montré des valeurs inférieures à la sortie du *rejet* par rapport au point *canal*. Ces valeurs sont inférieures à 6 % pour les campagnes de mars et de septembre et de l'ordre de 30 % à 40 % en juin. Le microphytoplancton, présente un déficit de 13 % en mars et 56 % en septembre.

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

3.3.4. Conclusion

La biomasse chlorophyllienne et la production primaire montrent une évolution inter-annuelle et spatiale similaires. Avec des biomasses comprises entre 0,75 et 2,47 µg/L, le cycle phytoplanctonique annuel correspond au cycle classiquement décrit en

Atlantique. Les valeurs de chlorophylle *a* en été ont été proches des médianes pluriannuelles, bien qu'inférieures à celles de 2005. En mars et septembre les biomasses chlorophylliennes ont été supérieures aux médianes, atteignant en mars des valeurs maximales aux points *canal* et *rejet*. La production primaire a suivi le même schéma décrit pour la chlorophylle.

Les dénombrements microphytoplanctoniques sur le site de Flamanville montrent la régularité du phénomène au cours duquel la population de la période *hivernale*, peu développée et dominée par *Thalassiosira* et *Skeletonema costatum* est remplacée en été par une population constituée pour l'essentiel par des diatomées du genre *Rhizosolenia*. Cette poussée estivale du genre *Rhizosolenia*, majoritairement représentée par l'espèce *R. delicatula* au cours des années précédentes, a été composée de *R. fragilissima* en 2006. Bien que l'espèce *Skeletonema costatum* domine la campagne automnale avec des dominances de 57 % à 67 %, nous observons une plus forte diversité que lors des campagnes de mars et de juin.

Les dinoflagellés observés lors des trois campagnes annuelles n'ont pas dépassé 5 % de la dominance totale du microphytoplancton. Les abondances par espèce et par point ne présentent pas de variation pouvant mettre en cause l'activité de la centrale. Leur évolution dans le temps ne semble pas non plus être différente de celle des eaux de l'Atlantique.

Nous ne pouvons donc pas conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu généré par l'activité de la centrale de Flamanville, à partir de l'étude du compartiment phytoplanctonique en 2006.

3.4. Zooplankton

Ce chapitre clôt l'étude du compartiment pélagique. Il présente l'évolution du zooplankton, maillon de la chaîne alimentaire qui intègre les développements phytoplanctoniques, eux-mêmes dépendants des nutriments disponibles dans l'eau de mer, et soumis aux conditions météorologiques.

3.4.1. Matériels et méthodes

En 2006, les trois campagnes de prélèvements ont eu lieu les 25 mars, 2 juin et 29 septembre. Lors de chaque campagne, trois points sont étudiés :

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

Pour chaque point, sept réplicats sont effectués à l'aide d'un filet à plancton triple de type WP₂, de 200 µm de maillage et de 0,25 m² de surface d'ouverture, remonté verticalement sur la moitié de la colonne d'eau. Six de ces échantillons sont filtrés sur des soies de 100 µm pré-pesées, et aussitôt congelées afin d'évaluer la biomasse (mesure du poids sec) ; le septième est formolé en vue du dénombrement des espèces animales. Sur les six échantillons de biomasse, une seule analyse est réalisée avec l'ensemble des filtres.

Les traitements statistiques et leur représentation graphique sont similaires à ceux décrits dans le chapitre 3.2.

3.4.1.1. *Mesure de la biomasse*

Deux traits de WP₂ sont effectués afin de récolter 6 échantillons au total. La méthodologie permettant d'obtenir la biomasse (poids sec) est celle décrite dans le Recueil de techniques utilisées pour l'étude écologique des sites des centrales nucléaires sur les côtes françaises de Manche et Atlantique (IFREMER DERO-86.24-EL).

3.4.1.2. *Analyse taxinomique*

L'échantillon à analyser est homogénéisé par brassage mécanique (bullage à l'aide d'une pipette). Le fractionnement est réalisé avec une pipette de grosse capacité (10 ml) selon l'abondance des taxa et le volume de l'échantillon. Le comptage peut être total. Les espèces de grande taille (chaetognathes, cténaïres, larves de poissons...) sont comptabilisées sur l'ensemble de l'échantillon. Un survol de l'échantillon total est par ailleurs effectué afin de repérer d'éventuelles espèces rares qui pourraient être indicatrices. Tous les dénombrements s'effectuent avec une loupe binoculaire (zoom 8 - 80 x) en éclairage diascopique.

La bibliographie utilisée pour l'identification des zooplankton est très variée et inclut notamment les fiches d'identification du plancton CIEM - (1939 - 1986), Synopses of the British fauna n° s 1- 54.(1970 - 2003), et South Atlantic zooplankton.

D. Boltovskoy. Backhuys Publishers, 1999. 2 vol. et Faune de France des copépodes pélagiques. M. Rose, 1933.

3.4.2. Résultats

Les résultats de l'année 2006 sur le site de Flamanville sont présentés dans le tableau 3.17.

	PARAMETRES	CANAL	REJET	RÉFÉRENCE
25 MARS	<i>Poids sec (mg/m³)</i>	27,6	8,5	8,9
	<i>Abondance méroplancton (N./10m³)</i>	4 357	11 448	54 204
	<i>Abondance holoplancton (N./10m³)</i>	87	376	879
	<i>Abondance zooplancton totale (N./10m³)</i>	4 445	11 824	55 083
	<i>Poids de carbone (mg/m³)</i>	5,9	2,9	3,1
	<i>Poids d'azote (mg/m³)</i>	0,8	0,5	0,7
02 JUIN	<i>Poids sec (mg/m³)</i>	37	103,8	31,4
	<i>Abondance méroplancton (N./10m³)</i>	547	1 189	518
	<i>Abondance holoplancton (N./10m³)</i>	18 692	26 441	18 913
	<i>Abondance zooplancton totale (N./10m³)</i>	19 239	27 630	19 431
	<i>Poids de carbone (mg/m³)</i>	11,4	39,8	11,9
	<i>Poids d'azote (mg/m³)</i>	2,4	9,8	3,0
29 SEPTEMBRE	<i>Poids sec (mg/m³)</i>	23,1	20,8	13,7
	<i>Abondance méroplancton (N./10m³)</i>	762	578	325
	<i>Abondance holoplancton (N./10m³)</i>	6 806	13 046	15 795
	<i>Abondance zooplancton totale (N./10m³)</i>	7 563	13 624	16 120
	<i>Poids de carbone (mg/m³)</i>	5,9	5,6	5,5
	<i>Poids d'azote (mg/m³)</i>	1,0	1,1	1,4

Tableau 3.17 : Récapitulatif des résultats pour 2006 pour l'étude du zooplancton

3.4.2.1. Biomasse zooplanctonique

La biomasse zooplanctonique (fraction du plancton animal) est estimée à partir du poids sec exprimé en mg/m^3 .

3.4.2.1.1 Variations spatiales et temporelles en 2006

Au cours de l'année 2006, les valeurs de biomasse zooplanctonique minimale et maximale sont observées aux points *référence* et *rejet*, respectivement. Elles s'échelonnent entre $8,5 \text{ mg}/\text{m}^3$ le 25 mars et $103,8 \text{ mg}/\text{m}^3$ le 2 juin (figure 3.44).

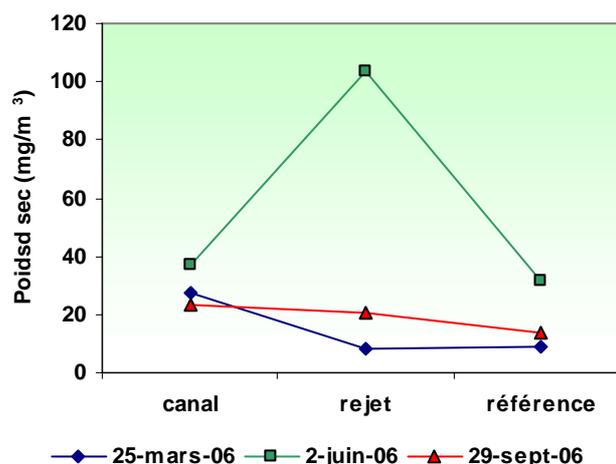


Figure 3.44 : Évolution de la biomasse (poids sec) au cours des trois campagnes de surveillance 2006

Les plus faibles biomasses sont observées au printemps ($8,5$ à $27,6 \text{ mg}/\text{m}^3$). Elles sont maximales en été ($31,4$ à $103,8 \text{ mg}/\text{m}^3$) et décroissent à l'automne ($13,7$ à $23,1 \text{ mg}/\text{m}^3$) pour atteindre à nouveau des valeurs proches de celles du printemps.

Le point *référence* présente les plus faibles biomasses en juin ($31,4 \text{ mg}/\text{m}^3$) et en septembre ($13,7 \text{ mg}/\text{m}^3$) alors qu'en mars, c'est le point *rejet* qui présente la valeur la plus faible ($8,5 \text{ mg}/\text{m}^3$). La plus forte variabilité saisonnière est d'ailleurs observée pour le point *rejet*. Enfin, un gradient décroissant est mis en évidence entre les points *canal* et *référence* lors de la campagne automnale.

3.4.2.1.2 Variations interannuelles

En mars 2006, les valeurs de biomasse observées sont légèrement supérieures à celles de l'année 2005 pour les points *rejet* et *référence*, et jusqu'à cinq fois plus élevées pour le point *canal* (figure 3.45).

Lors de la campagne de juin, la valeur de biomasse au point *rejet* est 2 à 3 fois supérieure aux valeurs relevées lors des quatre années précédentes. Par ailleurs, cette valeur est 2,5 fois la valeur maximale antérieurement observée à ce point pour l'ensemble de la série temporelle. De fortes valeurs aux points *canal* ($37 \text{ mg}/\text{m}^3$) et *référence* ($31,4 \text{ mg}/\text{m}^3$) ont aussi été observées en 2006, mais elles restent inférieures à celles de 2005.

En septembre 2006, les valeurs observées au point *canal* sont 3 fois plus fortes que celles observées en 2005 à la même période. Aux points *rejet* et *référence*, les

biomasses de septembre 2006 sont similaires à celles mesurées depuis les six dernières années à la même période.

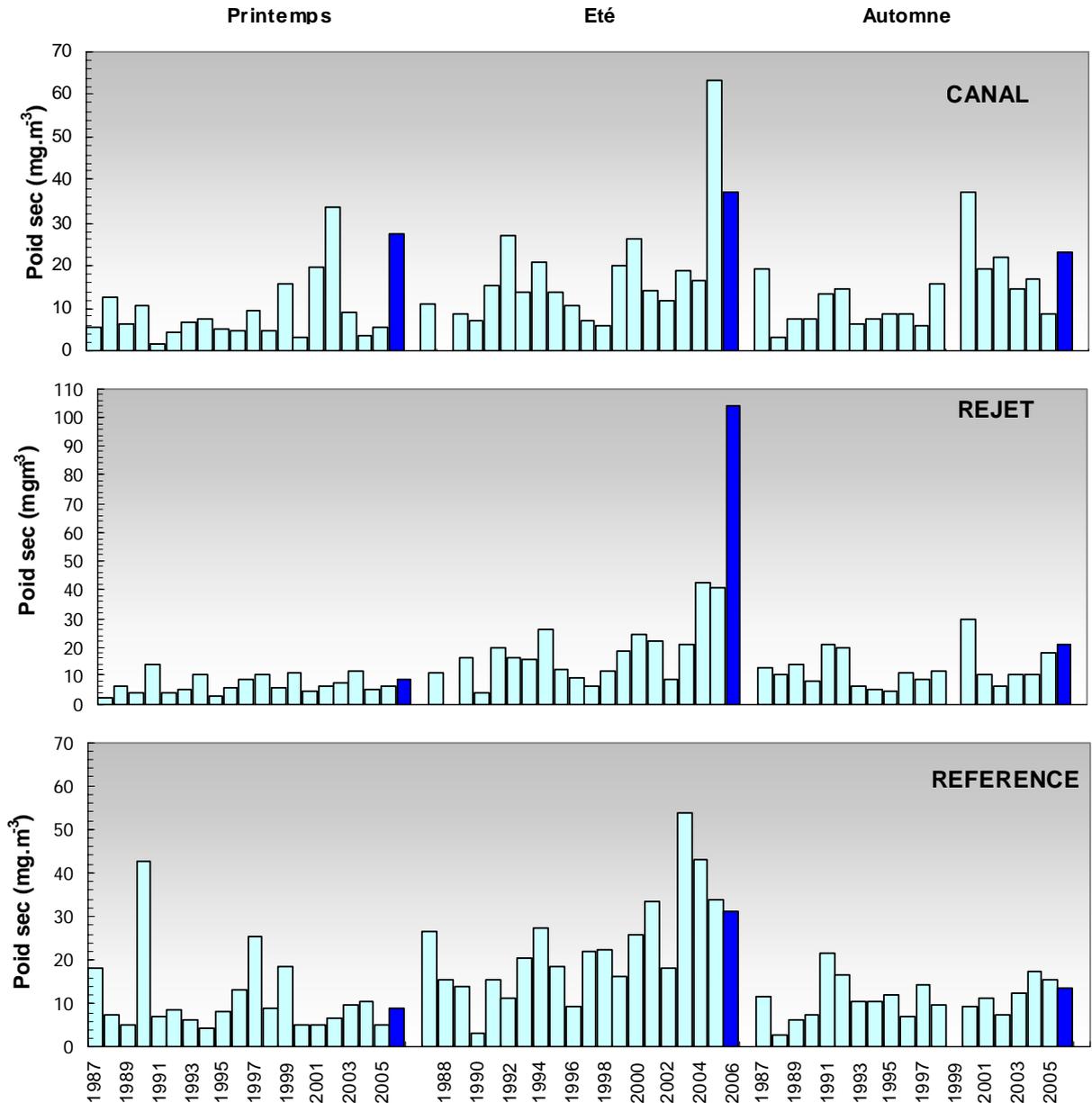


Figure 3.45 : Évolution de la biomasse (poids sec) de 1987 à 2006

Les plus fortes dispersions de valeurs de la série 1987-2006 sont observées pour les campagnes estivales (figure 3.46). Les médianes mettent en évidence un gradient croissant *côte-large* au printemps et en été, tandis que des médianes similaires sont observées en automne. Une augmentation importante des valeurs est constatée entre le printemps et l'été (facteur d'augmentation : 2 à 2,5), suivi d'une diminution en automne pour atteindre des valeurs proches de celles observées au printemps.

Lors de la campagne de mars, les valeurs observées aux points *rejet* et *référence* sont similaires aux valeurs des médianes ; le point *canal* présente une valeur ($27,6 \text{ mg/m}^3$) 4 fois supérieure à la médiane ($6,7 \text{ mg/m}^3$). En juin et septembre, toutes les valeurs sont supérieures (et parfois très largement) aux médianes pluriannuelles, à l'exception de la valeur du point *référence* en septembre. La valeur estivale au point *rejet* est la valeur maximale pour la série pluriannuelle.

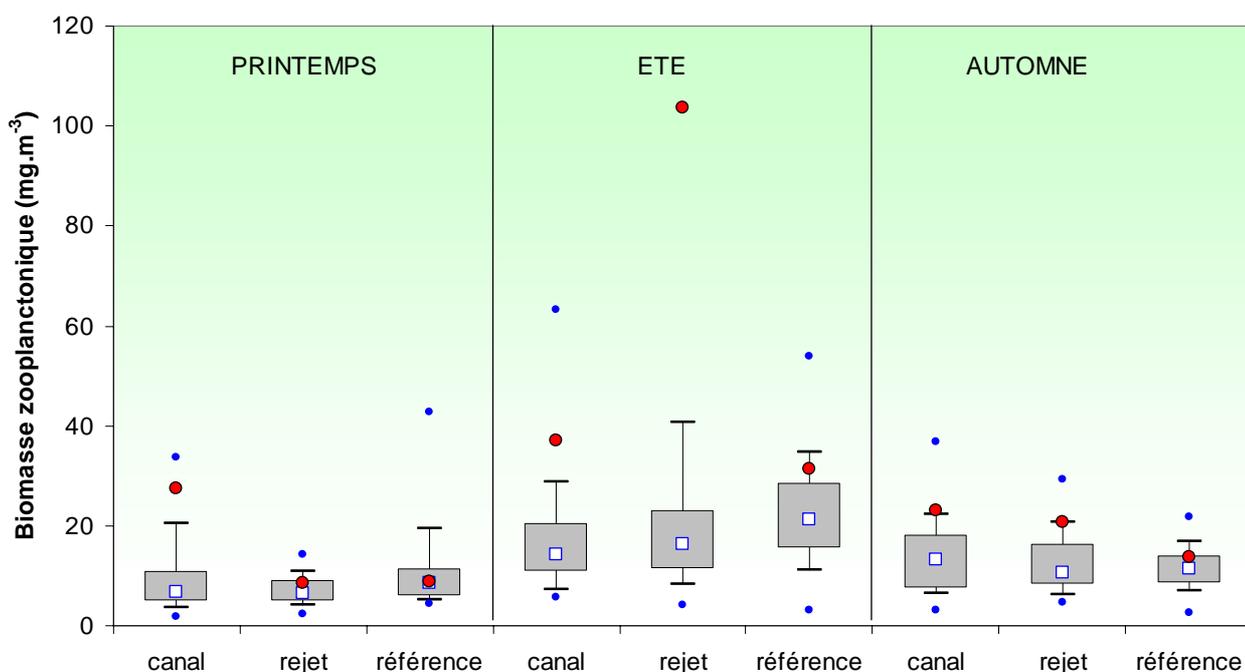


Figure 3.46 : Évolution de la biomasse (poids sec) de 1987 à 2006

3.4.2.1.3 Approche statistique

Les tests statistiques sur l'ensemble des valeurs acquises depuis 1987 sont présentés dans le tableau 3.18.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,498	0,372	0,509
REFERENCE / REJET	0,020	0,276	0,643
CANAL / REFERENCE	0,622	0,149	0,515

(En caractère gras : probabilité associée $p < 0,05$ = différence significative)

Tableau 3.18 : Probabilités associées p des tests statistiques sur la biomasse de 1987 à 2006

Seule une différence significative a été détectée entre les couples de points *référence* et *rejet* au printemps. Ceci est probablement dû à la forte valeur de biomasse mesurée en 1990 sur le point *référence*. Pour les deux autres saisons, les biomasses zooplanctoniques ne présentent pas de différence significative aux trois points de prélèvements.

3.4.2.2. Abondances zooplanctoniques globales

Les dénombrements et l'identification des espèces zooplanctoniques complètent l'information quantitative de la biomasse. En détaillant cette biomasse en groupes biologiques (holoplancton, méroplancton) puis systématiques (embranchements et jusqu'aux espèces) – voir aussi tableau 3.20 – on peut accéder à leur distribution spatio-temporelle voire rechercher une éventuelle influence de l'activité de la centrale sur ces populations.

3.4.2.2.1 Variations spatiales et temporelles en 2006

Les dénombrements zooplanctoniques effectués en 2006 sont présentés sur la figure 3.47. ci-dessous. Ils sont exprimés en nombre d'individus par 10 m^3 d'eau de mer.

Un gradient croissant *côte-large* est observé pour les campagnes printanière et automnale ; ce gradient est particulièrement marqué au printemps. Les plus fortes abondances sont observées en mars au point *référence* avec $55\,083\text{ ind./}10\text{ m}^3$, et les plus faibles également en mars au point *canal* avec $4\,445\text{ ind./}10\text{ m}^3$.

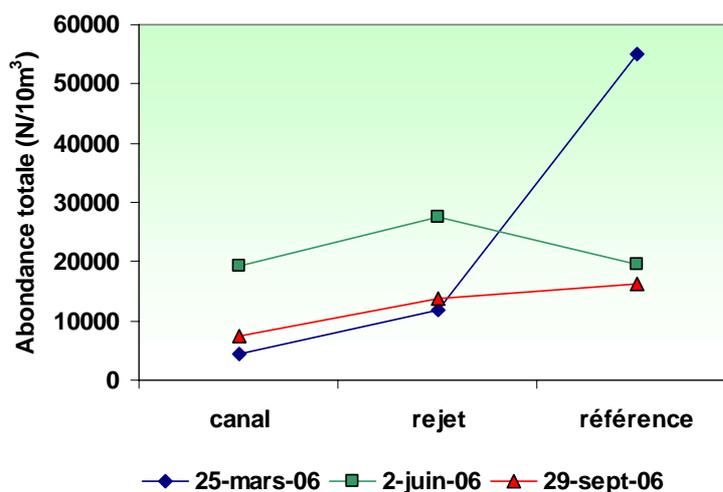


Figure 3.47 : Évolution de l'abondance zooplanctonique totale ($\text{ind./}10\text{ m}^3$) au cours des trois campagnes de surveillance 2006

Les points canal et rejet suivent la même évolution temporelle. Ils présentent les plus faibles abondances au cours du printemps et de l'automne et un maximum en été. Le point référence présente les valeurs d'abondances les plus élevées au printemps ($55\,083\text{ ind./}10\text{ m}^3$), ce qui est dû essentiellement à des larves nauplii de cirripèdes. Les valeurs sont intermédiaires en été et à l'automne ($15\,000$ à $20\,000\text{ ind./}10\text{ m}^3$).

Une analyse plus fine des données révèle qu'au printemps, le maximum d'abondance observé au large (point *référence*) coïncide avec les valeurs de biomasse les plus faibles ($8,9\text{ mg/m}^3$), en partie en raison de la petite taille des nauplii de cirripèdes. Ainsi, de fortes abondances d'une espèce de petite taille peuvent générer de faibles biomasses, et inversement, une relativement faible abondance d'organismes de grande taille peut représenter une biomasse importante (ex. : crustacés décapodes en été).

Au cours de l'été, le gradient d'abondance *côte-large* (*canal-rejet*) observé coïncide avec un gradient de biomasse croissant. La forte valeur d'abondance zooplanctonique enregistrée en juin au point *rejet* correspond à des abondances élevées de copépodes. Elle détermine en grande partie la forte valeur maximale de biomasse enregistrée à ce même point (103,8 mg/m³).

3.4.2.2.2 Variations interannuelles

Le point *canal* est caractérisé par des abondances printanière et automnale comparables à celles de 2002, 2003 et 2005 (figure 3.48). Ceci fait ressortir le caractère exceptionnel de la valeur printanière au point *canal* en 2004. Les valeurs d'abondance estivale sont six fois supérieures à celles observées depuis les trois dernières années et constituent le maximum d'abondance sur ce site depuis le début des mesures en 1991.

Au point *rejet*, les valeurs d'abondances printanière et automnale sont relativement proches de celles enregistrées au cours des autres années. Par contre, l'abondance estivale au point *rejet* est 3 fois plus forte que celle de 2005 et comparable aux valeurs de 2004.

Pour le point *référence* la valeur d'abondance du printemps 2006 est particulièrement élevée et représente le maximum de la série temporelle pour ce site. En été et en automne, les valeurs d'abondance sont très similaires à celles observées les autres années.

Les boîtes à moustaches mettent bien en évidence le caractère exceptionnel de la valeur d'abondance observée en 2006 au point *référence* au printemps (figure 3.49) qui est en effet très supérieure au maximum jamais atteint.

La dispersion des valeurs de la série 1991-2006 souligne les importantes variations d'abondance qui touchent le point *canal* pendant la période printanière et le point *référence* pendant l'été. La distribution des valeurs médianes fait apparaître un gradient d'abondance croissant de la côte vers le large au printemps et en été. Le gradient *côte-large* observé en 2006 est donc habituel bien qu'accentué.

À l'exception du point *canal*, l'ensemble des mesures d'abondance réalisées en 2006 sont toujours très supérieures aux médianes pluriannuelles, comme ceci avait déjà été observé en 2005.

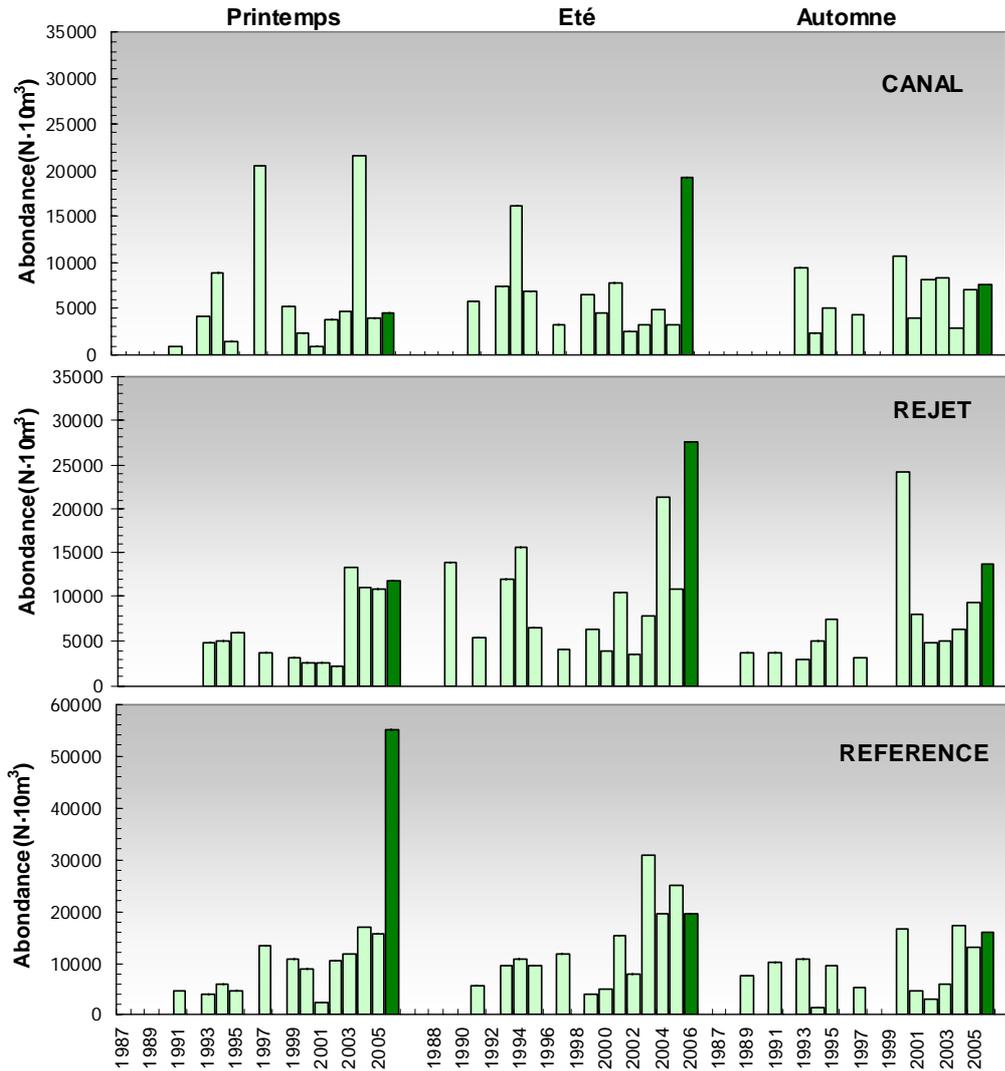


Figure 3.48 : Évolution de l'abondance zooplanctonique de 1991 à 2006

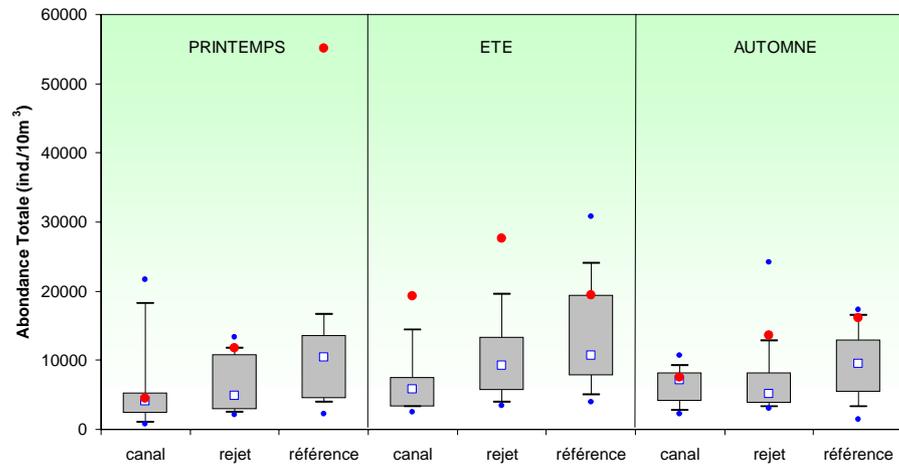


Figure 3.49 : Évolution de l'abondance zooplanctonique de 1991 à 2006

3.4.2.2.3 Approche statistique

Les tests statistiques montrent qu'il existe des différences significatives entre certains couples de points (tableau 3.19). Ainsi, les points *rejet* et *référence* ont des abondances printanières significativement différentes. Il en est de même pour les points *canal-rejet* et *canal-référence* pendant la période estivale. Par contre, les abondances observées sur les trois points sont similaires à l'automne.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,847	0,036	0,283
REFERENCE / REJET	0,045	0,227	0,302
CANAL / REFERENCE	0,094	0,036	0,095

(En caractère gras : probabilité associée $p < 0,05$ = différence significative)

Tableau 3.19 : Probabilité associée p des tests statistiques sur les abondances de 1987 à 2006

3.4.2.3. Étude faunistique

3.4.2.3.1 Variations spatio-temporelles de l'holoplancton et du méroplancton

Un certain nombre d'espèces accomplissent l'intégralité de leur cycle biologique (œufs, larves, adultes) au sein du milieu pélagique ; ce sont les espèces *holoplanctoniques*. Les crustacés copépodes représentent généralement une part importante de cette fraction. Selon la saison, s'y ajoutent quelques espèces moins abondantes, appartenant à d'autres embranchements comme les appendiculaires et les chaetognathes. D'autres organismes holoplanctoniques comme les mysidacés, les cténaïres et les cladocères sont très peu présents lors des trois campagnes 2006.

	Abondance zooplancton (N.·10m ⁻³)	25-mars						02-juin						29-sept							
		Canal		Rejet		référence		Canal		Rejet		référence		Canal		Rejet		référence			
		N.10m ⁻³	%	N.10m ⁻³	%	N.10m ⁻³	%	N.10m ⁻³	%	N.10m ⁻³	%										
holoplancton	total Cténaïres																			2	0
	total Chaetognathes									23	0	8	0	4	0	6	0	64	0		
	total Cladocères																	2	0		
	total Mysidacés									6	0			4	0	3	0	2	0		
	total Copépodes	76	87	289	77	413	47	18424	99	25932	98	18750	99	6572	97	12837	98	15616	99		
	total Appendiculaires	11	13	88	23	466	53	268	1	480	2	155	1	226	3	200	2	111	1		
	total holoplancton	87	2	376	3	879	2	18692	97	26441	96	18913	97	6806	90	13046	96	15795	98		
méroplancton	total Cnidaires	34	1	118	1	10	0	7		23	2	7	1	366	48	10	2	4	1		
	total Annélides	48	1	159	1	83	0	18	3	3	0			4	1	22	4	5			
	total larves de Cirripèdes	3125	72	10494	92	50702	94	43	8			2	0	260	34	95	16	25	8		
	Amphipodes	6	0	5	0			14	3	23	2	15	3	4	1	13	2	22	7		
	Isopodes (larves microniscus)							7	1			5	1	4	1	16	3				
	Isopodes Gnathidae																				
	Cumacés													4	1			2	0		
	Euphausiacés					2	0	4	1			3				3	1	4	1		
	larves Natantia	3	0	18	0	16	0	7	1	138	12	72	14	21	3	35	6	33	10		
	larves Thalassinideae																				
	larves d'Anomoures							40	7	452	38	268	52	4	1	6	1	47	14		
	larves Brachyours			25	0	5	0	18	3	71	6	90	17	21	3	10	2	27	8		
	larves de Mollusques	59	1	60	1	73	0	341	62	424	36	35	7	43	6	337	58	125	38		
	Cyphonautes																				
	Bryozoaires	1048	24	499	4	3299	6							17	2	32	6	31	10		
	Tétards d'Ascidies																				
	Téléostéens (Ceufs)	34	1	53	0	16	0	33	6	11	1	8	2								
Téléostéens (Alevins et larves)			16	0			14		45	4	13	3									
total méroplancton	4357	98	11448	97	54204	98	547	3	1189	4	518	3	762	10	578	4	325	2			
total zooplancton	4445		11824		55083		19239		27630		19431		7563		13624		16120				

Tableau 3.20 : Abondances et dominances de différents groupes du méroplancton et de l'holoplancton en 2006.

Par opposition à l'holoplancton, le méroplancton constitue la fraction temporaire du zooplancton, organismes dont seule une partie du cycle vital est planctonique. Il s'agit principalement de larves à vie pélagique émises par de nombreuses espèces à phase adulte benthique errante (crabes, annélides...) ou fixée : annélides, mollusques (moules...) et crustacés cirripèdes, nombreux sur l'estran rocheux. Le méroplancton est aussi constitué de phases pélagiques d'espèces fixées (méduses, qui représentent les phases sexuées libres de cnidaires). Il est donc de fait plus abondant au printemps, pendant les périodes de reproduction des espèces benthiques (figure 3.50).

L'holoplancton présente un net gradient d'abondance croissant de la côte (*canal*) vers le large (*réfèrece*) en particulier au printemps et en automne. Si ce gradient existe aussi pour le méroplancton au printemps, il disparaît en été et tend à s'inverser à l'automne.

Pour définir la composition du zooplancton, la dominance exprimée en pourcentage d'un groupe faunistique par rapport au nombre total d'individus, est calculée par compartiment et par embranchement (tableau 3.20) au sein du méroplancton et de l'holoplancton.

En été et à l'automne, l'holoplancton représente 90 à 98 % du zooplancton total. Il est essentiellement composé de copépodes avec, cette année, 89 % (47 à 99 %) de l'abondance totale de l'holoplancton.

En revanche, au printemps, le méroplancton représente la quasi-totalité du zooplancton (figure 3.50) et exprime une très faible variabilité entre les trois points d'échantillonnage (97-98 % du zooplancton total). Cette fraction est essentiellement composée de larves de cirripèdes au printemps (> 70-95%) et à l'automne (20-30 %) et de larves de mollusques et d'anomoures en été (30-60%).

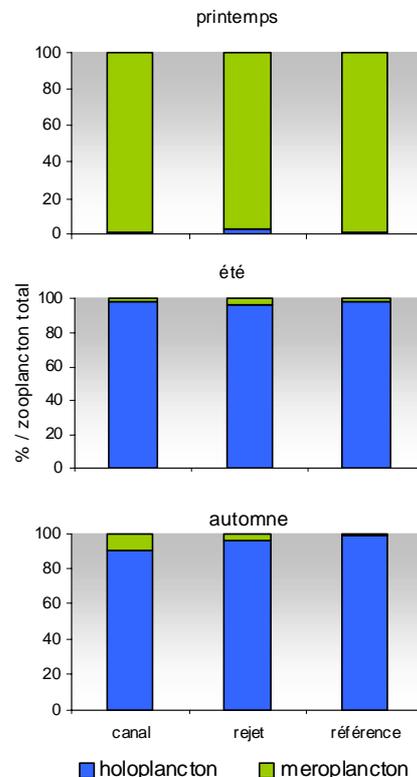


Figure 3.50 : Répartition des dominances de l'holoplancton et du méroplancton dans le zooplancton total en 2006

3.4.2.3.2 Variations spatio-temporelles des principaux taxons en 2006

L'holoplancton

À Flamanville, l'holoplancton est essentiellement composé de copépodes et d'appendiculaires. L'importance relative des copépodes présente des variations saisonnières marquées caractérisées par un minimum printanier (47-87% de l'holoplancton), un maximum estival (98-99%) et une diminution automnale aux trois points (97-99%).

- Les copépodes :

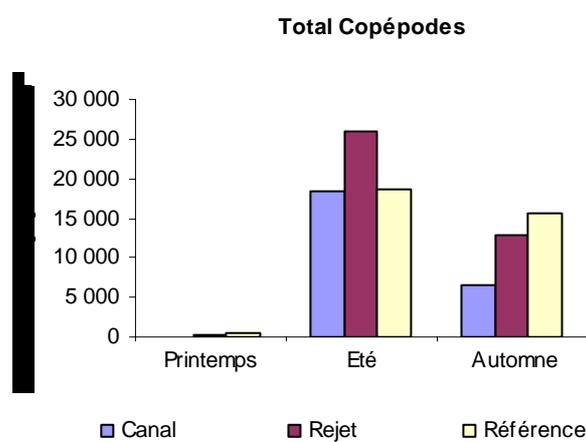


Figure 3.51 : Abondance des copépodes en 2006

Les copépodes, qui constituent le taxon dominant de l'holoplancton, montrent la même évolution saisonnière. Les plus faibles abondances sont observées au printemps, avec une augmentation en été et une diminution en automne, sans toutefois redescendre aux niveaux du printemps. Ainsi au cours des 3 campagnes de l'année 2006, le minimum d'abondance est observé en mars au point *canal* avec 76 ind./10 m³ et le maximum en juillet au point *rejet* avec 25 932 ind./10 m³. Cette valeur représente d'ailleurs le maximum de l'année. Un gradient croissant *côte-large* est observé au printemps et surtout à l'automne.

Temora longicornis

Les abondances de *Temora longicornis*, une des espèces dominantes du groupe, suivent pour cette raison la même évolution que le total des copépodes. La plus forte valeur est observée au point *référence* lors de la campagne de juin où elle atteint 9 576 ind./10 m³. Le point *canal* présente une variabilité saisonnière marquée avec des abondances minimales au printemps et en automne (0 à 3 ind./10m³) et un pic d'abondance estival (4 674 ind./10m³). Le point *référence* suit la même tendance avec une gamme de variation d'abondance moins importante (21 à 2 220 ind./10 m³) Ainsi l'abondance de ce copépode est faible au printemps et en automne. Elle trouve son optimum en juin avec des valeurs 10 à 1000 fois plus élevées, ce qui concorde avec la biologie de cette espèce.

Acartia clausi

Espèce estivale, *Acartia clausi* présente un maximum de 7 895 ind./10 m³ au point *référence* au mois de juin. La période estivale est caractérisée par un gradient *côte-large* très marqué, avec une plage de variation de 900 à environ 8 000 ind./10 m³. A l'automne, ce gradient d'abondance reste marqué entre les points *canal* et *rejet* et les abondances observées varient de 1 900 à 4 000 ind./10 m³.

