

Surveillance, usage et mise en valeur des zones côtières  
Ressources halieutiques, exploitation durable et valorisation

**ifremer**

Luc	DREVES
Chantal	ABERNOT-LE GAC
Philippe	MONBET
Elvire	ANTAJAN
Jocelyne	MARTIN
Ivan	SCHLAICH

Mars 2010 - RST DOP/LER/10-02

# Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Flamanville

## Année 2009

### Rapport scientifique annuel



*Tréauville, plage du Platé, Calliostoma et Cystoseires, juin 2009*

Commande EDF n° 5100-CSY-4200132742



<b>Numéro d'identification du rapport :</b> <p style="text-align: right;"><b>DOP/LER/010.02</b></p>		<b>date de publication :</b> mars 2010 <b>nombre de pages :</b> 208 <b>bibliographie :</b> oui <b>illustration(s) :</b> oui <b>langue du rapport :</b> français
<b>Diffusion :</b> libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/> <b>Validé par :</b> Luc Drévès <b>Adresse électronique :</b> dopler@ifremer.fr		
<b>Titre de l'article</b> <p style="text-align: center;"><i>Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville</i>  <i>Année 2009 – rapport scientifique annuel</i>  <i>Ecological and fisheries monitoring of the Flamanville nuclear power plant</i>  <i>2009 Annual scientific report</i></p>		
<b>Auteur(s) principal(aux) :</b> <b>Drévès</b> Luc <b>Abernot – Le Gac</b> Chantal <b>Antajan</b> Elvire <b>Martin</b> Jocelyne <b>Monbet</b> Philippe <b>Schlaich</b> Ivan		<b>Organisme / Direction / Service, laboratoire</b> <b>Ifremer / DOP / LER</b> <b>Ifremer / DOP / LER – FBN</b> <b>Ifremer / DOP / LER – BL</b> <b>Ifremer / DOP / DCN / EMH</b> <b>Ifremer / DOP / LER – FBN</b> <b>Ifremer / DOP / DCMMN / HMMN – RHPEB</b>
<b>Collaborateur(s)</b> <b>Berthelé</b> Olivier <b>Bourriau</b> Paul <b>Castagné</b> Laurent <b>Dejouy</b> Cathy <b>Françoise</b> Sylvaine <b>Gaffet</b> Jean-Dominique <b>Gohin</b> Francis <b>Grellier</b> Patrick <b>Justome</b> Vincent <b>Lamort</b> Laure <b>Le Berre</b> David <b>Lejolviv</b> Aurore <b>Maheux</b> Frank <b>Marty</b> Lise <b>Philippon</b> Xavier <b>Pierre-Duplessix</b> Olivier <b>Quinquis</b> Jérôme <b>Rabiller</b> Emilie <b>Riou</b> Philippe <b>Saulquin</b> Bertrand <b>Vérin</b> Françoise		<b>Ifremer / DOP / DCN / EMH</b> <b>Ifremer / DOP / DCN / EMH</b> <b>Ifremer / DOP / DCN / EMH</b> <b>Ifremer / DOP / DCN / EMH</b> <b>Ifremer / DOP / LER – N</b> <b>Ifremer / DOP / DCB / DYNECO – Benthos</b> <b>Ifremer / DOP / DCB / DYNECO – Pelagos</b> <b>Ifremer / DOP / DCN / EMH</b> <b>Ifremer / DOP / LER – N</b> <b>Ifremer / DOP / LER – N</b> <b>Ifremer / DOP / DCB / DYNECO – Physed</b> <b>Ifremer / DOP / LER – N</b> <b>Ifremer / DOP / LER – N</b> <b>Ifremer / DOP / DC MMN / HMMN - RHPEB</b> <b>Ifremer / DOP / DCB / DYNECO – Pelagos</b> <b>Ifremer / DOP / LER – N</b> <b>Ifremer / DOP / DC MMN / HMMN – RHPEB</b> <b>Ifremer / DOP / LER – N</b> <b>Ifremer / DOP / LER – N</b> <b>Ifremer / DOP / LER – N</b> <b>Ifremer / DOP / DCB / DYNECO – Pelagos</b> <b>Ifremer / DOP / LER – BL</b>
<b>Cadre de la recherche :</b> Programme = Surveillance et évaluation de la qualité du milieu marin Projet = Impact des Grands Aménagements (I.G.A.) <b>Commande d'exécution EDF n° 5100-CSY-4200132742 du 11 décembre 2006</b> <b>Contrat C349C65050</b>		
<b>Organisme commanditaire : nom développé, sigle, adresse</b> <p style="text-align: center;"><b>Electricité de France (EDF) – Production Transport – C.N.P.E. de Flamanville</b>  <b>B.P. 4 – 50 340 Les Pieux</b></p>		

**Résumé**

*L'étude de surveillance n° 27 du site électronucléaire de Flamanville (département de la Manche) concerne l'année 2009. Sont étudiés les domaines benthique, halieutique et pélagique. L'année 2009 est la 24<sup>ème</sup> année de fonctionnement de la Centrale de Flamanville.*

**Abstract**

*The monitoring report (n° 27) of the nuclear power plant located in Flamanville (France) takes into account studies carried out between March and September 2009.*

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

*This power plant has been in operation for twenty-four 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., Monbet P., (coordinateurs), Antajan E., Martin J., Schlaich I., 2010. Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, année 2009 - Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST.DOP/LER/10.02, mars 2010, 208 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 2009,

- L'état d'avancement a été adressé à EDF le 17 juillet 2009 [Drévès L. (coordinateur) et al. (2009).- Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, année 2009 – Etat d'avancement des travaux – premier semestre. Rapp. Ifremer DOP/LER/09.029, juillet 2009, 12 p.].
- L'édition provisoire du rapport annuel a été transmis à EDF début février. Les principaux résultats ont fait l'objet d'une présentation orale au cours de la réunion EDF-Ifremer tenue au Blayais le 11 mars.
- L'édition définitive du rapport scientifique annuel fait l'objet du présent document prenant en compte les remarques formulées sur la version provisoire.



**Sommaire**

	Page
<b>Préambule</b> _____	<b>9</b>
<b>Partie 1 - Fonctionnement de la Centrale et programme d'intervention d'Ifremer en 2009</b>	
1.1 Fonctionnement de la Centrale _____	<b>13</b>
1.2 Travaux réalisés par Ifremer _____	<b>17</b>
<b>Partie 2 - Caractéristiques environnementales de l'année 2009</b>	
2.1. Climatologie _____	<b>21</b>
2.2. Température de l'eau de mer _____	<b>26</b>
<b>Partie 3 - Le domaine pélagique</b>	
3.1. Méthodologie _____	<b>35</b>
3.2. Hydrologie _____	<b>35</b>
3.3. Microbiologie _____	<b>64</b>
3.4. Phytoplancton _____	<b>77</b>
3.5. Zooplancton _____	<b>97</b>
<b>Partie 4 - Le domaine benthique</b>	
4.1. Phytobenthos _____	<b>115</b>
4.2. Zoobenthos _____	<b>130</b>
<b>Partie 5 - Le domaine halieutique</b>	
5.1. Larves de crustacés _____	<b>149</b>
5.2. Surveillance de la pêche côtière _____	<b>163</b>
5.3 Annexes _____	<b>178</b>
<b>Partie 6 - Conclusion</b> _____	<b>191</b>
<b>Bibliographie</b> _____	<b>201</b>
<b>Liste des rapports d'études publiés depuis 1976</b> _____	<b>205</b>



## 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**<sup>1</sup> 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 CNEXO<sup>2</sup>, pour la partie écologique, et l'ISTPM<sup>3</sup>, 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.

---

<sup>1</sup> *Organisme issu de la fusion en 1984 du CNEXO et de l'ISTPM*

<sup>2</sup> *Centre National pour l'Exploitation des Océans*

<sup>3</sup> *Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes*

Au cours de 2009, 24<sup>ème</sup> 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-LER<sup>4</sup>) et **Chantal Abernot-Le Gac** (DOP-LER-FBN<sup>5</sup>) 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 ;
- **Philippe Monbet** (DOP-LER-FBN), 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-EMH<sup>6</sup>) pour les larves de crustacés ;
- **Ivan Schlaich** (DOP-HMMN-RHPEB<sup>7</sup>) pour la surveillance de la pêche côtière des crustacés ;
- **Elvire Antajan** (DOP-LER-BL<sup>8</sup>) pour le zooplancton.

---

<sup>4</sup> *Direction des Opérations (DOP), Département Environnement littoral et Ressources aquacoles (LER)*

<sup>5</sup> *Laboratoire Environnement Ressources – Finistère Bretagne Nord (LER/FBN)*

<sup>6</sup> *Département Ecologie et Modèles pour l'Halieutique (EMH)*

<sup>7</sup> *Département Halieutique Manche Mer du Nord (HMMN), laboratoire Ressources Halieutiques de Port-en-Bessin (RHPEB)*

<sup>8</sup> *Laboratoire Environnement Ressources de Boulogne-sur-Mer (LER/BL)*

# **1. Fonctionnement du C.N.P.E. de Flamanville et programme d'intervention de l'Ifremer au cours de l'année 2009**

*Luc Drévès*

*Philippe Monbet*





## 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  $43 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Les eaux échauffées sont évacuées par un bassin de rejet communiquant avec une galerie souterraine creusée à 75 mètres, d'une longueur de 460 mètres pour la tranche 1, de 604 mètres pour la tranche 2. Les têtes de rejet, situées à l'extrémité ouest de ces galeries, sont localisées aux alentours de l'isobathe 10 mètres. Le volume d'eau prélevé et restitué par les pompes était en 2008 de  $1,7 \cdot 10^9 \text{ m}^3$  (cf. rapport annuel diffusé par EDF au printemps 2009).

L'année 2009 représente la vingt quatrième année de fonctionnement de la centrale de Flamanville et la vingt septième année consécutive pour les études de Surveillance réalisées par l'Ifremer.

Les principaux arrêts de tranches observés au cours de l'année 2009 ont eu lieu en tranche 1 du 4 mars au 14 mars et à partir du 5 septembre, en tranche 2 du 28 mai au 11 juin et du 30 juin au 4 juillet (figure 1.1.).

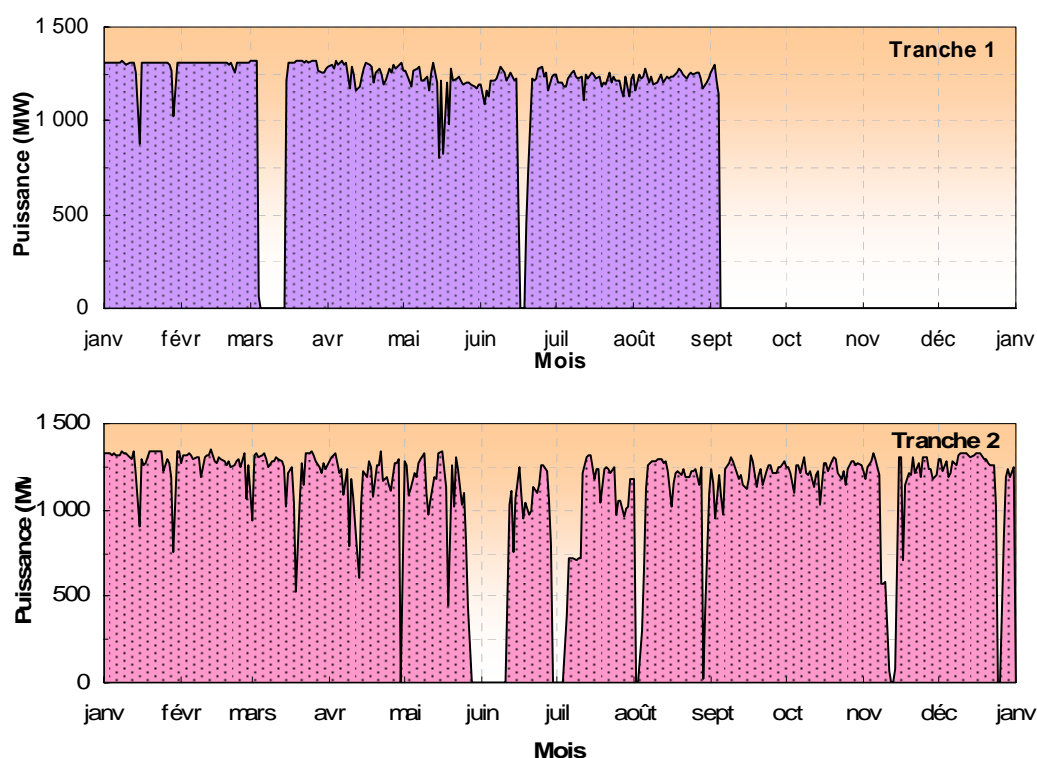


Figure 1.1 : Puissance nette moyenne des tranches 1 et 2 de Flamanville en 2009

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.

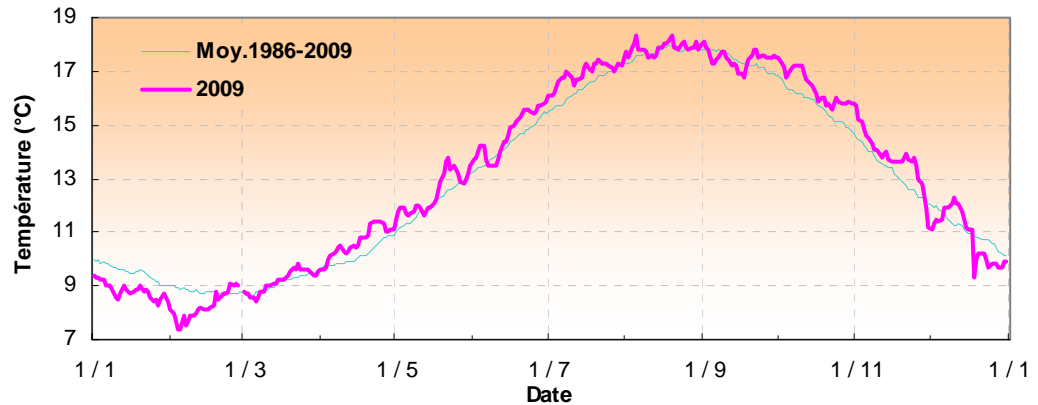


Figure 1.2 : Évolution de la température journalière (à 16 h) de l'eau de mer dans le canal d'amenée du C.N.P.E. de Flamanville au cours de l'année 2009, comparée à la moyenne journalière enregistrée depuis 1986

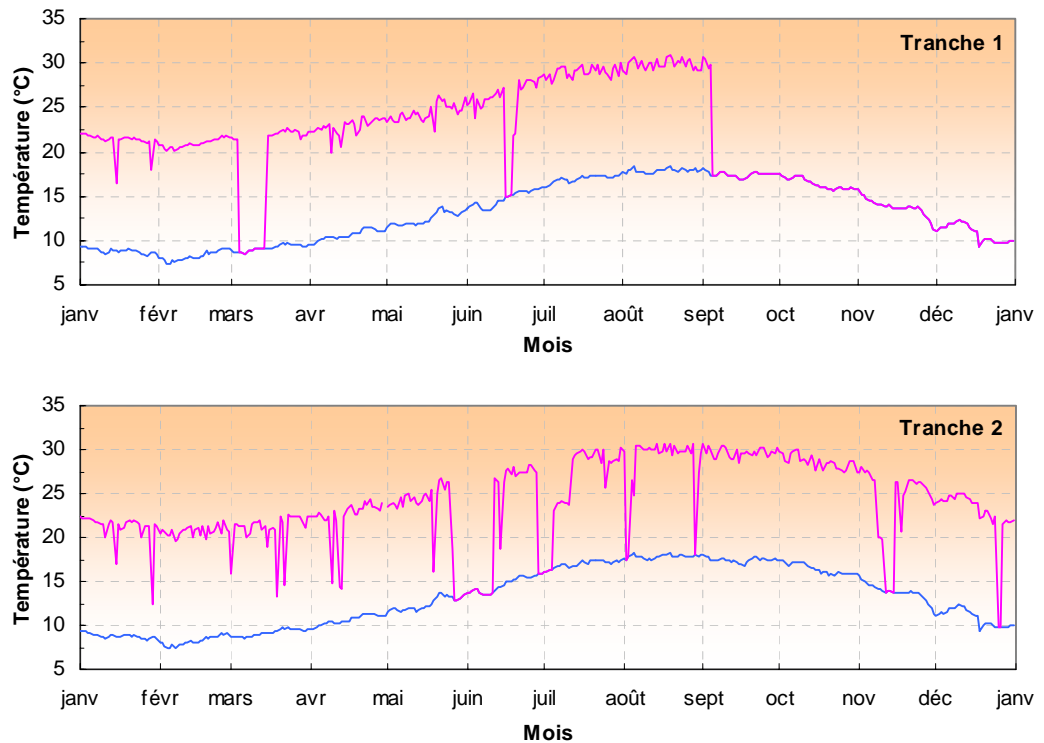


Figure 1.3 : Comparaison de la température de l'eau de mer entre le canal d'amenée et la sortie des condenseurs des tranches 1 et 2, au cours de l'année 2009

L'écart journalier moyen entre la sortie des condenseurs et le canal d'amenée 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).

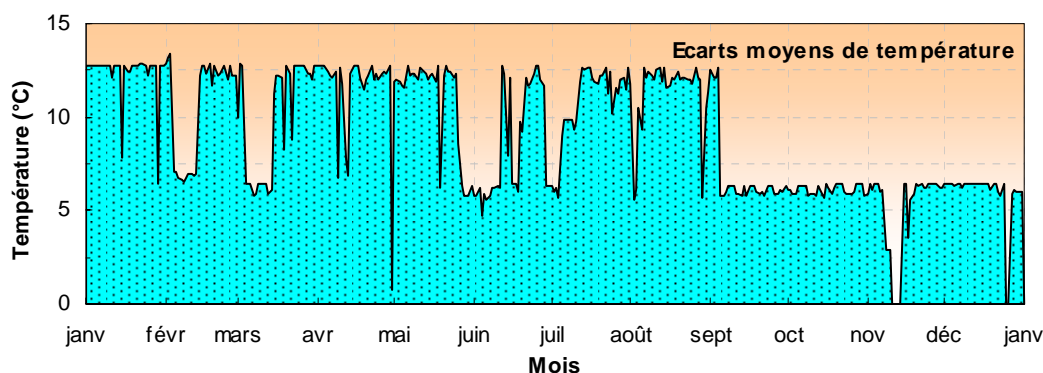


Figure 1.4 : Écarts journaliers moyens de la température de l'eau de mer entre la sortie des deux condenseurs et le canal d'amenée, au cours de l'année 2009

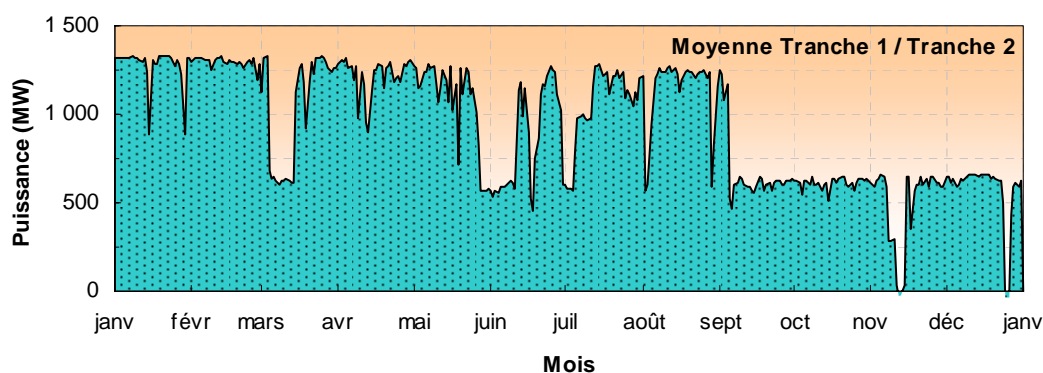


Figure 1.5 : Puissance nette moyenne du CNPE de Flamanville, au cours de l'année 2009

En 2009, la procédure antisalissure par électrochloration a fonctionné, pour les tranches 1 et 2 entre avril et septembre. Comme l'indiquent les tableaux 1.1 et 1.2 ci-dessous, 89,8 tonnes de chlore ont ainsi été injectées dans les circuits de refroidissement au cours du premier semestre 2009.

Qté de chlore (T)	Mois												Total
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Tranche 1	0,0	0,0	0,0	6,9	14,8	18,7	28,5	25,6	2,4	0,0	0,0	0,0	<b>96,8</b>
Tranche 2	0,0	0,0	0,0	5,7	23,9	19,9	23,6	16,7	17,3	24,4	16,5	0,9	<b>147,9</b>
<b>Total</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>12,6</b>	<b>38,7</b>	<b>38,6</b>	<b>52,1</b>	<b>42,2</b>	<b>19,7</b>	<b>24,4</b>	<b>16,5</b>	<b>0,9</b>	<b>245,7</b>

Tableau 1.1 : Récapitulatif de la quantité mensuelle de chlore (en T) injectée dans le circuit d'eau de refroidissement du C.N.P.E. de Flamanville au cours de l'année 2009

Le tonnage annuel moyen de chlore injecté sur la période 1987-2009 est de 358 tonnes, à savoir 463 tonnes sur la période 1987-1993, puis 312 tonnes sur la période 1994-2009. 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	<b>189,6</b>	570
1990	104,0	<b>805</b>
1991	60,4	365
1992	29,5	<b>191</b>
1993	<b>5,2</b>	209
<b>Moyenne 87-93</b>		463
<i>Modification du protocole</i>		
1994	80,1	243
1995	117,4	371
1996	52,7	<b>173</b>
1997	<b>27,6</b>	266
1998	<b>138,3</b>	<b>428</b>
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
2007	117,5	422
2008	64,3	174
2009	<b>89,8</b>	<b>245</b>
<b>Moyenne 94-09</b>		312

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 à la suite du remplacement des installations d'électrochloration, le tonnage annuel de chlore varie de 173 tonnes en 1996 à 428 tonnes en 1998. Le faible tonnage noté en 2009 s'explique, comme en 2008, par des arrêts de tranche de longue durée en période de chloration (tranche 1 à partir de septembre).

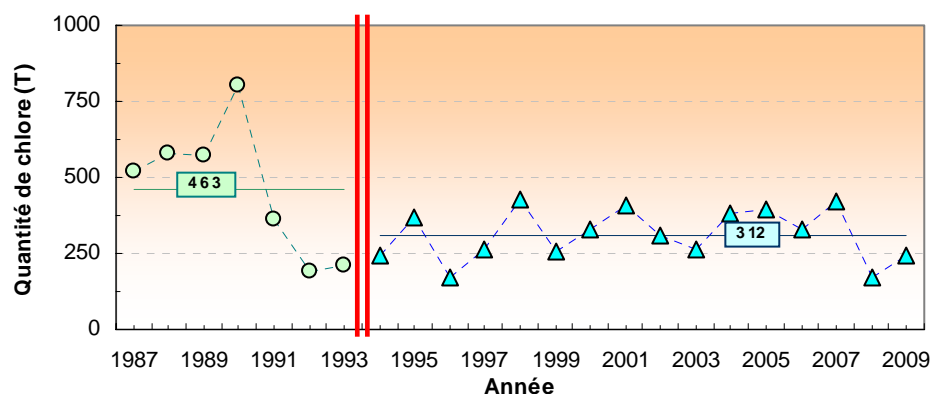


Figure 1.6 : Evolution du tonnage annuel de chlore injecté à Flamanville depuis 1987, comparé aux moyennes annuelles des périodes 1987-1993 et 1994-2009

## 1.2. Travaux réalisés par Ifremer

Les travaux réalisés au cours de l'année 2009 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 sont localisés sur la carte de la figure 1.7.

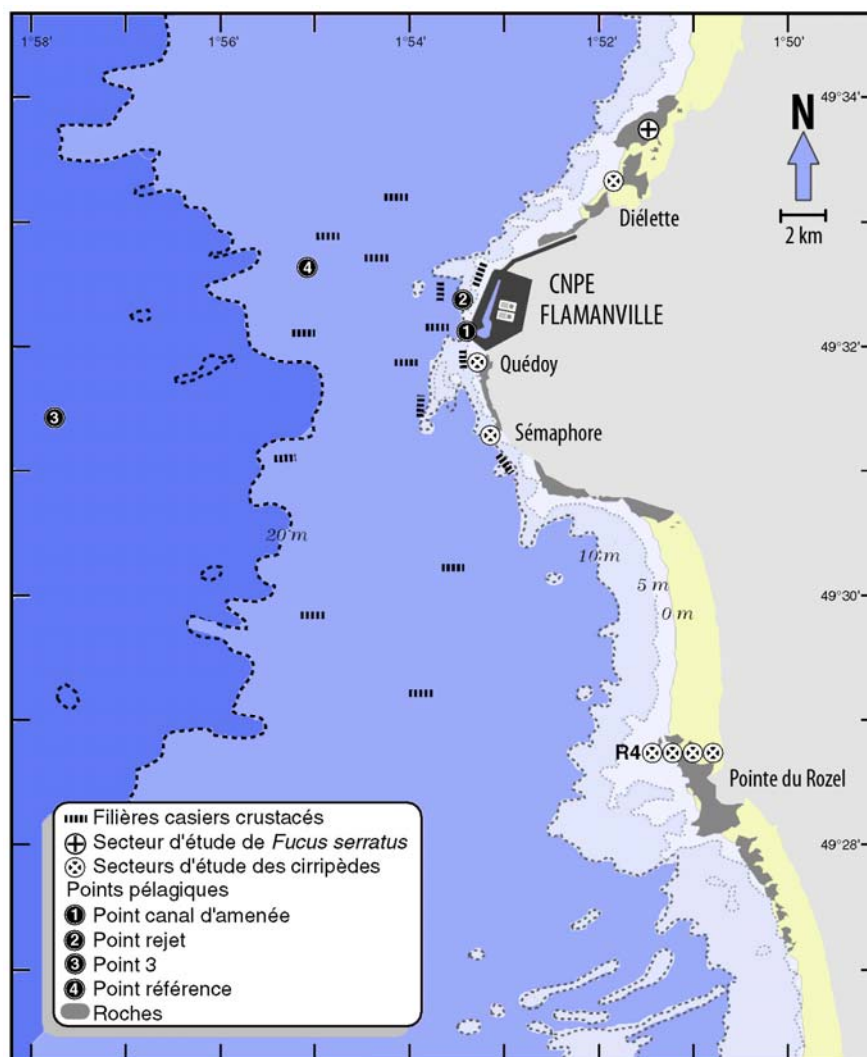


Figure 1.7 : Carte des abords de Flamanville, indiquant les points de prélèvements échantillonnés par l'Ifremer

Les coordonnées géographiques des points de prélèvements sont :

- Canal : 49° 32,112 N 1° 53,317 N
- Rejet : 49° 32,328 N 1° 53,477 N
- Référence : 49° 32,818 N 1° 55,127 W

2009	Points de prélèvements	Paramètres étudiés	Nombre de répliqués à chaque point	Dates missions	
DOMAINE PELAGIQUE	Référence	Température M.E.S. Bore	Référence 1 à -10m Rejet 1 subsurf. C.amenée 1 subsurf.	19/03	
		Salinité Haloformes	1 subsurface 2 subsurface		
		Sels nutritifs NH4	Référence 2 subsurf. 2 à -10m		
	Phytoplancton	Rejet	Chlorophylle Phaeopigments Production primaire Identification des espèces	Rejet 4 subsurf. C.amenée 4 subsurf.	18/06 25/09
	Zooplancton	Canal d'amenée	Biomasse Composition chimique (carbone, azote) Identification des espèces	1WP2 filtré et congelé 1 WP2 formolé	
Microbiologie		Dénombrement des - germes totaux - germes viables Recherche des vibrions halophiles	Référence 4 Rejet 2 C.amenée 2		
DOMAINE BENTHIQUE	Platier de Diélette	- Biométrie - Longueur - Nbre de dichotomies - Fertilité - Diamètre du thalle - Biomasse.	10 pieds de <i>Fucus serratus</i> tous les 10 m. sur chaque radiale	10/03 24/06**	
	Radiale Dans la zone à <i>Fucus serratus</i>		10 quadrats /secteur	19/09	
	ROZEL (points 1, 2, 3, 4) SEMAPHORE QUEDOY DIELETTE	Substrats durs intertidaux			
Zoobenthos	ROZEL(Point 2), SEMAPHORE, QUEDOY, DIELETTE	- Densité des différentes espèces de cirripèdes - Faune associée	Par point : 8 quadrats 12 comptages 4 grattages	11/03 25/06**	
		- Étude de recolonisation	Par point : quadrats (3x25) cm <sup>2</sup>	18-20/09	
DOMAINE HALIEUTIQUE	[Point 3] Référence Rejet	Densité des larves d'araignée et homard	2 Bongo 1 Neuston surface	17/06 30/06 16/07 29/07	
	Canal d'amenée	- température - salinité		12/08 10/09	
	N.O. Cotentin	Recueil d'informations sur la pêche professionnelle			
	15 points (1 filière par point)	Pêches expérimentales - pour homard, tourteau, araignée, étrille (longueur, sex-ratio) - autres espèces (présence)	4 levées des 15 filières d'au moins 20 casiers	15-18/06 10-13/09	

Tableau 1.3 : Récapitulatif de l'activité réalisée par l'Ifremer au cours de l'année 2009 devant le C.N.P.E. de Flamanville.

\*\* Hors contrat

## 2. Caractéristiques environnementales de l'année 2009

*Luc Drévès*  
*Philippe Monbet*





## 2.1. Climatologie

Les données communiquées par le centre de METEO-FRANCE de Cherbourg proviennent d'enregistrements réalisés au sémaphore d'Auderville<sup>9</sup> (température de l'air et pluviométrie) depuis janvier 1949, et à la station de Valognes<sup>10</sup> (insolation) entre janvier 1986 et décembre 2008. A partir de janvier 2009, suite à une décision interne à Météo France, les données d'insolation proviennent de la station de Sainte Marie du Mont. Depuis 1994 et jusqu'en 2008, les données utilisées dans ce rapport pour la température quotidienne de l'air représentaient la moyenne des données tri-horaires (8 par 24h) fournies par Météo France. La température quotidienne de référence fourni par Météo France est la moyenne du minimum de température mesurée entre 18 H UTC la veille et 18 H UTC le jour, et du maximum de température mesurée entre 06 H UTC le jour et 06 H UTC le lendemain. Dans un souci de conformité, à partir de 2009 les températures quotidiennes de l'air utilisées sont donc les températures de référence calculées par Météo France. L'ensemble des températures quotidiennes depuis 1994 a été mis à jour.

Le climat dominant de la région Basse-Normandie est de type océanique : le courant perturbé atlantique, établi en moyenne à hauteur du 50<sup>ème</sup> 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 mensuelle moyenne sur le nord-ouest Cotentin (figure 2.1) est de 59,8 mm. Elle est excédentaire de septembre à février, le maximum des précipitations étant noté en novembre avec 91,8 mm de hauteur moyenne d'eau. La période déficitaire s'étend de mars à août, avec une valeur moyenne mensuelle minimale en juillet (37,8 mm). Le mois de décembre 1999 a été le plus humide avec 236 mm, et mars 1961 le plus sec avec 0 mm (seulement des traces). L'année 2009 se caractérise par (i) un premier semestre avoisinant les normales saisonnières, (ii) un fort déficit pluviométrique en août et septembre, (iii) une fin d'année très excédentaire avec notamment un maximum de précipitations en novembre, avec une nouvelle valeur record de 189 mm.

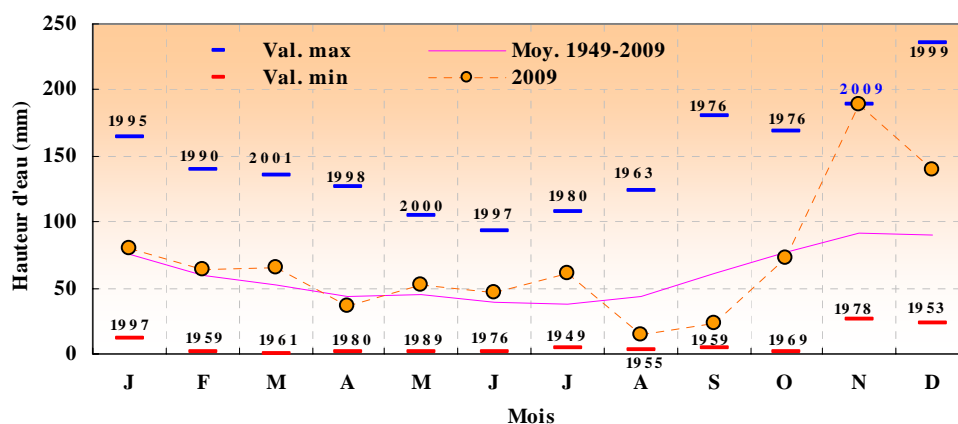


Figure 2.1 : Pluviométrie mensuelle au sémaphore de La Hague au cours de l'année 2009, comparée aux moyennes et valeurs extrêmes mensuelles obtenues depuis 1949.

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

<sup>10</sup> Altitude : 61 m ;

Le cumul annuel moyen sur la période de 1949/2009 est de 718 mm, variant de 430 mm en 1953 à 1001 mm en 1994 (figure 2.2).

Sur la période 1949/2009, l'observation des cumuls annuels par période décennale (figure 2.2) permet d'apprécier la forte pluviométrie des deux dernières décennies. Sur la période 1989/1998 le cumul moyen atteint 771 mm. Sur la période 1999/2008, il est de 770 mm. Ces deux cumuls sont largement supérieurs aux décennies précédentes (689 mm, 1979/1988 ; 651 mm, 1949/1958).

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

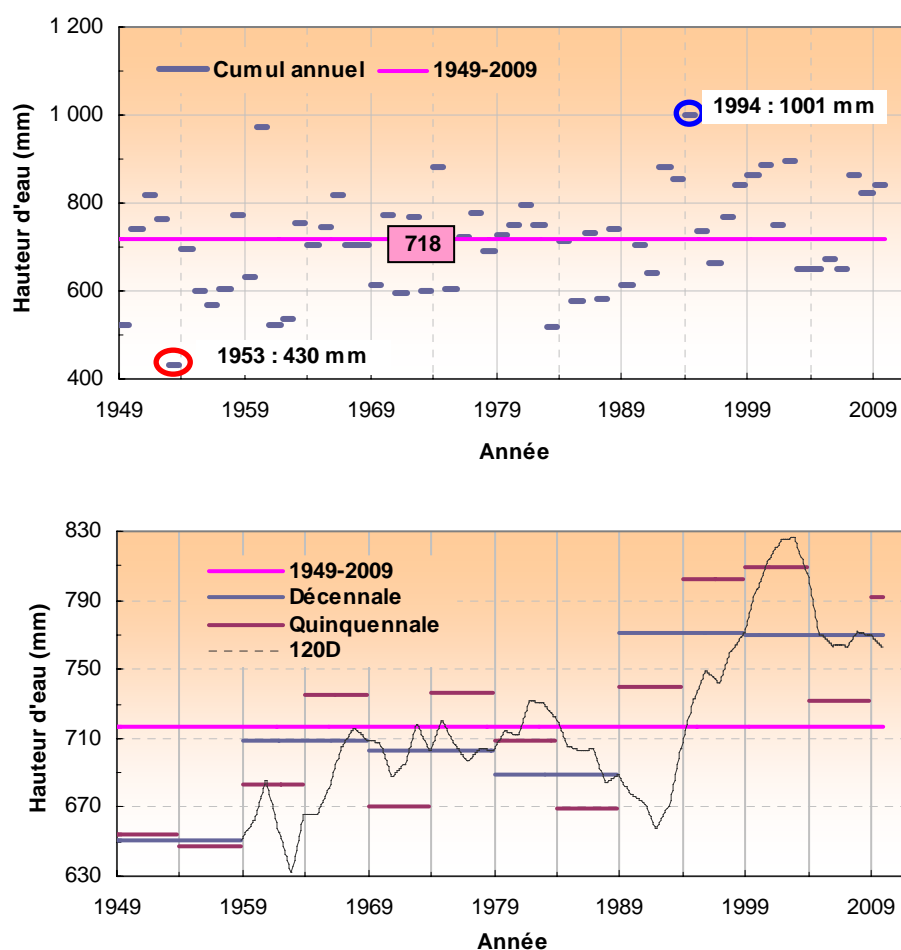


Figure 2.2 : Pluviométrie au sémaphore de La Hague de 1949 à 2009. Comparaison des cumuls annuels, quinquennaux et décennaux au cumul moyen annuel observé sur la totalité de la période.

Le cumul pluviométrique annuel de 2009 est de 830 mm. Il est excédentaire par rapport au cumul moyen établi sur la période 1949-2009 (718 mm). Ce niveau de précipitation est très proche de celui de 2008 (825 mm) et similaire à celui de 2007 (865 mm) qui mettait fin à quatre années déficitaires consécutives (2003, 2004, 2005 et 2006).

### 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 hiver (< 100 heures) et maximale en été (juin 262 heures). Mais la couverture nuageuse peut

perturber ce schéma. Ainsi, le mois de juillet présente une durée d'insolation (210 heures) nettement inférieure à celles enregistrées en juin.

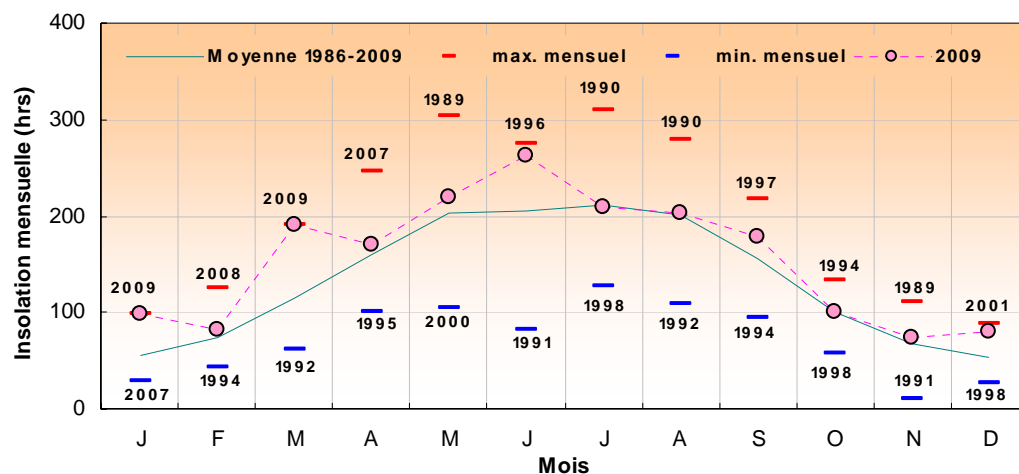


Figure 2.3 : Insolation mensuelle à Valognes au cours de l'année 2009, comparée aux moyennes et valeurs extrêmes mensuelles obtenues depuis 1986

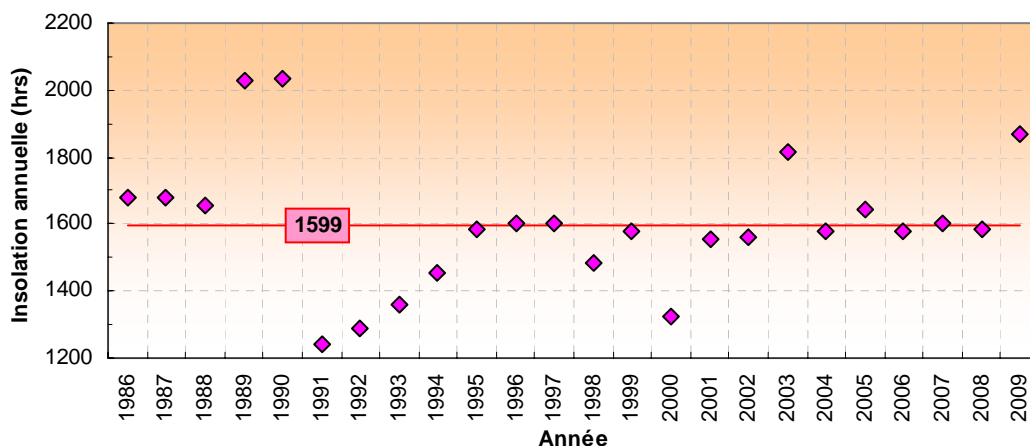


Figure 2.4 : Insolation annuelle dans le secteur de La Hague depuis 1986, comparée à la moyenne annuelle obtenue sur la totalité de la période.

Avec une insolation annuelle de 1869 heures, l'année 2009 est largement excédentaire, comparée à l'insolation annuelle moyenne de ces 24 dernières années (1599 heures).

### 2.1.3. Température de l'air

Au cours des 61 dernières années (1949/2009), la température moyenne mensuelle de l'air (figure 2.2) varie de 6,8 °C en février à 17,0 °C en août. Les moyennes mensuelles extrêmes ont été enregistrées en janvier 1963 (2,0 °C) et en août 2003 (18,9 °C).

Sur la période 1949/2009, la température moyenne annuelle est de 11,58 °C, avec un écart thermique moyen de 10,24 °C entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud. L'année la plus chaude est 2002 avec une température moyenne annuelle de 12,74 °C, suivie par 1999 (12,67 °C), 2007 (12,55 °C) et 2005 (12,47 °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 2007 avec 8,5 °C.

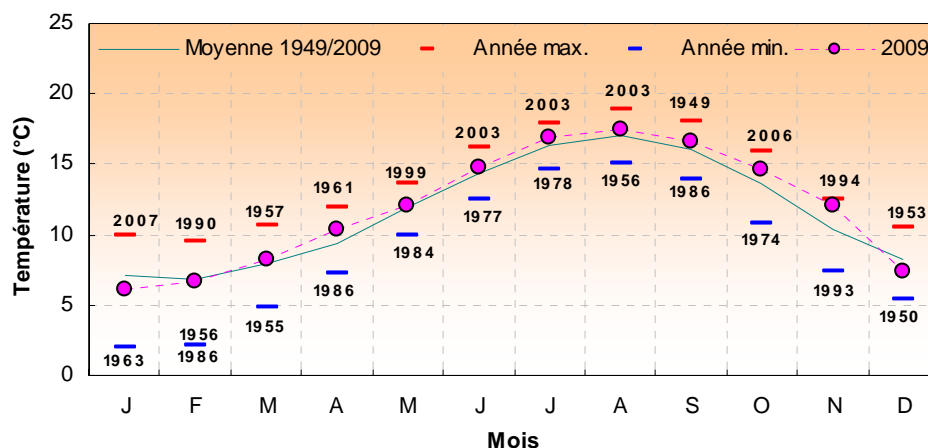


Figure 2.5 : Température mensuelle moyenne de l'air à La Hague au cours de l'année 2009, comparée aux moyennes et valeurs extrêmes mensuelles enregistrées depuis 1949

Sur la période 1949/2009, l'observation de la température mensuelle moyenne de l'air par période décennale (figure 2.6) permet d'apprécier l'échauffement moyen de 0,7 °C entre les décennies 1979/1988 (température moyenne de 11,2 °C) et 1989/1998 (11,9 °C).

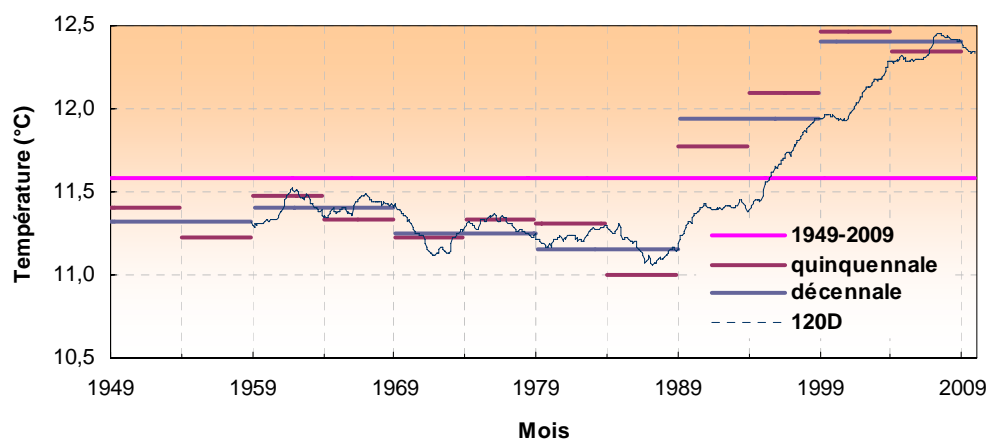


Figure 2.6 : Température de l'air au sémaphore de La Hague de 1949 à 2009. Comparaison des moyennes annuelles, quinquennales et décennales à la moyenne observée sur la totalité de la période

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

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

### 2.1.4. Caractéristiques de l'année 2009

L'année 2009 se caractérise par :

- Un cumul annuel des précipitations (830 mm) supérieur au cumul moyen enregistré depuis 1949 (718 mm) ; les deux semestres, 332 mm et 498 mm, sont excédentaires, les moyennes semestrielles étant respectivement 316 mm et 401 mm.

	2009	Rang/61	Moyenne	Minimum	Année	Maximum	Année
<b>Trim. 1</b>	196,8	39	188,2	48,6	1953	365,2	1995
<b>Trim. 2</b>	135,4	35	128,0	26,2	1976	243,7	1964
<b>Trim. 3</b>	97,4	14	142,7	52,4	1964	307,5	1974
<b>Trim. 4</b>	400,6	59	258,6	101,8	1953	410,6	2000

Tableau 2.1 : Bilan pluviométrique trimestriel (en mm) de 1949 à 2009 (rang/61 ans : 1 sec – 61 très humide)

- Une insolation annuelle moyenne (1869 heures) nettement supérieure à la moyenne enregistrée depuis 1986 (1599 heures).
- (i) Une température moyenne annuelle de l'air (11,97 °C) supérieure à la moyenne enregistrée sur la période 1949-2009 (11,58 °C) ; (ii) des moyennes mensuelles supérieures aux moyennes saisonnières toute l'année sauf en hiver ; (iii) des températures trimestrielles supérieures à la moyenne pour les trois derniers trimestres. Il ressort de l'examen des 61 dernières années le constat d'un printemps généralement plus doux que l'automne. 2009 confirme à nouveau cette règle, à laquelle ont fait exception les années 1954, 1977, 1978, 1979, 1986 et 2006.

	2009	Rang/61	Moyenne	Minimum	Année	Maximum	Année
<b>Trim. 1</b>	7.01	25	7.27	3,77	1963	9.46	2007
<b>Trim. 2</b>	12.45	46	11.88	10,59	1977	13.30	1961
<b>Trim. 3</b>	17.03	48	16.44	14,97	1986	17.95	2003
<b>Trim. 4</b>	11.37	50	10.76	9,17	1952	12.52	2006

Tableau 2.2 : Bilan des températures trimestrielles (°C) de 1949 à 2009 (Rang/61 ans : 1 froid – 61 chaud)

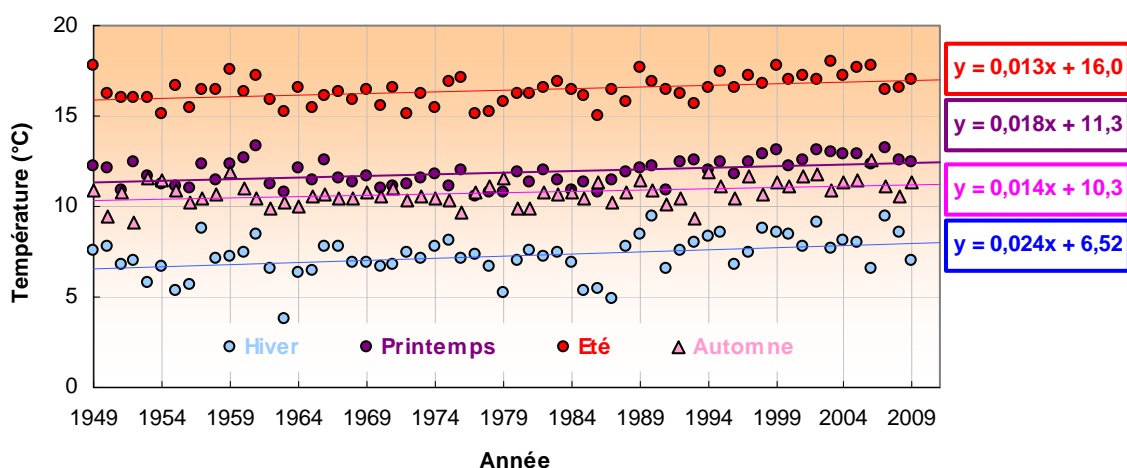


Figure 2.7 : Évolution des températures trimestrielles moyennes de l'air depuis 1949.

## 2.2. Température de l'eau de mer

Depuis 1986 (soit 24 années de mesures), EDF effectue un relevé quotidien (à 16h00) de la température de l'eau de mer dans le canal d'amenée. Le résultat des levés réalisés au cours de l'année 2009 est présenté à la figure 1.2 (page 14).

Sur l'ensemble de ces 24 années, le minimum de température mensuelle moyenne de l'eau de mer dans le canal d'amenée est noté en février (8,80 °C), les valeurs extrêmes étant enregistrées en 1986 (6,80 °C) et 2007 (10,20 °C). Le maximum mensuel moyen est observé en août (17,70 °C), oscillant entre 16,28 °C en 1986 et 18,44 °C en 2003. La température moyenne annuelle est de 13,11 °C, les extrêmes étant 11,34 °C en 1986 et 13,95 °C en 2007.

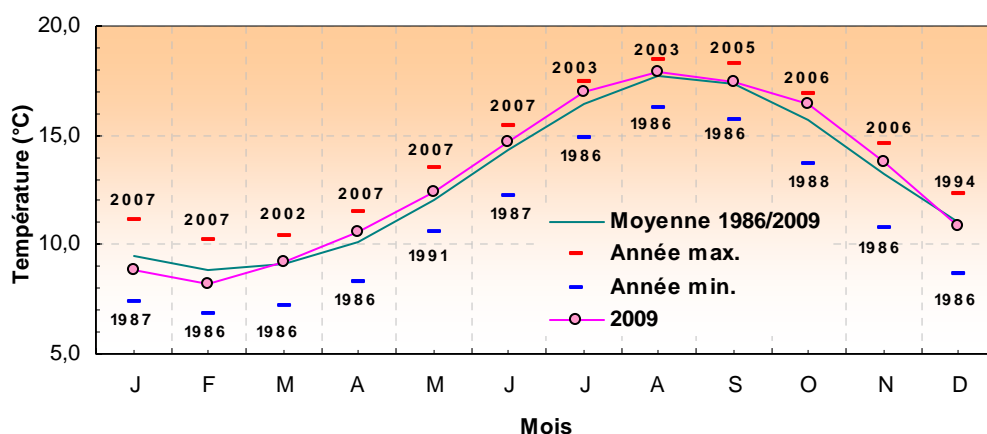


Figure 2.8 : Évolution de la température moyenne mensuelle de l'eau de mer dans le canal d'amenée du CNPE de Flamanville en 2009, comparée aux moyennes et valeurs extrêmes mensuelles enregistrées depuis 1986

A l'instar des observations faites sur la température de l'air, l'année 2009 présente des températures moyennes mensuelles de l'eau de mer supérieures aux moyennes saisonnières toute l'année sauf en hiver. Les écarts à la moyenne vont de - 0,71 °C (janvier) à + 0,68 °C (octobre).

Pour un jour donné, l'écart journalier à la moyenne quotidienne estimée au cours de ces 24 années est calculé. Les écarts oscillent entre - 3,37 °C (le 14/11/1986) et + 2,45 °C (le 18/01/2007). 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.

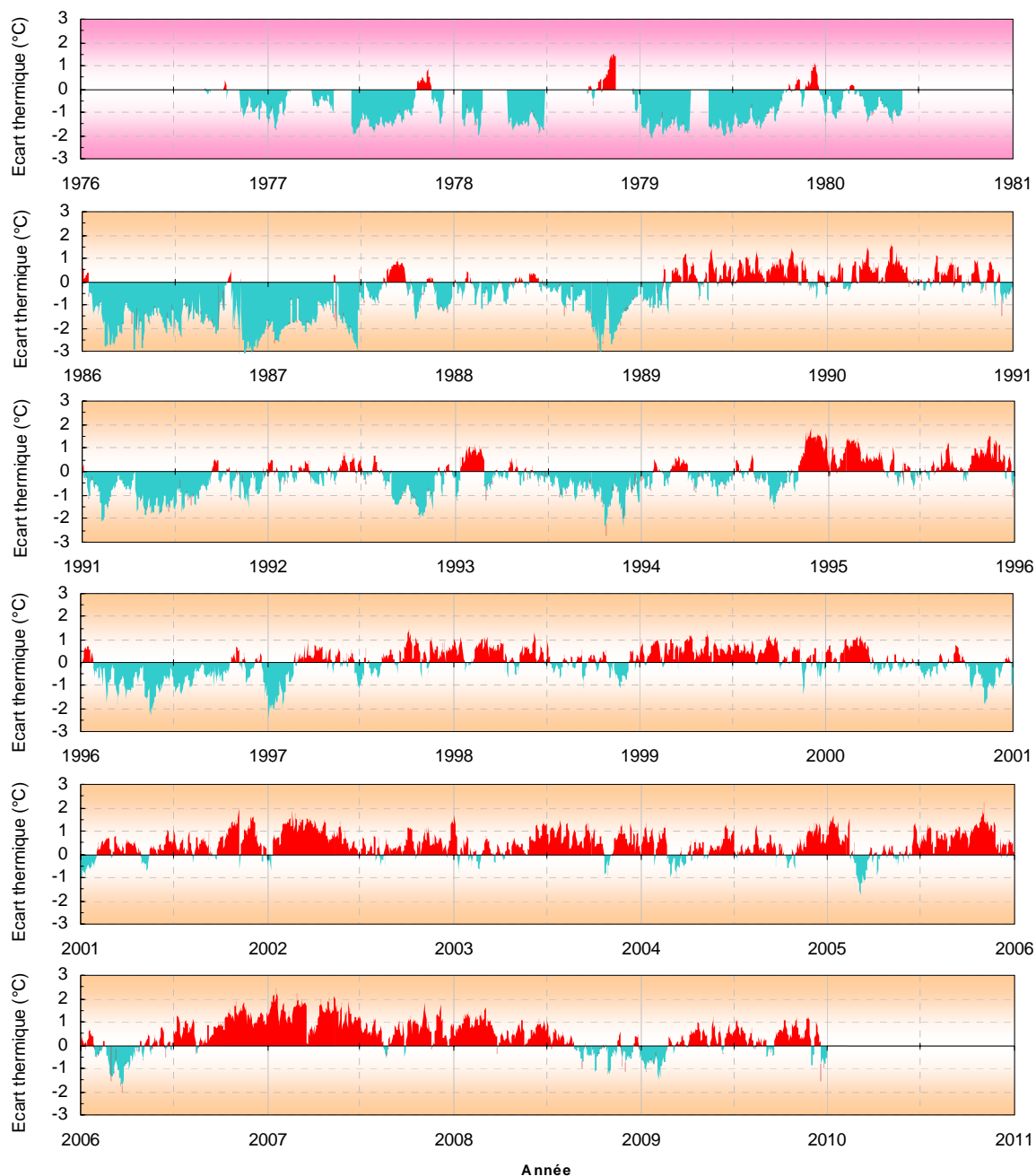


Figure 2.9 : Anomalies de la température de l'eau de mer à Flamanville – Ecart thermique journalier (en °C) à la moyenne quotidienne (moyenne estimée sur la période janvier 1986 - décembre 2009).

Ces écarts, moyennés sur l'année, permettent d'apprécier le bilan thermique excédentaire de l'année 2009 (+0,15 °C j<sup>-1</sup>). A noter que toutes les années du XXI<sup>ème</sup> siècle ont un bilan thermique excédentaire (tableau 2.3).

Années excédentaires															
	2007	2002	2005	2003	1999	1995	2001	2004	2006	2008	1990	1989	1998	2009	1997
Ecart (C.j <sup>-1</sup> )	+1,00	+0,64	+0,48	+0,46	+0,46	+0,43	+0,36	+0,32	+0,32	+0,29	+0,25	+0,23	+0,16	+0,15	0,00
Années déficitaires															
	1994	2000	1992	1993	1996	1988	1991	1987	1986						
Ecart (C.j <sup>-1</sup> )	-0,02	-0,05	-0,29	-0,40	-0,57	-0,70	-0,79	-0,98	-1,60						

Tableau 2.3 : Bilan thermique moyen journalier de 1986 à 2009 (les 24 années sont classées de la plus chaude à la plus froide).

Au cours de la période 1986/2009, les moyennes mensuelles des températures de l'air à La Hague et de l'eau de mer à Flamanville présentent des variations similaires avec un léger décalage dû à l'inertie de la masse d'eau.

Au cours des 24 dernières années, la température moyenne annuelle est de 12,98 °C pour l'eau de mer, 12,02 °C pour l'air (pour rappel, cette dernière est de 11,59 °C au cours de la période 1949-2009).

La comparaison de ces températures (figure 2.10), soit par moyenne mobile calculée sur les 12 derniers mois, soit par période quinquennale, montre sur le long terme la similitude des variations de températures observées tant dans l'eau que dans l'air dans ce secteur du nord-ouest Cotentin.

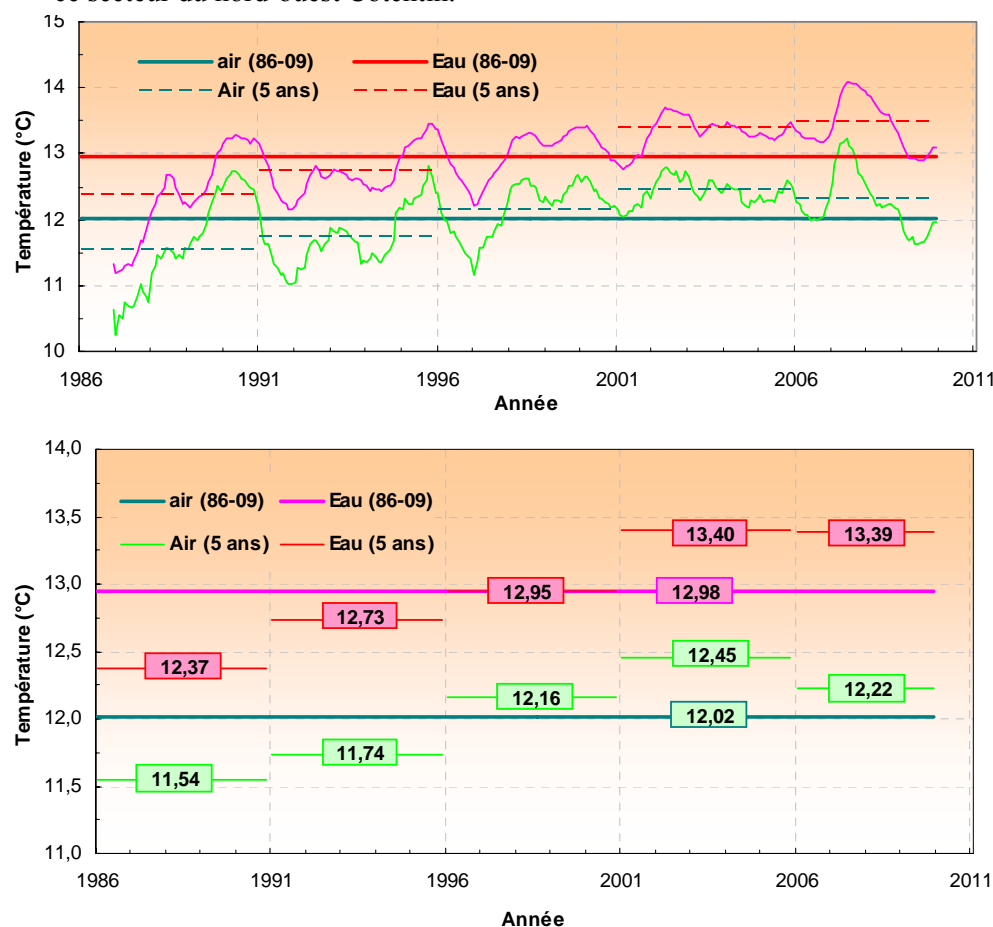


Figure 2.10 : Comparaison des « anomalies » mensuelles des températures de l'air (Cap de La Hague) et de l'eau de mer (Flamanville) au cours des 24 dernières années (1986-2009)



Une corrélation significative existe entre ces deux paramètres (figure 2.11). 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).

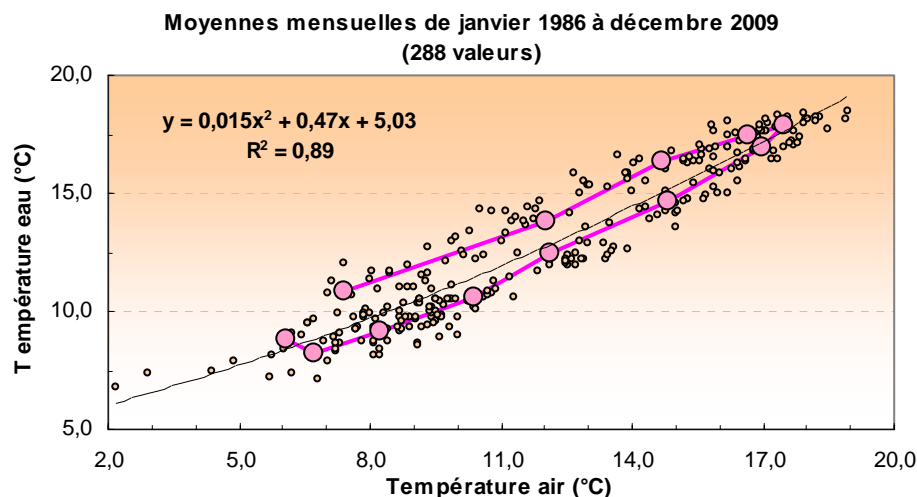


Figure 2.11 : Variation de la température moyenne mensuelle de l'eau de mer (données EDF) en fonction de celle de l'air (données Météo-France). Les données 2009 sont indiquées en rouge.

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

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

Les moyennes annuelles ainsi obtenues sont comparées à celles enregistrées depuis 1986 (figures 2.12 et 2.13).

