

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

**Thème 4 – Ressources halieutiques, exploitation durable et valorisation**

Luc DREVES  
Chantal ABERNOT-LE GAC  
Elvire ANTAJAN  
Luis LAMPERT  
Jocelyne MARTIN  
Loïc NOGUES  
Ivan SCHLAICH

RST DOP/LER/08- 02

**Surveillance écologique et halieutique du site  
électronucléaire de Flamanville  
Année 2007**



*Diélette – Photographie Denise Guillerm*

**Rapport scientifique annuel**

1983-2007

25 années de surveillance ininterrompue

Commande EDF n° 5100-CSY-4200132742

**Mars 2008**

<b>Numéro d'identification du rapport :</b>		<b>DOP/LER/08.02</b>	<b>date de publication :</b> mars 2008
<b>Diffusion :</b> libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/>			<b>nombre de pages :</b> 204 p.
<b>Validé par :</b> Luc Drévès			<b>bibliographie :</b> oui
<b>Adresse électronique :</b> dopler@ifremer.fr			<b>illustration(s) :</b> oui
			<b>langue du rapport :</b> français
<b>Titre de l'article</b>			
<i>Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville</i> <i>Année 2007 – rapport scientifique annuel</i> <i>Ecological and fisheries monitoring of the Flamanville nuclear power plant</i> <i>2007 Annual scientific report</i>			
<b>Auteur(s) principal(aux) :</b>		<b>Organisme / Direction / Service, laboratoire</b>	
<b>Drévès</b>	<b>Luc</b>	<b>Ifremer / DOP / LER</b>	
<b>Abernot – Le Gac</b>	<b>Chantal</b>	<b>Ifremer / DOP / DCB / DYNECO – Benthos</b>	
<b>Antajan</b>	<b>Elvire</b>	<b>Ifremer / DOP / LER – BL</b>	
<b>Lampert</b>	<b>Luis</b>	<b>Ifremer / DOP / LER – N</b>	
<b>Martin</b>	<b>Jocelyne</b>	<b>Ifremer / DOP / DCN / EMH</b>	
<b>Nogues</b>	<b>Loïc</b>	<b>Ifremer / DOP / LER – N</b>	
<b>Schlaich</b>	<b>Ivan</b>	<b>Ifremer / DOP / DCMMN / HMMN – RHPEB</b>	
<b>Collaborateur(s)</b>			
<b>Berthelé</b>	<b>Olivier</b>	<b>Ifremer / DOP / DCN / EMH</b>	
<b>Bourriau</b>	<b>Paul</b>	<b>Ifremer / DOP / DCN / EMH</b>	
<b>Castagné</b>	<b>Laurent</b>	<b>Ifremer / DOP / DCN / EMH</b>	
<b>Cueff</b>	<b>François</b>	<b>Ifremer / DOP / DCB / SGCB / IMT</b>	
<b>Dejouy</b>	<b>Cathy</b>	<b>Ifremer / DOP / DCN / EMH</b>	
<b>Fiant</b>	<b>Liliane</b>	<b>Ifremer / DOP / LER – N</b>	
<b>Foucher</b>	<b>Eric</b>	<b>Ifremer / DOP / DCMMN / HMMN - RHPEB</b>	
<b>Françoise</b>	<b>Sylvaine</b>	<b>Ifremer / DOP / LER – N</b>	
<b>Gaffet</b>	<b>Jean-Dominique</b>	<b>Ifremer / DOP / DCB / DYNECO – Benthos</b>	
<b>Gohin</b>	<b>Francis</b>	<b>Ifremer / DOP / DCB / DYNECO – Pelagos</b>	
<b>Guillerm</b>	<b>Denise</b>	<b>Ifremer / DOP</b>	
<b>Justome</b>	<b>Vincent</b>	<b>Ifremer / DOP / LER – N</b>	
<b>Lamort</b>	<b>Laure</b>	<b>Ifremer / DOP / LER – N</b>	
<b>Letellier</b>	<b>Jérôme</b>	<b>Ifremer / DOP / LER – N</b>	
<b>Philippon</b>	<b>Xavier</b>	<b>Ifremer / DOP / DCB / DYNECO – Pelagos</b>	
<b>Pierre-Duplessix</b>	<b>Olivier</b>	<b>Ifremer / DOP / LER – N</b>	
<b>Quinquis</b>	<b>Jérôme</b>	<b>Ifremer / DOP / DC MMN / HMMN - RHPEB</b>	
<b>Saulquin</b>	<b>Bertrand</b>	<b>Ifremer / DOP / DCB / DYNECO – Pelagos</b>	
<b>Vérin</b>	<b>Françoise</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.)			
Commande d'exécution EDF n° 5100-CSY-4200132742 du 11 décembre 2006			
Contrat C349C65050			
<b>Organisme commanditaire :</b> nom développé, sigle, adresse <b>Electricité de France (EDF) – Production Transport – C.N.P.E. de Flamanville</b> <b>B.P. 4 – 50 340 Les Pieux</b>			

**Résumé**

*L'étude de surveillance n° 25 du site électronucléaire de Flamanville (département de la Manche) concerne l'année 2007. Sont étudiés les domaines benthique, halieutique et pélagique. L'année 2007 est la 22<sup>e</sup> année de fonctionnement de la Centrale de Flamanville.*

**Abstract**

*Monitoring n° 25 of the Flamanville nuclear power plant takes into account studies conducted between March and September 2007. Impacts on hydrology, microbiology, phytoplankton, zooplankton, fisheries, intertidal phytobenthos and zoobenthos are reported. This power plant has been in operation for twenty-two years.*

**Mots-clés**

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

**Words keys**

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

**Commentaire**

Ce document doit être cité de la manière suivante :

*Drévès L, Abernot-Le Gac C. (coordinateurs), Antajan E., Lampert L., Martin J., Nogues L., Schlaich I., 2008.- Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, année 2007 - Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST.DOP/LER/08.02, mars 2008, 204 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 2007,

- L'état d'avancement a été adressé à EDF le 21 juillet 2007 [Drévès L. (coordinateur) et al. (2007).- Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, année 2007 – Etat d'avancement des travaux – premier semestre. Rapp. Ifremer DOP/LER/07.04, juillet 2007, 42 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 à Penly le 14 mars 2008.
- 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 2007</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 2007</b>	
2.1. Climatologie _____	<b>21</b>
2.2. Température de l'eau de mer _____	<b>27</b>
<b>Partie 3 Le domaine pélagique</b>	
3.1. Méthodologie _____	<b>33</b>
3.2. Hydrologie _____	<b>33</b>
3.3. Phytoplancton _____	<b>65</b>
3.4. Zooplancton _____	<b>83</b>
3.5. Microbiologie _____	<b>101</b>
<b>Partie 4 Le domaine benthique</b>	
4.1. Phytobenthos _____	<b>118</b>
4.2. Zoobenthos _____	<b>131</b>
<b>Partie 5 Le domaine halieutique</b>	
5.1. Larves de crustacés _____	<b>151</b>
5.2. Surveillance de la pêche côtière _____	<b>163</b>
<b>Partie 6 Conclusion</b> _____	<b>189</b>
<b>Bibliographie</b> _____	<b>197</b>
<b>Liste des rapports d'études publiés depuis 1976</b> _____	<b>201</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 2007, 22<sup>e</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-DYNECO-Benthos<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 ;
- **Luis Lampert** et **Loïc Nogues**, DOP-LER-N<sup>6</sup>, 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>7</sup>, pour les larves de crustacés ;
- **Ivan Schlaich**, DOP-HMMN-RHPEB<sup>8</sup>, pour la surveillance de la pêche côtière des crustacés ;
- **Elvire Antajan**, DOP-LER-BL<sup>9</sup> pour le zooplancton.

*La publication de ce rapport 2007 nous donne l'occasion de remercier trois ingénieurs-chercheurs de l'Ifremer qui, fin 2007, ont fait (selon l'expression consacrée) valoir leurs droits à la retraite : **Daniel HALGAND**, **Daniel WOEHRLING** et **Pierre ARZEL***

*Les deux premiers cités, halieutes spécialistes (entre autres) des œufs et larves de poissons ont participé aux études pour EDF depuis 1975 sur les différents sites de Gravelines, Paluel, Penly, Flamanville, Golfe Normano Breton et Plogoff. Daniel Halgand a par ailleurs été le coordinateur des études Ifremer menées au droit du site de Penly. Daniel Woehrling a également assumé ces dernières années la responsabilité scientifique du programme IGA pour le volet halieutique.*

*Pierre Arzel, biologiste et grand spécialiste des algues à l'Ifremer, a conseillé les études menées sur les fucales, et a été l'un des co-auteurs de la synthèse produite par Ifremer en 2006 concernant Flamanville. Ethnologue maritime reconnu et passionné, Pierre Arzel est décédé le 11 janvier 2008.*

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

<sup>5</sup> Département DYNAMIQUES de l'Environnement COTIER (DYNECO), Laboratoire Benthos

<sup>6</sup> Laboratoire Environnement Ressources de Normandie (LER/N)

<sup>7</sup> Département Ecologie et Modèles pour l'Halieutique (EMH)

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

<sup>9</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 2007**

*Luc Drévès*



## 1.1. Fonctionnement de la Centrale

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

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

L'année 2007 est la vingt deuxième année de fonctionnement de la centrale de Flamanville, la vingt cinquième année consécutive des études de Surveillance menées par l'Ifremer.

Le principal arrêt de tranche observé au cours de l'année 2007 a eu lieu en tranche 2 de début février à mi avril (figure 1.1). A noter l'arrêt simultané des deux tranches en fin d'hiver début de printemps.

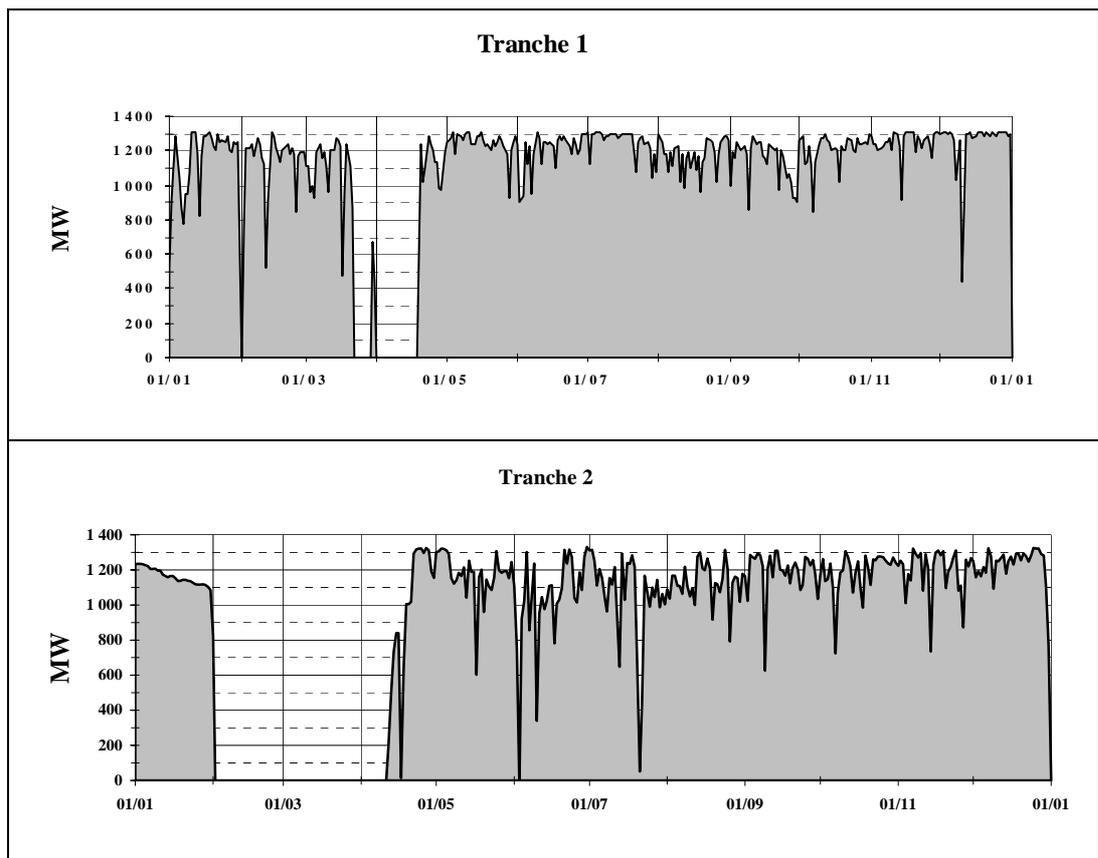


Figure 1.1 : Puissance nette moyenne des tranches 1 et 2 de Flamanville en 2007.

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.

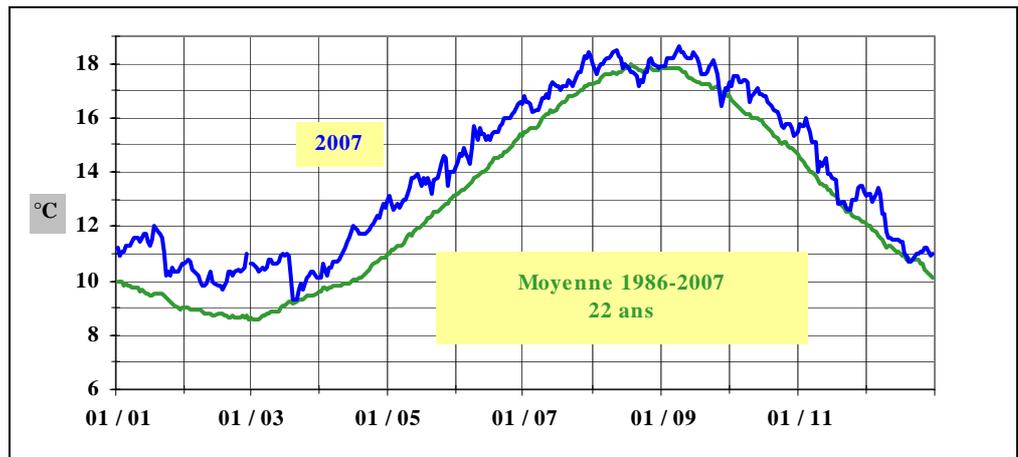


Figure 1.2 : Évolution de la *température journalière* (à 16 h) de l'eau de mer dans le canal d'amenée du C.N.P.E. de Flamanville au cours de l'année 2007, comparée à la *moyenne journalière* enregistrée depuis 1986.

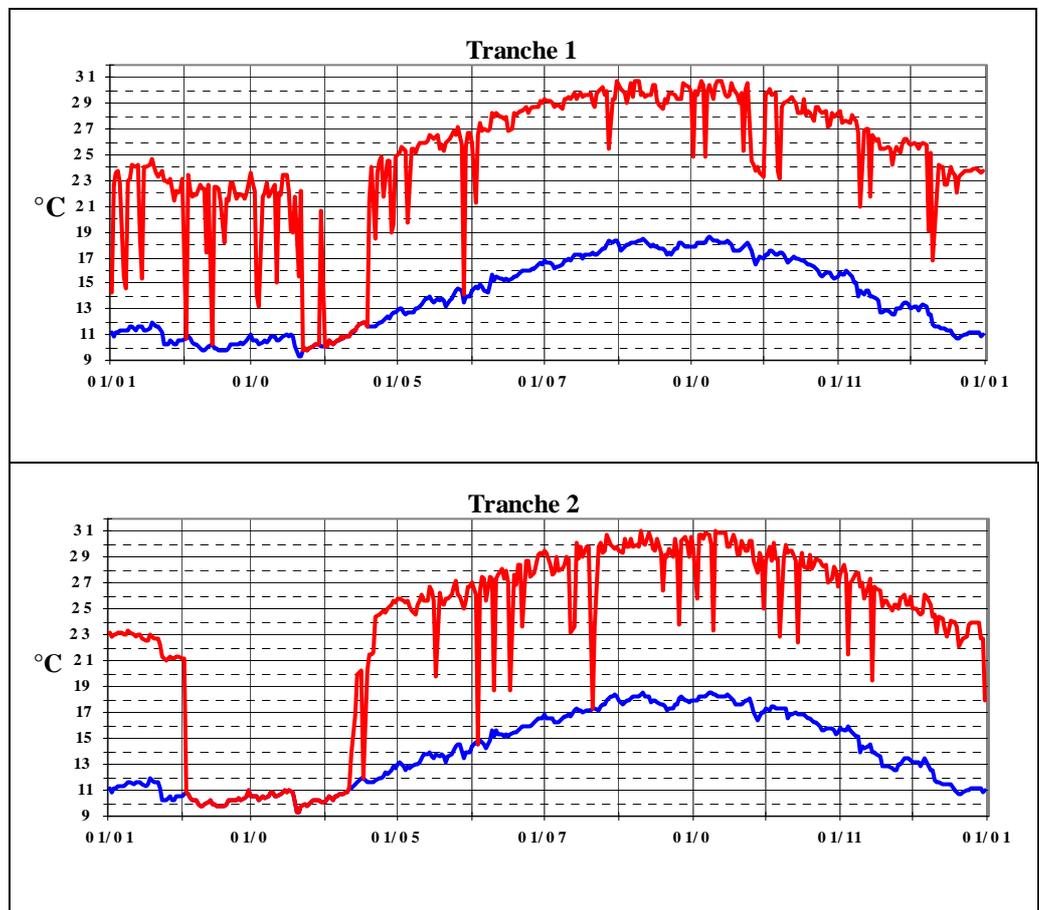


Figure 1.3 : Comparaison de la température de l'eau de mer entre le canal d'amenée et la sortie des condenseurs des tranches 1 et 2, au cours de l'année 2007.

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).

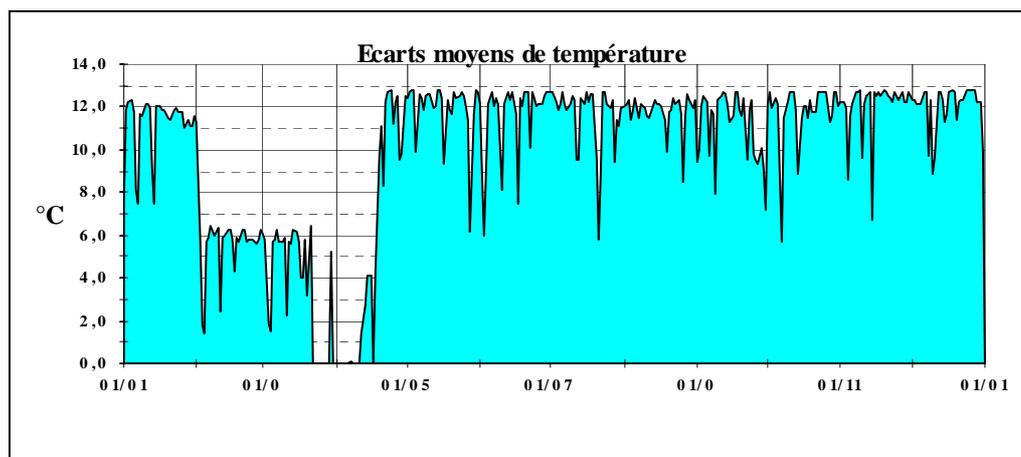


Figure 1.4 : Écarts journaliers moyens de la température de l'eau de mer entre la sortie des deux condenseurs et le canal d'aménée, au cours de l'année 2007.

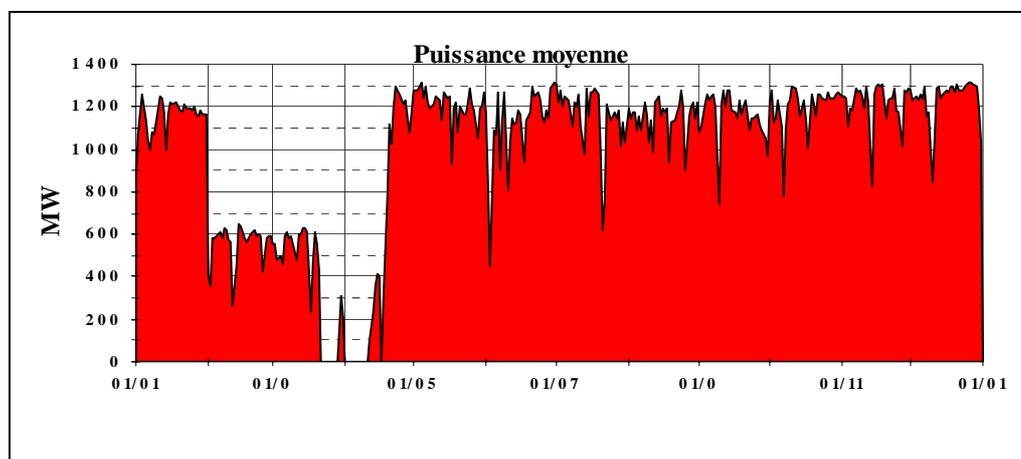


Figure 1.5 : Puissance nette moyenne du CNPE de Flamanville, au cours de l'année 2007.

La procédure antisalissure par électrochloration a fonctionné à compter du 2 avril en tranche 1, du 10 avril en tranche 2.

Comme l'indique le tableau 1.1 ci-dessous, 117 tonnes de chlore ont ainsi été injectées dans les circuits de refroidissement au cours du premier semestre 2007.

T chlore	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Total
Tranche 1	0	0	0	11,8	27,7	28,8	30,5	26,5	14,7	29,1	25,3	20,3	214,5
Tranche 2	0	0	0	0,8	29,9	18,5	23,1	28,2	26,5	28,2	27,0	25,3	207,5
Total	0	0	0	12,6	57,5	47,3	53,6	54,7	41,2	57,3	52,4	45,5	422,1
	117,5						304,6						

Tableau 1.1 : Récapitulatif du tonnage mensuel de chlore injecté dans le circuit d'eau de refroidissement du C.N.P.E. de Flamanville au cours de l'année 2007.

Le tonnage annuel moyen de chlore injecté sur la période 1987-2007 est de 372 tonnes, à savoir 463 tonnes sur la période 1987-1993, puis 326 tonnes sur la période 1994-2007. Les quantités de chlore injectées annuellement sont rappelées dans le tableau 1.2 suivant.

Année	Cumul de janvier à juin	Cumul annuel
1987	100,8	424
1988	59,1	580
1989	189,6	570
1990	104,0	805
1991	60,4	365
1992	29,5	191
1993	5,2	209
<b>Moyenne 87-93</b>		463
<i>Modification du protocole</i>		
Année	Cumul de janvier à juin	Cumul annuel
1994	80,1	243
1995	117,4	371
1996	52,7	173
1997	27,6	266
1998	138,3	428
1999	82,7	256
2000	83,7	327
2001	100,2	408
2002	74,7	308
2003	120,0	260
2004	49,1	382
2005	118,8	392
2006	114,6	329
2007	117,5	422
<b>Moyenne 94-07</b>		326

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.

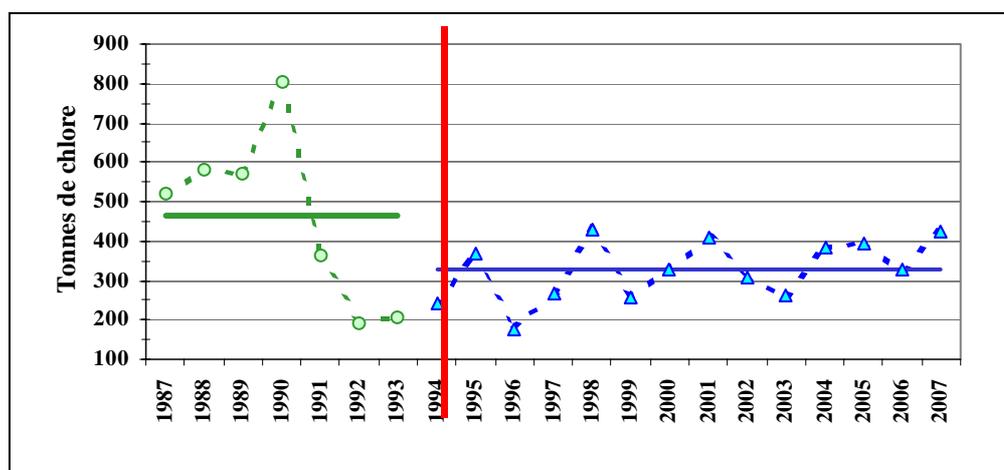


Figure 1.6 : Evolution du tonnage annuel de chlore injecté à Flamanville depuis 1987, comparé aux moyennes annuelles des périodes 1987-1993 et 1994-2007.

## 1.2. Travaux réalisés par Ifremer

Les travaux réalisés au cours de l'année 2007 ont été menés conformément à la commande d'exécution référencée 5100-CSY-4200132742. Ils sont présentés dans le tableau 1.3.

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

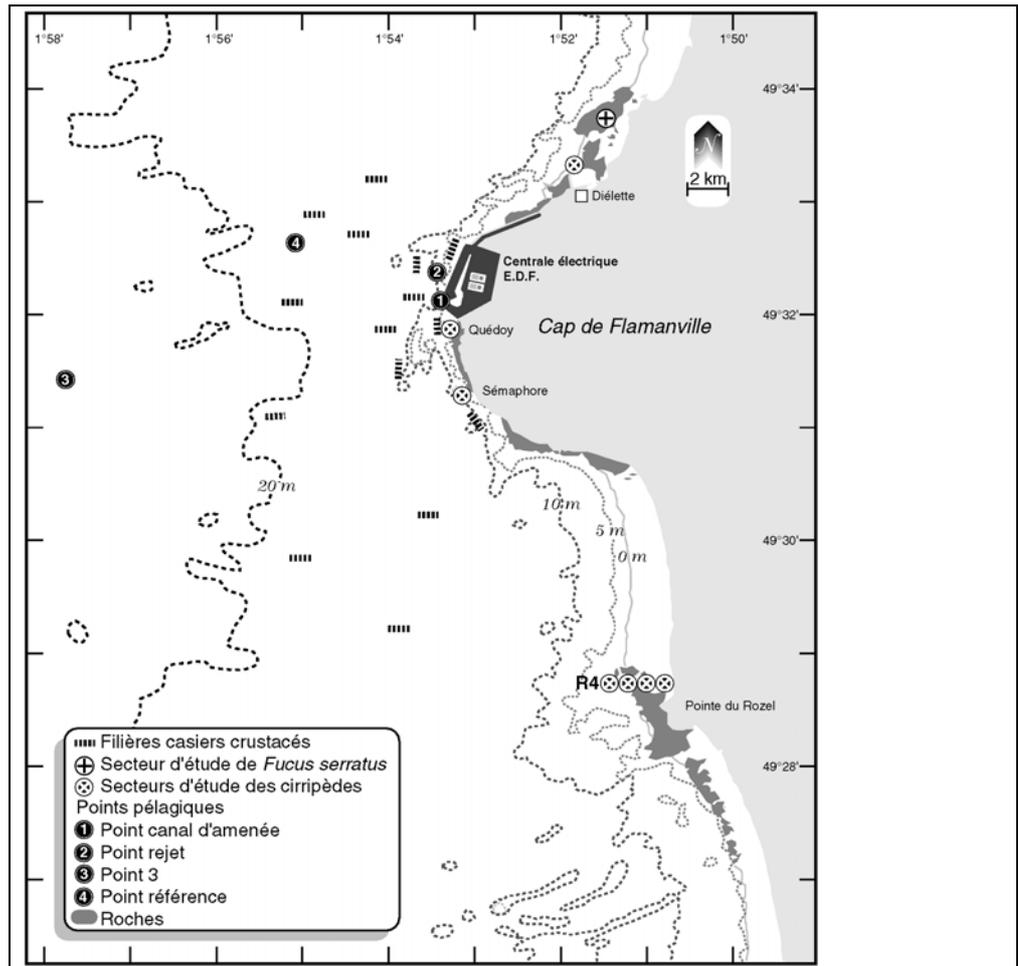


Figure 1.7 : Carte des abords de Flamanville, indiquant les points de prélèvements échantillonnés par Ifremer.

2007	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.	26/03	
		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.	04/07* 20/09
	Zooplancton	Canal d'amenée	Biomasse Composition chimique (carbone, azote) Identification des espèces	6 WP2 congelés (2 triples) 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	<i>Fucus serratus</i> - Biométrie - Longueur - Nbre de dichotomies - Fertilité - Diamètre du thalle - Biomasse.	10 pieds tous les 10 m. sur chaque radiale 10 quadrats /secteur	21/03 14/06** 28/09	
	ROZEL (points 1, 2, 3, 4) SEMAPHORE QUEDOY DIELETTE	Substrats durs intertidaux - Densité des différentes espèces de cirripèdes - Faune associée	Par point : 8 quadrats 12 comptages 4 grattages	21-22/03 15/06**	
	ROZEL(Point 2), SEMAPHORE, QUEDOY, DIELETTE	- Étude de recolonisation	Par point : quadrats (3x25)cm <sup>2</sup>	27-29/09	
DOMAINE HALIEUTIQUE	[Point 3] Référence Rejet	Densité des larves d'araignée et homard	2 Bongo 1 Neuston surface	07/06 11/07 07/08	
	Canal d'amenée N.O. Cotentin	- température - salinité Recueil d'informations sur la pêche professionnelle		24/08 07/09 21/09	
Zooplancton et Hydrologie Suivi de l'exploitation ..... et de la biologie des espèces commerciales	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	04-07/06 03-06/09	

Tableau 1.3 : Récapitulatif de l'activité réalisée par l'Ifremer au cours de l'année 2007 devant le C.N.P.E. de Flamanville.

\* La campagne, initialement programmée fin juin, a dû être reportée début juillet en raison des mauvaises conditions météorologiques sur le nord-ouest Cotentin.

\*\* Hors contrat

## 2. Caractéristiques environnementales de l'année 2007

Luc Drévès

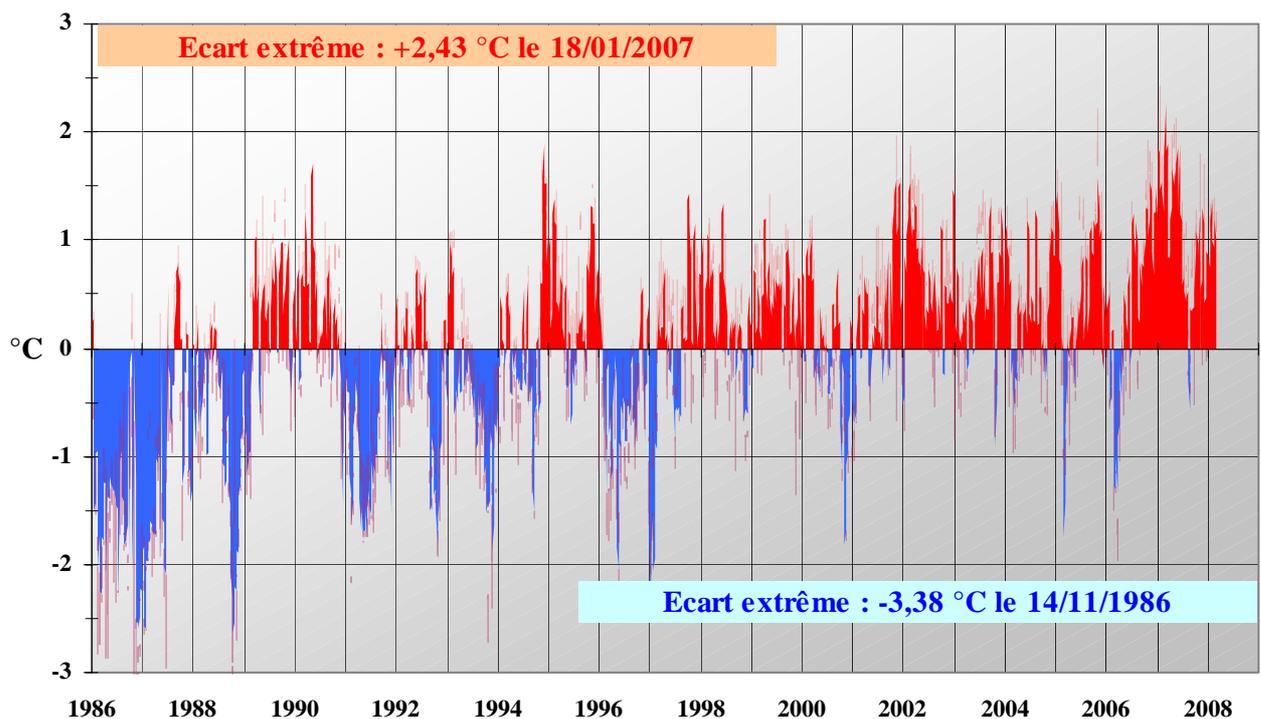


Figure 2.9.bis : Anomalies de la température de l'eau de mer à Flamanville  
Écart journalier, en °C, à la moyenne quotidienne  
(moyenne estimée sur la période janvier 1986 - février 2008).



## 2.1. Climatologie

Les données communiquées par le centre de METEO-FRANCE de Cherbourg proviennent d'enregistrements réalisés au sémaphore d'Auderville<sup>10</sup> (température de l'air et pluviométrie) depuis janvier 1949, et à la station de Valognes<sup>11</sup> (insolation) depuis janvier 1986.

Le climat dominant de la région Basse-Normandie, lié à la situation géographique de celle-ci, est de type océanique : le courant perturbé atlantique, établi en moyenne à hauteur du 50<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 inter annuelle moyenne sur le nord-ouest Cotentin (figure 2.1) est maximale d'octobre à janvier, le maximum des précipitations étant noté en novembre avec 89,6 mm de hauteur moyenne d'eau. La période la plus sèche s'étend d'avril (43,5mm) à août (44,2 mm), avec une valeur moyenne mensuelle minimale en juillet (37,6 mm). Le mois de décembre 1999 a été le plus humide avec 236 mm (le second est septembre 1976 avec 180 mm), et mars 1961 le plus sec avec 0 mm (seulement des traces).

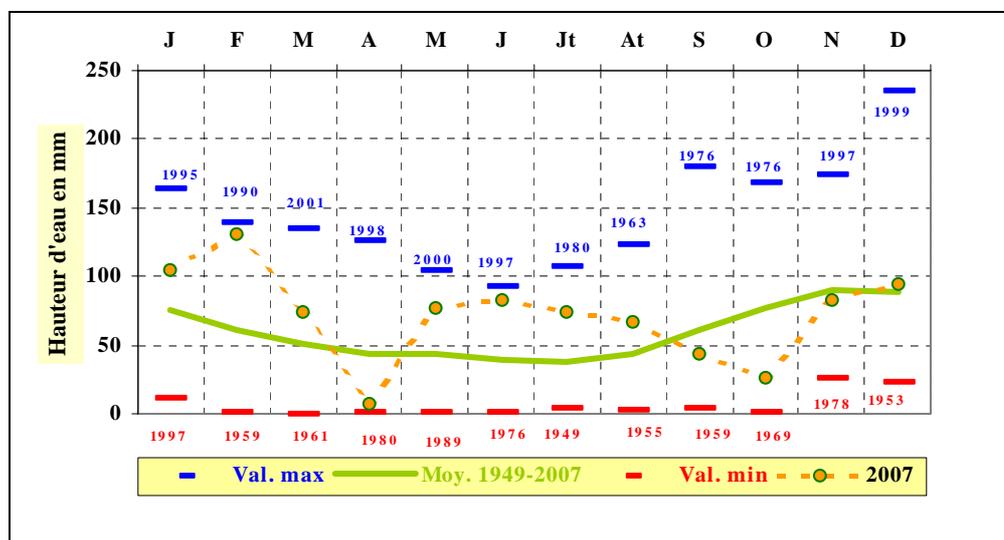


Figure 2.1 : Pluviométrie mensuelle au sémaphore de La Hague au cours de l'année 2007, comparée aux moyennes et valeurs extrêmes mensuelles obtenues depuis 1949.

Le cumul annuel moyen sur la période de 1949/2007 est de 714 mm, variant de 430 mm en 1953 à 1001 mm en 1994 (figure 2.2).

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

<sup>11</sup> Altitude : 61 m ;

Sur la période 1949/2007, l'observation des cumuls annuels par période décennale (figure 2.2) permet d'apprécier la forte pluviométrie de la décennie 1989/1998, avec un cumul moyen de 771 mm, comparée à celle notée au cours de la décennie précédente (689 mm) et, surtout, la décennie 1949/1958 (651 mm).

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

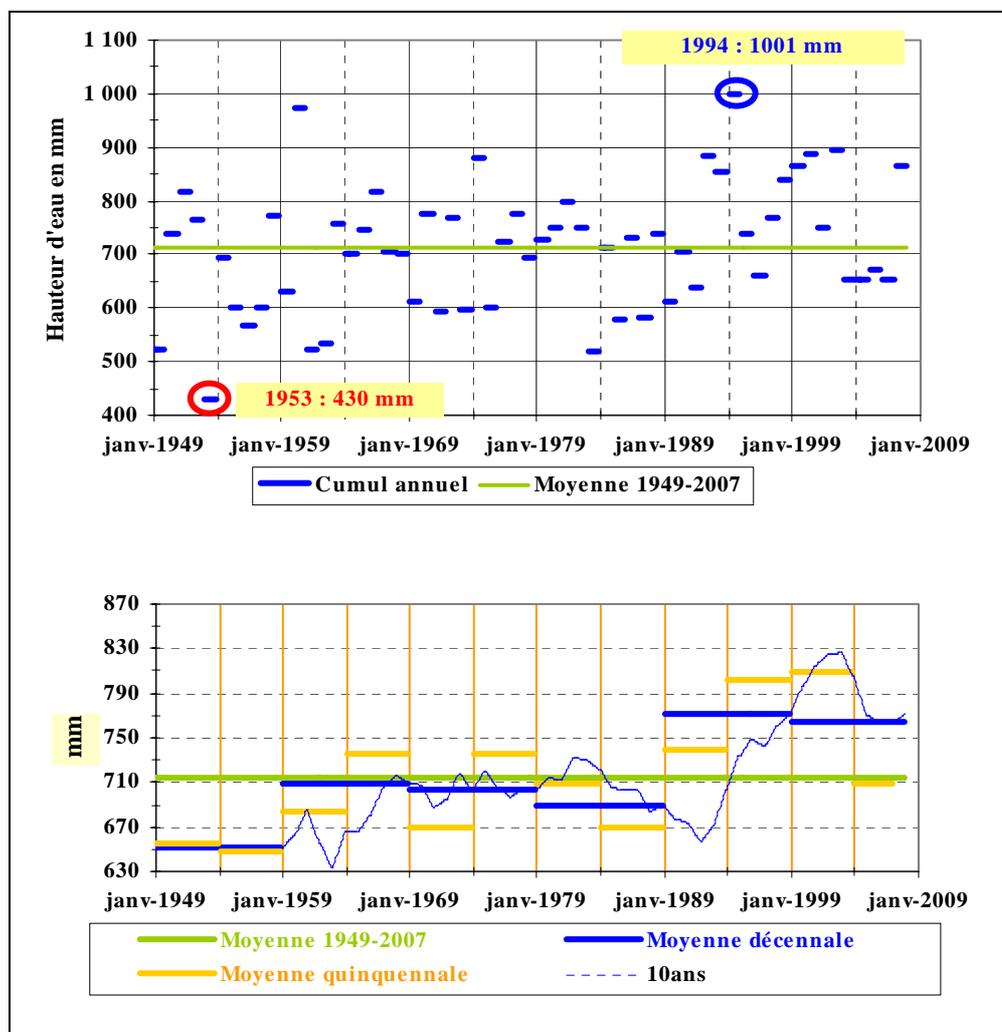


Figure 2.2 : Pluviométrie au sémaphore de La Hague de 1949 à 2007. Comparaison des cumuls annuels, quinquennaux et décennaux au cumul moyen annuel observé sur la totalité de la période.

Le bilan pluviométrique excédentaire de l'année 2007 (865 mm) met fin à quatre années déficitaires consécutives (2003, 2004, 2005 et 2006) qui succédaient à six années excédentaires (de 1997 à 2002).

### 2.1.2. Insolation

L'importance de l'insolation mensuelle moyenne (figure 2.3) est directement dépendante de la durée même du jour. Elle est de ce fait minimale en décembre (50 heures) et janvier (53 heures), maximale en juillet (212 heures). La couverture nuageuse peut perturber ce schéma. Ainsi, le mois de juin présente une durée d'insolation moyenne (201 heures) inférieure à celles enregistrées en mai (204 heures)

et juillet. Ce comportement particulier de juin, depuis 1986, s'explique par le caractère plus pluvieux de ce mois par rapport à mai et juillet.

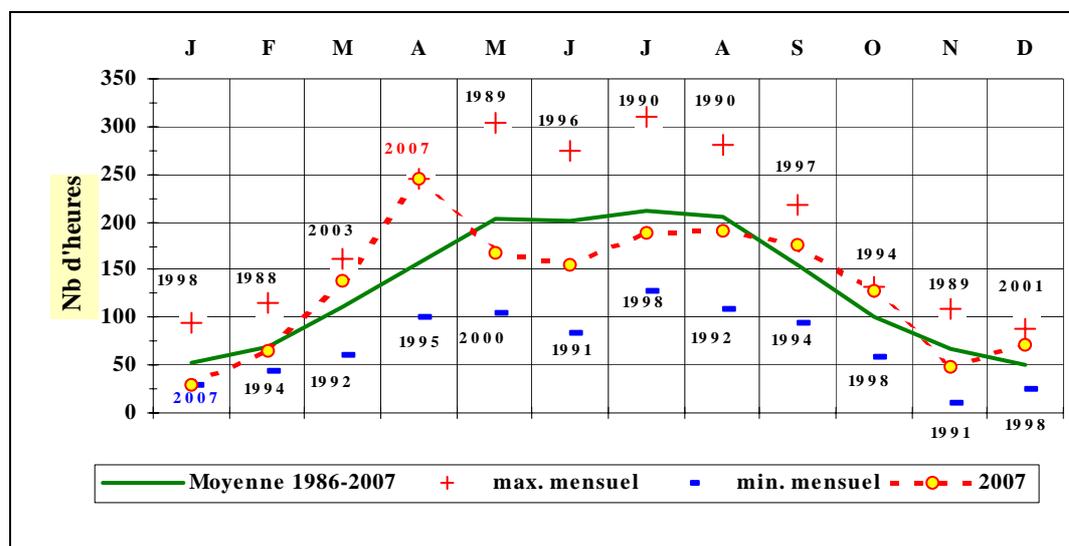


Figure 2.3 : Insolation mensuelle à Valogne au cours de l'année 2007, comparée aux moyennes et valeurs extrêmes mensuelles obtenues depuis 1986.

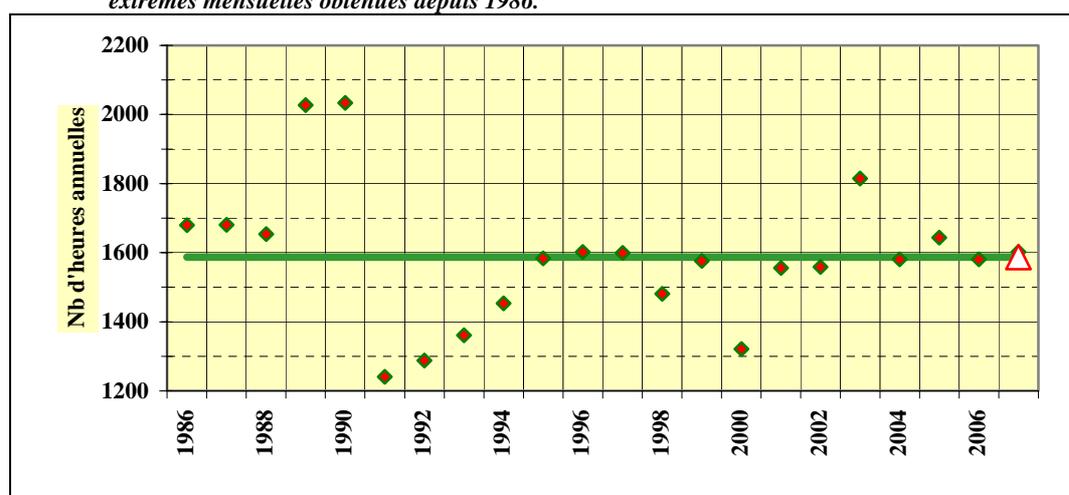


Figure 2.4 : Insolation annuelle à Valogne depuis 1986, comparée à la moyenne annuelle obtenues sur la totalité de la période.

Avec une insolation annuelle de 1602 heures, l'année 2007 est légèrement excédentaire, comparée à l'insolation annuelle moyenne des 22 dernières années (1587 heures).

### 2.1.3. Température de l'air

Au cours des 59 dernières années (1949/2007), la température moyenne mensuelle de l'air (figure 2.2) varie de 6,8 °C en février à 16,9 °C en août. Les moyennes mensuelles extrêmes ont été enregistrées en janvier 1963 (2,0 °C) et en août 1995 (18,5 °C).

Sur la période 1949/2007, la température moyenne annuelle est de 11,54 °C, avec un écart thermique moyen de 10,16 °C entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud. L'année la plus chaude est 2002 avec une température moyenne annuelle de 12,58 °C, suivie par 2007 (12,55 °C), 1999 (12,51 °C) et 1989 (12,43 °C) ; la plus froide, 1963 avec 9,99 °C, suivie par 1956 (10,58 °C) et 1986 (10,63 °C). Le plus grand écart

thermique entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud d'une même année est noté en 1987 avec 14,1 °C ; le plus faible en 2007 avec 8,2 °C.

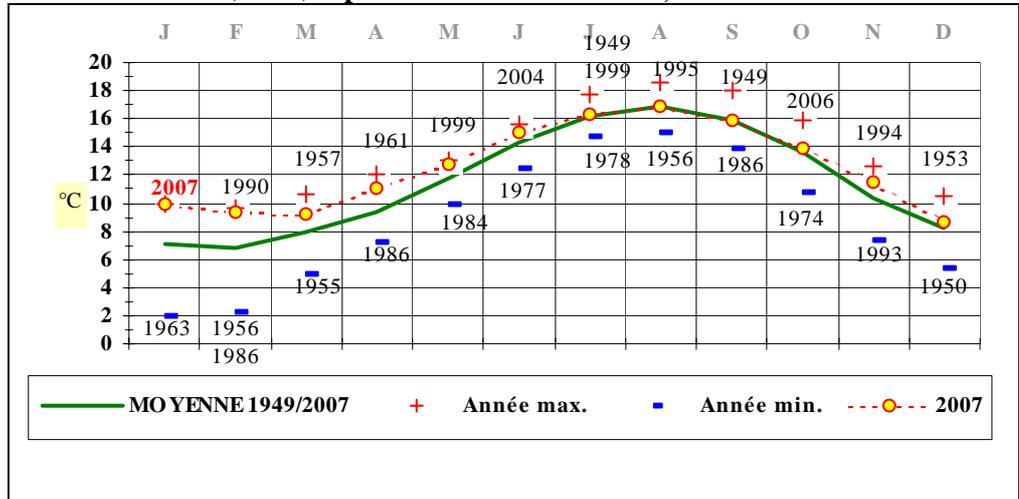


Figure 2.5 : Température mensuelle moyenne de l'air à La Hague au cours de l'année 2007, comparée aux moyennes et valeurs extrêmes mensuelles enregistrées depuis 1949.

Sur la période 1949/2007, l'observation de la température mensuelle moyenne de l'air par période décennale (figure 2.6) permet d'apprécier l'échauffement moyen de 0,72 °C entre les décennies 1979/1988 (température moyenne de 11,2 °C) et 1989/1998 (11,9 °C).

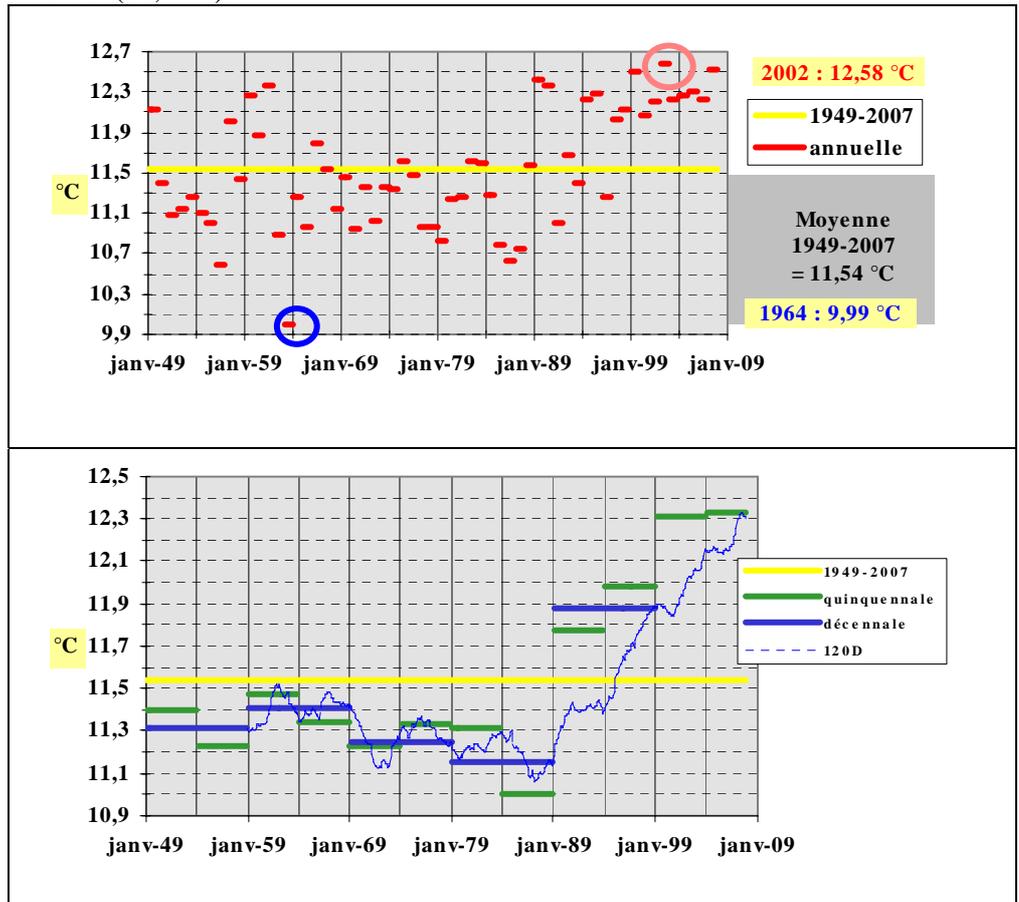


Figure 2.6 : Température de l'air au sémaphore de La Hague de 1949 à 2007. Comparaison des moyennes annuelles, quinquennales et décennales à la moyenne observée sur la totalité de la période.

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 (12,33 °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 la brutalité du phénomène à partir de la fin des années 1980.

#### 2.1.4. Caractéristiques de l'année 2007

L'année 2007 se caractérise par :

- Un cumul annuel des précipitations (865 mm) supérieur au cumul moyen enregistré depuis 1949 (711 mm), s'expliquant en partie par la pluviométrie record du premier semestre (476 mm, remplaçant le précédent record enregistré en 1995, 468 mm, à comparer au cumul moyen saisonnier (338 mm) ou minimal (239 mm en 1987).
- Une insolation annuelle moyenne (1602 heures) avoisinant la moyenne enregistrée depuis 1986 (1587 heures). A noter l'enregistrement de deux nouvelles valeurs records, minimale pour janvier (29 heures), maximale pour avril (246 heures).
- (i) Une température moyenne annuelle de l'air (12,55 °C) bien supérieure à la moyenne enregistrée sur la période 1949-2007 (11,55 °C), proche de l'optimum noté en 2003 (12,58 °C). (ii) Des moyennes mensuelles toujours supérieures aux moyennes saisonnières tout au long de l'année, à la seule exception de septembre très légèrement déficitaire. (iii) un nouvel optimum moyen pour janvier (9,93 °C, supérieur de 2,8 °C à la normale de ce mois). (iv) Des températures moyennes remarquables pour les deux derniers trimestres, record pour l'hiver (9,53 °C pour une moyenne saisonnière de 7,25 °C), proche de la moyenne saisonnière pour le troisième (malgré l'impression générale d'un « été pourri »), et à nouveau excédentaire pour le quatrième (11,33 °C). Il ressort de l'examen des 59 dernières années le constat d'un printemps généralement plus doux que l'automne. 2007 confirme cette règle, à laquelle ont fait exception les années 1954, 1977, 1978, 1979, 1986 et 2006.

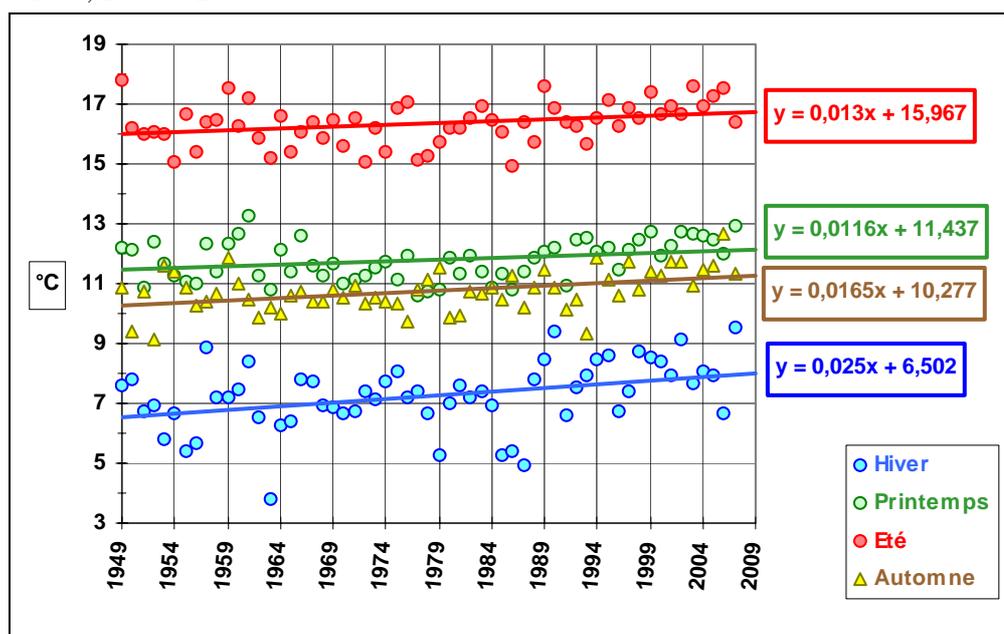


Figure 2.7 : Évolution des températures trimestrielles moyennes de l'air depuis 1949.

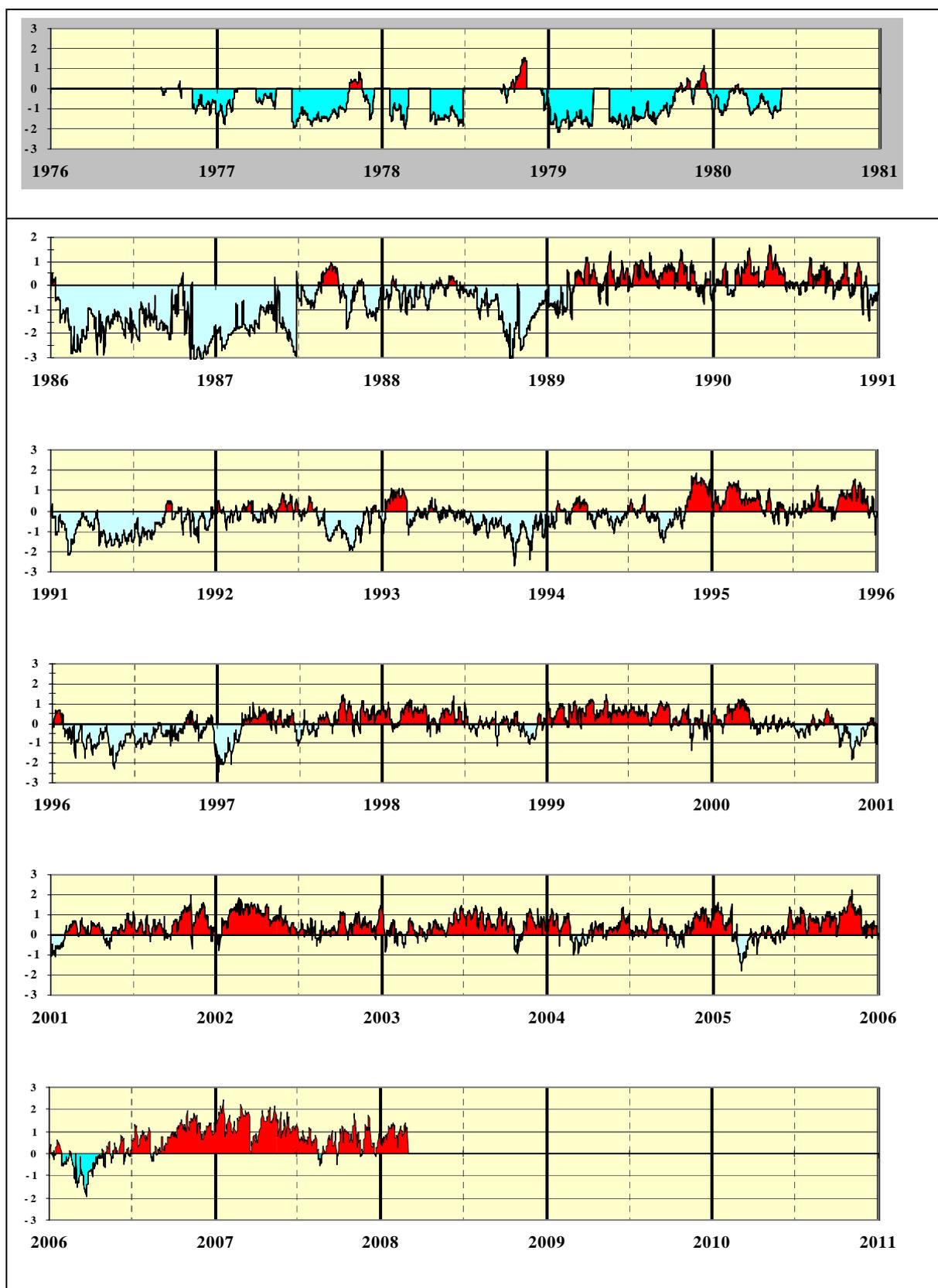


Figure 2.9 : Anomalies de la température de l'eau de mer à Flamanville – Ecart journalier, en °C, à la moyenne quotidienne (moyenne estimée sur la période janvier 1986 - février 2008).

## 2.2. Température de l'eau de mer

Depuis 1986 (soit 22 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 2007 est présenté à la figure 1.2 (page 14).

Sur l'ensemble de ces 22 années, le minimum de température mensuelle moyenne de l'eau de mer dans le canal d'amenée est noté en février (8,78 °C), les valeurs extrêmes étant enregistrées en 1986 (6,80 °C) et 2007 (10,20 °C). Le maximum mensuel moyen est observé en août (17,69 °C), oscillant entre 16,28 °C en 1986 et 18,44 °C en 2003. La température moyenne annuelle est de 12,94 °C, les extrêmes étant 11,37 °C en 1986 et 13,97 °C en 2007.

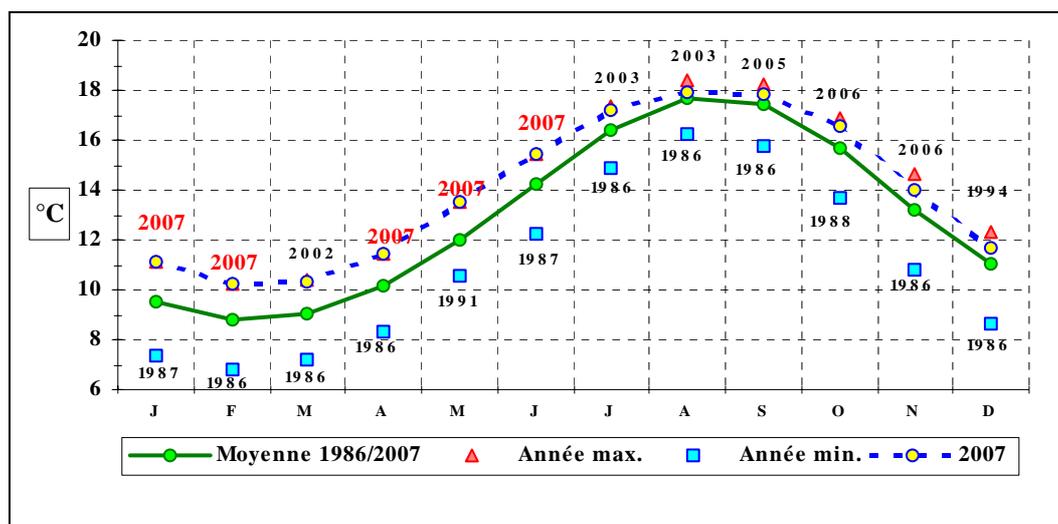


Figure 2.8 : Évolution de la température moyenne mensuelle de l'eau de mer dans le canal d'amenée du CNPE de Flamanville en 2007, comparée aux moyennes et valeurs extrêmes mensuelles enregistrées depuis 1986.

