

Luc DREVES
 Luis LAMPERT - Jocelyne MARTIN
 Chantal ABERNOT-LE GAC – Françoise DAGAULT
 Jean-Dominique GAFFET - Ivan SCHLAICH

Mars 2005 - Rapport DOP/LER/05.02

Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Flamanville

Année 2004

Rapport scientifique annuel



FICHE DOCUMENTAIRE

Type de rapport : RST (Rapports de résultats de recherches scientifiques et/ou techniques)	
Numéro d'identification du rapport : DOP/LER/05.02	date de publication : mars 2005
Diffusion : libre - restreinte - interdite	nombre de pages : 194
Validé par : Adresse électronique : - chemin UNIX : - adresse WWW :	bibliographie : illustration(s) : Oui langue du rapport : Français
Titre et sous-titre du rapport : <i>Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville année 2004 – Rapport scientifique annuel Edition définitive</i>	
Titre traduit : <i>Ecological and fisheries monitoring of the Flamanville nuclear power plant - 2004</i>	
Auteur(s) principal(aux) : nom, prénom	Organisme / Direction / Service, laboratoire
DRÉVÈS Luc ABERNOT - LE GAC Chantal DAGAULT Françoise GAFFET Jean-Dominique LAMPERT Luis MARTIN Jocelyne SCHLAICH Ivan	IFREMER / DOP / LER IFREMER / DOP / DCB / DYNECO/Benthos IFREMER / DOP / LER / LER-SM IFREMER / DOP / DCB / DYNECO/Benthos IFREMER / DOP / LER / LER-N IFREMER / DOP / DCN / EMH IFREMER / DOP / DCMMN / HMMN/RHPEB
Collaborateur(s) : nom, prénom	Organisme / Direction / Service, laboratoire
Organisme commanditaire : nom développé, sigle, adresse <i>Électricité de France (EDF) - Production Transport - C.N.P.E. de Flamanville B.P. 4 - 50 340 Les Pieux</i>	
Titre du contrat : n° de contrat Ifremer	
Organisme(s) réalisateur(s) : nom(s) développé(s), sigle(s), adresse(s) <i>IFREMER Centre de Brest, B.P. 70, 29 280 Plouzané</i> <i>IFREMER Centre de Nantes, B.P. 21 105, 44 311 Nantes Cedex 03</i> <i>IFREMER Station de Port-en-Bessin, Av. du Général de Gaulle, 14 520 Port-en-Bessin</i> <i>IFREMER Station de Saint-Malo, BP 46, 35 402 Saint-Malo Cedex</i> <i>LABORATOIRE DEPARTEMENTAL Frank DUNCOMBE, 14 053 Caen Cedex</i> <i>LABORATOIRE MUNICIPAL ET REGIONAL DE Rouen, BP 4063, 76 022 Rouen Cedex</i> <i>LAPHY - Centre d'études et de recherches halieutiques, B.P. 89, 64 200 Biarritz</i>	
Responsable scientifique : <i>Luc DRÉVÈS - IFREMER / Brest / DEL / SR</i>	
Cadre de la recherche : Programme : <i>Surveillance et évaluation de la qualité du milieu marin</i>	Convention de marché Marché EDF n° S 62 C 5001
Projet : <i>I.G.A. Impact des Grands Aménagements</i>	Autres (préciser) :
Campagne océanographique : (nom de campagne, année, nom du navire) <i>IGA 1-2-3, 2004, N/O THALIA.</i>	

Résumé :

L'étude de surveillance n°22 du site électronucléaire de Flamanville (département de la Manche) concerne l'année 2004. Sont étudiés les domaines benthique, halieutique et pélagique. L'année 2004 est la 19^{ème} année de fonctionnement de la Centrale.

Abstract :

Monitoring n°22 of the Flamanville nuclear power plant takes into account studies conducted between March and September 2004. Impacts on hydrology, microbiology, phytoplankton, zooplankton, fisheries, intertidal phytobenthos and zoobenthos are reported. This power plant has been in operation for nineteen years.

Mots-clés :

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

Keywords :

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

Commentaire :

Ce document doit être cité de la manière suivante :

Référence générale

Drévès L. (coordinateur), Lampert L., Martin J., Abernot-Le Gac C., Dagault F., Gaffet J., Schlaich I., (2005) - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, année 2004 – Rapport scientifique annuel (Edition définitive). Rapp. IFREMER RST.DOP/LER/05.02, mars 2005, 194 p.

Conformément à l'**accord tarifaire** passé entre **EDF** et **IFREMER** (document référencé n° S 62 C 5001) pour les deux années 2002 et 2003, et son option pour les années 2004 et 2005, une commande de travaux est passée annuellement à l'Ifremer par chacun des cinq sites littoraux (Gravelines, Penly, Paluel, Flamanville) et d'estuaire (Le Blayais).

Chacune de ces commandes prévoit la fourniture par l'Ifremer de trois documents contractuels :

- un **état d'avancement des travaux** réalisés au cours du premier semestre de l'année N, document remis au plus tard le **15 juillet** suivant ;
- un **rapport annuel**, dont la version provisoire est remise au plus tard 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 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 du C.N.P.E. de Flamanville réalisée au cours de l'année 2004, régie par la commande de travaux EDF n° S62C5001,

- **L'état d'avancement** a été adressé à EDF le 20 juillet 2004 [Drévès L. (coordinateur) *et al.* (2004).- Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, année 2004 – Etat d'avancement des travaux – Premier semestre. Rapp. Ifremer DEL/SR/04.07, juillet 2004, 38 p.].
- L'édition provisoire du rapport annuel a été remise à EDF début février [Drévès L. (coordinateur), Lampert L., Martin J., Abernot-Le Gac C., Dagault F., Gaffet J., Schlaich I., (2005) - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, année 2004 – Rapport scientifique annuel (Edition provisoire). Rapp. IFREMER RST.DOP/LER/05.01, janvier 2005, 194 p.]. Les principaux résultats ont fait l'objet d'une présentation orale au cours de la réunion EDF-Ifremer tenue sur le site du CNPE de Paluel (Seine-Maritime) le 15 mars 2005.
- L'édition définitive du rapport scientifique annuel fait l'objet du présent document. Elle prend en compte les remarques formulées sur la version provisoire.

Sommaire

	PAGE
Préambule	9
Partie 1. Le fonctionnement de la Centrale de Flamanville et programme d'intervention d'Ifremer en 2004	
1.1. Fonctionnement de la centrale	13
1.2. Travaux réalisés par l'Ifremer	17
Partie 2. Les caractéristiques environnementales de l'année 2004	
2.1. Climatologie	21
2.2. Température de l'eau de mer	25
Partie 3. Le domaine pélagique	
3.1. Méthodologie	33
3.2. Hydrologie	33
3.3. Phytoplancton	63
3.4. Zooplancton	78
3.5. Microbiologie	95
Partie 4. Le domaine benthique	
4.1. Phytobenthos	111
4.2. Zoobenthos	124
Partie 5. Le domaine halieutique	
5.1. Larves de crustacés	145
5.2. Surveillance de la pêche côtière	157
Annexes	166
Partie 6. Conclusion	181
Bibliographie	187
Liste des rapports d'études publiés depuis 1976	191

Préambule

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

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

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

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

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

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

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

²Centre National pour l'Exploitation des Océans

³Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes

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.

Au cours de 2004, 19^{ème} année de fonctionnement de cette Centrale, les études réalisées par l'Ifremer sur le site de Flamanville sont menées sous la responsabilité de :

- **Luc Drévès**, DOP-LER⁴, 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 ;
- **Chantal Abernot-Le Gac**, DOP-DYNECO-Benthos⁵, pour le domaine benthique,
- **Luis Lampert**, DOP-LER-N⁶, pour l'hydrologie et le phytoplancton ; en collaboration avec le laboratoire Franck Duncombe de Caen (microbiologie et trihalométhanes), et le laboratoire départemental de Rouen (Bore) ;
- **Jocelyne Martin**, DOP-EMH⁷, pour les larves de crustacés ;
- **Ivan Schlaich**, DOP-HMMN-RHPEB⁸, pour la surveillance de la pêche côtière des crustacés ;
- **Françoise Dagault**, DOP-LER-SM⁹, pour le zooplancton, en collaboration avec le LAPHY de M. **Jean d'Elbée**.

La publication de ce rapport 2004 nous donne l'occasion de remercier deux ingénieurs-chercheurs brestois qui, en octobre dernier, ont fait (selon l'expression consacrée) valoir leurs droits à la retraite :

- **Geneviève LEHOERFF**, zooplanctonologiste, qui a participé aux études pour EDF depuis 1975 sur les différents sites (Plogoff, Flamanville, ...) et qui fut la coordinatrice incontournable du site de Gravelines.
- **Jacky L'Yavanc**, ingénieur hydrographe, qui nous accompagnait depuis cinq ans lors des campagnes sur ce site de Flamanville.

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

⁵ Département Dynamiques de l'environnement côtier (DYNECO), Laboratoire Benthos

⁶ Laboratoire Environnement Ressources de Normandie (LER/N)

⁷ Département Ecologie et modèles pour l'halieutique (EMH)

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

⁹ Laboratoire Environnement Ressources de Saint-Malo (LER/SM)

1 Fonctionnement du C.N.P.E. de Flamanville et programme d'intervention de l'Ifremer au cours de l'année 2004

Luc Drévès

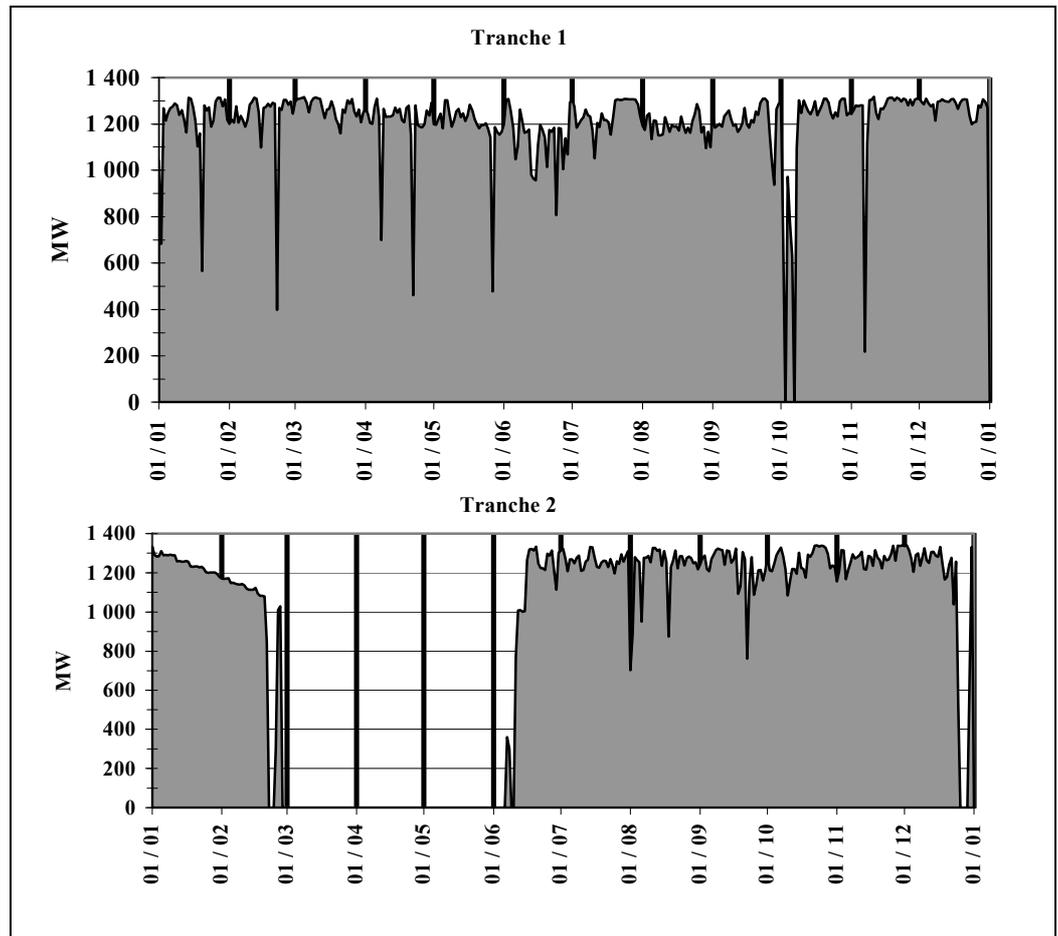
1.1 Fonctionnement de la Centrale

La centrale de Flamanville, située sur la côte ouest du Cotentin, comporte deux tranches de puissance électrique de 1 300 MWe, 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 2004 est la dix-neuvième année de fonctionnement de la centrale de Flamanville, la vingt deuxième année consécutive des études de Surveillance menées par l'Ifremer.

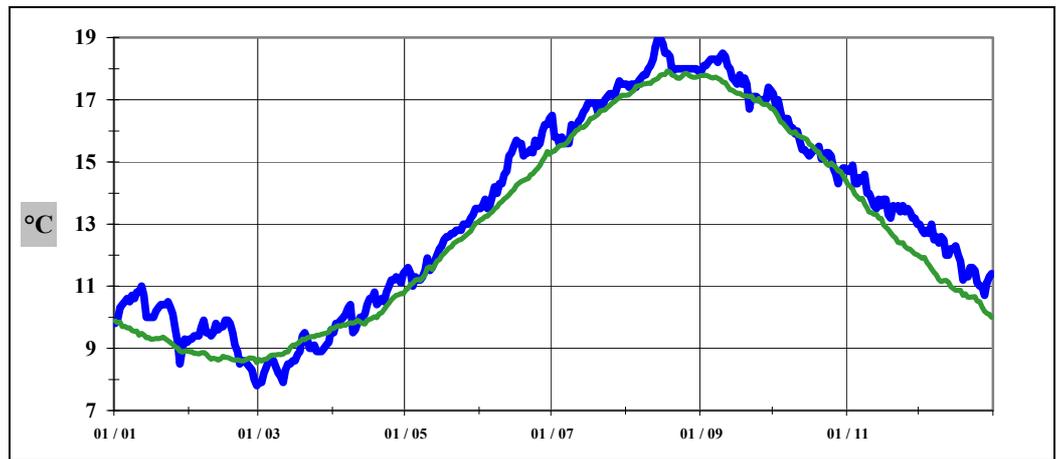
Le principal arrêt de tranches a eu lieu du 28 février au 11 juin en tranche 2 (figure 1.1).



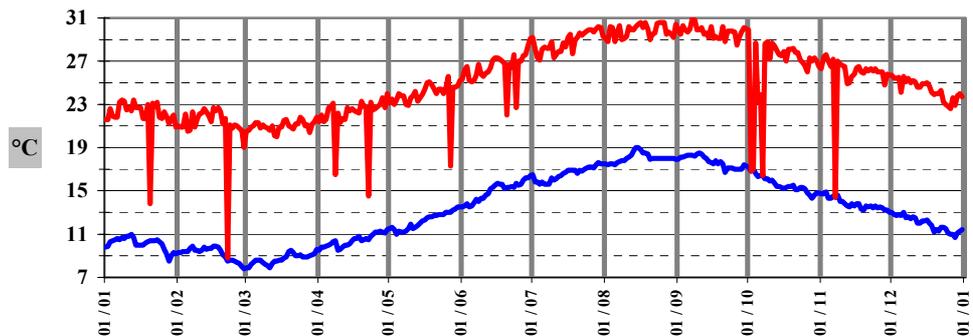
*Figure 1.1 :
Puissance nette
moyenne des tranches
1 et 2 de Flamanville
en 2004.*

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 2004, comparée à la moyenne journalière enregistrée depuis 1986.



Tranche 1



Tranche 2

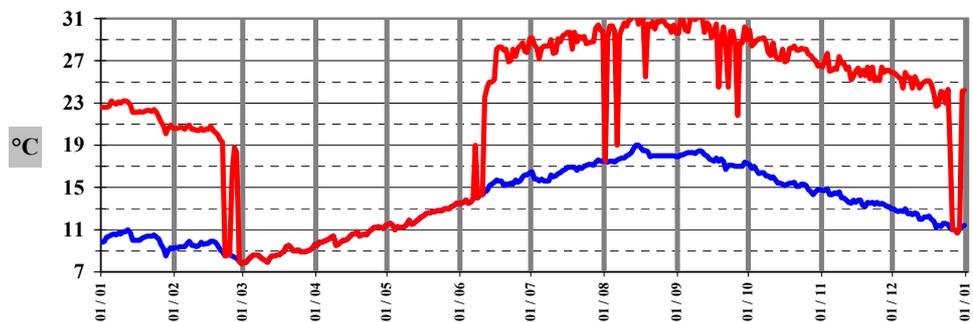


Figure 1.3 : Comparaison de la température de l'eau de mer entre le canal d'amenée et la sortie des condenseurs des tranches 1 et 2, au cours de l'année 2004

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

Figure 1.4 : Écarts journaliers moyens de la température de l'eau de mer entre la sortie des deux condenseurs et le canal d'amenée, au cours de l'année 2004.

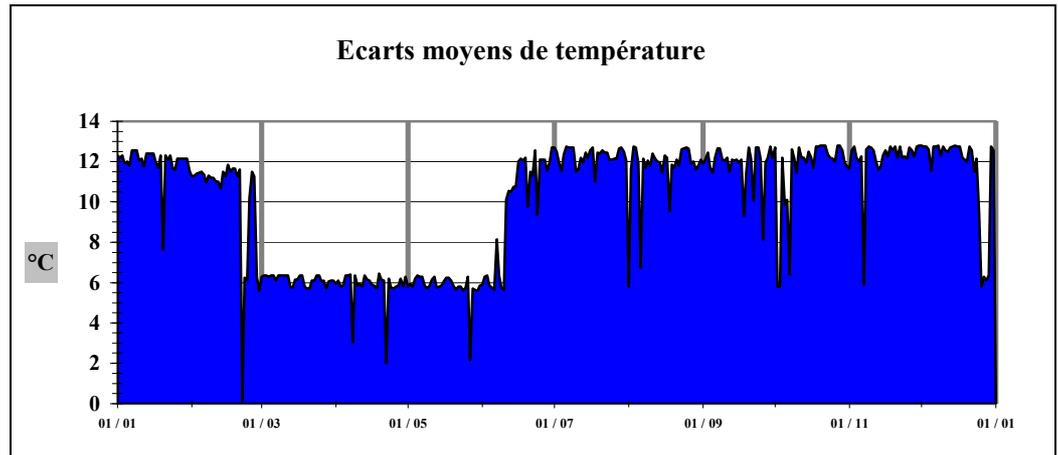
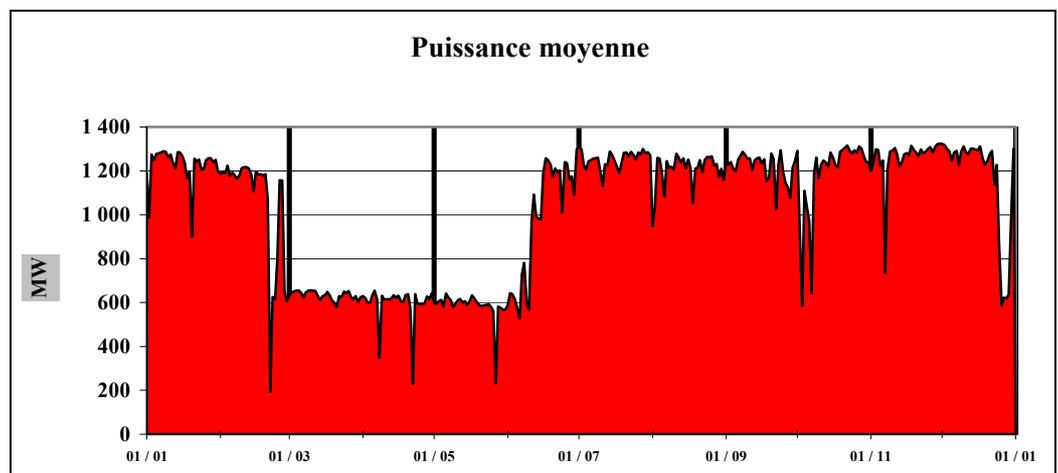


Figure 1.5 : Puissance nette moyenne du CNPE de Flamanville au cours de l'année 2004.



La procédure antisalissure par électrochloration a fonctionné à compter du 26 mai en tranche 1, du 10 juin en tranche 2.

Comme l'indique le tableau 1.1 ci-dessous, 40 tonnes de chlore ont ainsi été injectées dans les circuits de refroidissement au cours des six premiers mois de l'année 2004.

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 2004.

T chlore	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Total
Tranche 1	0	0	0	0	5,1	23,6	29,1	29,9	27,5	27,1	29	28,6	199,9
Tranche 2	0	0	0	0	0	20,4	31,1	30,8	26,2	28,9	28,4	16,7	182,5
Total	0	0	0	0	5,1	44,0	60,2	60,7	53,7	56,0	57,4	45,3	382,4

Le tonnage annuel moyen de chlore injecté sur la période 1987-2004 est de 365 tonnes. Les quantités de chlore injectées annuellement sont rappelées dans le tableau 1.2 suivant.

Année	Cumul de janvier à juin	Cumul annuel
1987	100,8	424
1988	59,1	580
1989	189,6	570
1990	104,0	805
1991	60,4	365
1992	29,5	191
1993	5,2	209
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	260
2004	49,1	382
Moyenne 87-04	83,6	365

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

Les années extrêmes sont :

- pour le premier semestre, 1993 (5 tonnes) et 1989 (190 tonnes) ;
- pour le cumul annuel, 1996 (173 tonnes) et 1990 (805 tonnes).

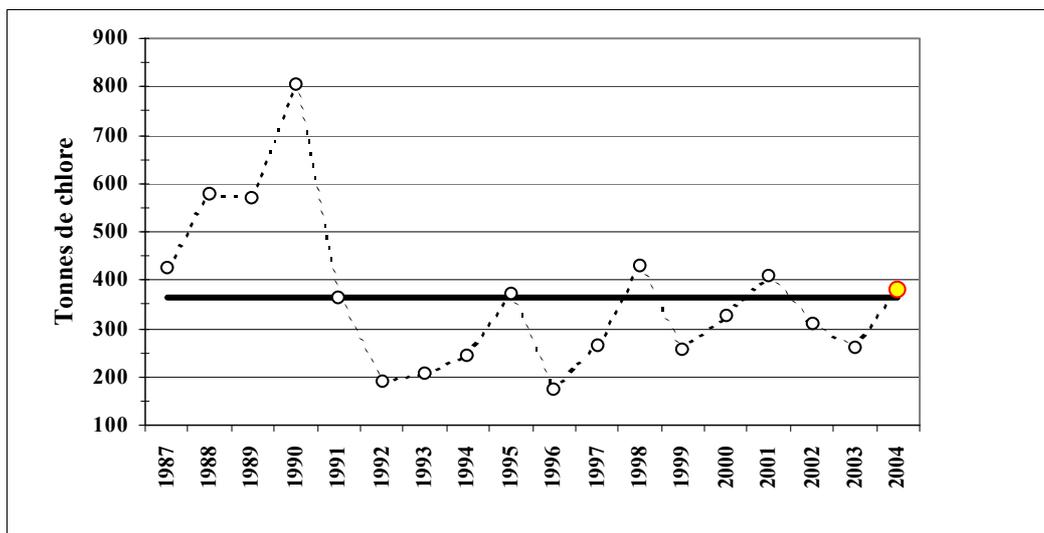
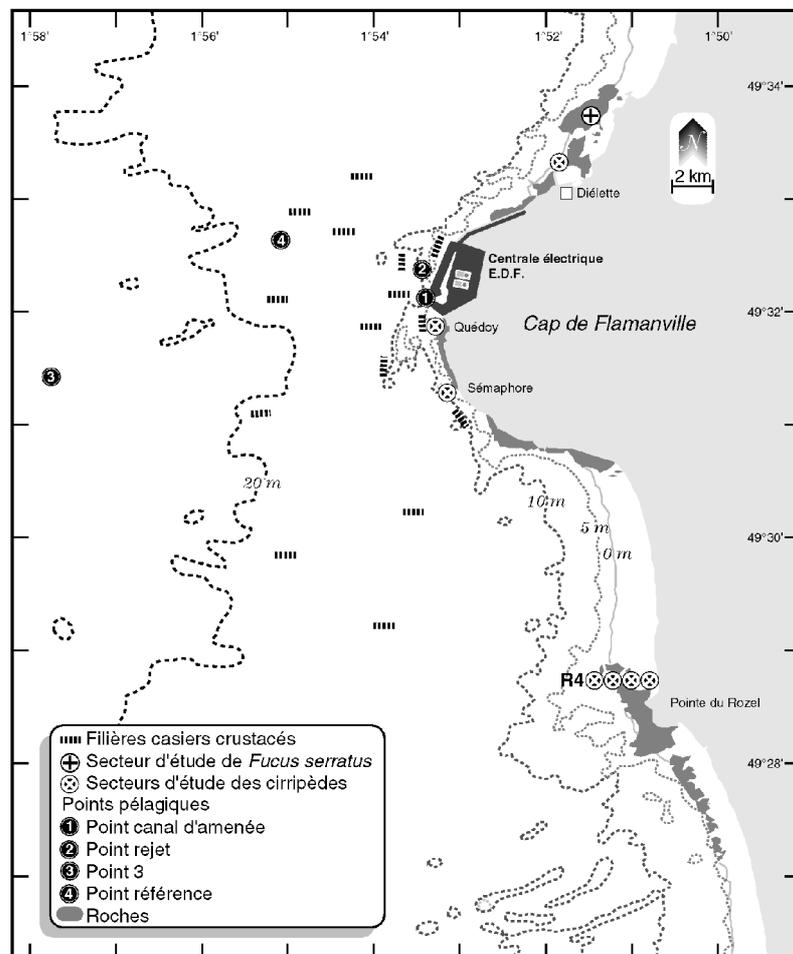


Figure 1.6 : Évolution du tonnage annuel de chlore injecté à Flamanville comparée à la moyenne annuelle depuis 1987

1.2 Travaux réalisés par l'Ifremer

Les travaux réalisés au cours de l'année 2004 se sont déroulés conformément au marché n° S62C5001. Ils sont présentés dans le tableau 1.3. Les points de prélèvements sont inchangés, et 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



2004	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.	29/03	
Hydrobiologie		Salinité Haloformes	1 subsurface 2 subsurface		
Phytoplancton		Sels nutritifs NH4	Référence 2 subsurf. 2 à -10m		
Zooplancton		Chlorophylle Phaeopigments Production primaire Identification des espèces	Rejet 4 subsurf. C.amenée 4 subsurf.		22/06 24 / 09
Microbiologie		Biomasse Composition chimique (carbone, azote) Identification des espèces	6 WP2 congelés (2 triples) 1 WP2 formolé		
	Canal d'aménée	Dénombrement des - germes totaux - germes viables Recherche des vibrions halophiles	Référence 4 Rejet 2 C.amenée 2		
DOMAINE BENTHIQUE	Platier de Diélette	<i>Fucus serratus</i> - Biométrie - Longueur - Nbre de dichotomies - Fertilité - Diamètre du thalle	10 pieds tous les 10 m. sur chaque radiale	07-08/03 [04-05/06*] 28-30 / 09	
Phytobenthos	3 Radiales Dans la zone à <i>Fucus serratus</i>				
Zoobenthos	Secteurs 1, 2, 3 Radiale R4 (points 1, 2, 3, 4) Point SEM Point QUEDOY Point Diélette	- Biomasse Substrats durs intertidaux - Densité des différentes espèces de cirripèdes - Faune associée	10 quadrats /secteur Par point : 8 quadrats 12 comptages 4 grattages	07-08/03 [04-05/06*] 28-30 / 09	
	Points 2, SEM, QUEDOY, Diélette	- Étude de recolonisation	Par point : quadrats (3x25)cm ²		
DOMAINE HALIEUTIQUE	[Point 3] Référence Rejet Canal d'aménée	Densité des larves d'araignée et homard - température - salinité	2 Bongo 1 Neuston surface	09/06 29/06 28/07 12/08 08/09 29/09	
Zooplancton et Hydrologie Suivi de l'exploitation et de la biologie des espèces commerciales	N.O. Cotentin	Recueil d'informations sur la pêche professionnelle			
	15 points (1 filière par point)	Pêches expérimentales - pour homard, tourteau, araignée, étrille (longueur, sex-ratio) - autres espèces (présence)	4 levées des 15 filières d'au moins 20 casiers	14-17/06 22-26/09	

Tableau 1.3 :
Récapitulatif de l'activité réalisée par l'Ifremer au cours de l'année 2004 devant le C.N.P.E. de Flamanville

* hors contrat

2 Les caractéristiques environnementales de l'année 2004

Luc Drévès

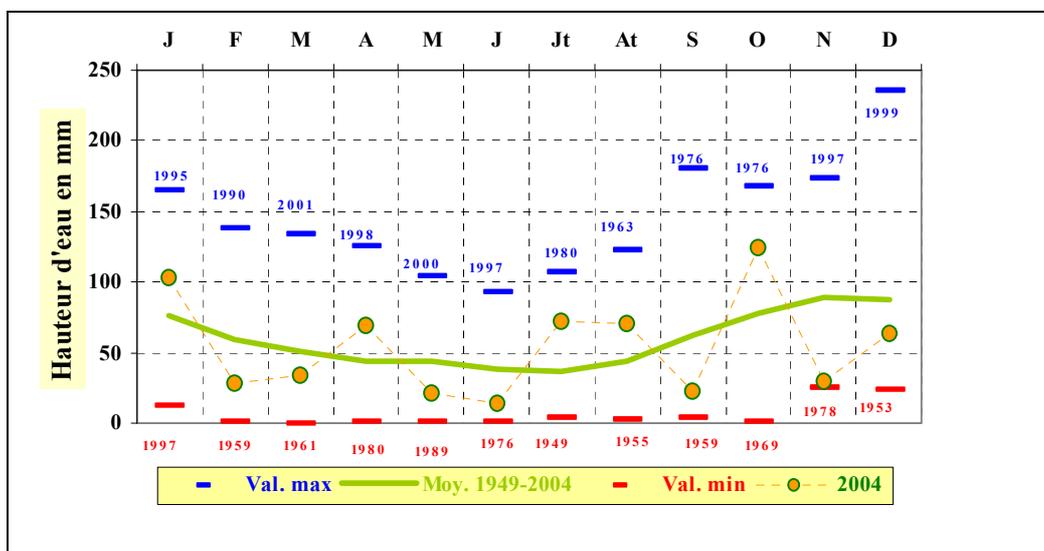
2.1 Climatologie

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

2.1.1 Pluviométrie

Depuis 1949, la pluviométrie inter annuelle moyenne sur le nord-ouest Cotentin (figure 2.1) est maximale d'octobre à janvier, le maximum des précipitations étant noté en novembre avec 90,4 mm de hauteur moyenne d'eau. La période la plus sèche s'étend d'avril (43,8 mm) à août (44,2 mm), avec une valeur moyenne mensuelle minimale en juillet (36,2 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). Le total annuel moyen sur la période de 1949-2004 est de 714 mm, variant de 430 mm en 1953 à 1001 mm en 1994.

Figure 2.1 : Pluviométrie mensuelle au sémaphore de La Hague en 2004, comparée aux moyenne et valeurs extrêmes mensuelles obtenues depuis 1949.



Sur la période 1949-2004, l'observation des cumuls annuels par période décennale (figure 2.2) permet d'apprécier la forte pluviométrie de la décennie 1989/1998, avec un cumul moyen de 771 mm, comparée à celle notée au cours de la décennie précédente (689 mm). La décennie 1949-1958 est la plus sèche (651 mm)

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

¹ Altitude : 3 m ; latitude : 49° 43'6 N ; longitude : 001° 56'4 W

² Altitude : 61 m ;

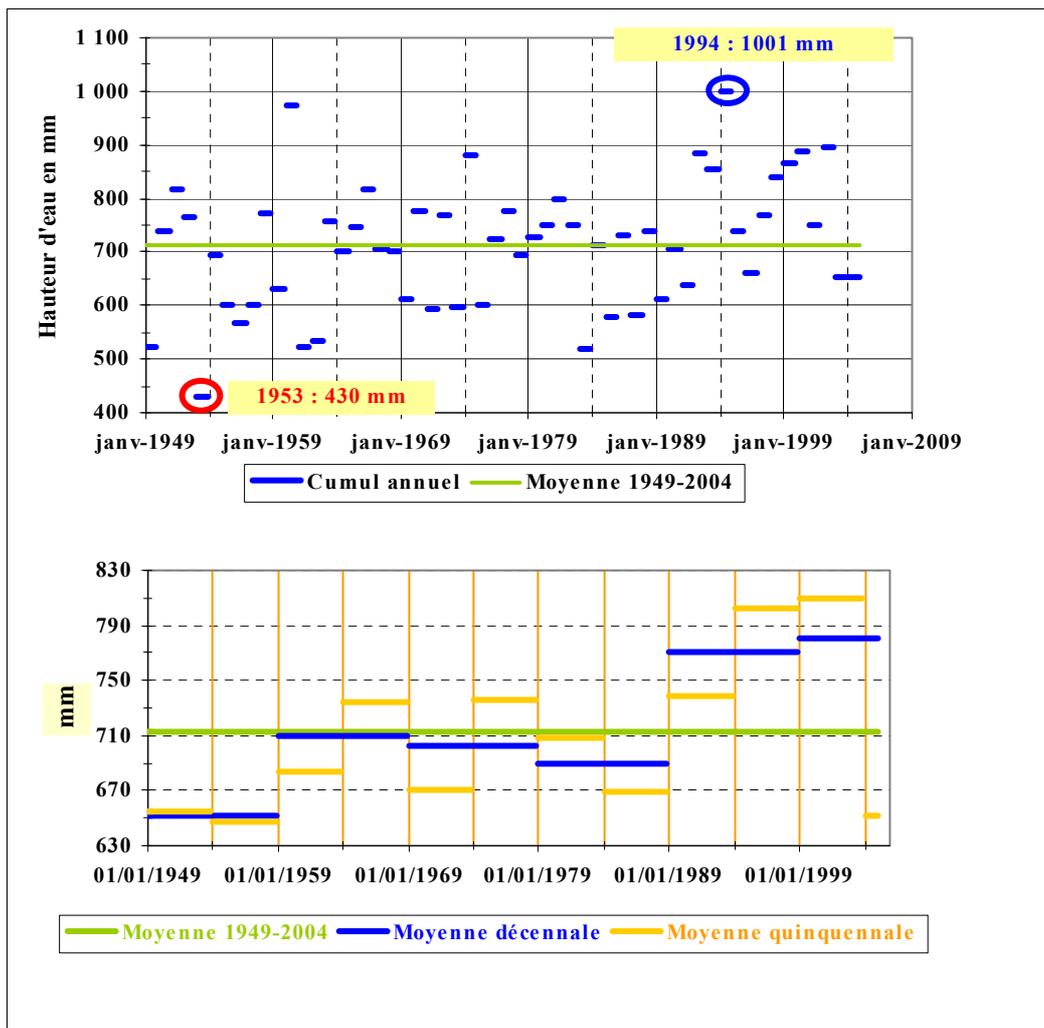


Figure 2.2 : Pluviométrie au sémaphore de La Hague de 1949 à 2004. Comparaison des cumuls annuels, quinquennaux et décennaux au cumul moyen annuel observé sur la totalité de la période.

2.1.2 Insolation

L'importance de l'insolation mensuelle moyenne (figure 2.3) est directement dépendante de la durée même du jour. Elle est de ce fait minimale en décembre (50 heures) et en janvier (56 heures), et maximale en juillet (211 heures). La couverture nuageuse peut perturber ce schéma. Ainsi, le mois de juin présente une durée d'insolation moyenne (198 heures) inférieure à celle enregistrée en mai (209 heures) et en juillet. Ce comportement particulier de juin, depuis 1986, s'explique par le caractère plus pluvieux de ce mois par rapport à mai et juillet.

L'insolation annuelle moyenne depuis 1986 (figure 2.4) est de 1 584 heures, les années extrêmes étant 1990 (2 034 heures) et 1991 (1 241 heures).

Figure 2.3 : Insolation mensuelle à Valognes au cours de l'année 2004, comparée aux moyenne et valeurs extrêmes mensuelles obtenues depuis 1986.

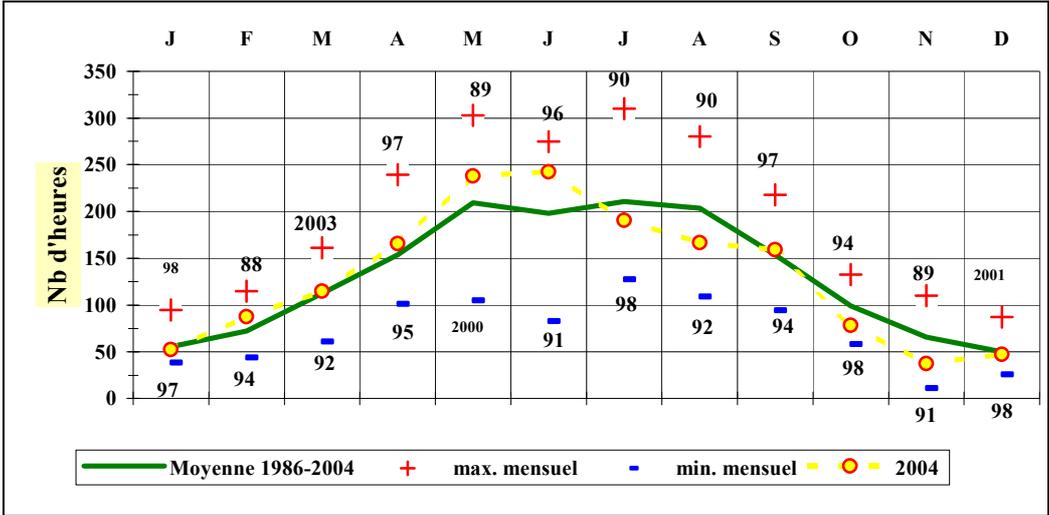
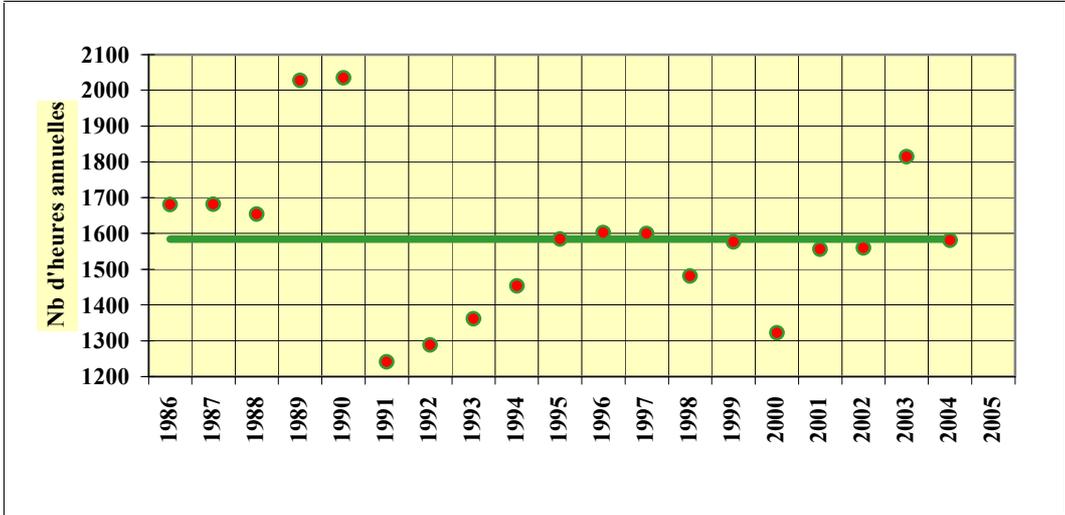


Figure 2.4 : Insolation annuelle à Valognes depuis 1986, comparée à la moyenne annuelle obtenue sur la totalité de la période.

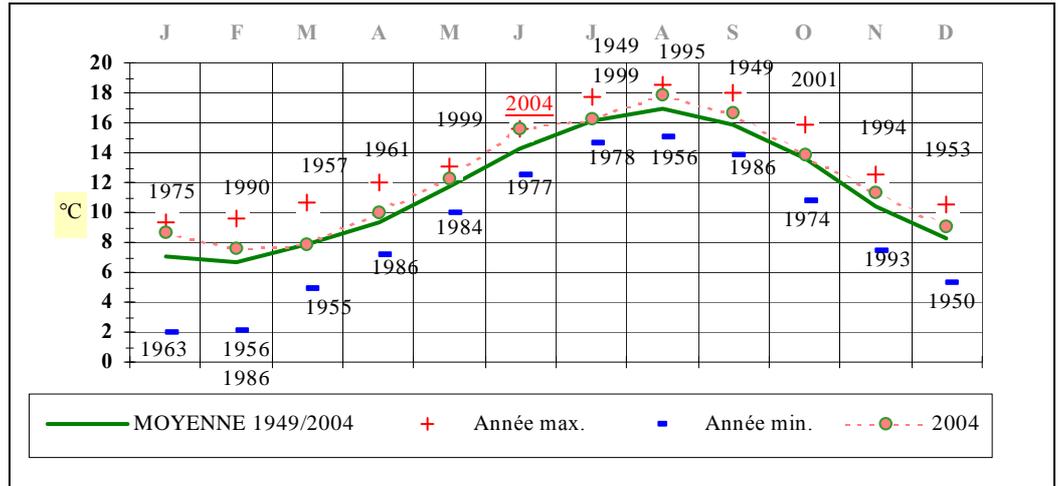


2.1.3 Température de l'air

Au cours des 56 dernières années (1949-2004), la température moyenne mensuelle de l'air (figure 2.5) varie de 6,7 °C en février à 16,9 °C en août. Les moyennes mensuelles extrêmes ont été enregistrées en janvier 1963 (2,0 °C) et en août 1995 (18,5 °C).

Sur la période 1949/2004, la température moyenne annuelle est de 11,50 °C, avec un écart thermique moyen de 10,18 °C entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud. L'année la plus chaude est 2002 avec une température moyenne annuelle de 12,58 °C, succédant à 1999 (12,51 °C) et 1989 (12,43 °C) ; la plus froide, 1963 avec 9,99 °C. Le plus grand écart thermique entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud d'une même année est noté en 1987 avec 14,1 °C ; le plus faible en 1974 avec 8,9 °C.

Figure 2.5 :
Température mensuelle moyenne de l'air à La Hague au cours de l'année 2004, comparée aux moyennes et valeurs extrêmes mensuelles enregistrées depuis 1949



Sur la période 1949-2004, 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).

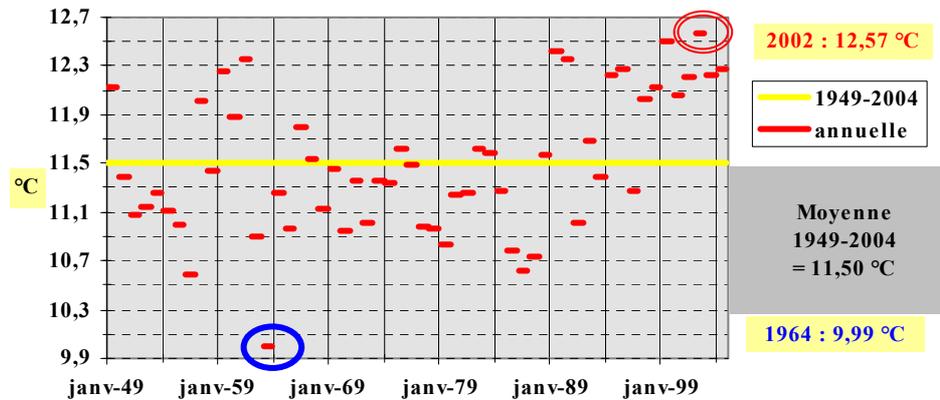
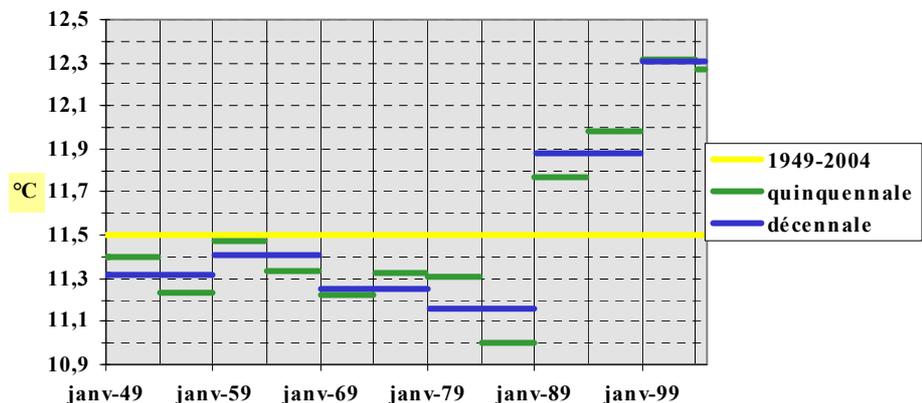


Figure 2.6 :
Température de l'air au sémaphore de La Hague de 1949 à 2004. Comparaison des moyennes mensuelles calculées sur 1, 5 et 10 ans, à la moyenne sur la totalité de la période.



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

2.1.4 Caractéristiques de l'année 2004

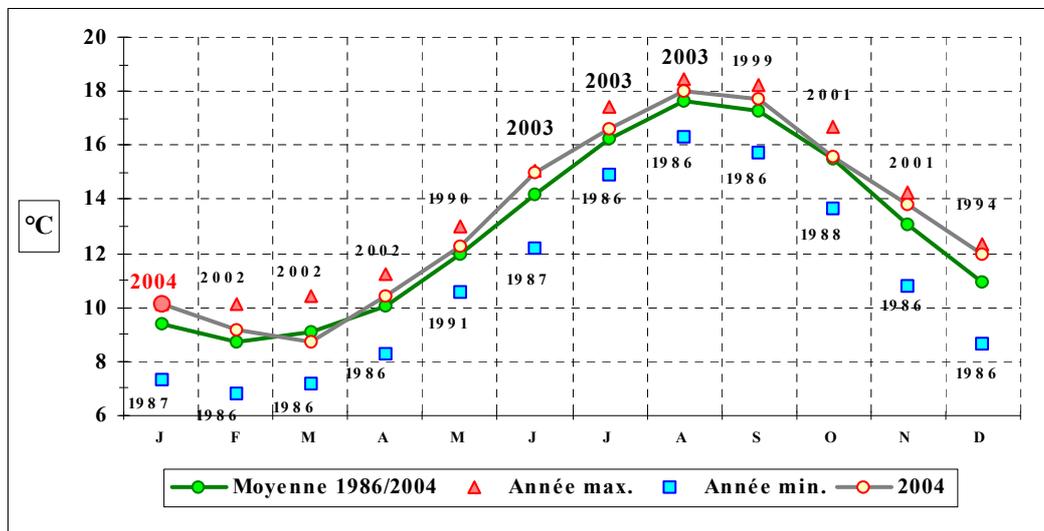
L'année 2004 se caractérise par :

- Un cumul des précipitations (652,04 mm, similaire aux 651,80 mm enregistrés en 2003) inférieur au cumul moyen enregistré depuis 1949 (713 mm). Seul le troisième trimestre, grâce aux mois de juillet et août, est excédentaire par rapport aux normales saisonnières.
- Une insolation annuelle moyenne (1581 heures) avoisinant la moyenne enregistrée depuis 1986 (1586 heures).
- Une température moyenne annuelle de l'air (12,26 °C) supérieure à la moyenne enregistrée sur la période 1949-2004 (11,50 °C). Tout au long de cette année 2004, les moyennes mensuelles ont toutes été égales ou supérieures aux normales saisonnières. Pour la deuxième année consécutive, une nouvelle valeur maximale est enregistrée en juin (15,59 °C).

2.2 Température de l'eau de mer

Depuis 1986 (soit 19 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 2004 est présenté à la figure 1.2 (page 14). Le minimum de température mensuelle moyenne de l'eau de mer dans le canal d'amenée (8,71 °C) est noté en février (figure 2.7), les valeurs extrêmes étant enregistrées en 1986 (6,80 °C) et 2002 (10,16 °C). Le maximum mensuel moyen (17,63 °C) est observé en août, oscillant entre 16,28 °C en 1986 et 18,44 °C en 2003. La température moyenne annuelle est de 12,86 °C, les extrêmes étant 11,37 °C en 1986 et 13,61 °C en 2002.

Figure 2.7 :
Évolution de la température moyenne mensuelle de l'eau de mer dans le canal d'amenée du CNPE de Flamanville en 2004, comparée aux moyenne et valeurs extrêmes mensuelles enregistrées depuis 1986.



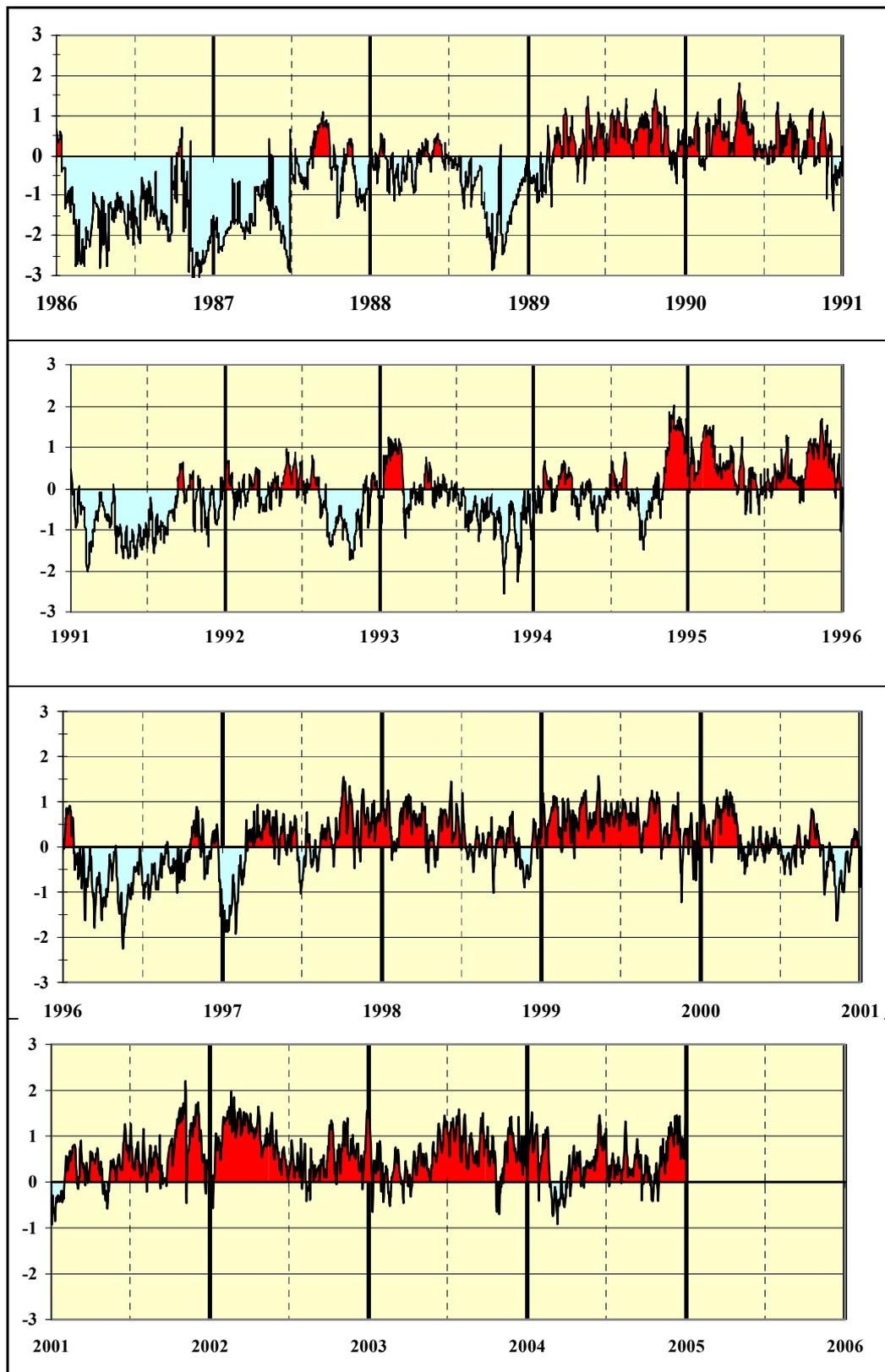


Figure 2.8 : CNPE de Flamanville – Anomalies de la température de l'eau de mer – Écart journalier, en °C, à la moyenne quotidienne (moyenne du jour estimée sur la période 1986 – 2004).

Au cours l'année 2004, seul le mois de mars présente une valeur mensuelle moyenne inférieure à la moyenne saisonnière sur la période 1986-2004. La température journalière a varié de 7,8 °C le 29 février à 19,0 °C les 14 et 15 août

Pour un jour donné, l'écart journalier à la moyenne quotidienne estimée au cours de ces 19 années est calculé. Les valeurs oscillent entre - 3,19 °C (le 15/11/1986) et + 2,20 °C (le 06/11/2001). La représentation graphique de ces anomalies journalières permet de visualiser la dominante thermique d'une année donnée (figure 2.8), ou, par exemple, les conditions thermiques des périodes précédant les jours de prélèvements.

Ces écarts, moyennés sur l'année, permettent d'apprécier l'excédent thermique de l'année 2004 (0,44 °C.j⁻¹).

Année	2002	2003	1999	1995	2001	2004	1990	1989	1998	1997
Ecart en °C.j ⁻¹	+ 0,75	+ 0,57	+ 0,57	+ 0,53	+ 0,48	+ 0,44	+ 0,36	+ 0,34	+ 0,27	+ 0,11
Année	1994	2000	1992	1993	1996	1988	1991	1987	1986	
Ecart en °C.j ⁻¹	+ 0,09	+ 0,06	- 0,18	- 0,28	- 0,46	- 0,59	- 0,68	- 0,87	- 1,50	

Tableau 2.1 : Bilan thermique moyen journalier de 1986 à 2004 (les années sont classées de la plus chaude à la plus froide).



Ces températures de l'eau de mer observées à Flamanville (Manche-ouest) sont comparées à celles enregistrées, depuis 1991, dans le canal d'aménée des deux autres sites de Paluel et Penly situés en Manche-est (figure 2.9).

Au cours de cette période commune³ aux trois sites (1991 à 2004), le caractère plus océanique de Flamanville apparaît nettement par rapport au caractère plus continental des deux autres sites, à savoir :

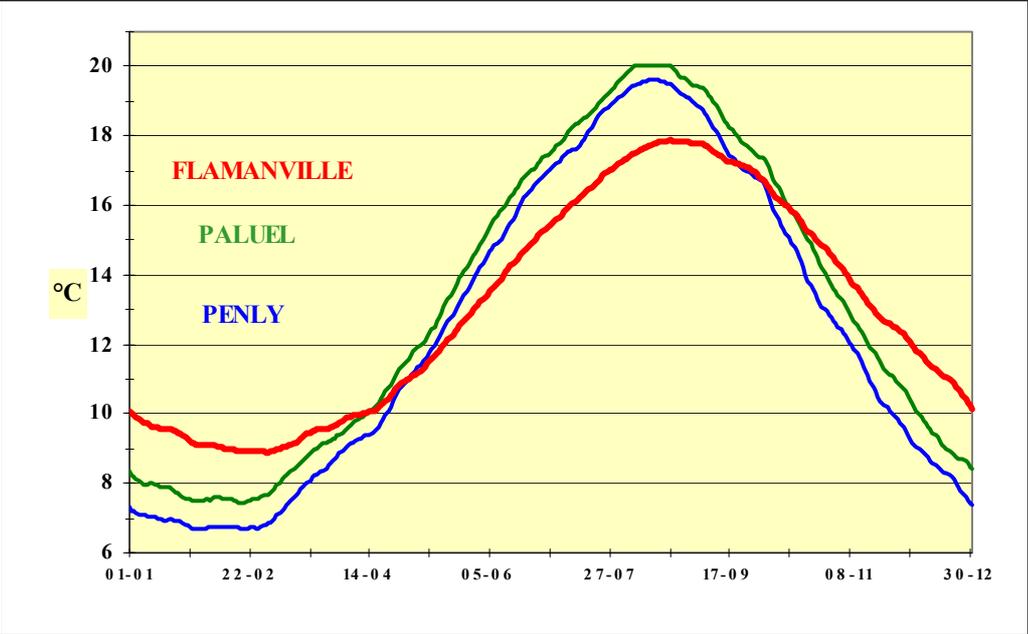
- Des températures hivernales plus douces, des températures estivales plus fraîches. Le minimum hivernal moyen est ainsi de 8,65 °C à Flamanville, alors qu'il est de 7,22 °C à Paluel et 6,25 °C à Penly. De même, le maximum estival moyen est, dans le même ordre géographique, de 17,96 °C, 20,09 °C et 19,70 °C.
- Un écart thermique plus faible entre l'hiver et l'été, à savoir 9,31 °C à Flamanville alors qu'il est de 12,86 °C à Paluel et 13,45 °C à Penly.

