

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

Thème 4 – Ressources halieutiques, exploitation durable et valorisation

Luc DREVES

Luis LAMPERT - Jocelyne MARTIN

Chantal ABERNOT-LE GAC – Jean-Michel BRYLINSKI

Dorothee VINCENT - Jean-Dominique GAFFET - Ivan SCHLAICH

Mars 2006 - Rapport DOP/LER/06.02

Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Flamanville

Année 2005

Rapport scientifique annuel



Dunes de Biville

FICHE DOCUMENTAIRE

Type de rapport : RST (Rapports de résultats de recherches scientifiques et/ou techniques)	
Numéro d'identification du rapport : DOP/LER/06.02	date de publication : mars 2006
Diffusion : libre - restreinte- interdite	nombre de pages : 202
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 2005 – Rapport scientifique annuel</i>	
Titre traduit : <i>Ecological and fisheries monitoring of the Flamanville nuclear power plant - 2005</i>	
Auteur(s) principal(aux) : nom, prénom	Organisme / Direction / Service, laboratoire
DRÉVÈS Luc ABERNOT - LE GAC Chantal BRYLINSKI Jean-Michel VINCENT Dorothee GAFFET Jean-Dominique LAMPERT Luis MARTIN Jocelyne SCHLAICH Ivan	IFREMER / DOP / LER IFREMER / DOP / DCB / DYNECO/Benthos Université du Littoral Côte d'Opale Université du Littoral Côte d'Opale IFREMER / DOP / DCB / DYNECO/Benthos IFREMER / DOP / LER / LER-N IFREMER / DOP / DCN / EMH IFREMER / DOP / DCMMN / HMMN/RHPEB
Collaborateur(s) : nom, prénom DAGAULT Françoise	Organisme / Direction / Service, laboratoire Ifremer / DOP / LER / SM
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 IFREMER Centre de Nantes, B.P. 21 105, 44 311 Nantes Cedex 03 IFREMER Station de Port-en-Bessin, Av. du Général de Gaulle, 14 520 Port-en-Bessin IFREMER Station de Saint-Malo, BP 46, 35 402 Saint-Malo Cedex LABORATOIRE DEPARTEMENTAL Frank DUNCOMBE, 14 053 Caen Cedex LABORATOIRE MUNICIPAL ET REGIONAL DE Rouen, BP 4063, 76 022 Rouen Cedex LAPHY - Centre d'études et de recherches halieutiques, B.P. 89, 64 200 Biarritz</i>	
Responsable scientifique : <i>Luc DRÉVÈS - Ifremer / Brest / DOP / LER</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, 2005, N/O THALIA.</i>	

Résumé :

L'étude de surveillance n°23 du site électronucléaire de Flamanville (département de la Manche) concerne l'année 2005. Sont étudiés les domaines benthique, halieutique et pélagique. L'année 2005 est la 20^{ème} année de fonctionnement de la Centrale.

Abstract :

Monitoring n°23 of the Flamanville nuclear power plant takes into account studies conducted between March and September 2005. Impacts on hydrology, microbiology, phytoplankton, zooplankton, fisheries, intertidal phytobenthos and zoobenthos are reported. This power plant has been in operation for twenteen 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., Brylinski J., Vicent D., Gaffet J., Schlaich I., (2006) - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, année 2005 – Rapport scientifique annuel. Rapp. IFREMER RST.DOP/LER/06.02, mars 2006, 202 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 2005, régie par la commande de travaux EDF n° S62C5001,

- **L'état d'avancement** a été adressé à EDF le 12 juillet 2005 [Drévès L (coordinateur) *et al.* (2005).- Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, année 2005 – Etat d'avancement des travaux – Premier semestre. Rapp. Ifremer DOP/LER/05.03, juillet 2005, 34 p.]
- **L'édition provisoire** du rapport annuel a été remise à EDF début février. Les principaux résultats ont fait l'objet d'une présentation orale au cours de la réunion EDF-Ifremer tenue à Flamanville le 14 mars 2005.
- L'édition définitive du rapport scientifique annuel fait l'objet du présent document, prenant en compte les remarques formulées sur la version provisoire.