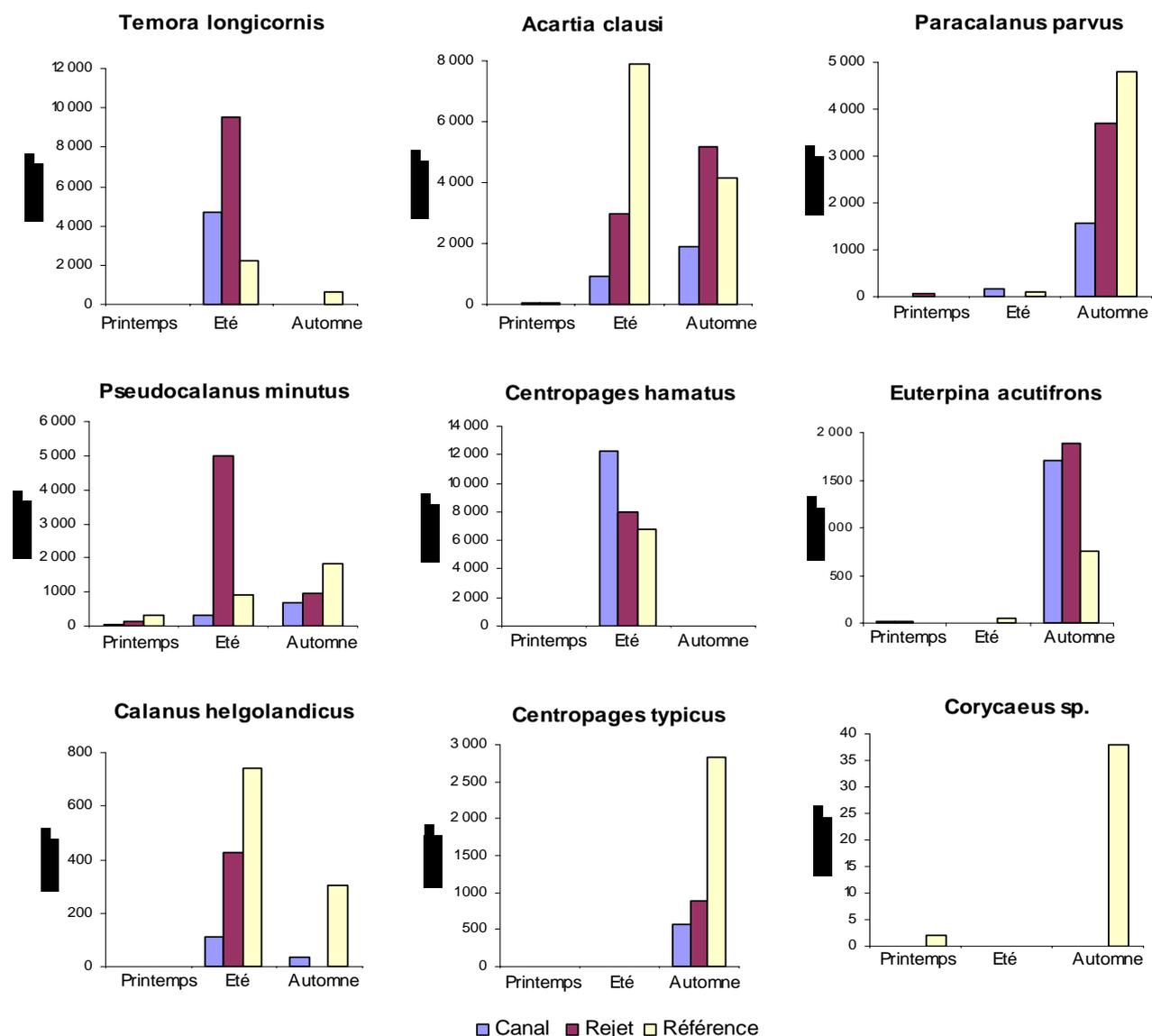


Figure 3.52 : Abondances des principaux copépodes en 2006

Paracalanus parvus

Cette espèce est essentiellement présente en septembre avec un maximum de 4 802 ind./10 m³ au point *référence*. Les valeurs d'abondance aux points *rejet* et *canal* sont 1,2 à 3 fois plus faibles.

Pseudocalanus minutus

Cette espèce est présente lors des trois campagnes et suit la même évolution que *T. longicornis* avec un maximum de 5 000 ind./10 m³ en juin au point *rejet*. Au point canal, les abondances sont très faibles et varient de 28 à 674 ind./10 m³. Le point *référence* présente des valeurs s'étalant entre 304 et 1 815 ind./10 m³. Un gradient d'abondance croissant *côte-large* est observable pour les périodes printanières et automnales. Une augmentation d'abondance entre les points *canal* et *rejet* est remarquable en été (326 à 5 000 ind./10 m³).

Centropages hamatus

Cette espèce n'est quasiment pas présente au printemps (3 ind./10 m³ au point *référence*).

Elle montre pour tous les points des maximums d'abondance en été avec des valeurs s'échelonnant alors de 6 760 ind./10 m³ pour le point *référence* à 12 228 ind./10 m³ pour le point *canal*. Cette espèce disparaît à l'automne et un gradient *côte-large* décroissant n'est clairement visible qu'en été.

Euterpina acutifrons

Cette espèce est présente au printemps sur les 3 points mais en très faible effectif (6 à 14 ind./10 m³). Elle disparaît des points *canal* et *rejet* en été et n'est que faiblement présente au point *référence* (49 ind./10 m³). Espèce typiquement automnale, elle atteint son abondance maximale en septembre avec 1 700 à 1 800 ind./10 m³ pour les points *canal* et *rejet*, et 756 ind./10 m³ au point *référence*.

Calanus helgolandicus

Pour toutes les campagnes, cette espèce plutôt typique du large présente son maximum d'abondance au point *référence*. Sur ce point, l'abondance maximale est observée en été (740 ind./10 m³) et chute de plus de la moitié à l'automne pour atteindre 302 ind./10 m³. Au printemps, cette espèce est absente des points *rejet* et *canal*. Au point *rejet*, elle atteint 424 ind./10 m³ en été. Au point *canal*, une décroissance est observée entre l'été (109 ind./10 m³) et l'automne (35 ind./10 m³).

Centropages typicus

Cette espèce n'apparaît de manière importante qu'en septembre avec un maximum de 2 836 ind./10 m³ au point *référence*. Pour cette espèce témoin des entrées d'eaux atlantiques en Manche, le gradient *côte-large* est très marqué et présente une gamme de variation de 567 à 2 836 ind./10 m³.

Corycaeus sp.

Ce genre n'a été présent qu'en mars et septembre (2 et 38 ind./10 m³), uniquement au point *référence*.

- Les autres espèces holoplanctoniques (figure 3.53)

Les appendiculaires, représentés par *Oikopleura*, sont présents lors des trois campagnes aux trois points. Aux points *canal* et *rejet*, l'abondance augmente de mars à juin et passe ainsi de 11 à 268 ind./10 m³ sur le point *canal* et de 88 à 480 ind./10 m³ sur le point *rejet*. L'abondance diminue par la suite pour atteindre 200 à 226 ind./10 m³ sur les deux points en septembre. Au point *référence*, l'abondance diminue du printemps à l'automne et passe de 466 à 111 ind./10 m³.

Le maximum d'abondance est observé pour le point *rejet* en juin et atteint 480 ind./10 m³. Le gradient d'abondance *côte-large* est très marqué au printemps, disparaît en été et s'inverse à l'automne.

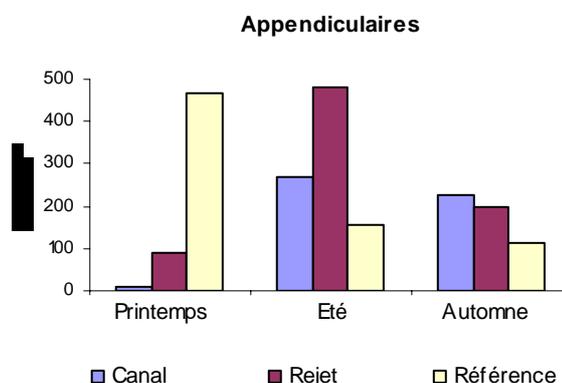


Figure 3.53 : Abondances des espèces holoplanctoniques autres que les copépodes en 2006

Le méroplancton

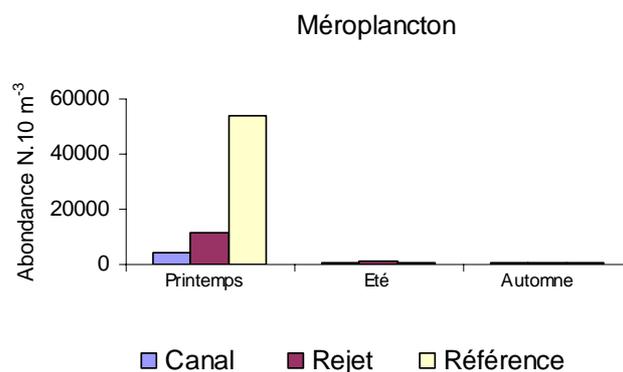


Figure 3.54 : Abondance du méroplancton en 2006

Le méroplancton, essentiellement composé de larves pélagiques d'espèces benthiques, apparaît dans le plancton lors de leur période de reproduction. Il est abondant au printemps et représente numériquement plus de 95% du zooplancton total. La valeur maximale d'abondance est observée au point *référence* et atteint 54 204 ind./10 m³. Le gradient d'abondance *côte-large* observé au printemps couvre une gamme de 4 357 à 54 204 ind./10 m³. Au cours des deux autres campagnes, cette catégorie du zooplancton est présente en plus faible quantité (moins de 10% du zooplancton total) et varie entre 325 ind./10 m³ (point *référence* – septembre 2006) et 1 189 ind./10 m³ (point *rejet* – juin 2006). Un gradient d'abondance décroissant est observé en septembre entre le point canal (762 ind./10 m³) et le point référence (325 ind./10 m³). En revanche, aucun gradient *canal* - *référence* n'est observable en été.

Les stades larvaires des espèces appartenant à différents embranchements ou classes ont été dénombrés au cours des trois campagnes (figure 3.55).

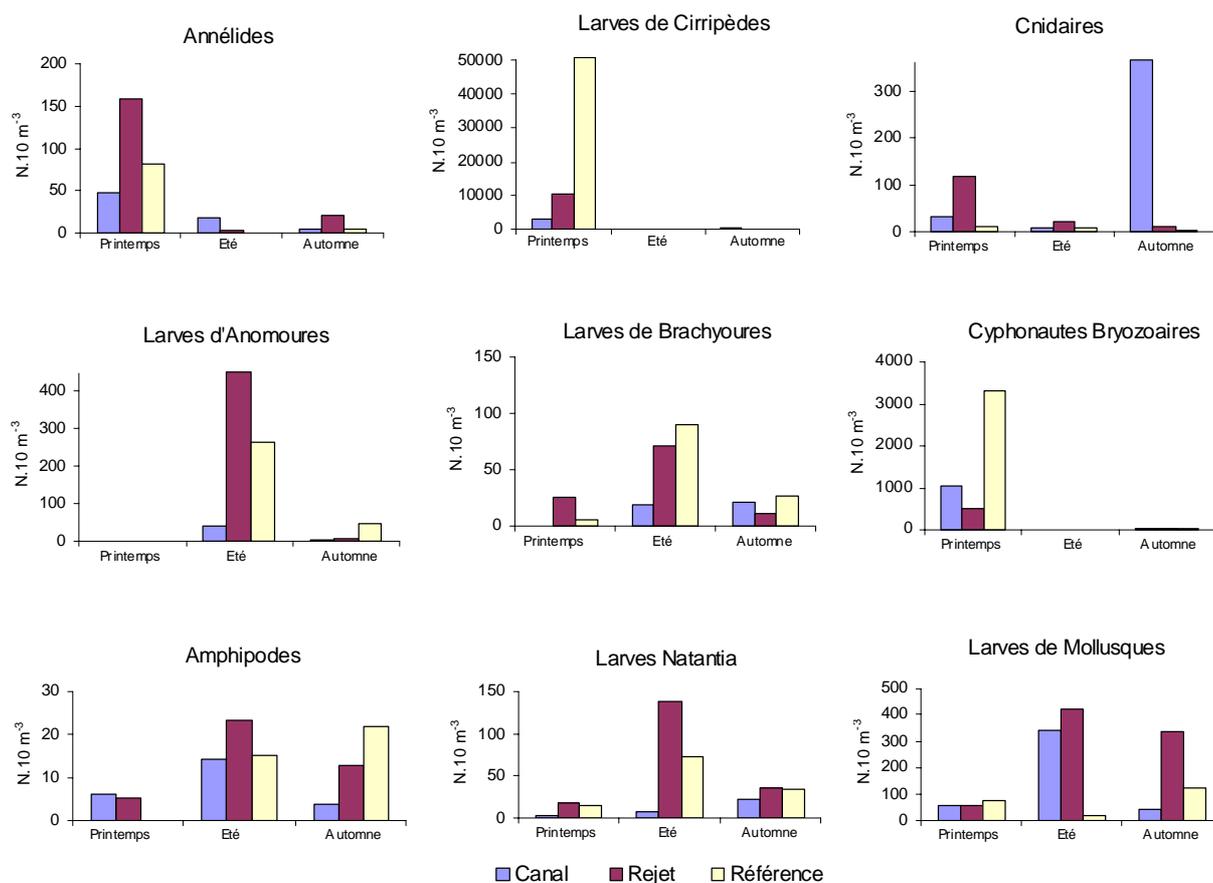


Figure 3.55 : Abondance des espèces méroplanctoniques en 2006

- Pour les larves d'anomoures, Natantia, brachyours et mollusques, une évolution similaire au cours du temps est observée à savoir :

- ✓ Le maximum d'abondance est observé au cours de la campagne estivale et ces valeurs restent importantes à l'automne,

Le minimum d'abondance est mesuré en mars ;

- Les larves de cnidaires présentent

- ✓ un maximum d'abondance en septembre,
- ✓ des valeurs minimales au printemps et en été sur les 3 points.

- Les cyphonautes de bryozoaires ainsi que les nauplii de cirripèdes présentent la même évolution spatiale et temporelle avec un maximum d'abondance printanière sur le point *référence*.

- Embranchement des bryozoaires

Les larves cyphonautes sont très abondantes au printemps, en particulier au point *référence* où elles atteignent leur maximum annuel de 3 299 ind./10 m³. Elles représentent alors 6 % du méroplancton total. Bien que trois fois moins

abondantes au point *canal* à la même période (1 048 ind./10 m³) elles y représentent jusqu'à 24 % du méroplancton total. Au point *rejet*, avec 499 ind./10 m³, elles ne représentent que 4 % du méroplancton printanier. La période estivale est caractérisée par la disparition de ces larves sur tous les sites. Elles réapparaissent en automne mais leur abondance est limitée (17 à 32 ind./10 m³) restreinte aux points *rejet* et *référence*.

- Embranchement des arthropodes, classe des crustacés

- Les cirripèdes sont des crustacés qui, à l'état adulte, vivent fixés sur les rochers et les substrats durs en général. Ils constituent une part importante des 'salissures' ('*fouling*'). Les larves, émises en grande quantité, constituent un maillon important de la chaîne alimentaire. Ces larves, essentiellement les stades *nauplius* de très petite taille, ne présentent pas une biomasse élevée (cf. § 3.4.2.2.1.).

Les larves de cirripèdes sont essentiellement printanières et automnales. Au printemps elles représentent 72 à 94 % du méroplancton total. À l'automne, ce pourcentage diminue et varie entre 8 et 34 %.

Le maximum d'abondance est atteint au point *référence* en mars avec 50 702 ind./10 m³. Les valeurs minimales sont observées en juin avec 2 ind./10 m³ pour le point *référence*, 43 ind./10 m³ pour le point *canal* et aucune larve pour le point *rejet*. Le gradient d'abondance très marqué au printemps, s'inverse à l'automne et la gamme de variation s'étend de 25 à 260 ind./10 m³.

- Larves d'anomoures (porcellanes, galathées, bernards l'hermite)

Le maximum d'abondance est atteint en juillet avec 452 ind./10 m³ pour le point *rejet*, 90 ind./10 m³ pour le point *référence* et 40 ind./10 m³ pour le point *canal*. Cela correspond respectivement à 38, 52 et 7% du méroplancton total. À l'automne, et à l'exception du point *référence*, les valeurs d'abondance diminuent pour atteindre les faibles niveaux du printemps.

Le point *canal* présente toujours les valeurs d'abondance les plus faibles : les larves d'anomoures représentant en ce point moins de 10% du méroplancton total.

- Larves de *Natantia*

Le maximum d'abondance estival est de 138 ind./10 m³ au point *rejet* et correspond à 12 % du méroplancton total. La seconde valeur estivale la plus forte est enregistrée au point *référence* avec 72 ind./10 m³ ce qui correspond à 14 % du méroplancton total. Les valeurs automnales diffèrent peu entre les points et varient de 21 à 31 ind./10 m³. Le groupe présente toujours des valeurs d'abondance minimales sur le point *canal* variant entre 3 ind./10 m³ en mars et 21 ind./10 m³ en septembre.

- Larves de brachyoures (crabes et araignées)

Contrairement aux *Thalassinidea* non observés en 2006, les larves de brachyoures sont présentes aux différents points dès le mois de mars avec des valeurs minimales s'étendant de 5 à 25 ind./10 m³, soit moins de 1 % du méroplancton total.

Leur importance relative augmente en juin où ils représentent 3 à 17 % du méroplancton. Un gradient croissant d'abondance *canal* - *référence* est d'ailleurs observé à cette période et couvre une gamme d'abondance de 18 à 90 ind./10 m³.

L'abondance diminue pendant l'automne pour atteindre sur les trois points, des valeurs similaires (10 à 27 ind./10 m³) à celles observées en mars et représentant 2 à 8 % du méroplancton total.

Lorsqu'elles sont relativement abondantes dans le plancton global, les larves de crustacés supérieurs (anomoures, brachyoures) peuvent contribuer, de par leur taille, aux fortes valeurs de biomasse comme celles enregistrées en 2006 (figure 3.42).

- Embranchement des annélides

Ces larves sont essentiellement des larves de spionidés, probablement de *Polydora ciliata* en mars. Cette espèce prolifère en perforant les roches calcaires de l'estran (et les huîtres) tout en amassant un tapis de vase sur le littoral. Un maximum d'abondance printanière est observée pour les trois sites avec 48 ind./10 m³ pour le point *canal*, 83 ind./10 m³ pour le point *référence* et 159 ind./10 m³ pour le point *rejet*. Ces maximums ne représentent cependant que 1% du méroplancton total.

Au point *canal*, l'abondance diminue avec la saison et passe d'un maximum de 48 ind./10 m³ au printemps (1 % du méroplancton) à un minimum de 4 ind./10 m³ à l'automne (1 % du méroplancton). Au point *rejet*, les larves d'annélides sont présentes principalement au printemps et à l'automne avec des valeurs d'abondance respectives de 159 et 22 ind./10 m³. Les abondances les plus faibles sont observées au point *référence* et varient de 5 à 83 ind./10 m³. Il est à noter que les larves sont absentes de ce point en juin.

- Embranchement des mollusques

Il est essentiellement représenté par les larves de gastéropodes. Pendant l'été les valeurs maximales atteignent 424 ind./10 m³ au point *rejet* et correspondent à 36 % du méroplancton. Leur proportion atteint 62 % pour le point *canal* à la même période (341 ind./10 m³) et n'est que de 7% pour le point *référence*.

Ces larves peuvent encore représenter 58% et 38% du méroplancton aux points *rejet* et *référence* en septembre.

Il est à noter qu'un nouveau taxon de mollusque a été identifié en 2006. Il s'agit des larves d'Hétéropodes présentant leur maximums d'abondance en été sur les trois points (13 à 22 ind./10 m³) et pouvant représenter jusque 40% des mollusques dénombrés pendant cette période (point *référence*).

- Embranchement des cnidaires (hydrozoaires, méduses)

Ces petites méduses (moins de 1 cm) sont présentes dès le mois de mars aux 3 points avec des valeurs oscillant entre 10 ind./10 m³ pour le point *référence* et 118 ind./10 m³ pour le point *rejet*.

Les points *rejet* et *référence* voient leur abondance décroître d'un facteur 10 au cours de l'année et les cnidaires ne représentent sur ces points jamais plus de 1% du méroplancton total.

Pour le point *canal*, un maximum annuel d'abondance (méduses du genre *Obelia*) est observé en septembre avec 366 ind./10 m³ et correspond à 48 % du méroplancton total

- Embranchement des amphipodes

Absents du point *référence* en mars, les amphipodes présentent des valeurs minimales au printemps sur les deux autres sites (< 10 ind./10 m³). Ils montrent un pic d'abondance estival atteignant la valeur maximale de 23 ind./10 m³ au point *rejet*, ce qui correspond à 2 % du méroplancton. De par leur grande taille, ce pic d'abondance des amphipodes a certainement contribué aux fortes

biomasses observées en été (cf. § 3.4.2.2.1). Les valeurs décroissent à l'automne et varient de 4 ind./10 m³ (point *canal*) à 22 ind./10 m³ (point *référence*) et représentent jusque 7 % du méroplancton total. À la même période un gradient *côte-large* très marqué s'installe entre les points *canal* et *référence*.

3.4.3. Conclusion

L'étude des biomasses zooplanctoniques en 2006 met en évidence des valeurs proches ou supérieures (point *canal*) aux médianes pluriannuelles au printemps, mais de plus fortes biomasses en juillet et septembre en particulier au point *rejet* en été et aux points *canal* et *rejet* en automne.

Les plus fortes abondances zooplanctoniques (55 083 ind./10 m³) ont été enregistrées en mars au point *référence* (au large). À cette période, les abondances obtenues en 2006 se situent au sommet du nuage contenant 50 % des valeurs pour le point *rejet*, et sont la valeur maximale de la série temporelle pour le point *référence*. Au printemps et en automne, les valeurs d'abondances sont proches des médianes pluriannuelles pour le point *canal*, et supérieures pour les points *rejet* et *référence*. Un gradient d'abondance croissant vers le large est observé au printemps et en été et disparaît en automne. Les seules différences significatives entre stations aux trois dates 2006 lors des tests sont observées entre les couples de points *référence-rejet* au printemps, et *canal-référence* et *canal-rejet* en été.

L'holoplancton est principalement dominé par les copépodes qui en représentent toujours plus de 47% lors des trois missions annuelles. Les copépodes dominants sont dans l'ordre : *Centropages hamatus*, *Temora longicornis*, *Acartia clausi*, *Pseudocalanus minutus* et *Paracalanus parvus*. Chacune de ces espèces respecte, pour ce que peut montrer cette analyse de trois campagnes réparties sur l'année, leur répartition saisonnière habituelle.

La dominance globale des copépodes sur l'ensemble du zooplancton peut dépasser 90 % (périodes estivale et automnale). Cette dominance globale peut diminuer jusqu'à 3 % au printemps par l'apparition temporaire et massive des larves de cirripèdes (balanes) et de bryozoaires. Elle diminue aussi de manière massive en été suite à l'émission de larves de mollusques (62 % du méroplancton total au point *canal*) et d'anomoures (52 % du méroplancton total au point *référence*).

Au printemps 2006, la faune zooplanctonique a été massivement dominée par le méroplancton, essentiellement constitué de cirripèdes et de larves cyphonautes de bryozoaires. À cette période, les cirripèdes ont dominé sur tous les sites (72 à 94 %) alors que les cyphonautes étaient davantage localisées au point *canal* (24 %). Lors de la campagne estivale, l'essentiel de la biomasse méroplanctonique a été partagée entre les larves de gastéropodes, dont des hétéropodes, et des larves de crustacés décapodes. Au mois de septembre, ce sont d'une part les cirripèdes, et d'autre part les larves de mollusques à la côte et de crabes au large qui ont présenté les plus fortes dominances.

3.5. Microbiologie

L'utilisation de l'eau de mer pour le refroidissement des centrales nucléaires, entraîne, autour des zones de rejet, une augmentation de la température des eaux qui peut favoriser le développement de peuplements bactériens. Un suivi de l'évolution de ces peuplements a été mis en oeuvre depuis 1987 sur la centrale de Flamanville. Il repose sur le dénombrement des germes totaux, des germes aérobies revivifiables (pouvant reprendre une activité pathogène si les conditions du milieu leur devenaient favorables) et sur l'identification et le dénombrement des vibrions halophiles.

Les vibrions halophiles sur le territoire français

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

Photobacterium damsela, anciennement appelée *Vibrio damsela*, puis *Listonella damsela* est plutôt reconnue comme une souche pathogène pour les poissons (Euzéby, 2000).

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

Depuis 1995, le CNRVC¹¹ a mis en place un système de surveillance des infections à vibrions non cholériques sur le territoire français. Il reçoit les souches, isolées par les laboratoires hospitaliers et d'analyse biologique et médicale, pour identification, ou confirmation d'identification et caractérisation moléculaire (Vaillant *et al*, 2005). Le tableau 3.22 propose une synthèse des souches de vibrions non cholériques identifiées, responsables d'infections humaines entre 1995 et 2005 sur le territoire français.

Un total de 102 cas d'infections à vibrions non cholériques a été répertorié entre 1995 et 2005. Six espèces ont été identifiées : *V. cholerae* (sérogroupes non-O1/non-O139), qui a été l'espèce la plus fréquemment isolée (49,02 %) ; *V. alginolyticus*, *V. parahaemolyticus* et *V. vulnificus* qui ont été respectivement responsables de 19,61 %, 16,77 % et 10,78 % des cas d'infections ; et les souches *V. fluvialis* et *V. hollisae* qui ont rarement été mises en cause, puisqu'elles représentent moins de 2 % des cas d'infections.

¹¹ CNRVC : Centre Nationale de Référence des Vibrions et du Choléra de l'Institut Pasteur.

Souches identifiées
nombre de cas d'infection (%)

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

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

(1) Geneste *et al.* 2000

(2) Quilici *et al.* 2000

(3) Quilici *et al.* 2005

(4) Quilici et Fournier. 2004

(5) Quilici et Fournier. 2005

Tableau 3.22 : Souches de vibrions non cholériques responsables d'infections humaines identifiées par le CNRVC entre 1995 et 2005

Les souches de *V. cholerae*, *V. parahaemolyticus* et *V. vulnificus* sont responsables des manifestations cliniques les plus sévères (Quilici *et al.*, 2000). *V. cholerae* est une espèce qui peut survivre dans un environnement moins salé que les autres espèces halophiles. De ce fait, son ubiquité et les infections graves qu'elle entraîne, contribue à sa forte présence dans le recensement du CNRVC, représentant à elle seule, 49 % des cas d'infections. Alors que, d'après l'étude menée par Hervio-Heath *et al.* (2002), sur la recherche d'espèces de vibrions potentiellement pathogènes dans l'environnement marin des côtes et estuaires français, seulement 3 souches de *V. cholerae* ont été identifiées sur un total de 189. Quant à *V. alginolyticus*, qui est responsable d'infections plus bénignes, elle était l'espèce prédominante sur le littoral français avec 99 souches identifiées sur 189. Pour information, suivaient les souches de *V. parahaemolyticus* (41/189) et *V. vulnificus* (20/189).

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

La salinité influence également la distribution spatiale des souches de vibrions non cholériques. En effet, l'étude menée par Hervio-Heath *et al.* (2002), semble indiquer qu'une salinité > 25 ‰ induit des effets sur la distribution de *V. vulnificus*, qui est plus souvent isolé dans les eaux estuariennes que marines.

3.5.1. Matériel et méthodes

3.5.1.1. Prélèvements

Conformément à la stratégie mise en place pour le site de Flamanville, les travaux de surveillance ont été réalisés autour de la pleine mer et par coefficients de mortes eaux les 25 mars, 20 juin et 26 septembre 2006. Les prélèvements ont été effectués à bord de la vedette de la SNSM par le personnel du laboratoire départemental Frank Duncombe de Caen au même moment que les échantillons hydrologiques menés à bord du *NO THALIA*. Les échantillons d'eau ont été prélevés au moyen de flacons stériles, puis maintenus au froid pendant leur transport jusqu'au laboratoire pour analyse (temps entre le prélèvement et l'analyse < 6 heures).

Les points échantillonnés ont été les suivants :

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

Depuis 1999, des dénombrements en germes totaux ont été réalisés simultanément dans les rejets Nord et Sud (figure 3.56).

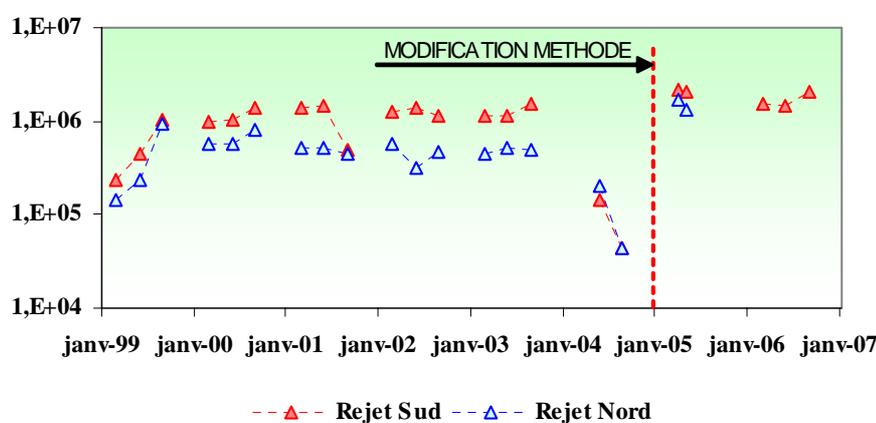


Figure 3.56 : Évolution des quantités de germes totaux (nombre par mL) de 1999 à 2005 sur les deux rejets

Bien que la méthode d'analyse ait été modifiée en 2005 (cf. Rapport IGA 2005), les plus fortes abondances de germes totaux sont régulièrement observées sur le rejet sud. Les rejets des eaux usées de la centrale, qui sont déversés dans le canal de rejet et préférentiellement aspirés par la tranche n°1 pourraient expliquer ce phénomène. Compte tenu de ces résultats, seul le point *rejet sud*, qui est le plus défavorable, a été conservé en 2006.

La stratégie d'échantillonnage suivie en 2006 est présentée dans le tableau 3.23. Des réplicats ont été réalisés pour le dénombrement des germes revivifiables et l'identification des vibrions halophiles.

Nombre d'échantillons		PARAMETRES		
Points suivis	Niveau d'échantillonnage	Germes totaux	Germes revivifiables	Vibrions halophiles
<i>Canal</i>	Surface	1	2	2
<i>Rejet sud</i>	Surface	1	2	2
<i>Référence</i>	Surface	1	2	2
	Mi-Profondeur	1	2	2

Tableau 3.23 : Stratégie d'échantillonnage en 2006

3.5.1.2. Analyses microbiologiques

Dénombrement des germes totaux en épifluorescence

Le protocole analytique utilisé est le suivant :

- Stabilisation de l'échantillon au moment du prélèvement par du formol dépoussiéré afin de limiter la multiplication des bactéries ;
- Filtration sur membrane en polycarbonate 0,2 μm teintée au laboratoire avec de l'Irgalan black ;
- Coloration à l'acridine orange au 1/30 000^e ;
- Observation au microscope de la membrane sous lumière UV réfléchie.

Toutes les bactéries mises en évidence par coloration sont dénombrées sans distinction de couleur (les bactéries *vivantes* apparaissent colorées en vert, les bactéries *mortes* en rouge).

Dénombrement des germes aérobies revivifiables sur milieu de Zobell.

Le protocole analytique utilisé est le suivant :

- étalement au râteau sur milieu de Zobell ;
- dénombrement après incubation à 20°C pendant 11 jours.

Identification et dénombrement des vibrions halophiles (méthode EDF)

Contrairement à 2004 et 2005, une seule méthode de dénombrement et d'identification des vibrions halophiles a été retenue en 2006. Mise au point par le laboratoire Pasteur, mais appelée "Méthode EDF" dans ce rapport, elle sera utilisée sur l'ensemble des centrales du bord de mer et devraient ainsi permettre la comparaison des populations de vibrions halophiles entre elles. La comparaison des deux méthodes (l'ancienne et celle d'EDF) en 2004 et 2005, a permis de mettre en évidence quelques différences dues aux méthodologies et aux milieux de culture utilisés, sans pour autant altérer la tendance générale (figures 3.25 et 3.26).

Le protocole analytique utilisé est le suivant :

- Filtration de 10 ml à 1000 ml sur membrane en acétate de cellulose de porosité 0,45 μm ;
- inclusion dans milieu TCBS à $37 \pm 1^\circ\text{C}$ pendant 18 à 24 h ;
- lecture des boîtes ;
- incubation 24 h à $20 \pm 2^\circ\text{C}$;
- nouvelle lecture des boîtes ;
- repiquage et isolement sur gélose TCBS à $37 \pm 1^\circ\text{C}$ pendant 24 h ;
- repiquage colonies en milieu Zobell et incubation à $37 \pm 1^\circ\text{C}$ pendant 24 h ;
- tests divers et recherche de pathogènes.

3.5.2. Résultats

3.5.2.1. Récapitulatif des résultats des mesures microbiologiques pour l'année 2006.

Les résultats acquis au cours des trois campagnes de mesure pour l'année 2006 sur le site de Flamanville sont présentés dans le tableau 3.24. Les valeurs retenues pour les quantités de germes revivifiables sont celles du plus fort réplikat pour le point *Rejet Sud* et la moyenne des deux réplikats pour les points *Canal*, *Référence* et *Référence* à mi-profondeur.

	CANAL	REJET (SUD)	RÉFÉRENCE	RÉFÉRENCE $\frac{1}{2} z$	
25 MARS	<i>Germes totaux (g./mL)</i>	1 350 000	1 510 000	1 380 000	1 270 000
	<i>Germes revivifiables (g./mL)</i>	642	418	99	192
	<i>Dénombrement de vibrions halophiles (vibrions/L) (méthode EDF)</i>	1 Va, 12 Pd, 1 Vc	1 Pd	< 1	< 1
		16 Pd, 1 Vc	6 Pd	< 1	< 1
20 JUIN	<i>Germes totaux (g./mL)</i>	1 600 000	1 460 000	1 440 000	1 690 000
	<i>Germes revivifiables (g./mL)</i>	747	238	181	231
	<i>Dénombrement de vibrions halophiles (vibrions/L) (méthode EDF)</i>	100 Va	24 Va	< 1	< 1
		140 Va	9 Va	< 1	< 1
29 SEPTEMBRE	<i>Germes totaux (g./mL)</i>	2 170 000	2 030 000	1 190 000	1 270 000
	<i>Germes revivifiables (g./mL)</i>	973	586	458	431
	<i>Dénombrement de vibrions halophiles (vibrions/L) (méthode EDF)</i>	200 Va et 100 Vp	100 Va et 10 Pd	2 Va et 4 Pd	2 Va et 40 Pd
		70 Pd et 100 Vv	20 Va	1 Va et 15 Pd	10 Va et 3 Pd

Va = *Vibrio alginolyticus* ; Vv = *Vibrio vulnificus* ; Pd = *Photobacterium damsela* ; Vc = *Vibrio cholerae* ;
Vp = *Vibrio parahaemolyticus*.

Tableau 3.24 : Récapitulatif des résultats de microbiologie pour 2006 dans les eaux de Flamanville

3.5.2.2. Résultats du dénombrement des germes totaux

3.5.2.2.1 Variations spatiales et saisonnières des germes totaux en 2006

Les quantités de germes totaux en 2006 varient de 1 190 000 germes/mL, observées sur le point *référence* en septembre, à 2 170 000 germes/mL sur le point *canal* à la même période (figure 3.57). Les valeurs observées en septembre sont plus fortes que celles enregistrées en mars et juin, excepté sur le point *référence*. Les maxima de la température de l'eau de mer sont généralement observés entre les mois d'août et septembre ce qui favorise la croissance bactérienne et peut expliquer ces résultats. Les abondances en germes totaux restent néanmoins du même ordre de grandeur au point *référence* quelle que soit la saison.

Les quantités de germes totaux suivent un gradient décroissant entre les points *canal* et *référence*, à l'exception de la situation observée au mois de mars où elles sont sensiblement du même ordre de grandeur quels que soit le point suivi.

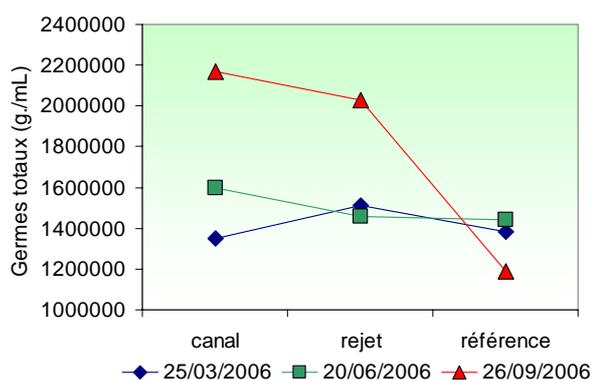


Figure 3.57 : Évolution des quantités de germes totaux par mL dénombrés par épifluorescence en 2006

3.5.2.2.2 Variations inter-annuelles des germes totaux

Le nombre total de germes dénombrés en 2006 présentent une légère baisse par rapport à 2005 (figure 3.58). Ceci pourrait s'expliquer par des températures de l'eau de mer plus faibles en 2006 qu'en 2005 sur l'ensemble des points et des campagnes. Les valeurs restent néanmoins supérieures à celles précédant la modification de la méthode d'analyse, qui avec une filtration à une porosité de 0,2 μm , au lieu de 0,45 μm , a augmenté le nombre de particules filtrées et ainsi les quantités de germes dénombrés.

Entre 1992 et 2003, les abondances sont restées très stables oscillant entre 500 000 germes/L et 2 000 000 germes/L quelque soit la campagne ou le point d'échantillonnage. Les faibles valeurs observées en juin et septembre 2004 pourraient s'expliquer par le fort taux de mélange de la colonne d'eau suite au mauvais état de la mer au moment de la prise des échantillons, et/ou par le changement d'opérateur lors des dénombrements.