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

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

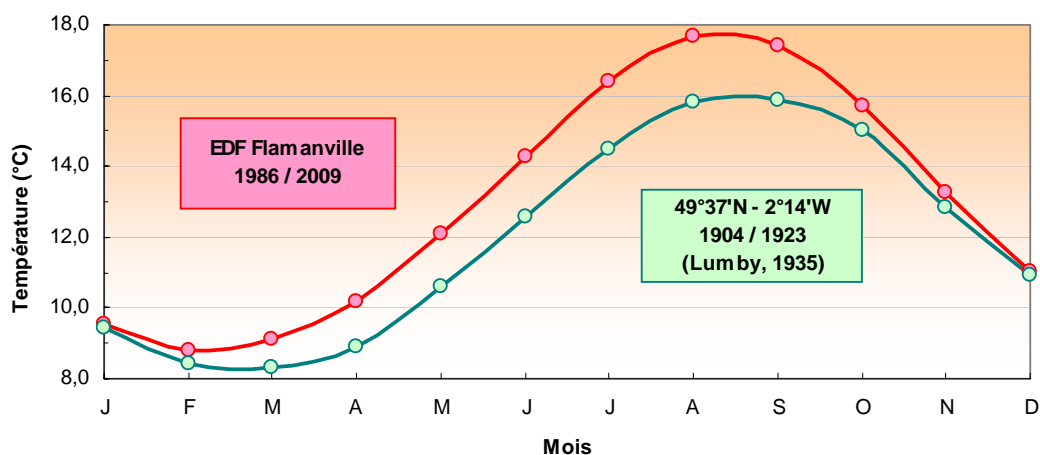


Figure 2.12 : Comparaison des températures mensuelles moyennes de l'eau de mer au droit du Cap de Flamanville, entre 1904 et 2009

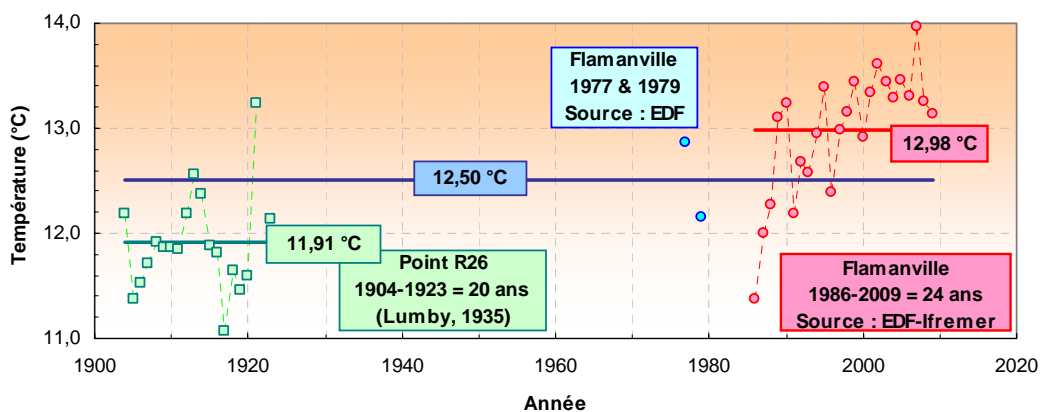


Figure 2.13 : Comparaison des températures annuelles moyennes de l'eau de mer au droit du Cap de Flamanville, entre 1904 et 2009

Source = acquisition mesures EDF - CNPE de Flamanville ; traitement Ifremer Drévès (2009)

FLA	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Nb mois	Nb Valeurs	Moy. 12 M	Moy. 365 J
1 1986	31 9,11	28 6,80	31 7,16	30 8,31	31 10,61	30 12,63	31 14,91	31 16,28	30 15,74	31 15,12	30 10,78	31 8,63	12	365	11,34	11,37
2 1987	31 7,34	28 7,21	31 7,34	30 9,02	31 10,95	30 12,22	31 15,83	31 17,65	30 18,01	31 14,96	30 13,00	31 10,05	12	365	11,97	11,99
3 1988	31 9,34	29 8,41	31 8,65	30 9,76	31 12,08	30 14,28	31 16,05	31 16,91	30 16,35	31 13,69	30 11,28	31 10,24	12	366	12,25	12,27
4 1989	31 8,74	28 8,17	31 9,59	30 10,38	31 12,44	30 14,61	31 16,95	31 18,23	30 17,95	31 16,44	30 12,41	31 11,01	12	365	13,08	13,11
5 1990	31 9,76	28 8,86	31 9,74	30 10,51	31 12,98	30 14,43	31 16,38	31 18,19	30 17,59	31 15,98	30 13,36	31 10,65	12	365	13,20	13,23
6 1991	31 9,04	28 7,44	31 8,57	30 9,31	31 10,57	30 12,90	31 15,29	31 16,80	30 17,33	31 15,47	30 12,55	31 10,65	12	365	12,16	12,19
7 1992	31 9,49	29 8,64	31 9,15	30 9,94	31 12,21	30 14,54	31 16,45	31 17,41	30 16,33	31 14,35	30 12,48	31 10,91	12	366	12,66	12,67
8 1993	31 9,78	28 9,52	31 8,74	30 10,19	31 11,93	30 14,09	31 15,89	31 16,98	30 16,77	31 14,37	30 12,04	31 10,36	12	365	12,56	12,57
9 1994	31 9,25	28 8,65	31 9,47	30 9,81	31 11,68	30 13,89	31 16,44	31 17,59	30 16,53	31 15,35	30 14,12	31 12,35	12	365	12,93	12,96
10 1995	31 9,94	28 10,02	31 9,67	30 10,53	31 12,21	30 14,22	31 16,42	31 18,15	30 17,46	31 16,36	30 14,21	31 11,30	12	365	13,37	13,39
11 1996	31 9,77	29 8,12	31 8,19	30 9,36	31 10,66	30 13,54	31 15,48	31 17,22	30 16,85	31 15,51	30 13,11	31 10,75	12	366	12,38	12,39
12 1997	31 7,88	28 8,16	31 9,39	30 10,54	31 12,24	30 14,19	31 16,08	31 17,74	30 17,58	31 16,41	30 13,65	31 11,55	12	365	12,95	12,98
13 1998	31 9,93	28 9,28	31 9,77	30 10,50	31 12,35	30 14,72	31 16,31	31 17,69	30 17,38	31 15,83	30 12,71	31 10,99	12	365	13,12	13,15
14 1999	31 10,01	28 9,31	31 9,67	30 10,84	31 12,72	30 14,85	31 17,00	31 18,10	30 18,24	31 15,86	30 13,33	31 10,99	12	365	13,41	13,43
15 2000	31 9,76	29 9,53	31 9,77	30 9,97	31 11,95	30 14,23	31 16,01	31 17,64	30 17,66	31 15,22	30 12,21	31 10,90	12	366	12,90	12,92
16 2001	31 8,92	28 9,24	31 9,33	30 10,49	31 11,99	30 14,77	31 16,81	31 18,12	30 17,58	31 16,55	30 14,24	31 11,67	12	365	13,31	13,33
17 2002	31 9,88	28 10,16	31 10,41	30 11,24	31 12,85	30 14,68	31 16,68	31 17,80	30 17,63	31 16,25	30 13,91	31 11,64	12	365	13,59	13,61
18 2003	31 9,88	28 8,70	31 9,36	30 10,35	31 12,37	30 15,04	31 17,39	31 18,44	30 18,11	31 15,85	30 13,80	31 11,61	12	365	13,41	13,44
19 2004	31 10,13	29 9,20	31 8,71	30 10,41	31 12,24	30 14,97	31 16,58	31 18,04	30 17,69	31 15,59	30 13,81	31 11,95	12	366	13,28	13,29
20 2005	31 10,54	28 9,02	31 8,38	30 10,11	31 12,06	30 14,71	31 17,08	31 18,37	30 18,28	31 16,83	30 14,34	31 11,39	12	365	13,43	13,45
21 2006	31 9,69	28 8,43	31 7,92	30 9,80	31 12,11	30 14,48	31 17,15	31 18,00	30 17,97	31 16,91	30 14,64	31 12,13	12	365	13,27	13,30
22 2007	31 11,13	28 10,20	31 10,35	30 11,46	31 13,54	30 15,46	31 17,17	31 17,91	30 17,88	31 16,58	30 14,01	31 11,72	12	365	13,95	13,97
23 2008	31 10,47	29 9,80	31 9,75	30 10,50	31 12,57	30 15,06	31 16,84	31 17,79	30 17,02	31 15,30	30 12,98	31 10,80	12	366	13,24	13,25
24 2009	31 8,82	28 8,25	31 9,17	30 10,62	31 12,45	30 14,68	31 16,94	31 17,87	30 17,46	31 16,40	30 13,78	31 10,84	12	365	13,11	13,14
25 2010																
Nb années	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24			Moy.	Moy.
Nb Valeurs	744	678	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744			12,95	12,98
Moy. M	9,53	8,80	9,09	10,17	12,07	14,30	16,42	17,70	17,39	15,72	13,20	11,04				
Moy. J	9,53	8,80	9,09	10,17	12,07	14,30	16,42	17,70	17,39	15,72	13,20	11,04				

Tableau 2.4 : Bilan détaillé des mesures de température de l'eau de mer réalisée entre janvier 1986 et décembre 2009 par EDF dans le canal d'aménée de la Centrale de Flamanville. Pour chaque mois, sont mentionnés le nombre de mesures effectuées et la moyenne de ces mesures, les valeurs extrêmes étant repérées en trame bleue (moyenne minimale) ou rouge (moyenne maximale). Pour chaque bilan annuel, sont mentionnées la température moyenne obtenue à partir des 12 valeurs mensuelles et celle obtenue à partir de l'ensemble des mesures réalisées pendant l'année.



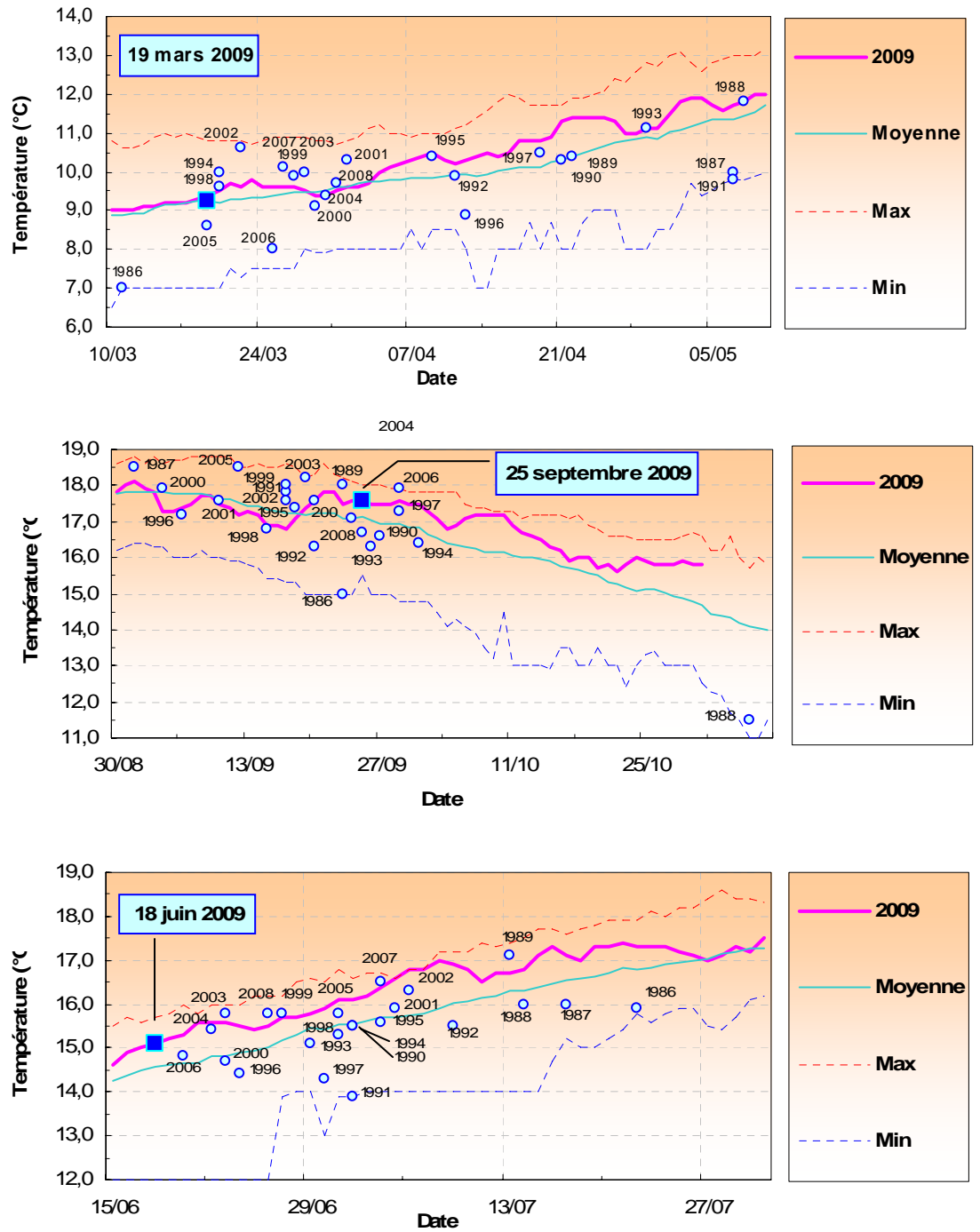


Figure 2.14 : Température de l'eau de mer en surface au canal d'aménée de Flamanville, entre 1986 et 2009. Pour chaque année, positionnement calendaire des 3 campagnes pélagiques. La température de l'eau de mer du jour de prélèvement est comparée à la moyenne, au maximum et au minimum observés au cours des 24 dernières années.

---

### 3. Le domaine pélagique

*Etude et rapport réalisés*

*à l'Ifremer par*

**Philippe Monbet** (LER / FBN) *Hydrologie et Microbiologie*

**Elvire Antajan** (LER / BL) *Zooplancton*

*à l'Université de Caen par*

**Pascal Claquin** *Phytoplancton*

*Avec la collaboration pour les prélèvements et les analyses de*

**Frank Maheux** (LER / N)

**Sylvaine Françoise** (LER / N)

**Vincent Justome** (LER / N)

**Laure Lamort** (LER / N)

**Philippe Riou** (LER / N)

**Aurore Lejolivet** (LER / N)

**Emilie Rabiller** (LER / N)

**Olivier Pierre-Duplessix** (LER / N)

*Traitement des images satellites par*

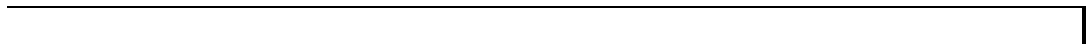
**Bertrand Saulquin** (DYNECO / pelagos)

**Francis Gohin** (DYNECO / pelagos)

*Analyses complémentaires réalisées par*

**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 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 2009 sont les mêmes que 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 précisés dans le tableau 3.2. Les campagnes de 2009 se sont déroulées les 19 mars, 18 juin et 25 septembre, en période de mortes eaux à bord du *N/O DELPHY* (hydrologie, phytoplancton et zooplancton) et au moyen du Zodiac de la SNSM de Diélette (bactériologie et trihalométhanes).

### 3.2. Hydrologie

#### 3.2.1. Méthode

##### 3.2.1.1. Prélèvements

Aux points *canal* et *rejet*, un prélèvement est effectué 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 ci-dessous.

	Temp. (°C)	Salinité	$NO_3^-$ ( $\mu M$ )	$NO_2^-$ ( $\mu M$ )	$NH_4^+$ ( $\mu M$ )	$PO_4^{3-}$ ( $\mu M$ )	$Si(OH)_4^-$ ( $\mu M$ )	MES (mg/L)
<b>PRECISION</b>	<b>± 0,01</b>	<b>± 0,01</b>	<b>± 0,1</b>	<b>± 0,01</b>	<b>± 0,005</b>	<b>± 0,01</b>	<b>± 0,05</b>	<b>± 0,1</b>

Tableau 3.1 : Précision des analyses

La température et la salinité sont mesurées par une sonde YSI 600 QS. Les analyses de bore sont effectuées au Laboratoire municipal et régional de Rouen, en dosage direct par ICP-AES optique (longueur d'onde de 249,773 nm). Les analyses de trihalométhanes dans l'eau de mer sont, quant à elles, réalisées au Laboratoire départemental et régional de Biologie et d'Hygiène Franck Duncombe de Caen, 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 2009, avec leur variabilité spatiale et saisonnière. 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 2009 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 1987-2009. Cette étude permet de comparer les données observées aux points *référence*, *rejet* et *canal* afin d'établir s'il existe ou non des différences significatives à long terme. Avant de choisir et d'effectuer des tests statistiques appropriés, il est essentiel de vérifier la normalité des distributions des données. Cette normalité de distribution est vérifiée à l'aide des coefficients d'asymétrie et d'aplatissement standardisés. Lorsque la distribution est normale, le test de Student est utilisé pour les échantillons appariés afin de comparer les données. Dans le cas contraire (distribution non normale), le test de Wilcoxon est utilisé.

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



### 3.2.2. Résultats des mesures de la surveillance hydrologique pour l'année 2009

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de mesure pour l'année 2009 sur le site de Flamanville sont présentés dans le tableau 3.2.

	CANAL D'AMENEE	REJET	REFERENCE		
			SURFACE	-10 m	
<b>19 MARS</b>	Température (°C)	9,21	12,20	8,97	8,84
	Salinité	34,24	34,66	34,72	35,08
	Nitrate (µM)	5,48	5,79	6,71	6,74
	Nitrite(µM)	0,14	0,14	0,11	0,12
	Ammonium(µM)	0,06	0,01	0,01	0,01
	Phosphate (µM)	0,37	0,38	0,44	0,45
	Silicate (µM)	0,94	0,80	1,23	1,25
	MES (mg/L)	3,71	8,96	31,60	30,00
	Bore (mg/L)	5,1	5,2	5,2	4,9
	Bromoforme (µg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
<b>18 JUIN</b>	Température (°C)	15,23	17,80	14,34	14,10
	Salinité	35,02	35,03	34,85	34,94
	Nitrate (µM)	0,12	0,14	0,77	0,63
	Nitrite (µM)	0,02	0,02	0,07	0,06
	Ammonium (µM)	0,005	0,005	0,01	0,01
	Phosphate (µM)	0,11	0,12	0,15	0,13
	Silicate (µM)	1,57	1,68	1,83	1,84
	MES (mg/L)	3,30	2,18	1,60	1,96
	Bore (mg/L)	4,8	4,7	4,9	4,9
	Bromoforme (µg/L)	< 1,0	2,1	< 1,0	< 1,0
<b>25 SEPTEMBRE</b>	Température (°C)	17,38	19,45	17,19	17,18
	Salinité	34,87	34,90	34,70	34,86
	Nitrate (µM)	4,31	4,26	6,71	6,74
	Nitrite(µM)	0,43	0,44	0,48	0,49
	Ammonium(µM)	1,19	1,23	1,15	1,13
	Phosphate (µM)	0,40	0,41	0,40	0,40
	Silicate (µM)	4,68	4,78	4,71	4,67
	MES (mg/L)	1,79	2,77	3,17	3,93
	Bore (mg/L)	4,6	4,7	4,7	4,8
	Bromoforme (µg/L)	< 1,0	1,7	< 1,0	< 1,0

Tableau 3.2 : Récapitulatif des résultats de surveillance pour l'année 2009

### 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 2009, la température de l'eau de mer a varié de 9,21 à 17,38 °C au point *canal*, de 12,20 à 19,45 °C au point *rejet* et de 8,97 à 17,19 °C au point *référence* en surface (figure 3.1). Comme l'an passé, les températures au point *référence* sont systématiquement inférieures à celles du point *canal* au cours des trois campagnes. Les écarts de température mesurés aux différentes profondeurs à la station *référence* sont relativement faibles confirmant le caractère brassé de la colonne d'eau dans cette zone.

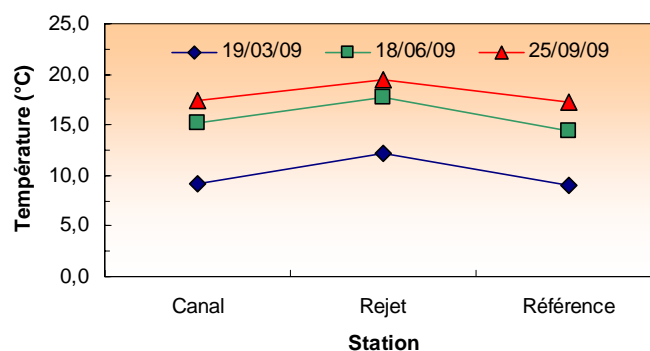


Figure 3.1 : Température de l'eau de mer en surface lors des trois campagnes de 2009

L'amplitude thermique entre le printemps et l'automne a été en moyenne de 8,2 °C sur les points *canal* et *référence*. Cet écart est sensiblement plus élevé que celui de l'an passé (7,2 °C), mais il est plus faible qu'en 2005 et 2006 (environ 10 °C). Par rapport à 2008, l'augmentation de l'amplitude thermique résulte d'un hiver plus froid mais aussi d'un automne plus doux.

La figure 3.2 caractérise le renouvellement des masses d'eau en Manche au travers du paramètre de stratification " $H/u^3$ ", défini par Simpson et Hunter (1974), où (H) représente la hauteur de la colonne d'eau et (u) le module de la vitesse moyenne de courant au cours d'un cycle de marée. Les faibles valeurs du paramètre de stratification ( $< 2,0$ ) indiquent que la colonne d'eau est bien brassée, tandis que les fortes valeurs ( $> 3,0$ ) définissent les zones susceptibles d'observer des stratifications de la colonne d'eau en été. Ainsi, la figure 3.2 montre que la centrale est située dans une zone où le taux de mélange est suffisant pour éviter les phénomènes de stratification, ce qui réduit alors le réchauffement estival en surface et explique la gamme réduite de variation de température.

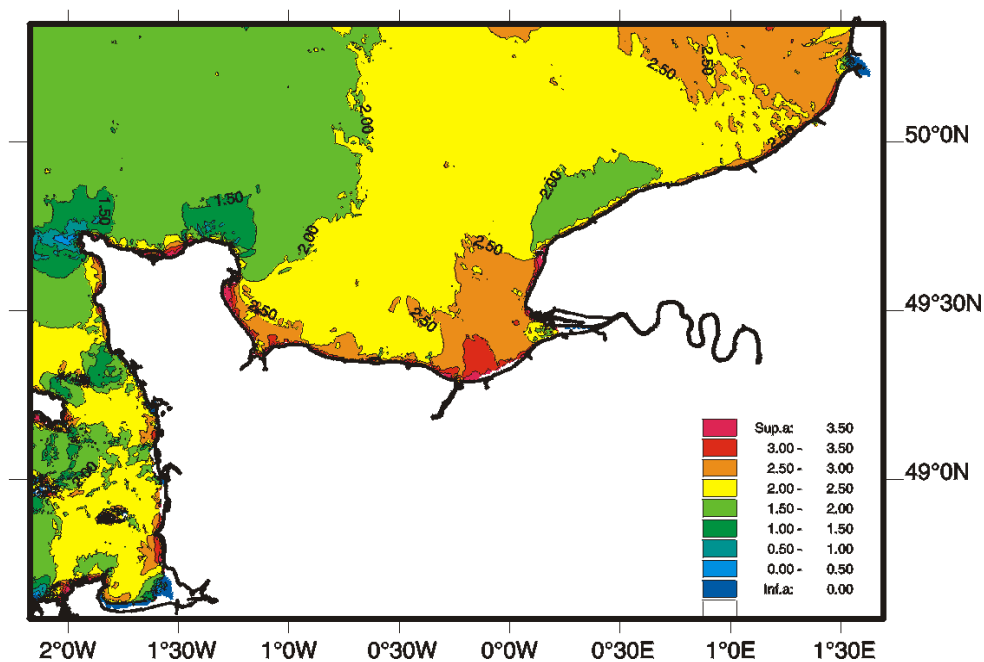


Figure 3.2 : Évolution spatiale du paramètre de stratification ( $H/u^3$ ) en Manche réalisée à l'aide d'un modèle hydrodynamique 2D (IFREMER DEL/AO-LERN)

### 3.2.2.1.2 Variations inter-annuelles

La figure 3.3 retrace depuis 1987, l'évolution des températures enregistrées au cours des trois campagnes annuelles sur chacun des points de suivi. Elle permet d'apprécier la situation de deux années consécutives. Par exemple en 2009 les températures ont été généralement inférieures à celles de 2008 au printemps et en été, et supérieures en automne.

Les températures 2009 à la côte (*canal*) et au large (*référence*) sont comprises entre les températures enregistrées dans les études de projet ou de surveillance écologique, entre 1976 et 1985 (médiane 9,65 °C) et celles rapportées par le REPHY (Réseau de Surveillance du Phytoplancton et des Phycotoxines) sur la période 1987-2004 (médiane 8,54 °C).

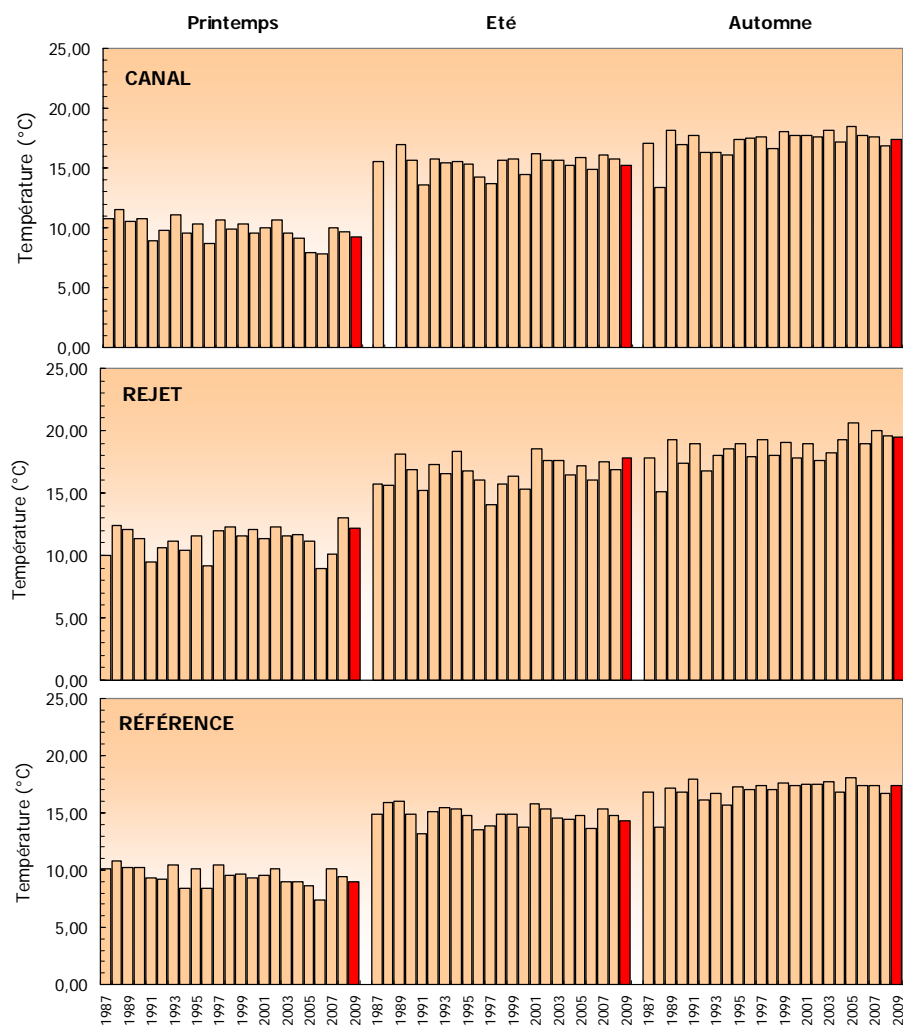


Figure 3.3 : Température de l'eau en surface sur la période 1987-2009 (2009 est en rouge).

La comparaison des distributions de températures observées depuis plus de 20 ans, par saison et par point (figure 3.4), indique clairement une valeur médiane au point *rejet* toujours supérieure à celles des points *référence* et *canal*. En 2009, la température observée au *rejet* se situe au niveau supérieur de 50 % des mesures depuis 1987. La valeur médiane au point *canal* (côtier) est aussi supérieure à celle du point *référence* (large). Les températures aux stations *canal* et *référence* sont en 2009 inférieures ou égales aux valeurs médianes établies sur la période 1987-2008.

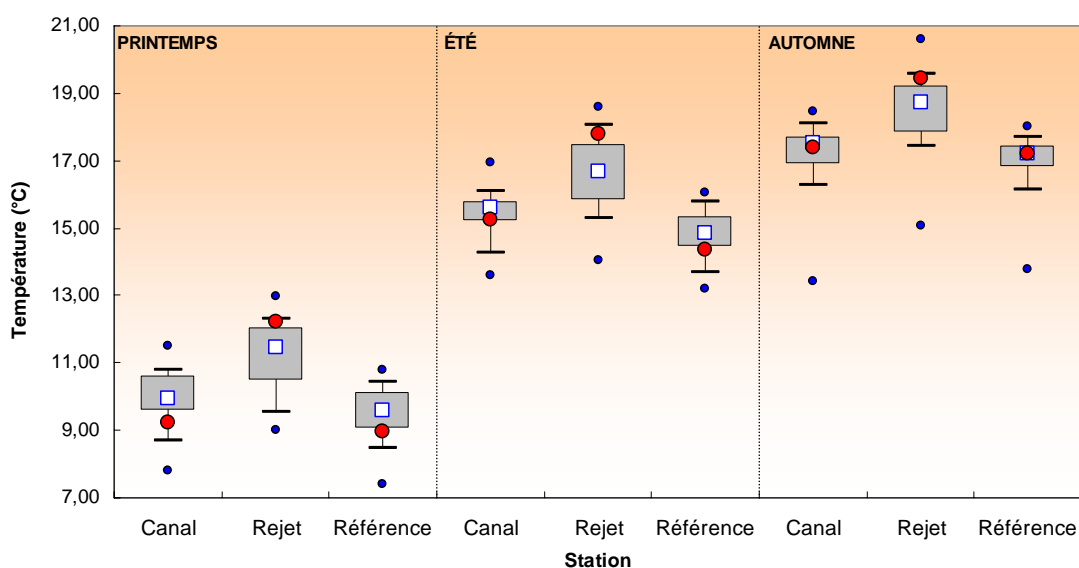


Figure 3.4 : Comparaison des distributions de la température par campagne et par point sur la période 1987-2008. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50% des valeurs (▭) ; les moustaches, 80% des valeurs (┌┐). Les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2009 (●).

Comme le montrent les figures 2.10 et 2.11 (cf. chapitre 2, page 28 et 29), une corrélation linéaire significative existe entre la température de l'air et celle de l'eau de mer. Les mesures réalisées en 2009 sont en accord avec cette observation.

### 3.2.2.1.3 Température au rejet et taux de dilution

Les différences de température enregistrées en 2009, entre les points *rejet* et *référence*, ont été respectivement de 3,23, 3,46 et 2,26 °C en mars, juin et septembre. Entre les points *rejet* et *canal*, ces écarts ont été respectivement de 2,99, 2,57 et 2,07 °C. La distribution de ces écarts de température mesurés depuis 1987, est présentée sur la figure 3.5. En 2009, les écarts observés sont généralement élevés. En particulier en été, l'écart thermique entre les stations *rejet* et *référence* définit un nouveau maximum pour la série de valeurs 1987-2009 et ceci en raison d'une température au *rejet* particulièrement élevée cette année. Finalement en automne 2009, les écarts thermiques par rapport au *rejet* sont compris dans la gamme supérieure de 50 à 80 % des valeurs habituellement observées.

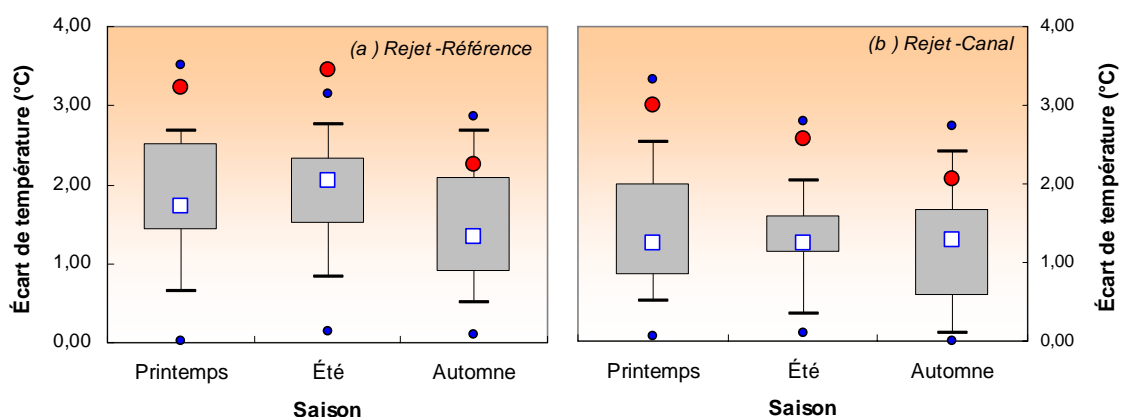


Figure 3.5 : Distribution par campagne des différences de température entre les points rejet et référence depuis 1987

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

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

$\pi$  représente la proportion d'eau échauffée potentielle.  $t^{\circ}\text{Rejet}$ ,  $t^{\circ}\text{Canal}$  et  $t^{\circ}\text{SC}$  représentent respectivement les températures au point *rejet* (en surface, à la verticale des bouches de rejet en mer), au point *canal* (également en surface) et à la sortie du condenseur (mesures EDF). Le dénominateur de l'équation (1) correspond à l'échauffement maximal des eaux pompées. Par arrêté, cet échauffement ne doit pas excéder 15 °C (Malherbe et Manoha, 1977). Les proportions d'eau échauffée et les taux de dilution théoriques qui en découlent sont présentés dans le tableau 3.3.

Date 2008	t° Canal		t° Sortie Condenseur		t° Rejet	t°Rejet-t°Canal	t°SC-t°Canal	$\pi$	% Taux Dilution
	Ifremer	EDF	T1	T2					
19 Mars	9,21	9,4	22,1	13,3	12,20	2,99	12,89	0,232	76,8
18 Juin	15,23	15,1	15,1	27,1	17,80	2,57	11,87	0,216	78,3
25 Septembre	17,38	17,6	17,6	30,3	19,45	2,07	12,92	0,160	84,0

Tableau 3.3 : Echauffements de l'eau de mer et taux de dilution calculés à Flamanville en 2009 (la mesure de température IFREMER est réalisée au niveau du canal d'amenée ; la mesure EDF correspond à la température entrée condenseur le même jour)

Les taux de dilution pour l'année 2009 sont compris entre 76,8 et 84,0 %. Au printemps et en été, les taux de dilution sont relativement faibles. En automne, le taux est proche de celui plus souvent observés depuis une vingtaine d'années (~90 %).

#### 3.2.2.1.4 Approche statistique

Les résultats des tests statistiques réalisés sur les données de température enregistrées depuis 1987 sont présentés dans le tableau 3.4. L'étude statistique confirme que la température de l'eau de mer au point *rejet* est significativement différente (au seuil de probabilité 5 %) de celles enregistrées aux stations *canal* et *référence* entre 1987 et 2009. Ce résultat confirme statistiquement l'existence d'une perturbation thermique liée au fonctionnement de la centrale dans le milieu marin au niveau du *rejet*.

Comparaison	Printemps	Été	Automne
Canal / Rejet	0,000	0,000	0,000
Référence / Rejet	0,000	0,000	0,000
Canal / Référence	0,002	0,000	0,005

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

Tableau 3.4 : «  $p\text{-value}$  » des tests statistiques sur les données de température enregistrées depuis 1987

En outre, ces résultats montrent que les températures au point *canal* sont significativement différentes de celles du point *référence*. En raison du caractère alternatif des courants de marée, de l'eau réchauffée est susceptible de dériver devant la centrale. Les travaux de Malherbe et Manoha (1977) ont en particulier montré que ce phénomène pouvait conduire à une élévation de la température d'environ 1 °C devant la centrale. Les vents de secteur nord peuvent aussi avoir une influence dans l'advection des masses d'eau réchauffées vers le canal d'aménée. En 2008, le fonctionnement d'une seule tranche de la centrale au moment des prélèvements a mis en évidence l'absence claire de différence significative de température entre les trois points d'échantillonnage. Ceci suggère que la différence significative entre les points *canal* et *référence* constatée en 2009, résulte en partie, d'une dérive des eaux réchauffées du *rejet* vers le canal d'aménée. Les travaux de modélisation du panache thermique réalisés par Violeau et Dribault (1997) montrent une élévation potentielle de température sur le canal d'aménée par le panache du rejet, à la pleine mer aussi bien en morte-eau qu'en une vive-eau moyenne. Selon le flot ou le jusant, le panache thermique s'affine et s'allonge davantage vers le sud que vers le nord. Toutefois, quelle que soit la marée, les résultats issus de la modélisation montrent que l'impact thermique lié au rejet d'eau échauffée de la centrale reste géographiquement très localisé. Les résultats de modélisation sont en accord avec les mesures des campagnes de surveillance.

### 3.2.2.2. Salinité

#### 3.2.2.2.1 Variations spatiales et saisonnières de la salinité

Les salinités mesurées en 2009 (figure 3.6) sont comprises entre 34,24 et 35,02 au point *canal*, entre 34,66 et 35,03 au point *rejet* et entre 34,70 et 34,85 au point *référence* en surface. Elles présentent peu de variation au cours des campagnes d'été et automne. Enfin, les valeurs les plus faibles sont généralement enregistrées au printemps avec un gradient côte-large croissant marqué.

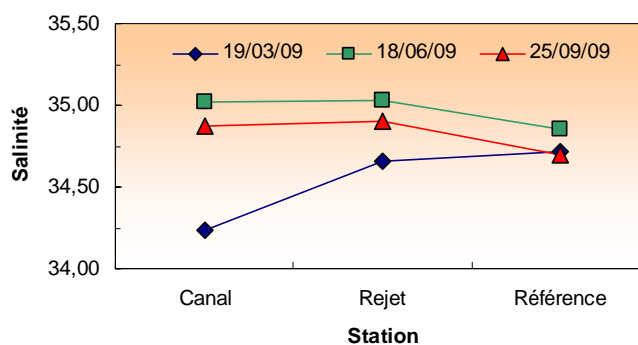


Figure 3.6 : Salinité de l'eau de surface lors les campagnes 2009

## 3.2.2.2.2 Variations inter-annuelles

La figure 3.7 présente l'ensemble des valeurs de salinité sur la période 1987-2009. Les salinités mesurées en 2009 sont inférieures à celles de 2008 à toutes les saisons. Au mois de mars, cette diminution est particulièrement marquée. La présence de précipitations le jour de la campagne de printemps pourrait expliquer cette dessalure.

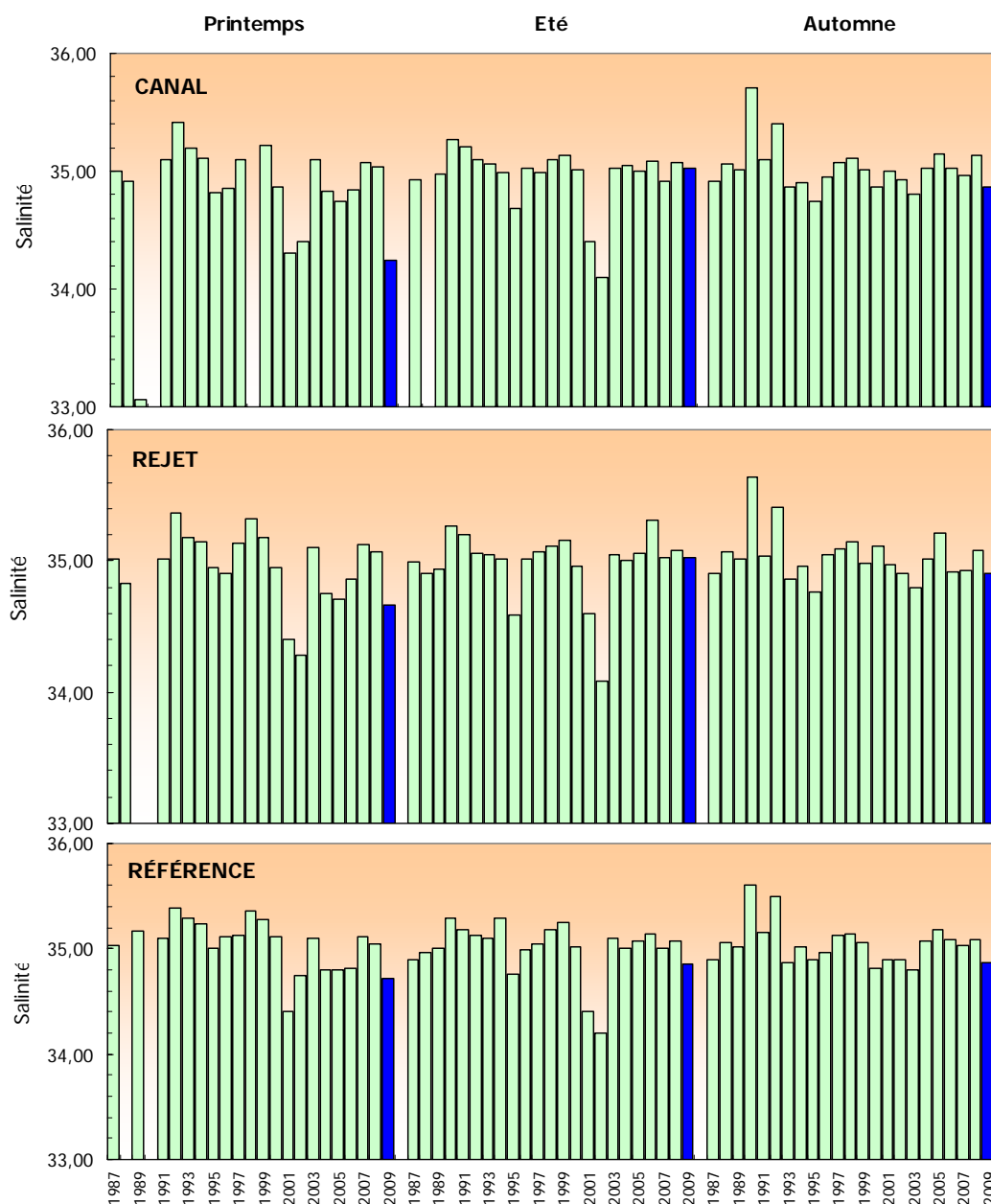


Figure 3.7 : Salinité de l'eau de surface pour les campagnes 1987 à 2009 (2009 en bleu foncé)

La figure 3.8 présente la distribution des valeurs de salinité enregistrées entre 1987 et 2009. Les salinités mesurées au cours de campagnes de surveillance 2009 ont généralement été inférieures aux valeurs médianes calculées sur la période 1987-2008, excepté en été, aux stations *canal* et *rejet*, où les salinités sont restées très proches des valeurs médianes. Par ailleurs en automne, au point *référence*, la salinité en 2009 est la plus faible observée depuis le début de la période de surveillance.



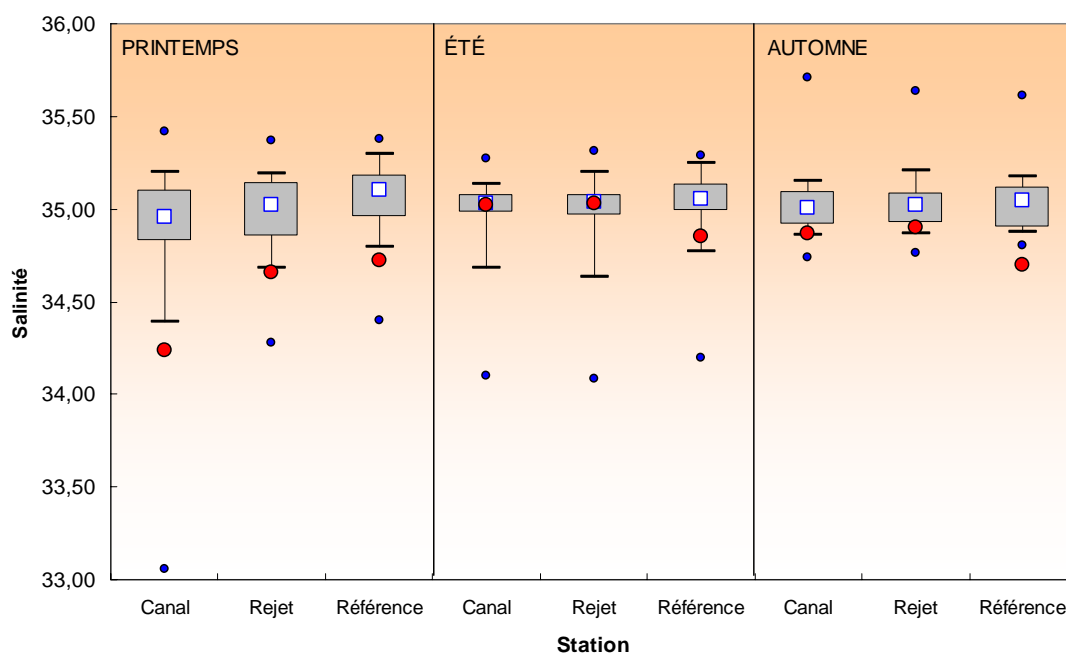


Figure 3.8 : Distributions de la salinité par campagne et par point depuis 1987. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50% des valeurs (▭) ; les moustaches, 80% des valeurs (┌). Les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2008 (●).

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

L'influence de la pluviométrie sur la salinité dans ce secteur reste toutefois relativement limitée dans le temps et dans l'espace. Ceci est en particulier dû à l'absence de rivière majeure dans ce secteur, mais aussi au caractère fortement brassé de la colonne d'eau. Les valeurs de salinité observées sont ainsi du même ordre de grandeur que celles habituellement relevées en Manche Occidentale (Armstrong *et al.*, 1972). Elles reflètent l'influence 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 aux différents points de surveillance.

Comparaison	Printemps	Été	Automne
Canal / Rejet	0,629	0,152	0,862
Référence / Rejet	<b>0,002</b>	0,521	0,486
Canal / Référence	<b>0,002</b>	<b>0,032</b>	0,419

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

Tableau 3.5 : « *p-value* » des tests statistiques sur les données de salinité enregistrées depuis 1987

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

Les effluents d'eau déminéralisée des circuits primaires, des circuits secondaires, ainsi que des circuits annexes pour le refroidissement des auxiliaires de l'îlot nucléaire constituent l'apport principal d'eau douce de la centrale vers le milieu marin. Ces rejets sont ponctuels et irréguliers et se produisent lors de vidanges ou d'opérations de maintenance. Ils ne doivent pas dépasser la limite de 1000 m<sup>3</sup> j<sup>-1</sup>. Ils sont opérés dans de court délai (2 heures) et à de faibles débits (~300 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>) comparés aux rejets de l'eau de mer (~155 000 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>). Pour information, en 2008 le volume annuel rejeté était de 14644 m<sup>3</sup>. Le volume d'eau de mer utilisé pour le circuit de refroidissement était lui de 1735575030 m<sup>3</sup>. Ainsi l'hypothèse d'un impact de la centrale pour expliquer les différences de salinités observées au printemps et en été est fort peu probable.

## 3.2.2.3. Ammonium

## 3.2.2.3.1 Variations spatiales et saisonnières de l'ammonium

Au cours des campagnes 2009, les teneurs en ammonium ont varié de 0,005 à 1,19 µM au point *canal*, de 0,005 à 1,23 µM au point *rejet* et de 0,01 à 1,15 µM au point *référence* en surface (figure 3.9). L'augmentation des concentrations en ammonium en automne reflète généralement l'augmentation de l'activité hétérotrophe et la régénération de l'ammonium dans la colonne d'eau. Au printemps, les très faibles concentrations en ammonium et les valeurs de chlorophylle *a* relativement élevées suggèrent une utilisation du stock hivernal d'ammonium comme source d'azote lors du bloom printanier. Cette observation est en accord avec les travaux de L'Helguen et al. (1993) et Gentilhomme et Lizon (1998) en Manche occidentale et orientale, respectivement. Ceci reflète aussi la préférence du phytoplancton pour l'ammonium même en présence de concentration de nitrate relativement importante (Cochlan 1986 ; Rees et al. 1995). Par ailleurs, un gradient de concentration décroissant côte-large plus ou moins marqué est observé au printemps et en automne.

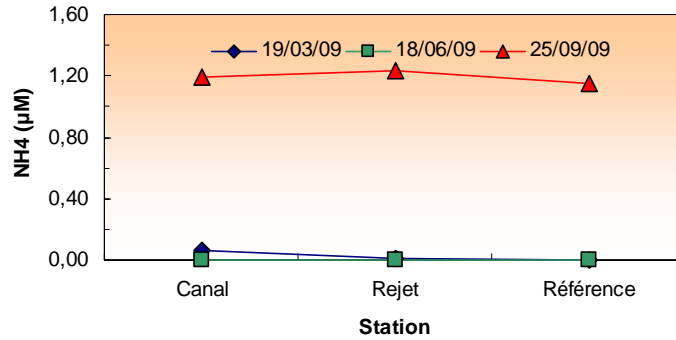


Figure 3.9 : Concentrations en ammonium (µM) dans les eaux de surface lors des campagnes 2009

3.2.2.3.2 Variations inter-annuelles

L'évolution des teneurs en ammonium enregistrées aux différents points depuis 1987 est présentée sur la figure 3.10.

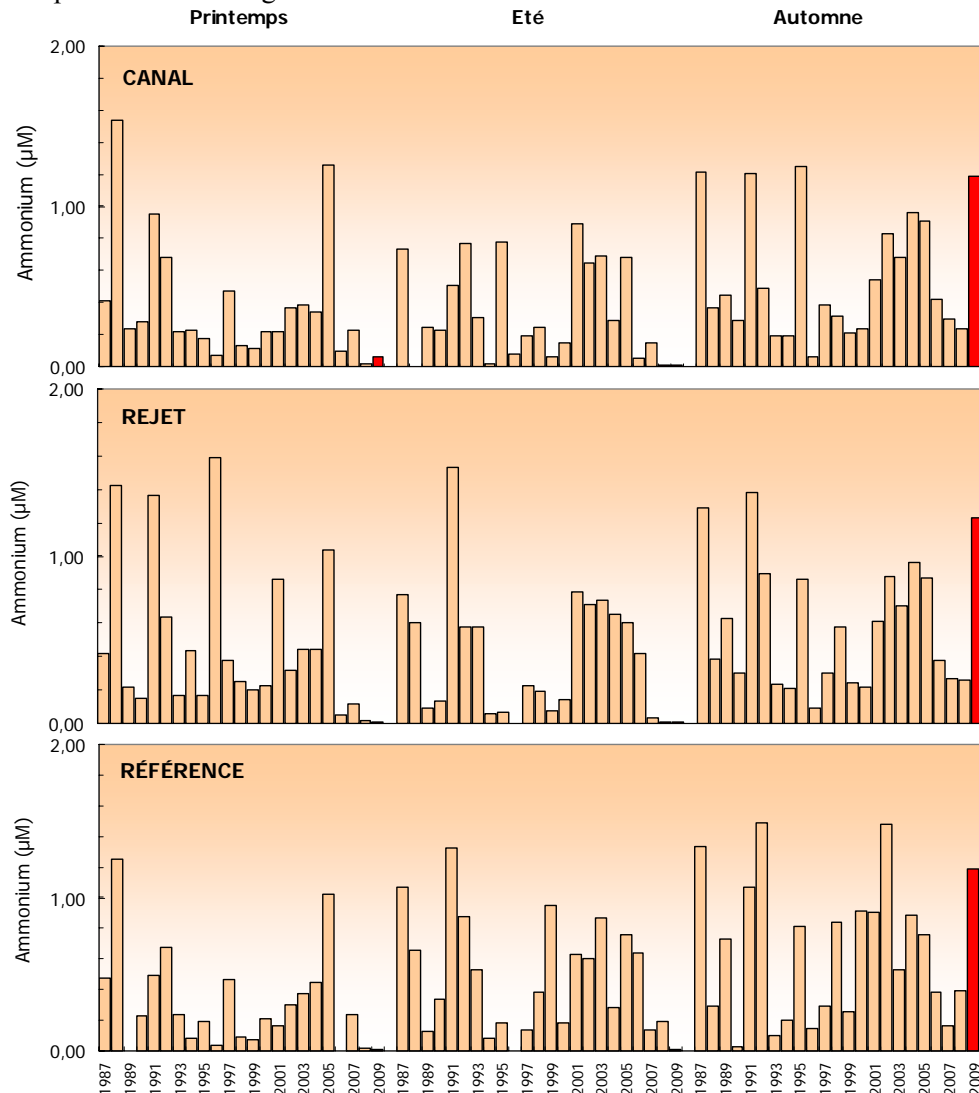


Figure 3.10 : Concentrations en ammonium dans l'eau de surface lors des campagnes de 1987 à 2009 (2009 en rouge)

Les valeurs observées en 2009, au printemps et en été, sont en général dans la gamme inférieures par rapport celles habituellement observées depuis 1987. A l'inverse en automne, les concentrations en 2009 font partie des plus fortes concentrations

mesurées depuis 1987. Comme l'illustre la figure 3.10, les concentrations en ammonium depuis 1987 présente une très forte variabilité interannuelle sur l'ensemble des points. Les différences de concentrations en ammonium observées en 2009 comparées aux autres années s'inscrivent dans cette distribution très variable.

La figure 3.11 présente la distribution des teneurs en ammonium enregistrées entre 1987 et 2009. L'ensemble des concentrations mesurées en 2009 se situe largement en dessous des médianes pluriannuelles au printemps et en été. Au cours de ces saisons, les concentrations mesurées en 2009 sont parmi les plus basses observées depuis 1987. A l'inverse en automne 2009, les concentrations en ammonium sont élevées et dépassent la valeur médiane établie sur la période 1987-2008. La forte dispersion des valeurs confirme l'importante variabilité de ce paramètre dans le milieu. Toutefois quelques caractéristiques se distinguent avec au printemps, une concentration médiane du point *rejet* sensiblement supérieure à celle des deux autres points et durant le reste de l'année la présence d'un gradient croissant côte-large.

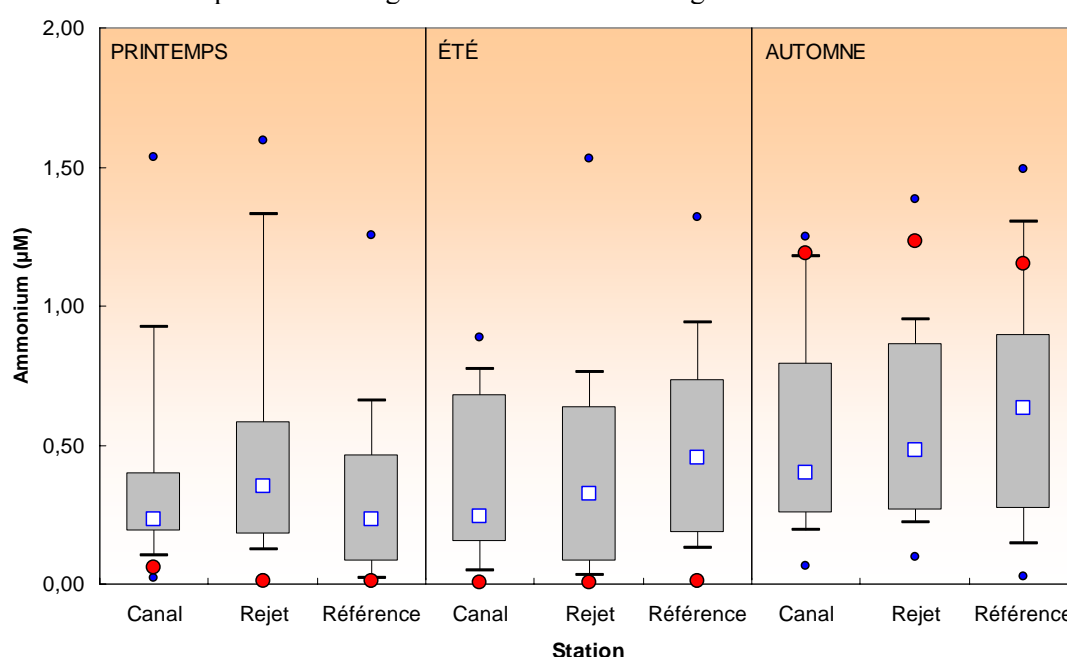


Figure 3.11 : Distributions des concentrations en ammonium par campagne et par point depuis 1987. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▭) ; les moustaches, 80 % des valeurs (T). Les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2009 (●)

### 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	Été	Automne
Canal / Rejet	0,783	0,808	0,077
Référence / Rejet	0,065	0,072	0,289
Canal / Référence	<b>0,008</b>	0,107	0,188

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

Tableau 3.6 : « p-value » des tests statistiques sur l'ammonium

Cette année encore, les résultats confirment qu'il n'existe généralement pas de différence significative entre les trois points de surveillance pour ce sel nutritif, excepté au printemps entre les points *canal* et *référence*.

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 composé chimique. Les vidanges de ce circuit occasionnent donc des rejets d'environ une dizaine de tonnes par an (4,45 T en 2008 et 8 T en 2007, Rapports annuels de surveillance de l'environnement ; EDF). Les vidanges d'ammonium par la centrale dans les rejets peuvent parfois coïncider avec les campagnes de surveillance, comme ça a été le cas en juin 2004. Toutefois en raison du caractère très ponctuel de ces vidanges, ainsi que du fort taux de dilution dans les rejets, l'impact reste très limité. En 2009, tout comme la plupart des années précédentes d'ailleurs, le point *rejet* n'a présenté aucune concentration en ammonium anormalement supérieure ou significativement différente de celles des autres points de surveillance.

### 3.2.2.4. Nitrate et nitrite

#### 3.2.2.4.1 Variations spatiales et saisonnières du nitrate et du nitrite

La distribution des concentrations en nitrate et nitrite mesurées en 2009 est présentée sur la figure 3.12. Les teneurs en nitrate ont été comprises entre 0,12 et 5,5  $\mu\text{M}$  au point *canal*, entre 0,14 et 5,8  $\mu\text{M}$  au point *rejet* et entre 0,07 et 6,7  $\mu\text{M}$  au point *référence* en surface. Les teneurs en nitrite ont variées de 0,02 à 0,43  $\mu\text{M}$  au point *canal*, de 0,02 à 0,44  $\mu\text{M}$  au point *rejet* et enfin de 0,07 à 0,48  $\mu\text{M}$  au point *référence*.

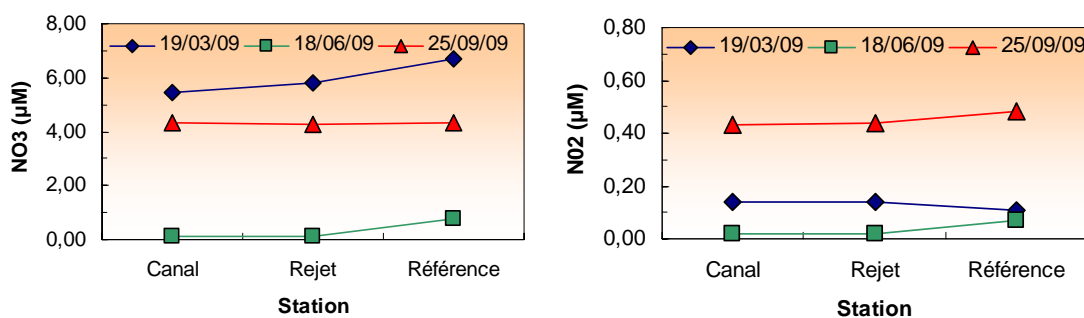


Figure 3.12 : Concentrations en nitrate ( $\mu\text{M}$ ) et nitrite ( $\mu\text{M}$ ) dans les eaux de surface en 2009

Les concentrations de nitrate et nitrite mesurées à Flamanville sont comparables à celles observées au large du plateau continental atlantique français à la fin de l'été par Lampert (2001) et par le Réseau Hydrologique du Littoral Normand (RHLN). Elles suivent une évolution saisonnière classique. Durant l'hiver, les précipitations drainent les bassins versants et permettent de contribuer à la constitution du stock de nutriments dans le milieu..

Au printemps lorsque les conditions de température et de luminosité sont suffisantes pour la photosynthèse, le phytoplancton se développe et consomme la quasi-totalité du stock de sels nutritifs, d'où les faibles teneurs observées en juin. Des changements au niveau des peuplements phytoplanctoniques, puis une dégradation de cette matière organique par les bactéries entraîne une régénération des sels et donc augmentation

des teneurs en nitrate et nitrite dans la colonne d'eau en automne (figures 3.12). L'échantillonnage ayant eu lieu durant la deuxième quinzaine de mars et la période productive débutant potentiellement mi-mars, il est probable que le stock hivernal de sels azotés ait déjà été entamé, comme le suggèrent les concentrations en chlorophylle ainsi que les images satellite (§ 3.3.2.1.4). Ceci est aussi à rapprocher des faibles concentrations en ammonium et silicate mesurées à la même période.

### 3.2.2.4.2 Variations inter-annuelles

Les variations des concentrations en nitrate et nitrite sur la période 1987-2009 sont respectivement présentées sur les figures 3.13 et 3.14.

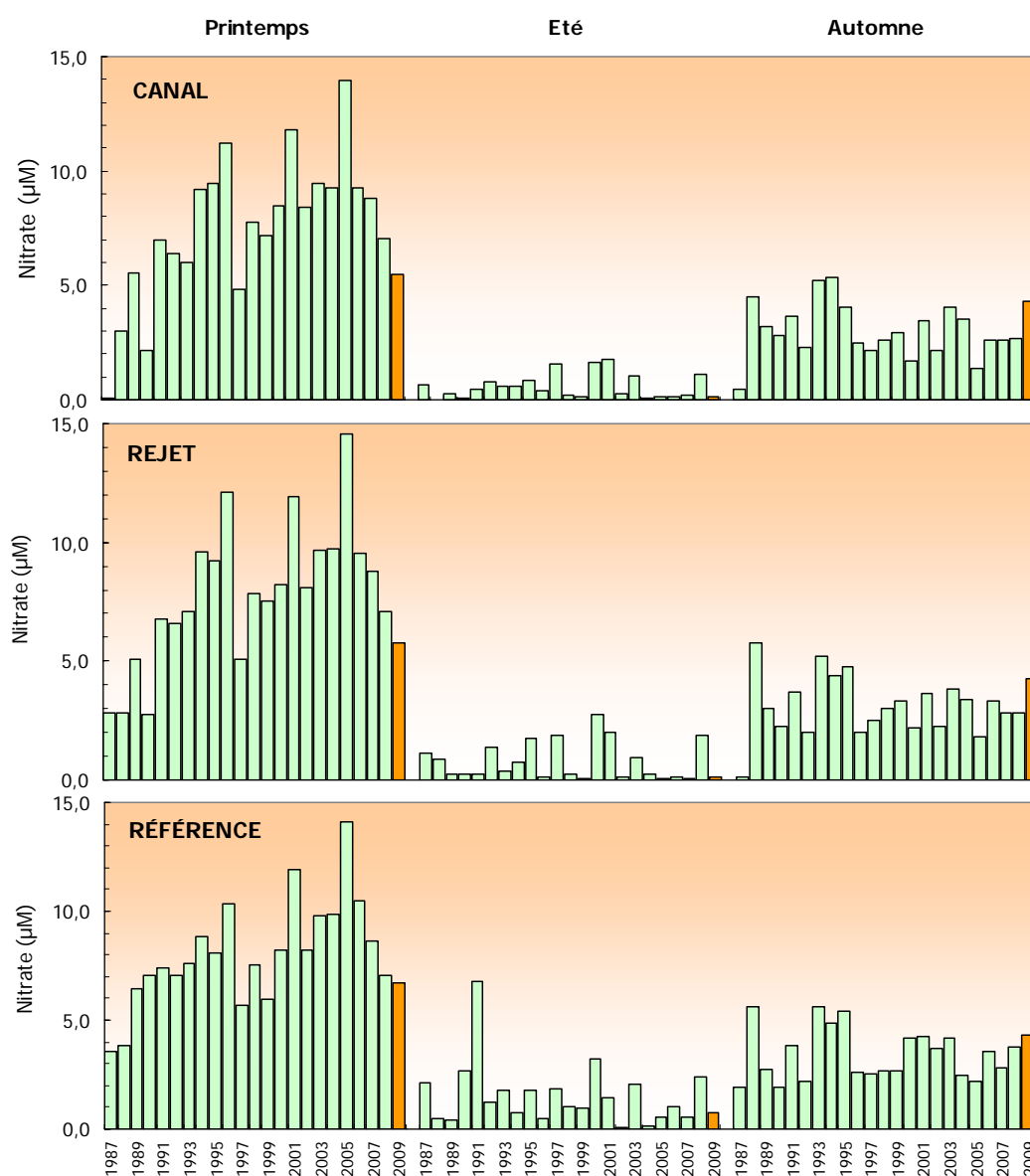


Figure 3.13 : Concentrations en nitrate dans l'eau de surface pour les campagnes de 1987 à 2009

Les concentrations en nitrate au printemps 2009 s'inscrivent une nouvelle fois dans une tendance à la baisse observée depuis 2005. Toutefois, elles restent toujours supérieures aux teneurs de l'ordre de 5 à 6 µM, reflétant en principe et en cette saison, l'influence des eaux atlantiques pour des salinités comprises entre 35,25 et 35,30 (Laane, 1992). En été, les concentrations en nitrate suivent la même tendance qu'au

printemps avec des concentrations en baisse par rapport à l'an dernier. Finalement à l'automne, les concentrations sont supérieures à celles de l'an passé.

Les concentrations en nitrite suivent la même tendance que celles des nitrates. Les concentrations sont inférieures à l'année dernière au printemps et en été et supérieures en automne. La gamme de concentrations couramment observées en Manche pour des salinités comprises entre 34,7 et 35,2 se situe entre la limite de détection analytique (0,01  $\mu\text{M}$ ) et 0,6  $\mu\text{M}$  (Laane, 1992). Les valeurs observées lors des campagnes de 2009 s'inscrivent dans cette gamme de concentration.