A l'instar des observations faites sur la température de l'air, l'année 2007 présente des températures moyennes mensuelles de l'eau de mer toujours supérieures aux normales saisonnières : + 1,6 °C en janvier ; + 0,2 °C en août. La température journalière a varié de 9,3 °C les 20 et 21 mars à 18,6 °C le 8 septembre.

Pour un jour donné, l'écart journalier à la moyenne quotidienne estimée au cours de ces 22 années est calculé. Les écarts oscillent entre - 3,38 °C (le 14/11/1986) et + 2,47 °C (le 18/01/2007). La représentation graphique de ces anomalies journalières permet de visualiser la dominante thermique d'une année donnée (figure 2.9), ou, par exemple, les conditions thermiques des périodes précédant les jours de prélèvements.

Ces écarts, moyennés sur l'année, permettent d'apprécier le bilan thermique excédentaire record de l'année 2007 (+ 1,01 °C.j<sup>-1</sup>) qui, (tableau 2.1).

Année	<b>2007</b>	<b>2002</b>	<b>2005</b>	<b>2003</b>	<b>1999</b>	<b>1995</b>	<b>2001</b>	<b>2004</b>	<b>2006</b>	<b>1990</b>	<b>1989</b>
Ecart en °C.j <sup>-1</sup>	<b>+1,01</b>	<b>+0,65</b>	<b>+0,49</b>	<b>+0,48</b>	<b>+0,47</b>	<b>+0,43</b>	<b>+0,38</b>	<b>+0,34</b>	<b>+0,34</b>	<b>+0,27</b>	<b>+0,25</b>
Année	<b>1998</b>	<b>1997</b>	<b>1994</b>	<b>2000</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>	<b>1996</b>	<b>1988</b>	<b>1991</b>	<b>1987</b>	<b>1986</b>
Ecart en °C.j <sup>-1</sup>	<b>+0,17</b>	<b>+0,02</b>	<b>-0,01</b>	<b>-0,03</b>	<b>-0,28</b>	<b>-0,39</b>	<b>-0,56</b>	<b>-0,68</b>	<b>-0,77</b>	<b>-0,97</b>	<b>-1,59</b>

Tableau 2.1 : Bilan thermique moyen journalier de 1986 à 2007 (les 22 années sont classées de la plus chaude à la plus froide)

La comparaison, pendant la période 1986/2007, des moyennes mensuelles des températures de l'air à la Hague et de l'eau de mer à Flamanville montrent le lien entre ces deux éléments, les variations de température de l'eau de mer suivant celles de l'air avec un léger décalage dû à l'inertie de la masse d'eau.

Au cours des 22 années, la température moyenne annuelle est de 12,95 °C pour l'eau de mer, 11,95 °C pour l'air (pour rappel, cette dernière est de 11,54 °C au cours de la période 1949-2007).

Le comparaiso 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 échauffements observés tant dans l'eau que dans l'air dans ce secteur du nord-ouest Cotentin.

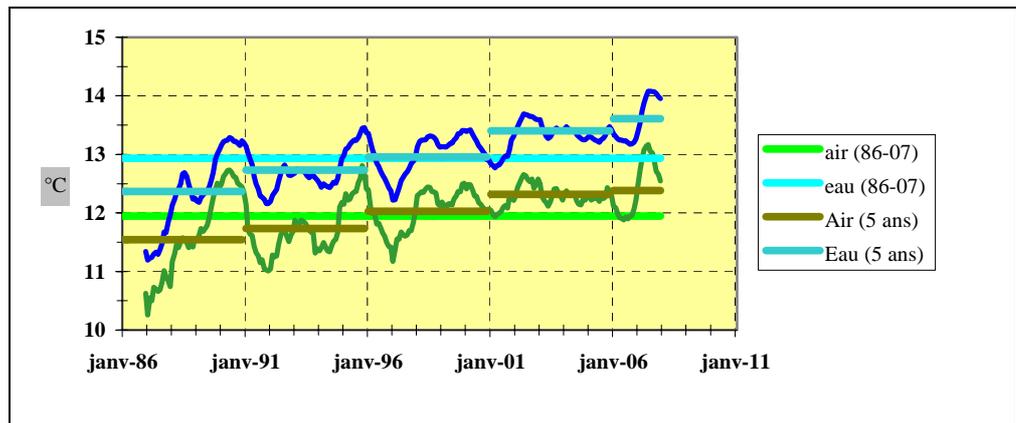


Figure 2.10 : Comparaison des « anomalies » mensuelles des températures de l'air (Cap de La Hague) et de l'eau de mer (Flamanville) au cours des 21 dernières années (1986-2007).

Une corrélation significative est établie 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).

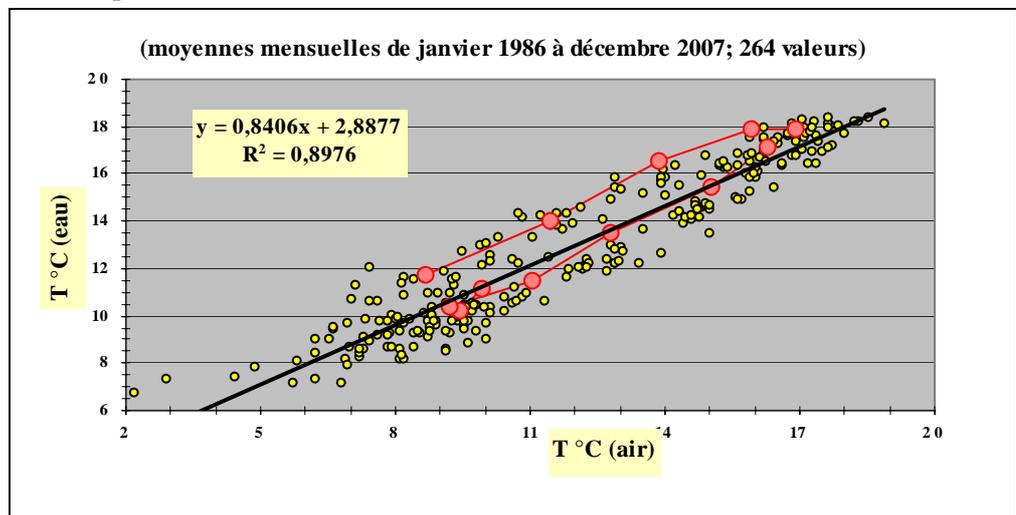


Figure 2.11 : Variation de la température moyenne mensuelle de l'eau de mer (données EDF) en fonction de celle de l'air (données Météo-France). Les données 2007 sont repérées en rouge.

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, a 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>e</sup> siècle, d'autre part en fin de fin de XX<sup>e</sup> - début du XXI<sup>e</sup>, doit 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, il est observé un échauffement de la température interannuelle moyenne d'1 degré celsius entre ces deux périodes d'une vingtaine d'années chacune.

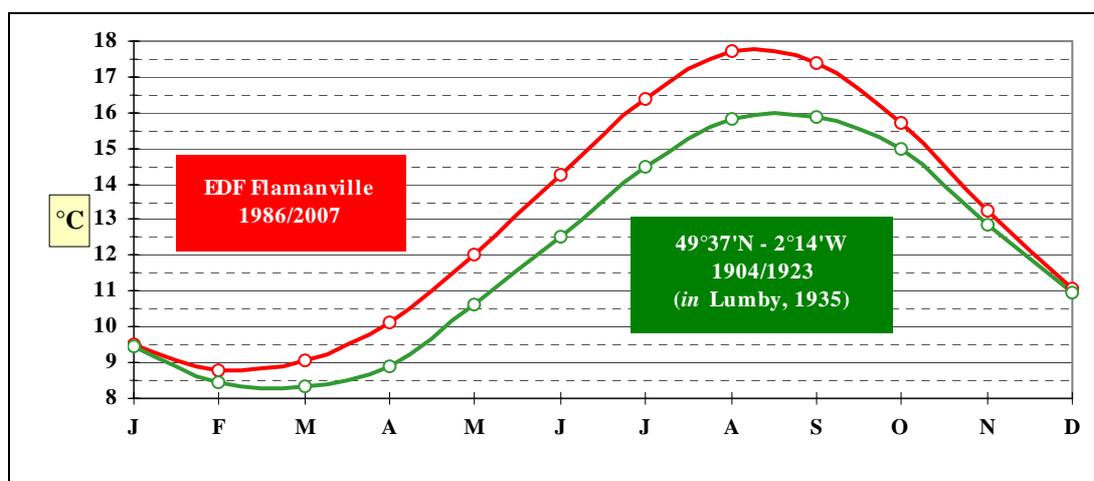


Figure 2.12 : Comparaison des températures mensuelles moyennes de l'eau de mer au droit du Cap de Flamanville, entre 1904 et 2007.

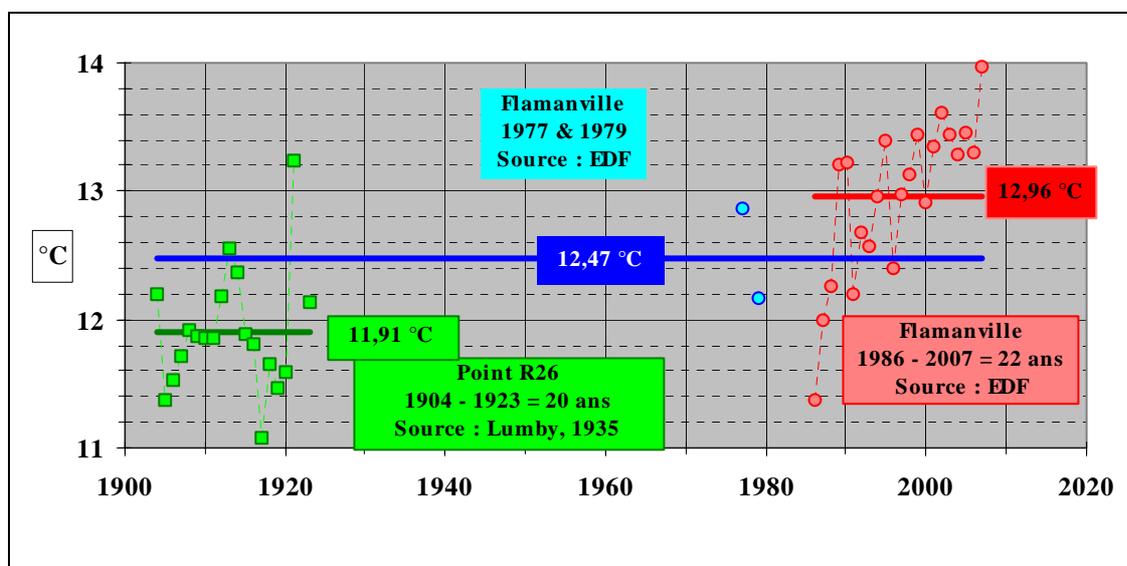


Figure 2.13 : Comparaison des températures annuelles moyennes de l'eau de mer au droit du Cap de Flamanville, entre 1904 et 2007.

Source = acquisition mesures EDF - CNPE de Flamanville ; traitement Ifremer Drèvés (2007)

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	13,21	
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	12,40	
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	13,14	
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	13,34	
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																	
24 2009																	
25 2010																	
Nb années	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22			12,93	12,96	
Nb Valeurs	682	621	682	660	682	660	682	682	660	682	660	682					
Moy. M	9,51	8,78	9,06	10,13	12,03	14,25	16,38	17,69	17,41	15,70	13,18	11,06					
Moy. J	9,51	8,78	9,06	10,13	12,03	14,25	16,38	17,69	17,41	15,70	13,18	11,06					

Tableau 2.2 : Bilan détaillé des mesures de température de l'eau de mer effectuées entre janvier 1986 et décembre 2007 par EDF dans le canal d'amenée 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.

---

### 3. Le domaine pélagique

*Etude et rapport réalisés*

*à l'Ifremer par*

<i>Elvire</i>	<i>Antajan</i>	<i>(LER / BL)</i>	<i>Zooplancton</i>
<i>Luis</i>	<i>Lampert</i>	<i>(LER / N)</i>	<i>Phytoplancton,</i>
<i>Loïc</i>	<i>Nogues</i>	<i>(LER / N)</i>	<i>Hydrologie et Microbiologie</i>

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

<i>Liliane</i>	<i>Fiant</i>	<i>(LER / N)</i>
<i>Sylvaine</i>	<i>Françoise</i>	<i>(LER / N)</i>
<i>Vincent</i>	<i>Justome</i>	<i>(LER / N)</i>
<i>Laure</i>	<i>Lamort</i>	<i>(LER / N)</i>
<i>Jerôme</i>	<i>Letellier</i>	<i>(LER / N),</i>
<i>Xavier</i>	<i>Philippon</i>	<i>(DYNECO / pelagos)</i>
<i>Olivier</i>	<i>Pierre-Duplessix</i>	<i>(LER / N)</i>
<i>Françoise</i>	<i>Vérin</i>	<i>(LER / BL)</i>

*Traitement des images satellites par*

<i>Bertrand</i>	<i>Saulquin</i>	<i>(DYNECO / pelagos)</i>
<i>Francis</i>	<i>Gohin</i>	<i>(DYNECO / pelagos)</i>

*et des*

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

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

*Université de Caen, Pascal Claquin (mesures au PAM)*



### 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 2007 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 2007 se sont déroulées les 26 mars, 4 juillet et 20 septembre, en période de mortes eaux à bord du *N/O THALIA* (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 effectués en surface. Au point *référence*, les échantillons sont prélevés en surface et à mi-profondeur.

##### 3.2.1.2. Paramètres mesurés et précisions

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

	Temp. (°C)	Salinité	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μM)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (μM)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μM)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (μM)	Si(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup> (μM)	MES (mg/L)
<b>PRECISION</b>	<b>± 0,01</b>	<b>± 0,01</b>	<b>± 0,1</b>	<b>± 0,01</b>	<b>± 0,05</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 660 QS. De plus, le thermosalinomètre SeaBird SBE 21, installé sur le circuit d'eau de mer du *N/O THALIA*, a été utilisé lors des campagnes d'échantillonnage. Il permet notamment d'enregistrer toutes les variations de température et de salinité pendant le transit et lors de l'échantillonnage. La fréquence d'acquisition des valeurs est de 6 secondes et l'immersion de la prise d'eau de mer est située à 2,5 m en dessous du niveau de flottaison. La conversion des données hexadécimales en valeurs physiques est assurée par la chaîne informatique de traitement de SeaBird avec les coefficients du dernier étalonnage (SHOM). La cartographie est réalisée par le programme Ocean Data View, développé par l'université de Bremerhaven pour le compte de la communauté océanographique internationale (Schlitzer, 2004). La précision des capteurs est de 0,01 °C pour la température et de 0,001 S/m pour la conductivité.

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 2007, avec leur variabilité saisonnière et spatiale. Les histogrammes et les boîtes à moustaches présentent l'ensemble des données acquises depuis 1987. L'utilisation de la médiane dans les boîtes à moustaches, permet de minimiser l'influence des valeurs extrêmes par rapport à la moyenne.

Les résultats 2007 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 1987-2007. Cette étude permet de comparer les données observées aux points *référence*, *rejet* et *canal* afin d'établir s'il existe ou non des différences significatives sur l'ensemble des données par point à long terme. Avant de choisir et d'effectuer des tests statistiques appropriés, il est essentiel de vérifier la normalité des distributions des données. Cette vérification a été réalisée grâce aux coefficients d'asymétrie et d'aplatissement standardisés. Lorsque la distribution s'avère normale, nous avons utilisé le test de Student pour les échantillons appariés afin de comparer les données. Dans le cas contraire (distribution non normale), la comparaison des données a été réalisée par le test des signes.

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

## 3.2.2. Résultats des mesures de la surveillance hydrologique pour l'année 2007

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de mesure pour l'année 2007 sur le site de Flamanville sont présentés dans le tableau 3.2.

(Valeurs moyennes $\pm$ écart type)	CANAL D'AMENEE	REJET	REFERENCE		
			SURFACE	-10 m	
<b>26 MARS</b>	Température (°C)	10,02	10,09	10,06	10,04
	Salinité	35,07	35,12	35,12	35,11
	Nitrate ( $\mu$ M)	8,8	8,8	8,7	8,9
	Nitrite ( $\mu$ M)	0,22	0,22	0,22	0,22
	Ammonium ( $\mu$ M)	0,23	0,12	0,24	0,17
	Phosphate ( $\mu$ M)	0,39	0,40	0,40	0,39
	Silicate ( $\mu$ M)	2,96	3,06	3,26	3,22
	MES (mg/L)	30,2	29,2	8,4	11,5
	Bore (mg/L)	4,96	4,98	4,89	4,86
	Bromoforme ( $\mu$ g/L)	< 1	< 1	< 1	< 1
<b>4 JUILLET</b>	Température (°C)	16,11	17,55	15,33	15,33
	Salinité	34,92	35,03	35,00	35,00
	Nitrate ( $\mu$ M)	0,2	0,1	0,5	0,5
	Nitrite ( $\mu$ M)	0,02	0,02	0,06	0,06
	Ammonium ( $\mu$ M)	0,15	0,03	0,14	0,14
	Phosphate ( $\mu$ M)	0,08	0,04	0,06	0,05
	Silicate ( $\mu$ M)	1,63	1,35	2,18	1,47
	MES (mg/L)	5,7	4,4	3,7	4,1
	Bore (mg/L)	4,90	5,60	5,50	6,30
	Bromoforme ( $\mu$ g/L)	< 1	< 1	< 1	< 1
<b>20 SEPTEMBRE</b>	Température (°C)	17,58	20,02	17,33	17,35
	Salinité	34,96	34,93	35,03	34,99
	Nitrate ( $\mu$ M)	2,6	2,8	2,8	2,8
	Nitrite ( $\mu$ M)	0,25	0,27	0,27	0,27
	Ammonium ( $\mu$ M)	0,30	0,27	0,16	0,15
	Phosphate ( $\mu$ M)	0,23	0,25	0,23	-
	Silicate ( $\mu$ M)	3,46	3,99	3,32	3,46
	MES (mg/L)	5,6	8,3	5,2	6,1
	Bore (mg/L)	4,90	5,20	5,40	5,00
	Bromoforme ( $\mu$ g/L)	< 1	< 1	< 1	< 1

Tableau 3.2 : Récapitulatif des résultats de surveillance pour l'année 2007

### 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 2007, la température de l'eau de mer a varié de 10,02 à 17,58 °C au point *canal*, de 10,09 à 20,02 °C au point *rejet* et de 10,06 à 17,33 °C au point *référence* (figure 3.1). Les plus fortes températures sont enregistrées au niveau du *rejet* à l'exception de la campagne du mois de mars. L'arrêt des deux tranches de production lors de l'échantillonnage, s'est traduit par une forte homogénéité des températures sur l'ensemble des points. Les écarts de température mesurés au point *référence* entre la surface et la mi-profondeur restent inférieurs à 0,02 °C, confirmant ainsi la faible stratification des eaux dans cette zone qui reste fortement brassée.

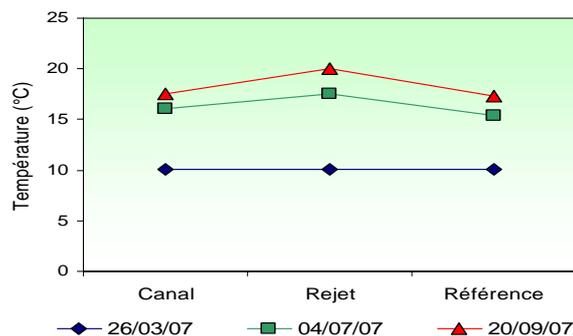


Figure 3.1 : Température de l'eau de mer en surface lors des trois campagnes de 2007

L'écart de température entre le printemps et l'automne a été en moyenne de 7,5 °C sur les points *canal* et *référence*. Les températures relativement douces, enregistrées en mars 2007, sont à l'origine d'un écart thermique plus faible qu'en 2005 et 2006 (environ 10 °C) et sont proches de celles observées en 1999 et 2003.

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.

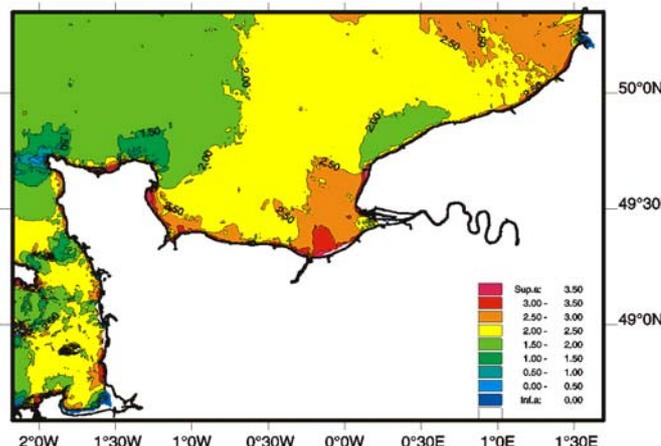


Figure 3.2 : Évolution spatiale du paramètre de stratification ( $H/u^3$ ) en Manche réalisée à l'aide d'un modèle hydrodynamique 2D (IFREMER DEL/AO-LERN)

## 3.2.2.1.2 Variations inter-annuelles

Les figures 3.3 et 3.3.bis retracent, depuis 1986, l'évolution des températures enregistrées au cours des trois campagnes annuelles sur chacun des points de suivi. Elles permettent d'apprécier la situation de deux années consécutives, par exemple 2006 et 2007, la dernière citée présentant des températures nettement supérieures au cours des deux premières périodes (fin d'hiver et début d'été).

Les températures à la côte (point *canal*) et au large (point *référence*) sont légèrement supérieures aux températures décrites dans les études de projet ou de surveillance, réalisées entre 1976 et 1985. Il en est de même des rapports d'Agoumi *et al.* (1983), Taylor et Stephens (1983), Bentley et Maillard-Quisthoudt (1990) et Jones et Jeffs (1991), qui indiquent des températures de plus faible amplitude en été dans ce secteur de la Manche.

A l'exception de 1988, toutes les campagnes automnales ont été réalisées en septembre. Les températures relevées depuis 1999 sont toutes, sans exception, égales ou supérieures à la moyenne saisonnière.

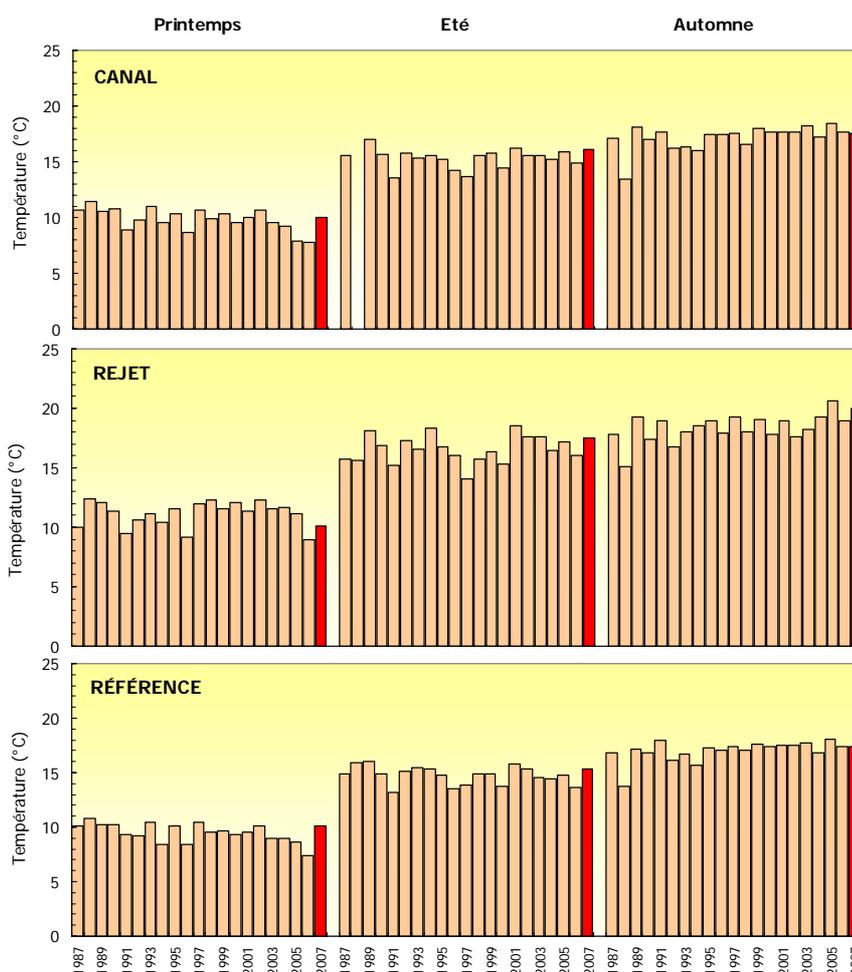


Figure 3.3 : Température de l'eau en surface sur la période 1987-2007. (2007 est en rouge).

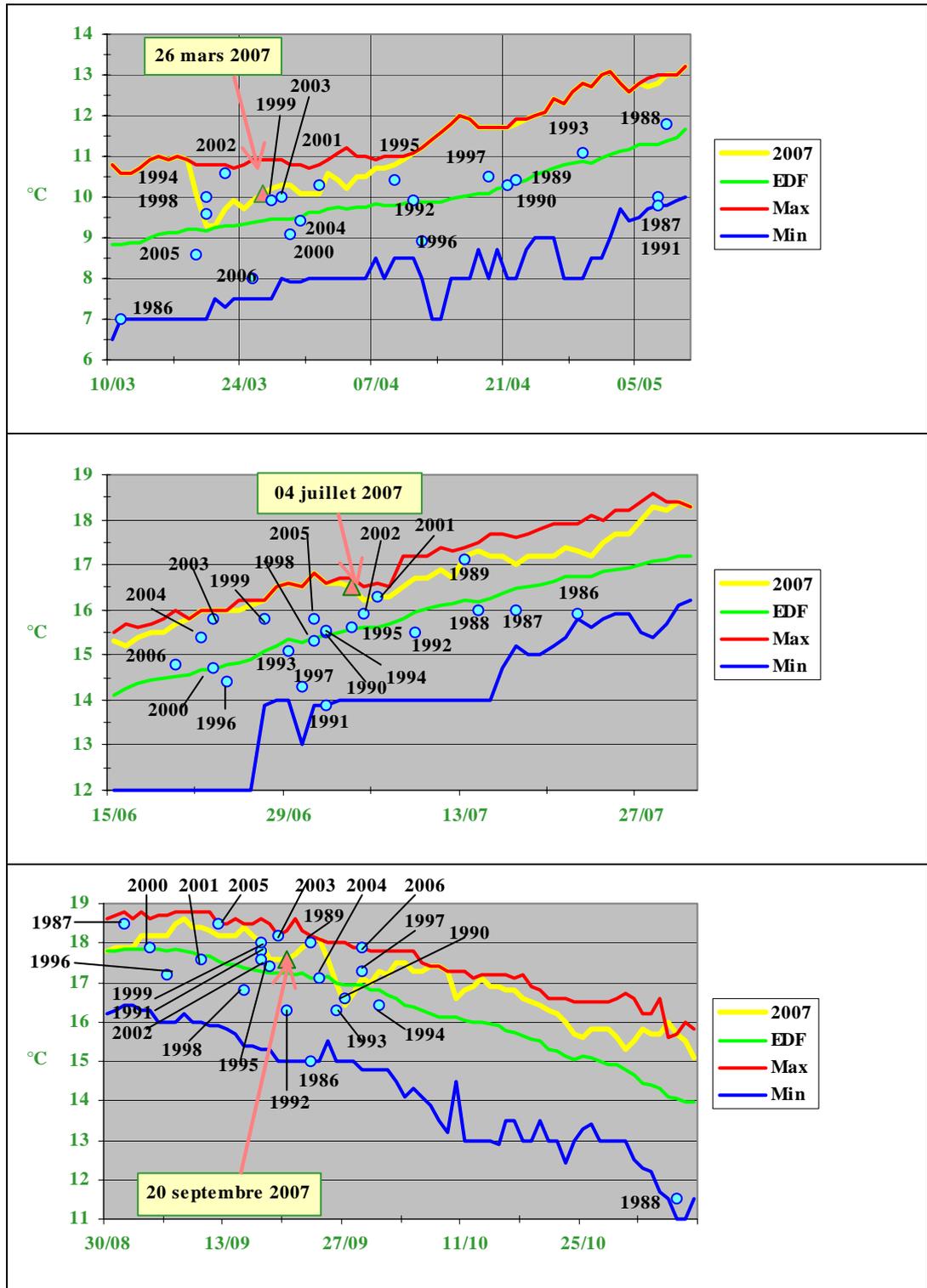


Figure 3.3.bis : Température de l'eau en surface au canal d'aménée sur la période 1986-2007. Pour chaque année, positionnement calendaire des 3 campagnes réalisées à partir du NO/Thalia. La température de l'eau de mer relevée le jour de la campagne est comparée à la moyenne, au maximum, au minimum obtenus au cours des 22 dernières années.

La comparaison des distributions de températures observées depuis plus de 20 ans, par saison et par point (figure 3.4), conduit au constat d'une valeur médiane sur le point *rejet* toujours supérieure à celles des points *référence* et *canal*, démontrant ainsi

l'échantillonnage quasi systématique du rejet d'une tranche en fonctionnement. Elle permet également le constat d'une valeur médiane légèrement supérieure au point *canal* (point côtier) par rapport au point *référence* (point du large).

L'arrêt complet des deux tranches le 26 mars 2007 conduit à l'enregistrement de températures identiques aux trois points (de 10,02 °C à 10,09 °C), confirmant une certaine homogénéité thermique des eaux marines dans ce secteur.

Les températures enregistrées durant les campagnes d'été et d'automne 2007, ont toutes été supérieures ou égales aux médianes pluriannuelles.

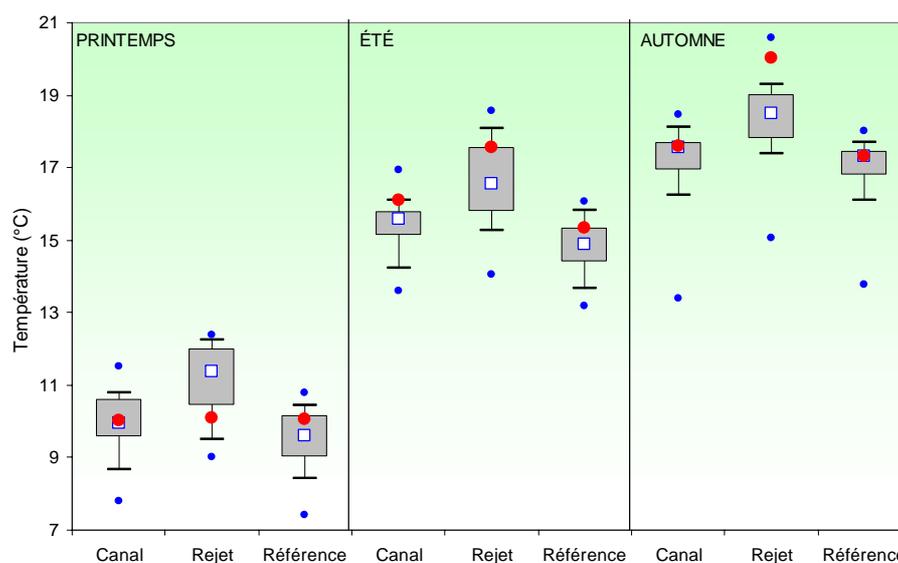


Figure 3.4 : Comparaison des distributions de la température par campagne et par point depuis 1987. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50% des valeurs (▭) ; les moustaches, 80% des valeurs (┌┐). Les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (•). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2007 (●)

Comme le montrent les figures 2.10 et 2.11 (cf. chapitre 2, page 28), une corrélation significative existe entre la température de l'air et celle de l'eau de mer. Les mesures faites en 2007 confirment cette observation.

### 3.2.2.1.3 Température au *rejet* et taux de dilution

Les différences de température enregistrées en 2007, entre les points *rejet* et *canal*, puis *rejet* et *référence*, ont été respectivement de 1,44 °C et 2,22 °C début juillet, 2,44 °C et 2,69 °C fin septembre. La distribution de ces écarts de température mesurés depuis 1987, entre les points *rejet* et *référence* est présentée sur la figure 3.5. Ces écarts varient de 1 à 3 °C quelles que soient les saisons.

En 2007, cet écart, nul en mars (arrêt de la centrale) et juste au dessus de la médiane pluriannuelle en juillet, a presque atteint les maxima en septembre.

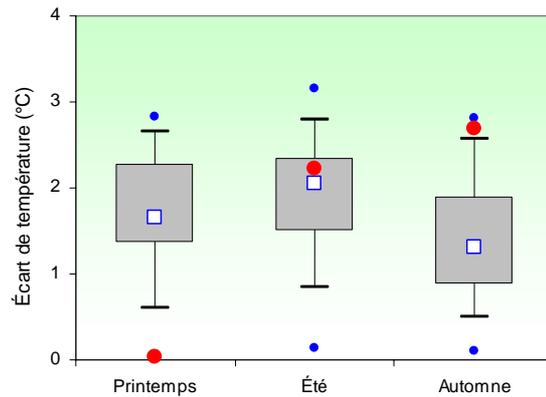


Figure 3.5 : Distribution par campagne des différences de température entre les points rejet et référence depuis 1987

Les variations de température enregistrées au point *rejet* lors de l'échantillonnage restent très localisées géographiquement (figure 3.6). Celles-ci ont été enregistrées par le thermosalinomètre lors de la campagne d'échantillonnage de septembre.

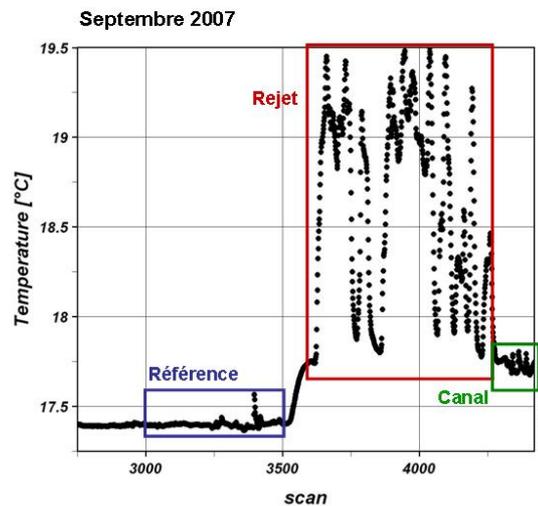


Figure 3.6 : Évolution de la température de l'eau de mer obtenue par le thermosalinomètre lors de la campagne d'échantillonnage de septembre 2007

La figure 3.6 montre clairement l'influence thermique de la centrale dans les eaux proches du point *rejet*. La température mesurée au point *rejet* dépend en grande partie de la proportion d'eau chauffée. Cette proportion peut être 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 2007	T° Ifremer	Canal EDF	T° Sortie T1	condenseur T2	T° Rejet	SC-canal	Rejet-canal	$\pi$	Taux Dilution (%)
26 mars	10,02	10,1	10,1	10,1	10,09	0,08	0,07	0,875	12,5
4 juillet	16,11	16,5	29,1	27,7	17,55	12,99	1,44	0,111	88,9
20 septembre	17,58	17,6	29,1	29,2	20,02	11,52	2,44	0,212	78,8

Tableau 3.3 : Echauffements de l'eau de mer calculés à Flamanville en 2007, et taux de dilution

Le taux mentionné en mars dans ce tableau est non significatif, du fait même de l'arrêt complet de la Centrale à cette période.

Le taux de dilution théorique moyen observé depuis 20 ans sur les trois points, avoisine 90 %.

#### 3.2.2.1.4 Approche statistique

Le tableau 3.4 présente les résultats des tests statistiques réalisés sur les données de température enregistrées depuis 1987. L'étude statistique confirme que la température de l'eau de mer au point *rejet* a toujours été significativement différente (au seuil de probabilité 5 %) de celles des points *canal* et *référence* entre 1987 et 2007. Ce résultat significatif confirme l'existence de l'influence thermique de l'activité de la centrale sur le point *rejet*.

Comparaison	Printemps	Été	Automne
Canal / Rejet	0	0	0
Référence / Rejet	0	0	0
Canal / Référence	0,004	0	0,008

( $p\text{-value} < 0,05$  = 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

De plus ces résultats montrent également que les températures au point *canal* sont significativement différentes de celles du point *référence*. Deux hypothèses peuvent alors être avancées pour expliquer cette différence. Premièrement, lors du réchauffement de la colonne d'eau, il s'établit en général un gradient côte large. Or c'est en automne, lorsque la température de l'eau est la plus élevée et que le gradient devrait être le plus marqué, qu'il n'existe qu'une différence faiblement significative entre le point *canal* à la côte et le point *référence* au large.

La seconde hypothèse susceptible d'expliquer la différence de température pourrait être liée aux courants marins.

En effet, en raison de leur caractère alternatif, ils peuvent ramener de l'eau réchauffée devant la centrale. Les travaux de Malherbe et Manoha (1977) ont montré que ce phénomène pouvait conduire à une élévation de la température d'environ 1 °C devant la centrale. Les vents de secteur nord peuvent aussi avoir une influence dans l'advection des masses d'eau réchauffées sur le canal d'amenée.

En 2007, comme en 2002 et 2003, l'arrêt total de la centrale en mars, a permis de lever le doute sur ces deux hypothèses. L'absence de différence significative de température entre les trois points d'échantillonnage en mars 2007 et les faibles écarts constatés en septembre 2003 suggèrent que les températures observées aux points *canal* et *référence* sont attribuables pour partie aux eaux réchauffées du *rejet*. Les rejets de la centrale de Flamanville se situent à une distance de 200 à 300 mètres des digues du canal d'amenée et sont distants l'un de l'autre d'une centaine de mètres. Violeau et Dribault (1997) ont modélisé le panache thermique de Flamanville à l'aide du modèle TELEMAC-3D pour une morte-eau moyenne et une vive-eau moyenne. Les résultats de cette modélisation confirment, à pleine mer, l'élévation de température sur le canal d'amené par le panache du rejet. Les résultats montrent que l'impact thermique dépend fortement des courants de marée. Selon le flot ou le jusant, le panache thermique s'affine et s'allonge davantage vers le sud que vers le nord. Toutefois, quelle que soit la marée, les résultats issus de la modélisation montrent que l'impact thermique lié au rejet d'eau échauffée par la centrale reste très localisé et confirment les résultats issus des mesures lors des campagnes de surveillance.

### 3.2.2.2. Salinité

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

Les salinités mesurées en 2007 (figure 3.7) ont très peu varié au cours de l'année. Elles sont restées comprises entre 34,92 et 35,12. Les valeurs les plus élevées ont toutes été enregistrées en mars.

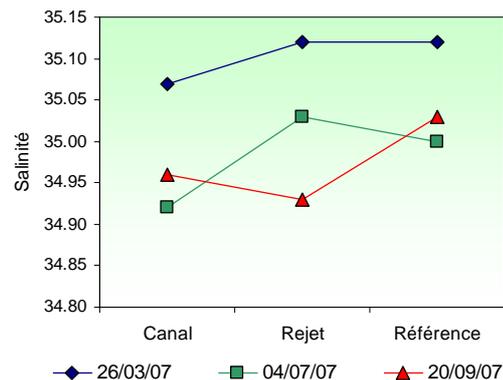


Figure 3.7 : Salinité de l'eau de surface lors des campagnes 2007

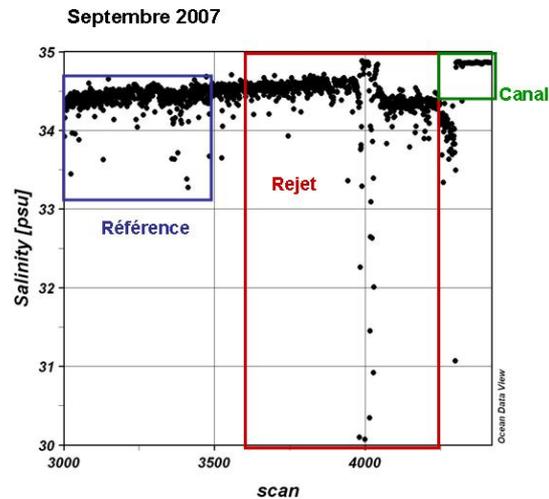


Figure 3.8 : Évolution de la salinité de l'eau de mer enregistrée par le thermosalinomètre lors des campagnes d'échantillonnage de septembre 2007.

Les mesures de la salinité présentent une grande stabilité de valeurs tout au long de l'année. Les mesures sont effectuées avec une sonde multiparamètres de marque YSI en parallèle des enregistrements du thermosalinomètre Sea Bird. Ce dernier appareil permet d'enregistrer de très rapides variations de salinité autour du point *rejet*, dues aux interactions induites par les turbulences sur la sonde (figure 3.8). Ces variations restent cependant très limitées géographiquement autour des bouches de rejets.

#### 3.2.2.2.2 Variations inter-annuelles

La figure 3.9 présente l'ensemble des valeurs de salinité enregistrées sur la période 1987-2007. Les salinités mesurées en mars 2007 ont été légèrement plus élevées qu'en 2006. Rappelons que les précipitations tombées avant et pendant la campagne printanière 2006 (18 mm) avaient provoqué une légère dessalure que l'on ne retrouve pas cette année, compte tenu des faibles précipitations tombées entre le 22 et 26 mars 2007 à Flamanville (2 mm).

En revanche, les précipitations tombées entre le 29 juin et le 3 juillet (27 mm) ont pu influencer la salinité de la campagne estivale, qui est plus faible qu'en 2006. Les salinités mesurées en mars et juillet 2007 rejoignent par ailleurs celles de 2003. Les salinités de septembre 2007 sont quasiment similaires à celles de 2006.

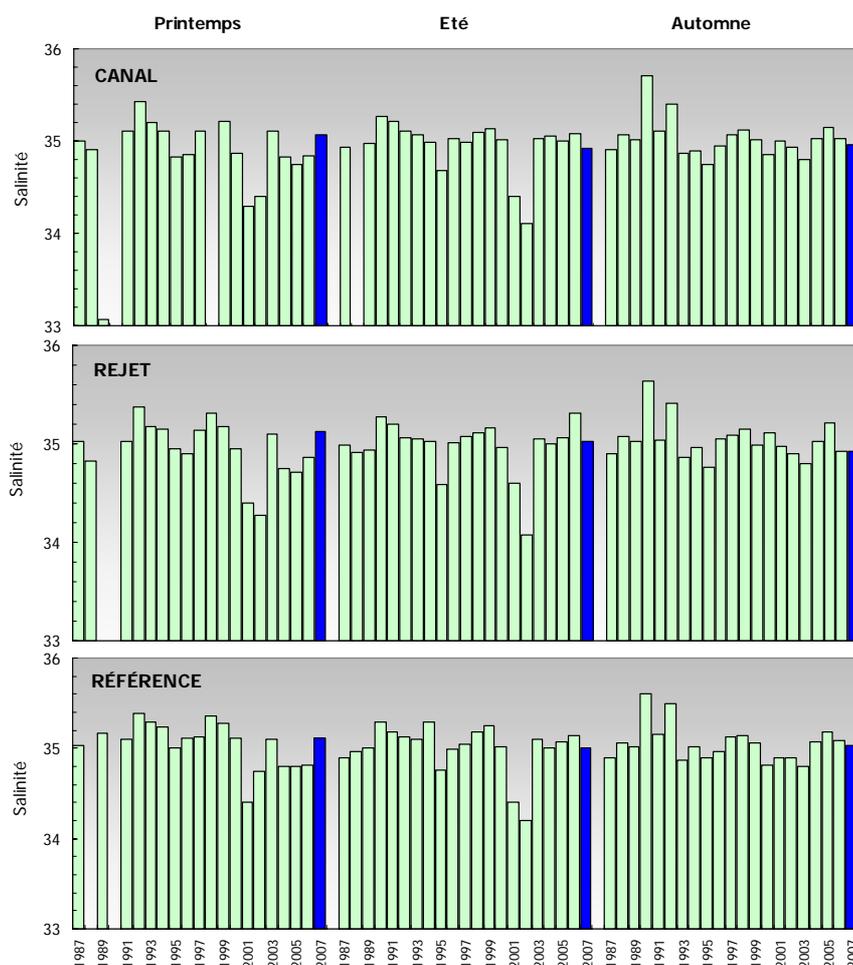


Figure 3.9 : Salinité de l'eau de surface pour les campagnes 1987 à 2007

La figure 3.10 présente la distribution des valeurs de salinité enregistrées entre 1987 et 2007. Les salinités du mois de mars 2007 se situent au dessus des médianes pluriannuelles, à l'exception du point *référence*. Alors que les valeurs observées en juillet et septembre 2007 sont légèrement inférieures aux médianes.

Au regard des médianes pluriannuelles situées aux alentours de 35, la salinité sur Flamanville semble rester relativement stable et confirme ainsi le caractère *marin* de la zone. Au printemps et en été, les salinités médianes du point *rejet* se situent généralement entre les valeurs des points *canal* et *référence*. Ceci suggère que les masses d'eau au niveau du point *rejet* soient un mélange des masses d'eau du large (*référence*) avec les masses d'eau côtières (*canal*), influencées par les apports d'eau douce des bassins versants. En septembre, l'homogénéité des valeurs de salinité observée entre les 3 points d'échantillonnage peut s'expliquer par le faible régime de pluie à cette période.

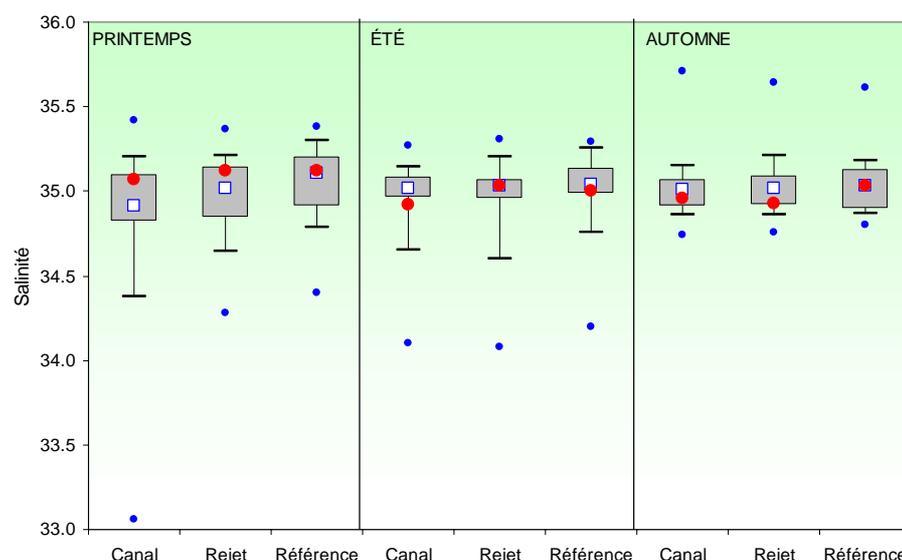


Figure 3.10 : Comparaison des distributions de la salinité par campagne et par point depuis 1987

L'influence de la pluviométrie sur la salinité dans ce secteur reste toutefois relativement limitée dans le temps et dans l'espace. Les valeurs de salinité observées sont du même ordre de grandeur que celles habituellement relevées en Manche Occidentale (Armstrong *et al.*, 1972) et reflètent l'influence plus marquée des eaux Atlantiques transitant vers la mer du Nord (Pingree et Maddock, 1977 ; Salomon *et al.*, 1993).

### 3.2.2.2.3 Approche statistique

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

Comparaison	Printemps	Été	Automne
Canal / Rejet	0,947	0,169	0,825
Référence / Rejet	<b>0,002</b>	0,283	0,236
Canal / Référence	<b>0,002</b>	<b>0,007</b>	0,091

(*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 que majoritairement, il n'existe pas de différence significative entre les points. Seules les différences de salinité entre le point référence et les points rejet et canal présentent des différences lors des campagnes du printemps. Il en est de même pour les points canal et référence en été. Ceci confirme l'approche graphique de la figure 3.10. Les points canal et rejet, proches de la côte, sont caractérisés par des salinités toujours légèrement inférieures à celles du point référence situé plus au large. Cette différence pourrait s'expliquer par la présence d'un gradient côte-large lié aux apports d'eau douce d'origine continentale, plus abondantes au printemps.

L'hypothèse d'un impact de la centrale pour expliquer les différences de salinités observées au printemps est fort peu probable. En effet, les rejets d'eau douce de la centrale, via les effluents d'eau déminéralisée des circuits primaires, des circuits secondaires, ainsi que des circuits annexes pour le refroidissement des auxiliaires de l'îlot nucléaire, sont non seulement ponctuels et irréguliers lors de vidanges ou d'opérations de maintenance dans un délai court (2 heures), mais encore faibles ( $300 \text{ m}^3/\text{h}$ ) comparés au débit du rejet de l'eau de mer ( $154\,800 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

### 3.2.2.3. Ammonium

#### 3.2.2.3.1 Variations spatiales et saisonnières de l'ammonium

Au cours des campagnes 2007 (figure 3.11), les teneurs en ammonium ont varié de 0,09 à 0,30  $\mu\text{M}$ . Classiquement l'augmentation des concentrations en ammonium du printemps vers l'été reflète l'augmentation de l'activité hétérotrophe. Les mesures observées en 2007 sont, à ce titre, atypiques, puisque les plus faibles teneurs en ammonium sont observées en juillet quels que soient les points. Comme en 2005 et 2006, un faible gradient décroissant côte-large est observé en septembre 2007.

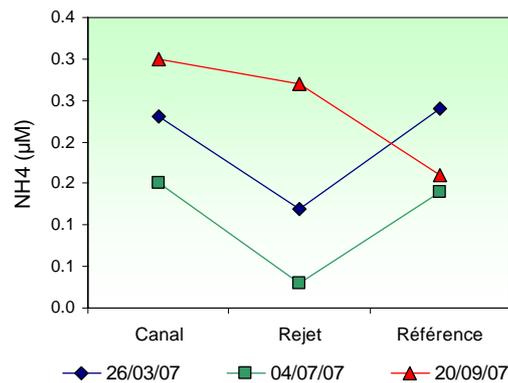


Figure 3.11 : Concentrations en ammonium ( $\mu\text{M}$ ) dans les eaux de surface lors des campagnes 2007

#### 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 3.12. Les valeurs observées en 2007 sont inférieures à celles enregistrées en 2006, à l'exception de la campagne de mars et du point *canal* en juillet, où elles ont été supérieures.

Il est difficile de définir une tendance sur ce paramètre, qui présente une très forte variabilité interannuelle sur l'ensemble des points.

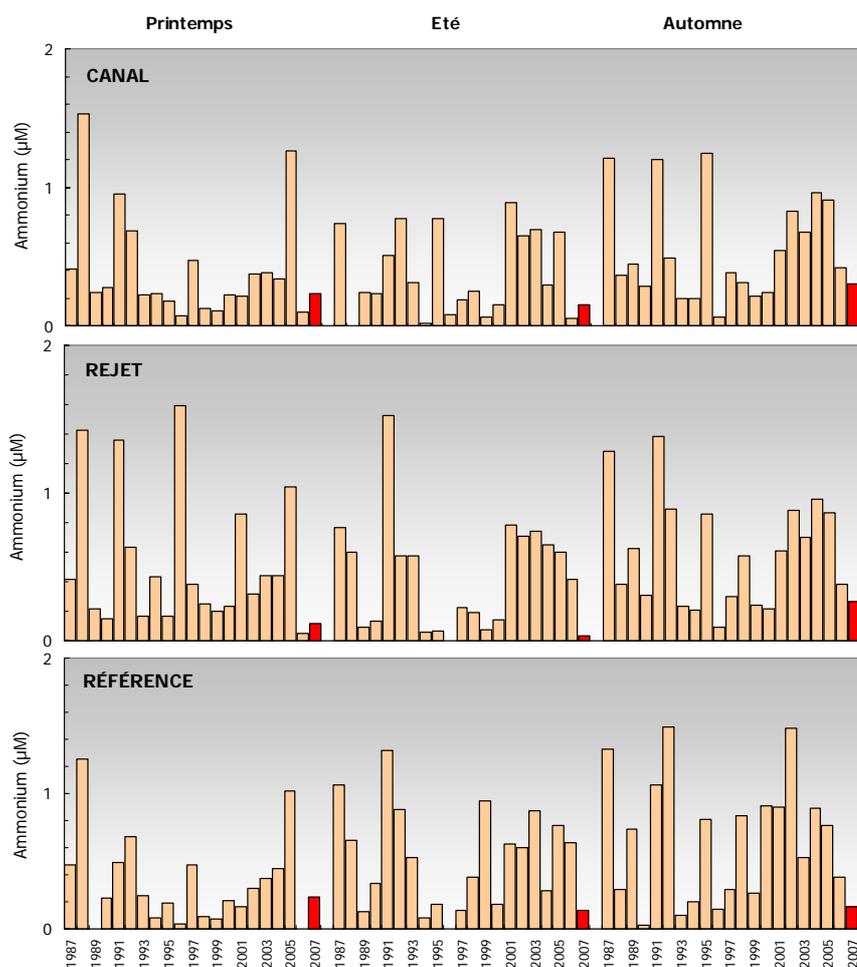


Figure 3.12 : Concentrations en ammonium dans l'eau de surface lors des campagnes de 1987 à 2007

La figure 3.13 présente la distribution des teneurs en ammonium enregistrées entre 1987 et 2007. L'ensemble des valeurs acquises en 2007 se situe largement en dessous des médianes pluriannuelles, à l'exception des points *canal* et *référence* qui se situent juste au niveau de ces médianes au printemps. La médiane du point *rejet* est sensiblement supérieure à celle des deux autres points au printemps. En été et en automne, un gradient croissant côte-large est généralement observé, ce qui n'a pas été le cas en 2007. Néanmoins, la forte dispersion des valeurs confirme l'importante variabilité de ce paramètre dans le milieu.

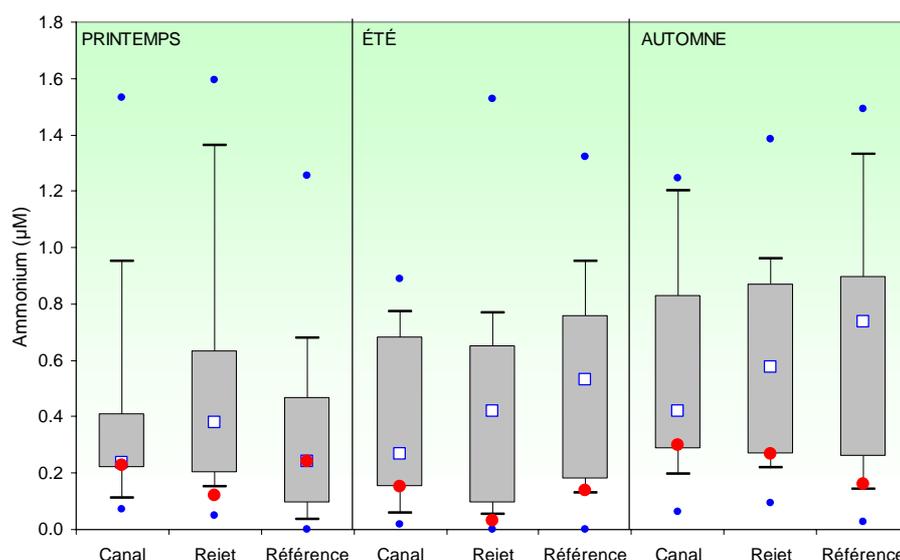


Figure 3.13 : Comparaison des distributions des concentrations de l'ammonium par campagne et par point depuis 1987

### 3.2.2.3.3 Approche statistique

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

Comparaison	Printemps	Été	Automne
Canal / Rejet	0,689	0,812	0,131
Référence / Rejet	0,065	0,117	0,304
Canal / Référence	<b>0,012</b>	0,134	0,210

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

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

Les résultats montrent qu'il n'existe pas de différence significative entre les trois points pour ce sel nutritif, excepté au printemps 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 produit chimique. Les vidanges de ce circuit occasionnent des rejets d'environ 10 t/an (8 t en 2007, Rapport annuel de surveillance de l'environnement ; EDF), ce qui est peu, et devrait être imperceptible du fait du taux de mélange. Toutefois, il faut souligner que les vidanges d'ammonium par la centrale dans les rejets sont ponctuelles et elles peuvent être décelées lors des campagnes de surveillance, comme il a été le cas en juin 2004. En 2007, le point *rejet* n'a présenté aucune concentration en ammonium supérieure à celles des autres points de suivi.

**3.2.2.4. Nitrate et nitrite**

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

Les teneurs en nitrate mesurées au cours des campagnes de surveillance 2007 ont été comprises entre 0,2 et 8,8  $\mu\text{M}$  au point *canal*, entre 0,1 et 8,8  $\mu\text{M}$  au point *rejet* et 0,5 et 8,7  $\mu\text{M}$  au point *référence* (figure 3.14).

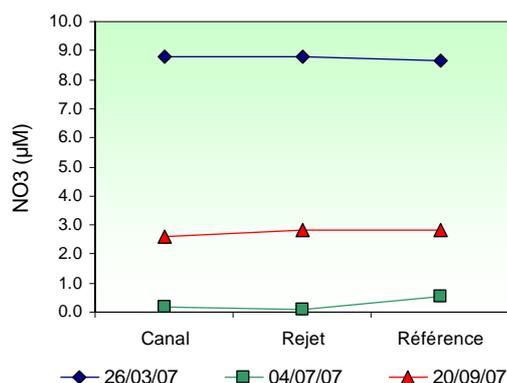


Figure 3.14 : Concentrations en nitrate ( $\mu\text{M}$ ) dans les eaux de surface pour les campagnes 2007

Les teneurs en nitrite mesurées au cours des campagnes de surveillance 2007 ont été comprises entre 0,02 et 0,22  $\mu\text{M}$  aux points *canal* et *rejet* et entre 0,06 et 0,22  $\mu\text{M}$  au point *référence* (figure 3.15).

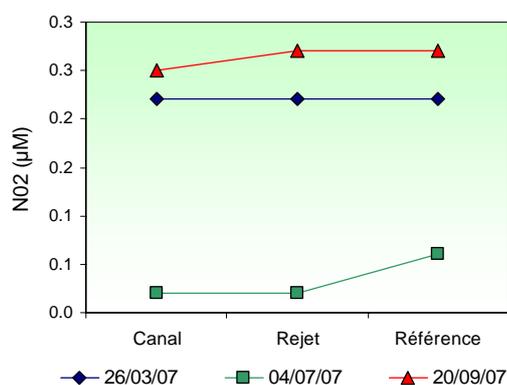


Figure 3.15 : Concentrations en nitrite ( $\mu\text{M}$ ) dans les eaux de surface pour les campagnes 2007

Les concentrations en nitrate et nitrite enregistrées en 2007 suivent un cycle biogéochimique classique. Durant l'hiver, les précipitations drainent les bassins versants et permettent de constituer un stock de nutriments dans le milieu. Les teneurs en nitrate et nitrite alors observées à la fin du mois de mars donnent ainsi une idée du niveau de ces stocks (figures 3.14 et 3.15).

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 (faibles teneurs observées en juillet). Suivent alors des changements au niveau des peuplements phytoplanctoniques puis une dégradation de cette matière organique par les bactéries, qui entraîne une régénération des sels et donc une augmentation des teneurs en nitrate et nitrite en septembre (figures 3.14 et 3.15). Ce qui entraîne enfin l'établissement d'une efflorescence automnale moins intense qu'au printemps, voir inexistante selon les années. Les valeurs mesurées à Flamanville sont du même ordre de grandeur que celles observées au large du plateau continental atlantique français à la fin de l'été par Lampert (2001) et par le Réseau Hydrologique du Littoral Normand (RHLN).

Les concentrations de nitrite en septembre sont plus importantes que celles enregistrées en mars. L'échantillonnage ayant lieu fin mars et la période productive débutant mi-mars, il est probable que le stock hivernal ait déjà été entamé.

### 3.2.2.4.2 Variations inter-annuelles

Les variations des concentrations en nitrate et nitrite sur la période 1987-2007 sont respectivement présentées sur les figures 3.16 et 3.17.