Sommaire

	PAGE
Préambule	9
Partie 1. Le fonctionnement de la Centrale de Flamanville et programme d'intervention d'Ifremer en 2005	
1.1. Fonctionnement de la centrale	13
1.2. Travaux réalisés par l'Ifremer	17
Partie 2. Les caractéristiques environnementales de l'année 2005	
2.1. Climatologie	21
2.2. Température de l'eau de mer	25
Partie 3. Le domaine pélagique	
3.1. Méthodologie	35
3.2. Hydrologie	35
3.3. Phytoplancton	67
3.4. Zooplancton	83
3.5. Microbiologie	101
Partie 4. Le domaine benthique	
4.1. Phytobenthos	117
4.2. Zoobenthos	131
Partie 5. Le domaine halieutique	
5.1. Larves de crustacés	153
5.2. Surveillance de la pêche côtière	165
Annexes	176
Partie 6. Conclusion	189
Bibliographie	194
Liste des rapports d'études publiés depuis 1976	199

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 2005, 20^{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 et Jean-Dominique Gaffet**, 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 ;
- **Jean-Michel Brylinski et Dorothee Vincent**, Université du Littoral Côte d'Opale, pour le zooplancton, en collaboration avec le LAPHY de M. Jean d'Elbée.

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)

**1 Fonctionnement
du C.N.P.E. de Flamanville
et programme d'intervention de
l'Ifremer au cours de l'année 2005**

Luc Drévès

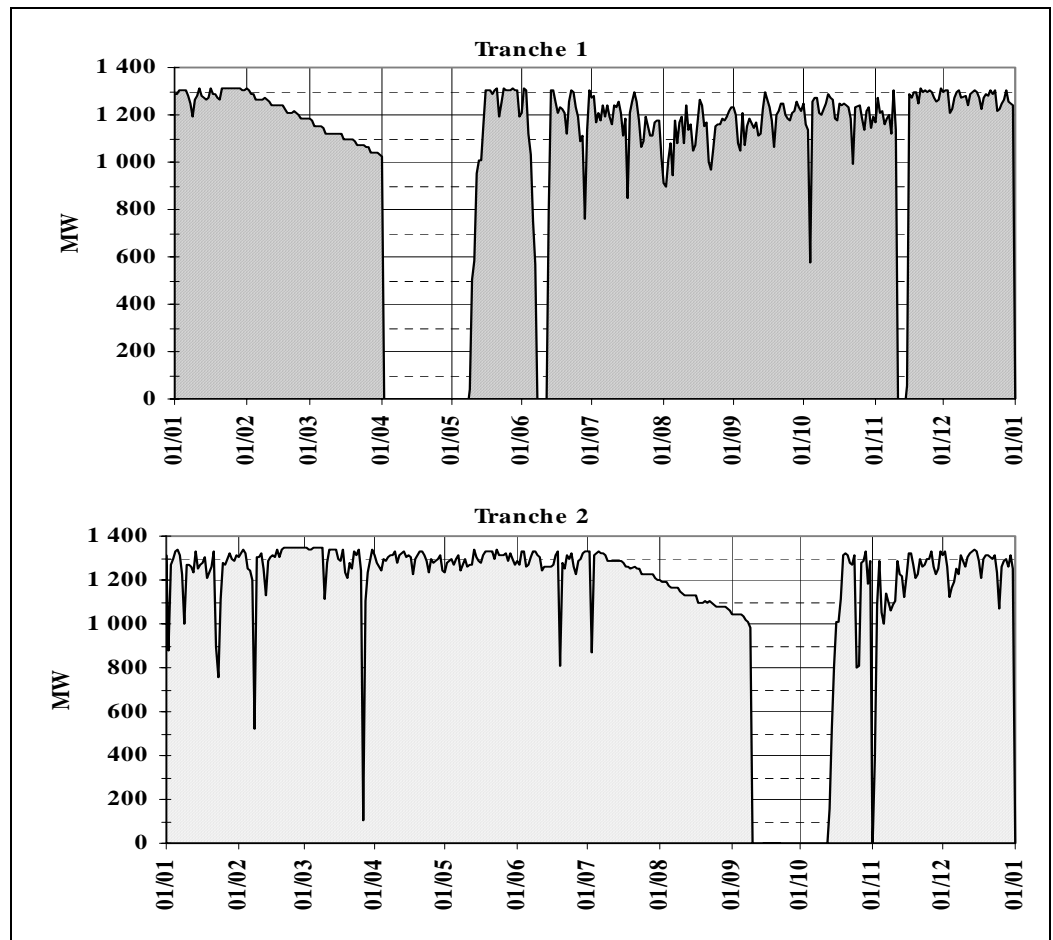
1.1 Fonctionnement de la Centrale

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

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

L'année 2005 est la vingtième année de fonctionnement de la centrale de Flamanville, la vingt troisième année consécutive des études de Surveillance menées par l'Ifremer.