Au cours de cette période 1991-2004, la température moyenne annuelle de l'eau de mer à proximité de la côte est de 12,42 °C à Penly, 13,16 °C à

³ A la date du 31 janvier 2005, les données concernant le site de Penly ne vont que jusqu'au 30 septembre 2004.

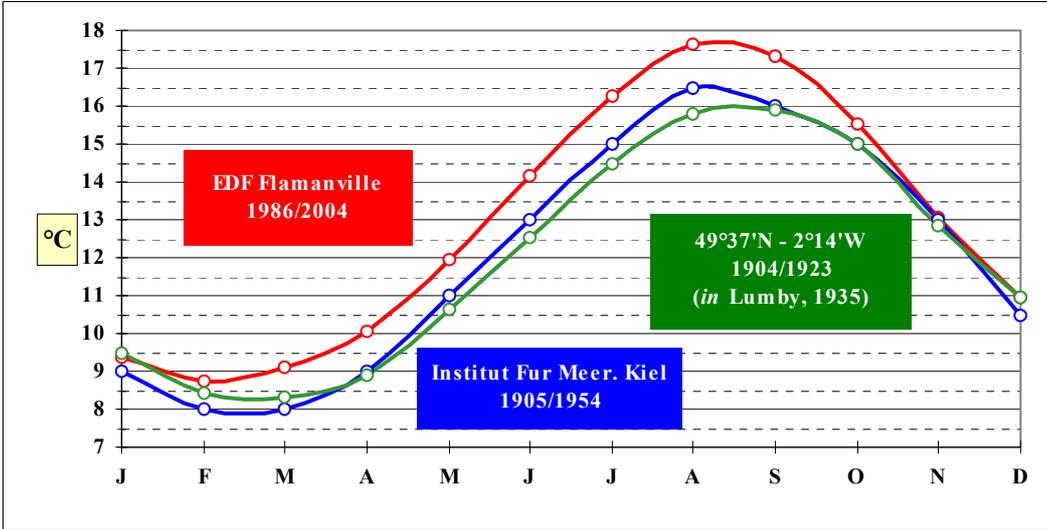
Paluel et 13,01 °C à Flamanville. Ces valeurs sont en augmentation de 0,03 °C par rapport aux moyennes annuelles de la période 1991-2003, qui présentaient elles-même une augmentation similaire par rapport à 1991-2002.

Figure 2..9 : Comparaison des températures moyennes journalières de l'eau de mer à Penly (PY), Paluel (PAL) et Flamanville (FLA) depuis le 1^{er} janvier 1991.



La comparaison des données de température de l'eau acquises par EDF avec celles acquises de 1905 à 1954 par l'*Institut Fur Meereskunde* de Kiel, de 1903 à 1927 par le *Ministry of Agriculture and Fisheries* (Lumby, 1935), montre un échauffement de l'eau de mer au cours des trois premiers trimestres (figure 2.10)

Figure 2..10 : Comparaison des données de températures de l'eau de mer acquises dans le secteur nord-ouest Cotentin.



La comparaison, pendant la période 1986-2004 (19 années), 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

annuelles de température de l'eau suivant celles de l'air avec un léger décalage dû à l'inertie de la masse d'eau.

Au cours de cette période, la température moyenne mensuelle est de 12,83 °C pour l'eau de mer, 11,88 °C pour l'air (pour rappel, cette dernière est de 11,51 °C au cours de la période 1949-2004).

La comparaison de ces températures (figure 2.11), 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.

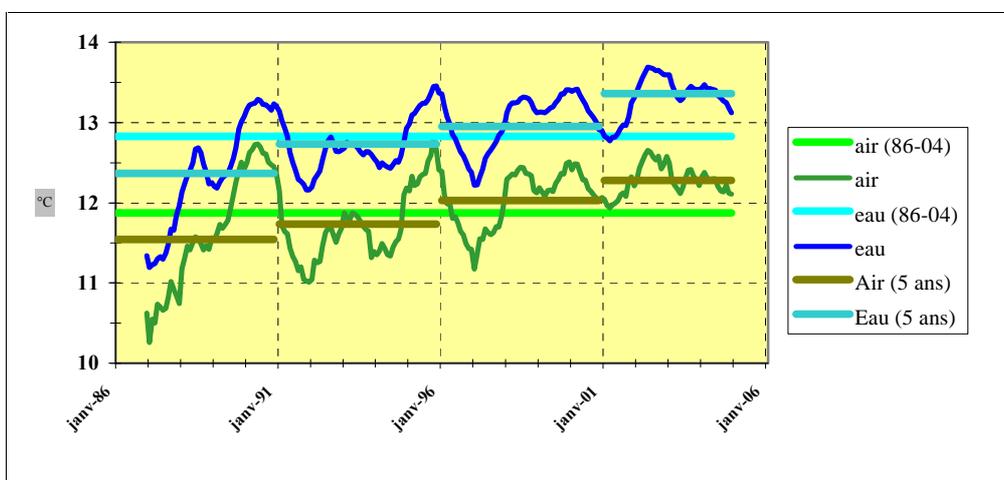


Figure 2.11 : Comparaison des "anomalies" mensuelles des températures de l'air (Cap de La Hague) et de l'eau de mer (Flamanville) au cours des 19 dernières années (1986-2004)

Une corrélation significative est établie entre ces deux paramètres (figure 2.12). Elle montre un échauffement plus lent de l'eau de mer de janvier à juillet (points situés sous la courbe de tendance). Il en est de même pour le refroidissement d'août à décembre (points au-dessus de la courbe).

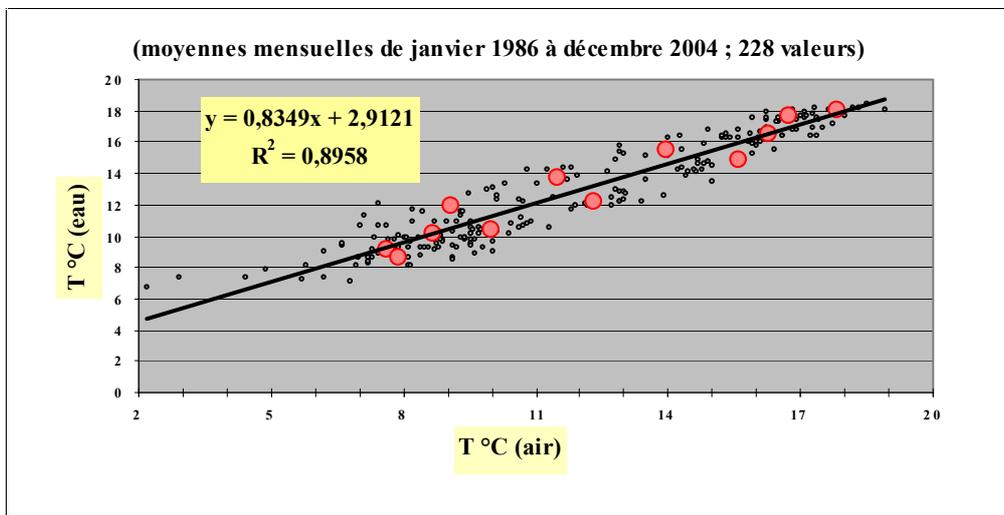


Figure 2.12 : Variation de la température moyenne mensuelle de l'eau de mer (données EDF) en fonction de celle de l'air (données Météo-France). Les données 2004 sont repérées en rouge.

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

R26	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Nb mois	Nb Valeurs	Moy. M	Moy. J													
1 1904					2	10,2	4	13,0	4	15,1	2	16,1	3	16,0	4	14,8	5	11,2	8	28	13,78	12,19							
2 1905	5	8,7	2	6,4	4	8,5	4	9,3	4	10,2	4	12,2	4	14,3	5	16,0	4	15,2	4	13,5	4	11,8	5	10,4	12	49	11,38	11,38	
3 1906	4	9,7	4	8,2	4	8,3	4	7,9	4	9,2	4	11,5	4	13,8	4	15,3	3	15,4	5	15,1	4	13,4	6	10,6	12	50	11,53	11,53	
4 1907	7	8,9	5	7,6	6	8,1	6	9,2	7	10,6	7	12,4	6	14,3	7	15,4	6	15,0	5	14,8	6	13,3	6	11,1	12	74	11,73	11,72	
5 1908	5	8,9	4	8,4	4	7,7	4	8,3	5	10,4	4	12,6	5	14,4	4	16,0	4	15,6	5	15,7	4	13,4	4	11,6	12	52	11,92	11,92	
6 1909	4	9,8	4	8,2	4	7,6	4	8,8	5	10,8	4	12,4	5	14,2	4	16,0	4	16,0	4	15,7	5	12,4	4	10,5	12	51	11,87	11,87	
7 1910	4	9,2	4	8,7	4	8,6	4	9,2	5	10,3	4	12,4	4	14,2	3	15,4	6	15,8	5	15,1	5	12,8	4	10,6	12	52	11,86	11,86	
8 1911	1	9,2	4	8,6	3	8,2	2	8,5	2	10,6	4	12,8	4	14,6	2	16,7	3	16,6	4	14,7	3	11,0	5	10,7	12	37	11,85	11,85	
9 1912	3	10,6	4	9,4	4	9,1	4	9,8	4	12,0	4	13,3	4	14,3	4	15,2	3	15,1	3	13,8	4	12,4	4	10,2	12	45	12,10	12,18	
10 1913	2	10,2	2	8,8	3	9,1	4	9,4	4	12,4	3	14,4	4	14,2	5	15,6	3	16,1	5	15,4	3	13,4	4	11,7	12	42	12,56	12,56	
11 1914	4	9,2	4	8,5	3	8,9	5	9,8	4	11,3	4	13,0	5	14,8	2	16,1	4	16,5	3	15,7	3	13,4	5	11,2	12	46	12,37	12,37	
12 1915	4	9,2	4	8,3	4	8,3	3	8,8	4	10,6	5	12,3	2	14,2	2	15,6	2	16,2	3	15,2	1	12,8	1	11,1	12	35	11,88	11,88	
13 1916	2	10,3	2	9,7	1	7,8			2	10,0	3	11,4	2	14,2	5	15,3	1	16,1			1	12,2	1	11,1	10	20	11,81	11,81	
14 1917	2	8,4	1	7,2	3	6,9	2	6,6	1	10,0					3	15,6	1	15,8	2	14,4	3	12,8	2	9,8	10	20	10,75	11,07	
15 1918	1	7,8	1	8,3	1	8,1			1	10,0	1	11,9	2	14,2	3	16,1	1	15,8	1	15,0	1	12,8	2	11,2	11	15	11,93	11,65	
16 1919	1	9,7					1	9,7	2	11,8															3	4	10,40	11,46	
17 1920									1	12,2															1	1	12,20	11,59	
18 1921											1	16,4	1	16,6	3	17,1									3	5	16,70	13,24	
19 1922																									0	0			
20 1923													1	16,0											1	1	16,00	12,13	
Nb années	15		14		14		12		16		16		15		17		16		14		15		15		R26		49° 37' N		
Nb Valeurs	49		45		48		46		55		58		56		57		51		53		51		58				02° 14' W		
Moy. M		9,32		8,31		8,23		8,80		10,52		12,48		14,48		15,82		15,89		14,92		12,78		10,87					
Moy. J		9,45		8,42		8,34		8,89		10,63		12,55		14,49		15,81		15,89		15,00		12,86		10,95					

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

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	9,884	28	10,16	31	10,41	30	11,24	31	12,85	30	14,68	31	16,68	31	17,80	30	17,63	31	16,25	30	13,91	31	11,64	12	365	13,59	13,61	
18 2003	31	9,881	28	8,70	31	9,36	30	10,35	31	12,37	30	15,04	31	17,39	31	18,44	30	18,11	31	15,85	30	13,80	31	11,61	12	365	13,41	13,44	
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	11,9	12	366	13,28	13,29	
Nb années	19		19		19		19		19		19		19		19		19		19		19		19				12,81	12,86	
Nb Valeurs	589		537		589		570		589		570		589		589		570		589		570		589						
Moy. M		9,37		8,71		9,09		10,08		11,95		14,15		16,26		17,63		17,31		15,53		13,00		10,96					
Moy. J		9,37		8,71		9,09		10,08		11,95		14,15		16,26		17,63		17,31		15,53		13,00		10,96					

3 Le domaine pélagique

Etude et rapport réalisés à l'Ifremer par

*Luis Lampert (Hydrologie, Phytoplancton,
Zooplancton et microbiologie)*

Françoise Dagault (Zooplancton)

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

Audrey Duval (LER/SM)

Liliane Fiant (LER/N)

Vincent Justome (LER/N)

Laure Lamort (LER/N)

Frank Maheux (LER/N)

Olivier Pierre-Duplessix (LER/N,

Floriane Girard (LER/N)

pour le traitement et l'interprétation des données

Ronan Le Goff (LER/N)

Hervé du Boullay (LER/N)

Et des

*Laboratoire d'Analyses de Prélèvements Hydrobiologiques – LAPHY de Biarritz, sous
la responsabilité de M. Jean d'Elbée (Zooplancton)*

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

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

3.1 Méthodologie

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

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

Le matériel et les méthodes d'analyses utilisés en 2004 sont les mêmes que ceux appliqués les années précédentes, en application de l'arrêté ministériel du 11 mai 2000.

Le calendrier des missions, les paramètres étudiés et le nombre d'échantillons prélevés en chaque point sont donnés dans le tableau 1.3 à la page 18. Les campagnes se sont déroulées les 29 mars, 22 juin et 24 septembre en période de mortes eaux à l'aide du *NO THALIA* (hydrobiologie, phytoplancton et zooplancton) et au moyen du Zodiac de la SNSM de Diélette (bactériologie et trihalométhanes).

3.2 Hydrologie

3.2.1 Méthode

3.2.1.1 Prélèvements

Aux points *canal* et *rejet*, 4 prélèvements successifs sont effectués en surface. Au point *référence*, les échantillons sont prélevés en surface et à mi-profondeur deux fois successivement.

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 *Manuel des analyses chimiques en milieu marin* (Aminot et Chauzepied, 1983). La précision sur la mesure des différents paramètres est indiquée dans le tableau 3.1.

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

Tableau 3.1 : Précision des analyses

Le thermosalinomètre SeaBird SBE 21 installé sur le circuit d'eau de mer du *NO THALIA* a été utilisé lors des deux dernières 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 - mars 2004). La cartographie est réalisée par le programme Ocean Data View, développé par l'université de Bremerhaven pour le compte de la communauté océanographique internationale. Les précisions des capteurs est de 0,01 °C pour la température et de 0,001 S/m pour la conductivité.

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

3.2.1.3 Présentation graphique

Les résultats des campagnes hydrologiques sont présentés sous forme de courbes, d'histogrammes et de boîtes à moustaches. Les courbes présentent les valeurs obtenues lors de l'année 2004, 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 2004 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 1987-2004. 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 échantillons appariés pour 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 2004

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de mesure pour l'année 2004 sur le site de Flamanville sont présentés dans le tableau 3.2.

(Valeurs moyennes \pm écart type)	CANAL D'AMENEE (n=4)	REJET (n=4)	REFERENCE		
			SURFACE (n=2)	-10 m (n=2)	
29 MARS	Température (°C)	9,20 \pm 0,1	11,7 \pm 0,1	9,0 \pm 0,0	8,9 \pm 0,0
	Salinité	34,8 \pm 0,1	34,8 \pm 0,1	34,8 \pm 0,0	34,9 \pm 0,0
	Nitrate (μ M)	9,3 \pm 0,0	9,7 \pm 0,1	9,8 \pm 0,2	9,6 \pm 0,1
	Nitrite (μ M)	0,29 \pm 0,00	0,28 \pm 0,00	0,30 \pm 0,00	0,28 \pm 0,00
	Ammonium (μ M)	0,34 \pm 0,02	0,44 \pm 0,11	0,45 \pm 0,06	0,35 \pm 0,15
	Phosphate (μ M)	0,67 \pm 0,02	0,69 \pm 0,02	0,65 \pm 0,01	0,67 \pm 0,00
	Silicate (μ M)	3,08 \pm 0,06	3,20 \pm 0,13	3,16 \pm 0,06	3,26 \pm 0,10
	MES (mg/L)	2,9	4,7	8,4	5,3
	Bore (mg/L)	5,3	5,3	5,3	---
	Bromoforme (μ g/L)	<4	<4	<4	---
22 JUN	Température (°C)	15,2 \pm 0,0	16,6 \pm 0,1	14,4 \pm 0,0	14,3 \pm 0,0
	Salinité	35,05 *	35,0 *	35,0 *	**
	Nitrate (μ M)	0,0 \pm 0,0	0,2 \pm 0,3	0,1 \pm 0,1	0,1 \pm 0,1
	Nitrite (μ M)	0,10 \pm 0,00	0,14 \pm 0,00	0,09 \pm 0,00	0,10 \pm 0,00
	Ammonium (μ M)	0,29 \pm 0,03	0,65 \pm 0,14	0,28 \pm 0,03	0,28 \pm 0,01
	Phosphate (μ M)	0,25 \pm 0,00	0,28 \pm 0,02	0,27 \pm 0,01	0,26 \pm 0,02
	Silicate (μ M)	1,05 \pm 0,24	1,10 \pm 0,19	1,13 \pm 0,01	1,01 \pm 0,13
	MES (mg/L)	4,3	3,4	5,1	4,1
	Bore (mg/L)	5,6	6	5,8	---
	Bromoforme (μ g/L)	<4	<4	<4	---
24 SEPTEMBRE	Température (°C)	17,2 \pm 0,0	19,3 \pm 0,2	16,8 \pm 0,0	16,6 \pm 0,0
	Salinité	35,02 *	35,02 *	35,07 *	**
	Nitrate (μ M)	3,5 \pm 0,0	3,4 \pm 0,0	2,5 \pm 0,1	2,4 \pm 0,0
	Nitrite (μ M)	0,43 \pm 0,00	0,44 \pm 0,00	0,49 \pm 0,00	0,50 \pm 0,00
	Ammonium (μ M)	0,96 \pm 0,04	0,96 \pm 0,11	0,89 \pm 0,08	0,80 \pm 0,00
	Phosphate (μ M)	0,53 \pm 0,02	0,50 \pm 0,01	0,47 \pm 0,01	0,46 \pm 0,00
	Silicate (μ M)	4,65 \pm 0,14	4,77 \pm 0,15	4,16 \pm 0,08	4,18 \pm 0,13
	MES (mg/L)	26,5	28	28,6	25,5
	Bore (mg/L)	4,6	4,5	4,3	---
	Bromoforme (μ g/L)	<4	<4	<4	---

* Valeur de salinité obtenue par le thermosalinomètre suite à un défaut du capteur de salinité

** Pas de données disponibles

Tableau 3.2 : Récapitulatif des résultats de surveillance pour l'année 2004

3.2.2.1 Température de l'eau de mer

3.2.2.1.1 Variations saisonnières de la température de l'eau de mer

Au cours des campagnes de surveillance 2004, la température de l'eau de mer a varié de 9,2 à 17,2 °C au point *canal*, de 11,7 à 19,3 °C au point *rejet* et de 9,0 à 16,8 °C au point *référence* (figure 3.1). Sur les trois campagnes effectuées en 2004, nous constatons des valeurs de température plus faibles au point *référence* par rapport au point *canal*. Cette différence varie entre 0,2 et 0,8 °C. Les écarts de température observés au point *référence* entre la surface et la mi profondeur restent à l'intérieur des incertitudes liées à la mesure.

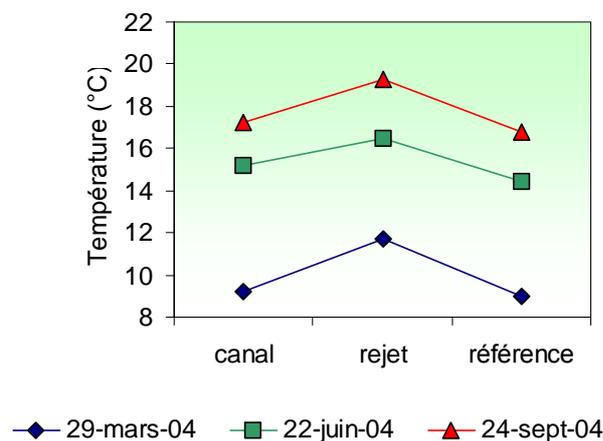


Figure 3.1 : Température de l'eau en surface aux trois campagnes 2004

Comme pour les années précédentes, l'écart thermique entre le printemps et l'automne est relativement réduit ($\delta T = 7,7$ °C en moyenne). Ce faible écart thermique est lié au brassage important de la colonne d'eau dans ce secteur où les courants de marée sont très forts. Dans les secteurs où l'énergie dissipée par la marée est suffisante pour contrecarrer l'effet de stratification induit par le réchauffement en été, les courants de marée peuvent rendre la colonne d'eau homogène.

La figure 3.2 présente une caractérisation du renouvellement de mélange en Manche à travers le paramètre de stratification ' H/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 brassée et les fortes valeurs ($> 3,0$) définissent les zones où la colonne d'eau peut présenter une stratification en été. La figure 3.2 montre que la centrale est située dans une zone où la colonne d'eau est brassée. Ceci réduit alors le réchauffement estival en surface et explique la gamme réduite de variation de température.

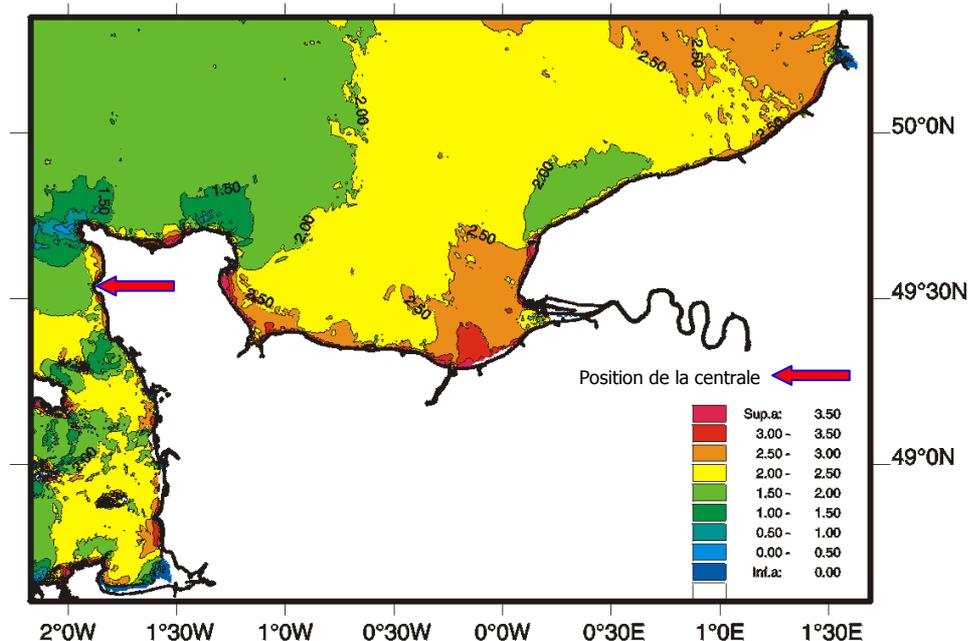


Figure 3.2 : Évolution spatiale du paramètre de stratification (H/u^3) en Manche réalisée à l'aide d'un modèle hydrodynamique 2D (IFREMER DEL/AO-LERN)

3.2.2.1.2 Variations inter-annuelles

La figure 3.3 montre que les températures de l'eau de mer enregistrées au cours des 3 campagnes réalisées en 2004 s'inscrivent globalement dans la plage de variation des températures mesurées depuis 1987. Ces résultats sont en accord, pour les points *canal* et *référence*, avec les températures observées dans l'étude d'avant projet réalisée en 1976. Cette dernière indiquait une variation de 8 à 17 °C au cours du cycle annuel. Ils sont également en accord avec les travaux de Agoumi *et al.* (1983), Taylor et Stephens (1983), Bentley et Maillard-Quisthoudt (1990) et Jones et Jeffs (1991) qui indiquent des variations thermiques similaires dans ce secteur de la Manche.

Les valeurs printanières en 2004 ont été similaires à celles enregistrées en 2003 sur les points *rejet* et *référence* et légèrement inférieure au point *canal*. En été et en automne les valeurs observées sont inférieures à celles de 2003, à l'exception de la température observée au point *rejet* en septembre.

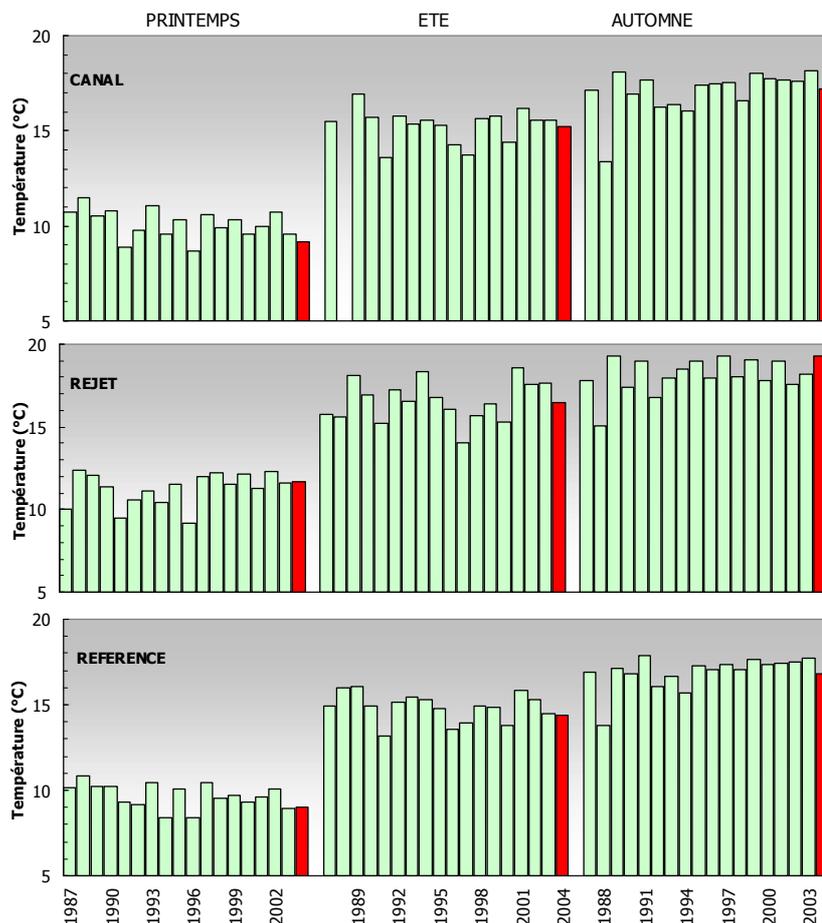


Figure 3.3 : Température de l'eau en surface sur la période 1987-2004. Les années 1987 à 2003 sont en vert clair. 2004 est en rouge

La figure 3.4 compare les distributions de température obtenues depuis 17 ans, par saison et par point. La valeur médiane pour le *rejet* est toujours supérieure à celles des points *référence* et *canal*, celle du *canal* étant légèrement supérieure à celle du point *référence*. Les températures des points *canal* et *référence* ont été inférieures aux médianes pluriannuelles sur les trois campagnes. Les températures du point *rejet* ont été similaires à celles des médianes en mars et juin et supérieure en septembre.

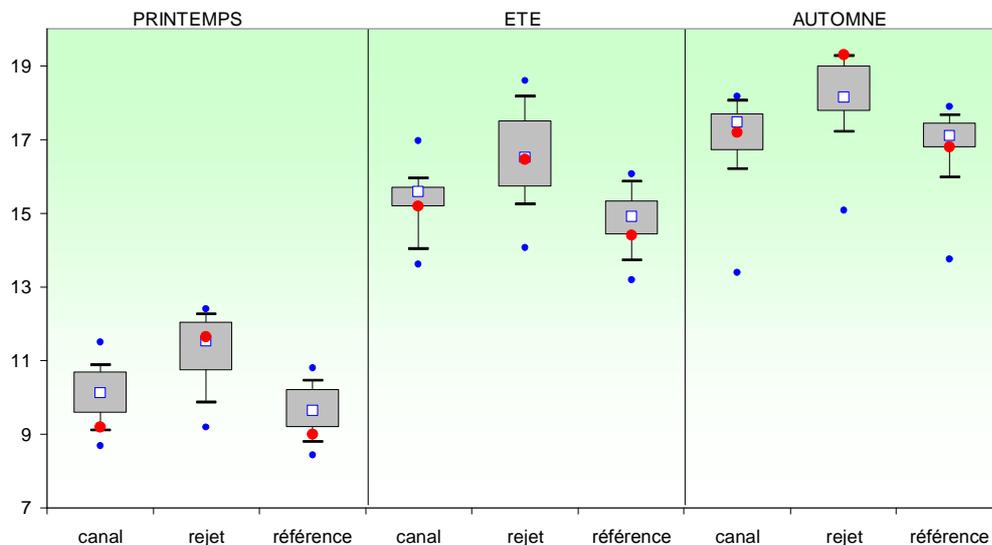


Figure 3.4 : Comparaison des distributions de la température par campagne et par point depuis 1987. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50% des valeurs (▭) ; les moustaches, 80% des valeurs (┌┐). Les point extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2004 (●)

Les valeurs de la température de l'eau de mer sont à rapprocher des températures de l'air (mesurées à la Hague) au cours de la même période (figure 2.5). Il existe une corrélation significative entre la température de l'air et celle de l'eau mesurée (données EDF) au niveau du canal d'amenée (figure 2.12). Les températures de l'eau enregistrées en 2004 peuvent donc s'expliquer par les températures de l'air enregistrées pendant l'année.

3.2.2.1.3 Température au rejet et taux de dilution

En 2004, les différences de température entre les points *rejet* et *canal* ainsi qu'entre les points *rejet* et *référence* ont été en moyenne de 2° et 2,5 °C sur l'ensemble de trois campagnes. Les différences de température mesurées entre les points *rejet* et *référence* sur les trois campagnes sont présentées dans la figure 3.5. Elles mettent en évidence des écarts de température de l'ordre de 1 à 3 °C à quelques dizaines de mètres de la grille du rejet.

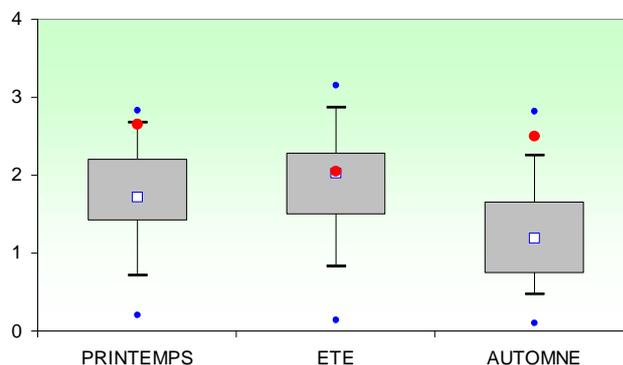


Figure 3.5 : Distributions par campagne des différences de température entre les points *rejet* et *référence* depuis 1987

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

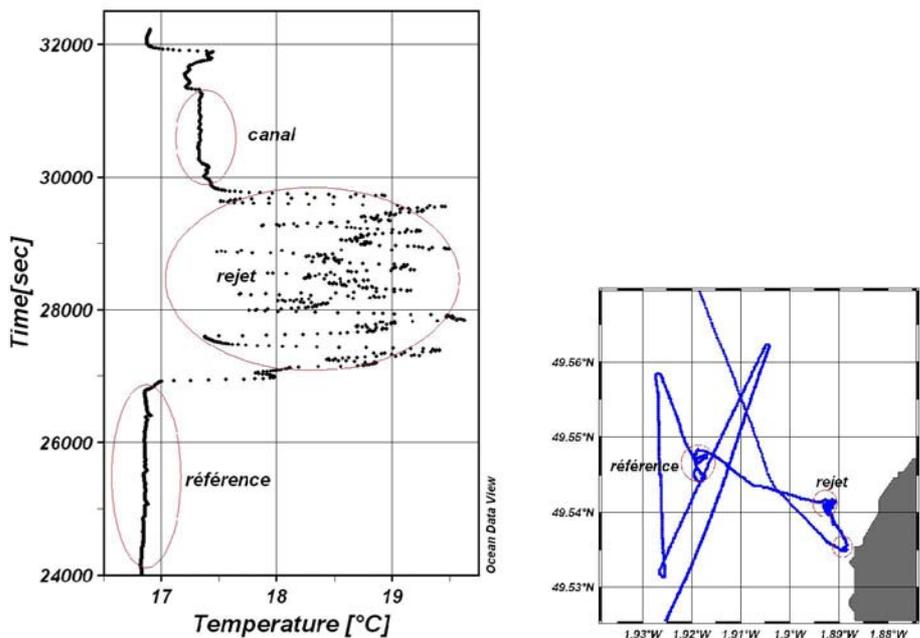


Figure 3.6 : Évolution de la température de l'eau de mer obtenue par le thermosalinomètre et parcours du NO THALIA lors de la campagne d'échantillonnage de septembre 2004

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 calculée d'après la formule suivante :

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

π 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*, au point *canal* et à la sortie du condenseur. Le dénominateur de l'équation (1) représente la différence de température entre les eaux réchauffées et celles du milieu récepteur. Par arrêté, cette différence ne doit pas excéder les 15°C (Malherbe et Manoha, 1977). Les proportions d'eau réchauffée, ainsi que les taux de dilution théorique qui en découlent sont répertoriés dans le tableau 3.

%	MARS	JUIN	SEPTEMBRE
PROPORTION D'EAU ECHAUFFEE π	16	8	14
TAUX DE DILUTION ($1-\pi$)	84	92	86

Tableau 3.3 : Taux de dilution théorique calculés pour l'année 2004

Des taux de dilution de 84% à 92% sont observés lors des trois prélèvements de l'année 2004. Le taux de dilution théorique moyen observé depuis 17 ans sur les trois points est d'environ 92%.

3.2.2.1.4 Approche statistique

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

COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-6}$
REFERENCE / REJET	$4 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-6}$
CANAL / REFERENCE	$4 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-6}$	0,040

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

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

L'étude statistique confirme que la température de l'eau de mer au point *rejet* a toujours été significativement différente (au seuil de 5% d'erreur) de celles des points *canal* et *référence* entre 1987 et 2004. Ce résultat significatif confirme l'existence de l'influence thermique de l'activité de la centrale.

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

En 2003, comme en 2002, l'arrêt total de la centrale en automne, a permis de lever le doute sur ces deux hypothèses. L'absence de différence significative de température entre les trois points d'échantillonnage en septembre 2002 et les faibles écarts constatés en septembre 2003 suggèrent que les températures constatées aux points *canal* et *référence* sont attribuables pour partie aux eaux réchauffées du *rejet*. Les rejets de la centrale de Flamanville sont disposés à une distance de 200 à 300 mètres des digues du canal d'amenée et distants l'un de l'autre de 100 à 150 mètres. Violeau et Dribault (1997) ont modélisé le panache thermique de Flamanville à l'aide du modèle TELEMAC-3D pour une morte-eau moyenne et une vive-eau moyenne. Les résultats de cette modélisation confirment, à pleine mer, l'élévation de température sur le canal d'amené par le panache du rejet. Les résultats montrent que l'impact thermique dépend fortement des courants

de marée. Selon le flot ou le jusant, le panache thermique s'affine et s'allonge davantage vers le sud que vers le nord.

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

3.2.2.2 Salinité

3.2.2.2.1 Variations spatiales et saisonnières de la salinité

Les salinités moyennes en 2004 (figure 3.7) ont été comprises entre 34,8 et 35,1. Les valeurs les plus faibles ont été mesurées en mars (34,8 sur les trois points), et les plus élevées en septembre avec un maximum de 35,1 au point *référence* et la même valeur au mois de juin au point *canal*.

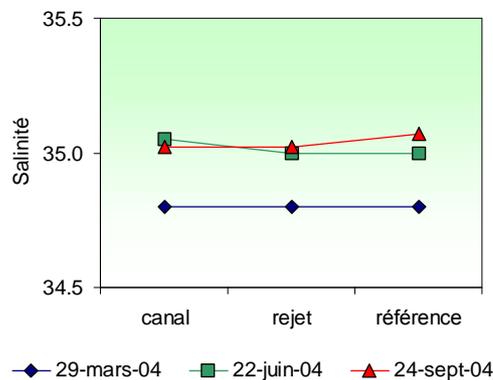


Figure 3.7 : Salinité de l'eau de surface pour les campagnes 2004

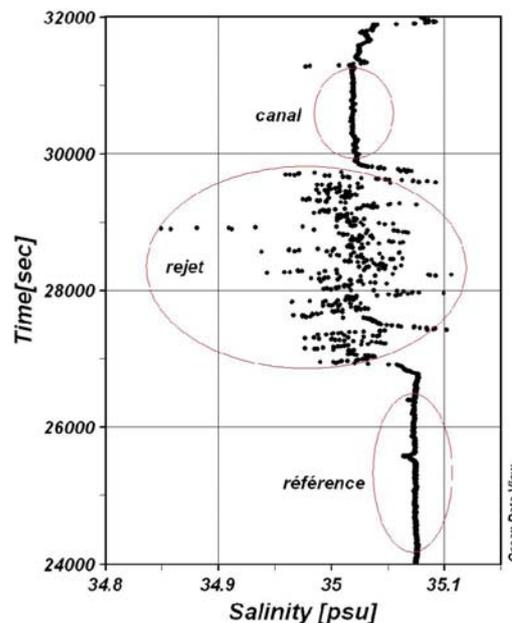


Figure 3.8 : Évolution de la salinité de l'eau de mer enregistré par le thermosalinomètre lors de la campagne d'échantillonnage de septembre 2004

Les mesures de la salinité présentent une grande stabilité de valeurs tout au long des trois campagnes. A partir de la campagne du mois de juin, les valeurs de salinité ont été acquises au moyen du thermosalinomètre, en parallèle à celles du capteur de marque WTW couramment utilisé. Ces dernières ont montré des problèmes de mesure évidentes sur la salinité, raison pour laquelle nous les avons écartées et remplacées par celles obtenues par le thermosalinomètre.

La salinité autour du point *rejet* peut présenter de rapides variations dues au caractère turbulent du mélange près de la grille de rejets (figure 3.8). Ces variations peuvent être négatives, ce qui met en évidence un apport des eaux dessalées, ou positives si des produits ou des composés mélangés aux eaux de refroidissement changent la conductivité de l'eau. Ces variations restent cependant très limitées géographiquement autour de la grille de rejets.

3.2.2.2 Variations inter-annuelles

La figure 3.9 présente les valeurs de salinité aux différents points sur la période 1987-2004. Elle montre bien les salinités plus faibles enregistrées pendant les campagnes de mars et de juin par rapport à celles observées en 2003 dans les mêmes périodes. Les salinités du mois de septembre restent cependant supérieures sur les trois points d'échantillonnage à celles observées en 2003.

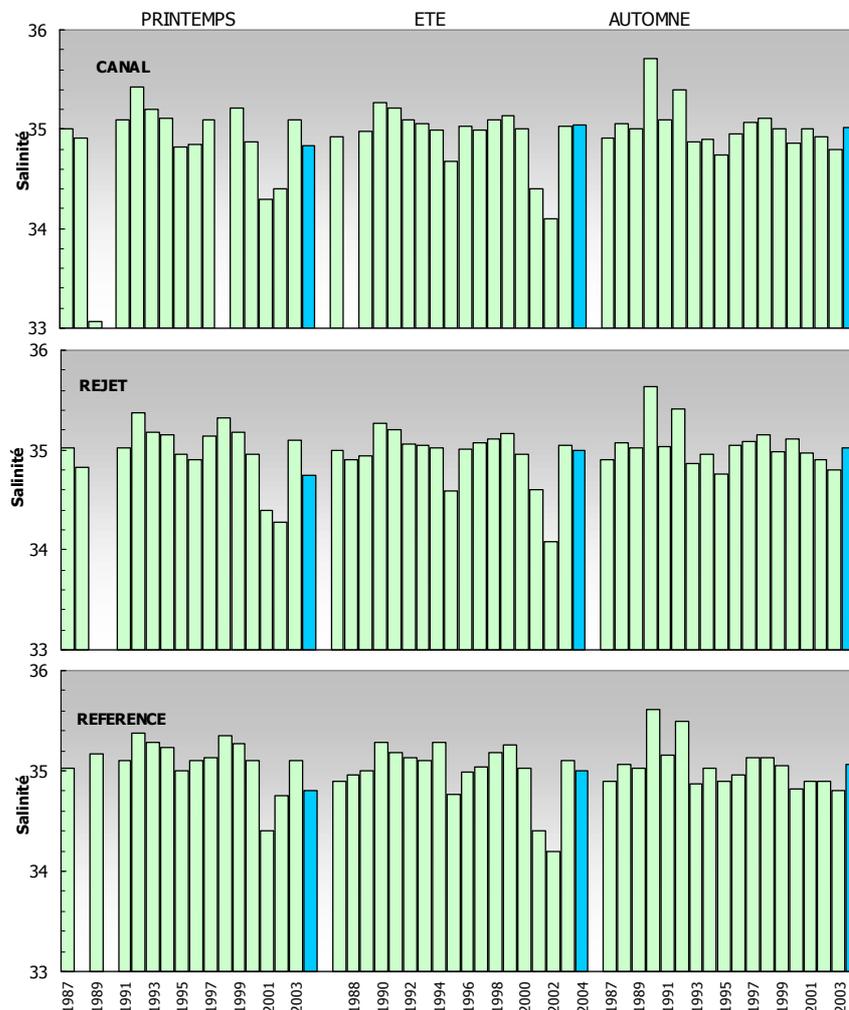


Figure 3.9 : Salinité de l'eau de surface pour les campagnes 1987 à 2004

La figure 3.10 nous permet de mieux visualiser les salinités enregistrées en 2004 par rapport à la série pluriannuelle obtenue depuis 1987. Ainsi les salinités en mars 2004 se situent en dessous des médianes, tandis que les valeurs observées en juin et septembre sont proches des valeurs médianes. Cette figure montre aussi la relative stabilité des valeurs médianes aux alentours de 35, sur les dix-sept dernières années, confirmant le caractère *marin* de la zone. Au printemps et en été, les salinités médianes du point *rejet* se trouvent entre les valeurs des points *canal* et *référence*, suggérant que ces valeurs peuvent être issues du mélange de ces deux masses d'eaux. En septembre, le régime de pluies est faible, ce qui explique les salinités médianes similaires observées pour les trois points d'échantillonnage.

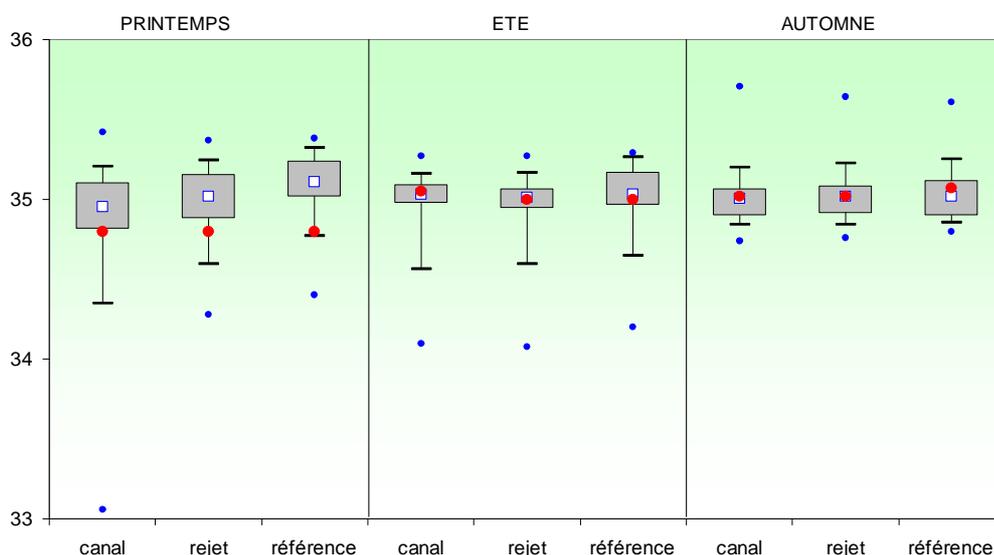


Figure 3.10 : Comparaison des distributions de la salinité par campagne et par point depuis 1987

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	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,546	0,919	0,215
REFERENCE / REJET	0,007	0,230	0,999
CANAL / REFERENCE	0,026	0,386	0,310

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

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

Les tests indiquent qu'il n'existe généralement pas de différence significative entre les points. Seules les différences de salinités entre le point *référence* et les points *rejet* et *canal* se sont avérées significatives lors des campagnes du printemps. 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 peu probable. Bien que la centrale représente une source d'eau douce via les effluents d'eau déminéralisée des circuits primaires, des circuits secondaires ainsi que des circuits annexes pour le refroidissement des auxiliaires de l'îlot nucléaire, les rejets ne représentent qu'un faible volume par an et par tranche vis-à-vis des forts débits des pompes d'eau de mer. Toutefois, le facteur de dilution n'est certainement pas constant, puisque les rejets d'eau douce ne sont pas réguliers, mais ont lieu lors de vidanges ou d'opérations de maintenance.

3.2.2.3 Ammonium

3.2.2.3.1 Variations spatiales et saisonnières de l'ammonium

Les teneurs en ammonium sont inférieures à 1,0 μM tout au long de l'année ; elles ont varié au cours des campagnes 2004 de 0,29 à 0,96 μM au point *canal*, de 0,44 à 0,96 μM au point *rejet* et de 0,28 à 0,89 μM au point *référence* (figure 3.11).

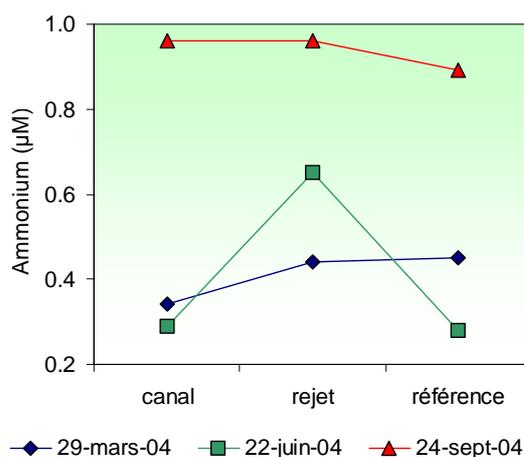


Figure 3.11 : Concentrations en ammonium (μM) dans les eaux de surface lors des campagnes 2004

Classiquement l'augmentation des concentrations en ammonium du printemps vers l'été reflète l'augmentation de l'activité hétérotrophe. En mars et en septembre, la variabilité spatiale est faible mais met en évidence une possible activité hétérotrophe plus forte au large au printemps et plus près des côtes en automne. La campagne d'été présente une valeur d'ammonium au point *rejet* deux fois plus forte que celles observées aux points *canal* et *référence*. Cette valeur, bien que dans la gamme de la variabilité naturelle, s'explique par les rejets d'ammonium de la centrale le 22 juin.

3.2.2.3.2 Variations inter-annuelles

Les variations de concentration en ammonium aux différents points depuis 1987 sont présentées sur les figures 3.12 et 3.13. Il est difficile d'observer une tendance évolutive de ce paramètre, pour lequel une forte variabilité inter-annuelle est constatée. Les valeurs observées en mars 2004 sont proches de celles observées en 2003. En juin les valeurs 2004 ont été inférieures à celles observées en 2003, tandis qu'en septembre, elles ont été supérieures pour les trois points.

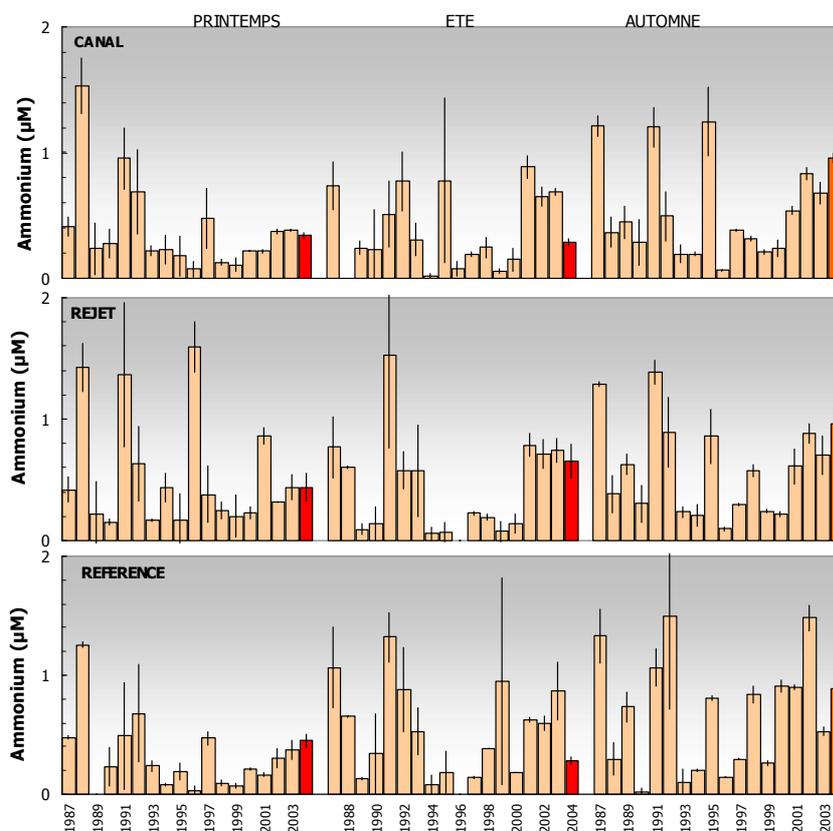


Figure 3.12 : Concentrations en ammonium dans l'eau de surface lors des campagnes de 1987 à 2004

Les médianes du point *référence* sont sensiblement supérieures à celles des deux autres points en été et en automne (figure 3.13). Les concentrations présentent une forte dispersion même à l'intérieur de la boîte où se trouvent 50% des valeurs.

A l'exception de la concentration en ammonium au point *référence* au mois de juin, toutes les autres valeurs ont été égales ou supérieures aux médianes observées sur la période 1987-2004. Il est remarquable de constater qu'en mars et en septembre les gradients sont inversés par rapport aux médianes pluriannuelles.

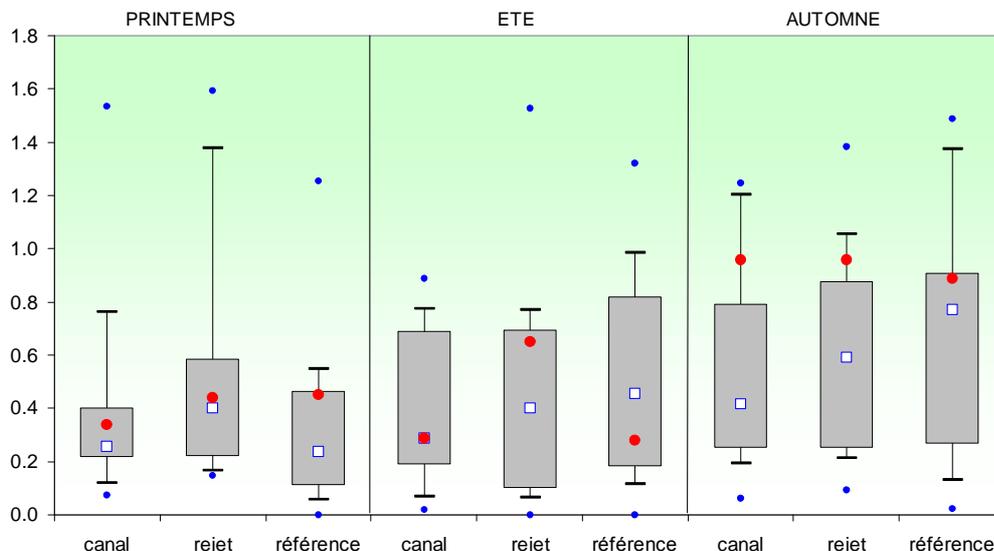


Figure 3.13 : Comparaison des distributions des concentrations de l'ammonium par campagne et par point depuis 1987

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	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,813	0,999	0,015
REFERENCE / REJET	0,479	0,332	0,227
CANAL / REFERENCE	0,033	0,249	0,141

(*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* et en automne entre les points *canal* et le *rejet*. Les *p-value* de ces deux dernières étant proches du seuil de signification.

La centrale peut représenter une source potentielle d'ammonium via des rejets d'ammoniaque. Le conditionnement du circuit secondaire nécessite en effet l'utilisation de ce produit chimique. Les vidanges de ce circuit occasionnent des rejets d'environ 10 t/an (8,44 t en 2003, 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.

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 2004 ont été comprises entre le seuil de détection analytique et 9,3 μM au *canal*, entre 0,2 et 9,7 μM au *rejet* et 0,1 et 9,8 μM à la *référence*. Les concentrations en nitrite ont varié de 0,10 à 0,43 μM au *canal*, de 0,14 et 0,47 μM au *rejet* et 0,09 et 0,49 μM à la *référence* (figures 3.14 et 3.15).

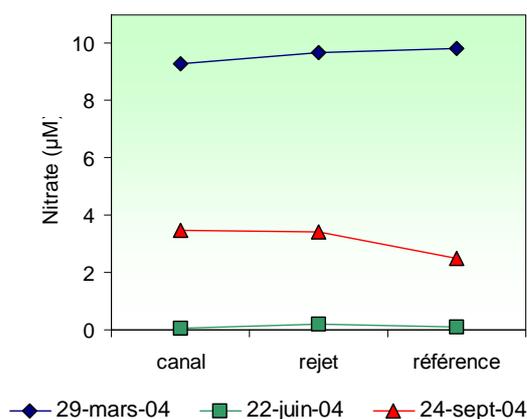


Figure 3.14 : Concentrations en nitrate (μM) dans les eaux de surface pour les campagnes 2004

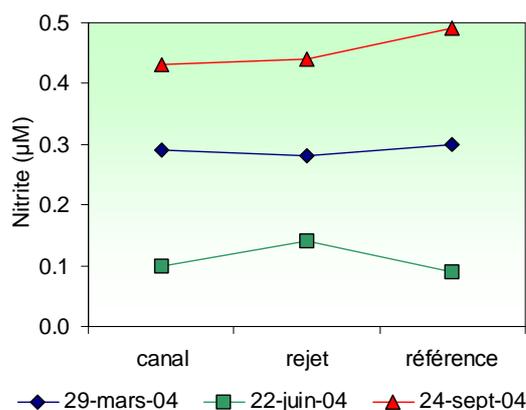


Figure 3.15 : Concentrations en nitrite (μM) dans les eaux de surface pour les campagnes 2004

L'été est caractérisé par une forte chute des teneurs en nitrate sur tous les points. Cette diminution met en évidence l'utilisation intensive des nutriments par le phytoplancton, confirmé par la concentration en chlorophylle *a* (chapitre 3.3). Ces valeurs sont du même ordre que celles observées au large du plateau continental atlantique français à la fin de l'été par Lampert (2001).

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

Les valeurs de nitrite observées en été représentent les minima de l'année. Au printemps les valeurs enregistrées sont intermédiaires entre celles de l'été et l'automne. C'est en septembre que nous trouvons les valeurs en nitrite les plus fortes. En septembre, le point *référence* montre la plus forte valeur saisonnière avec 0,49 μM . Comme pour l'ammonium, les plus fortes concentrations en nitrate et nitrite du point *rejet* en été pourraient être liées aux rejets azotés de la centrale.

3.2.2.4.2 Variations inter-annuelles

Les variations des concentrations en nitrate et nitrite sur la période 1987-2004 sont respectivement présentées sur les figures 3.16 et 3.17.