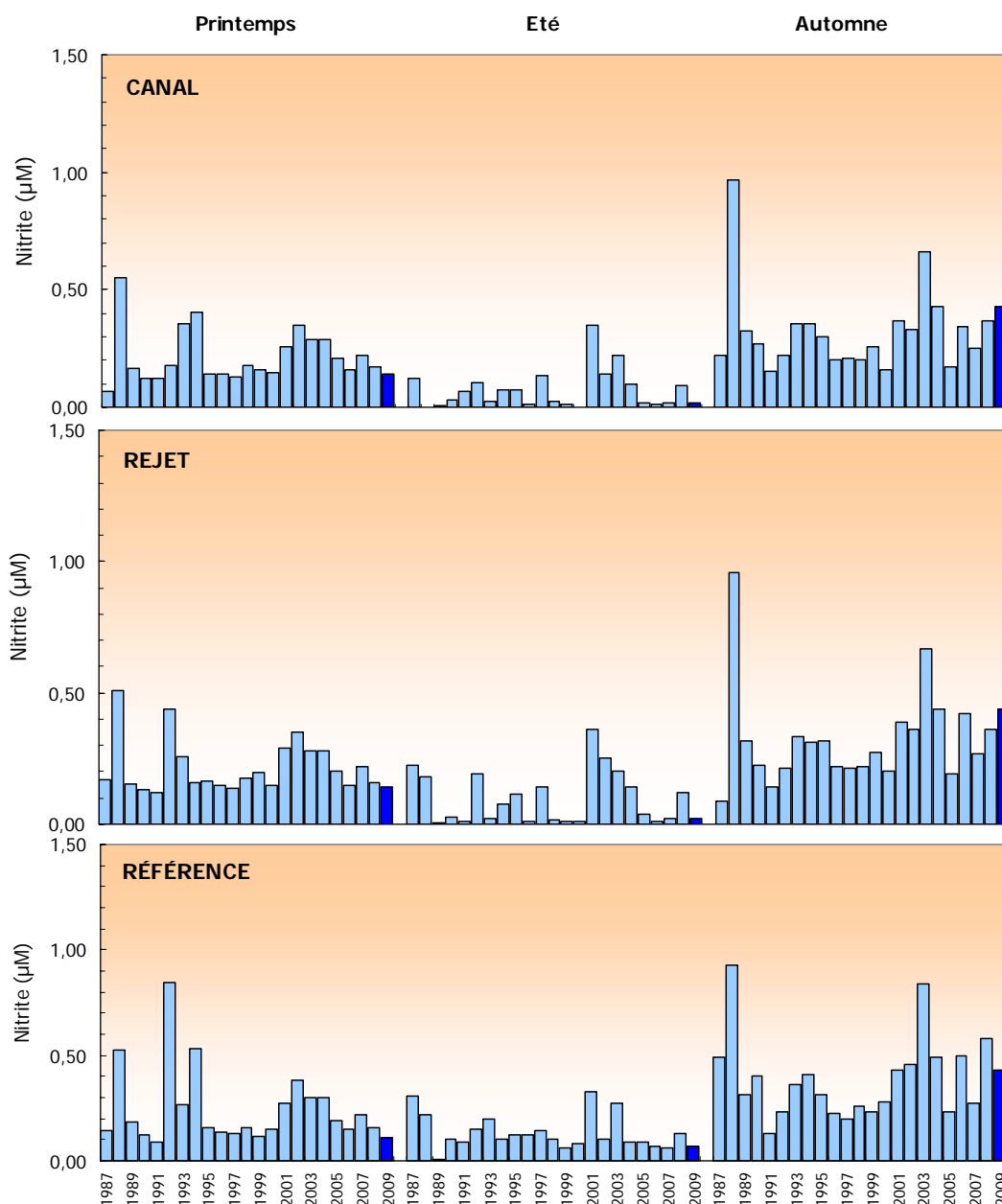


Figure 3.14 : Concentrations en nitrite dans l'eau de surface pour les campagnes 1987 à 2009

La figure 3.15 présente la distribution des teneurs en nitrate et nitrite mesurées entre 1987 et 2009. Pour l'ensemble des points de surveillance, les teneurs en nitrate et nitrite au printemps et en été 2009 se situent généralement en dessous des médianes pluriannuelles. L'inverse est observé en automne. Les médianes pluriannuelles aux différentes saisons illustrent clairement la présence du stock de nitrate en période

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

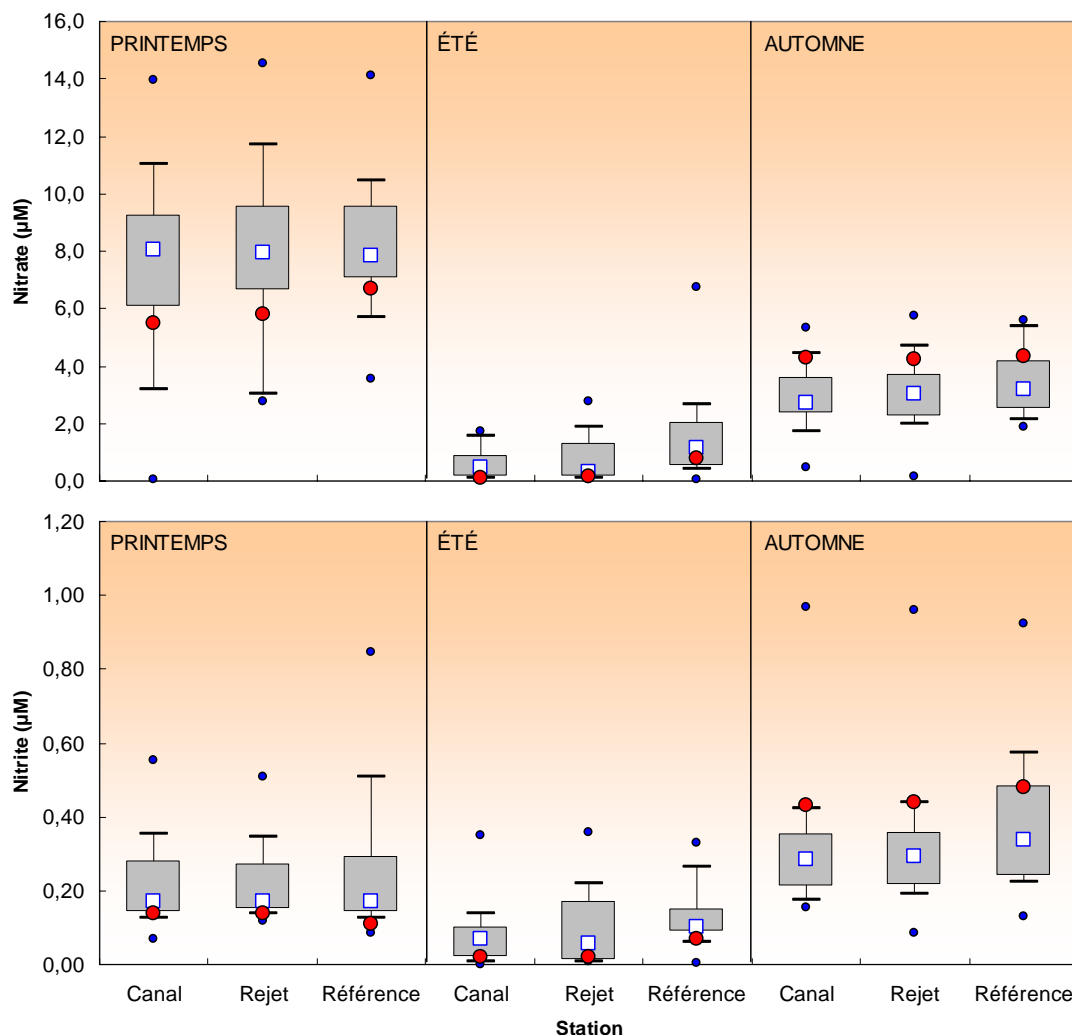


Figure 3.15 : Comparaison des distributions des concentrations en nitrate par campagne et par point depuis 1987. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50% des valeurs (▭) ; les moustaches, 80% des valeurs (┌┐). Les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2009 (●)



## 3.2.2.4.3 Approche statistique

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

	Comparaison	Printemps	Été	Automne
Nitrate	Canal / Rejet	<b>0,027</b>	<b>0,034</b>	0,302
	Référence / Rejet	0,286	<b>0,003</b>	<b>0,038</b>
	Canal / Référence	0,094	<b>0,000</b>	<b>0,021</b>
Nitrite	Canal / Rejet	0,984	0,078	0,242
	Référence / Rejet	0,793	<b>0,011</b>	<b>0,002</b>
	Canal / Référence	0,952	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>

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

Tableau 3.7 : «  $p\text{-value}$  » des tests statistiques pour le nitrate et nitrite depuis 1987

L'ensemble des résultats statistiques issu des comparaisons des valeurs en nitrate et en nitrite depuis 1987, indique principalement des différences significatives entre les points *référence-canal* et *référence-rejet* en été et en automne. Il existe aussi des différences significatives, entre les points *canal-rejet* au printemps et en été pour le nitrate. En été et en automne, le point *référence* présente une différence significative par rapport aux autres points. Ceci suggère des caractéristiques plus marquées entre la côte et le large sans doute en relation avec l'évolution des phénomènes biologiques.

## 3.2.2.5. Phosphate et silicate

## 3.2.2.5.1 Variations spatiales et saisonnières du phosphate et du silicate

La distribution des concentrations en phosphate et silicate mesurées en 2009 est présentée sur la figure 3.16. Les teneurs en phosphate ont été comprises entre 0,11 et 0,40  $\mu\text{M}$  au point *canal*, entre 0,12 et 0,41  $\mu\text{M}$  au point *rejet* et entre 0,15 et 0,44  $\mu\text{M}$  au point *référence* en surface (figure 3.16). Les concentrations en silicate ont varié de 0,94 à 4,7  $\mu\text{M}$  au point *canal*, de 0,80 à 4,8  $\mu\text{M}$  au point *rejet*, et de 1,2 à 4,7  $\mu\text{M}$  au point *référence* en surface (figure 3.16).

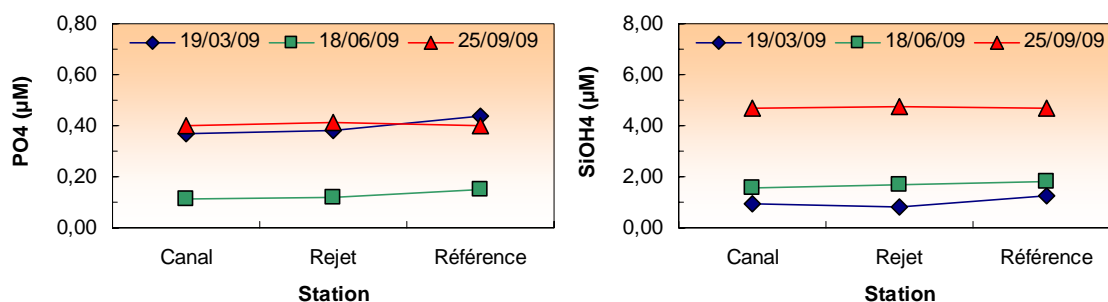


Figure 3.16 : Concentrations en phosphate et silicate ( $\mu\text{M}$ ) dans les eaux de surface en 2009

Les concentrations de ces deux sels nutritifs présentent peu de variabilité spatiale. Sur le plan temporel, les teneurs en phosphate présentent des variations saisonnières comparables à celles du nitrate. Au début du printemps, les concentrations sont relativement élevées soulignant la présence d'une partie du stock hivernal. Elles sont du même ordre de grandeur que celles relevées par Laane (1992) en Manche occidentale (0,4-0,5  $\mu\text{M}$  pour des salinités variant de 35,25 à 35,30). En été, les teneurs en phosphates et silicates diminuent fortement en raison de leur assimilation

par le phytoplancton. En particulier, la diminution des concentrations en silicate est attribuable à une utilisation rapide de la silice par les diatomées, espèce phytoplanctonique dominante dans ce secteur de la Manche tout au long de l'année (voir chapitre 3.3). En automne, les teneurs des deux sels nutritifs augmentent sous l'effet des processus de régénération. Comme en 2008, la régénération de la silice biogénique est plus marquée que celle du phosphate. Ceci est généralement observé sur le plateau continental Atlantique français (Ragueneau *et al.* 1994 ; Lampert 2001). Finalement, les variations saisonnières des sels nutritifs (phosphate et silicate) sont similaires à celles observées depuis le début des études de surveillance.

### 3.2.2.5.2 Variations inter-annuelles

Les variations des concentrations en phosphate et silicate sur la période 1987-2009 sont respectivement présentées sur les figures 3.17 et 3.18.

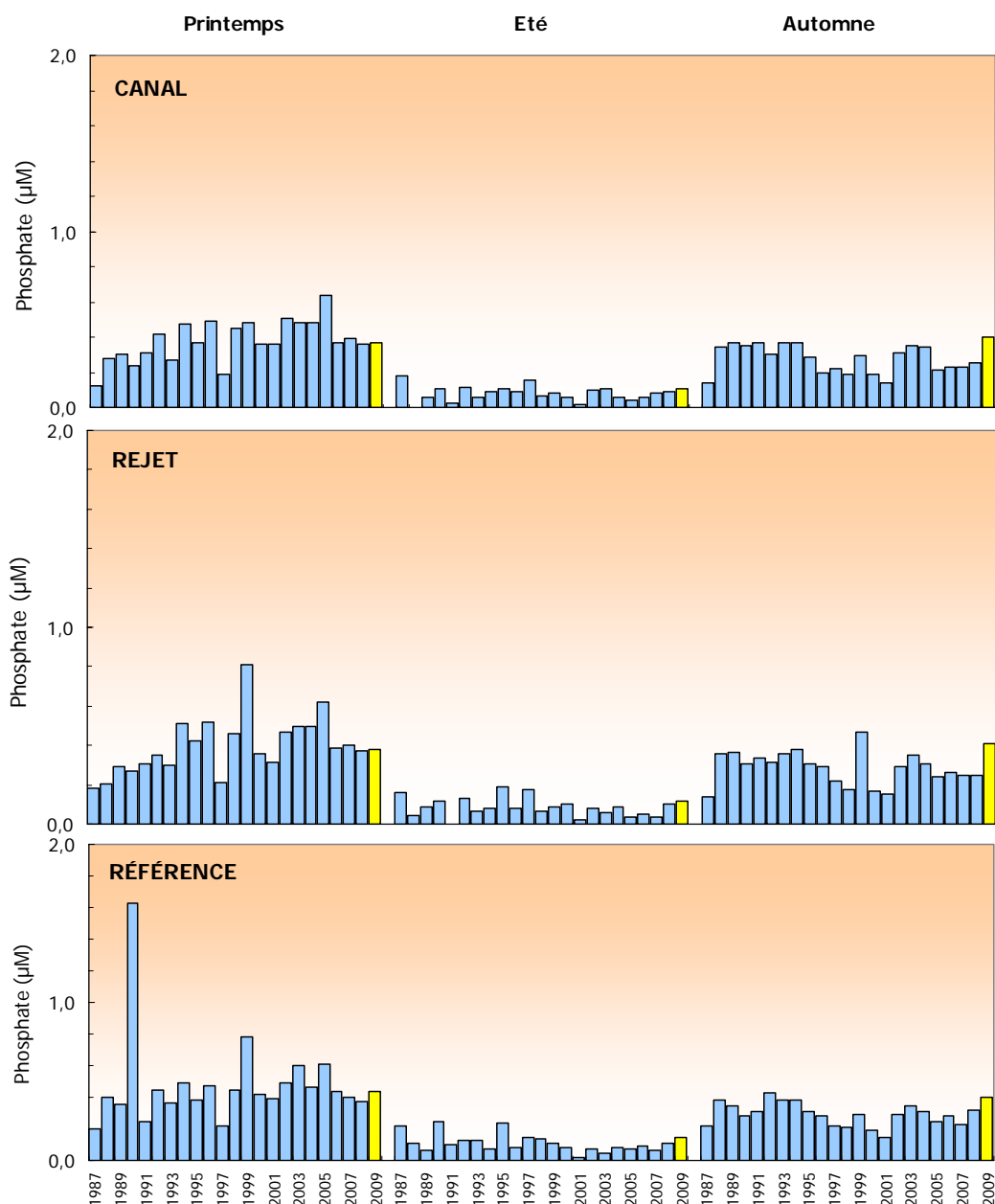


Figure 3.17 : Concentrations en phosphate dans l'eau de surface lors des campagnes 1987 à 2009

Les teneurs en phosphate mesurées en 2009 sont systématiquement supérieures à celles de 2008 mais du même ordre de grandeur. En automne, elles sont parmi les plus fortes observées depuis le début de la surveillance en 1987.

Les concentrations en silicate mesurées en 2009 sont inférieures à celles de 2008 au printemps. C'est ainsi la quatrième année consécutive caractérisée par une diminution des concentrations. Les faibles teneurs au printemps corroborent l'hypothèse selon laquelle une partie du stock hivernal de sels nutritifs a été assimilée par le phytoplancton (absence d'ammonium au printemps). Finalement, en été et en automne les concentrations en silicate mesurées en 2009 augmentent par rapport aux années précédentes. Elles restent toutefois dans la gamme de concentrations généralement observée dans ce secteur en ces saisons.

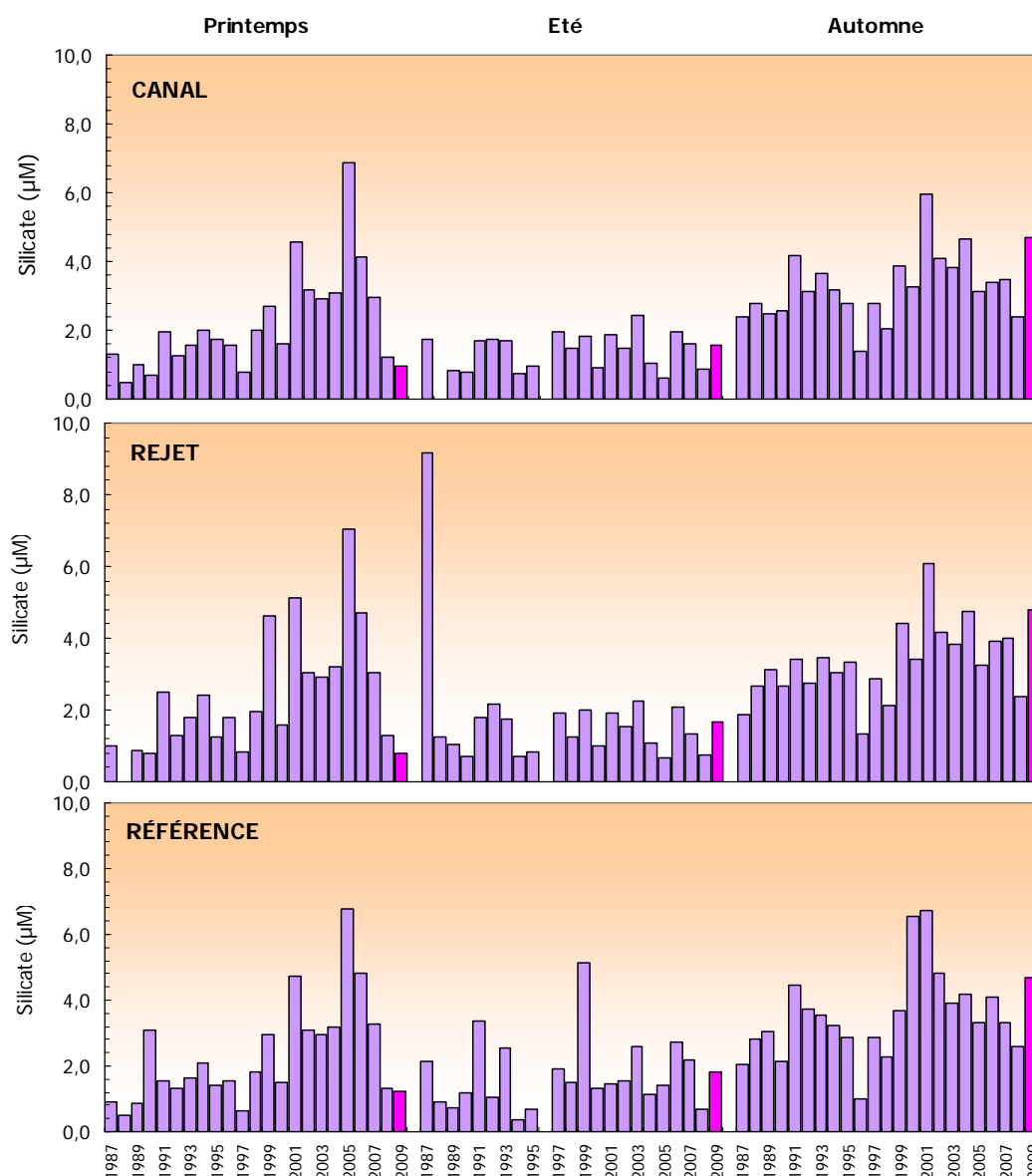


Figure 3.18 : Concentrations en silicate dans l'eau de surface lors des campagnes 1987 à 2009

Les figures 3.19 présentent respectivement la distribution des teneurs en phosphate et silicate mesurées entre 1987 et 2009. Au printemps 2009, les concentrations en phosphate sont similaires aux médianes pluriannuelles. Durant le reste de l'année 2009, les teneurs en phosphate sont supérieures aux concentrations médianes établies

entre 1987-2008. Notamment en automne, les concentrations en 2009 sont proches des maximums observés depuis le début de la surveillance. Les concentrations en silicate sont inférieures aux médianes pluriannuelles au printemps puis supérieures au cours des autres saisons. Les concentrations se situent généralement dans la fourchette haute de 50 % à 80 % des concentrations habituellement observées sur la période 1987-2008. Les concentrations de phosphate et silicate décrivent des variations saisonnières classiques liées à des processus d'assimilation en période estivale et de régénération en période automnale.

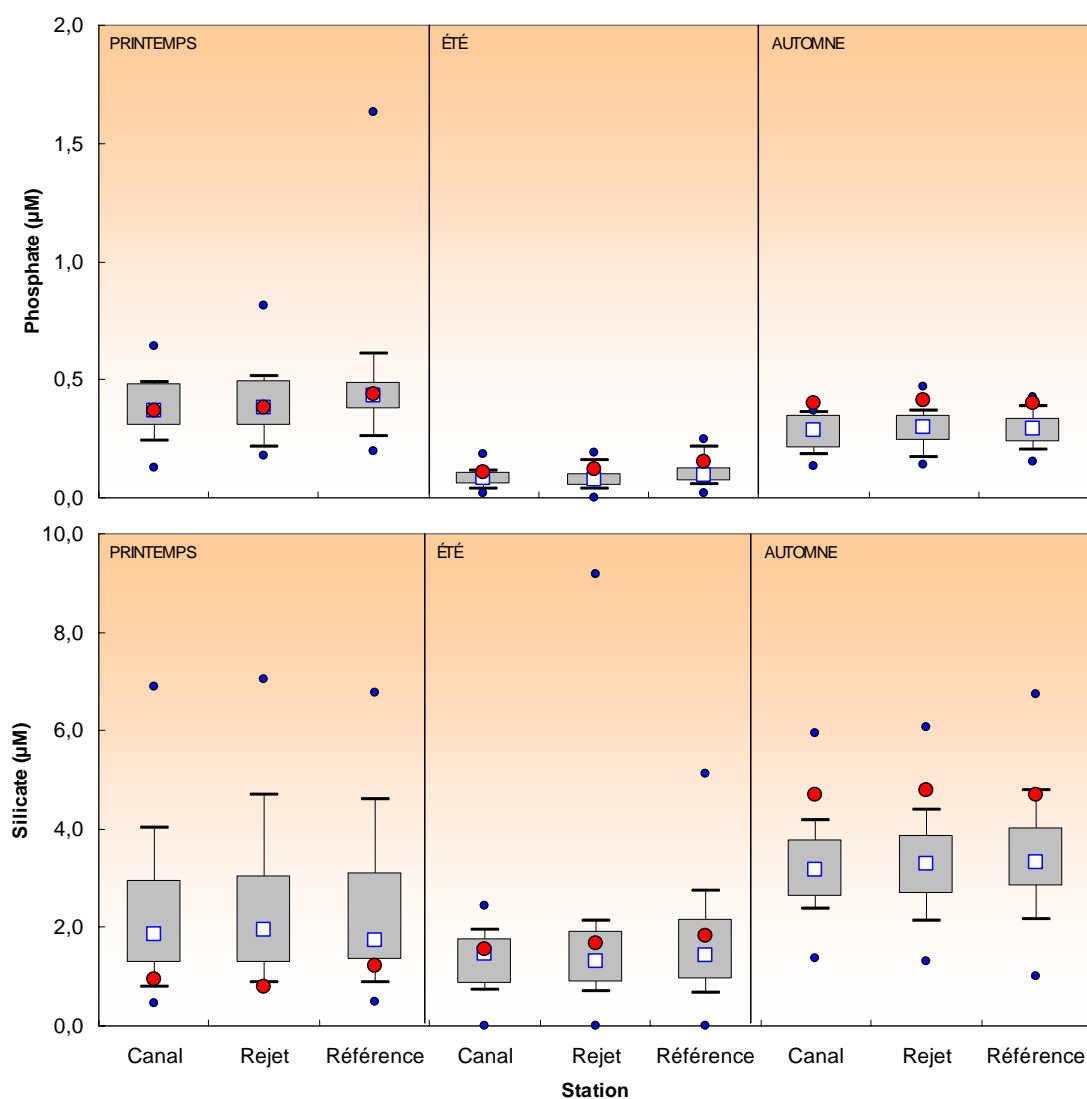


Figure 3.19 : Distributions des concentrations en phosphate et silicate par campagne et par point depuis 1987. Le point central représente la médiane ( $\square$ ) ; la boîte englobe 50% des valeurs ( $\square$ ) ; les moustaches, 80% des valeurs ( $\top$ ). Les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales ( $\bullet$ ). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2009 ( $\bullet$ )

Pour ces deux nutriments, le gradient côte-large n'est pas très marqué. Les concentrations de silicate sont caractérisées par une plus forte dispersion que celles du phosphate. Cependant pour les concentrations en silicate, l'écart entre les valeurs médianes du printemps et de l'été est plus faible.

### 3.2.2.5.3 Approche statistique

Le tableau 3.8 présente les résultats des tests statistiques réalisés sur les concentrations en phosphate et silicate depuis 1987. D'une façon générale, il y a peu de différences significatives entre les concentrations mesurées aux différentes stations de surveillance. Dans le cas du phosphate, les seules différences significatives observées sont entre les points *canal-référence* au printemps et en été, ainsi que *référence-rejet* en été. Pour le silicate, aucune différence significative n'est observée.

	Comparaison	Printemps	Été	Automne
Phosphate	Canal / Rejet	0,243	0,424	0,586
	Référence / Rejet	0,037	<b>0,011</b>	0,276
	Canal / Référence	<b>0,004</b>	<b>0,013</b>	0,084
Silicate	Canal / Rejet	0,072	0,330	0,352
	Référence / Rejet	0,242	0,313	0,338
	Canal / Référence	0,796	0,058	0,132

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

Tableau 3.8 : «  $p\text{-value}$  » des tests statistiques les teneurs en phosphate et silicate depuis 1987

La centrale peut représenter une source de phosphate pour le milieu marin. Les circuits pour le refroidissement de l'îlot nucléaire sont alimentés en eau déminéralisée conditionnée au phosphate trisodique ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ). Le phosphate trisodique, utilisé comme agent anti-corrosion, permet en effet d'ajuster le pH dans ces circuits de réfrigération intermédiaire. Les purges des circuits auxiliaires occasionnent donc des rejets qui atteignent environ  $1 \text{ T an}^{-1}$  (0,81 en 2008, 0,79 T en 2007 ; Rapport annuel de surveillance de l'environnement - EDF). Les résultats des tests statistiques montrent que ces rejets ne sont pas ou très peu perceptibles.

### 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 2009 ont variées de 1,8 à 3,7 mg/L au point *canal*, de 2,2 à 9,0 mg/L au point *rejet* et de 1,6 à 31,6 mg/L au point *référence* (figure 3.20). Les concentrations en MES au printemps sont caractérisées par un gradient croissant marqué de la station *canal* à la station *référence*. En été et en automne, les teneurs en MES présentent très peu de variations spatiales et temporelles.

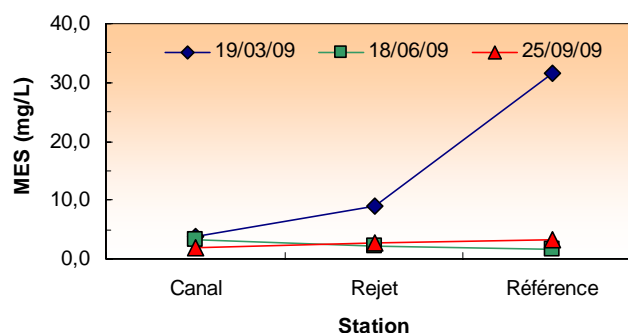


Figure 3.20 : Concentrations en MES dans les eaux de surface lors des campagnes 2009

## 3.2.2.6.2 Variations inter-annuelles

Les variations de concentrations en MES observées depuis 2001 sont présentées sur la figure 3.21 ci-dessous.

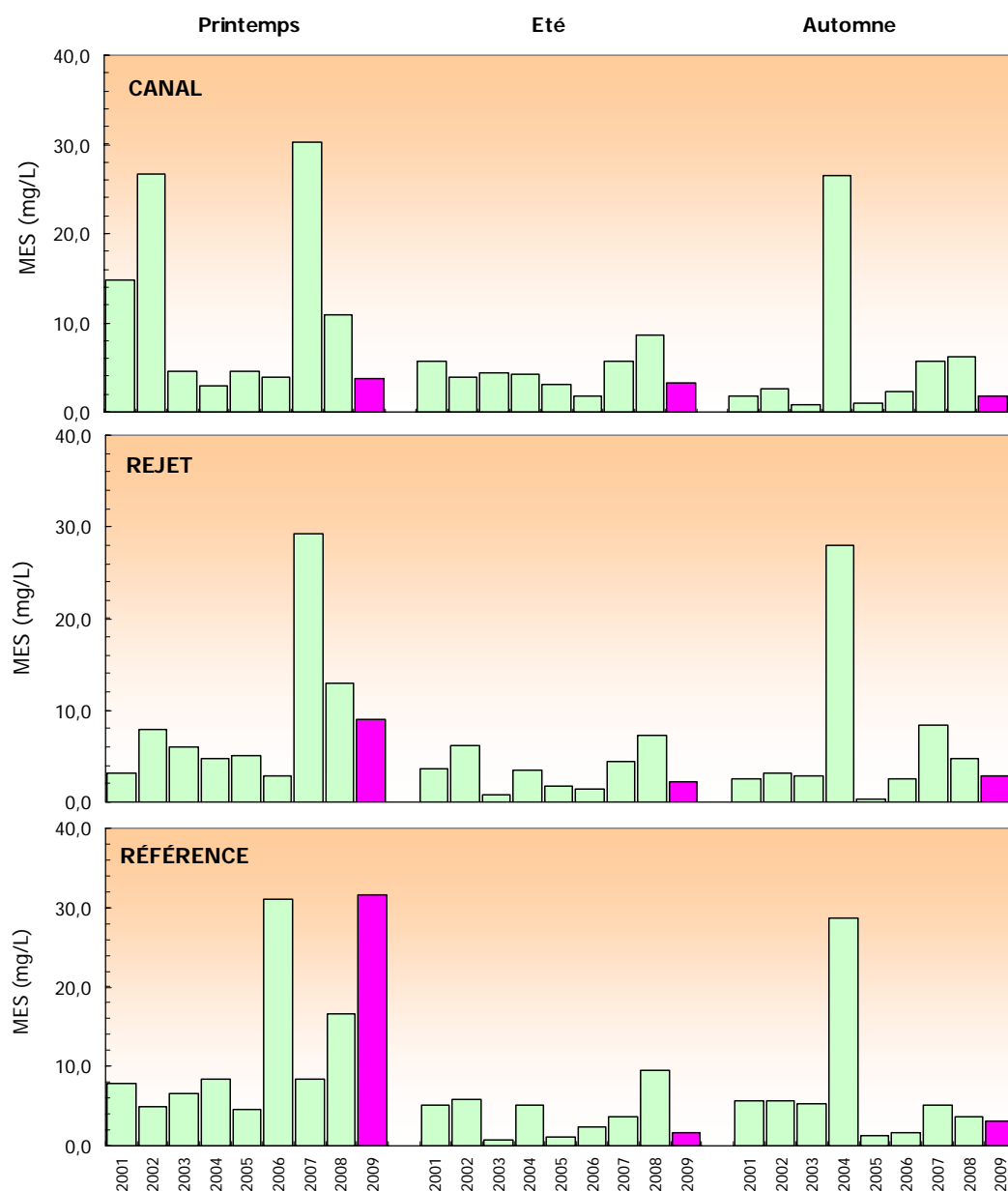


Figure 3.21 : Concentrations en MES dans l'eau de surface entre 2001 et 2009

Les concentrations en MES en 2009 sont généralement inférieures à celles de 2008, sauf à la station *référence* au printemps. La concentration en MES est alors la plus forte observée depuis le début du suivi de ce paramètre. Les concentrations sont généralement influencées par l'hydrodynamisme de la colonne d'eau à travers des remises en suspension à partir du sédiment. Celles-ci peuvent être liées aux courants générés par les marées ou des conditions météorologiques particulières (vent fort). De fortes teneurs en MES peuvent aussi résulter d'une production phytoplanctonique intense ou encore de remise en suspension d'importante quantité de sédiment. Ainsi, les concentrations de ce paramètre sont caractérisées par une variabilité généralement importante.

## 3.2.2.6.3 Approche statistique

Les résultats de 2009 complètent une série de données désormais assez importante pour réaliser des tests statistiques sur les différences de concentrations entre les points de surveillance. Le tableau 3.9 présente donc pour la première fois les résultats relatifs à l'étude statistique des teneurs en MES depuis 2001 à Flamanville.

Comparaison	Printemps	Été	Automne
Canal / Rejet	0,380	0,069	0,179
Référence / Rejet	0,385	0,252	0,351
Canal / Référence	0,745	0,351	0,111

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

Tableau 3.9 : « *p-value* » des tests statistiques sur les teneurs en MES

Les résultats du tableau 3.9 montrent qu'il n'existe pas de différence significative entre les points de surveillance toute l'année. Ceci confirme les conclusions émises les années précédentes selon lesquelles les MES ne présentent pas de concentrations anormales. Les activités de la centrale de Flamanville à travers les rejets de MES liés au prétraitement de l'eau pour la station de déminéralisation n'apparaissent pas modifier de façon significative la distribution spatiale et temporelle des MES dans l'eau de mer.

## 3.2.2.7. Bore

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

Les rejets de bore en milieu marin se font donc par l'intermédiaire des effluents radioactifs liquides en conformité avec la valeur fixée par la réglementation (40 tonnes par an d'acide borique selon les termes de l'arrêté interministériel du 11 mai 2000). En 2008, 6408 kg d'acide borique ont été rejetés. 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. A titre d'exemple, l'institut national pour l'environnement et les risques industriels (INERIS) rapportent, lors d'un inventaire exceptionnel en 2005, des concentrations de bore de l'ordre de 4,7 mg/L en Baie du Mont Saint Michel en juin (Source : [http://rsde.ineris.fr/liste\\_subs\\_quantifiees.php](http://rsde.ineris.fr/liste_subs_quantifiees.php)).

## 3.2.2.7.1 Variations spatiales et saisonnières du bore

Les teneurs en bore enregistrées en 2009 ont varié de 4,6 à 5,2 mg/L (figure 3.22). Les concentrations varient peu, tant sur le plan spatial que temporel. Elles sont similaires aux différents points de suivi.

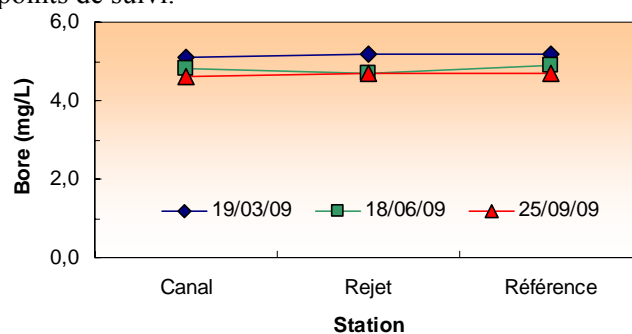


Figure 3.22 : Concentrations en bore dans l'eau de surface lors des campagnes 2009

## 3.2.2.7.2 Variations inter-annuelles

Les variations en bore observées depuis 2000, dans le cadre de la surveillance de la centrale de Flamanville, sont présentées sur la figure 3.23. Les concentrations en bore en 2009 ont été, en général, sensiblement supérieures à celles observées en 2008 et en particulier au printemps. En été et en automne au point *canal*, et en automne au point *référence*, les concentrations ont été inférieures à celles de l'année dernière.

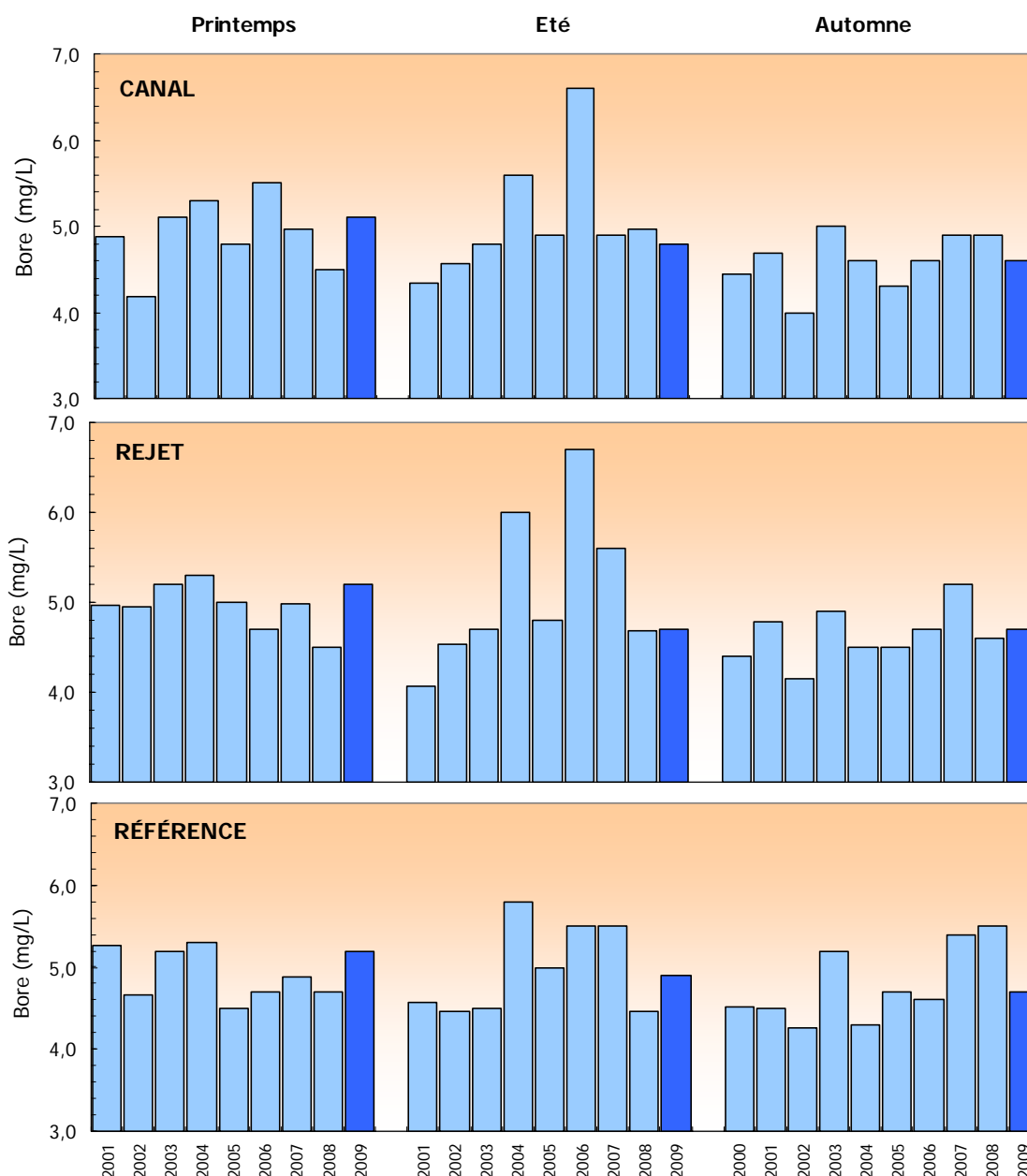


Figure 3.23: Concentrations en bore dans l'eau de surface lors des campagnes 2000 à 2009

La figure 3.24 présente sous forme de *boîtes à moustaches* la distribution des concentrations de bore mesurées depuis 2000. Au printemps et en été, les teneurs de 2009 sont nettement supérieures aux médianes pluriannuelles sur tout les points de suivi. En été et en automne, les concentrations en bore en 2009 sont très proches des



médianes. Les teneurs sont alors comprises dans 50 % des valeurs habituellement observées.

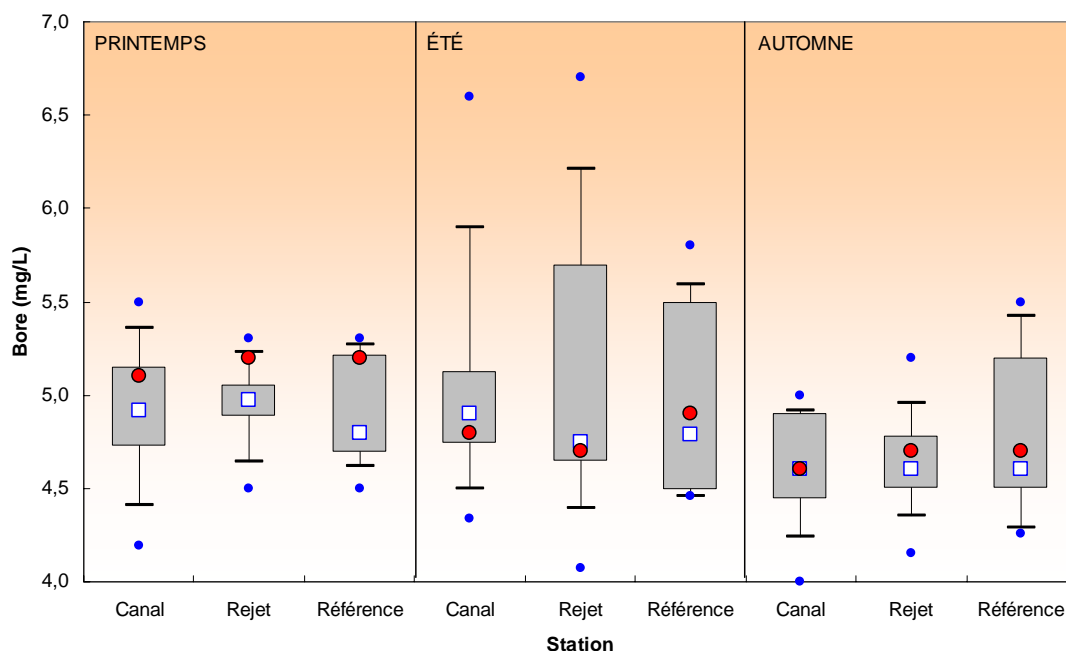


Figure 3.24 : Comparaison des distributions des concentrations en bore (mg/L) par campagne et par point depuis septembre 2000

La figure 3.24 met par ailleurs en évidence une plus forte dispersion des concentrations en bore durant l'été sur les points *rejet* et *référence*. Mais quelle que soit la saison, les médianes se situent globalement entre 4,5 et 5 mg/L de bore, valeurs considérées comme normales dans l'eau de mer. Cela suggère l'absence d'impact de la centrale sur le milieu à travers ses rejets de bore.

### 3.2.2.8. Trihalométhanes

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

Les quatre formes organo-halogénées étudiées sont :

- Tribromométhane = 'bromoforme' ( $\text{CHBr}_3$ ),
- Dibromomonochloro-méthane ( $\text{CHBr}_2\text{Cl}$ ),
- Dichloromonobromo-méthane ( $\text{CHBrCl}_2$ ),
- Trichlorométhane = 'chloroforme' ( $\text{CHCl}_3$ ).

Ces composés s'avèrent toxiques pour la faune et la flore marine. Des expériences écotoxicologiques sur des cultures de microalgues (*Skeletonema costatum*, *Thalassiosira pseudonana*, *Glinodinium halli* et *Isochrysis galbana*) ont montré que un taux d'inhibition de croissance de 50 % pour concentrations en chloroforme et bromoforme de 32 mg/L (Erickson et Freeman, 1978). Les concentrations mesurées lors des trois campagnes de surveillance 2009 ont rarement dépassé la limite de détection analytique de la méthode utilisée qui est de 1 µg/L. Néanmoins, la concentration en bromoforme est détectable au point rejet en été et en automne, à des niveaux de 2,1 et 1,7 µg/L respectivement. Ceci est largement en dessous du seuil de

10  $\mu\text{g L}^{-1}$ , concentration considérée comme acceptable en milieu marin (Abarnou et al. 1990)

### 3.2.3. Conclusion

Les températures de l'eau de mer mesurées en 2009 ont dans l'ensemble été très comparables à celle de l'année précédente aux différentes saisons. Un fort écart de température entre les points *rejet-référence* a toutefois été observé en été. Cet écart thermique est le plus important observé depuis 1987. En 2009, les différences de températures au niveau du *rejet* sont toujours significatives tout au long de l'année avec les autres points de surveillance (*canal* et *référence*). Néanmoins, les mesures de 2009, appuyées des résultats de modélisation, indiquent que l'étendue du panache de rejet reste toujours géographiquement très limité.

Les salinités enregistrées au cours de l'année 2009 ont été systématiquement inférieures à celles de 2008 sur les différentes stations de surveillance tout au long de l'année. Elles sont aussi inférieures aux valeurs médianes pluriannuelles calculées depuis l'année 1987, mais restent dans la gamme observée depuis le début de la surveillance. Bien que l'influence de la pluviométrie reste limitée dans ce secteur de la Manche, les points côtiers (*canal* et *rejet*) sont toujours caractérisés par des salinités inférieures à celui du large (*référence*). La présence de ce gradient côte-large pourrait être lié aux apports d'eau douce d'origine continentale. Un impact de la centrale via ses rejets d'eau déminéralisée est fort peu probable compte tenu du volume total de rejet et de la limite du débit journalier de ce rejet.

L'ensemble de nutriments mesurés lors des campagnes de surveillance 2009 présente une évolution saisonnière classique. Suite à l'augmentation de l'ensoleillement, les sels nutritifs sont assimilés et consommés par le phytoplancton qui se développe entre le printemps et l'été. En automne, principalement sous l'effet de l'activité bactérienne, la dégradation de la matière organique produite au printemps et en été conduit à la régénération des nutriments dans la colonne d'eau. Il est toutefois intéressant de noter que cette année, malgré une première campagne de surveillance relativement tôt dans l'année (mi-mars), les nutriments ont déjà été en partie assimilés par le phytoplancton. Les concentrations en nutriment ont alors généralement été largement inférieures aux médianes pluriannuelles sur l'ensemble des points. Seules les teneurs en phosphates sont restées très proches des valeurs médianes pluriannuelles, tout comme en 2008.

Les concentrations en MES mesurées en 2009 ont été généralement comprises dans la gamme de concentration observée depuis 2001 toute l'année et aux trois points de surveillance. Uniquement au printemps, la station référence a été caractérisée par une concentration maximale sensiblement supérieure à la gamme de concentrations établie depuis 2001 (>31,6 mg/L). L'absence de différence significative entre les points semble indiquer que, malgré des rejets de MES liés au prétraitement des eaux pour la station de déminéralisation, la distribution des MES dans la colonne d'eau ne semble pas être modifiée de façon perceptible par les activités de la centrale. En 2008, les quantités de MES rejetées étaient d'ailleurs restées faibles avec 1079 kg sur les 19400 kg autorisés selon les prescriptions de l'arrêté de rejets.

Les concentrations en bore mesurées au cours de l'année 2009 ont en général été comprises dans la gamme de concentration observée depuis 2001 aux trois points de surveillance. Les concentrations en bore, similaires à celle du milieu naturel, ainsi que l'absence de concentrations maximales au niveau du point *rejet*, suggèrent que l'impact de la centrale via ses rejets d'acide borique n'est pas perceptible.

Les valeurs de l'ensemble des produits de chloration recherchés dans l'eau de mer ont été généralement inférieures au seuil de détection analytique, à l'exception du

bromoforme au point *rejet* en été et en automne. Les concentrations ont alors été de 2,1 et 1,7 µg/L respectivement. Ces niveaux sont bien en dessous de la valeur seuil (10 µg/L) considérée encore comme acceptable en milieu marin. En outre l'absence de présence de bromoforme aux stations proches du rejet, il est raisonnable de penser que l'impact de ce rejet chimique est très limité.

En conclusion, les données acquises au cours des trois campagnes de surveillance en 2009 ne permettent pas de déceler d'anomalie dans la distribution et la variation des paramètres hydrologiques au niveau de la centrale électronucléaire de Flamanville. L'activité de la centrale à travers ses rejets chimiques et thermiques ne semble donc pas modifier de manière sensible et significative les caractéristiques hydrologiques intrinsèques du milieu.

### 3.3. Microbiologie

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 CNRVC<sup>11</sup> 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 3.10 propose une synthèse des souches de vibrions non cholériques identifiées, responsables d'infections humaines entre 1995 et 2005 sur le territoire français.

Un total de 102 cas d'infections à vibrions non cholériques a été répertorié entre 1995 et 2005. Six espèces ont été identifiées : *V. cholerae* (sérogroupes non-O1/non-O139), qui a été l'espèce la plus fréquemment isolée (49,0 %) ; *V. alginolyticus*, *V. parahaemolyticus* et *V. vulnificus* qui ont été respectivement responsables de 19,6 %, 16,8 % et 10,8 % des cas d'infections ; et les souches *V. fluvialis* et *V. hollisae* qui ont rarement été mises en cause, puisqu'elles représentent moins de 2 % des cas d'infections.

<sup>11</sup> 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
<b>1995 à 1998</b> (1)	7 (24,14)	5 (17,24)	7 (24,14)	9 (31,03)	abs	1 (3,45)	29
<b>1999 à 2001</b> (2)	10 (29,41)	3 (8,82)	3 (8,82)	15 (44,12)	2 (5,88)	1 (2,94)	34
<b>2001 à 2003</b> (3)	4 (12,50)	4 (12,50)	3 (9,38)	19 (59,38)	2 (6,25)	abs	32
<b>2004</b> (4)	abs	abs	4 (50)	4 (50)	abs	abs	8
<b>2005</b> (5)	3 (30)	abs	abs	7 (70)	abs	abs	10
<b>Synthèse de 1995 à 2005</b>	<b>20 (19,61)</b>	<b>11 (10,78)</b>	<b>17 (16,77)</b>	<b>50 (49,02)</b>	<b>2 (1,96)</b>	<b>2 (1,96)</b>	<b>102</b>

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

(1) Geneste *et al.* 2000

(2) Quilici *et al.* 2000

(3) Quilici *et al.* 2005

(4) Quilici et Fournier. 2004

(5) Quilici et Fournier. 2005

**Tableau 3.10 : 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 la colonne d'eau et les produits de la mer lorsque la température de l'eau s'élève et que les conditions redeviennent favorables à leur croissance (Vaillant *et al.*, 2005).

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

### 3.3.1. Matériel et méthodes

#### 3.3.1.1. Prélèvements

Conformément à la stratégie mise en place pour le site de Flamanville, les travaux de surveillance ont été réalisés autour de la pleine mer et par coefficients de mortes eaux les 19 mars, 18 juin et 25 septembre. Les prélèvements ont été effectués à bord de la vedette de la SNSM par le personnel du laboratoire départemental Frank Duncombe de Caen au même moment que les échantillons hydrologiques réalisés à bord du *N/O DELPHY*. Les échantillons d'eau ont été prélevés au moyen de flacons stériles, puis maintenus au froid pendant leur transport jusqu'au laboratoire pour analyse (le temps entre le prélèvement et l'analyse est inférieur à 6 heures).

**Les points échantillonnés ont été les suivants :**

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

La stratégie d'échantillonnage suivie en 2009 est présentée dans le tableau 3.11. Deux réplicats ont été réalisés pour le dénombrement des germes revivifiables et l'identification des vibrions halophiles.

Stations	Niveau d'échantillonnage	Germes totaux	Germes revivifiables	Vibrions halophiles
<i>Canal</i>	Surface	1	2	2
<i>Rejet</i>	Surface	1	2	2
<i>Référence</i>	Surface	1	2	2
	Mi-Profondeur	1	2	2

Tableau 3.11 : Stratégie d'échantillonnage en 2009

#### 3.3.1.2. 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 0,22  $\mu\text{m}$  teintée au laboratoire avec de l'Irgalan black (Millipore, GTBP04700),
- coloration avec une solution d'acridine orange (1/30 000e) tamponnée à pH 7,4 stérilisée par filtration à 0,22  $\mu\text{m}$ ,
- 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 depuis 2006. Mise au point par le laboratoire Pasteur, mais appelée "Méthode EDF" dans ce rapport, elle sera utilisée sur l'ensemble des centrales du bord de mer et 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 (tableaux 3.26 et 3.27).

Le protocole analytique utilisé est le suivant :

- Filtration de 10 mL à 1000 mL sur membrane en acétate de cellulose de porosité 0,45  $\mu\text{m}$ ,
- inclusion dans milieu TCBS à  $37 \pm 1^\circ\text{C}$  pendant 18 à 24 h,
- lecture des boîtes,
- 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.

### 3.3.1.3. Résultats

#### 3.3.1.4. Récapitulatif des résultats des mesures microbiologiques pour l'année 2009

Les résultats acquis au cours des trois campagnes de mesures pour l'année 2009 sur le site de Flamanville sont présentés dans le tableau 3.12. Les valeurs retenues pour les quantités de germes revivifiables sont les moyennes des deux répliquats pour les points *Canal*, *Référence* et *Référence* à mi-profondeur.

Pour le point *Rejet*, de façon à apprécier l'influence maximum du CNPE, la valeur retenue est celle du plus fort répliquat.

		Canal	Rejet	Référence	Référence ½ z	
19 MARS	<i>Germes totaux (g./mL)</i>	629 000	356 000	411 000	368 000	
	<i>Germes revivifiables (g./mL)</i>	151	184	114	236	
	V.H.	<i>V.halophiles/L</i>	<1	<1	<1	<1
		<i>Identif. de V. Halophiles</i>	Absence	Absence	Absence	Absence
18 JUIN	<i>Germes totaux (g./mL)</i>	1 140 000	557 000	608 000	818 000	
	<i>Germes revivifiables (g./mL)</i>	900	346	131	96	
	V.H.	<i>V.halophiles/L</i>	30 Va	2 Va + 1 Vspp	<1	<1
		<i>Identif. de V. Halophiles</i>	Va	Va + Vspp	Absence	Absence
25 SEPTEMBRE	<i>Germes totaux (g./mL)</i>	1 570 000	855 000	1 050 000	858 000	
	<i>Germes revivifiables (g./mL)</i>	1372	530	377	470	
	V.H.	<i>V.halophiles/L</i>	40 Va	20 Va	20 Va	4 Va
		<i>Identif. de V. Halophiles</i>	Va	Va	Va	Va

Va = *Vibrio alginolyticus* ; Vspp = *Vibrio sp.*

Tableau 3.12 : Récapitulatif des résultats de microbiologie pour 2009 dans les eaux de Flamanville

### 3.3.1.5. Résultats du dénombrement des germes totaux

#### 3.3.1.5.1 Variations spatiales et saisonnières des germes totaux en 2009

Les quantités de germes totaux en 2009 varient de 356 000 germes/mL au *rejet* en mars, à 1 570 000 germes/mL au point *canal* en septembre (figure 3.25). Comme en 2008, les valeurs observées en septembre sont plus fortes que celles enregistrées en mars et juin. 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. Finalement, les germes totaux présentent toute l'année des quantités minimales au *rejet*, malgré une élévation de la température sur ce point. Cette élévation spécifique de température ne semble donc pas favoriser la croissance bactérienne.



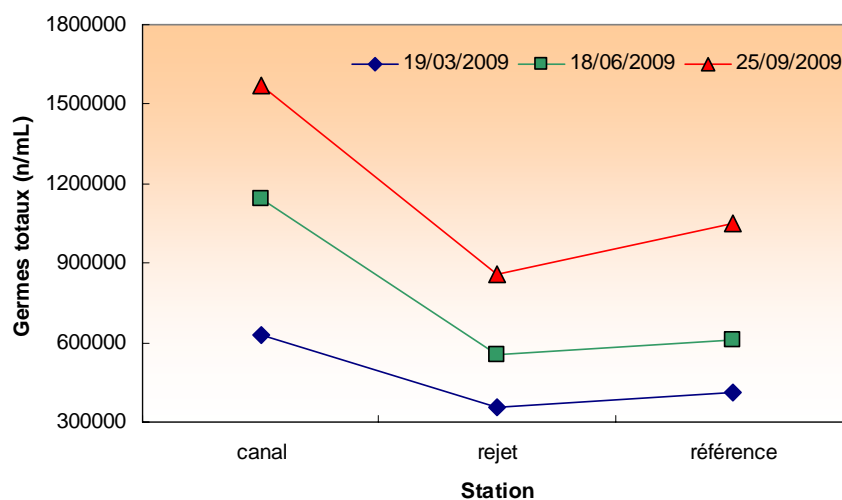


Figure 3.25 : Évolution des quantités de germes totaux par mL dénombrés par épifluorescence en 2009

#### 3.3.1.5.2 Variations inter-annuelles des germes totaux

Les nombres germes totaux dénombrés en 2009 aux différents points de suivi sont généralement supérieurs à ceux de l'année 2008 (figure 3.26). Depuis l'utilisation de la nouvelle méthode de détermination, les résultats obtenus en 2009 sont compris entre les valeurs extrêmes des années précédentes. Le changement de laboratoire d'analyse depuis l'an dernier, peut également avoir une forte influence étant donnée que les dénombrements reposent essentiellement sur l'identification visuelle de l'opérateur.

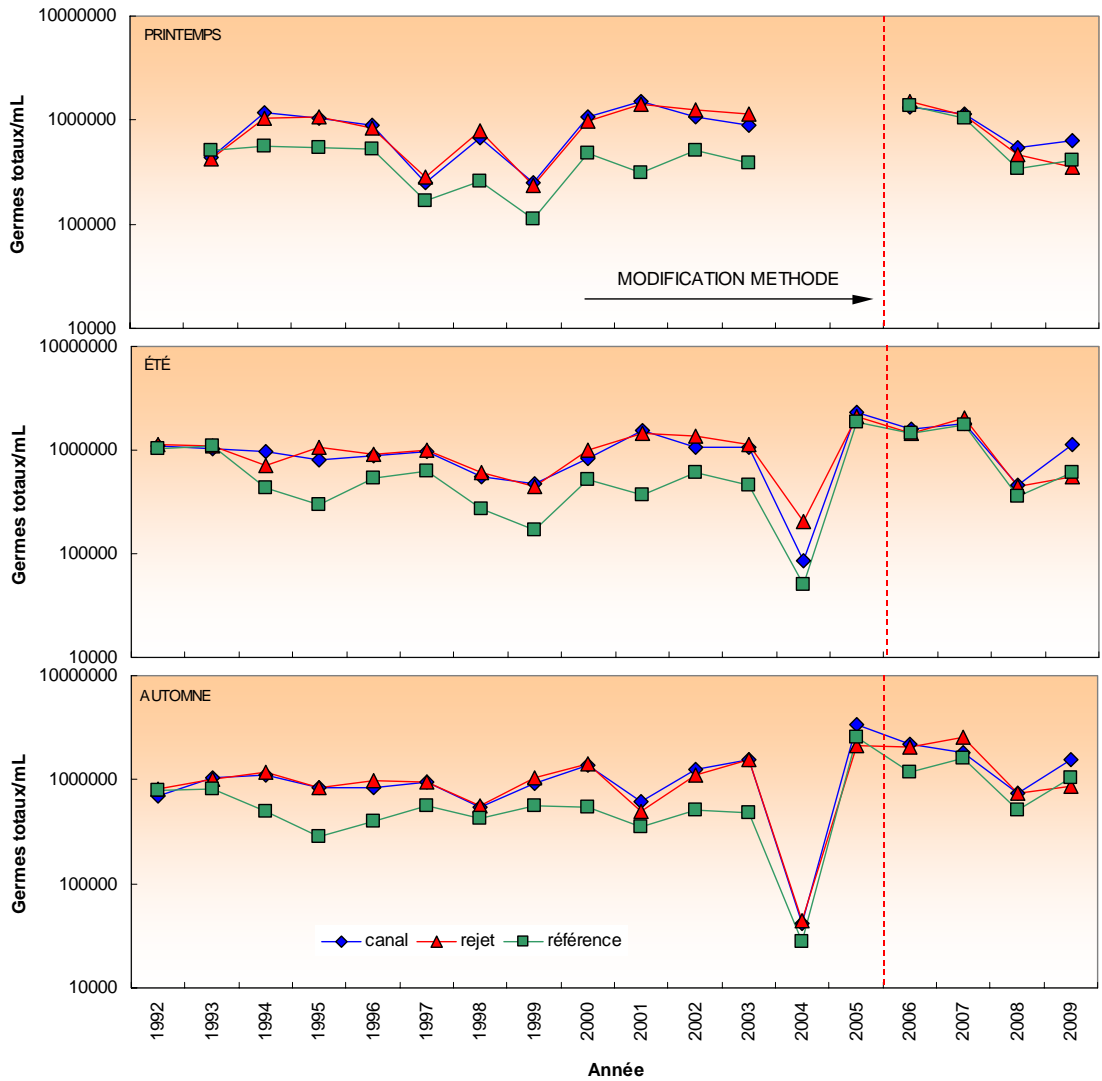


Figure 3.26 : Évolution des quantités de germes totaux par mL dénombrés par épifluorescence depuis 1992

En 2009, les quantités de germes ont toutes été inférieures aux médianes pluriannuelles. Les points *rejet* et *référence* sont caractérisés par les valeurs généralement les plus faibles. Les *boîtes à moustaches* indiquent une augmentation des abondances en germes totaux du printemps vers l'automne. Par ailleurs, au printemps et en été, il existe un faible gradient décroissant côte-large.

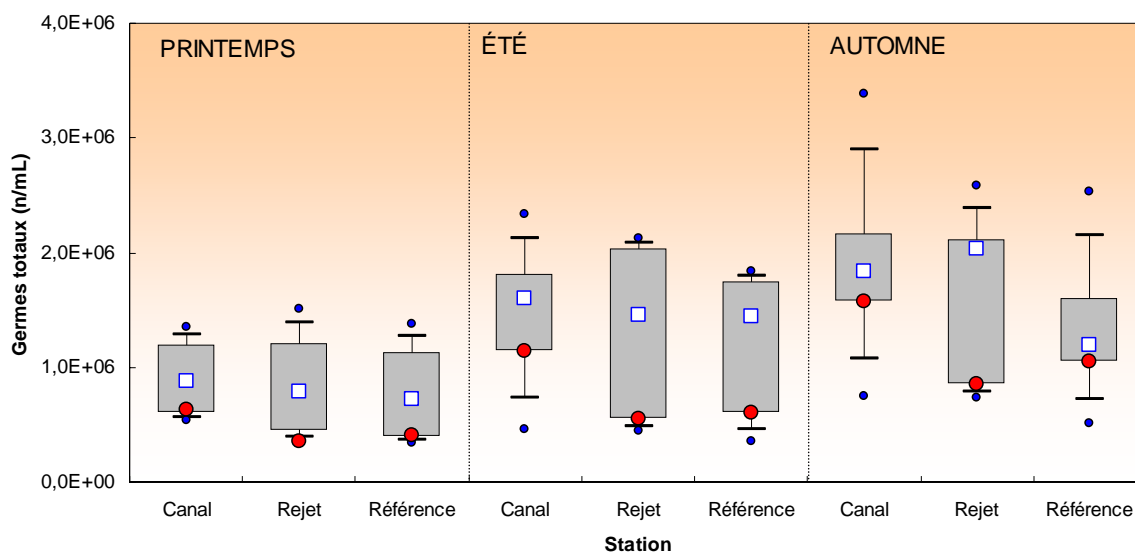


Figure 3.27 : Germes totaux depuis 2005 dénombrés par épifluorescence et valeurs 2009 (en rouge)

### 3.3.1.5.3 Approche statistique

Le changement de protocole analytique ne nous permet pas de réaliser une approche statistique robuste sur le nombre de germes totaux. Il faudra encore attendre quelques années pour compléter une série de données assez conséquente.

### 3.3.1.6. Résultats en germes revivifiables sur milieu de Zobell

#### 3.3.1.6.1 Variations spatiales et saisonnières des germes revivifiables

Le nombre de germes revivifiables varie de 114 germes/mL mesurés au point *référence* au mois de mars, à 1372 germes/mL au point *canal* en septembre (figure 3.28). Le nombre de germes revivifiables augmente du printemps vers l'automne sur tous les points de suivi. Les valeurs maximales aux différentes saisons sont souvent enregistrées à la station *canal*. En été et en automne 2009, il existe un gradient décroissant marqué de la côte vers le large.

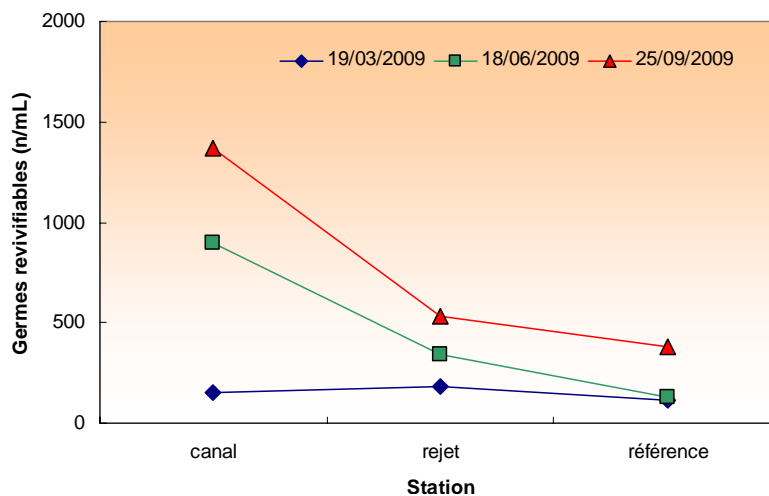


Figure 3.28 : Évolution des quantités de germes revivifiables par mL dénombrés sur milieu de Zobell en 2009

## 3.3.1.6.2 Variations inter-annuelles des germes revivifiables

La figure 3.29 présente les variations de germes revivifiables depuis 1987. Les abondances de 2009 sont inférieures à celles de 2008 au printemps et en été, et supérieures en automne. En été, l'abondance des germes, particulièrement élevée en 2008, diminue de façon significative et repasse sous le seuil de 1000 n/mL. En revanche en automne à la station *canal*, l'augmentation régulière observée depuis 2003 se poursuit en 2009. L'abondance alors atteinte représente la valeur maximale observée à ce point depuis 1987.

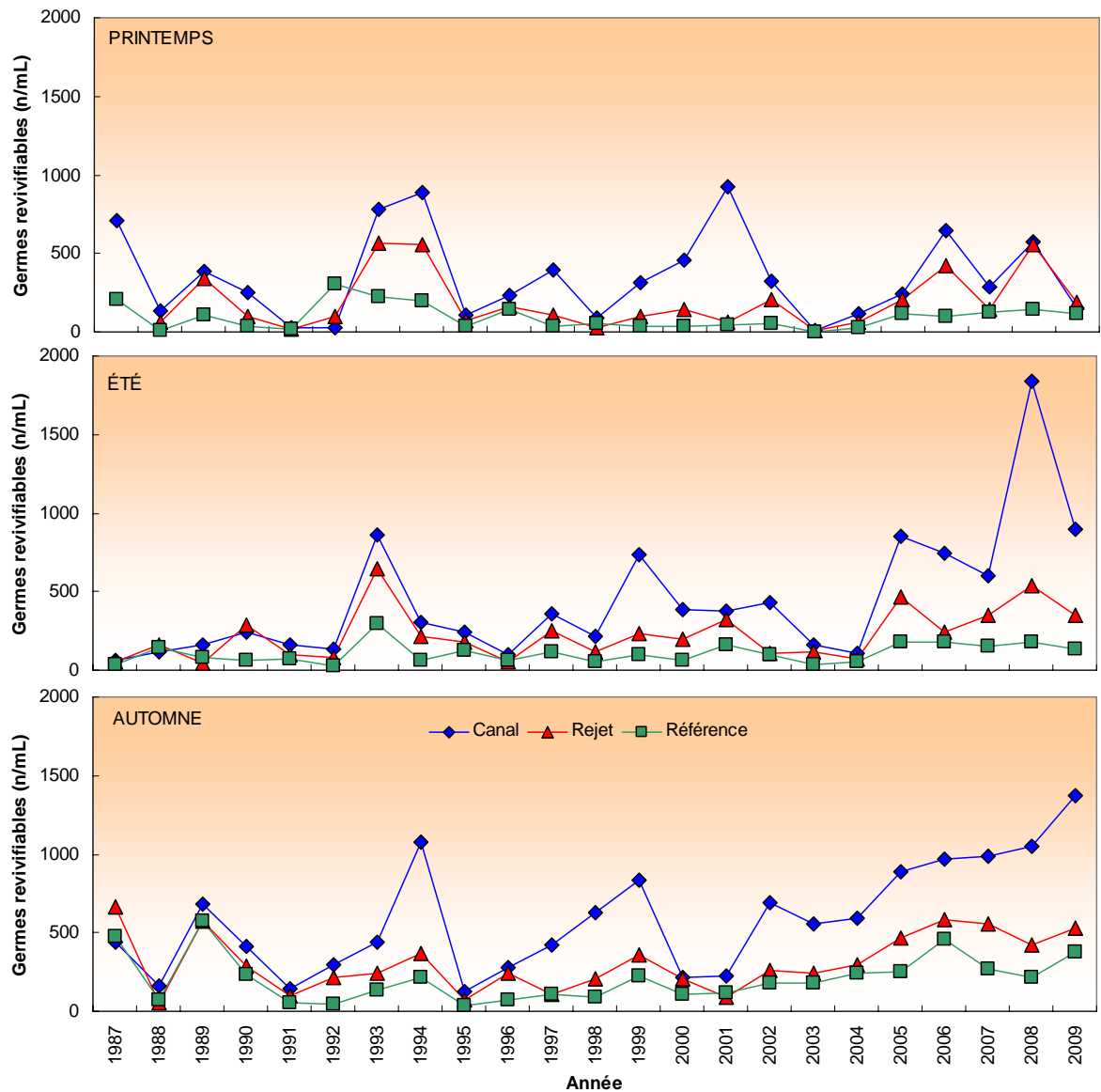


Figure 3.29 : Évolution des quantités de germes revivifiables par mL depuis 1987

Finalement, la figure 3.29 confirme que depuis 1987 les plus fortes quantités de germes s'observent généralement sur le point *canal*. Alors que celles enregistrées sur les points *rejet* et *référence*, qui restent assez stables sur la période, sont plus faibles.