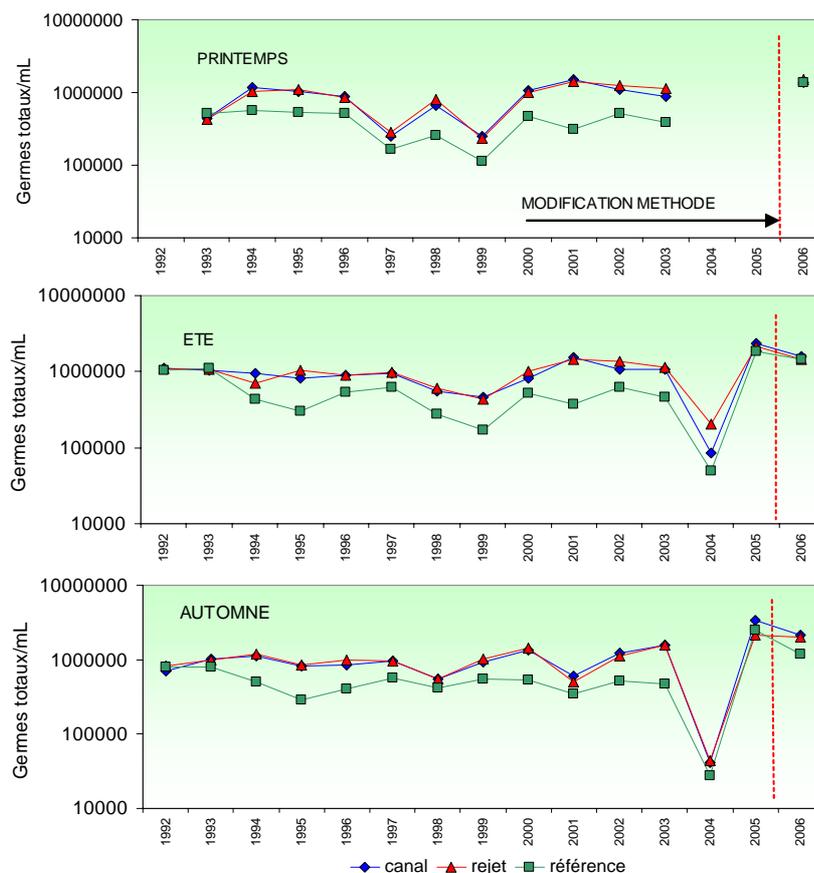


Figure 3.58 : Évolution des quantités de germes totaux par mL dénombrés par épifluorescence depuis 1992

L'utilisation de la *boîte à moustaches* pose le problème de l'hétérogénéité des données des séries. Pour garder l'avantage des différences relatives entre les points d'échantillonnages, nous avons conservé la représentation en *boîte à moustaches* de la série 1987-2004, à laquelle nous avons superposé les données de l'année en cours sans les intégrer aux calculs (figure 3.97).

Les *boîtes à moustaches* de la figure 3.59 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 d'au moins un facteur 10. Les valeurs des médianes du point *référence* de la série 1987-2004 sont inférieures à celles des points *canal* et *rejet* pour les trois campagnes. Ceci est aussi valable pour les campagnes de juin et de septembre 2006.

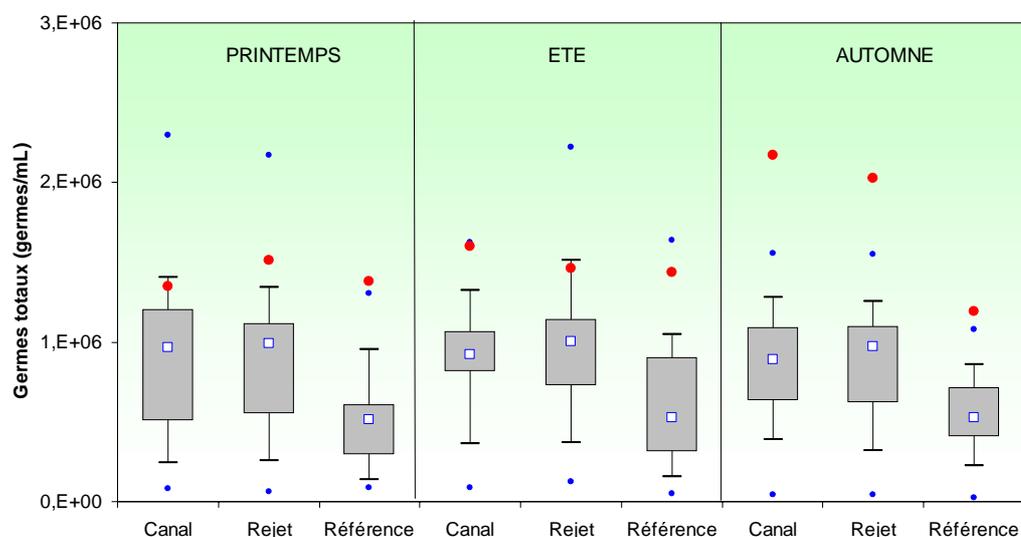


Figure 3.59 : Germes totaux de 1987 à 2004 dénombrés par épifluorescence et valeurs 2006 en rouge

3.5.2.2.3 Approche statistique

Le changement de protocole analytique ne nous permet pas de réaliser une approche statistique sur le nombre de germes totaux. Il faudra encore attendre quelques années pour avoir un minimum de résultats à traiter.

3.5.2.3 Résultats en germes revivifiables sur milieu de Zobell

3.5.2.3.1 Variations spatiales et saisonnières des germes revivifiables

Le nombre de germes revivifiables varie de 99 germes/mL observés au point *référence* au mois de mars, à 973 germes/mL au point *canal* en septembre (figure 3.60). Les valeurs de germes revivifiables obtenues lors des campagnes de mars et de juin sont assez proches et inférieures à celles observées en septembre. Sur l'ensemble des campagnes de 2006, les valeurs les plus fortes sont observées au point *canal* avec un gradient décroissant de la côte vers le large.

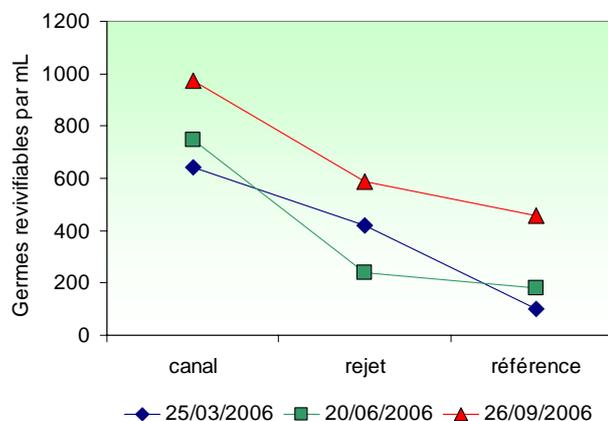


Figure 3.60 : Évolution des quantités de germes revivifiables par mL dénombrés sur milieu de Zobell en 2006

3.5.2.3.2 Variations inter-annuelles des germes revivifiables

Les valeurs observées en 2006 sont supérieures à celles de 2005, à l'exception de la campagne estivale du mois de juin (figure 3.61). Dans cette dernière, se confirme la forte augmentation des germes revivifiables observée en 2005 sur le point *canal*, avec des valeurs comparables à celles des années 1993 et 1999. En septembre, le nombre de germes est proche des maxima observés depuis 1988.

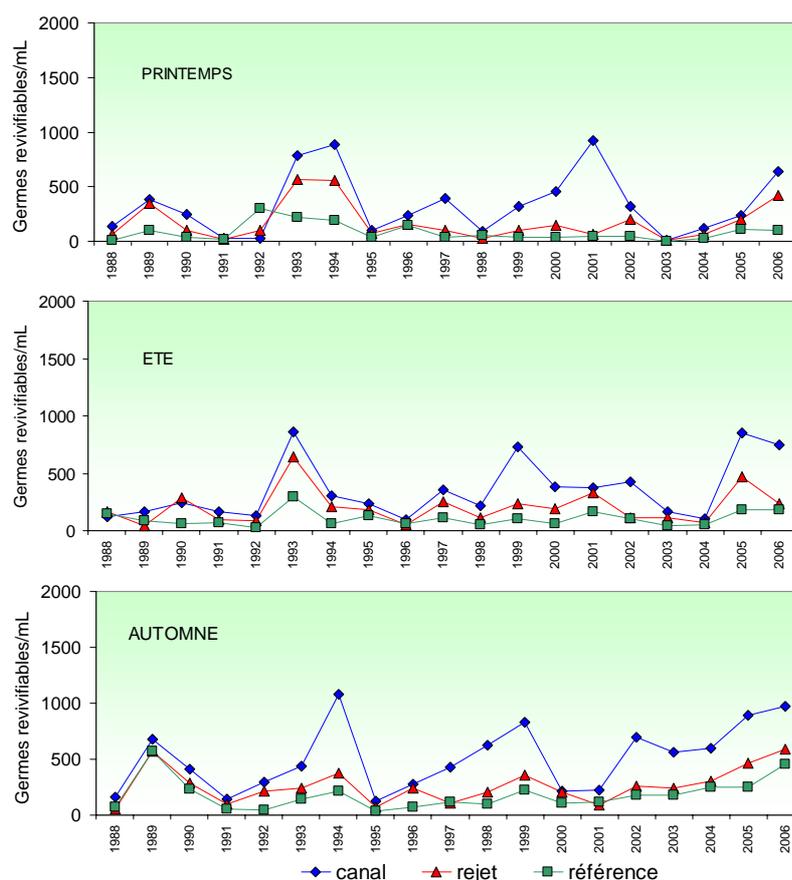


Figure 3.61 : Évolution des quantités de germes revivifiables par mL depuis 1988

Dans la figure 3.62, les *boîtes à moustaches* du printemps présentent une plus forte dispersion des valeurs par rapport à celles d'été et d'automne. Les plus faibles médianes pluriannuelles 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 être expliquées par le mélange des eaux du *canal* et de la *référence*.

Les nombres de germes revivifiables en 2006 se situent tous au-dessus des médianes pluriannuelles enregistrées depuis 1987, et le plus souvent, proches de la moustache haute, qui détermine 80 % des valeurs de la série.

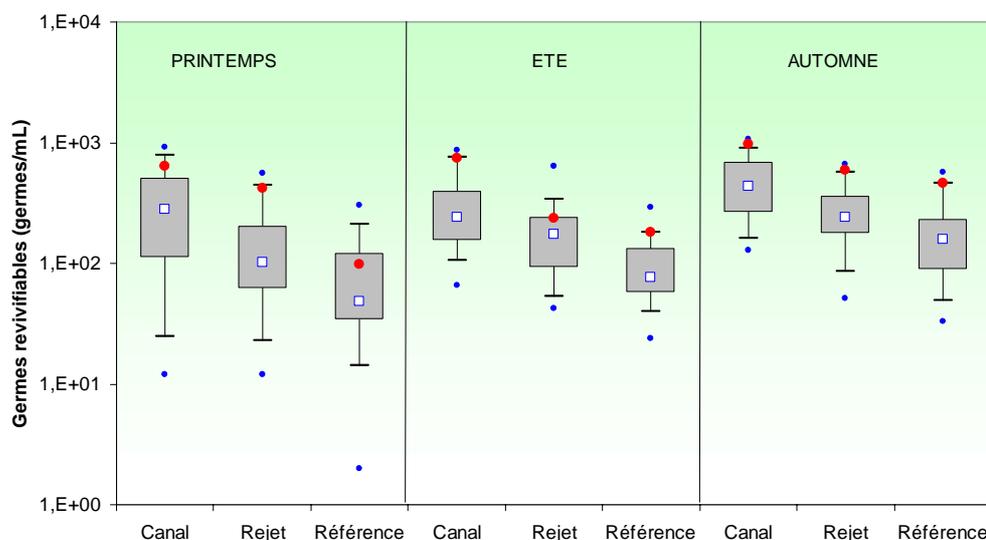


Figure 3.62 : Germes revivifiables (nombre par mL) dénombrés depuis 1987 et valeurs 2006 en rouge

3.5.2.3.3 Approche statistique

Le tableau 3.25 présente les résultats des tests statistiques pratiqués sur les nombres de germes revivifiables depuis 1987. L'ensemble des tests effectués présente des différences significatives entre les points échantillonnés quelque soit la campagne étudiée.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,001	0,001	0,000
RÉFÉRENCE / REJET	0,010	0,000	0,000
CANAL / RÉFÉRENCE	0,000	0,000	0,000

En caractère gras : probabilité associée $p < 0,05$ = différence significative

Tableau 3.25 : Probabilité associée p des tests statistiques pour les germes revivifiables sur milieu de Zobell

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

3.5.2.4.1 Identification de vibrions halophiles

L'identification des vibrions halophiles suivant la méthode EDF, a mis en évidence la présence dès le mois de mars, de trois souches sur le point canal : *Vibrio alginolyticus*, *Photobacterium damsela* et *Vibrio cholerae*. Cette dernière n'a été observée qu'une fois en 1995 avec l'ancienne méthode au point canal (figure 3.26).

Comme en 2005, le mois de juin est qualifié par la présence de *V. alginolyticus* sur les points canal et rejet (figure 3.27).

En revanche, la campagne de septembre a mis en évidence la présence de quatre souches. *V. alginolyticus* et *Ph. damsela*, identifiées sur l'ensemble des points, comme

méthode EDF par rapport à l'ancienne méthode. Néanmoins ces deux dernières espèces n'ont pas été détectées par la méthode EDF ni en 2004 ni en 2005.

3.5.2.4.2 Dénombrement des vibrions halophiles

Suite à la mise en place de la méthode préconisée par l'EDF sur l'ensemble des centrales du bord de mer, des dénombrements viennent compléter les identifications de vibrions halophiles. Le nombre de vibrions halophiles quantifiés en 2006 était compris entre 1 *V. alginolyticus* sur le point *canal* en mars et 200 *V. alginolyticus* sur le même point en septembre. Le nombre de vibrions totaux par point et par saison a été obtenu en additionnant les plus fortes valeurs des réplicats par point et par souche (figure 3.63). L'augmentation du nombre total de vibrions du printemps vers l'automne coïncide avec l'élévation de température de l'eau de mer qui atteint son maxima entre les mois d'août et septembre. Un gradient décroissant est observé entre les points *canal* et *référence* quelles que soient les saisons. Ce qui suggère, qu'en plus de l'effet de la température, le caractère plus côtier de la masse d'eau proche du canal d'amenée favorise également le développement des souches bactériennes.

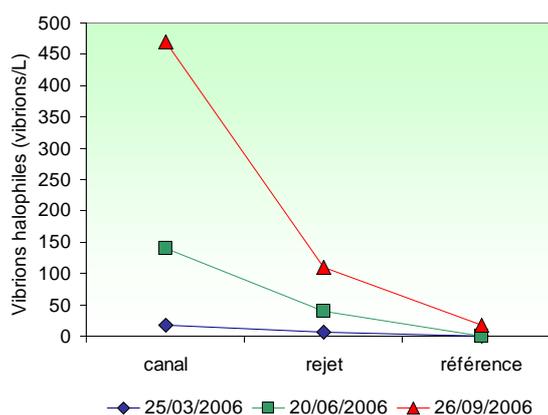
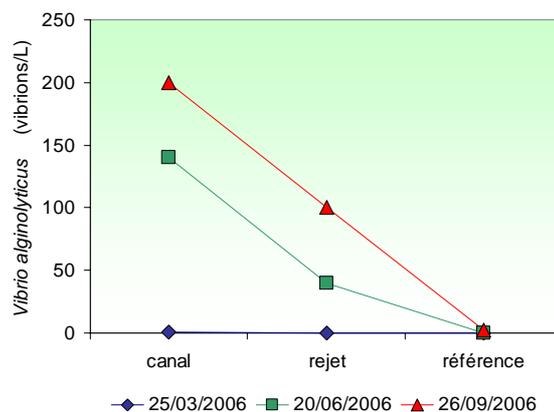
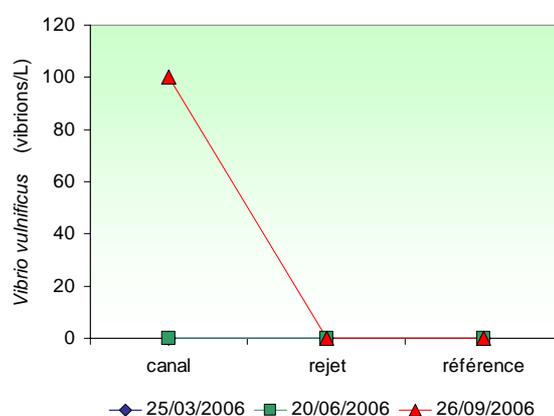
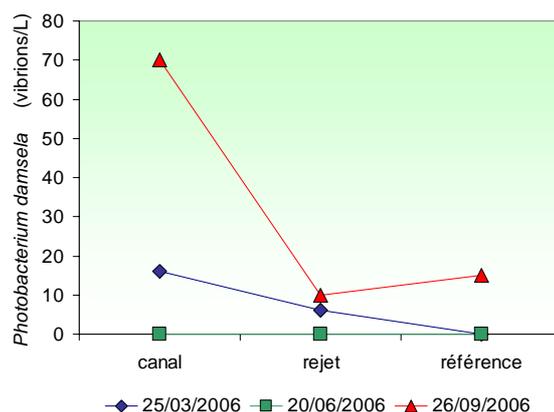


Figure 3.63 : Dénombrement des vibrions halophiles totaux en 2006

Les figures 3.64, 3.65 et 3.66 présentent respectivement l'évolution dans l'année des souches de *V. alginolyticus*, *V. vulnificus* et *Ph. damsela*. Le gradient décroissant de la côte vers le large est mis en évidence sur la distribution de ces trois souches, et tout particulièrement au mois de septembre, où elles sont bien représentées. Au mois de juin, seul *V. alginolyticus* était présent.

Figure 3.64 : Dénombrements de *Vibrio alginolyticus* en 2006Figure 3.65 : Dénombrements de *Vibrio vulnificus* en 2006Figure 3.66 : Dénombrements de *Photobacterium damsela* en 2006

Le dénombrement des vibrions halophiles (tableau 3.23) a également permis de trouver un vibron par litre de *V. cholerae* sur le point canal en mars, et 100 vibrions/L de

V. parahaemolyticus sur le même point en septembre. La souche de *V. cholerae*, après expertise à l'Institut Pasteur, a été classée non-O1/non-O139¹².

La figure 3.67 présente la distribution comparée des quatre souches identifiées au mois de septembre. Au point *canal*, *V. alginolyticus*, *V. vulnificus* et *V. parahaemolyticus* ont été plus nombreux que *Ph. damsela*. Au point *rejet* c'est *V. alginolyticus* qui dominait en nombre, tandis qu'au point *référence* les abondances ont été similaires.

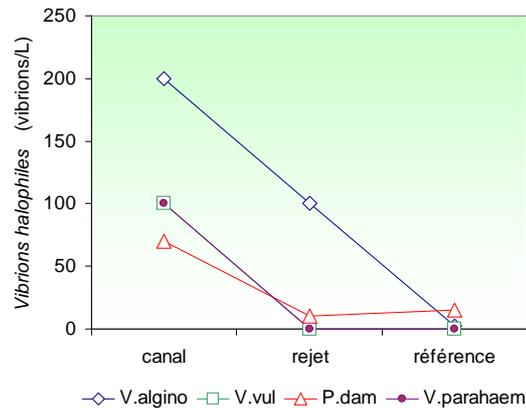


Figure 3.67 : Dénombrement des principales souches de vibrions halophiles en septembre 2006

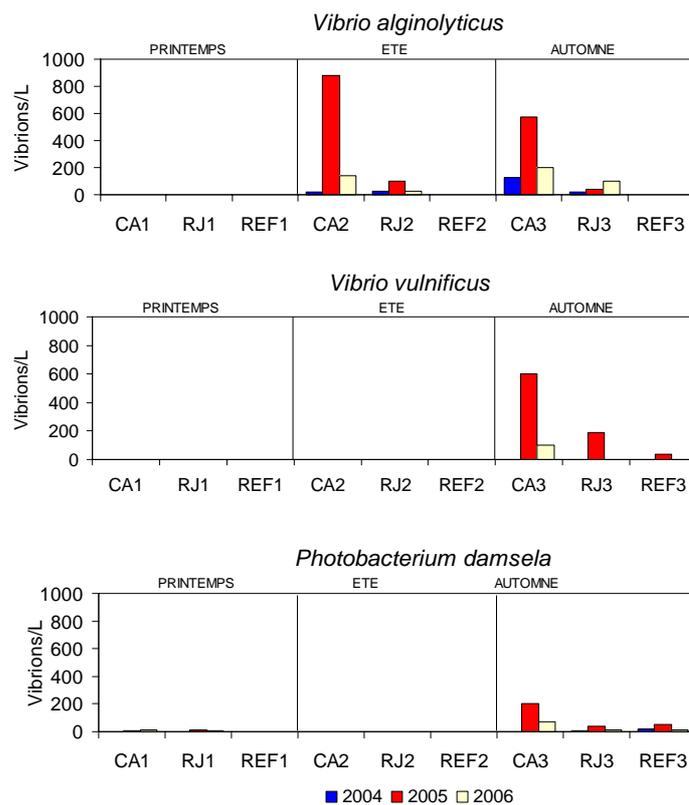


Figure 3.68 : Dénombrement des principales souches de vibrions halophiles depuis 2004
Chronologiquement, *Ph. damsela* se développe en mars, dans des eaux de 7 à 9° C. En juin, c'est *V. alginolyticus* qui prend la suite, au moment où les eaux se situent dans

¹² Les séro-groupes O1 et O139 sont associés aux épidémies de choléra par production de la toxine cholérique. Les séro-groupes non O1 et non O139 sont des agents de diarrhées cholériques sans caractère épidémique.

une plage de valeurs de 14 à 16° C. C'est au mois de septembre que nous observons le maximum d'abondance et de diversité. A ce moment, les températures de l'ensemble des points se situent entre 17,4 et 19° C. Les abondances observées en 2006 sont plus faibles qu'en 2005 et se rapprochent des valeurs observées en 2004 (figure 3.68).

3.5.2.4.3 Approche statistique

Les dénombrements de vibrions halophiles sont réalisés sur les échantillons des eaux proches de la centrale de Flamanville depuis 2004. Cette période reste encore trop courte pour réaliser une approche statistique de l'évolution des quantités de vibrions halophiles.

3.5.3. Conclusion

L'évolution des concentrations de germes totaux est restée assez stable entre 1992 et 2004 sur l'ensemble des points échantillonnés, mettant ainsi en évidence la stabilité du système. Le changement de méthode analytique intervenu en 2005, avec l'utilisation de filtres de plus faible porosité, a induit une augmentation du nombre de germes dénombrés. Ceci est confirmé par les résultats de 2006, qui sont néanmoins légèrement plus faibles qu'en 2005. Les valeurs obtenues ces deux dernières années ne peuvent pas alors, être directement comparées à celles des séries précédentes. Ce changement, qui permettra de comparer le nombre de germes totaux sur les trois centrales normandes, n'a pas eu d'influence sur la distribution spatiale des germes totaux, qui présente toujours un gradient décroissant de la côte vers le large.

Les quantités de germes revivifiables sont en augmentation depuis trois à quatre ans et plus particulièrement en septembre, où elles atteignent, pour tous les points, des valeurs proches des maxima observés depuis 1988. Leur distribution présente le même gradient que les germes totaux, avec un plus fort écart observé entre les abondances du mois de septembre et celles des mois de mars et juin. Ces dernières restent, quelle que soit la saison plus élevées sur le point *canal*.

L'identification des vibrions halophiles par la méthode EDF confirme la dominance des souches de *Vibrio alginolyticus* et *Photobacterium damsela* dans les eaux proches de la centrale de Flamanville. En 2006, la campagne de mars a été caractérisée par la présence précoce de *Vibrio alginolyticus*, accompagnée de *Photobacterium damsela*, qui était la seule souche présente à cette période en 2005. *Vibrio cholerae*, absent depuis 1995 (suivant l'ancienne méthode) a été identifiée au cours de cette campagne sur le point *canal*. L'Institut Pasteur a confirmé l'absence de la toxine cholérique. Comme en 2005, *Vibrio alginolyticus* a été la seule souche présente au mois de juin. Au mois de septembre est atteint le maximum de diversité et d'abondance avec la présence de *V. alginolyticus*, *Ph. damsela*, *V. vulnificus* et *V. parahaemolyticus* dont la dernière apparition remonte à juin 2002 (suivant l'ancienne méthode).

Depuis 2004, la méthode quantitative par filtration mise en place par EDF, permet de dénombrer les souches de vibrions halophiles. En 2006, les quantités de *V. alginolyticus*, *Ph. damsela* et *V. vulnificus* ont diminué par rapport à 2005 pour revenir aux valeurs observées en 2004, à l'exception de *V. alginolyticus*, qui sur le point *rejet* continue d'augmenter, passant de 23 vibrions/L en 2004 à 100 vibrions/L en 2006 lors de la campagne de septembre.

La présence de *V. parahaemolyticus* (100 vibrions/L) sur le point canal au mois de septembre est à prendre en compte, mais ne peut pas être comparée aux valeurs de

2002, où la méthode utilisée n'était que qualitative. L'évolution de ce vibron, pathogène pour l'homme, sera à suivre de près lors des campagnes des années prochaines.

L'ensemble des paramètres du compartiment microbiologique présente un gradient décroissant entre les points *canal* et *référence*, qui outre l'effet de la température, peut être expliqué par le plus faible hydrodynamisme près des côtes et un plus fort impact des activités humaines en général. Parallèlement, les abondances constatées au point *rejet* se situent entre celles des points *canal* et *référence*, suggérant la continuité du gradient côte-large.

L'étude des divers paramètres du compartiment microbiologique ne nous permet pas de conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu dû à l'activité de la centrale de Flamanville.

4. Le domaine benthique

Etude et rapport réalisés à l'Ifremer par

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

Avec la collaboration pour les prélèvements et les analyses de

<i>Denise</i>	<i>Guillerm</i>	<i>(DOP)</i>
<i>Nicolas</i>	<i>Desroy</i>	<i>(LER / FBN)</i>

La surveillance du domaine benthique réalisée uniquement au niveau intertidal concerne

- d'une part le phytobenthos, concrétisé par le suivi d'une population de *Fucus serratus* sur l'estran de Diélette.
- d'autre part le zoobenthos, avec l'étude des populations de cirripèdes (figure 4.1).

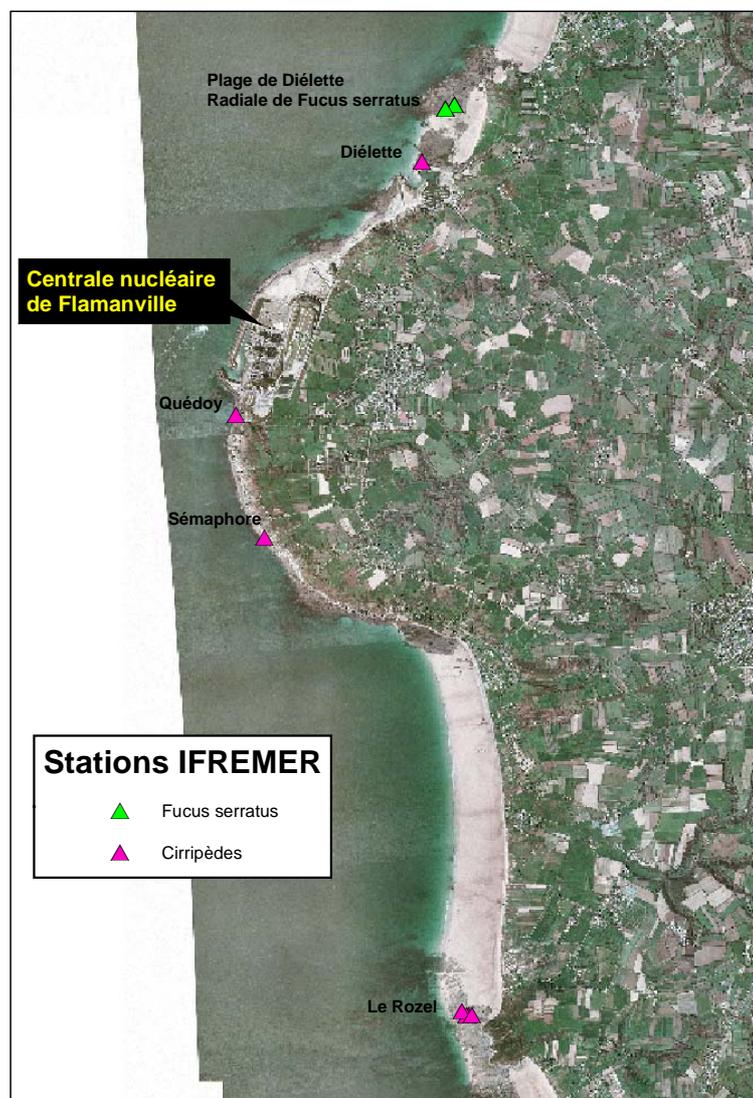


Figure 4.1 : Localisation de la radiale d'étude de *Fucus serratus* sur le platier de Diélette et des stations d'échantillonnage des cirripèdes. Photographie mars 2002. © Ortholittorale 2000

4.1. Phytobenthos intertidal

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

4.1.1. Biologie de l'espèce

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



Photo 4.1 : Extrémité d'un thalle de *Fucus serratus*

- **Description** : algue brune fixée au substrat. Thalle plat à bords dentés. Algue pérennante.
- **Répartition géographique** : de la Scandinavie au Portugal, et côtes est et ouest de l'Amérique du Nord.
- **Répartition bathymétrique** : algue intertidale. Forme une ceinture qui occupe la majeure partie du médiolittoral sous la ceinture à *Fucus vesiculosus*, jusqu'aux laminaires. Apte à supporter des expositions régulières à l'air et une déshydratation partielle. On ne trouve pas de *Fucus* en Méditerranée, sauf en

mer Adriatique où on trouve *Fucus virsoides* du fait de l'existence de petites marées. Assez tolérante vis à vis des températures. Milieux battus et abrités.

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

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

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



Photo 4.2 : *Fucus serratus*. Réceptacles contenant les gamétocytes mâles ou femelles.

- **Croissance** : croissance apicale peu rapide. Elle serait de l'ordre de 25 cm/an en moyenne. La lumière, la température, la durée d'immersion, l'exposition agissent sur la croissance.
- **Cycle saisonnier** : l'intensité lumineuse, la température et la concentration en sels nutritifs agissent sur la croissance et la reproduction. La densité varie en fonction de la saison. Au printemps, le nombre de jeunes individus est beaucoup plus élevé qu'en hiver et témoigne d'un fort recrutement à cette période.

- **Durée de vie** : elle varie de 2 à 5 ans. C'est le degré d'exposition qui conditionne la composition en âge des populations. Ces dernières sont d'autant plus jeunes que le site est battu par les vagues, ce qui est le cas de Flamanville.
- **Causes de mortalité** : elles sont liées aux conditions hydrodynamiques, et au broutage intensif effectué par les gastéropodes, surtout sévère dans les premiers stades de vie de la plante.
- **Utilisation** : cette algue est utilisée, soit directement comme engrais dans les champs, soit après transformation en farines végétales, engrais, sans oublier l'extraction d'alginate.

4.1.2. Méthodologie

4.1.2.1. 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. 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.

4.1.2.2. Baguages sur radiales



Photo 4.3 : Pieds de *Fucus serratus* bagués sur le platier de Diélette.

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

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

La méthodologie est ensuite la même pour le baguage de 300 pieds en 1987, de 287 en 1989, de 248 en mars 1991, de 250 en mars 1993, de 200 en mars 1994 et 1995, et enfin de 100 de mars 1996 à mars 2005. 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.

4.1.2.3. Paramètres mesurés

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 (\varnothing) 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.

4.1.3. Résultats

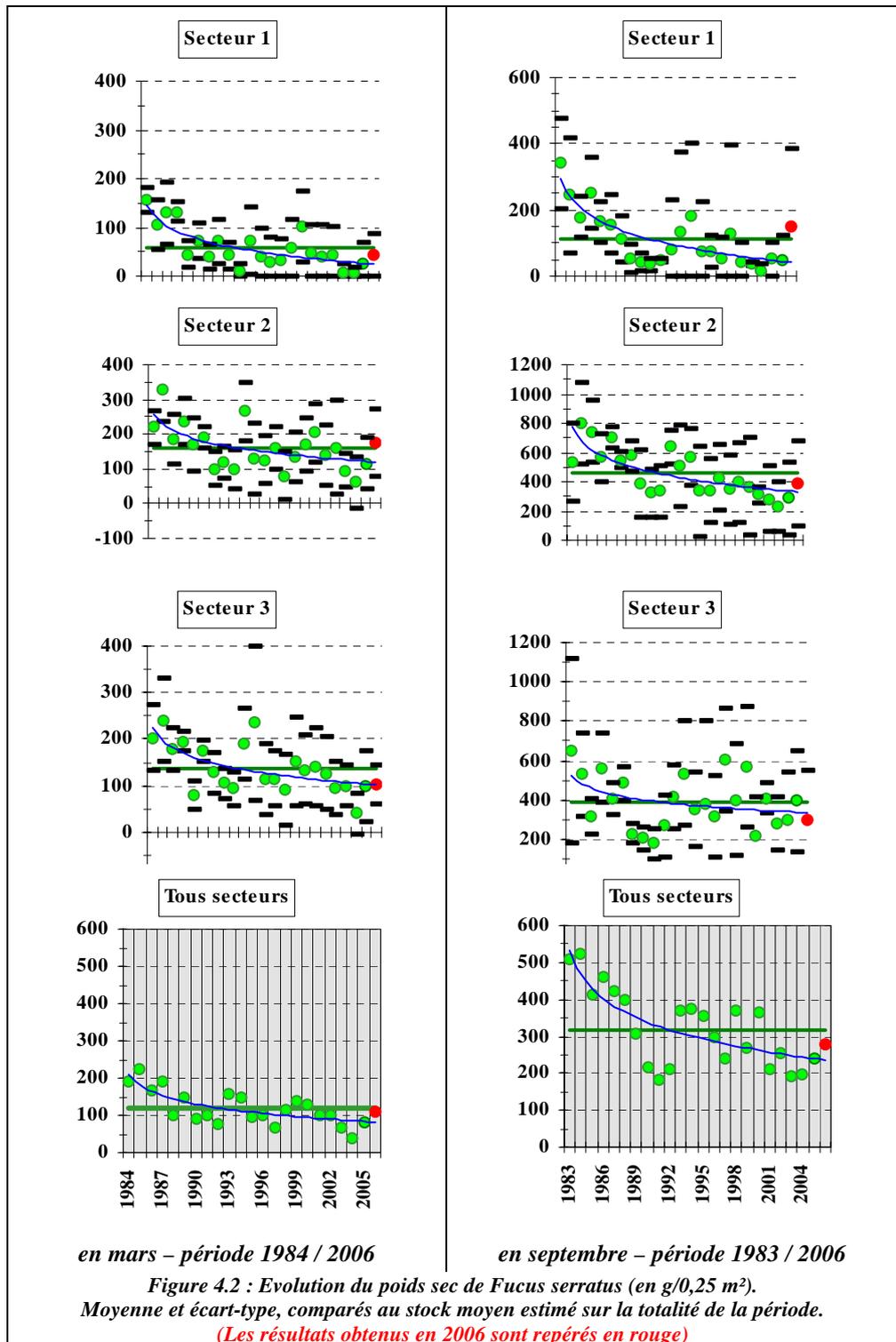
4.1.3.1. Evaluation du stock de *Fucus serratus*

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 de *Fucus serratus* de la radiale de Diélette, 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.

De 1993 à 2000, la tendance générale s'est inversée, permettant d'observer un niveau avoisinant les moyennes saisonnières connues sur ce site. A partir de 2001, les valeurs enregistrées chutent jusqu'à atteindre en 2004, des moyennes minimales de 36 g en mars et de 196 g en septembre (valeur avoisinant les 194 g de 2003).



L'année 2006 voit se maintenir la tendance à la hausse amorcée en 2005 (107 g en mars et 277,5 g en septembre). Les poids relevés se situent entre 44 ± 43 g (secteur 1) et 175 ± 96 g (secteur 2) en mars, 149 ± 234 g (secteur 1) et 384 ± 292 g (secteur 3) en septembre (Figure 4.2).

4.1.3.2. Dénombrement des algues baguées

Avec un taux de 22 % enregistré en septembre 2006, la dépopulation des cent pieds de *Fucus serratus* bagués en mars de cette même année est relativement faible, avoisinant la valeur minimale (19 %) enregistrée sur la période 1983 à 2006 (figure 4.3).

Ce taux avoisine les valeurs des lots 2003 et 2005, respectivement 29 et 28 %. En revanche le lot bagué en 2004 a subi une diminution plus importante du nombre d'algues au cours de la première année de mesures, la mortalité atteignant 54 % en septembre 2004, équivalente au maximum de 1989.

Avec des taux de mortalité atteignant respectivement 63 et 65 % la première année, les lots 2003 et 2005 se situent en-dessous de la moyenne qui atteint 71 % sur la période 1983-2006. Avec un taux de 74 %, la dépopulation du lot 2004 est légèrement supérieure à cette valeur.

Le taux moyen de dépopulation, 2 ans après la pose des bagues, s'élève à 94 %.

Les causes sont diverses : vieillissement des algues, action de la houle, action humaine par l'arrachage lors de pêche à pied...

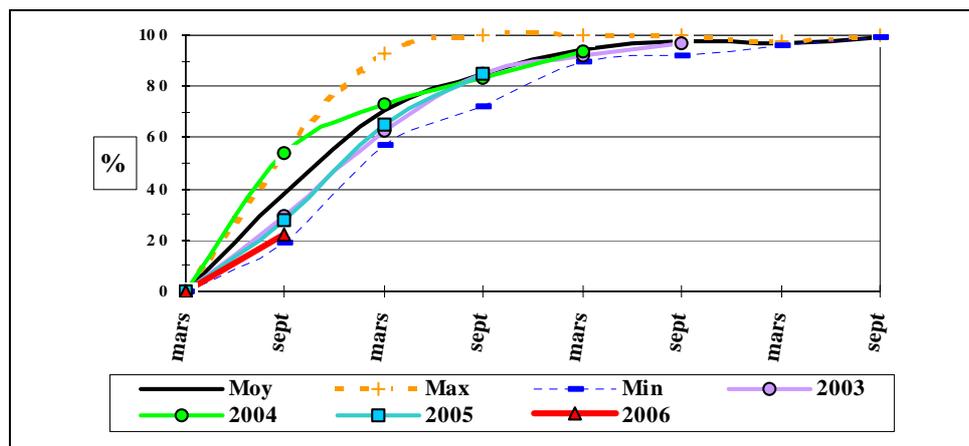


Figure 4.3 : Dépopulation, en pourcentage, des individus bagués (1983 à 2006).