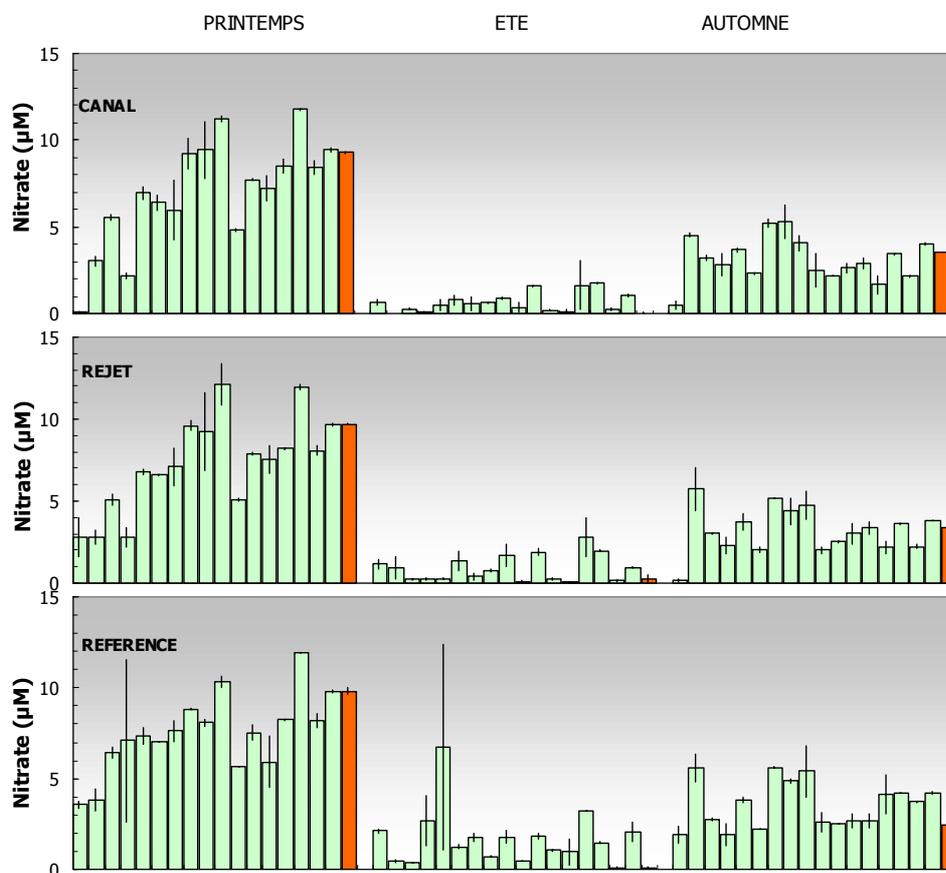


Figure 3.16 : Concentrations en nitrate dans l'eau de surface pour les campagnes de 1987 à 2004

Toutes les concentrations en nitrate observées lors de la campagne du printemps 2004 ont été similaires à celles de l'année 2003. Lors de la campagne de début d'été, nous observons des valeurs en nitrate à la limite du seuil de détection analytique. Pendant la campagne de fin d'été, les valeurs enregistrées ont été toutes en dessous des valeurs observées en 2003 pour la même période. En hiver et en début de printemps, les nitrates dans les eaux de la Manche sont en

général sous l'influence des eaux de l'Atlantique et caractérisés par des teneurs de l'ordre de 5 à 6 μM pour des salinités comprises entre 35,25 et 35,30 (Laane, 1992). Lors des campagnes que nous avons menées depuis 1987, nous constatons que les valeurs observées au printemps ont rarement été inférieures à 5 μM . Les concentrations mesurées lors de la campagne de mars 2004 se situent donc au dessus de ces valeurs.

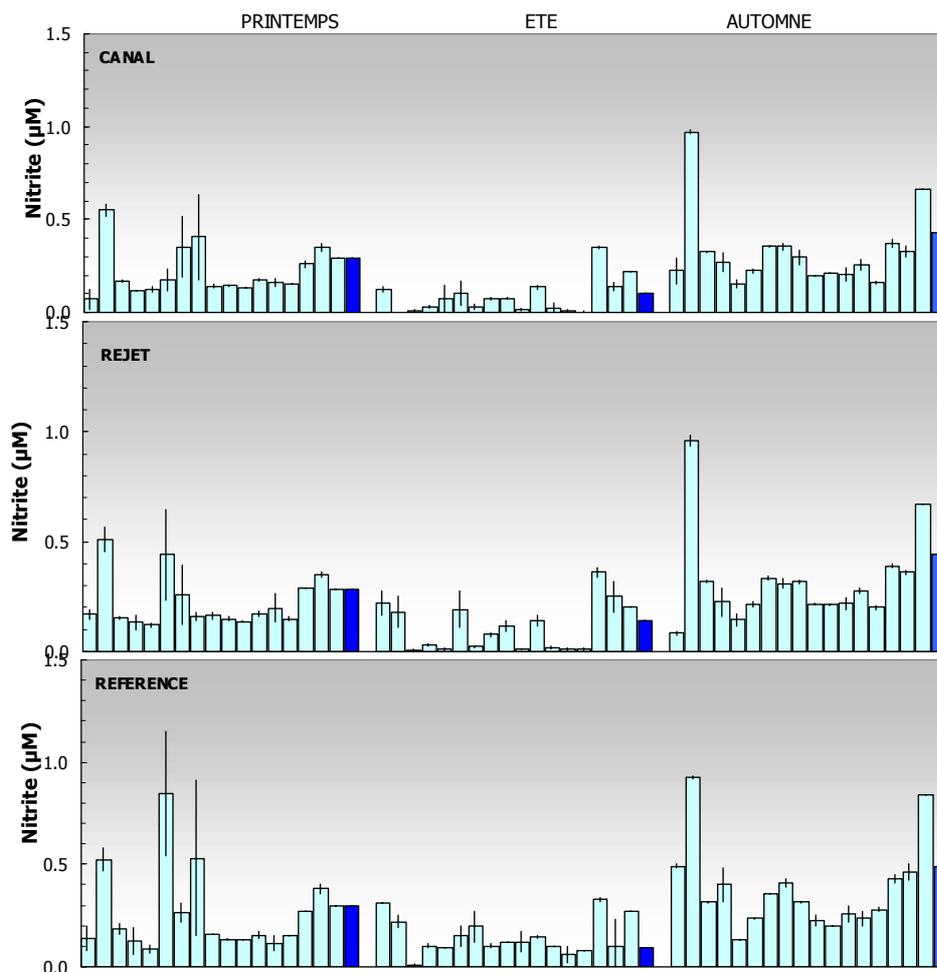


Figure 3.17 : Concentrations en nitrite dans l'eau de surface pour les campagnes 1987 à 2004

Le nitrite, présente un schéma similaire à celui observé pour le nitrate, avec des valeurs printanières similaires à celles observées en 2003 et des concentrations en nitrite en été et en automne inférieures à celles de l'année précédente. Pour les campagnes de mars et de septembre, il semble y avoir une tendance à l'augmentation des concentrations du nitrite depuis quatre années ; le processus inverse est observé en juin. La gamme de concentrations couramment observées en Manche pour des salinités comprises entre 34,7 et 35,2 se situe entre la limite analytique et 0,6 μM (Laane, 1992). Les valeurs observées lors des campagnes de 2004 rentrent dans cette gamme de valeurs.

La régénération du nitrate en automne est bien mise en évidence sur la figure 3.18, où sont présentées les médianes et leur dispersion. Les plus fortes dispersions sont observées au printemps, suggérant que les prélèvements ont été réalisés, selon les années, avant ou après le premier bloom phytoplanctonique. En effet, pour une même date, il est possible de trouver des niveaux de développement du phytoplancton bien différents 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 2004 ont toutes été supérieures aux médianes pluriannuelles, tandis que celles du mois de juin se trouvent toutes en dessous des médianes. En septembre, celles-ci oscillent autour de la valeur médiane tout en restant à l'intérieur de la boîte contenant 50% des valeurs. A part la valeur de la médiane du point *référence* en juin qui se détache des autres valeurs, l'ensemble de concentrations par campagne reste homogène.

La figure 3.19 présente les variations du nitrite par saison. L'ensemble de valeurs se situe en règle générale au dessus des médianes pluriannuelles, notamment en mars et en septembre, où les valeurs 2004 dépassent la limite haute de la boîte contenant 50% des valeurs. Le phénomène de régénération du nitrite en automne semble plus marqué que pour le nitrate. Les médianes du point *référence* en juin et en septembre présentent des valeurs supérieures à celles des deux autres points.

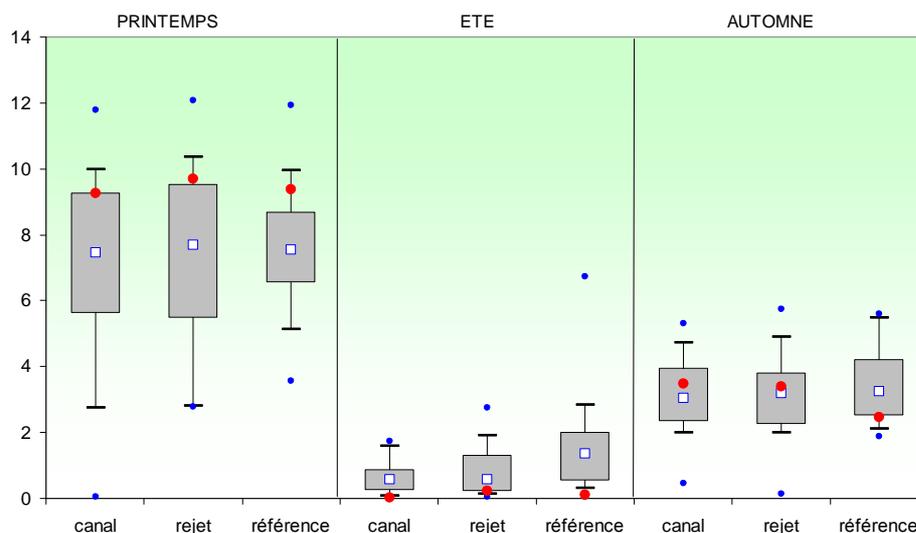


Figure 3.18 : Comparaison des distributions des concentrations en nitrate par campagne et par point depuis 1987

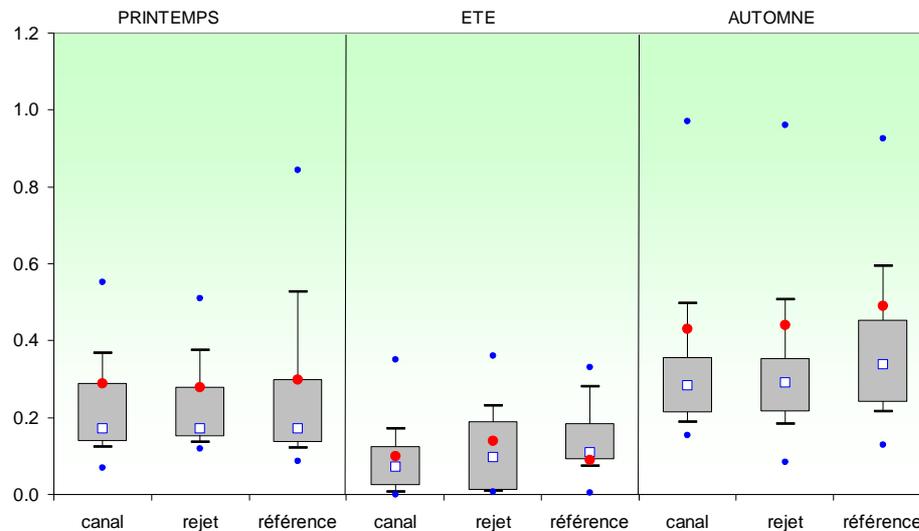


Figure 3.19 : Comparaison des distributions des concentrations en nitrite par campagne et par point depuis 1987

3.2.2.4.3 Approche statistique

Le tableau 3.7 présente les résultats des tests statistiques réalisés pour le nitrate et le nitrite entre 1987 et 2004.

		COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
NITRATE	CANAL / REJET		0,238	0,038	0,673
	REFERENCE / REJET		0,099	0,479	0,092
	CANAL / REFERENCE		0,479	0,015	0,095
NITRITE	CANAL / REJET		1,000	0,125	0,802
	REFERENCE / REJET		1,000	0,071	0,080
	CANAL / REFERENCE		0,301	0,002	0,146

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

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

L'ensemble des résultats statistiques issus des comparaisons des valeurs en nitrate et en nitrite depuis 1987 indique qu'il n'y a globalement pas de différence significative entre les trois points, sauf pour le nitrate en été entre le point *canal* et les deux autres points et entre les points *canal* et *référence* pour le nitrite. Remarquons toutefois qu'à propos du nitrate, les résultats du test sont très proche de la valeur seuil (0,05). Enfin, il n'y a pas de différence globale marquée à long terme entre les eaux du *canal* et celles du point *rejet*, et il n'y a donc *a priori* pas de tendance lourde mesurable sur ce paramètre sur la série de 17 années d'observations.

Finalement en 2004, les variations des teneurs en nitrate et en nitrite sont caractéristiques d'un cycle saisonnier classique. La centrale semble donc ne pas avoir d'influence significative ni sur le cycle annuel, ni sur les teneurs de ces sels nutritifs.

3.2.2.5 Phosphate et silicate

3.2.2.5.1 Variations spatiales et saisonnières du phosphate et du silicate

Les teneurs en phosphate mesurées au cours du programme de surveillance 2004 ont été comprises entre 0,25 et 0,67 μM au point *canal*, entre 0,28 et 0,69 μM au point *rejet* et 0,27 et 0,65 μM à la *référence*. Les concentrations en silicate ont varié de 1,05 à 4,65 μM au *canal*, de 1,10 à 4,77 μM au *rejet* et de 1,13 à 4,16 μM à la *référence* (figures 3.20 et 3.21).

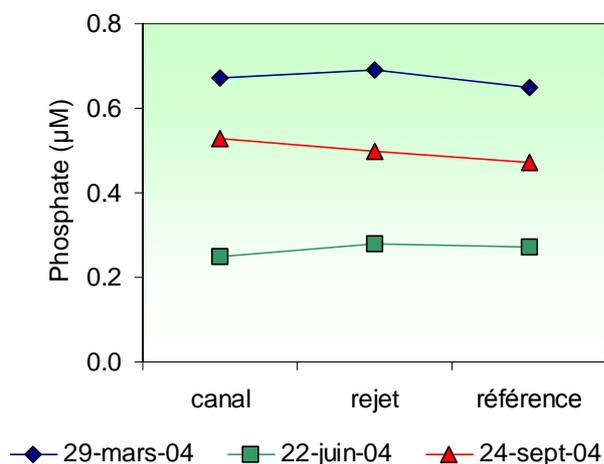


Figure 3.20 : Concentrations en phosphate (μM) dans les eaux de surface lors des campagnes 2004

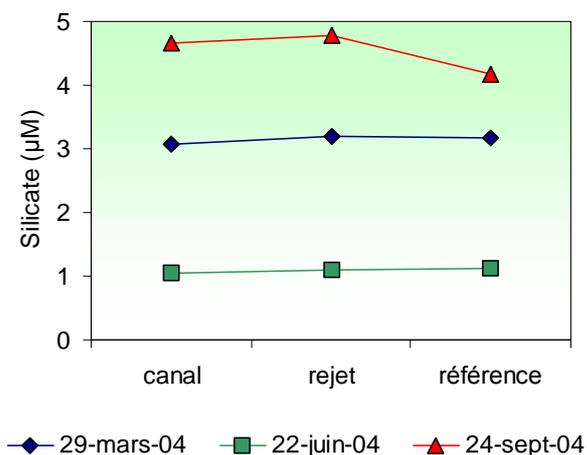


Figure 3.21 : Concentrations en silicate (μM) dans les eaux de surface lors des campagnes 2004

Les teneurs des deux sels présentent très peu de variabilité spatiale et leur évolution saisonnière est tout à fait comparable à celles observées en 2002 et en 2003. 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, notamment par mer agitée comme lors des prélèvements de 2004.

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 ont été du même ordre de grandeur que celles relevées par Laane (1992) au large, en Manche occidentale (0,4 à 0,5 μM pour le phosphate pour des salinités variant de 35,25 à 35,30).

En été, les teneurs diminuent fortement en raison du développement du phytoplancton. La diminution des concentrations en silicate est attribuable à une utilisation rapide de la silice par les diatomées, espèce phytoplanctonique dominante dans ce secteur tout au long de l'année (voir chapitre 3.3). En automne, les teneurs des deux sels nutritifs augmentent. Cette accumulation dans la colonne d'eau peut correspondre à des processus de régénération. Notons que 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 1987-2004 sont présentées sur les figures 3.22 et 3.23 respectivement.

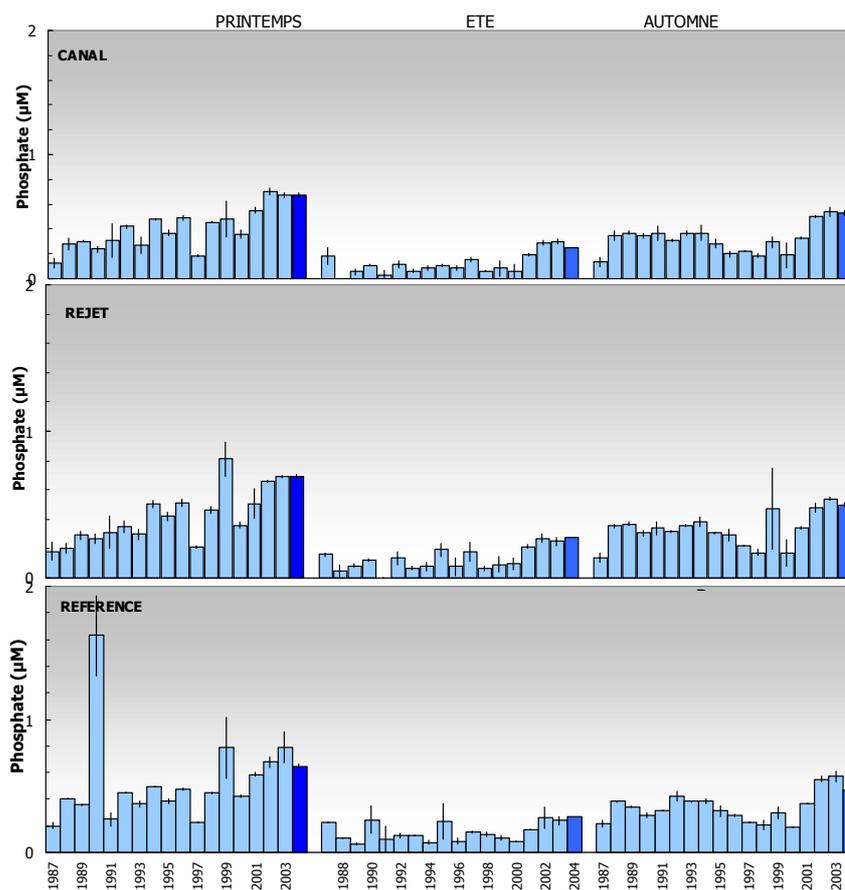


Figure 3.22 : Concentrations en phosphate dans l'eau de surface lors des campagnes 1987 à 2004

A l'image de la situation observée en 2002 et en 2003, les valeurs de phosphate enregistrées en 2004 ont été parmi les plus fortes observées depuis 1987, cependant, à l'exception des concentrations observées aux points *rejet* et *référence* en été, toutes les autres valeurs ont été égales ou inférieures à celles de l'année 2003. La tendance à l'augmentation des concentrations en phosphate observée depuis quatre années semble plafonner ou s'infléchir.

Les concentrations en silicate sont cependant restées dans des valeurs plus modérées, bien que supérieures aux valeurs observées en mars et en septembre 2003, tandis que pour la campagne du mois de juin 2004, elles ont été divisées par deux sur l'ensemble des points échantillonnés.

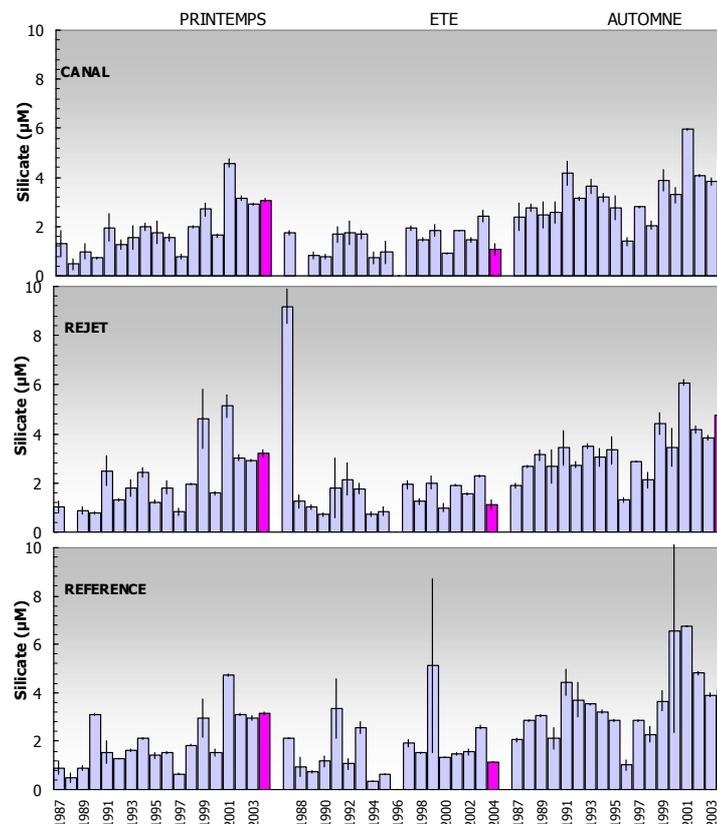


Figure 3.23 : Concentrations en silicate dans l'eau de surface lors des campagnes 1987 à 2004

La tendance saisonnière avec consommation des nutriments en été et régénération en automne est bien mise en évidence dans les figures 3.24 et 3.25. Les valeurs en phosphate observées aux points *rejet* et *référence* en été sont les plus fortes observées depuis 1987 à cette période de l'année. Le silicate semble avoir une plus forte dispersion que le phosphate, avec une plus faible différence entre les médianes du printemps et celles de l'été. La tendance sur les 17 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.

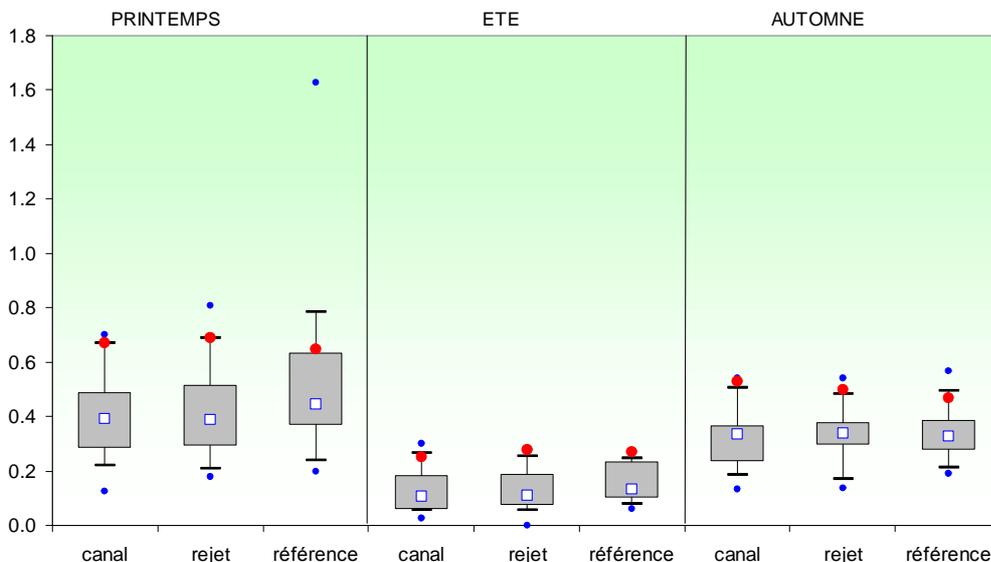


Figure 3.24 : Comparaison des distributions des concentrations en phosphate par campagne et par point depuis 1987

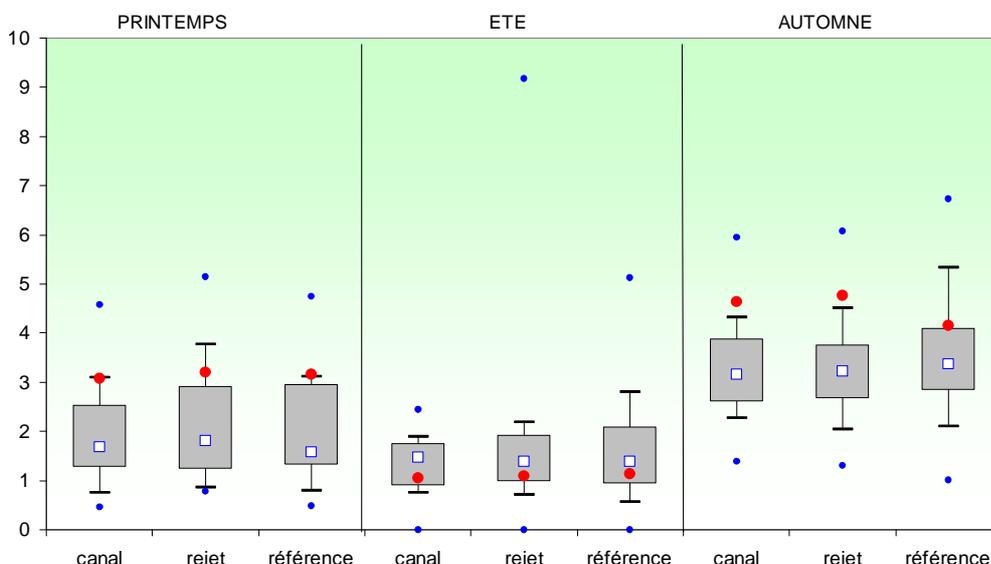


Figure 3.25 : Comparaison des distributions des concentrations en silicate par campagne et par point depuis 1987

3.2.2.5.3 Approche statistique

Les résultats des tests statistiques réalisés sur les teneurs en phosphate et en silicate aux différents points sont présentés dans le tableau 3.8. Cette étude révèle qu’il n’existe généralement pas de différence spatiale significative des teneurs sur la période 1987-2004.

Seule la teneur en silicate du printemps s’avère significativement différente entre les points *rejet* et *référence*. Cependant, notons la *p-value* proche du seuil de 0,05 pour le test du phosphate en été entre les points *canal* et *référence*.

	COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
PHOSPHATE	CANAL / REJET	0,240	0,251	1,000
	REFERENCE / REJET	0,479	0,082	0,453
	CANAL / REFERENCE	0,052	0,050	0,141
SILICATE	CANAL / REJET	0,332	0,627	0,847
	REFERENCE / REJET	0,015	0,802	0,479
	CANAL / REFERENCE	1,000	0,999	0,238

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

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

La centrale peut représenter une source en phosphate. Les circuits pour le refroidissement de l'îlot nucléaire sont alimentés en eau déminéralisée conditionnée au phosphate trisodique (Na₃PO₄). Les purges des circuits auxiliaires occasionnent des rejets qui atteignent environ 1 t/an (1,24 t en 2003 ; 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. Finalement, la centrale via ses rejets, ne semble donc ne 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 2004 ont été comprises entre 2,9 et 26,5 mg/L au point *canal*, entre 3,4 et 28 mg/L au point *rejet* et 5,1 et 28,6 mg/L au point *référence* (figure 3.26). Les fortes valeurs observées en septembre sont à attribuer au mauvais état de la mer, suite aux nombreux coups de vent du mois de septembre. Bien que la météorologie lors de la campagne d'été n'ait pas été favorable non plus, les valeurs des MES de juin sont restées très inférieures.

En mars et en septembre, nous observons un gradient croissant côte-large. En juin, la concentration en MES au point *référence* est plus forte que celle observée au point *canal*, mais inférieure à celle du point *rejet*. Au point *référence*, sur les trois campagnes annuelles, les plus fortes valeurs en MES sont observées en surface. Des faibles écarts sont observées entre les mesures de surface et celles enregistrées 10 m de profondeur.

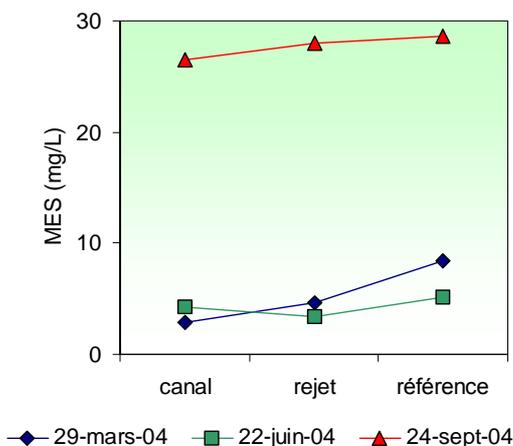


Figure 3.26 : Concentrations en MES dans les eaux de surface lors des campagnes 2004

3.2.2.6.2. Variations inter-annuelles

Les variations en MES observées depuis le début de la surveillance de la centrale de Flamanville sont présentées dans la figure 3.27. 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 phytoplanktonique.

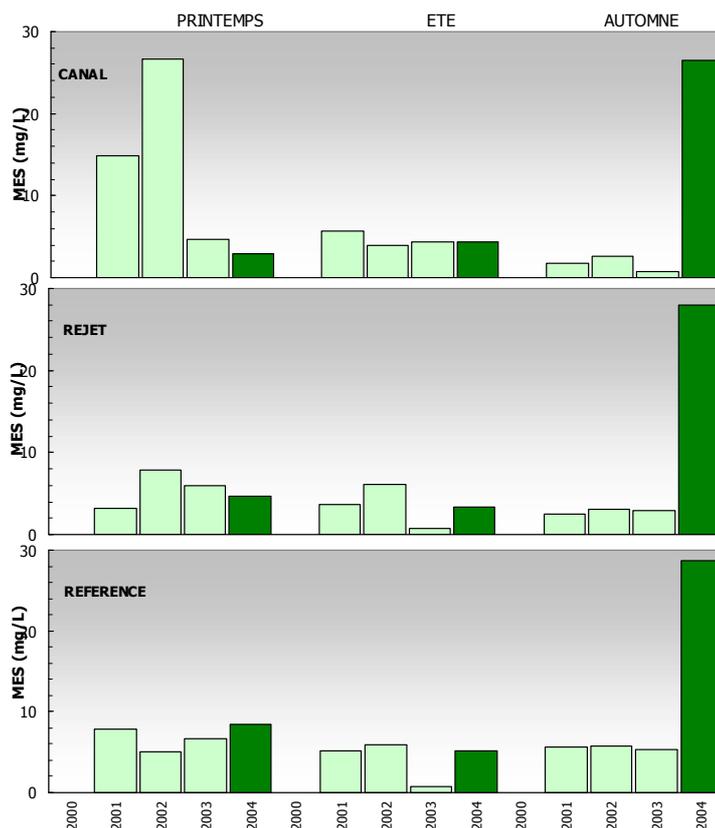


Figure 3.27 : Concentrations en MES dans l'eau de surface lors des campagnes 2000 à 2004

En règle générale les plus fortes conditions de mer (houle, vagues) sont observées lors de la campagne de septembre, ce qui se traduit par des valeurs en MES automnales supérieures à celles du printemps et de l'été. En 2004 les mauvaises conditions climatiques lors de la campagne de septembre introduisent un biais dans l'interprétation de l'évolution temporelle de ce paramètre.

La faible quantité de valeurs dont nous disposons aujourd'hui ne permet pas encore de réaliser des approches statistiques 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 (6,9 tonnes en 2001, 5,4 t en 2002 et 7,0 t en 2003) 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 ; antérieurement à cette date, l'autorisation était de 98 tonnes).

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

3.2.2.7.1. Variations spatiales et saisonnières du bore

La concentration du bore en 2004 a varié de 4,3 à 6 mg/L (figure 3.28). Les valeurs observées en mars ne présentent pas de variabilité spatiale. En juin la plus forte valeur est enregistrée au point *rejet* avec 6 mg/L, ce qui représente la valeur la plus élevée observée depuis le début de la surveillance de ce paramètre en 2001. Les valeurs observées en septembre ont été les plus faibles de l'année et présentent un gradient décroissant côte-large. En juin nous observons la valeur du point *rejet* supérieure à celles enregistrées aux points *canal* et *référence*.

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.

Étant donné que les concentrations en bore par campagne se trouvent à l'intérieur des intervalles de confiance, nous ne pouvons pas conclure à une différence entre les trois points d'échantillonnage. Sur le point *rejet* nous observons une différence significative entre les valeurs obtenues dans les trois campagnes.

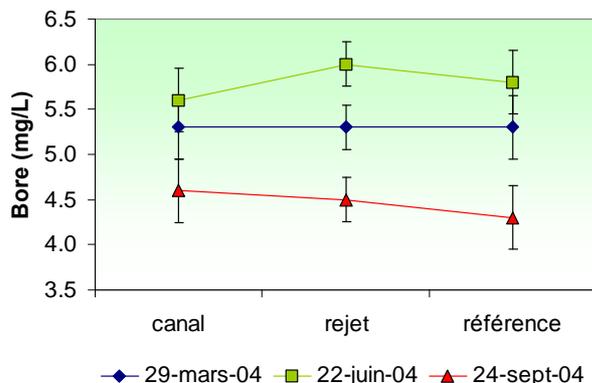


Figure 3.28 : Concentrations en bore dans l’eau de surface lors des campagnes 2004 avec les intervalles de confiance ($\alpha = 0,05$)

3.2.2.7.2. Variations inter-annuelles

Les variations en bore observées dans le cadre de la surveillance de la centrale de Flamanville sont présentées dans la figure 3.29. Les premières mesures en bore, qui ont eu lieu en septembre 2000, font suite au nouvel arrêté d’autorisation de rejet de mai 2000.

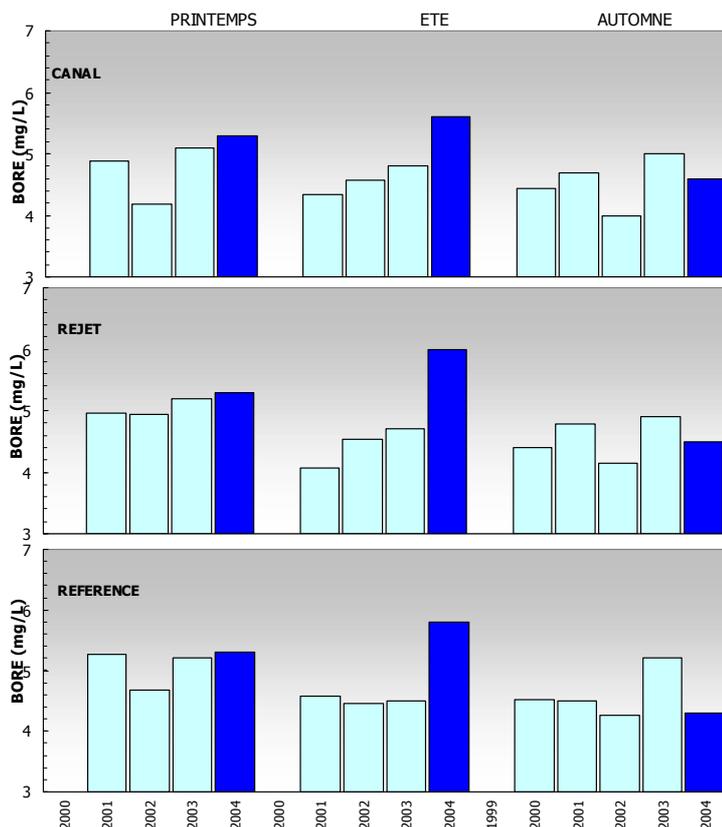


Figure 3.29 : Concentrations en bore dans l’eau de surface lors des campagnes 2000 à 2004

Une augmentation significative des valeurs dans la concentration de bore est observée au mois de juin, bien que il n’y ait pas eu des rejets de ce produit les jours précédant la campagne. Cette

augmentation de la concentration de bore n'est pas explicable en l'état. Une erreur analytique pourrait être une cause probable.

3.2.2.7. Trihalométhanes

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

Les quatre formes organo-halogénées recherchées sont :

- Tribromométhane = 'bromoforme' (CHBr_3),
- Dibromomonochloro-méthane (CHBr_2Cl),
- Dichloromonobromo-méthane (CHBrCl_2),
- Trichlorométhane = 'chloroforme' (CHCl_3).

Ces composés dérivés sont toxiques pour la faune et la flore marine. Erickson et Freeman (1978) ont réalisé des expériences écotoxicologiques sur des cultures de microalgues (*Skeletonema costatum*, *Thalassiosira pseudonana*, *Glinodinium halli* et *Isochrysis galbana*) et ils ont constaté que le taux d'inhibition de croissance de 50% par rapports aux cultures témoins se trouvait à des concentrations en chloroforme et bromoforme supérieures à 32 mg/L.

Les résultats obtenus à l'issus des trois campagnes annuelles n'ont pas dépassé les limites de détection analytiques de la méthode utilisée.

3.2.3 Conclusion

Les résultats du programme de surveillance 2004 du site de Flamanville montrent l'influence des conditions météorologiques sur les caractéristiques hydrologiques de la colonne d'eau. Lors des campagnes de juin et de septembre, les mauvaises conditions météorologiques ont conduit à des valeurs homogènes sur les mesures effectuées en surface et à mi profondeur, et plus particulièrement à des valeurs très élevées en matières en suspension en septembre.

L'année 2004, contrairement à l'année 2003, a été caractérisée, au moment des campagnes de mesures, par des températures de l'eau de mer plus faibles que les médianes observées depuis 1987. Les différences de température enregistrées entre les points *référence* et *rejet* ont varié entre 2,1 et 2,7 °C.

La salinité a suivi un schéma annuel classique, avec les plus faibles valeurs notées en début de printemps, puis une augmentation enregistrée en début d'été et en fin d'été suite au plus faible pluviométrie.

Les mesures de produits azotés au point *rejet* en juin suggèrent un apport ponctuel d'ammonium par la centrale, mais sans dépasser les valeurs couramment observées dans ce secteur de la Manche.

Les nutriments mesurés lors des campagnes 2004 semblent avoir suivi un cycle saisonnier classique : consommation par le phytoplancton des sels nutritifs entre le printemps et l'été suite à l'augmentation de l'ensoleillement, suivie de processus de régénération en automne.

Les concentrations en bore présentent des valeurs plus élevées que les années passées et plus particulièrement au mois de juin où des concentrations de 6 mg/L ont été observées.

Un récapitulatif des paramètres présentant des différences significatives identifiées à partir de l'étude statistique réalisée sur les données acquises depuis 1987 est présenté dans le tableau 3.9. Cette étude révèle que la température présente toujours des valeurs significativement plus élevées au point *rejet* qu'aux autres points, ce qui est attendu. Cependant, les mesures indiquent que l'impact thermique est relativement réduit. En effet, les échantillons prélevés aux abords du rejet (quelques dizaines de mètres) présentent des taux de dilution théoriques importants (environ 90% en moyenne depuis 1987). D'ailleurs, la modélisation du rejet montre que l'évolution spatiale de la tâche thermique est fortement dépendante des courants de marée, mais que l'impact thermique reste très localisé autour de la centrale et près des côtes.

Les autres paramètres (salinité, sels nutritifs) présentent peu de différences significatives entre les points et celles qui ont été observées sont aisément expliquées par les conditions météoro-océanographiques existantes. Les données des 17 années de surveillance n'ont pas permis de déceler d'anomalie dans le cycle saisonnier de ces paramètres hydrologiques entre le point *référence*, considéré comme n'étant pas influencé par les rejets de la centrale, et les points *rejet* et *canal*.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	Température	Température Nitrate	Température Ammonium
REFERENCE / REJET	Température Salinité Silicate	Température	Température
CANAL / REFERENCE	Température Salinité Ammonium	Température Nitrate Nitrite	Température

Tableau 3.9 : Récapitulatif des paramètres présentant des différences significatives entre les points.

Finalement, le principal impact sur l'écosystème est l'échauffement de l'eau aux abords proches du *rejet*. La centrale via ses rejets ne semble donc pas modifier les caractéristiques hydrologiques intrinsèques du milieu (teneurs et variations saisonnières).

3.3. Phytoplancton

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

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

C'est au moyen des descripteurs précités que ce chapitre traitera des résultats quantitatifs et qualitatifs de l'étude des populations phytoplanctoniques présentes lors des trois campagnes de surveillance réalisées en 2004.

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 33). Les prélèvements sont effectués en surface pour chaque point avec deux bouteilles Niskin. A chaque point de prélèvement, deux répliqués par bouteille ont été réalisés pour les analyses de chlorophylle *a*. Pour la mesure de la production primaire, le nombre d'échantillons a été doublé.

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 Chaussepied, 1983).

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

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

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

3.3.1.2. Étude 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 4 heures selon la technique d'Utermöhl (Utermöhl, 1958). La détermination et le comptage des espèces s'effectuent avec un microscope inversé Olympus à contraste de phase. Au moins 100 cellules sont dénombrées afin d'obtenir une précision d'au moins $\pm 20\%$ (Lund, 1958). Les résultats sont rendus en nombre de cellules par litre.

3.3.2. Résultats

Les résultats obtenus en 2004 sont donnés par le tableau 3.10 ci-dessous.

	(Valeurs moyennes \pm écart type)	CANAL D'AMENEE	REJET	REFERENCE	
				SURFACE	-10 M
29 MARS	<i>Chlorophylle a</i> ($\mu\text{g/L}$)	0,89 \pm 0,10	1,05 \pm 0,14	1,34 \pm 0,13	1,18 \pm 0,08
	<i>Phéopigments</i> ($\mu\text{g/L}$)	0,14 \pm 0,03	0,17 \pm 0,04	0,30 \pm 0,06	0,17 \pm 0,05
	<i>Prod. Primaire</i> ($\text{mg C/m}^3/\text{h}$)	2,95 \pm 0,34	3,31 \pm 0,62	2,82 \pm 1,47	3,06 \pm 0,32
	<i>microphytoplancton</i> (nbre/L)	77 200	88 200	158 000	194 000
22 JUIN	<i>Chlorophylle a</i> ($\mu\text{g/L}$)	2,43 \pm 0,48	2,66 \pm 0,55	4,46 \pm 0,08	3,77 \pm 1,46
	<i>Phéopigments</i> ($\mu\text{g/L}$)	0,03 \pm 0,05	0,06 \pm 0,13	0,28 \pm 0,06	0,08 \pm 0,11
	<i>Prod. Primaire</i> ($\text{mg C/m}^3/\text{h}$)	3,97 \pm 0,83	4,96 \pm 1,01	6,32 \pm 0,21	8,10 \pm 1,08
	<i>microphytoplancton</i> (nbre/L)	73 000	68 400	87 200	69 200
24 SEPTEMBRE	<i>Chlorophylle a</i> ($\mu\text{g/L}$)	0,87 \pm 0,18	0,94 \pm 0,13	0,85 \pm 0,04	0,78 \pm 0,06
	<i>Phéopigments</i> ($\mu\text{g/L}$)	0,21 \pm 0,07	0,27 \pm 0,06	0,16 \pm 0,04	0,12 \pm 0,01
	<i>Prod. Primaire</i> ($\text{mg C/m}^3/\text{h}$)	4,27 \pm 0,36	4,11 \pm 0,82	2,27 \pm 0,80	4,36 \pm 0,62
	<i>microphytoplancton</i> (nbre/L)	27 000	64 600	18 400	15 300

Tableau 3.10 : Moyenne et écart type des paramètres phytoplanctoniques au droit du CNPE de Flamanville en 2004

3.3.2.1. Biomasse chlorophyllienne

3.3.2.1.1. Variations spatiales et saisonnières de la chlorophylle

Au cours de l'année 2004, les valeurs de chlorophylle *a* s'échelonnent entre 0,85 $\mu\text{g/L}$ au point *référence* en septembre et 4,46 $\mu\text{g/L}$ au point *référence* en juin (figure 3.31). Ces valeurs mettent en évidence les faibles biomasses phytoplanctoniques observée lors des campagnes de mars et septembre 2004 par rapport aux valeurs fournies par Gentilhomme et Lizon (1998), mais qui sont en accord avec les valeurs observées en 1978 lors de l'étude écologique de projet de la centrale de Flamanville (1980). L'été a présenté les plus fortes valeurs de biomasse, où le gradient croissant *canal-référence* met en évidence les faibles valeurs côtières. La distribution spatiale de la biomasse en juin présente la même allure, avec des valeurs inférieures de moitié. En septembre, nous observons de faibles écarts entre les points suggérant une masse d'eau homogène.

Les fortes biomasses enregistrées en juin, en corrélation avec les faibles concentrations en nutriments, nitrite et ammonium, suggèrent l'utilisation rapide de ces nutriments par le phytoplancton, et plus particulièrement au point *référence*. Cette hypothèse est appuyée par la forte valeur de production primaire observée (cf. 3.3.2.2.).

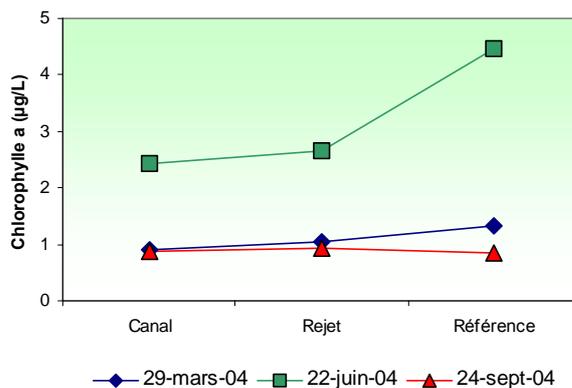


Figure 3.31 : Évolution de la chlorophylle lors des trois campagnes de surveillance 2004.

3.3.2.1.2. Variations inter-annuelles

Les valeurs de concentration en chlorophylle aux mois de mars et septembre ont été inférieures à celles observées en 2003, situation qui contraste fortement avec les valeurs en chlorophylle enregistrées en juin, très supérieures à celles observées lors des trois dernières années (figure 3.32).

La figure 3.33 montre une plus faible dispersion des valeurs au printemps par rapport aux deux autres saisons. Les boîtes (50 % des valeurs et 80 % dans les moustaches) restent homogènes entre elles avec peu de variabilité sur les trois points. L'été présente une plus forte dispersion avec des boîtes qui restent relativement réduites et dont les tailles sont proches de celles du printemps. Les moustaches par contre, s'étalent vers les fortes valeurs, les valeurs extrêmes dépassent 4 µg/L. Bien qu'en automne les boîtes soient plus réduites, la forte dispersion des valeurs est toujours présente avec des valeurs maximales jusqu'à cinq fois supérieures à la médiane.

Les valeurs de chlorophylle enregistrées en mars se situent autour ou au dessus de la médiane, tandis qu'en septembre les valeurs sont toutes situées en dessous. Au mois de juin, toutes les valeurs de chlorophylle se situent au-delà des moustaches, et représentent dans le cas du point *référence*, le maximum observée depuis 1987.

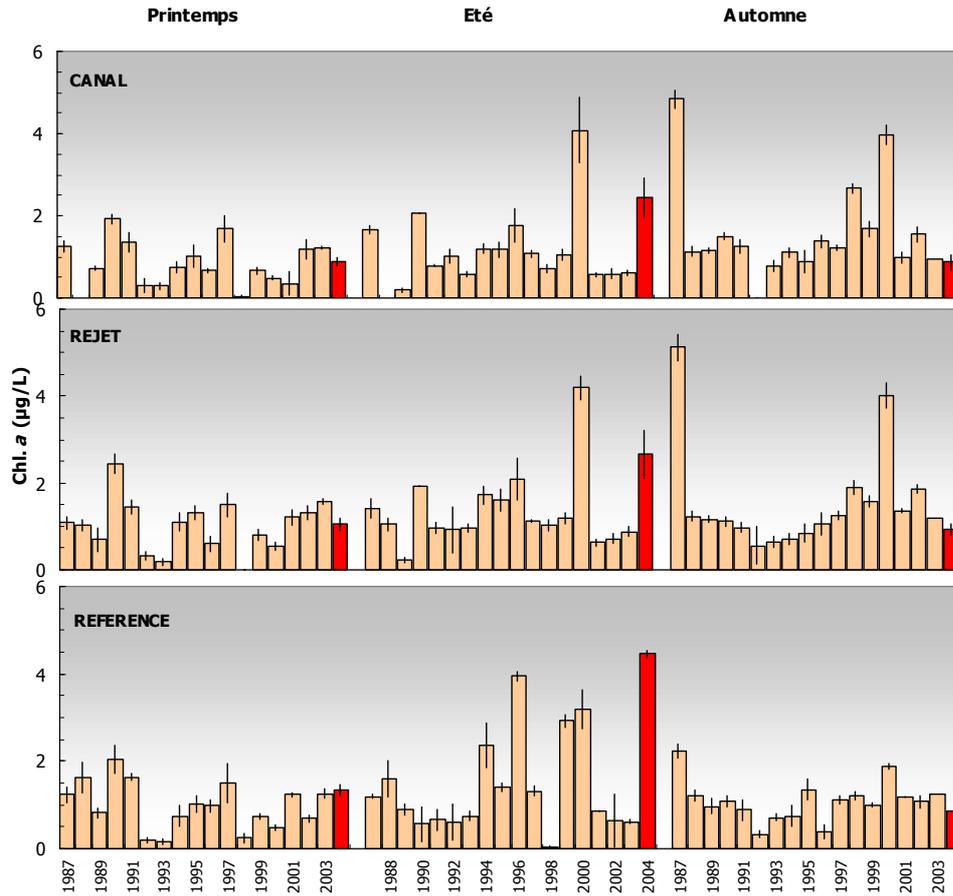


Figure 3.32 : Évolution de la chlorophylle de 1987 à 2004

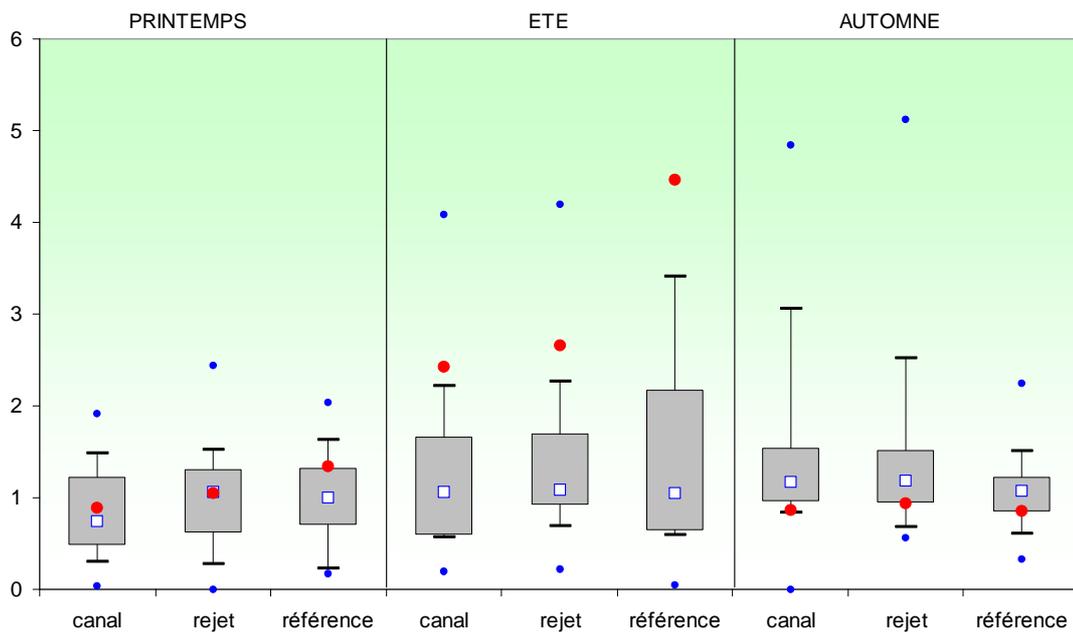


Figure 3.33 : Évolution de la chlorophylle de 1987 à 2004

3.3.2.1.3. Approche statistique

Les tests statistiques présentés dans le tableau 3.11 confirment les tendances pluriannuelles déjà mises en évidence dans la figure 3.33. Il faut noter essentiellement la différence significative observée en automne entre le point *référence* et les deux autres points.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,090	0,052	0,777
REFERENCE / REJET	0,850	0,492	0,009
CANAL / REFERENCE	0,177	0,650	0,033

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

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

3.3.2.2 Production primaire

3.3.2.2.1. Variations spatiales et saisonnières de la production primaire

Les valeurs mesurées en 2004 sont comprises entre 2,27 mg C/m³/h en septembre au point *référence* et 6,32 mg C/m³/h au même point en juin (figure 3.34).

En 2004, les plus faibles valeurs de production primaire sont observées au printemps avec une faible variabilité spatiale. Le mois de juin présente un gradient croissant côte-large bien établi, contrairement à la situation observée en septembre, où le point *référence* présente la plus faible valeur de l'année.

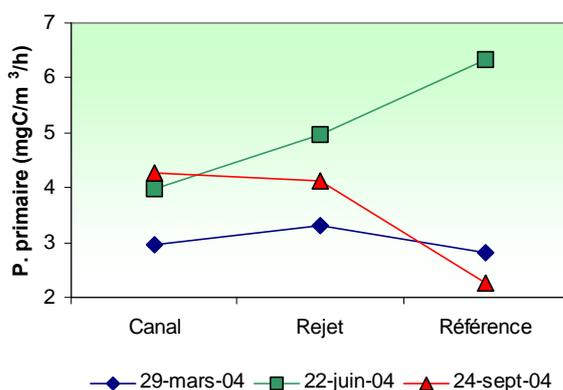


Figure 3.34 : Évolution de la production primaire lors des trois campagnes de surveillance 2004

3.3.2.2.2. Variations inter-annuelles

Toutes les valeurs de production primaire obtenues en mars et septembre ont été inférieures à celles observées en 2003 (figure 3.35). Pour le mois de juin, les valeurs de production primaire ont été toutes supérieures à celles observées à la même période en 2003.

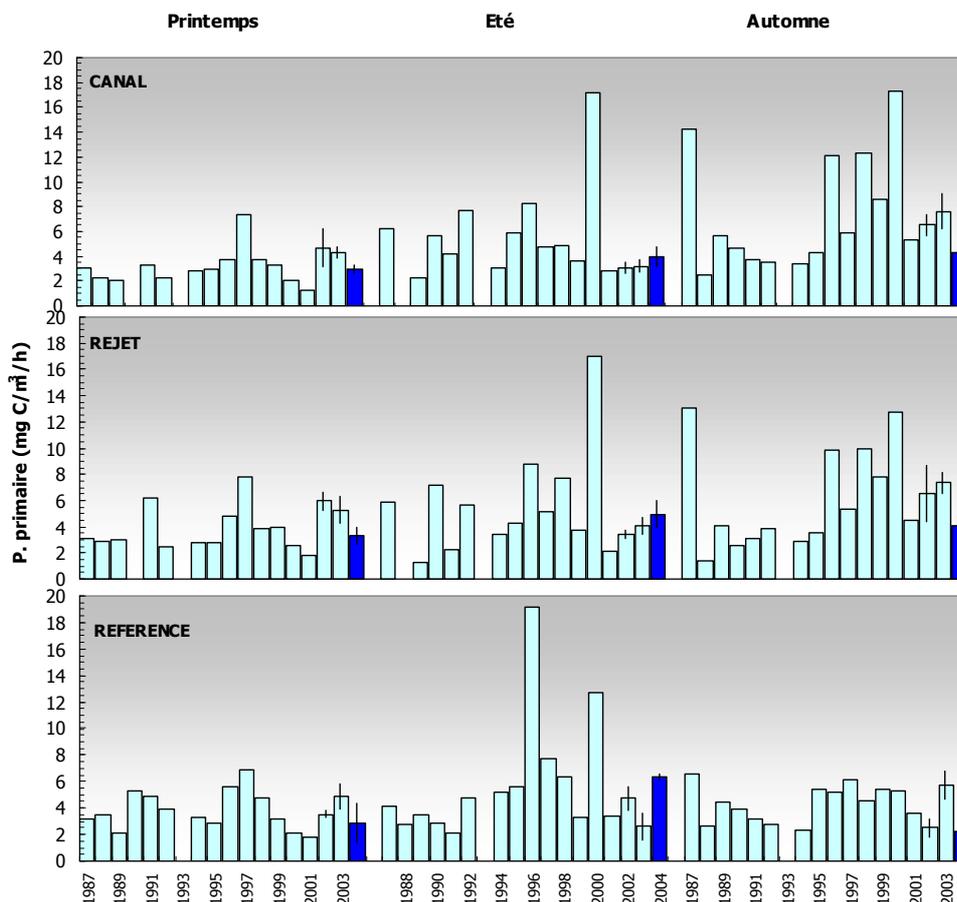


Figure 3.35 : Évolution de la production primaire de 1987 à 2004

Tout comme pour la biomasse chlorophyllienne, la dispersion des valeurs observée sur les trois points en mars est moindre qu'en juillet et septembre (figure 3.36). Les valeurs des médianes printanières sont inférieures à celles de juin et septembre, mettant en évidence une moins forte production primaire au printemps. Les valeurs de production primaire observées au printemps et à l'automne 2004 se situent autour ou au dessous des valeurs médianes pluriannuelles, tandis qu'en été celles-ci sont majoritairement au dessus des médianes.

La tendance pluriannuelle montre une augmentation saisonnière des valeurs médianes de production primaire. Cette tendance n'est pas confirmée en 2004, où les plus fortes valeurs ont été observées au mois de juin.