La figure 3.30 présente la distribution des germes revivifiables sous forme de *boîtes à moustaches*. En 2009, les valeurs de germes revivifiables sont généralement

supérieures aux médianes pluriannuelles. En particulier en été au point *canal*, un nouveau maximum sur la période 2005-2009 est établi (1372 n/mL). En général, le point *canal* présente la plus forte dispersion, soulignant ainsi l'étendue de sa variabilité depuis 2005. Les médianes pluriannuelles indiquent aussi la présence du gradient décroissant de la côte vers le large quelle que soit la saison.

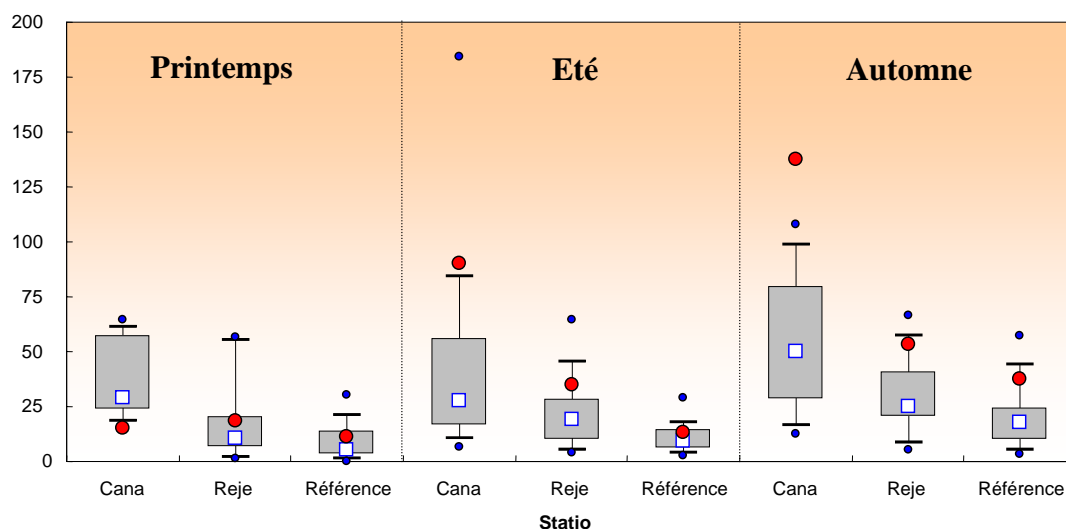


Figure 3.30 : Germes revivifiables (nombre par mL) dénombrés depuis 2005 et valeurs 2009 en rouge

### 3.3.1.6.3 Approche statistique

Le tableau 3.13 présente les résultats des tests statistiques réalisés sur l'abondance des germes revivifiables depuis 1987. Cette étude statistique révèle qu'il existe une différence significative entre tous les points de suivi quelle que soit la saison. Le gradient côte-large marqué entre les stations de surveillance explique vraisemblablement la présence de ces différences. Il est donc difficile d'attribuer une singularité au point de *rejet*.

Comparaison	Printemps	Été	Automne
<i>Canal / Rejet</i>	0,000	0,000	0,000
<i>Référence / Rejet</i>	0,004	0,000	0,000
<i>Canal / Référence</i>	0,000	0,000	0,000

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

Tableau 3.13 : Probabilité associée  $p$  des tests statistiques pour les germes revivifiables sur milieu de Zobell

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

#### 3.3.1.7.1 Identification de vibrions halophiles

L'identification des vibrions halophiles suivant la méthode EDF est présentée sur le tableau 3.14. Il met en évidence la présence dès le mois de mars, de deux souches sur le point *canal* : *Vibrio vulnificus*, et *Photobacterium damsela*. Les températures particulièrement douces du mois de mars ont pu favoriser l'établissement de *Vibrio vulnificus* qui, d'après Quilici et al. (2000), s'observent généralement entre la fin de l'été et le début de l'automne.

ANCIENNE METHODE																																																		
V. alginolyticus	canal																																																	
	réf.érence																																																	
	rejet																																																	
V. vulnificus	canal																																																	
	réf.érence																																																	
	rejet																																																	
V. parahemol.	canal																																																	
	réf.érence																																																	
	rejet																																																	
Ph. Damsela	canal																																																	
	réf.érence																																																	
	rejet																																																	
V. fluvialis	canal																																																	
	réf.érence																																																	
	rejet																																																	
V. cholerae	canal																																																	
	réf.érence																																																	
	rejet																																																	
			P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A
			1992	1993			1994			1995			1996			1997			1998			1999			2000			2001			2002			2003			2004			2005										

Carré noir : présence ; Carré blanc : manque de données ; P : printemps ; E : été ; A : automne

Tableau 3.14 : Identification des souches de vibrions halophiles (ancienne méthode) par saison et par station de 1992 à 2005

Comme lors des années précédentes, en 2009, la présence de *V. alginolyticus* a été identifiée sur l'ensemble des points de surveillance (tableau 3.15). C'est le seul vibron halophile identifié sans suspicion cette année. Il est présent tout au long de l'année, à l'exception du printemps sur tous les points et de l'été au point référence. Finalement, dans l'un des répliquats de l'échantillon du point référence en mars, il existe une suspicion de *Vibrio parahaemolyticus* (1/100 mL).

			METHODE EDF																	
Vibrio	Station	Année/Saison																		
		2004			2005			2006			2007			2008			2009			
		P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	
V. alginolyticus	canal																			
	réf.érence																			
	rejet																			
V. vulnificus	canal																			
	réf.érence																			
	rejet																			
V. parahemol.	canal																			
	réf.érence																			
	rejet																			
Ph. Damsela	canal																			
	réf.érence																			
	rejet																			
V. fluvialis	canal																			
	réf.érence																			
	rejet																			
V. cholerae	canal																			
	réf.érence																			
	rejet																			

Carré noir : présence ; Carré blanc : manque de données ; P : printemps ; E : été ; A : automne

Tableau 3.15 : Identification des souches de vibrions halophiles (méthode EDF) par saison et par point, de 2004 à 2009

Les séries pluriannuelles, présentées dans les tableaux 3.14 et 3.15 mettent en évidence un plus grand nombre de cas d'identification pour *V. alginolyticus*, qui avec

*Ph. damsela* semblent être les espèces dominantes. Les apparitions de *Vibrio vulnificus* sont plus sporadiques entre 2005 et 2007.

### 3.3.1.7.2 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. Les nombres de vibrions totaux par point et par saison ont été obtenus en moyennant les valeurs des réplicats par point et par souche. Au point *rejet* est toujours considérée la plus forte valeur sur les deux réplicats (figure 3.31). Un gradient décroissant est généralement observé entre les points *canal* et *référence* et en particulier en été et en automne, lorsque les abondances sont élevées. En plus de l'effet de la température, le caractère plus côtier de la masse d'eau proche du canal d'amenée favorise certainement le développement des souches bactériennes par la plus forte teneur en matière organique, ainsi qu'en matières en suspensions qui servent de support.

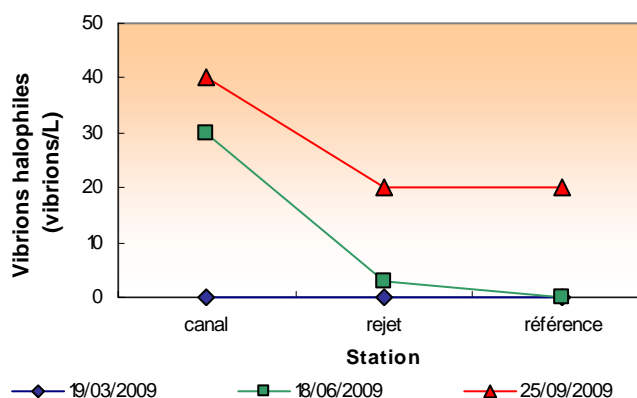


Figure 3.31 : Dénombrement des vibrions halophiles totaux en 2009

La souche *V. alginolyticus* a été la seule à être identifiée (sans suspicion) cette année. Son évolution annuelle est donc similaire à celles des vibrions halophiles totaux (figure 3.31). Le gradient décroissant de la côte vers le large est mis en évidence sur la distribution de cette souche, à l'exception du mois de mars où les valeurs ont été inférieures à 1 vibrion/L sur les trois points de suivi.

La figure 3.32 présente l'évolution des abondances des différentes souches habituellement identifiées aux différents points de suivi depuis 2004. En 2009, seule la souche *Vibrio alginolyticus* a été identifiée en été et en automne. Les concentrations sont restées très faibles.

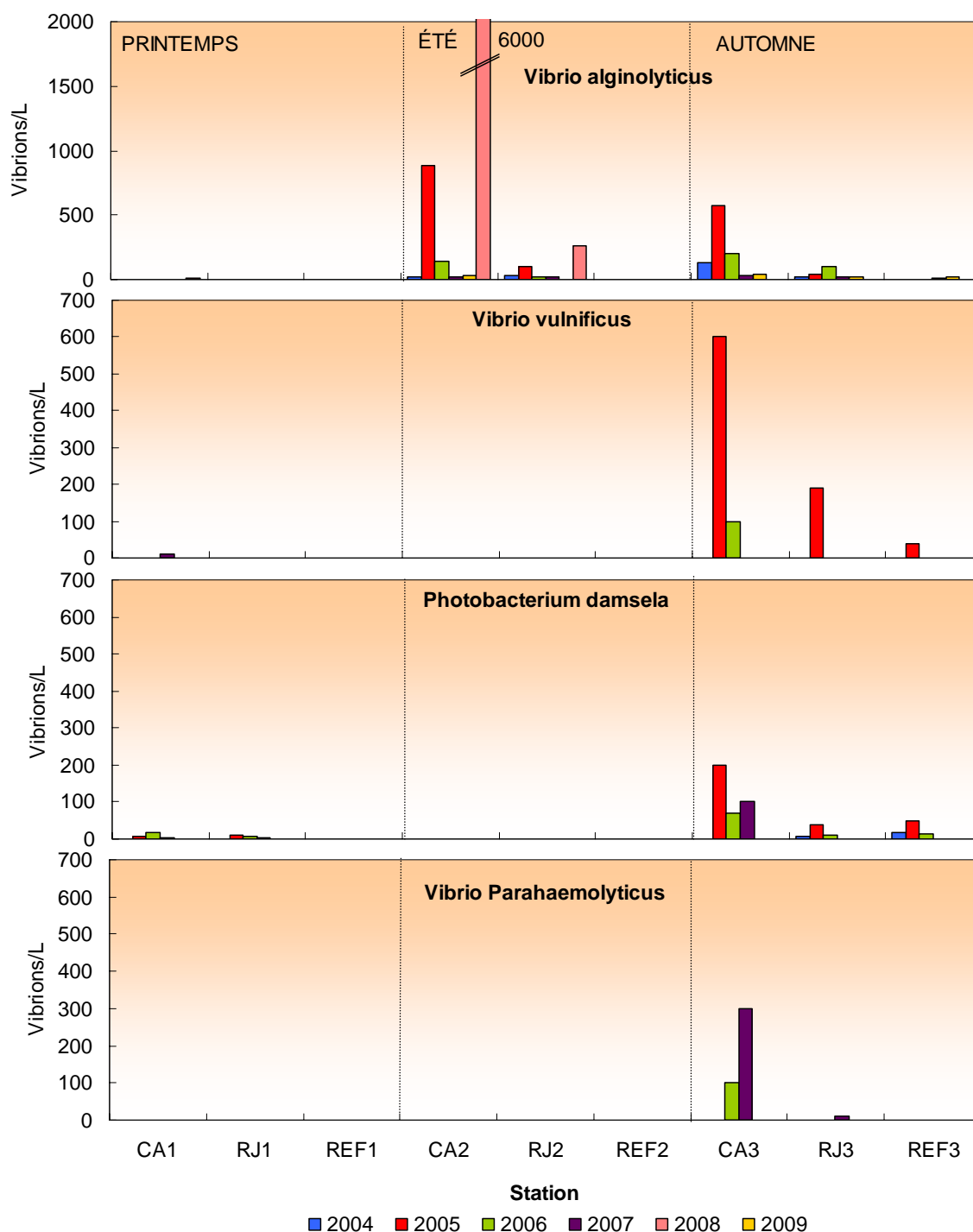


Figure 3.32 : Dénombrements des principales souches de vibrions halophiles depuis 2004

### 3.3.1.7.3 Approche statistique

Les dénombrements de vibrions halophiles sont réalisés sur les échantillons des eaux proches de la centrale de Flamanville depuis 2004. Au cours de la période 2004-2009, le nombre de données est encore insuffisant pour réaliser une approche statistique robuste sur la distribution des quantités de vibrions halophiles.



### 3.3.2. Conclusion

L'évolution des concentrations de germes totaux est restée assez constante 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. En 2009, les résultats sont sensiblement supérieurs à ceux de 2008 quelle que soit la saison. Ils sont compris dans la gamme de concentrations observée avant 2005. La distribution des germes totaux en 2009 a été également caractérisée par des quantités minimales au point *rejet* toute l'année. L'élévation de température sur ce point ne semble donc pas favoriser la croissance bactérienne.

Les quantités de germes revivifiables sont en diminution en 2009 par rapport à 2008 au printemps et en été. Cette diminution est particulièrement significative au point *canal* en été, où l'an dernier une abondance très élevée avait été observée. En automne, les abondances de germes revivifiables sont en augmentation sur l'ensemble des stations. La distribution des germes revivifiables est caractérisée par un gradient décroissant côte-large. Si les abondances restent proches des valeurs observées depuis 2005 aux points *rejet* et *référence*, au point *canal* le nombre de germes est en constante augmentation depuis 2003. Cette année est caractérisée par la plus forte abondance sur cette station depuis 1987.

L'identification des vibriens halophiles par la méthode EDF confirme la dominance des souches de *Vibrio alginolyticus* dans les eaux proches de la centrale de Flamanville. La présence de cette souche a été identifiée tout au long de l'année sauf au printemps, mais à des concentrations faibles (< 50 Vibrio/L). Cette année a aussi été caractérisée par la suspicion de présence de *Vibrio parahaemolyticus* au point *référence* en mars.

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

En conclusion, bien que l'effet de l'augmentation moyenne de la température de l'eau de mer sur toute la Manche pourrait favoriser les développements naturels bactériens, l'augmentation régulière depuis 2003 de l'abondance des germes revivifiables n'est nettement perceptible qu'au point *canal* depuis 2003. Il conviendra donc de suivre avec attention l'évolution de ces germes l'année prochaine sur ce point. Néanmoins, l'étude des divers paramètres du compartiment microbiologique dans son ensemble ne permet pas de conclure à l'existence d'un déséquilibre marqué du milieu en raison de l'activité de la centrale de Flamanville.

### 3.4. 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.

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

A l'aide des paramètres précités, ce chapitre traite des résultats quantitatifs et qualitatifs obtenus sur les peuplements phytoplanctoniques lors des trois campagnes de surveillance réalisées en 2009.

#### 3.4.1. Matériels et méthodes

Les prélèvements d'eau en vue de l'étude du phytoplancton ont été réalisés aux mêmes points et niveaux que pour les paramètres physico-chimiques et avec le même matériel (voir § 3.2.1.1. page 33). 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 réplicats sont réalisés pour la production primaire.

##### 3.4.1.1. *Mesure de la chlorophylle et de la production primaire*

###### Chlorophylle *a*

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 une membrane en fibre de verre type GF/F (Whatman).

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

###### Production primaire

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

au niveau de l'appareil photosynthétique (photosystème II) des cellules phytoplanctoniques pourra être modifié lorsque les cellules sont stressées par des facteurs environnementaux tels que la limitation en nutriments ou une très forte lumière.

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

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

Pour chaque point de suivi, sont ainsi obtenues expérimentalement des courbes construites avec les rapports de fluorescence en fonction de l'intensité lumineuse. Ce nuage de points est ensuite ajusté mathématiquement par un modèle (modèle de Webb), afin de déterminer les paramètres photosynthétiques caractéristiques dont  $rETR_{max}$  qui correspond à la capacité maximale de production de l'échantillon.

$rETR$  représente le taux de transport des électrons (Electron transport rate – ETR) au niveau du photosystème PSII.

Un autre paramètre intéressant est l'efficacité quantique maximale du PSII,  $Y_{max} = (F_m - F_o) / F_m$ , défini comme la différence des fluorescences maximale et minimale sur la fluorescence maximale après dix minutes de repos de l'échantillon à l'obscurité. Ce paramètre donne une indication de l'état physiologique du peuplement.

#### 3.4.1.2. Étude systémique du phytoplancton

Un volume de 100 mL d'échantillon est fixé par du Lugol acide à bord du bateau immédiatement après le prélèvement. Au laboratoire, 10 mL d'échantillon sont mis à décanter dans des cuves pendant 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. Un minimum de 100 cellules sont dénombrées afin d'obtenir une précision d'au moins  $\pm 20\%$  (Lund, 1958). Les résultats sont exprimés en nombre de cellules par litre.

#### 3.4.1.3. Télédétection satellitaire

Les images climatologiques de la chlorophylle ont été obtenues avec l'algorithme développé à l'Ifremer (Gohin et al., 2002) sur la série d'images obtenues par les cameras SeaWiFS et MODIS entre 1998 et 2007. Les images quotidiennes de la série 2009 sont celles de la camera MODIS. Toutes ces séries ont été traitées avec le même algorithme et mises à disposition par le projet de recherche MarCoast.

### 3.4.2. Résultats

Les résultats obtenus en 2009 sont donnés par le tableau 3.16.

		CANAL	REJET	REFERENCE	
				surface	mi-prof.
19-mars	Chlorophylle a ( $\mu\text{g/L}$ )	1,65	2,55	1,47	2,68
	Phéopigments ( $\mu\text{g/L}$ )	0,05	0,05	0,05	0,05
	rETR (unités relatives)	291	304	163	289
	Microphytoplancton (cel/L)	558100	283100	151300	533200
18-juin	Chlorophylle a ( $\mu\text{g/L}$ )	0,58	0,78	1,08	1,06
	Phéopigments ( $\mu\text{g/L}$ )	0,07	0,05	0,05	0,05
	rETR (unités relatives)	167	189	140	227
	Microphytoplancton (cel/L)	30400	69200	28800	46400
25-sept.	Chlorophylle a ( $\mu\text{g/L}$ )	0,83	0,90	0,66	0,73
	Phéopigments ( $\mu\text{g/L}$ )	0,06	0,24	0,05	0,19
	rETR (unités relatives)	191	206	173	122
	Microphytoplancton (cel/L)	11400	12200	14900	11100

Tableau 3.16 : Valeurs des paramètres phytoplanctoniques au droit du CNPE de Flamanville en 2009

### 3.4.2.1. Biomasse chlorophyllienne

#### 3.4.2.1.1 Variations spatiales et saisonnières de la chlorophylle

Au cours de l'année 2009, les valeurs de chlorophylle *a* s'échelonnent entre 0,66  $\mu\text{g/L}$  au point *référence* (mi profondeur) en septembre, et 2,55  $\mu\text{g/L}$  au point *rejet* en mars (figure 3.33). Ces valeurs, plus faibles que celles observées en Manche orientale (centrales de Paluel et de Penly), sont du même ordre de grandeur que celles enregistrées en 2008. Au mois de juin, un gradient croissant côte-large est observé. Ce gradient est inversé en septembre. Au mois de mars, les concentrations en chlorophylle sont largement supérieures au point *rejet* par rapport aux points *canal* et *référence*.

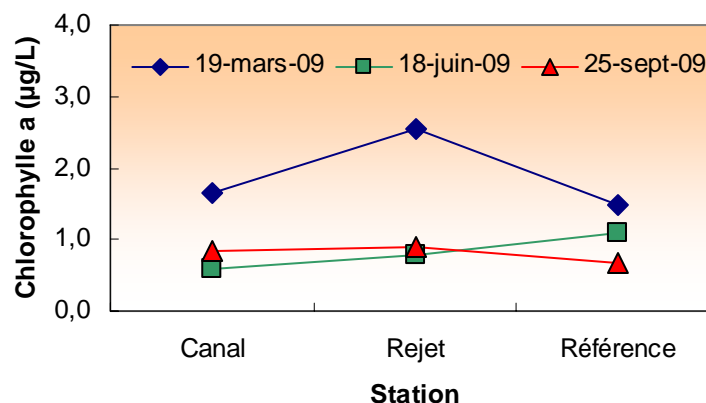


Figure 3.33 : Évolution de la chlorophylle lors des trois campagnes de surveillance 2009

## 3.4.2.1.2 Variations inter-annuelles

Toutes les concentrations en chlorophylle de 2009 sont inférieures à celles observées en 2008 (figure 3.34) à l'exception de la concentration en chlorophylle enregistrée au mois de mars 2009 au point *rejet*. Ceci est la plus forte enregistrée à ce point à cette saison depuis le début du suivi. Les plus fortes différences observées par rapport aux valeurs de l'année précédente sont enregistrées en été et en automne. Ce résultat doit être relativisé car les valeurs qui avaient été enregistrées en juin 2008 étaient les plus fortes depuis juin 2004.

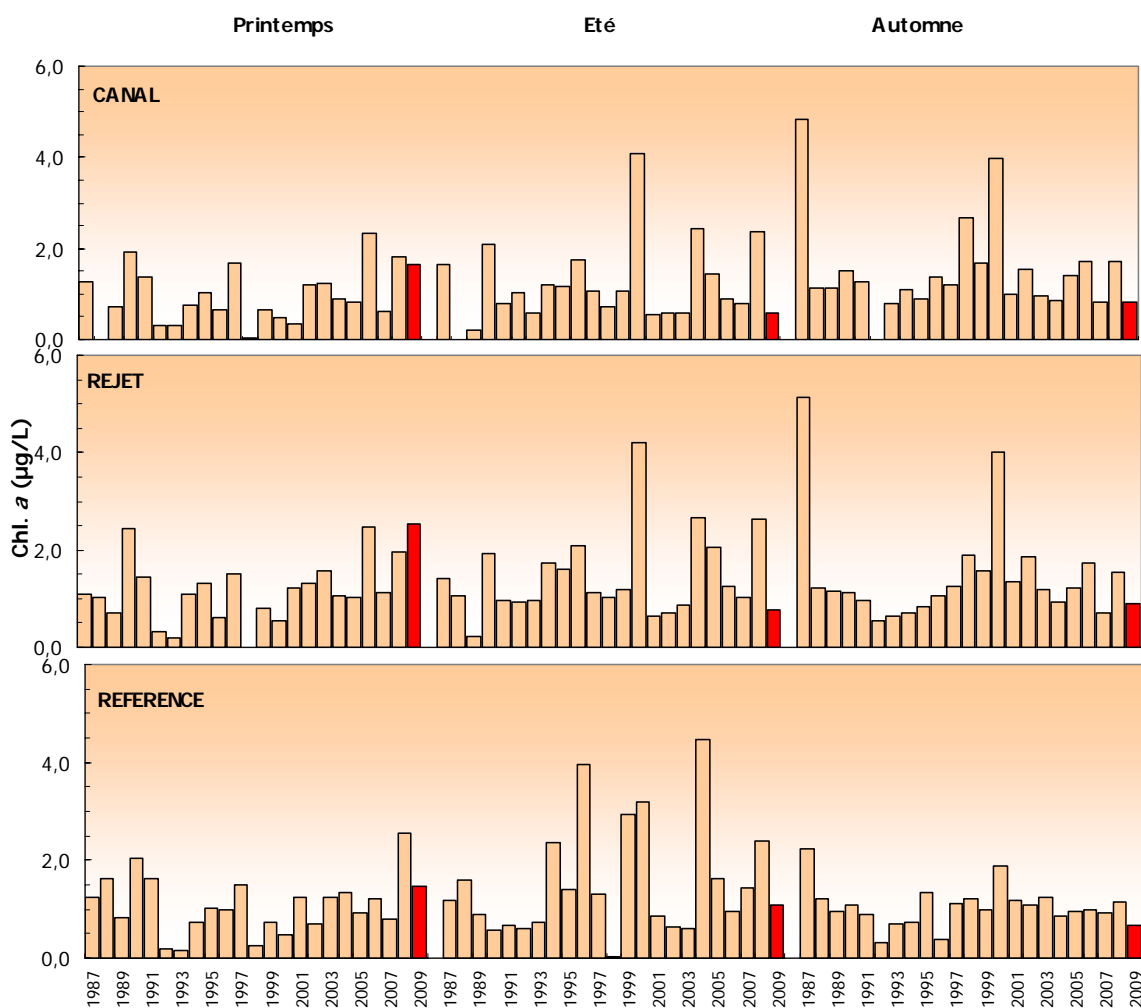


Figure 3.34 : Évolution de la chlorophylle de 1987 à 2009 (2009 en rouge)

La figure 3.35 montre une plus faible dispersion des valeurs au printemps par rapport aux deux autres saisons. Les boîtes (50 % des valeurs dans la boîte grise) restent homogènes entre elles avec peu de variabilité sur les trois points. L'été montre 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 de chlorophylle en 2009 sont supérieures aux médianes pluriannuelles au printemps, en particulier au point *rejet* où comme indiqué précédemment la valeur maximale depuis 1987 a été observée. En juin et septembre, les valeurs enregistrées sont toutes inférieures aux médianes pluriannuelles, elles sont généralement au dessous des boîtes (50 % des valeurs dans la boîte grise).

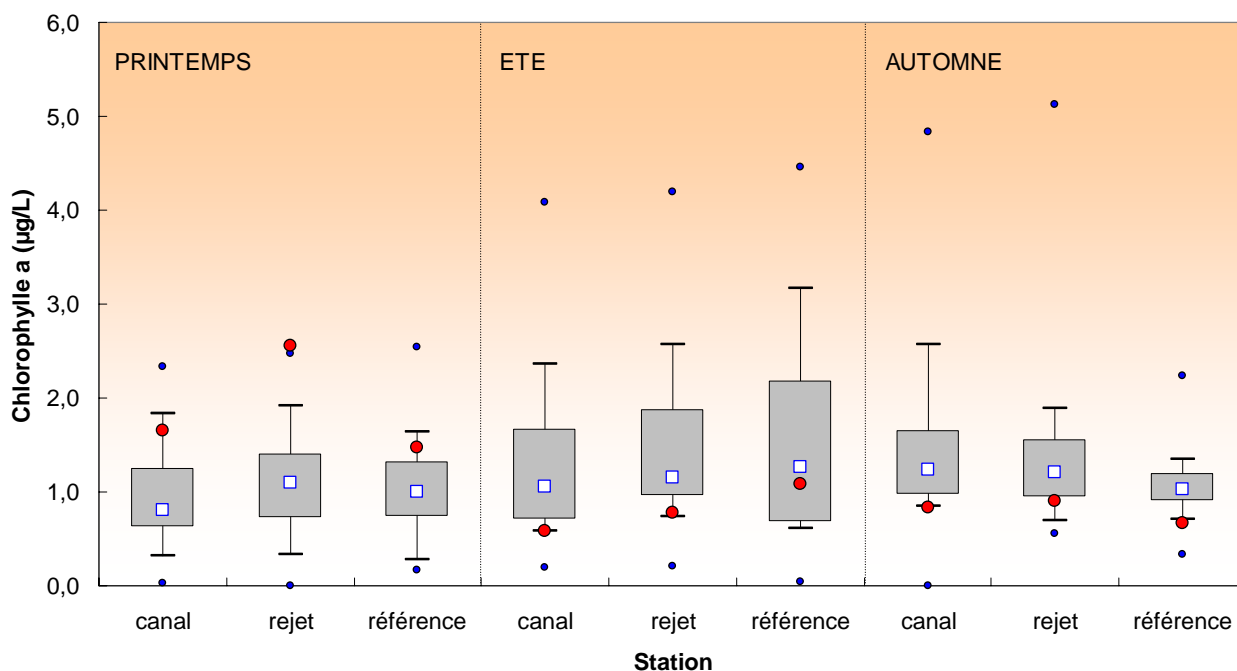


Figure 3.35 : Évolution de la chlorophylle ( $\mu\text{g/L}$ ) et dispersion de 1987 à 2009 (2009 en rouge)

#### 3.4.2.1.3 Approche statistique

Les tests statistiques présentés dans le tableau 3.17 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. Au printemps et en été, la situation s'inverse. Une différence significative entre les point *canal* et *rejet* est alors observée

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTE	AUTOMNE
CANAL / REJET	<b>0,006</b>	<b>0,000</b>	0,554
REFERENCE / REJET	0,274	0,536	<b>0,003</b>
CANAL / REFERENCE	0,330	0,153	<b>0,009</b>

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

Tableau 3.17 : «  $p\text{-value}$  » des tests statistiques sur la chlorophylle

#### 3.4.2.1.4 Approche par imagerie satellite

Les valeurs de chlorophylle *a* obtenue par les cameras SeaWiFS et MODIS permettent de suivre l'évolution mensuelle des développements phytoplanctoniques en Manche. Ces images affichent, pour chaque pixel, la moyenne des valeurs obtenues entre 1998 et 2007 (figure 3.36). Les observations de 2009 (Fig. 3.37) peuvent ainsi être replacées dans ces données de climatologie mensuelle de la chlorophylle *a* en Manche (données 1998-2007).

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

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

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



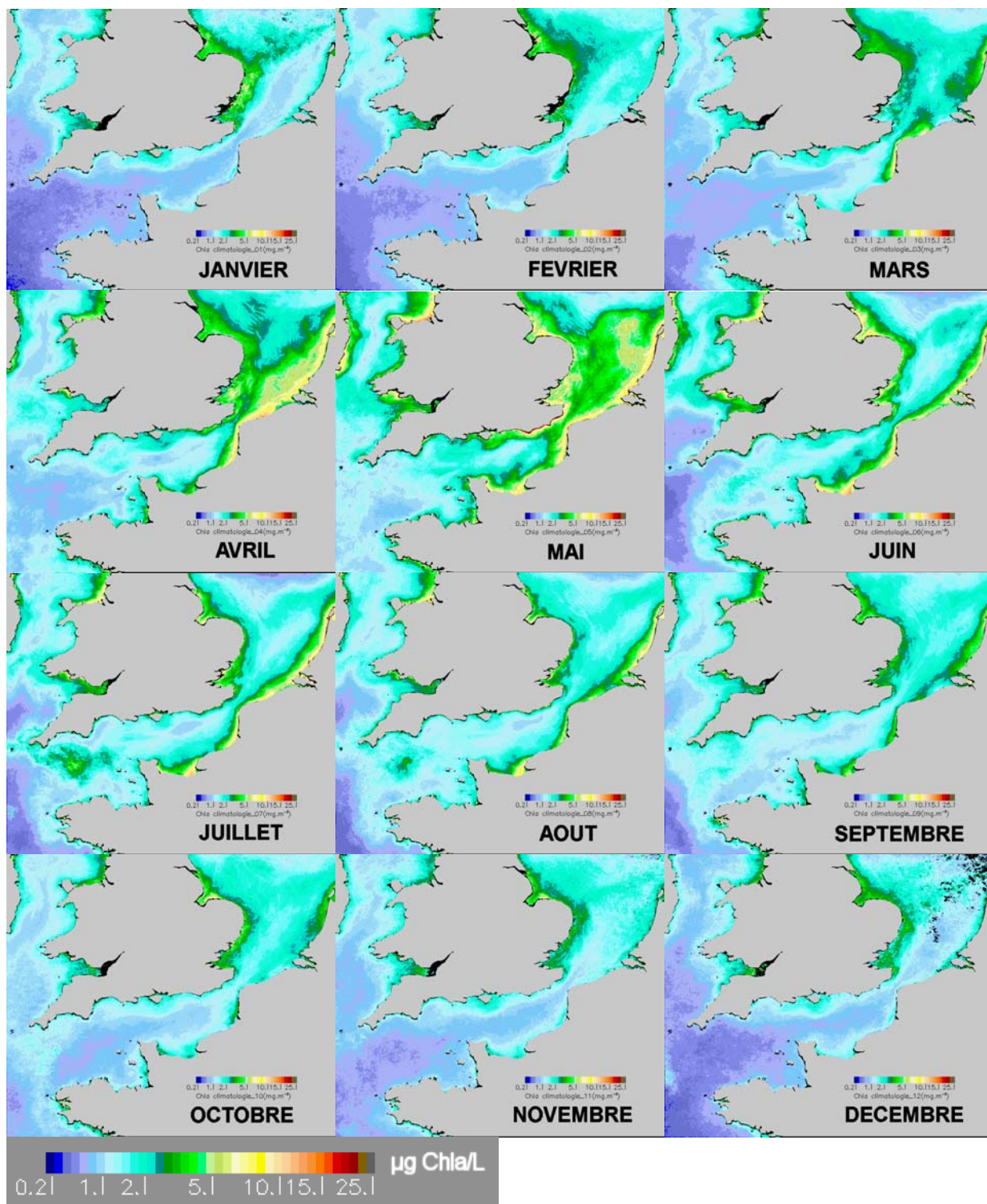


Figure 3.36 : Climatologie mensuelle de la chlorophylle a en Manche obtenue après traitement des images des cameras SeaWiFS et MODIS entre 1998 et 2007 avec l’algorithme Ifremer



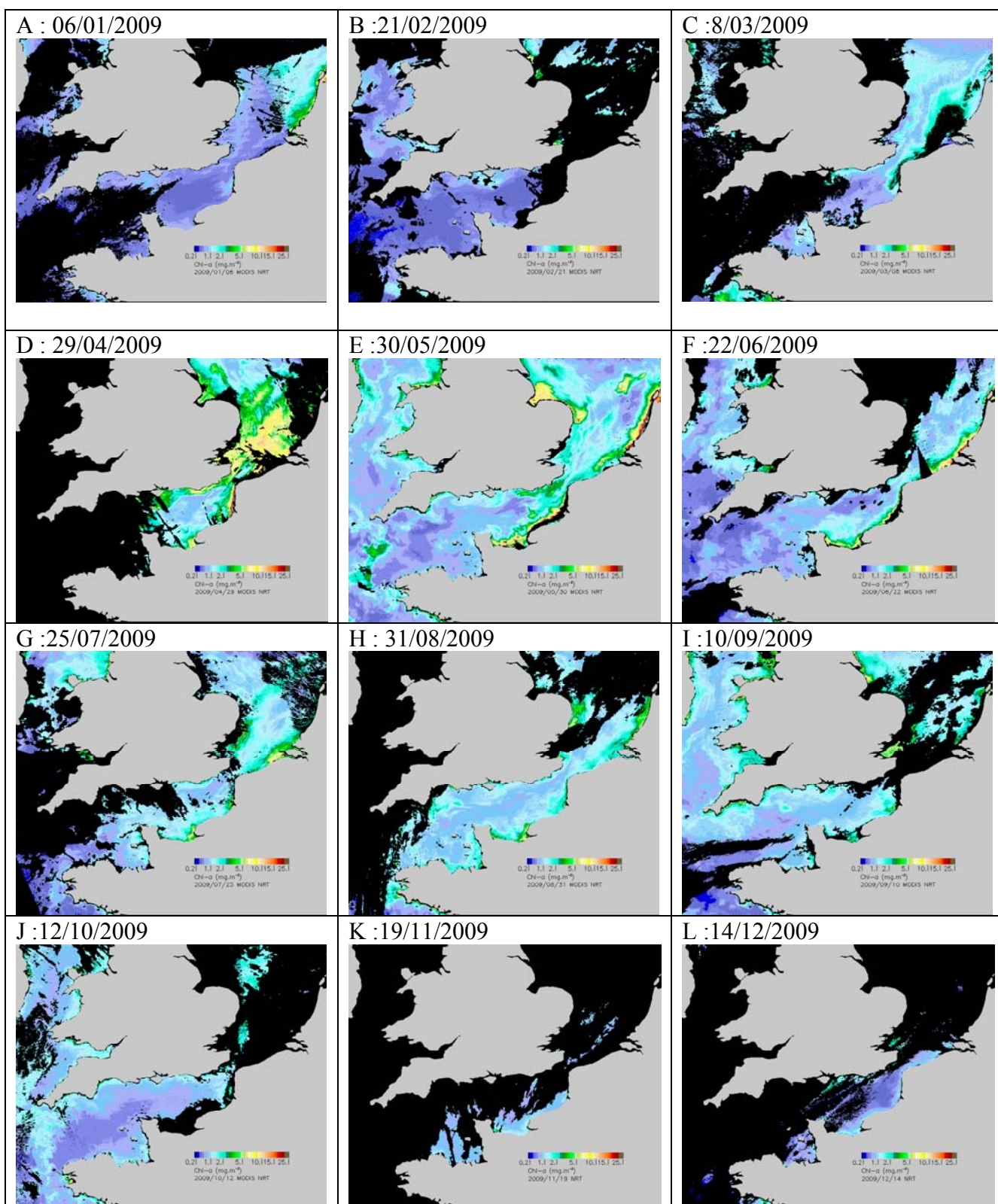


Figure 3.37 : Série d'images 2009 obtenues par la caméra MODIS et traitées avec l'algorithme Ifremer pour obtenir les concentrations en chlorophylle (Ifremer)

La comparaison des images obtenues en 2009 par rapport à la climatologie 1998-2007, indique que les variations observées en 2009 se situent globalement dans la moyenne pluriannuelle et sont conformes à la dynamique décrite par la climatologie mensuelle de la chlorophylle *a* en Manche.

### 3.4.2.2. Production primaire

La nouvelle méthode d'évaluation de la production primaire potentielle, utilisée pour la première fois lors des campagnes 2007, permet d'évaluer le paramètre (rETR) pour les trois campagnes annuelles 2009 ainsi que le gradient spatial observé entre les points d'échantillonnage. L'efficacité quantique maximale ( $Y_{\max}$ ) renseigne également sur l'état physiologique du peuplement. Une valeur de  $Y_{\max} \geq 0,6$  indique un très bon état ;  $Y_{\max} = 0,5$  bon état ;  $Y_{\max} = 0,4$  à  $0,3$  moyen à mauvais et un  $Y_{\max} < 0,3$  met en évidence un mauvais à très mauvais état physiologique des cellules.

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

Les valeurs mesurées en 2009 sont comprises entre 122 en septembre au point *référence* mi-profondeur, et 304 au point *rejet* en mars (figure 3.38).

Les courbes des trois saisons sont similaires et présentent un gradient décroissant côte-large. Un gradient inverse avait été observé en 2008. Les valeurs de juin sont légèrement inférieures à celles de septembre. Lors de l'ensemble des campagnes, les valeurs de rETR aux points *canal* et *rejet* varient peu. Elles sont supérieures aux valeurs enregistrées aux valeurs du point *référence* toute l'année.

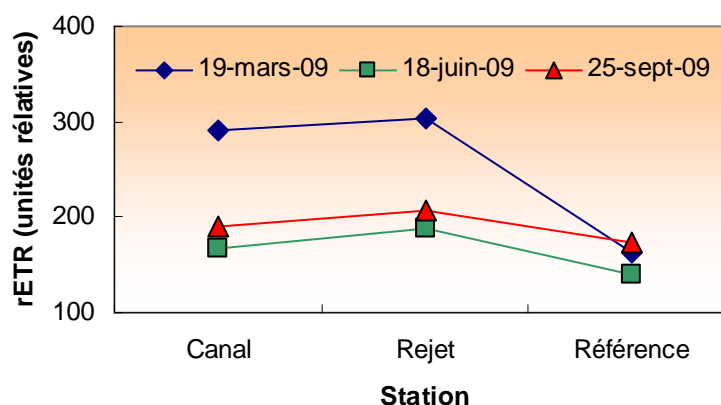


Figure 3.38 : Évolution de la production primaire potentielle (rETR) maximale lors des trois campagnes de surveillance de Flamanville en 2009

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

La plus forte valeur de l'efficacité quantique a été observée au mois de mars avec 0,58 mesuré au point rejet. La valeur minimale a été mesurée en juin au point référence (0,35). Mais d'autres très faibles valeurs ont également été observées en juin (0,38) au point canal et en mars au point référence (0,36). L'évolution de  $Y_{\max}$  suit globalement celle de rETR.

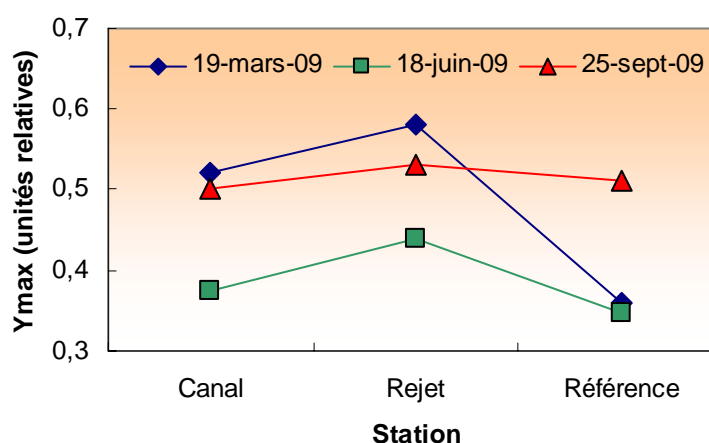


Figure 3.39 : Évolution des valeurs d'efficacité quantique ( $Y_{max}$ ) lors des trois campagnes de surveillance de Flamanville en 2009

La distribution de la production primaire est globalement cohérente avec la biomasse aux trois saisons. On peut cependant noter qu'au mois de juin au point référence la production est faible alors que la biomasse est supérieure à celle des autres points. L'état physiologique général des peuplements est caractérisé par un état 'médiocre' (0,35) à 'bon' (0,58) dans les eaux proches de Flamanville. Les plus faibles valeurs de  $Y_{max}$  enregistrées en juin suggèrent des carences en nutriments. Cette situation est fréquente dans les eaux à caractère océanique de l'ouest Cotentin en été.

Pendant longtemps il a été admis que d'une part, le passage des cellules phytoplanctoniques à l'intérieur des échangeurs et d'autre part la chloration, produisent une mortalité massive des cellules. La mesure de  $Y_{max}$  permet une véritable estimation de l'état physiologique des peuplements présents au point rejet. Il est donc intéressant de remarquer que les valeurs de  $Y_{max}$  à ce point sont supérieures à celles des autres points. Ceci était très difficile à vérifier expérimentalement avec seulement des mesures de biomasse chlorophyllienne, principalement en raison d'une variabilité spatiale très importante. Plus d'années seront nécessaires pour observer une réelle tendance s'il en existe une. Mais les résultats obtenus entre 2007 et 2009 indiquent que les peuplements phytoplanctoniques ne sont significativement pas affectés par l'augmentation de la température de l'eau (~30 °C) au cours de leur rapide transit dans l'échangeur. Les taux de mélange de 80 à 90 % à quelques dizaines de mètres des grilles de rejet diminuent certainement le signal de mortalité, mais si des mortalités massives existaient, elles seraient vraisemblablement quantifiables.

## 3.4.2.2.3 Approche statistique

Les tests réalisés sur les autres paramètres de ce compartiment ne sont pas applicables à  $Y_{\max}$  à cause du faible nombre de données encore disponibles. Des tests d'analyse de la variance (ANOVA) sur les résultats des triplicats du paramètre  $Y_{\max}$  ont toutefois été réalisés.

Le tableau 3.18 présente la visualisation des résultats des tests statistiques sur l'homogénéité de la valeur  $Y_{\max}$  par campagne. Pour la campagne de septembre 2009, comme a été également le cas pour septembre 2007 et 2008, les croix se trouvent sur la même colonne. Aucune différence significative n'est donc constatée entre les points lors de cette sortie en mer. Les différences de valeurs observées doivent donc être prises comme la représentation de la variabilité aléatoire du même échantillon. Au printemps 2009, tous les points étaient significativement différents. A l'exception du point *référence* mi-profondeur, les résultats obtenus en juin ne sont pas significativement différents entre les stations.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL	X	X	X
REJET	X	X X	X
RÉFÉRENCE SURFACE	X	X	X
REFERENCE MI-PROFONDEUR	X	X	X
Probabilité associé $p$	<b>0,000</b>	<b>0,031</b>	0,470

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

Tableau 3.18 : Probabilité associé  $p$  des test statistiques sur la production primaire

3.4.2.3. **Microphytoplancton**

## 3.4.2.3.1 Variations spatiales et saisonnières du microphytoplancton

Les dénombrements microphytoplanctoniques effectués en 2009 sont présentés en 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 mars avec 558 100 cellules/L, et les plus faibles, pour l'ensemble des points au mois de septembre avec des abondances inférieures à 15 000 cellules/L. La situation observée au mois de mars montre un fort gradient décroissant côte-large. Ce gradient n'est pas observé en juin et septembre.

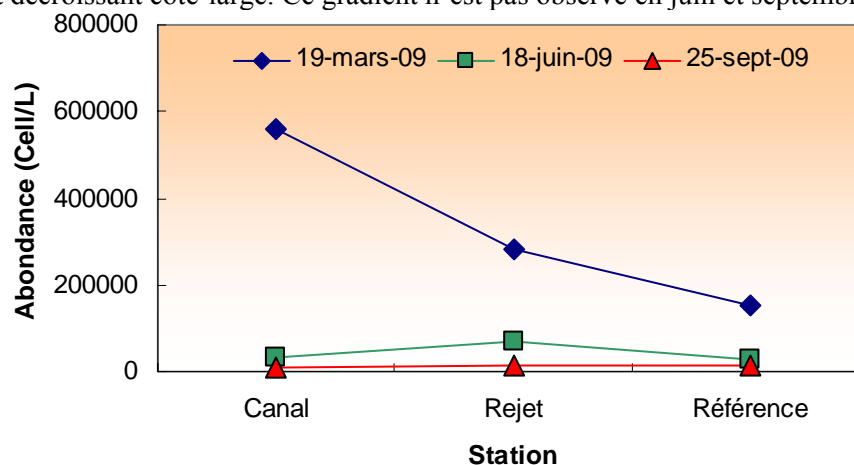


Figure 3.39 : Abondances microphytoplanctoniques pour l'année 2009 en nombre de cellules/L d'eau de mer

## 3.4.2.3.2 Variations inter-annuelles

En mars l'abondance mesurée au point canal est la plus importante à ce point et à cette saison depuis 1987. Toutes les abondances mesurées en mars et juin sont supérieures à celles de 2008. En revanche les valeurs de septembre sont extrêmement faibles et atypiques. Il s'agit des abondances les plus faibles mesurées depuis 1987 pour les trois points (figure 3.40).

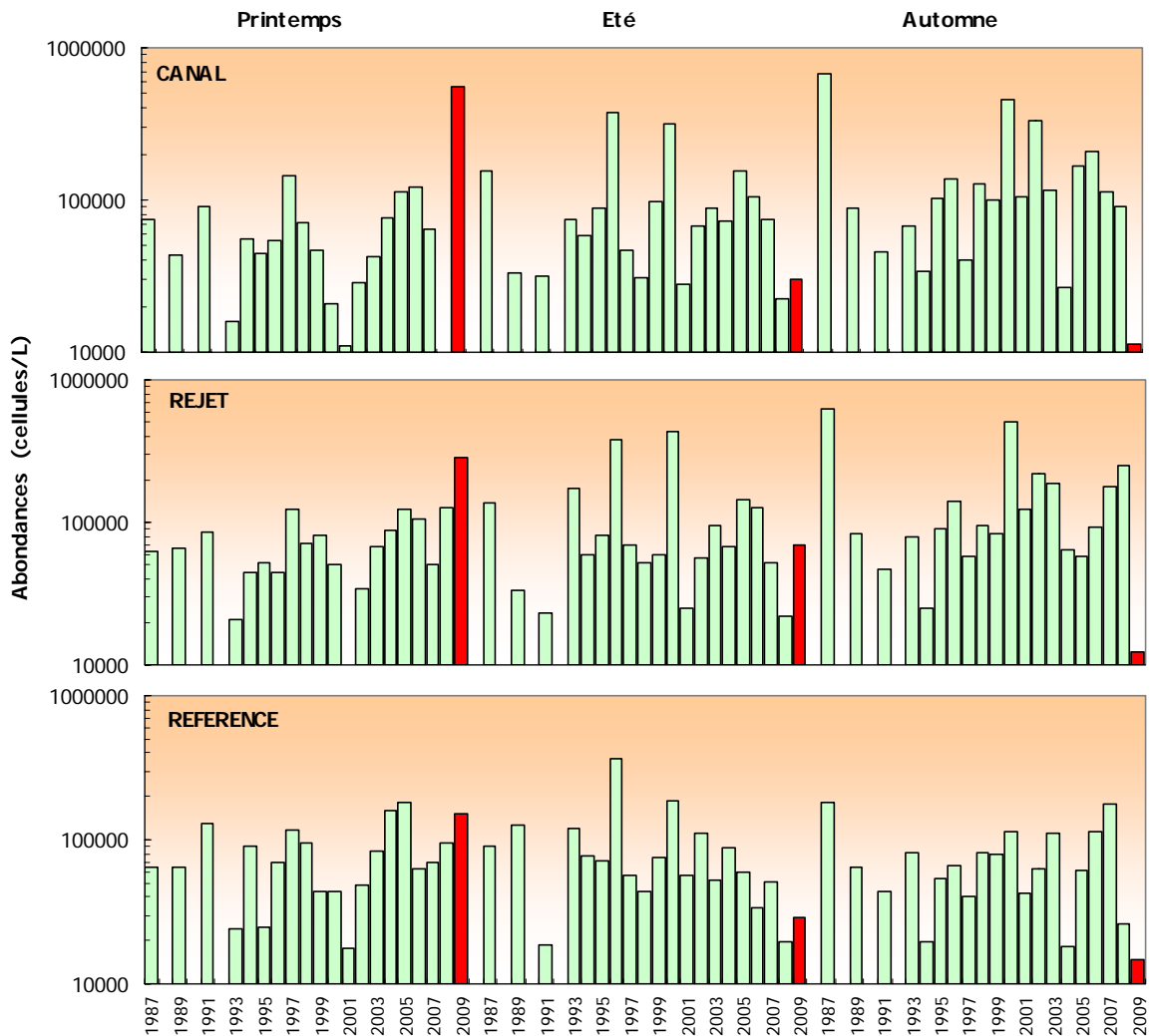


Figure 3.40 : Évolution de l'abondance phytoplanctonique de 1987 à 2009

Suivant le schéma déjà mis en évidence par la chlorophylle *a*, l'abondance phytoplanctonique présente les plus faibles valeurs et dispersions au printemps (figure 3.41). En juin et septembre la dispersion des valeurs autour de la médiane est jusqu'à six fois supérieure. 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. Au cours de ces deux périodes, la variabilité peut donc être plus forte pour certaines années. L'année 2009 correspond à une année relativement atypique au regard de la figure 3.41 en particulier en mars et septembre. En mars, les valeurs maximales d'abondance depuis 1987 ont été mesurées aux points canal et rejet. La valeur observée au point référence était également très proche de la valeur historique maximale. En juin, les abondances étaient égales ou inférieures à la médiane pluriannuelle. En

septembre, les abondances sont les plus faibles mesurées depuis 1987 pour les trois points. Ces variations peuvent être mises en parallèle avec celles des sels nutritifs en particulier celles des silicates et nitrates en mars et en septembre. En mars les stocks de silicates et nitrates étaient faibles, ce qui peut être dû à la forte biomasse phytoplanctonique. En septembre les concentrations élevées mesurées peuvent être expliquées par la faible consommation des sels nutritifs par le phytoplancton et un début de processus de reminéralisation de la matière organique présente dans la colonne d'eau.

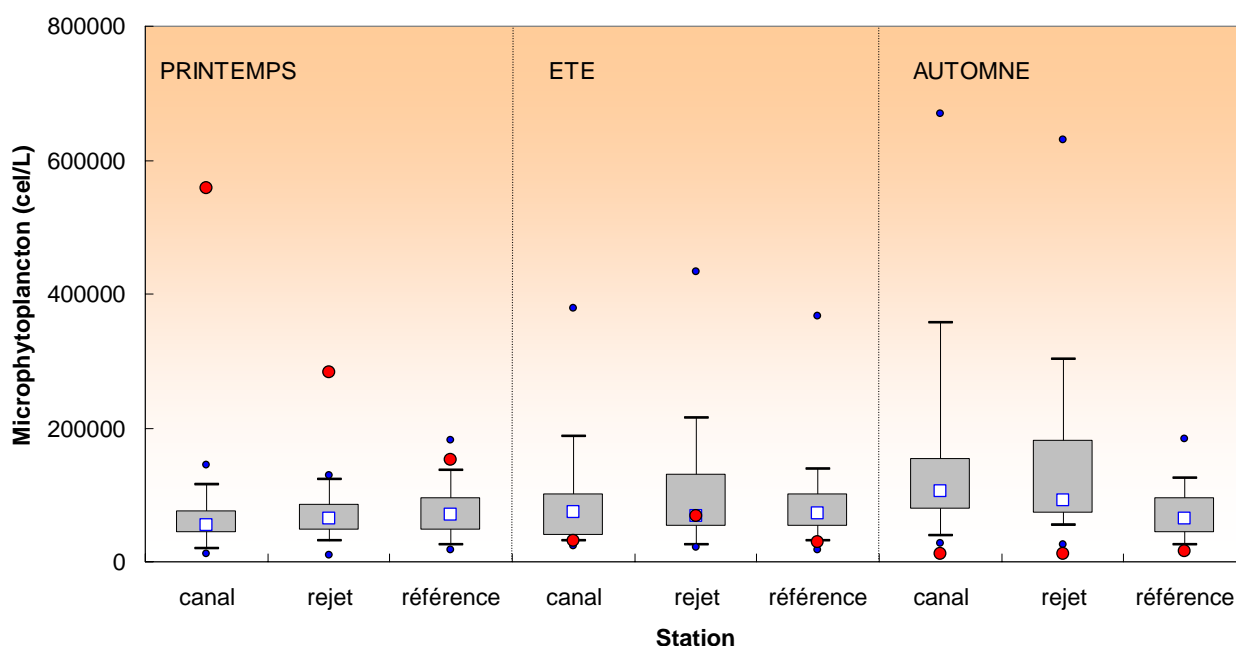


Figure 3.41 : Évolution de l'abondance phytoplanctonique de 1987 à 2009

#### 3.4.2.3.3 Approche statistique

Les tests statistiques du tableau 3.19 confirment l'existence d'une différence significative entre le point *référence* et les deux autres points au mois de septembre.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	1,000	0,778	0,949
REFERENCE / REJET	0,457	0,231	<b>0,001</b>
CANAL / REFERENCE	0,182	0,345	<b>0,002</b>

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

Tableau 3.19 : « *p-value* » des tests statistiques sur l'abondance phytoplanctonique

#### 3.4.2.4. Populations phytoplanctoniques observées en 2009

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

Certaines espèces ont été regroupées car difficilement identifiables par microscopie optique. D'autres ont été identifiées au niveau du genre ou de la classe algale. La fraction



microphytoplanctonique en 2009 a été synthétisée en 4 grandes classes : Diatomées, Dinoflagellés, Euglénophycées et Silicoflagellés. Environ 62 taxons (taxons plus classes algales) ont été dénombrés. Les diatomées représentent plus de 74 % de la communauté microphytoplanctonique, ce qui fait d'elles, la classe dominante (tableau 3.20).

Campagne	Station	MICROPHYTOPLANCTON					TOTAL	Dinoflagellé	Diatomée
		diatomées	dinoflagellés	euglènes	silicoflagellé s	autres		s	s
							%	%	
IGA 2009-1	canal	556700	900	0	500	0	558100	0	100
IGA 2009-1	rejet	281800	1400	0	0	0	283200	0	100
IGA 2009-1	ref surf	151000	300	0	0	0	151300	0	100
IGA 2009-1	ref 1/2 prof.	530900	1800	0	500	0	533200	0	100
IGA 2009-2	canal	29600	200	600	0	0	30400	1	97
IGA 2009-2	rejet	63400	5000	800	0	0	69200	7	92
IGA 2009-2	ref surf	26800	2000	0	0	0	28800	7	93
IGA 2009-2	ref 1/2 prof.	34400	11000	1000	0	0	46400	24	74
IGA 2009-3	canal	9800	1100	500	0	0	11400	10	86
IGA 2009-3	rejet	10800	1100	200	100	0	12200	9	89
IGA 2009-3	ref surf	14400	500	0	0	0	14900	3	97
IGA 2009-3	ref 1/2 prof.	10900	100	0	100	0	11100	1	98

Tableau 3.20 : Abondances des principales classes algales (cellules/L) pour l'année 2009

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 12 200 cellules/L en septembre et 197 540 cellules/L en juin. Ceci donne la mesure de l'importance de la fraction nanophytoplanctonique en terme d'abondance.

Les principales espèces dénombrées en 2009 ont été les suivantes :

### Mars 2009 :

Le genre *Thalassiosira* et en particulier l'espèce *T. levanderii* domine largement la communauté microphytoplanctonique en mars à tous les points avec une dominance allant de 74% pour le point *référence surface* à 89 % pour le point *canal* (tableau 3.21). *Skeletonema costatum* récemment renommé *S. marinoi* est la seconde espèce de diatomées qui domine la population avec des pourcentages allant de 4 à 14 %. (tableau 3.21 et figure 3.42). Ceci montre que lors de la campagne de mars, les diatomées présentent une dominance homogène entre les points.

Les autres groupes microphytoplanctoniques représentent moins de 1% de l'abondance, entre 906 cellules/L à 1 812 cellules/L de dinoflagellés ont été déterminés. Aucune euglènes n'a été observée tandis que des silicoflagellés (Dictyochales), avec des abondances de 500 cellules/L, ont été déterminés au point *canal* et *référence* mi-profondeur.

La flore nanophytoplanctonique représentée par les cryptophycées, présente des valeurs comprises entre 49 376 et 86 408 cellules/L, ce qui est relativement faible pour le nanophytoplancton.

Campagne	Station	D I A T O M E E S									Cumul %
		RHIZ	MELO	NITZ	CHAE	THAL	SKEL	LEPT	PLAG	PSNZ	
IGA 2009-1	canal	1	0	1	1	89	6	0	2	0	100
IGA 2009-1	rejet	0	0	4	1	87	7	0	0	0	99
IGA 2009-1	ref surf	0	0	3	3	74	14	0	0	1	95
IGA 2009-1	ref 1/2 prof.	0	1	1	2	86	4	0	3	0	97
IGA 2009-2	canal	93	0	1	0	0	0	0	0	0	94
IGA 2009-2	rejet	86	0	3	3	0	4	0	0	0	96
IGA 2009-2	ref surf	51	0	2	22	0	16	0	0	1	92
IGA 2009-2	ref 1/2 prof.	48	0	8	27	8	3	0	0	0	94
IGA 2009-3	canal	13	0	4	0	20	0	4	0	11	52
IGA 2009-3	rejet	0	0	18	18	7	0	0	0	7	50
IGA 2009-3	ref surf	0	4	6	9	35	11	0	0	0	65
IGA 2009-3	ref 1/2 prof.	0	0	12	4	10	17	28	0	6	77

Tableau 3.21 : Abondances des principaux genres de diatomées pour l'année 2009

### Juin 2009 :

Les diatomées dominent la population microphytoplanctonique avec une dominance comprise entre 74 % au point *référence* mi-profondeur et 97 % au point canal (tableau 3.20). Comme chaque été, le genre le plus représenté parmi les diatomées est *Rhizosolenia*, avec des dominances comprises entre 48 et 93 %. Ce genre est essentiellement représenté par les espèces *R. delicatula* et *R. fragilissima*. La littérature scientifique indique le développement de *Rhizosolenia delicatula* tous les ans sur les côtes Atlantiques et de la Manche (Klein et Sournia, 1987). La dominance de *Chaetoceros sp.* a variée entre 0 et 27 % (*canal* et *référence* mi-profondeur, respectivement) celle de *Skeletonema costatum* de 0 à 16 %. Le genre *Thalassiosira* (8 %) n'est observé qu'au point *référence* mi-profondeur.

Les dinoflagellés présentent un maximum annuel lors de cette campagne, avec 24 % de l'abondance microphytoplanctonique au point *référence* mi-profondeur (11 000 cellules/L). Les genres les plus rencontrés ont été *Cachonina*, *Gymnodinium* et *Heterocapsa*.

Entre 600 et 1 000 cellules/L d'euglènes ont été observées aux niveaux des points de prélèvement, excepté au niveau du point *référence* surface où elles étaient absentes. Les silicoflagellés n'ont pas été observés.

Les cryptophycées ont atteint une abondance maximale de 197 540 cellules/L au point *référence* mi-profondeur et minimale de 98 748 cellules/L au point *rejet*.



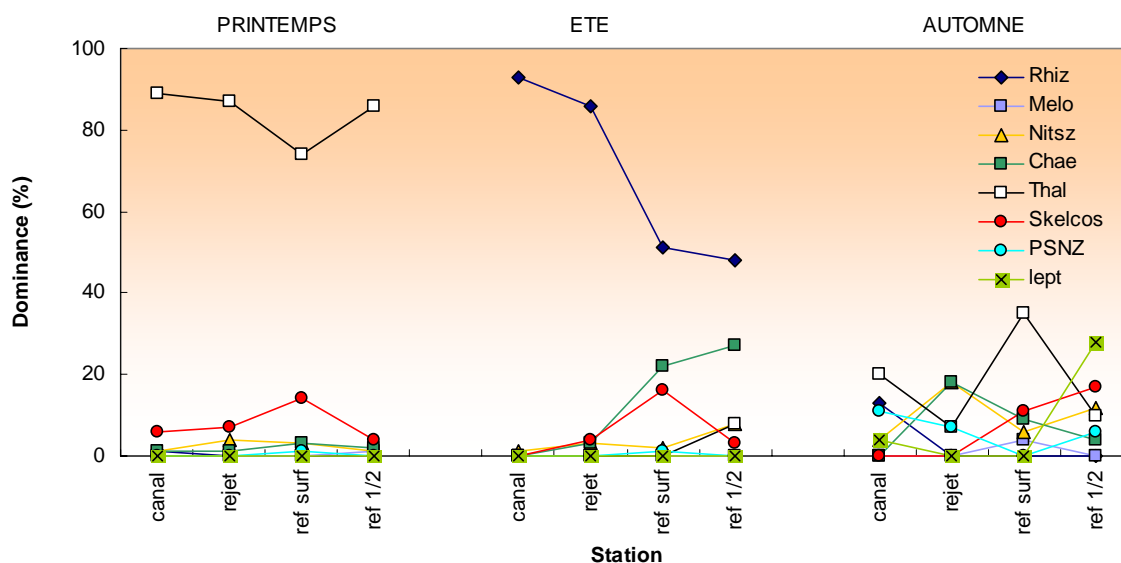


Figure 3.42 : Distribution des abondances en diatomées pour l'année 2009

**Septembre 2009 :**

Les diatomées dominent la population microphytoplanctonique entre 86 et 98 %. La structure de la communauté de diatomées est très hétérogène entre les points à cette saison. Le point *canal* est dominé par les genres *Thalassiosira* (20 %) et *Rhizosolenia* (13 %). Le point *rejet* est qu'en a lui dominé dans les mêmes proportions par deux genres, *Nitzschia* et *Chaetoceros* à hauteur de 18 %. Au point référence, en surface, on trouve le genre *Thalassiosira* (35 %) et *Skeletonema costatum* (11 %). A mi-profondeur, la communauté est différente par rapport à la surface, elle est dominée par *Leptocylindrus* (28 %), *Skeletonema costatum* (17 %) et *Nitzschia* (12 %).

Les dinoflagellés représentent 1% de la communauté au point *surface* mi-profondeur et 10 % au point *canal*. Au point *rejet* et *canal* les dinoflagellés atteignent 1 100 cellules/L. Les genres les mieux représentés en septembre ont été *Amphidinium*, *Gymnodinium*, *Gyrodinium*, *Prorocentrum*, *Scrippsiella* et *Torodinium*.

Des euglènes sont présentes aux points *canal* (500 cellules/L) et *rejet* (200 cellules/L) mais pas au point *référence*. Les silicoflagellés (Dictyochales), avec des abondances de 100 cellules/L, ont été déterminés aux points *rejet* et *référence* mi-profondeur.

Les cryptophycées sont faiblement représentés, 12 200 à 22 500 cellules/L respectivement aux points *référence* et *rejet*.