Les principaux arrêts de tranches ont eu lieu du 2 avril au 9 mai en tranche 1, du 11 septembre au 12 octobre en tranche 2 (figure 1.1).



Le relevé quotidien, effectué par EDF (à 16 h), de la température de l'eau de mer dans le canal d'amenée (à l'entrée des pompes) et à la sortie des deux condenseurs, est transmis chaque mois à l'Ifremer. Un premier traitement de ces données est présenté sous forme graphique (figures 1.2 et 1.3). Les arrêts de tranche se traduisent par une diminution de la température de l'eau de mer à la sortie du condenseur de la tranche concernée.

Figure 1.2 : Évolution de la température journalière (à 16 h) de l'eau de mer dans le canal d'amenée du C.N.P.E. de Flamanville au cours de l'année 2005, comparée à la moyenne journalière enregistrée depuis 1986.

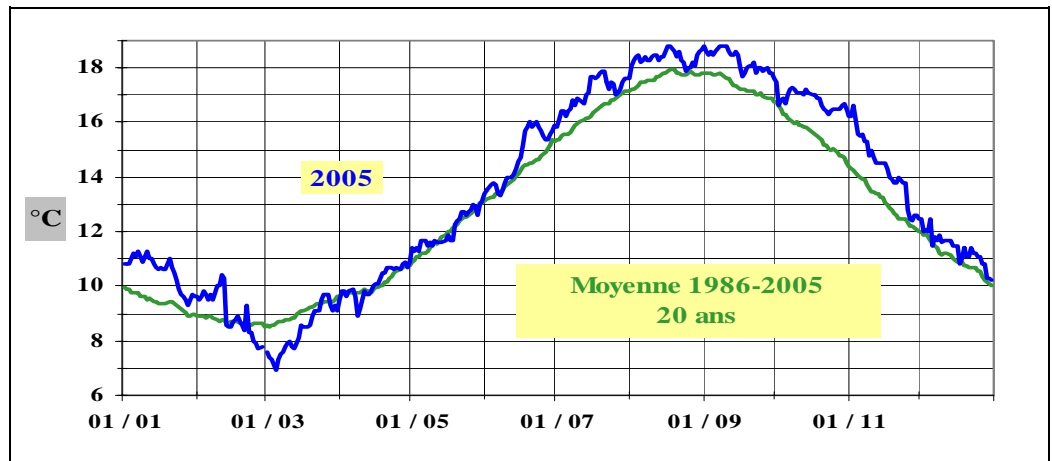
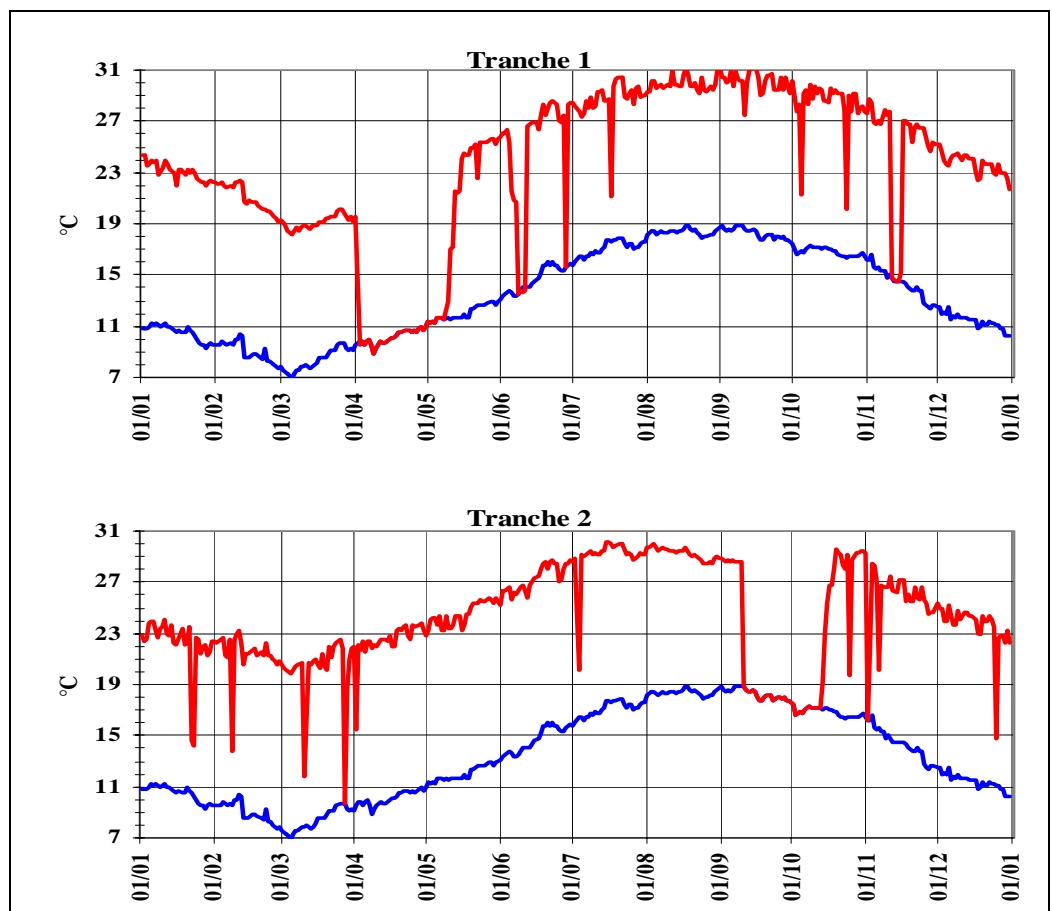