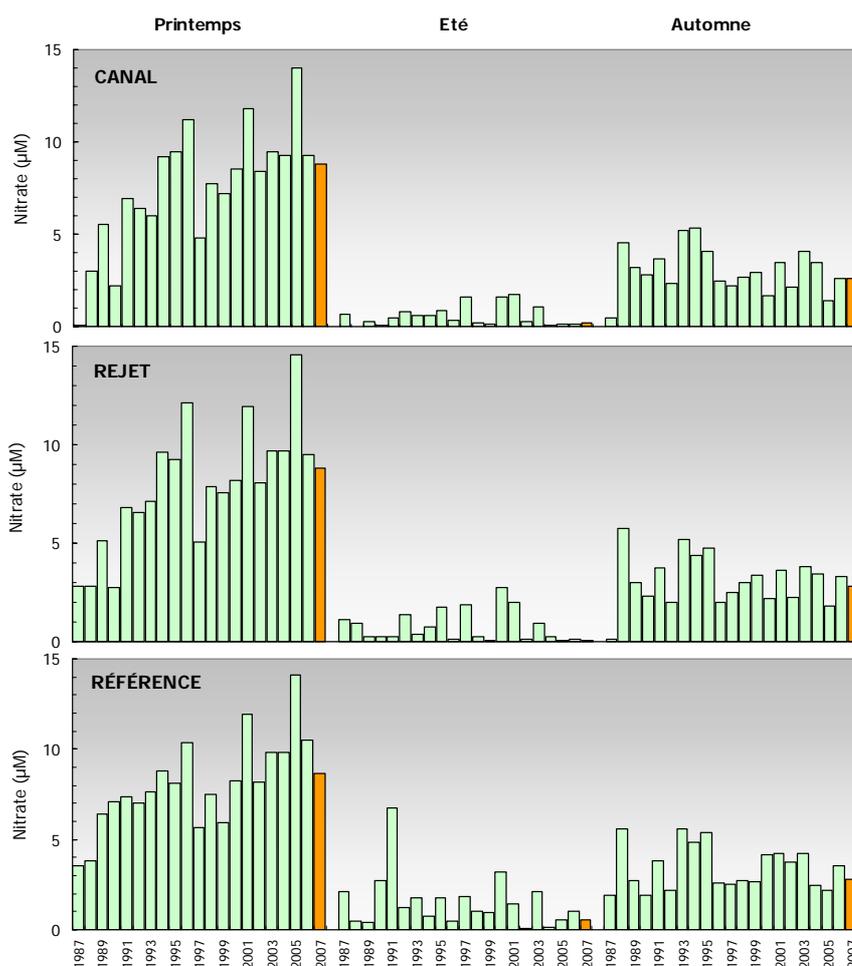


Figure 3.16 : Concentrations en nitrate dans l'eau de surface pour les campagnes de 1987 à 2007

Toutes les concentrations en nitrate observées lors de la campagne 2007 ont été inférieures à celles de l'année 2006, sauf celles du point *canal* en juillet. Au début de printemps, le nitrate dans les eaux de la Manche est en général sous l'influence des eaux atlantiques et caractérisé par des teneurs de l'ordre de 5 à 6  $\mu\text{M}$  pour des salinités comprises entre 35,25 et 35,30 (Laane, 1992). Lors des campagnes que nous avons menées depuis 1987, nous constatons que les valeurs observées au printemps ont rarement été inférieures à 5  $\mu\text{M}$ . Les concentrations mesurées lors de la campagne de mars 2007 se situent donc bien au dessus de ces valeurs.

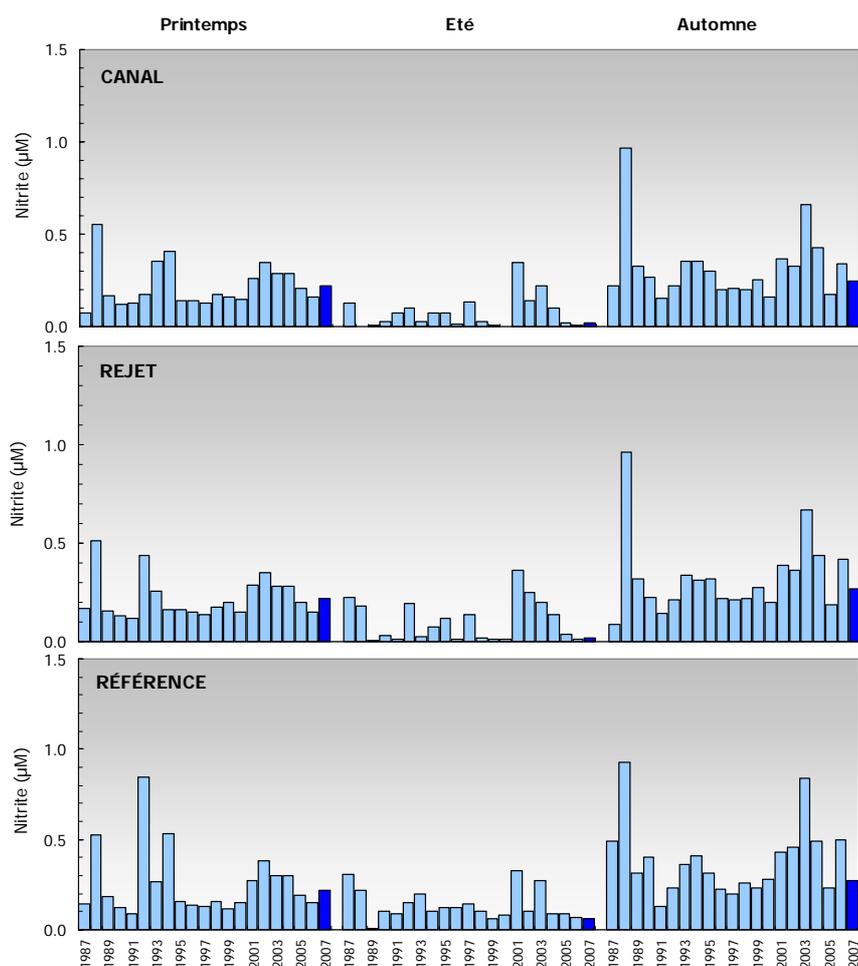


Figure 3.17 : Concentrations en nitrite dans l'eau de surface pour les campagnes 1987 à 2007

Les concentrations en nitrite observées lors des campagnes d'été et d'automne 2007 ont été proches ou inférieures à celles de l'année 2006. En revanche, celles du printemps ont été légèrement supérieures. La gamme de concentrations couramment observées en Manche pour des salinités comprises entre 34,7 et 35,2 se situe entre la limite analytique (0,01  $\mu\text{M}$ ) et 0,6  $\mu\text{M}$  (Laane, 1992). Les valeurs observées lors des campagnes de 2007 rentrent dans cette gamme de valeurs.

La figure 3.18 présente la distribution des teneurs en nitrate enregistrées entre 1987 et 2007. La régénération du nitrate en automne y est bien mise en évidence. Les plus fortes dispersions sont observées au printemps, suggérant que les prélèvements ont été réalisés, selon les années, avant ou après le premier bloom phytoplanctonique. En effet, pour une même date, il est possible de trouver des différents niveaux de

développement phytoplanctonique d'une année sur l'autre du fait de la variabilité naturelle des paramètres physiques et chimiques, eux mêmes dépendants des conditions météorologiques.

Les valeurs de nitrate de mars 2007 se situent au-dessus des médianes pluriannuelles, tandis qu'en été et en automne, elles sont proches voire en dessous de ces médianes.

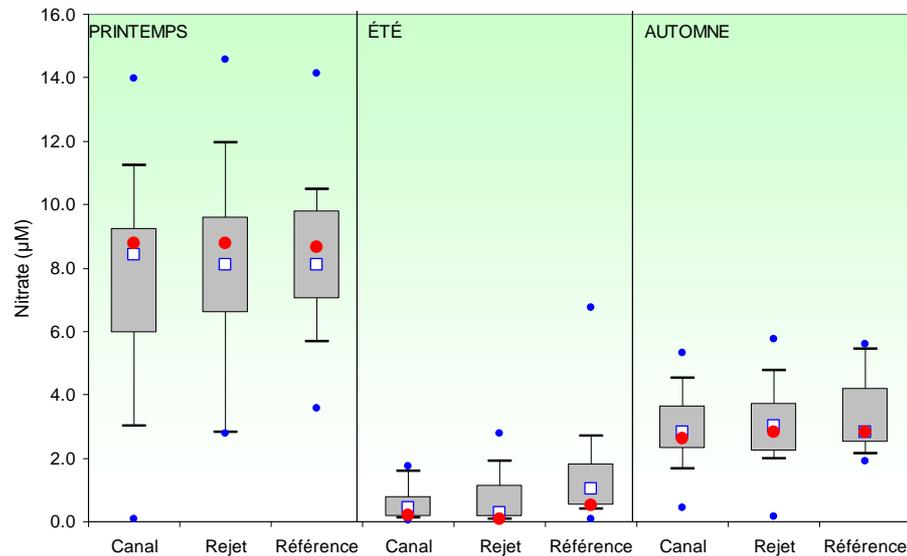


Figure 3.18 : Comparaison des distributions des concentrations en nitrate par campagne et par point depuis 1987

La figure 3.19 présente la distribution des teneurs en nitrite enregistrées entre 1987 et 2007. L'ensemble de valeurs observées en mars se situe au dessus des médianes pluriannuelles. En juillet et septembre, les valeurs restent en dessous des médianes. Le phénomène de régénération du nitrite en automne semble plus marqué que pour le nitrate. Les médianes du point *référence* en été et en automne présentent des valeurs supérieures à celles des deux autres points.

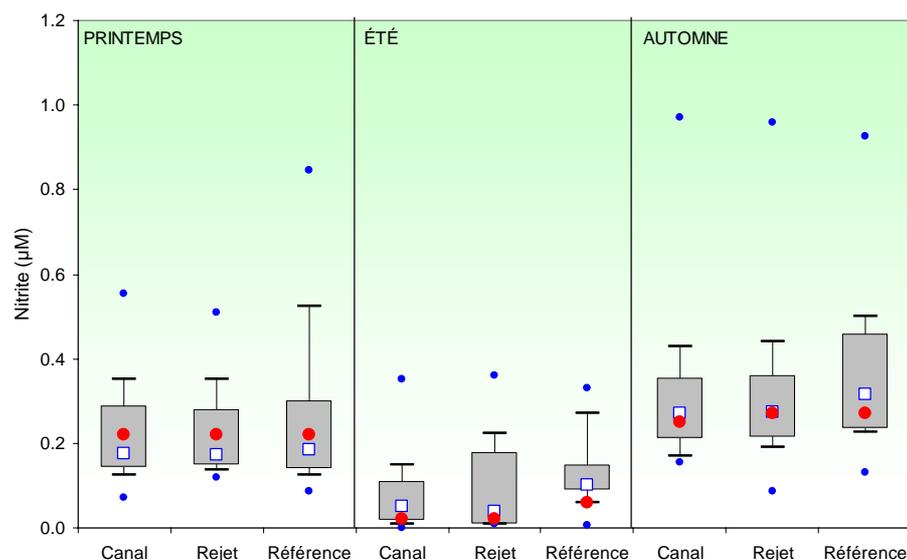


Figure 3.19 : Comparaison des distributions des concentrations en nitrite par campagne et par point depuis 1987

## 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>0,038</b>	0,067	0,324
	Référence / Rejet	0,374	<b>0,009</b>	0,066
	Canal / Référence	0,140	<b>0,000</b>	<b>0,037</b>
Nitrite	Canal / Rejet	0,861	0,106	0,258
	Référence / Rejet	0,568	<b>0,026</b>	<b>0,006</b>
	Canal / Référence	0,704	<b>0,001</b>	<b>0,002</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 sur les teneurs en nitrate et nitrite enregistrées depuis 1987

L'ensemble des résultats statistiques issus des comparaisons des valeurs en nitrate et en nitrite depuis 1987, indique des différences significatives entre le point *référence* et les points *canal* et *rejet* en été et en automne, à l'exception du nitrate dans le couple *référence/rejet* d'automne, qui présente une valeur de probabilité proche du seuil de signification. Mais il n'y a pas de différence globalement marquée à long terme entre les eaux du *canal* et celles du point *rejet*, à l'exception du printemps pour le nitrate. Finalement en 2007, les variations des teneurs en nitrate et en nitrite sont caractéristiques d'un cycle saisonnier classique. La centrale semble donc ne pas avoir d'influence significative ni sur le cycle annuel, ni sur les teneurs de ces sels nutritifs.

## 3.2.2.5. Phosphate et silicate

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

Les teneurs en phosphate enregistrées en 2007 ont été comprises entre 0,08 et 0,39  $\mu\text{M}$  au point *canal*, entre 0,04 et 0,40  $\mu\text{M}$  au point *rejet* et entre 0,06 et 0,40  $\mu\text{M}$  à la *référence* en surface (figure 3.20).

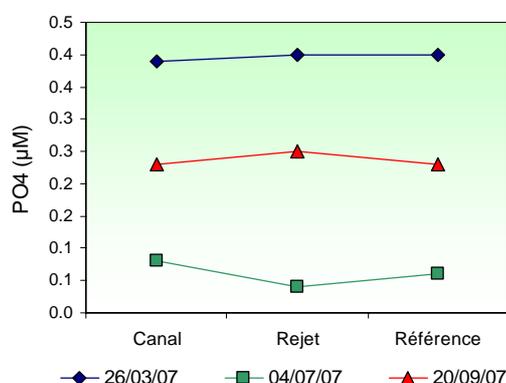


Figure 3.20 : Concentrations en phosphate ( $\mu\text{M}$ ) dans les eaux de surface lors des campagnes 2007

Les concentrations en silicate enregistrées en 2007 varient de 1,63 à 3,46  $\mu\text{M}$  au point *canal*, de 1,35 à 3,99  $\mu\text{M}$  au point *rejet*, et de 2,18 à 3,32  $\mu\text{M}$  au point *référence* en surface (figure 3.21).

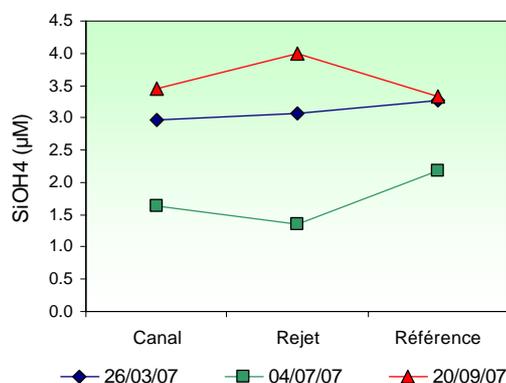


Figure 3.21 : Concentrations en silicate ( $\mu\text{M}$ ) dans les eaux de surface lors des campagnes 2007

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

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

En été, les teneurs diminuent fortement en raison du développement du phytoplancton. La diminution des concentrations en silicate est attribuable à une utilisation rapide de la silice par les diatomées, espèce phytoplanctonique dominante dans ce secteur tout au long de l'année (voir chapitre 3.3). Ensuite en automne, les teneurs des deux sels nutritifs augmentent. Cette accumulation dans la colonne d'eau peut correspondre à des processus de régénération. Comme c'est le cas en 2007, celle de la silice biogénique est en général plus marquée que celle du phosphate sur le plateau continental Atlantique français (Ragueneau *et al.*, 1994 ; Lampert, 2001).

#### 3.2.2.5.2 Variations inter-annuelles

Les variations des concentrations en phosphate et silicate sur la période 1987-2007 sont respectivement présentées sur les figures 3.22 et 3.23.

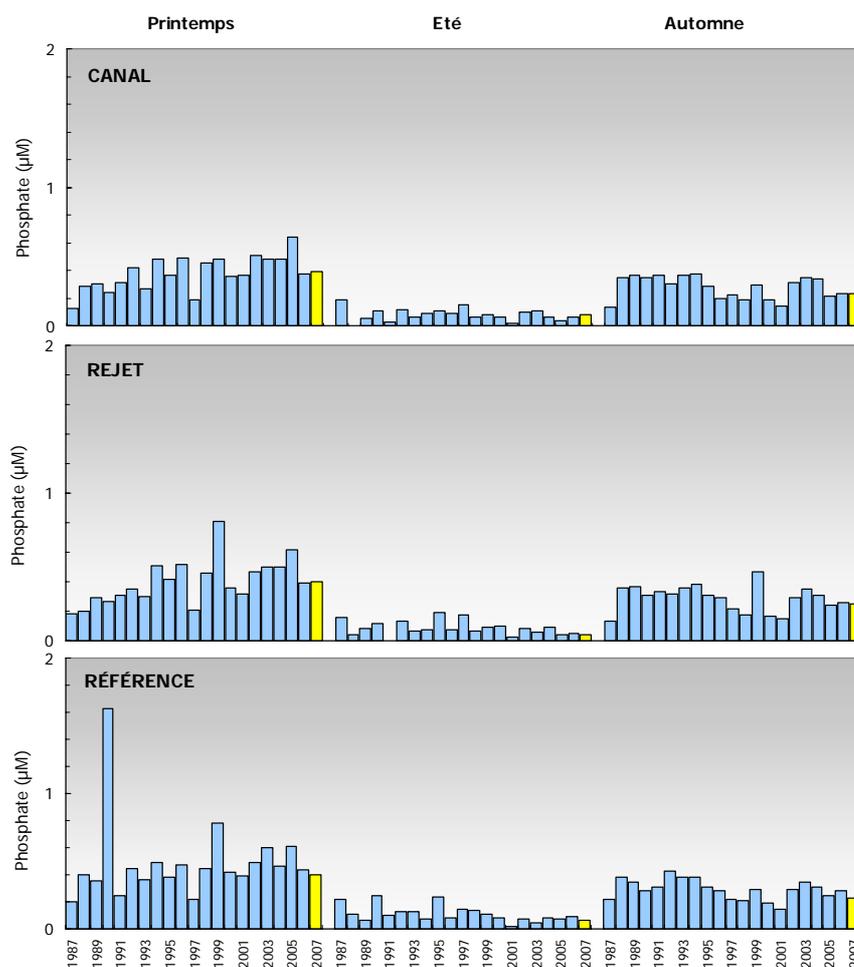


Figure 3.22 : Concentrations en phosphate dans l'eau de surface lors des campagnes 1987 à 2007

Globalement quels que soient les points, les teneurs en phosphate enregistrées en 2007 sont du même ordre de grandeur que celles obtenues en 2006. Suivant le cycle biogéochimique classique, les plus fortes concentrations sont observées au printemps et les plus faibles en été.

Les concentrations en silicate observent en revanche une légère diminution par rapport aux données enregistrées en 2006, à l'exception des points *canal* et *rejet* en automne. Contrairement à 2006, les teneurs du mois de septembre 2007 ont été plus élevées que celles de mars, ce qui semble indiquer une régénération plus intense de ce sel à cette période.

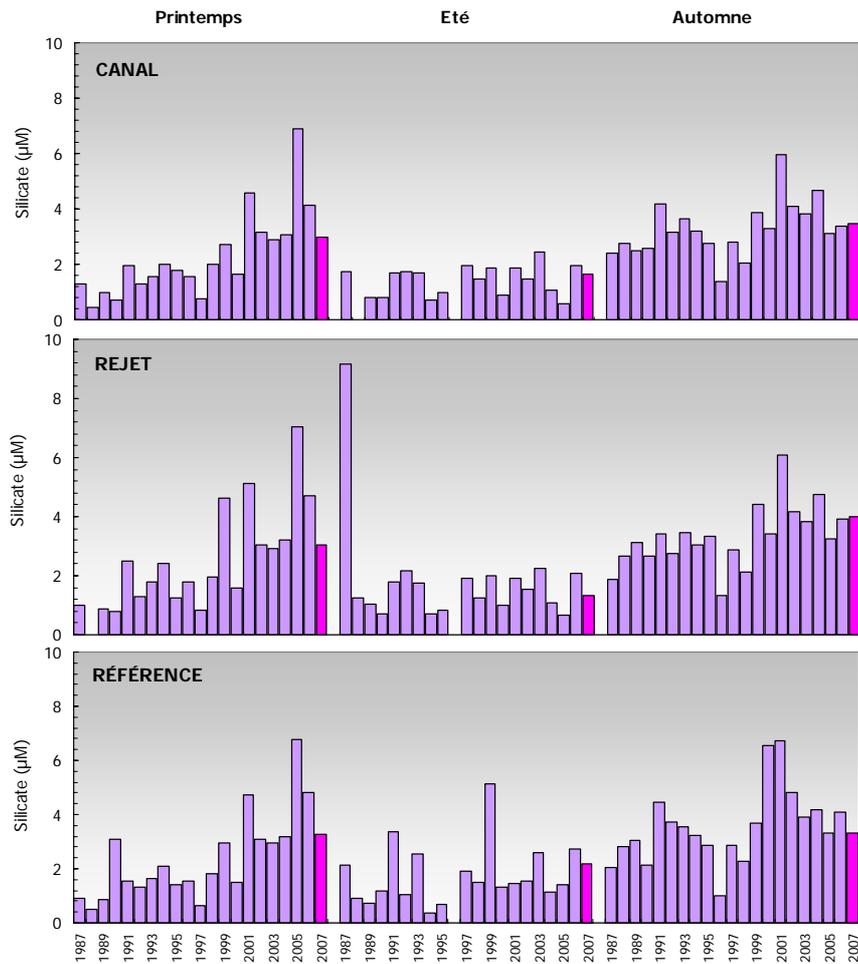


Figure 3.23 : Concentrations en silicate dans l'eau de surface lors des campagnes 1987 à 2007

Les figures 3.24 et 3.25 présentent respectivement la distribution des teneurs en phosphate et en silicate enregistrées entre 1987 et 2007. La tendance saisonnière avec consommation des nutriments en été et régénération en automne est bien mise en évidence.

Les concentrations en phosphate sont, pour les trois campagnes, situées en dessous ou à proximité des médianes pluriannuelles. Les valeurs en silicate, observées sur les trois campagnes d'échantillonnage 2007, sont toutes supérieures aux médianes, et tout particulièrement en mars, où les valeurs se situent aux alentours du seuil haut de 50 % de valeurs.

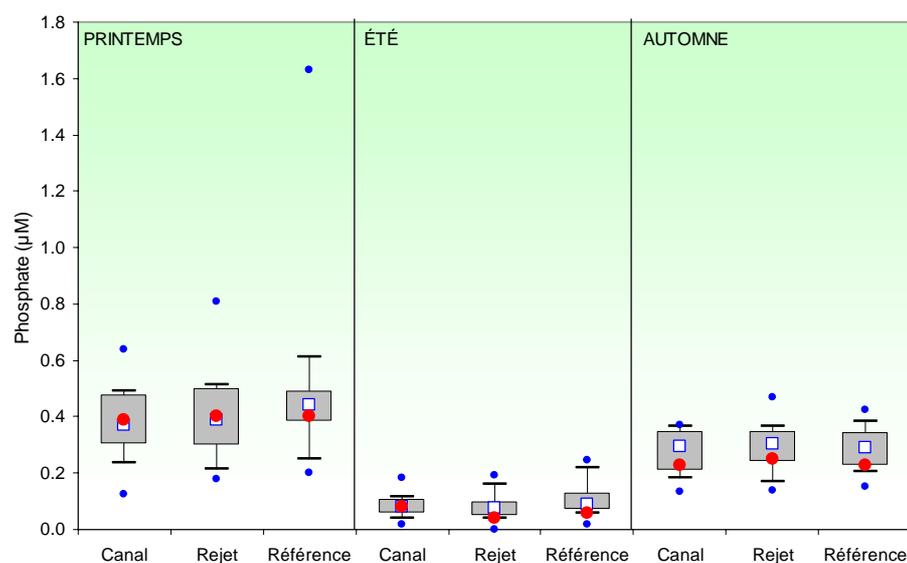


Figure 3.24 : Comparaison des distributions des concentrations en phosphate par campagne et par point depuis 1987

Pour ces deux nutriments, le gradient côte-large n'est pas très marqué. Les valeurs de silicate observent une plus forte dispersion que celles du phosphate, avec une plus faible différence entre les médianes du printemps et celles de l'été. La tendance sur les 20 dernières années est donc en accord avec les cycles phytoplanctoniques saisonniers traditionnellement décrits dans la littérature scientifique. Le phosphate semble pourtant rester dans des concentrations plus élevées que celles enregistrées sur le plateau continental Atlantique français.

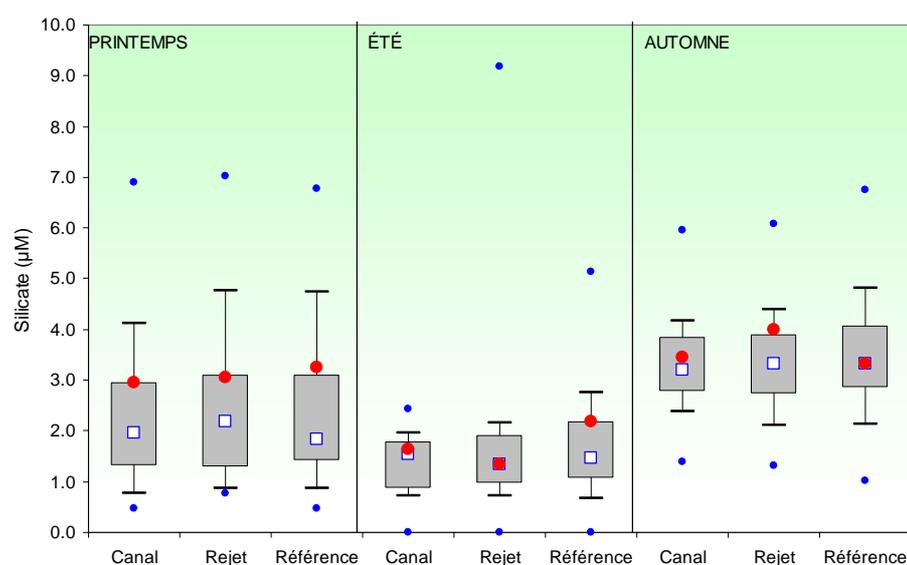


Figure 3.25 : Comparaison des distributions des concentrations en silicate par campagne et par point depuis 1987

## 3.2.2.5.3 Approche statistique

Le tableau 3.8 présente les résultats des tests statistiques réalisés pour le phosphate et le silicate depuis 1987. Les seules différences significatives concernent, pour le phosphate, le couple *canal-référence* au printemps et en été et le couple *référence - rejet* en été. Pour les silicates, la seule différence significative (juste en dessous du seuil de 0,05) est observée en été entre les points *canal* et *référence*.

	Comparaison	Printemps	Été	Automne
Phosphate	<i>Canal / Rejet</i>	0,333	0,513	0,619
	<i>Référence / Rejet</i>	0,062	<b>0,017</b>	0,410
	<i>Canal / Référence</i>	<b>0,007</b>	<b>0,025</b>	0,140
Silicate	<i>Canal / Rejet</i>	0,052	0,271	0,388
	<i>Référence / Rejet</i>	0,113	0,305	0,366
	<i>Canal / Référence</i>	0,958	<b>0,048</b>	0,175

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

Tableau 3.8 : « *p-value* » des tests statistiques les teneurs en phosphate et silicate enregistrées depuis 1987

La centrale peut représenter une source en phosphate. Les circuits pour le refroidissement de l'îlot nucléaire sont alimentés en eau déminéralisée conditionnée au phosphate trisodique (Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). Les purges des circuits auxiliaires occasionnent des rejets qui atteignent environ 1 t/an (0,79 t en 2007 ; cf. Rapport annuel de surveillance de l'environnement ; EDF). Les résultats des tests statistiques montrent que ces rejets ne sont pas perceptibles. Les teneurs en phosphate et en silicate semblent présenter des variations saisonnières classiques, avec des concentrations en silicate printanières élevées. Finalement, la centrale via ses rejets, ne semble donc pas avoir d'impact sur les teneurs et sur les variations saisonnières de ces deux nutriments.

## 3.2.2.6. Matières en suspension (MES)

## 3.2.2.6.1. Variations spatiales et saisonnières des matières en suspension

Les teneurs en MES mesurées au cours du programme de surveillance 2007 ont été comprises entre 5,6 et 30,2 mg/L au point *canal*, entre 4,4 et 29,2 mg/L au point *rejet* et entre 3,7 et 8,4 mg/L au point *référence* (figure 3.26). Les valeurs en MES décroissent du printemps vers l'été, mettant en évidence le plus fort hydrodynamisme du début de printemps.

Les plus fortes valeurs en MES sont généralement observées sur les points les plus côtiers (*canal* et *rejet*) durant le mois de mars, ce qui a été le cas en 2007. En septembre 2007, c'est le point *rejet* qui a observé un maximum de 8,3 mg/L de MES.

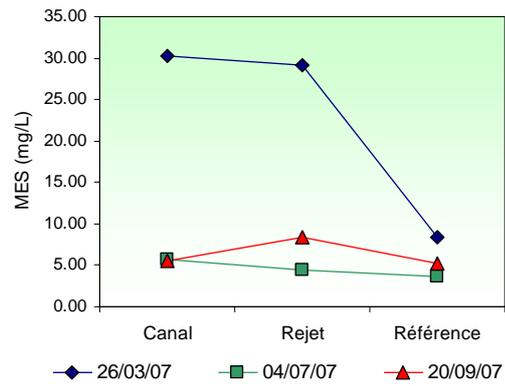


Figure 3.26 : Concentrations en MES dans les eaux de surface lors des campagnes 2007

3.2.2.6.2. Variations inter-annuelles

Les variations en MES observées depuis 2001 sont présentées dans la figure 3.27

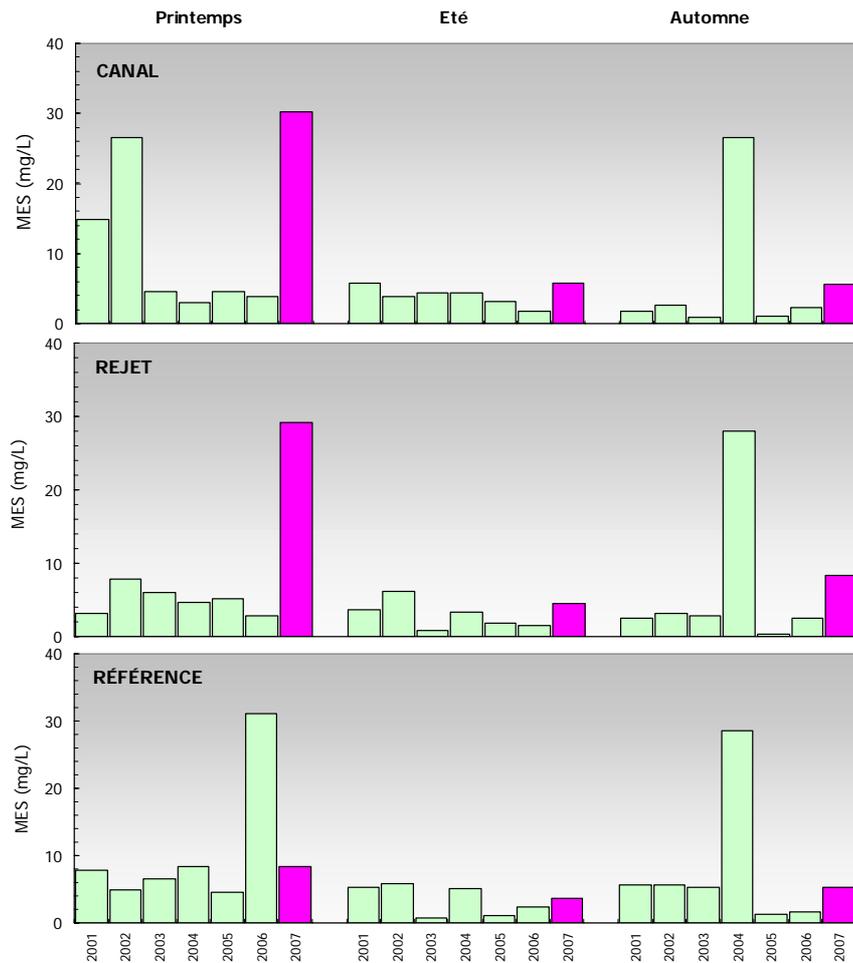


Figure 3.27 : Concentrations en MES dans l'eau de surface lors des campagnes 2000 à 2007

Les premières mesures en MES, qui ont eu lieu en 2001, ont fait suite au nouvel arrêté d'autorisation de rejet de mai 2000. Nous observons l'extrême variabilité de ce paramètre, plus influencé par les conditions météorologiques et les courants de marée dans la zone côtière que par la production phytoplanctonique ou l'activité de la centrale. La faible quantité de valeurs dont nous disposons aujourd'hui ne permet pas encore de réaliser des approches statistiques satisfaisantes pour ce paramètre.

### 3.2.2.7. Bore

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

Les rejets en milieu marin se font par l'intermédiaire des effluents radioactifs liquides en conformité avec la valeur fixée par la réglementation (40 tonnes d'acide borique selon les termes de l'arrêté interministériel du 11 mai 2000). La concentration en acide borique couramment observée en eau de mer est de 25,6 mg/L, soit environ 4,5 mg/L de bore. Les données récoltées par l'INERIS lors d'un inventaire exceptionnel en 2005, mentionnent des concentrations en bore de l'ordre de 4,7 mg/L en Baie du Mont St 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 2007, ont varié de 4,89 à 5,60 mg/L (figure 3.28). Comme en 2006, les valeurs mesurées en juillet sont supérieures à celles de mars et septembre, à l'exception du point *canal* qui observe quelle que soit la saison des valeurs de l'ordre de 4,90 mg/L.

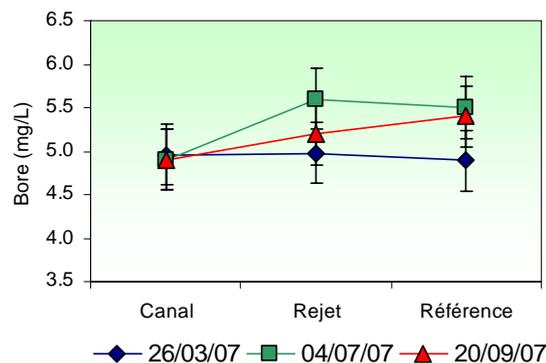


Figure 3.28 : Concentrations en bore dans l'eau de surface lors des campagnes 2007 avec les intervalles de confiance ( $\alpha = 0,05$ )

La campagne du mois de mars se caractérise par des teneurs en bore quasi égales sur tous les points (4,89 à 4,98 mg/L). Ceci peut éventuellement signaler qu'en absence de rejet (arrêt de la centrale), les concentrations en bore sont homogènes dans la masse d'eau et proches des teneurs observées habituellement dans l'eau de mer (4,5 mg/L).

En juin, la concentration en bore la plus élevée est observée sur le point *rejet* puis se situe sur le point *référence* en septembre.

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

### 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 3.29. Les concentrations en bore en 2007 ont été en générale supérieures à celles observées en 2006, sauf au mois de juillet, où les concentrations en bore sur les points *canal* et *rejet* sont bien inférieures aux maxima observés en 2006.

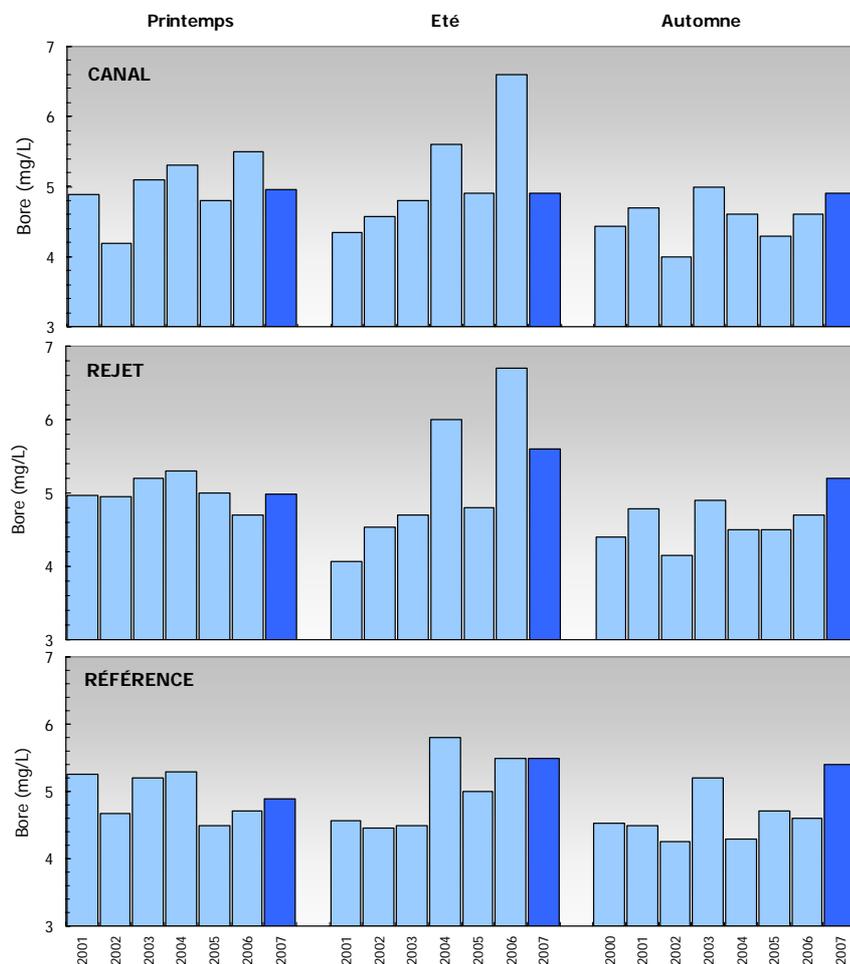


Figure 3.29 : Concentrations en bore dans l'eau de surface lors des campagnes 2000 à 2007

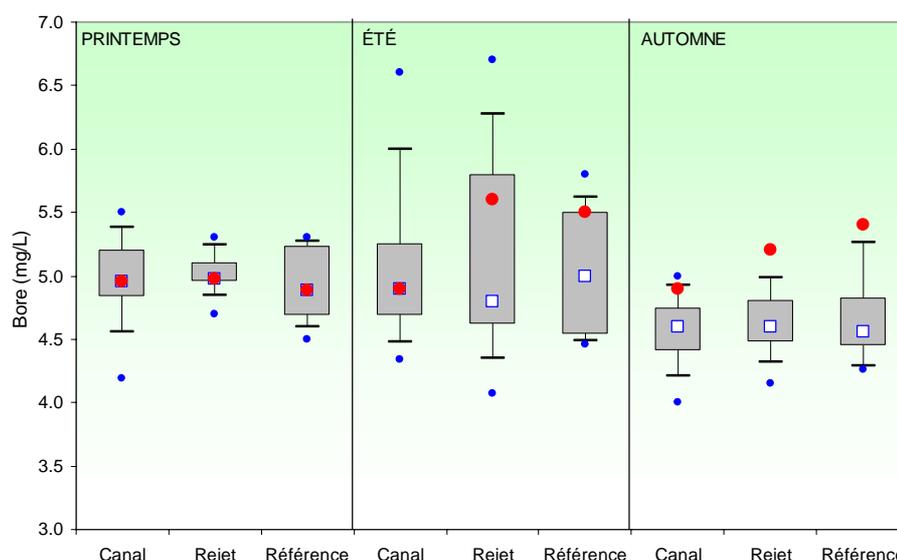


Figure 3.30 : Comparaison des distributions des concentrations en bore (mg/L) par campagne et par point depuis septembre 2000

Avec les résultats obtenus sur l'ensemble des points depuis 7 ans, la représentation en boîte à moustaches (figure 3.30) permet de mettre en évidence une plus forte dispersion des données de bore durant l'été sur les points *rejet* et *référence*. Excepté en mars, où les concentrations en bore se situent au niveau des médianes pluriannuelles, les valeurs de 2007 se situent au dessus de ces médianes, atteignant même des maxima en automne sur les points *rejet* et *référence*. Toutefois, quelle que soit la saison, les médianes se situent globalement entre 4,5 et 5 mg/L de bore, valeurs citées comme étant les niveaux naturels dans l'eau de mer, suggérant ainsi l'absence d'impact de la centrale, via les rejets de ce sel.

### 3.2.2.7. Trihalométhanes

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

Les quatre formes organo-halogénées recherchées sont :

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

Ces composés dérivés sont toxiques pour la faune et la flore marine. Erickson et Freeman (1978) ont réalisé des expériences écotoxicologiques sur des cultures de microalgues (*Skeletonema costatum*, *Thalassiosira pseudonana*, *Glinodinium halli* et

*Isochrysis galbana*) et ils ont constaté que le taux d'inhibition de croissance de 50 % par rapport aux cultures témoins se trouvait à des concentrations en chloroforme et bromoforme supérieures à 32 mg/L.

Les résultats obtenus à l'issue des trois campagnes annuelles n'ont pas dépassé la limite de détection analytique de la méthode utilisée qui se situe à 1 µg/L.

### 3.2.3. Conclusion

Les températures d'eau de mer relevées durant la campagne de mars 2007 ont été identiques sur les trois points de suivi, confirmant l'arrêt de la production d'énergie à cette période et suggérant l'influence thermique des rejets d'eaux réchauffées sur le point *canal*. Les températures enregistrées en 2007 ont été, quelles que soient les campagnes, supérieures à celles de 2006 et généralement plus élevées que les médianes pluriannuelles enregistrées depuis 1987, avec une différence plus prononcée au niveau du point *rejet*.

Les écarts de température entre les points *rejet* et *référence* ont été : nuls en mars (arrêt de la centrale), juste au dessus de la médiane pluriannuelle en juillet et proches du maxima en septembre (2,69 °C).

Les taux de dilution théoriques aux abords du rejet restent importants (environ 90% en moyenne depuis 1987). D'ailleurs, la modélisation du rejet montre que l'évolution spatiale de la tâche thermique est fortement dépendante des courants de marée, mais que l'impact thermique reste très localisé autour de la centrale et près des côtes.

Les précipitations tombées entre le 29 juin et le 3 juillet 2007 (27 mm) ont pu provoquer des dessalures et ainsi expliquer des salinités plus faibles qu'en 2006. En 2007, les salinités enregistrées au mois de mars étaient au dessus des médianes pluriannuelles, alors que les valeurs observées en juillet et septembre étaient légèrement inférieures à ces médianes. Néanmoins, au regard des médianes pluriannuelles, situées aux alentours de 35, la salinité sur Flamanville semble rester relativement stable depuis 1987 et confirme ainsi le caractère *marin* de la zone.

L'ensemble de nutriments mesurés pendant les campagnes 2007 présente un cycle saisonnier classique : suite à l'augmentation de l'ensoleillement, les sels nutritifs sont consommés par le phytoplancton entre le printemps et l'été, puis les processus de régénération suivent en automne. Comme en 2006, les concentrations en silicate ont été supérieures aux médianes pluriannuelles sur l'ensemble des points.

Les plus fortes valeurs en MES sont généralement observées sur les points les plus côtiers (*canal* et *rejet*) durant le mois de mars lorsque l'hydrodynamisme est le plus important. En dehors de cette période, les teneurs en MES étaient de l'ordre de 5 mg/L à l'exception du point *rejet* qui a observé un maximum de 8,35 mg/L en septembre.

Comprises entre 4,89 à 5,60 mg/L, les concentrations en bore enregistrées en 2007 ont été en général supérieures à celles observées en 2006, à l'exception du mois de juillet, où sur les points *canal* et *rejet*, elles ont été bien inférieures aux maxima observés en 2006 (6,7 mg/L).

Les valeurs de l'ensemble des produits de chloration recherchés dans l'eau de mer ont été inférieures au seuil de détection analytique.

Au regard de l'ensemble des paramètres hydrologiques suivis dans le cadre de la surveillance du site de Flamanville en 2007, la centrale via ses rejets ne semble pas modifier les caractéristiques hydrologiques intrinsèques du milieu (teneurs et variations saisonnières).

### 3.3. Phytoplancton

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

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

C'est au moyen des descripteurs précités que ce chapitre traitera des résultats quantitatifs et qualitatifs de l'étude des populations phytoplanctoniques présentes lors des trois campagnes de surveillance réalisées en 2007.

#### 3.3.1. Matériel et méthode

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

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

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

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

La méthode appliquée est celle qu'utilise la fluorescence modulée (Pulse amplitude Modulated –PAM–) pour déterminer la production potentielle maximale d'un peuplement *in vivo* (Falkowski et Raven, 2007 ; Sakshaug et al., 1997). Cette méthode permet également d'estimer par la fluorescence l'état physiologique de ce peuplement. Le transfert d'énergie au niveau de l'appareil photosynthétique des cellules phytoplanctoniques pourra être modifié si elles 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*). Cette 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, on peut alors 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'instrument utilisé est un Water-Pam de chez Walz qui permet de prendre sur un petit échantillon d'eau de mer, de 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, afin de déterminer les paramètres photosynthétiques caractéristiques  $rETR_{max}$  qui correspond à la capacité maximale de production de l'échantillon.

$rETR$  étant le taux de transport des électrons (Electron transport rate – ETR) entre les photosystèmes PSII et PSI.

Un autre paramètre qui nous intéressera est l'efficacité quantique maximale du PSII,  $Y_{max} = (F_m - F_0)/F_m$ , 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.

### 3.3.1.2. Étude systématique du phytoplancton

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

### 3.3.1.3. Télédétection satellitaire

Les images climatologiques de la chlorophylle ont été obtenues avec l'algorithme développé à l'Ifremer par Francis Gohin (Gohin et al, 2002) sur la série d'images obtenues par les cameras SeaWiFS et MODIS entre 1998 et 2006. Les images quotidiennes de la série 2007 sont celles de la camera MODIS. Toutes ces séries ont été traitées avec le même algorithme et mises à disposition par le projet MarCoast.

## 3.3.2. Résultats

Les résultats obtenus en 2007 sont donnés par le tableau 3.10 ci-dessous.

		CANAL	REJET	REFERENCE	
				surface	mi-prof.
26-mars	<i>Chlorophylle a</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	0.62	1.13	0.80	0.69
	<i>Phéopigments</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	0.09	0.19	0.09	0.17
	<i>rETR</i> (unités relatives)	186	162	182	171
	<i>Microphytoplancton</i> (cel/L)	64400	50000	70400	39800
04-juil	<i>Chlorophylle a</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	0.80	1.04	1.44	1.09
	<i>Phéopigments</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	0.43	0.29	0.40	0.52
	<i>rETR</i> (unités relatives)	156	170	172	159
	<i>Microphytoplancton</i> (cel/L)	74100	52000	51400	53000
20-sept.	<i>Chlorophylle a</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	0.84	0.69	0.94	0.90
	<i>Phéopigments</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	0.97	0.80	0.59	0.86
	<i>rETR</i> (unités relatives)	209	170	224	208
	<i>Microphytoplancton</i> (cel/L)	112400	175800	175300	142800

Tableau 3.9 : Moyenne des paramètres phytoplanctoniques au droit du CNPE de Flamanville en 2007

### 3.3.2.1. Biomasse chlorophyllienne

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

Au cours de l'année 2007, les valeurs de chlorophylle *a* s'échelonnent entre 0,62  $\mu\text{g/L}$  au point *canal* en mars et 1,44  $\mu\text{g/L}$  au point *référence* (surface) en juillet (figure 3.31). Ces valeurs mettent en évidence les faibles biomasses phytoplanctoniques observées lors des campagnes 2007 par rapport aux valeurs observées sur la Manche orientale (centrales de Paluel et de Penly). Bien que faibles, ces valeurs sont en accord avec celles observées en 1978 lors de l'étude écologique de projet de la centrale de Flamanville (1980). Au point *canal*, les concentrations en chlorophylle sont très proches quelle que soit la campagne, et il va de même pour le point *référence* lors des campagnes de mars et de septembre. Au mois de juillet, nous observons un gradient croissant côte-large.

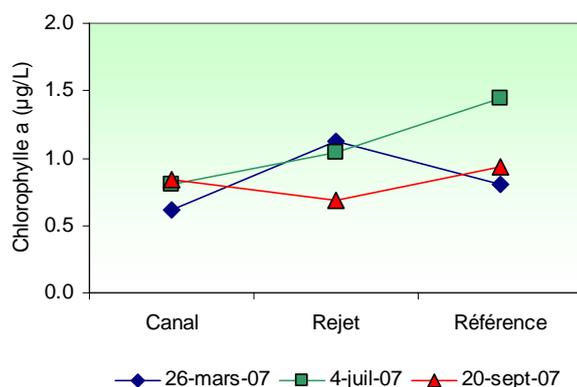


Figure 3.31 : Évolution de la chlorophylle lors des trois campagnes de surveillance 2007

### 3.3.2.1.2 Variations inter-annuelles

Toutes les valeurs de concentration en chlorophylle en 2007 ont été inférieures à celles observées en 2006, à l'exception de la concentration du point *référence* du mois de juillet (figure 3.32). Les plus fortes différences observées correspondent aux situations du printemps et d'automne pour les points *canal* et *rejet*.

La figure 3.33 montre une plus faible dispersion des valeurs au printemps par rapport aux deux autres saisons. Les boîtes (50 % des valeurs dans la boîte grise et 80% dans les moustaches) restent homogènes entre elles avec peu de variabilité sur les trois points. En été, on observe 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 extrêmes dépassent 4 µg/L. Bien qu'en automne les boîtes soient plus réduites, la forte dispersion des valeurs est toujours présente avec des maximales jusqu'à cinq fois supérieures à la médiane.

Les concentrations en chlorophylle en 2007 sont en règle générale inférieures ou proches des médianes pluriannuelles, sauf pour le cas du point *référence* en juillet. Toutefois, ces valeurs restent à l'intérieur de la boîte contenant 50 % des valeurs en mars et juillet. A noter qu'en automne, aux points *canal* et *rejet*, elles se situent en dessous.

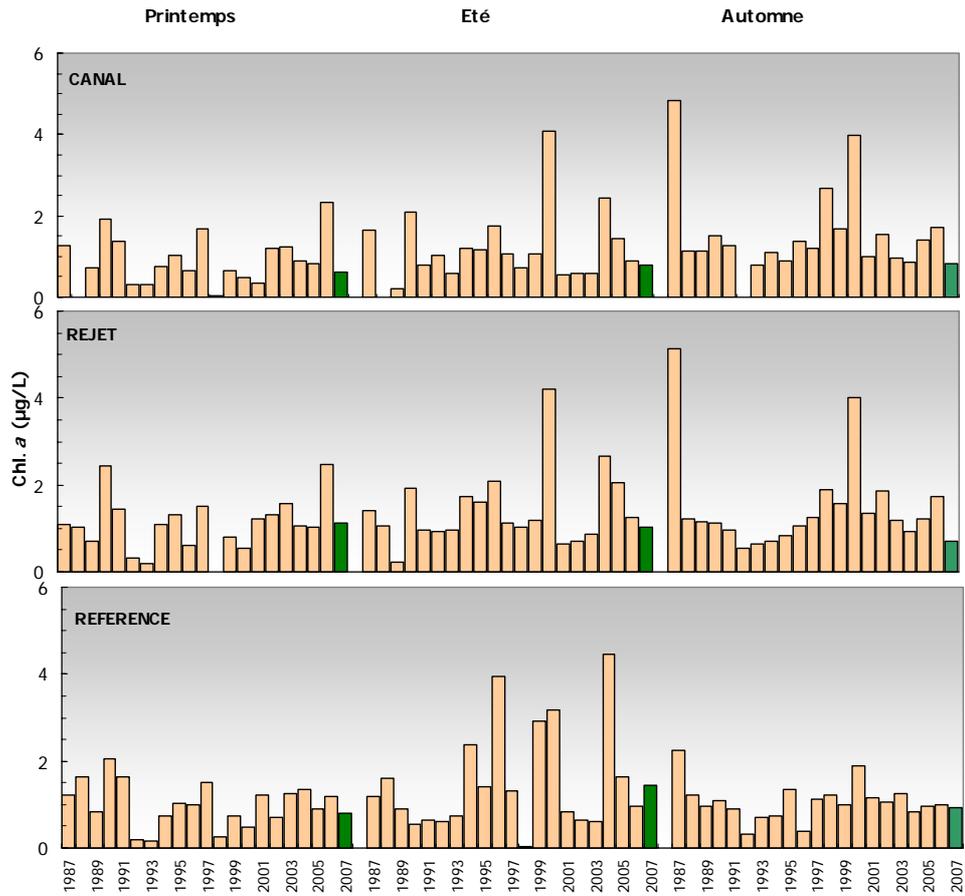


Figure 3.32 : Évolution de la chlorophylle de 1987 à 2007

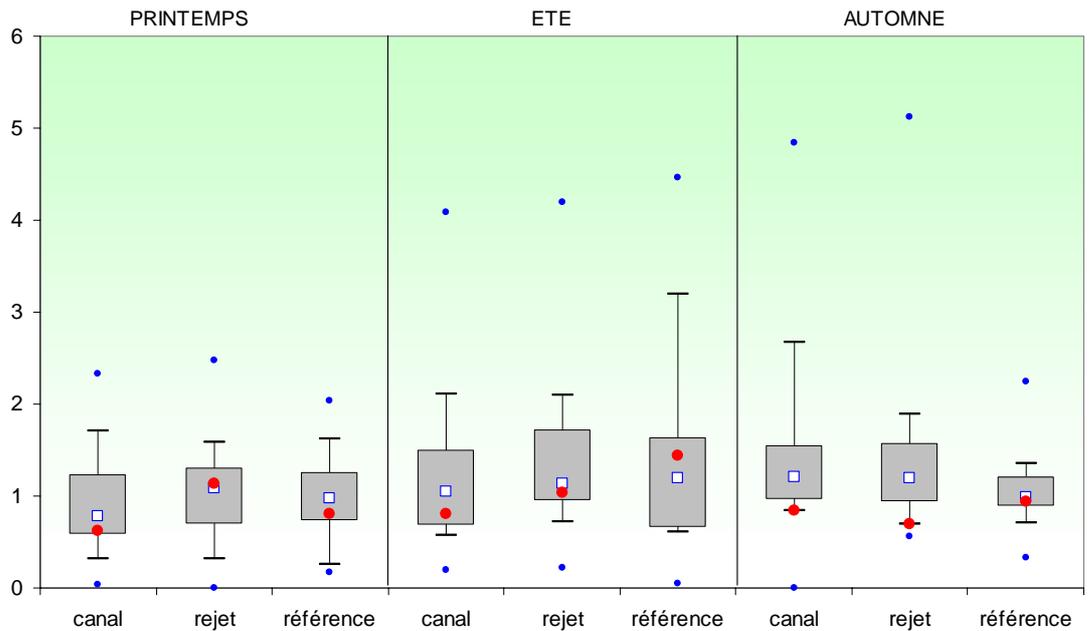


Figure 3.33 : Évolution de la chlorophylle de 1987 à 2007

## 3.3.2.1.3 Approche statistique

Les tests statistiques présentés dans le tableau 3.10 confirment les tendances pluriannuelles déjà mises en évidence dans la figure 3.33. Il faut noter essentiellement la différence significative observée en automne entre le point *référence* et les deux autres points.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTE	AUTOMNE
CANAL / REJET	<b>0,014</b>	<b>0,001</b>	0,613
REFERENCE / REJET	0,360	0,543	<b>0,007</b>
CANAL / REFERENCE	0,365	0,189	<b>0,016</b>

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

Tableau 3.10 : « *p-value* » des tests statistiques sur la chlorophylle

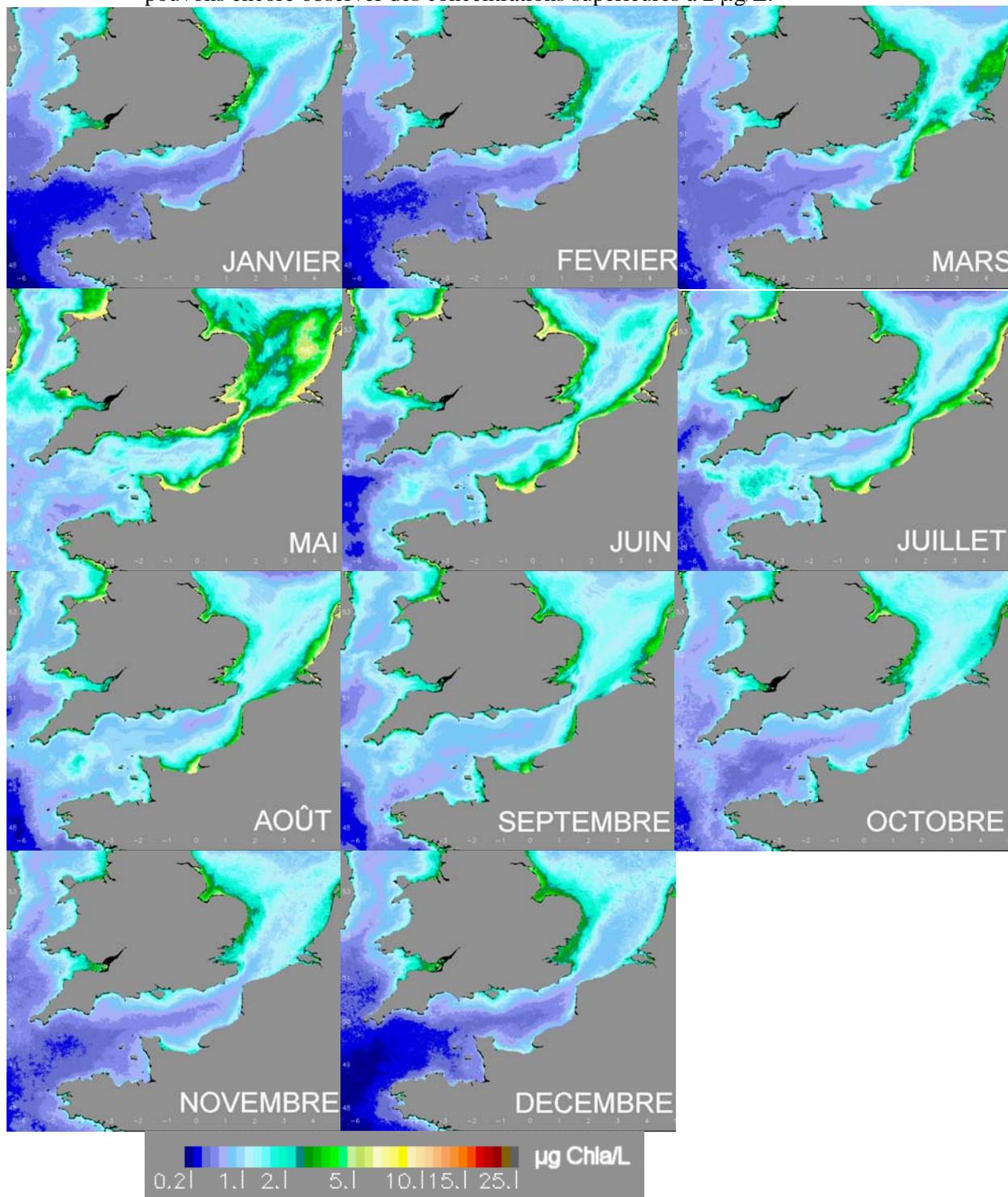
## 3.3.2.1.4 Approche par imagerie satellitaire

La climatologie de la chlorophylle *a* obtenue par les cameras SeaWiFS et MODIS nous permet de suivre l'évolution mensuelle des développements phytoplanctoniques en Manche. Ces images affichent, pour chaque pixel, la moyenne des valeurs obtenues entre 1998 et 2006, donc, 9 ans de suivi, ce qui permet de minimiser l'effet de la couverture nuageuse annuelle (figure 3.34).

Les mois de janvier et de février présentent les plus faibles concentrations en chlorophylle. Seul un faible développement en baie de Somme, au mois de février, fait la différence avec l'image de janvier. Le mois de mars présente un début d'activité en baie de Seine et un renforcement en baie de Somme, qui lui, s'étale de part et d'autre de la frontière belge. La côte ouest du Cotentin présente un faible accroissement de chlorophylle entre Granville, les îles anglo-normandes et Barneville. Au mois d'avril se poursuit l'augmentation des concentrations ainsi que leur développement spatial. En baie de Seine les plus fortes concentrations se situent en baie de Vays 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 touchée par ces développements (voir le rapport annuel de surveillance écologique et halieutique de Paluel 2006). L'ouest Cotentin est entièrement concerné par la hausse des concentrations en chlorophylle. En mai, toute la zone côtière est touchée par les plus fortes concentrations annuelles. L'ensemble des baies de Seine et de Somme est touché et des concentrations supérieures à 2 µg/L sont observées plus au large. De Granville à la pointe de Jobourg les valeurs de chlorophylle commencent déjà à diminuer lentement.

De Dunkerque à Cherbourg, la situation observée en juillet est similaire à celle du mois de mai. 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 situées 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 juillet au milieu de la Manche occidentale, est maintenant bien développé. C'est dans cette région que chaque année, suite à la stratification de la masse d'eau, des 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 et seul sur la côte orientale de l'Angleterre et au fond des grandes baies comme celle de la Tamise, nous pouvons encore observer des concentrations supérieures à 2  $\mu\text{g/L}$ .