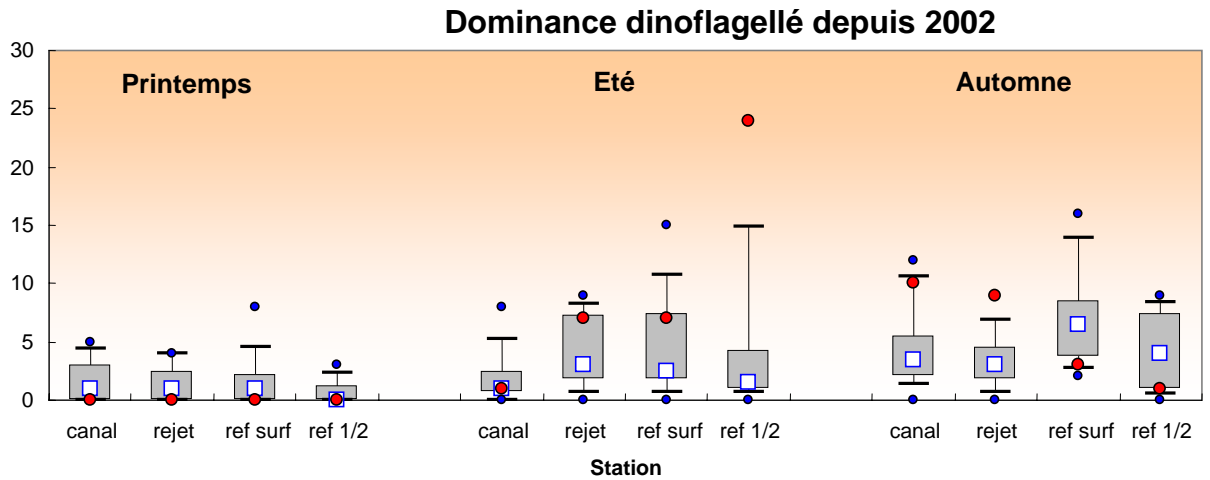


Figure 3.43 : Distribution des dominances de dinoflagellés par point et par campagne depuis 2002

Les dinoflagellés, bien que minoritaires dans les eaux atlantiques, sont capables de développements rapides qui peuvent conduire à des perturbations majeures de l'écosystème. Les plus fortes dominances ont été observées en été et automne, au moment où (1) les nutriments ont été largement assimilés par les diatomées et (2) la masse d'eau est plus stable. La figure 3.43 présente l'évolution de la dominance des dinoflagellés depuis 2002. Les plus faibles valeurs et dispersions sont enregistrées lors de la campagne de printemps. Les médianes des points *référence* en septembre sont supérieures à celles du mois de juin. Les fortes dispersions de juin et septembre mettent en évidence la forte variabilité de ce paramètre à cette époque de l'année. En 2009, c'est au mois de juin que nous trouvons les plus fortes dominances, avec la valeur la plus importante mesurée depuis 2002 au point *référence* mi-profondeur.

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

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

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

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

En utilisant les valeurs de 2009 pour les trois paramètres précités, les déficits obtenus sont présentés dans le tableau 3.22. Une valeur positive exprime un déficit au point *rejet* par rapport au point *canal*.

(%)	Chlorophylle a	Production Primaire	Microphytoplancton
<b>19-mars-09</b>	-55	-4	49
<b>18-juin-09</b>	-34	-13	-128
<b>25-sept-09</b>	-8	-8	-7

Tableau 3.22 : Déficit des trois paramètres étudiés entre les points *canal* et *rejet*

Seul un déficit est observée pour les abondances microphytoplanctoniques en mars (49 %). Tous les points restants ont enregistré des valeurs supérieures au point rejet par rapport au canal. Le plus fort écart est observé pour les abondances microphytoplanctoniques au mois de juin, avec 128 % de plus au point rejet par rapport au canal.

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

#### 3.4.4. Conclusion

La biomasse chlorophyllienne varie de 0,66 µg/L à 2,55 µg/L sur l'ensemble des points et des campagnes. Au mois de juin, un gradient croissant côte-large a été observé. Ce gradient est inversé en septembre. Toutes les concentrations en chlorophylle de 2009 sont inférieures à celles observées en 2008 à l'exception de la concentration en chlorophylle enregistrée au mois de mars 2009 au point *rejet*. Elle est alors la plus forte enregistrée à ce point à cette saison depuis le début du suivi.

La production primaire potentielle a été caractérisée à travers la mesure de la fluorescence *in vivo* au moyen d'un Pulse Amplitude Modulated (PAM). Les valeurs de rETR mesurées en 2009 sont comprises entre 122 en septembre au point référence mi-profondeur, et 304 au point rejet en mars. Les courbes des trois saisons sont similaires et présentent un gradient décroissant côte-large. Un gradient inverse avait été observé en 2008. Les plus fortes valeurs de l'efficacité quantique ont été observées aux mois de mars et juin avec un maximum de 0,58 indiquant un bon état physiologique des peuplements phytoplanctoniques dans les eaux de Flamanville. Cependant, des valeurs minimales de 0,35 à 0,38 ont aussi été observées en juin et en mars caractérisant la présence de populations phytoplanctoniques dans un état physiologique médiocre. Ces faibles valeurs suggèrent des carences en nutriments. Cette situation est fréquente dans les eaux à caractère océanique de l'ouest Cotentin en particulier en été.

Les plus fortes abondances microphytoplanctoniques ont été observées sur le point canal en mars avec 558 100 cellules/L, et les plus faibles, pour l'ensemble des points au mois de septembre (< 15 000 cellules/L). La situation observée au mois de mars montre un fort gradient décroissant côte-large. Ce gradient n'est pas observé en juin et septembre.

Contrairement aux années précédentes, où l'espèce *Skeletonema costatum* dominait, en 2009 comme en 2008 c'est le genre *Thalassiosira* qui domine les diatomées en mars. Cette dominance est néanmoins partagée avec *Skeletonema costatum*. En été, ce peuplement est remplacé par des diatomées du genre *Rhizosolenia*. Cette poussée estivale du genre *Rhizosolenia*, majoritairement représenté par l'espèce *R. delicatula* et *R. fragilissima* est classique dans les eaux atlantiques. Le mois de juin est également caractérisé par la présence des genres *Chaetoceros*, *Nitzschia* et *Thalassiosira*. Au mois de septembre, la communauté de diatomées est très hétérogène entre les points. Ceux sont

les genres *Chaetoceros*, *Rhizosolenia*, *Thalassiosira* et *Leptocylindrus* qui composent l'essentiel du cortège floristique avec *Pseudo-Nitzschia*.

En 2009 comme en 2008, la dominance des dinoflagellés sur les peuplements phytoplanctoniques a été plus marquée en juin. Les dinoflagellés présentent un maximum annuel lors de cette campagne estivale, avec 24 % de l'abondance microphytoplanctonique au point *référence* mi-profondeur et 11 000 cellules/L. Les genres les plus rencontrés ont été *Cachonina*, *Gymnodinium* et *Heterocapsa*. En septembre, les dinoflagellés représentent jusqu'à 10% de la communauté au point *canal*. Au point *rejet* et *canal* les dinoflagellés atteignent 1100 cellules/L. Les genres les mieux représentés à cette saison sont *Amphidinium*, *Gymnodinium*, *Gyrodinium*, *Prorocentrum*, *Scrippsiella* et *Torodinium*.

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. A partir de l'étude des paramètres suivis dans le compartiment phytoplanctonique en 2009, nous ne pouvons donc pas conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu, généré par l'activité de la centrale de Flamanville.

### 3.5. Zooplancton

Ce chapitre présente l'évolution du zooplancton, 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.

#### 3.5.1. Matériels et méthodes

En 2009, les trois campagnes de prélèvements ont eu lieu les 19 mars, 18 juin et 28 septembre. Lors de chaque campagne, trois points ont été étudiés :

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

Les échantillons zooplanctoniques sont collectés à l'aide d'un filet à plancton de type WP2 (ouverture 0,25 m<sup>2</sup>, hauteur 261 cm, cylindro-conique, vide de maille 200 µm – Tranter 1968<sup>12</sup>). Le filet est descendu jusqu'à environ 3 mètres au dessus du fond puis est ramené à la surface à une vitesse de 1 m s<sup>-1</sup>. Un volucompteur est attaché à l'entrée du filet afin de connaître précisément le volume d'eau filtré. Pour chaque point de prélèvement deux traits de filet à plancton sont effectués. L'un des deux échantillons collectés est aussitôt filtré à bord sur des soies et congelés afin d'évaluer la biomasse sestonique (mesure du poids sec et composition en carbone et azote), l'autre échantillon est formolé en vue du dénombrement des espèces animales.

##### 3.5.1.1. Mesure de la biomasse sestonique

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

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

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

<sup>12</sup> Tranter, D. J., and P. E. Smith. 1968. Filtration performance. In Reviews on zooplankton sampling methods, Part I (D. J. Tranter, ed.), p. 27-56. Monogr. Oceanogr. Methodol. 2, Zooplankton Sampling. UNESCO (United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization) Press, Paris.

### 3.5.1.2. Analyse taxinomique du plancton

Les prélèvements zooplanctoniques destinés au dénombrement des espèces animales sont rincés sur un tamis de 200 µm afin d'éliminer le formol et les particules les plus fines qui gênent le comptage du zooplancton. En fonction de la concentration de l'échantillon celui-ci est fractionné en sous-échantillons à la boîte de Motoda (Motoda 1983)<sup>13</sup>. Le sous-échantillon est alors placé dans une cuve de Dolffus et dénombré dans sa totalité à la loupe binoculaire (grossissement maximum X 80) en éclairage diascopique. Le dénombrement s'arrête lorsque une classe de tri (*Temora longicornis* : femelle, mâle ou copépodite ; *Oikopleura dioica* ; nauplii de cirripèdes....) atteint un minimum de 100 individus. D'après Frontier (1972)<sup>14</sup> l'erreur relative sur l'estimation du nombre total d'individus est de  $\pm 30\%$ . Le nombre d'individus comptés est ensuite ramené au volume total de l'échantillon (ind. m<sup>-3</sup>).

La bibliographie utilisée pour l'identification des zooplanctontes est très variée et inclue notamment : les fiches d'identification du plancton CIEM - (1939 - 1986), un manuel d'identification du zooplancton côtier (Todd *et al.*, 1996)<sup>15</sup>, et des clés de détermination pour des groupes spécifiques tels que les copépodes pélagiques (Rose, 1933)<sup>16</sup> ou les larves de décapodes (Martin, 2001)<sup>17</sup> par exemple.

---

<sup>13</sup> Motoda S (1959). Devices of simple plankton apparatus. Memoirs. Faculty of Fisheries. Hokkaido University 7, 73-94.

<sup>14</sup> Frontier (1972) Calcul de l'erreur sur un comptage de zooplancton. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 8, pp. 121-132.

<sup>15</sup> Todd CD, Laverrack MS, Boxshall GA (1996) Coastal marine zooplankton – a practical manual for students. Cambridge University Press, pp. 106.

<sup>16</sup> Rose M. (1933) Faune de France, 26. Copépodes pélagiques. Ed. Lechevalier, Paris, pp. 374 .

<sup>17</sup> Martin J (2001) Les larves des crustacés décapodes des côtes françaises de la Manche. IFREMER, France, pp. 175.

## 3.5.2. Résultats

Les résultats de l'année 2009 sur le site de Flamanville sont présentés dans le tableau 3.23 suivant.

	PARAMETRES	CANAL	REJET	RÉFÉRENCE
19 MARS 2008	<i>Poids sec (mg. m<sup>-3</sup>)</i>	5,1	6,2	4,5
	<i>Poids de carbone (mg. m<sup>-3</sup>)</i>	1,312	0,988	1,439
	<i>Poids d'azote (mg. m<sup>-3</sup>)</i>	0,263	0,167	0,347
	<i>Abondance holoplancton (ind. m<sup>-3</sup>)</i>	19	19	53
	<i>Abondance méroplancton (ind. m<sup>-3</sup>)</i>	2235	976	861
	<i>Abondance zooplancton totale (ind. m<sup>-3</sup>)</i>	2254	996	914
18 JUIN 2009	<i>Poids sec (mg. m<sup>-3</sup>)</i>	10,9	27,8	5,2
	<i>Poids de carbone (mg. m<sup>-3</sup>)</i>	3,064	8,770	2,067
	<i>Poids d'azote (mg. m<sup>-3</sup>)</i>	0,634	1,924	0,509
	<i>Abondance holoplancton (ind. m<sup>-3</sup>)</i>	985	1124	1997
	<i>Abondance méroplancton (ind. m<sup>-3</sup>)</i>	64	43	73
	<i>Abondance zooplancton totale (ind. m<sup>-3</sup>)</i>	1049	1167	2070
28 SEPTEMBRE 2009	<i>Poids sec (mg. m<sup>-3</sup>)</i>	21,8	58,7	18,0
	<i>Poids de carbone (mg. m<sup>-3</sup>)</i>	4,486	13,738	4,483
	<i>Poids d'azote (mg. m<sup>-3</sup>)</i>	0,802	3,530	1,107
	<i>Abondance holoplancton (ind. m<sup>-3</sup>)</i>	250	474	425
	<i>Abondance méroplancton (ind. m<sup>-3</sup>)</i>	49	73	63
	<i>Abondance zooplancton totale (ind. m<sup>-3</sup>)</i>	299	547	489

Tableau 3.23 : Récapitulatif des résultats pour 2009 pour l'étude du zooplancton

## 3.5.2.1. Biomasse sestonique

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

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

### 3.5.2.1.1 Variations spatiales et temporelles en 2009

Au cours de l'année 2009, la biomasse sestonique a varié entre  $4,5 \text{ mg m}^{-3}$  au point *référence* en mars, et  $58,7 \text{ mg m}^{-3}$  au point *rejet* en juin (figure 3.44).

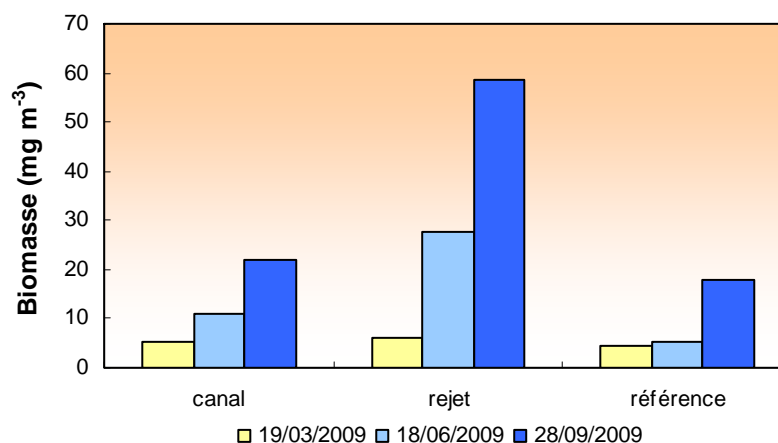


Figure 3.44 : Évolution de la biomasse sestonique (poids sec) au cours des trois campagnes de surveillance 2009

En mars la biomasse était du même ordre de grandeur aux trois points de prélèvement ( $< 7 \text{ mg m}^{-3}$ ). En juin et en septembre la biomasse sestonique était 3 à 5 fois plus importante au point *rejet* qu'aux points *canal* et *référence*. En septembre, la biomasse sestonique était 2 à 3 fois plus importante au point *rejet*.

Cette année encore, de nombreux échantillons étaient contaminés par du sable ou des déchets organiques végétaux, ce qui explique pourquoi la relation entre la biomasse et l'abondance zooplanctonique n'est pas toujours cohérente. Cela est confirmé par les rapports C/N calculés d'après les teneurs en carbone et azote mesuré sur les échantillons, et qui en 2009 ont fluctué entre 3,89 et 5,93 (figure 3.45). Ce rapport peut habituellement caractériser un compartiment tel que le zooplancton (rapport C/N  $\sim 4$ ; Mauchline, 1998)<sup>18</sup> ou le phytoplancton (C/N  $> 5$ ). Néanmoins, en raison de la contamination potentielle liée à la forte turbidité du site (sable, fragment d'algues,...), notamment aux points *canal* et *rejet*, une telle approche semble difficilement applicable pour les points de surveillance retenus dans cette étude. Seul le point *référence* lors des trois campagnes de prélèvement présentait un rapport C/N caractéristique du zooplancton.

<sup>18</sup> Mauchline, J. (1998). The biology of calanoid copepods. *Advances in Marine Biology* 33: 1-710



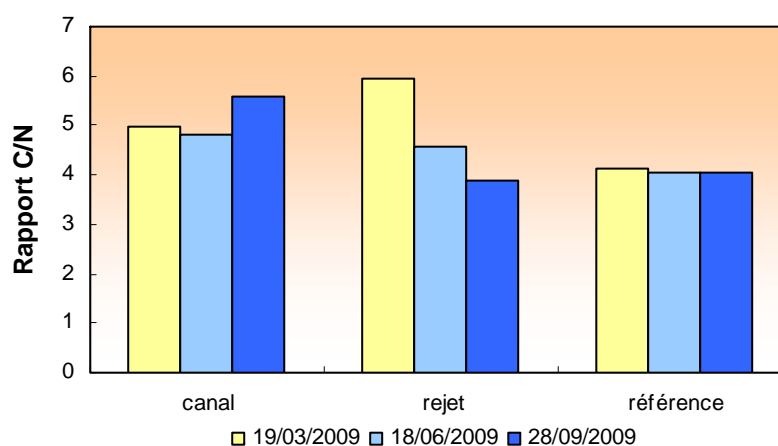


Figure 3.45 : Évolution du rapport C/N du seston au cours des trois campagnes de surveillance 2009

### 3.5.2.1.2 Variations interannuelles

Les valeurs de biomasse sestonique mesurées au printemps et en été 2009 au point *référence* étaient parmi les plus faibles de la série temporelle (figure 3.46). Pour le point *rejet* en septembre il s'agissait par contre de la valeur la plus forte observée depuis 1987 (figure 3.47).

### 3.5.2.1.3 Approche statistique

Pour vérifier si la biomasse sestonique est significativement différente entre les points de prélèvement, une analyse de variance à un critère de classification (ANOVA one-way) a été appliquée sur la série temporelle après normalisation des variables par transformation  $\log(x)$  et vérification de l'homogénéité des variances (test de Bartlett). Les résultats des tests statistiques sur l'ensemble des valeurs acquises depuis 1987 sont présentés dans le tableau 3.24.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
n	69	64	65
p	0,317	0,678	0,651

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

Tableau 3.24 : Probabilité associée  $p$  des tests statistiques sur la biomasse de 1987 à 2009

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

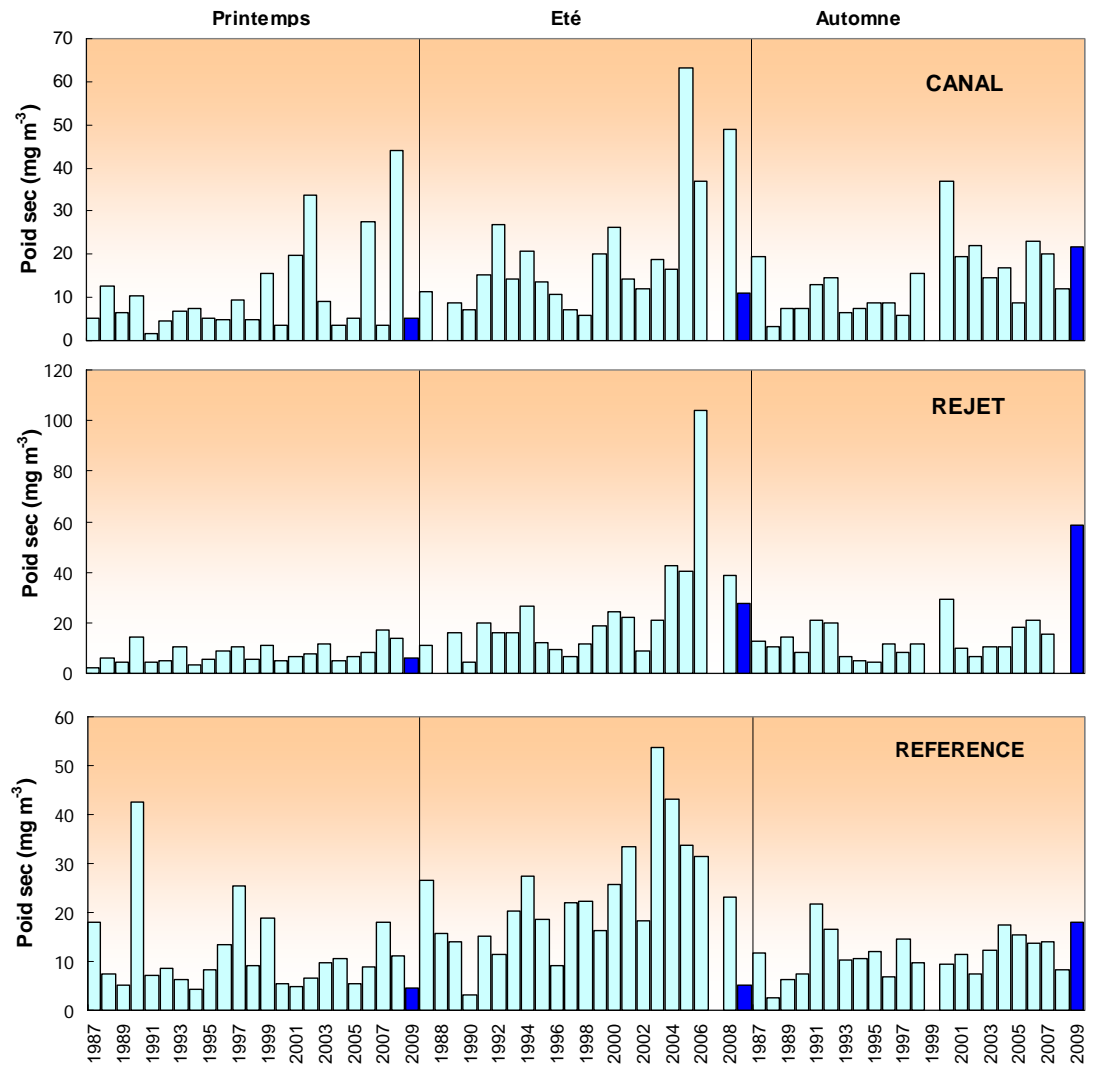


Figure 3.46 : Évolution de la biomasse sestonique (poids sec) de 1987 à 2009

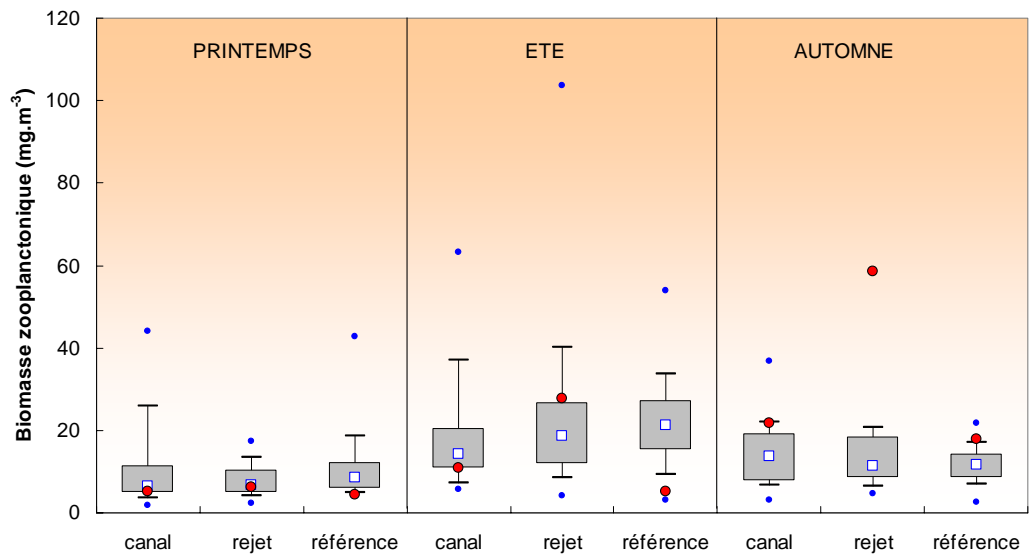


Figure 3.47 : Évolution de la biomasse sestonique (poids sec) de 1987 à 2009

### 3.5.2.2. Abondances zooplanctoniques globales

Les dénombrements et l'identification des espèces zooplanctoniques en groupes biologiques (holoplancton, méroplancton) puis systématiques (embranchements et jusqu'aux espèces) – voir aussi tableau 3.26 – permet d'étudier leur distribution spatio-temporelle voire rechercher une éventuelle influence de l'activité de la centrale sur ces populations.

#### 3.5.2.2.1 Variations spatiales et temporelles en 2009

Les dénombrements zooplanctoniques effectués en 2009 sont présentés sur la figure 3.48 ci-dessous. Ils sont exprimés en nombre d'individus par  $m^3$  d'eau de mer.

L'abondance la plus importante a été observée en mars au point *canal* avec 2 254 ind.  $m^{-3}$  et la plus faible en septembre au point *canal* avec 299 ind.  $m^{-3}$ .

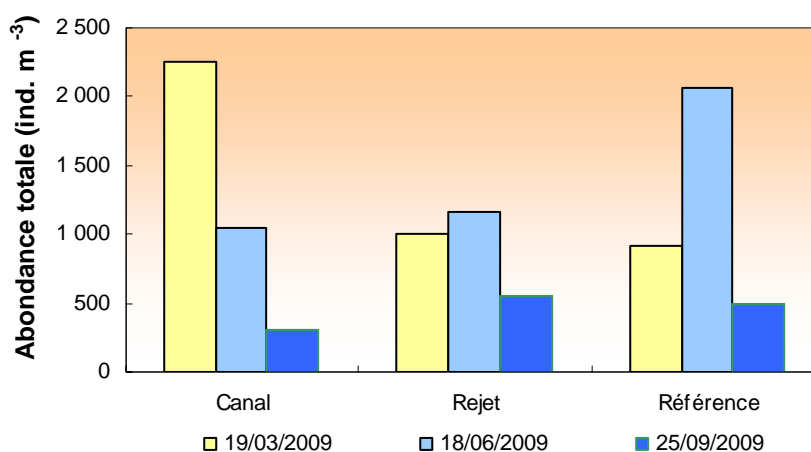


Figure 3.48 : Évolution de l'abondance zooplanctonique totale à Flamanville en 2009

A l'inverse de la biomasse sestonique, c'est lors des campagnes du mois de mars et juin que les abondances zooplanctoniques les plus importantes ont été observées, alors que les plus faibles abondances ont été observées en septembre. Au printemps on a observé une diminution des abondances entre le point canal et le point référence alors qu'en été c'est le point le plus au large qui présentait les abondances les plus importantes.

#### 3.5.2.2.2 Variations interannuelles

L'évolution de l'abondance zooplanctonique observée depuis 1991 à Flamanville (figures 3.49 et 3.50), confirme que les abondances automnales de 2009 étaient faible par rapport à la série temporelle. Les abondances printanières et estivales étaient par contre proches des valeurs extrêmes de la série temporelle, sauf pour le point *référence* en mars.

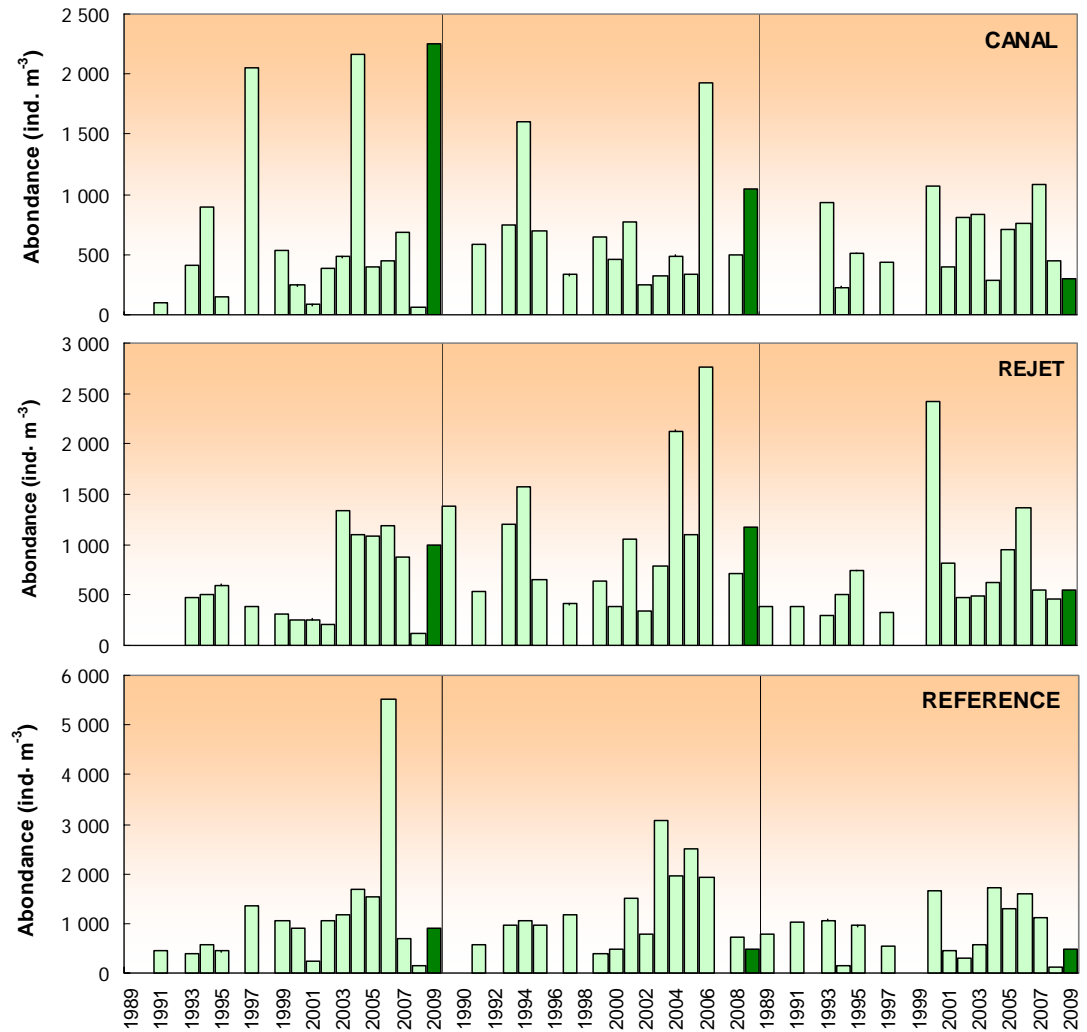


Figure 3.49 : Évolution de l'abondance zooplanctonique à Flamanville de 1989 à 2009

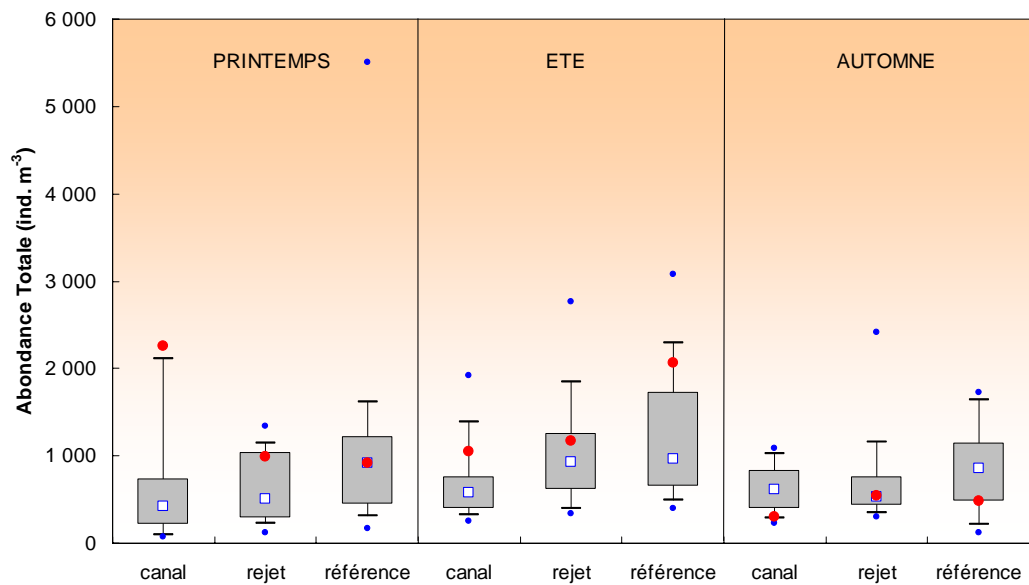


Figure 3.50 : Évolution de l'abondance zooplanctonique à Flamanville de 1989 à 2009

## 3.5.2.2.3 Approche statistique

Pour comparer les abondances zooplanctoniques entre les points *canal*, *rejet* et *référence* à chaque saison, une analyse de variance à un critère de classification (ANOVA one-way) a été appliquée sur la série temporelle après normalisation des variables par transformation log (x) et vérification de l'homogénéité des variances (test de Bartlett). Les résultats des tests statistiques sur l'ensemble des valeurs acquises depuis 1991 sont présentés dans le tableau 3.25.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
<i>n</i>	47	46	46
<i>p</i>	0.144	0.053	0.151

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

Tableau 3.25 : Probabilité associée *p* des tests statistiques sur les abondances de 1991 à 2009

Les résultats des tests indiquent que les abondances zooplanctoniques ne sont pas significativement différentes entre les trois points de prélèvement quelque soit la saison considérée.

## 3.5.2.3. Étude faunistique

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

Un certain nombre d'espèces accomplissent l'intégralité de leur cycle biologique (œufs, larves, adultes) au sein du milieu pélagique ; ce sont les espèces holoplanctoniques. Les crustacés copépodes représentent généralement une part importante de cette fraction. Selon la saison, s'y ajoutent quelques espèces moins abondantes, appartenant à d'autres embranchements comme les appendiculaires et les chaetognathes. D'autres organismes holoplanctoniques comme les mysidacés, les cténares et les cladocères ont été très peu présents lors des trois campagnes de 2009 (tableau 3.26).

Abondance zooplancton (N.m <sup>-3</sup> )	16 mars 2009						15 juin 2009						29 septembre 2009							
	Canal		Rejet		référence		Canal		Rejet		référence		Canal		Rejet		référence			
	N.m <sup>-3</sup>	%	N.m <sup>-3</sup>	%	N.m <sup>-3</sup>	%	N.m <sup>-3</sup>	%	N.m <sup>-3</sup>	%	N.m <sup>-3</sup>	%	N.m <sup>-3</sup>	%	N.m <sup>-3</sup>	%	N.m <sup>-3</sup>	%		
<b>holoplancton</b>																				
Noctiluques	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cténaires	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Appendiculaires	7	38	8	43	25	47	23	2	11	1	50	2	8	3	17	4	32	8	388	8
Cladocères	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Copépodes	12	62	11	57	28	53	952	97	1111	99	1941	97	238	96	452	95	388	91	3	1
Copépodes (nauplii)	0	0	0	0	0	0	10	1	0	0	3	0	2	1	2	0	2	1	0	0
Total Mysidacés	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Chaetognathes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	1	3	1	0	0
<b>total holoplancton</b>	<b>19</b>	<b>1</b>	<b>19</b>	<b>2</b>	<b>53</b>	<b>6</b>	<b>985</b>	<b>94</b>	<b>1122</b>	<b>96</b>	<b>1994</b>	<b>96</b>	<b>248</b>	<b>84</b>	<b>474</b>	<b>87</b>	<b>425</b>	<b>87</b>		
<b>méroplancton</b>																				
total Cnidaires	1	0	3	0	1	0	2	3	4	8	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0
total Annélides	6	0	6	1	2	0	0	0	7	17	3	4	8	16	4	5	3	5		
total larves de Cirripédés	2133	95	903	92	781	91	0	0	4	8	0	0	28	58	31	42	22	35		
Amphipodes	0	0	0	0	0	0	0	0	4	8	6	8	1	2	1	1	1	1		
Isopodes (larves microniscus)	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	3	4	1	2	0	0	1	1		
Isopodes Gnathidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Cumacés	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
larves de Caridés	0	0	1	0	0	0	0	0	2	4	6	8	1	2	5	7	1	2		
larves de Thalassinidés	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3		
Larves d'Anomoures	1	0	1	0	1	0	2	3	0	0	38	52	1	2	2	2	1	2		
larves Brachyours	1	0	1	0	2	0	10	16	0	0	12	16	2	4	5	6	1	1		
autre decapodes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
larves de bivalves	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	0	0	2	4	1	1	1	1		
larves de gastéropodes	3	0	4	0	2	0	48	74	16	38	3	4	2	4	15	21	7	10		
Cyphonautes Bryozoaires	82	4	55	6	69	8	0	0	0	0	0	0	4	9	9	12	24	37		
Echinodermes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Téléostéens (Œufs)	7	0	3	0	3	0	0	0	4	8	0	0	0	0	0	0	0	0		
Téléostéens (Alevins et larves)	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<b>total méroplancton</b>	<b>2235</b>	<b>99</b>	<b>976</b>	<b>98</b>	<b>861</b>	<b>94</b>	<b>64</b>	<b>6</b>	<b>43</b>	<b>4</b>	<b>73</b>	<b>4</b>	<b>49</b>	<b>16</b>	<b>73</b>	<b>13</b>	<b>63</b>	<b>13</b>		
<b>total zooplancton</b>	<b>2254</b>		<b>996</b>		<b>914</b>		<b>1049</b>		<b>1165</b>		<b>2067</b>		<b>297</b>		<b>547</b>		<b>489</b>			

Tableau 3.26 : Abondances et dominances de différents groupes du méroplancton et de l'holoplancton en 2009.

Par opposition à l'holoplancton, le méroplancton constitue la fraction temporaire du zooplancton, il regroupe les organismes dont seule une partie du cycle vital est planctonique. Il s'agit principalement de larves à vie pélagique émises par de nombreuses espèces à phase adulte benthique errante (crabes, annélides...) ou fixée : annélides, mollusques (moules...) et crustacés cirripèdes, nombreux sur l'estran rocheux. Le méroplancton est aussi constitué de phases pélagiques d'espèces fixées (méduses, qui représentent les phases sexuées libres de cnidaires). Il est donc de fait plus abondant au printemps, pendant les périodes de reproduction des espèces benthiques (figure 3.51).

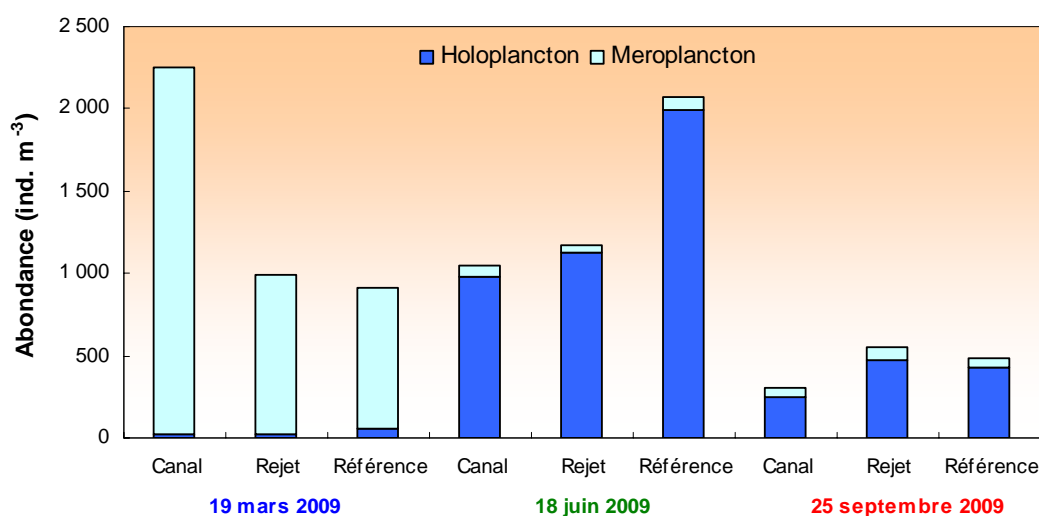


Figure 3.51 : Abondance de l'holoplancton et du méroplancton à Flamanville en 2009

Au printemps 2009, le méroplancton représentait plus de 94 % du zooplancton total contre seulement 3 à 16 % en été et en automne. Cette fraction était essentiellement composée de larves de cirripèdes au printemps (> 90 %) et à l'automne (35 à 60 %), essentiellement au stade nauplius. En été, cette fraction se composait de larves de gastéropodes à la côte et de larves de décapodes anomoures au point *référence*, notamment *Psidia longicornis longicornis* et *Galathea* spp. L'holoplancton était quant à lui essentiellement représenté par les copépodes, en particulier en été et en automne (> 90 %). Au printemps les appendiculaires représentaient également une part importante de l'holoplancton (40 à 50 %).

#### 3.5.2.3.2 Variations spatio-temporelles des principaux taxons en 2009

##### L'holoplancton

- Les copépodes :

Les copépodes, qui constituaient le taxon dominant de l'holoplancton, ont montré la même évolution saisonnière que celui-ci (figure 3.52). Comme en 2008, les plus faibles abondances ont été observées au printemps (< 30 ind. m<sup>-3</sup>) soit 2 à 4 fois moins qu'en 2007. Au cours des campagnes 2009, les stades juvéniles (copépodites) ont représenté entre 10 et 40 % des peuplements de copépodes.

L'indice de diversité de Shannon (figure 3.52) consiste en une mesure de la diversité tenant compte de la richesse spécifique (S, nombre total d'espèces observées), mais aussi de la proportion représentée par chaque espèce au sein de la communauté. Sa valeur varie entre 0 et S selon les cas. Cet indice était en général assez bas ( $< 2 \text{ Bit. ind}^{-1}$ ) dans les eaux environnant la centrale de Flamanville pour une richesse spécifique variant entre 6 et 13. Comme souvent en milieu côtier tempéré, les échantillons étaient caractérisés par une seule espèce de copépodes représentant 40 à 70 % du peuplement alors que plusieurs espèces n'étaient représentées que par un ou deux individus. Il s'agissait le plus souvent d'espèces tycoplanctoniques, c'est-à-dire vivant habituellement dans les sédiments, comme la plupart des copépodes harpacticoïdes, et se retrouvant accidentellement dans la colonne d'eau à la faveur de remises en suspension des sédiments.

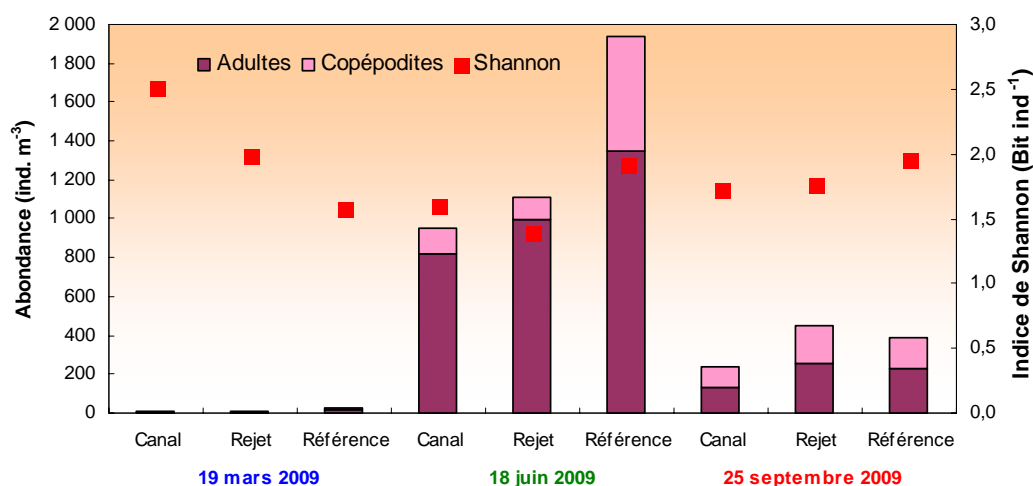


Figure 3.52 : Abondance des copépodes (adultes et copépodites) et diversité spécifique à Flamanville en 2009

Parmi les principales espèces de copépodes présentes sur le site de la centrale de Flamanville on a trouvé (figure 3.50) :

#### *Acartia clausi*

Espèce estivale et automnale, *Acartia clausi* apparaît généralement en abondance à partir du mois de mai ce qui explique les forts écarts d'abondance observés entre les deux campagnes de mars et de juin. L'abondance maximale en 2009 était de  $584 \text{ ind. m}^{-3}$  au point *rejet* en juin (53 % des copépodes).

#### *Centropages hamatus*

Egalement espèce estivale, *C. hamatus* était très peu présente en mars et septembre. Le maximum d'abondance était de  $1114 \text{ ind. m}^{-3}$  au point *référence* en juin. Les *centropages* représentaient 40 à 60 % des copépodes en juin alors qu'en mars et septembre ils en représentaient moins de 10 %.

#### *Temora longicornis*

Cette espèce présentait également un maximum d'abondance lors de la campagne de juin (entre  $20$  et  $100 \text{ ind. m}^{-3}$ ).

Pseudocalanus elongatus

Espèce printanière et estivale, elle précède toujours l'espèce suivante, *Paracalanus parvus* dans les peuplements de copépodes. En 2009 cette espèce était très peu abondante dans nos échantillons avec un maximum de 73 ind. m<sup>-3</sup> au point référence en été. Un gradient d'abondance croissant côte-large était bien marqué lors de la campagne estivale.

Paracalanus parvus

Cette espèce est plus automnale que *P. elongatus* qu'elle remplace peu à peu en été pour finir par la supplanter à l'automne.

Euterpina acutifrons

Espèce caractérisant les communautés automnales de copépodes en milieu côtier, elle représentait 30 à 40 % des copépodes en septembre (91 à 155 ind. m<sup>-3</sup>). Cette espèce est de plus petite taille que les autres espèces précédemment citées et à un mode de vie étroitement lié aux sédiments. En général seuls les adultes (surtout des femelles) sont collectés dans la colonne d'eau avec les filets à plancton, soit que les copépodites soient trop petits et passent à travers la maille du filet, soit qu'ils vivent trop près du fond pour être collectés.

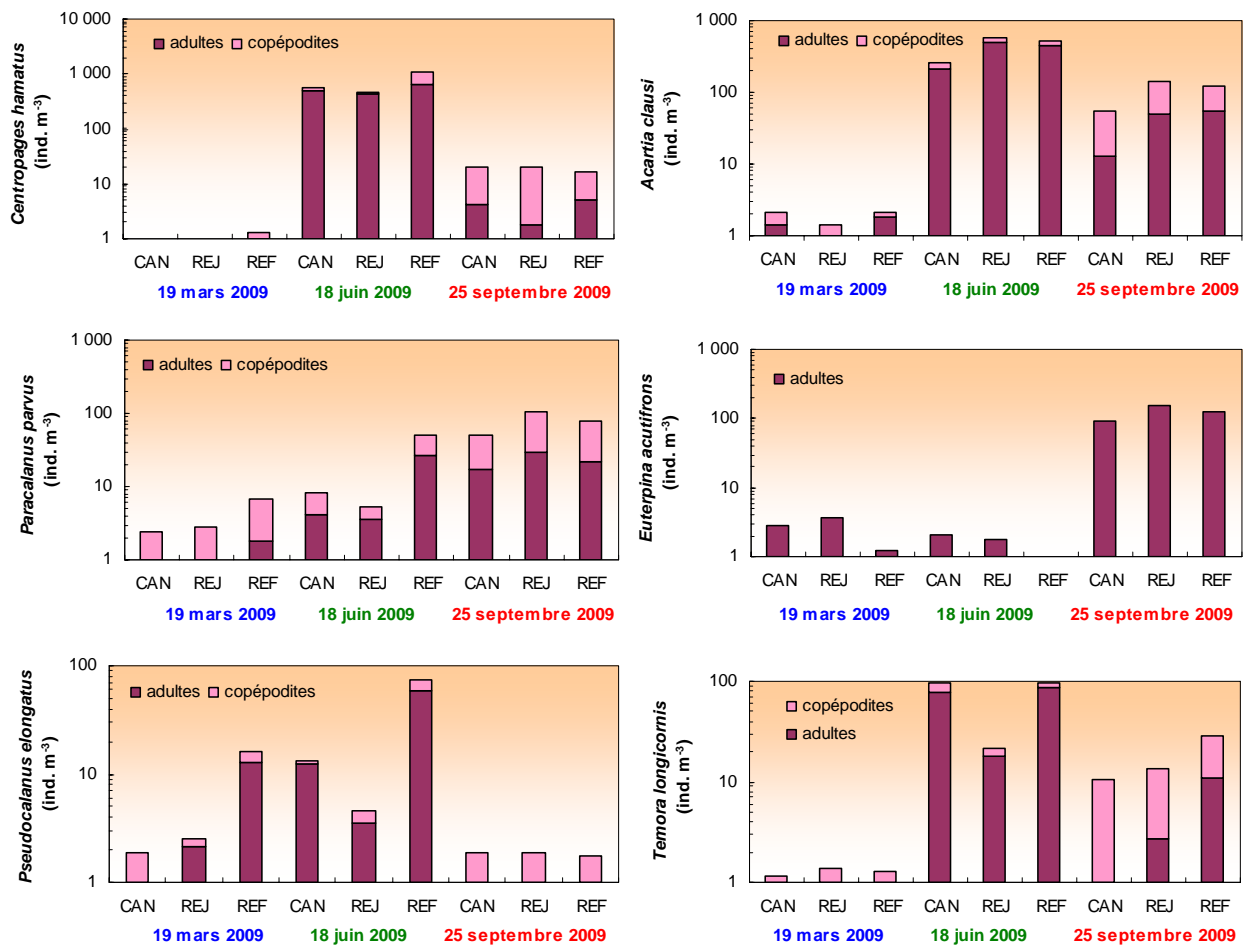


Figure 3.53 : Abondances des principaux copépodes à Flamanville en 2009 (Attention : échelle logarithmique)



- Les autres espèces holoplanctoniques (figure 3.54)

Les appendiculaires, représentés par l'espèce *Oikopleura dioica*, étaient présents lors des trois campagnes aux trois points de prélèvement avec des abondances comprises entre 7 et 50 ind. m<sup>-3</sup>. En général on observe un gradient croissant des abondances de la côte vers le large.

Les chaetognathes, représentés par l'espèce *Parasagitta setosa*, ont été présents en faible nombre en automne (1 à 3 ind. m<sup>-3</sup>)

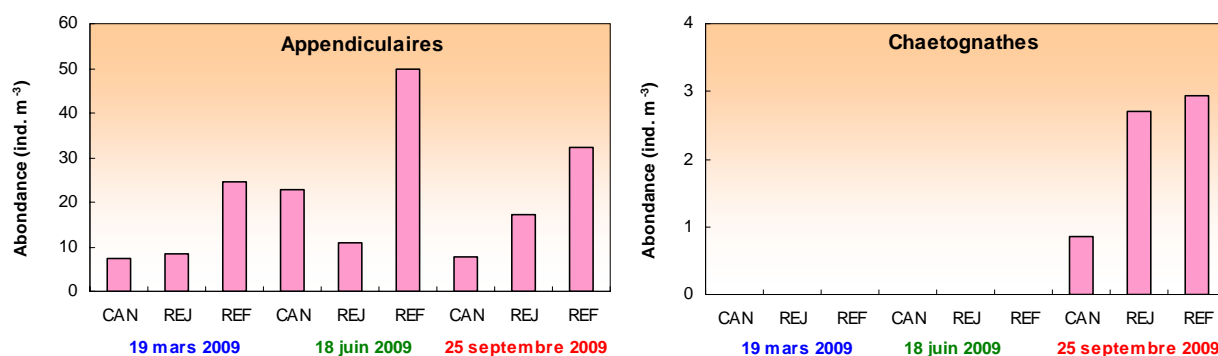


Figure 3.54 : Abondances des appendiculaires et des chaetognathes à Flamanville en 2009

### Le méroplancton

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

- Embranchement des annélides

Ces larves sont essentiellement des larves nectochètes de spionidés, probablement de *Polydora ciliata* en mars et en juin. Cette espèce prolifère en perforant les roches calcaires de l'estran (et les huîtres) tout en amassant un tapis de vase sur le littoral. En automne, il s'agissait de larves de *Pectinaria koreni*. Bien que pélagiques, ces larves de terebellidés ont la particularité d'occuper un tube muqueux, sur lequel l'animal adulte viendra agglutiner des grains de sable après sédimentation sur un substrat sableux.

- Embranchement des mollusques

Les larves de gastéropodes représentaient 1 à 5 % du zooplancton total en juin et septembre.

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

Les cirripèdes sont des crustacés qui, à l'état adulte, vivent fixés sur les rochers et les substrats durs. Ils constituent une part importante des 'salissures' ('fouling'). Les larves, essentiellement les stades nauplii, mais aussi de cypris en mars, sont émises en grande quantité et constituent un maillon important de la chaîne alimentaire.

Les larves de cirripèdes étaient essentiellement printanières (> 85 % du zooplancton total) et automnale (entre 5 et 10 %). Le maximum d'abondance a été observé au point canal en mars avec 2133 ind. m<sup>-3</sup>.

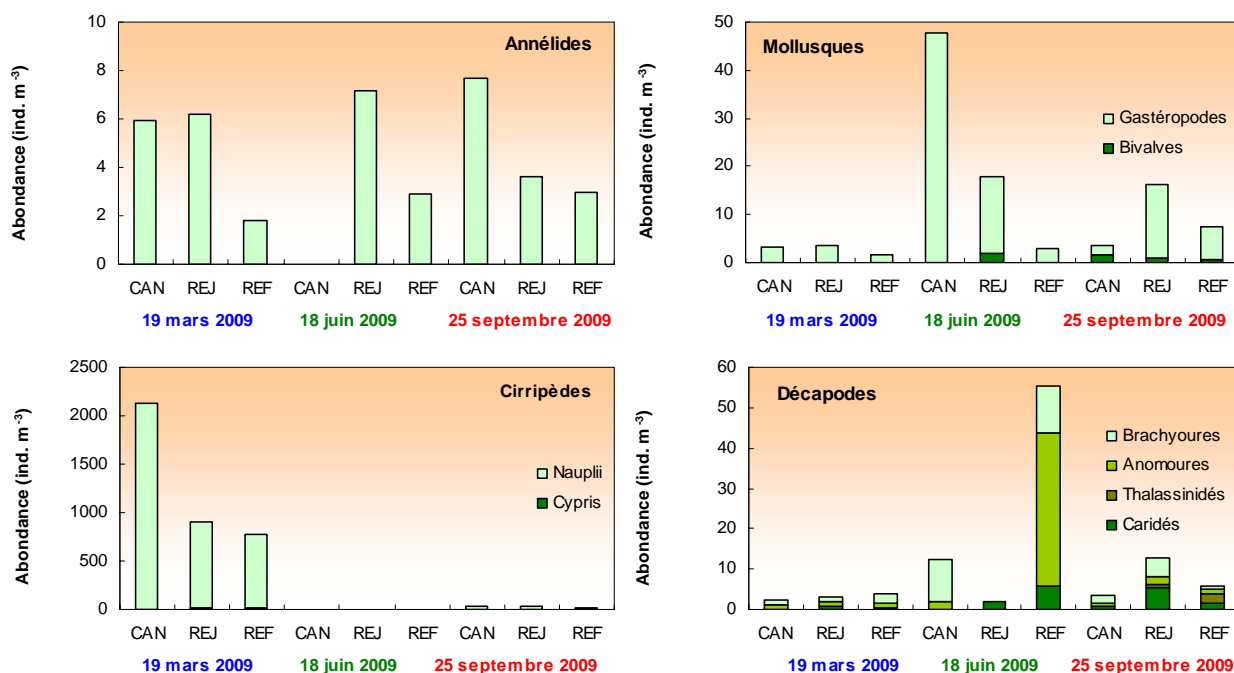


Figure 3.55 : Abondance des espèces méroplanctoniques à Flamanville en 2009

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

Les décapodes étaient caractérisés par quatre sous-ordre :

#### Larves des caridés

Présentes surtout en juin et en septembre ces larves représentaient moins de 10 % du méroplancton.

#### Larves de thalassinidés

Présentes cette année seulement en septembre et en très faible nombre 1 à 2 ind. m<sup>-3</sup>. Cet infra-ordre est surtout représenté par l'espèce *Upogebia deltaura*.

#### Larves d'anomoures

Toujours plus abondantes et diversifiées en été avec un maximum d'abondance au point référence (38 ind. m<sup>-3</sup>), ces larves étaient essentiellement représentées par les espèces *Pisidia longicornis longicornis* (porcellanidés) et *Galathea intermedia intermedia* (galathés).

#### Larves de brachyours (crabes)

Infra-ordre régulièrement présent dans les échantillons et dont l'abondance maximale a été observée en juin aux points canal et référence avec une dizaine d'individus par mètre cube.

### 3.5.3. Conclusion

En 2009, les biomasses sestoniques mesurées au printemps et en été au point *référence* étaient parmi les plus faibles de la série temporelle. Les biomasses automnales, en particulier au point *rejet*, font par contre partie des valeurs hautes pour la série de données. L'ensemble des valeurs acquises depuis 1987 ne montre pas de différence significative entre les points *canal*, *rejet* et *référence*, et ce quelle que soit la saison.

Encore une fois, ces tendances observées sur la biomasse sestonique ne reflétaient pas les observations sur les abondances zooplanctoniques. En effet, c'est lors des campagnes de mars et juin que les abondances zooplanctoniques les plus importantes ont été observées, alors que les biomasses sestoniques les plus fortes ont été mesurées en septembre. De même, les gradients d'abondance entre les points de prélèvement ne reflétaient pas ceux des biomasses. Les rapports C/N du seston montrent bien la difficulté qu'il y a à déduire, ou estimer, la biomasse du zooplancton, *sensus stricto*, à partir de ce type d'analyse. La contamination des échantillons filtrés par des débris minéraux, végétaux (point *canal* en mars) ou coquilliers est trop aléatoire pour pouvoir avoir une estimation fiable de la biomasse zooplanctonique. Au mieux cette analyse nous donne-t-elle une appréciation de l'évolution de la charge particulaire (seston > 100 µm) sur le site de la centrale de Flamanville au moment des prélèvements.

En 2009, l'abondance zooplanctonique a été caractérisée par des abondances printanières et estivales proches des valeurs extrêmes (> 1 000 ind. m<sup>-3</sup>) observées depuis 1991, alors que les abondances automnales étaient plutôt faibles. L'évolution de l'abondance zooplanctonique observée depuis 1991 à Flamanville ne montre pas de différence significative entre les points de prélèvement quelque soit la saison, même si en été l'abondance zooplanctonique au point *canal* semble tendre vers des abondances plus faibles qu'aux deux autres points.

Au printemps 2009, le méroplancton représentait plus de 94 % du zooplancton total. Cette fraction était presque exclusivement composée de larves de cirripèdes (> 90 %, essentiellement au stade nauplius).

L'holoplancton quant à lui, et comme il est coutume de l'observer, dominait largement le zooplancton en été et à l'automne (> 84 %). Comme toujours en milieu côtier tempéré, il était essentiellement caractérisé par les copépodes (> 91 %). La diversité spécifique de ce groupe est assez faible ( $\leq 2$  Bit. ind<sup>-1</sup>) et composé en général de moins d'une dizaine d'espèce dont une seule peut représenter entre 40 et 70 % du peuplement. Les espèces dominantes étaient comme souvent *Acartia clausi*, *Centropages hamatus*, *Temora longicornis*, *Euterpina acutifrons*, *Paracalanus parvus* et *Pseudocalanus elongatus*. Chacune de ces espèces respecte, pour ce que peut montrer cette analyse de trois campagnes annuelles, leur répartition saisonnière habituelle. Au printemps, les appendiculaires (*Oikopleura dioica*) constitue également une part non négligeable de l'holoplancton (40 à 50 %).

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



## 4. Le domaine benthique

*Prélèvements, analyses et rapport réalisés à l'Ifremer par*

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

*Avec la collaboration pour les prélèvements de*

<i>David</i>	<i>Le Berre</i>	<i>(DYNECO/Physed)</i>
<i>Philippe</i>	<i>Monbet</i>	<i>(LER/FBN)</i>



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

- d'une part du phytobenthos, concrétisée par le suivi d'une population de *Fucus serratus* sur l'estran de Diélette.
- d'autre part du zoobenthos, au travers des populations de crustacés cirripèdes du Cap de Flamanville et de la Pointe du Rozel (figure 4.1).



Figure 4.1 : Localisation de la radiale d'étude de *Fucus serratus* sur le platier de Diélette et des stations d'échantillonnage des cirripèdes.

## 4.1. Phytobenthos intertidal

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

### 4.1.1. Biologie de l'espèce

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



Photo 4.1 : 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

En mars et en septembre, des prélèvements réguliers sont effectués depuis 1983 dans trois secteurs de référence de la population de *Fucus serratus* sur le platier de Diélette. Ces secteurs, très proches les uns des autres mais situés à des niveaux bathymétriques légèrement différents, ont été choisis dans des zones à densité algale faible (secteur 1), forte (secteur 2), et moyenne (secteur 3). La moyenne de dix quadrats de 0,50 m x 0,50 m prélevés au hasard dans chaque secteur fournit ainsi une estimation de la biomasse algale locale (photo 4.3).



Photo 4.3 : Prélèvements des algues pour évaluation des biomasses (quadrat 50 cm x 50 cm)

### 4.1.2.2. Baguages sur radiales

Sur la radiale repérée, 10 points, espacés l'un de l'autre de 10 mètres, sont échantillonnés. En chaque point, 10 pieds de *Fucus serratus* sont bagués d'un collier numéroté de couleur blanche, serré entre le disque basal et la première dichotomie (photo 4.4). Seuls les pieds pouvant soutenir une bague sont considérés. C'est pourquoi toute une catégorie, parmi les plus jeunes individus ayant une longueur inférieure à 20 cm, n'est pas prise en compte dans ces mesures.

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

La méthodologie est ensuite la même pour le baguage de 300 pieds en 1987, de 287 en 1989, de 248 en mars 1991, de 250 en mars 1993, de 200 en mars 1994 et 1995, et enfin de 100 de mars 1996 à mars 2009. Le baguage systématique d'un nouveau lot d'individus chaque année depuis 1993 permet ainsi un suivi plus serré de cette population algale.

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



Photo 4.4 : Baguages de cent *Fucus serratus* en mars

#### 4.1.2.3. Paramètres mesurés

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

- la longueur (L) exprimée en cm et mesurée du disque basal au sommet de la dernière dichotomie
- le nombre de dichotomies (D) : les dichotomies principales sont comptées, de la première rencontrée en partant de la base jusqu'à la dernière avant l'extrémité supérieure de l'individu (figure 4.6)
- 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, avec 2 niveaux d'appréciation :
  - l'absence (stade 0) ou la présence (autres stades) de conceptacles fertiles à l'extrémité des frondes (photo 4.2), donnant une première indication sur le pourcentage de thalles fertiles ;
  - en cas de présence de conceptacles fertiles, une différenciation en 4 stades (« faible maturité » stade 1 à « forte maturité » stade 4) permettant d'estimer le taux moyen de fertilité du lot examiné.

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

### 4.1.3. Résultats

#### 4.1.3.1. *Evaluation du stock de Fucus serratus*

Tous les résultats, présentés ci-après, sont exprimés en grammes par quart de m<sup>2</sup> et en poids sec.

Les biomasses observées en 2009 sont en baisse, au printemps (48 g) et surtout en automne atteignant une valeur minimale observée depuis 1983 (126 g). C'est en limite supérieure (secteur 1), soit le haut niveau de la ceinture de *Fucus serratus* que les valeurs restent comme toujours les plus faibles (41 g en mars et 24 g en septembre) mais les évaluations printanières aux niveaux inférieurs sont également extrêmement faibles. C'est au bas niveau (secteur 3) que la population reste tout de même la plus dense (52 g en mars et 227 g en septembre) (figure 4.2).

Le recouvrement algal est clairsemé, la population de fucales s'appauvrit (photo 4.5).



Photo 4.5 : La radiale de *Fucus serratus* en juin 2009

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, une moyenne minimale de 36 g en mars.

En 2005 et 2006, les biomasses ont augmenté restant toutefois inférieures aux moyennes printanières et automnales observées depuis 1983.

La baisse amorcée en 2007 se poursuit.



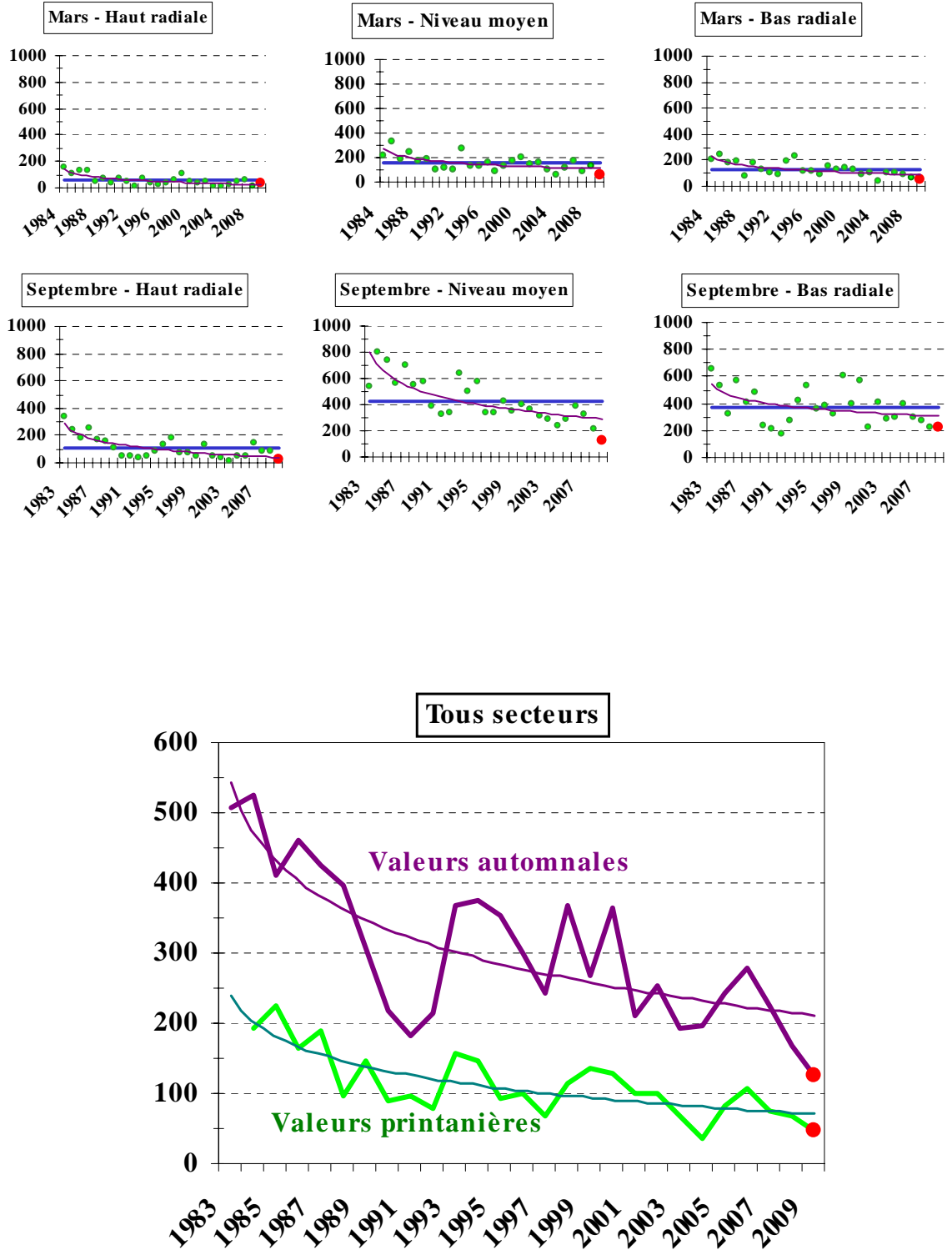


Figure 4.2 : Evolution des biomasses de *Fucus serratus* depuis 1983 (en grammes de poids sec/0.25m<sup>2</sup>)

#### 4.1.3.2. Biomasses à Flamanville, Paluel et au Vougot

Afin de préciser si ces tendances (augmentation des biomasses entre la fin de l'hiver et la fin de l'été et diminution des biomasses annuelles) sont observées ou non sur d'autres sites en Manche, un suivi similaire est réalisé Paluel (Seine Maritime) depuis 1994 et au Vougot (Nord Finistère) depuis 2005.