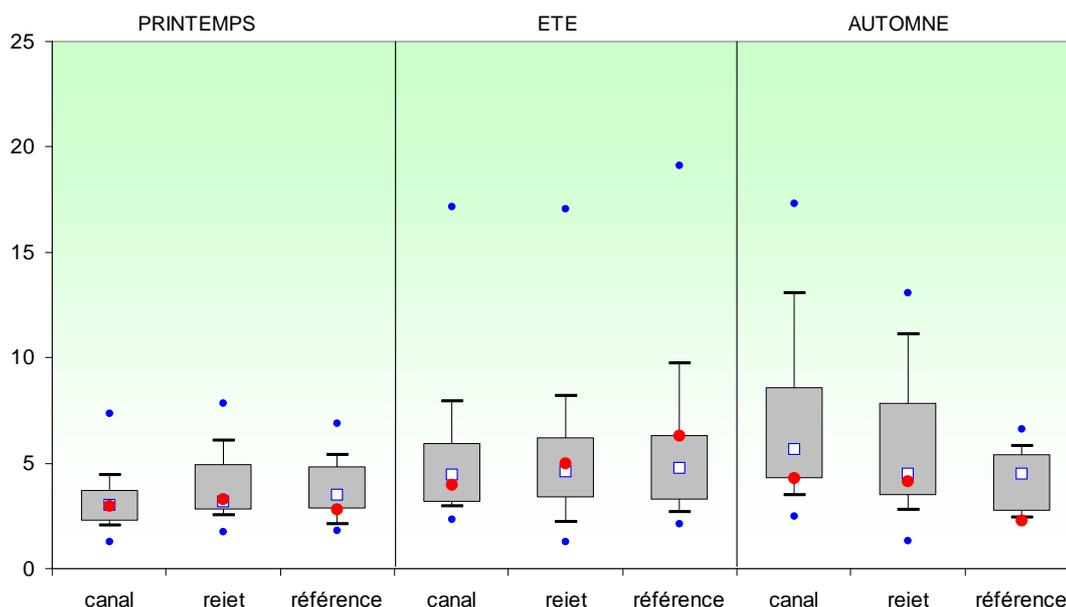


Figure 3.36 : Évolution de la production primaire de 1987 à 2004

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

3.3.2.2.3. Approche statistique

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

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,009	0,969	0,001
REFERENCE / REJET	0,816	0,802	0,019
CANAL / REFERENCE	0,016	0,802	0,015

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

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

3.3.2.3 Microphytoplancton

3.3.2.3.1. Variations spatiales et saisonnières du microphytoplancton

Les dénombrements microphytoplanctoniques effectués en 2004 sont présentés figure 3.31. Ils sont exprimés en nombre de cellules par litre d'eau de mer. Les plus fortes abondances ont été observées sur le point *référence* en mars avec 158 000 cellules/L et les plus faibles sur le même

point en septembre, avec 17 900 cellules/L. En mars et juin, nous observons un gradient croissant côte-large bien marqué. Le mois de septembre présente un gradient inverse avec une valeur maximale au point *rejet*. Les fortes conditions de mer pendant lesquelles se sont déroulées les campagnes de juin et septembre laissent une grande marge d'incertitude sur les valeurs des abondances cellulaires. Les nombreuses matières en suspension ne permettent pas, en effet, un dénombrement aisé des cellules phytoplanctoniques.

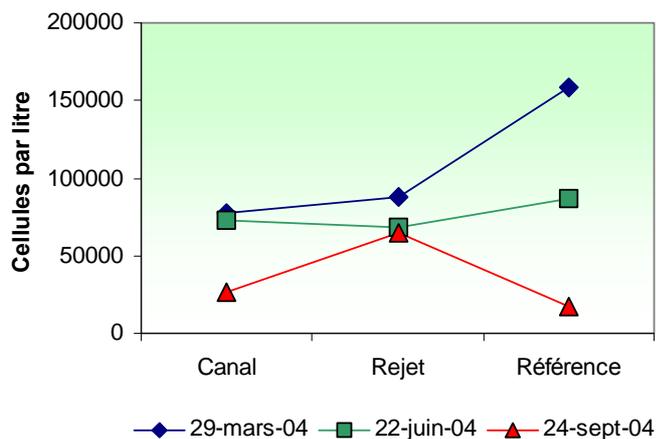


Figure 3.37 : Abondances microphytoplanctoniques pour l'année 2004 en nombre de cellules/L d'eau de mer

3.3.2.3.2. Variations inter-annuelles

Lors de la campagne de mars 2004, toutes les abondances cellulaires ont été supérieures à celles observées en 2003 (figure 3.38). A l'exception de la valeur observée au point *référence* en juin, toutes les valeurs enregistrées lors des campagnes de juin et septembre ont été inférieures à celles de 2003.

Suivant le schéma déjà mis en évidence par la chlorophylle *a* et par la production primaire, l'abondance phytoplanctonique présente les plus faibles valeurs et dispersions au printemps (figure 3.39). En juin et septembre les dispersions de valeurs autour de la médiane sont jusqu'à six fois supérieures. Cette dispersion n'est pas homogène. Les boîtes contenant 50% des valeurs sont relativement réduites et se situent dans la zone des faibles valeurs en été et en automne. Dans ces périodes, la variabilité peut donc être plus forte certaines années. Les valeurs observées en mars se situent toutes au dessus des médianes. La valeur observée au point *référence* représente le maximum de la série pluriannuelle. En juin, l'ensemble des abondances sont restées autour des valeurs médianes, tandis qu'en septembre toutes les valeurs enregistrées ont été très en dessous des médianes. Les points *canal* et *référence* ont présenté les valeurs minimales de la série depuis 1987.

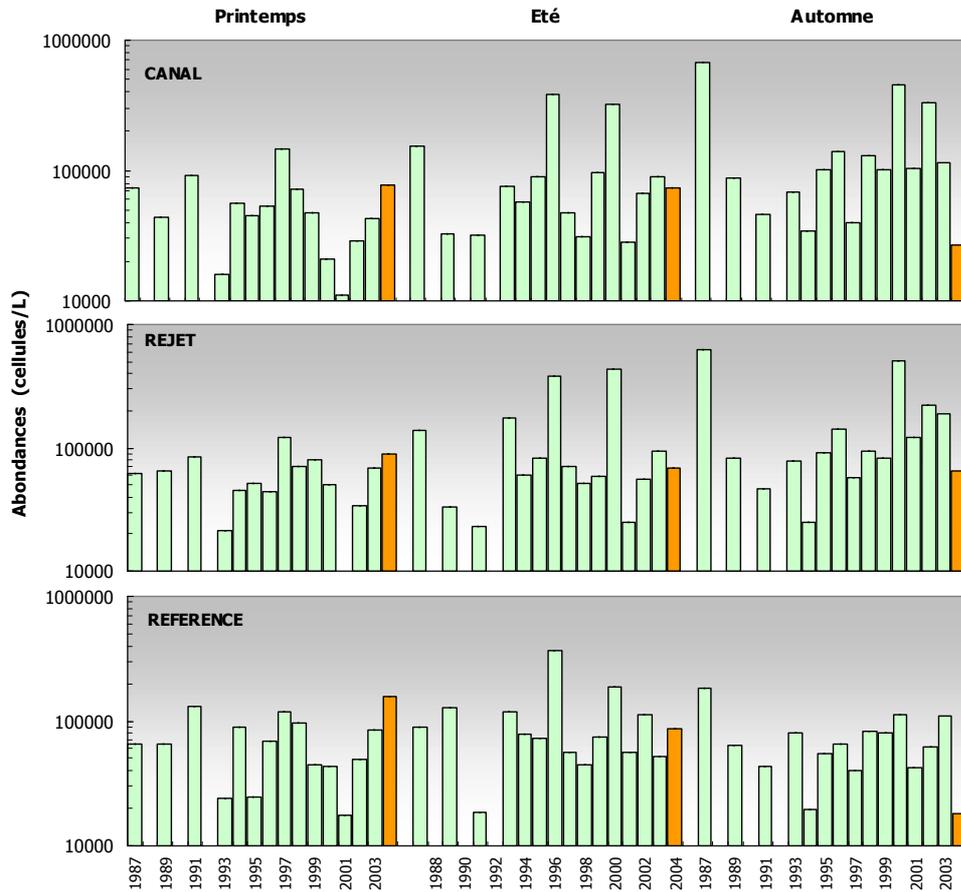


Figure 3.38 : Évolution de l'abondance phytoplanctonique de 1987 à 2004

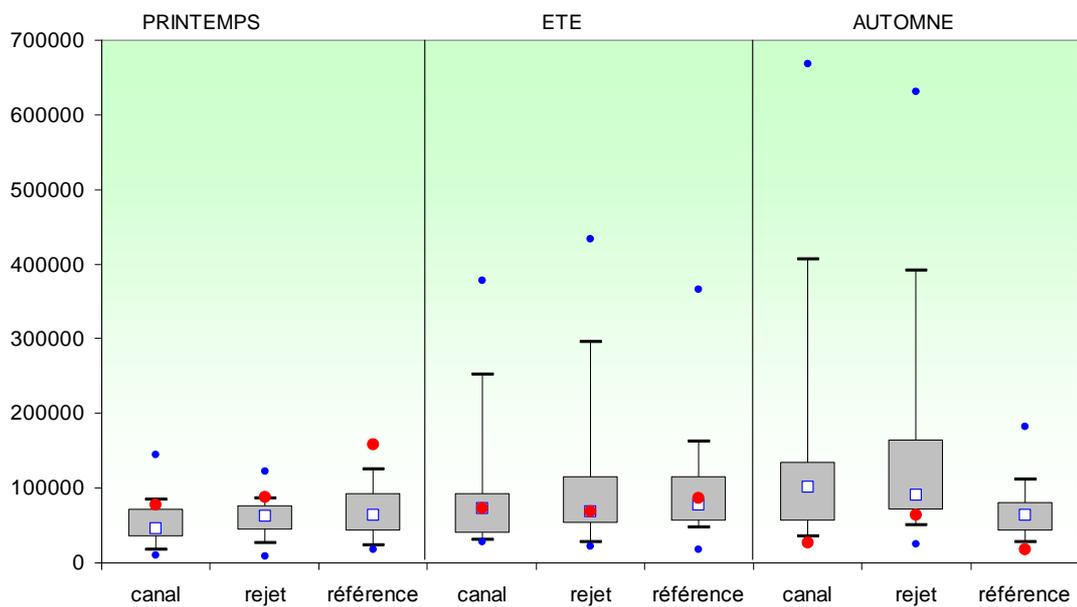


Figure 3.39 : Évolution de l'abondance phytoplanctonique de 1987 à 2004

3.3.2.3.3. Approche statistique

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

COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,254	0,789	0,001
REFERENCE / REJET	0,119	0,605	0,019
CANAL / REFERENCE	0,028	0,884	0,015

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

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

3.3.2.4 Populations phytoplanctoniques observées en 2004

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 2004 a été synthétisée en 4 grandes classes : Diatomées, Dinoflagellés, Euglénophycées et Silicoflagellés. En 2004, environ 60 taxons (taxons plus classes algales) ont été dénombrés. Les diatomées représentent plus de 97 % de la communauté microphytoplanctonique, ce qui fait d'elles, la classe microphytoplanctonique dominante (tableau 3.14).

Campagne	Station	MICROPHYTOPLANKTON				TOTAL	Dinoflagellés %	Diatomées %
		diatomées	dinoflagellés	euglènes	silicoflagellés			
IGA 2004-1	canal	75800	400	600	400	77200	1	98
IGA 2004-1	rejet	86600	200	600	800	88200	0	98
IGA 2004-1	ref surf	157000	600	0	400	158000	0	99
IGA 2004-1	ref 1/2 prof.	192400	1000	0	600	194000	1	99
IGA 2004-2	canal	71600	1400	0	0	73000	2	98
IGA 2004-2	rejet	68000	400	0	0	68400	1	99
IGA 2004-2	ref surf	86400	800	0	0	87200	1	99
IGA 2004-2	ref 1/2 prof.	69200	0	0	0	69200	0	100
IGA 2004-3	canal	26800	200	0	0	27000	1	99
IGA 2004-3	rejet	64400	0	200	0	64600	0	100
IGA 2004-3	ref surf	17900	400	100	0	18400	2	97
IGA 2004-3	ref 1/2 prof.	15100	200	0	0	15300	1	99

Tableau 3.14 : Abondances des principales classes algales (cellules/L) pour l'année 2004

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 33 000 cellules/L et 195 000 cellules/L en mars. Ceci donne la mesure de l'importance de la fraction nanophytoplanctonique.

Les principales espèces dénombrées en 2004 ont été les suivantes :

Mars 2004 : les colonies des genres de diatomées *Thalassiosira* et *Skeletonema* ont représenté plus de 70 % des espèces microphytoplanctoniques (tableau 3.15 et figure 3.40). *Thalassiosira* présente un gradient croissant côte-large, *Thalassiosira levanderii* étant l'espèce la plus représentée de ce genre. Inversement, l'espèce *Skeletonema costatum* présente les plus fortes dominances loin des côtes (27 % à 59 %). *Chaetoceros sp.* présente un gradient décroissant côte-large avec des valeurs allant de 13 % à 1 %. *Nitzschia sp.* oscille entre 2 % et 7 %. Le genre *Rhizosolenia sp.* représente entre 1 % et 5 % de l'abondance, avec les espèces majoritaires *Rhizosolenia delicatula* et *Rhizosolenia setigera*. Ceci est confirmé par la littérature qui signale le développement de *Rhizosolenia delicatula* tous les ans sur les côtes Atlantiques et de la Manche (Klein et Sournia, 1987).

Pendant cette campagne de mars, les dinoflagellés n'ont représenté que 1 % de l'abondance microphytoplanctonique totale. Les genres les plus représentés ont été *Gymnodinium* et *Prorocentrum*.

Les Euglènes sont présentes dans les eaux des points *canal* et *rejet* avec des abondances de 600 cellules/L, tandis que les silicoflagellés (Dictyochales), réparties sur l'ensemble des points d'échantillonnage, atteignent des abondances de 800 cellules/L au point *rejet*.

Sur le point *rejet*, la flore nanophytoplanctonique représenté par les cryptophycées atteint des abondances de 195 000 cellules/L.

Juin 2004 : tout comme pour les situations observées pendant les étés 2002 et 2003, le genre le plus représenté parmi les diatomées lors de l'été 2004 est le genre *Rhizosolenia* avec des dominances comprises entre 73 % et 91 %. Ce genre est essentiellement représenté par les espèces *Rhizosolenia delicatula* et *Rhizosolenia fragilissima*, avec un gradient croissant côte-large. Les dominances de *Chaetoceros sp.* ont variées entre 1 % et 9 % et celles du genre *Leptocylindrus sp.* de 2 % à 9 %.

Les dinoflagellés ne représentent que 2 % de l'abondance microphytoplanctonique au point *canal*. Les genres rencontrés ont été *Gymnodinium*, *Gyrodinium*, *Protoperidinium* et *Prorocentrum*.

L'abondance maximale de cryptophycées a été observée au point *rejet* avec une valeur de 173 000 cellules/L.

Campagne	Station	D I A T O M E E S							Cumul %
		Rhizosolenia	Nitzschia	Chaetoceros	Thalassiosira	Skeletonema	Leptocylindrus	Pseudonitzschia	
IGA 2004-1	canal	5	3	13	44	27	0	1	93
IGA 2004-1	rejet	1	2	6	46	31	0	2	88
IGA 2004-1	ref surf	2	7	1	30	55	0	2	97
IGA 2004-1	ref 1/2 prof	1	3	1	26	59	0	1	91
IGA 2004-2	canal	73	0	9	0	0	9	3	94
IGA 2004-2	rejet	78	1	6	0	0	9	2	96
IGA 2004-2	ref surf	89	0	1	0	0	7	2	99
IGA 2004-2	ref 1/2 prof	91	0	6	0	0	2	2	101
IGA 2004-3	canal	2	1	44	28	9	2	2	88
IGA 2004-3	rejet	5	1	64	13	10	0	1	94
IGA 2004-3	ref surf	11	1	49	0	13	0	7	81
IGA 2004-3	ref 1/2 prof	13	3	35	6	13	1	5	76

Tableau 3.15 : Abondances des principaux genres de diatomées pour l'année 2004

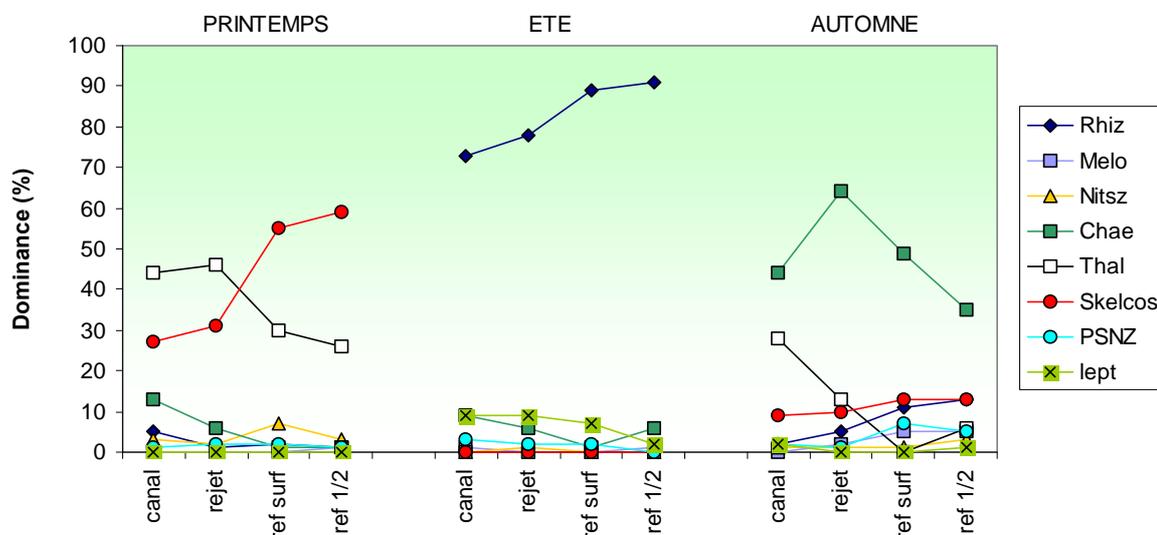


Figure 3.40 : Distribution des abondances en diatomées pour l'année 2004

Septembre 2004 : les genres les plus observés en septembre ont été *Chaetoceros*, *Thalassiosira*, *Skeletonema* et *Rhizosolenia* : *Chaetoceros* avec des dominances de 35 % à 64 % sur l'ensemble des points, *Thalassiosira* jusqu'à 28 % et les genres *Skeletonema* et *Rhizosolenia* avec des valeurs maximales de 13 %.

La plus forte dominance de dinoflagellés a été observée sur le point *référence* en surface avec 2 % (400 cellules/L). Les genres rencontrés dans cette fin d'été ont été *Prorocentrum*, *Protoperidinium* et *Amphidinium*.

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 3.41 représente l'évolution de cet indice pour l'ensemble des campagnes menées en 2004.

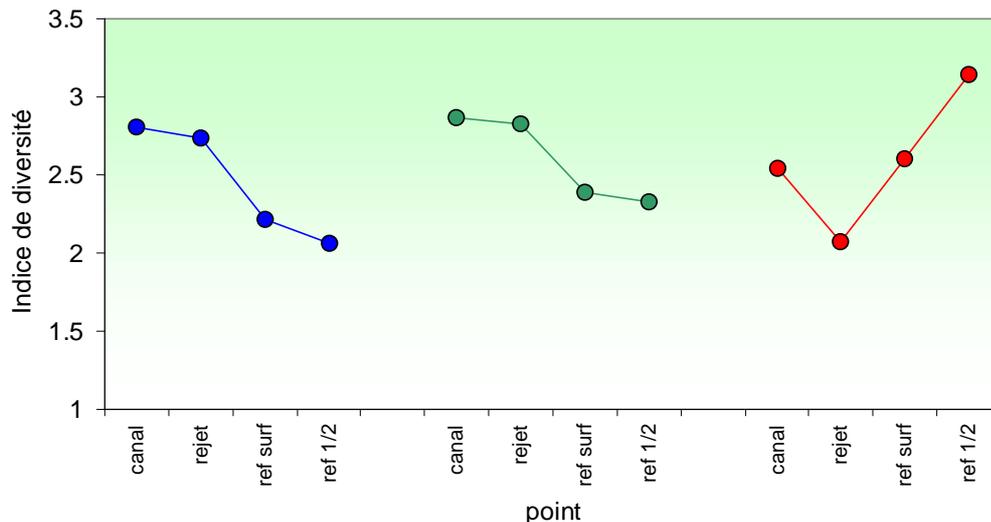


Figure 3.41 : Distribution de l'indice de diversité de Shannon pour l'année 2004

Les valeurs de l'indice de Shannon sont comparables sur les trois campagnes de l'année 2004. Au printemps et en été, les peuplements sont plus diversifiés sur les points côtiers. En septembre, la plus faible valeur est observée au point *rejet*. Les peuplements sont diversifiés et majoritairement composés de diatomées, comme cela est présenté dans la figure 3.40. 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), ce qui se traduit couramment par des indices de diversité faibles. Les valeurs de H' sont corrélées inversement avec les abondances des espèces dominantes (figure 3.40). Plus une espèce est dominante et plus ses fortes abondances correspondent à de faibles valeurs de diversité. La comparaison de l'évolution des abondances du genre *Chaetoceros* en septembre à celle de la diversité pour la même période met en évidence ce principe.

Les indices de Shannon par saison sont tout à fait comparables sur les différents points de suivi et ne permettent donc pas de mettre en évidence un impact de la centrale sur la diversité des peuplements phytoplanctoniques.

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 :

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

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

En utilisant les valeurs mesurées en 2004 pour les trois paramètres précités, les déficits obtenus sont présentés dans le tableau 3.16. Une valeur positive exprime un déficit au point *rejet* par rapport au point *canal*.

(%)	<i>Chlorophylle a</i>	<i>Production primaire</i>	<i>microphytoplancton</i>
29 MARS	-18	-12	-14
22 JUIN	-9	-25	7
24 SEPTEMBRE	-8	4	-137

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

Sur l'ensemble de l'année, la chlorophylle, la production primaire et le microphytoplancton ont montré des valeurs supérieures à la sortie du *rejet* par rapport au point *canal*.

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 *réfèrece*. Deuxièmement, le temps de transit de l'eau de mer entre le point *canal* et le point *rejet* est de quelques heures, alors que les prélèvements sont faits à 30 minutes d'intervalle. Les valeurs ainsi obtenues peuvent donc s'expliquer aisément par la variabilité spatiale du milieu marin.

3.3.4. Conclusion

La biomasse chlorophyllienne, la production primaire et les abondances cellulaires montrent une évolution inter-annuelle et spatiale similaires. Le cycle phytoplanctonique annuel correspond au cycle classiquement décrit en Atlantique, avec des biomasses comprises entre 0,85 et 4,5 µg/L. Au mois de mars, seules les valeurs des abondances microphytoplanctoniques ont présenté des niveaux forts, voir exceptionnels pour le point *réfèrece*. Au mois de juin, la chlorophylle enregistre des valeurs élevées, tandis que les deux autres paramètres restent proches des médianes. Au mois de septembre, les trois paramètres présentent des valeurs situées en dessous des médianes. Ces valeurs ont été les minima absolus de la série pluriannuelle pour les abondances microphytoplanctoniques aux points *canal* et *réfèrece*.

Les dénombrements microphytoplanctoniques sur le site de Flamanville montrent la régularité du phénomène au cours duquel la population de la période *hivernale*, peu développée et dominée par *Thalassiosira*, est remplacée en été par une population constituée pour l'essentiel par des diatomées du genre *Rhizosolenia* (essentiellement *R. delicatula* et *R. fragilissima*). Les abondances par espèce et par point ne présentent pas de variation pouvant mettre en cause l'activité de la centrale. Leur évolution dans le temps ne semble pas non plus être différente de celle des eaux de l'Atlantique.

Nous ne pouvons donc pas conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu généré par l'activité de la centrale de Flamanville, à partir de l'étude du compartiment phytoplanctonique en 2004.

3.4. Zooplancton

Ce chapitre clos l'étude du compartiment pélagique. Il présente l'évolution du zooplancton, maillon de la chaîne alimentaire qu'intègre les développements phytoplanctoniques, eux mêmes dépendants des nutriments inorganiques disponibles dans l'eau de mer et des conditions météorologiques.

3.4.1. Matériel et méthodes

En 2004, les trois campagnes de prélèvements ont eu lieu les 29 mars, 22 juin et 24 septembre. A chaque campagne, trois points sont étudiés. Ces points sont les suivants :

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

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

Les traitements statistiques et leur représentation graphique sont similaires à ceux décrits dans le chapitre 3.2. La figure représentant la biomasse zooplanctonique en 2004 est enrichie des intervalles de confiance (n=6 ; α=0,05).

3.4.1.1. Mesure de la biomasse

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

3.4.1.2. Systématique

L'échantillon à analyser est homogénéisé par brassage mécanique après l'extraction d'éléments grossiers (morceaux de bois, plastiques etc...). Le fractionnement est réalisé avec une boîte de Motoda ou une pipette à grosse capacité (10ml) selon l'abondance des taxa et le volume de l'échantillon. La fraction à dénombrer est déposée dans une cuve à fond plat (16 x 10 cm) muni de champs de lecture (20 lignes x 2 colonnes) permettant le dénombrement systématique des taxons. Tous les dénombrements s'effectuent avec une loupe binoculaire (zoom 6 - 50 x) en éclairage diascopique. Pour chaque taxon, le fractionnement global est calculé à partir de la fraction déposée dans la cuve et le nombre de champs de fond de cuve analysées pour ce taxon. Afin de comptabiliser à la fois les taxons très abondants et peu abondants, 1 à 4 taux de fractionnement différents peuvent être réalisés pour chaque échantillon. Le nombre total d'individus dénombrés par échantillon est de 300 à 500 individus.

La bibliographie utilisée pour l'identification des zooplanctontes est très variée et inclut notamment les fiches d'identification du plancton CIEM - (1939 - 1986), Synopses of the British fauna n° s 1- 54.(1970 - 2003), et South Atlantic zooplankton. D. Boltovskoy. Backhuys Publishers, 1999. 2 vol.

3.4.2. Résultats

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de mesure pour l'année 2004 sur le site de Flamanville sont présentés dans le tableau 3.17 :

	Valeurs moyennes ± écart type	CANAL	REJET	RÉFÉRENCE
29 MARS	Poids sec (mg/m ³)	3,6 ± 1,7	5,2 ± 1,1	10,6 ± 3,0
	Abondance méroplancton (N./10m ³)	21 424	10 763	15 852
	Abondance holoplancton (N./10m ³)	249	228	1 062
	Abondance zooplancton totale (N./10m ³)	21 673	10 991	16 914
	Poids de carbone (mg/m ³)	0,1 ± 0,1	0,4 ± 0,1	2,6 ± 0,7
	Poids d'azote (mg/m ³)	0,0 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,6 ± 0,2
22 JUN	Poids sec (mg/m ³)	16,6 ± 4,4	42,4 ± 7,3	43,1 ± 11,0
	Abondance méroplancton (N./10m ³)	834	2 779	860
	Abondance holoplancton (N./10m ³)	4 074	18 524	18 640
	Abondance zooplancton totale (N./10m ³)	4 908	21 303	19 499
	Poids de carbone (mg/m ³)	4,1 ± 1,2	14,3 ± 2,0	14,0 ± 3,2
	Poids d'azote (mg/m ³)	0,9 ± 0,2	3,4 ± 0,5	3,4 ± 0,7
24 SEPTEMBRE	Poids sec (mg/m ³)	17,0 ± 5,6	10,5 ± 1,6	17,3 ± 1,1
	Abondance méroplancton (N./10m ³)	622	397	878
	Abondance holoplancton (N./10m ³)	2 194	5 819	16 430
	Abondance zooplancton totale (N./10m ³)	2 816	6 216	17 308
	Poids de carbone (mg/m ³)	3,0 ± 0,6	2,9 ± 0,5	5,8 ± 0,5
	Poids d'azote (mg/m ³)	0,5 ± 0,1	0,7 ± 0,1	1,5 ± 0,2

Tableau 3.17 : Récapitulatif des résultats pour 2004 pour l'étude du zooplancton

3.4.2.1. Biomasse zooplanctonique

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

3.4.2.1.1 Variations spatiales et temporelles en 2004

Au cours de l'année 2004, les valeurs de la biomasse zooplanctonique s'échelonnent entre $3,6 \text{ mg}/\text{m}^3$ au point *canal* le 29 mars et $43,1 \text{ mg}/\text{m}^3$ au point *référence* en juin (figure 3.42). L'intervalle de confiance est particulièrement élevé pour les trois points de la campagne de juin, probablement due à la présence de fines particules de sable et des débris végétaux suite aux fortes conditions de mer rencontrées lors de cette campagne.

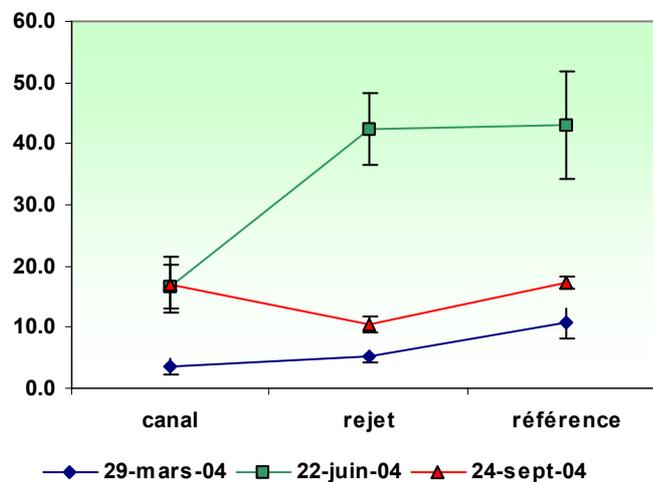


Figure 3.42 : Évolution de la biomasse (poids sec) au cours des trois campagnes de surveillance 2004 avec leur intervalle de confiance ($\alpha=0,05$)

Les plus faibles biomasses sont observées au printemps (4 à $10 \text{ mg}/\text{m}^3$) et les plus fortes en été (16 à $43 \text{ mg}/\text{m}^3$), elles décroissent à l'automne (10 à $17 \text{ mg}/\text{m}^3$) à des valeurs plus proches de celles du printemps.

Le point *canal* présente les plus faibles abondances en mars et en juin, avec la plus faible variabilité temporelle. Un gradient croissant est mis en évidence entre les points *rejet* et *référence* lors des trois campagnes.

3.4.2.1.2 Variations inter annuelles

Les valeurs de biomasse observées en mars 2004 sont inférieures à celles de l'année 2003 pour les points *canal* et *rejet*, et légèrement supérieure pour le point *référence* (figure 3.43). Lors de la campagne de juin, nous avons enregistré de fortes valeurs aux points *référence* et *rejet*. Les valeurs observées en septembre sont similaires ou supérieures à celles de 2003 à la même période.

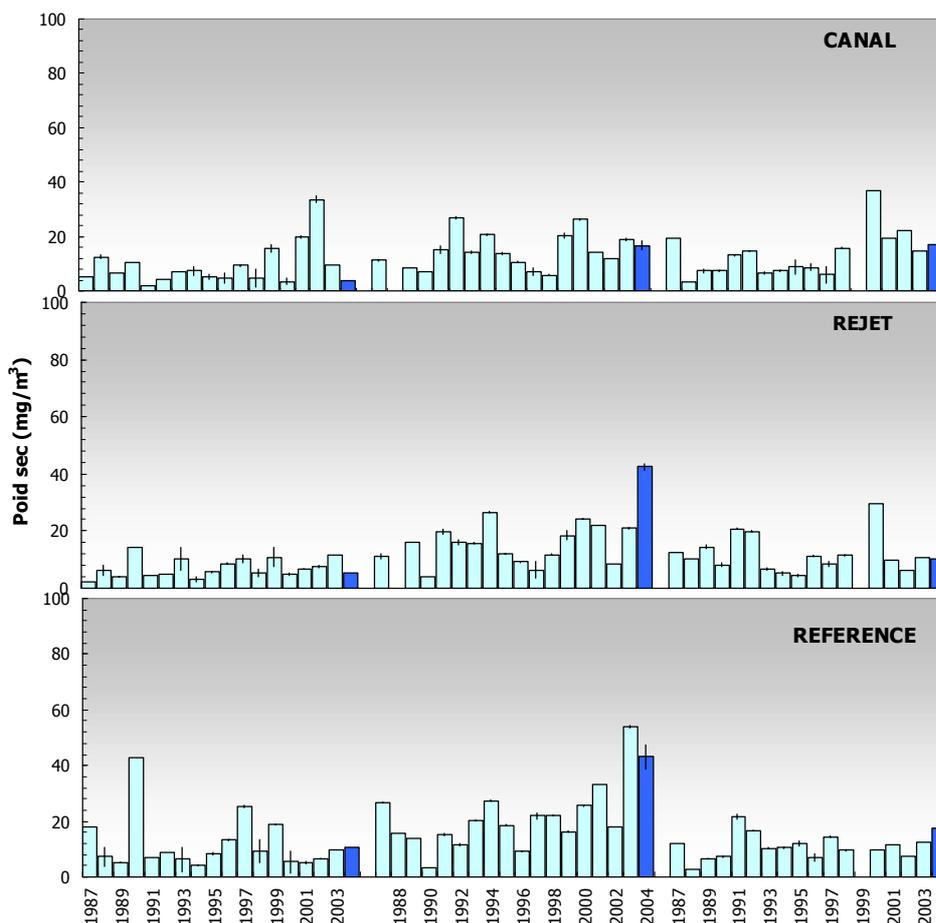


Figure 3.43 : Évolution de la biomasse (poids sec) de 1988 à 2004

Les plus fortes dispersions de valeurs de la série 1988-2004 sont observées pour les campagnes estivales (figure 3.44). Les médianes mettent en évidence un gradient croissant côte-large au printemps et en été, tandis qu'une grande stabilité des médianes est observée en automne. Une augmentation de valeurs est constatée entre le printemps et l'été, avec une diminution en automne du même ordre que celles observées au printemps.

Lors de la campagne de mars, les valeurs observées aux points *canal* et *rejet* se situent en dessous des médianes ; inversement, le point *référence* présente une valeur supérieure à la médiane. En juin et septembre, toutes les valeurs sont supérieures aux médianes pluriannuelles, à l'exception de la valeur du point *rejet* en septembre.

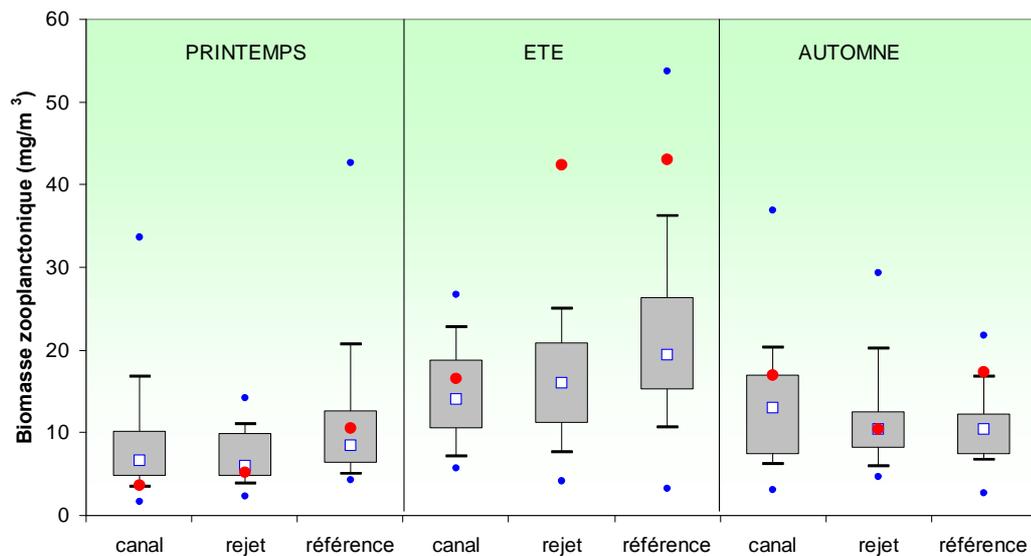


Figure 3.44 : Évolution de la biomasse (poids sec) de 1988 à 2004

3.4.2.1.3 Approche statistique

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

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,479	1,000	0,338
RÉFÉRENCE / REJET	0,034	0,211	0,999
CANAL / RÉFÉRENCE	0,238	0,020	0,293

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

Tableau 3.18 : Probabilité associée p des tests statistiques sur la biomasse

Les seules différences significatives observées dans l'étude du paramètre biomasse zooplanctonique sont mises en évidence entre les points *référence* et *rejet* au printemps et entre les points *canal* et *référence* en été. Les couples de valeurs de biomasse des points *canal* et *rejet* sont donc similaires sur les trois campagnes annuelles.

3.4.2.2. Abondances zooplanctoniques

Les dénombrements et l'identification des espèces zooplanctoniques complètent l'information quantitative de la biomasse. La qualification de cette biomasse en embranchements et jusqu'aux espèces, permet d'accéder à leur distribution spatio-temporelle et de déceler l'influence probable de l'activité de la centrale sur ces populations.

De même que pour le compartiment phytoplanctonique, la seule utilisation des dénombrements peut induire en erreur si nous ne la couplons pas avec la biomasse. De fortes abondances d'une espèce de petite taille peuvent générer de faibles biomasses, et inversement, une faible abondance des organismes de grande taille peut représenter l'essentiel de la biomasse.

3.4.2.2.1 Variations spatiales et temporelles en 2004

Les dénombrements zooplanctoniques effectués en 2004 sont présentés sur la figure 3.45. ci-dessous. Ils sont exprimés en nombre d'individus par 10 m^3 d'eau de mer. Les plus fortes abondances sont observées au point *canal* en mars, avec $21\,673\text{ ind}/10\text{ m}^3$ et les plus faibles au point *canal* en septembre avec $2\,816\text{ ind}/10\text{ m}^3$.

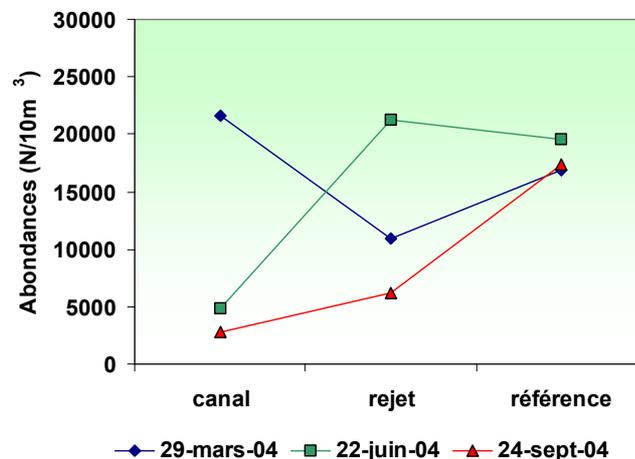


Figure 3.45 : Évolution de l'abondance totale zooplanctonique ($\text{ind}/10\text{ m}^3$) au cours des trois campagnes de surveillance 2004

Le point *canal* présente les plus faibles abondances au cours de l'été et l'automne avec par contre un maximum au printemps. Le point *rejet* présente la plus faible abondance à l'automne et la plus forte en été. Le point *référence* présente des valeurs d'abondance élevées (autour de $20\,000\text{ ind}/10\text{ m}^3$) avec une très faible variabilité temporelle. Au printemps, on observe un maximum d'abondance à la côte, contrairement aux valeurs de biomasses, qui sont les plus faibles. Au cours de l'été la tendance observée sur l'abondance suit celle déjà décrite pour la biomasse.

3.4.2.2.2 Variations inter-annuelles

La valeur d'abondance printanière au point *canal* est quatre fois supérieure à celles enregistrées lors des cinq années précédentes (figure 3.46). Aux points *canal* et *référence*, ces valeurs représentent les maximums absolus observés depuis 1991. Le point *rejet* présente également en été une valeur d'abondance exceptionnellement élevée par rapport aux années précédentes, et la plus forte depuis 1988 à cette période de l'année. En automne, le point *référence* a une valeur d'abondance trois fois supérieure aux trois années précédentes.

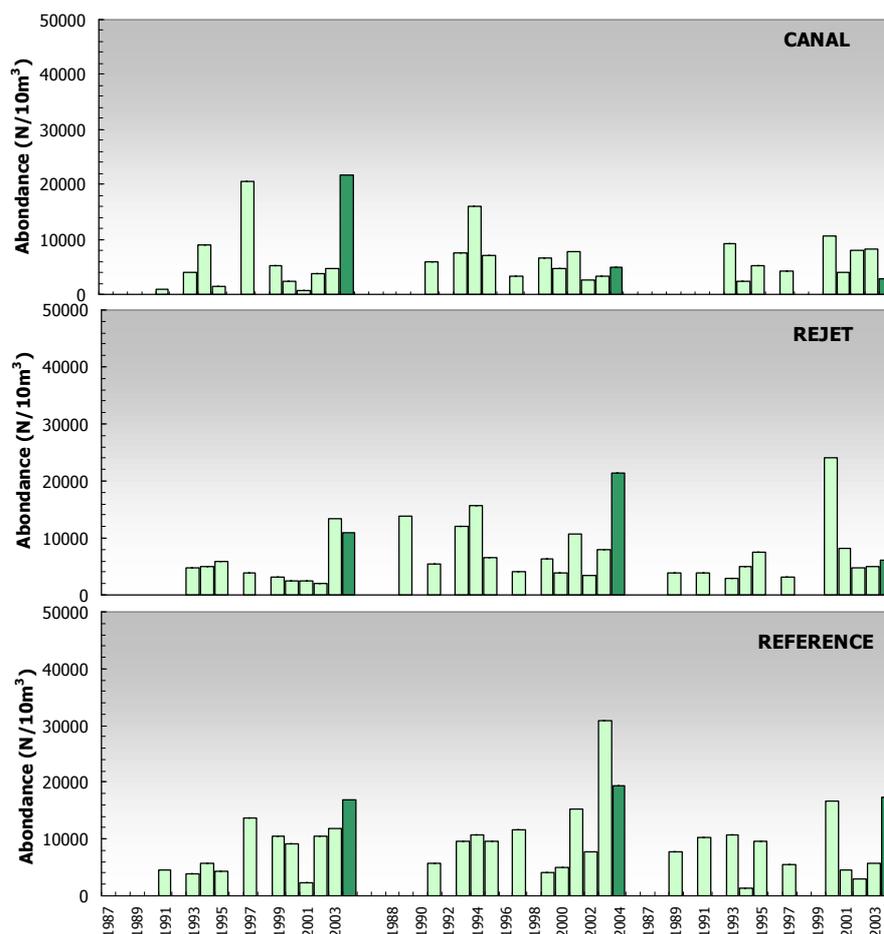


Figure 3.46 : Évolution de l'abondance zooplanctonique de 1989 à 2004

Les boîtes à moustaches mettent en évidence le caractère exceptionnel des valeurs d'abondance observées en 2004 (figure 3.47). La dispersion des valeurs de la série 1989-2004 ne présente pas de tendance particulière. La distribution des valeurs médianes met en évidence un gradient croissant côte-large pour l'ensemble des campagnes. Les abondances obtenues en 2004 suivent ce gradient pour l'été et l'automne, mais il est inversé pour les valeurs observées au printemps.

Lors de la campagne de mars, les trois points d'échantillonnage présentent des valeurs très supérieures aux médianes pluriannuelles, avec les maximums de la série observés aux points *canal* et *référence*. Lors des campagnes d'été et d'automne, seules les valeurs observées au point *canal* sont inférieures aux médianes. Les abondances du point *rejet* en été et du point *référence* en automne présentent, elles aussi, les valeurs maximums de la série pluriannuelle.

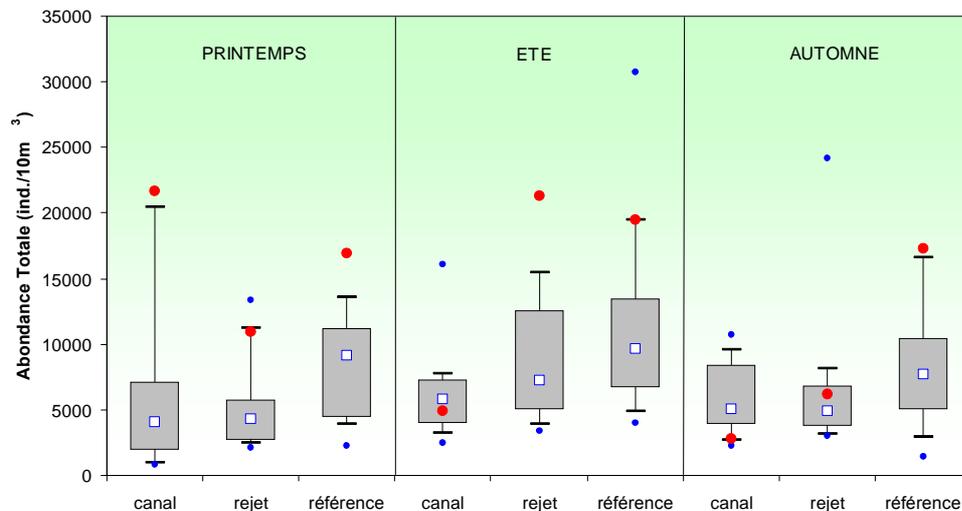


Figure 3.47 : Évolution de l'abondance zooplanctonique de 1989 à 2004

3.4.2.2.3 Approche statistique

Les test statistiques du tableau 3.19 montrent qu'au long de l'année il n'y pas de différence significative entre les points, à la seule exception du couple de points *référence-rejet* au printemps, avec une probabilité associée p proche du seuil de signification.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,420	0,999	0,513
RÉFÉRENCE / REJET	0,041	0,546	0,357
CANAL / RÉFÉRENCE	0,278	0,228	0,289

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

Tableau 3.19 : Probabilité associée p des tests statistiques sur l'abondance zooplanctonique

3.4.2.3. Étude faunistique

3.4.2.3.1 Variations spatio-temporelles du holoplancton et du méroplancton

Un certain nombre d'espèces accomplissent l'intégralité de leur cycle biologique au sein du milieu pélagique ; ce sont les espèces holoplanctoniques. Parmi celles-ci, les copépodes représentent généralement une part importante de cette fraction. Selon la saison, s'y ajoutent quelques espèces moins abondantes, appartenant à d'autres embranchements : appendiculaires, mysidacés, cténaïres, cladocères et chaetognathes.

Abondance zooplancton (N/10m ³)		29-mars						22-juin						24-sept					
		Canal		Rejet		Référence		Canal		Rejet		Référence		Canal		Rejet		Référence	
		N/10m ³	%	N/10m ³	%	N/10m ³	%	N/10m ³	%	N/10m ³	%	N/10m ³	%	N/10m ³	%	N/10m ³	%	N/10m ³	%
holoplancton	total Cténaïres																		
	total Chaetognathes																		
	total Mysidacés																		
	total Copépodes	111	44	131	58	806	76	3336	82	15369	83	15161	81	2065	94	5740	99	16093	98
	total Appendiculaires	138	56	97	42	256	24	737	18	3155	17	3452	19	120	5	57	1	135	1
	total holoplancton	249	1	228	2	1062	6	4074	83	18524	87	18640	96	2194	78	5819	94	16430	95
méroplancton	total Cnidaires	157	1	28		2		51	6	305	11	338	39	175	28	38	10	152	17
	total Annélides	240	1	30		27		203	24	102	4	0		18	3	44	11	34	4
	total larves de Cirripèdes	20276	95	10129	94	14142	89	37	4			34	4	221	36	108	27	118	13
	Amphipodes							9	1	305	11	129	15	14	2	13	3	51	6
	Isopodes (larves microniscus)													9	1			17	2
	Isopodes Gnathidae															6	2		
	Cumacés															6	2		
	Euphausiacés																		
	larves Natantia							55	7	204	7	7	1	18	3	25	6	51	6
	larves Thalassinidae									204	7	41	5			10	2	68	8
	larves d'Anomoures			5		7		9	1	763	27	156	18	5	1	22	6	287	33
	larves Brachyours			14		19		23	3	153	5	27	3	14	2	3	1	68	8
	larves de Mollusques	28		41		10		424	51	662	24	102	12	83	13	102	26	17	2
	Cyphonautes													9	1	6	2	17	2
	Bryozoaires	682	3	506	5	1636	10												
Têtards d'Ascidies							18						55	9	13	3			
Téléostéens (Œufs)	41		9		10		5		10		14	2							
Téléostéens (Alevins et larves)			2						71	3	7	1							
total méroplancton	21424	99	10763	98	15852	94	834	17	2779	13	860	4	622	22	397	6	878	5	
total zooplancton	21673		10991		16914		4908		21303		19499		2816		6216		17308		

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

Par opposition à l'holoplancton, le méroplancton constitue la fraction temporaire du zooplancton. Il est constitué d'un ensemble de stades pélagiques d'espèces fixées (phases sexuées libres des cnidaires) ou benthiques appartenant à de nombreux embranchements : annélides, mollusques et crustacés (particulièrement les cirripèdes, nombreux lors de la période hivernale) dont beaucoup de représentants ont une phase larvaire juvénile pélagique.

Pour définir la composition du zooplancton, la dominance (%), pourcentage d'un groupe faunistique par rapport au nombre total d'individus, est calculé par compartiment et par embranchement (tableau 3.20) au sein du méroplancton et de l'holoplancton. Cette année, les copépodes représentent en moyenne 80 % de l'abondance.

Au printemps, le méroplancton représente la presque totalité du zooplancton (figure 3.48). Cette fraction, essentiellement composée de larves de cirripèdes, présente une très faible variabilité sur les trois points d'échantillonnage.

En été et à l'automne, l'holoplancton, essentiellement composé de copépodes, représente environ 80 % du zooplancton total. Inversement à la situation observée pour le méroplancton, nous remarquons un gradient croissant *côte-large* pour l'holoplancton.

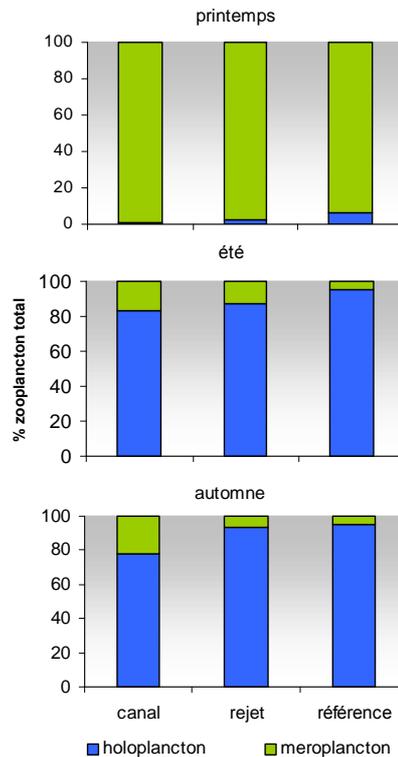


Figure 3.48 : Répartition des dominances de l'holoplancton et du méroplancton dans le zooplancton total en 2004

3.4.2.3.2 Variations spatio-temporelles des principaux taxons en 2004

L'holoplancton

L'holoplancton est essentiellement composé de copépodes et d'appendiculaires. Les copépodes représentent environ 50 % de l'holoplancton au printemps aux points *canal* et *rejet*, 76 % au point *référence*. Pour les trois points, en été et en automne, leur dominance est respectivement de 80 % et 95 %.

- Les copépodes :

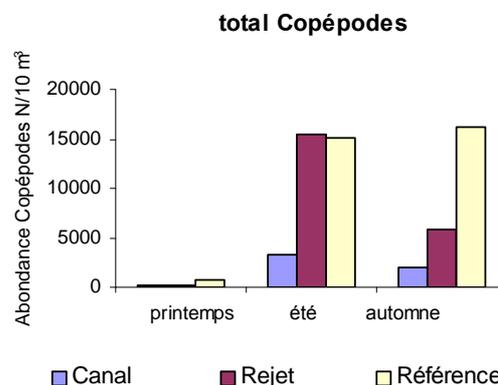


figure 3.49 : Abondance des copépodes en 2004

Au cours de l'année 2004, le minimum d'abondance est observé en mars au point *canal* avec 111 ind/10 m³ et le maximum en septembre au point *référence* avec 16 093 ind/10 m³. La plus faible abondance de l'année est observée au printemps, avec une augmentations de toutes les valeurs en été et une diminution en automne, sans toutefois atteindre les niveaux du printemps. Il est à noter cependant que l'abondance observée au point *référence* en septembre représente le maximum de l'année. Un gradient croissant côte-large est observé le long de l'année.

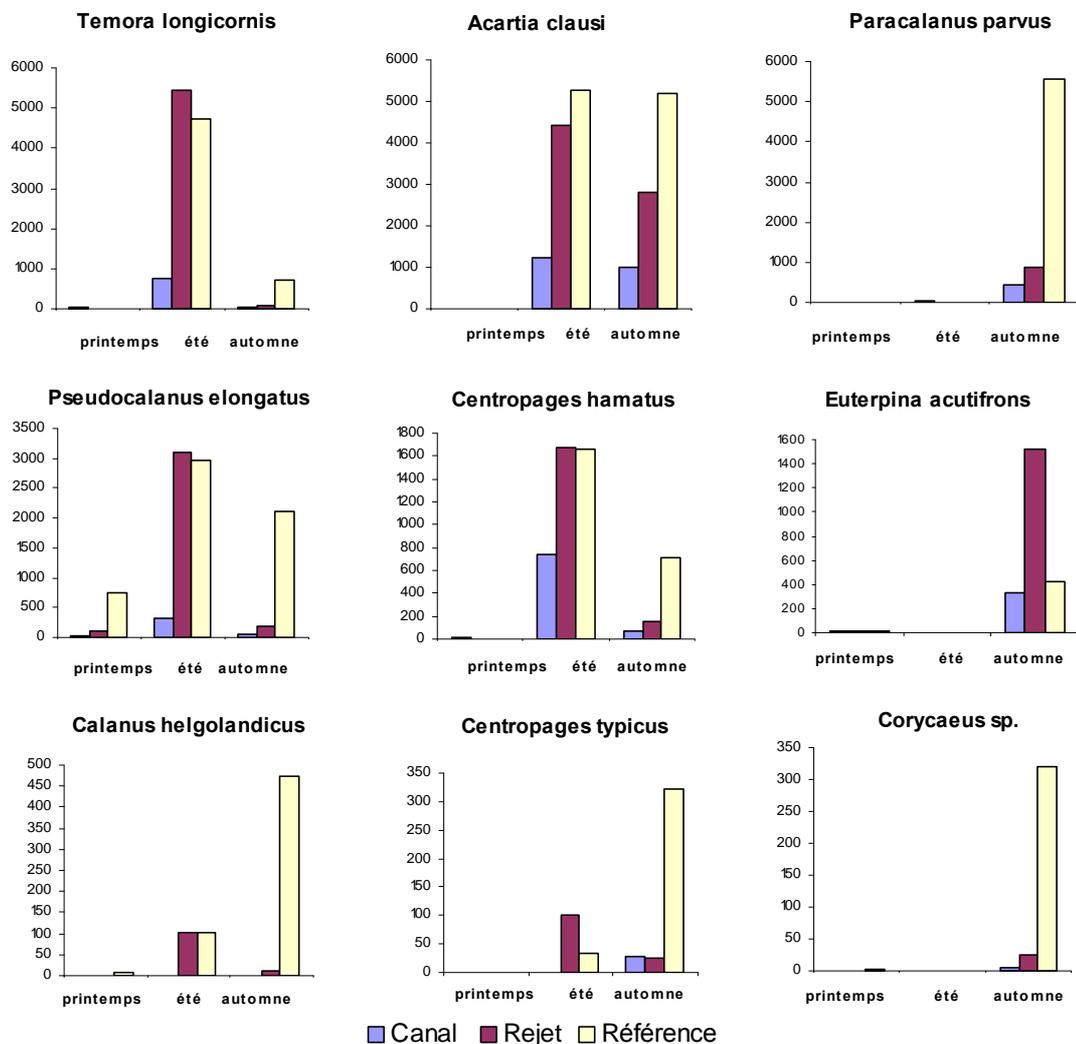


figure 3.50 : Abondances des principaux copépodes en 2004

Temora longicornis

Sa plus forte valeur d'abondance est observée au point *rejet* lors de la campagne de juin avec un maximum de 5 445 ind/10m³. Au point *référence* elle reste similaire, tandis qu'au point *canal* l'abondance n'est que de 774 ind/10m³.

Si leur abondance au printemps et en automne est faible, en été elle trouve sont optimum, avec des valeurs dix fois plus élevées.

Acartia clausi

Cette espèce n'a été identifiée qu'au cours des campagnes de juin et de septembre, avec un maximum de 5 279 ind/10m³ au point *référence* au mois de juin.

Au cours de ces deux campagnes nous observons un gradient croissant *côte-large*, avec une plage de variation de 1 000 à 5 000 ind/10m³.

Paracalanus parvus

Cette espèce est essentiellement présente en septembre avec un maximum de 5 570 ind/10m³ au point *référence*. Les valeurs d'abondance aux points *canal* et *rejet* sont environ 10 fois plus faibles.

Pseudocalanus elongatus

Cette espèce est présente lors des trois campagnes, avec un maximum de 3 104 ind/10m³ en juin au point *rejet*. Au point *référence*, son abondance est légèrement inférieure et au point *canal* sa valeur n'est que de 332 ind/10m³.