4.1.3.3. Biométrie des algues baguées

4.1.3.3.1 Nombre de dichotomies

Le nombre moyen de dichotomies (divisions du thalle. Figure 4.4) observées depuis 1977 s'élève à 17. Les valeurs moyennes printanières s'échelonnent de 10 en 1996 à 21 en mars 2000. En automne, ces valeurs se situent de 14 en 1993 à 25 en septembre 2005 (figure 4.5).

Depuis septembre 1997, on note une augmentation du nombre moyen de dichotomies à lier à celui de la longueur moyenne des thalles. Tant en mars qu'en septembre, les valeurs restent supérieures ou égales à la moyenne.

En mars 2006, on compte 18 dichotomies par pied bagué. Cette valeur est légèrement supérieure à la moyenne calculée sur la période 1977 à 2006. En

septembre, la valeur a sensiblement augmentée atteignant 21 dichotomies par algue.

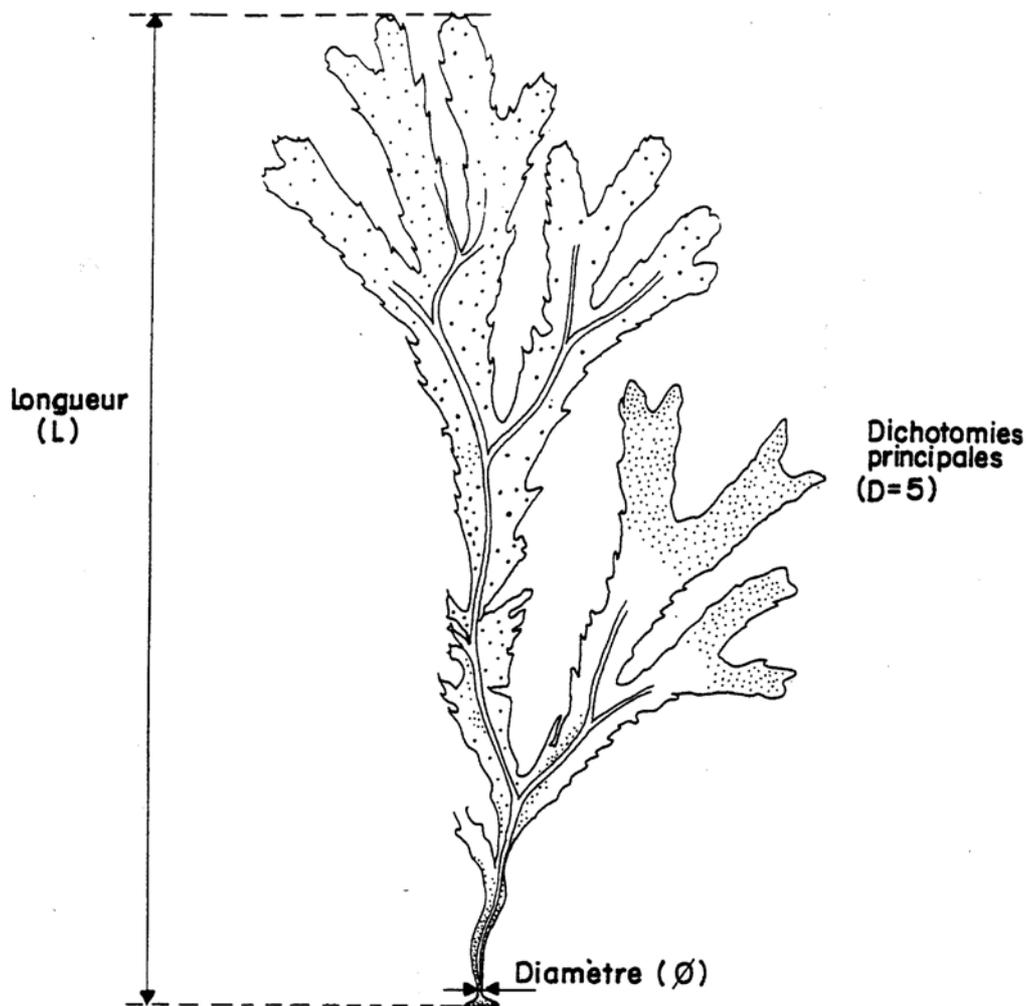


Figure 4.4 : *Fucus serratus*. Paramètres mesurés.

4.1.3.3.2 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 (Figure 4.5).

De mars 1994 à septembre 2001, le diamètre moyen des individus bagués est supérieur à la valeur moyenne obtenue sur ce site depuis 1977 (6,3 mm). Depuis 2002, ce diamètre quoique voisin de la moyenne a tendance à diminuer. En 2005, il chute à 5,35 mm (4,9 en mars et 5,8 en septembre).

Malgré une valeur printanière relativement basse (5,3 mm), le diamètre moyen des *Fucus* bagués en 2006 est en légère hausse (5,9 mm).

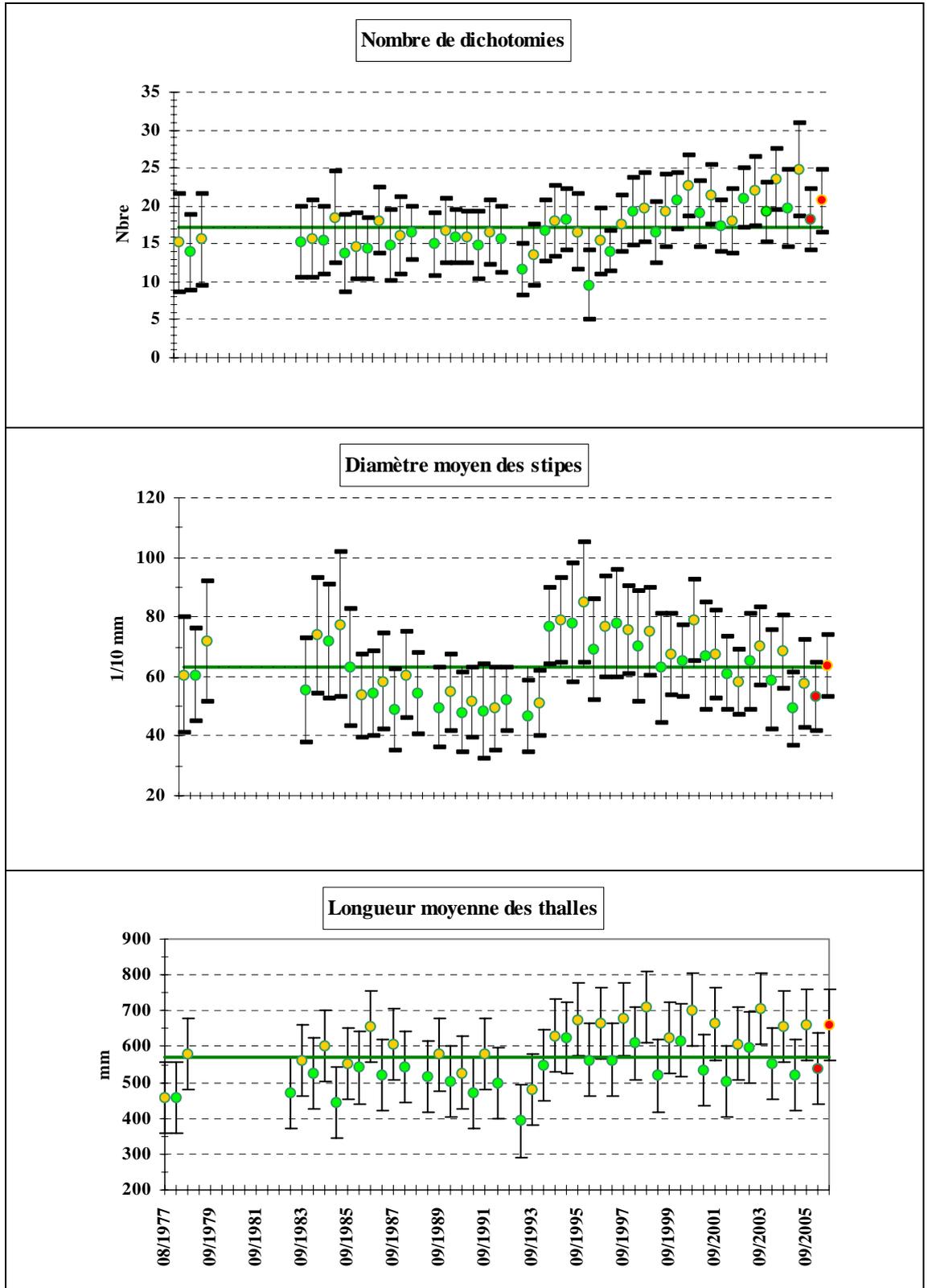


Figure 4.5 : Evolution saisonnière (mars en vert et septembre en orange) des paramètres mesurés chez *Fucus serratus* à Diélette (moyenne et écart-type) par rapport à la mesure moyenne estimée de 1977 à 2006. (données 2006 en rouge)

4.1.3.3 Longueur des thalles

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 croissance est irrégulière depuis 1999 avec des valeurs moindres en mars 1999 et 2002 (Figure 4.5).

On note une certaine stabilité depuis 2004, en effet la longueur moyenne mesurée en 2006 (60 cm) est égale à celle de 2004 et très proche de celle de 2005 (59 cm).

La croissance moyenne des thalles de *Fucus serratus* obtenue de mars à septembre, de 1983 à 2006, atteint 10,25 cm avec des valeurs extrêmes de 2,6 cm en 1990 et de 18,4 cm en 1985. Depuis 1996, cette croissance est relativement stable (figure 4.6).

Du printemps à l'automne 2006, la longueur des thalles a augmenté en moyenne de 12,20 cm, valeur en légère baisse par rapport à l'année précédente mais qui reste supérieure à la moyenne calculée sur la période 1984-2006 (10,25 cm).

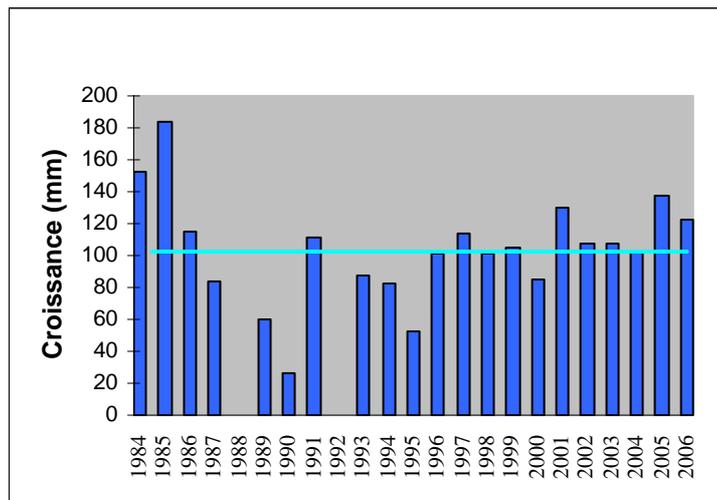


Figure 4.6 : Croissance moyenne des thalles de *Fucus serratus* de mars à septembre

4.1.3.4. Fertilité

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

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

La comparaison avec les données acquises depuis 1993 permet d'apprécier, pour chaque saison, les fluctuations tant du nombre de pieds fertiles que des différents stades de maturation (figure 4.7).

Le cycle annuel de reproduction de *Fucus serratus* commence au cours de l'été. 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. Puis, de 1999 à 2005, ce nombre est élevé.

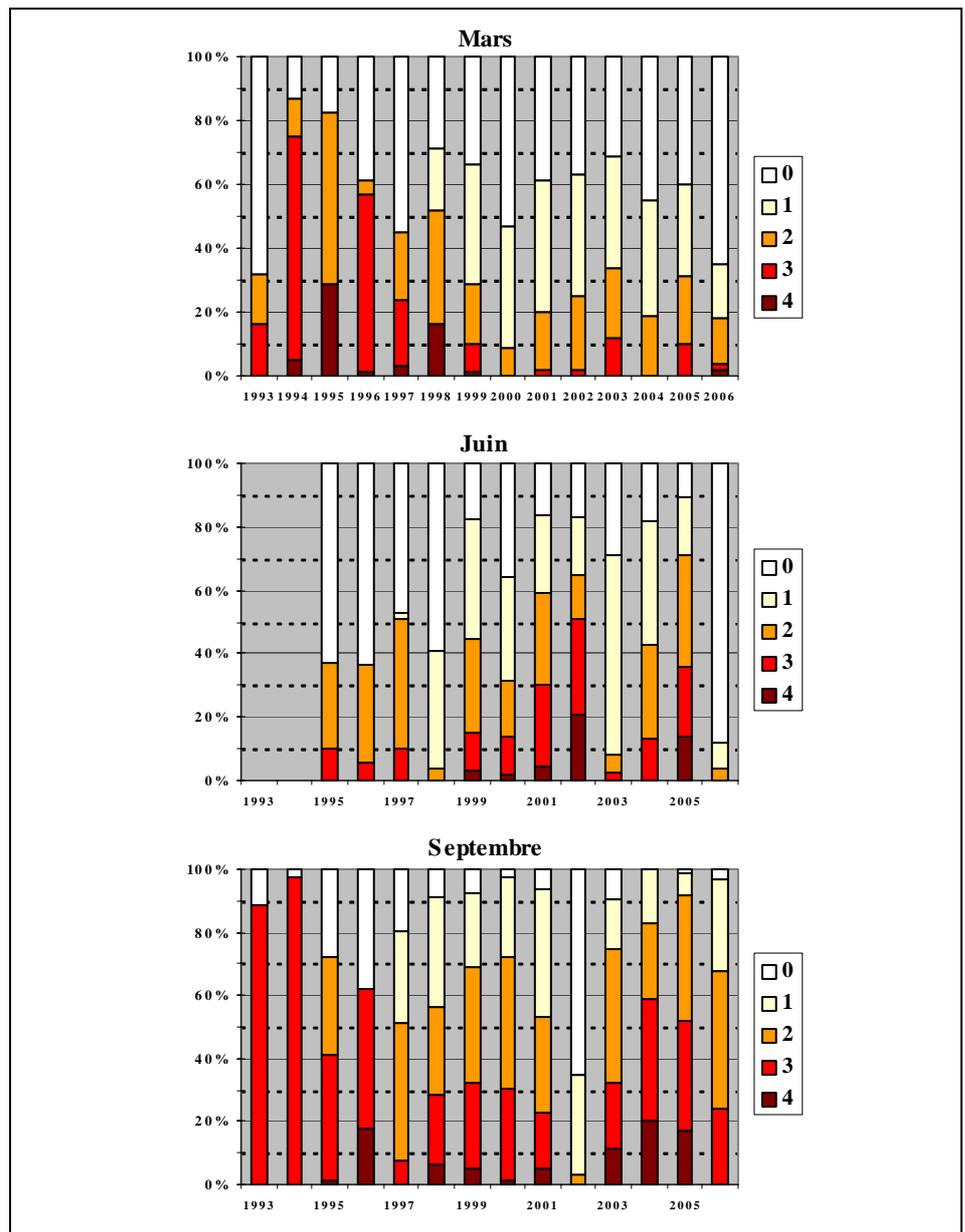


Figure 4.7 : Evolution de la fertilité de *Fucus serratus* depuis 1993, stade par stade.

En Mars, des variations très importantes du taux de fertilité sont observées. C'est une période charnière dans la décroissance de la fertilité.

Ainsi concernant le lot bagué en 2006, seulement 35 % des algues présentent en mars des signes de fertilité (figure 4.8 et 4.9). Quelques thalles arrivent à maturation, appartenant au cycle de reproduction précédent.

En juin 2006, on observe un taux particulièrement bas vraisemblablement dû à un retard de développement du cycle de reproduction 2006.

En septembre, les valeurs rejoignent les données habituelles, en effet 97% du lot portent des caractères fertiles plus ou moins développés mais pas encore matures.

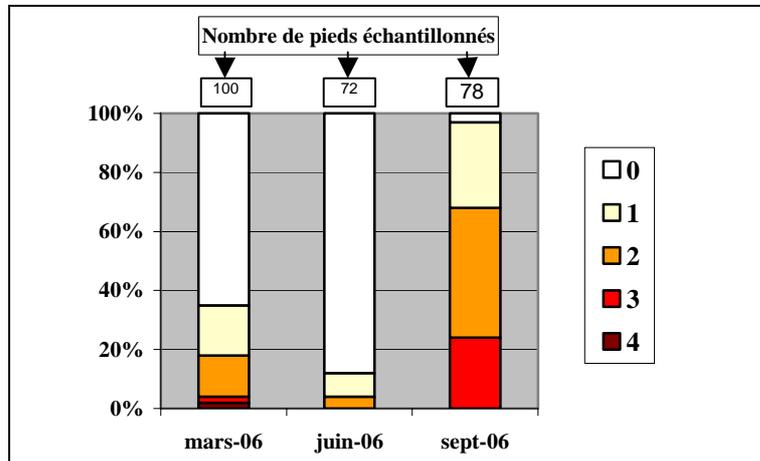


Figure 4.8 : Evolution de la fertilité des pieds de *Fucus serratus*

On observe le même phénomène sur le lot bagué en 2005 (figure 4.9).

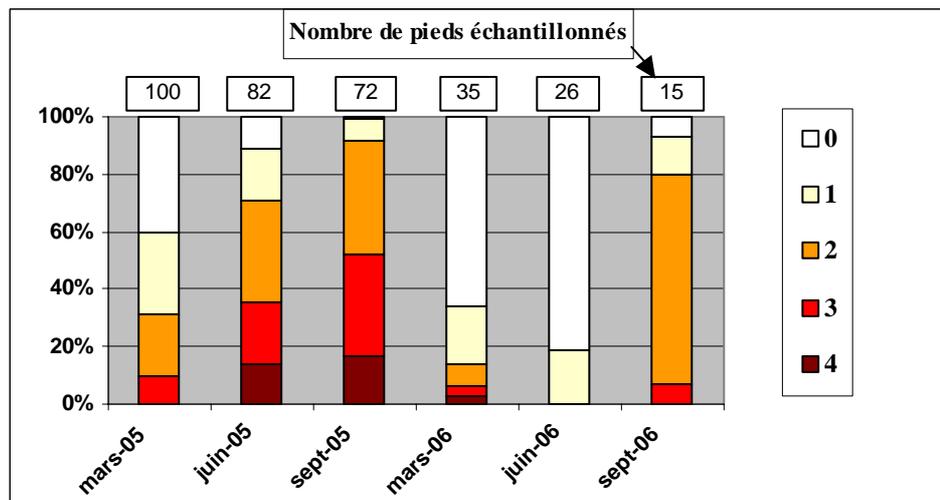


Figure 4.9 : Evolution de la fertilité des pieds de *Fucus serratus* bagués en 2005.

Le peuplement de *Fucus serratus* du platier de Diélette présente des caractères de fertilité toute l'année, avec toutefois une période de maturité plus importante en fin d'été, tant en nombre de pieds (88 %) qu'en taux moyen (50 %) obtenu en tenant compte des différents stades de maturité. En mars et en juin, ces taux décroissent pour atteindre, respectivement 65 % et 61 % de thalles plus ou moins fertiles et 30 % de taux moyen de fertilité (ces moyennes sont calculées à partir des observations faites de 1983 à 2006 pour les pourcentages de pieds fertiles et de 1993 à 2006 pour les taux moyens).

De 1999 à 2005, les valeurs observées en juin restent supérieures à la moyenne (calculée sur la période 1995-2006), avec un maximum enregistré en juin 2005. L'année 2006 se caractérise par une valeur minimale en juin.

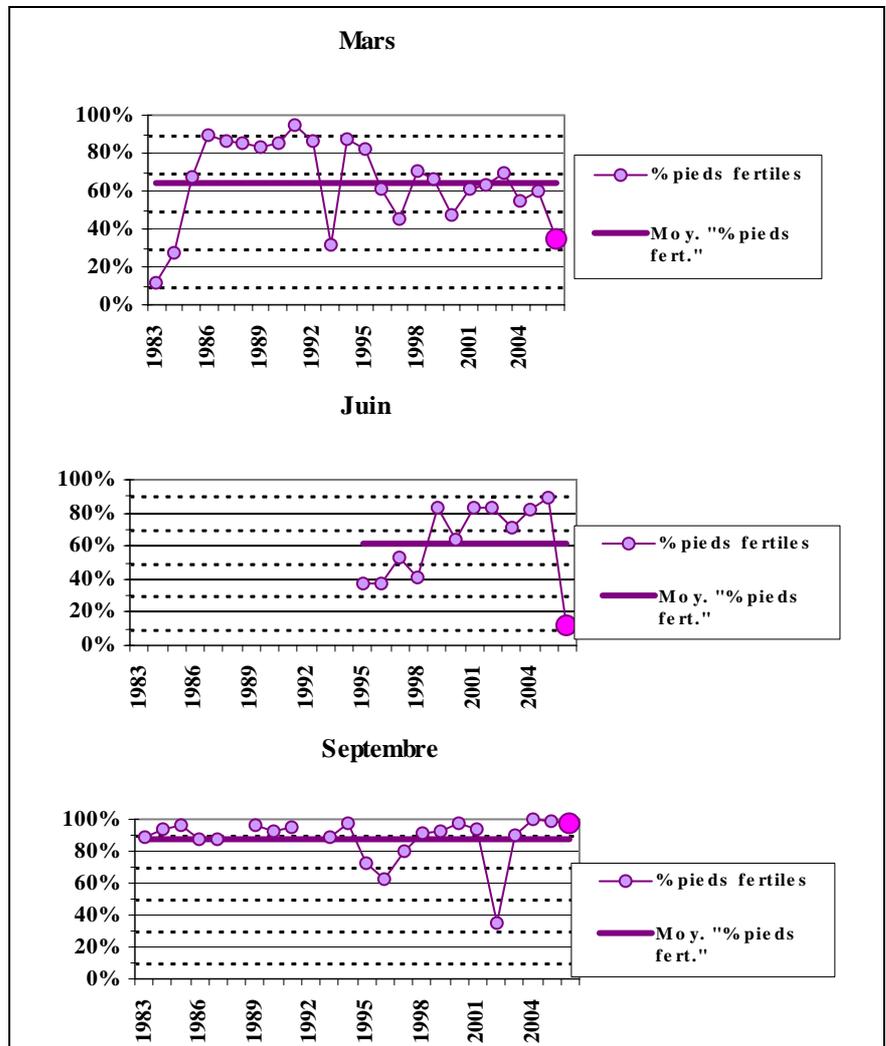


Figure 4.10: Evolution saisonnière du pourcentage de pieds fertiles de Fucus serratus depuis 1983



Figure 4.11 : Platier de Diélette – Limites de la population de Fucus serratus étudiée
© Ortholittorale2000

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 à la pointe du Rozel (figure 4.1) ainsi qu'au droit du sémaphore du cap de Flamanville (point SEM) ; cette étude est complétée par une évaluation sommaire des densités des principales espèces accompagnatrices et par un suivi de la recolonisation du substrat par les cirripèdes.

A partir de 1993, deux points de mesures sont ajoutés aux précédents, un dans l'anse de Quédoy située immédiatement au sud de la centrale (photo 4.4), l'autre près du 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 4.4 : Quédoy, station la plus proche de la centrale.

4.2.1. Biologie des cirripèdes

Les cirripèdes, balanes ou anatifes, font partie de la classe des crustacés. Ces crustacés très particuliers 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 à l'aide de quadrats de 0,05 m x 0,05 m, sur le terrain et également photographiés à l'aide d'un appareil numérique. La qualité de l'image obtenue permet ultérieurement non seulement d'apprécier les densités présentes, mais également de déterminer les différentes espèces. Le pourcentage de recouvrement du substrat par ces crustacés est évalué *in situ*.



Photo 4.5 : Photo numérique utilisée pour évaluer les différentes espèces de cirripèdes (support de 0,05 m x 0,05 m)

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



Photo 4.6 : Echantillon de roche rapporté en laboratoire pour l'évaluation des différentes espèces de cirripèdes.

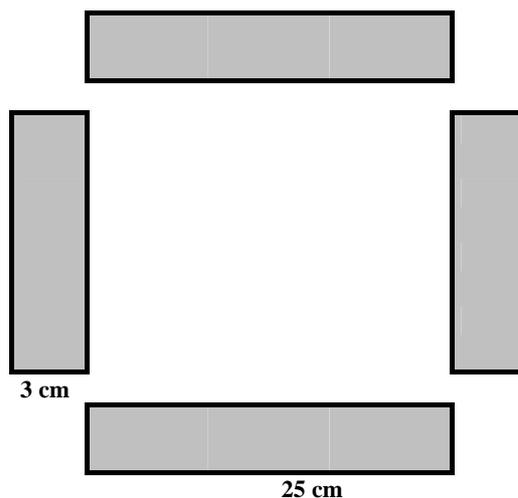
4.2.2.2. Faune associée

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). Elles sont récoltées par grattage (4 par point), puis déterminées et comptées au laboratoire.

Le genre *Patella* étant aisément déterminable à l'œil nu sur le terrain, des dénombrements complémentaires sont réalisés in situ, à raison de 12 comptages (même quadrat 1/16 m²) à chaque point.

4.2.2.3. Recolonisation du substrat

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 cm²) 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 cm² en mars, juin et septembre, sur la période 1983/2006 atteint 577. Le maximum atteint 2259 en 1986, le minimum 55 en 1990 (Figure 4.12).

Le recrutement 2006 (887 juvéniles) est supérieur à celui des années précédentes, il faut remonter à 1991, puis 1986 à 1988 pour trouver des valeurs plus fortes. Cette hausse s'observe aux quatre stations suivies, avec une importance plus marquée au Rozel.

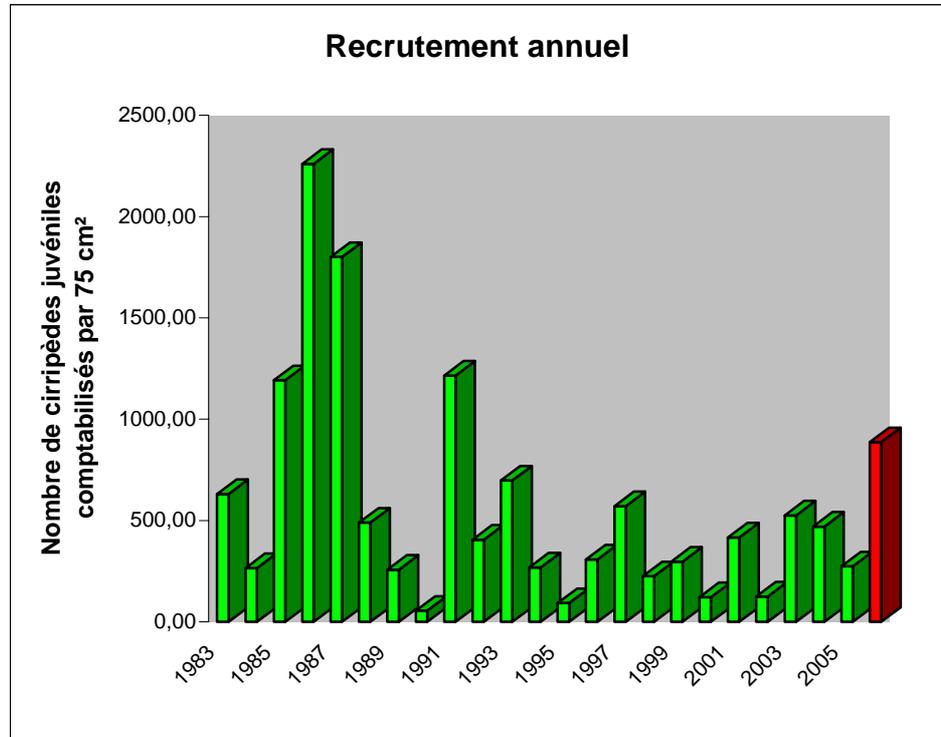


Figure 4.12 : Recrutement annuel (somme des recrutements automno-hivernal, printanier et estival comptabilisés au Rozel, Sémaphore, Quédoy et Diélette sur les quadrats de 75 cm²) (2006 en rouge)

Le recrutement printanier 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. Ce recrutement avoisine les 80 % en 2006, et concerne principalement *Semibalanus balanoides*, dont les larves se fixent en début de printemps (photographie 4.7).



Photo 4.7 : Recrutement printanier de *Semibalanus balanoides*.

Le recrutement estival, beaucoup plus faible, concerne en priorité les espèces *Chthamalus montagui*, *Chthamalus stellatus*, et *Elminius modestus*. La recolonisation observée entre septembre et mars n'est en fait que la fin du recrutement estival intervenu après les observations effectuées en septembre.

	Rozel	Sémaphore	Quédoy	Diélette
Recrutement automno-hivernal	86 ± 53	346 ± 50	156 ± 18	119 ± 36
Recrutement printanier	1147 ± 359	993 ± 134	342 ± 57	346 ± 66
Recrutement estival	1 ± 1	6 ± 3	1 ± 1	4 ± 1
Bilan annuel	1234	1345	499	469

Tableau 4.1 : Nombre de cirripèdes métamorphosés, comptabilisés par 75 cm² en 2006.

Une relation entre la température de l'air et l'importance du recrutement printanier a été mise en évidence (Drévès, 1993 ; température moyenne de l'air et/ou de l'eau du mois le plus froid de l'année ; tableau 4.2 & figure 4.13). Plus les températures hivernales sont basses, plus le recrutement de *Semibalanus balanoides* est important. C'est à cette période de l'année que s'opère la libération des larves de *Semibalanus balanoides* dans le milieu marin. La température du milieu a donc une influence sur cette étape de la reproduction.

Comme pour les autres années, les valeurs 2006 confirment cette hypothèse.

	Air	Eau		Air	Eau	
1986	2,20	6,80		2003	6,96	8,70
1987	2,90	7,21		1988	7,20	8,41
1985	4,10			1994	7,24	8,65
1991	4,41	7,44		2001	7,42	8,92
1997	4,86	7,88		2004	7,61	8,71
1983	5,20			2000	7,65	9,53
1996	5,80	8,12		1989	7,80	8,28
2006	6,20	7,92		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

Tableau 4.2 : Température mensuelle minimale de l'air au Cap de La Hague (1983-2006) et de l'eau de mer à Flamanville (1986-2006). Les années sont classées selon l'importance croissante des températures de l'air.

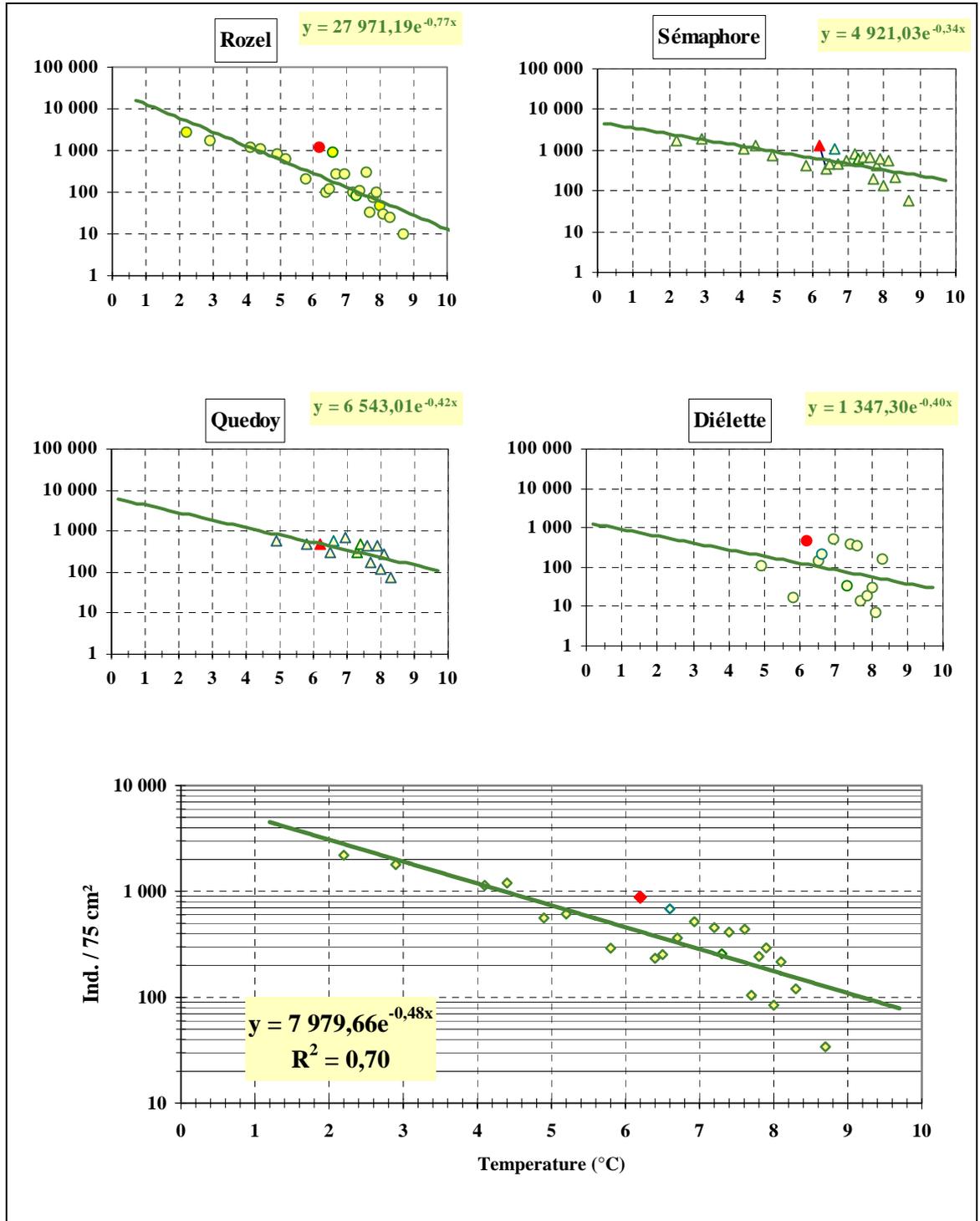


Figure 4.13 : Recrutement printanier des crustacés cirripèdes aux abords de Flamanville sur la période 1983/2006 (nombre d'individus par 75 cm², exprimé en fonction de la température mensuelle moyenne de l'air du mois le plus froid de l'hiver [°C]). Le recrutement 2006 est figuré en rouge.

4.2.3.2. Evaluation des densités de cirripèdes

L'observation des densités de cirripèdes (figure 4.14 et tableau 4.3) montre des variations annuelles importantes d'une station à l'autre pouvant s'expliquer par l'étendue de la colonisation de la roche (influence de la nature du substrat et de son exposition), et l'importance du recrutement (surtout printanier) d'autre part.

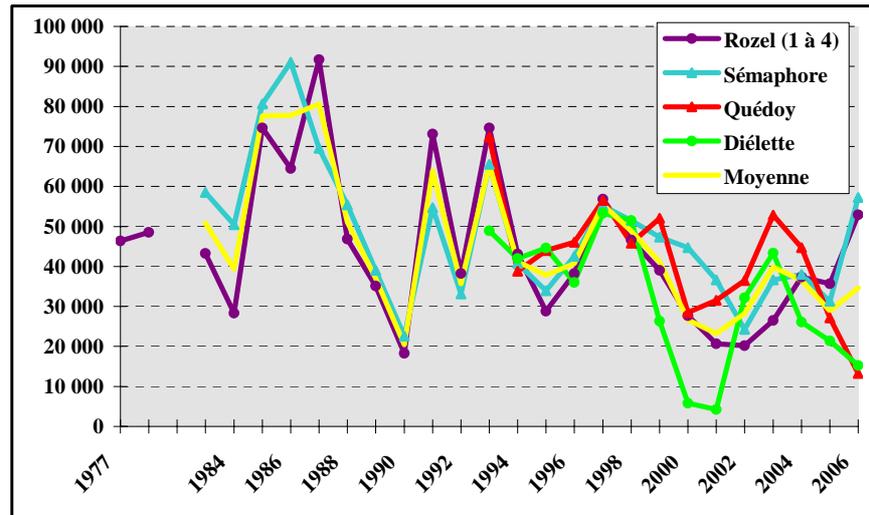


Figure 4.14 : Evolution des densités de cirripèdes (nombre d'individus par m²) depuis 1993.

Suite à un recrutement printanier abondant et des conditions favorables au développement de ces juvéniles, les densités de cirripèdes au Rozel et au Sémaphore sont en hausse. Ce n'est pas le cas à Quédoy et à Diélette, où malgré un bon recrutement printanier, les effectifs sont en chute. On observe sur le terrain, une diminution de la surface colonisée, surtout marquée à Quédoy au niveau de la limite supérieure de la population de cirripèdes

Septembre 2006		Densité par strate	Surface occupée du substrat	Densité moyenne
Rozel	Point 1	64 573	75 %	48 430
Rozel	Point 2	63 303	75 %	47 477
Rozel	Point 3	69 811	80 %	55 849
Rozel	Point 4	59 914	90 %	53 923
Flamanville	Sem sup.	19 667	80 %	18 683
Flamanville	Sem inf.	46 200	90 %	43 890
Flamanville	Quédoy sup	23 618	30 %	7 085
Flamanville	Quédoy inf	44 608	75 %	33456
Flamanville	Diélette sup	31 014	50 %	15 507
Flamanville	Diélette inf	44 220	30 %	13 266

Tableau 4.3 : Densités globales des cirripèdes en 2006 (nombre d'individus par m²)

Les densités globales de cirripèdes observées en fin d'été varient d'une année à l'autre. 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 4.15).

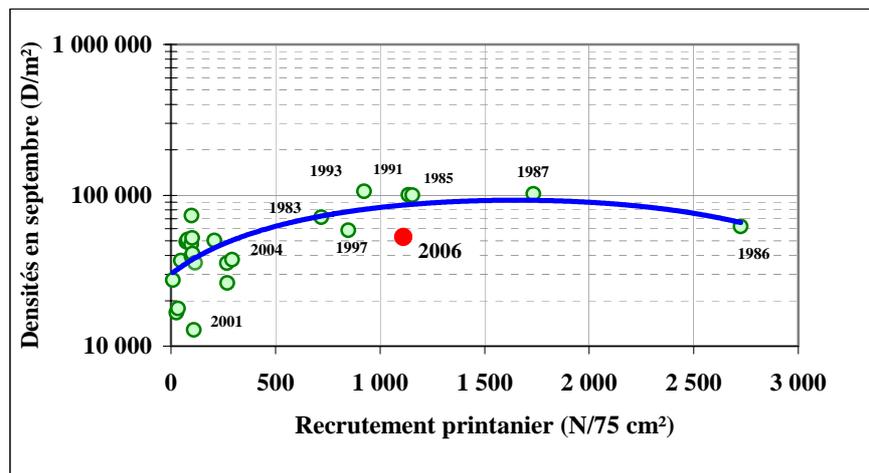


Figure 4.15 : Pointe du Rozel – Variations des densités de cirripèdes en place en septembre en fonction du recrutement printanier.(année indiquée sur les graphiques).