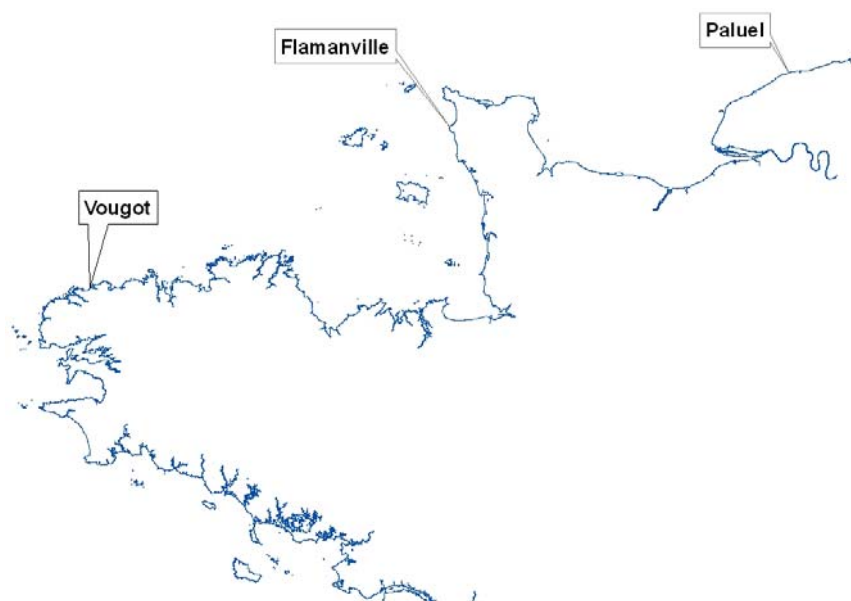


Figure 4.3 : Localisation des 3 sites de prélèvements de *Fucus serratus*

Au cours des cinq années d'observations communes aux 3 sites (2005 à 2009), les données acquises permettent une comparaison des valeurs annuelles enregistrées au printemps et à l'automne (figure 4.4).

Les valeurs printanières des 2 sites normands restent proches (moyennes sur la période 2005 à 2009 : 76 g à Flamanville et 82 g à Paluel, en grammes de poids secs par 0,25 m<sup>2</sup>). Elles sont inférieures à celles enregistrées au Vougot (125 g).

A l'automne, les écarts entre les 3 sites se creusent, les biomasses moyennes s'étendent alors de 115 g à Paluel à 291 g au Vougot (208 g à Flamanville).

Depuis 2005, à part quelques exceptions, les biomasses, quoique inégales, évoluent de la même façon dans les 3 régions.

Hormis le Vougot en mars et Paluel en septembre dernier, la tendance générale en 2009 est à la baisse.

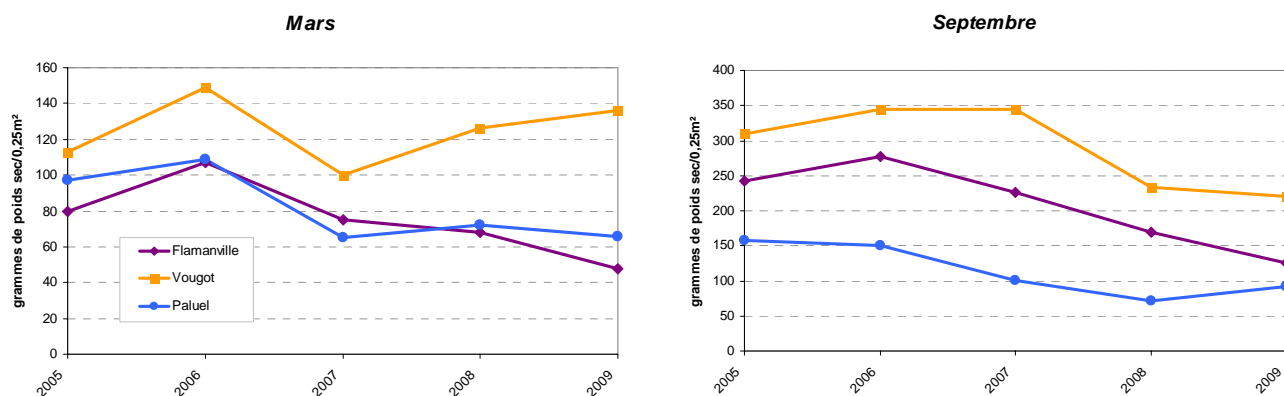


Figure 4.4 : Evolution des biomasses de *Fucus serratus* à Flamanville, Paluel et au Vougot, en mars et en septembre, depuis 2005 (en grammes de poids sec/0.25m<sup>2</sup>)

#### 4.1.3.3. Dénombrement des algues baguées

La perte des pieds de *Fucus serratus* bagués en mars 2009 atteint 32% en septembre, valeur proche de la moyenne qui est de 36 % (figure 4.5).

Seulement 49 % du lot bagué en 2008 n'a pas été retrouvé en mars 2009 (moyenne 68 % toujours sur la période 1983 à 2009).

Le taux moyen de dépopulation, 2 ans après la pose des bagues, s'élève à 92 %.

Les causes de ce dépeuplement (ou de la perte des bagues sur les algues) sont diverses : vieillissement des algues, action de la houle, broutage par des gastéropodes, action humaine par l'arrachage lors de pêche à pied...

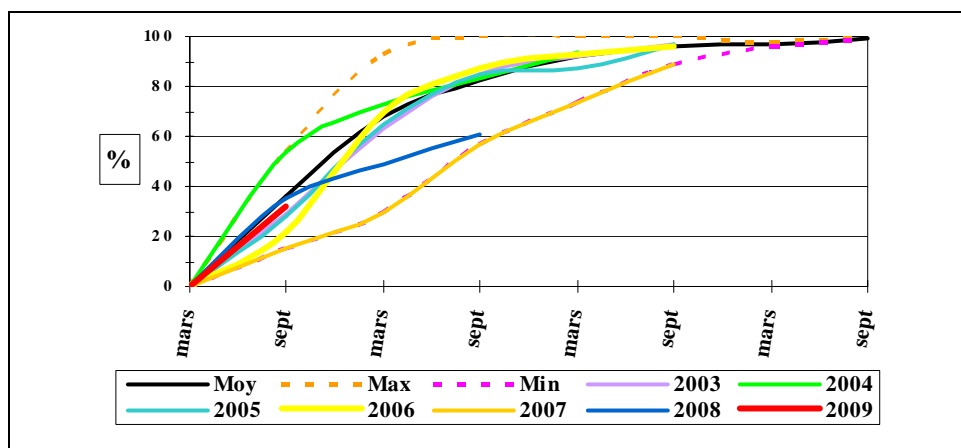


Figure 4.5 : Dépopulation des individus bagués (1983 à 2009)

#### 4.1.3.4. Biométrie des algues baguées

##### 4.1.3.4.1 Nombre de dichotomies

En mars 2009, le nombre moyen de dichotomies par pied bagué est évalué à 16 (moyenne 16,5). En septembre, la valeur a normalement augmenté atteignant 20 dichotomies par pied (moyenne 19).

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 4.7).

La valeur observée en mars 2009 est la plus basse enregistrée depuis mars 1998.

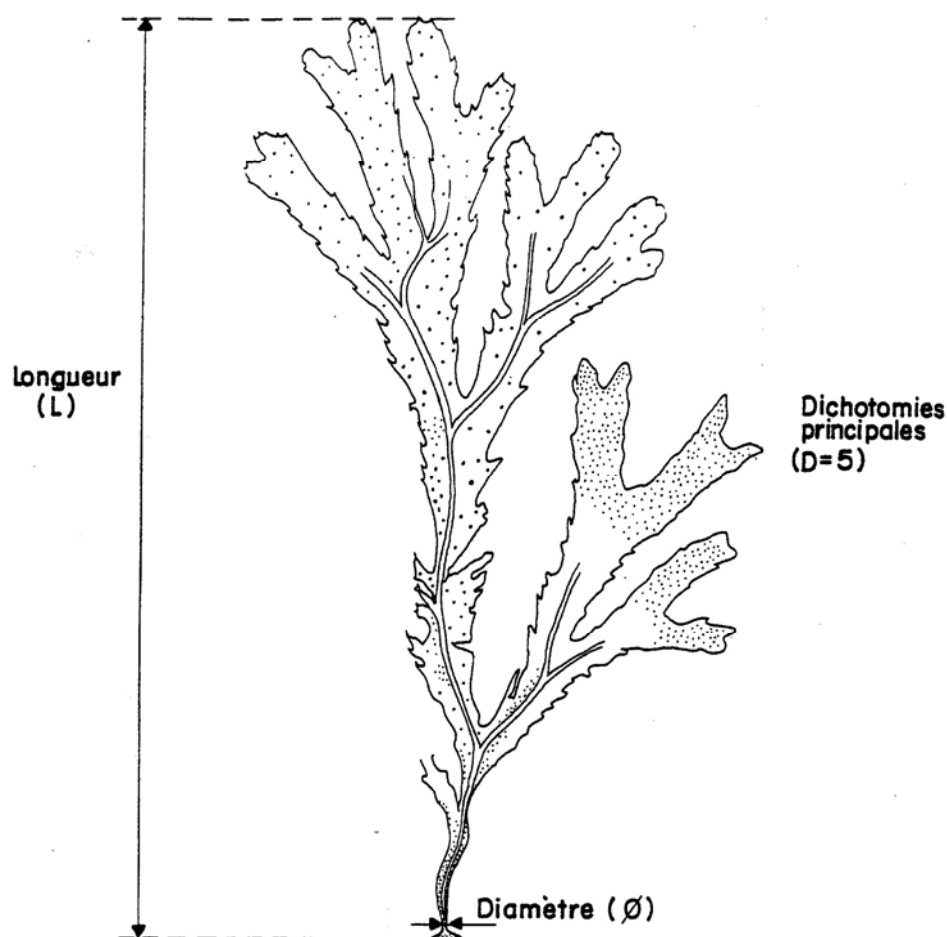


Figure 4.6 : *Fucus serratus*. Paramètres mesurés

#### 4.1.3.4.2 Diamètre des stipes

Les diamètres moyens mesurés en 2009, au printemps (5,3 mm) et en automne (5,6 mm) sont légèrement en baisse par rapport à 2008 (5,5 et 6 mm) (figure 4.7). Ils restent inférieurs aux moyennes calculées de 1983 à 2009 (6 et 6,6 mm).



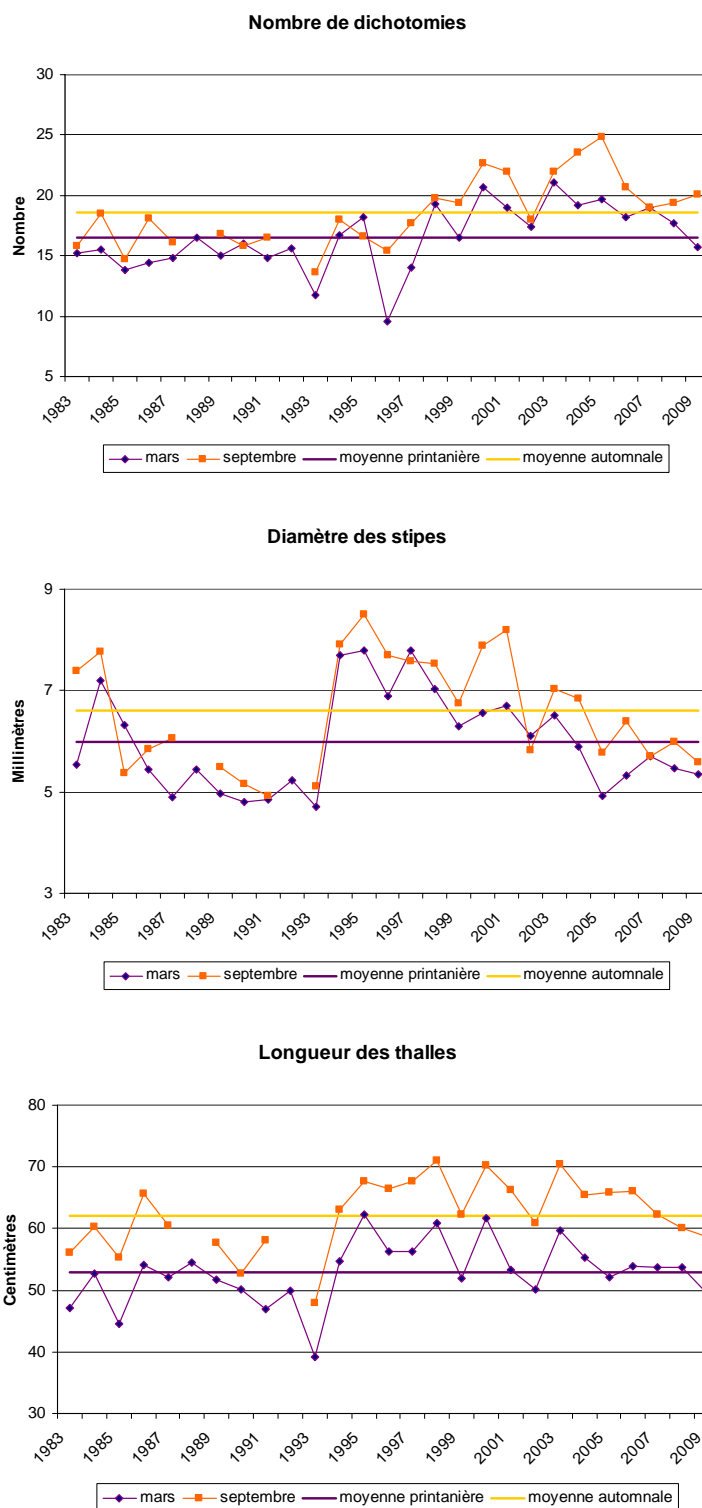


Figure 4.7 : Evolution saisonnière des paramètres mesurés chez *Fucus serratus* à Diélette par rapport à la mesure moyenne estimée de 1977 à 2009.

## 4.1.3.4.3 Longueur des thalles

Les longueurs mesurées en 2009 sont inférieures à celles de 2008 au printemps comme en automne. Depuis septembre 2006 les valeurs diminuent (figure 4.7).

Pourtant la croissance des thalles, calculée à partir des mesures printanières et automnales a atteint 9,20 cm, valeur en hausse par rapport aux années précédentes, mais encore inférieure à la moyenne calculée sur la période 1984-2009 (10 cm). Les valeurs s'échelonnent de 2,6 cm en 1990 à 18,4 cm en 1985 (figure 4.8).

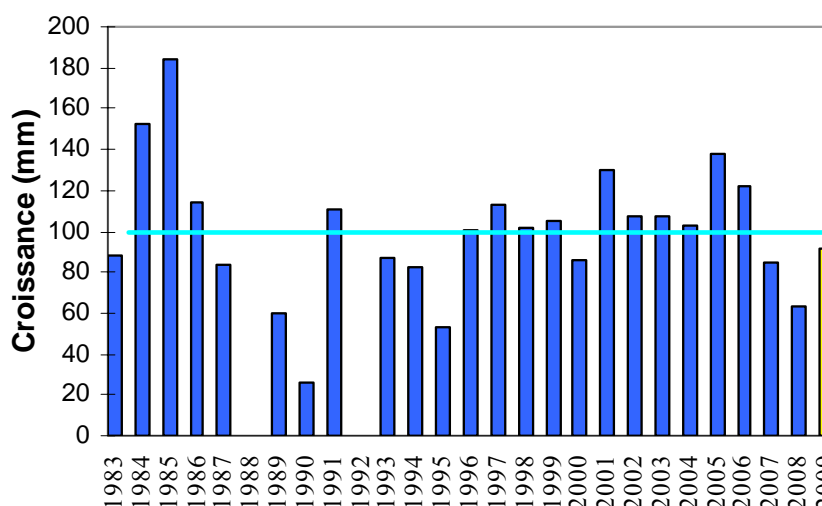


Figure 4.8 : Croissance moyenne des thalles de *Fucus serratus* de mars à septembre

## 4.1.3.5. Fertilité

L'extrémité des thalles de *Fucus serratus* présente des conceptacles renfermant des organes mâles ou femelles, selon les individus, plus ou moins fertiles tout au long de l'année (photo 4.6).



Photo 4.6: Emission des gamètes mâles d'un thalle de *Fucus serratus*

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

#### 4.1.3.5.1 Résultats 2009

Le développement de la fertilité s'est déroulé normalement au cours de l'année 2009 (figure 4.9) : en mars, 58 % des thalles bagués présentaient des signes de fertilité, 73 % en juin et 94 % en septembre.

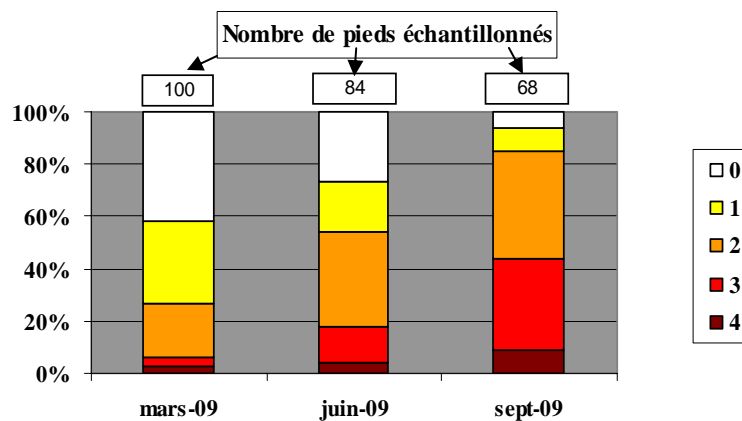


Figure 4.9 : Evolution de la fertilité des pieds de *Fucus serratus* bagués en 2009

Même rythme de développement de la fertilité sur le lot bagué en avril 2008 : 53 % des individus sont plus ou moins fertiles en mars, 68 % en juin et 92 % en septembre. Une légère différence de maturation entre les lots bagués en 2008 (figure ci-dessous) et ceux bagués en 2009 (figure ci-dessus) peut être soulignée en mars. En effet, les individus 2008 n'atteignent pas alors les stades de maturation 3 et 4 (figure 4.10).

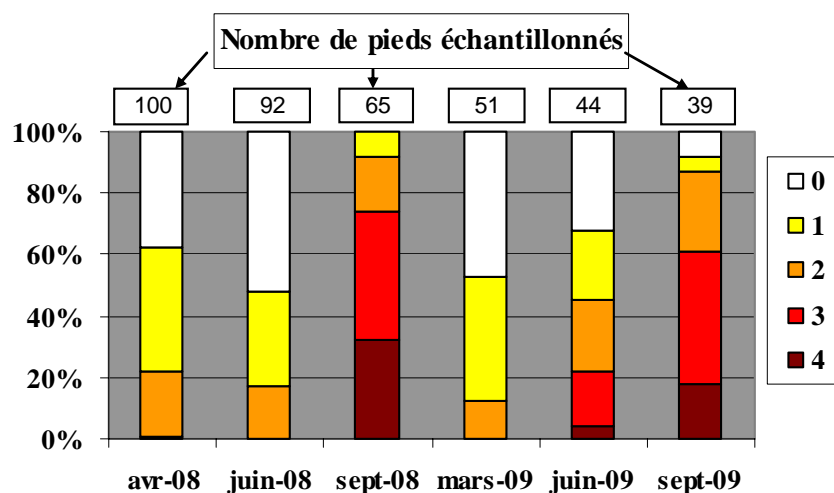
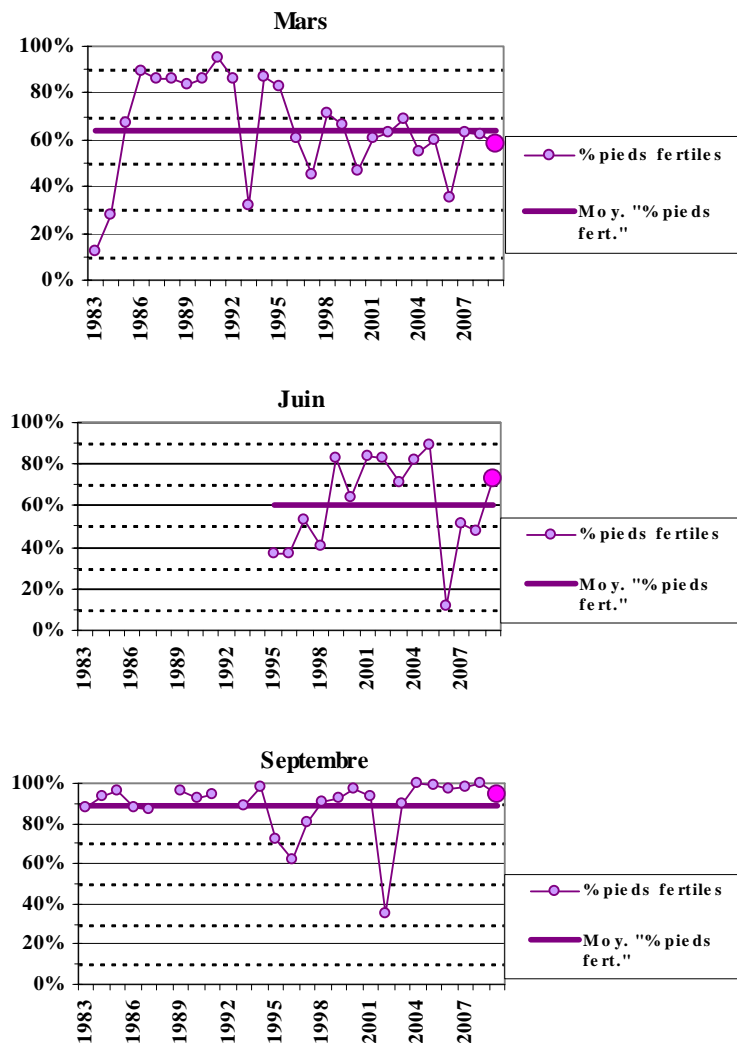


Figure 4.10 : Evolution de la fertilité des pieds de *Fucus serratus* bagués en 2008

## 4.1.3.5.2 Variations annuelles

- Le pourcentage de *Fucus serratus* fertiles évalué en mars 2009 est légèrement inférieur à celui de 2008 (figure 4.11). Depuis 1998, les valeurs observées en fin d'hiver sont proches de la moyenne calculées sur la période 1983 à 2009 (64 %) et relativement stables (excepté en 2000 et 2006).
- En début d'été, les valeurs 2009 sont supérieures à celles de 2008 et à la moyenne saisonnière (60 %). Les pourcentages sont plus variables d'une année à l'autre.
- En septembre 2009, le pourcentage de thalles fertiles est élevé. Depuis 2003, les valeurs, fortes, sont stables (moyenne saisonnière : 88 %).

Figure 4.11: Evolution saisonnière du pourcentage de pieds fertiles de *Fucus serratus* depuis 1983

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 4.12).

Le peuplement de *Fucus serratus* du platier de Diélette présente des caractères de fertilité toute l'année avec une période de maturité plus importante qui s'étendrait principalement d'août à janvier. Ce que confirment nos observations faites en septembre tant en nombre de pieds qu'en taux moyen (54 %) obtenu en tenant compte

des différents stades de maturité sur la période 1993 à 2009 (exception faite de 2002 où la maturation a été semble-t-il plus précoce).

En septembre 2009, le taux moyen atteint 58 %. Le nombre de thalles développant des caractères fertiles est important mais le pourcentage ayant atteint la maturité (stade 4) reste faible

Au printemps, les valeurs décroissent pour atteindre 29 % de taux moyen de fertilité.

En mars 2009, le taux moyen est de 24 %. La fertilité décroît, le cycle de reproduction s'achève alors que le suivant débute.

En juin 2009, le taux moyen (37 %) est relativement élevé, les réceptacles contenant les gamètes se développent.

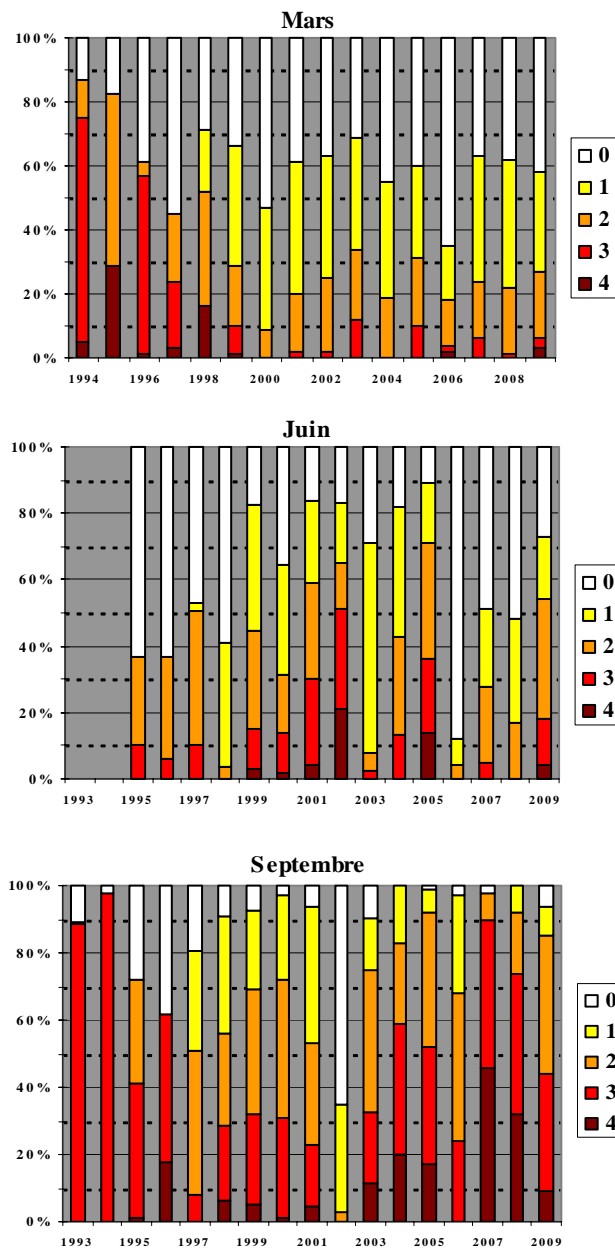


Figure 4.12 : Evolution de la fertilité de *Fucus serratus* depuis 1993, stade par stade

## 4.2. Zoobenthos des substrats durs intertidaux

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

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

L'étude de Surveillance, menée depuis 1983, a pour objectif de contrôler les variations d'abondance des principales espèces de cirripèdes à la pointe du Rozel (figure 4.1) 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 4.7), l'autre près du port de Diélette (platier rocheux au nord du nouveau port de plaisance).

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



Photo 4.7 : Quédoy, station la plus proche de la centrale

### 4.2.1. Biologie des cirripèdes

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

#### Habitat

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

#### Reproduction

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

#### Alimentation

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

#### Croissance

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

#### Prédation

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

### 4.2.2. 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 4.8 : 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 4.9 : 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  $1/16 \text{ m}^2$  (quadrat  $0,25 \text{ m} \times 0,25 \text{ m}$ ). Elles sont récoltées par grattage (4 par point), puis déterminées et comptées au laboratoire.

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



### 4.2.2.3. Recolonisation du substrat

Les points Rozel (n°2), Sémaphore, Quédoy et Diélette servent également à une étude de recolonisation du substrat par les cirripèdes (photo 4.10).

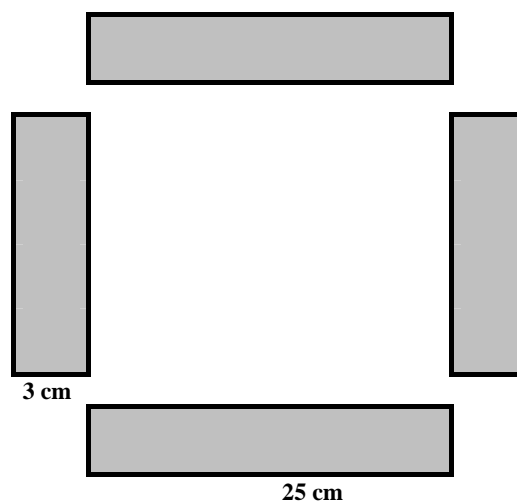


Photo 4.10 : Quadrats pour l'étude du recrutement des cirripèdes

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

## 4.2.3. Résultats

### 4.2.3.1. Etude de recolonisation par les cirripèdes

#### 4.2.3.1.1 Résultats 2009

La recolonisation notée lors d'une mission donnée est le résultat du recrutement saisonnier en cours, diminué d'une mortalité (non quantifiée) intervenue entre la date de fixation des cypris (larves métamorphosées) sur le substrat et la date d'observation. Le recrutement de cirripèdes en 2009, 382 individus / 75 cm<sup>2</sup>, est supérieur à ceux de 2007 et 2008 mais reste encore inférieur à la moyenne observée sur la période 1983 à 2009 (532 individus). Le maximum atteint 2259 en 1986, le minimum 55 en 1990 (figure 4.13).

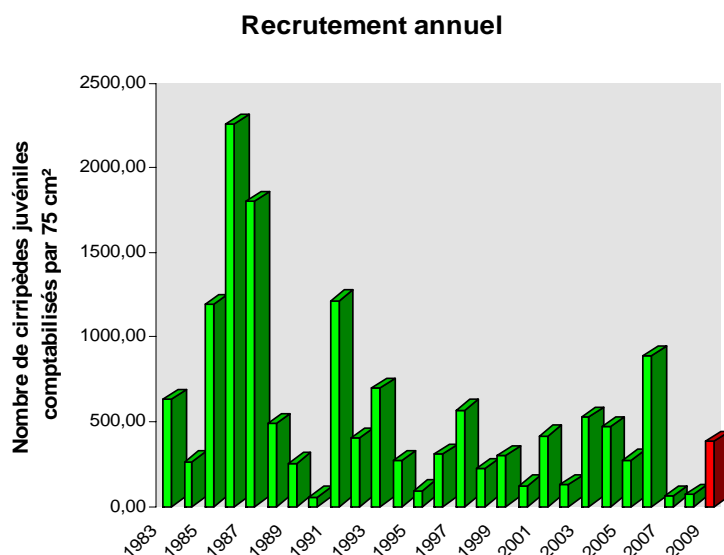


Figure 4.13 : Recrutement annuel (somme des recrutements comptabilisés en mars, juin et septembre aux 4 stations sur les quadrats de 75 cm<sup>2</sup>)

Le recrutement printanier, comptabilisé lors des missions en juin et/ou quelquefois en mars si métamorphose précoce des cirripèdes, peut représenter selon les années, jusqu'à 99 % du phénomène annuel toutes stations confondues (tableau 4.1). C'est à Quédoy que les recrues ont été les plus nombreuses.

	Rozel	Sémaphore	Quédoy	Diélette
<b>Recrutement Comptages avril</b>	Recrutement important mais pas de comptages (stade larvaire)			
<b>Recrutement Comptages juin</b>	280 ± 173	486 ± 136	503 ± 73	235 ± 60
<b>Recrutement Comptages septembre</b>	2 ± 2	8 ± 2	8 ± 5	8 ± 5
<b>Bilan annuel</b>	282	494	511	243

Tableau 4.1 : Nombre de cirripèdes métamorphosés, comptabilisés par 75 cm<sup>2</sup> en 2009

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

En 2009, ce recrutement, évalué uniquement au cours du mois de juin atteint 98 % du total. Les cirripèdes, très nombreux, fraîchement fixés et pas encore métamorphosés, n'ont pas été comptabilisés lors de la mission de mars



Photo 4.11 : Recrutement printanier de *Semibalanus balanoides* en mars 2009

Le recrutement estival, beaucoup plus faible, seulement 2 % du recrutement total en 2009, concerne en priorité les espèces *Chthamalus montagui*, *Chthamalus stellatus*, et *Elminius modestus*. Enfin, la recolonisation observée entre septembre et mars n'est en fait que la fin du recrutement estival intervenu après les observations effectuées en septembre.

#### 4.2.3.1.2 Recrutement et température de l'air

Une relation entre la température de l'air et l'importance du recrutement printanier du mois le plus froid de l'année a été mise en évidence (Drévès, 1993 ; température moyenne de l'air et/ou de l'eau du mois le plus froid de l'année ; tableau 4.2 & figure 4.14). 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 2009 confirment cette hypothèse :

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

Tableau 4.2 : Température mensuelle minimale de l'air au Cap de La Hague (1983-2009), source Météo France, et de l'eau de mer à Flamanville (1986-2009), source EDF. Les années sont classées selon l'importance croissante des températures de l'air

Les températures hivernales en 2009, relativement basses, ont favorisé un renouvellement important de *Semibalanus balanoides*.

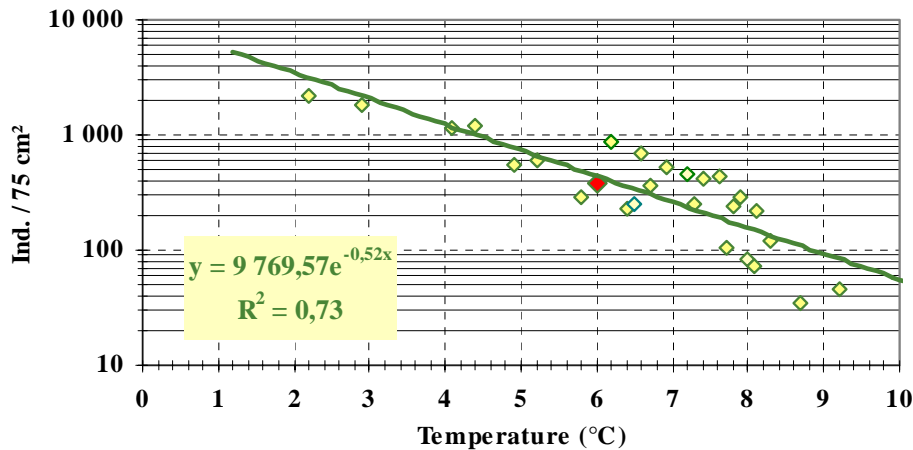


Figure 4.14 : Recrutement printanier des cirripèdes aux abords de Flamanville sur la période 1983/2009 (nombre d'individus par 75 cm<sup>2</sup>, exprimé en fonction de la température mensuelle moyenne de l'air du mois le plus froid de l'hiver [°C])  
Le recrutement 2009 est figuré en rouge

#### 4.2.3.2. Evaluation des densités de cirripèdes

La densité moyenne 2009 est supérieure à la valeur 2008, minimum estimé depuis 1983. Les cirripèdes augmentent sauf à Quédoy, où malgré un recrutement printanier important, la valeur est en baisse atteignant son minimum observé depuis 1993 (figure 4.15 et tableau 4.3).

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

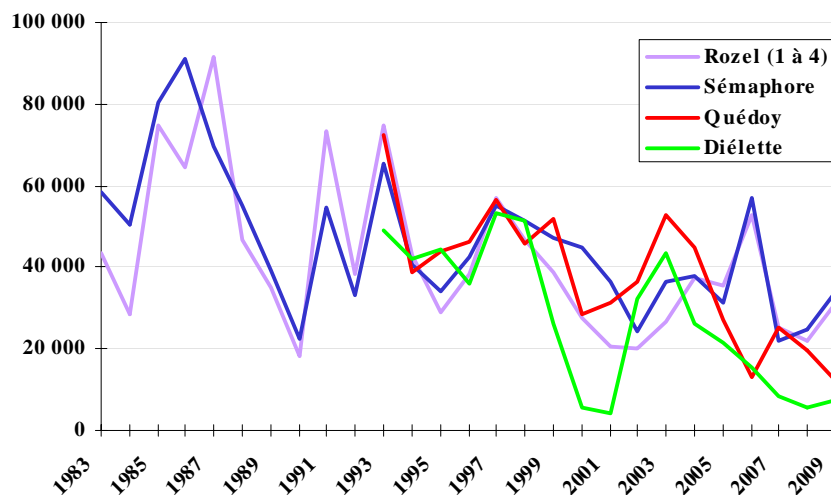


Figure 4.15 : Evolution des densités de cirripèdes aux différentes stations depuis 1983 (nombre d'individus par m<sup>2</sup>)

Depuis 1983, les populations de cirripèdes se développent au même rythme au Rozel et au Sémaphore.

Stations		Densité par strate	Surface occupée du substrat	Densité moyenne
Rozel	Point 1	4 767	30 %	1 430
Rozel	Point 2	56 000	70 %	39 200
Rozel	Point 3	62 000	80 %	49 600
Rozel	Point 4	38 367	90 %	34 530
Flamanville	Sem sup.	31 840	95 %	30 248
Flamanville	Sem inf.	47 440	80 %	37 952
Flamanville	Quédoy sup	10 960	30 %	3 288
Flamanville	Quédoy inf	29 440	70 %	20 608
Flamanville	Diélette sup	12 400	30 %	3 720
Flamanville	Diélette inf	22 160	50 %	11 080

Tableau 4.3 : Densités globales des cirripèdes en 2009 (nombre d'individus par m<sup>2</sup>)

#### 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 4.12 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.

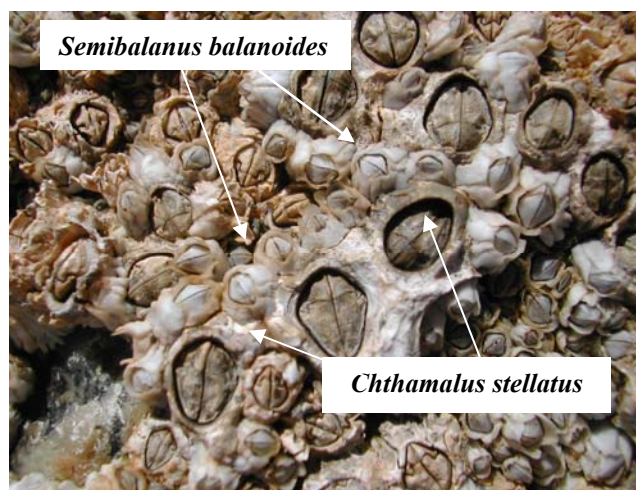


Photo 4.12 : Cirripèdes au point de surveillance du sémaphore

Le pourcentage de *Semibalanus balanoides* en 2009 est en hausse à toutes les stations au détriment des autres espèces : 90 % à Dielette, 87 % au Rozel, 82 % au Sémaphore et 72 % à Quédoy (figures 4.16, 4.17 et 4.18).

### Principaux cirripèdes en zone intertidale sur Flamanville

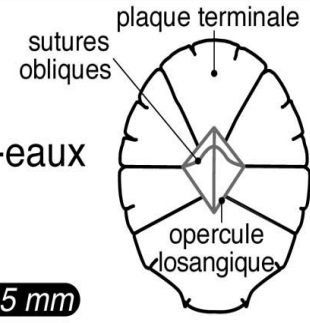
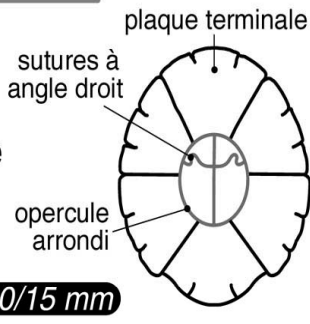
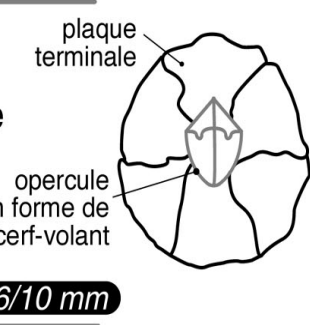
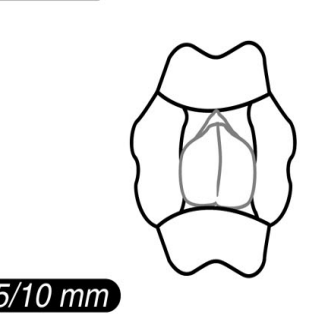
<p><b>S</b> <i>Semibalanus balanoides</i></p> <p>Muraille : 6 plaques            Sous les pleines mers de mortes-eaux  <i>Atlantique, Manche ouest et est.</i></p>	 <p>plaque terminale            sutures obliques            opercule losangique</p> <p><b>15 mm</b></p>
<p><b>C</b> <i>Cthamalus stellatus</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><b>10/15 mm</b></p>
<p><b>C</b> <i>Cthamalus 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><b>6/10 mm</b></p>
<p><b>E</b> <i>Eiminius modestus</i></p> <p>Muraille : 4 plaques symétriques            Origine Nouvelle-Zélande  <i>Extension en cours</i></p>	 <p><b>5/10 mm</b></p>

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



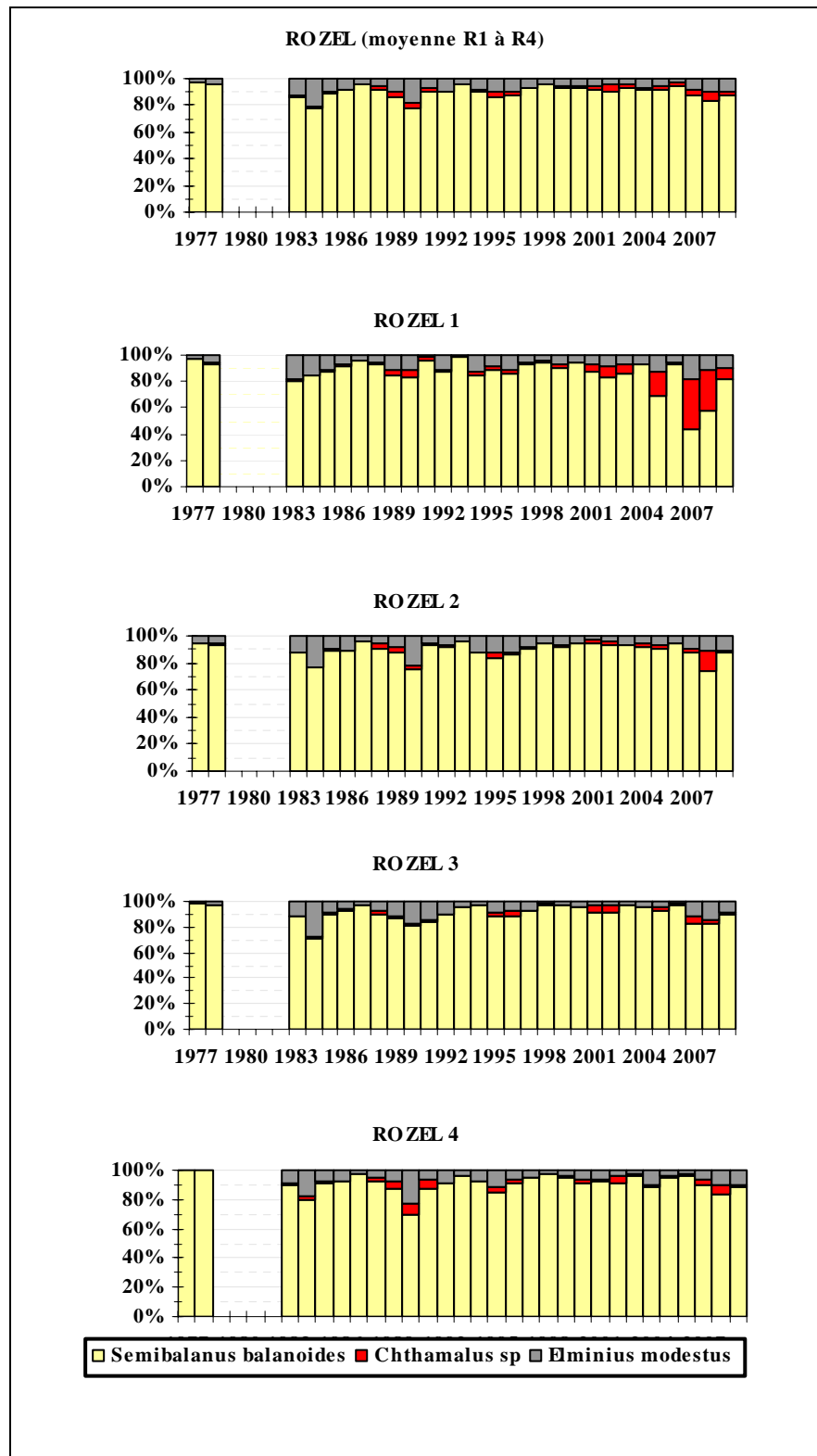


Figure 4.16 : Evolution en % des quatre espèces de cirripèdes à la pointe du Rozel depuis 1977.  
(Les deux espèces de Chthamales ont été regroupées au niveau du genre)

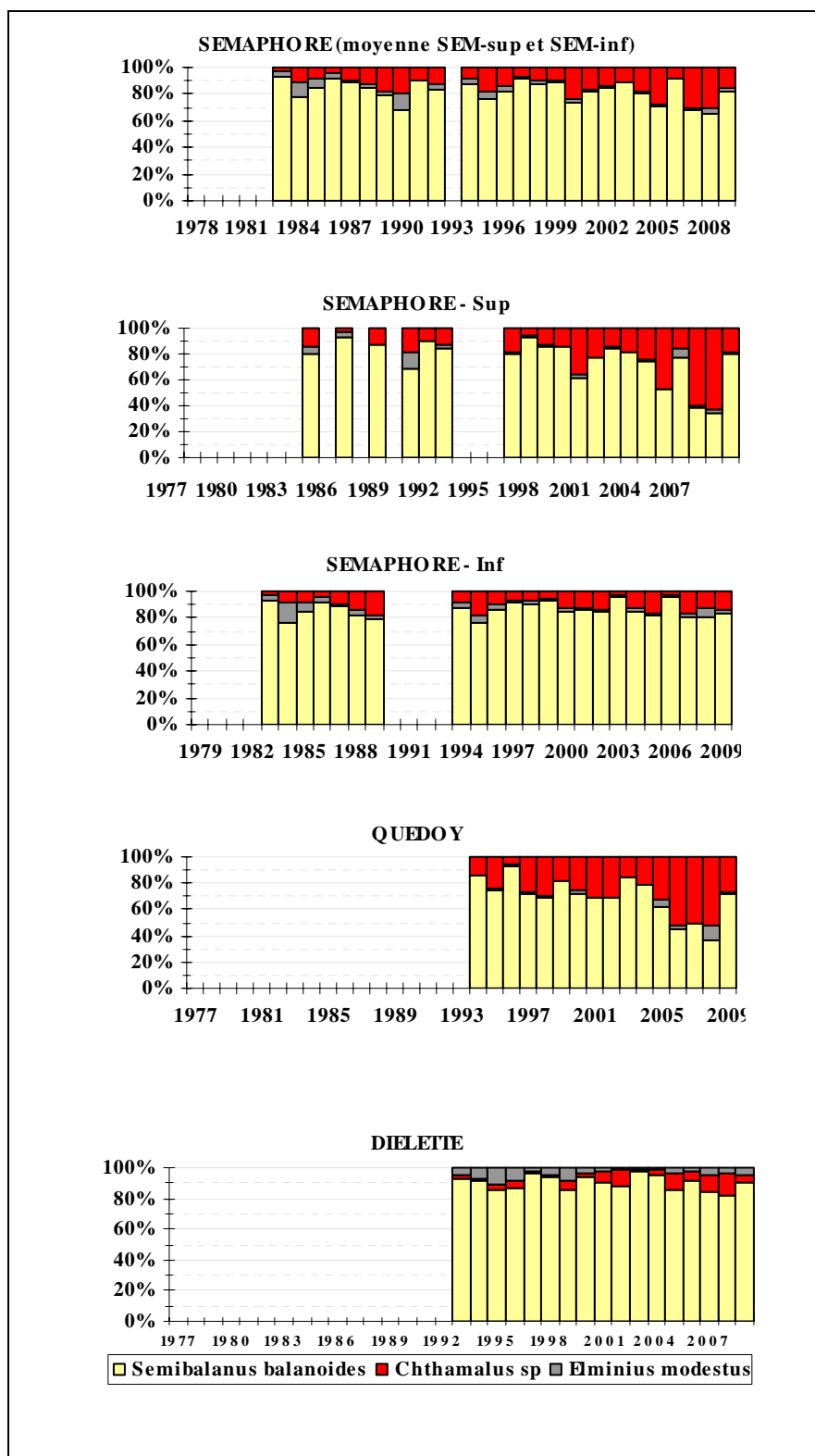


Figure 4.17 : Evolution en % des quatre espèces de cirripèdes au cap de Flamanville depuis 1983. (Les deux espèces de *Chthamalus* ont été regroupées au niveau du genre)



La part des Chthamales diminue, particulièrement à Quédoy où leur abondance est la plus élevée, de 52 % en 2008 à 27 % en 2009. Au Sémaphore, elle passe de 31 en 2008 à 15 % de la population. Minoritaires à Diélette, *Chthamalus montagui* et *Chthamalus stellatus* représentent seulement 3 % du peuplement de cirripèdes.

L'abondance de *Elminius modestus*, faible en général excepté au Rozel, reste pratiquement stable, variant de 1 % à Quédoy à 10 % au Rozel. Néanmoins, la baisse des densités à Quédoy concerne aussi cette espèce, son pourcentage dans cette population ayant varié de 12 % en 2008 à 1 % en 2009.

L'importance des Chthamales observés depuis le début des études est minimale au Rozel (2 % en moyenne), faible à Diélette (5 %), points où le substrat est schisteux. Elle est plus élevée en bas du sémaphore (14 %) et maximale à Quédoy (29 %), points où le substrat est granitique. Ces deux points présentent également la particularité d'être les plus proches de la centrale.

Quant à *Elminius modestus*, sa présence dans le peuplement reste faible, seulement 4 % en moyenne sur la période étudiée (2 % à Quédoy, 3 % au Sémaphore, 5 % à Diélette et 8 % au Rozel).

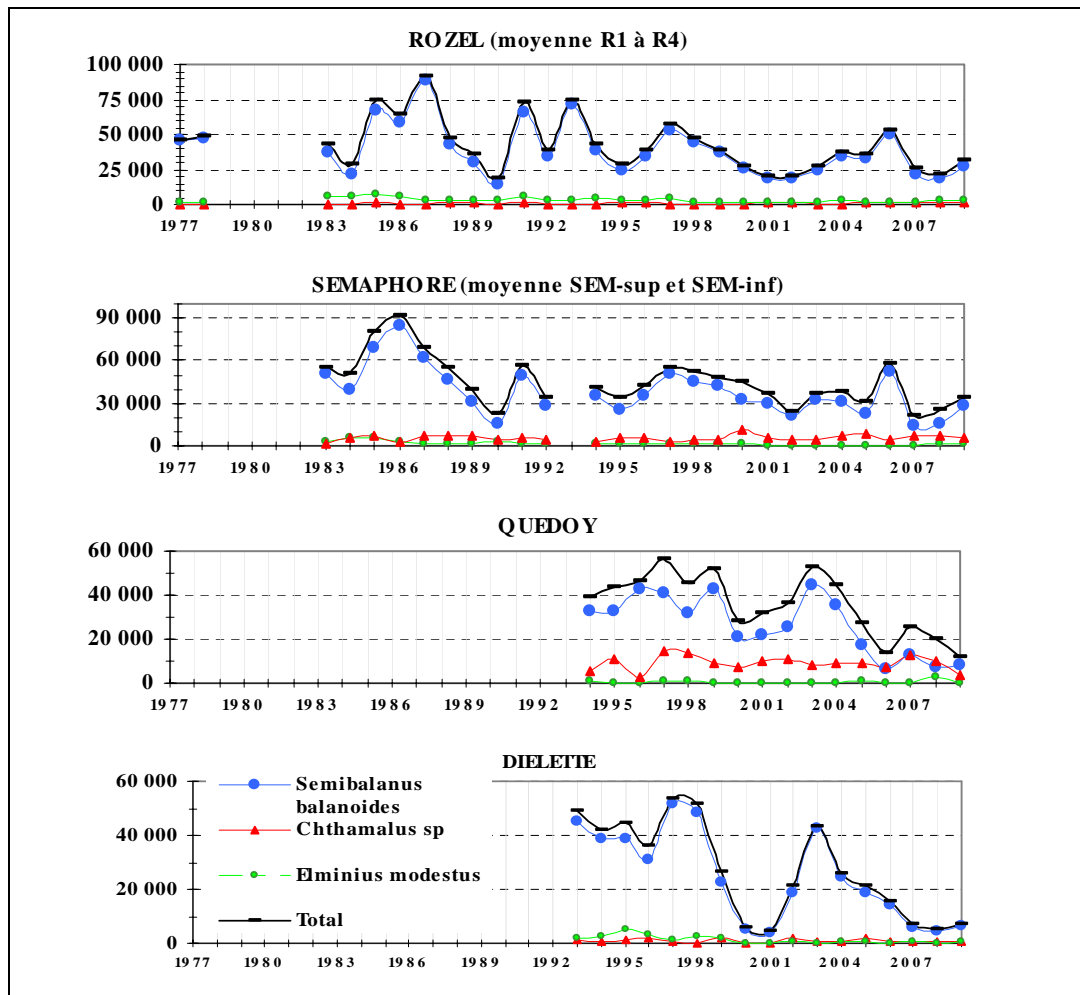


Figure 4.18 : Evolution, en nombre d'individus par  $m^2$ , des densités des quatre espèces de cirripèdes depuis 1983

## 4.2.3.3.2 Influence de la température

De même que le recrutement printanier de *Semibalanus balanoides* est proportionnel à la rigueur de l'hiver (figure 4.14), un essai de corrélation des densités présentes en fin d'été pour ces quatre espèces est tenté avec la température annuelle moyenne de l'air (figure 4.19).

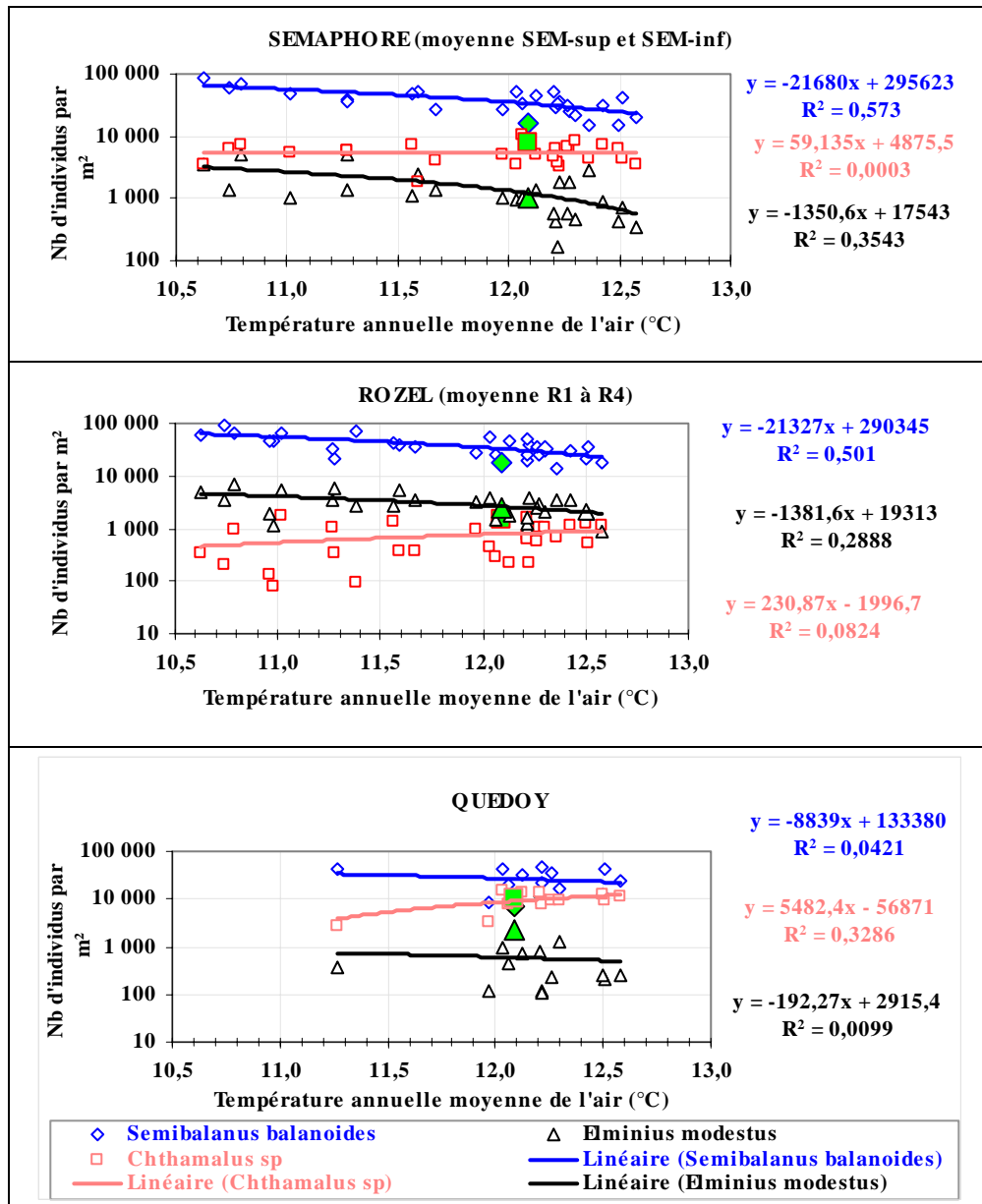


Figure 4.19 : Evolution des densités des cirripèdes intertidaux, à la pointe du Rozel (1977-2009) et au cap de Flamanville, en bas du sémaphore (1983-2009) et dans l'anse de Quédoy (1994-2009), en fonction de la température annuelle moyenne de l'air au cap de La Hague. Valeurs 2009 en vert

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

En 2009, les températures hivernales ont favorisé la reproduction et le développement des *Semibalanus balanoides* alors que les températures estivales n'ont pas été propices aux Chthamales.

*Elminius modestus* semble être moins affecté par les variations de température.

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

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

En tout état de cause, l'impact des variations météorologiques (ici, la température de l'air qui agit sur celle de l'eau ; 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*, *Melaraphe 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.



*Campecopea hirsuta*



*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 24 années de mesures, quelques tendances peuvent toutefois être observées.

En 2009, les densités de *Patella* sp., *Littorina saxatilis*, *Lasea rubra* et *Melaraphe neritoides* augmentent (figure 4.20).



*Melaraphe neritoides*



*Littorina saxatilis*



*Lasea rubra*



*Patella sp.*

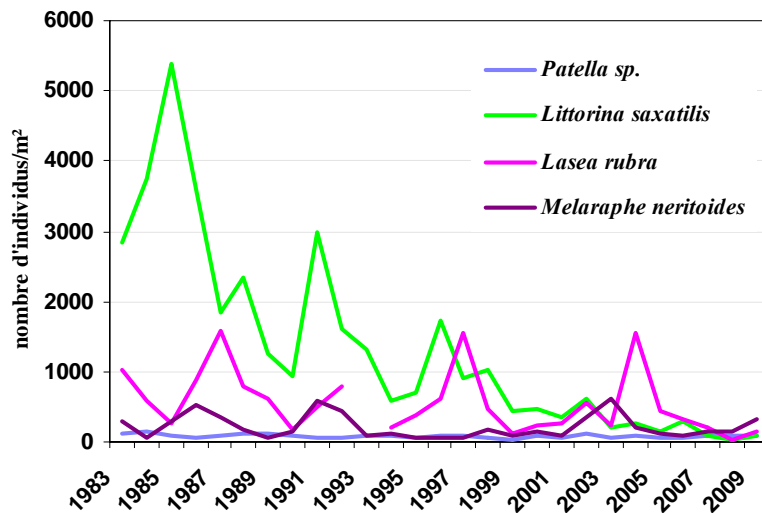


Figure 4.20 : Evolution des densités des principaux mollusques présents dans les populations de cirripèdes. (moyennes des 4 stations suivies)

Après des minima en 2008 pour *Littorina saxatilis* et *Lasea rubra*, les valeurs en chute régulière depuis 1985 pour la première espèce citée, sont en hausse.

Abondance de *Melaraphe neritoides* au Rozel, à Quédoy et surtout au Sémaphore, les valeurs sont supérieures aux moyennes calculées sur la période 1983 à 2009 (figure 4.21).

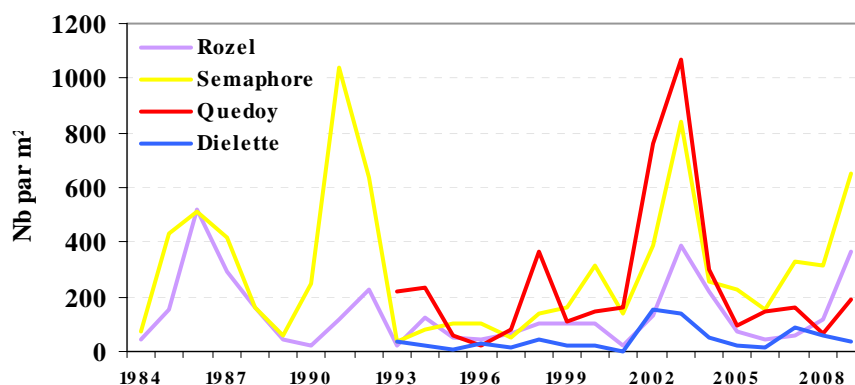


Figure 4.21 : Evolution des densités de *Melaraphe neritoides* dans les populations de cirripèdes

### 4.3. Conclusion

Pour la troisième année consécutive, les biomasses de *Fucus serratus* du platier de Diélette sont en baisse. Comme en 2008, la valeur automnale est la plus basse observée depuis 1983. Les moyennes printanières ont chuté régulièrement de 192 g en 1984 à 48 g en 2009, les moyennes automnales de 508 g en 1983 à 126 g en 2009 (en grammes de poids sec par 0,25 m<sup>2</sup>).

La population algale s'appauvrit. Cette tendance à la diminution se rencontre aussi sur un autre site d'observation dans le Finistère nord.

Le cycle de reproduction de *Fucus serratus* s'est développé en 2009, conformément au rythme habituel.

Le recrutement des cirripèdes a augmenté en 2009, les températures hivernales ayant favorisé la reproduction de *Semibalanus balanoides*, espèce majoritaire dans ce secteur, confortant une fois de plus la relation établie entre la rigueur de l'hiver (appréciée par la température moyenne de l'air ou de l'eau de mer du mois le plus froid) et le recrutement des cirripèdes.

La densité moyenne 2009, toutes espèces et toutes stations confondues, est supérieure à celle de 2008. Les populations de cirripèdes se densifient excepté à Quedoy où la valeur atteint son minimum observé depuis 1993. Si les populations de *Semibalanus balanoides* augmentent, les autres espèces notamment de Chthamales diminuent.

Les densités de *Patella* sp., *Littorina saxatilis*, *Lasea rubra* et *Melaraphe neritoides*, espèces accompagnatrices des cirripèdes, sont supérieures à celles de 2008.

Les résultats des observations faites au niveau du compartiment benthique (phytobenthos et zoobenthos) n'indiquent pas d'influence directe des rejets de la centrale.



## 5. Le domaine halieutique

*Etude et rapport réalisés au sein de l'Ifremer par*

*Jocelyne  
Ivan*

*Martin  
Schlaich*

*DOP/DCN/EMH  
DOP/DCMMN/HMMN/RHPEB*

*avec la collaboration de  
pour les missions en mer*

*Paul  
Olivier  
Cathy  
Patrick  
Jérôme  
Lise*

*Bourriau DOP/DCN/EMH  
Berthélé DOP/DCN/EMH  
Dejouy DOP/DCN/EMH  
Grellier DOP/DCN/EMH  
Quinquis DOP/DCMMN/HMMN/RHPEB  
Marty DOP/DCMMN/HMMN/RHPEB*

*et du Laphy pour le tri des larves d'araignée.*





## 5.1. Larves de crustacés

### 5.1.1. Matériel et méthodes

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

Comme pour les autres sites étudiés, les observations effectuées à Flamanville comprennent des pêches de zooplancton auxquelles sont associés des relevés hydrologiques. Le calendrier des missions est donné dans la première partie du rapport (tabl. 1.3). Les six missions prévues par le contrat depuis 1997 se sont déroulées cette année du 17 juin au 10 septembre à bord du chalutier artisanal le *SALTIMBANQUE* avec des intervalles de temps compris entre treize et vingt neuf jours. L'intervalle de 29 jours entre la cinquième et la sixième mission est dû à une surcharge de campagnes associée à un effectif en baisse depuis 2008.

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'amenée*, le point *rejet* et deux points hors tache thermique (le point 3 étudié depuis le début des études et le point *référence* plus côtier et commun à l'étude du domaine pélagique). 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'amenée* et *rejet* très proches l'un de l'autre, les mesures sont faites aux alentours de la renverse de courant (généralement renverse de flot qui a lieu environ trois heures après la pleine mer du port de Saint-Malo ; annexe 5.1).