Figure 1.3 : Comparaison de la température de l'eau de mer entre le canal d'amenée et la sortie des condenseurs des tranches 1 et 2, au cours de l'année 2005.



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

Figure 1.4 : Écarts journaliers moyens de la température de l'eau de mer entre la sortie des deux condenseurs et le canal d'aménée, au cours de l'année 2005.

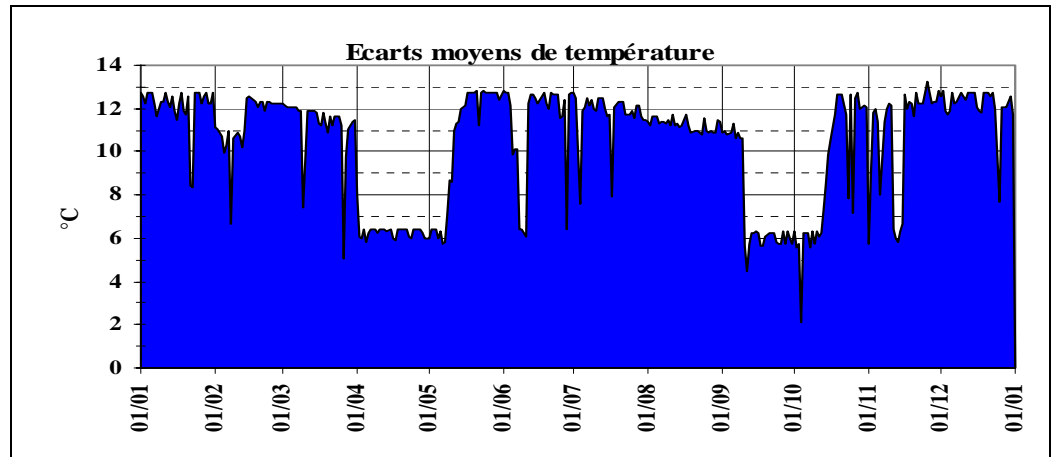
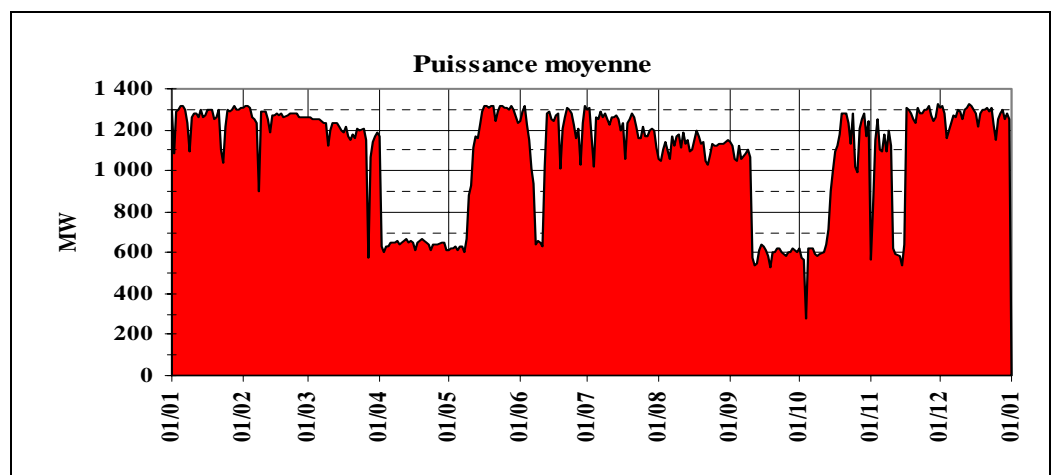