4.2.3.3. Pourcentages et densités des différentes espèces de cirripèdes

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

Semibalanus balanoides, *Chthamalus stellatus*, *Chthamalus montagui* et *Elminius modestus* (photo 4.8 et tableau 4.4). On peut trouver occasionnellement à ce niveau de l'estran, quelques spécimens de *Balanus perforatus*. Les proportions des différentes espèces de cirripèdes sont calculées à chaque station.

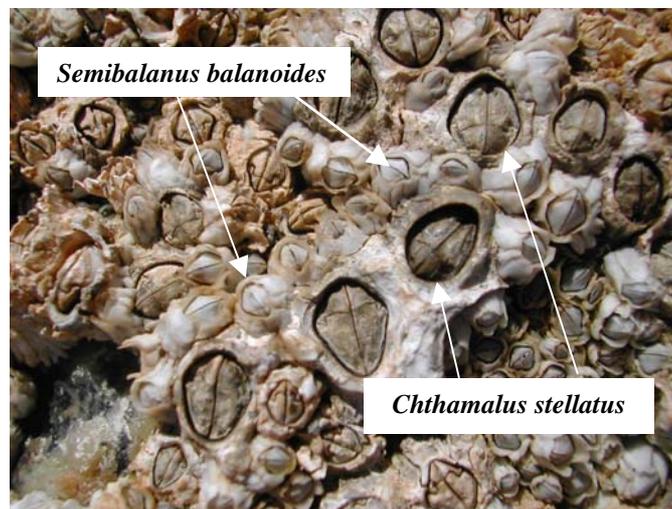


Photo 4.8 : Cirripèdes au point de surveillance du sémaphore.

Semibalanus balanoides reste l'espèce largement majoritaire, bien que son importance varie d'une station à l'autre : 91% à Dielette et au Rozel, 84% au

Sémaphore et 74% à Quédoy (valeurs moyennes calculées sur toute la période d'études) et annuellement (figures 4.16, 4.17 et 4.18).

Principaux cirripèdes en zone intertidale sur Flamanville

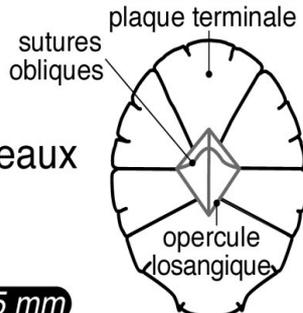
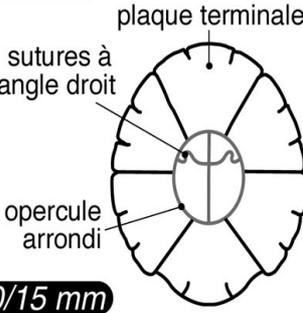
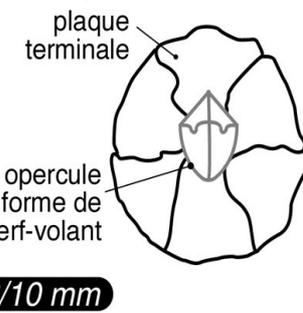
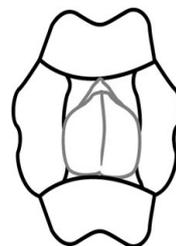
<p>S <i>emibalanus balanoides</i></p> <p>Muraille : 6 plaques Sous les pleines mers de mortes-eaux <i>Atlantique, Manche ouest et est.</i></p>	 <p>plaque terminale sutures obliques opercule losangique</p> <p>15 mm</p>
<p>C <i>hthamalus stellatus</i></p> <p>Muraille : 6 plaques Niveau sup. de la zone 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>

Tableau 4.4 : Les différentes espèces de cirripèdes rencontrées dans la région de Flamanville.

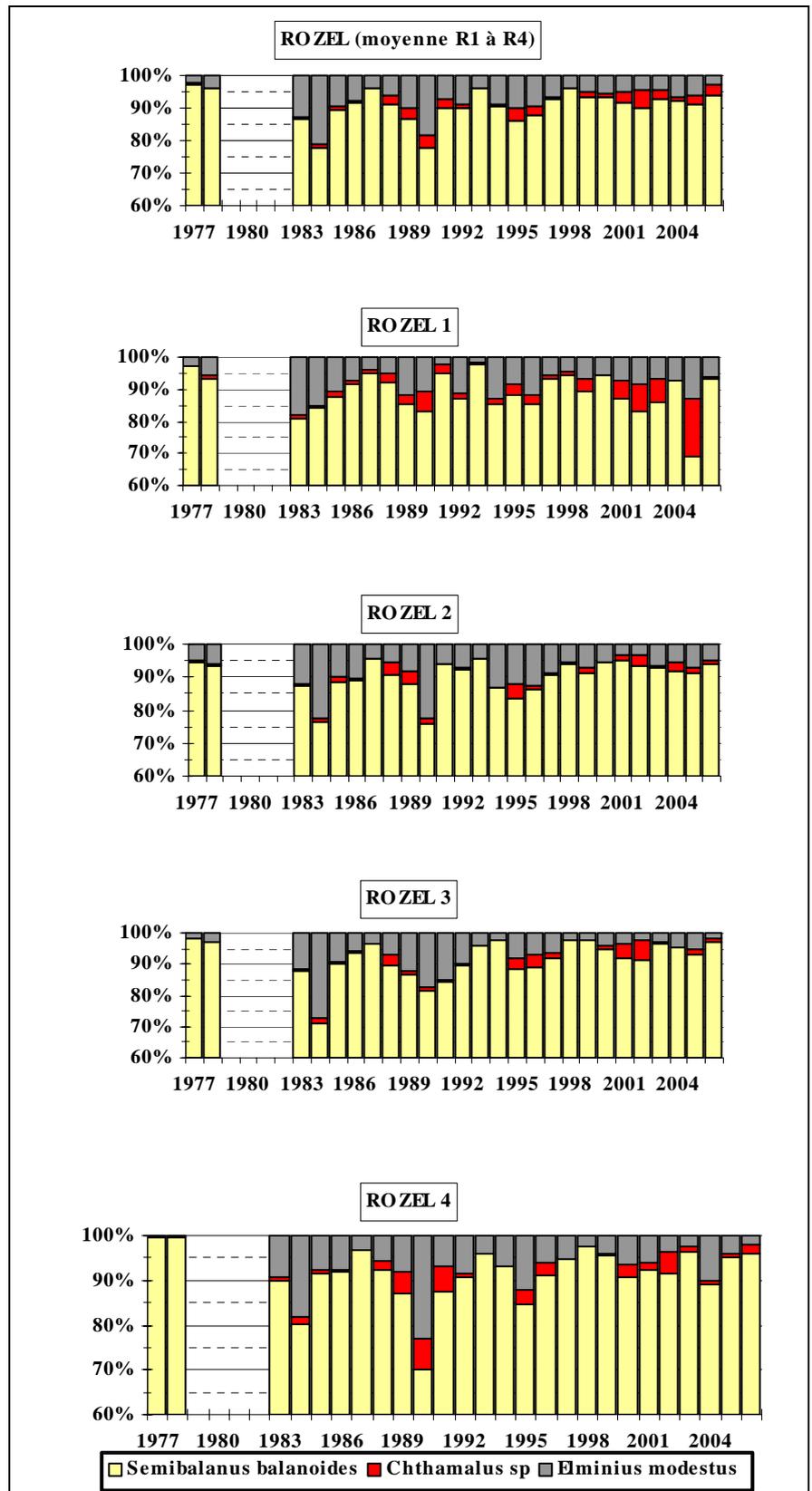


Figure 4.16 : Evolution en % des quatre espèces de cirripèdes à la pointe du Rozel depuis 1977. (Les deux espèces de Chthamales ont été regroupées au niveau du genre)

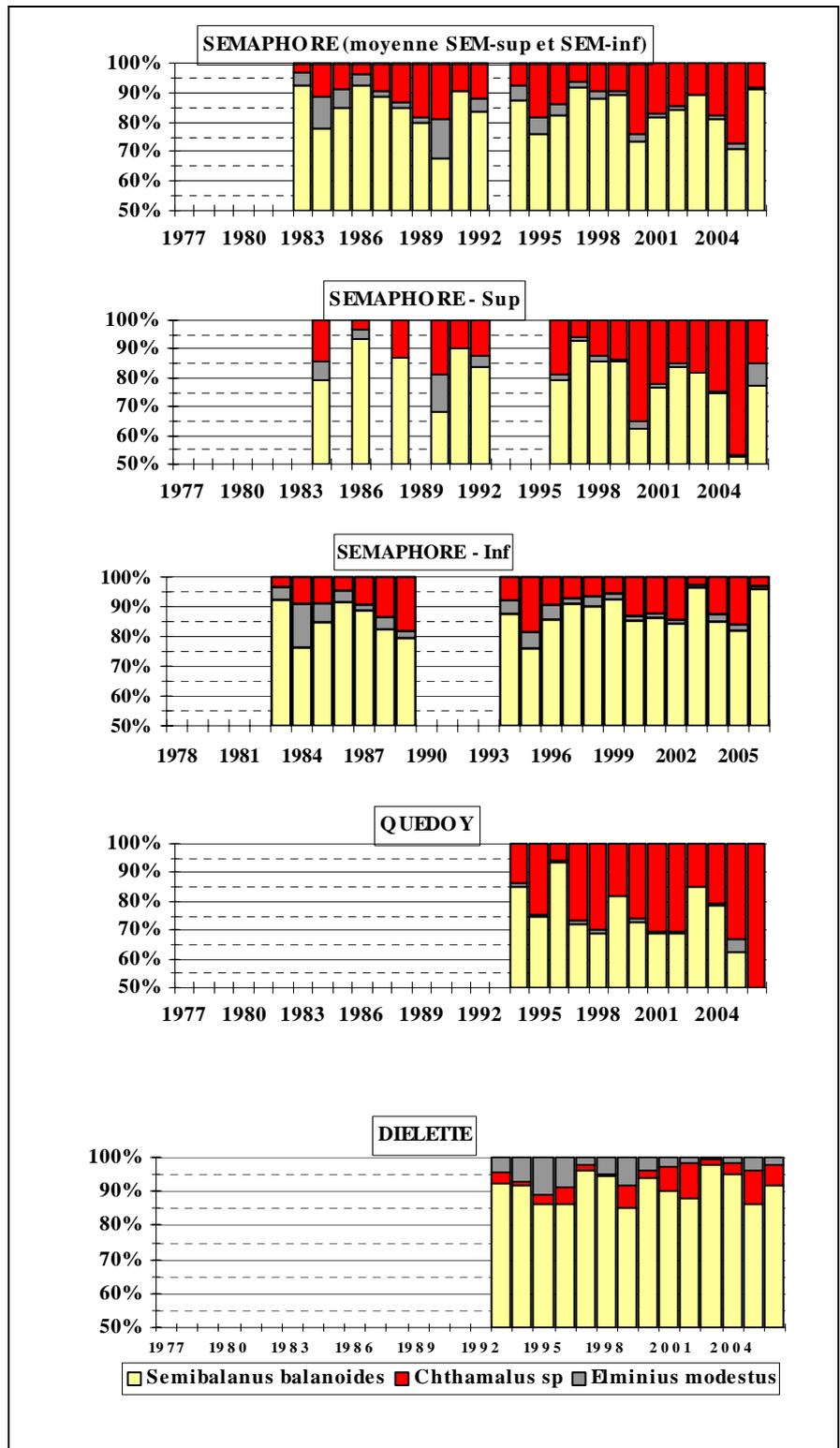


Figure 4.17 : Evolution en % des quatre espèces de cirripèdes au cap de Flamanville depuis 1983. (Les deux espèces de Chthamales ont été regroupées au niveau du genre).

L'importance des Chthamales observés depuis le début des études est minimale au Rozel (2 %) et à Diélette (4 %), points où le substrat est schisteux. Elle est maximale en bas du sémaphore (13 %) et surtout à Quédoy (25 %), points où le substrat est granitique. Ces deux points présentent également la particularité d'être les plus proches de la centrale.

Quant à *Elminius modestus*, sa présence dans le peuplement reste faible, seulement 4 % en moyenne sur la période étudiée (1 % à Quédoy, 3 % au Sémaphore, 5 % à Diélette et 8 % au Rozel).

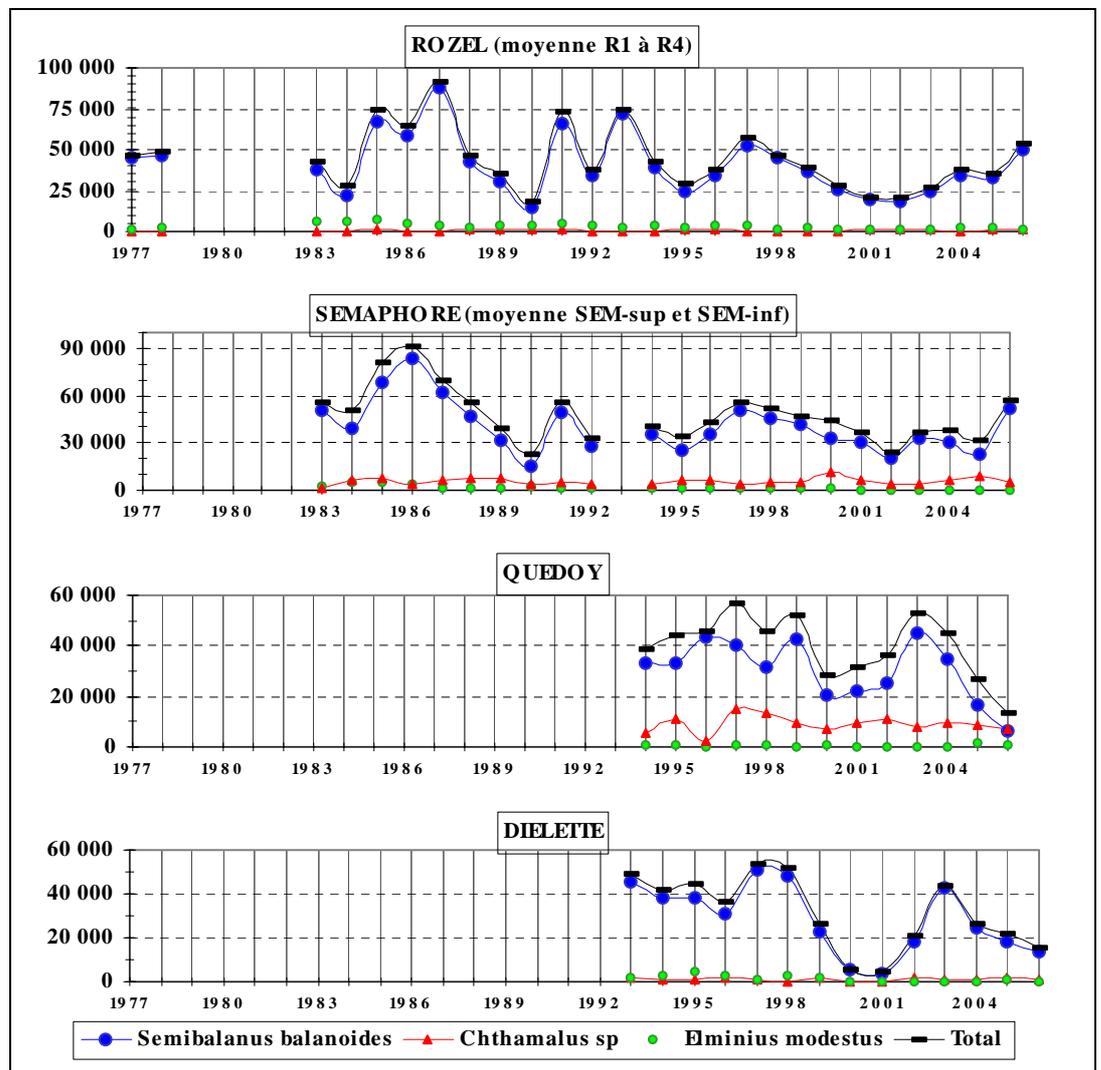


Figure 4.18 : Evolution, en nombre d'individus par m^2 , des densités des quatre espèces de cirripèdes depuis 1983

Les variations de densité affectant les populations de cirripèdes au cours de l'année 2006 concernent essentiellement *Semibalanus balanoides*. Les populations de Chthamales et de *Elminius modestus* semblent stables.

Ainsi l'augmentation des densités au Rozel et au Sémaphore intéresse l'espèce *Semibalanus balanoides*, qui atteint dans ces secteurs respectivement 95 et 91 % de la population de cirripèdes. Malgré la chute des densités à Diélette, le pourcentage

de *Semibalanus balanoides*, 92 %, reste élevé. En revanche à Quédoy, cette espèce représente en 2006, seulement 45 % du peuplement. A ces deux stations, on observe pour la troisième année consécutive, une diminution de cette espèce d'autant plus importante à Quédoy.

De même que le recrutement printanier de *Semibalanus balanoides* est proportionnel à la rigueur de l'hiver (figure 4.13), 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 4.19).

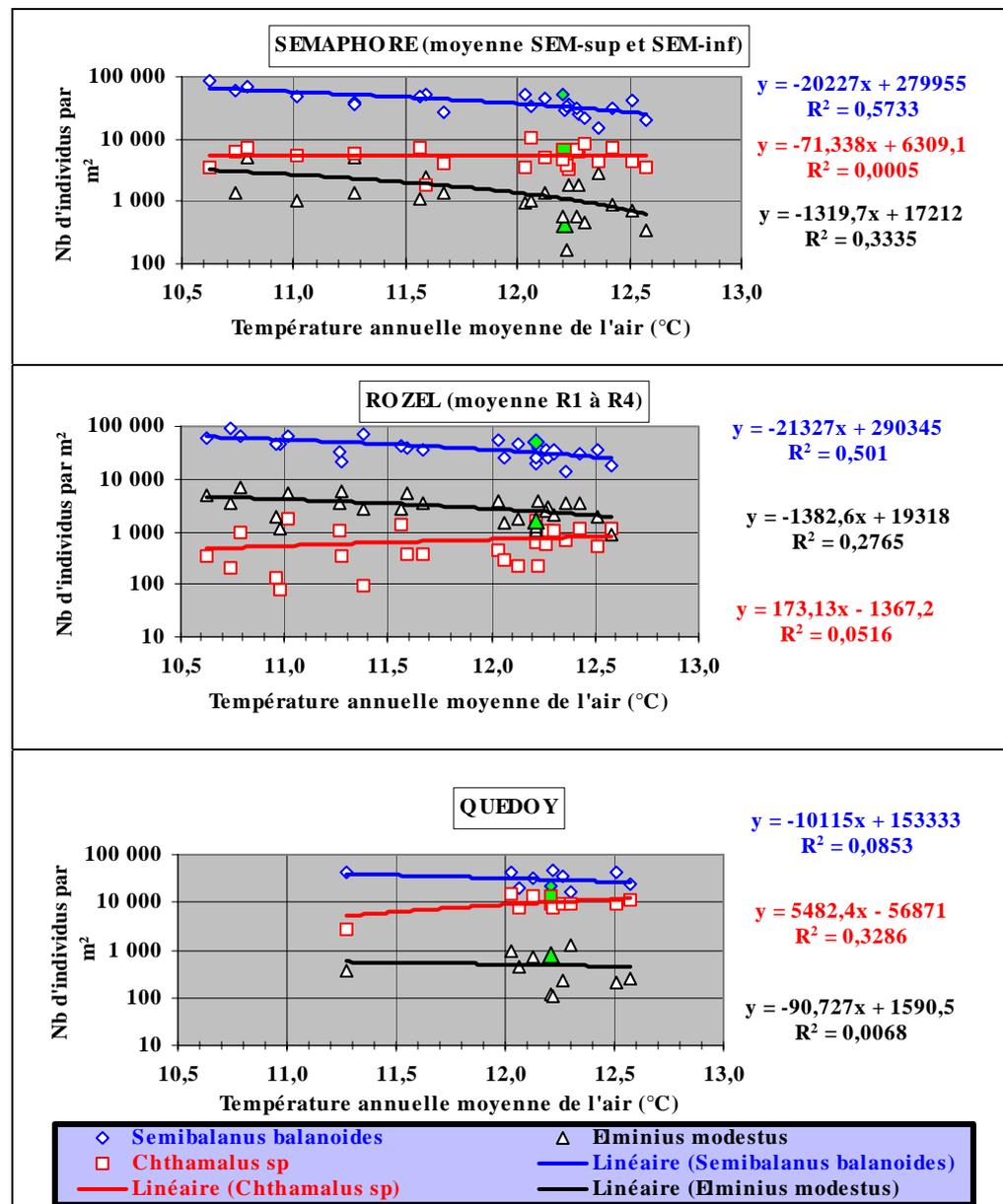


Figure 4.19 : Evolution des densités des cirripèdes intertidaux, à la pointe du Rozel (1977-2006) et au cap de Flamanville, en bas du sémaphore (1983-2006) et dans l'anse de Quédoy (1994-2006), en fonction de la température annuelle moyenne de l'air au cap de La Hague. Valeurs 2006 en vert

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.

En tout état de cause, l'impact des variations météorologiques (ici, la température de l'air qui agit sur celle de l'eau ; cf. figures 2.9 et 2.10) semble donc dominant, par rapport à d'autres facteurs, sur les fluctuations d'abondance des cirripèdes du genre *Chthamalus* dans ce secteur de l'ouest-Cotentin.

4.2.3.4. Evaluation des densités des principales espèces accompagnatrices

Les cirripèdes abritent une microfaune abondante et variée. Ainsi, l'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... Seuls sont pris en compte dans cette étude les espèces ou groupes d'espèces appartenant à l'embranchement des mollusques .



Photo 4.9 :
A gauche,
Campecopea hirsuta



A droite,
Nereidé (polychète)

L'abondance des différentes espèces accompagnatrices reste très irrégulière d'une année à l'autre et aussi d'une station à une autre. Cycles, influence du milieu... Il est très difficile d'interpréter les résultats. Après 23 années de mesures, quelques tendances peuvent toutefois être observées.

Concernant les quatre espèces, *Patella* sp., *Littorina saxatilis*, *Lasea rubra* et *Mélaraphe neritoides*, les valeurs 2006 sont relativement faibles (figure 4.20).

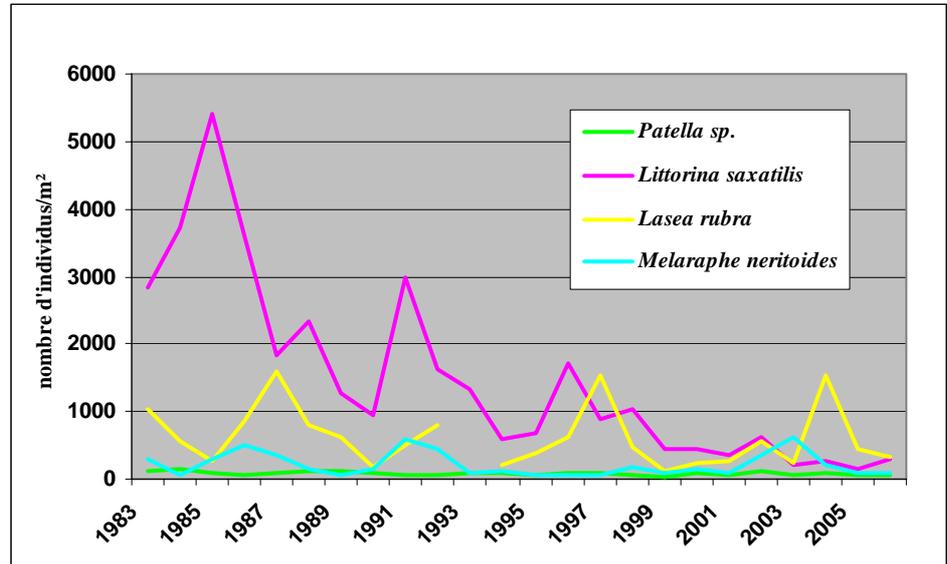


Figure 4.20 : Evolution des densités des principaux mollusques présents dans les populations de cirripèdes. (moyennes des 4 stations suivies)

Les densités de *Melaraphe neritoides* continuent à décroître depuis le pic d'abondance de 2003 sauf à Quédoy où on enregistre une légère hausse (figure 4.21).

Les populations de *Patella sp.* échantillonnées, augmentent à Dielette et au Sémaphore mais décroissent aux autres stations, Quédoy et Rozel (figure 4 22).

L'abondance moyenne de *Littorina saxatilis*, en baisse régulière depuis 1985, amorce une hausse avec des densités supérieures à celles de 2005, aux stations du Rozel, Diélette et surtout Quédoy (figure 4 22).

Après une raréfaction en 2001, le petit bivalve *Lasea rubra* continue à prospérer à Diélette. Par contre au Rozel et au Sémaphore, sa présence est en baisse.

Figure 4.21 :

Evolution des densités du petit mollusque,



Melaraphe neritoides

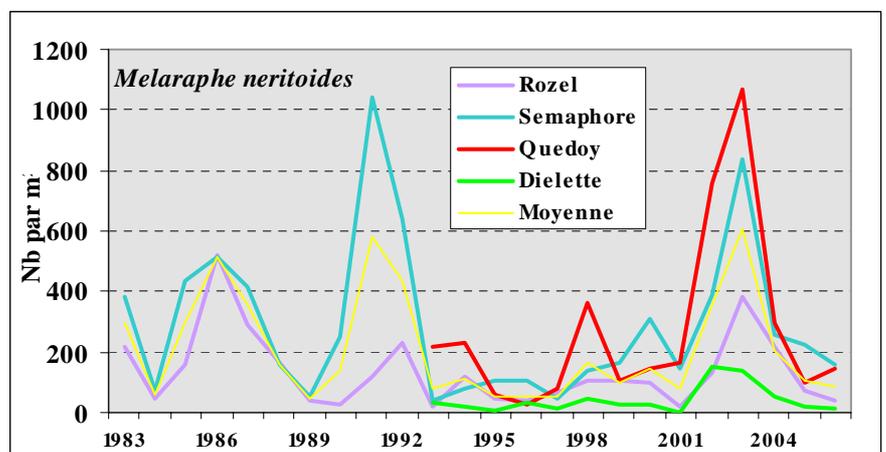
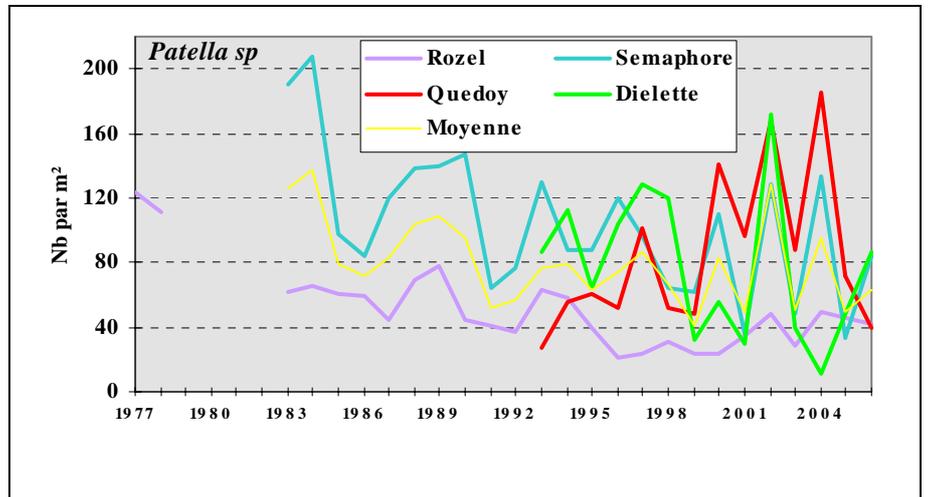


Figure 4.22 :

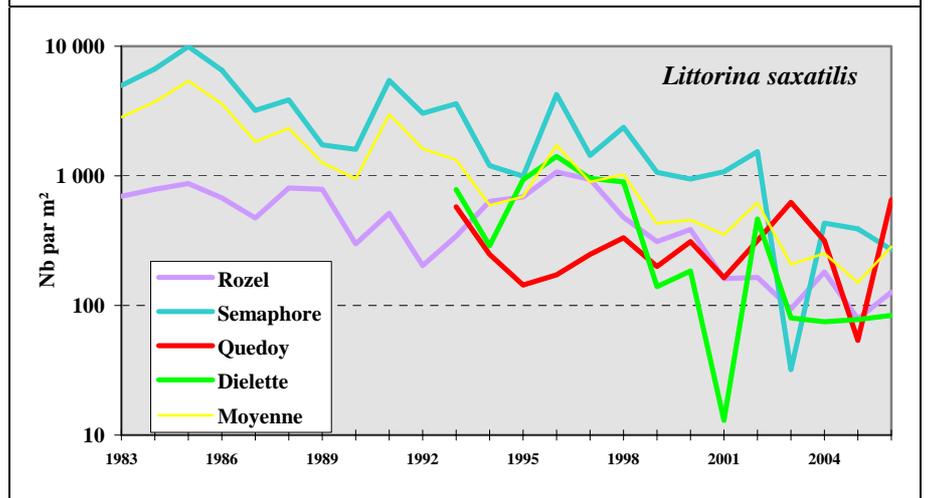
Evolution des densités de quelques mollusques présents dans le peuplement des crustacés cirripèdes.



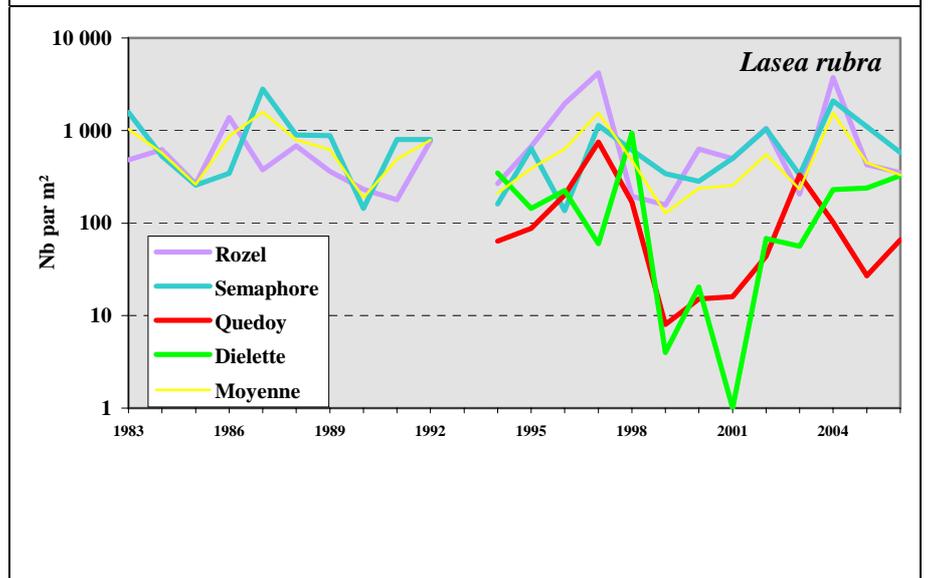
Patella sp



Littorina saxatilis



Lasea rubra



4.3. Conclusion

La population de *Fucus serratus* du platier de Diélette présente en 2006, comme en 2005, des biomasses en hausse aux deux périodes d'observations (en fin d'hiver et en fin d'été). Ces valeurs restent toutefois faibles par rapport à celles enregistrées en début d'étude (période de 1983 à 1988) et demeurent inférieures aux moyennes saisonnières calculées sur la période 1983/2006.

La fertilité des thalles est conforme aux valeurs saisonnières moyennes : faible tant en mars (35 %) qu'en juin (10 %), puis élevée en septembre (97 %), proche des valeurs automnales habituelles, malgré un certain retard de la maturation.

Le recrutement printanier 2006 des crustacés cirripèdes intertidaux, concernant principalement l'espèce *Semibalanus balanoides*, est important, son ampleur est conforme à la relation établie avec la rigueur de l'hiver appréciée par la température moyenne de l'air (ou de l'eau de mer) du mois le plus froid.

Malgré ce recrutement printanier important, les densités de cirripèdes observées en fin d'été diminuent à Diélette et surtout à Quédoy. Cette baisse affecte essentiellement *Semibalanus balanoides*, les autres espèces rencontrées *Chthamalus montagui*, *Chthamalus stellatus* et *Elminius modestus* semblent stables.

5. Le domaine halieutique

Etude et rapport réalisés au sein d'Ifremer par

<i>Jocelyne</i>	<i>MARTIN</i>	<i>DOP/DCN/EMH</i>
<i>Ivan</i>	<i>SCHLAICH</i>	<i>DOP/DCMMN/HMMN/RHPEB</i>

*avec la collaboration de
pour les missions en mer*

<i>Cathy</i>	<i>Dejouy</i>	<i>DOP/DCN/EMH</i>
<i>Eric</i>	<i>Foucher</i>	<i>DOP/DCMMN/HMMN/RHPEB</i>
<i>Patrick</i>	<i>Grellier</i>	<i>DOP/DCN/EMH</i>
<i>Daniel</i>	<i>Halgand</i>	<i>DOP/DCN/EMH</i>
<i>Jérôme</i>	<i>Quinquis</i>	<i>DOP/DCMMN/HMMN/RHPEB</i>

et du Limul pour le tri des larves d'araignée.

5.1. LARVES DE CRUSTACÉS

5.1.1. Matériel et méthodes

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

Comme pour les autres sites étudiés, les observations effectuées à Flamanville comprennent des pêches de zooplancton auxquelles sont associés des relevés hydrologiques. Le calendrier des missions est donné dans la première partie du rapport (tabl. 1.3). Les six missions prévues par le contrat depuis 1997 se sont déroulées cette année du 4 juillet au 3 octobre à bord du chalutier artisanal *le LYSISTRATA* avec des intervalles de temps compris entre quatorze et trente quatre jours. La date tardive de la première mission est la conséquence d'un problème technique du bateau en juin et l'intervalle de 34 jours est dû à l'immobilisation du bateau pour travaux en août qui nous a conduit à décaler les trois dernières missions.

L'échantillonnage du zooplancton et les relevés hydrologiques sont, depuis 1988, réalisés en quatre points dont la position est indiquée sur la figure 1.7 : le point *canal d'aménée*, le point *rejet* et deux points hors tache thermique (le point 3 étudié depuis le début des études et le point *référence* plus côtier et commun à l'étude du domaine pélagique). Au cours des deux missions allégées ajoutées au contrat en 1997 afin de mieux cerner le pic d'éclosion des zoés d'araignée de mer, seuls ces deux derniers points sont étudiés.

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

5.1.1.2. Paramètres hydrologiques

Depuis 1984, deux paramètres seulement sont mesurés à chaque point : la température de l'eau et sa salinité. Les relevés sont faits à deux niveaux (subsurface et voisinage du fond) 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 sonde Valeport utilisée jusqu'en 2001.

5.1.1.3. Zooplancton

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

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

5.1.1.3.1 Description des échantillonneurs

Bongo grand modèle

L'échantillonneur Bongo grand modèle utilisé pour les études de sites comporte deux filets de maillage 505 m montés sur une même armature et pêchant en

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

Neuston

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

5.1.1.3.2 Méthode d'échantillonnage

La méthodologie d'échantillonnage du *Bongo* s'inspire du manuel de standardisation des méthodes (Jossi et coll., 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.

Depuis 1984, la pêche se fait ainsi en traict oblique, depuis le fond jusqu'à la surface à une vitesse de 2 nœuds environ (1 m.s⁻¹). Le volume filtré au cours d'un simple traict oblique (comprenant la descente puis la remontée du filet) a varié cette année entre 51 m³ et 218 m³. Les données concernant chaque traict (sonde, durée, volume filtré) sont indiquées dans l'annexe 5.1.

L'échantillonneur *Neuston*, utilisé en subsurface 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).

De 1988 à 1998, un deuxième *Neuston* a été utilisé simultanément pour échantillonner 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 suffisante (environ 15 minutes) et similaire à celle du traict de surface. Celui-ci a été abandonné en 1999 après onze années d'étude.

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

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

5.1.1.3.3 Conservation des échantillons

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

5.1.1.3.4 Dépouillement des échantillons

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

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

5.1.1.4. Saisie, stockage et traitement des données

Les données brutes du comptage sont saisies au Centre IFREMER de Nantes sur micro-ordinateur où les effectifs, par espèce et stade de développement, sont ramenés à l'unité de volume filtrée (10 m³). L'ensemble des données est archivé à Nantes sur la mini-base créée spécialement pour la partie "œufs et larves" du domaine halieutique.

5.1.2. Résultats

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

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

L'étude réalisée de 1988 à 1998 (comparaison des densités de larves de homard pêchées en subsurface et sur l'ensemble de la colonne d'eau avec le même échantillonneur Neuston ; Drévès *et al.*, 2000) a montré que les prélèvements de surface étaient plus adaptés à la récolte des larves de homard. C'est pourquoi nous n'effectuons plus de prélèvements au Neuston sur toute la colonne d'eau depuis 1999.

La figure 5.1 qui rassemble tous les résultats obtenus par prélèvement de subsurface depuis 1979, montre (symboles bleus) que les densités de zoés relevées au cours de l'été 2006 sont moyennes (densité maximale tous stades confondus obtenue avec le Neuston 0,03 larve par 10 m³) ; la phase mégaloïde a été observée dans un seul prélèvement aux environs du rejet.

La figure 5.2 relative à l'année 2006 montre que les larves de homard ont été récoltées de la première mission (4 juillet) au 2 août. Les récoltes de zoés au premier stade indiquent que les éclosions se sont produites jusqu'au 2 août et la présence d'une mégaloïde dès la première mission (4 juillet) nous permet d'affirmer qu'elles ont commencé dès le mois de mai. Depuis plusieurs années la précocité des éclosions nous fait manquer le pic de zoés au stade 1, ce qui était encore plus risqué cette année compte-tenu de l'absence de mission en juin.

La figure 5.3 qui illustre la répartition des larves de homard aux différents points de prélèvement, montre cette année comme pour la moitié des années antérieures une récolte au point *référence* supérieure à celle du point 3. Une mégaloïde a été récoltée pour la deuxième année consécutive aux environs du rejet où la présence de larves est plus sporadique. Aucune larve n'a été récoltée dans le canal d'amenée où, mis à part l'année 2004, il n'en avait pas été observé depuis 1988.