#### 5.1.1.2. *Paramètres hydrologiques*

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

#### 5.1.1.3. *Zooplancton*

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

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

## 5.1.1.3.1 Description des échantillonneurs

**Bongo grand modèle**

L'échantillonneur Bongo grand modèle utilisé pour les études de sites comporte deux filets de maillage 505  $\mu\text{m}$  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  $\text{cm.s}^{-1}$  de General Oceanics) permettant le calcul des volumes d'eau filtrés. Un dépresseur en V de 40 kg environ assure la plongée et la stabilité de l'engin en pêche. Chaque filet se termine par un collecteur à oreilles où les organismes se rassemblent dans un volume d'environ 2 litres empêchant leur détérioration.

**Neuston**

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

## 5.1.1.3.2 Méthode d'échantillonnage

La méthodologie d'échantillonnage du *Bongo* s'inspire du manuel de standardisation des méthodes (Jossi *et al.*, 1975) édité par le *North East Fishery Center* des Etats-Unis, notamment depuis 1984 où l'on a abandonné les paliers destinés à filtrer un volume d'eau plus important 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  $\text{m.s}^{-1}$ ). Le volume filtré au cours d'un simple traict oblique (comprenant la descente puis la remontée du filet) a varié cette année entre 41  $\text{m}^3$  et 340  $\text{m}^3$ . Les données concernant chaque traict (sonde, durée, volume filtré) sont indiquées dans l'annexe 5.1.

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

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

Les prélèvements sont toujours effectués de jour (annexe 5.1.) 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 planctons 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 m<sup>3</sup>). L'ensemble des données est archivé sur la base Quadriga.

**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)**

La figure 5.1 qui rassemble tous les résultats obtenus par prélèvement de subsurface depuis 1979, montre (symboles bleus) que les densités des trois stades zoés relevées au cours de l'été 2009 sont moyennes (densité maximale de 0,024 par 10 m<sup>3</sup>) alors que la densité de mégalopes (proche de 0,01 par 10 m<sup>3</sup>) s'avère une des valeurs les plus importantes observées.

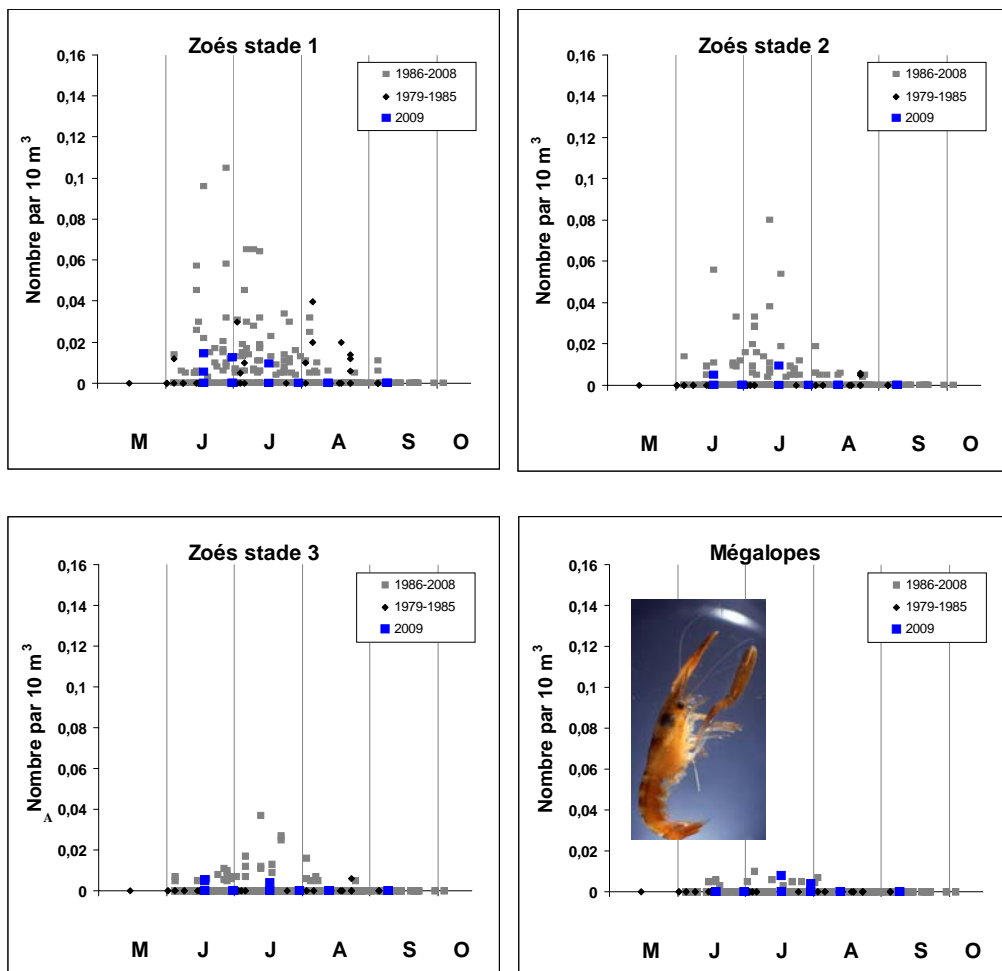


Figure 5.1. Densité des quatre stades larvaires du homard relevés en subsurface depuis le début des études

Plusieurs larves (2 zoés et 2 mégaloopes) ont été observées dans les prélèvements au Bongo après deux années d'absence mais comme les densités sont surestimées en raison de la présence d'une seule larve dans un faible volume, on ne peut tenir compte de celles-ci.

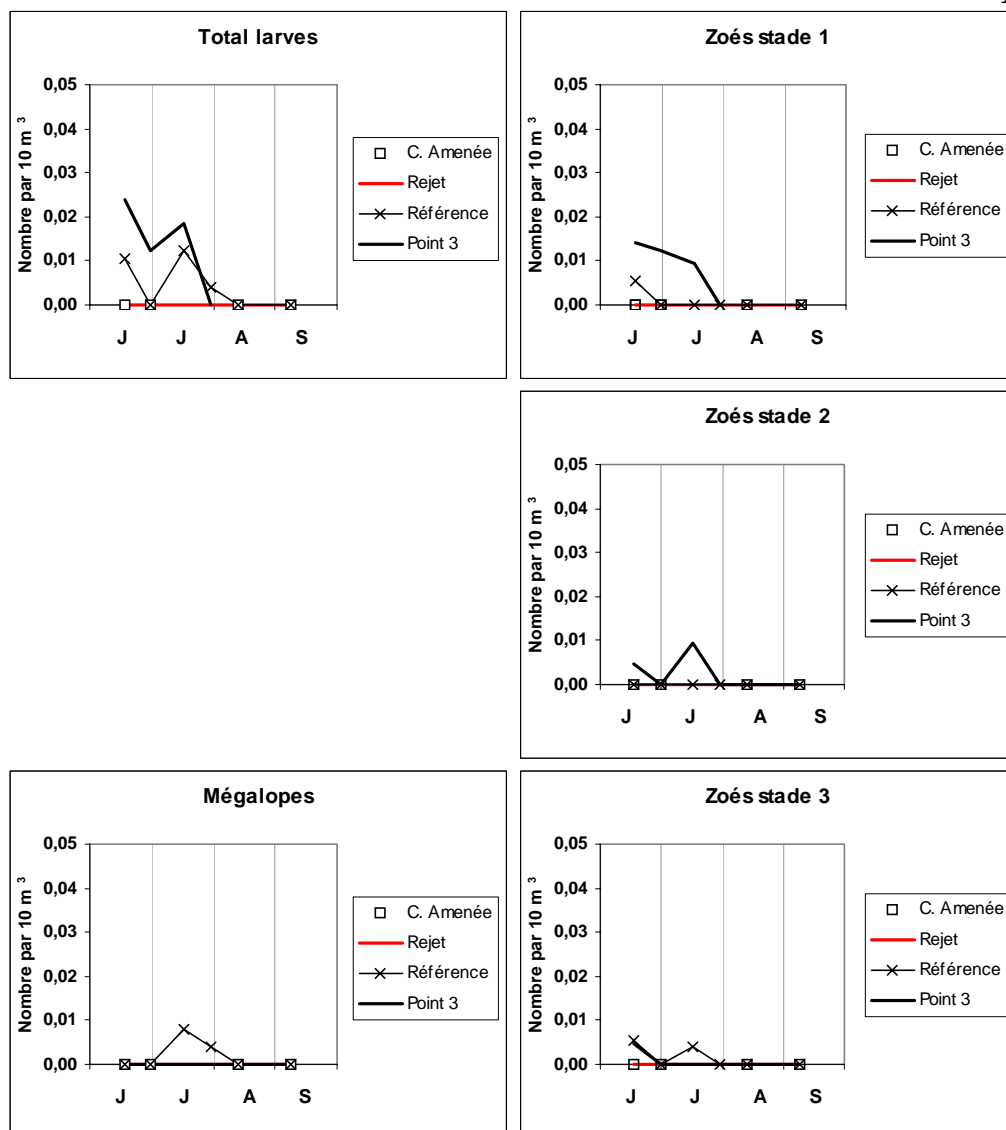


Figure 5.2. Densité des quatre stades larvaires du homard *Homarus gammarus* relevés en subsurface en 2009

Les figures 5.2 et 5.3 relatives à l'année 2009 et respectivement aux récoltes de subsurface au neuston et sur toute la colonne d'eau au Bongo montrent que les larves de homard ont été observées au cours des quatre premières missions, soit du 17 juin au 29 juillet et que les quatre stades sont représentés. La courbe des stades 1 montre que des éclosions se sont produites jusque mi juillet mais ne permet pas de situer la date de leur pic ; la présence de stades 2 et 3 dès la mi juin nous suggère toutefois que le pic d'éclosion a pu se produire avant la première mission.

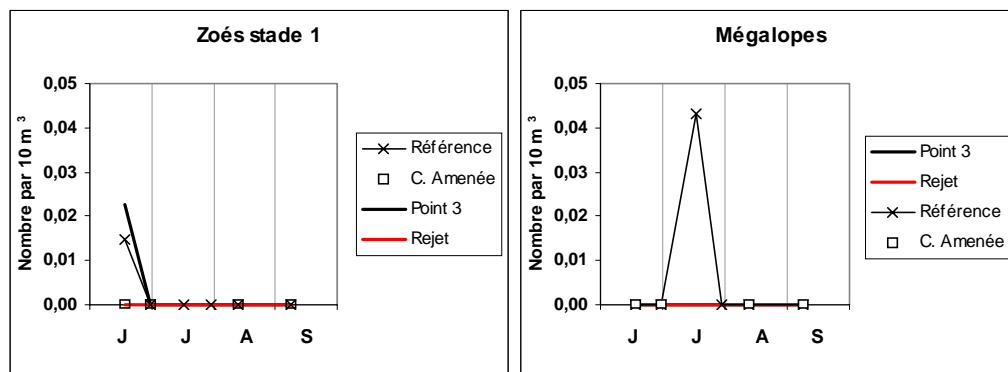


Figure 5.3. Densité des larves du homard *Homarus gammarus* relevées au Bongo en 2009

La figure 5.4 qui illustre la répartition des larves aux différents points de prélèvement, montre que les larves se partagent entre le point référence et le point 3 et leur absence cette année aux environs du rejet où leur présence est plus sporadique. Aucune larve n'a été récoltée dans le canal d'amenée où, mise à part l'année 2004, il n'en avait pas été observé depuis 1988.

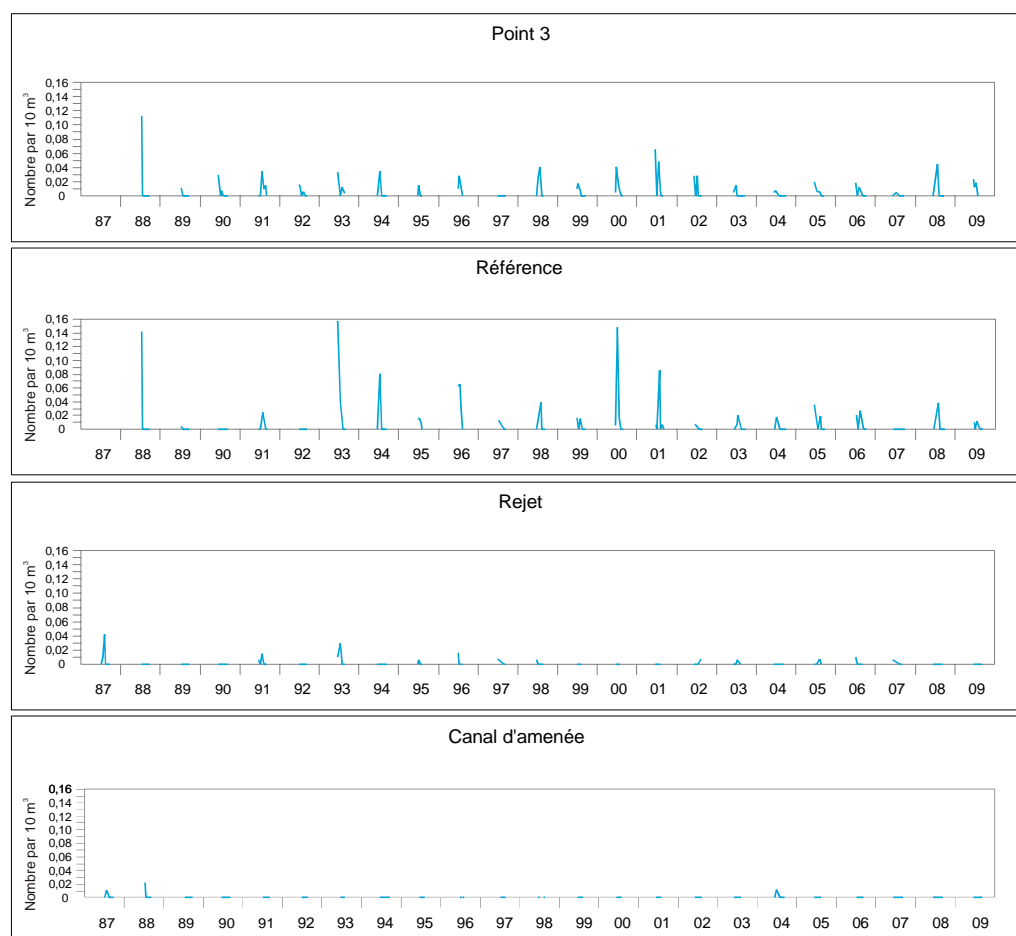


Figure 5.4. Densité des larves de homard relevées en subsurface aux différents points depuis le début de la surveillance 2<sup>e</sup> phase

### 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.

Ces résultats ont permis de construire un modèle prédictif de la date d'éclosion à partir des températures mesurées au cours de la période 1er 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 1er 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 1er 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 (1er février-10 mars), explique déjà 75% de la variance. Il est donc possible de prédire la date d'apparition des premières zoés dans le plancton à partir du 10 mars avec une assez bonne précision.

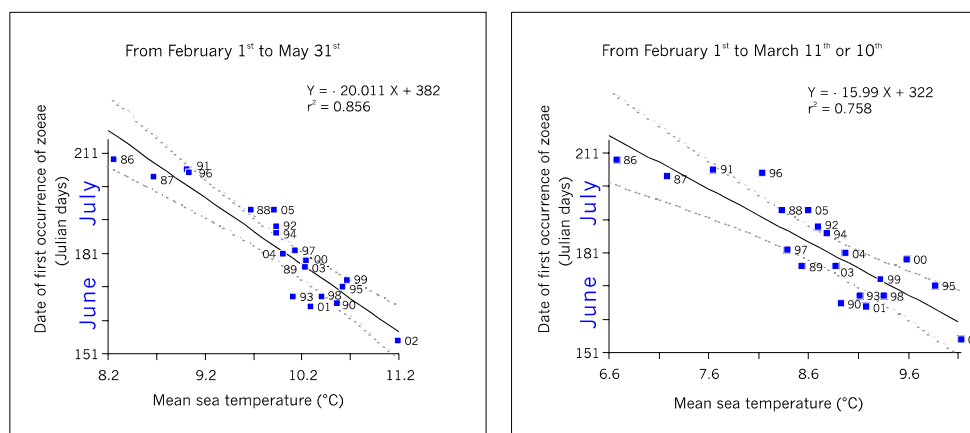


Figure 5.5. Modèles prédictifs de la date d'apparition des zoés d'araignée de mer

En 2009, la température moyenne de l'eau mesurée à l'entrée de la centrale sur la période allant du 1<sup>er</sup> février au 10 mars est de 8,4°C, température moyenne pour cette période ; selon la prédiction donnée par le modèle de droite on s'attendait à observer les premières zoés vers le 7 juillet. Or, dès la première mission le 17 juin, soit 20 jours avant cette date, on a récolté quelques zoés au premier stade, preuve que les premières éclosions avaient déjà commencé. Le modèle de gauche établi à partir des températures de février à mai (moyenne 2009 : 10,2°C) prévoyait un début des éclosions vers le 27 juin, soit seulement 10 jours avant nos observations. Il semblerait donc que l'effet des températures basses de février aient été compensées par le réchauffement qui a suivi courant mars (figure 2.9 page 27).

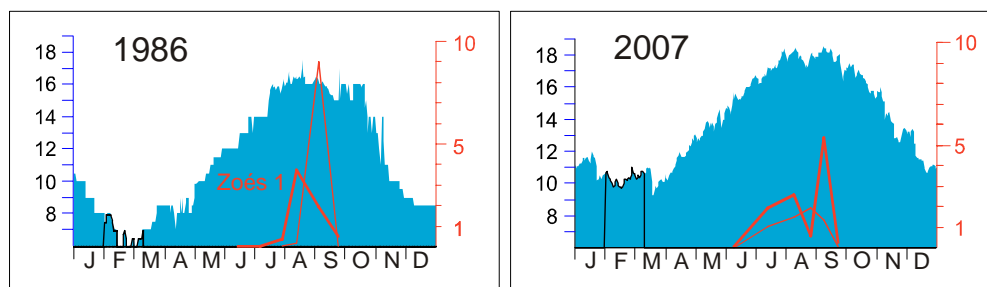


Figure 5.6. Évolution saisonnière des zoés d'araignée lors des deux années extrêmes de la période 1986-2007



La figure 5.6 illustre pour les deux années extrêmes de la période 1986-2009, l'évolution saisonnière de la température de l'eau mesurée à l'entrée de la centrale et celle des zoés d'araignée au point 3. On voit que l'apparition précoce des zoés en 2007 (début juin) fait suite à une période février-mai très douce alors que le démarrage tardif observé en 1986 (fin juillet) s'explique par des températures moins clémentes de février à mai.

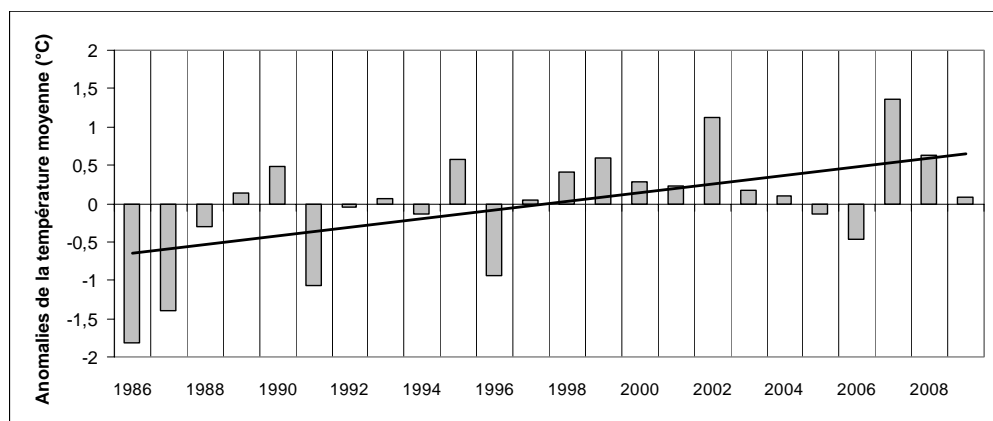


Figure 5.7. Anomalies de la température moyenne sur la période février-mai

La tendance au réchauffement démontrée par Martin & Planque à partir de 20 années d'études, tendance observée aussi pour le site de Gravelines (Woehrling *et al.*, 2005) et au niveau mondial (IPPC, 2001) est illustrée par la figure 5.7 mise à jour pour les dernières années.

La courbe de variation de la densité de zoés au premier stade pour l'année 2009 (figure 5.7) révèle un pic d'éclosion important mi juillet avec 15 zoés par  $10\text{ m}^3$ , densité légèrement supérieure à celles observées au cours des études de projet et en 2001 ; seule l'année 1983 demeure exceptionnelle avec 61 zoés par  $10\text{ m}^3$ .

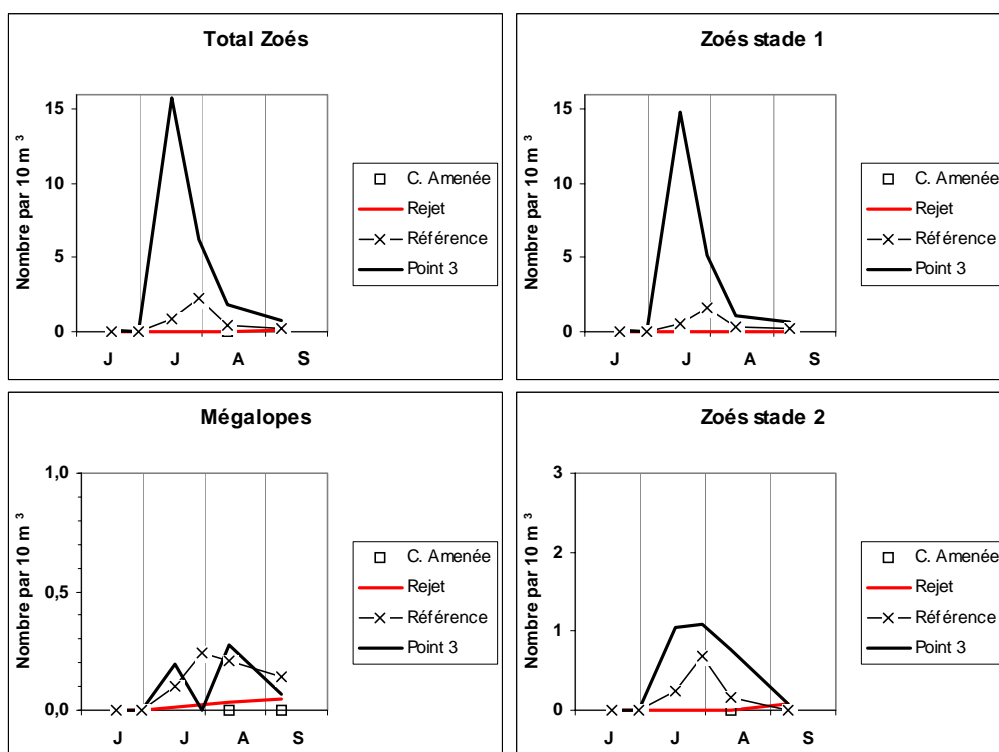


Figure 5.8. Densité des différents stades larvaires d'araignée de mer *Maja brachydactyla* en 2009

Les figures 5.8 à 5.10 confirment en grande partie ce qui a été observé antérieurement quant à la richesse relative des quatre points :

- 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, 1998) ou qui la dépasse parfois (2002 et 2008) ; la densité de mégalopes est, comme souvent, bien répartie entre le point 3 et le point référence ;
- La faible quantité de larves aux alentours des bouches de rejet avec une valeur maximale de  $0,04$  par  $10\text{ m}^3$  pour les zoés et les mégalopes ;
- Comme c'est généralement le cas depuis 1996 pour les zoés et 1992 pour les mégalopes, aucune larve d'araignée n'a été récoltée cette année dans le canal d'amenée ; les observations de 2007 et 2008 ne se sont donc pas reproduites.

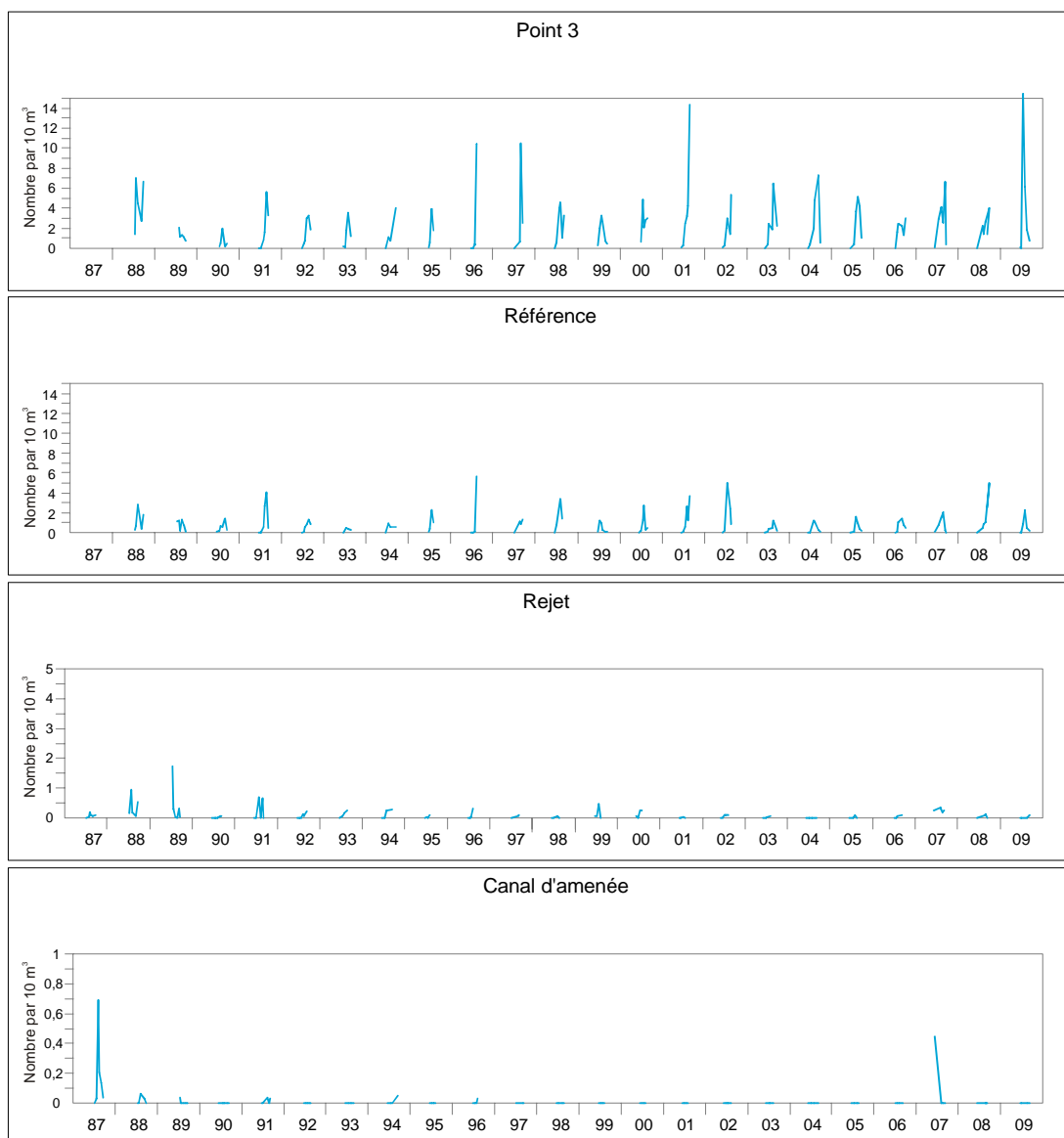


Figure 5.9. Densité des zoés d'araignée de mer relevées aux différents points depuis le début de la surveillance 2<sup>e</sup> phase

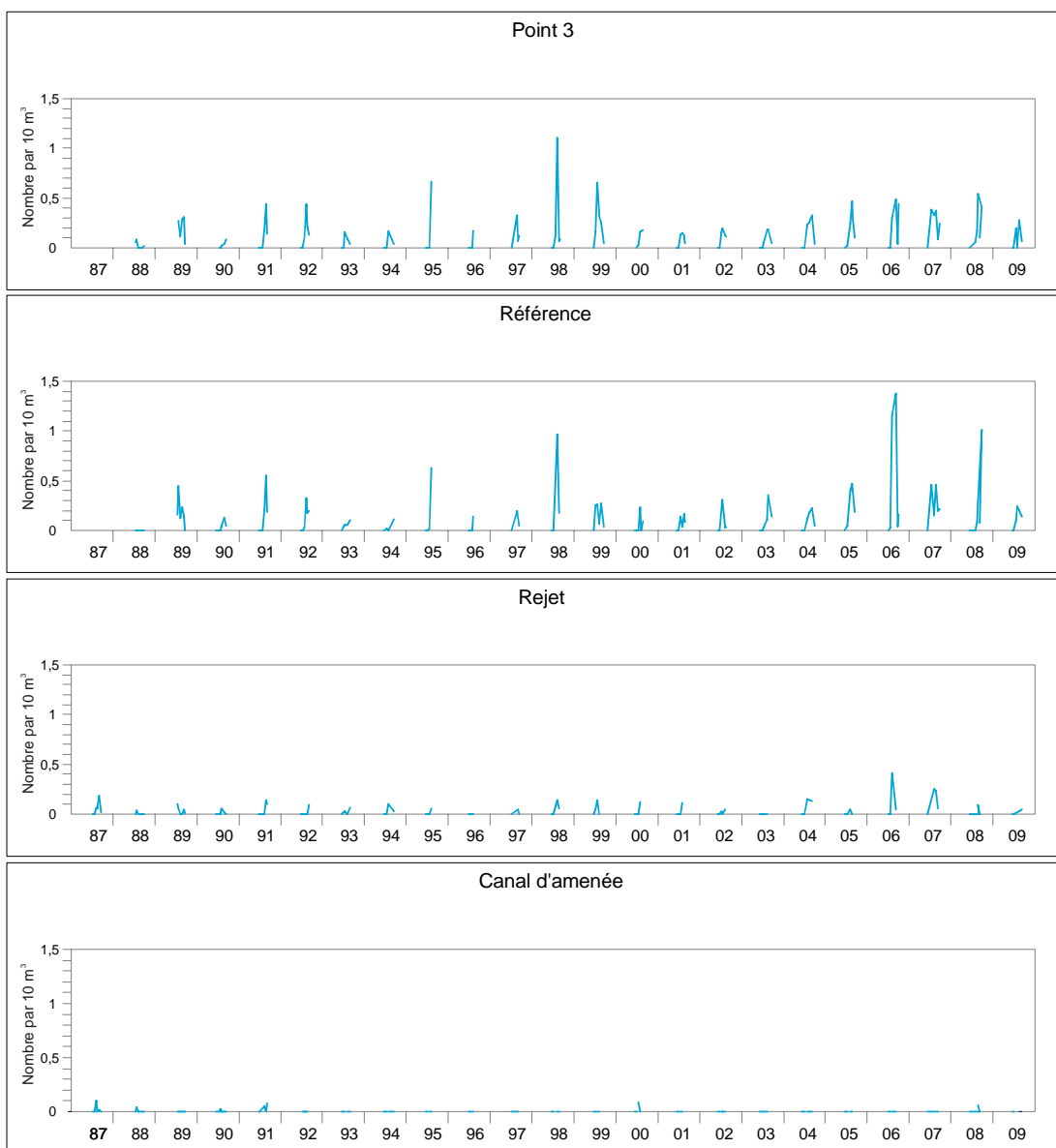


Figure 5.10. Densité des mégaloopes d'araignée de mer relevées aux différents points depuis le début de la surveillance 2<sup>e</sup> phase

### 5.1.3. Conclusion

Comme l'illustrent la figure 2.9 de la page 27, les températures de janvier-février 2009 sont en dessous de la moyenne observée sur les 24 dernières années mais dès le mois de mars les températures remontent. C'est ainsi que le début des éclosions a eu lieu dès la mi juin alors que la moyenne des températures du 1<sup>er</sup> février au 10 mars nous laissait entrevoir un début plus tardif.

La densité maximale de zoés, relevée mi juillet (16 par 10 m<sup>3</sup>), dépasse celles des années antérieures si l'on exclue toutefois l'année 1983 qui demeure exceptionnelle.

La répartition des zoés selon les points se confirme d'année en année avec le point 3 généralement beaucoup plus riche, alors que la zone de rejet est très pauvre et qu'on en récolte rarement dans le canal d'amenée. Les mégaloopes se répartissent essentiellement entre le point Référence et le point 3, quelques unes sont observées aux environs du rejet sans atteindre les effectifs inhabituels des années 2006 et 2007 et la récolte d'une mégaloope dans le canal d'amenée en 2008 ne s'est pas renouvelée cette année.

Comme nous l'avons noté dans le rapport de synthèse (Drévès *et al.*, 2005) les larves de homard doivent apparaître dès le mois de mai depuis quelques années et l'absence de missions à cette période ne nous permet pas de situer précisément le pic d'éclosion. La densité maximale relevée cette année en subsurface (0,02 par 10 m<sup>3</sup>) est plutôt faible mais les quatre stades sont représentés dans les prélèvements et nous en avons récoltées au cours de quatre missions.

Les résultats de l'année 2009 ne révèlent pas de déséquilibre du milieu. Les fluctuations temporelles de la date des pics d'éclosion sont le reflet des variations climatiques.



## 5.2. Surveillance de la pêche côtière des crustacés

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

### 5.2.1. Pêche professionnelle

#### 5.2.1.1. Flottille

En 2009, la flottille est répartie de la façon suivante :

- 2 bateaux à Goury,
- 7 à Dielette,
- 7 à Portbail,
- 20 à Carteret.

Pour la première fois cette année, les navires de Portbail ont été ajoutés à la flottille des professionnels fréquentant les zones de pêche du Nord-Ouest Cotentin.

#### 5.2.1.2. Activité

Les conditions météorologiques observées dans cette zone ne permettent pas aux petits navires de travailler toute l'année, les obligeant souvent à rester à quai pendant la période hivernale. Les plus gros, c'est à dire ceux dont la longueur est comprise entre 10 et 12 m, sont basés à Carteret et travaillent toute l'année. D'une manière générale la flottille fréquentant les lieux de pêche est plutôt ancienne puisque la majorité des bateaux a été construite avant 1986. Les bateaux les plus récents sont basés à Portbail. Ce sont pour la plupart des gros doris en alu dont la longueur est comprise entre 8 et 10,5 m et qui pratiquent la pêche au bulot. Il y a donc très peu de renouvellement et encore moins de changement d'activité.

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

Les problèmes de ressources ainsi que la limitation du nombre de casiers par homme embarqué ont poussé les pêcheurs de crustacés ou de bulot à diversifier leur activité. Ceux qui possédaient une autre licence de pêche l'ont utilisée. Quant aux autres, ils se sont reportés vers d'autres espèces. Ainsi sur les caseyeurs à gros crustacés de la zone, et en fonction des périodes de pêche, peuvent pratiquer simultanément le casier à bulot, le casier à seiche, le filet à sole ou à raie. D'autres métiers plus confidentiels et considérés comme opportunistes peuvent venir en complément et faire qu'à certaines périodes de l'année un patron peu pratiquer jusqu'à 5 métiers dans un même mois.

L'effort de pêche de cette flottille, de loin la plus importante en nombre d'unités, reste concentré dans les zones très côtières en marées de vives-eaux, dans les secteurs plus larges du cap de la Hague ou des Ecréhous en marées de mortes-eaux. Les sorties en mer dépassent très rarement les 12 heures.

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

Les métiers de la drague à coquille, du chalut de fond ou à perche sont pratiqués par des unités de tailles plus importantes, dépassant parfois les 12 m. Elles fréquentent pendant l'hiver principalement les petits gisements situés au large de Carteret ou ceux du nord Cotentin pour les coquillards, le nord de Jersey pour les perchistes ou le sud de la zone étudiée pour les chalutiers. Ces bateaux sont le plus souvent basés à Carteret.

On trouvera dans le tableau 5.1 les périodes d'activités des principaux métiers pratiqués par la flottille travaillant aux alentours de la centrale de Flamanville.

Année 2008	Mois											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Métier												
Casier à crustacés	4	5	8	10	11	10	9	10	10	10	7	6
Casier à bulot	6	12	15	15	15	16	14	15	15	15	14	14
Casier à seiche			3	6	4							
Filet à raie	1		4	4	2	3	1	2	3	3	1	1
Filet à sole		1	1	1	2	1	2	3	2	2	2	2
Palangre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Chalut de fond à sole			1	1	1	1		1	3	1		
Chalut à perche	1	2	2	2	4	2	3	3	3	2	1	1
Ligne à bar ou à lieu	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Drague à praire	1											1
Drague à coquille	2	2	3	3	2					5	2	3

Bateaux inactifs	18	11	4	1	0	1	5	3	1	0	4	5
Bateaux actifs	14	13	21	34	35	35	30	32	34	35	28	28
Total	32	34	35	35	35	36	35	35	35	35	32	33

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

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

### 5.2.1.3. Production

En 2008, les déclarations faites par les professionnels (source BCS) font apparaître une production de 198 tonnes de crustacés. Le plus gros des apports est composé d'araignées et de tourteaux dont les poids débarqués sont respectivement de 80 et 58 tonnes. Le homard arrive en troisième position avec 54 tonnes. En dehors de l'araignée les productions sont en augmentation par rapport à 2007.

La production de buccin est de 1426 tonnes. Cette augmentation importante par rapport à l'année dernière (700 tonnes) semble correspondre à l'augmentation de l'effort de pêche des navires de Portbail dans la zone mais aussi au fait que la profession est de plus en plus sollicitée pour remplir de façon exhaustive et rendre les fiches de pêche déclaratives du Quartier des Affaires Maritimes de Cherbourg.

D'autres espèces de mollusques, parmi lesquelles on trouve : la Coquille Saint Jacques (302 T), dont plus de la moitié des captures a été réalisée sur le gisement du nord Cotentin, les praires (22 T) ou les amandes de mer (25,5 T) représentent la quasi-totalité des captures de bivalves pour une production totale d'environ 350 tonnes en 2008.



Les céphalopodes (26 T) ont été capturés principalement d'avril à septembre par les chalutiers fréquentant les lieux de pêches situés au sud d'Aurigny. Les faibles quantités déclarées en 2008 traduisent probablement un report de l'effort de pêche vers d'autres espèces telles que les poissons plats.

Les poissons sont essentiellement représentés par les différentes espèces de raies (62 T), mais aussi par d'autres espèces de sélaciens, petite et grande roussette (120 T) ou bien encore la sole (67,8 T) dont les captures augmentent de 100 % par rapport à 2007 et qui représentent un peu moins des trois quarts de poissons plats (100T) pêchés dans la zone.

Cette liste n'est évidemment pas exhaustive et on peut estimer qu'en 2008 la production de la flottille du nord ouest Cotentin est d'environ 2400 tonnes. Cette évaluation en très forte augmentation d'environ 50 % est basée sur les déclarations 2008 issues des journaux de bord et fiches de pêches déclaratives des captures. Elle intègre pour la première fois les captures de bulot réalisées dans la zone par les navires de Portbail.

## 5.2.2. Pêches expérimentales

En 2009, 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 en 2006 et porte à 16 le nombre de points d'observation (figure 5.11).

La création en 2000 d'un cantonnement de 1,2 km<sup>2</sup> 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 la réserve 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 âgés d'un à deux ans.

D'autre part pour la troisième année consécutive, et ceci de façon expérimentale, nous avons tenté de capturer des petits juvéniles de homards, en disposant le long des enrochements, trois casiers à crevette. Malheureusement aucune capture n'a été réalisée à l'aide de cet engin.

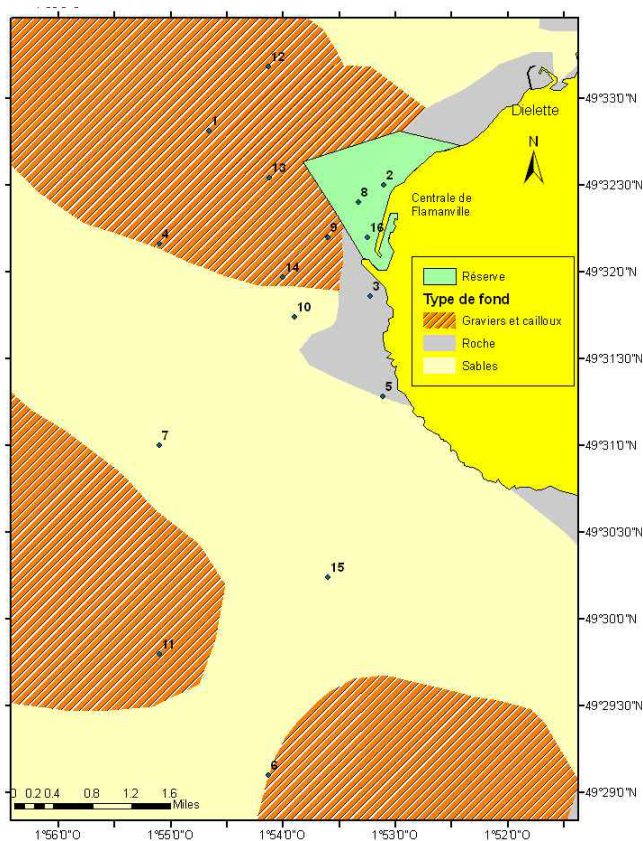


Figure 5.11 : Carte de positionnement des filières

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 du chincharde congelé.

#### 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	15	16	320
	16	16	320
	17	16	320
	18	16	320
Septembre	10	16	320
	11	16	320
	12	16	320
	13	16	320

Tableau 5.2 : Dates des campagnes 2009 et nombre de filières relevées

**Observations réalisées**

Les observations réalisées en 2009 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 (exceptés les paguridés) sont la taille, le sexe, la présence éventuelle d'œufs, la dureté de la carapace (pour l'étrille) et la maturité (pour l'araignée).

**Traitement des données**

Les données sont recueillies à bord 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. Les indicateurs utilisés ont été développés, testés et validés au sein du groupe de travail *Indicateurs de population et de peuplement*. Ils ont fait l'objet de synthèses scientifiques (Rochet *et al*, 2005) ou ont été édités sous forme de bilan (J.C. Poulard *et al*, 2007) et retenus pour analyser l'évolution temporelle des populations des crustacés présentes dans la zone échantillonnée. Les tendances, quand elles sont significatives, sont représentées par une droite. La combinaison des différents indicateurs permet de donner un état des populations suivies pendant ces campagnes.

**5.2.2.2. Principaux résultats**

Les résultats de l'année 2009 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 2008.

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

$W = aLc^b$	avec W = poids (en g) et Lc = longueur céphalothoracique ou largeur du céphalothorax (mm)
-------------	--

**\*Homard** (annexe 5.5)

## ➤ Rendements

Les rendements (nombre d'individus pêchés pour 10 casiers relevés) observés en juin et septembre sont toujours en augmentation depuis 1989. Cette variation temporelle est renforcée par le fort différentiel entre les points d'inflexions provoqués par un sous échantillonnage en 1993, 1994 et les fortes abondances enregistrées après la mise en place de la réserve en 2000.

Sur l'ensemble de la zone prospectée lors des deux campagnes, les captures ont plus que doublé depuis 1989. Ils sont cette année de 6,9 individus pour 10 casiers sur l'ensemble de la zone étudiée. Cette augmentation, sensible mais constante par rapport à l'année dernière et les précédentes et renforcée par le fait que les rendements observés dans les filières de la réserve sont relativement stables depuis trois ans.

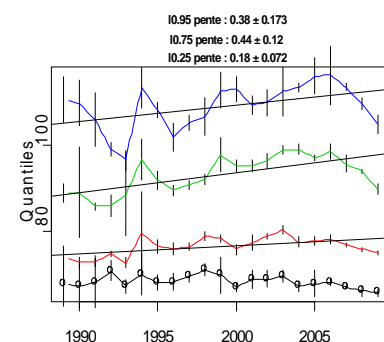
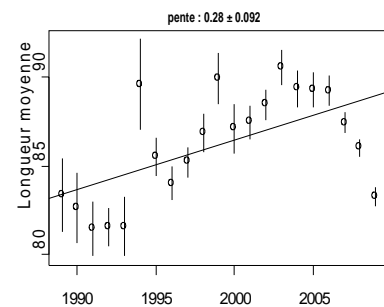
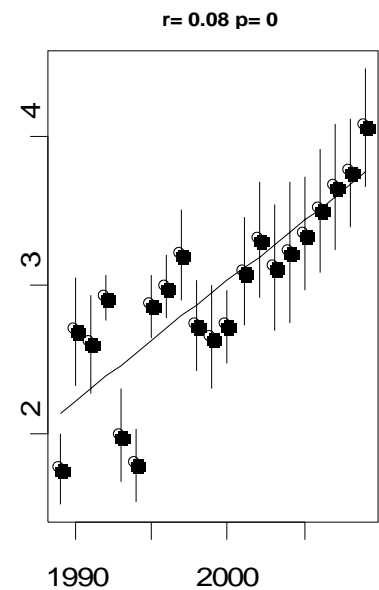
Celles-ci ont habituellement une productivité très nettement supérieures aux autres filières et participent pour plus du tiers à l'indice global. Pourtant cette année, même si les rendements restent importants dans la réserve, 22 individus pour 10 casiers dans les filières 16, celles situées au sud le la zone tels que la 9, la 3 ou la 5 ont respectivement des rendements de 9, 16 et 20 individus pour 10 casiers.

Ainsi la **FIGURE A** présente une vue globale des rendements dont les plus forts se situent toujours à l'intérieur de la réserve mais aussi au sud de celle ci. Les indices d'abondance les plus faibles sont observés comme chaque année au sud ouest de la zone d'étude, principalement dans les filières 7 et 11. Les rendements y sont inférieurs à 2 individus pour 10 casiers.

En faisant abstraction des filières situées dans la réserve, on observe cette année une diminution des rendements d'individus de taille commerciale alors qu'ils étaient en augmentation régulière depuis quatre ans. Ils ne représentent plus que 29% de nos captures soit 513 homards de plus de 87 mm en 2009.

#### ➤ Répartition des tailles

La taille moyenne des homards capturés en 2009 est de 83 mm (longueur céphalothoracique). La diminution de celle-ci est principalement due aux fortes captures de petits individus sur l'ensemble de la zone. Il semble que l'on assiste depuis trois ans à une hausse des captures de jeunes homards. Cette évolution est amplifiée par le fait que l'engin de capture utilisé dispose d'une certaine sélectivité intrinsèque qui permet l'échappement des petits individus. Son efficacité dépend aussi de la vulnérabilité d'une certaine partie de la population de homards présents sur la zone de pêche. La distribution des captures est donc liée aux phases du cycle biologique (mues plus fréquentes chez les jeunes homards, reproduction...) mais est également fonction de la dominance territoriale des plus gros homards ou des conditions météorologiques particulières. Ces derniers ayant tendance à rentrer en premier dans les casiers, on peut admettre que leur nombre est en diminution dans les captures depuis trois ans (cf. spectre de taille ci contre).



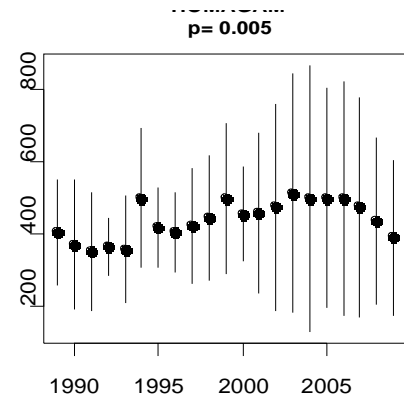
## ➤ Poids individuel

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

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

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

Le poids moyen des homards en 2008 est de 390 g. Il n'existe pas d'évolution temporelle significative de ce paramètre mais il est très probable que du fait de la sélectivité de l'engin utilisé, seuls les individus dont le poids est généralement supérieur à 200 g soient capturés. La fraction la plus jeune de la population est donc mal échantillonnée.



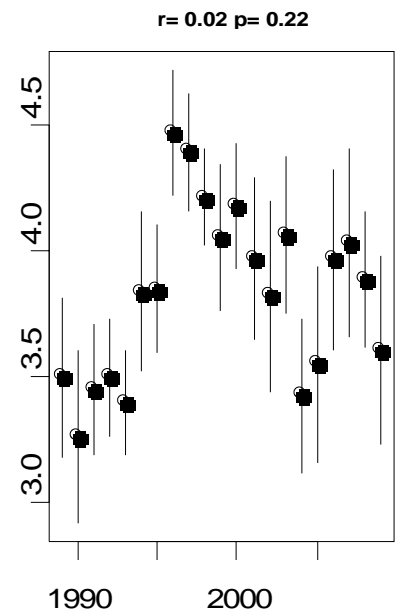
## ➤ Proportion des sexes

La moyenne annuelle du pourcentage de mâles sur le nombre total de captures est restée stable d'une année sur l'autre. Elle est toujours voisine de celle observée lors des années de référence : 53 % des individus sont de sexe mâle.

\*Tourteau (annexe 5.6)

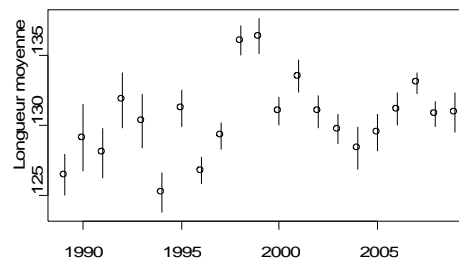
## ➤ Rendements

Après une hausse importante en 2006, il semble que les rendements se stabilisent cette année pour atteindre 4,3 individus pour 10 casiers. Les filières situées au sud du cantonnement donnent les rendements les plus faibles (**FIGURE B**) alors que c'est généralement dans cette zone que l'on observe les plus fortes captures. Il est probable que cette diminution des rendements, soit liée au comportement territorial agressif du homard qui à coloniser cette zone proche du cantonnement et rentre dans les casiers avant les tourteaux. Avec 1118 individus capturés cette année, le tourteau n'est plus l'espèce la plus abondante dans nos captures.



## ➤ Répartition des tailles

La taille moyenne des individus capturés (largeur du céphalothorax) lors de la campagne 2009 est identique (13,1 cm) à celle observée en 2008.



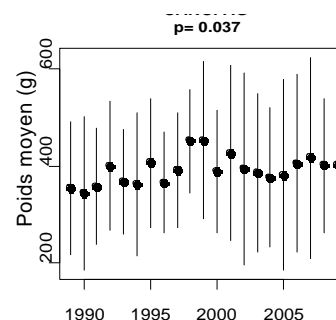
## ➤ Poids individuel

Le poids moyen est calculé à partir des paramètres suivants :

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

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

Il est de 401 g sur l'ensemble des deux campagnes annuelles et n'a pas, en dehors des fluctuations temporelles, varié depuis 1989.



## ➤ Proportion des sexes

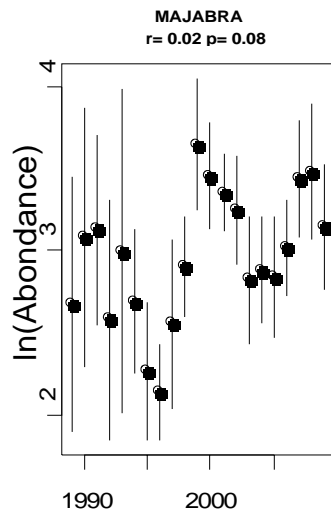
Le sex-ratio des captures est composé à 60 % de mâles.

\*Araignée (annexe 5.7)

## ➤ Rendements

Les rendements sont de 3 individus pour 10 casiers. Les résultats enregistrés montrent une légère diminution des rendements tout en restant dans les limites de ce que l'on observe depuis le début des années 2000.

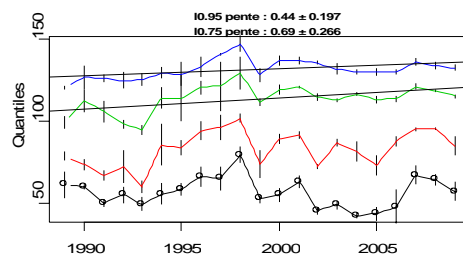
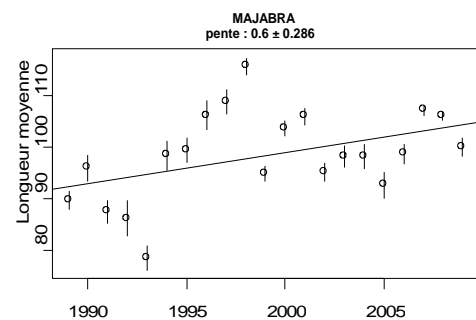
La campagne du mois de juin donne les meilleurs résultats en nombre total d'individus capturés. Les filières 2, 8 et 16 situées dans la réserve mais disposées sur des fonds rocheux sont depuis quatre ans les plus productives (**FIGURE C**). A l'inverse, au mois de septembre, très peu d'individus ont été capturés dans ces trois filières. Les araignées en cette saison semblent privilégier les fonds sableux situés à l'ouest de l'anse de Sciottot. Les filières 6, 11 et 15 ont en effet des rendements respectifs nettement supérieurs aux autres points échantillonnés.



Elles représentent avec 59, 62 et 101 individus pour 10 casiers les plus forts taux de captures en 2009 mais sont en diminutions par rapport à ceux de 2008.

#### ➤ Répartition des tailles

La longueur céphalothoracique moyenne des araignées capturées en 2009 est de 10 cm. La présence importante de grands individus lors des deux années précédentes avait eu pour effet d'augmenter de façon significative la taille moyenne de la population échantillonnée. Il semble que cette année on revienne à des valeurs proches des années 2002-2006. Cette tendance a pour effet de diminuer la taille moyenne lors de cette dernière campagne, faisant ainsi ressortir un faible pourcentage d'individus de taille commerciale (16%).



La sélectivité de l'engin utilisé ne permet pas la capture des plus gros spécimens, principalement des mâles, pêchés plutôt au filet fixe. Leur longueur céphalothoracique dépassant le plus souvent les 15 cm, ils ne peuvent rentrer dans la goulotte des casiers.

Le fait que la taille des plus petits individus diminue, fait ressortir que le nombre de toutes petites araignées est plus important cette année.

## ➤ Poids individuel

Le poids moyen est calculé à partir des paramètres suivants :

\* pour les individus immatures

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

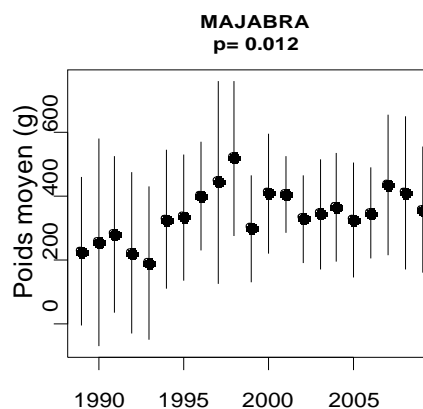
les femelles :  $a=102.10^{-5}$  et  $b=2,698$

\* pour les individus matures

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

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

Le poids moyen sur les deux campagnes annuelles est de 358 g. Il reste stable sur l'ensemble de la période.



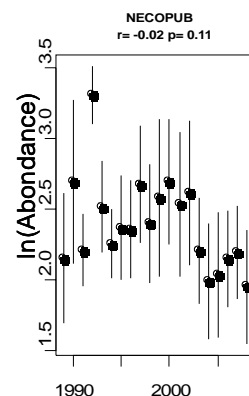
## ➤ Proportion des sexes

La proportion de mâles est de 73 %.

\***Etrille (annexe 5.8)**

## ➤ Rendements

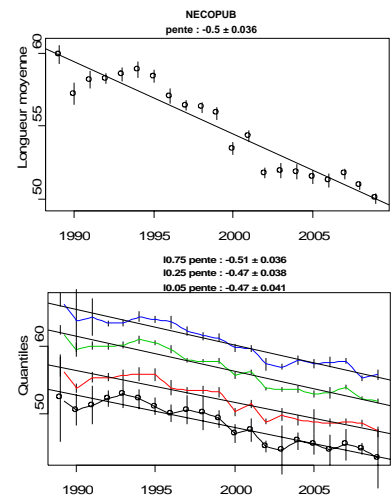
Les rendements sont le double de ceux enregistrés en 2008. Ils sont en effet de 1,8 individus pour 10 casiers et se situent à des valeurs bien au dessus de celles observées pendant les sept dernières années. De plus on peut noter une grande homogénéité de l'abondance sur l'ensemble de la zone prospectée. La plus forte capture est réalisée au point 3 avec 25,5 individus pour 80 casiers (**FIGURE D**).





## ➤ Répartition des tailles

La taille moyenne est de 50 mm. L'étude des longueurs moyennes met en évidence, comme les années passées, une forte diminution de la taille de l'étrilles et ceci quelle que soit la proportion observée. C'est ainsi la seule espèce de la communauté à présenter une telle configuration. On peut naturellement se poser la question d'une surexploitation ou d'une forme de nanisme au niveau local. Il est en effet étonnant qu'une population exploitée à l'aide d'un engin sélectif, tel que le casier, puisse connaître sur une période aussi longue, une diminution globale de chaque groupe de tailles. Les fortes captures de juin 1992, ainsi que la stabilité de l'abondance, à un niveau élevé jusqu'en 2002, n'ont pas inversé la tendance. Le recrutement doit être suffisant et la taille de première maturité assez basse pour assurer la continuité de la population locale. En effet il semble que la taille de première maturité chez le mâle soit de 34 mm pour des individus capturés sur les côtes anglaises (Norrman, 1989). Les femelles capturées au nord de la Loire ont une taille de première maturité légèrement inférieure à 30 mm (Wilhelm, 1995). Il faudra attendre la prochaine campagne pour vérifier si le bon recrutement de cette année permettra une augmentation de la taille moyenne.



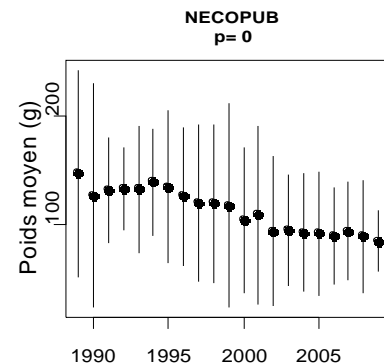
## ➤ Poids individuel

Le poids moyen est calculé à partir des paramètres suivants :

les mâles :  $a=61 \cdot 10^{-5}$  et  $b=3,024$

les femelles :  $a=6 \cdot 10^{-4}$  et  $b=3,008$

Le poids moyen est de 84,5 g sur l'ensemble des deux campagnes annuelles. La tendance graphique confirme un resserrement autour de cette valeur. Ce qui confirme qu'il y a moins de tailles extrêmes ces dernières années.



## ➤ Proportion des sexes

Comme chaque année le sex-ratio est déséquilibré : 84 % des étrilles pêchées sont des mâles.

## ➤ Proportion d'individus mous

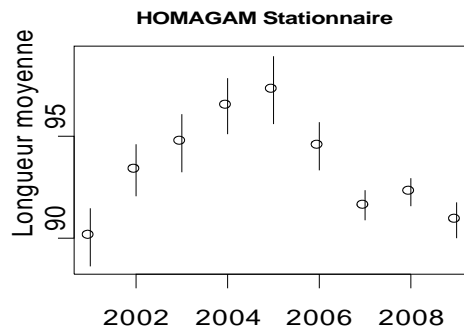
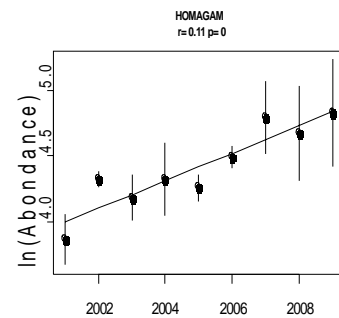
Le pourcentage d'individus mous est de 21 % en juin.

Zone du Cantonnement**Homard**

Sur environ 542 homards différents capturés dans le cantonnement, 493 ont été marqués pour la première fois cette année. Les filières 2, 8 et 16 ont des rendements respectifs de 14, 11 et 22 homards pour 10 casiers. Les résultats sont semblables aux années précédentes (graphe ci-contre).

La mise en place d'une nouvelle filière proche des enrochements avait pour effet de diminuer la taille moyenne des captures. Cette tendance a été confirmée cette année (graphe ci-dessous) et seule la filière 8 placée au milieu de la réserve, permet de capturer des individus dont la longueur céphalothoracique est supérieure à 91 mm.

Les petits casiers à bouquet disposés dans les blocs n'ont toujours pas permis de capturer de très petits homards. Il est pourtant évident que la digue de la centrale constitue un abri adapté au comportement cryptique des juvéniles de homard.

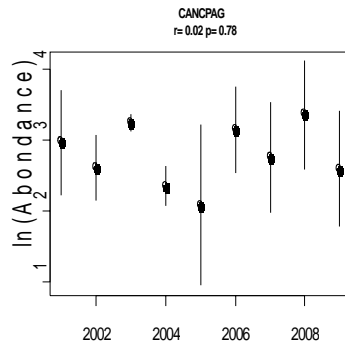


Le poids moyen est proche (516 g) de celui observé en 2007.

Le nombre de femelles oeuvées capturées dans la réserve (52) est plus fort que dans le reste de la zone (22).

L'étude du marquage confirme que les homards sont sédentaires et qu'ils s'éloignent rarement de leur habitat. Les premiers individus marqués en 2003 sont absents dans nos captures 2008 par contre de nombreux homards portent des cicatrices abdominales qui correspondent aux rejets de marques lors de mues successives.

Quant aux retours de la part des pêcheurs, seul le professionnel avec qui nous réalisons les campagnes a recapturé quelques individus.

**Tourteau**

Les rendements diminuent légèrement cette année et atteignent un minimum de 0,8 individu pour 10 casiers le long des enrochements. En dehors de la légère augmentation enregistrée l'an dernier, ils sont du même ordre que ceux observés depuis la création de la réserve. C'est donc bien l'effet de la houle rencontrée en 2008 qui est à l'origine des captures plus importantes de tourteaux. Cette espèce semble pouvoir se déplacer plus facilement lorsque la colonne d'eau est perturbée. On remarque au contraire que lorsque les conditions météorologiques sont normales, comme en 2009 c'est le homard qui affirme son comportement territorial dominant et rentre dans le casier la première.

**\* Buccin et Paguridés (annexe 5.9)**

Les filières situées au sud du cap de Flamanville, représentent toujours les rendements les plus forts. La fraction échantillonnée se situe dans la partie supérieure du spectre de la population. Ceci est dû à la sélectivité du maillage des casiers. Il permet à la plupart des individus de moins de 5 cm de ressortir ou de passer au travers du maillage lors du virage des filières à bord.

Les rendements sont toujours en très faibles. Ils sont de 1,7 individus pour 10 casiers pour le buccin et de 0,3 pour les paguridés. Parallèlement, il semble que les pêcheurs de bulots travaillant dans cette zone, observent dans leurs captures, une diminution de la proportion de gros individus.

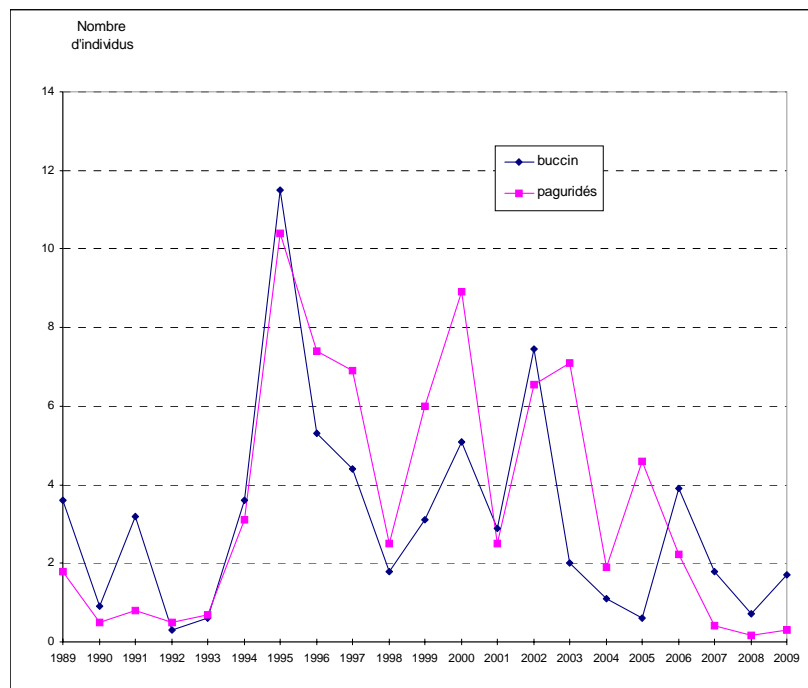


Figure 5.12 : Rendements en nombre d'individus pour 10 casiers.

### 5.2.3. Conclusion

Les rendements en homard augmentent pour la neuvième année consécutive et permettent à cette espèce de prendre la première place en terme de dominance. La taille moyenne est légèrement inférieure à la taille marchande. Il semble que la population profite d'une augmentation du nombre de juvéniles d'un à trois ans que l'on retrouve en forte proportion au sud du cantonnement. Il n'est pas possible de savoir si ces petits homards proviennent de la réserve dans la mesure où il est difficile, pour des raisons de mortalité importante et de mues rapprochées, de marquer les juvéniles de moins de 60mm de longueur céphalothoracique. Parallèlement aux observations réalisées lors de ces deux dernières campagnes expérimentales, on remarque que l'année 2008 (données BCS) représentait celle dont les déclarations des professionnels fréquentant la zone sont les plus fortes depuis 2003 (54 T). Il faudra attendre la validation des données 2009 pour confirmer le bon état de la pêcherie concernant cette espèce mais il semble déjà, selon les dires de professionnels quelle était bonne aussi bien cotés français que dans les îles anglo-normandes.

\* L'abondance de l'araignée diminue par rapport à l'année dernière tout en restant dans les limites des fluctuations annuelles observées depuis dix ans. Les débarquements de 2008 sont aussi en diminution. Cela semble être le fait d'une certaine désaffection de la part des professionnels qui ont du mal à écouler leur production sur le marché européen. Il semble que l'année 2009, du fait de la dévaluation de la livre et des apports importants de la part des pêcheurs anglais, n'est pas été une très bonne année pour la commercialisation des araignées de la part des pêcheurs locaux.