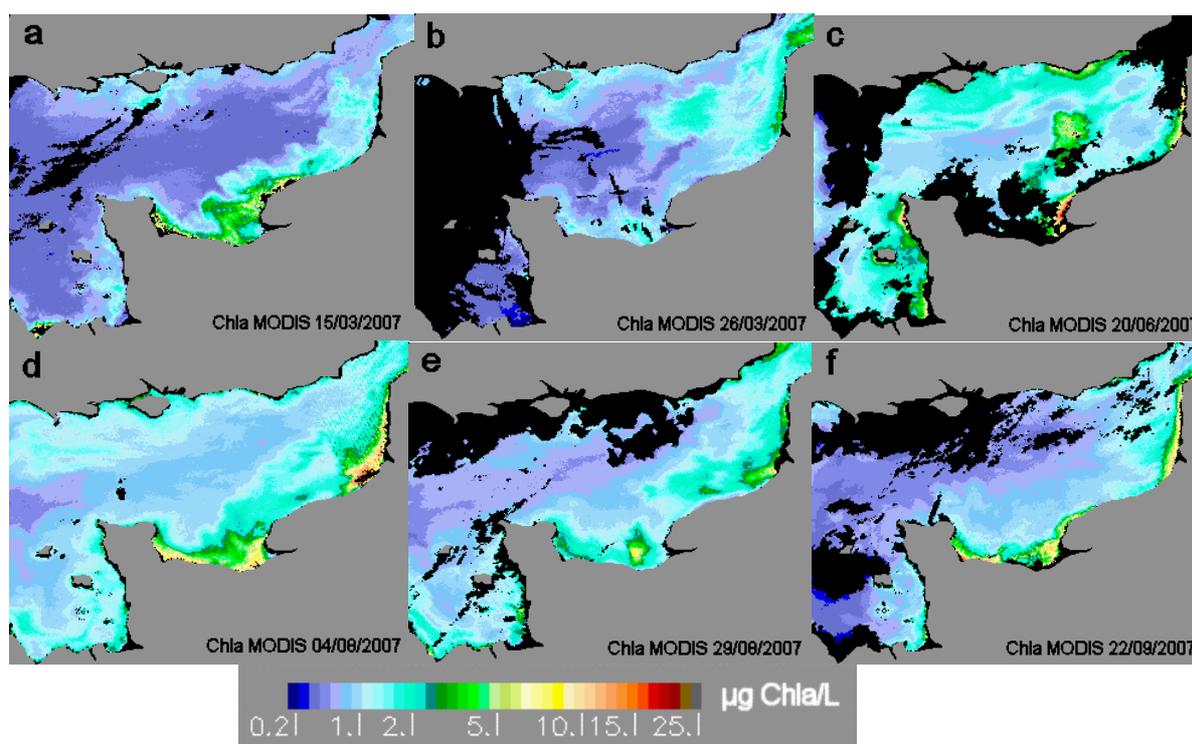


Figure 3.35 : Série d'images 2007 obtenues par la caméra MODIS et traitées avec l'algorithme Ifremer pour obtenir les concentrations en chlorophylle (Ifremer)

Si nous comparons les images obtenues en 2007 par rapport à la climatologie 1998-2006, nous constatons que les mois de janvier et février se situent dans la moyenne pluriannuelle. Autour de la mi mars, nous observons un plus fort développement que celui indiqué dans la climatologie (figure 3.35 a) ; mis en évidence par une extension du panache de la Seine vers le milieu de la baie de Seine et par une remontée vers le nord est près des côtes, au-delà de Saint Valéry en Caux. Aucune efflorescence marquée n'est observée en baie de Somme avant la fin mars (figure 3.35 b) ; au même moment, la forte activité des premiers quinze jours en baie de Seine est résorbée. Les eaux du Cotentin occidental montrent une forte diminution de la concentration en chlorophylle également. C'est dans ce contexte de faible activité phytoplanctonique que s'est déroulée la campagne printanière du 26 mars.

Les mois d'avril et mai, malgré les fortes couvertures nuageuses présentes sur la Manche, suivent le canevas observé sur la climatologie générale. C'est au mois de juin que les quelques images dont nous disposons montrent une diminution de la biomasse phytoplanctonique par rapport à la climatologie (figure 3.35 c). De Granville à Flamanville une faible poussée, très côtière, est perceptible dans les images. La deuxième campagne annuelle a été effectuée le 4 juillet.

Le mois de juillet ne semble pas présenter des anomalies significatives par rapport aux années précédentes. Le début du mois d'août présente cependant des anomalies positives par rapport à la climatologie (figures 3.35 d et e). Des plus fortes concentrations en chlorophylle sont observables sur les douze images exploitables du mois d'août.

Ces anomalies positives sont encore présentes au mois de septembre et plus particulièrement observées en baies de Seine et de Somme (figure 3.35 f). La côte

ouest du Cotentin présente cependant des plus faibles valeurs que la climatologie. La dernière campagne marine à Flamanville, qui a eu lieu le 20 septembre, a été réalisée dans un contexte moins productif que celui mis en évidence par la climatologie 1998-2006.

### 3.3.2.2. Production primaire

La nouvelle méthode d'évaluation de la production primaire potentielle (rETR), utilisée pour la première fois lors de ces trois campagnes 2007, nous permettra d'évaluer ce paramètre pour les trois campagnes annuelles ainsi que le gradient spatial observé entre les points d'échantillonnage. L'efficacité quantique maximale ( $Y_{max}$ ) renseigne sur l'état physiologique du peuplement.  $Y_{max} \geq 0,6$  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.

#### 3.3.2.2.1 Variations spatiales et saisonnières de la production primaire

Les valeurs mesurées en 2007 sont comprises entre 156 en juillet au point *canal* et 224 au point *référence* en septembre (figure 3.36).

En 2007, les plus faibles valeurs de production primaire potentielle sont observées en été, avec un faible gradient croissant côte-large. Les valeurs observées en mars ont été très proches de celles de juillet sur les points *rejet* et *référence*, et supérieure au point *canal*. Au mois de septembre, toutes les valeurs du rETR ont été sensiblement plus fortes que le reste de l'année.

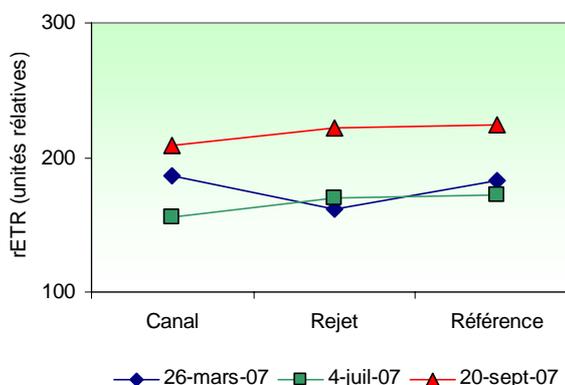


Figure 3.36 : Évolution de la production primaire potentielle (rETR) maximale lors des trois campagnes de surveillance de Flamanville en 2007

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

Les plus fortes valeurs de l'efficacité quantique ont été observées au mois de septembre sur les trois points d'échantillonnage, avec 0,54 à 0,56 (figure 3.37). Au mois de juillet, nous observons un gradient croissant côte-large. Ce gradient est inversé au mois de mars. La plus faible valeur mesurée a été de 0,43 au point référence en mars.

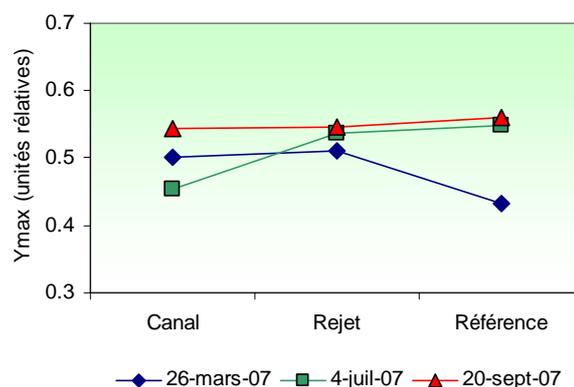


Figure 3.37 : Évolution de la production primaire potentielle (rETR) maximale lors des trois campagnes de surveillance de Flamanville en 2007

Les schémas de distributions spatio-temporelles des paramètres rETR et Ymax sont cohérents et suivent le même patron d'évolution. Nous constatons un état physiologique général des peuplements 'moyen' à 'bon' dans les eaux proches de Flamanville. Les valeurs de Ymax moyennes enregistrées peuvent être la conséquence des carences en nutriments, situation qui est fréquente dans les eaux à caractère océanique de l'ouest Cotentin.

Il est à remarquer que les valeurs de Ymax du point rejet ne sont pas systématiquement inférieures à celles des autres points d'échantillonnage. En effet, pendant longtemps il a été couramment admis que le passage des cellules phytoplanctoniques à l'intérieur des échangeurs produisait une mortalité massive des cellules. Ceci reste impossible à vérifier expérimentalement, les mesures de biomasse chlorophyllienne étant soumises à des variabilités spatiales (voir les rapports 2003 à 2006). Mais avec la mesure de Ymax, nous accédons à une véritable estimation de l'état physiologique des peuplements présents au point rejet.

Plusieurs années seront sans doute nécessaires pour qu'une tendance se dégage. Les résultats obtenus en 2007 ne semblent pas montrer que les peuplements phytoplanctoniques soient significativement affectés par l'augmentation rapide de la température de l'eau de mer aux environs de 30 °C, sur le bref laps de temps que dure leur passage dans l'échangeur. Les taux de mélange de 80 % à 90 % à quelques dizaines de mètres des bouches de rejet diminuent le signal de mortalité. Si des mortalités massives avaient eu lieu, elles seraient remarquées.

### 3.3.2.2.3 Approche statistique

Les tests réalisés sur les autres paramètres de ce compartiment ne sont pas applicables à celui-ci à cause du faible nombre de données encore disponibles. Nous avons cependant conduit des tests d'analyse de la variance (ANOVA) sur les résultats des triplicats du paramètre Ymax.

Le tableau 3.11 présente la visualisation des résultats des tests statistiques sur l'homogénéité de la valeur Ymax par campagne. Pour la campagne de septembre, les croix se trouvent sur la même colonne, donc aucune différence significative n'est 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.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL	X	X	X
REJET	X	X	X
RÉFÉRENCE SURFACE	X	X	X
REFERENCE MI-PROFONDEUR	X	X	X
Probabilité associé <i>p</i>	<b>0,001</b>	<b>0,007</b>	0,245

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

Tableau 3.11 : homogénéité des groupes et probabilité associée *p* des tests statistiques sur *Ymax* (trois réplicats)

Lors des campagnes de mars et de juillet, les tests montrent des différences entre les valeurs. La position verticale des croix met en évidence les groupes de points qui sont homogènes. Ainsi, en été, seul la valeur du point *canal* a été différente de celles des autres points.

### 3.3.2.3. Microphytoplancton

#### 3.3.2.3.1. Variations spatiales et saisonnières du microphytoplancton

Les dénombrements microphytoplanctoniques effectués en 2007 sont présentés en figure 3.38. Ils sont exprimés en nombre de cellules par litre d'eau de mer. Les plus fortes abondances ont été observées sur le point *rejet* en septembre avec 175 800 cellules/L et les plus faibles au même point en mars avec 50 000 cellules/L. Les campagnes de mars et de juillet présentent de bien plus faibles abondances cellulaires que celles du mois de septembre, où nous enregistrons le plus fort gradient. Les valeurs du point *rejet* sont tantôt inférieures, tantôt supérieures à celles observées au point *canal*.

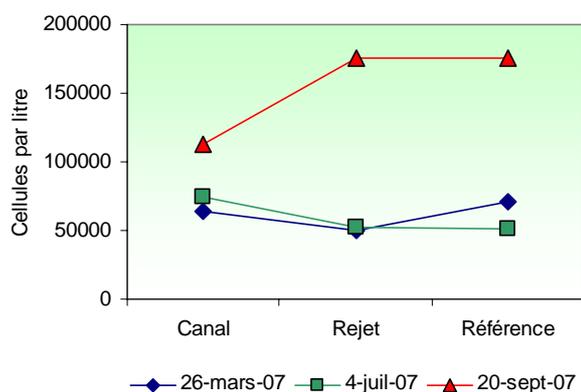


Figure 3.38 : Abondances microphytoplanctoniques pour l'année 2007 en nombre de cellules/L d'eau de mer

#### 3.3.2.3.1 Variations inter-annuelles

Au point référence, toutes les abondances cellulaires enregistrées en 2007 ont été supérieures à celles de 2006 (figure 3.39). Aux points canal et rejet, elles ont été inférieures, à l'exception de celle du point rejet en septembre.

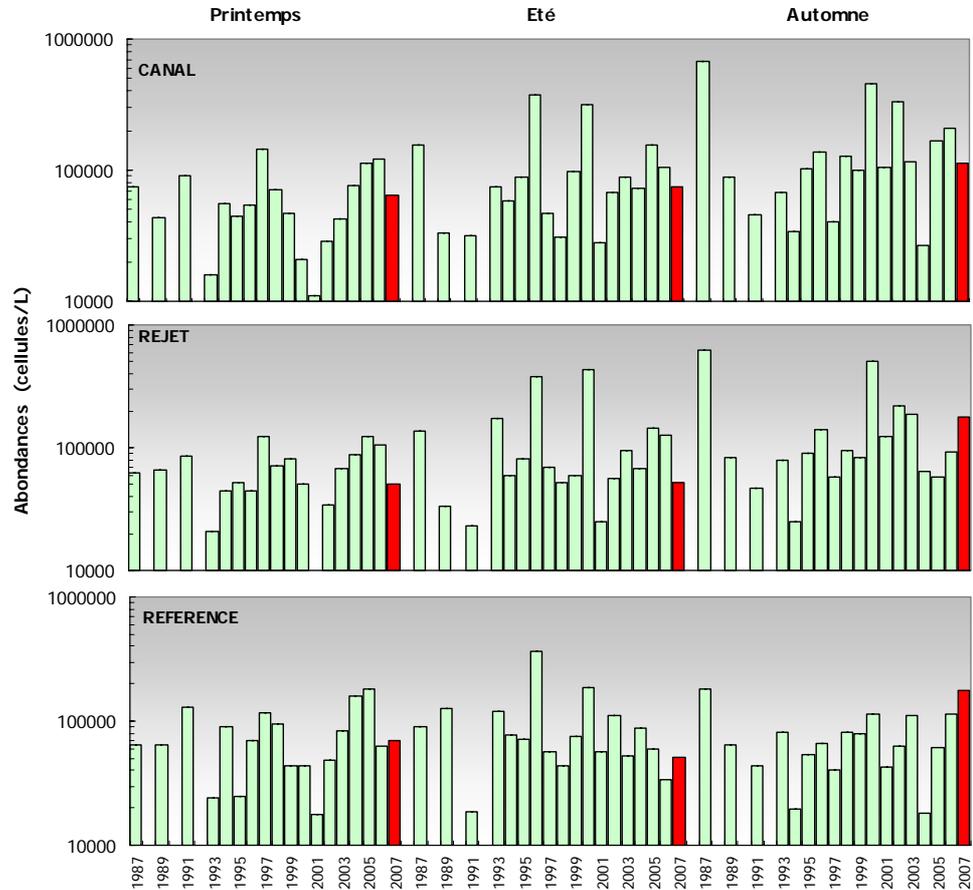


Figure 3.39 : Évolution de l'abondance phytoplanctonique de 1987 à 2007

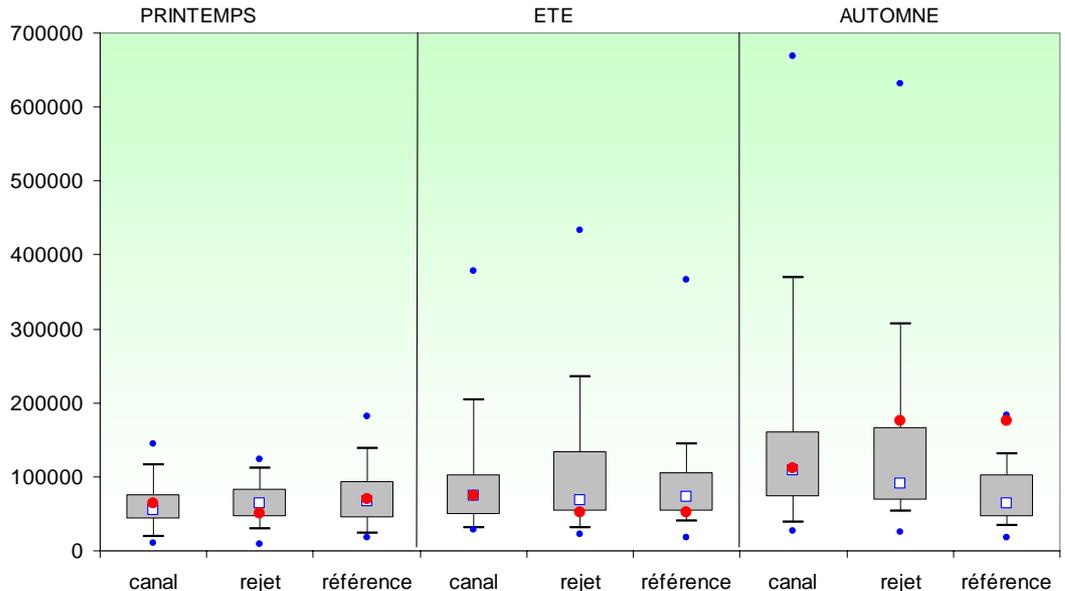


Figure 3.40 : Évolution de l'abondance phytoplanctonique de 1987 à 2007

Suivant le schéma déjà mis en évidence par la chlorophylle a, l'abondance phytoplanctonique présente les plus faibles valeurs et dispersions au printemps (figure

3.40). En juillet 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. Dans ces deux périodes, la variabilité peut donc être plus forte pour certaines années. Les valeurs observées en mars et juillet 2007 se situent proches des médianes. En septembre, seule la valeur du point canal se situe proche de la médiane, les deux autres points présentent des abondances supérieures. Au point référence, celle-ci est proche de la valeur maximale de la série pluriannuelle.

### 3.3.2.3.2 Approche statistique

Les tests statistiques du tableau 3.12 confirment, à l'exception du couple *canal-rejet*, l'existence d'une différence entre les points au mois de septembre.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,439	1,000	0,451
REFERENCE / REJET	0,120	0,369	<b>0,001</b>
CANAL / REFERENCE	0,072	0,356	<b>0,004</b>

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

Tableau 3.12 : « *p-value* » des tests statistiques sur l'abondance phytoplanctonique

### 3.3.2.4. Populations phytoplanctoniques observées en 2007

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

Il faut noter que certaines espèces ont été regroupées car difficilement identifiables par microscopie optique. D'autres ont été identifiées au niveau du genre ou de la classe algale. La fraction microphytoplanctonique en 2007 a été synthétisée en 4 grandes classes : Diatomées, Dinoflagellés, Euglénophycées et Silicoflagellés. Environ 60 taxons (taxons plus classes algales) ont été dénombrés. Les diatomées représentent plus de 87 % de la communauté microphytoplanctonique, ce qui fait d'elles, la classe dominante (tableau 3.13).

Campagne	Station	MICROPHYTOPLANCTON					TOTAL	Dinoflagellés %	Diatomées %
		diatomées	dinoflagellés	euglènes	silicoflagellés	autres			
IGA 2007-1	canal	60400	3000	200	400	400	64400	5	94
IGA 2007-1	rejet	47800	1800	200	200	0	50000	4	96
IGA 2007-1	ref surf	68200	2000	0	200	0	70400	3	97
IGA 2007-1	ref 1/2 prof.	38400	1000	0	400	0	39800	3	96
IGA 2007-2	canal	72900	600	600	0	0	74100	1	98
IGA 2007-2	rejet	46600	4300	1100	0	0	52000	8	90
IGA 2007-2	ref surf	44700	4700	1800	200	0	51400	9	87
IGA 2007-2	ref 1/2 prof.	50300	1200	1200	300	0	53000	2	95
IGA 2007-3	canal	106000	5000	1400	0	0	112400	4	94
IGA 2007-3	rejet	163500	7700	1400	0	3200	175800	4	93
IGA 2007-3	ref surf	162600	7700	3600	1400	0	175300	4	93
IGA 2007-3	ref 1/2 prof.	130500	9500	2300	0	500	142800	7	91

Tableau 3.13 : Abondances des principales classes algales (cellules/L) pour l'année 2007

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 46 500 cellules/L au point *référence* en mars et 460 800 cellules/L au même point en juillet. Ceci donne la mesure de l'importance de la fraction nanophytoplanctonique en terme d'abondance.

Les principales espèces dénombrées en 2007 ont été les suivantes :

Mars 2007 : comme lors des années précédentes, les colonies de diatomées des genres *Skeletonema* et *Thalassiosira* ont représenté entre 54 % et 77 % des espèces microphytoplanctoniques (tableau 3.14 et figure 3.41). *Skeletonema costatum*, à elle seule, présente des dominances de 35 % et 68 % respectivement aux point *référence* en surface et à mi-profondeur ; tandis que les dominances des points *canal* et *rejet* sont de 65 % et 45 %. Le genre *Thalassiosira*, présente des dominances de 4 % à 19 %. *T. levanderii* et *T. rotula* étant les espèces les plus représentées de ce genre. Le genre *Plagiogramma*, observé uniquement au point *référence* avec une dominance maximale de 17 % en 2006, est présent avec des valeurs de 8 % à 23 % cette année. *Chaetoceros sp.* présente un gradient croissant côte-large avec des valeurs allant de 5 % à 8 %. *Paralia marina*, avec le même gradient, varie entre 0 % et 10 %. Le genre *Nitzschia* est faiblement représenté avec des valeurs de 2 % et 4 % des diatomées sur l'ensemble des points.

Pendant cette campagne de mars, les dinoflagellés ont représenté au mieux 5 % de l'abondance microphytoplanctonique totale (point *canal*). Les genres les plus observés ont été *Gymnodinium*, *Gyrodinium* et *Heterocapsa*.

Les Euglènes sont présentes dans les eaux des points *canal* et *rejet*, avec des abondances de 200 cellules/L, tandis que les silicoflagellés (Dictyochales) sont repartis sur l'ensemble des points d'échantillonnage avec des abondances de 200 à 400 cellules/L.

La flore nanophytoplanctonique représentée par les cryptophycées, présente un gradient décroissant côte-large et atteint une abondance maximale de 96 200 cellules/L au point *canal*.

Campagne	Station	D I A T O M E E S								Cumul %
		RHIZ	NITZ	CHAE	THAL	SKEL	LEPT	GUIN	PSNZ	
IGA 2007-1	canal	0	4	5	12	65	0	0	0	86
IGA 2007-1	rejet	1	2	6	9	45	0	0	2	65
IGA 2007-1	ref surf	0	4	8	19	35	0	0	0	66
IGA 2007-1	ref 1/2 prof.	0	3	6	4	68	0	0	0	81
IGA 2007-2	canal	34	3	16	0	3	4	0	37	97
IGA 2007-2	rejet	49	1	11	3	3	0	3	17	87
IGA 2007-2	ref surf	29	11	16	6	22	0	2	6	92
IGA 2007-2	ref 1/2 prof.	54	0	14	0	2	0	11	5	86
IGA 2007-3	canal	24	22	17	12	16	1	0	3	95
IGA 2007-3	rejet	22	17	30	13	12	0	0	5	99
IGA 2007-3	ref surf	12	13	17	14	29	0	1	5	91
IGA 2007-3	ref 1/2 prof.	19	13	10	21	22	3	0	7	95

Tableau 3.14 : Abondances des principaux genres de diatomées pour l'année 2007

juillet 2007 : Comme chaque été, le genre le plus représenté parmi les diatomées est le genre *Rhizosolenia* avec des dominances comprises entre 29 % et 54 %. Ce genre est essentiellement représenté par l'espèce *Rhizosolenia delicatula* qui à elle seule présente des dominances chez les diatomées de 17 % à 39 %. La littérature scientifique signale le développement de *Rhizosolenia delicatula* tous les ans sur les côtes Atlantiques et de la Manche (Klein et Sournia, 1987). Sont également présentes les espèces *R. fragilissima* et *R. setigera*. La dominance de *Chaetoceros sp.* a varié entre 11 % (*rejet*) et 16 % (*canal* et *référence*), et celles du genre *Nitzschia*, de 0 % à 11 %. Le genre *Pseudo-Nitzschia* est présent avec un gradient de dominance décroissant côte-large et des valeurs de 37 % à 5 %. *Skeletonema costatum*, encore présente dans les eaux proches de la centrale de Flamanville, est observée avec des dominances de 2 % à 22 %. Le genre *Thalassiosira*, faiblement présent en été, atteint une dominance maximale de 6 % au point *référence* en surface.

Les dinoflagellés présentent un maximum de 9 % de l'abondance microphytoplanctonique au point *référence* avec 4 700 cellules/L. Les genres les plus rencontrés ont été *Prorocentrum*, *Heterocapsa*, *Gymnodinium* et *Gyrodinium*.

Les Euglènes ont été fortement représentées avec des dominances qui ont atteint 4 % de l'abondance microphytoplanctonique totale au point *référence* de surface. L'abondance maximale de cryptophycées a été observée au point *référence* avec une valeur de 460 800 cellules/L.

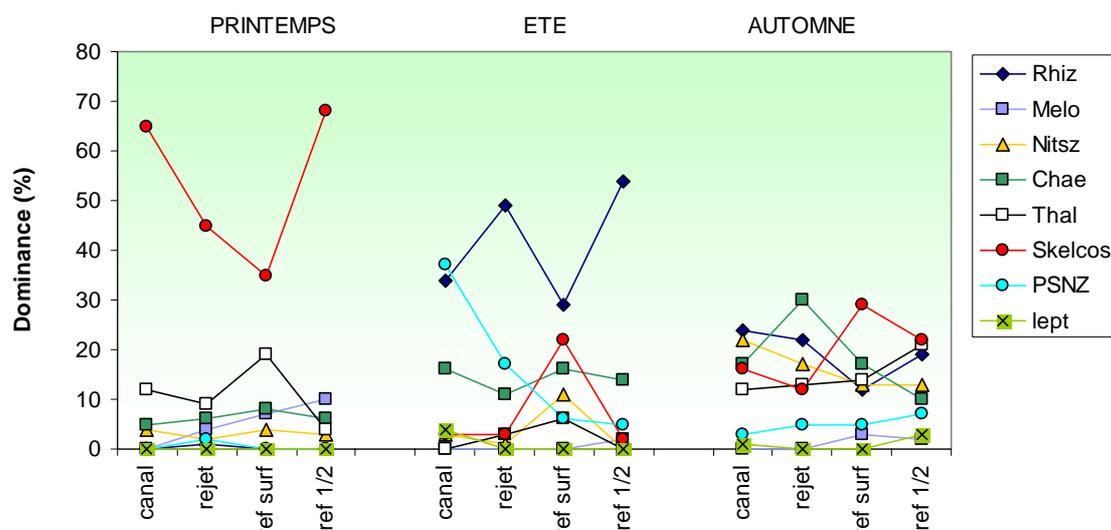


Figure 3.41 : Distribution des abondances en diatomées pour l'année 2007

Septembre 2007 : chez les diatomées, nous observons des dominances assez régulièrement distribuées sur les taxons *Chaetoceros*, *Skeletonema*, *Rhizosolenia*, *Nitzschia* et *Thalassiosira*. L'ensemble de ces cinq taxons représente entre 80 % et 94 % de la dominance des diatomées. Les dominances du genre *Pseudo-Nitzschia* atteignent des valeurs de 3 % à 7 %, avec un gradient croissant côte-large. Les espèces les plus représentatives des genres *Rhizosolenia* et *Thalassiosira* ont été *R. delicatula* et *T. levanderii*.

Les dinoflagellés atteignent au mois de septembre, les plus fortes abondances absolues, avec des valeurs qui varient de 5 000 à 9 500 cellules/L. Cependant, les plus fortes abondances microphytoplanctoniques font que cette classe algale ne présente que des dominances comprises entre 4 % et 7 %. La plus forte dominance de dinoflagellés a été observée sur le point *référence* à mi-profondeur avec 7 % (9 500 cellules/L). Les genres les plus présents en cette fin d'été ont été *Gymnodinium*, *Prorocentrum*, *Heterocapsa* et *Scrippsiella*.

Les euglènes présentent également les plus fortes abondances de l'année, avec 3 600 cellules/L au point *référence*. Les silicoflagellés, avec un maximum de 300 cellules/L sont observés sur les deux niveaux du point *référence*.

L'indice de diversité  $H'$  de Shannon (Scherrer, 1984) permet d'obtenir une caractérisation de la diversité du peuplement phytoplanctonique. Plus sa valeur est faible, plus la diversité l'est également et le peuplement est pauvre. La figure 3.42 représente l'évolution de cet indice pour l'ensemble des campagnes menées en 2007.

Dans les zones côtières de la Manche et de l'Atlantique, les peuplements sont majoritairement composés de Diatomées. Ces diatomées, constitutives des efflorescences de printemps ont une stratégie du type *r*, caractérisée par des taux de croissance élevés et un comportement écologique « opportuniste » (KILHAM et KILHAM, 1980). En été et en début d'automne, les peuplements sont plus diversifiés, avec des populations adoptant une stratégie du type *k* avec des taux de croissance bas

et une meilleure adaptation à l'utilisation des faibles concentrations en nutriments. C'est le cas particulièrement des petites cellules de Diatomées et des Dinoflagellés.

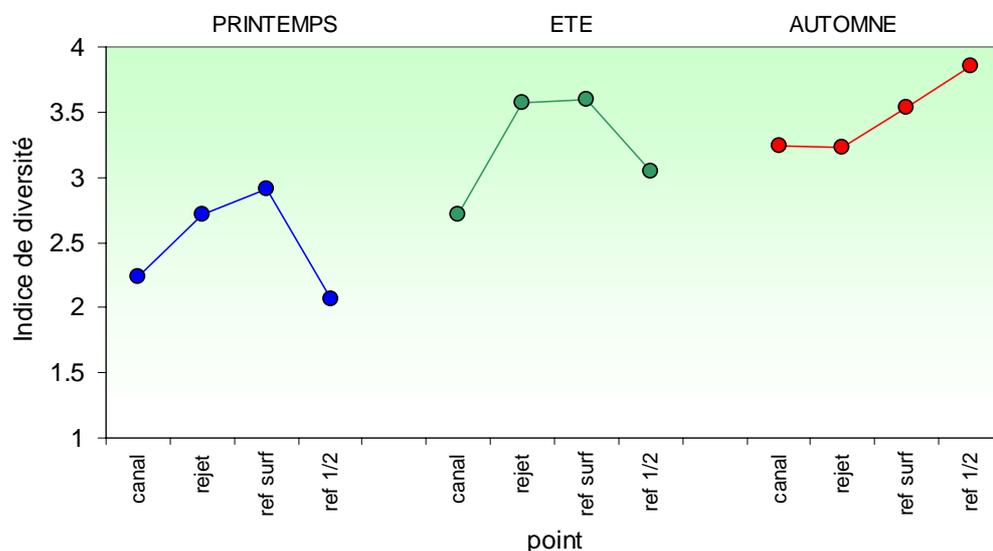


Figure 3.42 : Distribution de l'indice de diversité de Shannon pour l'année 2007

Nous observons une évolution de la diversité microphytoplanctonique de type saisonnier. Le printemps présente les plus faibles valeurs. Lors des trois campagnes, nous observons un gradient croissant côte-large. Une forte chute de la diversité est observée au point *référence* à mi-profondeur en mars et juillet.

### 3.3.3. Comparaison des résultats obtenus aux points canal et rejet

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

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

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

En utilisant les valeurs mesurées en 2007 pour les trois paramètres précités, les déficits obtenus sont présentés dans le tableau 3.15. Une valeur positive exprime un déficit au point *rejet* par rapport au point canal.

(%)	<i>Chlorophylle a</i>	<i>Production primaire</i>	<i>microphytoplancton</i>
26 MARS	-82	13	22
4 JUILLET	-30	-9	30
20 SEPTEMBRE	18	19	-57

Tableau 3.15 : Déficits des trois paramètres étudiés entre les points canal et rejet

Pour l'ensemble des campagnes, les paramètres suivis ont montré la moitié du temps des valeurs inférieures à la sortie du rejet par rapport au point canal. Ces valeurs inférieures sont de 9 % pour la production primaire en juillet et jusqu'à 82 % pour la chlorophylle en mars.

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

### 3.3.4. Conclusion

Dans un contexte climatique où la température de l'eau a été haute en hiver et faible en été, la biomasse chlorophyllienne présente des concentrations inférieures à 1,5 µg/L pour l'ensemble des points et des campagnes. Bien que faibles, ces valeurs sont cependant proches des médianes pluriannuelles en mars et juillet, mais inférieures pour le mois de septembre. Cette situation est cohérente avec l'évolution de la chlorophylle observée par les images satellite en 2007.

Pour la première fois nous avons approché la production primaire potentielle par la mesure de la fluorescence *in vivo* au moyen d'un Pulse Amplitude Modulated (PAM). Les valeurs de rETR observées en mars et juillet sont inférieures à 200, tandis qu'au mois de septembre elles montent jusqu'à 224. Ce même dispositif permet en outre, d'accéder à l'état physiologique du peuplement par la mesure de Ymax. Les valeurs 2007, comprises entre 0,43 et 0,54, mettent en évidence un bon état général de ces peuplements. L'évolution des paramètres Ymax et rETR est similaire dans le temps et dans l'espace.

Les plus fortes abondances cellulaires, observées au mois de septembre (supérieures à 100 000 cellules/L), se situent au dessus des médianes pluriannuelles pour les points *rejet* et *référence*. Aux mois de mars et juillet, elles sont restées en dessous des médianes, avec des valeurs inférieures à 100 000 cellules/L.

Les dénombrements microphytoplanctoniques sur le site de Flamanville montrent la régularité du phénomène au cours duquel la population de la période *hivernale*, dominée par *Skeletonema costatum* est remplacée en été par une population constituée pour l'essentiel de diatomées du genre *Rhizosolenia*. Cette poussée estivale du genre *Rhizosolenia*, majoritairement représenté par l'espèce *R. delicatula* est classique dans les eaux atlantiques. Le mois de juillet est également caractérisé par une forte dominance du genre *Pseudo-Nitzschia* au point *canal* (37 %) et la présence de *S. costatum* au point *référence* à mi profondeur (22 %). La présence de cette espèce hivernale en juillet peut s'expliquer par les faibles températures estivales. Au mois de septembre nous observons la plus forte diversité, avec partage de la dominance par les genres *Chaetoceros*, *Skeletonema*, *Nitzschia*, *Thalassiosira* et *Rhizosolenia*. La diversité a présenté une évolution croissante sur les trois campagnes 2007.

Les dinoflagellés observés lors des trois campagnes annuelles n'ont pas dépassé 9 % de la dominance totale du microphytoplancton. Les abondances par espèce et par point ne présentent pas de variation pouvant mettre en cause l'activité de la centrale. Leur évolution dans le temps ne semble pas non plus être différente de celle des eaux de l'Atlantique.

Nous ne pouvons donc pas conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu, généré par l'activité de la centrale de Flamanville, à partir de l'étude des paramètres suivis dans le compartiment phytoplanctonique en 2007.

## 3.4. Zooplancton

Ce chapitre clôt l'étude du compartiment pélagique. Il 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.

### 3.4.1. Matériels et méthodes

En 2007, seulement deux campagnes de prélèvements ont pu être réalisées les 26 mars et 20 septembre. La campagne du 25 juin ayant du être annulée en raison des conditions météorologiques défavorables. Lors de chaque campagne, trois points sont étudiés :

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

Les échantillons zooplanctoniques sont collectés à l'aide d'un filet à plancton triple constitué de trois filets identiques de 0,25 m<sup>2</sup> de surface d'ouverture et de 200 µm de vide de maille. Les filets sont abaissés jusqu'à une profondeur donnée pour ensuite être ramenés verticalement à la surface à une vitesse de 1 m s<sup>-1</sup>. Un volucompteur est attaché à l'entrée de l'un des trois filets afin de connaître précisément le volume d'eau filtrée. Pour chaque point de prélèvement trois traits de filet à plancton triple sont effectués afin de collecter huit échantillons. Six de ces échantillons sont filtrés sur des soies et aussitôt congelés afin d'évaluer la biomasse sestonique (mesure du poids sec et composition en carbone et azote). Deux de ces échantillons sont formolés en vue du dénombrement des espèces animales.

#### 3.4.1.1. *Mesure de la biomasse sestonique*

Deux traits de filet à plancton triple sont effectués afin de récolter 6 échantillons au total qui seront filtrés immédiatement à bord sur des soies de 100 µm pré-pesées, congelées et transportées congelées au laboratoire. Selon la concentration des échantillons plusieurs réplicats peuvent être filtrés sur un même filtre. Ces échantillons seront ensuite séchés dans une étuve à 60 °C pendant 48 heures. Les soies comportant le plancton séché seront ensuite pesées et les poids secs ou biomasses du ston déduits. Le poids sec mesuré et le volume filtré permettront d'évaluer le poids sec (mg) par unité de volume (m<sup>3</sup>).

Les échantillons de poids sec sont par la suite broyés et rassemblés pour ne faire qu'une seule analyse 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>).

#### 3.4.1.2. *Analyse taxinomique du plancton*

Les deux échantillons récoltés sont regroupés et lavés 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). 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*: adultes, copépodites ; *Oikopleura dioica* ; nauplii de cirripèdes....) atteint un minimum de 100 individus. D'après Frontier (1972) 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.  $m^{-3}$ ).

La bibliographie utilisée pour l'identification des zooplanctontes est très variée et inclut notamment : les fiches d'identification du plancton CIEM - (1939 - 1986), Faune de France des copépodes pélagiques (Rose, 1933).

### 3.4.2. Résultats

Les résultats de l'année 2007 sur le site de Flamanville sont présentés dans le tableau 3.16.

	PARAMETRES	CANAL	REJET	RÉFÉRENCE
26 MARS	Poids sec ( $mg/m^3$ )	3,5	17,3	18
	Poids de carbone ( $mg/m^3$ )	0,88	3,54	5,02
	Poids d'azote ( $mg/m^3$ )	0,18	0,62	1,07
	Abondance holoplancton ( $N./10m^3$ )	1 562	2 222	1 450
	Abondance méroplancton ( $N./10m^3$ )	5 320	6 601	5 365
	Abondance zooplancton totale ( $N./10m^3$ )	6 883	8 823	6815
20 SEPTEMBRE	Poids sec ( $mg/m^3$ )	20,1	15,4	14
	Poids de carbone ( $mg/m^3$ )	4,93	3,38	4,89
	Poids d'azote ( $mg/m^3$ )	0,96	0,61	1,23
	Abondance holoplancton ( $N./10m^3$ )	9 919	4 729	10 558
	Abondance méroplancton ( $N./10m^3$ )	928	734	459
	Abondance zooplancton totale ( $N./10m^3$ )	10 847	5 463	11 017

Tableau 3.16 : Récapitulatif des résultats pour 2007 pour l'étude du zooplancton

#### 3.4.2.1. 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.

## 3.4.2.1.1 Variations spatiales et temporelles en 2007

Au cours de l'année 2007, les valeurs de biomasse sestonique minimale et maximale ont été observées au point *canal*. Elles s'échelonnaient entre  $3,5 \text{ mg m}^{-3}$  le 26 mars et  $20,1 \text{ mg m}^{-3}$  le 20 septembre (figure 3.43).

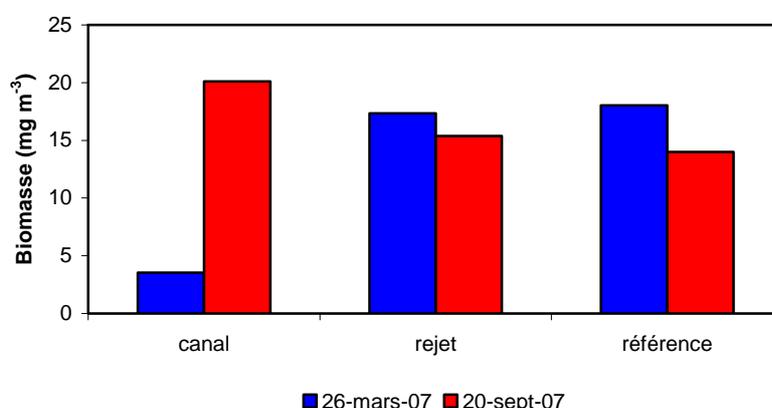


Figure 3.43 : Évolution de la biomasse sestonique (poids sec) au cours des deux campagnes de surveillance 2007

Au printemps la biomasse au point *canal* était 5 fois plus faible qu'aux points *rejet* et *référence*, à l'inverse en automne le point *canal* présentait la valeur la plus forte.

Contrairement au point *canal* les points *rejet* et *référence* présentaient des biomasses assez similaires au printemps (respectivement,  $17,3$  et  $18 \text{ mg m}^{-3}$ ) et à l'automne ( $15,4$  à  $14 \text{ mg m}^{-3}$ ).

La relation entre la biomasse et l'abondance zooplanctonique (cf. figure 3.44) n'est pas cohérente. En effet de nombreux échantillons étaient contaminés par du sable ou des déchets organiques végétaux. Cela est confirmé par les rapports C/N calculés d'après les teneurs en carbone et azote mesuré sur les échantillons et qui en 2007 ont fluctués entre 4 et 5,6 (figure 3.44). Ce rapport peut habituellement caractériser un compartiment tel que le zooplancton (rapport C/N ~ 4 ; Mauchline, 1998) ou le phytoplancton (C/N > 5). Néanmoins, en raison de la contamination potentielle liée à la forte turbidité du site (sable, fragment d'algues,...) une telle approche semble difficilement applicable pour les points de surveillance retenus dans cette étude.

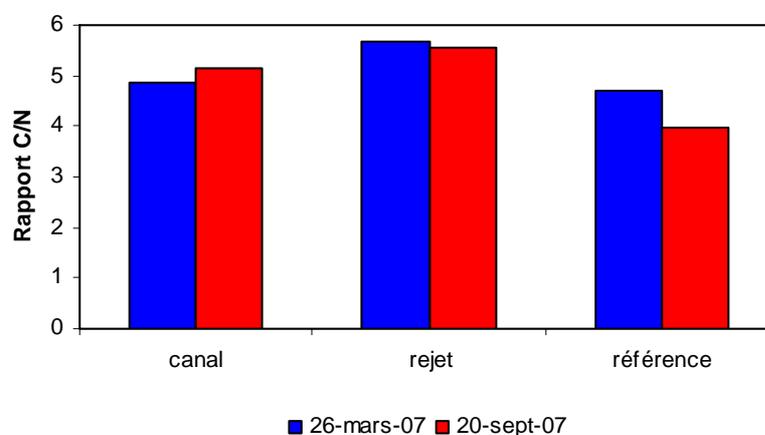


Figure 3.44 : Évolution du rapport C/N du seston au cours des deux campagnes de surveillance 2007

**3.4.2.1.2 Variations interannuelles**

Lors de la campagne de mars 2007, la biomasse observée au point *canal* était 7 fois plus faible qu'en 2006 à la même période (figure 3.45). Les valeurs observées aux points *rejet* et *référence* étaient elles plus élevées qu'en 2006. Pour le point *rejet* il s'agissait même de la valeur la plus forte observée sur l'ensemble de la série temporelle à ce point.

En septembre 2007, les biomasses observées aux trois points de prélèvement étaient similaires à celles mesurées depuis les six dernières années à la même période.

Les plus fortes dispersions de valeurs de la série 1987-2007 sont observées pour les campagnes estivales (figure 3.46). Une augmentation importante des valeurs est constatée entre le printemps et l'été (facteur d'augmentation : 2 à 2,5), suivi d'une diminution en automne pour atteindre des valeurs proches de celles observées au printemps.

Lors de la campagne de mars, la biomasse observée au point *canal* était similaire à la valeur de la médiane de la série temporelle à ce point pour la même période. Au contraire aux points *rejet* et *référence* les valeurs étaient 2 à 2,5 fois supérieures à la médiane.

En septembre, les biomasses sont proches des médianes observées sur la série temporelle à cette période, celle du point *canal* étant dans les valeurs hautes observées sur ce point.

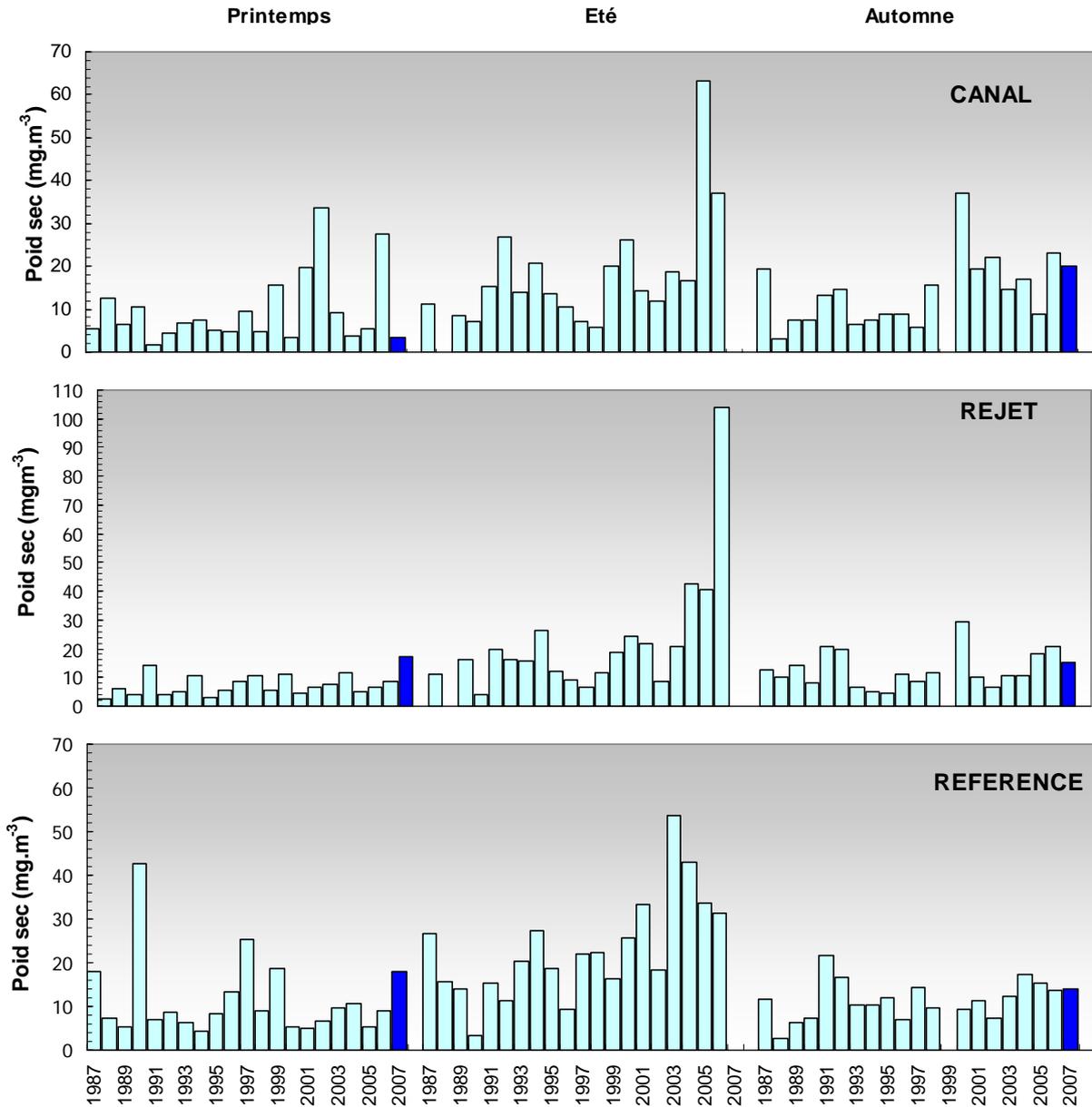


Figure 3.45 : Évolution de la biomasse sestonique (poids sec) de 1987 à 2007

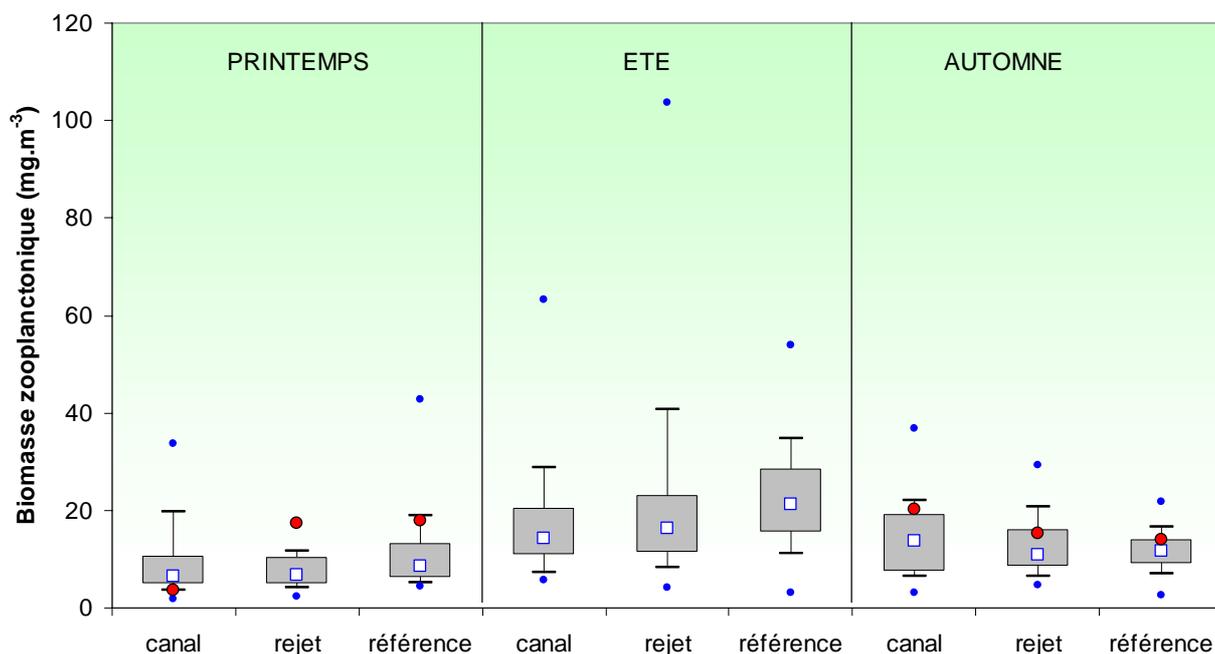


Figure 3.46 : Évolution de la biomasse sestonique (poids sec) de 1987 à 2007

#### 3.4.2.1.3 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  $\log(x+1)$  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 3.17.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
n	63	58	60
P	0,185	0,436	0,761

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

Tableau 3.17 : Probabilité associée  $p$  des tests statistiques sur la biomasse de 1987 à 2007

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

#### 3.4.2.2. 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 3.20 – permet d'étudier leur distribution spatio-temporelle voire rechercher une éventuelle influence de l'activité de la centrale sur ces populations.

##### 3.4.2.2.1 Variations spatiales et temporelles en 2007

Les dénombrements zooplanctoniques effectués en 2007 sont présentés sur la figure 3.47 ci-dessous. Ils sont exprimés en nombre d'individus par  $10\text{ m}^3$  d'eau de mer.

La plus forte abondance a été observée en septembre au point *référence* avec  $11\,017\text{ ind. }10\text{ m}^{-3}$ , et la plus faible, également en septembre, au point *rejet* avec  $5\,463\text{ ind. }10\text{ m}^{-3}$ .

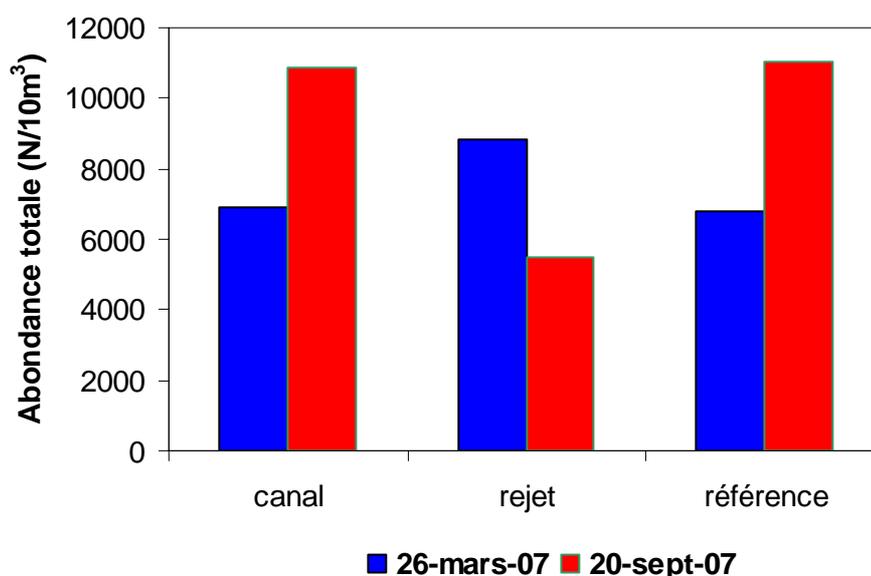


Figure 3.47 : Évolution de l'abondance zooplanctonique totale (ind./ $10\text{ m}^3$ ) au cours des deux campagnes de surveillance 2007

Les points canal et référence ont présenté la même évolution temporelle et des abondances similaires, plus faibles au printemps et plus fortes à l'automne. À l'inverse, au point *rejet* c'est au printemps que l'on a observé la plus forte abondance ( $8\,823\text{ ind. }10\text{ m}^{-3}$ ).

#### 3.4.2.2.2 Variations interannuelles

En 2007, les abondances printanière et automnale observées au point *canal* étaient plus élevées qu'en 2006, alors qu'elles étaient plus faibles aux points *rejet* et *référence* (figure 3.48).

Au point *canal*, bien que l'abondance observée au printemps soit une des plus élevées de la série temporelle à cette période, elle reste toutefois bien inférieure aux valeurs exceptionnelles de 2004 et 1997.

Au point *rejet*, la valeur d'abondance printanière reste élevée comme cela semble être la tendance depuis 2003. La valeur automnale est semblable à celles observées en 2002 et 2003.

Pour le point *référence* la valeur d'abondance du printemps 2007 est 8 fois plus faible qu'en 2006 qui était la valeur la plus forte de la série temporelle pour ce site. En automne, la valeur d'abondance était très similaire à celles observées depuis 2004.

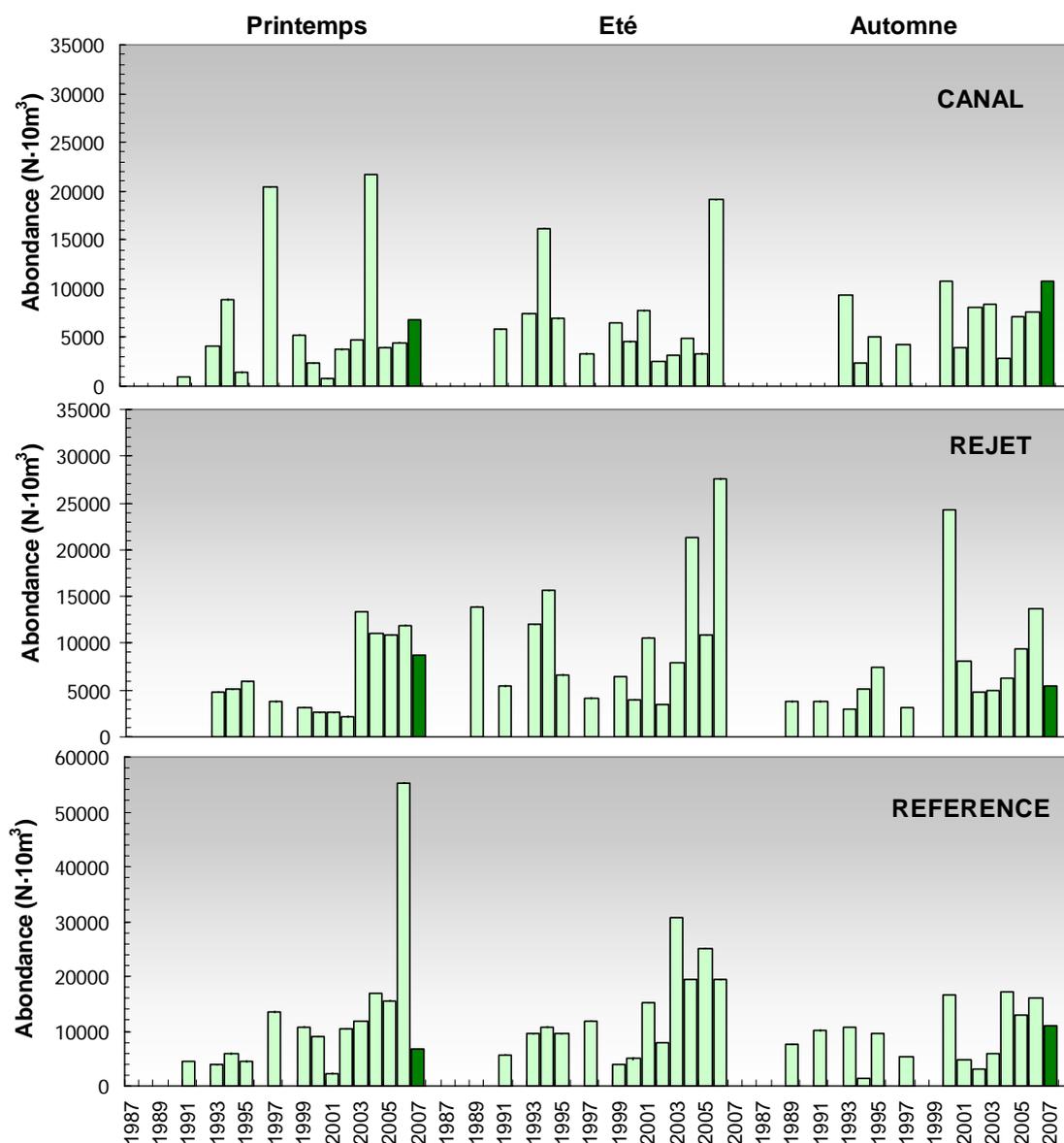


Figure 3.48 : Évolution de l'abondance zooplanctonique de 1991 à 2007

Les boîtes à moustaches (figure 3.49) confirment bien les observations du graphe précédent, à savoir qu'en 2007, les valeurs d'abondance zooplanctonique pour les points *rejet* et *référence* sont dans la moyenne des observations faites depuis 1991, alors que pour le point *canal* les abondances 2007 sont parmi les plus élevées de la série temporelle.

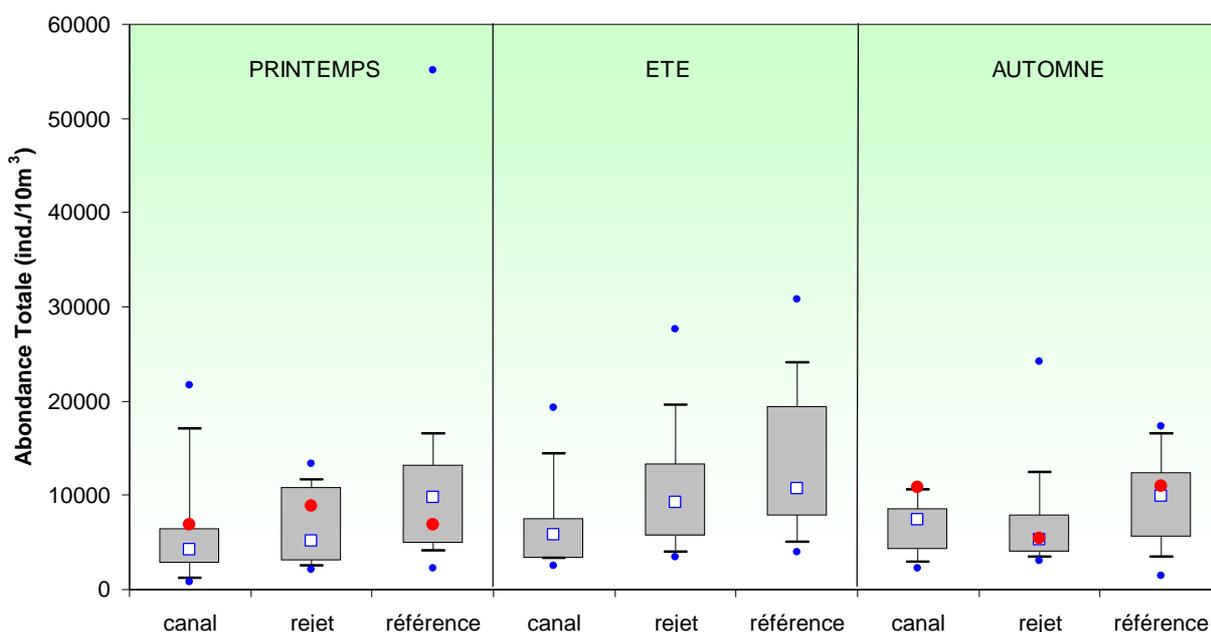


Figure 3.49 : Évolution de l'abondance zooplanctonique de 1991 à 2007

## 3.4.2.2.3 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  $\log(x+1)$  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 3.18.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTE	AUTOMNE
<i>n</i>	41	40	40
<i>p</i>	0,068	0,038	0,469

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

Tableau 3.18 : Probabilité associée *p* des tests statistiques sur les abondances de 1991 à 2007

Les résultats des tests indiquent que les abondances zooplanctoniques printanières et automnales ne sont pas significativement différentes d'un point à l'autre. Par contre, en été l'ANOVA montre qu'il existe une différence significative d'abondance selon les points de prélèvement. Une analyse post-hoc de comparaison multiple (test de Tuckey) montre que c'est la moyenne des abondances du point *canal* depuis 1991 qui diffère de manière significative avec celle du point *référence* en été.

Comme observé sur les figures 3.48 et 3.49, la station *canal* semble donc bien être caractérisée par des abondances zooplanctoniques estivales plus faibles que pour le point *référence*.

3.4.2.3. **Étude faunistique**

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

Certaines 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 deux campagnes 2007 (tableau 3.19).