Le gradient croissant *côte-large* observée aux mois de mars et septembre présente une plage de variations de 180 à 750 ind/10m³ en mars et de 46 à 2 110 ind/10m³ en septembre.

Centropages hamatus

Cette espèce est présente lors des trois campagnes, mais très faiblement représentée au printemps.

La campagne estivale présente les plus fortes abondances, avec un maximum de 1 679 ind/10m³ au point *rejet*. Au point *référence* nous observons une valeur similaire et au point *canal* l'abondance est de 737 ind/10m³. Lors des campagnes de juin et de septembre, nous observons un gradient croissant *côte-large*.

Euterpina acutifrons

Cette espèce est essentiellement présente en septembre avec un maximum de 1 524 ind/10m³ au point *rejet*. Leur valeurs d'abondance aux points *canal* et *référence* sont 4 fois plus faibles.

Calanus helgolandicus

Cette espèce, présente aux trois campagnes, est absente du point *canal*. La plus forte abondance est observée en septembre au point *référence* avec un maximum de 473 ind/10m³. Au point *rejet* nous ne trouvons que 13 ind/10m³.

Durant la campagne de juin nous observons la même abondance aux points *rejet* et *référence*. En mars leur abondance est extrêmement faible.

Centropages typicus

Cette espèce est présente au cours des campagnes de juin et septembre, avec un maximum de 321 ind/10m³ au point *référence* en septembre.

Elle n'est pas observée au point *canal* en juin.

Corycaeus sp.

Espèce présente essentiellement au point *référence* de la campagne de septembre avec un maximum de 321 ind/10m³.

- Les autres espèces holoplanctoniques (figure 3.51)

Les appendiculaires, représentées par *Oikopleura*, sont présents lors des trois campagnes aux trois points. Au cours des campagnes de mars et septembre leur abondance est très faible. Le maximum d'abondance est observé en juin au point *référence* avec 3 452 ind/10m³. On observe au point *rejet* une abondance équivalente alors qu'au point *canal* l'abondance est de 737 ind/10m³.

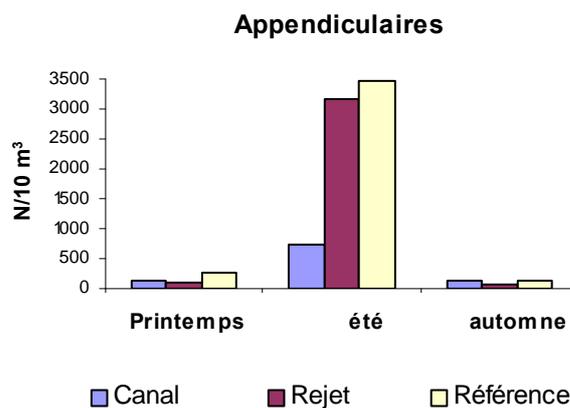


Figure 3.51 : Abondances des espèces holoplanctoniques autres que les copépodes

Le méroplancton

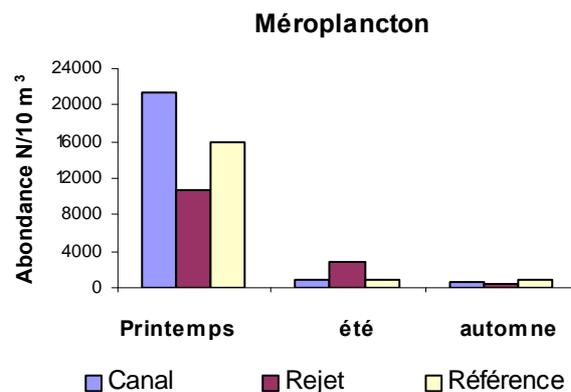


Figure 3.52 : Abondance du méroplancton en 2004

Le méroplancton est essentiellement présent au cours de la campagne printanière avec un maximum de 21 424 ind/10m³ au point *canal*. Au cours des deux autres campagnes cette catégorie du zooplancton est présente en faible quantité avec un minimum de 397 ind/10 m³ en septembre au point *rejet* et un maximum de 2 779 ind/10 m³ au point *rejet* en juin. Aucune tendance particulière n'est observée.

Les stades larvaires des espèces appartenant à différents embranchements ou classes ont été dénombrés au cours des trois campagnes (figure 3.53).

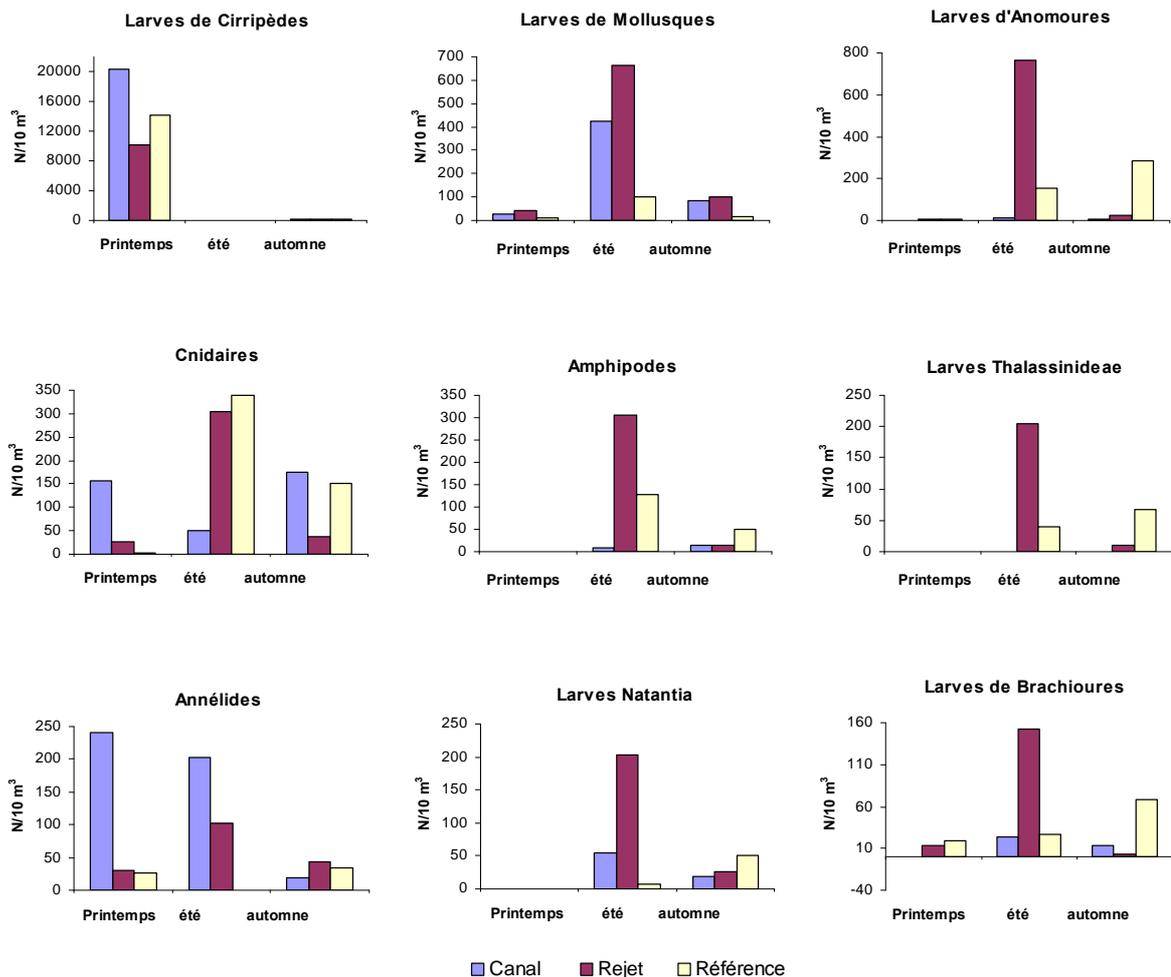


figure 3.53 : Abondance des espèces méroplanctoniques en 2004

- Embranchement des arthropodes, classe des crustacés

-Les cirripèdes sont des crustacés qui, à l'état adulte, vivent fixés et constituent une part importante des salissures (*fouling*). Les larves, émises en grande quantité, constituent un maillon fort de la chaîne alimentaire. Ces larves, de très petite taille, ne présentent pas une biomasse élevée.

Cette année, les larves de cirripèdes (stade *nauplii* essentiellement) représentent en moyenne 90 % du méroplancton total du mois de mars, 4 % du mois de juin et 25 % du mois de septembre. Elles constituent l'essentiel de la biomasse du méroplancton.

Le maximum d'abondance est atteint au point *canal* en mars avec 20 776 ind/10 m³ et le minimum en juin avec 34 ind/10 m³. En juin les larves de cirripèdes sont absentes au point *rejet*. On constate aux mois de mars et septembre des abondances plus élevées au point *canal* par rapport aux autres points.

-Pour les larves d'Anomoures, de mollusques, de Thalassinidae, de Natantia et de Brachioures, on observe une répartition similaire au cours des trois campagnes, à savoir :

- ✓ Le maximum d'abondance est observé au cours de la campagne estivale au point *rejet* ;
- ✓ Le minimum d'abondance est mesuré en juin ;
- ✓ En septembre les valeurs d'abondances sont plus fortes au point *référence* par rapport aux points *canal* et *rejet*.

- Larves d'Anomoures (porcellanes, galathées, Bernards l'hermite)

Le maximum d'abondance est de 763 ind/10 m³ au point *rejet* en juin, cela correspond à 27 % du méroplancton. A cette même saison les larves d'anomoures représentent 51 % du méroplancton au point *canal*.

- larves de Thalassinidae

Le maximum d'abondance est de 204 ind/10 m³ au point *rejet* en juin, cela correspond à 7 % du méroplancton. Cette espèce est absente en mars et au point *canal* lors des campagnes estivales et automnales.

- larves de Natantia

Le maximum d'abondance est de 204 ind/10 m³ au point *rejet* en juin, cela correspond à 7 % du méroplancton. Cette espèce est absente en mars.

- larves de Brachioures (crabes et araignées)

Le maximum d'abondance est de 153 ind/10 m³ au point *rejet* en juin, cela correspond à 5 % du méroplancton. Cette espèce est absente au point *canal* en mars. Seule le stade larvaire *Zoae* est représenté.

- Embranchement de Mollusques (larves)

Le maximum d'abondance est de 662 ind/10 m³ au point *rejet* en juin, cela correspond à 24 % du méroplancton . Cette espèce est présente lors des trois campagnes sur l'ensemble des points.

- Embranchement des annélides

Ces larves sont émises par diverses espèces dont les adultes constituent une bonne partie de la nourriture de nombreux crustacés et poissons de fond. Elles sont représentées principalement par les *Spionidae*. Elles sont rencontrées lors des trois campagnes, en chaque point. L'abondance maximale des annélides est atteinte en mars au point *canal* avec 240 ind/10m³ soit 27 % du méroplancton. L'abondance minimale est observée en septembre au point *canal* avec 18 ind/10m³. On constate une forte abondance au point *canal* en mars et juin.

Cet embranchement est absent du point *référence* en septembre.

- Embranchement des cnidaires (hydrozoaires, actinies, méduses)

Ils sont présents lors des trois campagnes et sur l'ensemble des points.

Le maximum d'abondance est atteint en juin au point *référence* avec 338 ind/10m³ (39% du méroplancton) et le minimum en mars au même point avec 2 ind/10m³.

En mars on observe un gradient décroissant *côte-large* avec une plage de variation de 157 à 2 ind/10m³.

En juin on observe le même gradient avec une variation de 51 à 338 ind/10m³.

- Embranchement des amphipodes

Totalement absente en mars les amphipodes atteignent leur maximum d'abondance au point *rejet* en juin avec 305 ind/10m³ (11% du méroplancton). Le minimum d'abondance est observé au cours de cette même campagne au point *canal*.

3.4.3. Bilan entre *canal* et *rejet*

Le calcul du bilan de biomasse et d'abondance zooplanctonique entre les points *rejet* et *canal* est effectué au moyen de la formule ci-dessous :

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

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

En utilisant les données acquises en 2004 pour les deux paramètres précités, les valeurs obtenues sont les suivantes (tableau 3.21) :

(%)	<i>Biomasse</i>	<i>Abondance</i>
29 MARS	-44	49
25 JUIN	-15	-335
24 SEPTEMBRE	38	-121

Tableau 3.21 : Bilan des deux paramètres étudiés entre les points *canal* et *rejet*

Systématiquement nous observons des excédents de biomasse en mars et en juin et des excédents d'abondance lors des campagnes de juin et de septembre.

Ces valeurs peuvent nous suggérer une 'création' de biomasse au point *rejet* à partir de l'eau du *canal* par le simple transit dans l'installation EDF. L'explication la plus simple à cet excès de biomasse peut être liée à la méthodologie employée, où l'échantillon filtré présente des particules siliceuses (sables fins) remises en suspension par le fort débit du rejet.

Ces différences peuvent aussi 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*¹³ et le point *rejet* est de quelques heures, alors que les prélèvements sont faits à 30 minutes d'intervalle. Les valeurs ainsi obtenues peuvent donc s'expliquer aisément par la variabilité spatiale du milieu marin.

¹³ Le point dénommé « canal » par Ifremer est situé à l'extérieure du canal d'amenée, au mieux au niveau de son entrée entre les extrémités des deux digues, et non pas immédiatement devant les stations de pompage. Ceci explique le temps de transit élevé mentionné dans le texte.

3.4.4. Conclusion

L'étude du compartiment zooplanctonique en 2004 met en évidence de fortes biomasses en juin et septembre. L'échantillonnage du printemps présente des valeurs plus proches des médianes. L'étude de la série de valeurs observées depuis 1987 montre de plus fortes biomasse médianes au point *canal* au printemps et en été et la situation inverse lors des campagnes d'automne.

Les plus fortes abondances zooplanctoniques ont été observées lors des campagnes des mois de mars et juin. Les abondances en juin et septembre 2004 suivent la tendance pluriannuelle, où un gradient croissant *canal – référence* est mis en évidence. Ce gradient est toutefois inversé au printemps.

Lors de la campagne de mars, les appendiculaires ont été mieux représentés que les copépodes dans l'holoplancton, mais cette tendance s'inverse en juin et septembre, où les copépodes dominent respectivement de plus de 80 % et de plus de 94 % la faune totale.

Le méroplancton domine à plus de 95 % le zooplancton total du printemps avec la présence de cirripèdes, mais l'holoplancton est supérieur à 80 % lors des campagnes de juin et septembre grâce à la présence de copépodes.

L'espèce de copépode dominante au printemps est *Pseudocalanus elongatus*. En été ce sont les espèces *Temora longicornis* et *Acartia clausi* et finalement en automne *A. clausi*, *Paracalanus parvus* et *Euterpina acutifrons*.

Les bilans de biomasse et d'abondance zooplanctonique effectués entre les points d'entrée à la centrale (point *canal*) et leur sortie en mer (point *rejet*) présentent souvent une augmentation de valeurs à la sortie au point *rejet*. Pour la biomasse, ce paradoxe peut être aisément expliqué par la remise en suspension de particules inorganiques liée à la vitesse des eaux du rejet. Ces particules, restent piégées dans les filtres et elles sont pesées avec l'ensemble d'organismes du zooplancton. L'augmentation de l'abondance au point *rejet* est la conséquence des mélanges des eaux côtières, pauvres en zooplancton avec les eaux du large, plus riches. L'effet de décalage introduit par les quelques heures de transit de l'eau de mer entre les points de prélèvement « entrée du canal d'amenée » et « verticale des bouches de rejets » peut amplifier davantage ce phénomène lié à la variabilité spatiale.

3.5. Microbiologie

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

Ces derniers se rencontrent couramment dans les eaux marines et leur activité pathogène pour l'homme a été mise en cause à la suite de simples contacts avec de l'eau de mer dans vingt neuf cas en France entre 1995 et 1998. Il s'agissait dans tous les cas de vibrions non cholériques, parmi lesquels, *Vibrio parahaemolyticus* (31 % des cas), *Vibrio alginolyticus* (24 % des cas), *Vibrio vulnificus* (17 %) et *Vibrio hollisae* (4 %) (Geneste, 1999 ; Miossec, 2002). *Photobacterium damsela*, anciennement appelé *Vibrio damsela* et puis *Listonella damsela* est une souche pathogène pour les poissons.

On peut noter qu'en 2003 sur les plages proches du Havre, un baigneur ayant une plaie au pied a été contaminé par *Vibrio vulnificus*.

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 29 mars, 22 juin et 24 septembre 2004. Les prélèvements ont été faits par la vedette de la SNSM au même moment que les échantillons hydrologiques menés à bord du *NO THALIA*. Les prélèvements sont effectués au moyen de flacons stériles par le personnel du laboratoire départementale Frank Duncombe de Caen. Les échantillons sont maintenus au froid pendant le transport jusqu'au laboratoire.

Les points échantillonnés sont les suivants :

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

Deux prélèvements successifs sont effectués en surface aux points *canal*, *rejet nord* et *rejet sud*. Au point *référence*, 4 échantillons sont prélevés en surface successivement.

Un double échantillonnage est réalisé afin d'effectuer une quantification des vibrions halophiles dans l'eau de mer selon le protocole EDF. Ce dernier est mis en place dès cette année sur l'ensemble des centrales nucléaires du bord de mer.

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 dépoluisséré afin de limiter la multiplication des bactéries ;
- filtration sur membrane en polycarbonate 0,2 μm teinte au laboratoire avec de l'Irgalan black ;
- coloration à l'acridine orange au 1/30 000^e ;
- observation au microscope de la membrane sous lumière UV réfléchie.

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

Dénombrement des germes aérobies revivifiables sur milieu de Zobell.

Le protocole analytique utilisé est le suivant :

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

Identification de vibrions halophiles

La méthode utilisée est celle décrite par la norme NF V45511, modifiée :

- filtration de 1 l d'eau de mer sur une membrane de 0,45 μm ;
- inclusion dans milieu EPSA simple pendant 6 - 8 h à 37 °C ;
- isolement sur gélose TCBS pendant 18 – 24 h à 37 °C et lecture ;
- incubation 24 h à 37 °C et nouvelle lecture ;
- isolement sur gélose 18 – 24 h à 37 °C ;
- tests biochimiques (dont galerie API 20 E).

Dénombrement des vibrions halophiles (méthode EDF)

- Filtration de 10 ml à 1000 ml sur membrane en acétate de cellulose de porosité 0,45 μm ;
- inclusion dans milieu TCBS à 37 ± 1°C pendant 18 à 24 h ;
- lecture des boîtes ;
- incubation 24 h à 20 ± 2 °C ;
- nouvelle lecture des boîtes ;
- repiquage et isolement sur gélose TCBS à 37 ± 1°C pendant 24 h ;
- repiquage colonies en milieu Zobell et incubation à 37 ± 1°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 2004.

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de mesure pour l'année 2004 sur le site de Flamanville sont présentés dans le tableau 3.22.

(Valeurs moyennes)		CANAL (n=2)	REJET NORD (n=2)	REJET SUD (n=2)	RÉFÉRENCE (n=4)	
29 MARS	Germes totaux (g./mL)	**	**	**	**	
	Germes revivifiables (g./mL)	115	36	62	23	
	Identification de <i>v. halophiles</i>	Abs.	Pd	Abs.	Abs.	
	EDF	<i>V. halophiles/L</i>	0	0	0	0
		Identif. de <i>v. halophiles</i>	Abs.	Abs.	Abs.	Abs.
22 JUIN	Germes totaux (g./mL)	86 400	202 200	144 100	49 800	
	Germes revivifiables (g./mL)	106	70	70	50	
	Identification de <i>v. halophiles</i>	Va	Va	Va	Va	
	EDF	<i>V. halophiles/L</i>	20	10	30	1
		Identif. de <i>v. halophiles</i>	Va	Va	Va	Va
24 SEPTEMBRE	Germes totaux (g./mL)	41 600	43 100	43 700	27 800	
	Germes revivifiables (g./mL)	596	286	300	246	
	Identification de <i>v. halophiles</i>	Va	Va	Va	Va.+ Pd + Vf	
	EDF	<i>V. halophiles/L</i>	130	31	19	17
		Identif. de <i>v. halophiles</i>	Va	Va + Pd	Va + Pd	Va + Pd

Va = *Vibrio alginolyticus* ; Vf = *Vibrio fluvialis* ; Pd = *Photobacterium damsela* ; Abs = absence ; ** = données absentes

Tableau 3.22 : Récapitulatif des résultats de microbiologie pour 2004 dans les eaux de surface

3.5.2.2. Résultats en germes totaux en épifluorescence

3.5.2.2.1. Variations spatiales et saisonnières des germes totaux en 2004

Suite à des problèmes techniques, les dénombrements des germes totaux du mois de mars n'ont pas pu être effectués. Les valeurs de dénombrement en 2004 ont été comprises entre 27 800 germes/mL en septembre au point *référence* et 202 200 germes/mL en juin au point *rejet nord*. Ce résultat représente de faibles abondances en germes (figure 3.54). Les valeurs observées en juin sont plus fortes que celles enregistrées en septembre, mais leur allure reste la même, avec un point *rejet* qui présente les plus fortes valeurs et un gradient décroissant entre les points *canal* et *référence*. Les valeurs observées au mois de septembre présentent une très faible variabilité spatiale.

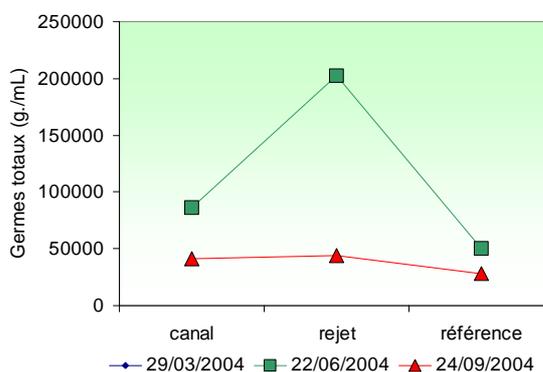


Figure 3.54 : Germes totaux par mL dénombrés par épifluorescence en 2004

3.5.2.2.2. Variations inter-annuelles des germes totaux en épifluorescence

Le nombre total de germes dénombrés par épifluorescence en 2004 présente une forte chute des abondances par rapport aux années précédentes (figure 3.55). Depuis 1992, les abondances sont restées très stables autour d'une plage de valeurs variant entre 500 000 germes/L et 2 000 000 germes/L quels que soient la campagne ou le point d'échantillonnage. Les faibles valeurs observées en juin et septembre 2004 pourraient s'expliquer par le fort taux de mélange de la colonne d'eau suite au mauvais état de la mer existant au moment de la prise des échantillons.

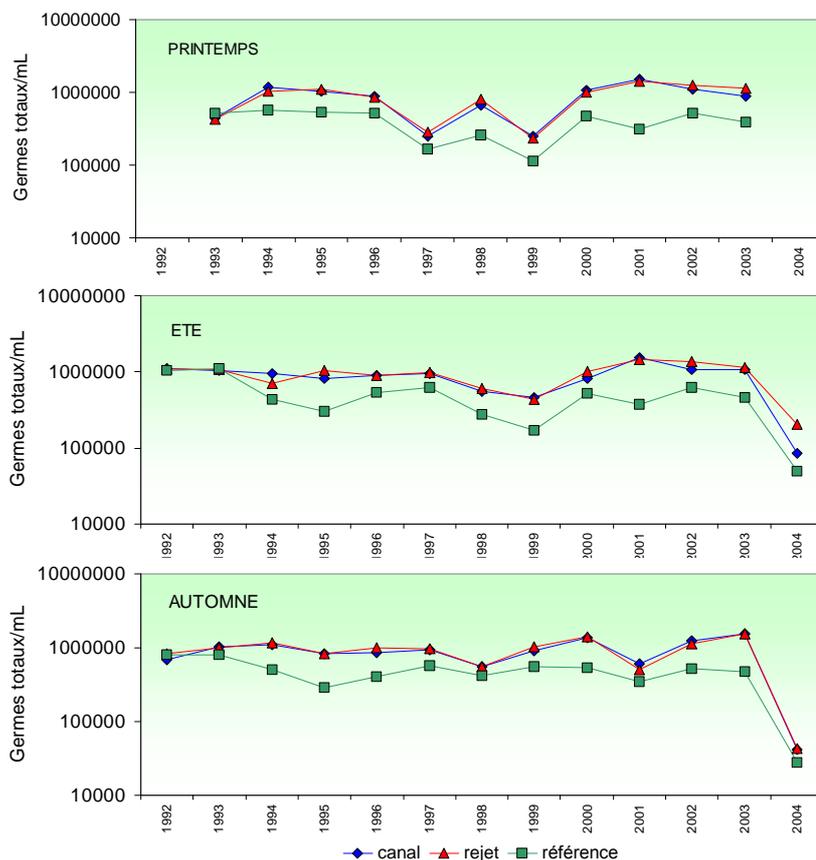


Figure 3.55 : Germes totaux par mL dénombrés par épifluorescence depuis 1992

Les *boîtes à moustaches* de la figure 3.56 suggèrent une remarquable stabilité de la valeur des médianes saisonnières. Il convient de rappeler qu'en bactériologie, deux échantillons ne sont considérés comme différents que si leurs effectifs sont séparés au moins d'un facteur 10. Les valeurs des médianes du point *référence* sont inférieures à celles des points *canal* et *rejet* pour les trois campagnes. Le point *rejet* présente une médiane légèrement supérieure à celle du point *canal*.

Les valeurs observées en juin et septembre 2004 ont presque toutes représenté les minimum absolus de la série pluriannuelle 1987-2004, ce qui met en évidence le caractère atypique des valeurs obtenus en 2004 sur ce paramètre. Le mauvais état de la mer pourrait expliquer ces faibles valeurs. Ainsi la concentration des germes présents dans la couche de surface pourrait se trouver diluée sur l'ensemble de la colonne d'eau.

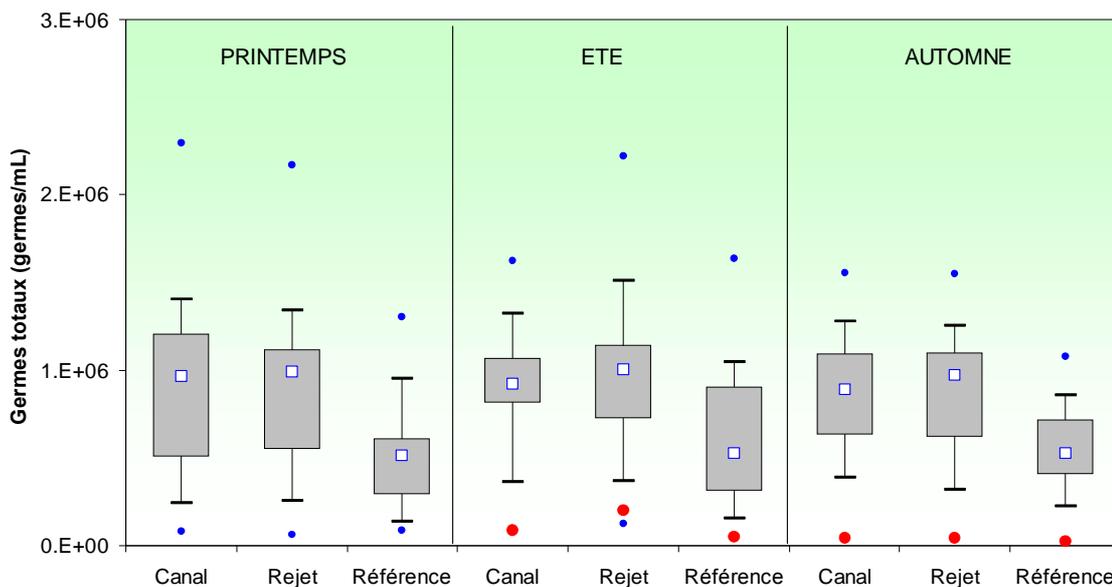


Figure 3.56 : Germe totaux depuis 1987 dénombrés par épifluorescence et valeurs 2004 en rouge

Depuis 1999, les résultats des dénombrements en germe totaux sont réalisés simultanément au *rejet nord* et au *rejet sud* (figure 3.57).

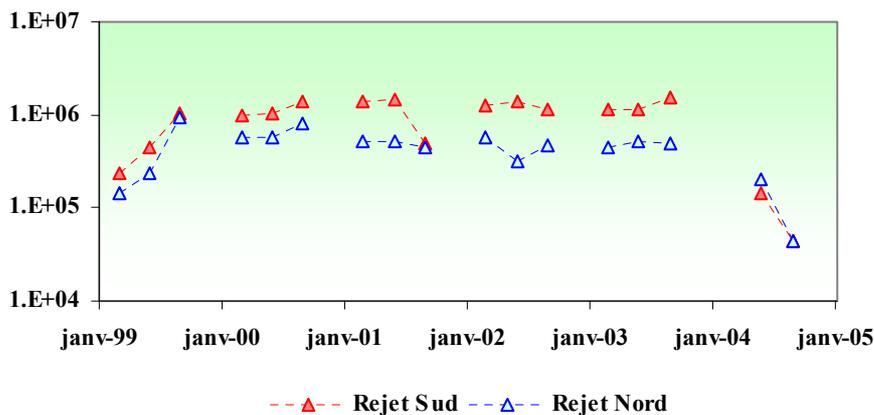


Figure 3.57 : Germe totaux (nombre par mL) depuis 1999 sur les deux rejets

A l'exception des valeurs similaires observées sur les deux rejets en septembre 2004, une plus forte abondance de germe totaux est observée sur la presque totalité de couples échantillonnés au *rejet sud*. Les rejets de la station d'épuration dans le canal d'amenée, repris préférentiellement par le circuit du rejet nord pourraient être l'explication à ce phénomène.

3.5.2.3. Approche statistique

Le tableau 3.23 présente les résultats des tests statistiques pratiqués sur le nombre de germes totaux dénombrés par épifluorescence depuis 1987.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,999	0,098	0,440
RÉFÉRENCE / REJET	0,001	0,0006	0,001
CANAL / RÉFÉRENCE	0,003	0,002	0,001

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

Tableau 3.23 : Probabilité associée p des tests statistiques sur les germes totaux

Les tests statistiques confirment l'approche graphique de la figure 3.3 mettant en évidence la différence entre le point *référence* et les deux autres points d'échantillonnage sur les trois campagnes. Les points *canal* et *rejet* ne présentent pas de différence sur les trois campagnes.

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 a varié entre 23 germes/mL en mars au point *référence* et 596 germes/mL en septembre au point *canal* (figure 3.58). Les valeurs de germes revivifiables obtenues lors des campagnes de mars et de juin sont nettement inférieures à celles observées en septembre. En dehors des forts écarts de valeurs observées, le nombre de germes revivifiables augmente entre le printemps et l'automne, bien que la différence observée entre les valeurs des mois de mars et juin soit minimale. Sur l'ensemble de campagnes de 2004 les valeurs les plus fortes sont observées au point *canal* avec un gradient décroissant côte-large.

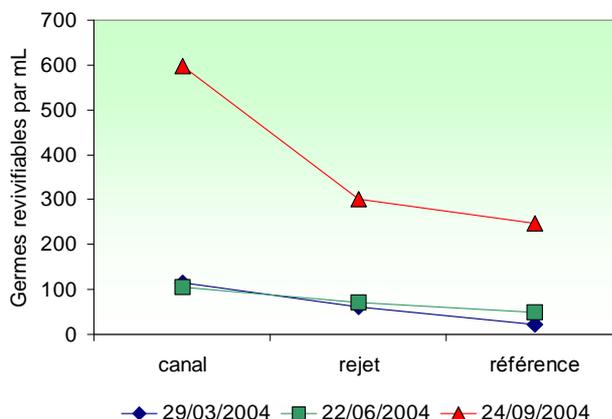


Figure 3.58 : Germes revivifiables (nombre par mL) dénombrés sur milieu de Zobell en 2004

3.5.3.2. Variations inter-annuelles des germes revivifiabiles

Nous pouvons observer en septembre 2004 une faible augmentation générale des valeurs par rapport à celles de 2003 (figure 3.59). La campagne d'été relève une faible diminution de germes revivifiabiles par rapport à 2003, tandis qu'en mars nous observons une légère augmentation. Depuis 1988, des valeurs semblables à celles observées en septembre ont déjà été enregistrées aux mois de septembre des années 1989, 1994, 1998 et 1999. On peut noter que les plus fortes valeurs du nombre de germes revivifiabiles observées depuis 1988 se situent systématiquement sur le point *canal*.

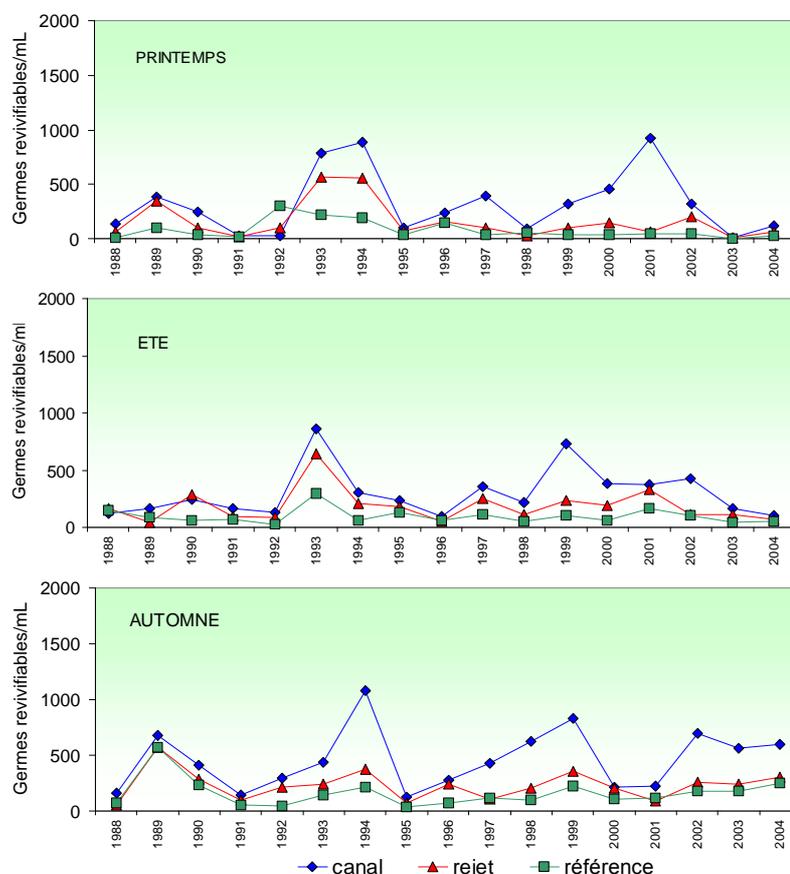


Figure 3.59 : Germes revivifiabiles (nombre par mL d'eau de mer) dénombrés sur milieu de Zobell depuis 1988

Dans la figure 3.60, les *boîtes à moustaches* de printemps présentent une plus forte dispersion des valeurs par rapport à celles d'été et d'automne. Les plus faibles médianes pluriannuelles du nombre de germes revivifiabiles sont enregistrées, pour l'ensemble des saisons, au point *référence*, tandis que les plus fortes médianes sont observées au point *canal*. Les valeurs observées au point *rejet* peuvent être expliquées par le mélange des eaux du *canal* et de la *référence*.

Le nombre de germes revivifiabiles en mars et juin 2004 se situent en dessous des médianes pluriannuelles enregistrées depuis 1988, tandis qu'en automne toutes les valeurs se situent au dessus des médianes, dans la zone comprise entre 50% et 80% des valeurs.

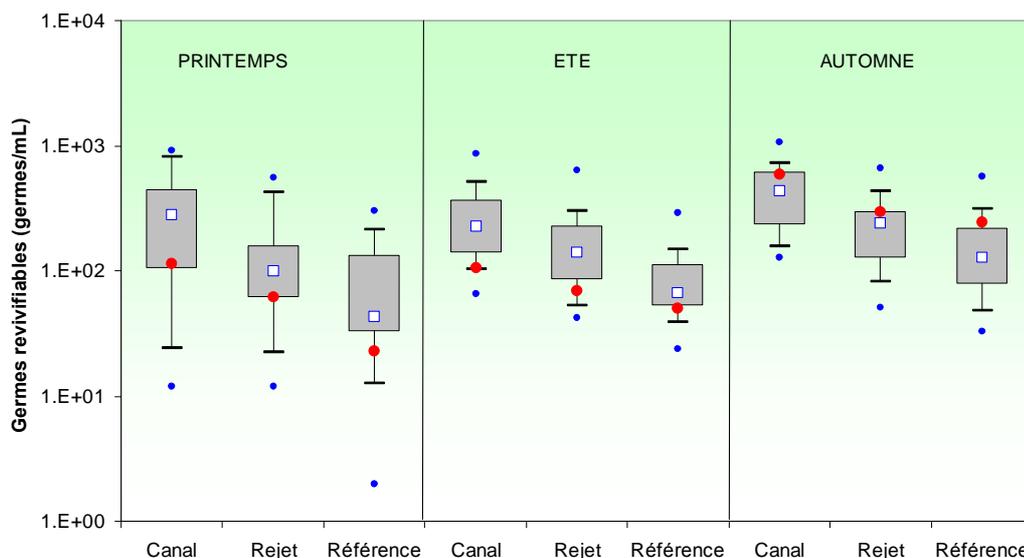


Figure 3.60 : Germs revivifiables (nombre par mL) dénombrés depuis 1988 et valeurs 2004 en rouge

3.5.3.3. Approche statistique

Le tableau 3.24 présente les résultats des tests statistiques pratiqués sur les nombres de germes revivifiables depuis 1988. Tous les tests effectués ont présenté des différences significatives entre les points échantillonnés quelque soit la campagne étudiée.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,001	0,002	9·10⁻⁴
RÉFÉRENCE / REJET	0,029	0,002	2·10⁻⁴
CANAL / RÉFÉRENCE	0,001	4·10⁻⁵	7·10⁻⁵

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

Tableau 3.24 : Probabilité associée p des tests statistiques pour les germes revivifiables sur milieu de Zobell

La seule valeur de test proche du seuil de signification (0,05) est observée au printemps pour la comparaison des séries de valeurs obtenues depuis 1988 entre les points *référence* et *rejet*.

3.5.3.4. Résultats de la recherche et le dénombrement des vibrions halophiles

3.5.3.4.1. Identification de vibrions halophiles.

La recherche de vibrions halophiles par la méthode qualitative lors de la campagne de mars montre la présence de *Photobacterium damsela* dans les eaux du *rejet nord* (tableau 3.25). Sur les autres échantillons, aucune souche de vibrions n'a pu être identifiée. La méthode par filtration

préconisée par EDF conduit au même résultat : aucune détection de souches de vibrions sur l'ensemble des échantillons prélevés.

METHODE ANCIENNE

POINTS	ÉCHANTILLONS DU 29 MARS 2004			
	Échant. 1	Échant. 2	Échant. 3	Échant. 4
Canal	Abs.	Abs.	---	---
Rejet nord	Pd	Abs.	---	---
Rejet sud	Abs.	Abs.	---	---
Référence	Abs.	Abs.	Abs.	Abs.
POINTS	ÉCHANTILLONS DU 22 JUIN 2004			
	Échant. 1	Échant. 2	Échant. 3	Échant. 4
Canal	Va	Va	---	---
Rejet nord	Va	Va	---	---
Rejet sud	Va	Va	---	---
Référence	Abs.	Va	Va	Va
POINTS	ÉCHANTILLONS DU 24 SEPTEMBRE 2004			
	Échant. 1	Échant. 2	Échant. 3	Échant. 4
Canal	Va	Va	---	---
Rejet nord	Va	Va	---	---
Rejet sud	Va	Va	---	---
Référence	Pd	Va	Vf + Pd	Va + Pd

METHODE EDF

POINTS	ÉCHANTILLONS DU 29 MARS 2004			
	Échant. 1	Échant. 2	Échant. 3	Échant. 4
Canal	Abs.	Abs.	---	---
Rejet nord	Abs.	Abs.	---	---
Rejet sud	Abs.	Abs.	---	---
Référence	Abs.	Abs.	Abs.	Abs.
POINTS	ÉCHANTILLONS DU 22 JUIN 2004			
	Échant. 1	Échant. 2	Échant. 3	Échant. 4
Canal	20 Va	Abs.	---	---
Rejet nord	Abs.	1 Va	---	---
Rejet sud	30 Va	20 Va	---	---
Référence	Abs.	Abs.	Abs.	1 Va
POINTS	ÉCHANTILLONS DU 24 SEPTEMBRE 2004			
	Échant. 1	Échant. 2	Échant. 3	Échant. 4
Canal	130 Va	80 Va	---	---
Rejet nord	23 Va + 8 Pd	17 Va + 8 Pd	---	---
Rejet sud	16 Va	14 Va + 5 Pd	---	---
Référence	17 Pd	3 Va	12 Pd	15 Pd

Tableau 3.25 : Identification et dénombrement de vibrions halophiles (vibrions/L) en 2004

La série pluriannuelle 1992-2004, présentée dans le tableau 3.26 met en évidence un plus grand nombre de cas d'identification de *Vibrio alginolyticus*. *Vibrio vulnificus* a été observé pour la dernière fois au point *rejet* en mars 2002 après quatre années d'absence dans les échantillons. La dernière observation de *Vibrio parahaemolyticus* a été réalisée en juin 2002 aux points *canal* et *rejet*, après trois années d'absence.

Les résultats issus de l'identifications de vibrions halophiles par les deux méthodes sont comparables et les différences observées peuvent être dues aux différentes méthodologies et milieux de culture utilisés.

3.5.4.2. Dénombrement des vibrions halophiles.

Suite à la mise en place de la méthode de filtrations préconisé par EDF sur l'ensemble de centrales du bord de mer, des dénombrements viennent compléter les identifications existantes. Les valeurs de dénombrement de vibrions halophiles en 2004 sont comprises entre l'absence de vibrions sur l'ensemble des points en mars et un maximum de 130 *Vibrio alginolyticus* en septembre au point *canal*. La figure 3.61 présente la somme de vibrions de différentes souches observées par point d'échantillonnage et par campagne en 2004.

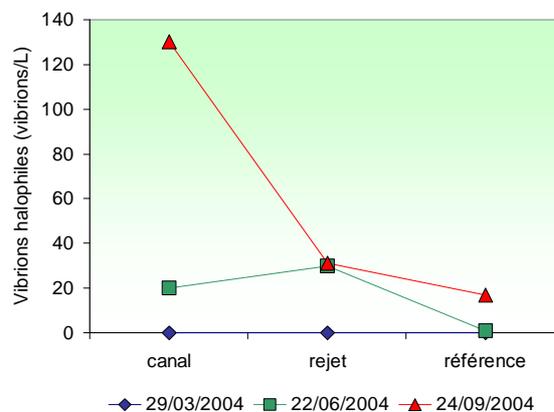


Figure 3.61 : Dénombrement des vibrions halophiles totaux en 2004

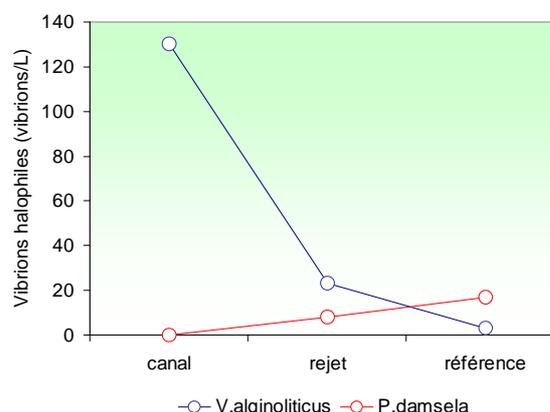


Figure 3.62 : Dénombrement des principales souches de vibrions halophiles en septembre 2004

S'agissant de la première année où des dénombrements de vibrions halophiles sont réalisés sur les échantillons des eaux proches de la centrale de Flamanville, aucune approche statistique n'a été réalisée.

Quantitativement, les souches de *Vibrio alginolyticus* et *Photobacterium damsela* dominent les peuplements de vibrions halophiles en 2004. Bien que *Vibrio alginolyticus* soit majoritaire le long de l'année, c'est au mois de septembre que nous observons le maximum d'abondance et de diversité. La distribution spatiale de ces deux souches de vibrions présentent une allure opposée, avec un maximum de *Vibrio alginolyticus* au point *canal* et un minimum d'abondance de *Photobacterium damsela* (figure 3.62).

3.5.4. Conclusion

Les concentrations de germes totaux présentent une certaine stabilité depuis 1992 sur l'ensemble des points échantillonnés, mettant en évidence la stabilité du système. En 2004, les valeurs observées ont été très en dessous des valeurs de la série pluriannuelle, suggérant l'influence des mauvaises conditions de mer lors des campagnes de juin et de septembre.

La quantité de germes revivifiables reste stable au cours des années. Une augmentation depuis 2001 est cependant notée en automne sur l'ensemble des points d'échantillonnage, avec un maximum de 596 germes revivifiables par mL au point *canal*.

L'identification de vibrions halophiles confirme la dominance depuis 1995 de la souche de *Vibrio alginolyticus* dans les eaux proches de la centrale de Flamanville, avec des apparitions irrégulières des souches de *Photobacterium damsela*, *Vibrio fluvialis* et *Vibrio parahaemolyticus*. *Vibrio alginolyticus* est rarement observé lors des campagnes du mois de mars, où la température de l'eau est inférieure à 14 °C.

Dès 2004, la méthode quantitative par filtration mise en place par EDF permet de dénombrer et d'identifier les souches de vibrions halophiles. Cette année, un maximum de 130 *Vibrio alginolyticus* a été observé en septembre au point *canal*.

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

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/LEB)</i>
<i>Jean-Dominique</i>	<i>Gaffet</i>	<i>(DYNECO/LEB)</i>

avec la collaboration, pour les prélèvements, de

<i>Jacky</i>	<i>L'Yavanc</i>	<i>(DEL/SR)</i>
<i>Jean Pierre</i>	<i>Annezo</i>	<i>(LER/CC)</i>

4.1 PHYTOBENTHOS INTERTIDAL

La population de *Fucus serratus* du platier de Diélette (figures 1.7 page 17, 4.1 page 103 et 4.9 page 123), située au nord de la Centrale électronucléaire de Flamanville dans la zone d'influence de la tache thermique, fait l'objet d'une surveillance depuis 1977. Étudiée une première fois d'août 1977 à août 1978, elle est suivie en continu depuis mars 1983, en fin d'hiver et en fin d'été. Une observation, non contractuelle, est réalisée également en fin de printemps depuis 1995.

4.1.1 Biologie de l'espèce

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



Photo 4.1 :

Extrémité
d'un thalle de
Fucus
serratus.

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

régulières à l'air et une déshydratation partielle. On ne trouve pas de *Fucus* en Méditerranée, sauf en mer Adriatique où on trouve *Fucus virsoides* du fait de l'existence de petites marées. Assez tolérante vis à vis des températures. Milieux battus et abrités.

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

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

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

Photo 4.2 :

Fucus serratus
Réceptacles
contenant les
gamétocytes
mâles ou
femelles.



- **Croissance** : croissance apicale peu rapide. Elle serait de l'ordre de 25 cm/an en moyenne. La lumière, la température, la durée d'immersion, l'exposition agissent sur la croissance.

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

4.1.2 Méthodologie

4.1.2.1 Evolution du stock

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

4.1.2.2 Baguages sur radiales

Photo 4.3 :

Pieds de *Fucus serratus* bagués sur le platier de Diélette.



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

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 2004. Le baguage systématique d'un nouveau lot d'individus chaque année depuis 1993 permet ainsi un suivi plus serré de cette population algale.

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

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 (\emptyset) en cm : le diamètre maximal est mesuré à la base, juste au-dessus de l'épatement formé par le système de fixation,
- la fertilité : présence ou non de conceptacles.

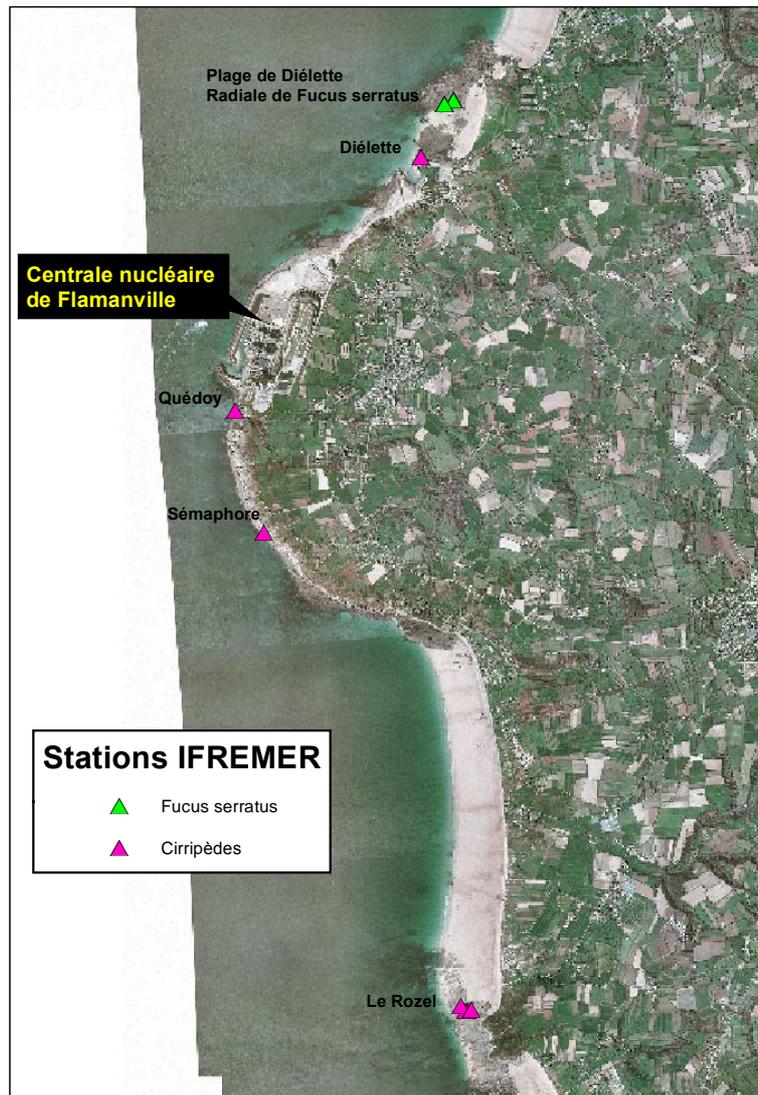


Figure 4.1:

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

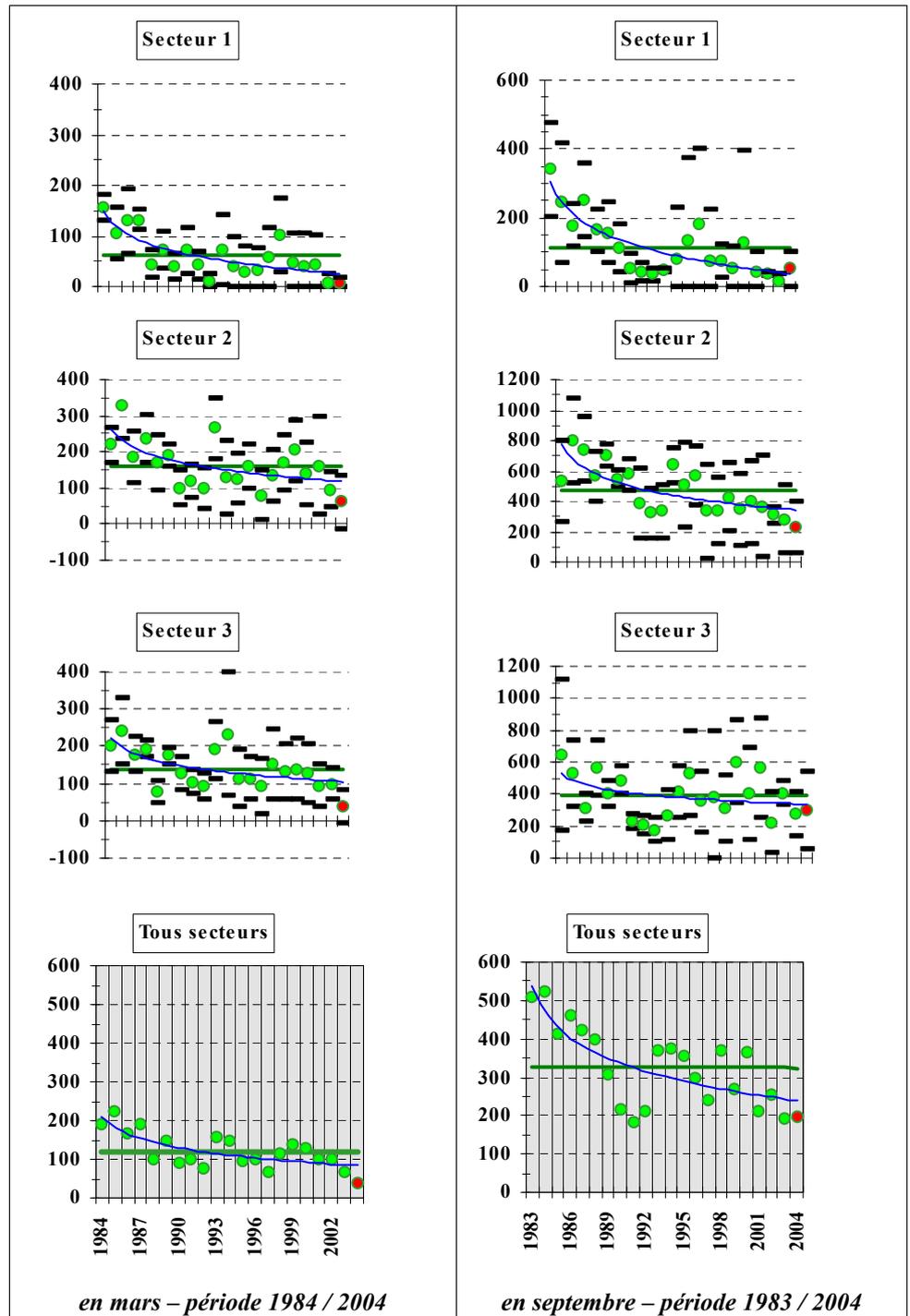
Photographie mars 2002

© Ortholittorale 2000

4.1.3 Résultats

4.1.3.1 Evaluation du stock de *Fucus serratus*

Tous les résultats, présentés ci-après, sont exprimés en grammes par quart de m² et en poids sec.



La biomasse moyenne du stock de *Fucus serratus* présent sur l'estran de Diélette s'élève en 2004 à 36 g en mars et 196 g en septembre. Les valeurs se situant entre 6 ± 12 g (secteur 1) et 62 ± 73 g (secteur 2) en mars, 52 ± 51 g (secteur 1) et 300 ± 244 g (secteur 3) en septembre (Figure 4.2).

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

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

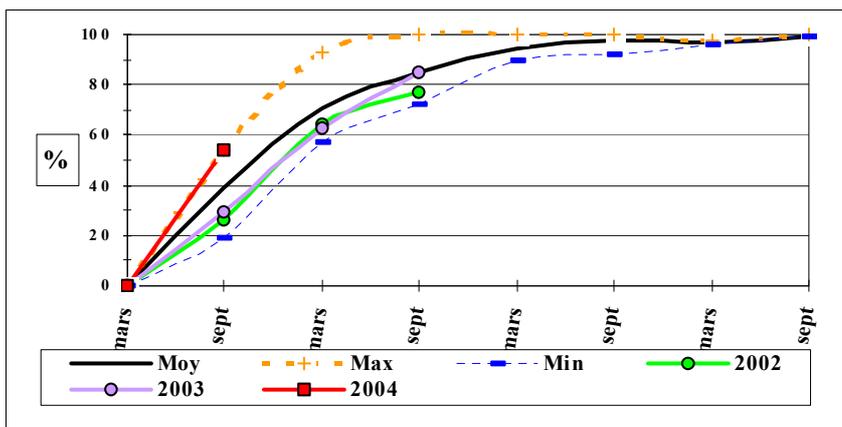
De 1993 à 2000, la tendance générale s'est inversée, permettant d'observer un niveau avoisinant les moyennes saisonnières connues sur ce site. Mais, depuis 2001 et pour la quatrième année consécutive, la biomasse algale continue à chuter, avec une valeur moyenne minimale de 36 g en mars et de 196 g en septembre (valeur avoisinant les 194 g de 2003).

4.1.3.2 Dénombrement des algues baguées

Un taux élevé de dépopulation est enregistrable de mars à septembre sur le lot bagué en 2004. Il est de 54% équivalent au maxi de 1989. La moyenne pour cette période est de 39% (figure 4.3).

Le taux moyen de dépopulation est de 72 % au bout d'un an, et 95 % au bout de deux ans. Il n'est pas possible de faire la part du phénomène naturel (vieillissement des algues, effets des tempêtes) de celle de l'action humaine (arrachage lors de pêche à pied).

Figure 4.3 :
Dépopulation, en pourcentage, des individus bagués (1983 à 2004).