Figure 1.5 : Puissance nette moyenne du CNPE de Flamanville au cours de l'année 2005.



La procédure antisalissure par électrochloration a fonctionné jusqu'au 21 janvier (tranche 1), puis à compter du 8 mai en tranche 1, du 12 avril en tranche 2.

Comme l'indique le tableau 1.1 ci-dessous, 392 tonnes de chlore ont ainsi été injectées dans les circuits de refroidissement au cours de l'année 2005.

T chlore	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Total
Tranche 1	19,7	0	0	0	23,7	17,4	30,4	30,5	29,5	30,4	29,0	26,2	236,8
Tranche 2	0	0	0	0	29,6	28,6	30,4	30,5	11,2	18,7	6,0	0	154,9
Total	19,7	0	0	0	53,3	45,9	60,9	60,9	40,7	49,1	35,0	26,2	391,7

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 2005.

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

Année	Cumul de janvier à juin	Cumul annuel
1987	100,8	520
1988	59,1	580
1989	189,6	570
1990	104,0	805
1991	60,4	365
1992	29,5	191
1993	5,2	209
Moyenne 87-93		463

Modification du protocole suite à l'élaboration du DARPE EPR

Année	Cumul de janvier à juin	Cumul annuel
1994	80,1	243
1995	117,4	371
1996	52,7	173
1997	27,6	266
1998	138,3	428
1999	82,7	256
2000	83,7	327
2001	100,2	408
2002	74,7	308
2003	120,0	260
2004	49,1	382
2005	118,8	392
Moyenne 94-05		318

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

Depuis 1994, les années extrêmes sont :

- pour le premier semestre, 1997 (28 tonnes) et 1998 (138 tonnes) ;
- pour le cumul annuel, 1996 (173 tonnes) et 1998 (428 tonnes).

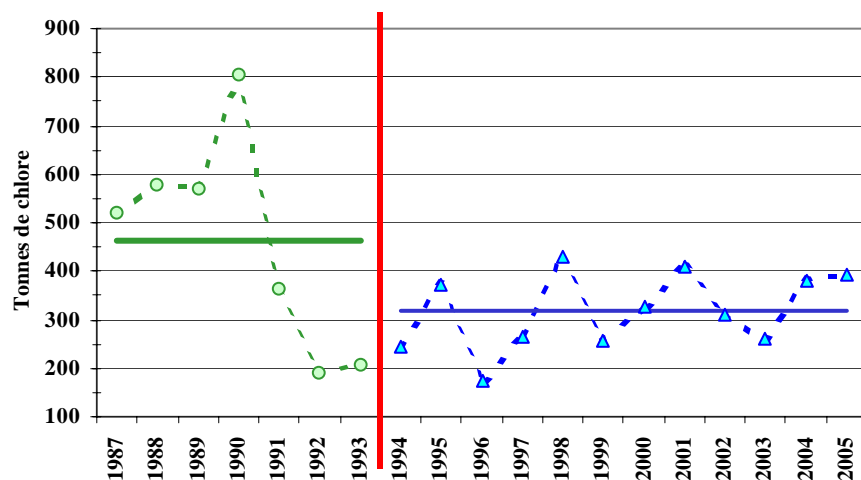


Figure 1.6 : Evolution du tonnage annuel de chlore injecté à Flamanville comparée à la moyenne annuelle depuis 1987.