		26 mars 2007						20 septembre 2007					
Abondance zooplancton (N.·10m <sup>-3</sup> )		Canal		Rejet		référence		Canal		Rejet		référence	
		N.10m <sup>-3</sup>	%	N.10m <sup>-3</sup>	%	N.10m <sup>-3</sup>	%	N.10m <sup>-3</sup>	%	N.10m <sup>-3</sup>	%	N.10m <sup>-3</sup>	%
holoplancton	total Cténares	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	total Chaetognathes	0	0	5	0	0	0	25	0	15	0	112	1
	total Cladocères	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	total Mysidacés	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	total Copépodes	574	40	1067	50	700	49	8573	87	4559	97	9891	95
	total Appendiculaires	863	60	1075	50	728	51	1254	13	147	3	442	4
	<b>total holoplancton</b>	<b>1443</b>	<b>21</b>	<b>2147</b>	<b>24</b>	<b>1428</b>	<b>21</b>	<b>9852</b>	<b>91</b>	<b>4721</b>	<b>86</b>	<b>10446</b>	<b>96</b>
meroplancton	total Cnidaires	120	2	55	1	17	0	17	2	0	0	6	1
	total Annélides	185	3	174	3	72	1	8	1	8	1	12	2
	total larves de Cirripèdes	4482	82	5706	86	4660	86	577	61	185	25	177	36
	Amphipodes	0	0	10	0	6	0	8	1	0	0	18	4
	Isopodes (larves microniscus)	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1	6	1
	Isopodes Gnathidae	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
	Euphausiacés	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	larves Caridés	5	0	30	0	22	0	8	1	31	4	29	6
	larves Thalassinidés	5	0	5	0	0	0	42	4	15	2	18	4
	larves Anomoures	5	0	0	0	0	0	67	7	178	24	41	8
	larves Brachyours	0	0	50	1	89	2	25	3	54	7	47	10
	larves de Mollusques	95	2	80	1	89	2	142	15	232	31	88	18
	Cyphonautes Bryozoaires	509	9	547	8	428	8	59	6	31	4	47	10
	larves Echinodermes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Téléostéens (Œufs)	35	1	10	0	6	0	0	0	0	0	0	0
	Téléostéens (Alevins et larves)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>total méroplancton</b>	<b>5440</b>	<b>79</b>	<b>6666</b>	<b>76</b>	<b>5388</b>	<b>79</b>	<b>953</b>	<b>9</b>	<b>742</b>	<b>14</b>	<b>489</b>	<b>4</b>	
<b>total zooplancton</b>	<b>6883</b>		<b>8813</b>		<b>6815</b>		<b>10805</b>		<b>5463</b>		<b>10935</b>		

Tableau 3.19 : Abondances et dominances de différents groupes du méroplancton et de l'holoplancton en 2007.

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 3.50).

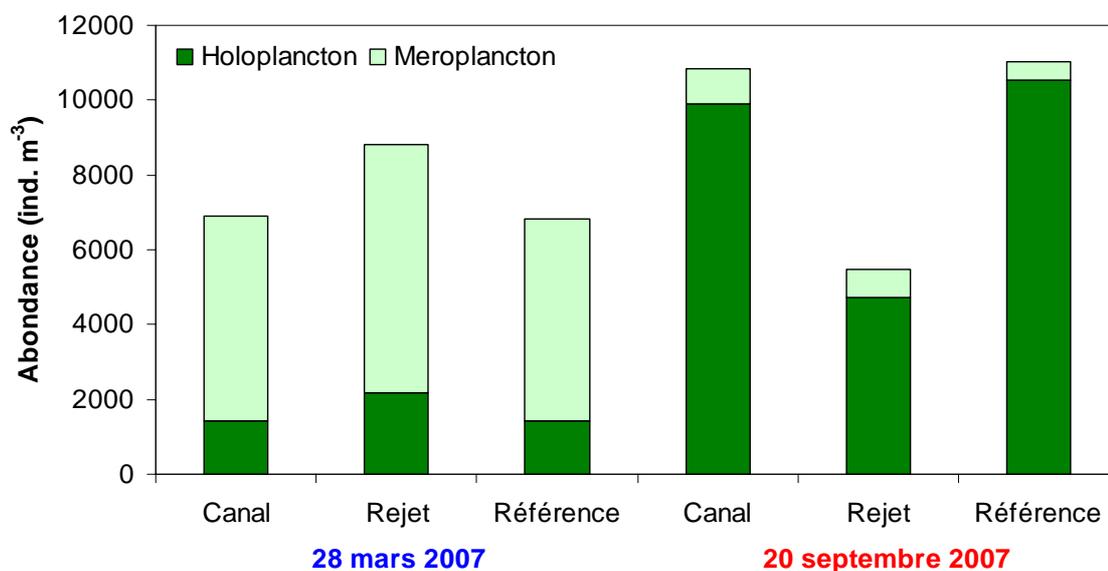


Figure 3.50 : Abondance de l'holoplancton et du méroplancton dans le zooplancton total en 2007

Au cours des deux campagnes de 2007 les proportions d'holoplancton et de méroplancton entre les points *canal*, *rejet* et *référence* étaient assez similaires. Ces proportions étaient par contre très différentes entre le printemps et l'automne.

Au printemps 2007, le méroplancton représentait environ 80 % du zooplancton total contre seulement 5 à 15 % en automne. Cette fraction était essentiellement composée de larves de cirripèdes au printemps (~ 85 %) et à l'automne (25 à 60 %).

L'holoplancton était quant à lui essentiellement représenté par les copépodes, en particulier en automne (> 87 %). Au printemps les appendiculaires représentaient également une part aussi importante de l'holoplancton que les copépodes (50 à 60 %).

#### 3.4.2.3.2 Variations spatio-temporelles des principaux taxons en 2007

##### L'holoplancton

- Les copépodes :

Les copépodes, qui constituent le taxon dominant de l'holoplancton, montrent la même évolution saisonnière que celui-ci (figure 3.51). Les plus faibles abondances ont été observées au printemps (entre 400 et 800 ind. 10 m<sup>-3</sup>) avec des valeurs jusqu'à 18 fois plus faibles qu'à l'automne (8 050 ind. m<sup>-3</sup> au point *canal*).

Au printemps, la moitié de la communauté des copépodes était composée de stades juvéniles (copépodites), de même à l'automne les adultes représentaient 60 à 50% de la communauté.

L'indice de diversité de Shannon consiste en une mesure de la diversité tenant compte de la richesse spécifique (nombre total d'espèces observées), mais aussi de la proportion représentée par chaque espèce au sein de la communauté. Au printemps c'est au point *rejet* que la diversité des copépodes était la plus forte, alors qu'à

l'automne on a observé une augmentation de la diversité des copépodes selon un gradient côte-large.

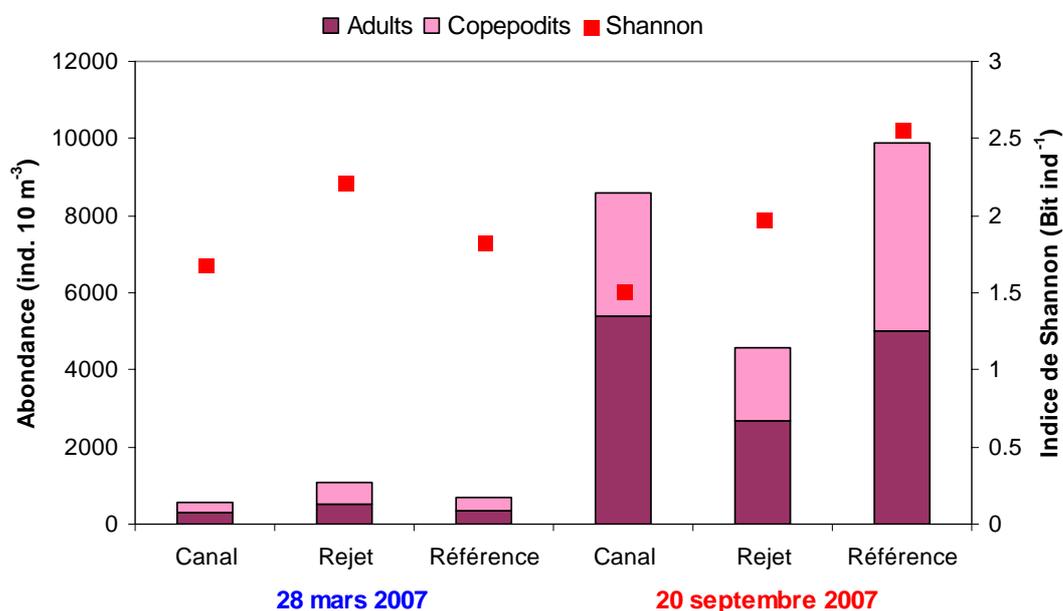


Figure 3.51 : Abondance des copépodes (adultes et copépodites) et diversité spécifique en 2007

### Temora longicornis

*Temora longicornis* est habituellement l'une des espèces les plus fréquentes sur le site de la centrale. Toutefois cette année, l'annulation de la campagne estivale ne nous a pas permis d'observer le maximum d'abondance de cette espèce qui se situe habituellement de mai à juin. La plus forte valeur d'abondance (167 ind. 10 m<sup>-3</sup>) a été observée au point *canal* lors de la campagne de septembre (figure 3.52). Au printemps cette espèce représentait entre 6 et 9 % de l'ensemble des copépodes, contre seulement 2% en automne. La proportion de copépodites par rapport aux adultes était forte lors des deux campagnes (entre 55 et 71 %).

### Pseudocalanus elongatus

Cette espèce était présente lors des deux campagnes et suit la même évolution saisonnière que *T. longicornis* avec un maximum de 454 ind. 10 m<sup>-3</sup> au point référence en septembre. Un gradient d'abondance croissant côte-large était bien marqué lors de la campagne automnale. Toutefois c'est au printemps que cette espèce caractérisait le groupe des copépodes (23 à 35%) avec l'espèce *Euterpina acutifrons*.

### Acartia clausi

Espèce estivale, *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 septembre. L'abondance maximale en 2007 était de 2 069 ind. 10 m<sup>-3</sup> au point *référence* au mois de septembre (30 % des copépodes).

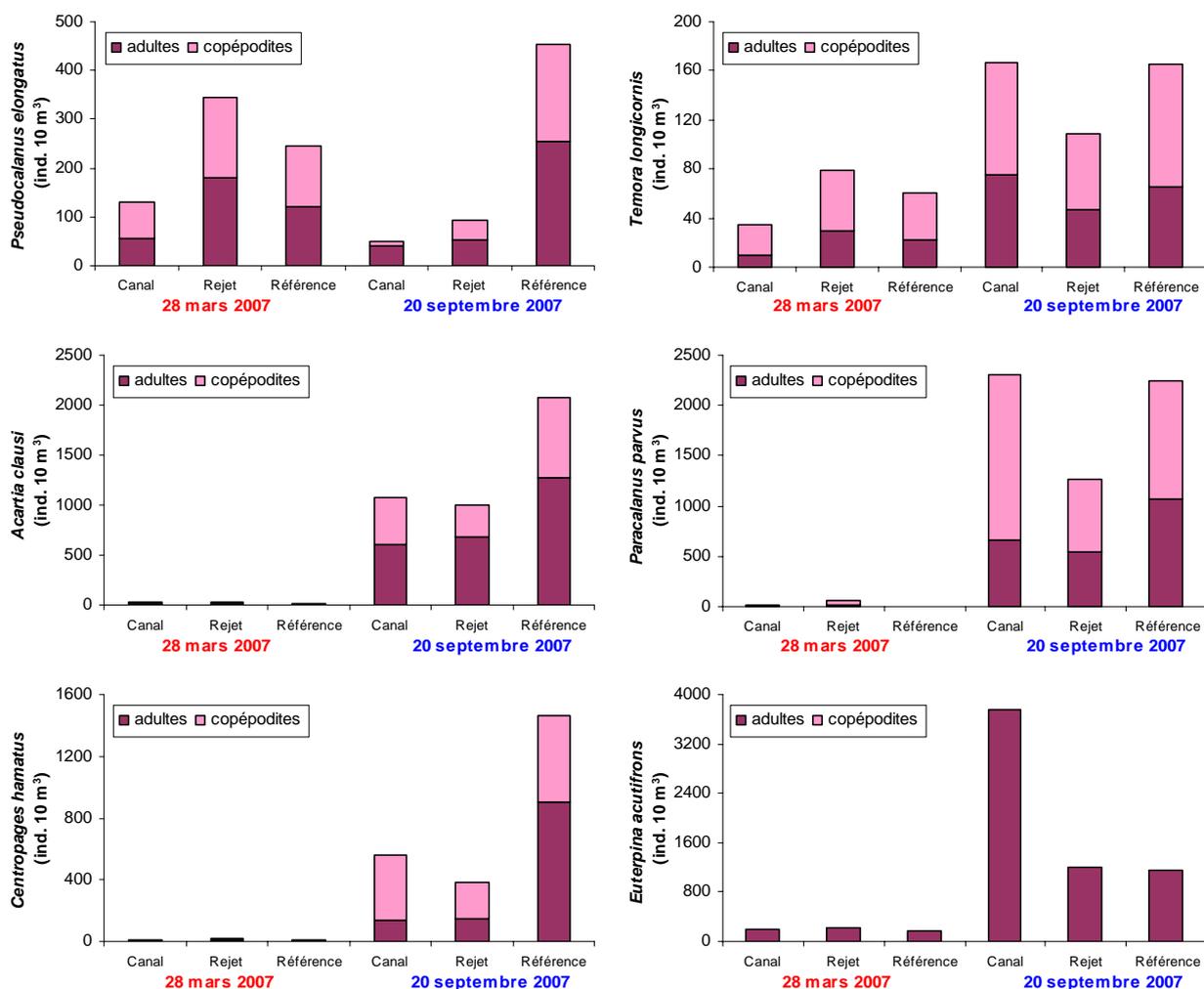


Figure 3.52 : Abondances des principaux copépodes en 2007

### *Paracalanus parvus*

Cette espèce était essentiellement présente en septembre (23 à 28 % des copépodes) avec un maximum de 2 300 ind. 10 m<sup>-3</sup> au point canal proche de celle du point référence. L'abondance était 1,8 fois plus faible au point rejet.

### *Centropages hamatus*

Egalement espèce estivale, *C. hamatus* était très peu présente en mars par rapport au mois de septembre. Le maximum d'abondance a été observé au point référence avec, comme pour *A. clausi*, un gradient croissant de la côte vers le large. Par contre la proportion de copépodites par rapport aux adultes était lui décroissant de la côte (75 %) vers le large (38 %).

### *Euterpina acutifrons*

Espèce caractérisant les communautés automnales de copépodes en milieu côtier, *E. acutifrons* présentait un maximum d'abondance au point canal en septembre (ind. 10 m<sup>-3</sup>), avec un fort gradient décroissant de la côte vers le large. 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 sont collectés dans la colonne d'eau (surtout des femelles) 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.

- Les autres espèces holoplanctoniques (figure 3.53)

Les appendiculaires, représentés par *Oikopleura dioica*, étaient présents lors des deux campagnes aux trois points de prélèvement. Au printemps leur abondance était comprise entre 728 et 1 075 ind.  $10\text{ m}^{-3}$ . En automne on a observé un fort gradient d'abondance avec une valeur maximale au point *canal* (1 254 ind.  $10\text{ m}^{-3}$ ) et des abondances 8 fois moins élevées au point *rejet* et 2 fois moins élevées au point *référence*.

Les chaetognathes, représentés par le genre *Sagitta*, étaient surtout présents en automne, notamment au point *référence* avec 112 ind.  $10\text{ m}^{-3}$ .

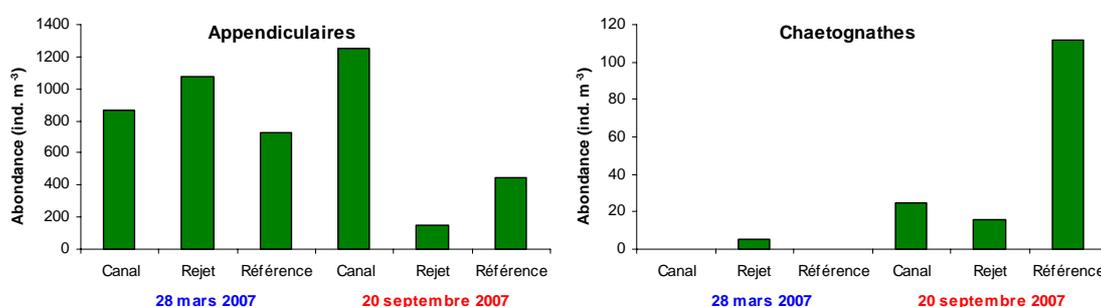


Figure 3.53 : Abondances des appendiculaires et des chaetognathes en 2007

### Le méroplancton

Les stades larvaires des espèces appartenant à différents embranchements ou classes ont été dénombrés au cours des deux campagnes (figure 3.54).

- Embranchement des cnidaires (hydrozoaires, méduses)
 

Ces petites méduses (moins de 1 cm), principalement représentées par le genre *Obelia*, étaient présentes surtout au printemps avec un gradient décroissant côte-large assez important (120 ind.  $10\text{ m}^{-3}$  au point *canal* et 17 ind.  $10\text{ m}^{-3}$  au point *référence*). Les cnidaires n'ont jamais représenté plus de 2% du méroplancton total.
- Embranchement des annélides
 

Ces larves sont essentiellement des larves nectochètes de spionidés, probablement de *Polydora ciliata* en mars. Cette espèce prolifère en perforant les roches calcaires de l'estran (et les huîtres) tout en amassant un tapis de vase sur le littoral. Un maximum d'abondance printanière a été observé pour les trois points avec des abondances comprises entre 185 et 72 ind.  $10\text{ m}^{-3}$ . Ces maximums représentaient cependant moins de 3% du méroplancton total.

En Automne les larves d'annélides étaient plus rarement observées dans les échantillons (< 12 ind.  $10\text{ m}^{-3}$ )

- **Embranchement des mollusques**  
Il s'agissait essentiellement de larves de gastéropodes. Au printemps, les abondances étaient assez similaires entre les trois points de prélèvement (entre 80 et 95 ind.  $10\text{m}^{-3}$ ). En automne, l'abondance était 2 à 3 fois plus forte au point *rejet* (232 ind.  $10\text{m}^{-3}$ ) par rapport au point *canal* et *référence*. Ces larves ont représenté jusqu'à 32 % du méroplancton en septembre.
- **Embranchement des bryozoaires**  
Les larves cyphonautes étaient très abondantes au printemps aux points canal et rejet (509 et 547 ind.  $10\text{m}^{-3}$ ) et représentaient environ 8 % du méroplancton total. En automne, les abondances étaient moins élevées (< 60 ind.  $10\text{m}^{-3}$ ).
- **Embranchement des arthropodes, classe des crustacés, ordre des amphipodes**  
Absents du point canal en mars et au point rejet en septembre, les amphipodes étaient assez peu abondants dans nos échantillons en 2007. L'abondance maximale était de 18 ind.  $10\text{m}^{-3}$  au point référence en automne.
- **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, sont émises en grande quantité et constituent un maillon important de la chaîne alimentaire.  
Les larves de cirripèdes étaient essentiellement printanières représentant alors 85 % du méroplancton total contre 60 à 25 % en automne. Le maximum d'abondance a été observé au point rejet en mars avec 5 706 ind.  $10\text{m}^{-3}$ .
- **Embranchement des arthropodes, classe des crustacés, ordre des décapodes**
  - Larves des caridés  
Au printemps et à l'automne, les abondances des larves de caridés étaient maximales aux points rejet et référence et assez similaires d'une saison à l'autre (entre 20 et 30 ind.  $10\text{m}^{-3}$ ). Les abondances minimales au point canal étaient inférieures à 8 ind.  $10\text{m}^{-3}$ .
  - Larves de thalassinidés  
Les larves de thalassinidés étaient plus abondantes au mois de septembre, avec maximum d'abondance pour le point canal de 42 ind.  $10\text{m}^{-3}$ .
  - Larves d'anomoures  
Comme pour les autres larves de décapodes, les abondances étaient plus importantes en automne qu'au printemps. Il s'agissait de l'espèce *Pisidia longicornis longicornis* (famille des Porcellanidés). Le maximum d'abondance a été observé au point rejet avec 178 ind.  $10\text{m}^{-3}$  ce qui représentait 24 % du méroplancton total.
  - Larves de brachyours (crabes)  
Contrairement aux autres larves de décapodes, les larves de brachyours étaient présentes dès le mois de mars (excepté au point canal). L'abondance maximale a été observée en mars au point référence (89 ind.  $10\text{m}^{-3}$ ). En automne l'abondance était comprise entre 25 ind.  $10\text{m}^{-3}$  au point canal et 54 ind.  $10\text{m}^{-3}$  au point rejet.

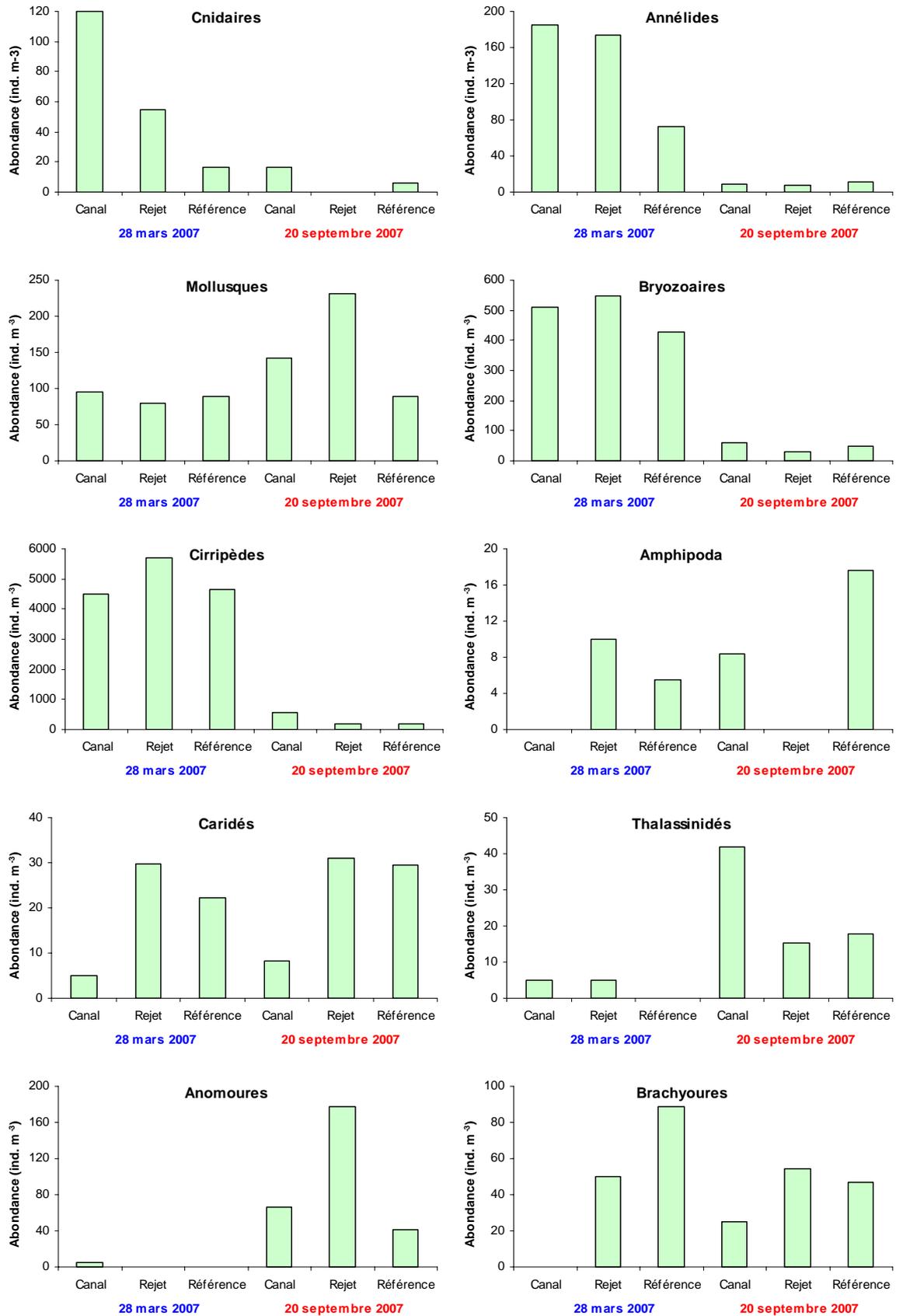


Figure 3.54 : Abondance des espèces méroplanctoniques en 2007

### 3.4.3. Conclusion

L'étude des biomasses sestoniques au printemps 2007 a permis d'enregistrer la valeur la plus élevée de la série temporelle au point *rejet*. En septembre 2007, les biomasses observées aux trois points de prélèvement étaient similaires à celles mesurées depuis les six dernières années à la même période.

Les plus fortes abondances zooplanctoniques (11 017 ind. 10 m<sup>-3</sup>) ont été enregistrées en septembre au point *référence* (au large). Les abondances zooplanctoniques 2007 pour les points *rejet* et *référence* étaient dans la moyenne des observations faites depuis 1991, alors que pour le point *canal*, les abondances 2007 étaient parmi les plus élevées de la série temporelle. Un gradient significatif d'abondance croissante vers le large est observé en été et disparaît en automne.

L'holoplancton est principalement dominé par les copépodes, entre 40 et 97 % lors des trois missions annuelles. Les copépodes dominants sont dans l'ordre : *Euterpina acutifrons*, *Pseudocalanus minutus*, *Acartia clausi*, *Centropages hamatus*, *Temora longicornis*, et *Paracalanus parvus*. Chacune de ces espèces respecte, pour ce que peut montrer cette analyse de trois campagnes réparties sur l'année, leur répartition saisonnière habituelle.

Au printemps 2007, la faune zooplanctonique a été massivement dominée par le méroplancton, essentiellement constitué de cirripèdes (larves de balanes) et de larves cyphonautes de bryozoaires. À cette période, les cirripèdes ont dominé sur tous les sites (> 80 %) alors que les cyphonautes représentaient environ 8% du méroplancton. Au mois de septembre, ce sont d'une part les cirripèdes, et d'autre part les larves de mollusques et de crabes qui ont présenté les plus fortes dominances du méroplancton.

Les observations faites en 2007 sont conformes à celles faites antérieurement sur ce site de Flamanville, les variations pluriannuelles constatées étant à relier aux fluctuations climatiques générales notées sur l'ensemble de la Manche.



### 3.5. Microbiologie

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

#### Les vibrions halophiles sur le territoire français

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

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

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

Depuis 1995, le CNRVC<sup>12</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 3.22 propose une synthèse des souches de vibrions non cholériques identifiées, responsables d'infections humaines entre 1995 et 2005 sur le territoire français.

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

<sup>12</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 3.20 : Souches de vibrions non cholériques responsables d'infections humaines identifiées par le CNRVC entre 1995 et 2005**

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

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

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

### 3.5.1. Matériel et méthodes

#### 3.5.1.1. Prélèvements

Conformément à la stratégie mise en place pour le site de Flamanville, les travaux de surveillance ont été réalisés autour de la pleine mer et par coefficients de mortes eaux les 26 mars, 4 juillet et 20 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 menés à bord du *N/O THALIA*. Les échantillons d'eau ont été prélevés au moyen de flacons stériles, puis maintenus au froid pendant leur transport jusqu'au laboratoire pour analyse (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 2007 est présentée dans le tableau 3.21. Deux réplicats ont été réalisés pour le dénombrement des germes revivifiables et l'identification des vibrions halophiles.

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

Tableau 3.21 : Stratégie d'échantillonnage en 2007

#### 3.5.1.2. Analyses microbiologiques

##### Dénombrement des germes totaux en épifluorescence

Le protocole analytique utilisé est le suivant :

- stabilisation de l'échantillon au moment du prélèvement par du formol dépoussiéré afin de limiter la multiplication des bactéries ;
- filtration sur membrane en polycarbonate 0,22  $\mu\text{m}$  teintée au laboratoire avec de l'Irgalan black (Millipore, GTBP04700) ;
- coloration avec une solution d'acridine orange (1/10 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 en 2007. 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.

### 3.5.2. Résultats

#### **3.5.2.1. Récapitulatif des résultats des mesures microbiologiques pour l'année 2007.**

Les résultats acquis au cours des trois campagnes de mesure pour l'année 2006 sur le site de Flamanville sont présentés dans le tableau 3.22. Les valeurs retenues pour les quantités de germes revivifiables sont celles du plus fort réplikat pour le point *Rejet Sud* et la moyenne des deux réplikats pour les points *Canal*, *Référence* et *Référence* à mi-profondeur.

	Canal	Rejet (Sud)	Référence	Référence ½ z	
26 MARS	<i>Germes totaux (g./mL)</i>	1140000	1100000	1040000	1020000
	<i>Germes revivifiables (g./mL)</i>	291	146	127	153
	<i>Dénombrement de vibrions halophiles (vibrions/L) (méthode EDF)</i>	2 Pd ; 10 Vv	3 Pd	1 Pd	< 1
		4 Pd ; 10 Vv	5 Pd	< 1	< 1
4 JUILLET	<i>Germes totaux (g./mL)</i>	1810000	2030000	1740000	1750000
	<i>Germes revivifiables (g./mL)</i>	603	350	148	388
	<i>Dénombrement de vibrions halophiles (vibrions/L) (méthode EDF)</i>	20 Va ; 1 Vp	20 Va ; 1 Pd	1 Va ; 1 Pd	< 1
		21 Va	20 Va	1 Va	< 1
20 SEPTEMBRE	<i>Germes totaux (g./mL)</i>	1830000	2580000	1600000	1770000
	<i>Germes revivifiables (g./mL)</i>	986	558	273	360
	<i>Dénombrement de vibrions halophiles (vibrions/L) (méthode EDF)</i>	30 Va ; 60 Vp ; 100 Pd	10 Va ; 10 Vp	10 Va ; 1Pd	2 <i>Vibrio.sp</i>
		20 Va ; 140 Vp ; 300 Vp	20 va	1 Va ; 1 Vv	< 1

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

Tableau 3.22 : Récapitulatif des résultats de microbiologie pour 2007 dans les eaux de Flamanville

### 3.5.2.2. Résultats du dénombrement des germes totaux

#### 3.5.2.2.1 Variations spatiales et saisonnières des germes totaux en 2007

Les quantités de germes totaux en 2007 varient de 1 040 000 germes/mL, observés au point *référence* en mars, à 2 580 000 germes/mL au point *canal* en septembre (figure 3.55). Les valeurs observées en septembre sont plus fortes que celles enregistrées en mars et juin, excepté sur le point *référence*. Les maxima de la température de l'eau de mer sont généralement observés entre les mois d'août et septembre ce qui favorise la croissance bactérienne et peut expliquer ces résultats.

Contrairement à 2006, les quantités de germes totaux ne suivent pas un gradient décroissant de la côte vers le large. Au mois de mars, les quantités de germes sont sensiblement du même ordre de grandeur aux trois points. A noter un pic au niveau du point *rejet* en septembre dont l'importance, graphiquement visible à la figure 3.55, est à relativiser à l'examen de la figure 3.56.

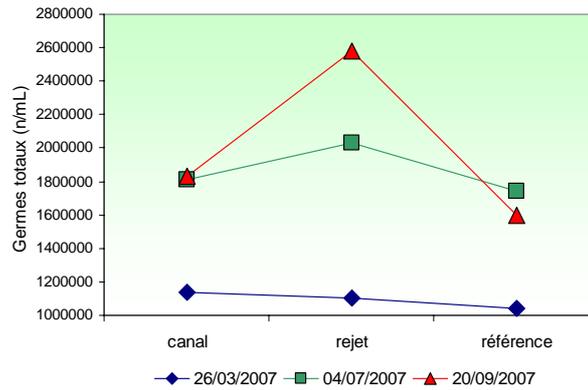


Figure 3.55 : Évolution des quantités de germes totaux par mL dénombrés par épifluorescence en 2007

### 3.5.2.2.2 Variations inter-annuelles des germes totaux

Le nombre total de germes dénombrés en 2007 reste du même ordre de grandeur qu'en 2006 (figure 3.56). Les valeurs obtenues sont néanmoins légèrement supérieures à celles précédant la modification de la méthode d'analyse, qui avec une filtration à une porosité de 0,22 µm, au lieu de 0,45 µm, a augmenté le nombre de particules filtrées et ainsi les quantités de germes dénombrés.

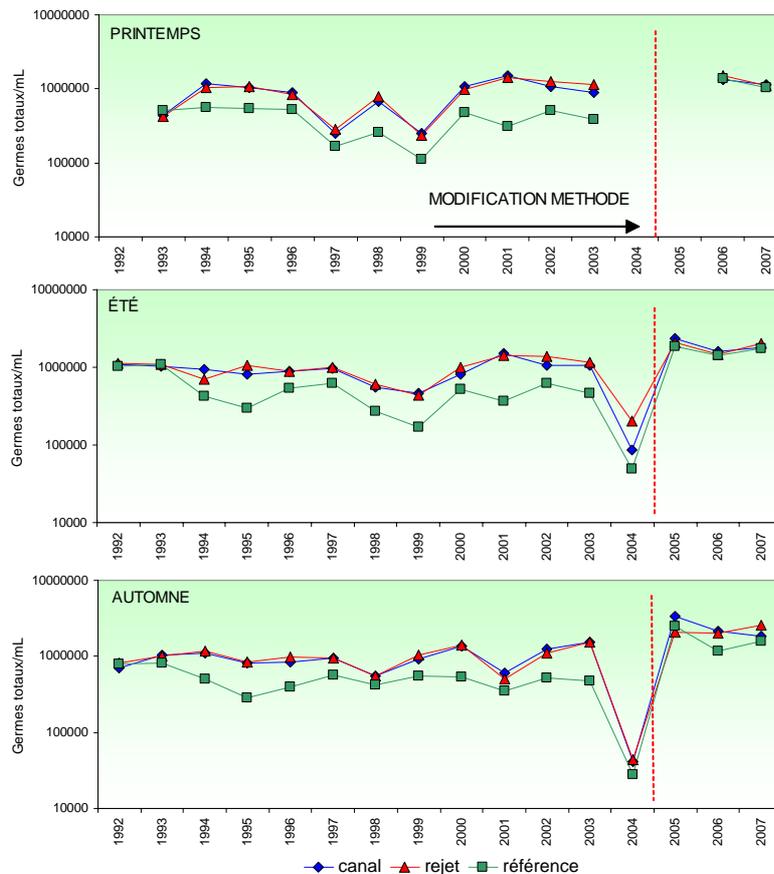


Figure 3.56 : Évolution des quantités de germes totaux par mL dénombrés par épifluorescence depuis 1992

L'utilisation de la *boîte à moustaches* pose le problème de l'hétérogénéité des données des séries. Pour garder l'avantage des différences relatives entre les points d'échantillonnages, nous avons conservé la représentation en *boîte à moustaches* de la série 1987-2004, à laquelle nous avons superposé les données de l'année en cours sans les intégrer aux calculs (figure 3.57).

Les *boîtes à moustaches* de la figure 3.58 suggèrent une remarquable stabilité des médianes saisonnières. En effet, elles se situent à environ 500 000 germes/L au point *référence* et à 1 000 000 germes/L sur les points *rejet* et *canal*. Il convient de rappeler qu'en bactériologie, deux échantillons ne sont considérés comme différents que si leurs effectifs sont séparés d'au moins un facteur 10. En 2007, les quantités de germes ont toutes été supérieures aux médianes pluriannuelles et le point *référence* observe comme en 2006 des valeurs plus faibles que sur les points *rejet* et *canal*.

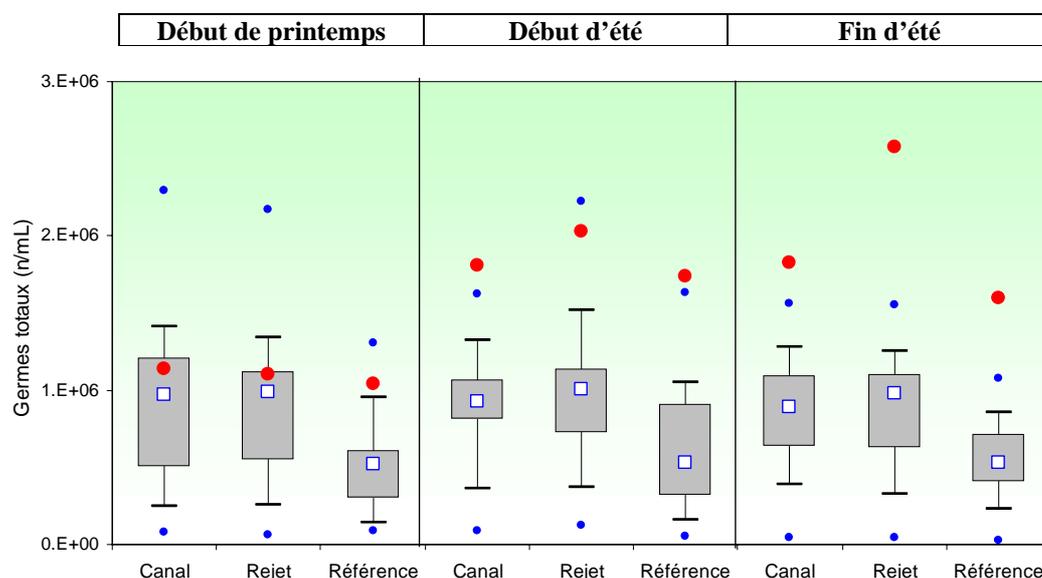


Figure 3.57 : Germes totaux de 1987 à 2004 dénombrés par épifluorescence et valeurs 2007 en rouge

### 3.5.2.2.3 Approche statistique

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

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

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

Le nombre de germes revivifiables varie de 127 germes/mL mesurés au point *référence* au mois de mars, à 986 germes/mL au point *canal* en septembre (figure 3.58). Les valeurs de germes revivifiables obtenues en 2007 observent une évolution croissante au cours des saisons avec de plus fortes valeurs en septembre lorsque les températures favorisent le développement de ces germes. Sur l'ensemble des campagnes de 2007, les valeurs les plus fortes sont observées au point *canal* avec un gradient décroissant de la côte vers le large.

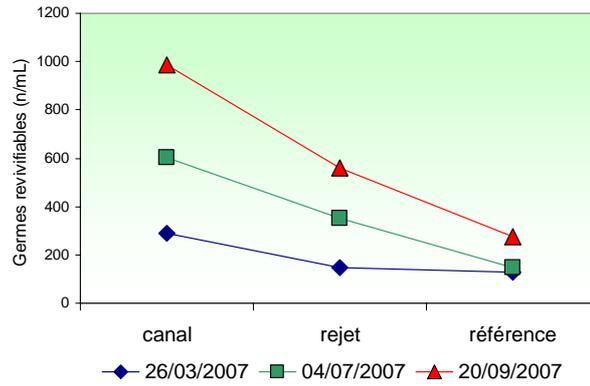


Figure 3.58 : Évolution des quantités de germes revivifiables par mL dénombrés sur milieu de Zobell en 2007

3.5.2.3.2 Variations inter-annuelles des germes revivifiables

La figure 3.59 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. Le dénombrement des germes revivifiables en 2007, montre une diminution ou une stagnation des quantités de germes par rapport à 2006, à l’exception du point canal.

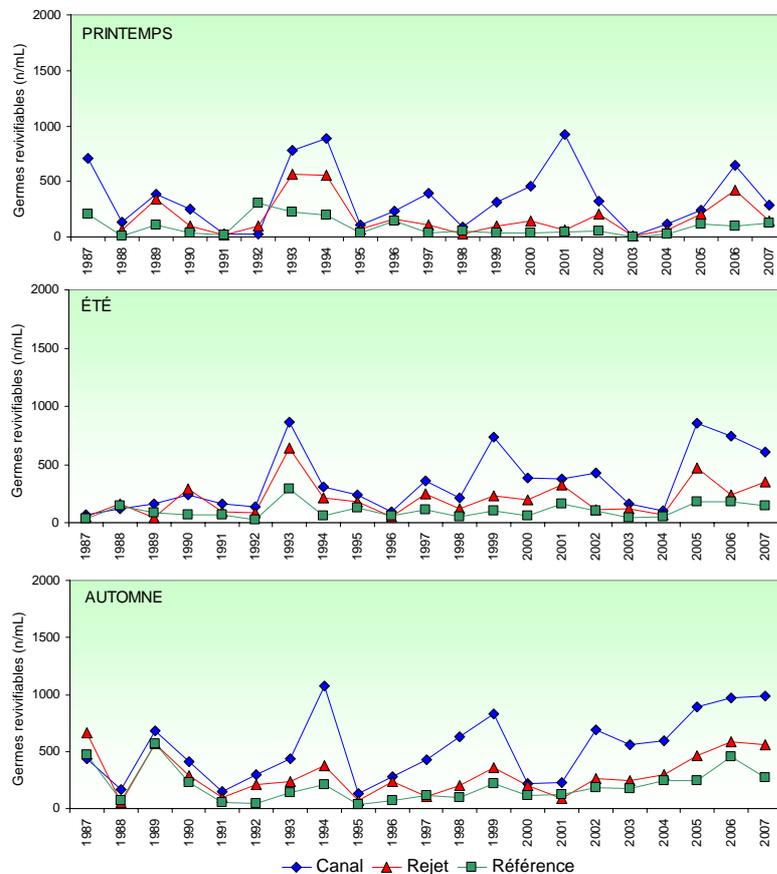


Figure 3.59 : Évolution des quantités de germes revivifiables par mL depuis 1987

D'après la figure 3.61, les boîtes à moustaches du point canal présentent une plus forte dispersion des valeurs que celles des deux autres points, soulignant ainsi sa plus forte variabilité depuis 1987. Quelles que soient les saisons, le gradient décroissant de la côte vers le large se retrouve sur la figure 3.60 avec les plus faibles médianes pluriannuelles sur le point référence et les plus fortes sur le point canal. Les valeurs observées au point rejet peuvent être expliquées par le mélange des eaux du canal et de la référence. En 2007, les nombres de germes revivifiables se situent tous au-dessus des médianes pluriannuelles enregistrées depuis 1987.

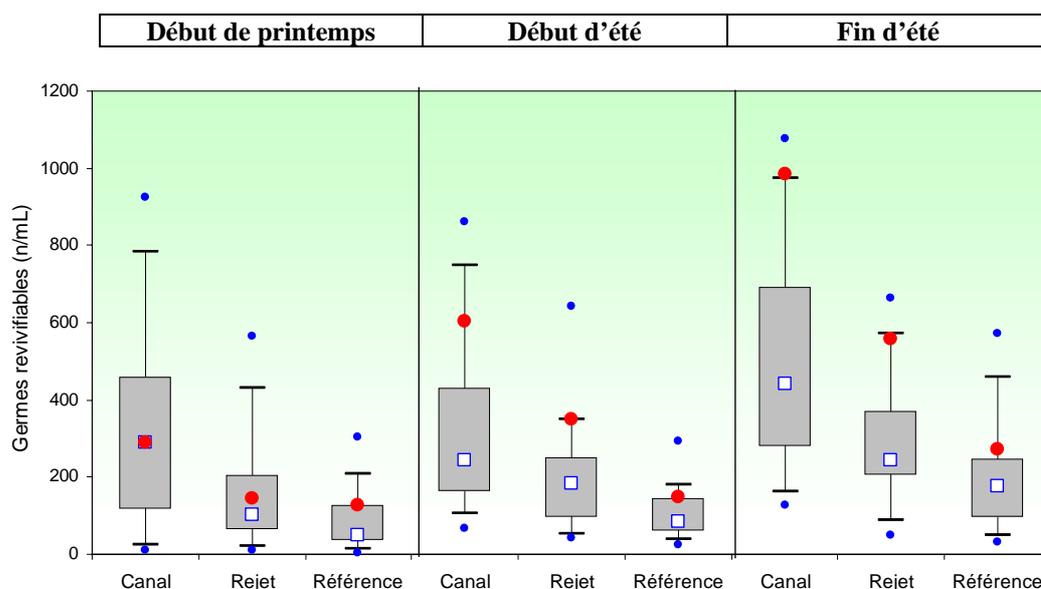


Figure 3.60 : Germes revivifiables (nombre par mL) dénombrés depuis 1987 et valeurs 2007 en rouge

### 3.5.2.3.3 Approche statistique

Le tableau 3.23 présente les résultats des tests statistiques pratiqués sur les nombres de germes revivifiables depuis 1987. L'ensemble des tests effectués présente des différences significatives entre les points échantillonnés quelle que soit la campagne étudiée.

Comparaison	Printemps	Été	Automne
Canal / Rejet	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>
Référence / Rejet	<b>0,009</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Canal / Référence	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>

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

Tableau 3.23 : Probabilité associée  $p$  des tests statistiques pour les germes revivifiables sur milieu de Zobell

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

#### 3.5.2.4.1 Identification de vibrions halophiles

L'identification des vibrions halophiles suivant la méthode EDF (tableau 3.24) a mis 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



Les séries pluriannuelles, présentées dans les tableaux 3.26 et 3.27 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 plus sporadiques de *Vibrio vulnificus* entre 1987 et 2004 semblent devenir plus récurrentes depuis 2005.

#### 3.5.2.4.2 Dénombrement des vibrions halophiles

Suite à la mise en place de la méthode préconisée par l'EDF sur l'ensemble des centrales du bord de mer, des dénombrements viennent compléter les identifications de vibrions halophiles. Le nombre de vibrions totaux par point et par saison a été obtenu en additionnant les plus fortes valeurs des répliquats par point et par souche (figure 3.61). Un gradient décroissant est observé entre les points *canal* et *référence* quelles que soient les saisons. Ce qui suggère, qu'en plus de l'effet de la température, le caractère plus côtier de la masse d'eau proche du canal d'amenée favorise également le développement des souches bactériennes.

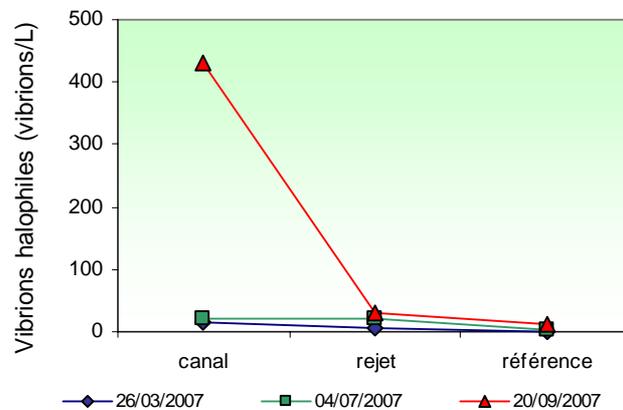


Figure 3.61 : Dénombrement des vibrions halophiles totaux en 2007

Les figures 3.62 à 3.64 présentent respectivement l'évolution annuelle des souches de *V. alginolyticus*, *V. vulnificus* et *Ph. damsela*. Le gradient décroissant de la côte vers le large est mis en évidence sur la distribution de ces trois souches, à l'exception du mois de septembre pour *V. vulnificus* qui présentent de plus fortes valeurs sur le point *référence*. Il est à noter également le développement précoce de *V. vulnificus* dès le mois de mars avec des valeurs plus élevées que sur le reste de l'année.

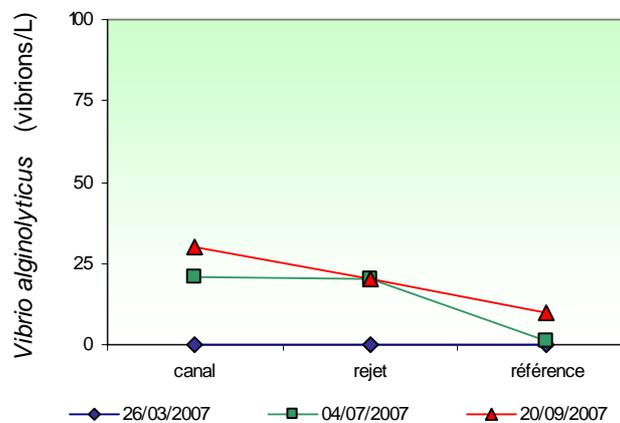
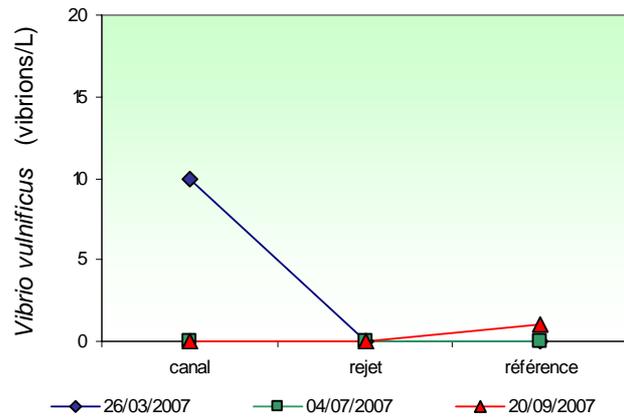
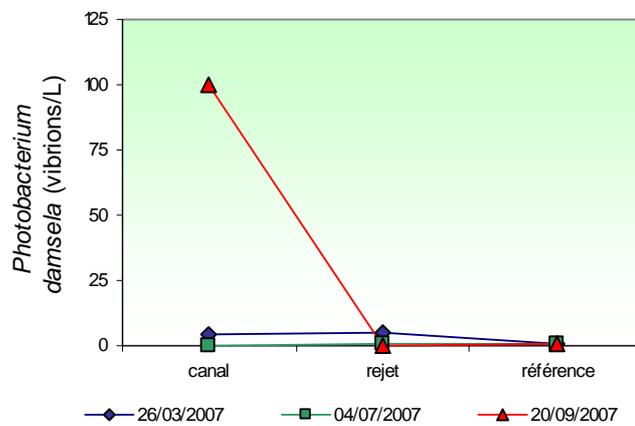


Figure 3.62 : Dénombrements de *Vibrio alginolyticus* en 2007

Figure 3.63 : Dénombrements de *Vibrio vulnificus* en 2007Figure 3.64 : Dénombrements de *Photobacterium damsela* en 2007

Le dénombrement des vibrions halophiles (tableau 3.28) a également permis de détecter 300 vibrions/L de *V. parahaemolyticus* sur le point *canal* en septembre. La figure 3.65 présente la distribution comparée des quatre souches identifiées au mois de septembre. Au point *canal*, *V. parahaemolyticus*, *Ph. damsela* et *V. alginolyticus* ont été plus nombreux que *V. vulnificus*. Aux points *rejet* et *référence*, c'est *V. alginolyticus* qui dominait légèrement en nombre.

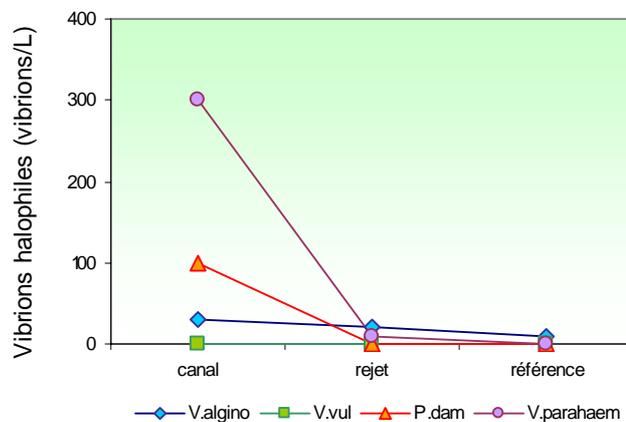


Figure 3.65 : Dénombrement des principales souches de vibrions halophiles en septembre 2007

Chronologiquement, *Ph. damsela* se développe en mars, dans des eaux de 7 à 9° C. Les eaux particulièrement douces de mars (10 °C) ont pu favoriser cette année la présence plus précoce de *V. vulnificus* sur le point canal (figure 3.66).

Ensuite en juin, c'est *V. alginolyticus* qui prend la suite, au moment où les eaux se situent dans une plage de valeurs de 15 à 18° C. Et c'est au mois de septembre que nous observons le maximum d'abondance et de diversité. A ce moment, les températures de l'ensemble des points se situent entre 17,3 et 20° C.

Les abondances observées en septembre 2007 sont plus faibles qu'en 2006 pour *V. alginolyticus* alors qu'elles sont plus élevées pour *Ph. Damsela* et *V. parahaemolyticus* (figure 3.66).

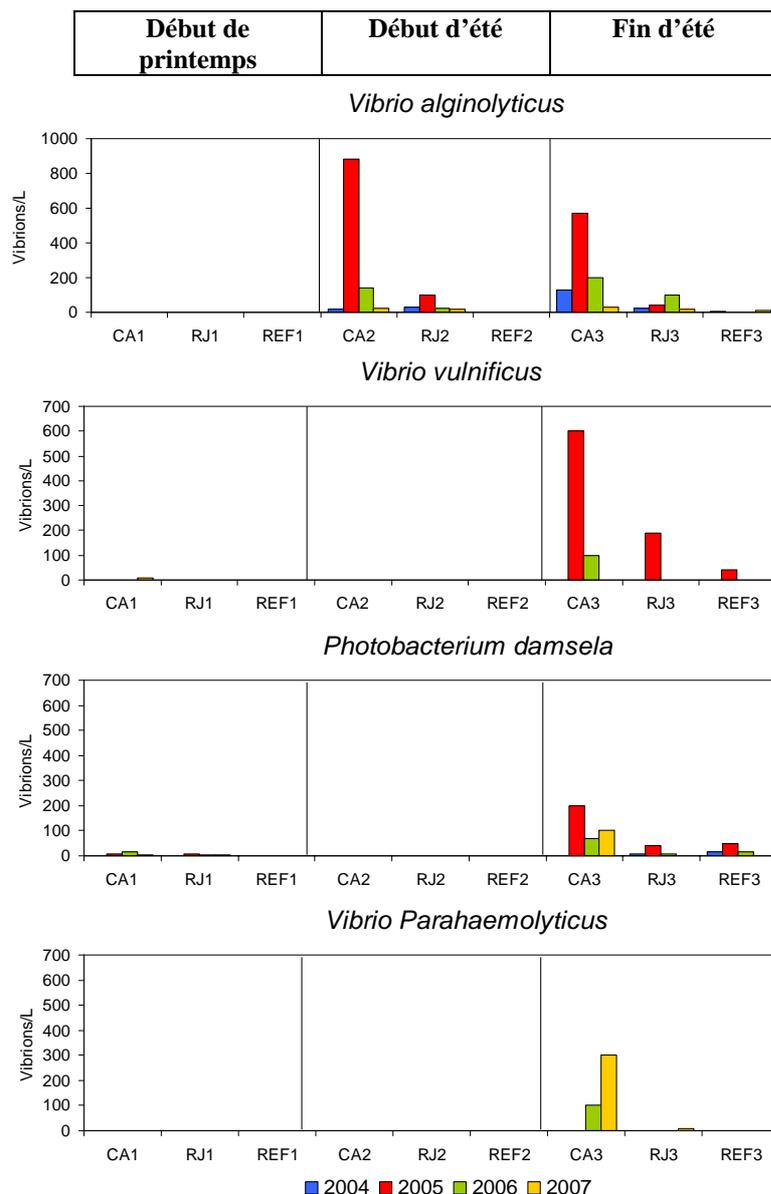


Figure 3.66 : Dénombrement des principales souches de vibrions halophiles depuis 2004

#### 3.5.2.4.3 Approche statistique

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

### 3.5.3. Conclusion

L'évolution des concentrations de germes totaux est restée assez stable entre 1992 et 2004 sur l'ensemble des points échantillonnés, mettant ainsi en évidence la stabilité du système. Le changement de méthode analytique intervenu en 2005, avec l'utilisation de filtres de plus faible porosité, a induit une augmentation du nombre de germes dénombrés. Ceci est confirmé par les résultats de 2007, qui sont du même ordre de grandeur qu'en 2006. Les valeurs obtenues ces deux dernières années ne peuvent pas alors, être directement comparées à celles des séries précédentes. Ce changement, qui permettra de comparer le nombre de germes totaux sur les centrales du bord de mer, n'a pas eu d'influence sur la distribution spatiale des germes totaux, qui présente toujours un gradient décroissant de la côte vers le large.

Les quantités de germes revivifiables sont en augmentation depuis quatre à cinq ans et plus particulièrement en septembre, où elles atteignent, pour le point *canal*, des valeurs proches des maxima observés depuis 1987. Leur distribution présente le même gradient que les germes totaux, avec un plus fort écart observé entre les abondances du mois de septembre et celles des mois de mars et juin. Ces dernières restent, quelle que soit la saison plus élevées sur le point *canal*.

L'identification des vibrions halophiles par la méthode EDF confirme la dominance des souches de *Vibrio alginolyticus* et *Photobacterium damsela* dans les eaux proches de la centrale de Flamanville. En 2007, la campagne de mars a été caractérisée par la présence précoce de *Vibrio vulnificus*, accompagné de *Photobacterium damsela*, qui était la seule souche présente à cette période en 2005. Contrairement à 2006, *Vibrio cholerae* n'a pas été détecté cette année. En revanche comme ces deux dernières années, *Vibrio alginolyticus* a été la souche dominante au mois de juin. Au mois de septembre est atteint le maximum de diversité et d'abondance avec la présence de *V. alginolyticus*, *Ph. damsela*, *V. vulnificus* et *V. parahaemolyticus*.

Depuis 2004, la méthode quantitative par filtration mise en place par EDF, permet de dénombrer les souches de vibrions halophiles. Avec des quantités plus faibles en 2007 qu'en 2006, *V. alginolyticus* reste l'espèce dominante en juin. En revanche en septembre, ce sont les souches *V. parahaemolyticus* et *Ph. damsela* qui dominent avec des abondances respectives de 300 et 100 vibrions/L.

La présence de *V. parahaemolyticus* (100 vibrions/L) en 2006 semble se confirmer en 2007 avec 300 vibrions/L sur le point *canal* au mois de septembre. D'après Quilici *et al* (2000), *V. parahaemolyticus* et *V. vulnificus* sont responsables de manifestations cliniques sévères. Pour cette raison, l'évolution croissante de *V. parahaemolyticus* et l'arrivée précoce de *Vibrio vulnificus* en mars 2007, seront à suivre de près lors des campagnes des années prochaines.

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

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

---

## 4. Le domaine benthique

*Etude et rapport réalisés à l'Ifremer par*

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

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

<i>Denise</i>	<i>Guillerm</i>	<i>(DOP)</i>
<i>François</i>	<i>Cueff</i>	<i>(SGCB/IMT)</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).

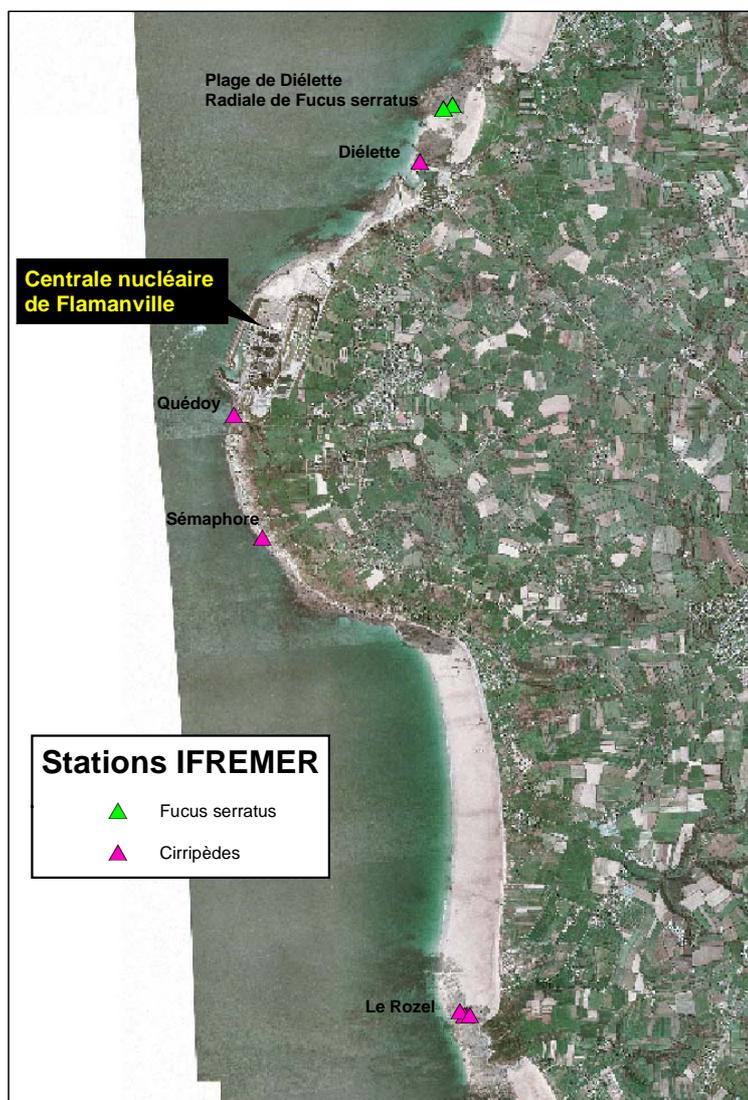


Figure 4.1 : Localisation de la radiale d'étude de *Fucus serratus* sur le platier de Diélette et des stations d'échantillonnage des cirripèdes. Photographie mars 2002. © Ortholittorale 2000

## 4.1. Phytobenthos intertidal

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

### 4.1.1. Biologie de l'espèce

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



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

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

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

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

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

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



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

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

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

## 4.1.2. Méthodologie

### 4.1.2.1. Evolution du stock

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



Figure 4.2 : Platier de Diélette – Limites de la population de *Fucus serratus* étudiée  
© Ortholittorale2000

### 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. Seuls les pieds pouvant soutenir une bague sont considérés. C'est pourquoi toute une catégorie, parmi les plus jeunes individus ayant une longueur inférieure à 20 cm, n'est pas prise en compte dans ces mesures.