4.1.3.3 Biométrie des algues baguées (Figure 4.4)

4.1.3.3.1 Nombre de dichotomies.

La jeunesse de la population baguée en 1993 se voyait confirmée par le nombre moyen de ramifications des pieds de *Fucus serratus* noté tant en mars (11,7) qu'en septembre (13,6).

Par la suite, ce nombre croît régulièrement de mars 1994 (16,7) à mars 1995 (18,2). La baisse observée en septembre 1995 du nombre de dichotomies (16,6) est confirmée en mars 1996 (10,0). La valeur observée en septembre 1996 (15) avoisine la moyenne (16) sur ce site. Les valeurs observées de 1998 (19 et 20) à 2003 (21 et 22) montrent une sensible augmentation. En

2004, le nombre moyen de dichotomies continue à croître pour atteindre 24 en septembre, valeur maximale observée sur ce site (Figure 4.4).

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.

De mars 1994 à septembre 2001, le diamètre moyen des individus bagués est supérieur à la valeur moyenne obtenue sur ce site depuis 1977 (6,4 mm). Cet accroissement du diamètre moyen est à lier à celui de la longueur moyenne des thalles. En 2004, le diamètre moyen est de 6.3 mm (5.89 en mars et 6.84 en septembre), valeur voisine du diamètre moyen observé, comme les 2 années précédentes (Figure 4.4).

4.1.3.3.3 Longueur des thalles.

La croissance des algues se fait entre mars et septembre ; ceci explique l'augmentation de la longueur moyenne à cette période. Les pieds les plus grands, qui sont également les plus fertiles, sont aussi les plus fragiles. Arrachés facilement en période hivernale, ils induisent une baisse de la longueur moyenne des thalles en mars suivant, suivie d'une nouvelle augmentation en fin d'été.

L'observation des données de longueurs moyennes acquises depuis 1977 ne permet pas, pour l'instant, de conclure à une évolution significative de ce paramètre que ce soit en relation avec le fonctionnement de la Centrale ou avec une évolution climatique. Notons depuis 1994 une tendance à une augmentation des longueurs moyennes aux deux périodes d'observations, même si cette augmentation est moindre en 2001 et 2002. En 2004, la longueur moyenne varie de 55.2 cm en mars à 65.47 cm en septembre (Figure 4.4).

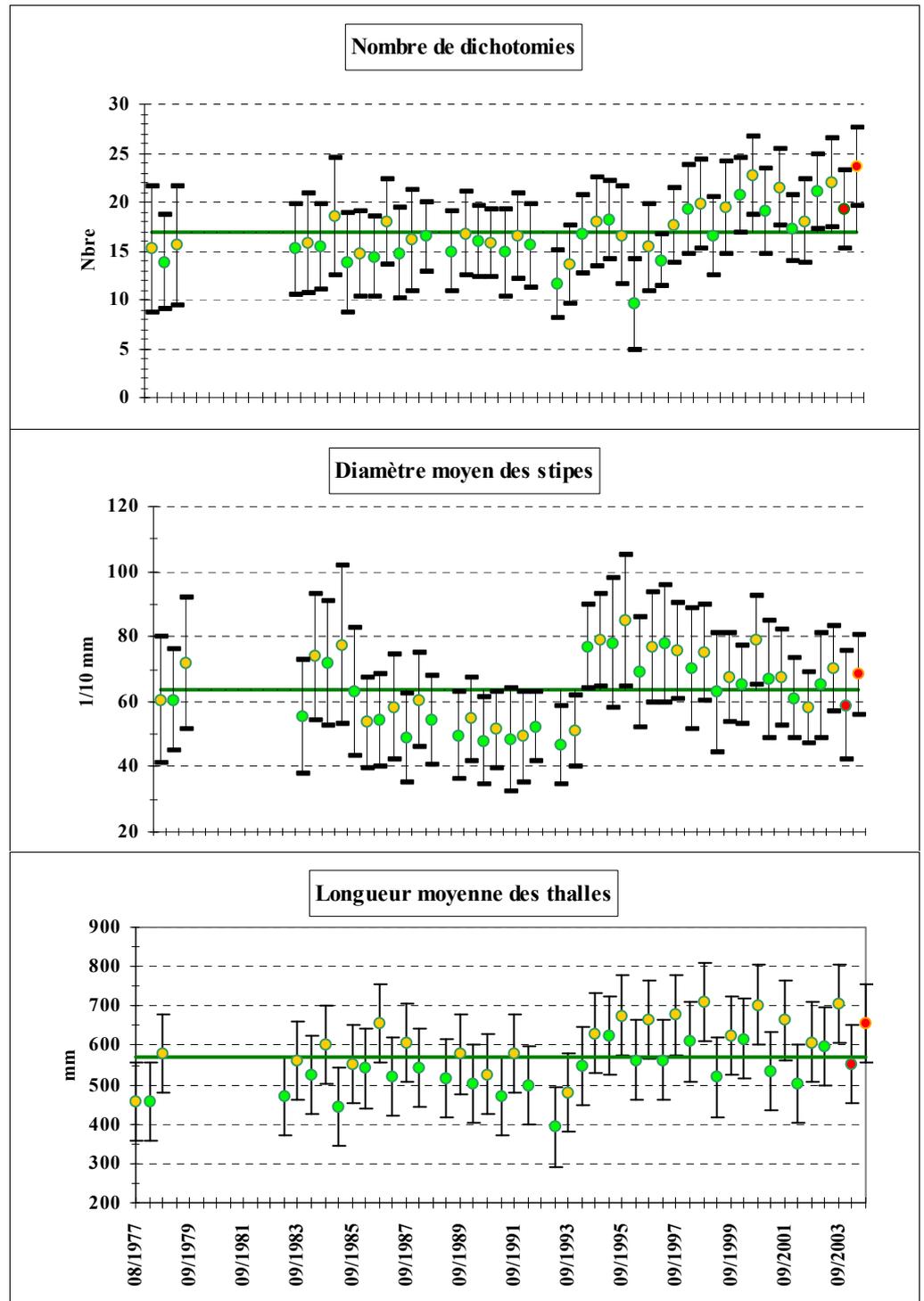
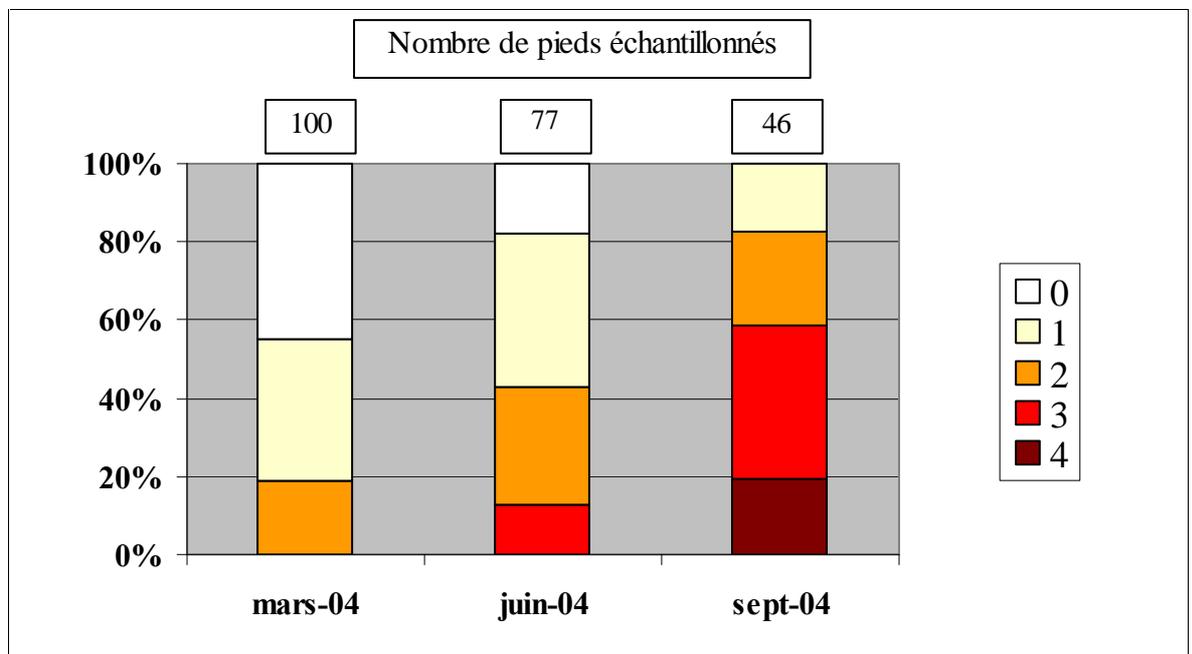


Figure 4.4 : Evolution saisonnière (mars en vert et septembre en orange) des paramètres mesurés chez *Fucus serratus* à Diélette (moyenne et écart-type) par rapport à la mesure moyenne estimée de 1977 à 2004. (données 2004 en rouge)

4.1.3.4 Fertilité

En mars 2004, 55 % du lot bagué présente des caractères de fertilité, 82 % en juin et 100 % en septembre. L'examen visuel de ces frondes permet de nuancer depuis 1993, en cinq stades différents (figures 4.5 et 4.6), de l'absence totale de réceptacles (stade 0) à la présence sur chaque fronde de réceptacles terminaux (stade 4). Le taux de fertilité moyen est de 19 % en mars, 35 % en juin et 66 % en septembre.

Figure 4.5 :
Evolution de la fertilité des pieds de *Fucus serratus* bagués en 2004.



La comparaison avec les données acquises depuis 1993 permet d'apprécier, pour chaque saison, les fluctuations tant du nombre de pieds fertiles que des différents stades de fertilité (figure 4.6). Les pieds de *Fucus serratus* possèdent des conceptacles renfermant des organes mâles ou femelles, selon les individus, plus ou moins fertiles tout au long de l'année.

La période optimale de fertilité s'étendrait principalement d'août à janvier, ce que confirment nos observations faites en septembre, exception faite de 2002. En juin, le nombre de pieds fertiles observés au cours des quatre premières années d'observations est faible ; ceux qui le sont présentent des réceptacles défoliés. Mais, de 1999 à 2004, ce nombre est élevé.

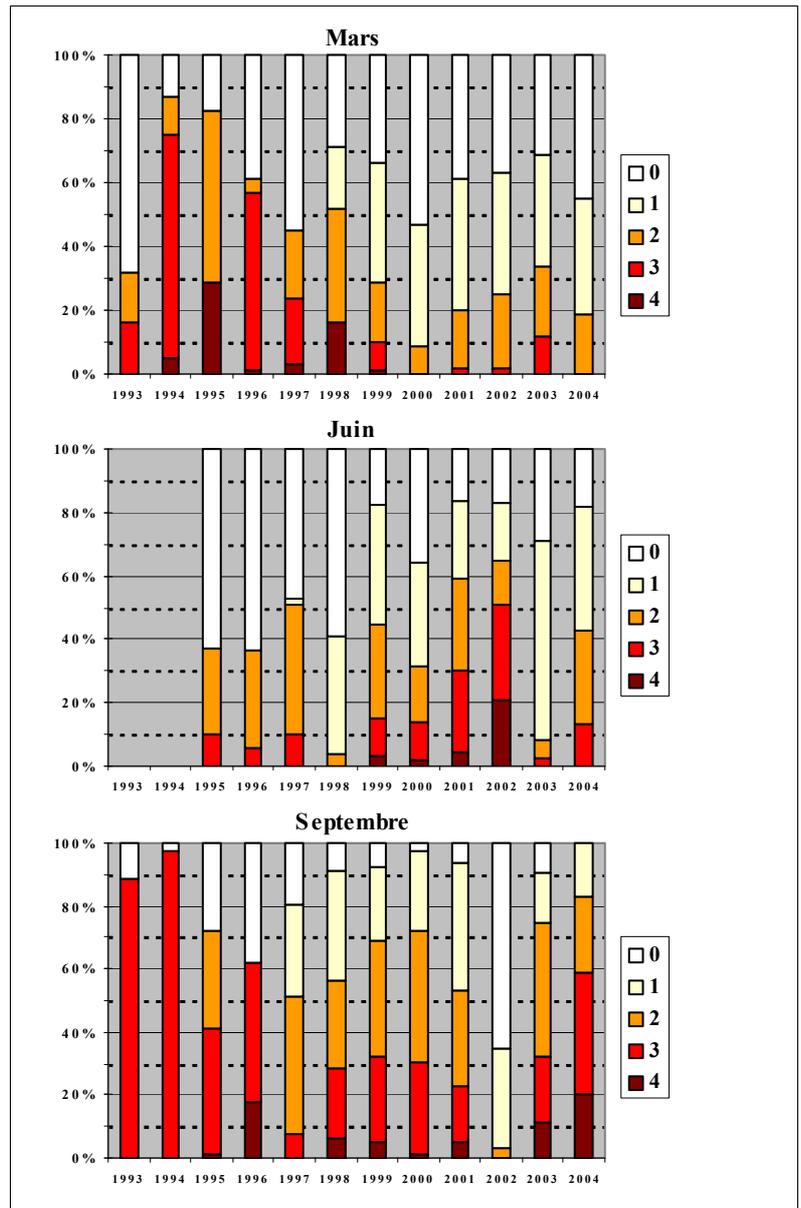


Figure 4.6 :
Evolution de la fertilité de *Fucus serratus* depuis 1993, stade par stade.

En mars et septembre 2004, respectivement 55 % à 100 % du lot échantillonné présente des caractères de fertilité. Le taux moyen de fertilité évolue de 19 % en mars à 66 % à l'automne.

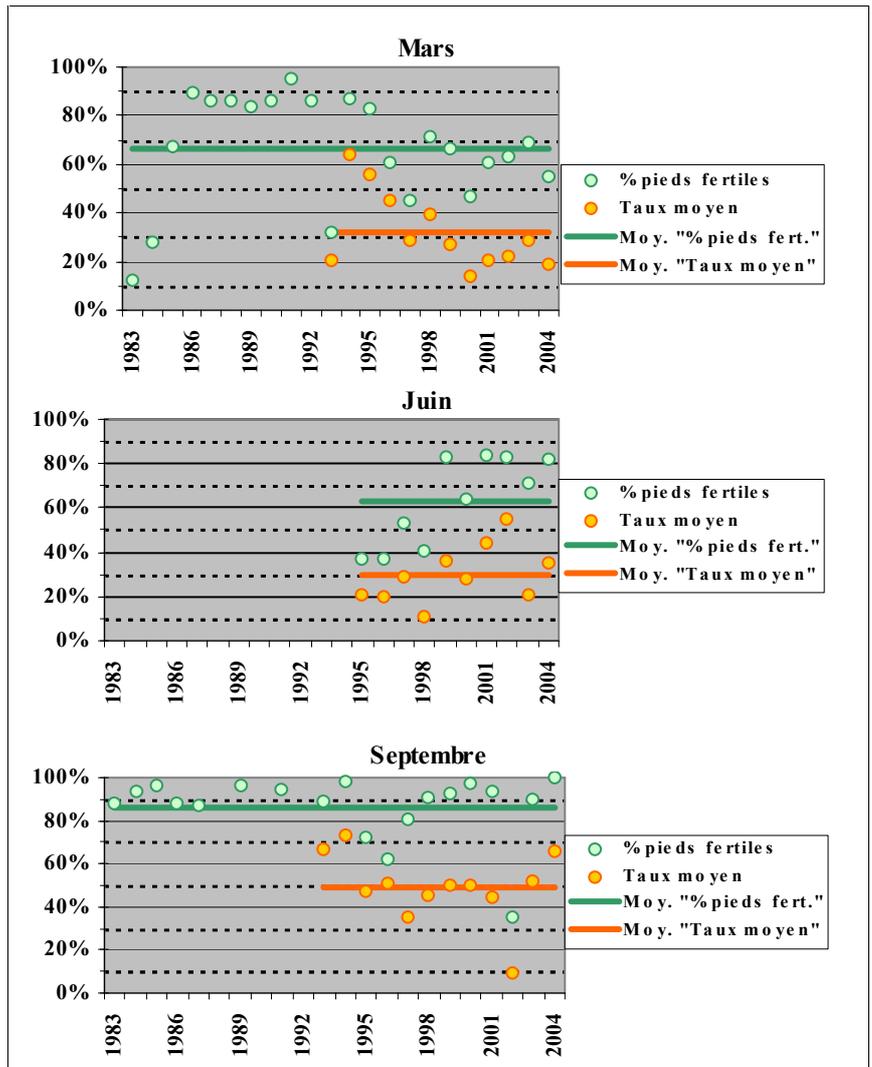


Figure 4.7:
Evolution saisonnière
du pourcentage de
pieds fertiles et du
taux moyen de
fertilité de
Fucus serratus
depuis 1983.

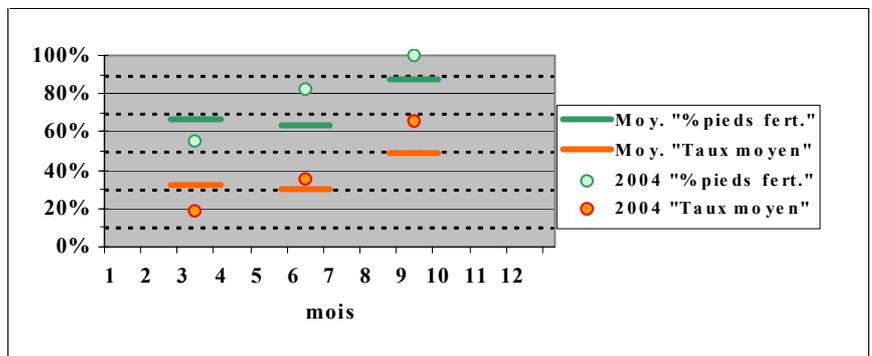


Figure 4.8 :
Positionnement de la
fertilité observée en
2004 par rapport aux
valeurs saisonnières
moyennes connues à
Flamanville.

Le peuplement de *Fucus serratus* du platier de Diélette est globalement fertile toute l'année, avec toutefois une période de fertilité plus importante en fin d'été, tant en nombre de pieds présentant des caractères de fertilité (83 %) qu'en taux moyen (49 %) obtenu en tenant compte des différents stades (moyennes sur période 1993/2004). La fertilité décroît pendant la

période hivernale pour atteindre respectivement pour ces deux approches, 61 % et 32 % en fin d'hiver, puis 63 % et 30 % en fin de printemps.

Les variations les plus importantes de ces taux sont notées en fin d'hiver. Elles s'expliqueraient plus par le fait que la période de mesure choisie (mars) se situerait dans une phase charnière dans la décroissance de cette fertilité.

Le peuplement de *Fucus serratus* s'était caractérisé en 2002 par un optimum de fertilité en début d'été, suivi d'un minimum en fin d'été. Ce schéma, contraire à celui connu pour cette espèce, n'a pas trouvé d'explication.

En 2004, la fertilité retrouve comme en 2003 des valeurs plus conformes aux données existantes. sur ce site. A noter une fertilité en dessous de la moyenne en mars, au dessus en juin et très forte en septembre tant en nombre de pieds fertiles qu'en taux moyen de fertilité.



Figure 4.9 : Platier de Diélette – Limites de la population de *Fucus serratus* étudiée

© Ortholittorale2000

4.2 Zoobenthos des substrats durs intertidaux

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

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

L'étude de Surveillance, menée depuis 1983, a pour objectif de contrôler les variations d'abondance des principales espèces de cirripèdes de la ceinture à *Semibalanus balanoides* 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 Quédoiy située immédiatement au sud de la centrale, l'autre dans le port de Diélette (platier rocheux au nord de la sortie du port).

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

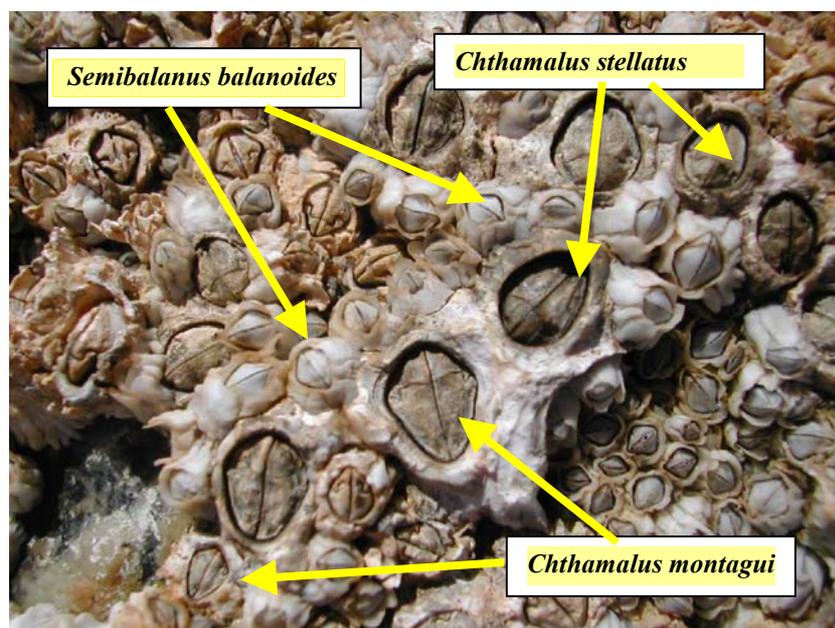


Photo 4.4 :

Cirripèdes
au point de
surveillance
du
sémaphore

4.2.1 Biologie des cirripèdes

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

➤ Habitat

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

➤ Reproduction

Les individus sont hermaphrodites. Après maturation des oeufs à l'intérieur de la muraille, les larves sont libérées dans le milieu marin. Leur fixation sur le substrat varie selon les espèces : fin d'hiver, courant de printemps pour les balanes ; fin d'été pour les chthamales.

➤ Alimentation

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

➤ Croissance

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

➤ Prédation

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

4.2.2 Méthodologie

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

4.2.2.1 Densité

En septembre, la densité des cirripèdes est évaluée à l'aide de quadrats de 0,05 m x 0,05 m, 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 d'évaluer les pourcentages des différentes espèces de cirripèdes présentes.

Photo 4.6 :

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

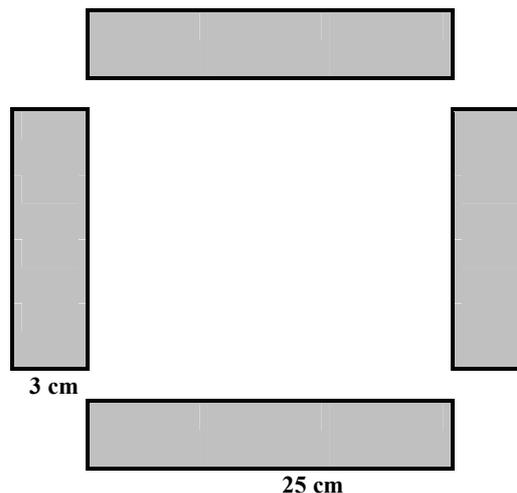


4.2.2.2 Faune associée

Les densités des principales espèces accompagnatrices sont évaluées à chaque point à partir d'une surface unitaire de 1/16 m² (quadrat 0,25 m x 0,25 m) ; les patelles sont dénombrées sur le terrain à raison de 12 comptages par point alors que les autres espèces sont récoltées par grattage (4 par point), puis déterminées et comptées au laboratoire.

4.2.2.3 Recolonisation du substrat

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



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

4.2.3 Résultats

4.2.3.1 Etude de recolonisation par les cirripèdes

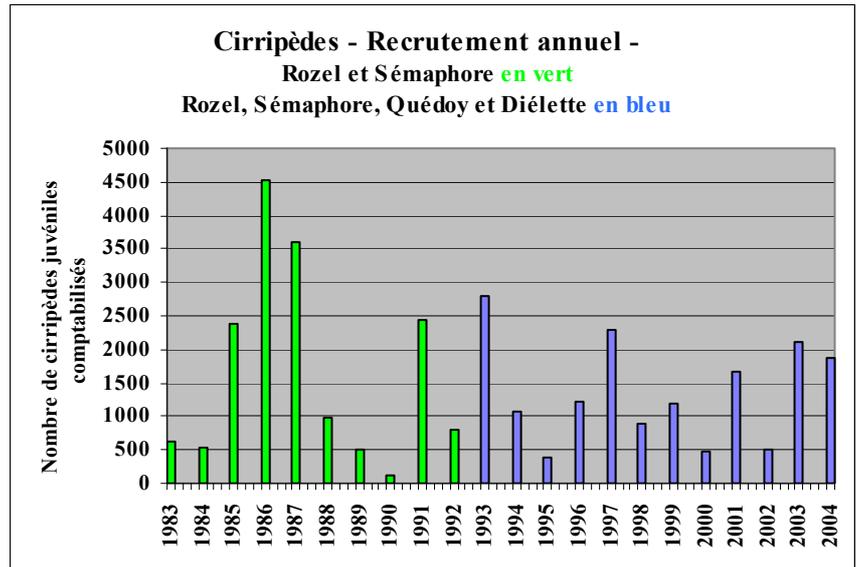
La recolonisation notée lors d'une mission donnée est le résultat du recrutement saisonnier en cours, diminué d'une mortalité (non quantifiée) intervenue entre la date de fixation des cypris (larves métamorphosées) sur le substrat et la date d'observation.

Toutes stations confondues, le nombre moyen d'individus recrutés par année, obtenu par comptages sur les quadrats de 75 cm^2 en mars, juin et septembre, sur la période 1993/2004 atteint 1 373 (Figure 4.10). Le maximum atteint 2 791 en 1993, le minimum 372 en 1995.

Les valeurs les plus fortes ont été observées en 1986 et 1987. Elles s'élevaient alors respectivement à 4 519 et 3 601. Les comptages des cirripèdes se faisaient alors simplement au Rozel et au Sémaphore. Elles s'élevaient alors respectivement à 4 519 et 3 601. La valeur la plus basse,

110 individus a été recensée en 1990. En 2004, le recrutement se situe au dessus de la moyenne puisque 1 881 juvéniles ont été comptabilisés (en 2003 : 2 102 individus).

Figure 4.10 :
Recrutement annuel (Somme des recrutements automno-hivernal, printanier et estival comptabilisés au Rozel, Sémaphore, Quédoy et Diélette sur les quadrats de 75 cm²).



Le recrutement printanier (entre la mi-mars et la mi juin) représente, selon les années, de 77 % à 99,6 % du phénomène annuel, à l'exception toutefois du printemps 1990 où il n'atteint que 48 % à la pointe du Rozel et 61 % au cap de Flamanville. Il concerne exclusivement *Semibalanus balanoides*.

Le recrutement estival (de la mi juin à la mi-septembre), beaucoup plus faible (3 % en moyenne du recrutement annuel sur la période 1983-2004 ; de 1 à 50 individus par 75 cm²), concerne en priorité les espèces *Chthamalus montagui*, *Chthamalus stellatus*, et *Elminius modestus*.

La recolonisation observée entre septembre et mars (2 % en moyenne; de 1 à 90 individus par 75 cm²) n'est en fait que la fin du recrutement estival intervenu après les observations effectuées en septembre précédent.

Tableau 4.1 :
Nombre de cirripèdes métamorphosés, comptabilisés par 75 cm² en 2004.

	Rozel	Sémaphore	Quédoy	Diélette
Recrutement automno-hivernal	8 ± 8	39 ± 11	44 ± 7	15 ± 8
Recrutement printanier	293 ± 201	659 ± 47	457 ± 18	344 ± 84
Recrutement estival	4 ± 5	9 ± 7	3 ± 2	5 ± 5
Bilan annuel	305	707	504	364

En 2004, le recrutement printanier atteint 94% du total annuel, permettant à l'espèce *Semibalanus balanoides* de maintenir son abondance. Les recrutements automno-hivernal et estival représentent respectivement 5 % et 1 % de la colonisation annuelle par des juvéniles des espèces *Elminius modestus*, *Chthamalus montagui* et *Chthamalus stellatus*. En pourcentage du total annuel, les résultats sont relativement homogènes d'une station à l'autre. Les écarts les plus importants sont observés entre Quédoy et Le Rozel : respectivement 90 à 96 % pour le recrutement printanier, et 9 à 3 % pour le recrutement hivernal. Le nombre de juvéniles comptabilisés au Rozel reste stable de 2003 à 2004, augmente au Sémaphore, et diminue par contre à Quédoy et Diélette.

L'importance numérique globale du recrutement printanier confirme la relation étroite entre l'importance du recrutement et la rigueur de l'hiver (température moyenne de l'air et/ou de l'eau du mois le plus froid de l'année ; tableau 4.2 & figure 4.11).

Tableau 4.2 :

Température mensuelle minimale de l'air au Cap de La Hague (1983-2003) et de l'eau de mer à Flamanville (1986-2004).
Les années sont classées selon l'importance croissante des températures de l'air.

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

On observe en 2004 comme pour les autres années depuis 1983 que le recrutement suit de très près la courbe de tendance au sémaphore et à Quédoy. Au Rozel et surtout à Diélette, les valeurs sont plus dispersées.

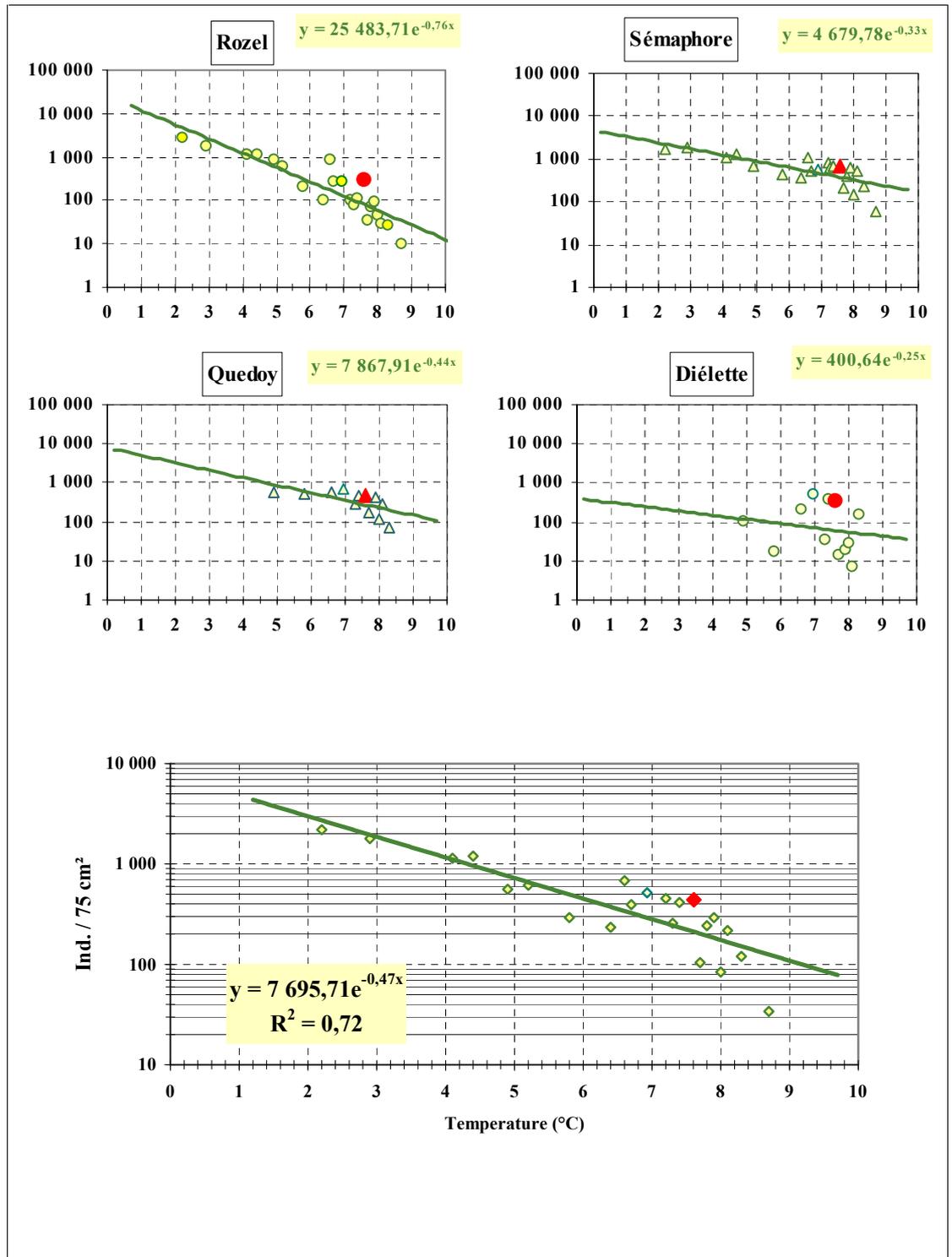


Figure 4.11 :
Recrutement
printanier des
crustacés
cirripèdes
aux abords de
Flamanville
(nombre
d'individus
par 75 cm²,
exprimé en
fonction de la
température
moyenne de
l'air du mois
le plus froid
de l'hiver
[°C]).
Le
recrutement
2004 est figuré
en rouge.

4.2.3.2 Evaluation des densités et des pourcentages des différentes espèces de cirripèdes

L'observation des densités de cirripèdes (tableaux 4.3 et 4.4) montre des variations annuelles importantes d'une station à l'autre en fonction de la surface du substrat rocheux colonisée d'une part, de l'importance du recrutement (surtout printanier) d'autre part.

Tableau 4.3 :
Densités globales de cirripèdes depuis 1977 (nombre d'individus par m²)

	Rozel	Sémaphore	Quédoy	Diélette
1977	46 401			
1978	48 556			
1983	43 276	66 000		
1984	28 313	60 100		
1985	74 650	74 400		
1986	64 455	75 300		
1987	91 681	77 000		
1988	46 863	60 000		
1989	35 089	40 868		
1990	18 240	26 700		
1991	73 136	72 000		
1992	38 233	38 000		
1993	74 605	76 700	72 300	48 960
1994	43 100	47 200	38 800	42 000
1995	28 826	44 533	44 000	44 600
1996	38 219	44 933	46 050	36 000
1997	56 799	55 113	56 525	53 350
1998	46 641	51 467	45 800	51 467
1999	39 009	47 300	52 050	26 343
2000	27 655	44 850	28 500	5 820
2001	20 672	36 600	31 511	4 220
2002	20 163	24 300	36 500	21 160
2003	26 504	36 600	52 850	43 360
2004	37 376	37 957	44 655	26 114
<i>Moy. 1993/2004</i>	<i>38 297</i>	<i>47 596</i>	<i>45 795</i>	<i>34 533</i>

Les densités évaluées en 2004 restent inférieures pour la cinquième année consécutive aux densités moyennes calculées sur la période 1993/2004. (exception faite des densités évaluées à Quédoy et à Diélette en 2003). On peut toutefois noter une reprise de la croissance depuis 2002 .

Tableau 4.4 :
Densités globales des cirripèdes en 2004 (nombre d'individus par m²)

Septembre 2004		Densité par strate	Surface occupée du substrat	Densité moyenne
Rozel	Point 1	67 273	50 %	33 636
Rozel	Point 2	62 364	70 %	43 655
Rozel	Point 3	41 182	95 %	39 123
Rozel	Point 4	47 273	70 %	33 091
Flamanville	Sem sup.	26 636	95 %	25 305
Flamanville	Sem inf.	53 273	95 %	50 609
Flamanville	Quédoy	55 818	80 %	44 655
Flamanville	Diélette	52 227	50 %	26 114

Les densités de cirripèdes par strate, calculées à partir des comptages sur les quadrats, semblent à peu près stables de 2003 à 2004 mises à part les stations Rozel 1 et Rozel 2 qui connaissent une forte hausse.

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 4.12). En 2002, comme en 2001 et 2000, les densités observées sont faibles. Elles résultent des faibles recrutements printaniers successifs. Comme 2003, l'année 2004 connaît un recrutement printanier un peu plus important, entraînant une augmentation des densités de cirripèdes en place en septembre.

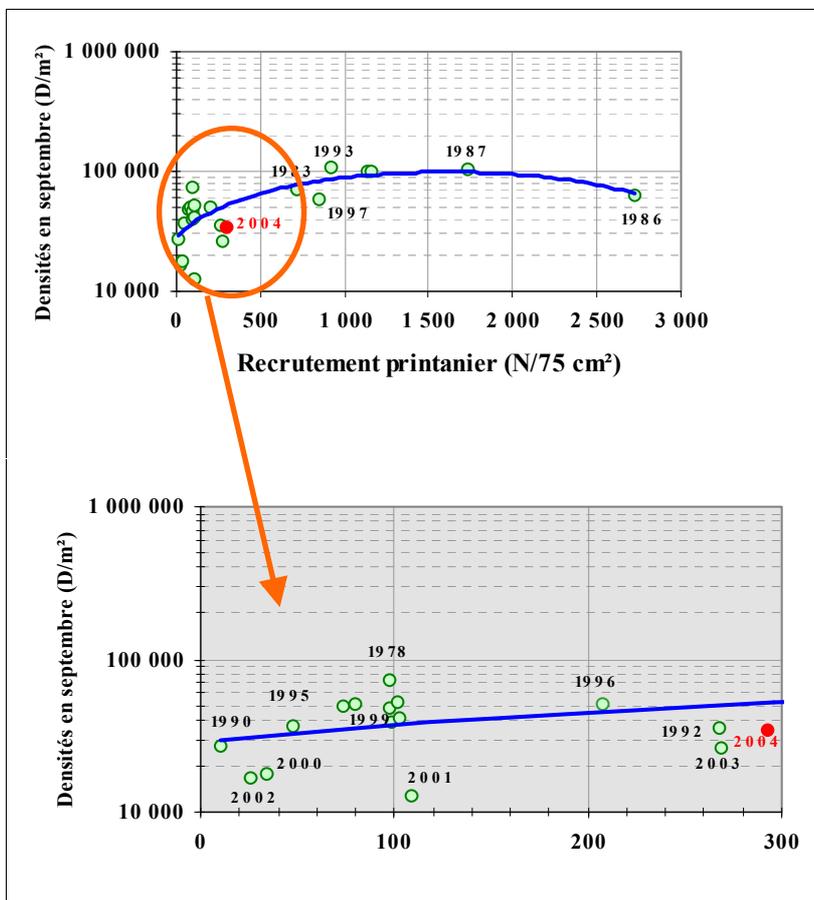


Figure 4.12 :

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

NB: Le graphique inférieur
est une « loupe » de la partie
gauche du graphique
supérieur.

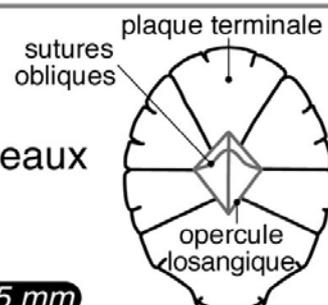
Les proportions des différentes espèces de cirripèdes sont calculées à chaque point. Au niveau du domaine intertidal de ce secteur du nord-ouest Cotentin, quatre espèces sont en compétition pour l'espace, à savoir :

Principaux cirripèdes en zone intertidale sur Flamanville

S *Semibalanus balanoides*

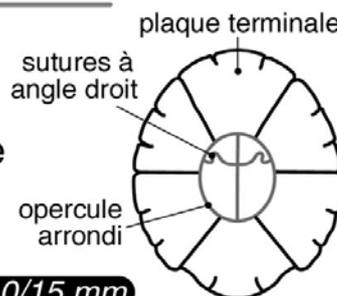
Muraille : 6 plaques
 Sous les pleines mers de mortes-eaux
Atlantique, Manche ouest et est.

15 mm

**C** *Chthamalus stellatus*

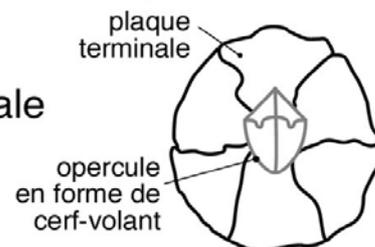
Muraille : 6 plaques
 Niveau sup. de la zone intertidale
 Zones exposées
*Méditerranée, Atlantique,
 Manche ouest.*

10/15 mm

**C** *Chthamalus montagui*

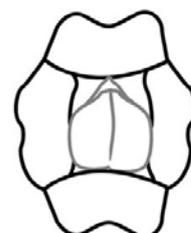
Niveau sup. de la zone intertidale
 Zones abritées
*Méditerranée, Atlantique,
 Manche ouest.*

6/10 mm

**E** *Elminius modestus*

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

5/10 mm



Les variations des pourcentages (figures 4.13 et 4.14) et des densités (figure 4.15) respectifs de ces quatre espèces se répercutent principalement sur *Semibalanus balanoides*, espèce largement dominante dans le secteur de Flamanville.

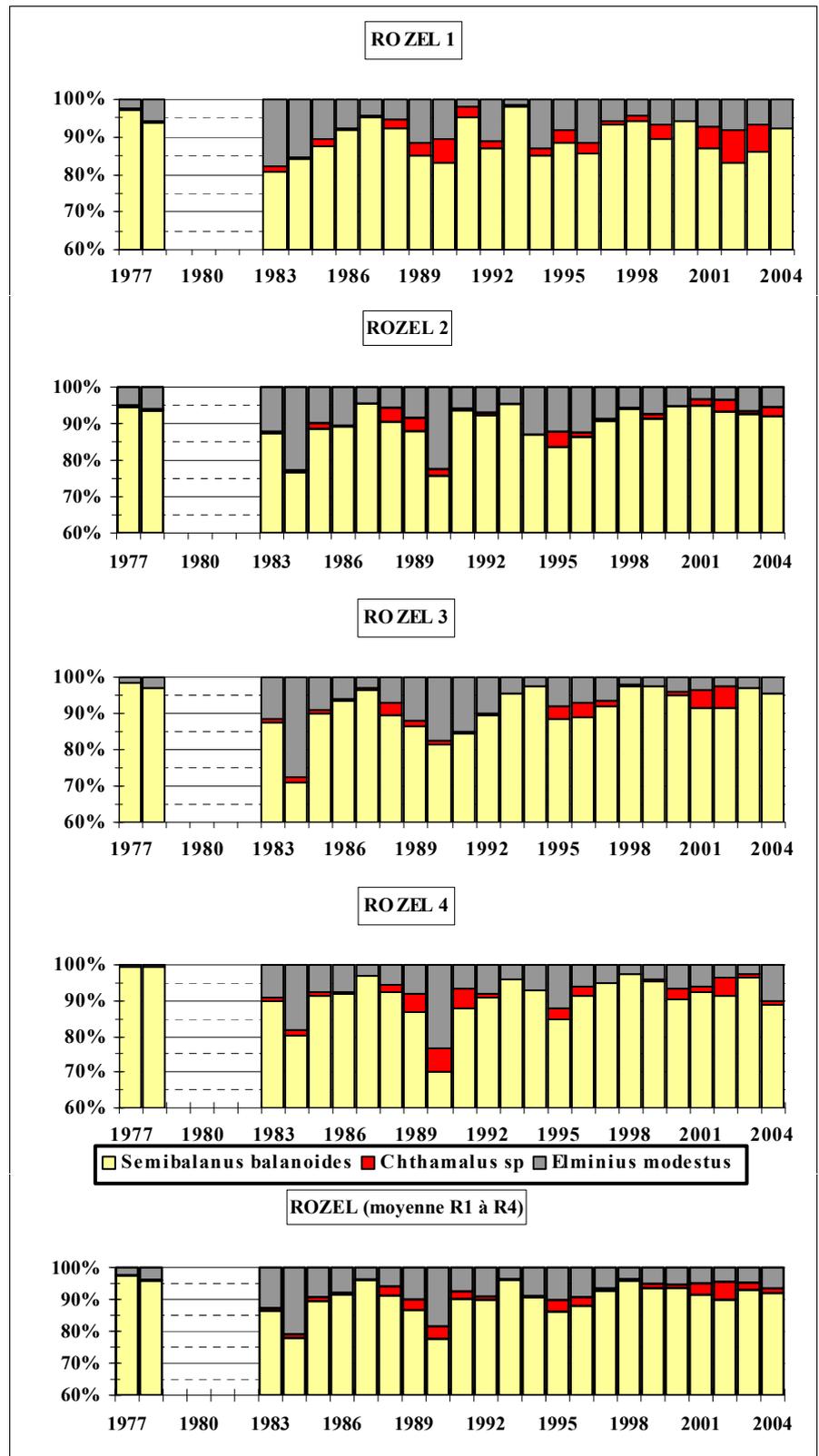


Figure 4.13 :

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)

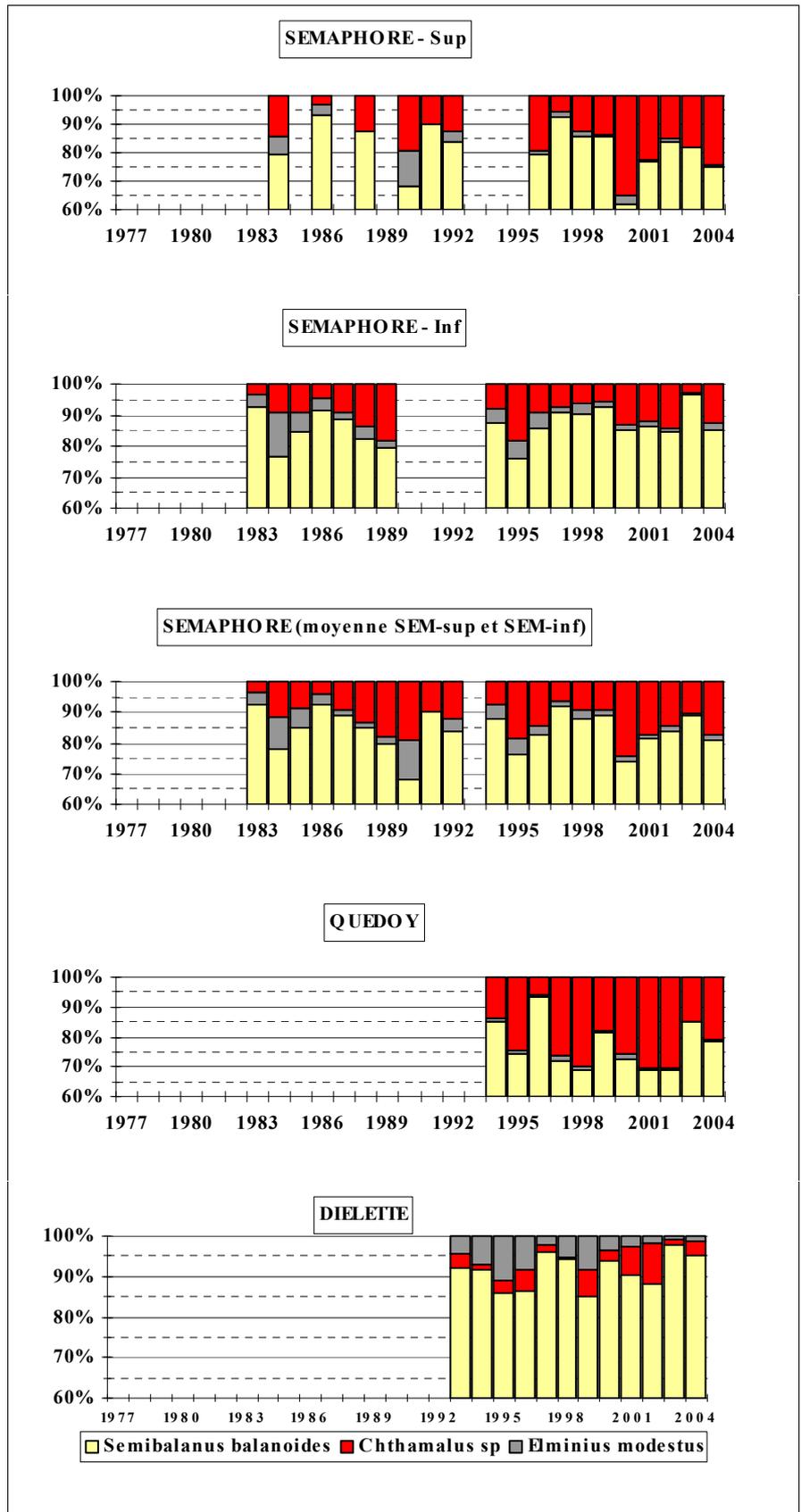


Figure 4.14 :
Evolution en %, des quatre espèces de cirripèdes au cap de Flamanville depuis 1983. (Les deux espèces de Chthamales ont été regroupées au niveau du genre).

Sur l'ensemble des diverses périodes d'observations, le pourcentage de *Semibalanus balanoides* varie de 77 % à Quedoy à 91 % à Diélette. Ce pourcentage est de 84 % en bas du Sémaphore et de 90 % au Rozel. Cette espèce domine donc largement le peuplement, confirmant l'analyse réalisée il y a plus de 25 ans sur ce site.

L'importance moyenne des Chthamales est minimale au Rozel (2 %) et à Diélette (4 %), points où le substrat est schisteux. Elle est maximale en bas du sémaphore (12 %) et à Quédoy (22 %), points où le substrat est granitique. Ces deux points présentent également la particularité d'être les plus proches de la centrale.

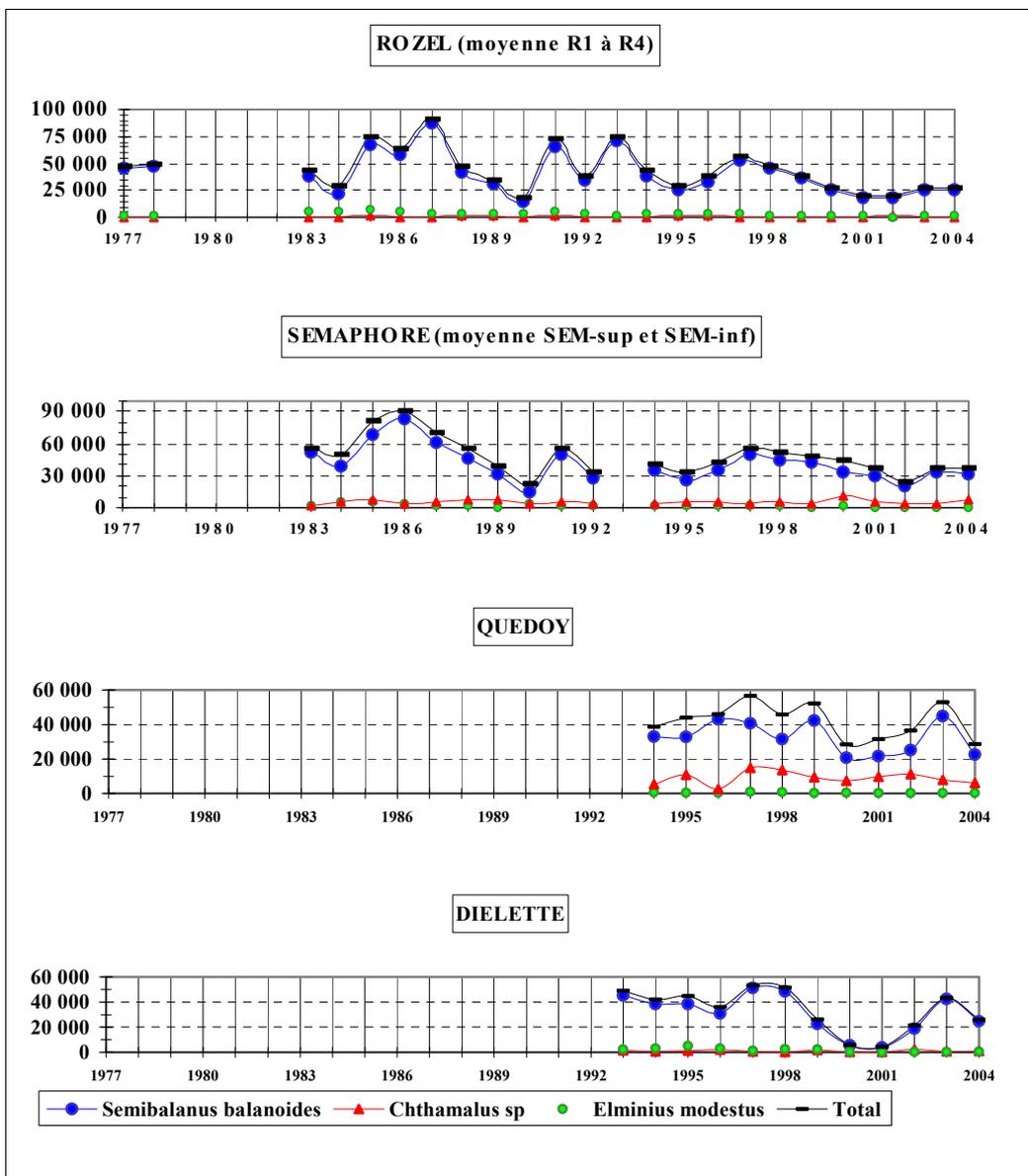


Figure 4.15 :
Evolution, en nombre d'individus par m², des densités des quatre espèces de cirripèdes depuis 1983.

Quant à *Elminius modestus*, sa présence oscille entre 1 % à Quedoy, 4 % au Sémaphore, 5% à Diélette et 8 % au Rozel.

De même que le recrutement printanier de *Semibalanus balanoides* est proportionnel à la rigueur de l'hiver (figure 4.11), 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 4.16).

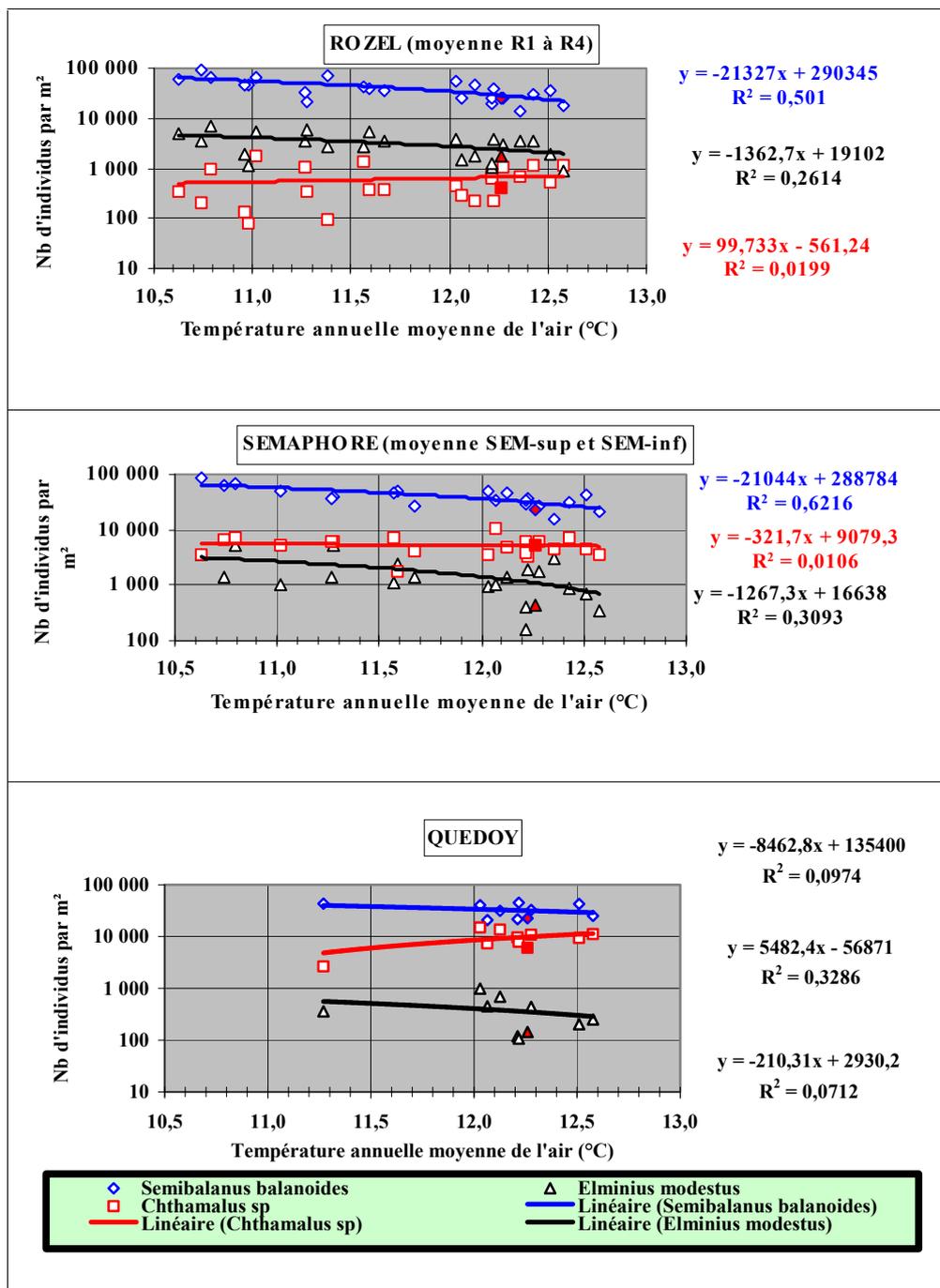


Figure 4.16 : Evolution des densités des cirripèdes intertidaux, à la pointe du Rozel (1977-2004) et au cap de Flamanville, en bas du sémaphore (1983-2004) et dans l'anse de Quedoy (1994-2004), en fonction de la température annuelle moyenne de l'air au cap de La Hague.