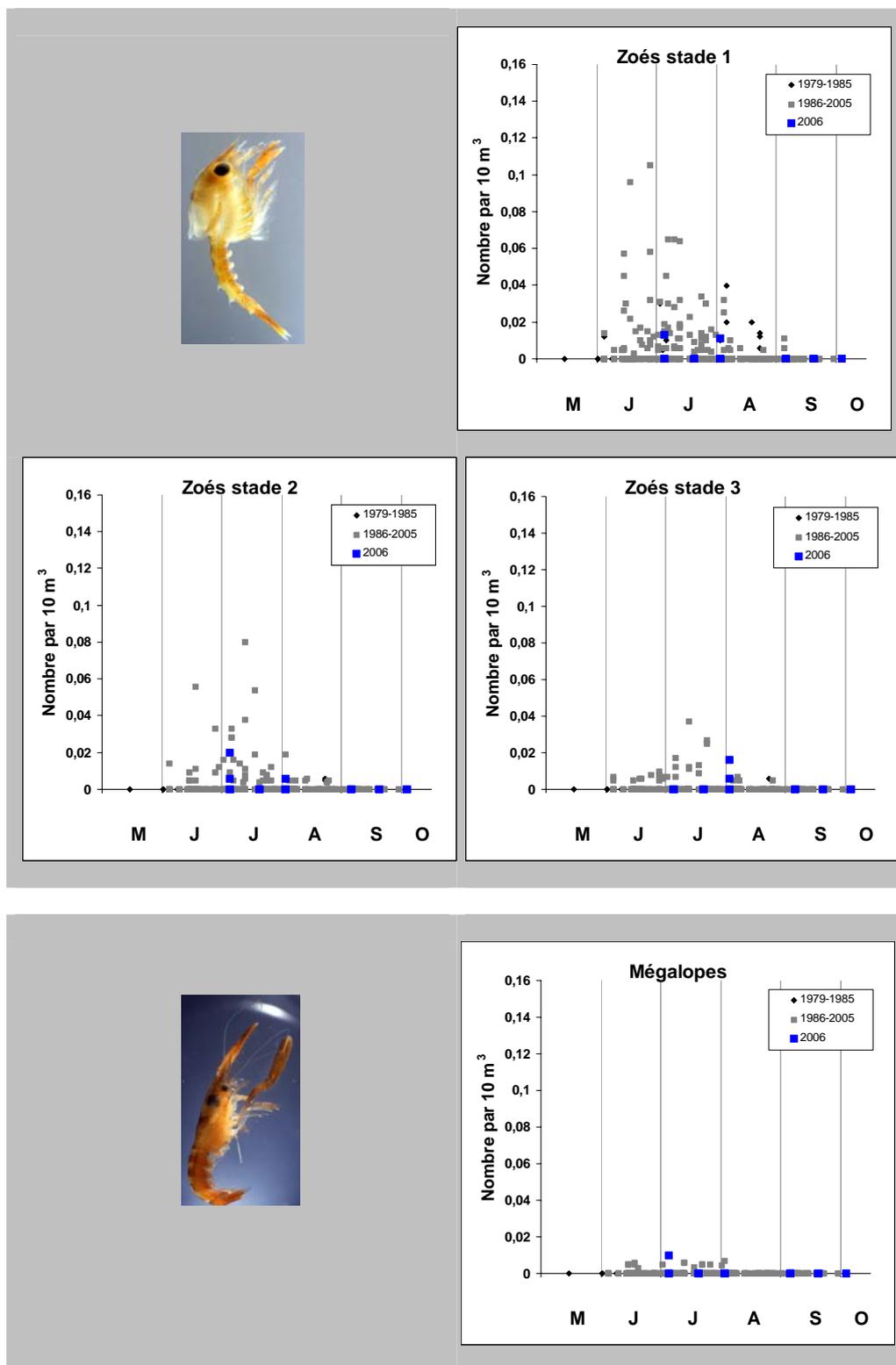


Figure 5.1 : Densité des quatre stades larvaires du homard relevés en subsurface depuis le début des études.

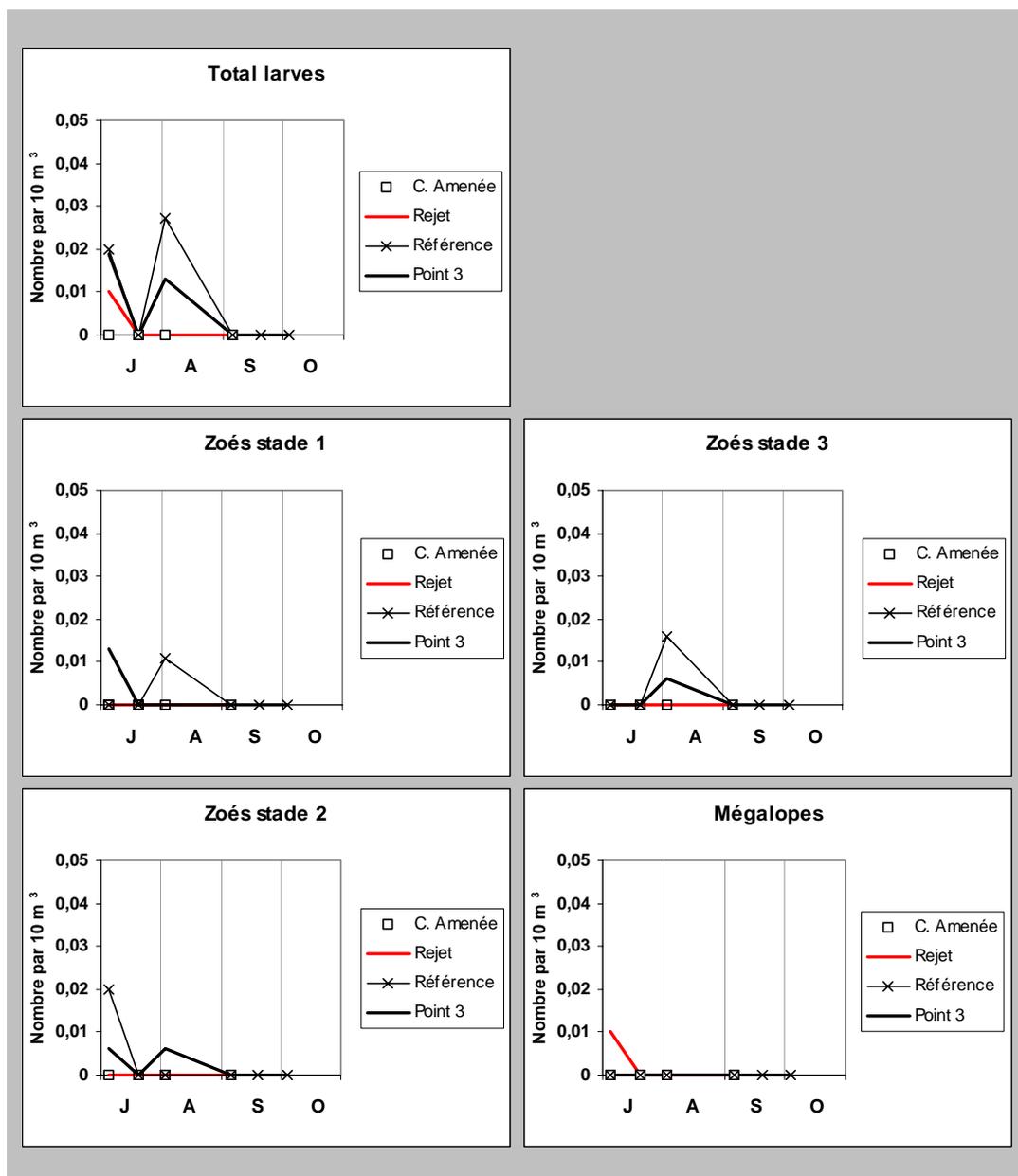


Figure 5.2 : Densité des quatre stades larvaires du homard relevés en subsurface en 2006.

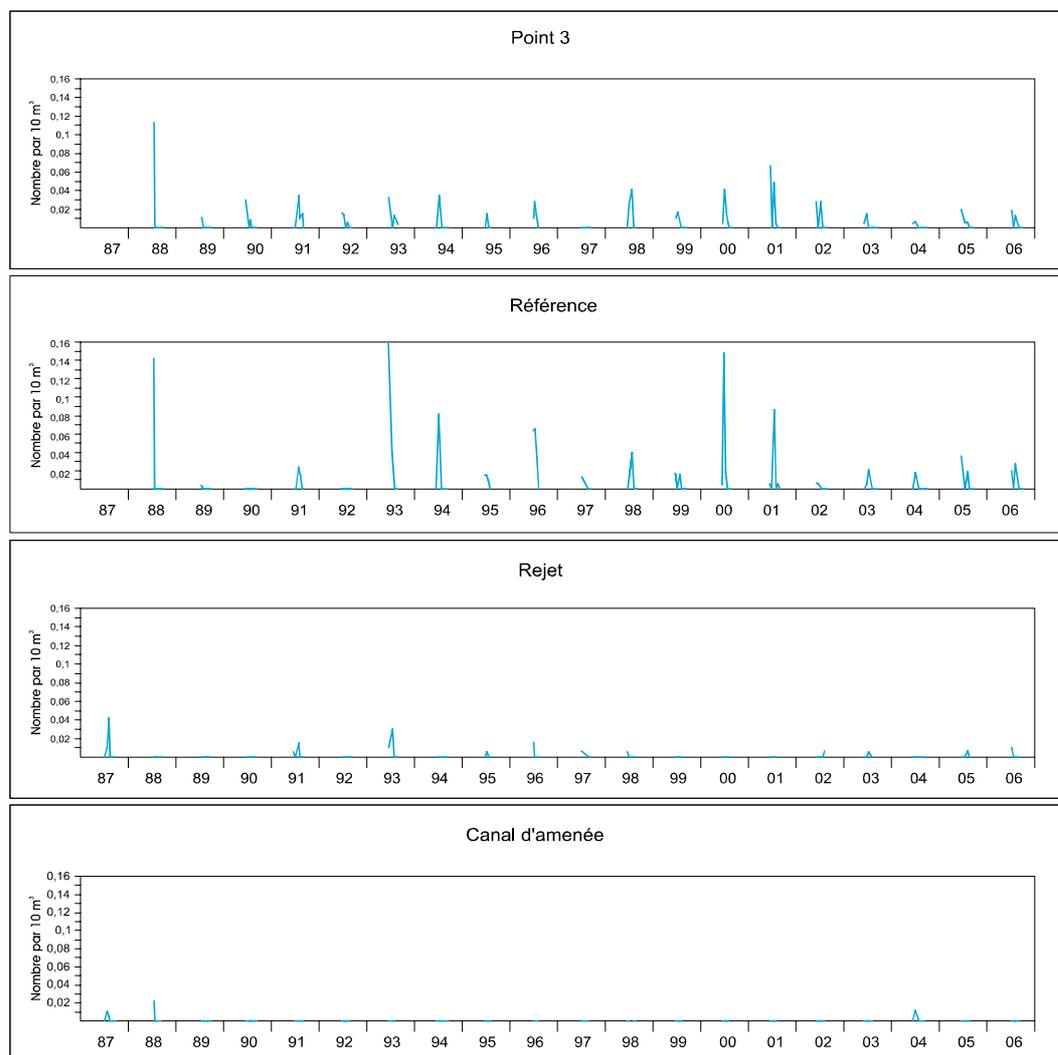


Figure 5.3 : Densité des larves de homard relevées en subsurface aux différents points depuis le début de la surveillance 2^e phase (1987).

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

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

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

L'analyse de la corrélation entre la série de températures cumulées sur différentes périodes et la date d'apparition des zoés dans le plancton qui traduit le début des éclosions (Martin et Planque, 2006) a montré qu'il n'y avait pas de corrélation significative entre la température de janvier et le démarrage des éclosions alors que la corrélation est significative à partir du mois de février et jusqu'en mai.

La figure 5.4 (extraite de la publication précitée) donne les anomalies de températures sur la période février-mai et montre que 1986 est l'année la plus froide et 2002 la plus chaude de la période 1986-2005. Cette figure illustre par ailleurs la tendance au réchauffement démontrée par Martin & Planque, tendance observée aussi pour le site de Gravelines (Woehrling *et al.*, 2005) et au niveau mondial (IPPC, 2001).

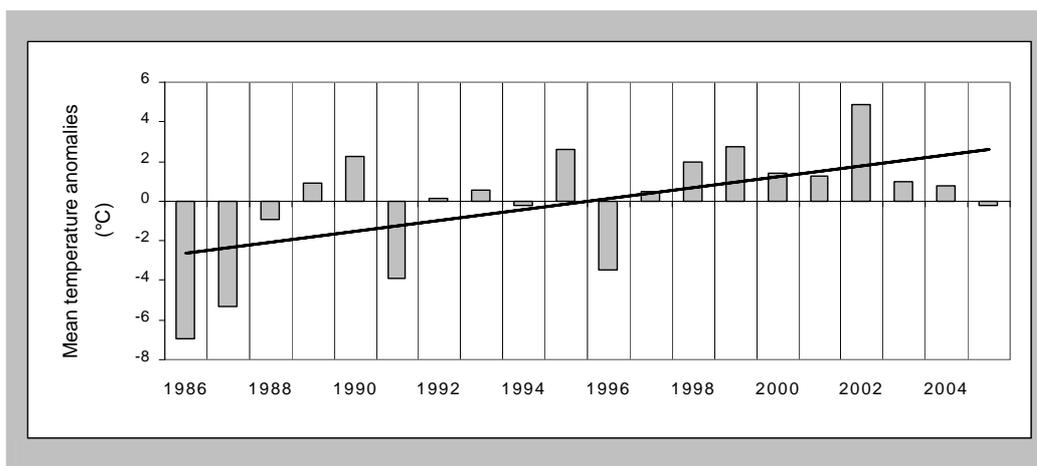


Figure 5.4 : Anomalies de la température moyenne sur la période février-mai.

Ces résultats ont permis de construire un modèle prédictif de la date d'éclosion à partir des températures mesurées au cours de la période 1^{er} février-31 mai (figure 5.5, 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 5.5) construit à partir des températures mesurées sur une période plus courte, de 4 semaines seulement (1^{er} février-10 mars), explique déjà 75% de la variance. Il est donc possible de prédire la date d'apparition des premières zoés dans le plancton à partir du 10 mars avec une assez bonne précision.

En 2006, la température moyenne de l'eau mesurée à l'entrée de la centrale sur la période allant du 1^{er} février au 10 mars est de 8,2°C. Il s'ensuit que, selon le modèle de la figure 5.5, le début des éclosions était prévu cette année pour le début du mois de juillet. Un problème technique survenu sur le bateau mi juin ne nous a pas permis de réaliser la mission prévue le 19 juin, il se trouve que la présence d'une seule zoé au premier stade dans un prélèvement du 4 juillet montre que le début de la période d'éclosions se situe bien à cette époque.

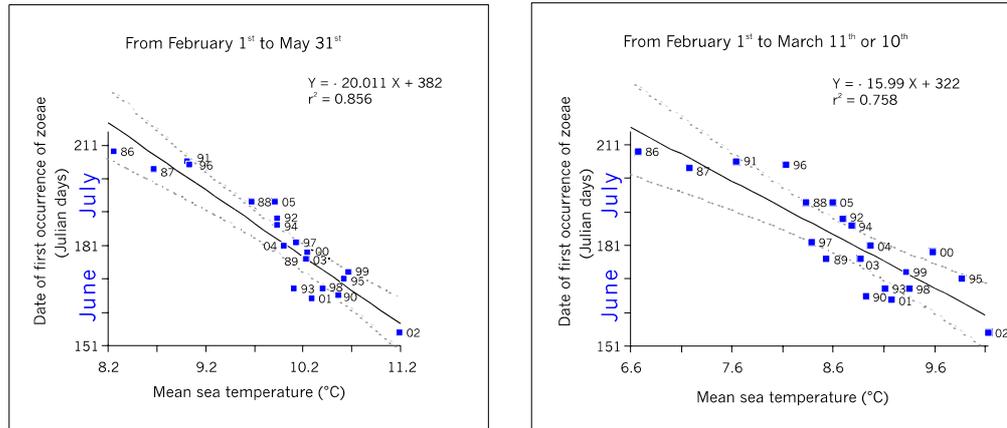


Figure 5.5 : Modèles prédictifs de la date d'apparition des zoés d'araignée de mer.

La figure 5.6 illustre d'une autre façon 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 l'année 2006 comparée aux deux années extrêmes de la période 1986-2005. On voit que l'apparition des zoés début juillet 2006 correspond à une situation intermédiaire entre celle de l'année 2002 où elles sont apparues début juin suite à une période février-mai très douce et celle de l'année 1986 où elles sont apparues fin juillet suite aux températures moins clémentes de février à mai.

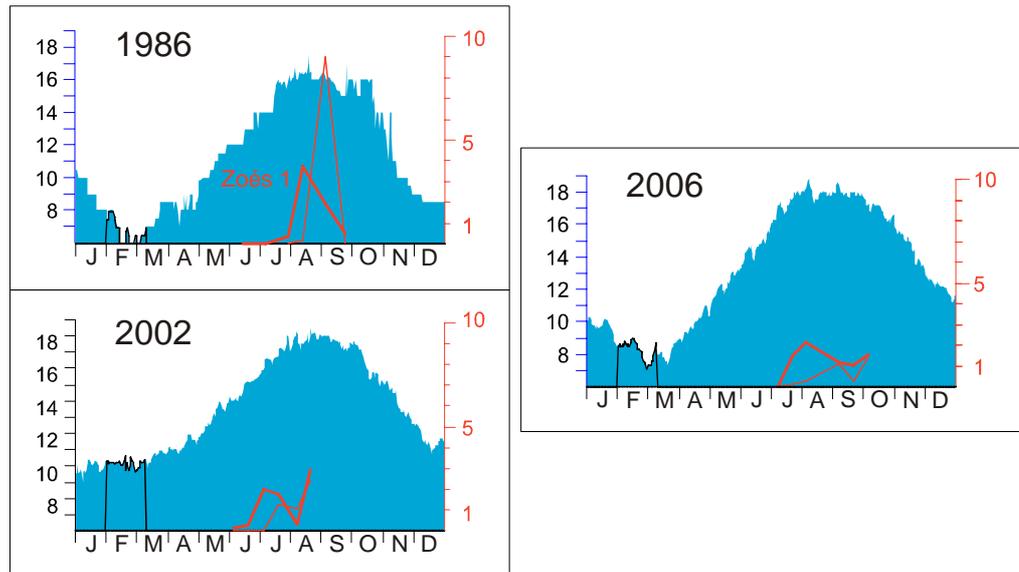


Figure 5.6 : Évolution saisonnière des zoés d'araignée en 2006 et lors des deux années extrêmes de la période 1986-2006.

La courbe de variation de la densité de zoés au premier stade (figure 5.7) montre un premier pic début août et une reprise des éclosions fin septembre. La densité maximale de zoés relevée (3,0 par 10 m³; figure 5.7) est plus proche des valeurs modestes observées de 1990 à 1995, de 1998 à 2000, 2002 à 2003 et en 2005. Toutefois, compte tenu de l'intervalle d'un mois entre la mission de début août et celle de début septembre et des effectifs importants de mégalopes relevés lors de ces deux missions, il semblerait que le pic réel d'éclosions ait été nettement plus important. L'année 1983 demeure malgré tout exceptionnelle avec 61 zoés par 10 m³.

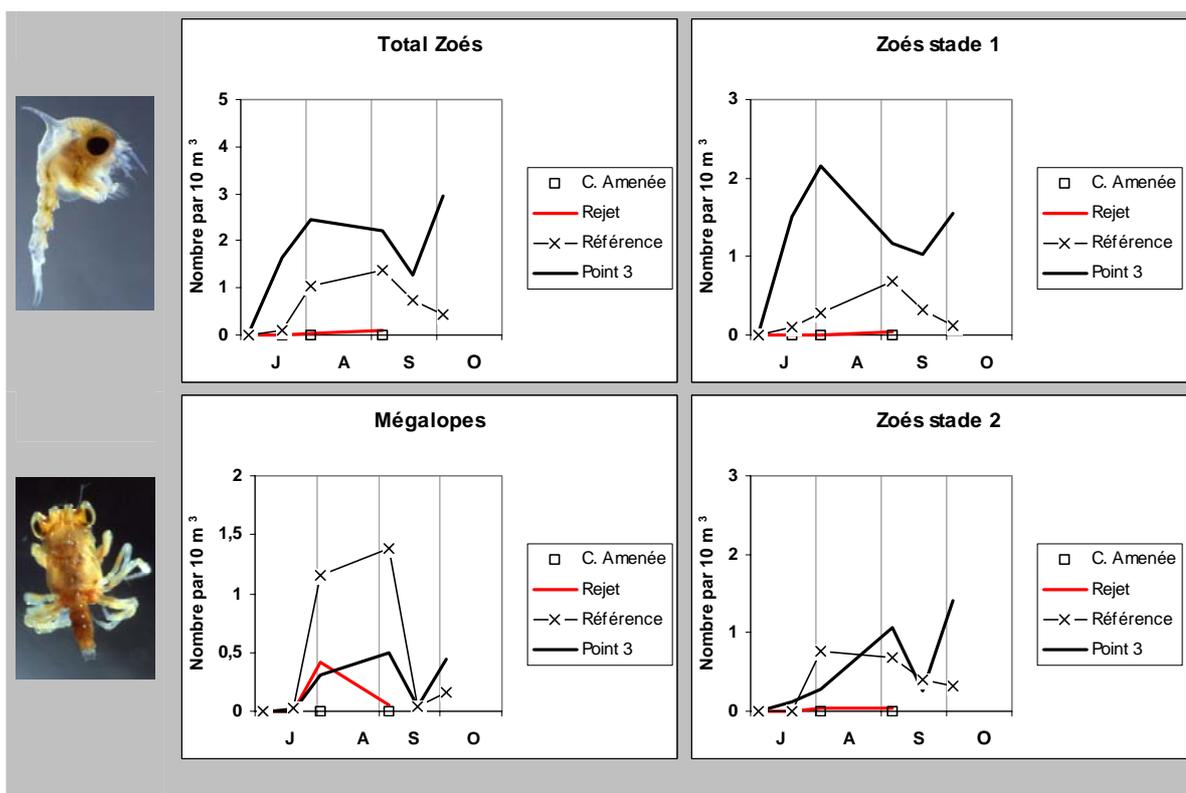


Figure 5.7 : Densité des différents stades larvaires d'araignée de mer *Maja brachydactyla* en 2006.

Les figures 5.7 à 5.9 confirment ce qui a été observé antérieurement :

- La richesse en zoés du point 3 comparé aux autres points ; 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) ou qui la dépasse (en 2002) ; la densité de mégalope,s toujours supérieure au point référence, atteint cette année des valeurs exceptionnelles de début août à début septembre en ce point, la valeur la plus forte (1,7 par 10 m³) dépassant celle relevée en 1998.
- L'absence quasi régulière de larves d'araignée dans le canal d'amenée depuis 1989 après les deux premières année (1987 et 1988) où ce point a été étudié et où leur présence était notée au cours de toute la saison.
- La faible quantité de larves aux alentours des bouches de rejet (de 0,07 à 1,7 par 10 m³) ; des zoés et mégalopes ont été observées cette année lors des missions de début août et début septembre (0,09 zoés par 10 m³ et 0,41 mégalopes par 10 m³) ; si l'effectif de zoés est plutôt faible celui des mégalopes est le plus fort relevé depuis le début du suivi de ce point (1987).

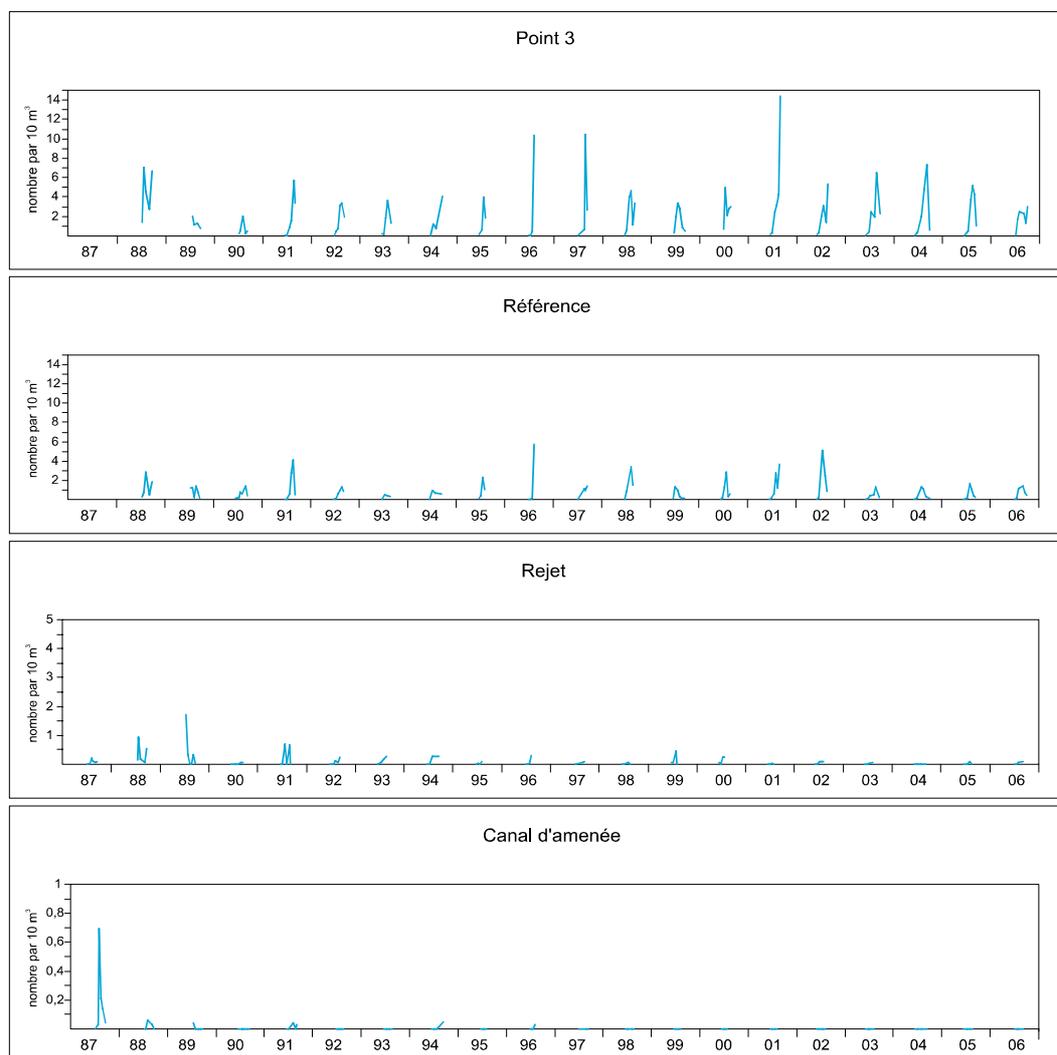


Figure 5.8 : Densité des zoés d'araignée de mer relevées aux différents points depuis le début de la surveillance 2^e phase.

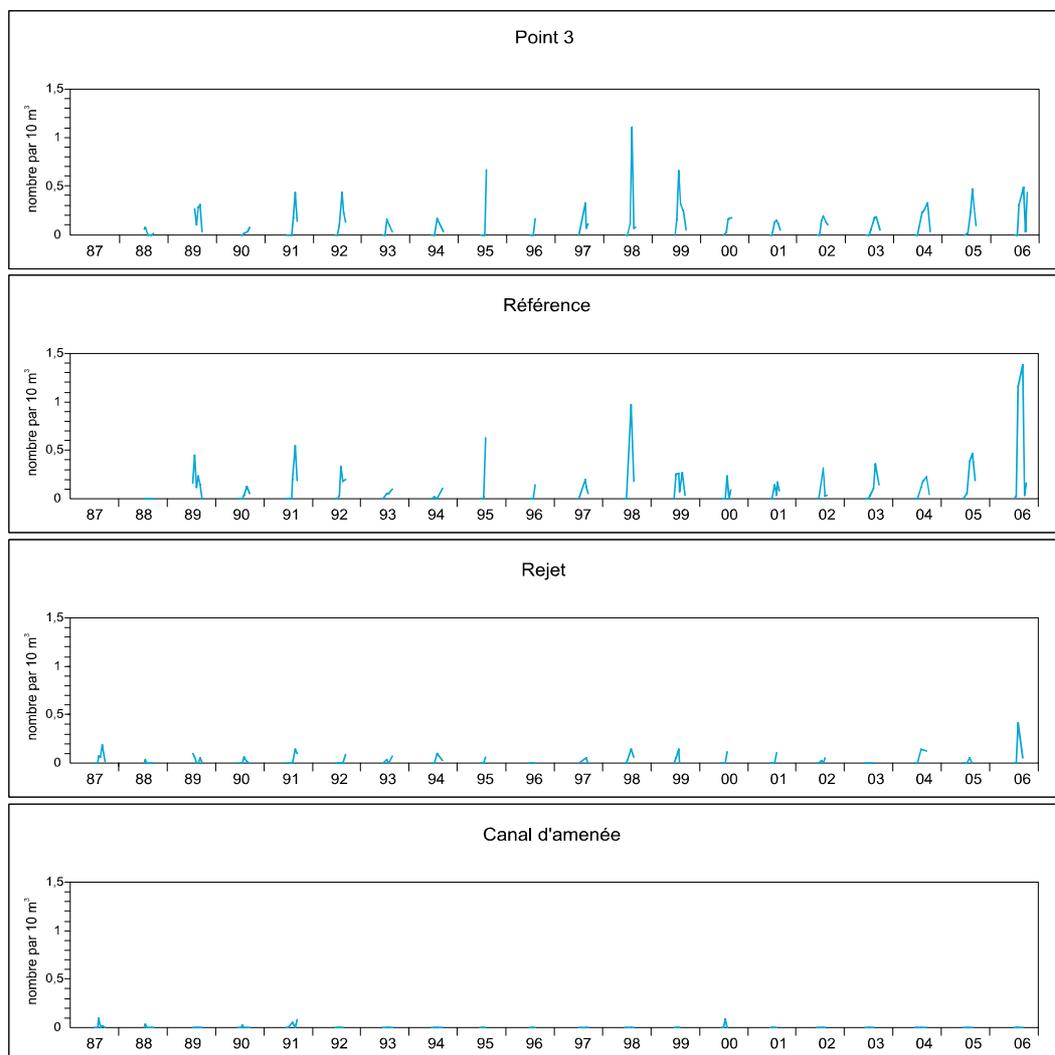


Figure 5.9 : Densité des mégaloopes d'araignée de mer relevées aux différents points depuis le début de la surveillance 2^e phase

5.1.3. Conclusion

Comme l'illustrent les figures 2.5 (page 24) et 2.9 (page 26) les températures du premier semestre 2006 sont plutôt moyennes avec un mois de mars montrant une température très nettement inférieure à la moyenne observée depuis 1986. Plus précisément, le cumul des températures journalières sur la période février-mai démontrée sensible pour l'araignée de mer, est moyenne, intermédiaire entre celle des années extrêmes 1986 et 2002.

Il s'ensuit que les premières larves d'araignée ont éclos au début du mois de juillet (l'effectif de zoés au premier stade relevé au point 3 lors de la première mission le 4 juillet est de 0,02 par 10 m³), les premières mégaloopes étant observées 15 jours plus tard au point référence. Le pic réel d'éclosions se situe en août probablement un peu après le maximum relevé lors des prélèvements du 2 août. La densité maximale de zoés, relevée début octobre lors de la reprise des éclosions (3,0 par 10 m³) rejoint les valeurs modestes notées de 1990 à 1995, de 1998 à 2000 et depuis 2002.

La répartition des zoés selon les points se confirme d'année en année avec les densités les plus fortes relevées au point 3 et des densités notables au point *référence*, alors que la zone de rejet est très pauvre et qu'on récolte rarement des larves d'araignée dans le canal d'aménée.

Les larves de homard semblent précoces cette année encore puisque une mégaloope a été observée dès le 4 juillet ; la densité de stade 1 est maximum à cette date mais, compte tenu de la densité de stades 2 légèrement supérieure et de la présence d'une mégaloope, il est difficile de parler de pic d'éclosion. Comme nous l'avons noté dans la synthèse (Drévès *et al.*, 2005) les larves de homard apparaissent plus généralement dès le mois de mai depuis quelques années. La densité maximale observée en subsurface (0,03 par 10 m³) est un peu plus faible que celle obtenue en 2005.

5.2. Surveillance de la pêche côtière des crustacés

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

5.2.1. Pêche professionnelle

5.2.1.1. Flottille

En 2006, la flottille est répartie de la façon suivante :

- 2 bateaux à Goury (6 en 2005)
- 4 à Dielette (6 en 2005)
- 25 à Carteret. (22 en 2005)

5.2.1.2. Activité

L'activité hivernale est souvent perturbée par les conditions météorologiques. Cependant, les navires, dont la longueur moyenne est inférieure à 10 m, ne désarment qu'un mois ou deux. Les autres basés pour la plupart à Carteret, travaillent toute l'année.

Les problèmes de ressources ainsi que la limitation du nombre de casiers par homme embarqué ont poussé les pêcheurs de crustacés à diversifier leur activité. Ceux qui possédaient une autre licence de pêche l'ont utilisée, quant aux autres, ils se sont reportés vers d'autres espèces. Ainsi pour les 18 caseyeurs à gros crustacés de la zone, 9 pratiquent simultanément le casier à bulot, 3 le casier à étrille, 2 le casier à seiche et 5 le filet à sole ou à raie.

L'effort de pêche de cette flottille, de loin la plus importante en nombre d'unités, reste concentré dans les zones très côtières en marées de vives-eaux, dans les secteurs plus larges du cap de la Hague ou des Ecréhous en marées de mortes-eaux. Seule deux unités d'une douzaine de mètre pratiquent une activité plus soutenue dans le large sans toutefois dépasser les dix huit heures de mer.

Parallèlement il existe une petite dizaine de bateau dont l'activité principale est dirigée vers le bulot. La zone de pêche fluctue au cours de l'année mais reste assez côtière. Elle s'étend du sud de Porbail à l'anse de Sciottot.

Les métiers de la drague ou du chalut sont pratiqués par des unités de taille plus importante qui fréquentent d'avantage le nord de Jersey ou le sud de la zone d'étude.

On trouvera dans le tableau ci dessous les périodes d'activités des principaux métiers pratiqués par la flottille fréquentant la zone située aux alentours de la centrale de Flamanville. Les zones les plus sombres correspondent au plus fort des activités de 2006.

Année 2006	Mois											
Métier	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Casier à crustacé												
Casier à bulot												
Casier à seiche												
Filet à raie												
Filet à sole												
Chalut de fond à sole												
Chalut à perche												
Chalut à vanneau												
Drague à praire												
Drague à coquille												

Tableau 5.1 : Périodes d'activités des principaux métiers pratiqués par la flottille.

5.2.1.3. Production

En 2005, les déclarations faites par les professionnels (source BCS) font apparaître une production de 267 tonnes de crustacés. Le plus gros des apports est composé d'araignées et de tourteaux dont les poids débarqués sont respectivement de 144 et 79 tonnes. Le homard arrive en troisième position avec 39 tonnes.

La production de buccin dépasse légèrement les 100 tonnes. D'autres espèces de mollusques tel que la Coquille Saint Jacques (344 T), la seiche (58 T), le vanneau (11 T), la praire (65 T) ou les amandes et les encornets situent leur production totale à environ 500 tonnes.

Les poissons sont essentiellement représentés par les différentes raies (170 tonnes) mais aussi par d'autres espèces de sélaciens (190 tonnes) ou bien encore la sole (78 T) qui représente plus de la moitié des 103 tonnes de poissons plats pêchés dans la zone.

Cette liste n'est évidemment pas exhaustive et on peut ainsi estimer la production de la flottille du nord ouest Cotentin à 2300 T. Cette évaluation est basée sur les déclarations 2005 issues des journaux de bord, des fiches de pêches et des ventes en criée de Cherbourg.

5.2.2. Pêches expérimentales

En 2006, les pêches expérimentales aux casiers ont été réalisées au cours des mois de juin et septembre.

5.2.2.1. Matériel et méthode

Le principe de 15 points définis dans le secteur proche du site de la Centrale a été modifié cette année et porte à 16 le nombre de points d'observation (figure 5.10). La création en 2000 d'un cantonnement de 1,2 km² pour préserver une fraction du stock de homard a induit un changement dans les captures et tout particulièrement dans celles réalisées à proximité du cap de Flamanville. Cette petite zone interdite à la pêche au casier, située aux abords de la centrale, fait partie intégrante du protocole d'échantillonnage des pêches expérimentales. Les filières 2, 8 et 16 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.

Depuis 2003, tous les homards pêchés dans cette zone sont marqués d'un numéro avant d'être relâchés dans le cantonnement. La nouvelle filière placée dans les

enrochements, et constituée de casiers de plus petit maillage, doit permettre la capture de jeunes homards.

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

Les 16 filières de 20 casiers sont relevées, dans la mesure du possible, à chaque sortie.