\* Le tourteau n'est plus la principale espèce capturée cette année. Il semble que la forte abondance du homard dans les filières placées au sud de la réserve et généralement favorable à la capture du tourteau, soit à l'origine de cette diminution. Cela confirmerait l'effet de domination territorial du homard sur cette dernière espèce.

\* La taille moyenne des étrilles capturées reste faible et n'a pas significativement varié depuis six ans. Elle correspond au seuil de sélectivité de l'engin. Il faut toutefois noter que les rendements sont en augmentation cette année. Les résultats concernant l'étrille semblent plutôt positifs dans la mesure où l'espèce est en augmentation sur l'ensemble de la zone. Leur nombre a en effet doublé en septembre période de pleine activité et de recrutement de la part des quelques professionnelles ciblant cette espèce.

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

\* Les captures de homards sont encore importantes cette année, la taille moyenne n'a pas varié depuis 2007 et le nombre de femelles oeuvées y est toujours beaucoup plus important que dans le reste de la zone.

\* 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 d'une modification du stade sexuel, comme par exemple le passage de femelle à celui de femelle œuvée. Il semble toutefois que les nombreuses mues successives aient eu raison des marques. En effet, un grand nombre d'individus a été marqué pour la première fois ou remarqué cette année.

\* Malgré le grand nombre de homards marqués, environ 2700 individus en six ans, le taux de recapture en dehors de la réserve est très faible (45 individus depuis 2003). Cela confirme que le homard est une espèce plutôt sédentaire, la majorité des captures réalisées pendant les campagnes se faisant généralement à l'intérieur du cantonnement ou en bordure immédiate de celui-ci. Il semble aussi qu'un grand

nombre de plaisanciers capture des homards marqués au nord de la réserve mais pour l'instant il semble très difficile d'en estimer le nombre.

\* Nous avons pêché trois homards dont la longueur céphalothoracique était inférieure à 55 mm. Certains ont été capturés dans les filières de la réserve mais aussi plus au sud, le long de la falaise et ce qui est plus exceptionnel cette année, dans les filières 7 et 11.

Globalement, on peut avancer qu'il n'y a pas eu aggravation récente de l'état de la communauté des crustacés suivie sur le site de Flamanville du fait de la pêche ou de toute autre activité anthropique. Sur une plus longue période on peut affirmer que les rejets de la centrale de Flamanville n'ont aucune incidence négative sur la pêcherie environnante. Il est certain aussi que les enrochements de la centrale ainsi que la réserve associée constituent un bon exemple d'étude de l'intérêt d'une aire marine protégée sur la population environnante.

## 5.3. Annexes

Mission	Date	Coeff. Marée	Point	Nuages	Sonde	Engin	Heure début (T.U.)	Durée	Temps après P.M.	Volume (m <sup>3</sup> )
199	17 juin	46	C. Amenée	4	7	Bongo 1	16h30	1mn10	3h57	74
						Bongo 2	16h45	1mn39	4h12	80
						Neuston S	16h52		4h19	893
			Rejet	1	13	Bongo 1	15h40	1mn53	3h07	125
						Bongo 2	15h50	2mn04	3h17	111
						Neuston S	16h	11mn	3h27	1218
			Référence	8	23	Bongo 1	17h15	4mn10	4h	340
						Bongo 2	17h23	3mn22	4h50	179
						Neuston S	17h30	16mn	4h57	1886
			Point 3	8	25	Bongo 1	18h05	4mn11	5h32	222
						Bongo 2	18h17		5h44	186
						Neuston S	18h25	15mn	5h52	2105
200	30 juin	57	C. Amenée		6	Bongo 1	16h45	1mn25	4h48	126
						Bongo 2	16h55	1mn32	4h58	41
						Neuston S	17h00	7mn30	5h03	754
			Rejet	5	12	Bongo 1	16h13	2mn10	4h16	82
						Bongo 2	16h20	2mn?	4h23	84
						Neuston S	16h30	11mn	4h33	3311
			Référence	7	24	Bongo 1	15h12	4mn45	3h15	305
						Bongo 2	15h29	4mn20	3h32	252
						Neuston S	15h35	15mn	3h38	2030
			Point 3	7	27	Bongo 1	14h20	2mn40	2h23	209
						Bongo 2	14h25	4mn02	2h28	220
						Neuston S	14h35	17mn	2h38	2415
201	16 juillet	48	Référence	6	24	Bongo 1	15h09	4mn	3h35	199
						Bongo 2	15h23	5mn	3h49	278
						Neuston S	14h45	15mn	3h11	2470
			Point 3	4	28	Bongo 1	13h39	5mn	2h05	251
						Bongo 2	13h50	5mn	2h16	275
						Neuston S	14h04	15mn	2h30	2154
202	29 juillet	53	Référence	7	23	Bongo 1	14h49	4mn30	3h41	287
						Bongo 2	15h12	3mn30	4h04	249
						Neuston S	15h37	15mn	4h29	2438
			Point 3	5	27	Bongo 1	13h40	3mn	2h32	151
						Bongo 2	13h49	3mn	2h41	159
						Neuston S	13h59	16mn	2h51	2460
203	12 août	68	C. Amenée	8	4	Bongo 1	14h34	1mn45	5h04	83
						Bongo 2	14h42	1mn30	5h12	79
						Neuston S	14h50	11mn	5h20	1205
			Rejet	8	13	Bongo 1	14h	2mn	4h30	125
						Bongo 2	14h08	2mn15	4h38	101
						Neuston S	14h18	10mn	4h48	1514
			Référence	7	19	Bongo 1	15h15	3mn30	5h45	232
						Bongo 2	15h23	4mn	5h53	202
						Neuston S	15h28	15mn	5h58	3004
			Point 3	6	22	Bongo 1	16h16	4mn	6h46	261
						Bongo 2	16h24	4mn30	6h54	331

204	10 septembre	71	C. Amenée	4	4	Bongo 1	13h38	10mn	4h36	54
						Bongo 2	13h44		4h42	57
						Neuston S	13h51		4h49	940
			Rejet	4	15	Bongo 1	13h	10mn	3h58	167
						Bongo 2	13h10		4h08	111
						Neuston S	13h18		4h16	1280
			Référence	11	24	Bongo 1	12h10	15mn	3h08	187
						Bongo 2	12h22		3h20	230
						Neuston S	12h35		3h33	1819
			Point 3		24	Bongo 1	14h26	14mn	5h24	237
						Bongo 2	14h36		5h34	210
						Neuston S	14h44		5h42	2487

Annexe 5.1. Caractéristiques des prélèvements effectués en 2009

Mission	Date	Point	Température (°C)		DT maximum (°C)		Salinité		Densité	
			Surf.	Fond	Surf.	Fond	Surf.	Fond	Surf.	Fond
199	17 juin	C. Amenée	15,10	15,07	-0,2		35,01	35,03		
		Rejet	14,95	14,85			34,98	34,98		
		Référence	14,73	14,61			34,96	34,98		
		Point 3	14,36	14,32			35,01	35,03		
200	30 juin	C. Amenée	15,84	15,83	2,2		34,80	34,82	25,64	25,66
		Rejet	18,00				34,83	34,83	25,84	25,86
		Référence	15,11	15,07						
		Point 3								
201	16 juillet	Référence	16,70	16,65			34,95	34,95	25,54	25,56
		Point 3	16,21	16,13			34,95	34,94	25,65	25,67
202	29 juillet	Référence	16,81	16,76			34,91	34,91		
		Point 3	16,56	16,53			34,98	34,99		
203	12 août	C. Amenée	17,61	17,61	2,4		34,96	34,96	25,34	25,34
		Rejet	20,04	18,34			34,99	35,07	24,74	25,24
		Référence	17,10	17,10			34,99	34,99	25,48	25,48
		Point 3	16,87	16,87			35,02	35,02	25,56	25,56
204	10 septembre	C. Amenée	17,52	17,48	2,1		35,04	35,07	25,42	25,45
		Rejet	19,60				35,20	35,10	25,44	25,44
		Référence	17,19	17,18			35,08	35,08	25,53	25,53
		Point 3	17,21	17,17			35,11	35,11	25,55	25,56

Annexe 5.2. Résultats des mesures hydrologiques effectuées en 2009

Mission	Date	Point	Nuages	Engin	Total larves	Zoés stade 1	Zoés stade 2	Zoés stade 3	Mégaloopes
199	17 juin	C. Amenée	4	Bongo 1 Bongo 2 Moy. Bongo Neuston S					
		Rejet	1	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Référence	8	Bongo 1 Bongo 2 Moy. Bongo Neuston S	0,029 <b>0,015</b> <b>0,011</b>	0,029 <b>0,015</b> <b>0,005</b>			<b>0,005</b>
		Point 3	8	Bongo 1 Bongo 2 Moy. Bongo Neuston S	0,045 <b>0,022</b> <b>0,024</b>	0,045 <b>0,022</b> <b>0,014</b>		<b>0,005</b>	<b>0,005</b>
200	30 juin	C. Amenée		Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Rejet	5	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Référence	7	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Point 3	7	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S	<b>0,012</b>	<b>0,012</b>			
201	16 juillet	Référence	6	Bongo 1 Bongo 2 Moy. Bongo Neuston S	0,050 0,036 <b>0,043</b> <b>0,012</b>				0,050 0,036 <b>0,043</b> <b>0,008</b>
		Point 3	4	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S	<b>0,019</b>	<b>0,009</b>	<b>0,009</b>		
202	29 juillet	Référence	7	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S	<b>0,004</b>				<b>0,004</b>
		Point 3	5	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
203	12 août	C. Amenée		Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Rejet	8	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Référence	7	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					



		Point 3	6	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
204	10 septembre	C. Amenée	4	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Rejet	4	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Référence	11	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Point 3		Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					

Annexe 5.3. Densités des larves de homard en 2009 (en nombre par 10 m<sup>3</sup>)

Mission	Date	Point	Engin	Mégalopes	Total Zoés	Zoés stade 1	Zoés stade 2
199	17 juin	C. Amenée	Bongo 1 Bongo 2				
		Rejet	Bongo 1 Bongo 2				
		Référence	Bongo 1 Bongo 2 Moyenne			0,03	
		Point 3	Bongo 1 Bongo 2 Moyenne		0,11 <b>0,05</b>	0,11 <b>0,05</b>	
200	30 juin	C. Amenée	Bongo 1 Bongo 2				
		Rejet	Bongo 1 Bongo 2				
		Référence	Bongo 1 Bongo 2 Moyenne		0,04 <b>0,02</b>	0,04 <b>0,02</b>	
		Point 3	Bongo 1 Bongo 2 Moyenne		0,05 <b>0,02</b>	0,05 <b>0,02</b>	
201	16 juillet	Référence	Bongo 1 Bongo 2 Moyenne	0,20	1,11 0,54 <b>0,82</b>	0,86 0,32 <b>0,59</b>	0,25 0,22 <b>0,23</b>
		Point 3	Bongo 1 Bongo 2 Moyenne	0,24 0,15 <b>0,19</b>	21,31 10,32 <b>15,82</b>	19,91 9,63 <b>14,77</b>	1,40 0,69 <b>1,04</b>
		Référence	Bongo 1 Bongo 2 Moyenne	0,48	2,66 1,90 <b>2,28</b>	2,05 1,14 <b>1,60</b>	0,60 0,76 <b>0,68</b>
		Point 3	Bongo 1		4,48	3,68	0,80

			Bongo 2		7,94	6,55	1,39	
			<b>Moyenne</b>		<b>6,21</b>	<b>5,12</b>	<b>1,10</b>	
203	12août	C. Amenée	Bongo 1					
			Bongo 2					
		Rejet	Bongo 1					
			Bongo 2	0,06				
			<b>Moyenne</b>	<b>0,03</b>				
		Référence	Bongo 1	0,17	0,35	0,22	0,13	
			Bongo 2	0,25	0,54	0,35	0,20	
			<b>Moyenne</b>	<b>0,21</b>	<b>0,44</b>	<b>0,28</b>	<b>0,16</b>	
		Point 3	Bongo 1	0,35	1,92	1,15	0,77	
			Bongo 2	0,21	1,81	1,06	0,76	
			<b>Moyenne</b>	<b>0,28</b>	<b>1,87</b>	<b>1,10</b>	<b>0,76</b>	
		204	10 septembre	C. Amenée	Bongo 1			
Bongo 2								
Rejet	Bongo 1							
	Bongo 2			0,09	0,18		0,18	
	<b>Moyenne</b>			<b>0,04</b>	<b>0,09</b>		<b>0,09</b>	
Référence	Bongo 1			0,11	0,05	0,05		
	Bongo 2			0,17	0,30	0,30		
	<b>Moyenne</b>			<b>0,14</b>	<b>0,18</b>	<b>0,18</b>		
Point 3	Bongo 1			0,04	0,38	0,38		
	Bongo 2			0,10	1,05	0,91	0,14	
	<b>Moyenne</b>			<b>0,07</b>	<b>0,71</b>	<b>0,64</b>	<b>0,07</b>	

Annexe 5.4. Densités des larves d'araignée en 2009 (en nombre par 10 m<sup>3</sup>)

JUIN	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuées	Longueur céphalothoracique moyenne (cm)	Poids moyen (g)	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	27	14	12	1	8.4	397	52
filière 2	100	49	42	9	8.7	441	49
filière 3	127	65	61	1	8.0	338	51
filière 4	34	21	11	2	8.5	447	62
filière 5	182	98	83	1	7.7	290	54
filière 6	27	19	8		8.5	452	70
filière 7	17	9	7	1	8.3	378	53
filière 8	102	55	33	14	9.2	533	54
filière 9	70	32	35	3	8.2	356	46
filière 10	60	35	22	3	8.0	336	58
filière 11	20	12	8		7.7	306	60
filière 12	48	31	16	1	8.6	442	65
filière 13	45	24	20	1	8.4	394	53
filière 14	61	33	28		7.9	318	54
filière 15	20	11	9		8.1	355	55
<b>Sous total</b>	<b>940</b>	<b>508</b>	<b>395</b>	<b>37</b>	<b>8.2</b>	<b>378</b>	<b>54</b>
filière 16	166	106	51	9	9.0	516	64

SEPTEMBRE	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuées	Longueur céphalothoracique moyenne (cm)	Poids moyen (g)	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	14	6	8		7.9	342	43
filière 2	122	56	61	5	9.1	511	46
filière 3	135	69	63	3	8.0	336	51
filière 4	19	9	9	1	9.0	504	47
filière 5	149	81	67	1	7.9	309	54
filière 6	31	19	12		8.8	478	61
filière 7	13	8	5		8.1	433	62
filière 8	83	33	44	6	9.6	585	40
filière 9	78	44	34		7.8	304	56
filière 10	50	21	28	1	8.4	393	42
filière 11	15	10	5		8.3	386	67
filière 12	15	11	4		8.4	397	73
filière 13	26	17	9		8.4	404	65
filière 14	52	27	24	1	8.5	417	52
filière 15	28	14	13	1	8.3	390	50
<b>Sous total</b>	<b>830</b>	<b>425</b>	<b>386</b>	<b>19</b>	<b>8.4</b>	<b>404</b>	<b>51</b>
filière 16	194	105	80	9	9.2	520	54

<b>Total</b>	<b>1770</b>	<b>933</b>	<b>781</b>	<b>56</b>	<b>8.3</b>	<b>390</b>	<b>53%</b>
<b>Total (16)</b>	<b>360</b>	<b>211</b>	<b>131</b>	<b>18</b>	<b>9.1</b>	<b>518</b>	<b>59%</b>

Annexes 5.5 : Résultats des pêches expérimentales de homard en 2009

JUIN	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Largeur céphalothoracique moyenne (cm)	Poids moyen (g)	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	25	11	14	14.7	561	44
filière 2	36	28	8	11.0	228	78
filière 3	17	9	8	11.9	280	53
filière 4	33	19	14	14.6	557	58
filière 5	29	22	7	12.0	290	76
filière 6	21	11	10	14.6	523	52
filière 7	27	13	14	15.6	665	48
filière 8	10	8	2	12.3	339	80
filière 9	66	41	25	11.6	260	62
filière 10	93	40	53	12.3	320	43
filière 11	20	10	10	13.3	405	50
filière 12	50	22	28	13.3	408	44
filière 13	49	26	23	13.6	445	53
filière 14	76	40	36	11.8	283	53
filière 15	35	13	22	14.4	508	37
<b>Sous total</b>	<b>587</b>	<b>313</b>	<b>274</b>	<b>12.9</b>	<b>379</b>	<b>53</b>
filière 16	12	12	0	11.0	231	100

SEPTEMBRE	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Largeur céphalothoracique moyenne	Poids moyen (g)	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	16	10	6	15.5	705	63
filière 2	18	10	8	11.9	324	56
filière 3	8	6	2	11.7	257	75
filière 4	19	15	4	14.9	591	79
filière 5	17	14	3	12.0	293	82
filière 6	28	14	14	15.3	624	50
filière 7	34	22	12	14.5	515	65
filière 8	4	2	2	16.4	808	50
filière 9	39	25	14	11.2	230	64
filière 10	113	80	33	13.0	377	71
filière 11	9	5	4	14.9	586	56
filière 12	23	17	6	15.1	636	74
filière 13	52	33	19	12.8	366	63
filière 14	116	87	29	12.8	356	75
filière 15	35	23	12	15.0	578	66
<b>Sous total</b>	<b>531</b>	<b>363</b>	<b>168</b>	<b>13.3</b>	<b>425</b>	<b>68</b>
filière 16	7	3	4	8.9	93	43

<b>Total</b>	<b>1118</b>	<b>676</b>	<b>442</b>	<b>13.1</b>	<b>401</b>	<b>60%</b>
<b>Total (16)</b>	<b>19</b>	<b>15</b>	<b>4</b>	<b>10.2</b>	<b>162</b>	<b>79%</b>

Annexes 5.6 : Résultats des pêches expérimentales de tourteau en 2009

JUIN	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuillées	Longueur céphalothoracique moyenne	Pourcentage d'individus de taille commerciale	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	28	23	3	2	8.6	4	82
filière 2	82	75	5	2	10.6	23	91
filière 3	25	21	4		9.8	0	84
filière 4	19	18	1		10.6	16	95
filière 5	14	9	4	1	10.0	21	64
filière 6	25	19	2	4	9.9	12	76
filière 7	29	25	2	2	10.3	14	86
filière 8	49	43	4	2	10.8	27	88
filière 9	20	18		2	11.0	30	90
filière 10	9	8	1		10.9	22	89
filière 11	29	22	1	6	10.3	24	76
filière 12	19	15	2	2	9.5	16	79
filière 13	17	17			10.1	12	100
filière 14	20	20			11.0	30	100
filière 15	36	31	1	4	10.4	28	86
<b>Sous total</b>	<b>421</b>	<b>364</b>	<b>30</b>	<b>27</b>	<b>10.3</b>	<b>19</b>	<b>86</b>
filière 16	72	60	11	1	9.8	10	83

SEPTEMBRE	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuillées	Longueur céphalothoracique moyenne	Pourcentage d'individus de taille commerciale	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	22	15	6	1	7.1	0	68
filière 2	4	1	3		6.3	0	25
filière 3	0	0				0	
filière 4	10	6	3	1	9.2	20	60
filière 5	0	0				0	
filière 6	59	27	32		10.1	17	46
filière 7	13	5	8		10.5	46	38
filière 8	1	0	1		7.5	0	0
filière 9	0	0				0	
filière 10	3	3			9.1	33	100
filière 11	62	34	27	1	10.2	13	55
filière 12	6	4	2		7.1	0	67
filière 13	5	4	1		11.6	60	80
filière 14	2	1	1		9.1	0	50
filière 15	101	56	45		9.5	0	55
<b>Sous total</b>	<b>288</b>	<b>156</b>	<b>129</b>	<b>3</b>	<b>9.5</b>	<b>10</b>	<b>54</b>
filière 16	1	1	0	0	7.2	100	100

<b>Total</b>	<b>709</b>	<b>520</b>	<b>159</b>	<b>30</b>	<b>10.0</b>	<b>16%</b>	<b>73%</b>
<b>Total (16)</b>	<b>73</b>	<b>61</b>	<b>11</b>	<b>1</b>	<b>9.8</b>	<b>11%</b>	<b>84%</b>

Annexes 5.7 : Résultats des pêches expérimentales d'araignée en 2009

JUIN	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuvées	Longueur céphalothoracique moyenne	Pourcentage d'individus mous	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	11	10	1		5.0	36	91
filière 2	9	8		1	5.2	44	89
filière 3	22	20	2		5.1	36	91
filière 4	14	12	2		4.9	57	86
filière 5	21	20	1		5.0	29	95
filière 6	15	14		1	4.9	33	93
filière 7	9	8	1		4.7	56	89
filière 8	4	3	1		5.4	75	75
filière 9	8	8			5.0	13	100
filière 10	7	7			5.0	71	100
filière 11	4	4			4.3	100	100
filière 12	7	4	3		4.8	14	57
filière 13	28	24	3	1	4.8	29	86
filière 14	15	13	1	1	5.0	53	87
filière 15	10	10			5.0	50	100
<b>Sous total</b>	<b>184</b>	<b>165</b>	<b>15</b>	<b>4</b>	<b>5.0</b>	<b>41</b>	<b>90</b>
filière 16	8	6		2	5.0	13	75

SEPTEMBRE	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuvées	Longueur céphalothoracique moyenne	Pourcentage d'individus mous	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	24	17	7		5.0	0	71
filière 2	13	12	1		5.1	0	92
filière 3	29	20	9		5.1	3	69
filière 4	6	3	3		4.8	17	50
filière 5	12	11	1		5.0	0	92
filière 6	8	8			4.8	13	100
filière 7	12	8	4		5.0	25	67
filière 8	3	3			5.4	0	100
filière 9	37	34	3		5.3	5	92
filière 10	18	16	2		5.2	0	89
filière 11	3	3			4.6	33	100
filière 12	23	17	6		4.7	0	74
filière 13	18	14	4		5.1	11	78
filière 14	14	10	4		5.2	14	71
filière 15	15	12	3		4.8	13	80
<b>Sous total</b>	<b>235</b>	<b>188</b>	<b>47</b>		<b>5.0</b>	<b>6</b>	<b>80</b>
filière 16	24	20	4		5.2	0	83
<b>Total</b>	<b>419</b>	<b>353</b>	<b>62</b>	<b>4</b>	<b>5.0</b>	<b>21%</b>	<b>84%</b>
<b>Total (16)</b>	<b>32</b>	<b>26</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>5.2</b>	<b>3%</b>	<b>81%</b>

Annexes 5.8 : Résultats des pêches expérimentales d'étrille en 2009

	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	29	47	76	1	1	2
filière 2	80	80	160	0	0	0	0	0	0
filière 3	80	80	160	0	0	0	0	0	0
filière 4	80	80	160	9	22	31	0	2	2
filière 5	80	80	160	0	0	0	0	0	0
filière 6	80	80	160	12	10	22	4	5	9
filière 7	80	80	160	11	12	23	13	10	23
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	0	0	0
filière 11	80	80	160	179	43	222	29	13	42
filière 12	80	80	160	1	1	2	0	1	1
filière 13	80	80	160	1	0	1	0	0	0
filière 14	80	80	160	0	0	0	0	0	0
filière 15	80	80	160	41	10	51	4	1	5
filière 16	80	80	160	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	1280	1280	2560	283	145	428	51	33	84

Annexes 5.9 : Résultats des pêches expérimentales d'autres espèces en 2009



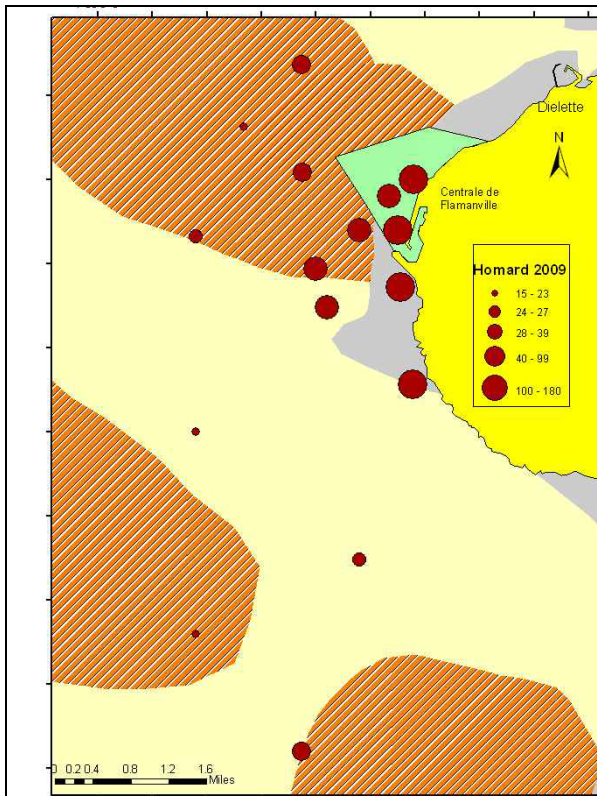


Figure A : Nombre de Homards pour 80 casiers

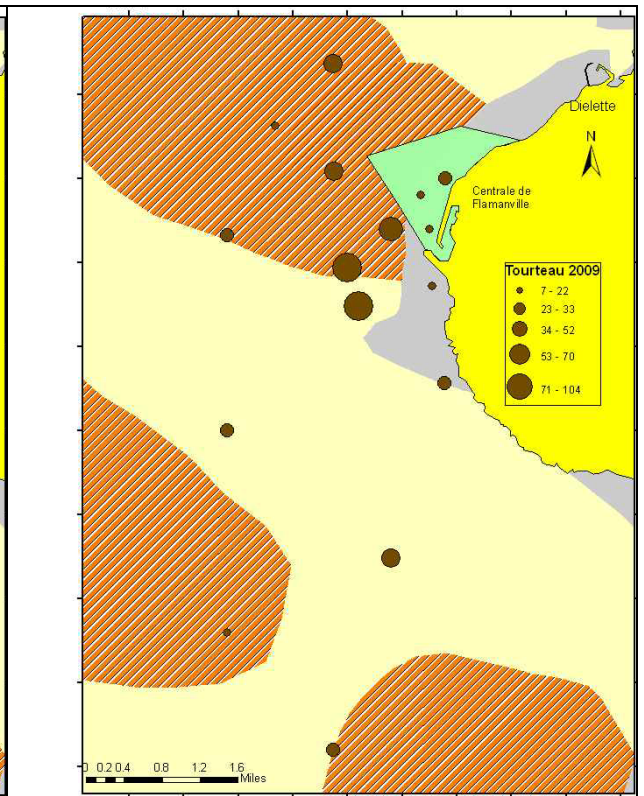


Figure B : Nombre de Tourteaux pour 80 casiers

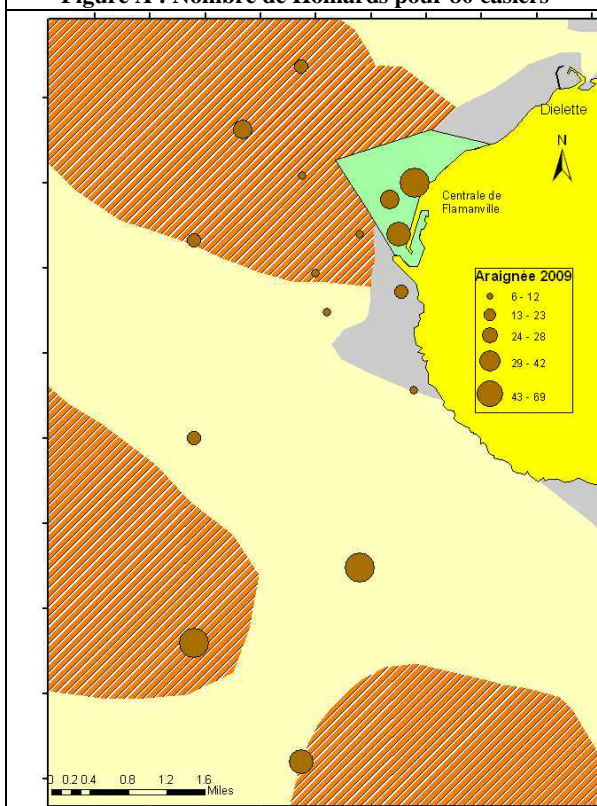


Figure C : Nombre d'Araignées pour 80 casiers

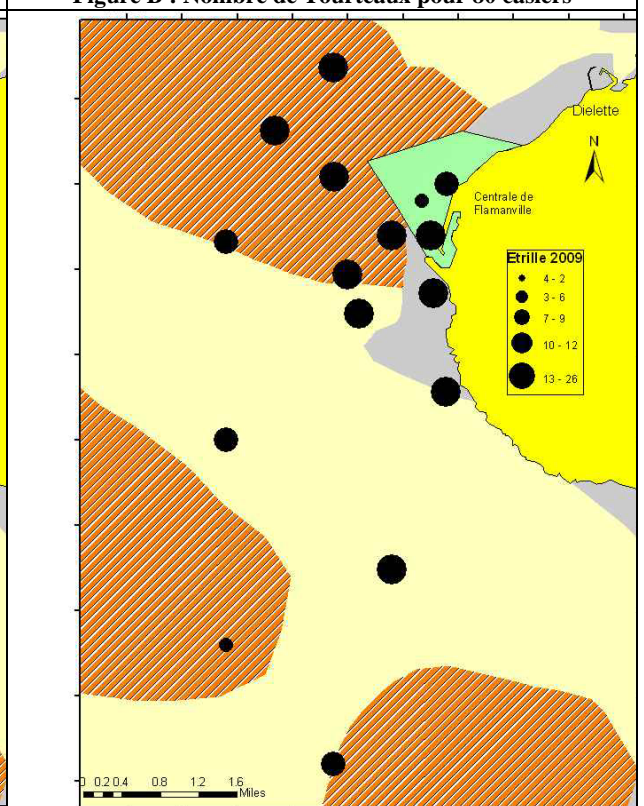


Figure D : Nombre d'Etrilles pour 80 casiers



---

## 6. Conclusion



## 6.1. Le domaine pélagique

### Hydrologie

Les températures de l'eau de mer mesurées en 2009 ont dans l'ensemble été très comparables à celle de l'année précédente aux différentes saisons. Un fort écart de température entre les points *rejet-référence* a toutefois été observé en été. Cet écart thermique est le plus important observé depuis 1987. En 2009, les différences de températures au niveau du *rejet* sont toujours significatives tout au long de l'année avec les autres points de surveillance (*canal* et *référence*). Néanmoins, les mesures de 2009, appuyées des résultats de modélisation, indiquent que l'étendue du panache de rejet reste toujours géographiquement très limité.

Les salinités enregistrées au cours de l'année 2009 ont été systématiquement inférieures à celles de 2008 sur les différentes stations de surveillance tout au long de l'année. Elles sont aussi inférieures aux valeurs médianes pluriannuelles calculées depuis l'année 1987, mais restent dans la gamme observée depuis le début de la surveillance. Bien que l'influence de la pluviométrie reste limité dans ce secteur de la Manche, les points côtiers (*canal* et *rejet*) sont toujours caractérisés par des salinités inférieures à celui du large (*référence*). La présence de ce gradient côte-large pourrait être lié aux apports d'eau douce d'origine continentale. Un impact de la centrale via ses rejets d'eau déminéralisée est fort peu probable compte tenu du volume total de rejet et de la limite du débit journalier de ce rejet.

L'ensemble de nutriments mesurés lors des campagnes de surveillance 2009 présente une évolution saisonnière classique. Suite à l'augmentation de l'ensoleillement, les sels nutritifs sont assimilés et consommés par le phytoplancton qui se développe entre le printemps et l'été. En automne, principalement sous l'effet de l'activité bactérienne, la dégradation de la matière organique produite au printemps et en été conduit à la régénération des nutriments dans la colonne d'eau. Il est toutefois intéressant de noter que cette année, malgré une première campagne de surveillance relativement tôt dans l'année (mi-mars), les nutriments ont déjà été en partie assimilés par le phytoplancton. Les concentrations en nutriment ont alors généralement été largement inférieures aux médianes pluriannuelles sur l'ensemble des points. Seules les teneurs en phosphates sont restées très proches des valeurs médianes pluriannuelles, tout comme en 2008.

Les concentrations en MES mesurées en 2009 ont été généralement comprises dans la gamme de concentration observée depuis 2001 toute l'année et aux trois points de surveillance. Uniquement au printemps, la station référence a été caractérisée par une concentration maximale sensiblement supérieure à la gamme de concentrations établie depuis 2001 (>31,6 mg/L). L'absence de différence significative entre les points semble indiquer que, malgré des rejets de MES liés au prétraitement des eaux pour la station de déminéralisation, la distribution des MES dans la colonne d'eau ne semble pas être modifiée de façon perceptible par les activités de la centrale. En 2008, les quantités de MES rejetées étaient d'ailleurs restées faibles avec 1079 kg sur les 19400 kg autorisés selon les prescriptions de l'arrêté de rejets.

Les concentrations en bore mesurées au cours de l'année 2009 ont en général été comprises dans la gamme de concentration observée depuis 2001 aux trois points de surveillance. Les concentrations en bore, similaires à celle du milieu naturel, ainsi que l'absence de concentrations maximales au niveau du point *rejet*, suggèrent que l'impact de la centrale via ses rejets d'acide borique n'est pas perceptible.

Les valeurs de l'ensemble des produits de chloration recherchés dans l'eau de mer ont été généralement inférieures au seuil de détection analytique, à l'exception du bromoforme au point *rejet* en été et en automne. Les concentrations ont alors été de

2,1 et 1,7 µg/L respectivement. Ces niveaux sont bien en dessous de la valeur seuil (10 µg/L) considérée encore comme acceptable en milieu marin. En outre l'absence de présence de bromoforme aux stations proches du rejet, il est raisonnable de penser que l'impact de ce rejet chimique est très limité.

En conclusion, les données acquises au cours des trois campagnes de surveillance en 2009 ne permettent pas de déceler d'anomalie dans la distribution et la variation des paramètres hydrologiques au niveau de la centrale électronucléaire de Flamanville. L'activité de la centrale à travers ses rejets chimiques et thermiques ne semble donc pas modifier de manière sensible et significative les caractéristiques hydrologiques intrinsèques du milieu.

### Phytoplancton

La biomasse chlorophyllienne varie de 0,66 µg/L à 2,55 µg/L sur l'ensemble des points et des campagnes. Au mois de juin, un gradient croissant côte-large a été observé. Ce gradient est inversé en septembre. Toutes les concentrations en chlorophylle de 2009 sont inférieures à celles observées en 2008 à l'exception de la concentration en chlorophylle enregistrée au mois de mars 2009 au point *rejet*. Elle est alors la plus forte enregistrée à ce point à cette saison depuis le début du suivi.

La production primaire potentielle a été caractérisée à travers la mesure de la fluorescence in vivo au moyen d'un Pulse Amplitude Modulated (PAM). Les valeurs de rETR mesurées en 2009 sont comprises entre 122 en septembre au point référence mi-profondeur, et 304 au point rejet en mars. Les courbes des trois saisons sont similaires et présentent un gradient décroissant côte-large. Un gradient inverse avait été observé en 2008. Les plus fortes valeurs de l'efficacité quantique ont été observées aux mois de mars et juin avec un maximum de 0,58 indiquant un bon état physiologique des peuplements phytoplanctoniques dans les eaux de Flamanville. Cependant, des valeurs minimales de 0,35 à 0,38 ont aussi été observées en juin et en mars caractérisant la présence de populations phytoplanctoniques dans un état physiologique médiocre. Ces faibles valeurs suggèrent des carences en nutriments. Cette situation est fréquente dans les eaux à caractère océanique de l'ouest Cotentin en particulier en été.

Les plus fortes abondances microphytoplanctoniques ont été observées sur le point canal en mars avec 558 100 cellules/L, et les plus faibles, pour l'ensemble des points au mois de septembre (< 15 000 cellules/L). La situation observée au mois de mars montre un fort gradient décroissant côte-large. Ce gradient n'est pas observé en juin et septembre.

Contrairement aux années précédentes, où l'espèce *Skeletonema costatum* dominait, en 2009 comme en 2008 c'est le genre *Thalassiosira* qui domine les diatomées en mars. Cette dominance est néanmoins partagée avec *Skeletonema costatum*. En été, ce peuplement est remplacé par des diatomées du genre *Rhizosolenia*. Cette poussée estivale du genre *Rhizosolenia*, majoritairement représenté par l'espèce *R. delicatula* et *R. fragilissima* est classique dans les eaux atlantiques. Le mois de juin est également caractérisé par la présence des genres *Chaetoceros*, *Nitzschia* et *Thalassiosira*. Au mois de septembre, la communauté de diatomées est très hétérogène entre les points. Ceux sont les genres *Chaetoceros*, *Rhizosolenia*, *Thalassiosira* et *Leptocylindrus* qui composent l'essentiel du cortège floristique avec *Pseudo-Nitzschia*.

En 2009 comme en 2008, la dominance des dinoflagellés sur les peuplements phytoplanctoniques a été plus marquée en juin. Les dinoflagellés présentent un maximum annuel lors de cette campagne estivale, avec 24 % de l'abondance

microphytoplanctonique au point *référence* mi-profondeur et 11 000 cellules/L. Les genres les plus rencontrés ont été *Cachonina*, *Gymnodinium* et *Heterocapsa*. En septembre, les dinoflagellés représentent jusqu'à 10% de la communauté au point *canal*. Au point *rejet* et *canal* les dinoflagellés atteignent 1100 cellules/L. Les genres les mieux représentés à cette saison sont *Amphidinium*, *Gymnodinium*, *Gyrodinium*, *Prorocentrum*, *Scrippsiella* et *Torodinium*.

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. A partir de l'étude des paramètres suivis dans le compartiment phytoplanctonique en 2009, nous ne pouvons donc pas conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu, généré par l'activité de la centrale de Flamanville.

### Zooplancton

En 2009, les biomasses sestoniques mesurées au printemps et en été au point *référence* étaient parmi les plus faibles de la série temporelle. Les biomasses automnales, en particulier au point *rejet*, font par contre partie des valeurs hautes pour la série de données. L'ensemble des valeurs acquises depuis 1987 ne montre pas de différence significative entre les points *canal*, *rejet* et *référence*, et ce quelle que soit la saison.

Encore une fois, ces tendances observées sur la biomasse sestonique ne reflétaient pas les observations sur les abondances zooplanctoniques. En effet, c'est lors des campagnes de mars et juin que les abondances zooplanctoniques les plus importantes ont été observées, alors que les biomasses sestoniques les plus fortes ont été mesurées en septembre. De même, les gradients d'abondance entre les points de prélèvement ne reflétaient pas ceux des biomasses. Les rapports C/N du seston montrent bien la difficulté qu'il y a à déduire, ou estimer, la biomasse du zooplancton, *sensus stricto*, à partir de ce type d'analyse. La contamination des échantillons filtrés par des débris minéraux, végétaux (point *canal* en mars) ou coquilliers est trop aléatoire pour pouvoir avoir une estimation fiable de la biomasse zooplanctonique. Au mieux cette analyse nous donne-t-elle une appréciation de l'évolution de la charge particulaire (seston > 100 µm) sur le site de la centrale de Flamanville au moment des prélèvements.

En 2009, l'abondance zooplanctonique a été caractérisée par des abondances printanières et estivales proches des valeurs extrêmes (> 1 000 ind. m<sup>-3</sup>) observées depuis 1991, alors que les abondances automnales étaient plutôt faibles. L'évolution de l'abondance zooplanctonique observée depuis 1991 à Flamanville ne montre pas de différence significative entre les points de prélèvement quelque soit la saison, même si en été l'abondance zooplanctonique au point *canal* semble tendre vers des abondances plus faibles qu'aux deux autres points.

Au printemps 2009, le méroplancton représentait plus de 94 % du zooplancton total. Cette fraction était presque exclusivement composée de larves de cirripèdes (> 90 %, essentiellement au stade nauplius).

L'holoplancton quant à lui, et comme il est coutume de l'observer, dominait largement le zooplancton en été et à l'automne (> 84 %). Comme toujours en milieu côtier tempéré, il était essentiellement caractérisé par les copépodes (> 91 %). La diversité spécifique de ce groupe est assez faible ( $\leq 2$  Bit. ind<sup>-1</sup>) et composé en général de moins d'une dizaine d'espèce dont une seule peut représenter entre 40 et 70 % du peuplement. Les espèces dominantes étaient comme souvent *Acartia clausi*, *Centropages hamatus*, *Temora longicornis*, *Euterpina acutifrons*, *Paracalanus parvus* et *Pseudocalanus elongatus*. Chacune de ces espèces respecte, pour ce que peut

montrer cette analyse de trois campagnes annuelles, leur répartition saisonnière habituelle. Au printemps, les appendiculaires (*Oikopleura dioica*) constitue également une part non négligeable de l'holoplancton (40 à 50 %).

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

### Microbiologie

L'évolution des concentrations de germes totaux est restée assez constante 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. En 2009, les résultats sont sensiblement supérieurs à ceux de 2008 quelle que soit la saison. Ils sont compris dans la gamme de concentrations observée avant 2005. La distribution des germes totaux en 2009 a été également caractérisée par des quantités minimales au point *rejet* toute l'année. L'élévation de température sur ce point ne semble donc pas favoriser la croissance bactérienne.

Les quantités de germes revivifiables sont en diminution en 2009 par rapport à 2008 au printemps et en été. Cette diminution est particulièrement significative au point *canal* en été, où l'an dernier une abondance très élevée avait été observée. En automne, les abondances de germes revivifiables sont en augmentation sur l'ensemble des stations. La distribution des germes revivifiables est caractérisée par un gradient décroissant côte-large. Si les abondances restent proches des valeurs observées depuis 2005 aux points *rejet* et *référence*, au point *canal* le nombre de germes est en constante augmentation depuis 2003. Cette année est caractérisée par la plus forte abondance sur cette station depuis 1987.

L'identification des vibrions halophiles par la méthode EDF confirme la dominance des souches de *Vibrio alginolyticus* dans les eaux proches de la centrale de Flamanville. La présence de cette souche a été identifiée tout au long de l'année sauf au printemps, mais à des concentrations faibles (< 50 Vibrio/L). Cette année a aussi été caractérisée par la suspicion de présence de *Vibrio parahaemolyticus* au point *référence* en mars.

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

En conclusion, bien que l'effet de l'augmentation moyenne de la température de l'eau de mer sur toute la Manche pourrait favoriser les développements naturels bactériens, l'augmentation régulière depuis 2003 de l'abondance des germes revivifiables n'est nettement perceptible qu'au point *canal* depuis 2003. Il conviendra donc de suivre avec attention l'évolution de ces germes l'année prochaine sur ce point. Néanmoins, l'étude des divers paramètres du compartiment microbiologique dans son ensemble ne permet pas de conclure à l'existence d'un déséquilibre marqué du milieu en raison de l'activité de la centrale de Flamanville.

## 6.2. Le domaine benthique

Pour la troisième année consécutive, les biomasses de *Fucus serratus* du platier de Diélette sont en baisse. Comme en 2008, la valeur automnale est la plus basse observée depuis 1983. Les moyennes printanières ont chuté régulièrement de 192 g en 1984 à 48 g en 2009, les moyennes automnales de 508 g en 1983 à 126 g en 2009 (en grammes de poids sec par 0,25 m<sup>2</sup>).

La population algale s'appauvrit. Cette tendance à la diminution se rencontre aussi sur un autre site d'observation dans le Finistère nord.

Le cycle de reproduction de *Fucus serratus* s'est développé en 2009, conformément au rythme habituel.

Le recrutement des cirripèdes a augmenté en 2009, les températures hivernales ayant favorisé la reproduction de *Semibalanus balanoides*, espèce majoritaire dans ce secteur, confortant une fois de plus la relation établie entre la rigueur de l'hiver (appréciée par la température moyenne de l'air ou de l'eau de mer du mois le plus froid) et le recrutement des cirripèdes.

La densité moyenne 2009, toutes espèces et toutes stations confondues, est supérieure à celle de 2008. Les populations de cirripèdes se densifient excepté à Quédoy où la valeur atteint son minimum observé depuis 1993. Si les populations de *Semibalanus balanoides* augmentent, les autres espèces notamment de Chthamales diminuent.

Les densités de *Patella* sp., *Littorina saxatilis*, *Lasea rubra* et *Melaraphe neritoïdes*, espèces accompagnatrices des cirripèdes, sont supérieures à celles de 2008.

Les résultats des observations faites au niveau du compartiment benthique (phytobenthos et zoobenthos) n'indiquent pas d'influence directe des rejets de la centrale.

## 6.3. Le domaine halieutique

### Larves de crustacés

Comme l'illustrent la figure 2.9 de la page 27, les températures de janvier-février 2009 sont en dessous de la moyenne observée sur les 24 dernières années mais dès le mois de mars les températures remontent. C'est ainsi que le début des éclosions a eu lieu dès la mi juin alors que la moyenne des températures du 1er février au 10 mars nous laissait entrevoir un début plus tardif.

La densité maximale de zoés, relevée mi juillet (16 par 10 m<sup>3</sup>), dépasse celles des années antérieures si l'on exclue toutefois l'année 1983 qui demeure exceptionnelle.

La répartition des zoés selon les points se confirme d'année en année avec le point 3 généralement beaucoup plus riche, alors que la zone de rejet est très pauvre et qu'on en récolte rarement dans le canal d'aménée. Les mégaloopes se répartissent essentiellement entre le point Référence et le point 3, quelques unes sont observées aux environs du rejet sans atteindre les effectifs inhabituels des années 2006 et 2007 et la récolte d'une mégaloope dans le canal d'aménée en 2008 ne s'est pas renouvelée cette année.

Comme nous l'avons noté dans le rapport de synthèse (Drévès *et al.*, 2005) les larves de homard doivent apparaître dès le mois de mai depuis quelques années et l'absence de missions à cette période ne nous permet pas de situer précisément le pic d'éclosion. La densité maximale relevée cette année en subsurface (0,02 par 10 m<sup>3</sup>) est plutôt faible mais les quatre stades sont représentés dans les prélèvements et nous en avons récoltées au cours de quatre missions.

Les résultats de l'année 2009 ne révèlent pas de déséquilibre du milieu. Les fluctuations temporelles de la date des pics d'éclosion sont le reflet des variations climatiques.

### **Surveillance de la pêche côtière des crustacés**

Les rendements en homard augmentent pour la neuvième année consécutive et permettent à cette espèce de prendre la première place en terme de dominance. La taille moyenne est légèrement inférieure à la taille marchande. Il semble que la population profite d'une augmentation du nombre de juvéniles d'un à trois ans que l'on retrouve en forte proportion au sud du cantonnement. Il n'est pas possible de savoir si ces petits homards proviennent de la réserve dans la mesure où il est difficile, pour des raisons de mortalité importante et de mues rapprochées, de marquer les juvéniles de moins de 60mm de longueur céphalothoracique. Parallèlement aux observations réalisées lors de ces deux dernières campagnes expérimentales, on remarque que l'année 2008 (données BCS) représentait celle dont les déclarations des professionnels fréquentant la zone sont les plus fortes depuis 2003 (54T). Il faudra attendre la validation des données 2009 pour confirmer le bon état de la pêcherie concernant cette espèce mais il semble déjà, selon les dires de professionnels quelle était bonne aussi bien cotés français que dans les îles anglo-normandes.

\* L'abondance de l'araignée diminue par rapport à l'année dernière tout en restant dans les limites des fluctuations annuelles observées depuis dix ans. Les débarquements de 2008 sont aussi en diminution. Cela semble être le fait d'une certaine désaffection de la part des professionnels qui ont du mal à écouler leur production sur le marché européen. Il semble que l'année 2009, du fait de la dévaluation de la livre et des apports importants de la part des pêcheurs anglais, n'est pas été une très bonne année pour la commercialisation des araignées de la part des pêcheurs locaux.

\* Le tourteau n'est plus la principale espèce capturée cette année. Il semble que la forte abondance du homard dans les filières placées au sud de la réserve et généralement favorable à la capture du tourteau, soit à l'origine de cette diminution. Cela confirmerait l'effet de domination territorial du homard sur cette dernière espèce.

\* La taille moyenne des étrilles capturées reste faible et n'a pas significativement varié depuis six ans. Elle correspond au seuil de sélectivité de l'engin. Il faut toutefois noter que les rendements sont en augmentation cette année. Les résultats concernant l'étrille semblent plutôt positifs dans la mesure où l'espèce est en augmentation sur l'ensemble de la zone. Leur nombre a en effet doublé en septembre période de pleine activité et de recrutement de la part des quelques professionnelles ciblant cette espèce.

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

\* Les captures de homards sont encore importantes cette année, la taille moyenne n'a pas varié depuis 2007 et le nombre de femelles oeuvées y est toujours beaucoup plus important que dans le reste de la zone.

\* 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 d'une modification du stade sexuel, comme par exemple le passage de femelle à celui de femelle oeuvée. Il semble toutefois que les nombreuses mues successives aient eu raison des marques. En effet, un grand nombre d'individus a été marqué pour la première fois ou remarqué cette année.



\* Malgré le grand nombre de homards marqués, environ 2700 individus en six ans, le taux de recapture en dehors de la réserve est très faible (45 individus depuis 2003). Cela confirme que le homard est une espèce plutôt sédentaire, la majorité des captures réalisées pendant les campagnes se faisant généralement à l'intérieur du cantonnement ou en bordure immédiate de celui-ci. Il semble aussi qu'un grand nombre de plaisanciers capture des homards marqués au nord de la réserve mais pour l'instant il semble très difficile d'en estimer le nombre.

\* Nous avons pêché trois homards dont la longueur céphalothoracique était inférieure à 55 mm. Certains ont été capturés dans les filières de la réserve mais aussi plus au sud, le long de la falaise et ce qui est plus exceptionnel cette année, dans les filières 7 et 11.

Globalement, on peut avancer qu'il n'y a pas eu aggravation récente de l'état de la communauté des crustacés suivie sur le site de Flamanville du fait de la pêche ou de toute autre activité anthropique. Sur une plus longue période on peut affirmer que les rejets de la centrale de Flamanville n'ont aucune incidence négative sur la pêcherie environnante. Il est certain aussi que les enrochements de la centrale ainsi que la réserve associée constituent un bon exemple d'étude de l'intérêt d'une aire marine protégée sur la population environnante.

\* \* \*



## **7. Bibliographie**



- ABARNOU A., 1981.- Trihalométhanes formés par chloration de l'eau de mer. *In* : 2èmes journées de la thermo-écologie, Nantes, 14-15 novembre 1979. Electricité de France Ed., 247-266.
- ABARNOU, A., 1981.- Aspects chimiques de la chloration de l'eau de mer. Rapport ISTPM, 92 pp.
- ABARNOU, A., GUILLAUD, J-F., MIOSSEC, L., BATT, A. 1990.- La chloration des effluents urbains avant rejet en mer. Rapports scientifiques et techniques de l'Ifremer. N°20, 167 pp.
- AGOUMI, A., ENDERLE, M.J. & GRAS, R.A. 1983.- Modélisation du régime thermique de la Manche. *Oceanologica Acta*, 6, (4) 393-406
- ALDEBERT (Y.), 1975.- Comparaison des rendements du "Bongo".- Rapport FAO - ISTPM.
- AMINOT A., CHAUSSEPIED M. 1983.- « Manuel des analyses chimiques en milieu marin » *Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO)*, Brest, 395 pp.
- AMINOT A., KEROUEL R., 2004.- Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Ed. Ifremer, 336 p.
- ARBAULT S. et LACROIX N., 1975.- Essais comparatifs des pouvoirs de capture de deux filets à plancton (GULF III encasé et Bongo).- *Cons. int. Explor. Mer*, Comité des poissons pélagiques (sud), J:8.
- ARMSTRONG, F.A.J., BUTLER, E.I. & BOALCH, G.T. 1972.- Hydrographic and nutrient surveys in the western English Channel during 1963 and 1964. *Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom*, 52, 915-930
- BENTLEY, D. & MAILLARD-QUISTHOUDT, C. 1990 « Hydrographic and nutrient surveys in the western English Channel during 1963 and 1964 ». *Journal pour la Recherche Océanographique*, 15, (3/4) 135-141
- BIGOT (J.L.), 1979.- Identification des zoés de tourteau (*Cancer pagurus*, L.) et d'étrille (*Macropipus puber*, L.).- Comparaison avec d'autres zoés de morphologie très voisine.- *Cons. int. Explor. Mer*, Comité de l'océanographie biologique, L:17.
- BROUARDEL, J., RINCK, E. 1963.- « Mesure de la production organique en Méditerranée, dans les parages de Monaco, à l'aide du 14C » *Ann. Inst. Océanogr. Monaco*, n. Sér., 40 (2) :109-164.
- CABIOC'H J., et AL. 1992. Guide des algues des mers d'Europe. Ed. Delachaux et Nestlé, 232 p.
- COCHLAN W.P., 1986. Seasonal study of uptake and regeneration of nitrogen on the scotian shelf. *Continental Shelf Research* 5, 555-577
- DRÉVÈS L., 2001. Effets climatiques sur les écosystèmes marins. Exemple du recrutement des crustacés cirripèdes sur la côte ouest du Cotentin. *Hydroécol. Appl.* (2001) Tome 13 Vol. 1, pp. 101-112.
- DREVES L., ABERNOT-LE GAC C., GAFFET J.D., MAHEUX., 2009. Observations de trois peuplements de *Fucus serratus* en Manche. Colloque ALGIMAC, Concarneau, décembre 2009. *Cryptogamie, Algol*, 30 (4): 311-341.
- ERICKSON, S. J. et FREEMAN, A. E., 1978 Toxicity screening of fifteen chlorinated and brominated compounds using four species of marine phytoplankton. *In* : *Water Chlorination*. vol. 2., 307-310. Jolley et al. Ed.

- FRONTIER, 1972.**- Calcul de l'erreur sur un comptage de zooplancton. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 8, pp. 121-132
- GENESTE C., 1999.**- Infections à vibrions non cholériques : étude des cas survenus en France métropolitaine et identifiés par le Centre National de Références des vibrions et du choléra, de 1995 à 1998 . *Thèse de Doctorat en Médecine*, 74 pp.
- GENTILHOMME, V., LIZON, F. 1998.**- « Seasonal cycle of nitrogen and phytoplankton biomass in a well-mixed coastal system (Eastern English Channel). *Hydrobiologia*. 361 : 191-199.
- GOHIN, F., DRUON, J-N., LAMPERT, L., 2002.** « A five channel chlorophyll concentrations applied to SeaWiFS data processed by SeaDAS in coastal waters ». *Int. J. Remote Sensing*. Vol. 23 N°8, 1639-1661.
- GOHIN, F., LAMPERT, L., GUILLAUD, J-F., HERBLAND, A., NEZAN, E., 2003.** « Satellite and in situ observation of the late winter phytoplankton bloom, in the northern Bay of Biscay ». *Continental Shelf Research* 23, 1117-1141.
- IPCC, 2001.** Climate change 2001, Synthesis report, Watson R. T. and the Core Writing Team Editors, Cambridge University Press, Cambridge U.K., New-York U.S.A., 1-111.
- JONES, S.R. & JEFFS, T.M. 1991.**- « Near surface sea temperatures in coastal waters of the North Sea, English Channel and Irish Sea ». *Fisheries Research Data Report*, n°24
- JOSSI (J.W.), MARAK (R.R.) et PETERSON (H.), 1975.**- At-sea data collection and laboratory procedures.- Marmap survey I manual, Marmap Programm Office, National Marine Fisheries Service édit., Washington.
- KILHAM, P., KILHAM, S.S. 1980.**- « The evolutionary ecology of phytoplankton » In. Morris I. (ed.). *The physiological ecology of phytoplankton*. Pp. 571-597. *Blackwell Scientific Publications*. Oxford.
- KLEIN, B. ET SOURNIA, A.1987.**- « A daily study of the diatom spring bloom at Roscoff (France) in 1985. II. Phytoplankton pigment composition studied by HPLC analysis » *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 37 : 265-275.
- LAANE, R.W.P.M. 1992.**- « Background concentrations of natural compounds ». *Ministry of transport, Public Works and Water Management*, Report DGW-92.033
- LABRY, C., HERBLAND,A., DELMAS, D., LABORDE, P., LAZURE, P., FROIDEFOND, J-F., JEGOU, A-M., SAUTOUR, B., 2001.** Initiation of winter phytoplankton blooms within Gironde plume waters in the Bay of Biscay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 212, 117-130.
- LAMPERT, L. 2001.**- « Dynamique saisonnière et variabilité pigmentaire des populations phytoplanktoniques dans l'Atlantique Nord (Golfe de Gascogne) ». Thèse de troisième cycle, *Université de Bretagne Occidentale*. 328 pp.
- L'HELGUEN, S., MADEC, C. ET LE CORRE, P., 1993.**- « Nutrition azotée du phytoplankton dans les eaux brassées de la Manche Occidentale ». *Oceanologie Acta* 16, 653-660
- LORENZEN, C.J. 1966.**- « A method for the continuous measurements of *in vivo* chlorophyll concentrations ». *Deep-Sea Res.* 13: 223-227.
- LUMBY, J.R. 1935.**- « Salinity and temperature of the English Channel ». *Fishery Investigations, series II, vol. XIV, n°3*.
- LUND, J.W.G., KIPLING, C., LE CREN, E.D. 1958.**- « The inverted 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. & 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.
- MAUCHLINE J., 1998.-** The biology of calanoid copepods. *Advances in Marine Biology* 33: 1-710
- MIOSSEC L., 2002.-** Les vibrions pathogènes pour l'homme : le risque associé au milieu marin en France. *Rapport scientifique et technique Ifremer*, RST. DEL/02.02/MIC. 48 pp.
- MOTODA S., (1959).** Devices of simple plankton apparatus. *Memoirs. Faculty of Fisheries. Hokkaido University* 7, 73-94
- NICHOLS (J.H.), BENNET (D.B.) et LAWRENCE (A.), 1980.-** A study of some problems relating to quantitative sampling of lobster larvae, *Homarus gammarus* (L.) - *Cons. int. Explor. Mer*, Comité des Crustacés, L:14.
- PINGREE, R.D. & MADDOCK, L. 1977.-** « Tidal residuals in the English Channel ». *Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom*, 57, 339-354
- POULARD, J.C. & AL, SIH-C, 2007.-** « Poissons et invertébrés au large des côtes de France. Indicateurs issus des pêches scientifiques ». Bilan 2004. Ifremer, Nantes, EMH : 07-001
- QUÉRO, J.C. (coord.), 1998.** Les fruits de la mer et plantes marines des pêches françaises. Ed. Delachaux et Nestlé, 256 p.
- RAGUENEAU, O., DE BLAS VARELA, E., TREGUER, P., QUEGUINER, B., DEL AMO, Y. 1994.** « Phytoplankton dynamics in relation to the biogeochemical cycle of silicon in a coastal ecosystem of western Europe ». *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 72, 106-157.
- REES, A.P., OWENS, N.J.P., HEATH, M.R., PLUMMER, D.H., ET BELLERBY, R.S., 1995.-** « Seasonal nitrogen assimilation and carbon fixation in a fjordic sea loch ». *Journal of Plankton Research* 17, 1307-1324
- RIOU, J. 1990.-** « Modèle d'écosystèmes phytoplanctonique marin sur le littoral nord breton (Manche Occidentale) ». *Thèse de doctorat, Institut National polytechnique, Toulouse*
- ROCHET, M.J., TRENKEL, V.M., BELLAIL, R., COPPIN, F., LE PAPE, O., MAHE, J.C., MORIN, J., POULARD, J.C., SCHLAICH, I., SOUPLLET, A., Y. VERIN, Y., & BERTRAND, J.A., 2005.** Combining indicator trends to assess ongoing changes in exploited fish communities : diagnostic of communities off the coasts of France. *ICES Journal of Marine Science*, 62: 1647-1664.

- ROCHET, M.J., TRENKEL, V.M., COPPIN, F., LE PAPE, O., MORIN, J., POULARD, J.C., SCHLAICH, I., Y. VÉRIN, Y., & BERTRAND, J.A., 2003. L'état des communautés exploitées au large des côtes de France. Application d'indicateurs à l'évaluation de l'impact de la pêche. 170 p.
- SALOMON, J.C., BRETON, M. & GUEGUENIAT, P. 1993.- « Computed residual flow through the Dover Strait ». *Oceanologica Acta*, **16**, 449-455
- SHERMAN (K.) et HONEY (A.), 1971.- Size selectivity of the Gulf III and Bongo zooplankton Samplers.- *icnaf, research bulletin*, n°8 : 45-48.
- SCHERRER, B. 1984.- « Biostatistique ». *Gaëtan Morin* (ed.) Québec. 850 pp.
- SCHNACK (D.), 1974.- On the reliability of methods for quantitative surveys of fish larvae.- In : The early life history of Fish, Blaxter J.H.S. rédacteur, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York.
- SIMPSON, J.H. & HUNTER, J.R. 1974.- « Fronts in the Irish Sea ». *Nature*, **1250**, 404-406
- SMITH (E.), 1974.- Manual of methods for fisheries resource survey and appraisal.- Part 4, Standard techniques for pelagic fish eggs and larvae surveys.- National Marine Fisheries Service édit., Washington.
- STEEMANN NIELSEN, E. 1951.- « Measurement of the production of organic matter in the sea » *Nature*, 167 : 684.
- STEEMANN NIELSEN, E. 1952.- « The use of radioactive carbon (14C) for measuring organic production in the sea » *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.* 18 : 117-140.
- TAPPIN, A.D., HYDES, D.J., BURTON, J.D. & STATHAM, P.J. 1993.- « Concentrations, distributions and seasonal variability of dissolved Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Pb and Zn in the English Channel ». *Continental Shelf Research*, **13**, (8/9) 941-969.
- TAYLOR, A.H. & STEPHENS, J.A. 1983.- « Seasonal and year to year changes in the temperatures of the English Channel and the Southern North Sea, 1961-1976 : a budget ». *Oceanologica Acta*, **6**, (1) 63-72
- UGLEM I., 1993. Influence of shells and as substrate in culture compartments on survival, growth and claw asymmetry in large scale culture of lobsters, *Homarus gammarus* (L.). Proceedings of the First European Crustacean Conference, Paris, August 31 - September 5, 1992, (abstracts), P. Noël coord., éditions du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 1993 : 165 (livret des résumés).
- UTERMOHL, H. 1958.- « Zur vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt. Int. Verein. Limnol.* 9 : 1-38.
- VIOLEAU, D., DRIBAUT, P. 1997.- Centrale de Flamanville, calcul 3D d'impact thermique pour la configuration actuelle (2 tranches de 1300MW) ». Note technique EDF, Département Laboratoire National d'Hydraulique. 68 pp.
- WEAR (R.), 1974.- Incubation in british Decapod Crustacea, and the effects of temperature on the rate and success of embryonic development.- *J. mar. biol. Ass. U.K.*, **54** (3) : 745-762.
- 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<sup>er</sup> 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<sup>e</sup> Cycle de Juin 1977 à Juin 1978. (Edition provisoire : rapp. CNEXO-ELGMM, juin 1979) Rapp. Ifremer DERO-86.22-EL

- Vol. 1 : Le domaine pélagique. Fasc. 1 : Rapport, 269 p. ; Fasc. 2 : Annexes, 168 p.
- Vol. 2 : Le domaine benthique. 221 p.

**RAPPORTS DE SURVEILLANCE  
DU DOMAINE MARIN COTIER  
PRODUITS PAR L'IFREMER DEPUIS 1983**

**LEAUTE J.P. ET C. LE BEC, 1984.** - Etude de Surveillance écologique des ressources halieutiques, Site de Flamanville, Zooplanctonologie, ANNEE 1983. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, édit., Nantes, mai 1984, 182 p.

**PIRIOU J.Y. ET C. VIGIER, 1984.** – Site de Flamanville, étude complémentaire, Biomasse algales, potentielles et en dérive. Rapp. CNEXO/DERO-86.21-EL, novembre 1984, 33 p. + annexes.

**VERON G., D. MIOSSEC ET P. NOEL, 1985.** - Etude de Surveillance écologique des ressources halieutiques, Site de Flamanville, Surveillance de la pêche côtière. des crustacés, ANNEE 1983. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, édit., Nantes, janvier 1985, 151p.

**ARNAL O, T. BELSHER, C. CHEVALIER, L. DREVES, E. ERARD, P. GENTIN, F. GRESSELIN, B. GUILLAUMONT, D. HAMON, R. LOARER, M. OBATON, J.Y. PIRIOU, J.Y. QUINTIN ET P. WALKER, 1985.**- Etude de Surveillance écologique sur le site de Flamanville, ANNEE 1983. Rapp. CNEXO/COB/DELGMM, mars 1985, 124 p.

- 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.

**DREVES L., ABERNOT-LE GAC C. (COORDINATEURS), ANTAJAN E., LAMPERT L., MARTIN J., NOGUES L., SCHLAICH I., (2008)** - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, ANNEE 2007 – Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST-DOP/LER/08.02, mars 2008, 204 p.

**DREVES L., ABERNOT-LE GAC C. (COORDINATEURS), ANTAJAN E., LAMPERT L., MARTIN J., MONBET P., SCHLAICH I., (2009)** - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, ANNEE 2008 – Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST-DOP/LER/09.03, mars 2009, 200 p.

**DREVES L., ABERNOT-LE GAC C., MONBET P. (COORDINATEURS), ANTAJAN E., MARTIN J., SCHLAICH I., (2009)** - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, ANNEE 2009 – Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST-DOP/LER/10.02, mars 2010, 208 p.

**ETUDES PARTICULIERES  
DU DOMAINE MARIN COTIER**

**DREVES L. (COORDINATEUR), LAMPERT L., ABERNOT-LE GAC C., MARTIN J., ARZEL P., DUMAS F., LATROUITE D., SCHLAICH I., WOEHLING D., (2006)** – Synthèse hydrobiologique du site électronucléaire de Flamanville – Rapp. Ifremer RST-DOP/LER/06.03, mars 2006, 386 p.

**EHRHOLD A., CHEVALIER C., HAMON D., CAISEY X., GAFFET J.D., ALIX A., (2008)** – Campagnes benthiques au large de Flamanville – Etat initial des zones de clapage C3 et C4 – Rapp. Ifremer RST-DYNECO/EB/08.01, janvier 2008, 55 p. + 10 annexes

\* \* \*