1.2 Travaux réalisés par l'Ifremer

Les travaux réalisés au cours de l'année 2005 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.

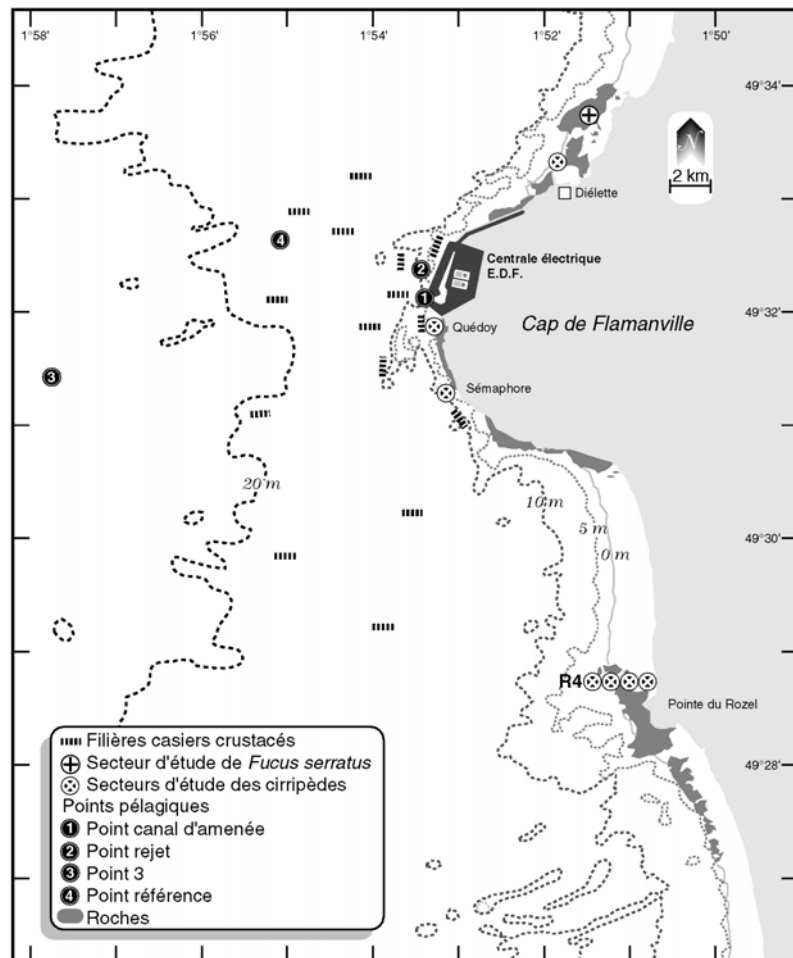


Figure 1.7 : Carte des abords de Flamanville, indiquant les points de prélèvements échantillonnés par Ifremer