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

La méthodologie est ensuite la même pour le baguage de 300 pieds en 1987, de 287 en 1989, de 248 en mars 1991, de 250 en mars 1993, de 200 en mars 1994 et 1995, et enfin de 100 de mars 1996 à mars 2005. Le baguage systématique d'un nouveau lot d'individus chaque année depuis 1993 permet ainsi un suivi plus serré de cette population algale.

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

#### 4.1.2.3. Paramètres mesurés

Au cours de chaque mission, quatre paramètres sont mesurés sur chaque individu de *Fucus serratus* :

- la longueur (L) exprimée en cm et mesurée du disque basal au sommet de la dernière dichotomie,
- le nombre de dichotomies (D) : les dichotomies principales sont comptées, de la première rencontrée en partant de la base jusqu'à la dernière avant l'extrémité supérieure de l'individu,
- le diamètre ( $\varnothing$ ) en cm : le diamètre maximal est mesuré à la base, juste au-dessus de l'épatement formé par le système de fixation,
- la fertilité : présence ou non de conceptacles.

### 4.1.3. Résultats

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

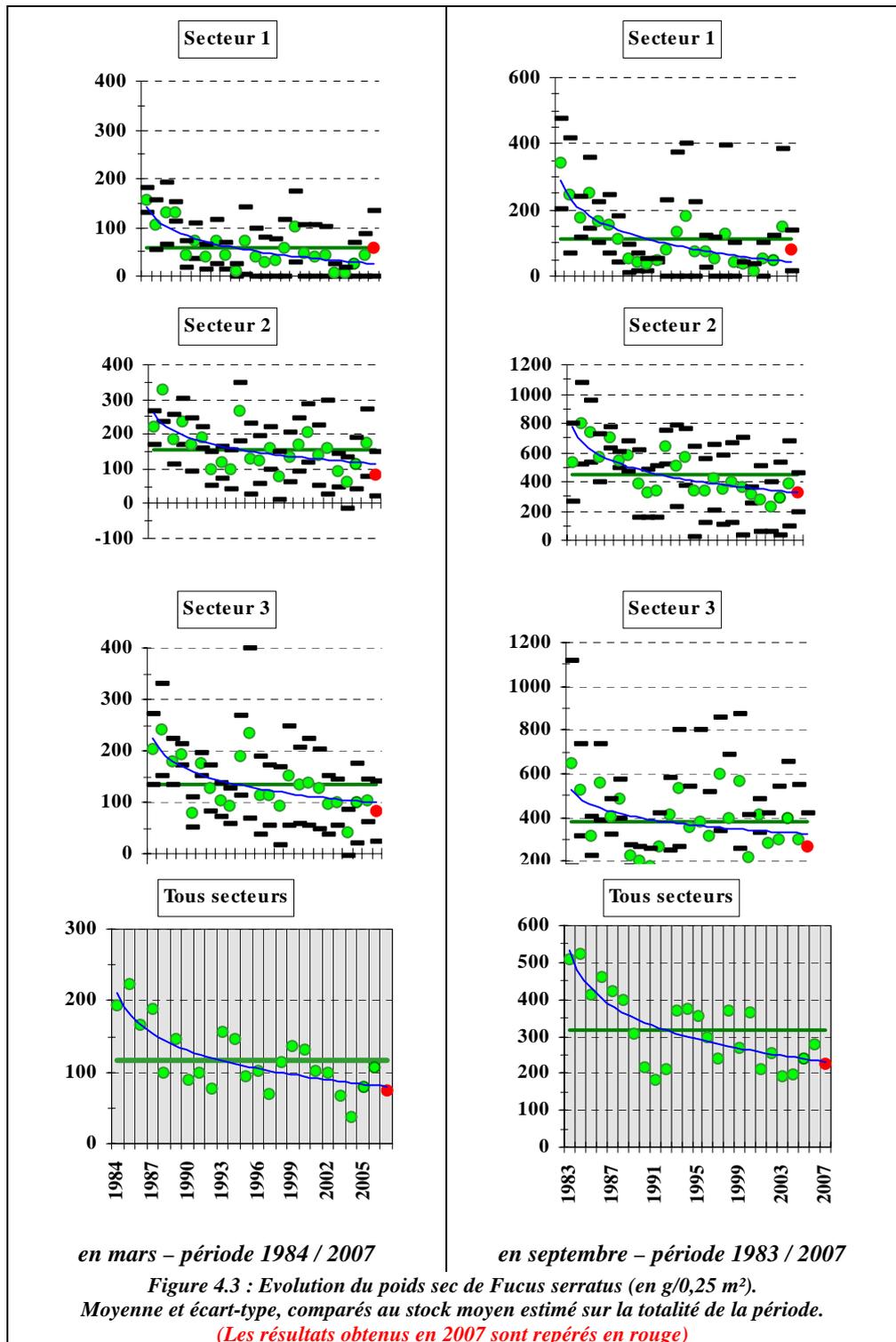
Tous les résultats, présentés ci-après, sont exprimés en grammes par quart de m<sup>2</sup> et en poids sec.

Tous secteurs confondus, les valeurs les plus importantes de poids sec de *Fucus serratus* de la radiale de Diélette, sont enregistrées en début d'étude (200 à 225 g en mars 1984 et 1985 ; aux environs de 500 g en septembre 1983 et 1984).

Les estimations décroissent par la suite, des valeurs faibles étant constatées de 1990 à 1992, tant en fin d'hiver qu'en fin d'été.

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

Les biomasses observées en 2007 sont en baisse, en mars comme en septembre (75 g en mars et 226 g en septembre). C'est en limite supérieure (secteur 1), soit le haut niveau de la population de *Fucus serratus* que les valeurs restent les plus faibles (57 g en mars et 80 g en septembre). C'est au niveau moyen (secteur 2) que la population est la plus dense (85 g en mars et 329 g en septembre) (Figure 4. 3).



#### 4.1.3.2. Dénombrement des algues baguées

Depuis 2004 où elle atteignait alors la valeur maximale de 54 %, la dépopulation des lots de *Fucus serratus* lors du premier semestre suivant le marquage est en baisse. Ainsi des cent pieds marqués en mars 2007, seulement 13 n'ont pas été

retrouvés en septembre, valeur minimale enregistrée sur la période 1983 à 2007 (figure 4.4).

Un an après la pose des bagues, les valeurs se resserrent autour de la moyenne qui atteint 71 % (toujours sur la période 1983 à 2007).

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

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...

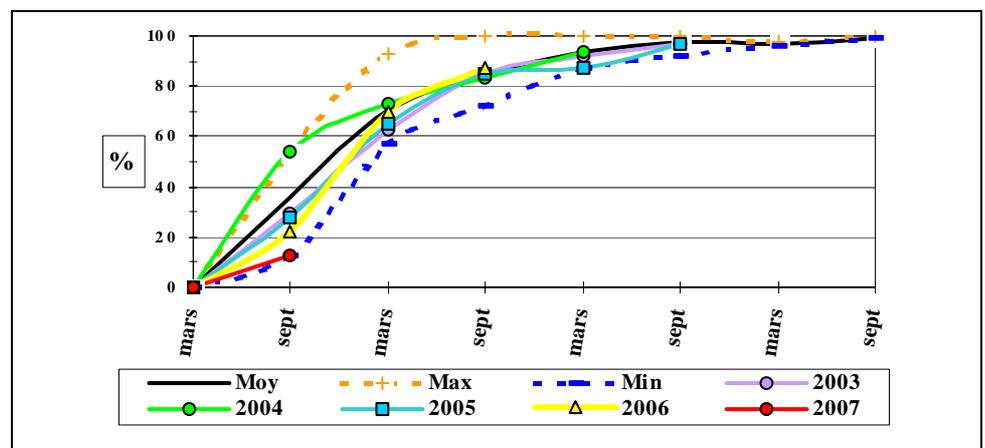


Figure 4.4 : Dépopulation, en pourcentage, des individus bagués (1983 à 2007).

### 4.1.3.3. Biométrie des algues baguées

#### 4.1.3.3.1 Nombre de dichotomies

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

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

En mars 2007, on compte 19 dichotomies par pied bagué. Cette valeur est légèrement supérieure à la moyenne calculée sur la période 1977 à 2007. En septembre, la valeur est la même.

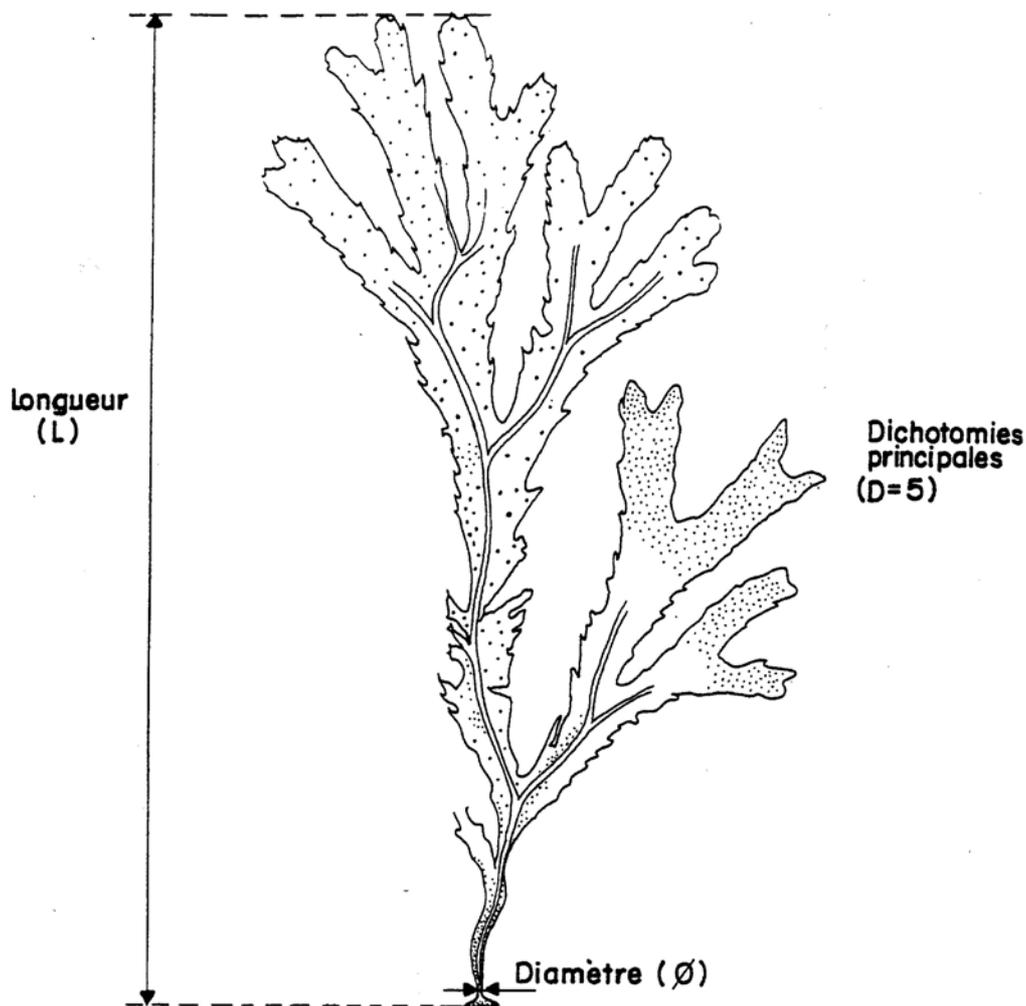


Figure 4.5 : *Fucus serratus*. Paramètres mesurés.

#### 4.1.3.3.2 Diamètre des stipes

À l'exception des diamètres moyens notés en 1983 et 1984 (7 mm et plus), ceux-ci se situaient de 1985 à 1993 aux alentours de 5 mm (Figure 4.6).

De mars 1994 à septembre 2001, le diamètre moyen des individus bagués est supérieur à la valeur moyenne obtenue sur ce site depuis 1977 (6,3 mm).

Depuis 2002, ce diamètre quoique voisin de la moyenne a tendance à diminuer. En 2005, il chute à 5,35 mm (4,9 en mars et 5,8 en septembre).

Le diamètre moyen mesuré au printemps 2007 est en hausse (5,7 mm), quoique toujours inférieur à la moyenne. Toutefois, comme pour le nombre de dichotomies, on observe en septembre une stagnation des valeurs (5,7 mm).

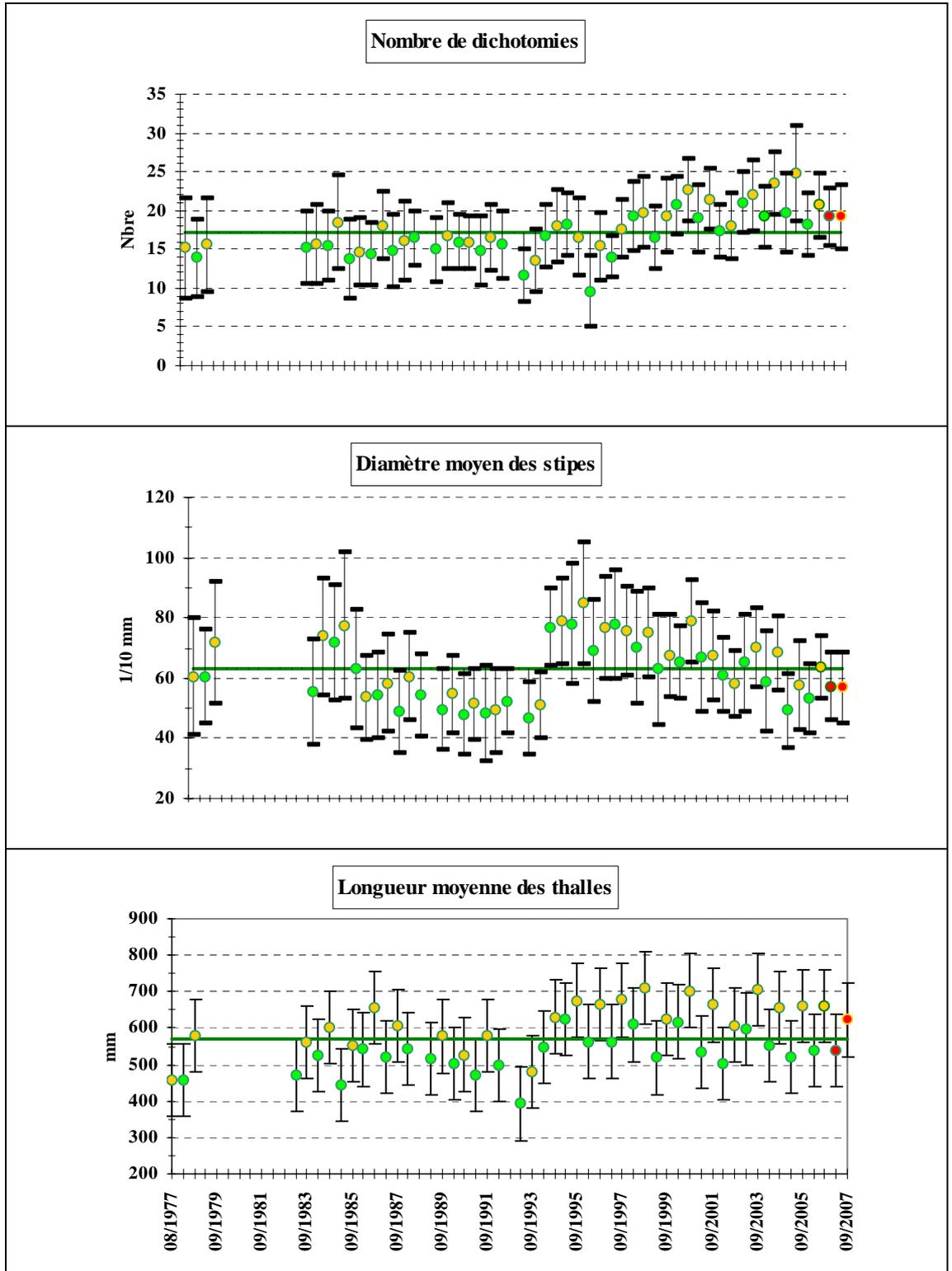


Figure 4.6 : Evolution saisonnière (mars en vert et septembre en orange) des paramètres mesurés chez *Fucus serratus* à Diélette (moyenne et écart-type) par rapport à la mesure moyenne estimée de 1977 à 2007. (données 2007 en rouge)

4.1.3.3.3

Longueur des thalles

- L'observation des données de longueurs moyennes acquises depuis 1977 ne permet pas, pour l'instant, de conclure à une évolution significative de ce paramètre que ce soit en relation avec le fonctionnement de la Centrale ou avec une évolution climatique. Notons depuis 1994 une tendance à une augmentation des longueurs moyennes aux deux périodes d'observations, même si cette croissance est irrégulière depuis 1999 avec des valeurs moindres en mars 1999 et 2002 (Figure 4.6).

On note une certaine stabilité des valeurs depuis 2004, avec toutefois une légère baisse de la longueur en septembre 2007.

- La croissance moyenne des thalles de *Fucus serratus* obtenue de mars à septembre, de 1983 à 2007, atteint 10,18 cm avec des valeurs extrêmes de 2,6 cm en 1990 et de 18,4 cm en 1985 (figure 4.7).

Du printemps à l'automne 2007, la longueur des thalles s'est accrue en moyenne de 8,50 cm, valeur en baisse par rapport aux années précédentes et inférieure à la moyenne calculée sur la période 1984-2007 (10,18 cm).

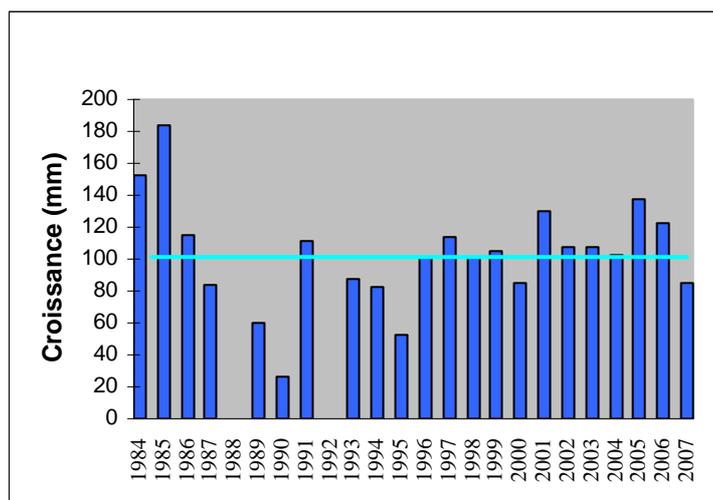


Figure 4.7 : Croissance moyenne des thalles de *Fucus serratus* de mars à septembre

#### 4.1.3.4. Fertilité

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

L'examen visuel de ces zones permet de nuancer la fertilité en cinq stades différents, de l'absence totale de réceptacles (stade 0) à la présence sur chaque fronde de réceptacles terminaux à maturité (stade 4) (photo 4.4).

La comparaison avec les données acquises depuis 1993 permet d'apprécier, pour chaque saison, les fluctuations tant du nombre de pieds fertiles que des différents stades de maturation (figure 4.8).

Le cycle annuel de reproduction de *Fucus serratus* commence au cours de l'été. La période optimale de fertilité s'étendrait principalement d'août à janvier, ce que confirment nos observations faites en septembre, exception faite de 2002 où la maturation a été semble-t-il plus précoce. En juin, le nombre de pieds fertiles

observés au cours des quatre premières années d'observations est faible ; ceux qui le sont présentent des réceptacles défoliés. Puis, de 1999 à 2005, ce nombre est élevé.

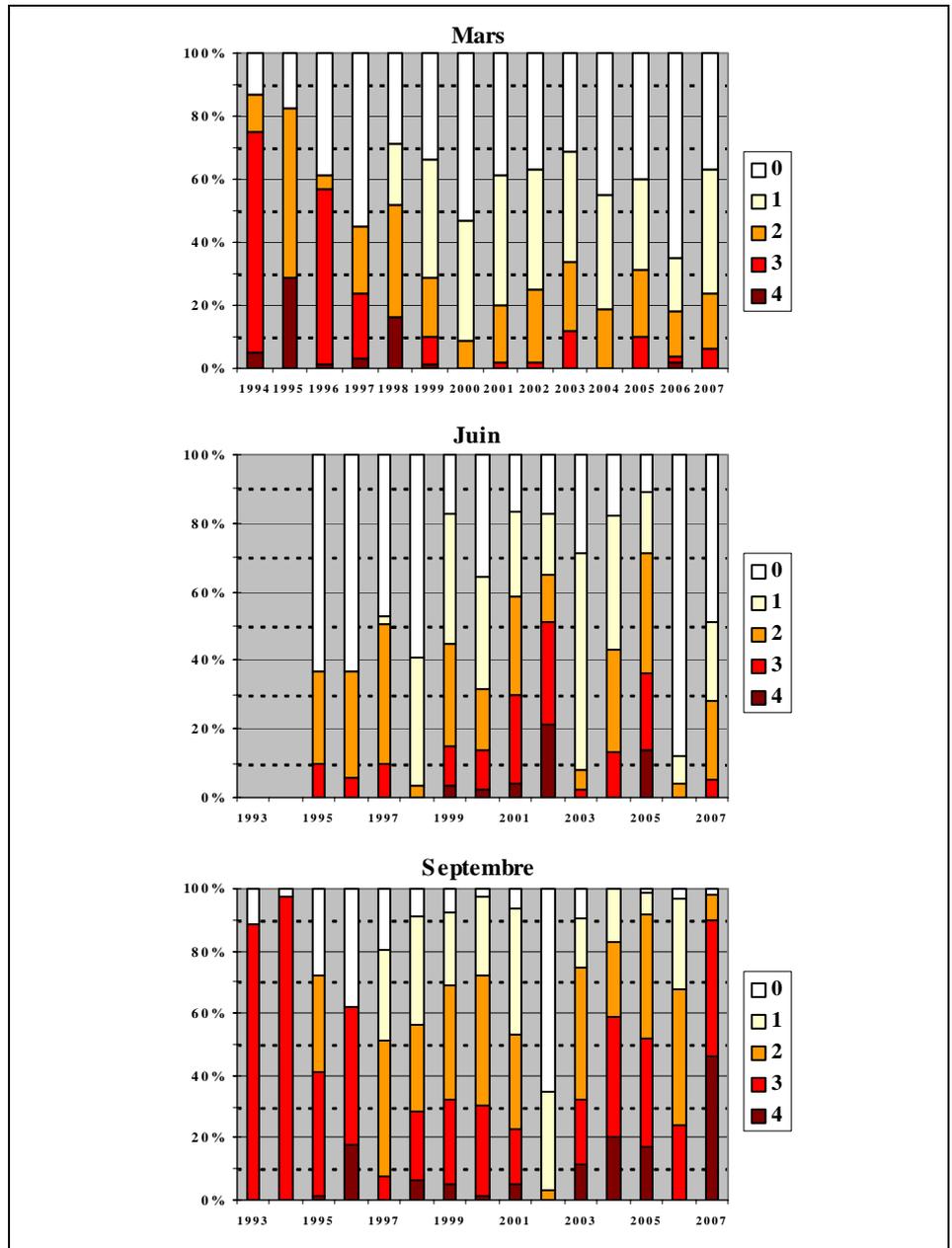


Figure 4.8 : Evolution de la fertilité de *Fucus serratus* depuis 1993, stade par stade.

En mars, depuis 1999 et excepté 2006, on observe des valeurs moyennes et relativement stables d'une année à l'autre. C'est une période charnière dans la décroissance de la fertilité et l'amorce d'un nouveau cycle.

Ainsi concernant le lot bagué en 2007, 63 % des algues présentent en mars des signes de fertilité (figures 4.9).

En juin, les pourcentages sont plus variables d'une année à l'autre. En 2007, le taux de fertilité atteint 51 %.

En septembre, la plupart des thalles de *Fucus serratus* portent des réceptacles. En 2007, la maturation est précoce. En effet, 98 % des fucales baguées présentent des thalles fertiles dont certains libèrent déjà leurs gamètes (photo 4.3). Ainsi le taux moyen de fertilité atteint un maximum de 83 %.

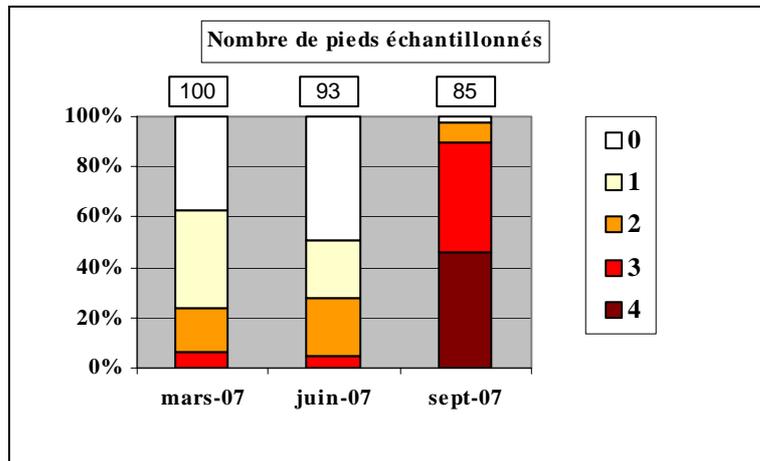


Figure 4.9 : Evolution de la fertilité des pieds de *Fucus serratus* bagués en 2007

On observe le même phénomène sur le lot bagué en 2006 (figure 4.10).

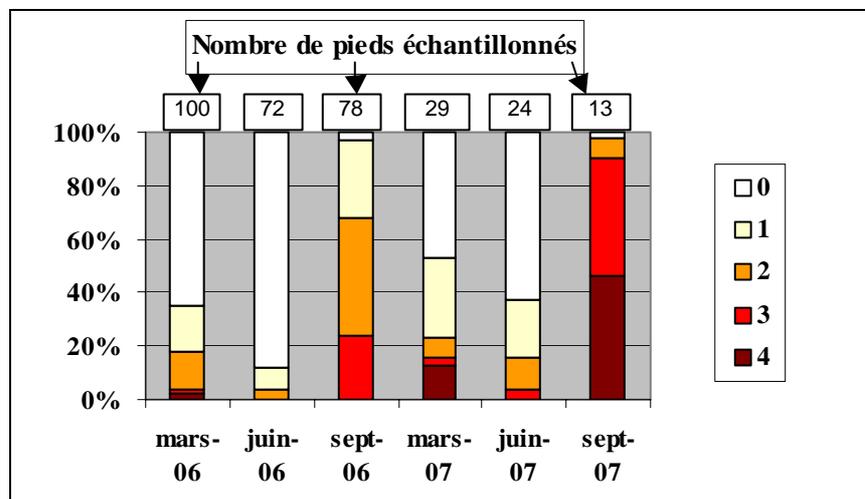


Figure 4.10 : Evolution de la fertilité des pieds de *Fucus serratus* bagués en 2006.

Le peuplement de *Fucus serratus* du platier de Diélette présente des caractères de fertilité toute l'année, avec toutefois une période de maturité plus importante en fin d'été, tant en nombre de pieds (88 %) qu'en taux moyen (52 %) obtenu en tenant compte des différents stades de maturité. En mars et en juin, ces taux décroissent pour atteindre, respectivement 65 % et 60 % de thalles plus ou moins fertiles, 30 % et 29 % de taux moyen de fertilité (ces moyennes sont calculées à partir des observations faites de 1983 à 2007 pour les pourcentages de pieds fertiles et de 1993 à 2007 pour les taux moyens).



Photo 4.3: diffusion des gamètes d'un thalle de *Fucus serratus* à maturité (Diélette septembre 2007)

Le cycle de fertilité en 2007 s'est bien développé, présentant des valeurs voisines des moyennes en mars et juin, puis un taux élevé en septembre (fig. 4.11) :

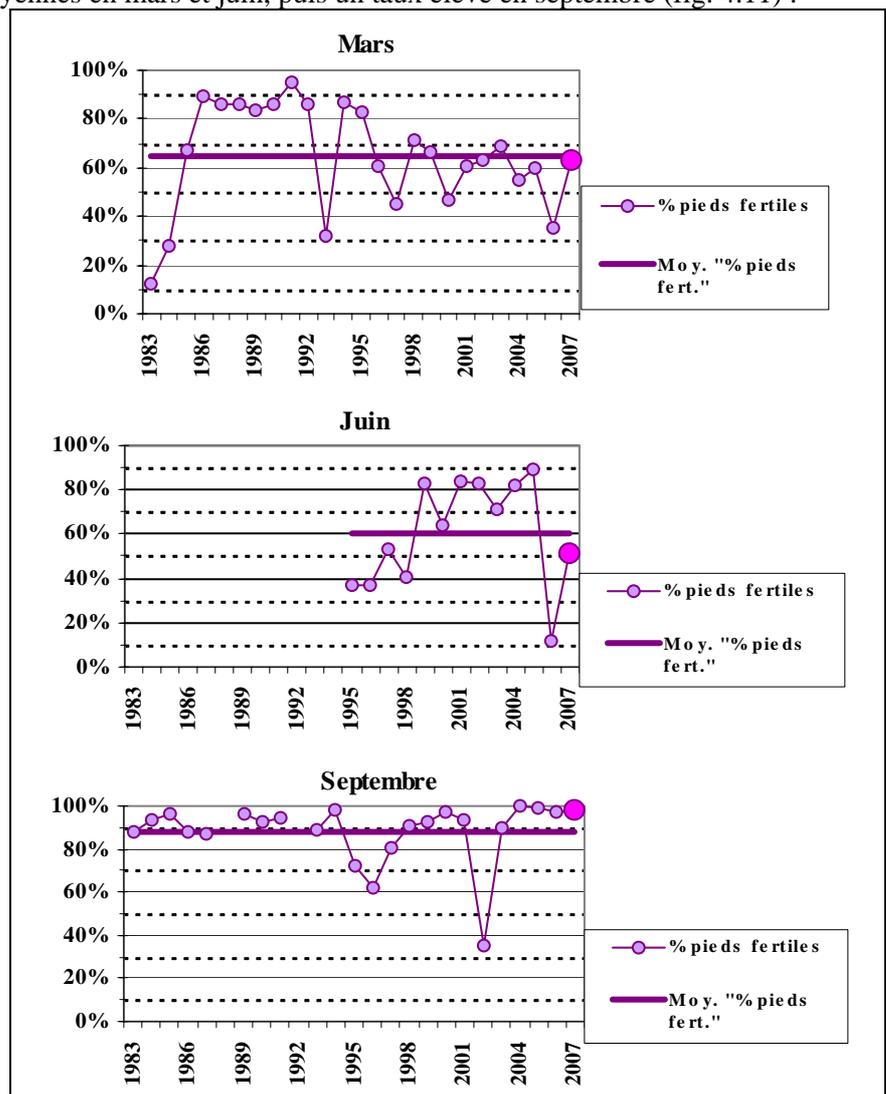


Figure 4.11: Evolution saisonnière du pourcentage de pieds fertiles de *Fucus serratus* depuis 1983



## 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 4.4), 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 4.4 : Quédoy, station la plus proche de la centrale.

### 4.2.1. Biologie des cirripèdes

Les cirripèdes, balanes ou anatifes, font partie de la classe des crustacés. Ces crustacés très particuliers, 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 4.5 : Photo numérique utilisée pour évaluer les différentes espèces de cirripèdes ( support de 0,05 m x 0,05 m )*

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



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

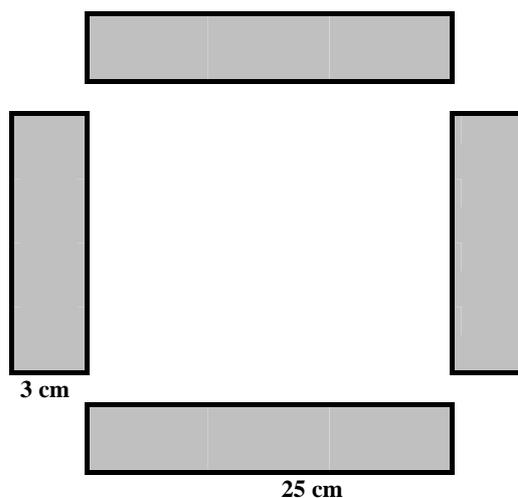
#### **4.2.2.2. Faune associée**

Les densités des principales espèces accompagnatrices sont évaluées à chaque point à partir d'une surface unitaire de 1/16 m<sup>2</sup> (quadrat 0,25 m x 0,25 m). Elles sont récoltées par grattage (4 par point), puis déterminées et comptées au laboratoire.

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

#### 4.2.2.3. Recolonisation du substrat

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



Dans ce but, des comptages puis des grattages sont réalisés sur les mêmes séries de quadrats ( $75 \text{ cm}^2$ ) 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

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

Toutes stations confondues, le nombre moyen d'individus recrutés par année, obtenu par comptages sur les quadrats de  $75 \text{ cm}^2$  en mars, juin et septembre, sur la période 1983/2007 atteint 556. Le maximum atteint 2259 en 1986, le minimum 55 en 1990 (Figure 4.12).

Le recrutement 2007 (59 individus /  $75 \text{ cm}^2$ ), voisin du minimum de 1990, est extrêmement faible.

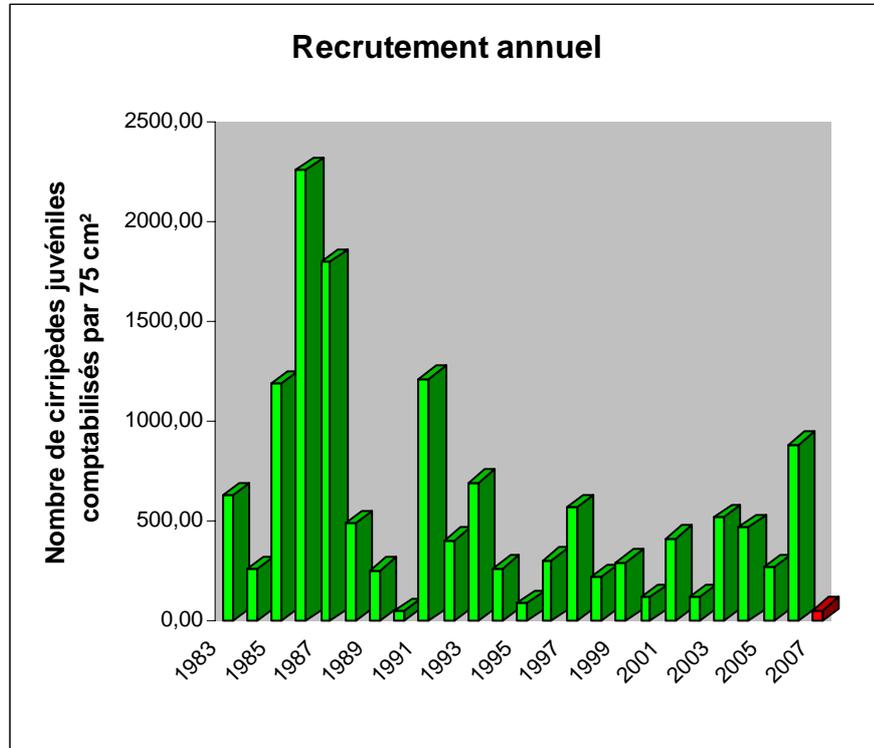


Figure 4.12 : Recrutement annuel (somme des recrutements automno-hivernal, printanier et estival comptabilisés au Rozel, Sémaphore, Quédoy et Diélette sur les quadrats de 75 cm<sup>2</sup>) (2007 en rouge)

Le recrutement printanier représente, selon les années, de 77 % à 99,6 % du phénomène annuel, à l'exception toutefois du printemps 1990 où il n'atteint que 48 % à la pointe du Rozel et 61 % au cap de Flamanville. Ce recrutement avoisine les 78 % en 2007, et concerne principalement *Semibalanus balanoides*, dont la reproduction a principalement lieu en hiver, quand la température de l'eau de mer est inférieure à 14 °C. Les larves se fixent en début de printemps (photographie 4.7).



Photo 4.7 : Recrutement printanier de *Semibalanus balanoides*.

Le recrutement estival, beaucoup plus faible, concerne en priorité les espèces *Chthamalus montagui*, *Chthamalus stellatus*, et *Elminius modestus*. 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.

	Rozel	Sémaphore	Quédoy	Diélette
<b>Recrutement automno-hivernal</b>	<b>4 ± 4</b>	<b>27 ± 9</b>	<b>9 ± 3</b>	<b>4 ± 1</b>
<b>Recrutement printanier</b>	<b>16 ± 13</b>	<b>47 ± 12</b>	<b>91, 5 ± 24</b>	<b>29, 5 ± 8</b>
<b>Recrutement estival</b>	<b>2 ± 2</b>	<b>1 ± 1</b>	<b>3 ± 2</b>	<b>2 ± 3</b>
<b>Bilan annuel</b>	<b>22</b>	<b>75</b>	<b>103, 5</b>	<b>35, 5</b>

Tableau 4.1 : Nombre de cirripèdes métamorphosés, comptabilisés par 75 cm<sup>2</sup> en 2007.

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

Comme pour les autres années, les valeurs 2007 confirment cette hypothèse :

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

Tableau 4.2 : Température mensuelle minimale de l'air au Cap de La Hague (1983-2007) et de l'eau de mer à Flamanville (1986-2007). Les années sont classées selon l'importance croissante des températures de l'air. La température provisoire de l'année 2008 est mentionnée à titre indicatif.

L'hiver 2007, particulièrement doux a été défavorable au renouvellement de *Semibalanus balanoides*.

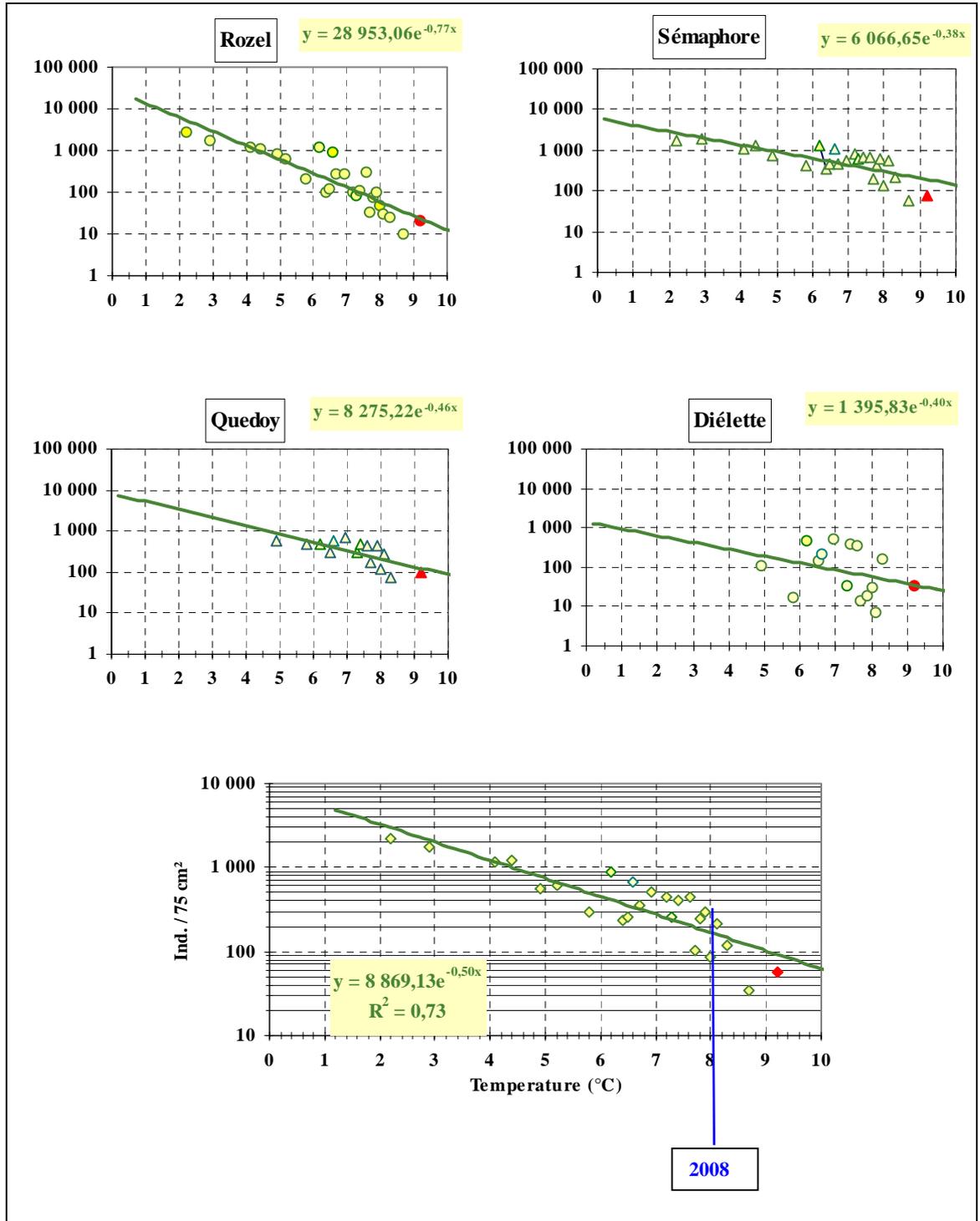


Figure 4.13 : Recrutement printanier des crustacés cirripèdes aux abords de Flamanville sur la période 1983/2007 (nombre d'individus par 75 cm<sup>2</sup>, exprimé en fonction de la température mensuelle moyenne de l'air du mois le plus froid de l'hiver [°C]).

*Le recrutement 2007 est figuré en rouge.*

*La température minimale relevée en février 2008 permet une première estimation de l'importance du recrutement qui sera réellement observé en juin 2008.*

**4.2.3.2. Evaluation des densités de cirripèdes**

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

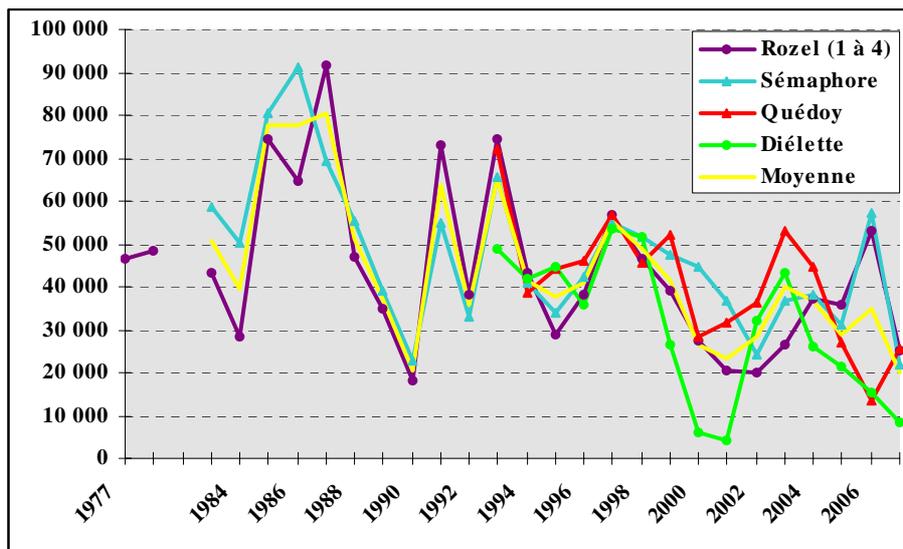


Figure 4.14 : Evolution des densités de cirripèdes (nombre d'individus par m<sup>2</sup>) depuis 1993.

La densité moyenne 2007 est la plus basse observée depuis 1977. Les densités de cirripèdes au Rozel, à Diélette et au Sémaphore (minimum depuis 1977) sont en baisse. A Quédoy, au niveau supérieur, la densité est en hausse par rapport à celle de 2006. Cette augmentation concerne les Chtamales, majoritaires à cet étage.

Septembre 2006		Densité par strate	Surface occupée du substrat	Densité moyenne
Rozel	Point 1	12 385	10 %	1238
Rozel	Point 2	43 502	75 %	32626
Rozel	Point 3	40 261	75 %	30 196
Rozel	Point 4	41 385	90 %	37 246
Flamanville	Sem sup.	18 330	90 %	16 497
Flamanville	Sem inf.	29 990	90 %	26 991
Flamanville	Quédoy sup	29 520	75 %	22 140
Flamanville	Quédoy inf	38 150	75 %	28 612
Flamanville	Diélette sup	15 760	40 %	6 304
Flamanville	Diélette inf	19 784	40 %	7 914

Tableau 4.3 : Densités globales des cirripèdes en 2007 (nombre d'individus par m<sup>2</sup>)

Les densités globales de cirripèdes observées en fin d'été varient d'une année à l'autre. Une relation directe peut être établie entre chaque recrutement printanier, dépendant de la rigueur de l'hiver, et les densités en place observées en septembre (figure 4.15).

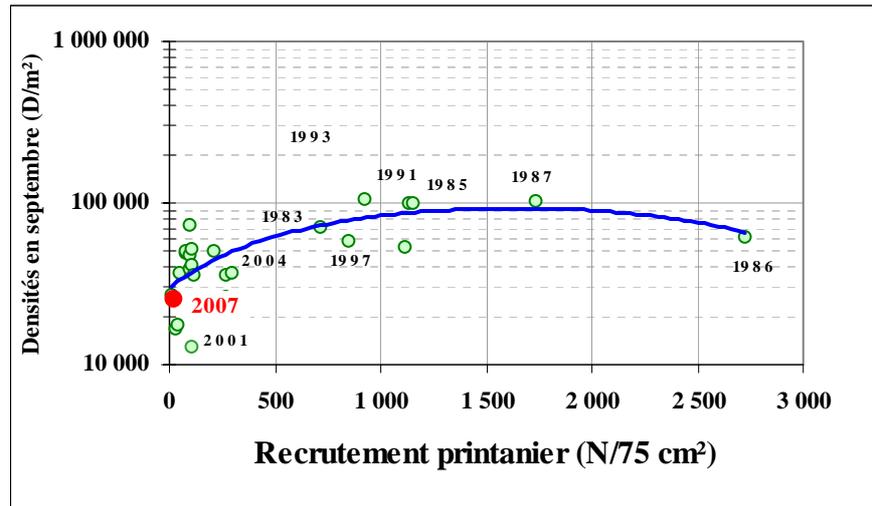


Figure 4.15 : Pointe du Rozel – Variations des densités de cirripèdes en place en septembre en fonction du recrutement printanier.(année indiquée sur les graphiques).

#### Remarque

Au mois de septembre 2007, une mortalité importante de cirripèdes (100 % d'individus morts) a été observée à la station du Rozel, sur une surface très limitée de 1 mètre x 10 mètres (photo 4.8). Ce phénomène est certainement le résultat d'un ensablement estival de ce secteur rocheux remis à nu lors de la marée d'équinoxe.



Photo :4.8 :

Mortalité de cirripèdes au Rozel

#### 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 4.9 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.

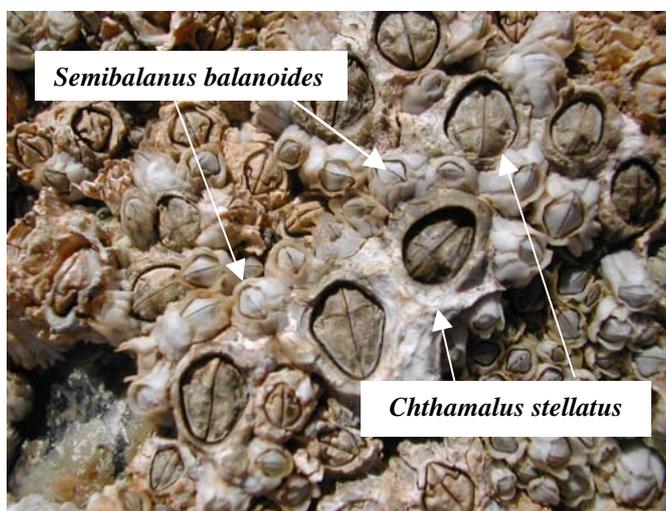


Photo 4.9 : Cirripèdes au point de surveillance du sémaphore.

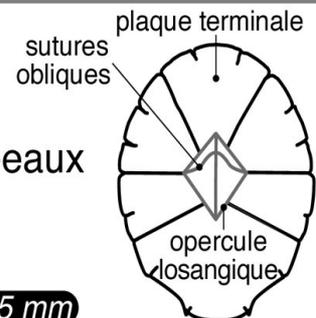
*Semibalanus balanoides* reste l'espèce largement majoritaire, bien que son importance varie d'une station à l'autre : 91% à Dielette et au Rozel, 84% au Sémaphore et 74% à Quédoy (valeurs moyennes calculées sur toute la période d'études) et annuellement (figures 4.16, 4.17 et 4.18).

## Principaux cirripèdes en zone intertidale sur Flamanville

**S** *emibalanus balanoides*

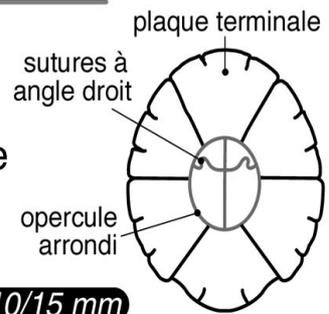
Muraille : 6 plaques  
Sous les pleines mers de mortes-eaux  
*Atlantique, Manche ouest et est.*

15 mm

**C** *hthamalus stellatus*

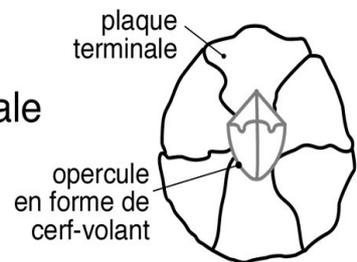
Muraille : 6 plaques  
Niveau sup. de la zone intertidale  
Zones exposées  
*Méditerranée, Atlantique, Manche ouest.*

10/15 mm

**C** *hthamalus montagui*

Niveau sup. de la zone intertidale  
Zones abritées  
*Méditerranée, Atlantique, Manche ouest.*

6/10 mm

**E** *lminius modestus*

Muraille : 4 plaques symétriques  
Origine Nouvelle-Zélande  
*Extension en cours*

5/10 mm

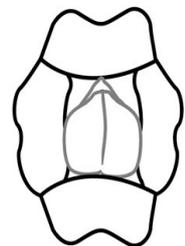


Tableau 4.4 : Les différentes espèces de cirripèdes rencontrées dans la région de Flamanville.

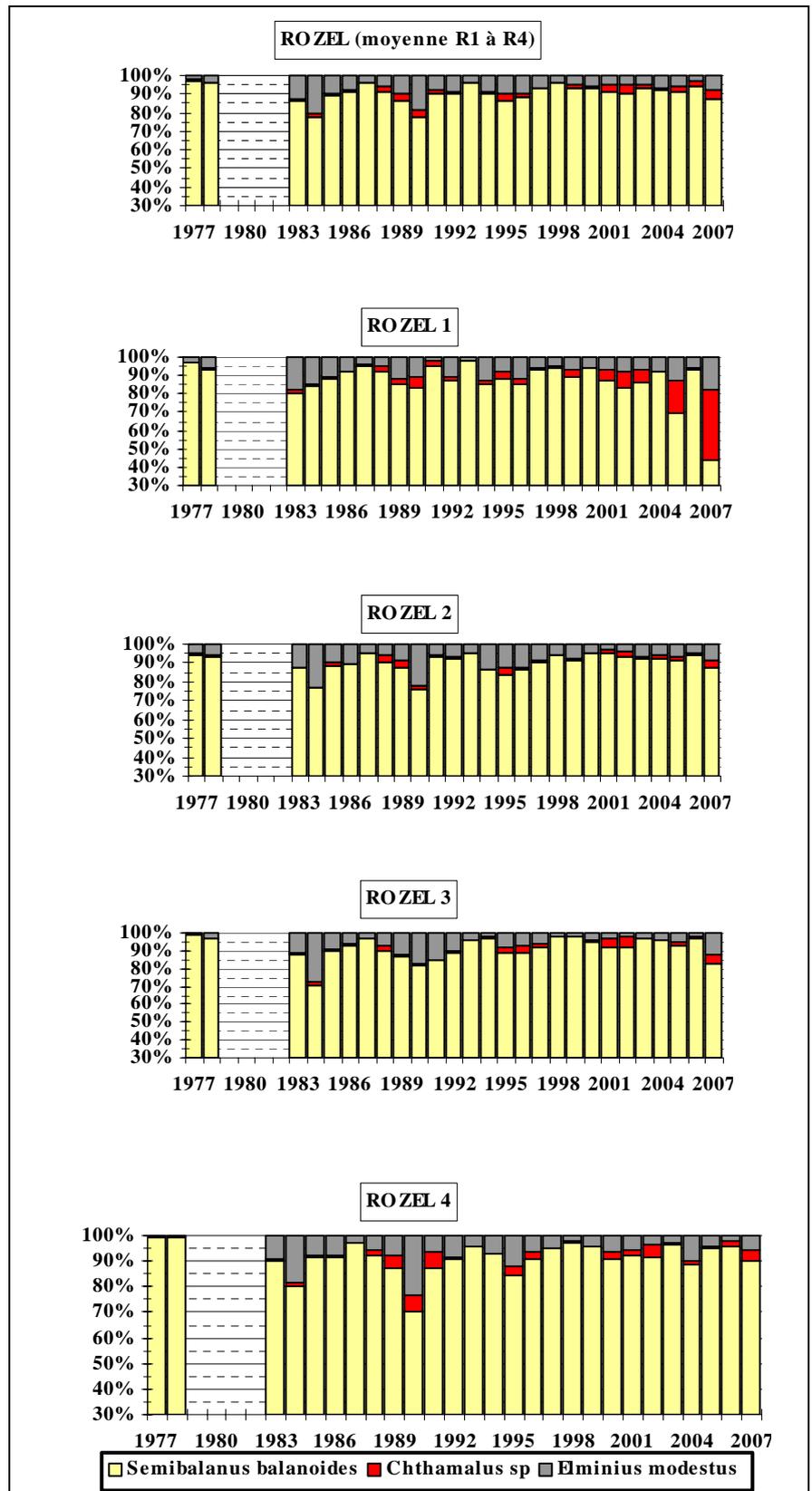


Figure 4.16 : Evolution en % des quatre espèces de cirripèdes à la pointe du Rozel depuis 1977. (Les deux espèces de Chthamales ont été regroupées au niveau du genre)

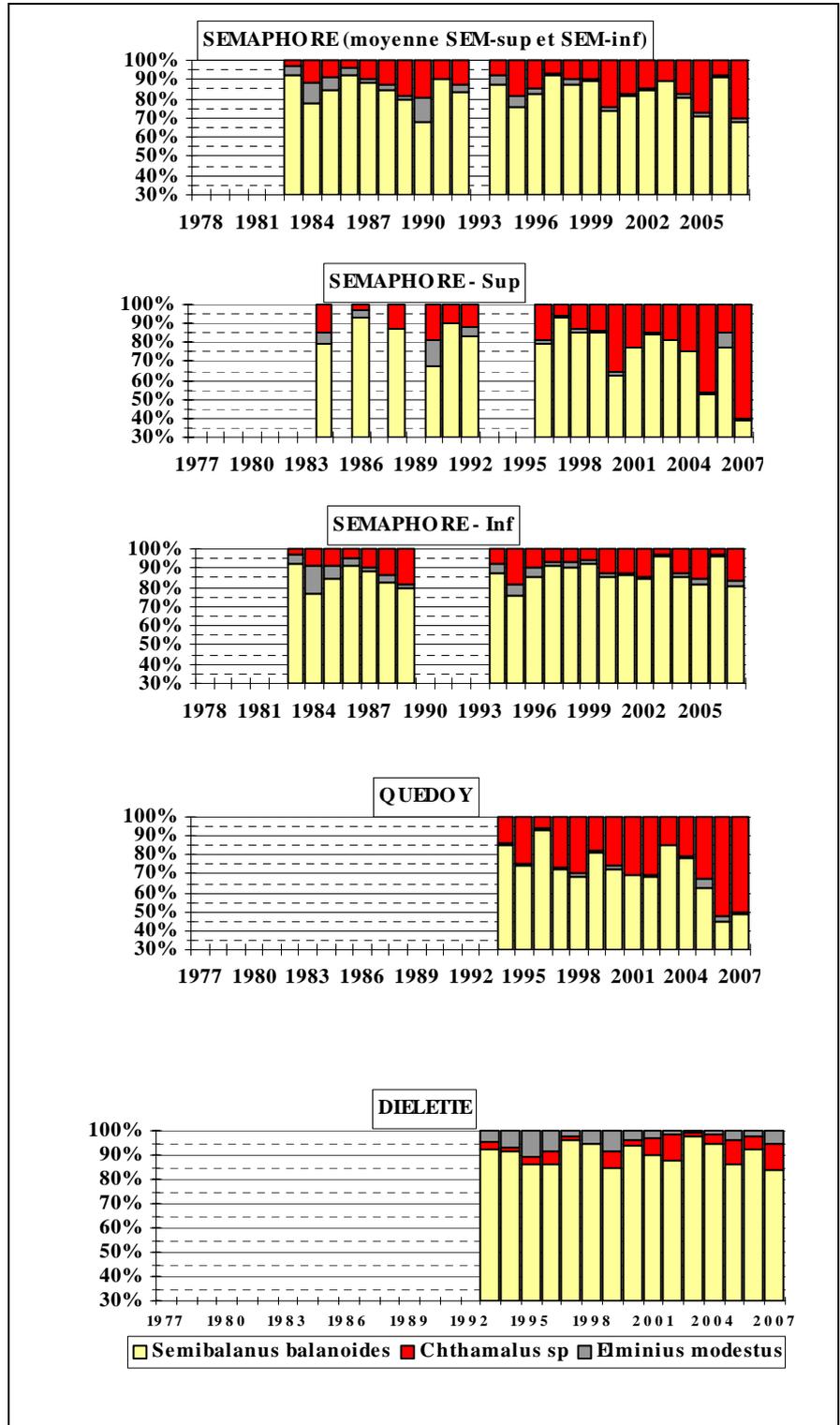


Figure 4.17 : Evolution en % des quatre espèces de cirripèdes au cap de Flamanville depuis 1983. (Les deux espèces de Chthamales ont été regroupées au niveau du genre).

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

Quant à *Elminius modestus*, sa présence dans le peuplement reste faible, seulement 4 % en moyenne sur la période étudiée (1 % à Quédoy, 3 % au Sémaphore, 5 % à Diélette et 8 % au Rozel). Les valeurs 2007 sont proches de la moyenne excepté au Rozel 1 où le pourcentage atteint 18% (2006 : 6%, moyenne sur la période d'observations : 8%).

L'année 2007 se caractérise par un faible recrutement printanier affectant particulièrement l'espèce *Semibalanus balanoides*. Les Chthamales voient de ce fait leur pourcentage aux différentes stations augmenter. Cette hausse s'observe surtout au Sémaphore sup (2006 : 8%, 2007 : 30%), au Rozel 1 (2006 : 1%, 2007 : 38%), mais aussi à Diélette (2006 : 6%, 2007 : 11%). A Quédoy la part des Chthamales reste importante comme l'année précédente (2006 : 52%, 2007 : 50%).