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

A l'inverse, les densités de Chthamales augmenteraient en fonction de l'élévation de la température moyenne annuelle de l'air, tant au cap de Flamanville qu'à la pointe du Rozel. L'augmentation semblerait plus importante dans l'anse de Quédoy, point le plus proche de la centrale. Il faut toutefois être prudent au regard de la série d'observations (11 années) par comparaison à celles à notre disposition tant en contrebas du sémaphore (21 années) qu'à la pointe du Rozel (23 années).

En tout état de cause, l'impact des variations météorologiques (ici, la température de l'air qui agit sur celle de l'eau ; cf. figures 2.11 et 2.12) semble donc dominant, par rapport à d'autres facteurs, sur les fluctuations d'abondance des cirripèdes du genre *Chthamalus* dans ce secteur de l'ouest-Cotentin.

4.2.3.3 Evaluation des densités des principales espèces accompagnatrices

Les cirripèdes abritent une microfaune abondante et variée. Ainsi, l'étude des prélèvements effectués en septembre nous révèle différentes espèces de gastéropodes (*Littorina saxatilis*, *Melaraphe neritoides*), de bivalves (*Lasea rubra*), de polychètes, d'amphipodes, d'isopodes (*Campecopea hirsuta*) et même d'acariens... Seuls sont pris en compte pour cette étude les espèces ou groupes d'espèces appartenant à l'embranchement des mollusques (tableau. 4.6).

Tableau 4.6 :
Densités moyennes par m² des différentes espèces de mollusques

Septembre 2004	PATE sp	LITT SAX	MELA NER	GIBB PEN	GIBB UMB	THAI LAP	OSIL LIN	LASA RUB	MYT EDU
ROZEL 1	29	210	116				8	96	8
ROZEL 2	34	84	347				22	3517	
ROZEL 3	53	186	243	76	38	15	38	10955	91
ROZEL 4	78	244	162	15	90		45	381	78
Moy.1-4	49	181	217	46	64	15	28	3737	59
Sémaphore sup	84	167	353			15		3006	
Sémaphore inf	182	699	160			46		1189	42
Moy	133	433	257			31		2098	42
Quédoy	186	317	298					102	26
Diélette	11	75	52	8	12			230	

PATE sp	= <i>Patella sp</i>	LITT SAX	= <i>Littorina saxatilis</i>
MELA NER	= <i>Melaraphe neritoides</i>	GIBB UMB	= <i>Gibbula umbilicalis</i>
GIBB PEN	= <i>Gibbula pennanti</i>	THAI LAP	= <i>Thais lapillus</i>
OSIL LIN	= <i>Osilinus lineatus</i>	LASE RUB	= <i>Lasaea rubra</i>
MYT EDU	= <i>Mytilus edulis</i>		

L'abondance des différentes espèces accompagnatrices reste très irrégulière d'une année à l'autre et aussi d'une station à une autre. Quelques tendances peuvent toutefois être observées.

Concernant le genre *Patella* sp en 2004, deux valeurs extrêmes sont obtenues, une densité la plus haute à Quédoy et la plus basse à Diélette (figure 4.18). Globalement, elles sont plus abondantes au Sémaphore et à Quédoy (depuis 2000) qu'au Rozel et à Diélette.

En 2003, l'espèce *Melaraphe neritoides* présentait des pics d'abondance à Quédoy et au sémaphore. Sa densité a retrouvé une valeur moyenne en 2004 (figure 4.18) .

A souligner en 2004, l'abondance du petit bivalve *Lasea rubra*, en particulier au Rozel et au Sémaphore, stations où l'espèce est toujours plus dense.

Photo 4.4 :

En haut, à gauche,
Lasea rubra

A droite,
Nereidé



En bas, à gauche,
Littorina saxatilis

A droite,
Campeopea hirsuta



Les prélèvements effectués en septembre dernier, au Rozel et surtout au Sémaphore ont livré des jeunes individus de l'espèce *Thais lapillus*, très occasionnelle et absente depuis 1993 de nos observations.

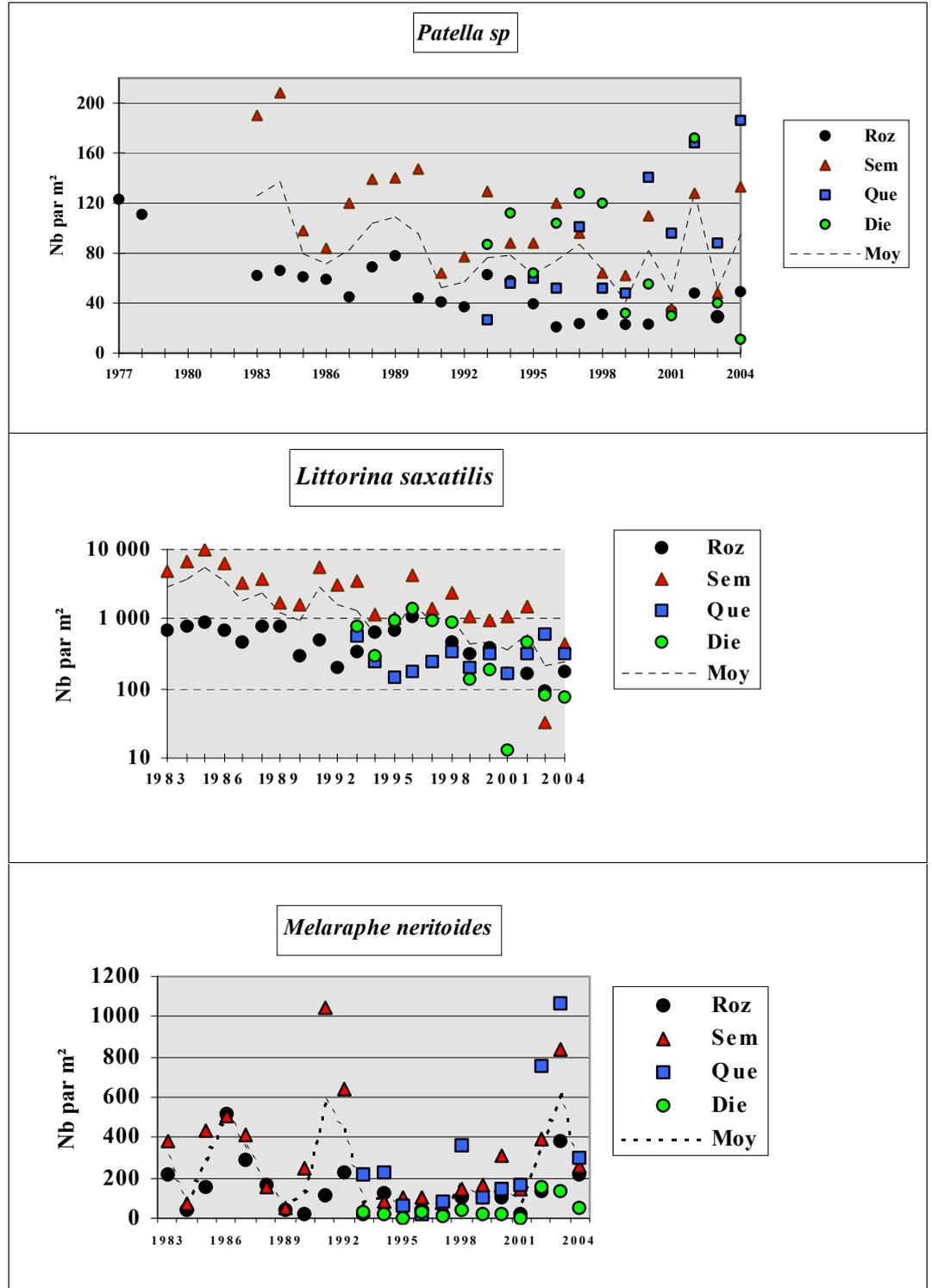
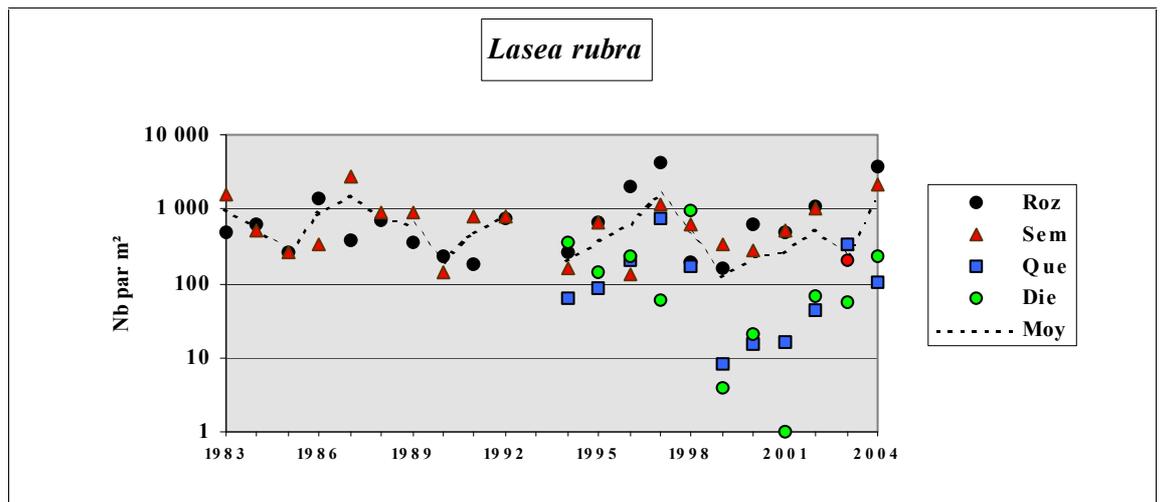


Figure 4.18 :
Evolution des densités de quelques mollusques présents dans le peuplement des crustacés cirripèdes.



4.3 CONCLUSION

La population de *Fucus serratus* du platier de Diélette présente en 2004 une biomasse particulièrement faible. Le lot bagué en mars subit une forte dépopulation (mortalité naturelle, broutage par des prédateurs, arrachage par les tempêtes ou par les pêcheurs à pied). Ainsi, seulement 46 % de ces algues sont recensées en septembre suivant.

Quoique faible en mars, la fertilité atteint un taux important en juin et surtout en septembre. Pour ce dernier mois cité, tous les thalles de *Fucus serratus* bagués possèdent en effet des caractères fertiles.

Malgré un recrutement 2004 relativement abondant, les densités de cirripèdes comptabilisées aux différents points de surveillance restent inférieures aux moyennes obtenues sur ce site depuis le début des observations.

L'espèce *Semibalanus balanoides* demeure largement majoritaire. *Chthamalus stellatus* et *Chthamalus montagui* se développent surtout à Quédoy et au Sémaphore. Quant à *Elminius modestus*, sa présence reste minime dans le secteur de Flamanville.

5. Le domaine halieutique

*Etude et rapport réalisés au sein du
Département Ecologie et Modèles pour l'Halieutique (EMH) par
Jocelyne MARTIN EMH - Nantes*

*Département Halieutique Manche Mer du Nord (HMMN) par
Ivan SCHLAICH HMMN - Port en Bessin*

avec la collaboration de, pour les missions en mer,

<i>Pierre</i>	<i>Beillois</i>	<i>EMH-Nantes</i>
<i>Paul</i>	<i>Bourriau</i>	<i>EMH-Nantes</i>
<i>Cathy</i>	<i>Dejouy</i>	<i>EMH-Nantes</i>
<i>Eric</i>	<i>Foucher</i>	<i>HMMN - PEB</i>
<i>Jean-Charles</i>	<i>Poulard</i>	<i>EMH-Nantes</i>
<i>Joël</i>	<i>Vigneau</i>	<i>HMMN - PEB</i>

5.1. Larves de crustacés

5.1.1. Matériel et méthodes

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

Comme pour les autres sites étudiés, les observations effectuées à Flamanville comprennent des pêches de zooplancton auxquelles sont associés des relevés hydrologiques. Le calendrier des missions est donné dans la première partie du rapport (tableau 1.3 page 18). Les six missions prévues par le contrat depuis 1997 se sont déroulées cette année du 9 juin au 29 septembre à bord du chalutier artisanal *le LYSISTRATA* avec des intervalles de temps compris entre quinze et vingt neuf jours, mais souvent plus importants que les années précédentes ; à plusieurs reprises les conditions météorologiques nous ont conduit à reporter la date d'une mission.

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) à l'aide d'une sonde. La précision de la sonde TURO, modèle T 611 D acquise en 2002 ($5 \cdot 10^{-2} \text{°C}$ pour les mesures de température et $2 \cdot 10^{-1}$ eps [*échelle pratique de salinité*] pour les mesures de salinité) est proche de celle de la Valeport utilisée jusqu'en 2001.

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, nous utilisons un échantillonneur neustonique d'ouverture plus large et de maillage supérieur.

5.1.1.3.1 Description des échantillonneurs.

Bongo grand modèle

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

Neuston

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

5.1.1.3.2 Méthode d'échantillonnage.

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

Depuis 1984, la pêche se fait ainsi en traict oblique, depuis le fond jusqu'à la surface à une vitesse de 2 nœuds environ (1 m.s^{-1}). Le volume filtré au cours d'un simple traict oblique (comprenant la descente puis la remontée du filet)

a varié cette année entre 27 m³ et 260 m³. Les données concernant chaque traict (sonde, durée, volume filtré) sont indiquées dans l'annexe 5.1.

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

De 1988 à 1998, un deuxième Neuston a été utilisé simultanément pour échantillonner l'ensemble de la colonne d'eau ; selon la profondeur, deux ou trois traicts obliques étaient réalisés à la suite de façon à réaliser un traict de durée suffisante (environ 15 minutes) et similaire à celle du traict de surface. Celui-ci a été abandonné en 1999 après onze années d'étude.

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

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

5.1.1.3.3 Conservation des échantillons.

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

5.1.1.3.4 Dépouillement des échantillons.

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

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

5.1.1.4. Saisie, stockage et traitement des données.

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

5.1.2. Résultats.

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

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

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

La figure 5.1 qui rassemble tous les résultats obtenus par prélèvement de subsurface depuis 1979, montre (symboles bleus) que nous avons récolté assez peu de larves au cours de l'été 2004, la densité maximale obtenue avec le Neuston étant de 0,02 par 10 m³.

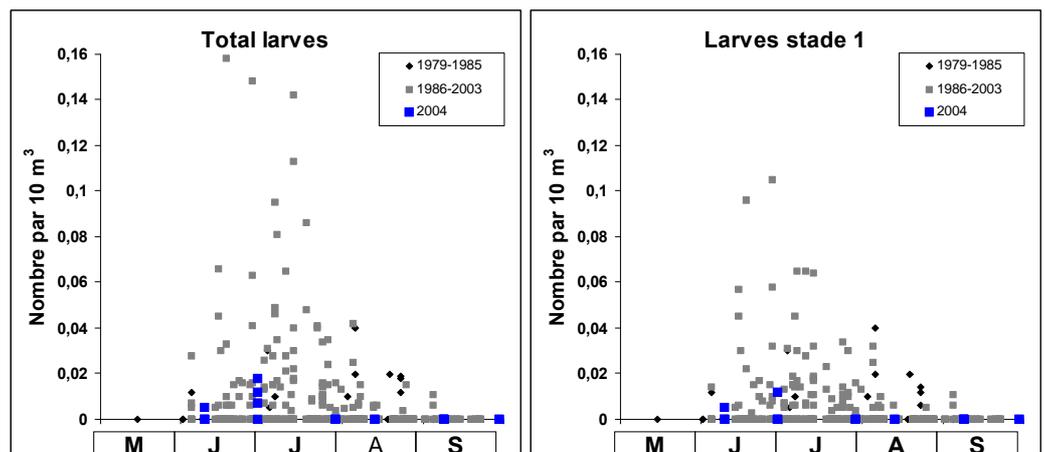


Figure 5.1.- *Homarus gammarus*, Prélèvement au Neuston en subsurface.

La figure 5.2 relative à l'année 2004 montre que les larves de homard ont été récoltées cette année du 9 au 29 juin. Le 9 juin, nous n'avons récolté que des stades 1 et leur densité est maximale le 29. L'absence de larves dès le mois de juillet suggère que les éclosions se sont terminées très tôt mais l'absence de stades plus âgés début juin ne nous permet pas de suggérer, comme les trois dernières années, des éclosions dès le mois de mai.

La figure 5.3 qui illustre la répartition des larves de homard aux différents points de prélèvement, montre cette année comme pour la moitié des années antérieures une récolte au point *référence* supérieure à celle du point 3. Aucune larve n'a été récoltée aux environs du rejet où leur présence est plus

sporadique. En revanche, une larve a été récoltée dans le canal d'amenée où l'on n'en avait pas pêchée depuis 1988.

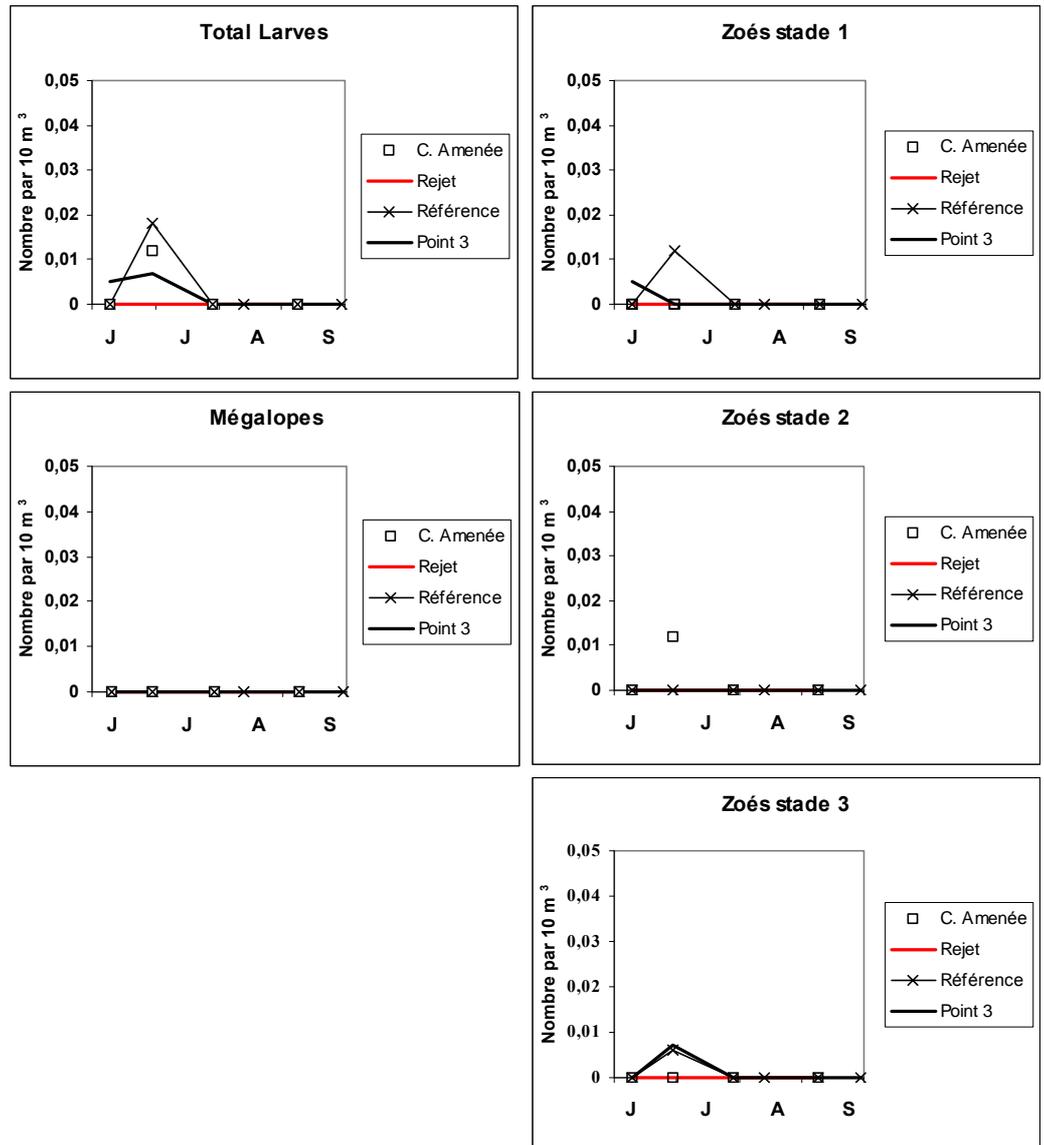


Figure 5.2.- *Homarus gammarus*, Prélèvement au Neuston en surface.

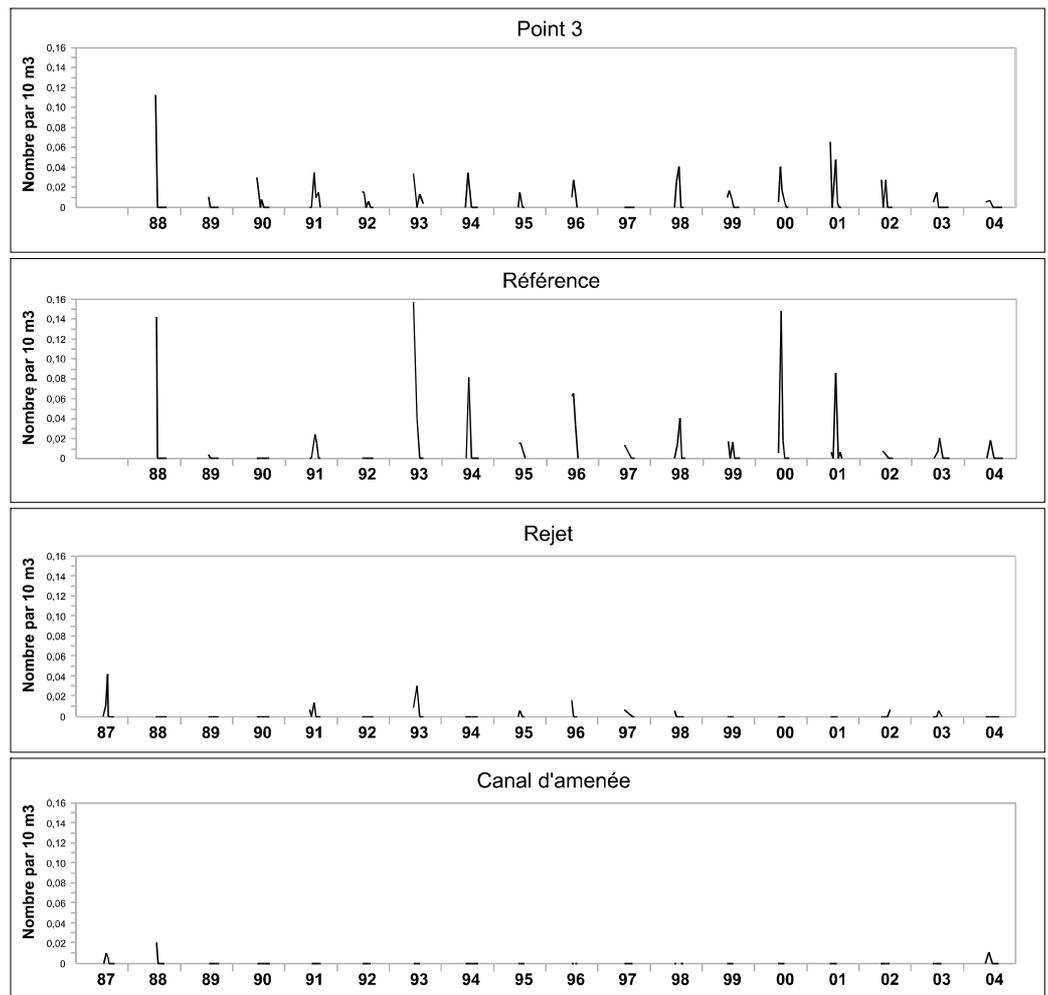


Figure 5.3.- Homarus gammarus, Prélèvements réalisés au Neuston en subsurface depuis le début de la surveillance 2^e phase.

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

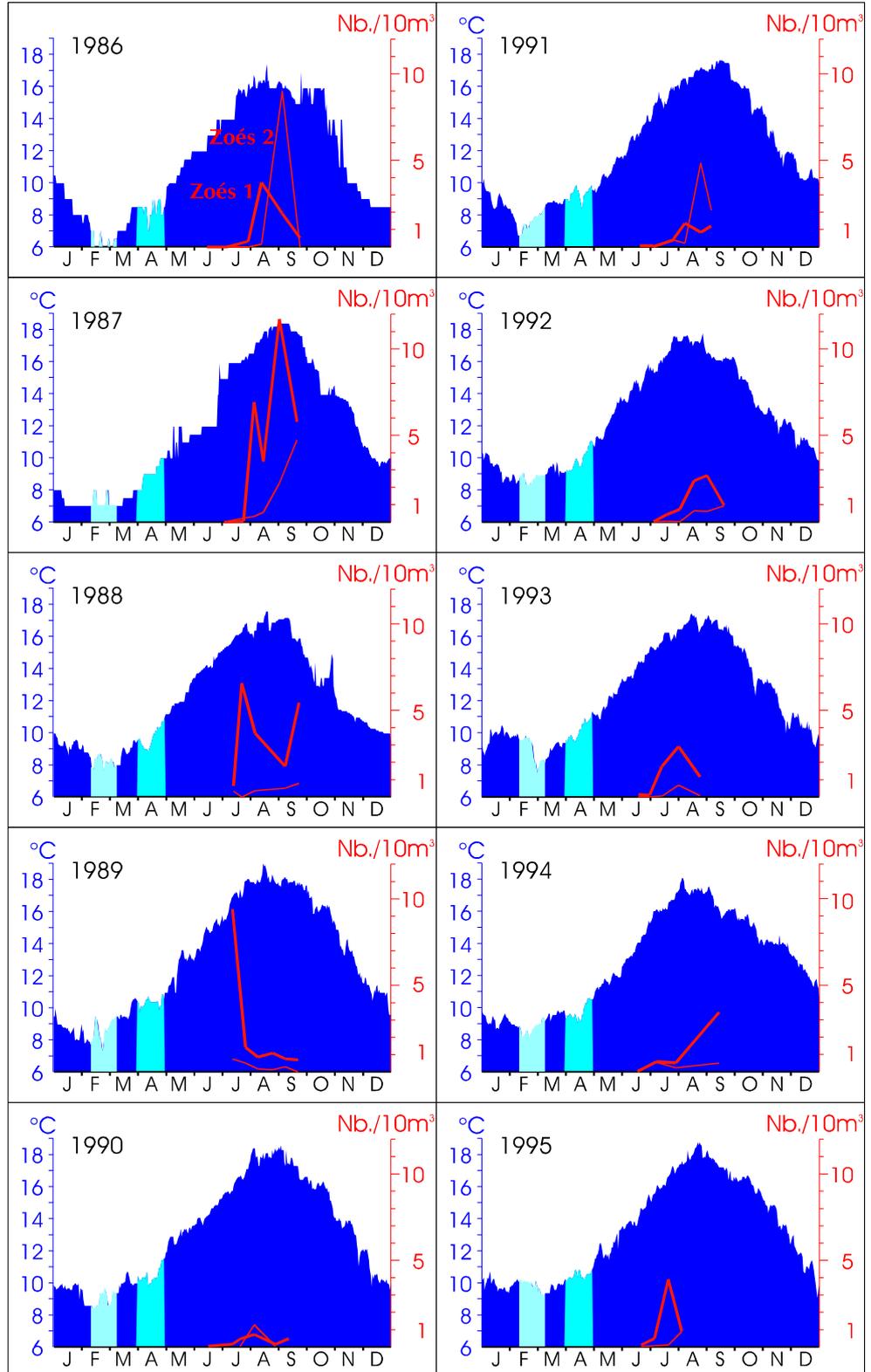
Les récoltes réalisées au point du large (point 3), régulièrement le plus riche en zoés d'araignée et situé en dehors de la tache thermique, sont le reflet de l'influence du climat sur la période d'éclosion de cette espèce.

La mesure de la température de l'eau effectuée quotidiennement à l'entrée de la centrale depuis sa mise en fonctionnement (mesure E.D.F. "source amont site") est une donnée précieuse pour connaître l'influence du climat sur des organismes vivants à proximité. Reflétant la moindre évolution de température, elle permet de connaître de façon relativement précise la quantité d'énergie reçue par les œufs lors de l'incubation, voire même par les femelles avant la ponte ; les données ne sont pas absolues puisque la température de l'eau d'un secteur aussi peu profond que l'entrée de la centrale est plus sensible au climat que celle du large (voir différence entre

température du point 3 et celle du canal d'amenée annexe 5.2), mais elle permet de comparer les cycles annuels avec une bonne précision.

La figure 5.5 montre ainsi, pour chaque année étudiée depuis 1986, l'évolution saisonnière des zoés d'araignée au point 3 et celle de la température de l'eau mesurée à l'entrée de la centrale. On y observe des années où les zoés d'araignée au stade 1 ne sont récoltés qu'à partir de fin juillet comme 1986 et 1987 et des années plus précoces où leur présence est constatée dès la deuxième quinzaine de juin (c'est le cas en 1990, 1993, 1995 et depuis 1998), voire dès le début du mois de juin comme en 2002 ; l'année 1989, où la densité de stades 1 est maximale dès la première mission, au début juillet, fait aussi partie des années précoces. Parallèlement à cette précocité d'éclosion des zoés, il apparaît que la quantité d'énergie reçue, matérialisée par les surfaces bleues des courbes de température, est plus importante au cours du printemps de ces années précoces (voir la différence entre l'année 1986 la plus froide et 2002 la plus chaude).

Le calcul plus précis du nombre de degrés-jours (somme des températures journalières) au cours de la période précédant l'éclosion des zoés a montré (Martin, 1993) qu'il existait une relation entre ceux-ci et la date d'apparition des zoés 1. Une deuxième approche (Martin, 1996), a permis de montrer, par la prise en compte des températures régnant dès le début de l'année, l'existence de deux périodes plus sensibles, la première se situant vers le mois de février et la deuxième vers avril-mai.



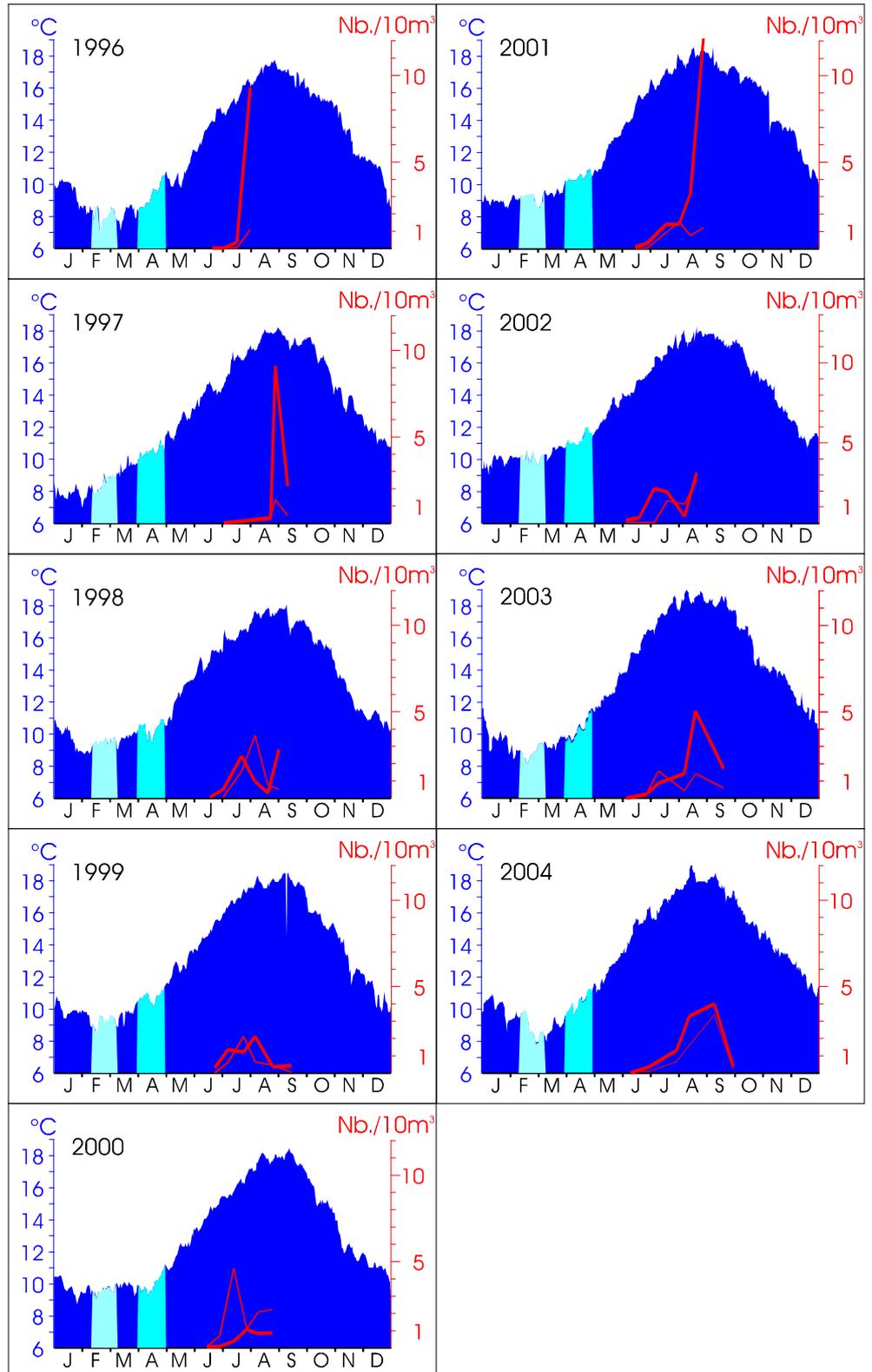


Figure 5.4 - Zoés d'araignée de mer (stade 1 et 2 en rouge, en nombre par 10 m³) récoltées au point 3 et température de l'eau de mer (en °C, aires bleues) mesurée à l'entrée de la centrale.

Le tableau 5.1 ci-après montre les coefficients de corrélation obtenus pour les différentes périodes testées dans le cadre de cette étude après mise à jour avec les résultats 1996-2004 ; notons que pour 1989 nous avons calculé la date d'apparition des zoés 1 en retranchant 15 jours à la date de leur pic d'abondance qui s'est produit lors de la première mission. Quelle que soit la longueur des périodes testées (10, 20 ou 30 jours), on constate une meilleure corrélation pour les périodes incluses dans le mois de février et celles situées vers mars-avril et mai-juin (cases surlignées). Les températures du mois de janvier semblent en revanche n'avoir aucune influence sur la date d'apparition des zoés d'araignée ; la baisse sensible des coefficients de corrélation entre ces les périodes mars-avril et mai-juin pourrait s'expliquer par l'existence d'une période de diapause, quelques jours après la ponte, chez cette espèce (Wear, 1974), période pendant laquelle les œufs cessent de se développer indépendamment de la température de l'eau.

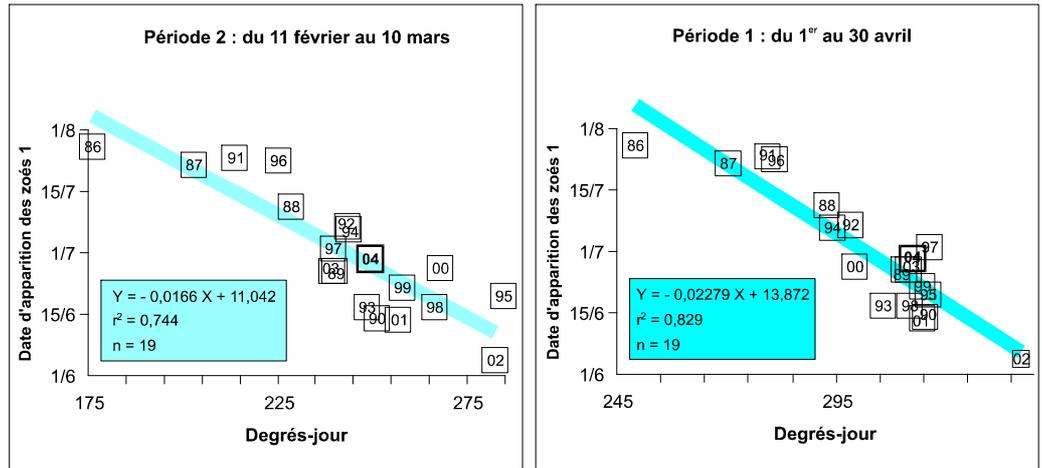
Tableau 5.1.- Coefficients de corrélation entre le nombre de degrés-jours à certaines périodes et la date d'apparition des zoés d'araignée au point 3.

	Janvier			Février			Mars			Avril			Mai			Juin
Début période testée	1	11	21	1	11	21	1	11	21	1	11	21	1	11	21	1
Périodes allant au 15 juin	0,82	0,84	0,85	-0,85	0,85	0,83	0,81	-0,82	0,82	0,78	0,78	0,52	0,74	0,73	0,69	0,63
Périodes de 10 jours	0,02	0,19	0,37	0,55	0,72	0,64	0,58	0,67	0,59	0,81	0,71	0,60	0,61	0,72	0,73	0,71
		0,30		0,67		0,68		0,66		0,81		0,70		0,76		
Périodes de 20 jours	0,05		0,49		0,73		0,63		0,75		0,73		0,71		0,73	
	0,19			0,71			0,66			0,83			0,75			
Périodes de 30 jours	0,41			0,74			0,75			0,75			0,76			
	0,62			0,69			0,79			0,75						

Il est bon de souligner que la corrélation est toujours meilleure pour la deuxième période sensible (avril) au cours de laquelle se produit la ponte et où débute l'incubation des œufs sous la femelle. La première période sensible est probablement liée à la maturation des ovaires. Rappelons à ce sujet que les femelles araignées vivant dans des secteurs situés plus au large à cette période de l'année, les températures mesurées à la centrale reflètent de façon moins précise la température réellement subie à cette période.

La figure 5.5 qui illustre pour les deux périodes les plus sensibles l'influence de la température de l'eau sur la date d'apparition des zoés, montre qu'avec une quantité de chaleur reçue moyenne en février et assez élevée en avril, l'année 2004 s'avère plutôt précoce pour l'éclosion des zoés d'araignée de mer.

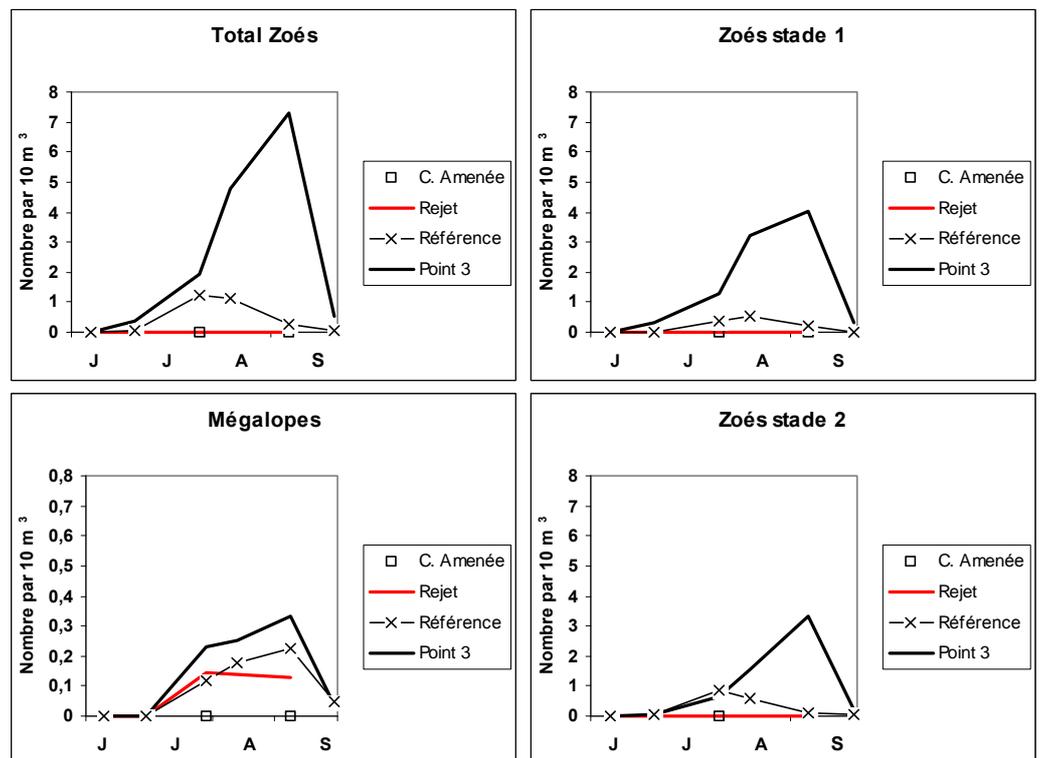
Figure 5.5 - Relation entre le nombre de degrés-jours calculé sur les deux périodes sensibles et la date d'apparition des zoés d'araignée de mer.



La courbe de variation de la densité de zoés stade 1 et celle des stades 2 (fig. 5.6) suggèrerait un pic d'abondance des stades 1 et donc d'éclosion entre mi-août et début septembre seulement, comme les années plus tardives.

La densité maximale de zoés relevée lors de ce pic (7,3 par 10 m³) est plus proche des valeurs modestes observées de 1990 à 1995, de 1998 à 2000 et en 2002 et 2003. L'année 1983 demeure exceptionnelle avec 61 zoés par 10 m³.

Figure 5.6 - Densité des différents stades larvaires d'araignée de mer *Maja brachydactyla*



La figure 5.6 confirme globalement ce qui a été observé antérieurement :

- la richesse en zoés du point 3 comparé aux autres points ; seul le point *référence* se caractérise par une abondance notable en zoés, parfois proche de celle du point 3 (en 1990, 1991, 1996 et 1998) ou qui la dépasse (en 2002) ; les densités maximales de mégaloopes sont toujours partagées entre les points 3 et *référence* qui montrent généralement des valeurs assez proches ;
- l'absence quasi régulière de larves d'araignée dans le canal d'amenée depuis 1989 après les deux premières années (1987 et 1988) où ce point a été étudié et où leur présence était notée au cours de toute la saison ;
- la faible quantité de larves aux alentours des bouches de rejet (de 0,07 à 1,7 par 10 m³) ; nous n'y avons pas observé de zoés cette année mais les mégaloopes pêchées du 28 juillet au 8 septembre atteignent une densité maximale (0,15 par 10 m³) très proche de la plus forte observée jusque-là (0,19 par 10 m³ en 1987).

5.1.3. Conclusion

Comme l'illustrent les figures 2.5 et 2.7 des pages 24 et 25, le début de l'année 2004 est marqué par un mois de janvier particulièrement chaud, le reste de l'hiver et le printemps étant plutôt doux à l'exception du mois de mars montrant une température moyenne inférieure à la moyenne obtenue depuis 1986. Ceci se retrouve sur la figure 5.5 où les aires en bleu clair représentant la quantité de chaleur reçue par les araignées de mer lors des deux périodes sensibles est, cette année, moyenne en février-mars et plutôt élevée en avril.

Il s'ensuit que les premières larves d'araignée ont éclos assez tôt, entre le 9 juin où aucune n'a été pêchée et le 29 juin où l'on en a trouvé quelques-unes. Le pic d'éclosion qui semble s'être produit entre le 12 août et le 8 septembre est en revanche plutôt tardif. La densité maximale relevée le 8 septembre (7,3 par 10 m³) rejoint les valeurs modestes notées de 1990 à 1995, de 1998 à 2000 et depuis 2002.

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

Les larves de homard semblent précoces cette année puisqu'aucune larve n'a été observée après le 29 juin ; un pic apparent se dessine à cette date mais, comprenant les trois stades zoés, il est difficile de parler de pic d'éclosion.

La densité maximale observée en subsurface (0,02 par 10 m³) est aussi faible que l'année précédente.

5.2 SURVEILLANCE DE LA PECHE COTIERE DES CRUSTACES

L'étude de Projet relative aux ressources halieutiques du site de Flamanville a mis en évidence l'intérêt de la pêche 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 PECHE PROFESSIONNELLE

5.2.1.1 Flottille

En 2004 la flottille est répartie de la façon suivante :

- 4 bateaux à Goury.
- 5 à Dielette.
- 20 à Carteret.

5.2.1.2 Activité

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

Les problèmes de ressources ainsi que la limitation du nombre de casiers par homme embarqué ont poussé les pêcheurs de crustacés à diversifier leur activité. Ceux qui possédaient une autre licence de pêche l'ont utilisée, quand aux autres, ils se sont reportés vers d'autres espèces. Ainsi pour les 19 caseyeurs à gros crustacés de la zone, 9 pratiquent simultanément le casier à bulot, 3 le casier à étrille, 2 le casier à seiche et 5 le filet à sole ou à raie.

L'effort de pêche 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.

On trouvera dans le tableau ci dessous les périodes d'activités des principaux métiers pratiqués par la flottille fréquentant la zone située aux alentours de la centrale de Flamanville. Les zones les plus sombres correspondent au plus fort des activités de 2003. D'une façon générale on peut indiquer que les métiers pratiqués par la flottille de l'ouest cotentin varient peut au cours du temps et que l'année 2004 (pas encore validée) doit être sensiblement identique à celle présentée ici.

Année 2003	Mois											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Métier												
Casier à crustacé	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Casier à bulot	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Trémail à raie		■	■	■	■	■	■	■	■			
Trémail à sole	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Maillant à araignée												
Chalut de fond	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Chalut a perche	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Drague à coquille	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Tableau 5.2 : Périodes d'activités des principaux métiers pratiqués par la flottille.

5.2.1.3 Production

Il est très difficile de se faire une idée précise des captures réalisées dans cette zone, de nombreux professionnels vendent en effet directement leur production ou ne remplissent pas de documents déclaratifs.

En 2003, les déclarations faites par les professionnels font apparaître une production d'environ 200 tonnes de crustacés. Le plus gros des apports est composé d'araignées et de tourteaux dont les poids débarqués sont respectivement de 109 et 74 tonnes. Le homard arrive en troisième position avec 32 tonnes.

La production de buccin reste aux environs de 1 000 tonnes sur l'ensemble du secteur Nord-Ouest Cotentin. D'autres espèces de mollusques tel que la coquille Saint Jacques, la seiche, le vanneau ou la praire situent leur production totale à 1 280 tonnes.

Les poissons sont essentiellement représentés par les différentes espèces de raies (122 tonnes) mais aussi par la petite roussette (74 tonnes) ou bien la sole (35 tonnes) pour ne citer que les plus importantes en quantité déclarée par les chalutiers et quelques fileyeurs.

On peut estimer la production totale de cette flottille à 1 940 T.

5.2.2 PECHES EXPERIMENTALES

En 2004, les pêches expérimentales aux casiers ont été réalisées au cours des mois de juin et septembre.

5.2.2.1 Matériel et méthode

Le principe de 15 points définis dans le secteur proche du site de la Centrale a été conservé (figure 5.8). Il faut noter la création en 2000 d'un cantonnement de 1,2 km² pour préserver une fraction du stock de homard à proximité du cap de Flamanville. Cette petite zone interdite à la pêche au casier, située aux abords de la centrale, fait partie intégrante du protocole d'échantillonnage des pêches expérimentales. Les filières 2 et 8 sont à l'intérieur de son périmètre, et trois autres (3, 9 et 13) sont en périphérie. Cette mesure de gestion se traduit par une augmentation des rendements de pêche ce qui introduit un biais dans la série historique des campagnes.

De façon à estimer le taux de recapture et de dispersion dans les secteurs limitrophes, tous les homards pêchés dans cette zone sont marqués d'un numéro avant d'être relâchés dans le cantonnement.

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

Les 15 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.

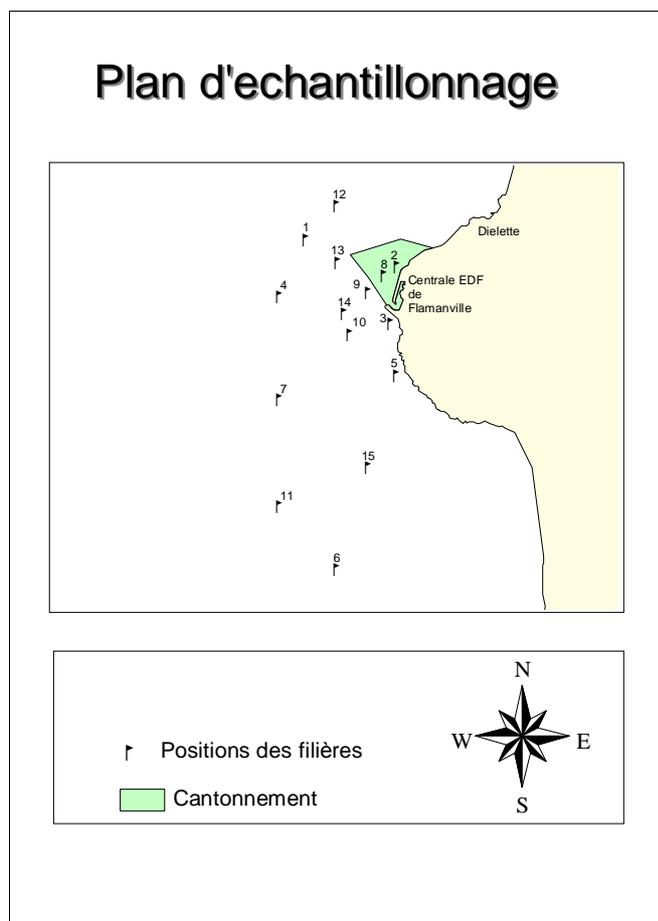


Figure 5.7 : Carte de positionnement des filières

Calendrier des sorties

Le tableau 5.3 indique les dates de campagne, le nombre de filières relevées chaque jour ainsi que le nombre de casiers.

Mission	Date	Nombre de filières	Nombre de casiers relevés
Juin	14	15	300
	15	15	300
	16	15	300
	17	15	300
Septembre	22	15	240
	24	15	300
	25	15	300
	26	15	300

Tableau 5.3 : Dates des campagnes 2004 et nombre de filières relevées

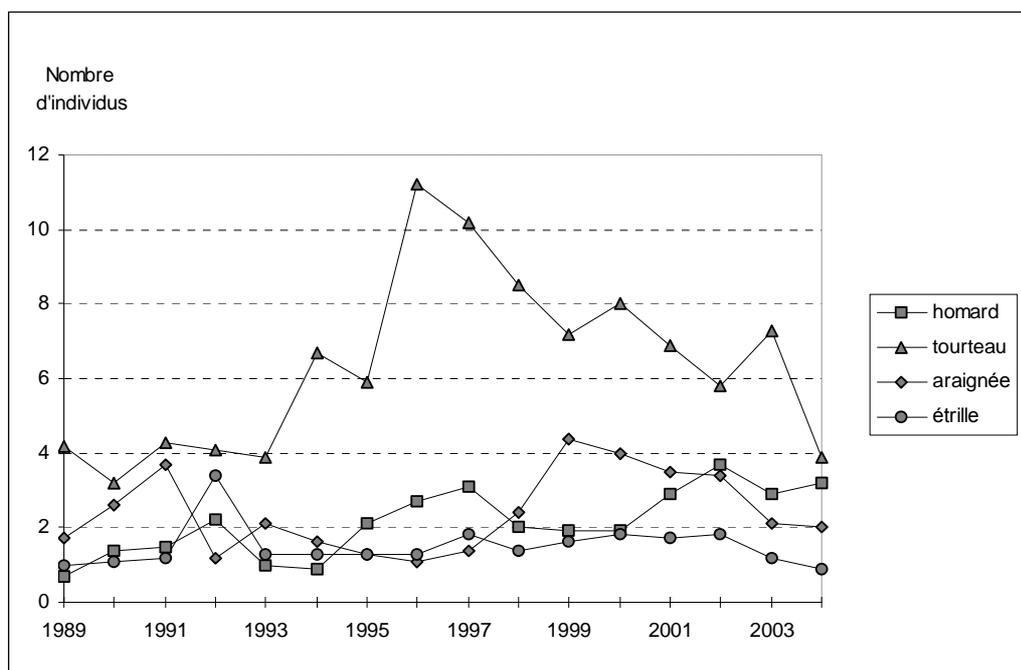


Figure 5.8 : Rendement en nombre d'individus pour 10 casiers

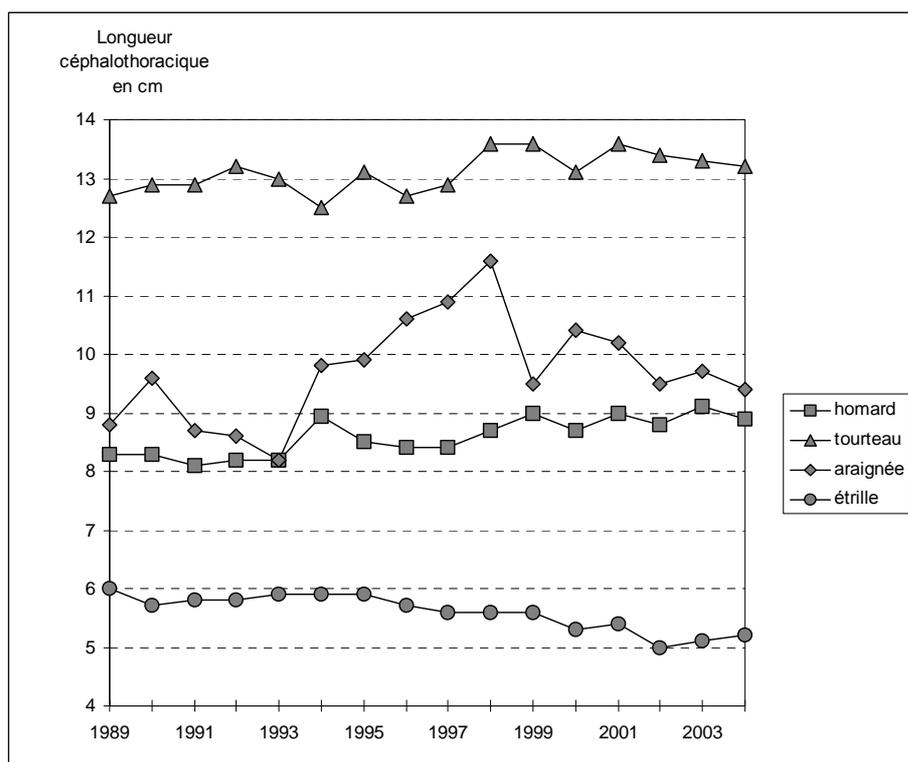


Figure 5.9 : Evolution des tailles moyennes

Observations réalisées

Les observations réalisées en 2004 reposent sur 2 340 casiers relevés (annexe 5.10). Le nombre d'individus capturés par casier est noté pour les espèces suivantes : homard, tourteau, araignée, étrille, buccin et paguridés. Les données biologiques prises en compte pour les crustacés (excepté les paguridés) concernent 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.

5.2.2.2 Principaux résultats

Les résultats de l'année 2004 présentés 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 2003.

Homard (annexe 5.5)

➤ Rendements (figure 5.8)

Les rendements (nombre d'individus pêchés pour 10 casiers relevés) observés en juin et septembre sont équivalents à ceux de 2003. Le rendement moyen calculé pour l'ensemble de la saison de pêche est de 3,2 individus pour 10 casiers. Les rendements des deux filières situées dans le cantonnement sont très nettement supérieurs au reste de la zone prospectée et participent pour 40 % à l'indice global. Ce dernier n'est en fait que de 2 individus pour 10 casiers hors réserve. La *figure A* (annexe page 176) présente une vue globale des rendements sur la zone et permet de mettre en évidence des captures plus importantes au sud du cantonnement. Les points situés à l'ouest représentent quant à eux des indices beaucoup plus faibles.

➤ Répartition des tailles (figure 5.9)

La taille moyenne des homards capturés en 2004 est de 9 cm (longueur céphalothoracique). Elle varie peu depuis 1998 et reste comprise entre 8,7 et 9,2 cm.

➤ Poids individuel

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 :

$$W = aL^b$$

avec W = poids (en g)
et L = longueur céphalothoracique (mm)

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

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

Le poids moyen des homards en 2004 est de 495 g contre 537 g en 2003.

➤ Proportion des sexes

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

Tourteau (annexe 5.6)

➤ Rendements (figure 5.8)

Depuis 1996 et malgré les légères améliorations de 2000 et 2003, les rendements mensuels calculés pour le tourteau sont passés de 11 à 4 individus pour 10 casiers. Il faut revenir à 1993 pour avoir un indice identique à celui de cette année. Les filières proches de la centrale donnent les rendements les plus élevés alors que celles situées dans le sud sont quasi nulles (*figure B*, annexe page 176). Il faut préciser que les filières de la réserve sont les moins productives.

➤ Répartition des tailles (figure 5.9)

La taille moyenne des individus capturés (largeur du céphalothorax) est de 13,2 cm. Elle n'a pas significativement variée depuis 1989.

➤ Poids individuel

Le poids moyen est calculé à partir des paramètres suivants :

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

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

Il est de 418 g sur l'ensemble des deux campagnes annuelles.

➤ Proportion des sexes

Le sex-ratio des captures est composé à 57 % de mâles.