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

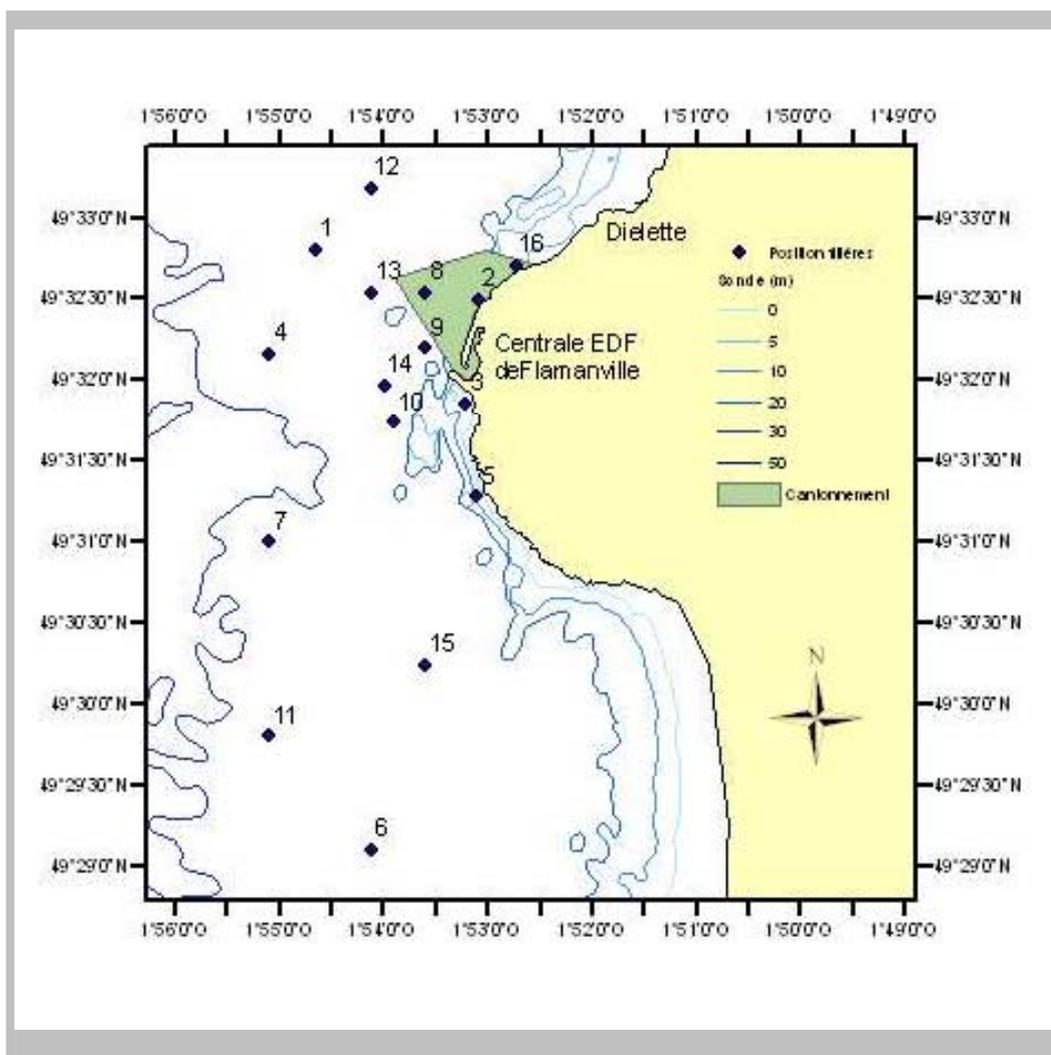


Figure 5.10 : Carte de positionnement des filières

Observations réalisées

Les observations réalisées en 2006 reposent sur 2 560 casiers relevés (annexe 5.10). Le nombre d'individus capturés par casier est noté pour les espèces suivantes : homard, tourteau, araignée, étrille, buccin et paguridés. Les données biologiques prises en compte pour les crustacés (excepté les paguridés) sont la taille, le sexe, la présence éventuelle d'œufs, la dureté de la carapace (pour l'étrille) et la maturité (pour l'araignée).

Calendrier des sorties

Le tableau 5.2 indique les dates des campagnes, le nombre de filières relevées chaque jour ainsi que la quantité de casiers utilisés.

Mission	Date	Nombre de filières	Nombre de casiers relevés
Juin	6	16	320
	7	16	320
	8	16	320
	9	16	320
Septembre	18	16	320
	19	16	320
	20	16	320
	21	16	320

Tableau 5.2 : Dates des campagnes 2006 et nombre de filières relevées.

Traitement des données

Les données sont recueillies sur un ordinateur portable de type Workabout. Chaque paramètre est identifié par un code barre lu à l'aide d'un crayon optique. Toutes les informations saisies lors de ces campagnes sont directement intégrées et traitées à la station de Port en Bessin grâce à un logiciel de gestion de base de données.

5.2.2.2. Principaux résultats

Les résultats de l'année 2006 présentés ci-après concernent les paramètres biologiques définis au cours des années 1980 à 1985, années de référence avant la mise en service de la Centrale EDF. Ils sont comparés aux résultats des missions de juin et septembre des années 1989 à 2005.

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

$$W = aLc^b$$

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

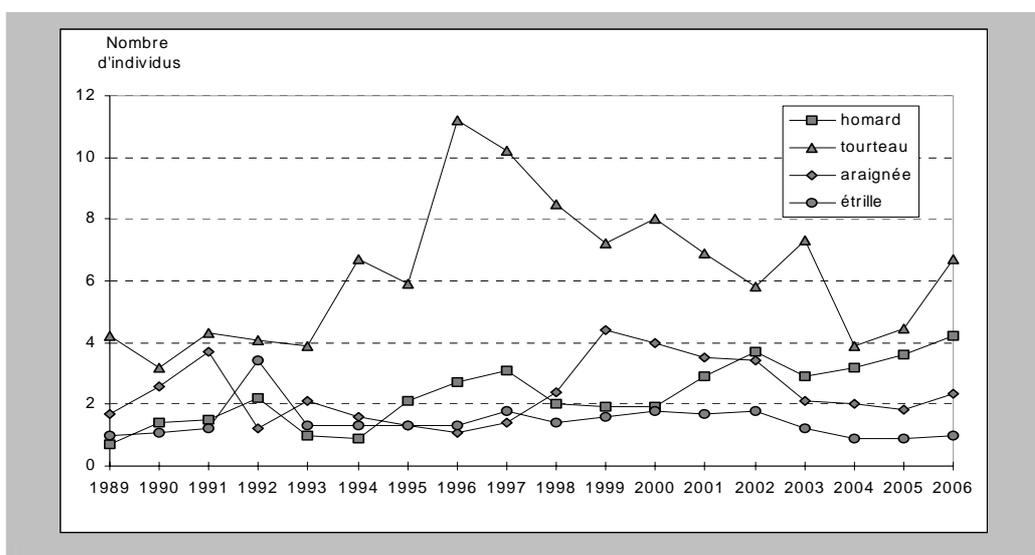


Figure 5.11 : Rendement en nombre d'individus pour 10 casiers

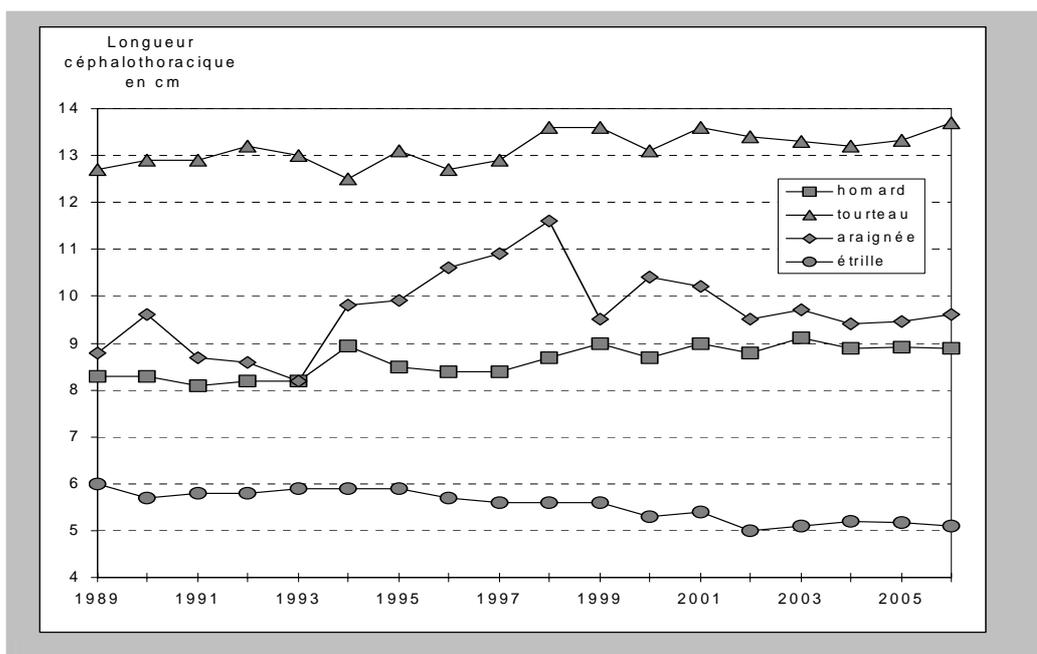


Figure 5.12 : Evolution des tailles moyennes

Homard (annexe 5.5)

☞ Rendements (figure 5.11)

Les rendements (nombre d'individus pêchés pour 10 casiers relevés) observés en juin et septembre sont en légère augmentation par rapport à l'an dernier. Sur l'ensemble de la zone prospectée lors des deux campagnes, les captures sont de 4,2 individus pour 10 casiers. Les deux filières situées dans le cantonnement ont une productivité très nettement supérieures aux autres filières et participent pour 35 % à l'indice global. Ce dernier n'est en fait que de 3,2 individus pour 10 casiers hors réserve. Il est en augmentation depuis 2003 et correspond au plus fort indice des 11 dernières années. La Figure A présente une vue globale des rendements sur la zone et permet de mettre en évidence des rendements plus importants au sud du cantonnement (filières 3,5,10). Les points situés à l'ouest représentent quant à eux des indices beaucoup plus faibles.

☞ Répartition des tailles (figure 5.12)

La taille moyenne des homards capturés en 2006 est de 8,9 cm (longueur céphalothoracique). La figure 5.12 ne montre pas de tendance. Les tailles moyennes observées dans les années 1990-1993 sont difficilement interprétables du fait d'une mauvaise couverture de la zone pendant cette période. L'échantillonnage réalisé ces années là ne prend en compte qu'une partie de la population dont la répartition n'est pas homogène sur l'ensemble de la zone étudiée.

Il a été en effet démontré (Uglen, 1993) que le gradient de taille, croissant de la côte vers le large reste marqué. D'autre part, l'engin de capture utilisé dispose d'une certaine sélectivité intrinsèque du fait de son maillage qui permet l'échappement des petits individus et son efficacité dépend de la vulnérabilité de certaines parties de la population de homards présents sur la zone de pêche. La distribution des captures est liée à certaines phases du cycle biologique (mue, reproduction...) mais elle est aussi fonction de la dominance territoriale des homards. Les pêcheurs reconnaissent qu'à certaines périodes de l'année, lorsque

les jeunes individus montent dans les casiers, c'est qu'il n'existe plus de gros homards sur la zone de pêche.

☞ Poids individuel

Le poids moyen est calculé à partir des valeurs suivantes des paramètres :

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

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

Le poids moyen des homards capturés en 2006 est de 491 g. Il n'existe pas d'évolution significative de ce paramètre mais il est très probable que du fait de la sélectivité de l'engin utilisé, seuls les individus dont le poids est généralement supérieur à 200 g soient capturés. La fraction la plus jeune de la population ne serait donc pas échantillonnée.

☞ Proportion des sexes

La moyenne annuelle du pourcentage de mâles sur le nombre total de captures reste stable d'une année sur l'autre et est toujours voisine de celle observée lors des années de référence : 50 % des individus sont de sexe mâle.

Tourteau (annexe 5.6)

☞ Rendements (figure 5.11)

Ils sont à nouveau en légère augmentation cette année (6,7 individus pour 10 casiers), et au dessus de la moyenne de ceux observés depuis 1995. Les filières au sud du cantonnement donnent les rendements les plus élevés (Figure B). L'augmentation des captures est due principalement aux filières 3, 5, 9, 10 et 14. Les filières 2, 8 et 15 ont quant à elles, les captures les plus faibles soit environ 2 individus pour 10 casiers.

☞ Répartition des tailles (figure 5.12)

La taille moyenne des individus capturés (largeur du céphalothorax) est de 13,7 cm. Elle n'a pas significativement variée depuis 1989.

☞ Poids individuel

Le poids moyen est calculé à partir des valeurs suivantes des paramètres :

pour les mâles : $a = 24.10^{-6}$ et $b = 3,388$

pour les femelles : $a = 324.10^{-6}$ et $b = 2,848$

Il est de 468 g sur l'ensemble des deux campagnes annuelles.

☞ Proportion des sexes

Le sex-ratio des captures est composé à 66 % de mâles.

Araignée (annexe 5.7)

☞ Rendements (figure 5.11)

Les rendements sont cette année de 2,6 individus pour 10 casiers. Les captures les plus importantes sont observées dans les filières 6, 11 et 15 (figure C). Généralement se sont l'ensemble des filières placées sur les fonds sableux situés à l'ouest de l'anse de Sciotot qui sont les plus productives.

☞ Répartition des tailles (figure 5.12)

La longueur céphalothoracique moyenne des araignées est de 9,6 cm. La sélectivité de l'engin utilisé ne permet pas la capture des gros spécimens,

principalement des mâles, pêchés plutôt au filet fixe. Leur taille céphalothoracique dépassant le plus souvent les 15 cm, ils ne peuvent rentrer dans la goulotte des casiers.

☞ Poids individuel

Le poids moyen est calculé à partir des valeurs suivantes des paramètres :

* pour les individus immatures

pour les mâles : $a = 462.10^{-6}$ et $b = 2,88$

pour les femelles : $a = 102.10^{-5}$ et $b = 2,698$

* pour les individus matures

pour les mâles : $a = 517.10^{-7}$ et $b = 3,382$

pour les femelles : $a = 316.10^{-6}$ et $b = 2,996$

Il est de 321 g sur l'ensemble des deux campagnes annuelles.

☞ Proportion des sexes

La proportion de mâles est de 83 %.

Etrille (annexe 5.8)

☞ Rendements (figure 5.11)

Pour la seconde année consécutive les rendements sont au plus bas depuis 10 ans et se stabilisent à 1 individu pour 10 casiers. Les captures les plus importantes sont réalisées dans la filière 2 (2,8) mais aussi dans celles situées au sud de la centrale (figure D).

☞ Répartition des tailles (figure 5.12)

La taille moyenne est de 5,1 cm.

☞ Poids individuel

Le poids moyen est calculé à partir des valeurs suivantes des paramètres :

pour les mâles : $a = 61.10^{-5}$ et $b = 3,024$

pour les femelles : $a = 6.10^{-4}$ et $b = 3,008$

Il est de 87 g sur l'ensemble des deux campagnes annuelles.

☞ Proportion des sexes

En 2006, comme lors des années précédentes, le sex-ratio est déséquilibré : 74 % des étrilles pêchées sont des mâles. Les captures réalisées en septembre montrent une augmentation significative du nombre de femelles.

☞ Proportion d'individus mous

Le pourcentage d'individus mous est de 27 % en juin.

Buccin et Paguridés (annexe 5.9 et figure 5.13)

Les filières situées au sud du cap de Flamanville (figures E et F) représentent les plus forts rendements. On observe des indices annuels moyens de 4,2 individus pour 10 casiers pour le buccin et de 2,4 pour les paguridés.

Il faut préciser que la sélectivité de l'engin utilisé ne permet pas les prises d'individus de petite taille et que les variations inter-annuelles concernant la capture de ces espèces sont très importantes.

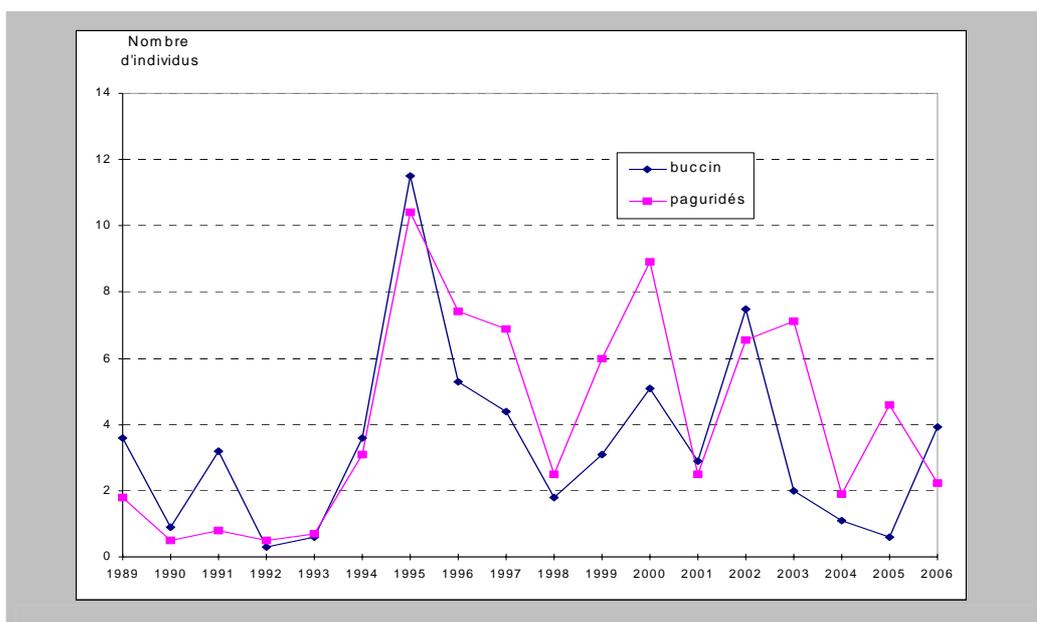


Figure 5.13 : Rendements en nombre d'individus pour 10 casiers.

Zone du Cantonnement

Les filières 2, 8 et 16 situées dans le cantonnement, ont respectivement des rendements de 12, 10,3 et 11,4 homards pour 10 casiers.

Sur les 470 homards différents capturés dans le cantonnement, 423 ont été marqués pour la première fois cette année. Nous avons recapturé 47 homards matriculés lors des campagnes précédentes. Parmi ces derniers, six l'ont été en 2003.

Le poids moyen est nettement supérieur (594 g) à celui observé sur l'ensemble de la population capturée en dehors du cantonnement (468 g).

La filière 16 ajoutée cette année pour tenter de capturer de plus petits individus semble donner les résultats escomptés. Les tailles moyennes sont de 8,8 cm en juin et 9,1 en septembre.

Les captures de femelles œuvées sont plus importantes qu'à l'extérieur de la zone.

5.2.3. Conclusion

Les résultats obtenus montrent que globalement il n'y a pas eu aggravation récente de l'état des populations et/ou de la communauté du fait de la pêche ou de toute autre activité anthropique.

Il faudra surveiller cependant les variations des indices de densité et de taille pour l'étrille. La diminution de ces indicateurs pourrait, si la taille moyenne diminuait encore, fournir des éléments caractérisant une trop forte pression sur cette espèce susceptible d'affecter la communauté des crustacés aux abords de Flamanville.

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

- Les densités y sont importantes et sont proches de un individu par casiers en 2006. Le reste de la zone d'étude étant beaucoup moins productive, la variabilité annuelle s'en trouve affectée ces dernières années.

- Le système de marquage utilisé depuis 2003 permet d'identifier les individus recapturés même après plusieurs mues. Nous avons ainsi pu observer de nombreuses augmentations de tailles accompagnées parfois de modification du stade sexuel comme par exemple le passage de femelle à celui de femelle œuvée. Six individus marqués en 2003 ont même été repêchés lors de la dernière campagne.
- Malgré le nombre assez important de homards marqués, environ 1065 individus en quatre ans, le taux de recapture est faible, voir inexistant en dehors du cantonnement (6 individus en 2006). Cela confirme que le homard est une espèce assez sédentaire, la majorité des captures se faisant lors de campagnes sur les lieux d'immersion, c'est à dire à l'intérieur du cantonnement.
- La filière numéro 16, positionnée dans les récifs artificiels que constituent les blocs de ciment devant la centrale, devrait permettre à cours terme d'identifier une zone probable d'habitat des juvéniles de homard.
- Comme les années précédentes, il y a très peu de tourteaux capturés. 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 de la réserve montre aussi son contraire, c'est à dire, une abondance importante des homards entraîne une baisse des captures de tourteaux. Cela confirme que le homard est bien l'espèce de crustacé territorialement dominante dans cette zone.

Mission	Date	Coeff. Marée	Point	Nuages	Sonde	Engin	Heure début (T.U.)	Durée	Temps après P.M.	Volume (m ³)
181	4 juillet	41	Point 3	5	25	Bongo 1	17h 40	3mn 56	5h 59	213
						Bongo 2	17h 46		6h 05	218
						Neuston S	17h 55		6h 14	1558
			C. Amenée	4	5	Bongo 1	15h 23	1mn	3h 42	51
						Bongo 2	15h 28	1mn	3h 47	57
						Neuston S	15h 48	10mn 05	4h 07	1046
			Rejet	4	14	Bongo 1	16h 08	2mn 30	4h 27	123
						Bongo 2	16h 14	2mn 29	4h 33	138
						Neuston S	16h 20	15mn 16	4h 39	1563
			Référence	5	24	Bongo 1	16h 50	3mn 30	5h 09	192
						Bongo 2	16h 56	3mn 06	5h 15	164
						Neuston S	17h 03	15mn 21	5h 22	1535
182	19 juillet	54	Point 3	8	24	Bongo 1	19h 01	3mn 30	6h 27	189
						Bongo 2	19h 07	3mn 45	6h 33	190
						Neuston S	19h 15	15mn 50	6h 41	1413
			C. Amenée	8	6	Bongo 1	16h 54	1mn 15	4h 20	67
						Bongo 2	16h 58	1mn 14	4h 24	64
						Neuston S	17h 04	10mn 45	4h 30	1096
			Rejet	8	14	Bongo 1	17h 24	2mn 20	4h 50	138
						Bongo 2	17h 36	2mn 20	5h 02	127
						Neuston S	17h 42	14mn 45	5h 08	1820
			Référence	8	21	Bongo 1	18h 11	3mn 30	5h 37	187
						Bongo 2	18h 17	3mn 10	5h 43	176
						Neuston S	18h 25	15mn 30	5h 51	1547
183	2 août	45	Point 3	2	25	Bongo 1	17h 07	3mn	6h 29	173
						Bongo 2	17h 14	3mn	6h 36	176
						Neuston S	17h 20	15mn	6h 42	1550
			C. Amenée	2	6	Bongo 1	15h 09	1mn	4h 31	62
						Bongo 2	15h 14		4h 36	59
						Neuston S	15h 20	8mn	4h 42	851
			Rejet	2	17	Bongo 1	15h 40		5h 02	86
						Bongo 2	15h 44	1mn	5h 06	106
						Neuston S	15h 49	11mn	5h 11	1201
			Référence	2	22	Bongo 1	16h 15	5mn	5h 37	157
						Bongo 2	16h 22	3mn	5h 4	179
						Neuston S	16h 29	15mn	5h 51	1880
184	5 septembre	58	Point 3	5	24	Bongo 1	10h 30	2mn	6h 35	140
						Bongo 2	10h 35	2mn 10	6h 40	107
						Neuston S	10h 40	15mn	6h 45	1657
			C. Amenée	7	6	Bongo 1	8h 32	1mn 40	4h 37	98
						Bongo 2	8h 37	1mn 20	4h 42	69
						Neuston S	8h 42		4h 47	959
			Rejet	8	14	Bongo 1	9h 05	2mn	5h 10	105
						Bongo 2	9h 10	2mn	5h 15	97
						Neuston S	9h 15	15mn	5h 20	1658
			Référence	8	21	Bongo 1	9h 44	2mn 40	5h 49	153
						Bongo 2	9h 50	2mn 35	5h 55	109
						Neuston S	9h 55	15mn	6h 00	1769
185	19 septembre	58	Point 3	4	28	Bongo 1	15h 49	2mn 25	11h 23	74
						Bongo 2	16h	2mn 20	11h 34	136
						Neuston S	16h 06	15mn	11h 40	1729
			Référence	2	26	Bongo 1	16h 40	2mn 10	12h 14	114
						Bongo 2	16h 46	2mn	12h 20	128
						Neuston S	16h 51	15mn	12h 25	2072
186	3 octobre	43	Point 3	5	25	Bongo 1	7h 57	2mn 30	5h 33	125
						Bongo 2	8h 05	1mn 45	5h 41	62
						Neuston S	8h 10	15mn	5h 46	1470
			Référence	5	22	Bongo 1	8h 50	1mn 45	6h 26	101
						Bongo 2	8h 56	1mn 30	6h 32	83
						Neuston S	9h	15mn	6h 36	1489

Annexes 5.1 : Caractéristiques des prélèvements effectués en 2006

Mission	Date	Point	Température (°C)		ΔT (°C)		Salinité		Densité	
			Surf.	Fond	Surf.	Fond	Surf.	Fond	Surf.	Fond
181	4 juillet	Point 3	15,4	15,0			34,83	34,7	25,77	25,76
		C. Amenée	16,0	16,0	3,2	-0,1	34,55	34,65	25,42	25,5
		Rejet	19,3	15,9			34,44	34,75	24,55	25,59
		Référence	16,1	15,2			34,71	34,73	25,53	25,73
182	19 juillet	Point 3	15,8	15,8			34,71	34,68	25,6	25,57
		C. Amenée	16,9	16,9	2,0	0,1	34,51	34,65	25,18	25,28
		Rejet	18,9	17,0			34,64	34,54	24,79	25,18
		Référence	16,7	16,2			34,65	34,62	25,34	25,43
183	2 août	Point 3	17,1	17,0			34,66	34,64	25,26	25,25
		C. Amenée	17,9	17,9	1,3	-0,2	34,52	34,47	24,95	24,92
		Rejet	19,2	17,6			34,53		24,63	
		Référence	17,5	17,2			34,63	34,6	25,14	25,17
184	5 septembre	Point 3	17,7	17,6			34,7	34,67	25,14	25,14
		C. Amenée	18,0	18,0	0,0	-0,3	34,63	34,64	25,02	25,03
		Rejet	17,9	17,7			34,66	34,67	25,05	25,12
		Référence	17,8	17,6			34,66	34,66	25,08	25,12
185	19 septembre	Point 3	16,9	16,9			34,67	34,69	25,3	25,31
		Référence	17,1	17,1			34,71	34,71	25,3	25,29
186	3 octobre	Point 3	17,7	17,3			34,75	34,73	25,18	25,26
		Référence	17,3	17,3			34,73	34,73	25,26	25,26

Annexes 5.2 : Résultats des mesures hydrologiques effectuées en 2006.

Mission	Date	Point	Nuages	Engin	Total larves	Zoés stade 1	Zoés stade 2	Zoés stade 3	Mégalopes
181	4 juillet	Point 3	5	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S	0,019	0,013	0,006		
		C. Amenée	4	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Rejet	4	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S	0,010				0,01
		Référence	5	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S	0,020		0,020		
182	19 juillet	Point 3	8	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		C. Amenée	5	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Rejet	8	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Référence	8	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
183	2 août	Point 3	2	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S	0,012		0,006	0,006	
		C. Amenée	2	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Rejet	2	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Référence	2	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S	0,027	0,011		0,016	
184	5 septembre	Point 3	5	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		C. Amenée	7	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Rejet	8	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Référence	8	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
185	19 septembre	Point 3	4	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Référence	2	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
186	3 octobre	Point 3	5	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Référence	5	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					

Annexes 5.3 : Densités des larves de homard en 2006 (en nombre par 10 m³).

Mission	Date	Point		Mégaloopes	Total zoés	Zoés stade 1	Zoés stade 2
181	4 juillet	Point 3	Bongo 1		0,05	0,05	
			Bongo 2				
		Moyenne		0,02	0,02		
		C. Amenée	Bongo 1				
		Bongo 2					
		Rejet	Bongo 1				
			Bongo 2				
		Référence	Bongo 1				
			Bongo 2				
182	19 juillet	Point 3	Bongo 1		1,8	1,59	0,21
			Bongo 2		1,48	1,42	0,05
		Moyenne		1,64	1,51	0,13	
		C. Amenée	Bongo 1				
		Bongo 2					
		Rejet	Bongo 1				
			Bongo 2				
		Référence	Bongo 1	0,05			
			Bongo 2		0,23	0,23	
			Moyenne	0,03	0,11	0,11	
183	2 août	Point 3	Bongo 1	0,35	3,52	3,06	0,46
			Bongo 2	0,28	1,36	1,25	0,11
		Moyenne	0,31	2,44	2,15	0,29	
		C. Amenée	Bongo 1				
		Bongo 2					
		Rejet	Bongo 1	0,35			
			Bongo 2	0,47	0,09		0,09
			Moyenne	0,41	0,05		0,05
		Référence	Bongo 1	0,64	0,76	0,19	0,57
			Bongo 2	1,68	1,34	0,39	0,95
			Moyenne	1,16	1,05	0,29	0,76
184	5 septembre	Point 3	Bongo 1	0,43	3,07	1,5	1,57
			Bongo 2	0,56	1,4	0,84	0,56
		Moyenne	0,49	2,23	1,17	1,07	
		C. Amenée	Bongo 1				
		Bongo 2					
		Rejet	Bongo 1	0,09	0,19	0,09	0,09
			Bongo 2				
			Moyenne	0,05	0,09	0,05	0,05
		Référence	Bongo 1	0,46	0,98	0,92	0,07
			Bongo 2	2,3	1,75	0,46	1,29
			Moyenne	1,38	1,37	0,69	0,68
185	19 septembre	Point 3	Bongo 1		1,22	1,22	
			Bongo 2	0,07	1,32	0,81	0,52
		Moyenne	0,04	1,27	1,02	0,26	
		Référence	Bongo 1		0,7	0,26	0,44
		Bongo 2	0,08	0,78	0,39	0,39	
			Moyenne	0,04	0,74	0,33	0,41
186	3 octobre	Point 3	Bongo 1	0,56	2,56	1,2	1,36
			Bongo 2	0,32	3,37	1,92	1,44
		Moyenne	0,44	2,96	1,56	1,4	
		Référence	Bongo 1	0,2	0,4		0,4
		Bongo 2	0,12	0,48	0,24	0,24	
			Moyenne	0,16	0,44	0,12	0,32

Annexes 5.4 : Densité des larves d'araignée de mer en 2006 (en nombre par 10 m³).

JUIN	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuvées	Longueur céphalothoracique moyenne (cm)	Poids moyen (g)	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	14	9	3	2	9.3	550	64%
filière 2	114	63	39	12	9.5	601	55%
filière 3	99	55	44		8.0	332	56%
filière 4	10	4	6		9.0	493	40%
filière 5	79	38	41		7.8	311	48%
filière 6	18	9	9		8.8	464	50%
filière 7	7	4	3		9.8	730	57%
filière 8	105	48	34	23	9.7	614	46%
filière 9	19	9	9	1	8.3	379	47%
filière 10	49	22	27		7.8	306	45%
filière 11	19	15	3	1	9.4	592	79%
filière 12	37	19	14	4	9.6	630	51%
filière 13	13	7	4	2	9.1	516	54%
filière 14	18	9	8	1	8.4	383	50%
filière 15	29	15	11	3	8.8	461	52%
Sous total	630	326	255	49	8.9	491	52%
filière 16	84	43	36	5	8.8	460	51%

SEPTEMBRE	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuvées	Longueur céphalothoracique moyenne (cm)	Poids moyen (g)	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	16	11	5		9.2	544	69%
filière 2	77	33	37	7	9.7	640	43%
filière 3	40	16	24		8.5	413	40%
filière 4	18	9	6	3	9.1	529	50%
filière 5	20	11	9		8.1	345	55%
filière 6	15	7	8		8.7	484	47%
filière 7	7	4	2	1	8.2	366	57%
filière 8	60	25	32	3	10.2	726	42%
filière 9	19	8	10	1	8.9	479	42%
filière 10	25	12	12	1	8.1	354	48%
filière 11	13	8	4	1	8.8	491	62%
filière 12	18	12	6		8.8	468	67%
filière 13	14	7	6	1	9.0	499	50%
filière 14	23	14	9		8.3	379	61%
filière 15	18	8	8	2	9.7	663	44%
Sous total	383	185	178	20	8.9	492	48%
filière 16	99	42	50	7	9.1	526	42%

Total	1013	511	433	69	8.9	491	50%
Total (16)	183	85	86	12	8.9	493	46%

Annexes 5.5 : Résultats des pêches expérimentales de homard en 2006

JUIN	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Largeur céphalothoracique moyenne (cm)	Poids moyen (g)	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	15	10	5	14.3	531	67%
filière 2	9	7	2	12.4	315	78%
filière 3	65	40	25	12.0	295	62%
filière 4	12	6	6	14.9	586	50%
filière 5	34	20	14	12.4	342	59%
filière 6	13	7	6	15.4	658	54%
filière 7	14	13	1	15.8	807	93%
filière 8	19	12	7	12.5	353	63%
filière 9	39	21	18	12.9	394	54%
filière 10	60	31	29	12.1	293	52%
filière 11	8	7	1	14.1	549	88%
filière 12	44	30	14	14.4	530	68%
filière 13	30	18	12	15.0	624	60%
filière 14	64	43	21	13.7	467	67%
filière 15	15	8	7	15.1	578	53%
Sous total	441	273	168	13.8	488	62%
filière 16	13	8	5	10.3	175	62%

SEPTEMBRE	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Largeur céphalothoracique moyenne	Poids moyen (g)	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	60	43	17	14.3	528	72%
filière 2	27	19	8	11.8	298	70%
filière 3	128	82	46	11.9	286	64%
filière 4	39	27	12	14.5	580	69%
filière 5	147	98	49	12.9	372	67%
filière 6	35	26	9	14.9	590	74%
filière 7	28	17	11	15.0	592	61%
filière 8	12	8	4	11.9	291	67%
filière 9	175	126	49	12.2	309	72%
filière 10	144	89	55	12.2	312	62%
filière 11	44	32	12	14.8	556	73%
filière 12	75	43	32	14.5	523	57%
filière 13	67	47	20	13.5	452	70%
filière 14	169	116	53	12.8	360	69%
filière 15	13	10	3	15.8	682	77%
Sous total	1163	783	380	13.5	449	67%
filière 16	66	42	24	10.9	209	64%

Total	1604	1056	548	13.7	468	66%
Total (16)	79	50	29	10.6	192	63%

Annexes 5.6 : Résultats des pêches expérimentales de tourteau en 2006

JUIN	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Largeur céphalothoracique moyenne (cm)	Poids moyen (g)	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	15	10	5	14.3	531	67%
filière 2	9	7	2	12.4	315	78%
filière 3	65	40	25	12.0	295	62%
filière 4	12	6	6	14.9	586	50%
filière 5	34	20	14	12.4	342	59%
filière 6	13	7	6	15.4	658	54%
filière 7	14	13	1	15.8	807	93%
filière 8	19	12	7	12.5	353	63%
filière 9	39	21	18	12.9	394	54%
filière 10	60	31	29	12.1	293	52%
filière 11	8	7	1	14.1	549	88%
filière 12	44	30	14	14.4	530	68%
filière 13	30	18	12	15.0	624	60%
filière 14	64	43	21	13.7	467	67%
filière 15	15	8	7	15.1	578	53%
Sous total	441	273	168	13.8	488	62%
filière 16	13	8	5	10.3	175	62%

SEPTEMBRE	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Largeur céphalothoracique moyenne	Poids moyen (g)	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	60	43	17	14.3	528	72%
filière 2	27	19	8	11.8	298	70%
filière 3	128	82	46	11.9	286	64%
filière 4	39	27	12	14.5	580	69%
filière 5	147	98	49	12.9	372	67%
filière 6	35	26	9	14.9	590	74%
filière 7	28	17	11	15.0	592	61%
filière 8	12	8	4	11.9	291	67%
filière 9	175	126	49	12.2	309	72%
filière 10	144	89	55	12.2	312	62%
filière 11	44	32	12	14.8	556	73%
filière 12	75	43	32	14.5	523	57%
filière 13	67	47	20	13.5	452	70%
filière 14	169	116	53	12.8	360	69%
filière 15	13	10	3	15.8	682	77%
Sous total	1163	783	380	13.5	449	67%
filière 16	66	42	24	10.9	209	64%

Total	1604	1056	548	13.7	468	66%
Total (16)	79	50	29	10.6	192	63%

Annexes 5.7 : Résultats des pêches expérimentales d'araignée en 2006

JUIN	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuвées	Longueur céphalothoracique moyenne	Pourcentage d'individus mous	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	1	1			5.4	100%	100%
filière 2	10	4	5	1	5.5	30%	40%
filière 3	13	9	4		5.1	8%	69%
filière 4	0					0%	0%
filière 5	15	11	4		5.1	40%	73%
filière 6	0					0%	0%
filière 7	0					0%	0%
filière 8	3	3			5.2	33%	100%
filière 9	7	5	1	1	5.3	0%	71%
filière 10	22	15	6	1	5.2	32%	68%
filière 11	0					0%	0%
filière 12	1	0		1	4.9	0%	0%
filière 13	3	2	1		5.1	0%	67%
filière 14	12	8	3	1	5.2	33%	67%
filière 15	3	2	1		4.0	33%	67%
Sous total	90	60	25	5	5.1	0%	67%
filière 16	3	2		1	5.4	0%	67%

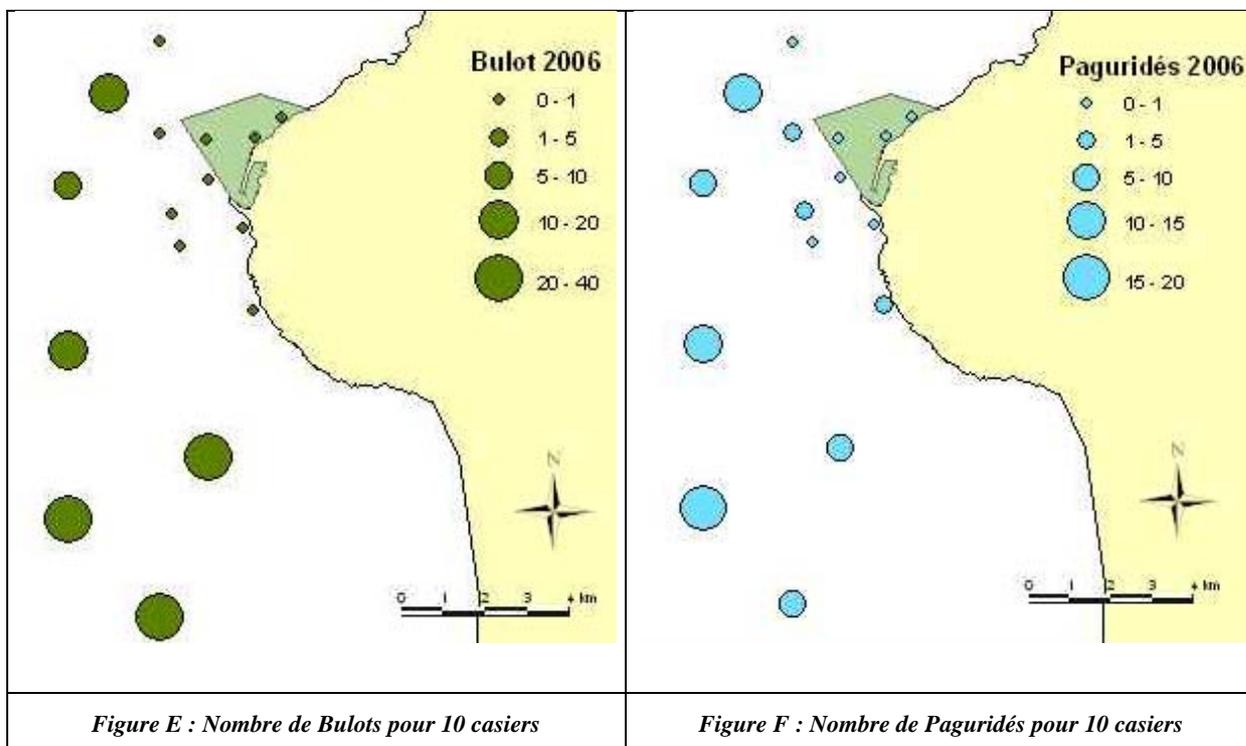
SEPTEMBRE	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuвées	Longueur céphalothoracique moyenne	Pourcentage d'individus mous	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	8	7	1		4.8	0%	88%
filière 2	35	26	9		5.3	0%	74%
filière 3	18	15	3		5.2	6%	83%
filière 4	5	4	1		5.0	0%	80%
filière 5	13	13			4.9	0%	100%
filière 6	7	4	3		5.1	14%	57%
filière 7	5	4	1		5.1	0%	80%
filière 8	9	7	2		5.3	0%	78%
filière 9	3	2	1		4.9	0%	67%
filière 10	8	6	2		5.0	0%	75%
filière 11	2	1	1		5.3	0%	50%
filière 12	8	6	2		5.2	13%	75%
filière 13	21	17	4		5.0	0%	81%
filière 14	6	4	2		5.0	0%	67%
filière 15	3	2	1		4.7	0%	67%
Sous total	151	118	33		5.0	2%	78%
filière 16	45	32	13		5.0	2%	71%