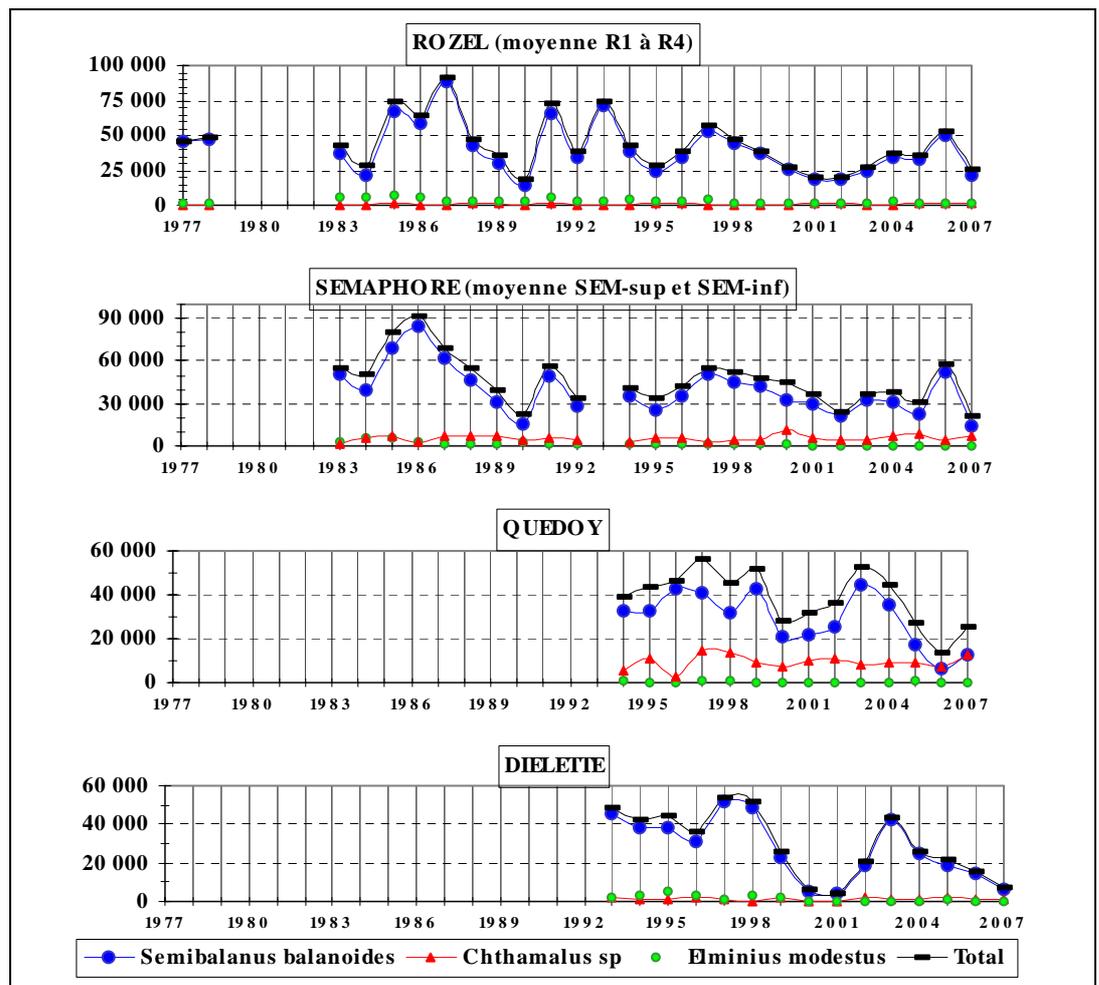


Figure 4.18 : Evolution, en nombre d'individus par m<sup>2</sup>, des densités des quatre espèces de cirripèdes depuis 1983

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

Les densités sont en baisse excepté à Quédoy. Les variations affectant les populations de cirripèdes au cours de l'année 2007 concernent essentiellement *Semibalanus balanoides*, mais aussi les Chtamales au Rozel (moyenne des 4 stations), et à Diélette. *Elminius modestus* augmente au Rozel mais diminue au Sémaphore et à Diélette. A Quedoy, les Chtamales et les Semibalanus augmentent, Elminius diminue.

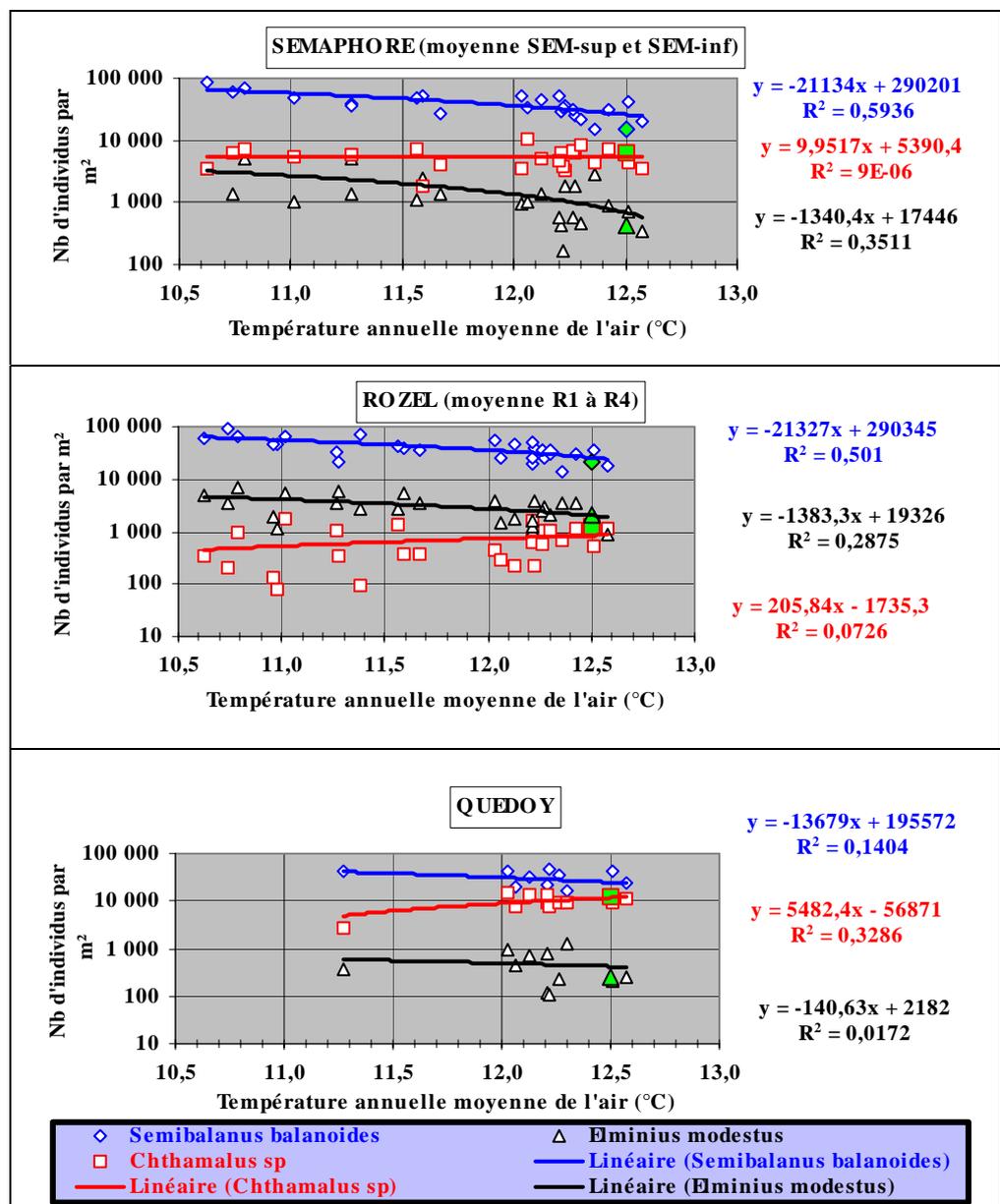


Figure 4.19 : Evolution des densités des cirripèdes intertidaux, à la pointe du Rozel (1977-2007) et au cap de Flamanville, en bas du sémaphore (1983-2007) et dans l'anse de Quédoy (1994-2007), en fonction de la température annuelle moyenne de l'air au cap de La Hague. Valeurs 2007 en vert

Ainsi l'augmentation des densités au Rozel et au Sémaphore intéresse l'espèce *Semibalanus balanoides*, qui atteint dans ces secteurs respectivement 95 et 91 % de la population de cirripèdes. Malgré la chute des densités à Diélette, le pourcentage de *Semibalanus balanoides*, 92 %, reste élevé.

De même que le recrutement printanier de *Semibalanus balanoides* est proportionnel à la rigueur de l'hiver (figure 4.13), un essai de corrélation des densités présentes en fin d'été pour ces quatre espèces est tenté avec la température annuelle moyenne de l'air (figure 4.19).

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

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

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

#### 4.2.3.4. **Evaluation des densités des principales espèces accompagnatrices**

Les cirripèdes abritent une microfaune abondante et variée. Ainsi, l'étude des prélèvements effectués en septembre nous révèle différentes espèces de gastéropodes (*Littorina saxatilis*, *Mélaraphe neritoides*), de bivalves (*Lasea rubra*), de polychètes, d'amphipodes, d'isopodes (*Campecopea hirsuta*) et même d'acariens... Seuls sont pris en compte dans cette étude les espèces ou groupes d'espèces appartenant à l'embranchement des mollusques .



*Campecopea hirsuta*



*Nereid* (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.

Concernant les quatre espèces, *Patella* sp., *Littorina saxatilis*, *Lasea rubra* et *Melaraphe neritoides*, les valeurs 2007, comme celle de 2006, sont faibles (figure 4.20).

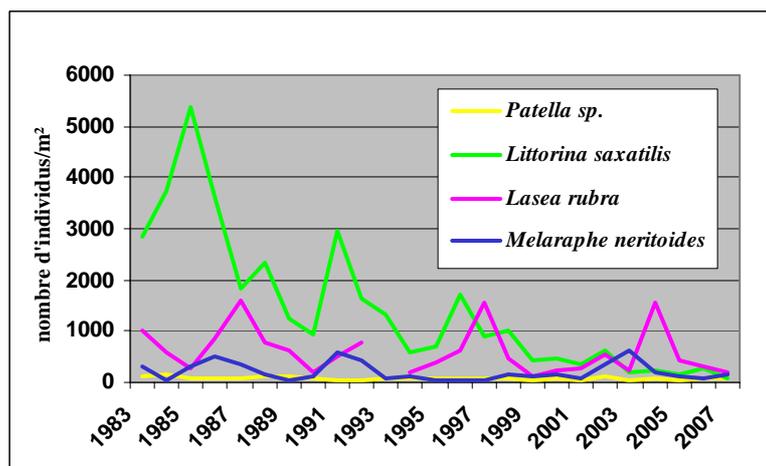
*Melaraphe neritoides**Littorina saxatilis**Lasea rubra**Patella* sp

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

L'abondance moyenne de *Littorina saxatilis*, en chute régulière depuis 1985, atteint en 2007 sa valeur minimale.

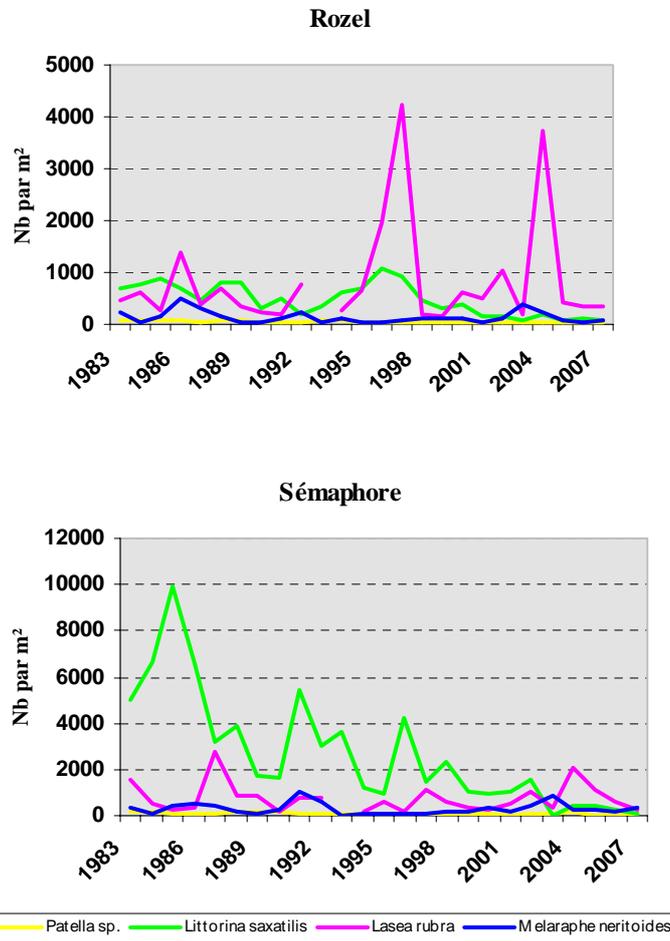


Figure 4.21 : Evolution des densités des principaux mollusques présents dans les populations de cirripèdes au Rozel et au Sémaphore

### 4.3. Conclusion

Contrairement aux deux années précédentes, la population de *Fucus serratus* du platier de Diélette présente en 2007, des biomasses en baisse aux deux périodes d'observations (en fin d'hiver et en fin d'été).

Le cycle de reproduction de ces fucales s'est développé en 2007 conformément au rythme habituel : valeurs moyennes tant en mars qu'en juin, puis élevées en septembre, avec un maximum de 98 % de thalles fertiles, et une maturation précoce.

Concernant les crustacés cirripèdes intertidaux, le recrutement printanier 2007, voisin de la valeur minimale de 1990, est extrêmement faible. L'hiver particulièrement doux, a été défavorable au renouvellement de *Semibalanus balanoides*, 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 2007 est la plus basse observée depuis 1977. Ce phénomène affecte les stations de Rozel, Diélette et Sémaphore alors qu'à Quédoy, on note une augmentation de la population de cirripèdes. Cette hausse concerne les Chtamales, bien représentés à cette station.

## 5. Le domaine halieutique

*Etude et rapport réalisés au sein d'Ifremer par*

<i>Jocelyne</i>	<i>Martin</i>	<i>DOP/DCN/EMH</i>
<i>Ivan</i>	<i>Schlaich</i>	<i>DOP/DCMMN/HMMN/RHPEB</i>

*avec la collaboration de  
pour les missions en mer*

<i>Olivier</i>	<i>Berthelé</i>	<i>DOP/DCN/EMH</i>
<i>Paul</i>	<i>Bourriau</i>	<i>DOP/DCN/EMH</i>
<i>Laurent</i>	<i>Castagné</i>	<i>DOP/DCN/EMH</i>
<i>Cathy</i>	<i>Dejouy</i>	<i>DOP/DCN/EMH</i>
<i>Eric</i>	<i>Foucher</i>	<i>DOP/DCMMN/HMMN/RHPEB</i>
<i>Patrick</i>	<i>Grellier</i>	<i>DOP/DCN/EMH</i>
<i>Jérôme</i>	<i>Quinquis</i>	<i>DOP/DCMMN/HMMN/RHPEB</i>

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



## 5.1. LARVES DE CRUSTACES

### 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 7 juin au 21 septembre à bord du chalutier artisanal *le LYSISSTRATA* avec des intervalles de temps compris entre quatorze et trente cinq jours. Les intervalles respectifs de 35 et 27 jours entre la première et la deuxième mission et entre la deuxième et la troisième sont dus aux mauvaises conditions météorologiques.

L'échantillonnage du zooplancton et les relevés hydrologiques sont, depuis 1988, réalisés en quatre points dont la position est indiquée sur la figure 1.7 : 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 0627 — de grande précision ( $1 \cdot 10^{-2} \text{°C}$  pour les mesures de température et  $1 \cdot 10^{-2}$  eps [*échelle pratique de salinité*] pour les mesures de salinité). L'absence de données pour la missions du 24 août est due à l'usure des piles restées actives entre les deux missions.

#### 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  $0,61 \text{ m}$ , mesure  $3 \text{ m}$  de longueur et présente

une partie cylindrique à l'avant du cône de filtration terminal. A chaque embouchure du couple de filets est fixé un débitmètre (2030 *Digital Flowmeter* 10 à 500 cm.s<sup>-1</sup> de General Oceanics) permettant le calcul des volumes d'eau filtrés. Un dépresseur en V de 40 kg environ assure la plongée et la stabilité de l'engin en pêche. Chaque filet se termine par un collecteur à oreilles où les organismes se rassemblent dans un volume d'environ 2 litres empêchant leur détérioration.

### Neuston

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

#### 5.1.1.3.2 Méthode d'échantillonnage

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

Depuis 1984, la pêche se fait ainsi en traict oblique, depuis le fond jusqu'à la surface à une vitesse de 2 nœuds environ (1 m.s<sup>-1</sup>). Le volume filtré au cours d'un simple traict oblique (comprenant la descente puis la remontée du filet) a varié cette année entre 43 m<sup>3</sup> et 174 m<sup>3</sup>. Les données concernant chaque traict (sonde, durée, volume filtré) sont indiquées dans l'annexe 5.1.

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

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 planctontes dans les collecteurs ; le contenu de chaque collecteur est recueilli dans des bocaux de 2 litres.

#### 5.1.1.3.3 Conservation des échantillons

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

## 5.1.1.3.4 Dépouillement des échantillons

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

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

## 5.1.1.4. Saisie, stockage et traitement des données

Les données brutes du comptage sont saisies au Centre IFREMER de Nantes sur micro-ordinateur où les effectifs, par espèce et stade de développement, sont ramenés à l'unité de volume filtrée ( $10\text{ m}^3$ ). L'ensemble des données est archivé sur la base Quadrige.

## 5.1.2 Résultats

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

5.1.1.5. 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 de zoés relevées au cours de l'été 2007 sont particulièrement faibles (densités inférieures à  $0,01$  larve par  $10\text{ m}^3$ ).

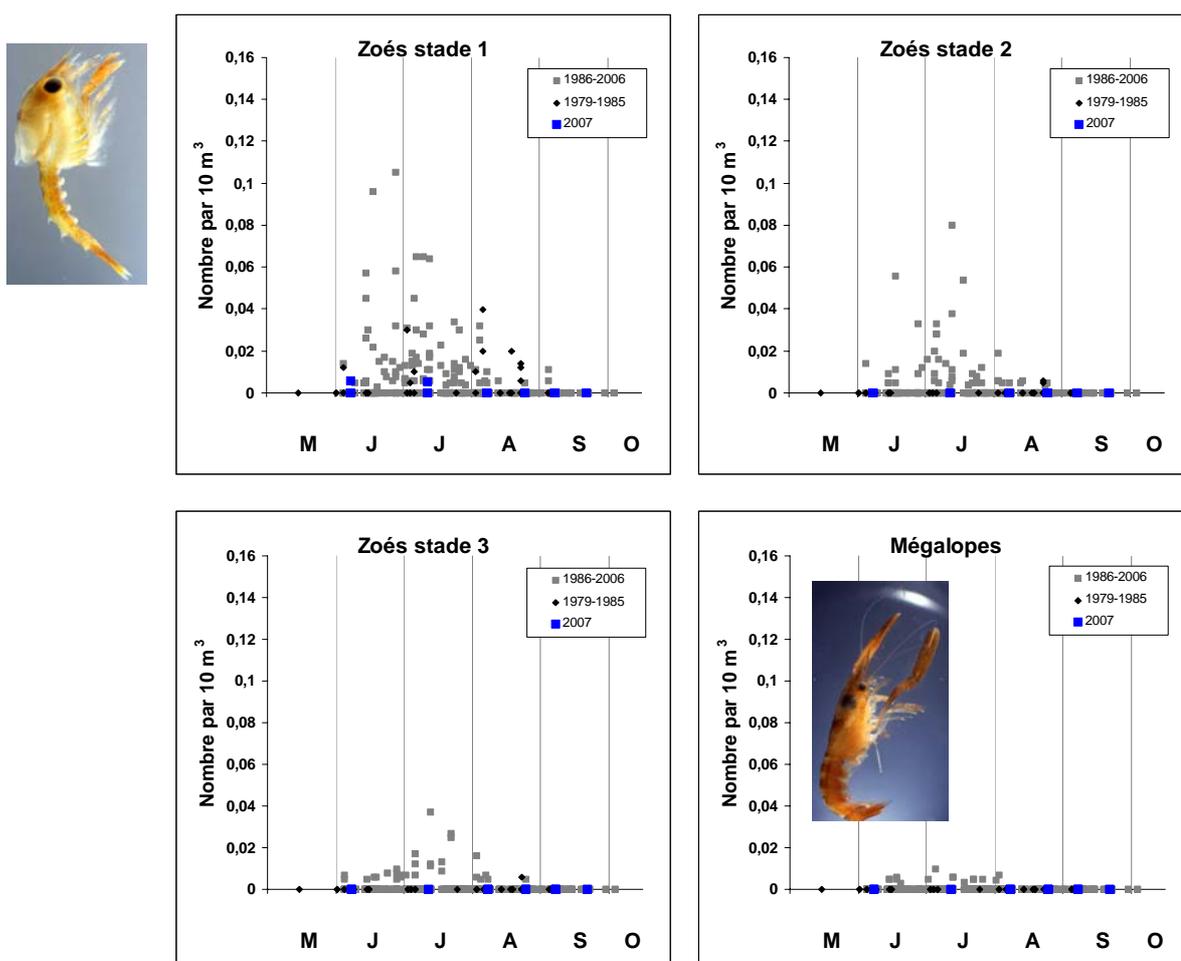


Figure 5.1 : Densité des quatre stades larvaires du homard relevés en subsurface depuis le début des études.

La figure 5.2 relative à l'année 2007 montre que des larves de homard ont été observées au cours des deux premières missions, soit le 7 juin et le 11 juillet et qu'il s'agissait uniquement de premiers stades. On peut donc dire que des éclosions se sont produites jusque mi-juillet mais nous ne pouvons conclure sur la date du pic d'éclosions. Il est difficile de suggérer, comme les années précédentes, que la précocité des éclosions nous a fait manquer le pic de zoés au stade 1 car nous n'avons pas observé de stades plus âgés.

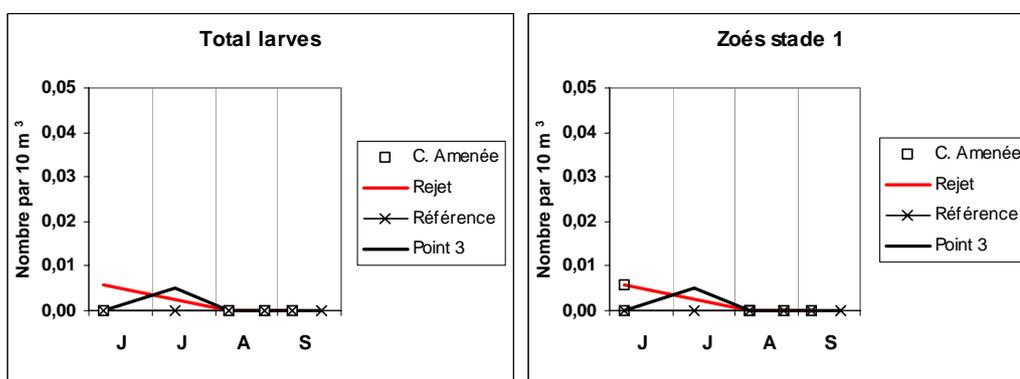


Figure 5.2 : Densité des quatre stades larvaires du homard relevés en subsurface en 2007.

La figure 5.3 qui illustre la répartition des larves aux différents points de prélèvement, montre l'absence cette année de larve de homard au point *référence* alors qu'une larve a été récoltée 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.

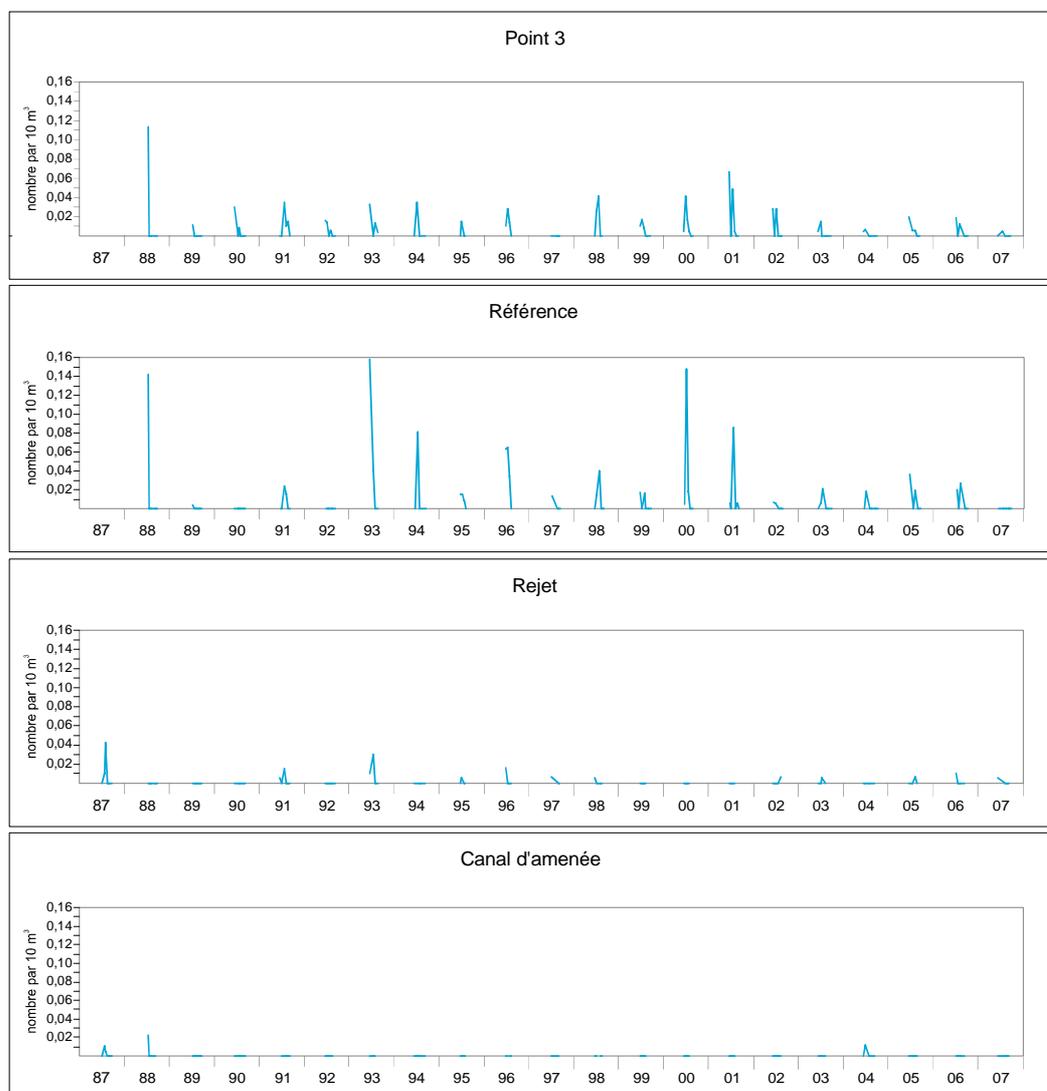


Figure 5.3 : Densité des larves de homard relevées en subsurface aux différents points depuis le début de la surveillance 2<sup>e</sup> phase (1987).

#### 5.1.1.6. 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 1<sup>er</sup> février-31 mai (figure 5.4, graphe gauche). Ce modèle montre qu'un accroissement de température de  $1^{\circ}\text{C}$  entraîne une avance de 20 jours dans l'apparition des zoés dans le plancton. Plus la quantité de chaleur reçue du 1<sup>er</sup> 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  $3^{\circ}\text{C}$  dans la température moyenne mesurée sur la période 1<sup>er</sup> février-31 mai. Le modèle de droite (figure 5.4) construit à partir des températures mesurées sur une période plus courte, de 4 semaines seulement (1<sup>er</sup> 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.

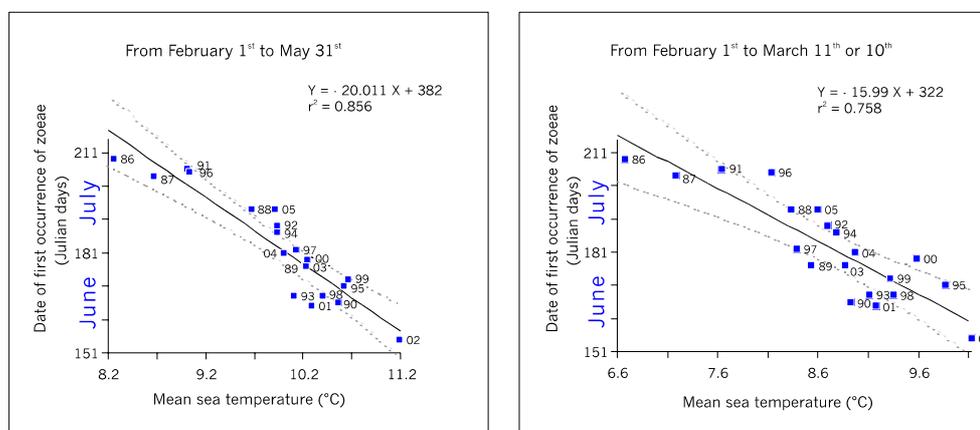


Figure 5.4. Modèles prédictifs de la date d'apparition des zoés d'araignée de mer.

En 2007, 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  $10,3^{\circ}\text{C}$ , température moyenne qui dépasse de deux dixièmes de degré la valeur de l'année 2002, la plus chaude pour cette période. Il s'ensuit que les premières éclosions devaient être au moins aussi précoces qu'en 2002. Or, lors de la première mission le 7 juin on a constaté la présence de quelques zoés au stade 2. Le démarrage des éclosions s'est donc produit au tout début du mois de juin ou peut-être dès la fin mai.

La figure 5.5 illustre pour les deux années extrêmes de la période 1986-2007 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.

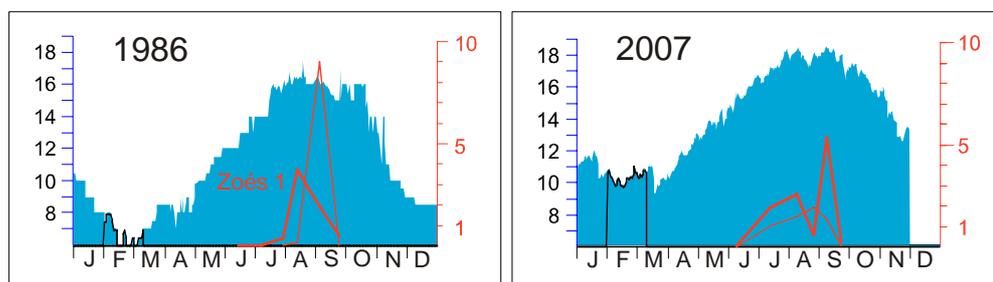


Figure 5.5. Évolution saisonnière des zoés d'araignée lors des deux années extrêmes de la période 1986-2007.

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) semble se poursuivre avec la moyenne des températures observées sur la période 1<sup>er</sup> février – 31 mai 2007 (11,4°C) qui dépasse de deux dixièmes de degré celle obtenue en 2002 jusqu'alors la plus élevée depuis 1986 ; la figure 5.6 illustre cette tendance sur 22 années.

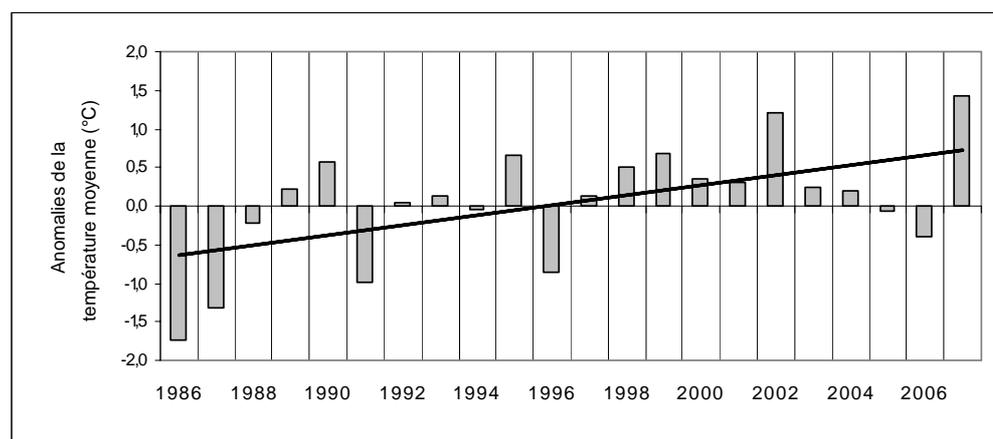


Figure 5.6. Anomalies de la température moyenne sur la période février-mai.

La courbe de variation de la densité de zoés au premier stade pour l'année 2007 (figure 5.7) suggère au moins deux pics d'éclosion, le premier se situerait probablement fin juin compte tenu du pic de mégaloopes du 11 juillet, le dernier s'étant produit début septembre ; entre les deux, il est possible d'envisager début août un deuxième pic qui expliquerait le pic de mégaloopes noté fin août. La densité maximale de zoés relevée début septembre est de 6,7 par 10<sup>3</sup> ; il est difficile de savoir si cette densité a été dépassée lors d'un précédent pic. Quoi qu'il en soit, des densités plus fortes (valeurs doubles) n'ont été observées que trois fois depuis 1986, l'année 1983 demeurant exceptionnelle avec 61 zoés par 10<sup>3</sup>.

Les figures 5.7 à 5.9 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 et 1998) ou qui la dépasse (en 2002) ; la densité de mégalopes est assez bien répartie entre le point 3 et le point référence à l'exception de l'année 2006 où la densité est 2 fois plus forte au point référence ;
- La faible quantité de larves aux alentours des bouches de rejet, mais si les zoés atteignent cette année une valeur moyenne (0,35 par 10 m<sup>3</sup>) comparée aux autres années, la densité de mégalopes (0,26 par 10 m<sup>3</sup>) est proche de la valeur maximale observée l'année dernière ;
  - En revanche on retrouve début juin des zoés d'araignée dans le canal d'amenée après leur absence depuis 1997 et la densité approche la valeur maximale atteinte la première année (1987) où leur présence était notée au cours de toute la saison.

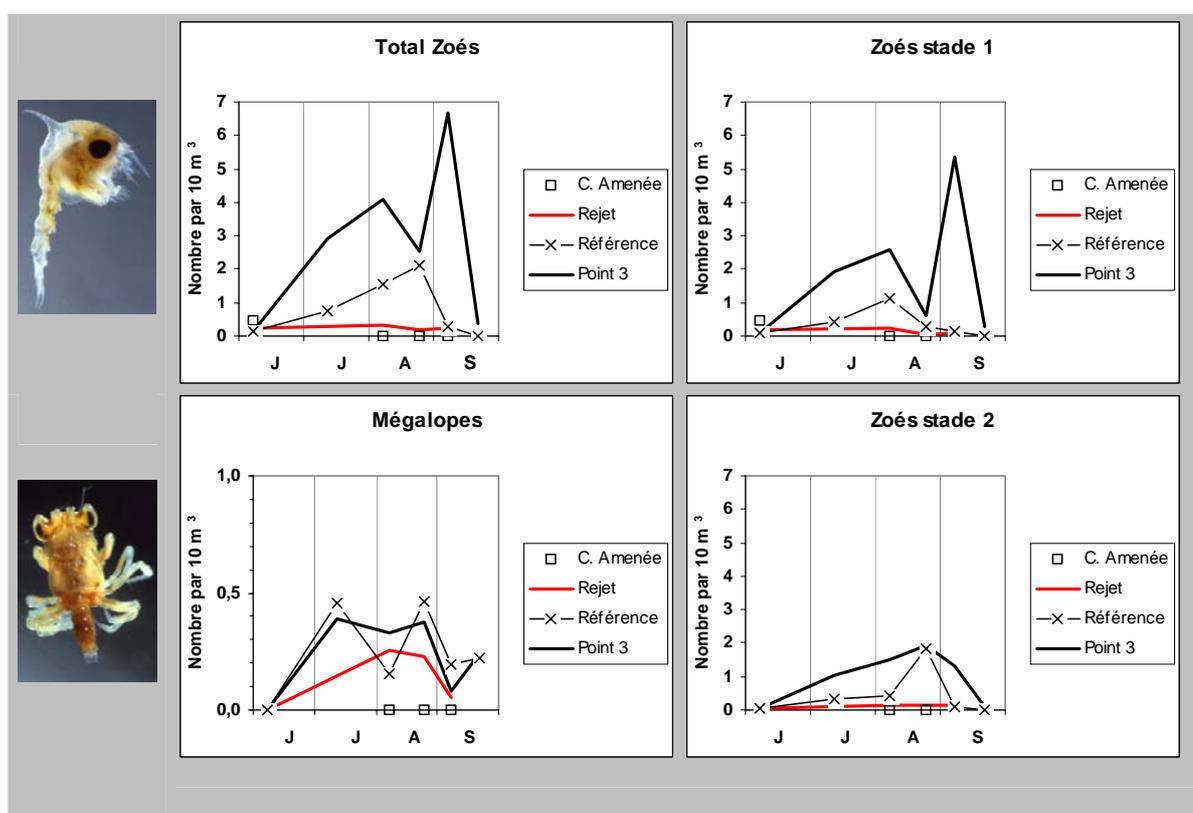


Figure 5.7 : Densité des différents stades larvaires d'araignée de mer *Maja brachydactyla* en 2007.

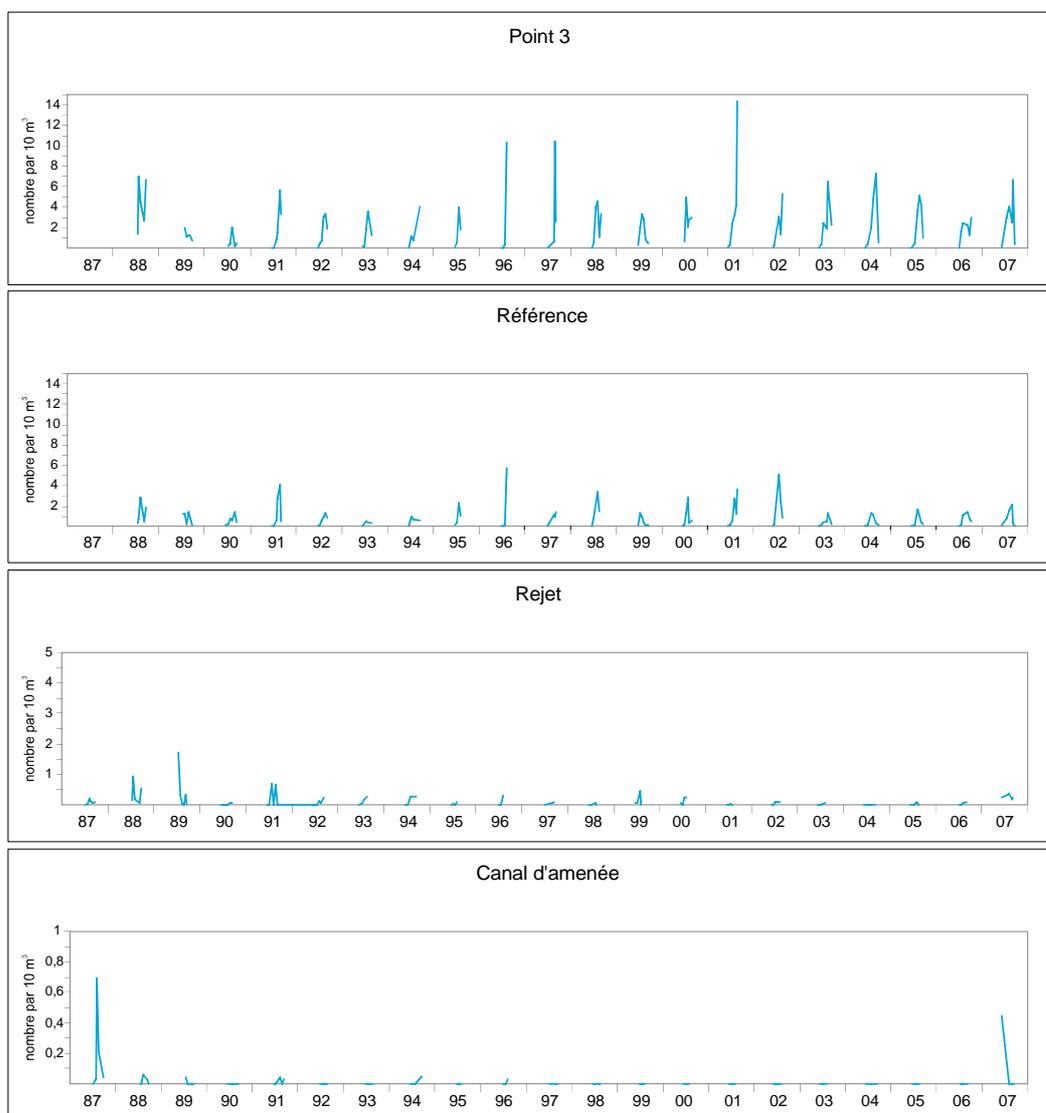


Figure 5.8 : Densité des zoés d'araignée de mer relevées aux différents points depuis le début de la surveillance 2<sup>e</sup> phase.

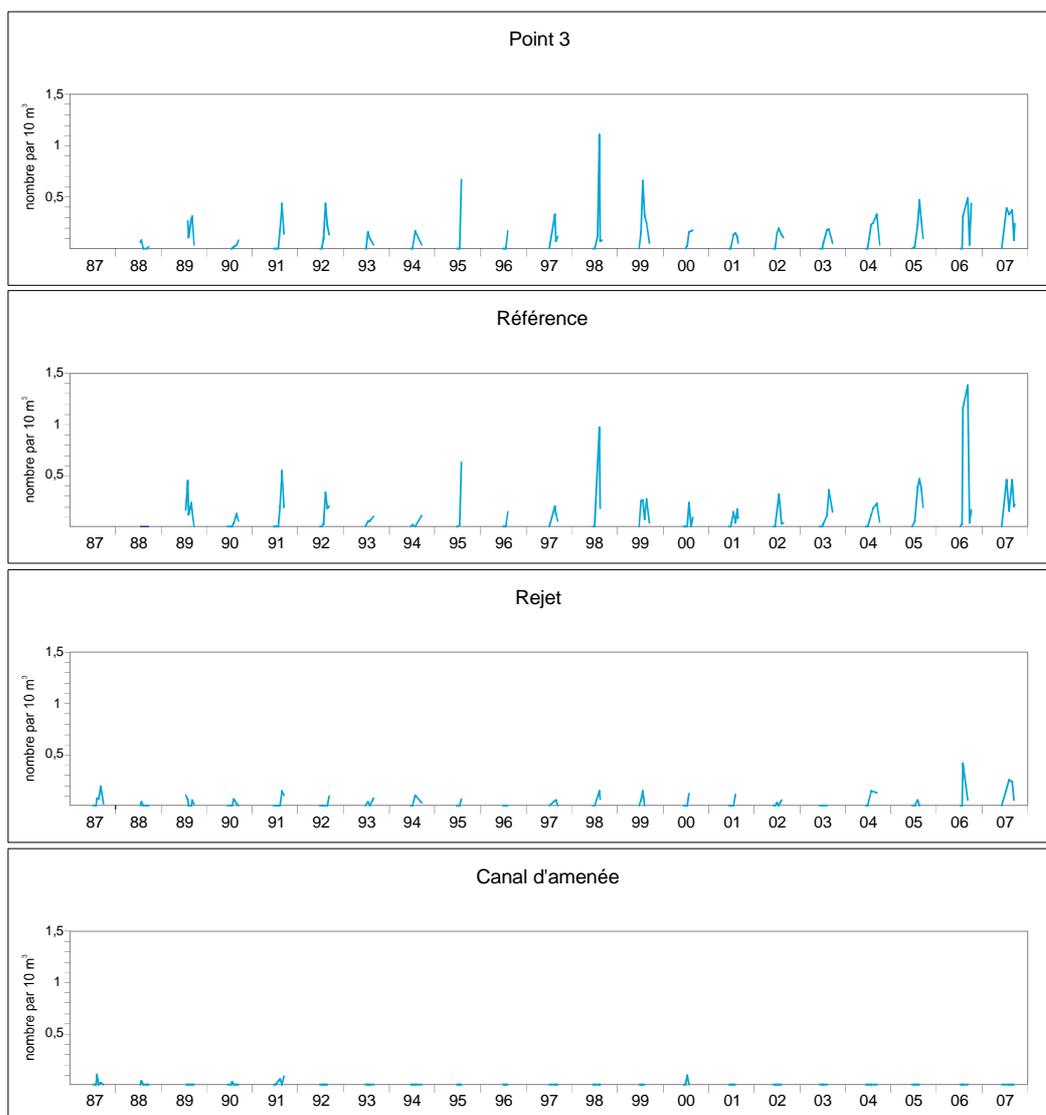


Figure 5.9 : Densité des mégaloopes d'araignée de mer relevées aux différents points depuis le début de la surveillance 2<sup>e</sup> phase

### 5.1.2. Conclusion

Comme l'illustre la figure 2.9 (page 26), les températures de l'eau de mer du premier semestre 2007 sont très élevées. En particulier, le cumul des températures journalières sur la période 1<sup>er</sup> février-10 mars, période démontrée sensible pour l'araignée de mer, est la plus élevée de la période 1986-2007.

Il s'ensuit que le démarrage des éclosion d'araignée s'est produit très tôt ; les quelques zoés au stade 2 ayant été observés dès la première mission le 7 juin suggèrent que les premières zoés ont éclos entre fin mai et début juin. Un premier pic d'éclosion semble s'être produit fin juin. La densité maximale de zoés, relevée début septembre lors d'un autre pic (6,7 par 10 m<sup>3</sup>) est plus importante que celle des années précédentes .

La répartition des zoés selon les points se confirme d'année en année avec les densités les plus fortes relevées au point 3 et des densités notables au point *référence*, alors que la zone de rejet est très pauvre et qu'on récolte rarement des larves d'araignée dans le canal d'amenée ; cependant on observe pour la première fois depuis 1997 des zoés dans le canal d'amenée. Les mégalopes se répartissent essentiellement entre le point *Référence* et le point 3 mais, comme l'année précédente, une quantité notable est observée aux environs du rejet.

Seules deux larves de homard ont été observées cette année, toutes deux au stade 1. Comme nous l'avons noté dans le rapport de synthèse (Drévès *et al.*, 2005) les larves de homard apparaissent plus généralement dès le mois de mai depuis quelques années. La densité maximale observée en subsurface (0,006 par 10 m<sup>3</sup>) est très faible.



## 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 2007, la flottille est répartie de la façon suivante :

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

#### 5.2.1.2. Activité

L'activité hivernale est souvent perturbée par les conditions météorologiques et oblige les bateaux, dont la longueur moyenne est inférieure à 10 m, à rester à quai les deux premiers mois de l'année. Les plus gros, pour la plupart basés à Carteret, travaillent toute l'année. Un nouveau bateau a été immatriculé en 2006 mais d'une manière générale la flottille fréquentant cette zone de pêche est plutôt ancienne puisque âgée en moyenne de 25 ans.

Les problèmes de ressources ainsi que la limitation du nombre de casiers par homme embarqué ont poussé les pêcheurs de crustacés à diversifier leur activité. Ceux qui possédaient une autre licence de pêche l'ont utilisée, quant aux autres, ils se sont reportés vers d'autres espèces. Ainsi sur les 15 caseyeurs à gros crustacés de la zone et en fonction des périodes de pêche, 9 pratiquent simultanément le casier à bulot, 3 le casier à seiche et 5 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 peut 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.

Parallèlement il existe une petite dizaine 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 Porbail à l'anse de Sciotot.

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 et qui fréquentent d'avantage le nord de Jersey ou le sud de la zone étudiée. Ces bateaux sont principalement 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 2007	Mois											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Métier												
Casier à crustacé												
Casier à bulot												
Casier à seiche												
Filet à raie												
Filet à sole												
Palangre												
Chalut de fond à sole												
Chalut à perche												
Chalut à vanneau												
Drague à praire												
Drague à coquille												

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

### 5.2.1.3. Production

En 2006, les déclarations faites par les professionnels (source BCS) font apparaître une production de 138 tonnes de crustacés. Le plus gros des apports est composé d'araignées et de tourteaux dont les poids débarqués sont respectivement de 41 et 62 tonnes. Le homard arrive en troisième position avec 33 tonnes.

La production de buccin est environ au même niveau que l'an passé avec environ 1 100 tonnes.

D'autres espèces de mollusques, parmi lesquelles on trouve la Coquille Saint Jacques (71 T), la seiche (27 T), le vanneau (8 T), la praire (24 T) ou les amandes (23 T) leur représentent une production totale d'environ 173 tonnes.

Les poissons sont essentiellement représentés par les différentes espèces de raies (82 tonnes), de sélaciens (106 tonnes) ou bien encore la sole (44 T) qui représente les trois quarts des 56 tonnes de poissons plats pêchés dans la zone.

Cette liste n'est évidemment pas exhaustive ; en 2006, la production de la flottille du nord ouest Cotentin peut être estimée à environ 1 700 tonnes. Cette évaluation basée sur les déclarations 2006 issues des journaux de bord et des fiches de pêches est en diminution par rapport à l'année précédente. Le nombre de navires étant constant, il est donc fort probable que plusieurs d'entre eux n'aient pas rendu la totalité des documents déclaratifs.

## 5.2.2. Pêches expérimentales

En 2007, les pêches expérimentales aux casiers ont été réalisées au cours des mois de juin et septembre.

### 5.2.2.1. Matériel et méthode

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, plus particulièrement dans celles réalisées à proximité même 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 ; elle connaît une augmentation importante de sa population. Afin d'y compléter l'étude de la distribution spatiale, une filière, localisée en permanence à la limite des enrochements, a été ajoutée hors contrat en 2006, portant à 16 le nombre de points d'observations (figure 5.8).

Les filières 2, 8 et 16 sont à l'intérieur même de la réserve ; trois autres (3, 9 et 13) sont en périphérie. Cette mesure de gestion se traduit par une augmentation des rendements de pêche, introduisant un biais dans la série historique des campagnes.

D'autre part, en 2007 et à titre expérimental, la capture de petits juvéniles de homards a été tentée, en disposant le long des enrochements trois casiers à crevettes. Malheureusement, aucune capture n'a été effectuée à l'aide de cette méthode.

Depuis 2003, tous les homards pêchés dans cette zone sont marqués d'un numéro avant d'être relâchés dans le cantonnement. La nouvelle filière placée dans les enrochements, et constituée de casiers de plus petit maillage, doit permettre la capture de jeunes homards.

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

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

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

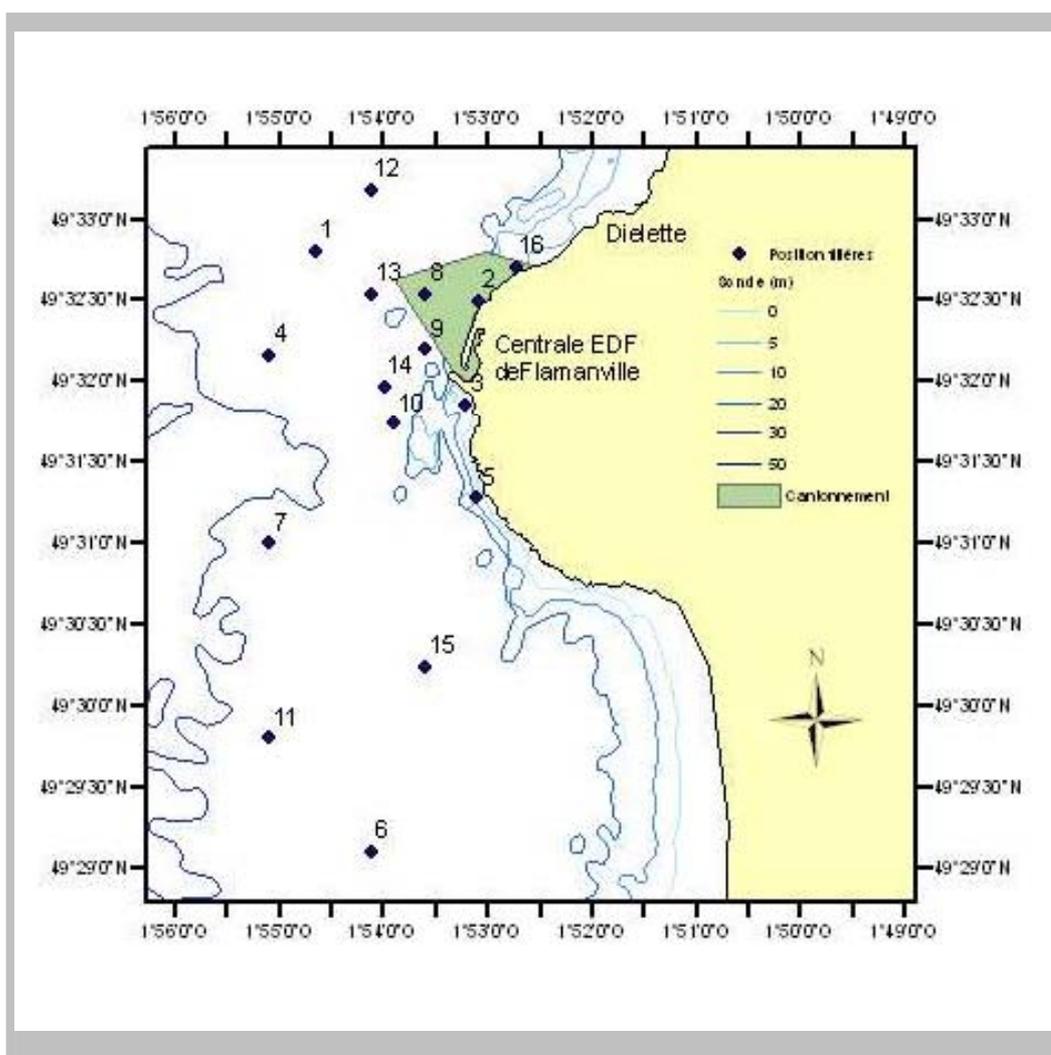


Figure 5.10 : Carte de positionnement des filières

**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	4	16	320
	5	16	320
	6	16	320
	7	16	320
Septembre	3	16	320
	4	16	320
	5	16	320
	6	16	320

Tableau 5.2 : Dates des campagnes 2007 et nombre de filières relevées

**Observations réalisées**

Les observations réalisées en 2007 reposent sur 2 560 casiers relevés (annexe 5.9). Le nombre d'individus capturés par casier est noté pour les espèces suivantes : homard, tourteau, araignée, étrille, buccin et paguridés. Les données biologiques prises en compte pour les crustacés (excepté les paguridés) sont la taille, le sexe, la présence éventuelle d'œufs, la dureté de la carapace (pour l'étrille) et la maturité (pour l'araignée).

**Traitement des données**

Les données sont recueillies sur un ordinateur portable de type Workabout. Chaque paramètre est identifié par un code barre lu à l'aide d'un crayon optique. Toutes les informations saisies lors de ces campagnes sont directement intégrées et traitées à la station de Port en Bessin grâce à un logiciel de gestion de base de données. 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 M.J et al 2005) ou sous forme de bilan (Bertrand J.A et al 2004). Pour cette étude nous avons choisi de présenter des indicateurs pour lesquels une activité anthropique, tel que l'impact de la pêche, peut influencer sur l'état d'une population. Les graphiques représentent les fluctuations temporelles auxquels a été ajouté une droite dont la pente indique une variation significative.

**5.2.2.2. Principaux résultats**

Les résultats de l'année 2007 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 2006.

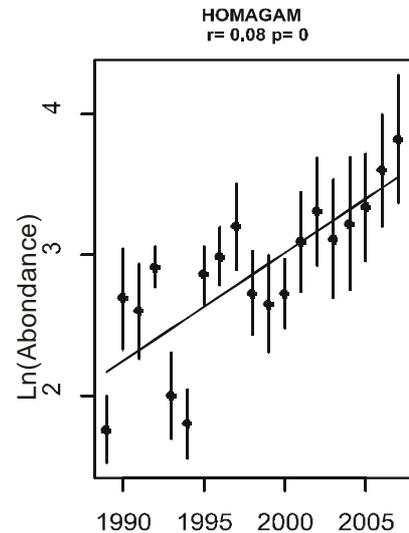
Le poids individuel est calculé à partir de la relation taille - poids élaborée en 1983 par les biologistes du Comité Régional des Pêches et Cultures marines de Bretagne (CORPECUM), du Comité Local des Pêches de Blainville, des Stations ISTPM de Roscoff et de Ouistreham et utilisée depuis pour l'ensemble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

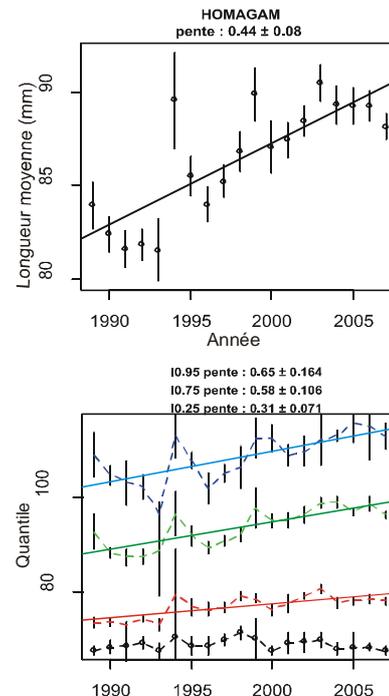
#### ↳ Rendements

Les rendements (nombre d'individus pêchés pour 10 casiers relevés) observés en juin et septembre sont 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 sont de 4,9 individus pour 10 casiers. Les deux filières situées dans le cantonnement ont une productivité très nettement supérieures aux autres filières et participent pour plus du tiers à l'indice global. Ce dernier est de 3,7 individus pour 10 casiers hors réserve. La figure 5.11 présente une vue globale des rendements dont les plus importants se situent au sud du cantonnement (filières 3,5,10). Les indices d'abondance les plus faibles sont observés à l'ouest de la zone d'étude.



#### ↳ Répartition des tailles

La taille moyenne des homards capturés en 2007 est de 8,8 cm (longueur céphalothoracique). L'augmentation de celle-ci est principalement due aux captures importantes de plus gros individus dans les filières de la réserve. Ceux-ci entraînent un déplacement du mode de l'ensemble des individus capturés vers la partie supérieure du spectre de taille (cf. graphe ci contre). 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 et son efficacité dépend aussi de la vulnérabilité de certaines parties de la population de homards présents sur la zone de pêche. La distribution des captures est donc liée à certaines phases du cycle biologique (mue plus fréquentes chez les jeunes homards, reproduction...) mais est aussi fonction de la dominance territoriale des plus gros homards. En dehors de la réserve la longueur diminue sensiblement depuis 10 ans pour se stabiliser légèrement en dessous de la taille marchande (8,7 cm).



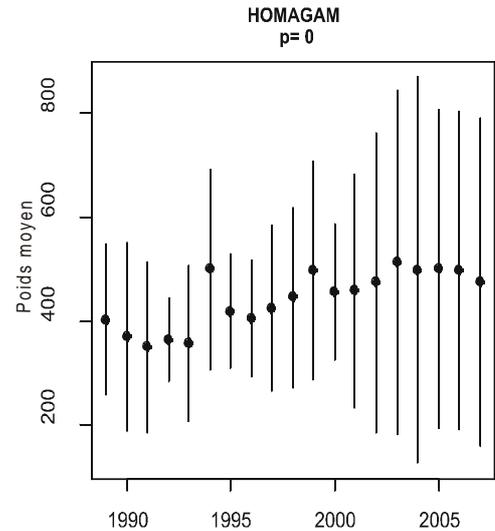
## ⌘ Poids individuel

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 2007 est de 474g. Il n'existe pas d'évolution significative de ce paramètre mais il est très probable que du fait de la sélectivité de l'engin utilisé, seuls les individus dont le poids est généralement supérieur à 200 g sont capturés. La fraction la plus jeune de la population est donc mal échantillonnée.



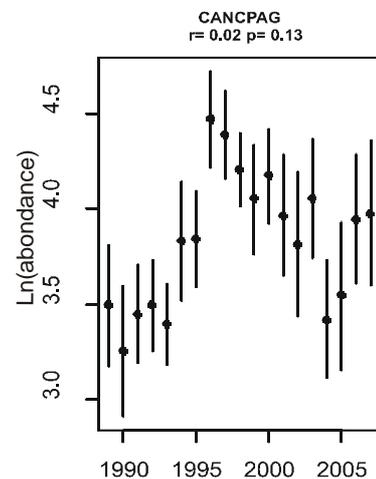
## ⌘ Proportion des sexes

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

\***Tourteau** (annexe 5.6)

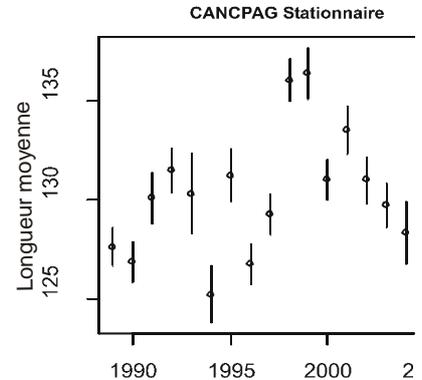
## ⌘ Rendements

Après une hausse importante en 2006 il semble que les rendements se stabilisent cette année pour atteindre 7,1 individus pour 10 casiers. Les filières au sud du cantonnement donnent les rendements les plus élevés (figure 5.12). L'augmentation récente des captures est due principalement aux filières 3, 5, 9,10 et 14. Les filières 8 et 16 représentent quant à elles, les valeurs les plus faibles soit respectivement 0,9 et 1,7 individus pour 10 casiers. Il faut noter que l'effondrement des rendements, qui a fait suite à la création de la réserve, n'est plus observé depuis 2005 et que globalement les captures augmentent à nouveau à l'extérieur du cantonnement. Avec 1713 individus capturés cette année le tourteau est l'espèce la plus abondante sur le site de Flamanville.



## ➤ Répartition des tailles

La taille moyenne des individus capturés (largeur du céphalothorax) lors de la campagne 2007 est de 13,3 cm. Elle n'a pas significativement varié depuis 1989 mais augmente lors des trois dernières années. On observe une différence de taille moyenne d'environ 15 mm entre la réserve (11,9 cm) et le reste de la zone prospectée (13,3 cm).



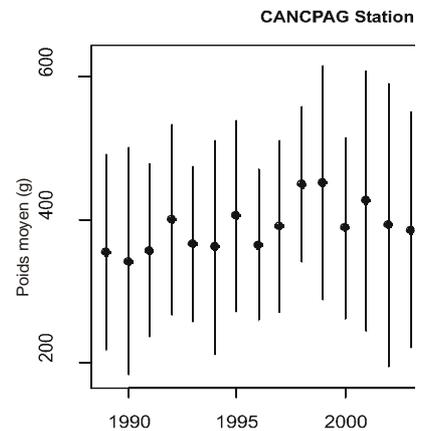
## ⌘ Poids individuel

Le poids moyen est calculé à partir des paramètres suivants :

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

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

Il est de 416 g sur l'ensemble des deux campagnes annuelles et n'a pas, en dehors des fluctuations temporelles, varié depuis 1989.