Araignée (annexe 5.7)

➤ Rendements (figure 5.8)

Les rendements sont en diminution depuis 1999, soit cette année 2 individus pour 10 casiers (*figure 5.8*). Les captures les plus importantes sont observées, comme chaque année, sur des fonds sableux situés à l'ouest de l'anse de Scioto (*figure C*, annexe page 177).

➤ Répartition des tailles (figure 5.9)

La longueur céphalothoracique moyenne des araignées est de 9,4 cm. La sélectivité de l'engin utilisé ne permet pas la capture des gros spécimens, principalement des mâles, pêchés plutôt au filet fixe. Leur taille céphalothoracique dépassant le plus souvent les 15 cm.

➤ Poids individuel

Le poids moyen est calculé à partir des paramètres suivants :

* pour les individus immatures

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

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

* pour les individus matures

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

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

Il est de 318 g sur l'ensemble des deux campagnes annuelles.

➤ Proportion des sexes

La proportion de mâles est de 70 %.

Etrille (annexe 5.8)

➤ Rendements (figure 5.8)

Les rendements ont été divisé par deux en trois ans et passent de 1,8 à 0,9 individus pour 10 casiers. Les captures les plus importantes sont réalisées dans la partie sud de la centrale (figure D, annexe page 177).

➤ Répartition des tailles (figure 5.10)

La taille moyenne est de 5,2 cm .

➤ Poids individuel

Le poids moyen est calculé a partir des paramètres suivants :

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

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

Il est de 95 g sur l'ensemble des deux campagnes annuelles.

➤ Proportion des sexes

En 2004, comme lors des années précédentes, le sex-ratio est déséquilibré : 84 % des étrilles pêchées sont des mâles.

➤ Proportion d'individus mous

Le pourcentage d'individus mous est de 43 % en juin : valeur identique aux années passées.

Buccin et Paguridés (annexe 5.9 et figure 5.10)

Les filières situées au sud du cap de Flamanville (figure E et F, annexe page 178), ont généralement un fort poids sur la productivité globale. C'est dans cette zone que l'on trouve normalement les plus grosses quantités. Toutefois cette année, les captures y sont très faibles . On observe des indices annuels moyens de 1,1 individu pour 10 casiers pour le buccin et de 1,9 pour les paguridés.

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

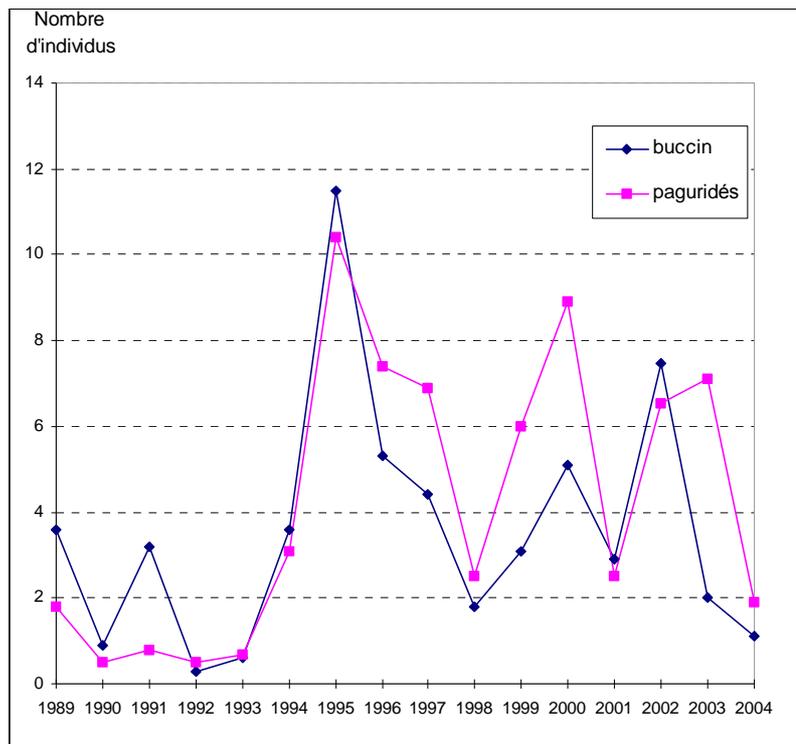


Figure 5.10 : Rendements en nombre d'individus pour 10 casiers.

Zone du Cantonnement :

Les filières 2 et 8, situées dans le cantonnement, ont respectivement des rendements de 10,9 et 8,2 homards pour 10 casiers. Ces valeurs représentent jusqu'à trois fois les indices globaux.

Sur les 157 homards capturés en juin, 136 ont été marqués pour la première fois. Nous avons recapturé pendant la campagne de juin 38 homards dont 17 matriculés pendant la même période.

Lors de la campagne de septembre, sur les 150 homards capturés, 110 l'ont été pour la première fois. Parmi ceux ci, deux ont été repêchés dont l'un trois fois. En outre, nous avons attrapé 40 homards qui avaient été marqués lors des campagnes précédentes.

La longueur céphalothoracique moyenne est supérieure (9,4 cm) à celle observée sur l'ensemble de la population capturée lors des deux campagnes. Elle est plus petite dans la filière 2, placée proche des enrochements de la centrale (Figure 5.6).

Les autres espèces de crustacés sont assez peu représentées dans nos captures.

5.2.3 CONCLUSION

Quatre ans après la création du cantonnement l'intérêt de la réserve n'est pas mis en évidence sur le reste de la zone. L'augmentation des rendements de pêche de homard reste cantonnée aux abords des enrochements de la centrale.

Toutefois dans cette zone protégée, un certain nombre de points peuvent être mis en avant :

- Le système de marquage utilisé permet d'identifier les individus recapturés même après la mue. 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.
- Malgré le nombre assez important de homards marqués, environ 510 individus en deux ans, le taux de recapture est faible. Celui ci est de 16 % si l'on tient compte des déclarations faites par les professionnels faisant état de 7 individus capturés dont 2 spécimens par des pêcheurs de Jersey et Guernesey.
- La taille moyenne est plus importante que dans le reste de la pêcherie.

Les autres espèces ne semblent pas bénéficier de l'effet réserve, les rendements sont même parfois inférieurs au reste de la zone. Tout particulièrement pour le tourteau qui semble disparaître des filières 2 et 8 depuis la création du cantonnement, par opposition à l'augmentation de la population de homard. Il est fort probable que cette dernière soit l'espèce de crustacé territorialement dominante dans cette zone.

Il faudra très probablement attendre plusieurs années avant de voir un échappement significatif et considérer le cantonnement comme un apport à la pêcherie locale. Les pêches de zooplanctons réalisées sur le site pourraient, peut être dans un premier temps, fournir une tendance sur l'évolution du nombre d'œufs ou de larves.

En dehors de ce périmètre, il faut noter que le rendement du tourteau baisse régulièrement depuis 1996 et que celui de l'étrille semble afficher la même tendance. La taille moyenne de ce petit crustacé ayant d'autre part fortement diminuée ces dix dernières années.

Mission	Date	Coeff. Marée	Point	Nuages	Sonde	Engin	Heure début (T.U.)	Durée	Temps après P.M.	Volume (m ³)	
169	9 Juin	60	Point 3	8	24	Bongo 1	17h 12	3mn	6h 15	148	
						Bongo 2	17h 20	2mn	6h 23	145	
						Neuston S	17h 28	14mn	6h 31	1977	
			C. Amenée	7	6	Bongo 1	15h 05	9mn	4h 08	77	
						Bongo 2	15h 11		4h 14	57	
						Neuston S	15h 16		4h 19	896	
			Rejet	6	16	Bongo 1	15h 4	3mn	4h 43	131	
						Bongo 2	15h 48		4h 51	120	
						Neuston S	15h 55		10mn	4h 58	1230
			Référence	8	22	Bongo 1	16h 20	3mn	5h 23	122	
						Bongo 2	16h 26		3mn	5h 29	129
						Neuston S	16h 35		15mn	5h 38	1768
170	29 Juin	61	Point 3	1	23	Bongo 1	9h 42	2mn	7h 07	119	
						Bongo 2	10h 01	15mn	7h 26	104	
						Neuston S	10h 08		7h 33	1520	
			C. Amenée	1	5	Bongo 1	7h 23		1mn	4h 48	31
						Bongo 2	7h 26	4h 51		27	
						Neuston S	7h 33	8mn		4h 58	844
			Rejet	0	13	Bongo 1	7h 56	1mn 30	5h 21	120	
						Bongo 2	8h 12		2mn 30	5h 37	93
						Neuston S	8h 16		12mn	5h 41	1582
			Référence	4	21	Bongo 1	8h 45	4mn	6h 10	111	
						Bongo 2	8h 56		6h 21	107	
						Neuston S	9h 03		15mn	6h 28	1689
171	28 Août	52	Point 3	7	25	Bongo 1	8h 19	4mn 30	6h 14	187	
						Bongo 2	8h 29	4mn	6h 24	158	
						Neuston S	8h 37	15mn	6h 32	1568	
			C. Amenée	8	5	Bongo 1	6h 12	2mn	4h 07	47	
						Bongo 2	6h 17		2mn	4h 12	48
						Neuston S	6h 25		10mn	4h 20	986
			Rejet	8	14	Bongo 1	6h 45	2mn 30	4h 40	109	
						Bongo 2	6h 52		2mn 30	4h 47	102
						Neuston S	7h 00		15mn	4h 55	1576
			Référence	8	23	Bongo 1	7h 30	3mn	5h 25	173	
						Bongo 2	7h 39		3mn	5h 34	149
						Neuston S	7h 45		16mn	5h 40	1408
172	12 Août	40	Point 3	8	26	Bongo 1	9h 01	4mn	5h 25	182	
						Bongo 2	9h 10	5h 34	142		
						Neuston S	9h 19	16mn	5h 43	1666	
			Référence	3	22	Bongo 1	10h 05	3mn	6h 29	164	
						Bongo 2	10h 14		6h 38	127	
Neuston S	10h 22	16mn	6h 46	1601							

173	8 Septembre	23	Point 3	0	26	Bongo 1	16h 00	4mn	3h 43	197		
						Bongo 2	16h 10		3h 53	196		
						Neuston S	16h 18		4h 01	1283		
		C. Amenée	0	7	Bongo 1	13h 52	1mn	1h 35	55			
					Bongo 2	13h 57	1mn	1h 40	72			
					Neuston S	14h 04	9mn	1h 47	1000			
		Rejet	0	16	Bongo 1	14h 24	2mn	2h 07	115			
					Bongo 2	14h 30	3mn	2h 13	120			
					Neuston S	14h 40		2h 23	1093			
		Référence	0	24	Bongo 1	15h 05	3mn	2h 48	149			
					Bongo 2	15h 12	3mn	2h 55	161			
					Neuston S	15h 20	15mn	3h 03	1302			
		174	29 Septembre	100	Point 3	7	30	Bongo 1	8h 17	4mn 30	1h 41	260
								Bongo 2	8h 24	4mn	1h 48	259
								Neuston S	8h 34	15mn	1h 58	2194
					Référence	7	27	Bongo 1	7h 20	4mn 30	0h 44	216
Bongo 2	7h 28							4mn 30	0h 52	212		
Neuston S	7h 36	15mn	1h 00	2287								

*Annexe 5.1.-
Caractéristiques des
prélèvements
effectués en 2004.*

Mission	Date	Point	Température (°C)		Δ°C		Salinité		Densité	
			Surf,	Fond	Surf,	Fond	Surf,	Fond	Surf,	Fond
169	9 Juin	Point 3	13,30	13,24			34,69	34,73	26,11	26,15
169		C. Amenée	14,24	14,11			34,46	34,64	25,74	25,91
169		Rejet	14,24	14,35	0,00	0,24	34,72	34,58	25,94	25,81
169		Référence	14,15	13,48			34,60	34,64	25,87	26,04
170	29 Juin	Point 3	14,93	14,88			34,83	34,83	25,87	25,89
170		C. Amenée	16,00	15,88			34,58	34,81	25,44	25,65
170		Rejet	18,23	15,95	2,23	0,07	33,40	34,68	24,01	25,53
170		Référence	15,54	15,53			34,65	34,81	25,60	25,73
171	28 Juillet	Point 3	16,29	16,15			34,32	34,69	25,18	25,49
171		C. Amenée	16,82	16,83			34,64	34,64	25,30	25,30
171		Rejet	18,80	18,21	1,98	1,38	34,40	34,72	24,63	25,02
171		Référence	16,91	16,46			34,67	34,66	25,30	25,40
172	12 Août	Point 3	17,97	17,94			34,38	34,55	24,82	24,96
172		Référence	17,79	17,74			34,51	34,54	24,97	25,00
173	8 Septembre	Point 3	17,74	17,53			34,53	34,52	25,00	25,04
173		C. Amenée	18,70	18,45			34,32	34,32	24,60	24,66
173		Rejet	21,02	19,00	2,32	0,55	34,40	34,40	24,27	24,72
173		Référence	18,10	17,77			34,45	34,44	24,85	24,92
174	29 Septembre	Point 3	16,40	16,43			34,60	34,64	25,37	25,39
174		Référence	16,57	16,53			34,61	34,54	25,33	25,29

*Annexe 5.2.-
Résultats des
mesures
hydrologiques
effectuées en
2004.*

Mission	Date	Point	Nuages	Engin	Total zoés	Zoés stade 1	Zoés stade 2	Zoés stade 3	Mégalo pes	
169	9 Juin	Point 3	8	Bongo 1						
				Bongo 2						
				Neuston S	0,005	0,005				
		C. Amenée	7	Bongo 1						
				Bongo 2						
				Neuston S						
		Rejet	6	Bongo 1						
				Bongo 2						
				Neuston S						
		Référence	8	Bongo 1						
				Bongo 2						
				Neuston S						
170	29 Juin	Point 3	1	Bongo 1						
				Bongo 2						
				Neuston S	0,007			0,007		
		C. Amenée	1	Bongo 1						
				Bongo 2						
				Neuston S	0,012		0,012			
		Rejet	0	Bongo 1						
				Bongo 2						
				Neuston S						
		Référence	4	Bongo 1						
				Bongo 2						
				Neuston S	0,018	0,012		0,006		
171	28 Juillet	Point 3	7	Bongo 1						
				Bongo 2						
				Neuston S						
		C. Amenée	8	Bongo 1						
				Bongo 2						
				Neuston S						
		Rejet	8	Bongo 1						
				Bongo 2						
				Neuston S						
		Référence	8	Bongo 1						
				Bongo 2						
				Neuston S						
172	12 Août	Point 3	6	Bongo 1						
				Bongo 2						
				Neuston S						
		Référence	3	Bongo 1						
				Bongo 2						
				Neuston S						

173	8 Septembre	Point 3	0	Bongo 1					
				Bongo 2					
				Neuston S					
		C. Amenée	0	Bongo 1					
				Bongo 2					
				Neuston S					
		Rejet	0	Bongo 1					
				Bongo 2					
				Neuston S					
		Référence	0	Bongo 1					
				Bongo 2					
				Neuston S					
174	29 septembre	Point 3	7	Bongo 1					
				Bongo 2					
				Neuston S					
		Référence	27	Bongo 1					
				Bongo 2					
				Neuston S					

Annexe 5.3.- Densité de larves de homard en 2004 (en nombre par 10 m³).

Mission	Date	Point		Mégalopes	Total zoés	Zoés stade 1	Zoés stade 2
169	9 Juin	Point 3	Bongo 1				
			Bongo 2				
			Moyenne				
		C. Amenée	Bongo 1				
			Bongo 2				
			Moyenne				
		Rejet	Bongo 1				
			Bongo 2				
			Moyenne				
		Référence	Bongo 1				
Bongo 2							
Moyenne							
170	29 Juin	Point 3	Bongo 1				
			Bongo 2		0,77	0,68	0,10
			Moyenne		0,39	0,34	0,05
		C. Amenée	Bongo 1				
			Bongo 2				
			Moyenne				
		Rejet	Bongo 1				
			Bongo 2				
			Moyenne				
		Référence	Bongo 1				
Bongo 2			0,09		0,09		
Moyenne			0,05		0,05		
171	28 Juillet	Point 3	Bongo 1	0,21	2,77	1,97	0,80
			Bongo 2	0,25	1,14	0,63	0,51
			Moyenne	0,23	1,96	1,30	0,65
		C. Amenée	Bongo 1				
			Bongo 2				
			Moyenne				
		Rejet	Bongo 1				
			Bongo 2	0,29			
			Moyenne	0,15			
		Référence	Bongo 1	0,23	1,56	0,52	1,04
Bongo 2			0,94	0,27	0,67		
Moyenne	0,12		1,25	0,39	0,86		

172	12 Août	Point 3	Bongo 1	0,22	5,60	4,01	1,59
			Bongo 2	0,28	3,94	2,47	1,48
			Moyenne	0,25	4,77	3,24	1,54
		Référence	Bongo 1	0,12	1,34	0,67	0,67
			Bongo 2	0,24	0,87	0,39	0,47
			Moyenne	0,18	1,11	0,53	0,57
173	8 Septembre	Point 3	Bongo 1	0,36	5,65	3,05	2,59
			Bongo 2	0,31	8,98	4,95	4,03
			Moyenne	0,33	7,32	4,00	3,31
		C. Amenée	Bongo 1				
			Bongo 2				
		Rejet	Bongo 1	0,09			
			Bongo 2	0,17			
			Moyenne	0,13			
		Référence	Bongo 1	0,14	0,40	0,20	0,20
			Bongo 2	0,31	0,19	0,19	
			Moyenne	0,22	0,30	0,19	0,10
174	29 Septembre	Point 3	Bongo 1	0,04	0,50	0,23	0,27
			Bongo 2	0,04	0,58	0,42	0,15
			Moyenne	0,04	0,54	0,33	0,21
		Référence	Bongo 1	0,05	0,09		0,09
			Bongo 2	0,05	0,05		0,05
			Moyenne	0,05	0,07		0,07

Annexe 5.4. Densité de larves d'araignée de mer en 2004 (en nombre par 10 m³).

JUN	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuvées	Longueur céphalothoracique moyenne (cm)	Poids moyen (g)	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	14	6	8		8.2	382	43%
filière 2	105	52	47	6	9.1	514	50%
filière 3	51	25	23	3	8.1	353	49%
filière 4	13	5	7	1	9.8	656	38%
filière 5	53	29	24		8.0	350	55%
filière 6	9	5	4		8.3	408	56%
filière 7	2	0	2		10.2	666	0%
filière 8	52	33	12	7	10.0	697	63%
filière 9	27	12	12	3	8.7	446	44%
filière 10	42	27	15		7.9	331	64%
filière 11	5	2	3		10.4	770	40%
filière 12	7	6	1		8.8	492	86%
filière 13	19	12	6	1	8.6	438	63%
filière 14	18	7	10	1	8.6	429	39%
filière 15	23	15	8		8.4	407	65%
Sous total	440	236	182	22	8.9	500	54%
SEPTEMBRE	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuvées	Longueur céphalothoracique moyenne (cm)	Poids moyen (g)	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	7	3	3	1	9.2	535	43%
filière 2	70	31	28	11	9.8	636	44%
filière 3	19	11	8		7.9	312	58%
filière 4	8	5	3		8.3	399	63%
filière 5	39	25	14		8.0	342	64%
filière 6	6	2	4		9.4	541	33%
filière 7	1	1			9.2	520	100%
filière 8	80	34	31	15	10.0	678	43%
filière 9	11	10		1	8.7	464	91%
filière 10	25	14	10	1	8.7	437	56%
filière 11	6	5	1		8.6	438	83%
filière 12	9	3	4	2	9.3	550	33%
filière 13	13	7	5	1	9.3	543	54%
filière 14	17	10	7		8.6	456	59%
filière 15	13	6	5	2	9.7	643	46%
Sous total	324	167	118	34	8.9	489	52%
Total	764	403	300	56	8.9	495	53%

Annexes 5.5 : Résultats des pêches expérimentales de homard en 2004

JUIN	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuvées	Largeur céphalothoracique moyenne	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	37	22	15	0	13.9	59%
filière 2	12	10	2	0	11.8	83%
filière 3	55	33	22	0	11.4	60%
filière 4	24	15	9	0	13.3	63%
filière 5	59	37	22	0	11.8	63%
filière 6	26	12	14	0	14.8	46%
filière 7	4	1	3	0	14.2	25%
filière 8	14	8	6	0	13.0	57%
filière 9	82	30	52	0	11.9	37%
filière 10	87	42	45	0	11.2	48%
filière 11	2	0	2	0	12.9	0%
filière 12	33	13	20	0	13.5	39%
filière 13	37	21	16	0	12.8	57%
filière 14	58	27	31	0	13.0	47%
filière 15	36	18	18	0	14.5	50%
Sous total	566	289	277	0	12.8	51%
SEPTEMBRE	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuvées	Largeur céphalothoracique moyenne	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	29	18	11	0	14.1	62%
filière 2	12	9	3	0	12.4	75%
filière 3	32	23	9	0	12.4	72%
filière 4	25	16	9	0	14.2	64%
filière 5	47	36	11	0	12.4	77%
filière 6	9	3	6	0	14.4	33%
filière 7	16	11	5	0	14.6	69%
filière 8	4	3	1	0	15.1	75%
filière 9	30	20	10	0	13.1	67%
filière 10	52	36	16	0	12.6	69%
filière 11	16	11	5	0	14.0	69%
filière 12	17	12	5	0	14.4	71%
filière 13	21	11	10	0	14.2	52%
filière 14	37	25	12	0	13.0	68%
filière 15	4	3	1	0	14.6	75%
Sous total	351	237	114	0	13.6	68%
Total	917	526	391	0	13.2	57%

Annexes 5.6 : Résultats des pêches expérimentales de tourteau en 2004

JUIN	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	7	7			9.1	0%	100%
filière 2	26	24	1	1	10.8	15%	92%
filière 3	28	23	1	4	10.3	14%	82%
filière 4	7	5	1	1	9.5	29%	71%
filière 5	16	14		2	10.7	31%	88%
filière 6	15	10	2	3	9.1	27%	67%
filière 7	27	24	1	2	10.1	7%	89%
filière 8	25	24		1	11.2	24%	96%
filière 9	5	5			11.2	40%	100%
filière 10	13	12	1		11.6	54%	92%
filière 11	21	17	2	2	9.4	14%	81%
filière 12	5	5			10.7	0%	100%
filière 13	8	8			10.5	13%	100%
filière 14	11	9	2		9.0	9%	82%
filière 15	15	10	3	2	10.7	27%	67%

Sous total	229	197	14	18	10.2	20%	86%
-------------------	------------	------------	-----------	-----------	-------------	------------	------------

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	16	1	9	6	9.2	31%	6%
filière 2	0	0	0	0		0%	0%
filière 3	1	1	0		7.6	0%	100%
filière 4	27	20	7		9.3	33%	74%
filière 5	2	1	1		6.0	0%	50%
filière 6	52	24	28		9.1	12%	46%
filière 7	47	26	19	2	9.3	23%	55%
filière 8	0	0	0	0		0%	0%
filière 9	2	1	1		4.4	0%	50%
filière 10	0	0	0	0		0%	0%
filière 11	33	19	14		11.0	42%	58%
filière 12	8	6	2		9.0	25%	75%
filière 13	15	11	4		9.5	20%	73%
filière 14	1	0	1		7.6	0%	0%
filière 15	15	8	7		7.1	7%	53%

Sous total	219	118	93	8	8.4	23%	54%
-------------------	------------	------------	-----------	----------	------------	------------	------------

Total	448	315	107	26	9.4	22%	70%
--------------	------------	------------	------------	-----------	------------	------------	------------

Annexes 5.7 : Résultats des pêches expérimentales d'araignée en 2004

JUN	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuées	Longueur céphalothoracique moyenne	Pourcentage d'individus mous	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	10	7	2	1	5.0	30%	70%
filière 2	6	6			5.7	50%	100%
filière 3	12	11		1	5.5	50%	92%
filière 4	2	2			4.9	0%	100%
filière 5	24	23	1		5.3	54%	96%
filière 6	8	6	2		5.2	50%	75%
filière 7	3	2		1	4.9	67%	67%
filière 8	4	4			5.4	100%	100%
filière 9	10	8	2		5.1	20%	80%
filière 10	35	33	2		5.1	49%	94%
filière 11	0	0	0			0%	0%
filière 12	14	8	2	4	5.0	43%	57%
filière 13	16	12	4		5.1	19%	75%
filière 14	3	3			5.0	33%	100%
filière 15	2	2			5.0	0%	100%

Sous total	149	127	15	7	5.2	43%	85%
-------------------	------------	------------	-----------	----------	------------	------------	------------

SEPTEMBRE	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuées	Longueur céphalothoracique moyenne	Pourcentage d'individus mous	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	2	1	1		5.4	0%	50%
filière 2	6	4	2		5.5	0%	67%
filière 3	1	1			5.8	0%	100%
filière 4	1	1			5.6	0%	100%
filière 5	13	13			5.1	0%	100%
filière 6	0	0				0%	0%
filière 7	1	0	1		5.6	0%	0%
filière 8	1	1			5.1	0%	100%
filière 9	8	7	1		5.3	0%	88%
filière 10	10	10			5.4	0%	100%
filière 11	4	2	2		4.8	25%	50%
filière 12	5	1	4		4.9	0%	20%
filière 13	3	2	1		5.1	0%	67%
filière 14	2	2			5.0	0%	100%
filière 15	2	2			5.0	0%	100%

Sous total	59	47	12	0	5.3	12%	80%
-------------------	-----------	-----------	-----------	----------	------------	------------	------------

Total	208	174	27	7	5.2	34%	84%
--------------	------------	------------	-----------	----------	------------	------------	------------

Annexes 5.8 : Résultats des pêches expérimentales d'étrille en 2004

	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	8	6	14	30	5	35
filière 2	80	80	160	0	0	0	1	1	2
filière 3	80	80	160	3	0	3	10	1	11
filière 4	80	80	160	15	6	21	76	5	81
filière 5	80	80	160	0	0	0	5	0	5
filière 6	80	60	140	35	8	43	34	0	34
filière 7	80	80	160	40	7	47	94	5	99
filière 8	80	80	160	2	0	2	6	0	6
filière 9	80	80	160	0	0	0	8	0	8
filière 10	80	80	160	0	0	0	0	0	0
filière 11	80	60	140	75	4	79	86	3	89
filière 12	80	80	160	15	0	15	18	2	20
filière 13	80	80	160	0	0	0	12	0	12
filière 14	80	80	160	1	0	1	20	0	20
filière 15	80	60	140	25	11	36	14	1	15
Total	1200	1140	2340	219	42	261	414	23	437

Annexes 5.9 : Résultats des pêches expérimentales autres espèces en 2004

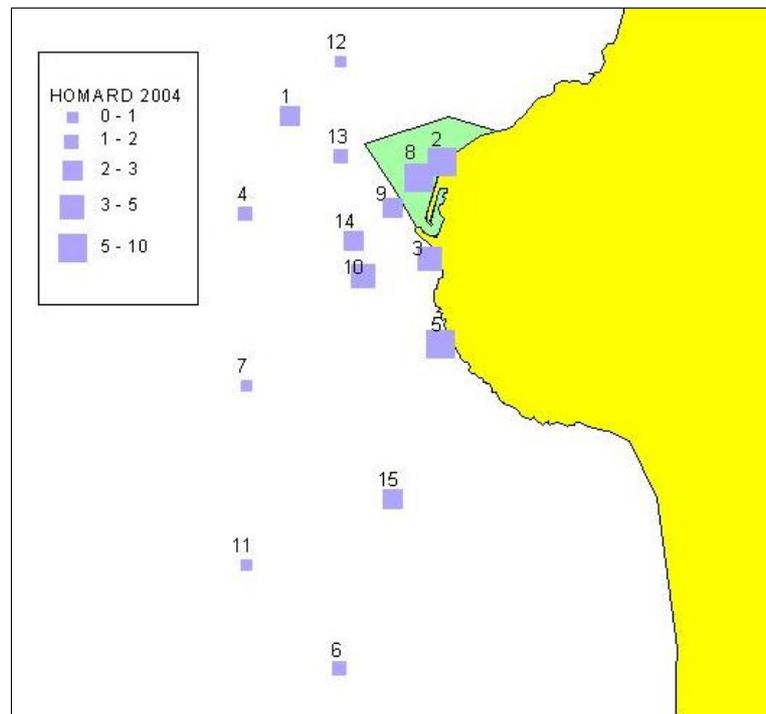


Figure A : Nombre de Homards pour 10 casiers

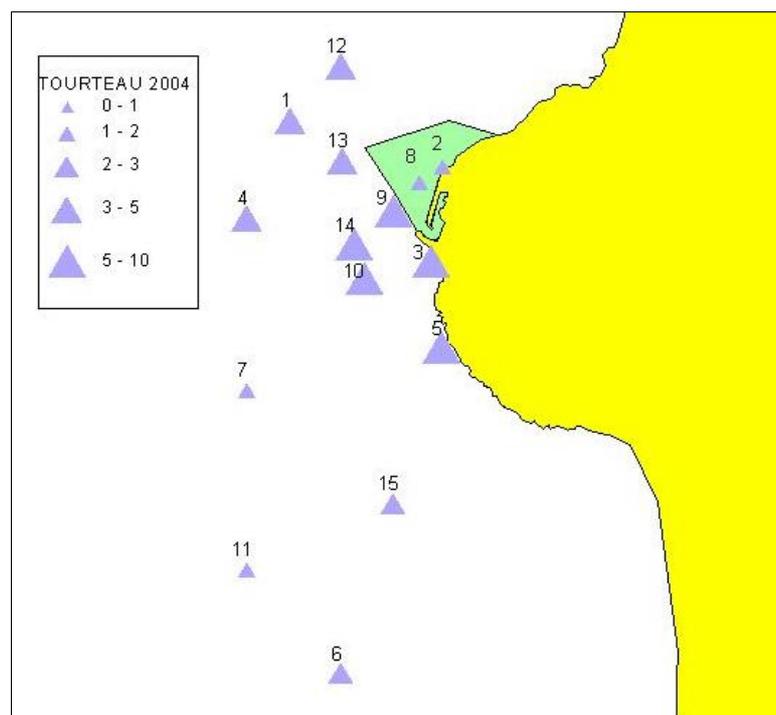


Figure B : Nombre de Tourteaux pour 10 casiers

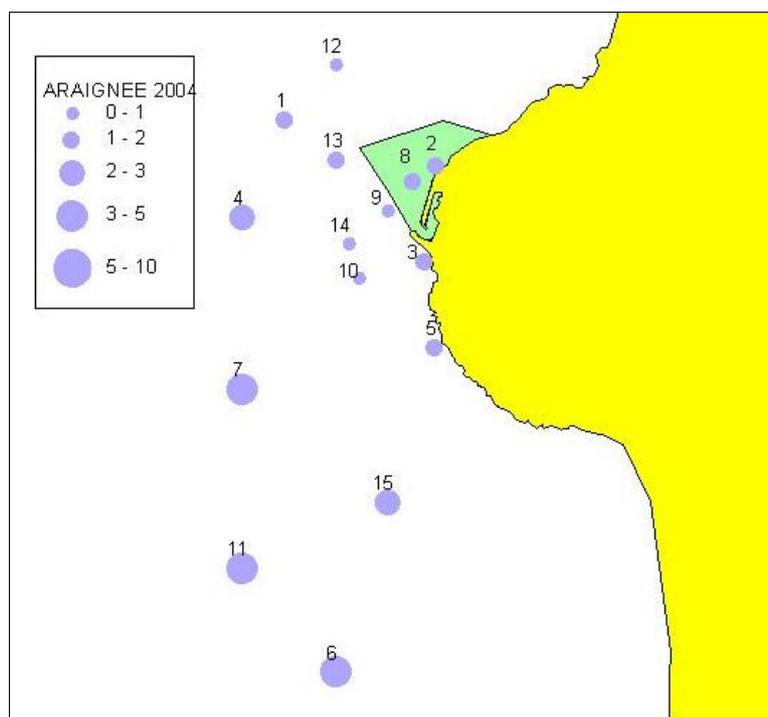


Figure C : Nombre d'Araignées pour 10 casiers

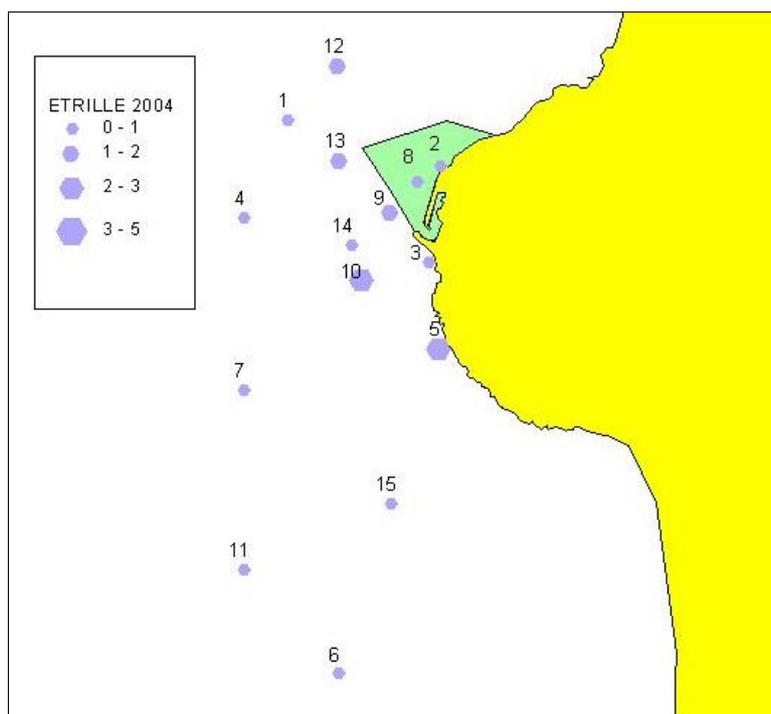


Figure D : Nombre d'Etrilles pour 10 casiers

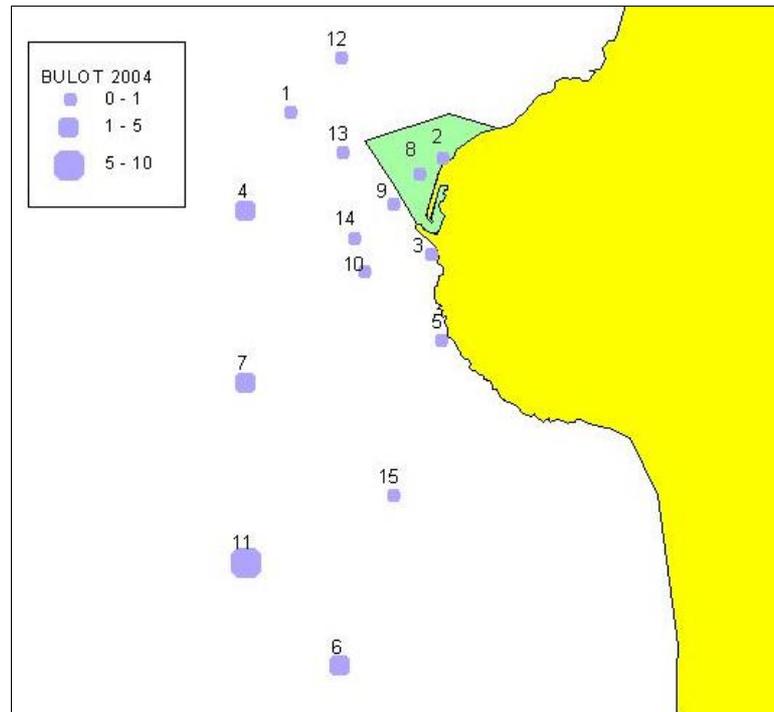


Figure E : Nombre de Bulots pour 10 casiers

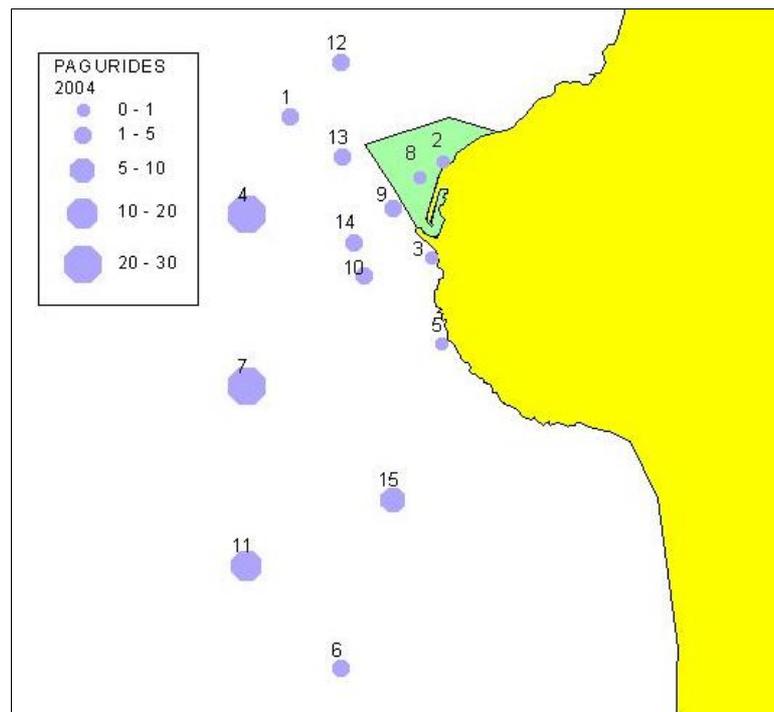


Figure F : Nombre de Paguridés pour 10 casiers

6. Conclusion

Au regard des données météorologiques acquises dans le nord du Cotentin depuis 1949, l'année 2004 se caractérise par :

- un déficit pluviométrique, phénomène observé pour la deuxième année consécutive ; le cumul annuel des précipitations est de 652 mm en 2004, inférieur au cumul moyen annuel de 713 mm enregistré sur l'ensemble de la période ;
- un excédent thermique, phénomène observé sans interruption depuis 1997 ; la température annuelle moyenne de l'air (12,26 °C), sans égaler la valeur maximale de l'année 2002 (12,58 °C) est bien supérieure à la moyenne des cinquante-six dernières années (11,50 °C).

La dernière décennie, comme les deux dernières périodes quinquennales, se caractérise par un fort excédent moyen tant thermique que pluviométrique.

Les valeurs de la température de l'eau de mer à proximité de la côte sont, dans ces conditions, également supérieures à la moyenne 1986-2004 au cours des quatre trimestres. L'excédent thermique moyen de l'eau sur l'ensemble de l'année 2004 est estimé à + 0,44 °C.j⁻¹, valeur à comparer au maximum enregistré en 2002 (+ 0,75 °C. j⁻¹) ou au minimum observé en 1986 (- 1,47 °C.j⁻¹).

Les résultats de la surveillance biologique et halieutique du site de Flamanville montrent, à quelques variations près s'expliquant par les fluctuations climatiques mentionnées ci-dessus, une stabilité des différents paramètres mesurés. Aucune variation significative provenant de l'effluent thermique et chloré n'est remarquée.

6.1. Le domaine pélagique

Hydrologie

Les résultats du programme de surveillance du site de Flamanville montrent en 2004, à l'instar des années précédentes, l'influence des conditions météorologiques sur les caractéristiques hydrologiques de la colonne d'eau.

Les mauvaises conditions météorologiques rencontrées lors des campagnes de juin et de septembre conduisent à des valeurs homogènes sur les mesures effectuées en surface et à mi profondeur, et plus particulièrement à des valeurs très élevées en matières en suspension en septembre.

Les nutriments mesurés lors des campagnes 2004 semblent avoir suivi un cycle saisonnier classique : consommation par le phytoplancton des sels nutritifs entre le printemps et l'été suite à l'augmentation de l'ensoleillement, suivi de processus de régénération en automne. Les

mesures de produits azotés au point *rejet* en juin suggèrent un apport d'ammonium par la centrale, mais sans dépasser toutefois les valeurs couramment observées dans ce secteur de la Manche.

Les données des 19 années de surveillance n'ont pas permis de déceler d'anomalie dans le cycle saisonnier des paramètres hydrologiques entre le point « référence », considéré comme n'étant pas influencé par les rejets de la centrale, et les points « rejet » et « canal ».

Phytoplancton

La biomasse chlorophyllienne, la production primaire et les abondances cellulaires montrent une évolution inter-annuelle, saisonnière et spatiale similaires. Le cycle phytoplanctonique annuel correspond au cycle classiquement décrit en Atlantique, avec des biomasses comprises en 2004 entre 0,8 et 4,5 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Les dénombrements microphytoplanctoniques sur le site de Flamanville montrent la régularité du phénomène au cours duquel la population de la période "hivernale", peu développée et dominée par *Thalassiosira*, est remplacée en été par une population constituée pour l'essentiel par des diatomées du genre *Rhizosolenia* (essentiellement *Rhizosolenia delicatula* et *R. fragilissima*). Les abondances par espèce et par station ne présentent pas de variation pouvant mettre en cause l'activité de la centrale. Leur évolution dans le temps ne semble pas non plus être différente de celle des eaux de l'Atlantique.

Nous ne pouvons donc pas conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu généré par l'activité de la centrale de Flamanville, à partir de l'étude du compartiment phytoplanctonique en 2004.

Zooplancton

L'étude du compartiment zooplanctonique en 2004 met en évidence de fortes biomasses en juin et septembre. L'échantillonnage du printemps présente de valeurs plus proches des médianes. L'étude de la série de valeurs observées depuis 1987 montre de plus fortes biomasse médianes au point *canal* au printemps et en été et la situation inverse lors des campagnes d'automne.

L'examen des populations zooplanctoniques ne permet pas de conclure à un impact sur le milieu proche des eaux chaudes rejetées par la centrale de Flamanville. Les valeurs des différents paramètres sont comprises dans les limites habituelles de variations observées depuis la mise en place de la surveillance de ce site.

Microbiologie

Les concentrations de germes tant totaux que revivifiables présentent une certaine stabilité depuis le début des études sur ce site, mettant en évidence la stabilité du système.

L'identification de vibrions halophiles confirme la dominance depuis 1995 de la souche de *Vibrio alginolyticus* dans les eaux proches de la centrale de Flamanville, avec des apparitions irrégulières en 2004 des souches de *Photobacterium damsela* et *Vibrio fluvialis*.

Trihalométhanes

Aucun des quatre composés recherchés n'a pu être détecté.

Bore

La concentration dans l'eau de mer de cet élément chimique est mesurée depuis septembre 2000 au droit de ce site. Les résultats obtenus montrent des concentrations non significativement différentes entre les différents points ; les valeurs aux rejets sont similaires, parfois inférieures, à celles mesurées à la côte et au large.

De septembre 2000 à septembre 2003, les valeurs varient de 3,86 mg.l⁻¹ à 5,26 mg.l⁻¹.

En 2004, la concentration du bore varie de 5,4 mg.l⁻¹ en mars, 4,3 mg.l⁻¹ en juin et 6 mg.l⁻¹ en juin. Ces concentrations sont sensiblement supérieures à la teneur normale du bore dans l'eau de mer (~ 4 mg.l⁻¹).

Ces résultats confirment toutefois le peu d'intérêt de mesurer cet élément dans le milieu marin.

MES

Les teneurs en MES mesurées au cours du programme de surveillance 2004 varient entre 2,9 et 28,6 mg.l⁻¹. Elles s'inscrivent dans la grande variabilité des valeurs de matières en suspension enregistrées sur ce site (de 0,8 mg.l⁻¹ à 26,6 mg.l⁻¹). Cette variabilité s'explique, d'une part par les conditions de marée (variation des coefficients), d'autre part par les conditions météorologiques (variation de la force et de la direction du vent).

Le constat est fait de MES plus importantes à la côte en hiver, au large au printemps et en fin d'été (à l'exception de septembre 2004). Les MES notées au niveau des rejets sont intermédiaires entre les valeurs à la côte et celles du large.

La mesure du paramètre MES est très pertinente dans certains secteurs du littoral, comme au droit du Pays de Caux (Manche-Est) par exemple. Par contre, au droit du site de Flamanville, l'étude de ce paramètre montre fort peu d'intérêt.

6.2. Le domaine benthique

Les principales conclusions des mesures réalisées en 2004 dans le compartiment benthique se rapportent aux observations :

Phytobenthos

- D'une forte dépopulation entre mars et septembre du lot bagué en mars.
- De la poursuite de la diminution du stock des algues *Fucus serratus* notée en 2003 ; l'examen de la tendance générale, tous secteurs confondus, montre une baisse importante de ce stock de 1983 à 1992, suivie d'une alternance de faible hausse et de stagnation ; en 2003 et 2004, ce stock est au plus bas sur ce site, retrouvant son état de 1991.
- D'un nombre important de pieds fertiles tant en fin de printemps (82 %) qu'en fin d'été (100 %) ; le taux global de fertilité varie de 19 % en mars à 66 % en septembre. Depuis 1999, les valeurs notées en juin sont élevées par rapport aux observations réalisées les années précédentes à la même période où les taux seraient normalement les plus faibles.

Zoobenthos

- D'un recrutement printanier des crustacés cirripèdes en relation avec la température moyenne de l'hiver (une température douce entraîne un recrutement faible). Au cours de la période 1983-2004 (22 années), les années étant classées par température croissante des minimaux hivernaux, l'année 2004 arrive en quinzième position dans ce classement. Le recrutement printanier est effectivement moyen, sensiblement inférieur à celui observé en 2003 à Quédoy et à Diélette, mais supérieur tant au Rozel qu'au sémaphore.
- Une évolution des densités de cirripèdes en lien avec ces recrutements printaniers.
- D'une présence largement dominante de l'espèce *Semibalanus balanoides*. Les deux espèces *Chthamalus stellatus* et *Chthamalus montagui* se développent surtout à Quédoy et au Sémaphore. Quant à *Elminius modestus*, sa présence reste minime et stable dans le secteur de Flamanville.

6.3. Le domaine halieutique

Larves de crustacés

Comme l'illustrent les figures 2.5 et 2.7 des pages 24 et 25, le début de l'année 2004 est marqué par un mois de janvier particulièrement chaud, le reste de l'hiver et le printemps étant plutôt doux à l'exception du mois de mars montrant une température moyenne inférieure à la moyenne obtenue depuis 1986. Ceci se retrouve sur la figure 5.5 où les aires en bleu clair

représentant la quantité de chaleur reçue par les araignées de mer lors des deux périodes sensibles est, cette année, moyenne en février-mars et plutôt élevée en avril.

Il s'ensuit que les premières larves d'araignée ont éclos assez tôt, entre le 9 juin où aucune n'a été pêchée et le 29 juin où l'on en a trouvé quelques-unes. Le pic d'éclosion qui semble s'être produit entre le 12 août et le 8 septembre est en revanche plutôt tardif. La densité maximale relevée le 8 septembre (7,3 par 10 m³) rejoint les valeurs modestes notées de 1990 à 1995, de 1998 à 2000 et depuis 2002.

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

Les larves de homard semblent précoces cette année puisqu'aucune larve n'a été observée après le 29 juin ; un pic apparent se dessine à cette date mais, comprenant les trois stades zoés, il est difficile de parler de pic d'éclosion. La densité maximale observée en subsurface (0,02 par 10 m³) est aussi faible que l'année précédente.

Surveillance de la pêche côtière des crustacés

Quatre ans après la création du cantonnement, l'intérêt de la réserve n'est toujours pas mis en évidence sur le reste de la zone. L'augmentation des rendements de pêche de homard reste cantonnée aux abords des enrochements de la centrale.

Toutefois dans cette zone protégée un certain nombre de points peuvent être mis en avant :

- Le système de marquage utilisé permet d'identifier les individus recapturés même après la mue. 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.
- Malgré le nombre assez important de homards marqués, environ 510 individus en deux ans, le taux de recapture est faible. Celui ci est de 16% si l'on tient compte des déclarations faites par les professionnels faisant état 7 individus capturés dont 2 spécimens par des pêcheurs de Jersey et Guernesey.
- La taille moyenne est plus importante que dans le reste de la pêcherie.

Les autres espèces ne semblent pas bénéficier de l'effet réserve, les rendements sont même parfois inférieurs au reste de la zone. Tout particulièrement pour le tourteau qui semble disparaître des filières 2 et 8 depuis la création du cantonnement versus l'augmentation du homard. Il est

fort probable que cette dernière soit l'espèce de crustacé territorialement dominante dans cette zone.

Il faudra très probablement attendre plusieurs années avant de voir un échappement significatif et considérer le cantonnement comme un apport à la pêche locale. Les pêches de zooplanctons réalisées sur le site pourraient, peut être dans un premier temps, fournir une tendance sur l'évolution du nombre d'œufs ou de larves.

En dehors de ce périmètre il faut noter que le rendement du tourteau baisse régulièrement depuis 1996 et que celui de l'étrille semble afficher la même tendance. La taille moyenne de ce petit crustacé ayant d'autre part fortement diminuée ces dix dernières années.

Un an après l'événement, le phénomène caniculaire du mois d'août 2003 n'a pas eu d'effets détectables sur les différents compartiments hydro-biologiques, suivis dans le cadre de cette surveillance du milieu marin.



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 encased 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.

ERICKSON, S. J. et FREEMAN, A. E., 1978 Toxicity screening of fifteen chlorinated and brominated compounds using four species of marine phytoplankton. In : *Water Chlorination*. vol. 2., 307-310. Jolley et al. Ed.

GENESTE C., 1999.- Infections à vibrions non cholériques : étude des cas survenus en France métropolitaine et identifiés par le Centre National de Références des vibrions et du choléra, de 1995 à 1998 . *Thèse de Doctorat en Médecine*, 74 pp.

GENTILHOMME, V., LIZON, F. 1998.- « Seasonal cycle of nitrogen and phytoplankton biomass in a well-mixed coastal system (Eastern English Channel). *Hydrobiologia*. 361 : 191-199.

GOHIN, F., DRUON, J-N., LAMPERT, L., 2002. « A five channel chlorophyll concentrations applied to SeaWiFS data processed by SeaDAS in coastal waters ». *Int. J. Remote Sensing*. Vol. 23 N°8, 1639-1661.

GOHIN, F., LAMPERT, L., GUILLAUD, J-F., HERBLAND, A., NEZAN, E., 2003. « Satellite and in situ observation of the late winter phytoplankton bloom, in the northern Bay of Biscay ». *Continental Shelf Research* 23, 1117-1141.

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 edit., 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 phytoplanctoniques 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).

MIOSSEC L., 2002.- Les vibrions pathogènes pour l'homme : le risque associé au milieu marin en France. *Rapport scientifique et technique Ifremer, RST. DEL/02.02/MIC*. 48 pp.

NICHOLS (J.H.), BENNET (D.B.) et LAWRENCE (A.), 1980.- A study of some problems relating to quantitative sampling of lobster larvae, *Homarus gammarus* (L.) - *Cons. int. Explor. Mer*, Comité des Crustacés, L:14.

PINGREE, R.D. & MADDOCK, L. 1977.- « Tidal residuals in the English Channel ». *Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom*, **57**, 339-354

QUERO, J.C. (coord.), 1998. Les fruits de la mer et plantes marines des pêches françaises. Ed. Delachaux et Nestlé, 256 p.

RAGUENEAU, O., DE BLAS VARELA, E., TREGUER, P., QUEGUINER, B., DEL AMO, Y. 1994. « Phytoplankton dynamics in relation to the biogeochemical cycle of silicon in a coastal ecosystem of western Europe ». *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **72**, 106-157.

RIOU, J. 1990.- « Modèle d'écosystèmes phytoplanctonique marin sur le littoral nord breton (Manche Occidentale) ». *Thèse de doctorat, Institut National polytechnique*, Toulouse

SALOMON, J.C., BRETON, M. & GUEGUENIAT, P. 1993.- « Computed residual flow through the Dover Strait ». *Oceanologica Acta*, **16**, 449-455

SHERMAN (K.) et HONEY (A.), 1971.- Size selectivity of the Gulf III and Bongo zooplankton Samplers.- *icnaf, research bulletin*, n°8 : 45-48.

SCHERRER, B. 1984.- « Biostatistique ». *Gaëtan Morin* (ed.) Québec. 850 pp.

SCHNACK (D.), 1974.- On the reliability of methods for quantitative surveys of fish larvae.- In : *The early life history of Fish*, Blaxter J.H.S. rédacteur, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York.

SIMPSON, J.H. & HUNTER, J.R. 1974.- « Fronts in the Irish Sea ». *Nature*, **1250**, 404-406

SMITH (E.), 1974.- Manual of methods for fisheries resource survey and appraisal.- Part 4, Standard techniques for pelagic fish eggs and larvae surveys.- National Marine Fisheries Service édit., Washington.

STEEMANN NIELSEN, E. 1951.- « Measurement of the production of organic matter in the sea » *Nature*, **167** : 684.

STEEMANN NIELSEN, E. 1952.- « The use of radioactive carbon (14C) for measuring organic production in the sea » *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.* **18** : 117-140.

TAPPIN, A.D., HYDES, D.J., BURTON, J.D. & STATHAM, P.J. 1993.- « Concentrations, distributions and seasonal variability of dissolved Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Pb and Zn in the English Channel ». *Continental Shelf Research*, **13**, (8/9) 941-969.

TAYLOR, A.H. & STEPHENS, J.A. 1983.- « Seasonal and year to year changes in the temperatures of the English Channel and the Southern North Sea, 1961-1976 : a budget ». *Oceanologica Acta*, **6**, (1) 63-72

UTERMOHL, H. 1958.- « Zur vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt. Int. Verein. Limnol.* 9 : 1-38.

VIOLEAU, D., DRIBAUT, P. 1997.- Centrale de Flamanville, calcul 3D d'impact thermique pour la configuration actuelle (2 tranches de 1300MW) ». Note technique EDF, Département Laboratoire National d'Hydraulique. 68 pp.

WEAR (R.), 1974.- Incubation in british Decapod Crustacea, and the effects of temperature on the rate and success of embryonic development.- *J. mar. biol. Ass. U.K.*, **54** (3) : 745-762.

* * *

SITE ELECTRONUCLEAIRE DE FLAMANVILLE

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

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

ROMAÑA A., SERET B. (coordinateurs), BELSHER T, CHARDY P., de LA SALLE P., ERARD E., HAMON D., JOUAN G., LAUREC A., RYCKAERT M. (1977). - Etude écologique de Projet – Site de Flamanville – 1^{er} Cycle. Rapp. CNEXO-UL, octobre 1977 :

- Vol. 1 : Rapport général, 260 p.
- Vol. 2 : Traitements mathématiques, 39 p.
- Vol. 3 : Annexes, 213 p.

CHARDY P., ROMAÑA A. (coordinateurs), ARNAL O., ARZUL G., BELSHER T., de LA SALLE P., ERARD E., GUILLAUMONT B., HAMON D., LE FEVRE-LEHOERFF G., LOARER R., RYCKAERT M., TOULARASTEL F. (1986). Etude écologique de Projet – Site de Flamanville – 2^e Cycle de Juin 1977 à Juin 1978. (Edition provisoire : rapp. CNEXO-ELGMM, juin 1979) Rapp. Ifremer DERO-86.22-EL

- Vol. 1 : Le domaine pélagique. Fasc. 1 : Rapport, 269 p. ; Fasc. 2 : Annexes, 168 p.
- Vol. 2 : Le domaine benthique. 221 p.

**RAPPORTS DE SURVEILLANCE
DU DOMAINE MARIN COTIER
PRODUITS PAR L'IFREMER DEPUIS 1983**

LEAUTE J.P. et C. LE BEC, 1984. - Etude de Surveillance écologique des ressources halieutiques, Site de Flamanville, Zooplanctonologie, **ANNEE 1983**. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, édit., Nantes, mai 1984, 182 p.

PIRIOU J.Y. et C. VIGIER, 1984. – Site de Flamanville, étude complémentaire, Biomasse algales, potentielles et en dérive. Rapp. CNEXO/DERO-86.21-EL, novembre 1984, 33 p. + annexes.

VERON G., D. MIOSSEC et P. NOEL, 1985. - Etude de Surveillance écologique des ressources halieutiques, Site de Flamanville, Surveillance de la pêche côtière. des crustacés, **ANNEE 1983**. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, édit., Nantes, janvier 1985, 151p.

- ARNAL O, T. BELSHER, C. CHEVALIER, L. DREVES, E. ERARD, P. GENTHEN, F. GRESSELIN, B. GUILLAUMONT, D. HAMON, R. LOARER, M. OBATON, J.Y. PIRIOU, J.Y. QUINTIN et P. WALKER, 1985.- Etude de Surveillance écologique sur le site de Flamanville, ANNEE 1983. Rapp. CNEXO/COB/DELGMM, mars 1985, 124 p.
- GENTHEN P., L. DREVES, E. ERARD-LE DENN, B. GUILLAUMONT, R. LOARER, A. MENESGUEN, J.Y. PIRIOU et J.Y. QUINTIN, 1986.- Surveillance écologique sur le site de Flamanville, ANNEE 1984. Rapp. IFREMER DERO-86.12 EL, 131 p.
- MARTIN J. 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. GENTHEN, 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/LR/05.02, mars 2005, 194 p.