Total	241	178	58	5	5.1	11%	74%
Total (16)	48	34	13	1	5.1	2%	71%

Annexes 5.8 : Résultats des pêches expérimentales d'étrille en 2006

	Nombre de casiers relevés			Nombre de buccins pêchés			Nombre de pagures pêchés		
	Juin	Septembre	Total	Juin	Septembre	Total	Juin	Septembre	Total
filière 1	80	80	160	84	17	101	96	6	102
filière 2	80	80	160	0	0	0	0	0	0
filière 3	80	80	160	0	0	0	6	0	6
filière 4	80	80	160	54	4	58	48	1	49
filière 5	80	80	160	0	1	1	19	2	21
filière 6	80	80	160	230	51	281	44	5	49
filière 7	80	80	160	104	8	112	110	2	112
filière 8	80	80	160	0	0	0	0	0	0
filière 9	80	80	160	0	0	0	0	0	0
filière 10	80	80	160	0	0	0	2	0	2
filière 11	80	80	160	186	51	237	127	0	127
filière 12	80	80	160	0	0	0	1	1	2
filière 13	80	80	160	2	0	2	21	0	21
filière 14	80	80	160	3	0	3	10	0	10
filière 15	80	80	160	143	64	207	66	2	68
filière 16	80	80	160	0	0	0	0	0	0
Total	1280	1280	2560	806	196	1002	550	19	569

Annexes 5.9 : Résultats des pêches expérimentales autres espèces en 2006



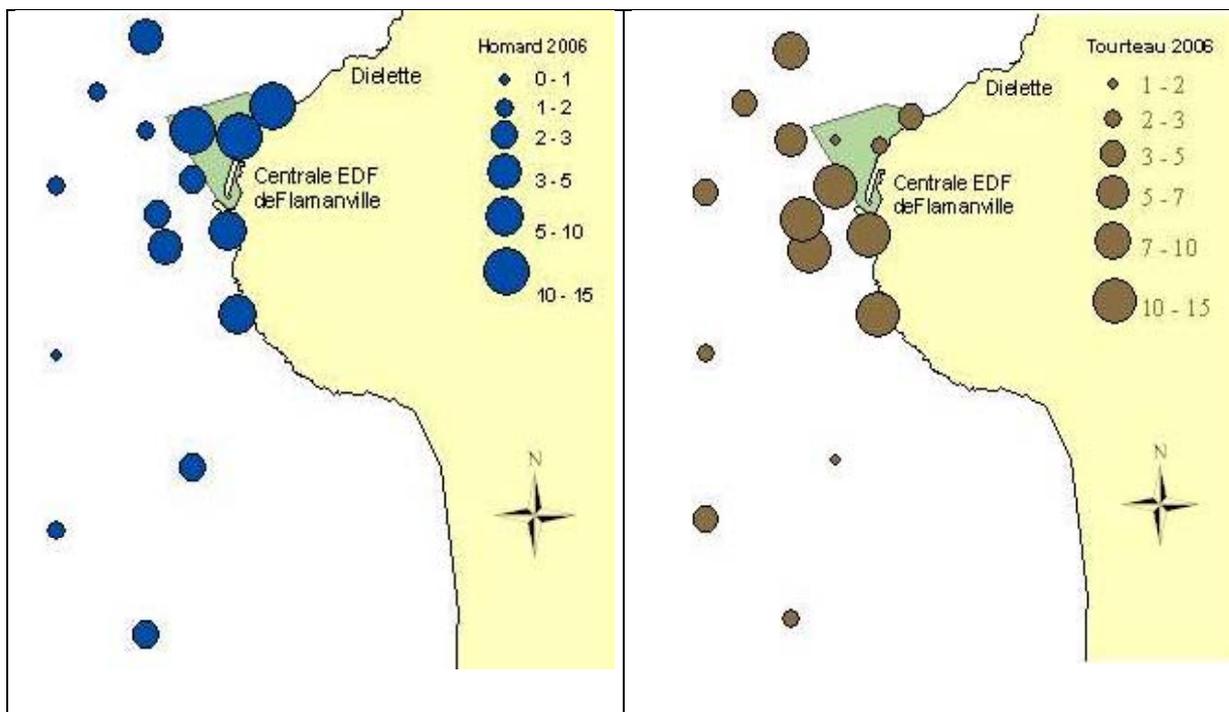


Figure A : Nombre de Homards pour 10 casiers

Figure B : Nombre de Tourteaux pour 10 casiers

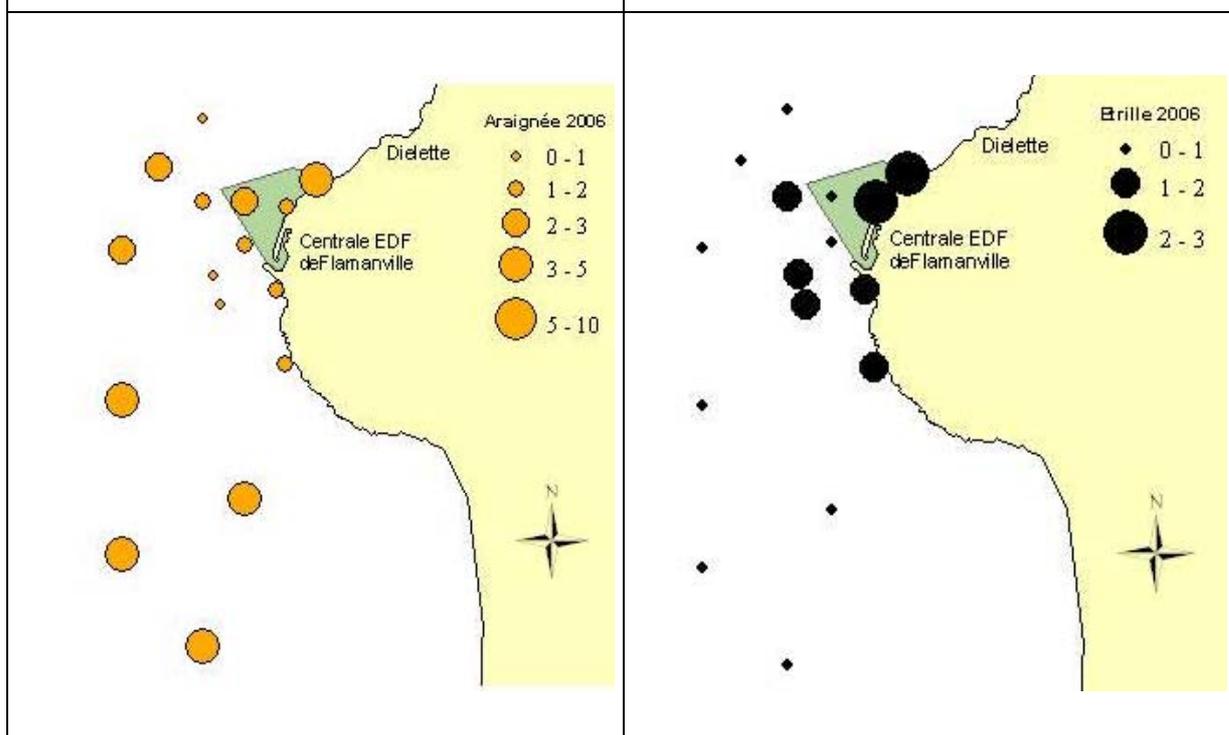


Figure C : Nombre d'Araignées pour 10 casiers

Figure D : Nombre d'Etrilles pour 10 casiers

6. Conclusion

Au regard des données météorologiques acquises dans le nord du Cotentin depuis 1949 (58 années de mesures), l'année 2006 se caractérise par :

- Un cumul des précipitations (652 mm, identique à ceux enregistrés en 2003 et 2004, voisin des 672 mm observés en 2005) inférieur au cumul moyen enregistré depuis 1949 (711 mm). Un seul trimestre excédentaire (le quatrième) par rapport aux normales saisonnières, dû à la bonne pluviométrie du mois de décembre.
- Une insolation annuelle moyenne (1581 heures) avoisinant la moyenne enregistrée depuis 1986 (1587 heures). A noter l'enregistrement d'une insolation proche des optima mensuels pour les mois de juin (270 pour 275), juillet (285 pour 310) et novembre (1006 pour 110), malgré une pluviométrie proche des moyennes mensuelles en juin et novembre.
- (i) Une température moyenne annuelle de l'air (12,22 °C) supérieure à la moyenne enregistrée sur la période 1949-2006 (11,52 °C). (ii) Des moyennes mensuelles inférieures aux moyennes saisonnières au cours des quatre premiers mois de l'année, supérieures pour les huit mois suivants avec un nouvel optimum moyen pour le mois d'octobre (15,94 °C, supérieur de 2,3 °C à la normale de ce mois). (iii) Des températures moyennes remarquables pour les deux derniers trimestres, élevée pour le troisième (en 5^e rang pour le troisième trimestre) et record pour le quatrième (12,67 °C) lui permettant d'être plus chaud que le second. Il ressort de l'examen de ces 58 dernières années le constat d'un printemps généralement plus doux que l'automne. 2006 fait exception à cette règle, au même titre que les années 1954, 1977, 1978, 1979 et 1986.

Dans ces conditions météorologiques, la température de l'eau de mer, à l'instar des observations faites sur la température de l'air, présente des moyennes mensuelles inférieures aux normales saisonnières au cours des premiers mois de l'année 2006. Puis, les moyennes deviennent supérieures jusqu'à atteindre de nouveaux optima en octobre et en novembre, pour la deuxième année consécutive pour ces deux mois. La température journalière a varié de 7,1 °C le 1^{er} mars à 18,8 °C le 8 août.

L'excédent thermique moyen de l'eau de mer sur l'ensemble de l'année est estimé à + 0,38 °C.j⁻¹, valeur à comparer au maximum enregistré en 2002 (+ 0,72 °C.j⁻¹) ou au minimum observé en 1986 (- 1,55 °C.j⁻¹). Malgré l'épisode qualifié de caniculaire en juillet et un automne remarquable par sa douceur, l'année 2006 n'arrive qu'en 8^e position sur les 21 années de mesures au niveau de la température de l'eau de mer.

Les résultats de la surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville montrent, à quelques variations près s'expliquant par les fluctuations climatiques mentionnées ci-dessus, une stabilité des différents paramètres mesurés. Ainsi, aucune variation significative provenant des effluents thermiques et chlorés n'est observée.

6.1. Le domaine pélagique

Hydrologie

Les résultats du programme de surveillance montrent en 2006, à l'instar des années précédentes, l'influence des conditions météorologiques sur les caractéristiques hydrobiologiques de la colonne d'eau.

Ainsi, la température de l'eau de mer enregistrées est inférieure aux médianes pluriannuelles tant en mars qu'en juin, mais supérieure en septembre en lien avec un été chaud.

La salinité a suivi un schéma annuel peu classique, avec des valeurs en septembre intermédiaires entre celles de mars et juin.

L'ensemble de nutriments mesurés présente un cycle saisonnier classique : suite à l'augmentation de l'ensoleillement, les sels nutritifs sont consommés par le phytoplancton entre le printemps et l'été, puis les processus de régénération suivent en automne. Les concentrations en ammonium ont suivi un cycle inverse, avec une forte valeur observée au point *référence* en juin. Les concentrations en silicate ont été supérieures aux médianes pluriannuelles sur l'ensemble de points.

Hors les valeurs élevées de bore observées en juin, le seul impact détectable sur l'écosystème est l'échauffement de l'eau aux abords immédiats du *rejet*. La centrale via ses rejets ne semble donc pas modifier les caractéristiques hydrologiques intrinsèques du milieu (teneurs et variations saisonnières).

Phytoplancton

La biomasse chlorophyllienne et la production primaire montrent des évolutions inter-annuelle et spatiale similaires. Avec des biomasses comprises entre 0,75 et 2,47 µg/L, le cycle phytoplanctonique annuel correspond au cycle classiquement décrit en Atlantique.

Les dénombrements microphytoplanctoniques sur le site de Flamanville montrent le remplacement régulier de la population hivernale, peu développée et dominée par *Thalassiosira* et *Skeletonema costatum* par une population estivale dominée par des diatomées du genre *Rhizosolenia*. Ce genre, majoritairement représentée par l'espèce *R. delicatula* au cours des années précédentes, est dominé par *R. fragilissima* en 2006.

Zooplancton

L'étude des biomasses zooplanctoniques en 2006 met en évidence des valeurs proches ou supérieures (point *canal*) aux médianes pluriannuelles au printemps, mais de plus fortes biomasses en juillet et septembre, en particulier au point *rejet* en été et aux points *canal* et *rejet* en automne.

L'holoplancton est principalement dominé par les copépodes qui en représentent toujours plus de 47% lors des trois missions annuelles. La dominance globale des copépodes sur l'ensemble du zooplancton peut dépasser 90 % (périodes estivale et automnale). Cette dominance globale peut diminuer jusqu'à 3 % au printemps par l'apparition temporaire et massive des larves de cirripèdes (balanes) et de bryozoaires. Elle diminue aussi de manière massive en été suite à l'émission de larves de mollusques (62 % du méroplancton total au point *canal*) et d'anomoures (52 % du méroplancton total au point *référence*).

Au printemps 2006, la faune zooplanctonique a été massivement dominée par le méroplancton, essentiellement constitué de cirripèdes et de larves cyphonautes de bryozoaires. Lors de la campagne estivale, l'essentiel de la biomasse méroplanctonique a été partagée entre les larves de gastéropodes, dont des hétéropodes, et des larves de crustacés décapodes. Au mois de septembre, ce sont d'une part les cirripèdes, et d'autre part les larves de mollusques à la côte et de crabes au large qui ont présenté les plus fortes dominances.

Microbiologie

L'évolution des concentrations de germes totaux est restée stable entre 1992 et 2004 sur l'ensemble des points échantillonnés, mettant ainsi en évidence la stabilité du système. Le changement de méthode analytique intervenu en 2005, avec l'utilisation de filtres de plus faible porosité, a induit une augmentation du nombre de germes

dénombrés. Ceci est confirmé par les résultats de 2006, qui sont néanmoins légèrement plus faibles qu'en 2005. Les valeurs obtenues ces deux dernières années ne peuvent donc pas être directement comparées à celles des séries précédentes. Ce changement, qui devrait permettre de comparer le nombre de germes totaux sur les trois centrales normandes, n'a pas eu d'influence sur la distribution spatiale des germes totaux, qui présente toujours un gradient décroissant de la côte vers le large.

Les quantités de germes revivifiables sont en augmentation depuis trois à quatre ans et plus particulièrement en septembre, où elles atteignent, pour tous les points, des valeurs proches des maxima observés depuis 1988.

L'identification des vibrions halophiles confirme la dominance des souches de *Vibrio alginolyticus* et *Photobacterium damsela* dans les eaux proches de la centrale de Flamanville. En 2006, la campagne de mars a été caractérisée par la présence précoce de *Vibrio alginolyticus*, accompagnée de *Photobacterium damsela*, qui était la seule souche présente à cette période en 2005. *Vibrio cholerae*, absent depuis 1995 (suivant l'ancienne méthode) a été identifiée au cours de cette campagne sur le point canal. L'Institut Pasteur a confirmé l'absence de la toxine cholérique. Comme en 2005, *Vibrio alginolyticus* a été la seule souche présente au mois de juin. Au mois de septembre est atteint le maximum de diversité et d'abondance avec la présence de *V. alginolyticus*, *Ph. damsela*, *V. vulnificus* et *V. parahaemolyticus* dont la dernière apparition remonte à juin 2002 (suivant l'ancienne méthode).

6.2. Le domaine benthique

La population de *Fucus serratus* du platier de Diélette présente en 2006, comme en 2005, des biomasses en hausse aux deux périodes d'observations (en fin d'hiver et en fin d'été). Ces valeurs restent toutefois faibles par rapport à celles enregistrées en début d'étude (période de 1983 à 1988) et demeurent inférieures aux moyennes saisonnières calculées sur la période 0983/2006.

La fertilité des thalles est conforme aux valeurs saisonnières moyennes : faible tant en mars (35 %) qu'en juin (10 %), puis élevée en septembre (97 %), proche des valeurs automnales habituelles, malgré un certain retard de la maturation.

Le recrutement printanier 2006 des crustacés cirripèdes intertidaux, concernant principalement l'espèce *Semibalanus balanoides*, est important, son ampleur est conforme à la relation établie avec la rigueur de l'hiver appréciée par la température moyenne de l'air (ou de l'eau de mer) du mois le plus froid.

Malgré ce recrutement printanier important, les densités de cirripèdes observées en fin d'été diminuent à Diélette et surtout à Quédoy. Cette baisse affecte essentiellement *Semibalanus balanoides*, les autres espèces rencontrées *Chthamalus montagui*, *Chthamalus stellatus* et *Elminius modestus* semblent stables.

6.3. Le domaine halieutique

Larves de crustacés

Les températures du premier semestre 2006 sont plutôt moyennes avec un mois de mars montrant une température très nettement inférieure à la moyenne observée depuis 1986. Plus précisément, le cumul des températures journalières sur la période février-mai, période réputée sensible pour l'araignée de mer, est moyenne, intermédiaire entre celle des années extrêmes 1986 et 2002.

Il s'ensuit que les premières larves d'araignée ont éclos au début du mois de juillet, les premières mégaloopes étant observées 15 jours plus tard au point référence. Le pic réel d'éclosions se situe en août, probablement un peu après le maximum relevé lors des prélèvements du 2 août. La densité maximale de zoés, relevée début octobre lors de la reprise des éclosions (3,0 par 10 m³) rejoint les valeurs modestes notées de 1990 à 1995, de 1998 à 2000 et depuis 2002.

La répartition des zoés selon les points se confirme d'année en année avec les densités les plus fortes relevées au point 3 et des densités notables au point *référence*, alors que la zone de rejet est très pauvre et qu'on récolte rarement des larves d'araignée dans le canal d'amenée.

Les larves de homard semblent précoces cette année encore puisque une mégaloope a été observée dès le 4 juillet ; la densité de stade 1 est maximum à cette date mais, compte tenu de la densité de stades 2 légèrement supérieure et de la présence d'une mégaloope, il est difficile de parler de pic d'éclosion. Comme nous l'avons noté dans la synthèse (Drévès *et al.*, 2005) les larves de homard apparaissent plus généralement dès le mois de mai depuis quelques années. La densité maximale observée en subsurface (0,03 par 10 m³) est un peu plus faible que celle obtenue en 2005.

Surveillance de la pêche côtière des crustacés

Les résultats obtenus montrent que globalement il n'y a pas eu aggravation récente de l'état des populations et/ou de la communauté du fait de la pêche ou de toute autre activité anthropique. Il faudra surveiller cependant les variations des indices de densité et de taille pour l'étrille. La diminution de ces indicateurs pourrait, si la taille moyenne diminuait encore, fournir des éléments caractérisant une trop forte pression de pêche sur cette espèce susceptible d'affecter la communauté des crustacés aux abords de Flamanville.

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

- Les densités y sont importantes, proches de un individu par casiers en 2006. Le reste de la zone d'étude étant beaucoup moins productive, la variabilité annuelle s'en trouve affectée ces dernières années.
- Malgré le nombre assez important de homards marqués, environ 1065 individus en quatre ans, le taux de recapture est faible, voir inexistant en dehors du cantonnement (6 individus en 2006). Cela confirme que le homard est une espèce assez sédentaire, la majorité des captures se faisant lors de campagnes sur les lieux d'immersion, c'est à dire à l'intérieur du cantonnement.
- La filière numéro 16, positionnée dans les récifs artificiels que constituent les blocs de ciment devant la centrale, devrait permettre à cours terme d'identifier une zone probable d'habitat des juvéniles de homard.
- Comme les années précédentes, très peu de tourteaux sont capturés. 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 de la réserve montre aussi son contraire, c'est à dire, une abondance importante des homards entraîne une baisse des captures de tourteaux. Cela confirme que le homard est bien l'espèce de crustacé territorialement dominante dans cette zone.

* * *

- ABARNOU A., 1981.- Trihalométhanes formés par chloration de l'eau de mer. *In* : 2èmes journées de la thermo-écologie, Nantes, 14-15 novembre 1979. Electricité de France Ed., 247-266.
- ABARNOU, A., 1981.- Aspects chimiques de la chloration de l'eau de mer. Rapport ISTPM, 92 pp.
- ABARNOU, A., GUILLAUD, J-F., MIOSSEC, L., BATT, A. 1990.- La chloration des effluents urbains avant rejet en mer. Rapports scientifiques et techniques de l'Ifremer. N°20, 167 pp.
- AGOUMI, A., ENDERLE, M.J. & GRAS, R.A. 1983.- Modélisation du régime thermique de la Manche. *Oceanologica Acta*, 6, (4) 393-406
- ALDEBERT (Y.), 1975.- Comparaison des rendements du "Bongo".- Rapport FAO - ISTPM.
- AMINOT A., CHAUSSEPIED M. 1983.- « Manuel des analyses chimiques en milieu marin » *Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO)*, Brest, 395 pp.
- AMINOT A., KEROUEL R., 2004.- Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Ed. Ifremer, 336 p.
- ARBAULT S. et LACROIX N., 1975.- Essais comparatifs des pouvoirs de capture de deux filets à plancton (GULF III encasé et Bongo).- *Cons. int. Explor. Mer*, Comité des poissons pélagiques (sud), J:8.
- ARMSTRONG, F.A.J., BUTLER, E.I. & BOALCH, G.T. 1972.- Hydrographic and nutrient surveys in the western English Channel during 1963 and 1964. *Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom*, 52, 915-930
- BENTLEY, D. & MAILLARD-QUISTHOUDT, C. 1990 « Hydrographic and nutrient surveys in the western English Channel during 1963 and 1964 ». *Journal pour la Recherche Océanographique*, 15, (3/4) 135-141
- BIGOT (J.L.), 1979.- Identification des zoés de tourteau (*Cancer pagurus*, L.) et d'étrille (*Macropipus puber*, L.).- Comparaison avec d'autres zoés de morphologie très voisine.- *Cons. int. Explor. Mer*, Comité de l'océanographie biologique, L:17.
- BROUARDEL, J., RINCK, E. 1963.- « Mesure de la production organique en Méditerranée, dans les parages de Monaco, à l'aide du ¹⁴C » *Ann. Inst. Océanogr. Monaco*, n. Sér., 40 (2) :109-164.
- CABIOC'H J., et AL. 1992. Guide des algues des mers d'Europe. Ed. Delachaux et Nestlé, 232 p.
- 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.
- DRÉVÈS L.(COORDINATEUR), LAMPERT L., ABERNOT-LE GAC C., MARTIN J., ARZEL P., DUMAS F., SCHLAICH I., LATROUITE D. ; ET WOEHLING D., 2006. Synthèse hydrobiologique du site électronucléaire de Flamanville. Rapp. Ifremer DOP/LER/06.03, mars 2006, 386 p.
- 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.
- IPCC, 2001. Climate change 2001, Synthesis report, Watson R. T. and the Core Writing Team Editors, Cambridge University Press, Cambridge U.K., New-York U.S.A., 1-111.
- JONES, S.R. & JEFFS, T.M.** 1991.- « Near surface sea temperatures in coastal waters of the North Sea, English Channel and Irish Sea ». *Fisheries Research Data Report*, n°24
- JOSSI (J.W.), MARAK (R.R.) et PETERSON (H.),** 1975.- At-sea data collection and laboratory procedures.- Marmap survey I manual, Marmap Programm Office, National Marine Fisheries Service édit., Washington.
- KILHAM, P., KILHAM, S.S.** 1980.- « The evolutionary ecology of phytoplankton » In. Morris I. (ed.). The physiological ecology of phytoplankton. Pp. 571-597. *Blackwell Scientific Publications*. Oxford.
- KLEIN, B. ET SOURNIA, A.** 1987.- « A daily study of the diatom spring bloom at Roscoff (France) in 1985. II. Phytoplankton pigment composition studied by HPLC analysis » *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 37 : 265-275.
- LAANE, R.W.P.M.** 1992.- « Background concentrations of natural compounds ». *Ministry of transport, Public Works and Water Management*, Report DGW-92.033
- LABRY, C., HERBLAND, A., DELMAS, D., LABORDE, P., LAZURE, P., FROIDEFOND, J-F., JEGOU, A-M., SAUTOUR, B.,** 2001. Initiation of winter phytoplankton blooms within Gironde plume waters in the Bay of Biscay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 212, 117-130.
- LAMPERT, L.** 2001.- « Dynamique saisonnière et variabilité pigmentaire des populations phytoplanktoniques dans l'Atlantique Nord (Golfe de Gascogne) ». Thèse de troisième cycle, *Université de Bretagne Occidentale*. 328 pp.
- 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 microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting ». *Hydrobiologia* 11 : 143-178
- MALHERBE, J.F. & MANOHA, B.** 1977.- « Centrale de Flamanville-Avis C ; Influence courantologique et thermique ». *Electricité De France, Direction des études et recherches*, HE041/77.013
- MARTIN (J.),** 1996.- Hatching period of the larvae of spider crab *Maja squinado* Herbst in the English Channel according to seawater temperature. Poster presented at the 2nd European Crustacean Conference, Liège (september 2-6).

- MARTIN J., 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. & PLANQUE B., 2006. Variability in the onset of hatching of *Maja brachydactyla* Balss, 1922 (Brachyura: Majidae) in the English channel in relation to sea temperature. *Invertebrate Reproduction and Development* 49 (3), 143-150.
- MASTAIL M. & BATTAGLIA A., 1978. Amélioration de la conservation des pigments du zooplancton, *Cons. Int. Explor. Mer*, L:20.
- 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.) et LAWRENCE (A.), 1980.- A study of some problems relating to quantitative sampling of lobster larvae, *Homarus gammarus* (L.) - *Cons. int. Explor. Mer*, Comité des Crustacés, L:14.
- PINGREE, R.D. & MADDOCK, L. 1977.- « Tidal residuals in the English Channel ». *Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom*, 57, 339-354
- 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.) et HONEY (A.), 1971.- Size selectivity of the Gulf III and Bongo zooplankton Samplers.- *icnaf, research bulletin*, n°8 : 45-48.
- SCHERRER, B. 1984.- « Biostatistique ». *Gaëtan Morin* (ed.) Québec. 850 pp.
- SCHNACK (D.), 1974.- On the reliability of methods for quantitative surveys of fish larvae.- In : The early life history of Fish, Blaxter J.H.S. rédacteur, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York.
- SIMPSON, J.H. & HUNTER, J.R. 1974.- « Fronts in the Irish Sea ». *Nature*, 1250, 404-406
- SMITH (E.), 1974.- Manual of methods for fisheries resource survey and appraisal.- Part 4, Standard techniques for pelagic fish eggs and larvae surveys.- National Marine Fisheries Service édit., Washington.
- STEEMANN NIELSEN, E. 1951.- « Measurement of the production of organic matter in the sea » *Nature*, 167 : 684.
- STEEMANN NIELSEN, E. 1952.- « The use of radioactive carbon (14C) for measuring organic production in the sea » *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.* 18 : 117-140.
- TAPPIN, A.D., HYDES, D.J., BURTON, J.D. & STATHAM, P.J. 1993.- « Concentrations, distributions and seasonal variability of dissolved Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Pb and Zn in the English Channel ». *Continental Shelf Research*, 13, (8/9) 941-969.

- TAYLOR, A.H. & STEPHENS, J.A. 1983.-** « Seasonal and year to year changes in the temperatures of the English Channel and the Southern North Sea, 1961-1976 : a budget ». *Oceanologica Acta*, **6**, (1) 63-72
- UGLEM I.**, 1993. Influence of shells and as substrate in culture compartments on survival, growth and claw asymmetry in large scale culture of lobsters, *Homarus gammarus* (L.). Proceedings of the First European Crustacean Conference, Paris, August 31 - September 5, 1992, (abstracts), P. Noël coord., éditions du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 1993 : 165 (livret des résumés).
- UTERMOHL, H. 1958.-** « Zur vervollkommung 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.

* * *

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. GENTIEN, 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.

- GENTIEU P., L. DREVES, E. ERARD-LE DENN, B. GUILLAUMONT, R. LOARER, A. MENESGUEN, J.Y. PIRIOU et J.Y. QUINTIN, 1986.- Surveillance écologique sur le site de Flamanville, ANNEE 1984. Rapp. IFREMER DERO-86.12 EL, 131 p.
- MARTIN J. et D. HALGAND, 1986.- Etude de surveillance des ressources halieutiques, Site de Flamanville, Zooplanctonologie, avril-octobre 1984. Rapp. interne IFREMER DRV-86.008-RH, décembre 1986, 286 p.
- GUILLAUMONT B., J.P. AUFFRET, S. BERNE, F. GRESSELIN et P. WALKER, 1987.- Surveillance écologique, Site de Flamanville, Le domaine benthique, Etude par sonar latéral et prises de vue sous-marines, 1983-1984. Rapp. IFREMER DERO-87.05-EL, 35 p. + 14 cartes.
- GUILLAUMONT B., HAMON D., LAFOND L.R., LE RHUN J., LEVASSEUR J. et PIRIOU J.P., 1987. – Etude régionale intégrée du Golfe normano-breton, carte biomorphosédimentaire de la zone intertidale au 1/25 000, côte ouest du Cotentin et Baie du Mont Saint-Michel. Rapp. Ifremer DERO-87.17-EL, 50 p. + 7 cartes.
- VERON G. et D. MIOSSEC, 1987.- Etude de Surveillance écologique des ressources halieutiques, Site de Flamanville, Surveillance de la pêche côtière des crustacés, ANNEE 1984. Rapp. interne IFREMER DRV-86.008-RH, mai 1987.
- MARTIN J. (coordinateur), L. DREVES, E. ERARD-LE DENN, P. GENTIEU, J.Y. PIRIOU, J.Y. QUINTIN et G. VERON, 1988. -Surveillance écologique et halieutique, Site de Flamanville, ANNEE 1985. Rapp. IFREMER DRV-87.19-RH, DERO-87.28-EL, décembre 1988, 311p.
- MARTIN J. (coordinateur), G. ARZUL, L. DREVES, E. ERARD-LE DENN, J.Y. QUINTIN et G. VERON, 1990. -Surveillance écologique et halieutique, Site de Flamanville, ANNEE 1986. -Rapp. IFREMER DRV-88.06-RH, DERO-88.14-EL, novembre 1990, 136 p.
- MARTIN J. (coordinateur), G. ARZUL, L. DREVES, E. ERARD-LE DENN, D. MIOSSEC, J.Y. PIRIOU et J.Y. QUINTIN, 1990. -Surveillance écologique et halieutique, Site de Flamanville, ANNEE 1987. [Edition définitive] Rapp. IFREMER DRV-89.017-RH, DERO-89.12-EL, novembre 1990, 182 p.
- MARTIN J. (coordinateur), G. ARZUL, L. DREVES, E. ERARD-LE DENN, D. MIOSSEC, J.Y. PIRIOU et J.Y. QUINTIN, 1991. -Surveillance écologique et halieutique, Site de Flamanville, ANNEE 1988. Rapp. IFREMER RIDRV-90.46-RH, RIDRO-90.14-EL, mai 1991, 134 p.
- MARTIN J. (coordinateur), G. ARZUL, L. DREVES, E. ERARD-LE DENN, D. MIOSSEC, J.Y. PIRIOU et J.Y. QUINTIN, 1991. -Surveillance écologique et halieutique, Site de Flamanville, ANNEE 1989. Rapp. IFREMER RIDRV-90.47-RH, RIDRO-90.15-EL, septembre 1991, 148 p.
- DREVES L. (coordinateur), G. ARZUL, E. ERARD-LE DENN, J. MARTIN, D. MIOSSEC et J.Y. QUINTIN, 1991. -Surveillance écologique et halieutique, Site de Flamanville, ANNEE 1990. Rapp. IFREMER DRO.EL-91.15, juillet 1991, 122 p.
- DREVES L. (coordinateur), G. ARZUL, E. ERARD-LE DENN, J. MARTIN, D. MIOSSEC, J.Y. PIRIOU et J.Y. QUINTIN, 1992. -Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1991. Rapp. IFREMER DEL/Brest-92.23, juin 1992, 161 p.
- DREVES L. (coordinateur), G. ARZUL, E. ERARD-LE DENN, J. MARTIN, D. MIOSSEC, J.Y. PIRIOU et J.Y. QUINTIN, 1993. -Surveillance écologique et

- halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1992. Rapp. IFREMER DEL/Brest-93.14, juillet 1993, 146 p.
- DREVES L. (coordinateur), E. ERARD-LE DENN, M. LUNVEN, J. MARTIN, D. MIOSSEC, J.Y. PIRIOU et J.Y. QUINTIN, 1994. -Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1993. Rapp. IFREMER DEL/Brest-94.09, juin 1994, 105 p.
- DREVES L. (coordinateur), J.Y. QUINTIN, E. ERARD-LE DENN, M. LUNVEN, J. MARTIN et D. MIOSSEC, 1995. -Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1994. Rapp. IFREMER DEL/Brest-95.09, juin 1995, 112 p. + annexes.
- DREVES L. (coordinateur), J. MARTIN, E. ERARD-LE DENN, M. LUNVEN, D. MIOSSEC et J.Y. QUINTIN, 1996. -Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1995. Rapp. IFREMER DEL/Brest-96.07, juin 1996, 114 p. + annexes.
- DREVES L. (coordinateur), ERARD-LE-DENN E., LUNVEN M., MARTIN J., MIOSSEC D., QUINTIN J.Y. (1997) - Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1996. Rapp. IFREMER DEL/CR/RST/97/09, mai 1997, 108 p. + annexes.
- DREVES L. (coordinateur), ERARD-LE-DENN E., LUNVEN M., MARTIN J., MIOSSEC D., QUINTIN J.Y. (1998) - Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1997. Rapp. IFREMER DEL/CR/98/04, mars 1998, 112 p. + annexes.
- DREVES L. (coordinateur), ERARD-LE-DENN E., GAFFET J.D., LUNVEN M., MARTIN J., MIOSSEC D., QUINTIN J.Y. (1999) - Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1998. Rapp. IFREMER DEL/99.09/Brest, juin 1999, 126 p.
- DREVES L. (coordinateur), ERARD-LE-DENN E., LUNVEN M., MARTIN J., MIOSSEC D., QUINTIN J.Y. (2000) - Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1999. Rapp. IFREMER DEL/00.04/Brest, juin 2000, 122 p.
- DREVES L. (coordinateur), ERARD-LE-DENN E., GAFFET J.D., de KERGARIOU G., LUNVEN M., MARTIN J., MIOSSEC D., RUMEBE M., (2001) - Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 2000. Rapp. IFREMER RST.DEL/01.04, mars 2001, 128 p.
- DREVES L. (coordinateur), MARTIN J., MONBET P., RUMEBE M., SCHLAICH I., du BOULLAY H., (2002) - Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 2001. Rapp. IFREMER RST.DEL/02.04, mars 2002, 154 p.
- DREVES L. (coordinateur), LAMPERT L., MARTIN J., RUMEBE M., SCHLAICH I. (2003) - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, ANNEE 2002 – Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST-DEL/SR/03.04, mars 2003, 166 p.
- DREVES L. (coordinateur), LAMPERT L., MARTIN J., ABERNOT-LE GAC C., GAFFET J., RUMEBE M., SCHLAICH I. (2004) - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, ANNEE 2003 – Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST-DEL/SR/04.04, mars 2004, 176 p.
- DREVES L. (coordinateur), LAMPERT L., MARTIN J., ABERNOT-LE GAC C., DAGAULT F., GAFFET J., RUMEBE M., SCHLAICH I. (2005) - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, ANNEE 2004 – Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST-DOP/LER/05.02, mars 2005, 194 p.

DREVES L. (coordinateur), LAMPERT L., MARTIN J., ABERNOT-LE GAC C., BRYLINSKI J., VINCENT D., GAFFET J., SCHLAICH I. (2006) - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, **ANNEE 2005** – Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST-DOP/LER/06.02, mars 2006, 202 p.

DREVES L., ABERNOT-LE GAC C. (coordinateurs), LAMPERT L., MARTIN J., BRYLINSKI J., NOGUES L., SCHLAICH I., VINCENT D., (2007) - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, **ANNEE 2006** – Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST-DOP/LER/07.03, mars 2007, 190 p.

**SYNTHESE DES ETUDES DE SURVEILLANCE
DU DOMAINE MARIN COTIER**

DREVES L. (coordinateur), LAMPERT L., ABERNOT-LE GAC C., MARTIN J., ARZEL P., DUMAS F., LATROUITE D., SCHLAICH I., WOEHRLING D., (2006) – Synthèse hydrobiologique du site électronucléaire de Flamanville – Rapp. Ifremer RST-DOP/LER/06.03, mars 2006, 386 p.