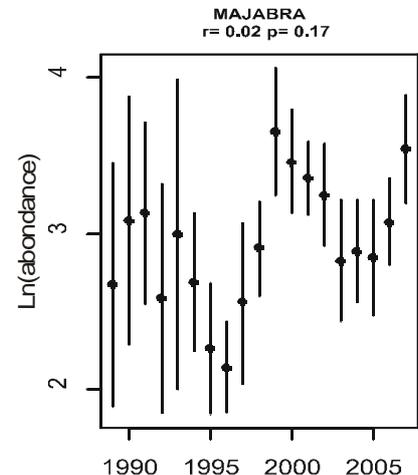
## ⌘ Proportion des sexes

Le sex-ratio des captures est composé à 64 % de mâles.

\***Araignée** (annexe 5.7)

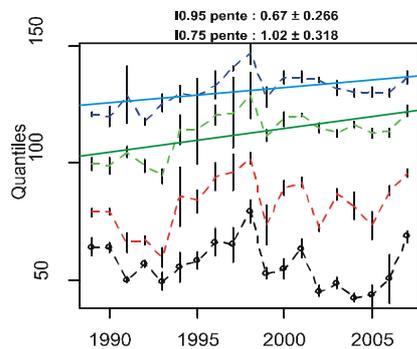
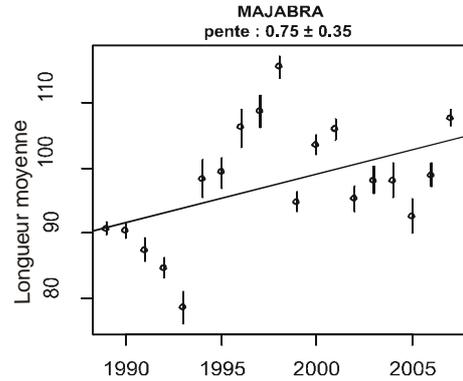
## ⌘ Rendements

Les rendements sont cette année de 3,4 individus pour 10 casiers et représente en nombre total 813 araignées, soit une augmentation de plus de 45 % par rapport à 2006. Les captures les plus importantes sont observées en juin dans les filières 6,11 et 15 mais aussi dans celles de la réserve (figure 5.13). Généralement les filières placées sur les fonds sableux situés à l'ouest de l'anse de Sciotot donnent les meilleurs rendements. Pendant la campagne du mois de juin, on remarque depuis deux ans, une concentration plus importante d'araignées dans la réserve. A l'inverse, au mois de septembre, aucun individu n'a été capturé dans ces trois mêmes filières



☞ Répartition des tailles

La longueur céphalothoracique moyenne des araignées capturées en 2007 est de 10,8 cm. Nous avons, de la même façon que l'an passé, observé une augmentation sensible des tailles aussi bien en juin qu'en septembre. Cette variation de l'ordre de 2 cm lors de cette dernière campagne est due à des captures plus importantes de grands individus mais aussi à une baisse sensible du nombre de petits individus lors des deux dernières années ( graphe ci dessous).



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

Il faut aussi noter une augmentation significative de la taille des plus petits individus ce qui montre une diminution du nombre de juvéniles 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  $b=2,88$

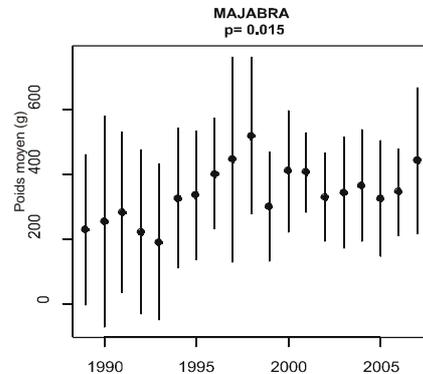
les femelles :  $a=102.10^{-5}$  et  $b=2,698$

\* pour les individus matures

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

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

Il est de 430 g sur l'ensemble des deux campagnes annuelles. Le poids moyen de la population d'araignée reste stable sur l'ensemble de la période.



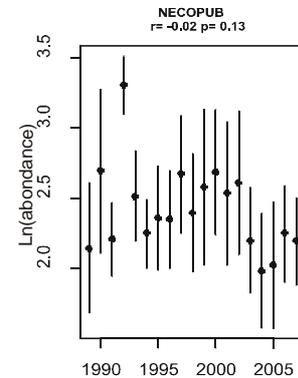
☞ Proportion des sexes

La proportion de mâles est de 83 %.

**\*Étrille**

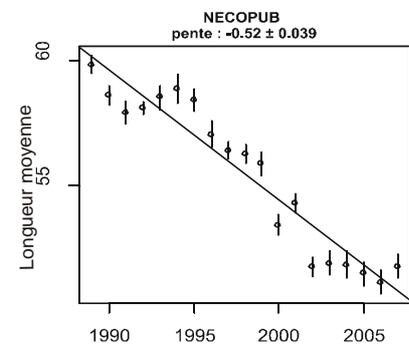
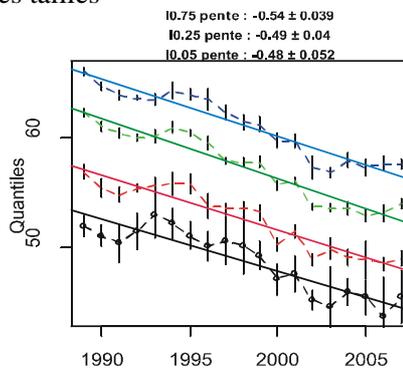
## ↳ Rendements

Les rendements restent faibles et se stabilisent à 1 individu pour 10 casiers. La stagnation de ces captures à un niveau particulièrement bas sur les cinq dernières années provoque une importante cassure dans la série historique. La moitié des points de prélèvement ont en effet des rendements nuls. La capture la plus importante est réalisée au point 3 avec 2,9 individus pour 10 casiers (figure 5.14).



## ↳ Répartition des tailles

La taille moyenne est de 52 cm. L'étude des longueurs moyennes met en évidence une forte diminution de la taille de l'étrille 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 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 captures importantes de juin 1992 ainsi que la stabilité de l'abondance à un niveau élevé jusqu'en 2000 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. Les deux dernières campagnes montrent une légère augmentation des captures, période de pleine exploitation puisque les étrilles ont terminé leur mue à cette saison.

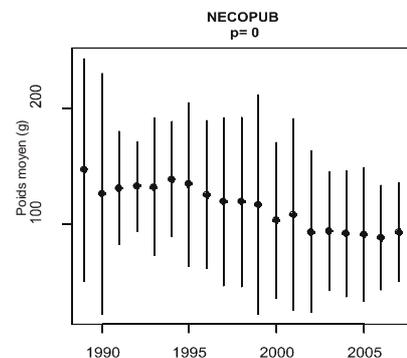
## ↳ Poids individuel

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  $b=3,008$

Il est de 94 g sur l'ensemble des deux campagnes annuelles. La tendance graphique montre un resserrement autour de cette valeur. Ce qui montre qu'il y a moins de tailles extrêmes ces dernières années.



## ☞ Proportion des sexes

Comme chaque année le sex-ratio est déséquilibré : 74 % des étrilles pêchées sont des mâles.

## ☞ Proportion d'individus mous

Le pourcentage d'individus mous est de 18 % en juin.

**Zone du Cantonnement****Homard**

Sur les 444 homards différents capturés dans le cantonnement, 287 ont été marqués pour la première fois cette année. Les filières 2, 8 et 16 ont des rendements respectifs de 12,7, 13,5 et 19,4 homards pour 10 casiers.

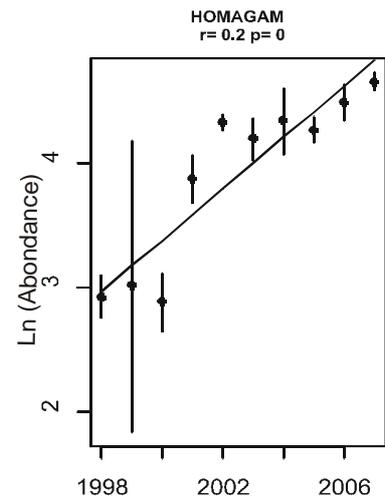
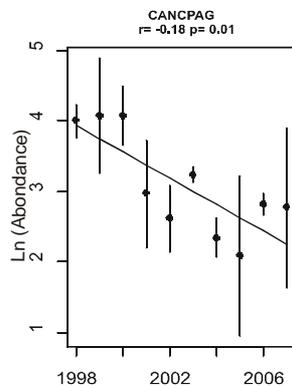
Après avoir augmenté de plus d'un cm entre 2000 et 2006, la taille moyenne est en légère diminution cette année. Cette tendance est due aux captures plus importantes de petits individus dans la filière 16.

Pour les mêmes raisons, le poids moyen est inférieur (535 g) à celui observé en 2006.

Nous avons maintenant la certitude que les enrochements de la centrale constituent un abri adapté à la population fraction représentant les juvéniles de homard. Ceux ci sont en effet abondants lorsque les casiers sont disposés au plus près de blocs.

Au regard de l'ensemble du reste de la zone étudiée, le nombre de femelles oeuvées capturées dans la réserve reste important.

Une première étude des marquages confirme que les homards sont sédentaires et qu'ils s'éloignent rarement de leur habitat. Certains individus recapturés en septembre ont été marqués pour la première fois en 2003. Cette année nous avons capturé neuf individus dans les filières situées à proximité immédiate de la réserve. Quant aux retours de la part des professionnels ou plaisanciers, seul le pêcheur avec qui nous réalisons les campagnes a recapturé 7 individus dont une femelle, marquée en juin 2004 qui a été pêchée en juillet 2007 dans le Raz Blanchard.

**Tourteau**

Parmi les quatre espèces pêchées pendant cette campagne le tourteau reste l'espèce la plus abondante.

Toutefois dans la réserve cela n'est plus le cas depuis 2000. Les rendements y sont particulièrement faibles et atteignent un minimum de 1,7 individus pour 10 casiers le long des enrochements.

Pendant la même période les captures totales, très hétérogènes d'une filière à l'autre, et la taille moyenne sont stables.

**\* Buccin et Paguridés**

Les filières situées au sud du cap de Flamanville, représentent toujours les rendements les plus importants. La fraction échantillonnée se situe dans la partie supérieure de la population. Ceci est dû à la sélectivité du maillage des casiers. Il permet en effet à la plupart des individus de moins de 5 cm de ressortir ou de passer au travers du maillage lors du virage des filières. Les rendements sont en forte diminution cette année. Ils sont de 1,8 pour le buccin et de 0,4 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.

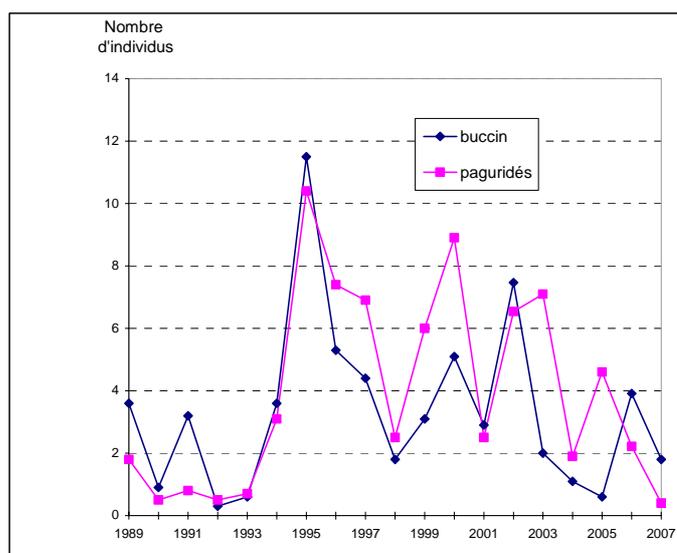


Figure 5.12 : Rendements en nombre d'individus pour 10 casiers.

### 5.2.3. Conclusion

L'année 2007 se caractérise par une forte abondance de la population d'araignées dont la taille moyenne augmente de façon importante et passe de 9,3 à 10,8 cm en deux ans. Cette variation est renforcée par les captures plus importantes de gros individus en septembre.

Les rendements en homard augmentent pour la quatrième année consécutive. Sur la même période la taille moyenne se stabilise au niveau de la taille marchande.

La taille moyenne des étrilles capturées reste faible et n'a pas significativement varié depuis six ans. Elle augmente même légèrement cette année et semble correspondre au seuil de sélectivité de l'engin.

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

- \* les captures de homards augmentent encore cette année et la taille moyenne, en légère baisse est proche de 9,5 cm.

- \* le système de marquage utilisé depuis 2003 permet d'identifier les individus recapturés même après plusieurs mues. Nous avons ainsi pu observer de nombreuses augmentations de tailles accompagnées parfois de modification du stade sexuel comme par exemple le passage de femelle à celui de femelle œuvée. Six individus marqués en 2003 ont même été repêchés lors de la dernière campagne.

\* malgré le nombre assez important de homards marqués, environ 1595 individus en cinq ans, le taux de re-capture en dehors de la réserve est faible (30 individus depuis 2003). Cela confirme que le homard est une espèce plutôt sédentaire, la majorité des captures se faisant généralement à l'intérieur du cantonnement ou en bordure immédiate.

\* la filière numéro 16 confectionnée avec un maillage plus petit et positionnée dans les blocs de ciment devant la centrale, a permis de capturer six individus dont la longueur orbitale est inférieure à 6 cm. Les premiers essais réalisés l'année dernière avaient donné des résultats tout aussi encourageant mais légèrement inférieurs avec 3 individus. Il ne fait maintenant aucun doute que ces récifs artificiels constituent un habitat privilégié par les juvéniles de homard dont le nombre et la distribution resteront difficile à estimer.

\* comme les années précédentes, il y a très peu de tourteaux capturés. Il a été démontré que la compétition entre espèces influe sur les captures au casier et que, dans la réserve, le homard est bien l'espèce de crustacé territorialement dominante.

Globalement, on peut avancer, qu'en dehors de l'étrille pour laquelle la situation reste critique, les résultats obtenus montrent qu'il n'y a pas eu aggravation récente de l'état de la communauté du fait de la pêche ou de toute autre activité anthropique.

Mission	Date	Coeff. Marée	Point	Nuages	Sonde	Engin	Heure début (T.U.)	Durée	Temps après P.M.	Volume (m <sup>3</sup> )
187	7 juin	57	C. Amenée		6	Bongo 1	14h 07	0mn45	3h 55	43
						Bongo 2	14h 12	1mn15	4h	48
						Neuston S	14h 16	11mn	4h 04	1211
			Rejet		14	Bongo 1	14h 36	1mn	4h 24	103
						Bongo 2	14h 42	1mn30	4h 30	94
						Neuston S	14h 48	14mn	4h 36	1726
			Référence		22	Bongo 1	15h 20	2mn30	5h 08	161
						Bongo 2	15h 26	2mn30	5h 14	139
						Neuston S	15h 32	15mn	5h 20	1723
			Point 3		24	Bongo 1	16h 18	2mn50	6h 06	?
						Bongo 2	16h 24	2mn40	6h 12	163
						Neuston S	16h 30	15mn	6h 18	1686
188	11 juillet	59	Référence		22	Bongo 1	8h 05	1mn50	5h 22	91
						Bongo 2	8h 12	1mn50	5h 29	102
						Neuston S	8h 16	15mn	5h 33	1758
			Point 3		24	Bongo 1	8h 57	2mn10	6h 14	120
						Bongo 2	9h 03	2mn	6h 20	114
						Neuston S	9h 11	15mn30	6h 28	1947
189	7 août	50	C. Amenée		6	Bongo 1	4h 37	2mn	4h 55	62
						Bongo 2	4h 43		5h 01	73
						Neuston S	4h 52	8mn	5h 10	842
			Rejet		13	Bongo 1	5h 15	2mn	5h 33	110
						Bongo 2	5h 21	2mn	5h 39	121
						Neuston S	5h 27	11mn	5h 45	1115
			Référence		22	Bongo 1	5h 57	4mn	6h 15	174
						Bongo 2	6h 05	2mn	6h 23	122
						Neuston S	6h 10	15mn	6h 28	1640
			Point 3		24	Bongo 1	6h 49	2mn	7h 07	127
						Bongo 2	6h 55	2mn	7h 13	118
						Neuston S	7h 01	15mn	7h 19	1601
190	24 août	32	C. Amenée		6	Bongo 1	6h 55		4h 34	91
						Bongo 2	7h 00	2mn	4h 39	105
						Neuston S	7h 07	8mn	4h 46	828
			Rejet		14	Bongo 1	7h 23	3mn	5h 02	153
						Bongo 2	7h 30		5h 09	127
						Neuston S	7h 37	11mn	5h 16	1015
			Référence		23	Bongo 1	8h 02		5h 41	162
						Bongo 2	8h 10		5h 49	144
						Neuston S	8h 15	15mn	4h 54	1616
			Point 3		25	Bongo 1	8h 50	4mn	6h 29	68
						Bongo 2	9h 03	2mn	6h 42	134
						Neuston S	9h 08	15mn	6h 47	1463
191	7 septembre	43	C. Amenée		6	Bongo 1	6h 50	2mn	4h 07	132
						Bongo 2	6h 55	2mn	4h 12	
						Neuston S	7h 01	8mn	4h 18	824
			Rejet		14	Bongo 1	7h 13	2mn	4h 30	90
						Bongo 2	7h 24		4h 41	109
						Neuston S	7h 26	9mn	4h 43	995
			Référence		23	Bongo 1	7h 50	4mn	5h 07	132
						Bongo 2	7h 57	1mn 45	5h 14	123
						Neuston S	8h 01	16mn	5h 18	1507

			Point 3	25	Bongo 1	8h 38	2mn	5h 55	124
					Bongo 2	8h 43	2mn	6h	133
					Neuston S	8h 48	17mn	6h 05	1514
192	21 septembre	25	Référence	23	Bongo 1	7h 43	1mn 45	8h 25	131
					Bongo 2	7h 50	2mn	8h 32	111
					Neuston S	7h 58	14mn	8h 40	1454
			Point 3	26	Bongo 1	8h 37	2mn	9h 19	105
					Bongo 2	8h 41	2mn	9h 23	103
					Neuston S	8h 45	14mn	9h 27	1339

Annexe 5.1. Caractéristiques des prélèvements effectués en 2007

Mission	Date	Point	Température (°C)		$\Delta T$ maximum (°C)	Salinité		Densité	
			Surf.	Fond		Surf.	Fond	Surf.	Fond
187	7 juin	C. Amenée	14,35	14,35	2,0	35,19	35,17	26,24	26,26
		Rejet	16,33			35,04		25,70	
		Référence	14,19	13,97		35,14	35,17	26,26	26,33
		Point 3	13,81	13,69		35,12	35,17	26,32	26,39
188	11 juillet	Référence	16,30	16,27		35,16	35,15	25,80	25,80
		Point 3	15,81	15,77		35,15	35,13	25,91	25,90
189	7 août	C. Amenée	17,84	17,83	4,1	34,77	35,06	25,14	25,26
		Rejet	21,91			34,75		24,06	
		Référence	17,24	17,27		35,10	35,13	25,53	25,55
		Point 3	17,14	17,14		35,10	35,15	25,55	25,60
190	24 août	C. Amenée							
		Rejet							
		Référence							
		Point 3							
191	7 septembre	C. Amenée	18,12	18,12	2,9	35,05	35,03	25,27	25,27
		Rejet	21,00			34,85		24,38	
		Référence	18,56	17,86		35,05	35,07	25,17	25,36
		Point 3	17,59	17,54		35,10	35,12	25,45	25,48
192	21 septembre	Référence	17,24	17,25		34,94	34,97	25,41	25,43
		Point 3	17,27	17,27		34,98	35,02	25,45	25,46

Annexe 5.2. Résultats des mesures hydrologiques effectuées en 2007.

Mission	Date	Point	Nuages	Engin	Total larves	Zoés stade 1	Zoés stade 2	Zoés stade 3	Mégalopes
187	7 juin	C. Amenée	8	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Rejet	7	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S	0,006	0,006			
		Référence	6	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Point 3	5	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
188	11 juillet	Référence	2	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Point 3	7	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S	0,005	0,005			
189	7 août	C. Amenée	5	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Rejet	5	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Référence	5	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Point 3	4	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
190	24 août	C. Amenée		Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Rejet		Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Référence	7	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Point 3	4	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S	Collecteur perdu				

191	7 septembre	C. Amenée	5	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Rejet		Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Référence	1	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Point 3		Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
192	21 septembre	Référence	6	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Point 3		Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					

Annexe 5.3. Densités des larves de homard en 2007 (en nombre par 10 m<sup>3</sup>).

Mission	Date	Point	Engin	Mégalopes	Total Zoés	Zoés stade 1	Zoés stade 2
187	7 juin	C. Amenée	Bongo 1		0,69	0,69	
			Bongo 2		0,21	0,21	
			<b>Moyenne</b>		<b>0,45</b>	<b>0,45</b>	
		Rejet	Bongo 1		0,29	0,29	
		Bongo 2		0,21	0,11	0,11	
		<b>Moyenne</b>		<b>0,25</b>	<b>0,20</b>	<b>0,05</b>	
		Référence	Bongo 1		0,25	0,19	0,06
			Bongo 2				
		<b>Moyenne</b>		<b>0,12</b>	<b>0,09</b>	<b>0,03</b>	
		Point 3	Bongo 1				
			Bongo 2		0,24	0,18	0,06
		<b>Moyenne</b>		<b>0,12</b>	<b>0,09</b>	<b>0,03</b>	
188	11 juillet	Référence	Bongo 1	0,33	1,10	0,44	0,66
			Bongo 2	0,59	0,39	0,39	
			<b>Moyenne</b>	<b>0,46</b>	<b>0,74</b>	<b>0,42</b>	<b>0,33</b>
		Point 3	Bongo 1	0,25	3,67	2,50	1,17
		Bongo 2	0,53	2,20	1,32	0,88	
		<b>Moyenne</b>	<b>0,39</b>	<b>2,93</b>	<b>1,91</b>	<b>1,02</b>	
189	7 août	C. Amenée	Bongo 1				
			Bongo 2				
		Rejet	Bongo 1	0,18	0,45	0,36	0,09
			Bongo 2	0,33	0,25	0,08	0,16
		<b>Moyenne</b>	<b>0,26</b>	<b>0,35</b>	<b>0,22</b>	<b>0,13</b>	

		<b>Référence</b>	Bongo 1	0,06	0,52	0,40	0,11	
			Bongo 2	0,25	2,55	1,81	0,74	
			<b>Moyenne</b>	<b>0,15</b>	<b>1,53</b>	<b>1,10</b>	<b>0,43</b>	
		<b>Point 3</b>	Bongo 1	0,24	6,79	4,35	2,45	
			Bongo 2	0,43	1,36	0,85	0,51	
			<b>Moyenne</b>	<b>0,33</b>	<b>4,08</b>	<b>2,60</b>	<b>1,48</b>	
190	24 août	<b>C. Amenée</b>	Bongo 1					
			Bongo 2					
		<b>Rejet</b>	Bongo 1	0,07	0,07		0,07	
			Bongo 2	0,39	0,32	0,08	0,24	
			<b>Moyenne</b>	<b>0,23</b>	<b>0,19</b>	<b>0,04</b>	<b>0,15</b>	
		<b>Référence</b>	Bongo 1	0,43	2,10	0,25	1,86	
			Bongo 2	0,49	2,09	0,28	1,81	
			<b>Moyenne</b>	<b>0,46</b>	<b>2,10</b>	<b>0,26</b>	<b>1,83</b>	
		<b>Point 3</b>	Bongo 1	<b>Collecteur perdu</b>				
			Bongo 2	0,37	2,55	0,60	1,95	
			<b>Moyenne</b>	<b>0,37</b>	<b>2,55</b>	<b>0,60</b>	<b>1,95</b>	
		191	7 septembre	<b>C. Amenée</b>	Bongo 1			
Bongo 2								
<b>Rejet</b>	Bongo 1			0,11	0,11		0,11	
	Bongo 2				0,37	0,18	0,18	
	<b>Moyenne</b>			<b>0,06</b>	<b>0,24</b>	<b>0,09</b>	<b>0,15</b>	
<b>Référence</b>	Bongo 1			0,23	0,23	0,08	0,15	
	Bongo 2			0,16	0,32	0,24	0,08	
	<b>Moyenne</b>			<b>0,19</b>	<b>0,28</b>	<b>0,16</b>	<b>0,12</b>	
<b>Point 3</b>	Bongo 1			0,16	6,31	4,93	1,37	
	Bongo 2				7,06	5,78	1,28	
	<b>Moyenne</b>			<b>0,08</b>	<b>6,68</b>	<b>5,36</b>	<b>1,33</b>	
192	21 septembre			<b>Référence</b>	Bongo 1	0,08		
		Bongo 2	0,36					
		<b>Moyenne</b>	<b>0,22</b>					
		<b>Point 3</b>	Bongo 1	0,19	0,38	0,19	0,19	
			Bongo 2	0,29	0,39	0,39		
			<b>Moyenne</b>	<b>0,24</b>	<b>0,38</b>	<b>0,29</b>	<b>0,10</b>	

Annexes 5.4. Densités des larves d'araignée de mer en 2007 (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	10	7	3		8.7	447	70%
filière 2	76	50	23	3	9.0	504	66%
filière 3	76	41	32	3	8.0	333	54%
filière 4	12	4	8		9.1	557	33%
filière 5	61	27	34		8.0	336	44%
filière 6	29	18	10	1	8.9	498	62%
filière 7	12	5	5	2	9.8	675	42%
filière 8	96	42	44	10	9.3	557	44%
filière 9	36	16	17	3	8.5	420	44%
filière 10	45	23	22		8.0	339	51%
filière 11	11	6	4	1	8.4	411	55%
filière 12	27	16	10	1	8.8	473	59%
filière 13	22	11	7	4	9.5	639	50%
filière 14	21	9	12		8.4	403	43%
filière 15	29	20	9		8.7	456	69%
<b>Sous total</b>	<b>563</b>	<b>295</b>	<b>240</b>	<b>28</b>	<b>8.7</b>	<b>452</b>	<b>52%</b>
filière 16	149	76	70	3	8.6	443	51%

SEPTEMBRE	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuées	Longueur céphalothoracique moyenne (cm)	Poids moyen (g)	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	20	6	13	1	9.7	629	30%
filière 2	127	46	74	7	9.6	605	36%
filière 3	82	44	38		8.1	334	54%
filière 4	6	3	3		9.8	642	50%
filière 5	68	36	32		7.8	303	53%
filière 6	26	12	14		9.4	590	46%
filière 7	7	3	4		8.7	452	43%
filière 8	121	52	63	6	9.6	622	43%
filière 9	41	23	17	1	8.8	470	56%
filière 10	32	12	19	1	8.1	342	38%
filière 11	11	6	5		9.1	523	55%
filière 12	15	11	4		8.6	466	73%
filière 13	24	17	7		8.8	451	71%
filière 14	24	16	8		8.6	428	67%
filière 15	20	11	9		8.8	453	55%
<b>Sous total</b>	<b>624</b>	<b>298</b>	<b>310</b>	<b>16</b>	<b>8.9</b>	<b>494</b>	<b>48%</b>
filière 16	162	77	83	2	9.0	501	48%

<b>Total</b>	<b>1187</b>	<b>593</b>	<b>550</b>	<b>44</b>	<b>8.8</b>	<b>474</b>	<b>50%</b>
<b>Total (16)</b>	<b>311</b>	<b>153</b>	<b>153</b>	<b>5</b>	<b>8.8</b>	<b>472</b>	<b>49%</b>

Annexes 5.5 : Résultats des pêches expérimentales de homard en 2007

JUIN	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Largeur céphalothoracique moyenne (cm)	Poids moyen (g)	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	52	35	17	14.8	590	67%
filière 2	53	36	17	12.0	290	68%
filière 3	82	51	31	12.5	337	62%
filière 4	39	24	15	14.8	555	62%
filière 5	108	63	45	12.7	364	58%
filière 6	14	8	6	15.5	642	57%
filière 7	36	17	19	15.2	622	47%
filière 8	9	7	2	12.1	300	78%
filière 9	81	49	32	12.5	335	60%
filière 10	124	83	41	13.0	382	67%
filière 11	21	9	12	14.6	517	43%
filière 12	82	40	42	13.7	443	49%
filière 13	76	49	27	13.3	426	64%
filière 14	115	70	45	13.2	395	61%
filière 15	16	6	10	15.3	616	38%
<b>Sous total</b>	<b>908</b>	<b>547</b>	<b>361</b>	<b>13.3</b>	<b>416</b>	<b>60%</b>
filière 16	21	17	4	10.7	206	81%

SEPTEMBRE	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Largeur céphalothoracique moyenne	Poids moyen (g)	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	29	20	9	15.5	681	69%
filière 2	8	7	1	13.0	365	88%
filière 3	82	53	29	11.5	250	65%
filière 4	34	21	13	14.7	561	62%
filière 5	85	57	28	12.1	302	67%
filière 6	19	11	8	15.5	657	58%
filière 7	21	12	9	16.1	720	57%
filière 8	5	4	1	13.9	456	80%
filière 9	106	70	36	12.7	350	66%
filière 10	110	86	24	13.3	416	78%
filière 11	10	5	5	16.7	808	50%
filière 12	44	32	12	14.3	495	73%
filière 13	42	31	11	13.5	421	74%
filière 14	190	133	57	13.2	395	70%
filière 15	20	11	9	15.5	629	55%
<b>Sous total</b>	<b>805</b>	<b>553</b>	<b>252</b>	<b>13.3</b>	<b>417</b>	<b>69%</b>
filière 16	6	5	1	11.5	259	83%

<b>Total</b>	<b>1713</b>	<b>1100</b>	<b>613</b>	<b>13.3</b>	<b>417</b>	<b>64%</b>
<b>Total (16)</b>	<b>27</b>	<b>22</b>	<b>5</b>	<b>11.1</b>	<b>233</b>	<b>81%</b>

Annexes 5.6 : Résultats des pêches expérimentales de tourteau en 2007

JUIN	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuvées	Longueur céphalothoracique moyenne	Pourcentage d'individus de longueur >12 cm	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	25	25			10.4	28%	100%
filière 2	72	66	3	3	11.1	35%	92%
filière 3	33	33			11.7	52%	100%
filière 4	28	28			11.1	36%	100%
filière 5	42	39	1	2	11.5	38%	93%
filière 6	57	57			10.7	32%	100%
filière 7	21	21			10.6	19%	100%
filière 8	66	64	1	1	11.2	35%	97%
filière 9	45	43	1	1	11.7	42%	96%
filière 10	19	19			12.2	63%	100%
filière 11	45	35	2	8	10.4	20%	78%
filière 12	23	23			11.4	0%	100%
filière 13	20	19		1	11.5	45%	95%
filière 14	14	13	1		11.8	57%	93%
filière 15	40	37	1	2	10.5	23%	93%
<b>Sous total</b>	<b>550</b>	<b>522</b>	<b>10</b>	<b>18</b>	<b>11.1</b>	<b>42%</b>	<b>95%</b>
filière 16	84	74	3	7	11.3	39%	88%

SEPTEMBRE	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuvées	Longueur céphalothoracique moyenne	Pourcentage d'individus de longueur >12 cm	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	20	11	5	4	10.4	30%	55%
filière 2	0	0	0	0		0%	0%
filière 3	3	1	2		8.3	0%	33%
filière 4	11	6	4	1	9.4	9%	55%
filière 5	1	0	1		6.8	0%	0%
filière 6	27	15	9	3	9.8	15%	56%
filière 7	33	20	11	2	9.1	18%	61%
filière 8	0	0	0	0		0%	0%
filière 9	6	4	2		8.5	0%	67%
filière 10	3	0	3		11.9	67%	0%
filière 11	29	14	12	3	9.7	24%	48%
filière 12	13	10	2	1	10.8	8%	77%
filière 13	4	3	1		7.2	0%	75%
filière 14	3	1	2		6.7	0%	33%
filière 15	110	64	42	4	10.3	10%	58%
<b>Sous total</b>	<b>263</b>	<b>149</b>	<b>96</b>	<b>18</b>	<b>9.9</b>	<b>0%</b>	<b>57%</b>
filière 16	0	0	0	0		0%	0%

<b>Total</b>	<b>813</b>	<b>671</b>	<b>106</b>	<b>36</b>	<b>10.7</b>	<b>33%</b>	<b>83%</b>
<b>Total (16)</b>	<b>84</b>	<b>74</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>11.3</b>	<b>39%</b>	<b>88%</b>

Annexes 5.7 : Résultats des pêches expérimentales d'araignée en 2007

JUIN	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuées	Longueur céphalothoracique moyenne	Pourcentage d'individus mous	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	15	12	2	1	5.1	0%	80%
filière 2	4	2	2		5.2	0%	50%
filière 3	22	18	2	2	5.2	5%	82%
filière 4	0					0%	0%
filière 5	19	18	1		5.0	26%	95%
filière 6	10	9	1		4.9	10%	90%
filière 7	0					0%	0%
filière 8	5	5			5.3	0%	100%
filière 9	13	12	1		5.1	15%	92%
filière 10	18	17	1		5.0	39%	94%
filière 11	4	3		1	5.5	0%	75%
filière 12	12	8	3	1	5.2	17%	67%
filière 13	18	15	3		5.1	39%	83%
filière 14	7	5	2		4.9	14%	71%
filière 15	6	5	1		4.2	33%	83%
<b>Sous total</b>	<b>153</b>	<b>129</b>	<b>19</b>	<b>5</b>	<b>5.1</b>	<b>18%</b>	<b>84%</b>
filière 16	8	7		1	5.2	38%	88%

SEPTEMBRE	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuées	Longueur céphalothoracique moyenne	Pourcentage d'individus mous	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	5	3	2		5.1	20%	60%
filière 2	17	15	2		5.5	0%	88%
filière 3	27	22	5		5.5	0%	81%
filière 4	4	4			5.4	25%	100%
filière 5	11	11			5.4	9%	100%
filière 6	2	1	1		5.8	0%	50%
filière 7	2	1	1		4.9	50%	50%
filière 8	2	2			5.5	0%	100%
filière 9	11	8	3		5.2	18%	73%
filière 10	5	5			5.2	0%	100%
filière 11	2	2			5.0	0%	100%
filière 12	9	9			5.4	11%	100%
filière 13	10	7	3		5.2	0%	70%
filière 14	4	4			5.5	0%	100%
filière 15	3	2	1		5.0	67%	67%
<b>Sous total</b>	<b>114</b>	<b>96</b>	<b>18</b>		<b>5.3</b>	<b>8%</b>	<b>84%</b>
filière 16	10	8	2		5.2	0%	80%

<b>Total</b>	<b>267</b>	<b>225</b>	<b>37</b>	<b>5</b>	<b>5.2</b>	<b>14%</b>	<b>84%</b>
<b>Total (16)</b>	<b>18</b>	<b>15</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>5.2</b>	<b>17%</b>	<b>83%</b>

Annexes 5.8 : Résultats des pêches expérimentales d'étrille en 2007

	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	14	0	14	0	0	0
filière 2	80	80	160	3	0	3	2	0	2
filière 3	80	80	160	0	0	0	0	0	0
filière 4	80	80	160	20	10	30	10	2	12
filière 5	80	80	160	0	0	0	1	0	1
filière 6	80	80	160	64	1	65	10	0	10
filière 7	80	80	160	91	46	137	22	14	36
filière 8	80	80	160	1	0	1	1	0	1
filière 9	80	80	160	0	0	0	0	1	1
filière 10	80	80	160	0	0	0	0	0	0
filière 11	80	80	160	93	26	119	31	0	31
filière 12	80	80	160	1	1	2	2	1	3
filière 13	80	80	160	0	0	0	0	0	0
filière 14	80	80	160	1	0	1	1	0	1
filière 15	80	80	160	77	7	84	8	0	8
filière 16	80	80	160	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	1280	1280	2560	365	91	456	88	18	106

Annexes 5.9 : Résultats des pêches expérimentales d'autres espèces en 2007

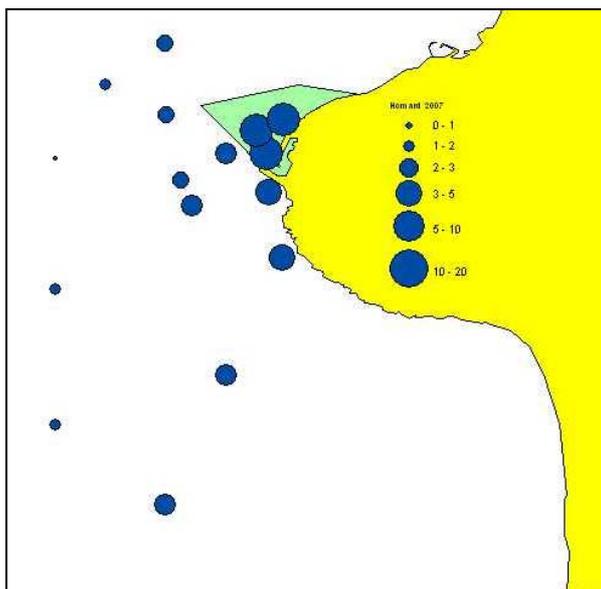


Figure 5.11 : Nombre de Homards pour 10 casiers

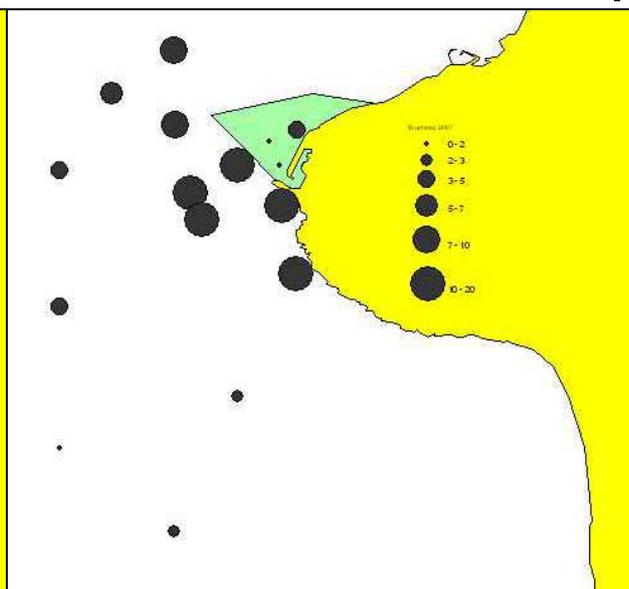


Figure 5.12 : Nombre de Tourteaux pour 10 casiers

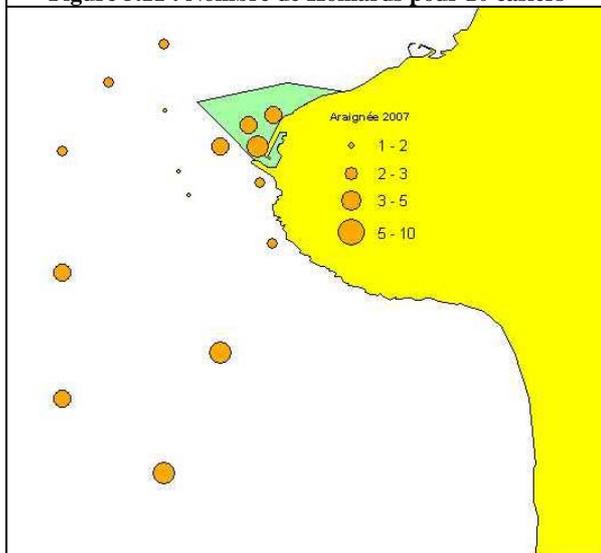


Figure 5.13 : Nombre d'Araignées pour 10 casiers

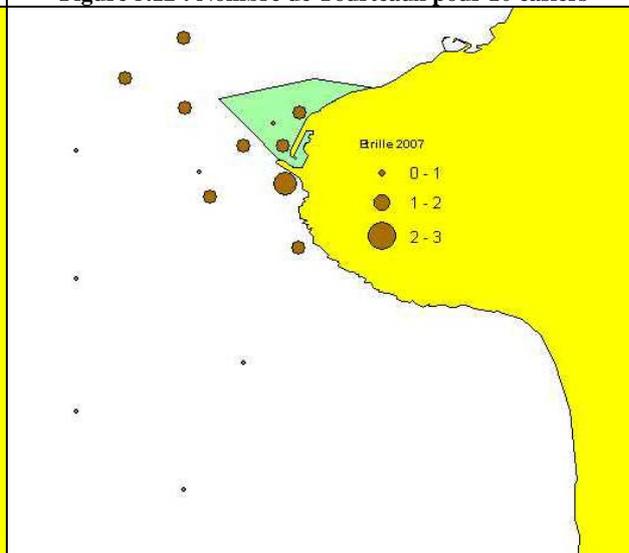


Figure 5.14 : Nombre d'Etrilles pour 10 casiers



---

## 6. Conclusion



Au regard des données météorologiques acquises dans le nord du Cotentin depuis 1949 (59 années de mesures), l'année 2007 se caractérise par :

- Un cumul annuel des précipitations (865 mm) supérieur au cumul moyen enregistré depuis 1949 (711 mm), s'expliquant en partie par la pluviométrie record du premier semestre (476 mm, remplaçant le précédent record enregistré en 1995, 468 mm, à comparer au cumul moyen saisonnier (338 mm) ou minimal (239 mm en 1987).
- Une insolation annuelle moyenne (1602 heures) avoisinant la moyenne enregistrée depuis 1986 (1587 heures). A noter l'enregistrement de deux nouvelles valeurs records, minimale pour janvier (29 heures), maximale pour avril (246 heures).
- (i) Une température moyenne annuelle de l'air (12,55 °C) bien supérieure à la moyenne enregistrée sur la période 1949-2007 (11,55 °C), proche de l'optimum noté en 2003 (12,58 °C). (ii) Des moyennes mensuelles toujours supérieures aux moyennes saisonnières tout au long de l'année, à la seule exception de septembre très légèrement déficitaire. (iii) un nouvel optimum moyen pour janvier (9,93 °C., supérieur de 2,8 °C à la normale de ce mois). (iv) Des températures moyennes remarquables pour les deux derniers trimestres, record pour l'hiver (9,53 °C pour une moyenne saisonnière de 7,25 °C), proche de la moyenne saisonnière pour le troisième (malgré l'impression générale d'un « été pourri »), et à nouveau excédentaire pour le quatrième (11,33 °C). Il ressort de l'examen des 59 dernières années le constat d'un printemps généralement plus doux que l'automne. 2007 confirme cette règle, à laquelle ont fait exception les années 1954, 1977, 1978, 1979, 1986 et 2006.

A l'instar des observations faites sur la température de l'air, l'année 2007 présente des températures moyennes mensuelles de l'eau de mer toujours supérieures aux normales saisonnières : + 1,6 °C en janvier ; + 0,2 °C en août. La température journalière a varié de 9,3 °C les 20 et 21 mars à 18,6 °C le 8 septembre.

## 6.1. Le domaine pélagique

### Hydrologie

Les températures enregistrées en 2007 ont été, quelles que soient les campagnes, supérieures à celles de 2006 et généralement plus élevées que les médianes pluriannuelles enregistrées depuis 1987, avec une différence plus prononcée au niveau du point *rejet*.

Les taux de dilution théoriques aux abords du rejet restent importants (environ 90% en moyenne depuis 1987). La modélisation du rejet montre que l'évolution spatiale de la tâche thermique est fortement dépendante des courants de marée, mais que l'impact thermique reste très localisé autour de la centrale et près des côtes.

Les précipitations tombées entre le 29 juin et le 3 juillet 2007 (27 mm) ont pu provoquer des dessalures et ainsi expliquer des salinités plus faibles qu'en 2006.. Néanmoins, au regard des médianes pluriannuelles, situées aux alentours de 35, la salinité sur Flamanville semble rester relativement stable depuis 1987 et confirme ainsi le caractère *marin* de la zone.

L'ensemble de nutriments mesurés pendant les campagnes 2007 présente un cycle saisonnier classique : suite à l'augmentation de l'ensoleillement, les sels nutritifs sont consommés par le phytoplancton entre le printemps et l'été, puis les processus de régénération suivent en automne. Comme en 2006, les concentrations en silicate ont été supérieures aux médianes pluriannuelles sur l'ensemble des points.

Les plus fortes valeurs en MES sont généralement observées sur les points les plus côtiers (*canal* et *rejet*) durant le mois de mars lorsque l'hydrodynamisme est le plus important. En dehors de cette période, les teneurs en MES étaient de l'ordre de 5 mg/L à l'exception du point *rejet* qui a observé un maximum de 8,35 mg/L en septembre.

Les concentrations en bore enregistrées en 2007 ont été en général supérieures à celles observées en 2006, à l'exception du mois de juillet, où sur les points *canal* et *rejet*, elles ont été bien inférieures aux maxima observés en 2006.

Les valeurs de l'ensemble des produits de chloration recherchés dans l'eau de mer ont été inférieures au seuil de détection analytique.

Au regard de l'ensemble des paramètres hydrologiques suivis dans le cadre de la surveillance du site de Flamanville en 2007, la centrale via ses rejets ne semble pas modifier les caractéristiques hydrologiques intrinsèques du milieu (teneurs et variations saisonnières).

### Phytoplancton

Dans un contexte climatique où la température de l'eau a été haute en hiver et faible en été, la biomasse chlorophyllienne présente des concentrations inférieures à 1,5 µg/L pour l'ensemble de points et de campagnes. Bien que faibles, ces valeurs sont cependant proches des médianes pluriannuelles en mars et juillet, mais inférieures pour le mois de septembre. Cette situation est cohérente avec l'évolution de la chlorophylle observée par les images satellite en 2007.

Pour la première fois nous avons approché la production primaire potentielle par la mesure de la fluorescence *in vivo* au moyen d'un Pulse Amplitude Modulated (PAM). Les valeurs de rETR observées en mars et juillet sont inférieures à 200, tandis qu'au mois de septembre elles montent jusqu'à 224. Ce même dispositif permet en outre, d'accéder à l'état physiologique du peuplement par la mesure de Ymax. Les valeurs 2007, comprises entre 0,43 et 0,54, mettent en évidence un bon état général de ces peuplements.

Les plus fortes abondances cellulaires, observées au mois de septembre (supérieures à 100 000 cellules/L), se situent au dessus des médianes pluriannuelles pour les points *rejet* et *référence*. Aux mois de mars et juillet, elles sont restées en dessous des médianes, avec des valeurs inférieures à 100 000 cellules/L.

Les dénombrements microphytoplanctoniques sur le site de Flamanville montrent la régularité du phénomène au cours duquel la population de la période *hivernale*, dominée par *Skeletonema costatum* est remplacée en été par une population constituée pour l'essentiel par des diatomées du genre *Rhizosolenia*. Cette poussée estivale du genre *Rhizosolenia*, majoritairement représenté par l'espèce *R. delicatula* est classique dans les eaux atlantiques. Le mois de juillet est également caractérisé par une forte dominance du genre *Pseudo-Nitzschia* au point *canal* (37 %) et la présence de *S. costatum* au point *référence* à mi profondeur (22 %). La présence de cette espèce hivernale en juillet peut s'expliquer par les faibles températures estivales. Au mois de septembre nous observons la plus forte diversité, avec partage de la dominance par les genres *Chaetoceros*, *Skeletonema*, *Nitzschia*, *Thalassiosira* et *Rhizosolenia*. La diversité a montré une évolution croissante sur les trois campagnes 2007.

Les dinoflagellés observés lors des trois campagnes annuelles n'ont pas dépassé 9 % de la dominance totale du microphytoplancton. Les abondances par espèce et par point ne présentent pas de variation pouvant mettre en cause l'activité de la centrale. Leur évolution dans le temps ne semble pas non plus être différente de celle des eaux de l'Atlantique.

Nous ne pouvons donc pas conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu, généré par l'activité de la centrale de Flamanville, à partir de l'étude des paramètres suivis dans le compartiment phytoplanctonique en 2007.

### Zooplancton

L'étude des biomasses sestoniques au printemps 2007 a permis d'enregistrer la valeur la plus élevée de la série temporelle au point *rejet*. En septembre 2007, les biomasses observées aux trois points de prélèvement étaient similaires à celles mesurées depuis les six dernières années à la même période.

Les plus fortes abondances zooplanctoniques (11 017 ind. 10 m<sup>-3</sup>) ont été enregistrées en septembre au point *référence* (au large). Les abondances zooplanctoniques 2007 pour les points *rejet* et *référence* étaient dans la moyenne des observations faites depuis 1991, alors que pour le point *canal*, les abondances 2007 étaient parmi les plus élevées de la série temporelle. Un gradient significatif d'abondance croissante vers le large est observé en été et disparaît en automne.

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

Au printemps 2007, la faune zooplanctonique a été massivement dominée par le méroplancton, essentiellement constitué de cirripèdes (larves de balanes) et de larves cyphonautes de bryozoaires. À cette période, les cirripèdes ont dominé sur tous les sites (> 80 %) alors que les cyphonautes représentaient environ 8 % du méroplancton. Au mois de septembre, ce sont d'une part les cirripèdes, et d'autre part les larves de mollusques et de crabes qui ont présenté les plus fortes dominances du méroplancton.

### Microbiologie

Le changement de méthode analytique intervenu en 2005, avec l'utilisation de filtres de plus faible porosité, a induit une augmentation du nombre de germes dénombrés. Ceci est confirmé par les résultats de 2007, qui sont du même ordre de grandeur qu'en 2006. Les valeurs obtenues ces deux dernières années ne peuvent pas alors, être directement comparées à celles des séries précédentes.

Les quantités de germes revivifiables sont en augmentation depuis quatre à cinq ans et plus particulièrement en septembre, où elles atteignent, pour le point *canal*, des valeurs proches des maxima observés depuis 1987.

L'identification des vibriens halophiles par la méthode EDF confirme la dominance des souches de *Vibrio alginolyticus* et *Photobacterium damsela* dans les eaux proches de la centrale de Flamanville. En 2007, la campagne de mars a été caractérisée par la présence précoce de *Vibrio vulnificus*, accompagné de *Photobacterium damsela*, qui était la seule souche présente à cette période en 2005. Contrairement à 2006, *Vibrio cholerae* n'a pas été détecté cette année. En revanche comme ces deux dernières années, *Vibrio alginolyticus* a été la souche dominante au mois de juin. Au mois de septembre est atteint le maximum de diversité et d'abondance avec la présence de *V. alginolyticus*, *Ph. damsela*, *V. vulnificus* et *V. parahaemolyticus*.

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

*rejet* se situent entre celles des points *canal* et *référence*, suggérant la continuité du gradient côte-large.

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

## 6.2. Le domaine benthique

Contrairement aux deux années précédentes, la population de *Fucus serratus* du platier de Diélette présente en 2007, des biomasses en baisse aux deux périodes d'observations (en fin d'hiver et en fin d'été).

Le cycle de reproduction de ces fucales s'est développé en 2007 conformément au rythme habituel : valeurs moyennes tant en mars qu'en juin, puis élevées en septembre, avec un maximum de 98 % de thalles fertiles, et une maturation précoce.

Concernant les crustacés cirripèdes intertidaux, le recrutement printanier 2007, voisin de la valeur minimale de 1990, est extrêmement faible. L'hiver particulièrement doux, a été défavorable au renouvellement de *Semibalanus balanoides*, 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 2007 est la plus basse observée depuis 1977. Ce phénomène affecte les stations de Rozel, Diélette et Sémaphore alors qu'à Quédoy, on note une augmentation de la population de cirripèdes. Cette hausse concerne les Chtamales, bien représentés à cette station.

## 6.3. Le domaine halieutique

### Larves de crustacés

Les températures du premier semestre 2007 sont très élevées. En particulier, le cumul des températures journalières sur la période 1<sup>er</sup> février-10 mars, période démontrée sensible pour l'araignée de mer, est la plus élevée de la période 1986-2007.

Il s'ensuit que le démarrage des éclosions d'araignée s'est produit très tôt ; les quelques zoés au stade 2 ayant été observés dès la première mission le 7 juin suggèrent que les premières zoés ont éclos entre fin mai et début juin. Un premier pic d'éclosion semble s'être produit fin juin. La densité maximale de zoés, relevée début septembre lors d'un autre pic (6,7 par 10 m<sup>3</sup>) est plus importante que celle des années précédentes.

La répartition des zoés selon les points se confirme d'année en année avec les densités les plus fortes relevées au point 3 et des densités notables au point *référence*, alors que la zone de rejet est très pauvre et qu'on récolte rarement des larves d'araignée dans le canal d'amenée ; cependant on observe pour la première fois depuis 1997 des zoés dans le canal d'amenée. Les mégalopes se répartissent essentiellement entre le point *Référence* et le point 3 mais, comme l'année précédente, une quantité notable est observée aux environs du rejet.

Seules deux larves de homard ont été observées cette année, toutes deux au stade 1. Comme nous l'avons noté dans le rapport de synthèse (Drévès *et al.*, 2005) les larves de homard apparaissent plus généralement dès le mois de mai depuis quelques années. La densité maximale observée en subsurface (0,006 par 10 m<sup>3</sup>) est très faible.

### Surveillance de la pêche côtière des crustacés

L'année 2007 se caractérise par une forte abondance de la population d'araignées dont la taille moyenne augmente de façon importante et passe de 9,3 à 10,8 cm en deux ans. Cette variation est renforcée par les captures plus importantes de gros individus en septembre.

Les rendements en homard augmentent pour la quatrième année consécutive. Sur la même période, la taille moyenne se stabilise au niveau de la taille marchande.

La taille moyenne des étrilles capturées reste faible et n'a pas significativement varié depuis six ans. Elle augmente même légèrement cette année et semble correspondre au seuil de sélectivité de l'engin.

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

- \* les captures de homards augmentent encore cette année et la taille moyenne, en légère baisse est proche de 9,5 cm.
- \* le système de marquage utilisé depuis 2003 permet d'identifier les individus recapturés même après plusieurs mues. Nous avons ainsi pu observer de nombreuses augmentations de tailles accompagnées parfois de modification du stade sexuel comme par exemple le passage de femelle à celui de femelle œuvée. Six individus marqués en 2003 ont même été repêchés lors de la dernière campagne.
- \* malgré le nombre assez important de homards marqués, environ 1595 individus en cinq ans, le taux de re-capture en dehors de la réserve est faible (30 individus depuis 2003). Cela confirme que le homard est une espèce plutôt sédentaire, la majorité des captures se faisant généralement à l'intérieur du cantonnement ou en bordure immédiate.
- \* la filière numéro 16 confectionnée avec un maillage plus petit et positionnée dans les blocs de ciment devant la centrale, a permis de capturer six individus dont la longueur orbitale est inférieure à 6 cm. Les premiers essais réalisés l'année dernière avaient donné des résultats tout aussi encourageant mais légèrement inférieurs avec 3 individus. Il ne fait maintenant aucun doute que ces récifs artificiels constituent un habitat privilégié par les juvéniles de homard dont le nombre et la distribution resteront difficile à estimer.
- \* comme les années précédentes, il y a très peu de tourteaux capturés. Il a été démontré que la compétition entre espèces influe sur les captures au casier et que, dans la réserve, le homard est bien l'espèce de crustacé territorialement dominante.

Globalement, on peut avancer, qu'en dehors de l'étrille pour laquelle la situation reste critique, les résultats obtenus montrent qu'il n'y a pas eu aggravation récente de l'état de la communauté du fait de la pêche ou de toute autre activité anthropique.

\* \* \*



## **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.
- DREVES L., 2001. Effets climatiques sur les écosystèmes marins. Exemple du recrutement des crustacés cirripèdes sur la côte ouest du Cotentin. *Hydroécol. Appl.* (2001) Tome 13 Vol. 1, pp. 101-112.
- DRÉVÈS L.(COORDINATEUR), LAMPERT L., ABERNOT-LE GAC C., MARTIN J., ARZEL P., DUMAS F., SCHLAICH I., LATROUITE D. ; ET WOEHLING D., 2006. Synthèse hydrobiologique du site électronucléaire de Flamanville. Rapp. Ifremer DOP/LER/06.03, mars 2006, 386 p.
- ERICKSON,S. J. et FREEMAN, A. E., 1978 Toxicity screening of fifteen chlorinated and brominated compounds using four species of marine phytoplankton. *In* : *Water Chlorination*. vol. 2., 307-310. Jolley et al. Ed.
- 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.
- LORENZEN, C.J. 1966.-** « A method for the continuous measurements of *in vivo* chlorophyll concentrations ». *Deep-Sea Res.* 13: 223-227.
- LUND, J.W.G., KIPLING, C., LE CREN, E.D. 1958.-** « The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting ». *Hydrobiologia* 11 : 143-178
- MALHERBE, J.F. & MANOHA, B. 1977.-** « Centrale de Flamanville-Avis C ; Influence courantologique et thermique ». *Electricité De France, Direction des études et recherches*, HE041/77.013
- MARTIN (J.), 1996.-** Hatching period of the larvae of spider crab *Maja squinado* Herbst in the English Channel according to seawater temperature. Poster presented at the 2nd European Crustacean Conference, Liège (september 2-6).

- MARTIN J., 2000.** Le domaine halieutique. In : Drévès L. (coordinateur) *et al.*, 2000. Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, année 1999. Rapp. Ifremer DEL/00.04/Brest, juin 2000, 122 p.
- MARTIN J. & PLANQUE B., 2006.** Variability in the onset of hatching of *Maja brachydactyla* Balss, 1922 (Brachyura: Majidae) in the English channel in relation to sea temperature. *Invertebrate Reproduction and Development* 49 (3), 143-150.
- MASTAIL M. & BATTAGLIA A., 1978.** Amélioration de la conservation des pigments du zooplancton, *Cons. Int. Explor. Mer*, L:20.
- MAUCLINE J., 1998.-** The biology of calanoid copepods. *Advances in Marine Biology* 33: 1-710
- MIOSSEC L., 2002.-** Les vibrions pathogènes pour l'homme : le risque associé au milieu marin en France. *Rapport scientifique et technique Ifremer*, RST. DEL/02.02/MIC. 48 pp.
- MOTODA S., (1959).** Devices of simple plankton apparatus. *Memoirs. Faculty of Fisheries. Hokkaido University* 7, 73-94
- NICHOLS (J.H.), BENNET (D.B.) et LAWRENCE (A.), 1980.-** A study of some problems relating to quantitative sampling of lobster larvae, *Homarus gammarus* (L.) - *Cons. int. Explor. Mer*, Comité des Crustacés, L:14.
- PINGREE, R.D. & MADDOCK, L. 1977.-** « Tidal residuals in the English Channel ». *Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom*, 57, 339-354
- QUERO, J.C. (coord.), 1998.** Les fruits de la mer et plantes marines des pêches françaises. Ed. Delachaux et Nestlé, 256 p.
- RAGUENEAU, O., DE BLAS VARELA, E., TREGUER, P., QUEGUINER, B., DEL AMO, Y. 1994.** « Phytoplankton dynamics in relation to the biogeochemical cycle of silicon in a coastal ecosystem of western Europe ». *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 72, 106-157.
- RIOU, J. 1990.-** « Modèle d'écosystèmes phytoplanctonique marin sur le littoral nord breton (Manche Occidentale) ». *Thèse de doctorat, Institut National polytechnique, Toulouse*
- 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 vervollkommung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt. Int. Verein. Limnol.* 9 : 1-38.
- VIOLEAU, D., DRIBAUT, P. 1997.-** Centrale de Flamanville, calcul 3D d'impact thermique pour la configuration actuelle (2 tranches de 1300MW) ». Note technique EDF, Département Laboratoire National d'Hydraulique. 68 pp.
- WEAR (R.), 1974.-** Incubation in british Decapod Crustacea, and the effects of temperature on the rate and success of embryonic development.- *J. mar. biol. Ass. U.K.*, **54** (3) : 745-762.
- WOEHLING D., LEFEBVRE A., LE FÈVRE-LEHOËRFF G. & DELESMONT R., 2005.** Seasonal and longer term trends in sea temperature along the French North Sea coast, 1975 to 2002, *J. Mar. Biol. Ass.*, U.K., 85, 39-48.

\* \* \*

**SITE ELECTRONUCLEAIRE DE FLAMANVILLE**

**RAPPORTS D'AVANT-PROJET ET DE PROJET  
DU DOMAINE MARIN COTIER  
PRODUITS PAR LE CNEXO AVANT 1983**

**BELSHER T., HAMON D., JOUAN G., CABIOCH L., RETIERE C (1976).**- Etude écologique d'avant-projet sur le site de Flamanville. Rapp. CNEXO/COB/DELGMM, avril 1976, 94 p. + annexes.

**ROMAÑA A., SERET B. (COORDINATEURS), BELSHER T, CHARDY P., DE LA SALLE P., ERARD E., HAMON D., JOUAN G., LAUREC A., RYCKAERT M. (1977).** - Etude écologique de Projet – Site de Flamanville – 1<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. GENTEN, 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.

**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

\* \* \*