2004	Points de prélèvements	Paramètres étudiés	Nombre de répliquats à chaque point	Dates missions
DOMAINE PELAGIQUE	Référence	Température M.E.S. Bore	Référence 1 à -10m Rejet 1 subsurf. C.amenée 1 subsurf.	19/03
Hydrobiologie		Salinité Haloformes	1 subsurface 2 subsurface	
Phytoplancton		Sels nutritifs NH4	Référence 2 subsurf. 2 à -10m	
Zooplancton		Chlorophylle Phaeopigments Production primaire Identification des espèces	Rejet 4 subsurf. C.amenée 4 subsurf.	
Microbiologie		Biomasse Composition chimique (carbone, azote) Identification des espèces	6 WP2 congelés (2 triples) 1 WP2 formolé	
	Canal d'amenée	Dénombrement des - germes totaux - germes viables Recherche des vibrions halophiles	Référence 4 Rejet 2 C.amenée 2	
DOMAINE BENTHIQUE	Platier de Diélette	<i>Fucus serratus</i> - Biométrie - Longueur - Nbre de dichotomies - Fertilité - Diamètre du thalle	10 pieds tous les 10 m. sur chaque radiale	09-10/03 [23-24/06*] 17-19 / 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	09-10/03 [23-24/06*] 17-19/09
	Points 2, SEM, QUEDOY, Diélette	- Étude de recolonisation	Par point : quadrats (3x25)cm ²	
DOMAINE HALIEUTIQUE	[Point 3] Référence Rejet Canal d'amenée	Densité des larves d'araignée et homard - température - salinité	2 Bongo 1 Neuston surface	14/06 12/07 02/08 17/08 30/08 14/09
Zooplancton et Hydrologie Suivi de l'exploitation	N.O. Cotentin	Recueil d'informations sur la pêche professionnelle		
et de la biologie des espèces commerciales	15 points (1 filière par point)	Pêches expérimentales - pour homard, tourteau, araignée, étrille (longueur, sex-ratio) - autres espèces (présence)	4 levées des 15 filières d'au moins 20 casiers	13-16/06 /09

Tableau 1.3 :
Récapitulatif de
l'activité réalisée par
l'Ifremer au cours de
l'année 2005 devant
le C.N.P.E. de
Flamanville

* hors contrat

2 Les caractéristiques environnementales de l'année 2005

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 89,6 mm de hauteur moyenne d'eau. La période la plus sèche s'étend d'avril (44,6 mm) à août (44,1 mm), avec une valeur moyenne mensuelle minimale en juillet (39,1 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 1949-2005 est de 712 mm, variant de 430 mm en 1953 à 1001 mm en 1994.

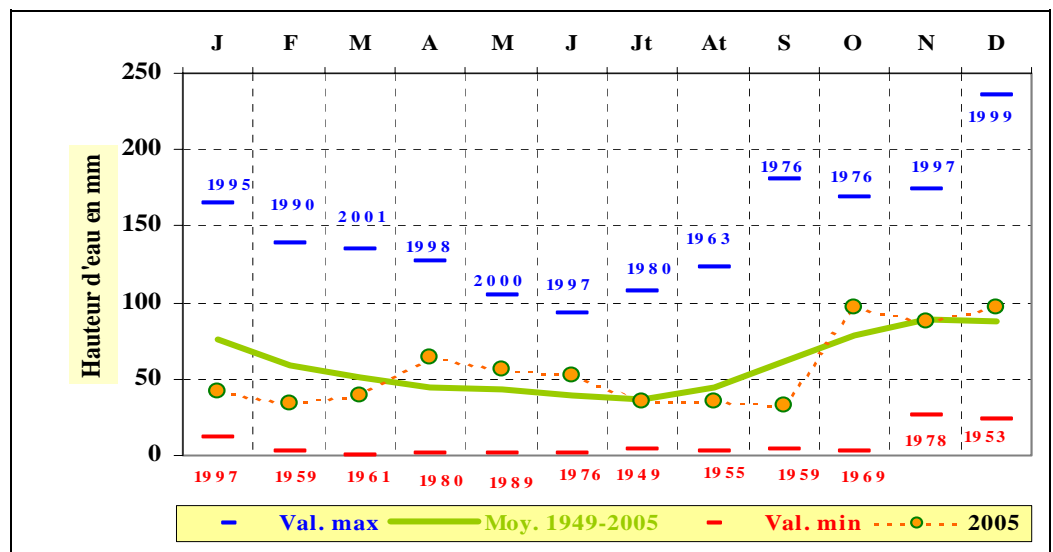


Figure 2.1 : Pluviométrie mensuelle au sémaphore de La Hague en 2005, comparée aux moyenne et valeurs extrêmes mensuelles obtenues depuis 1949.

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

L'observation des périodes quinquennales montre une hausse des précipitations encore plus importante. Ainsi, le cumul moyen annuel augmente de 133 mm entre les périodes 1984/1988 (669 mm) et 1994/1998 (802 mm). Pour la période 1999/2003, la plus humide, ce cumul moyen

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

² Altitude : 61 m ;

annuel est de 810 mm, soit près de 25 % supérieur à la période 1954/1959 la plus sèche (648 mm) !

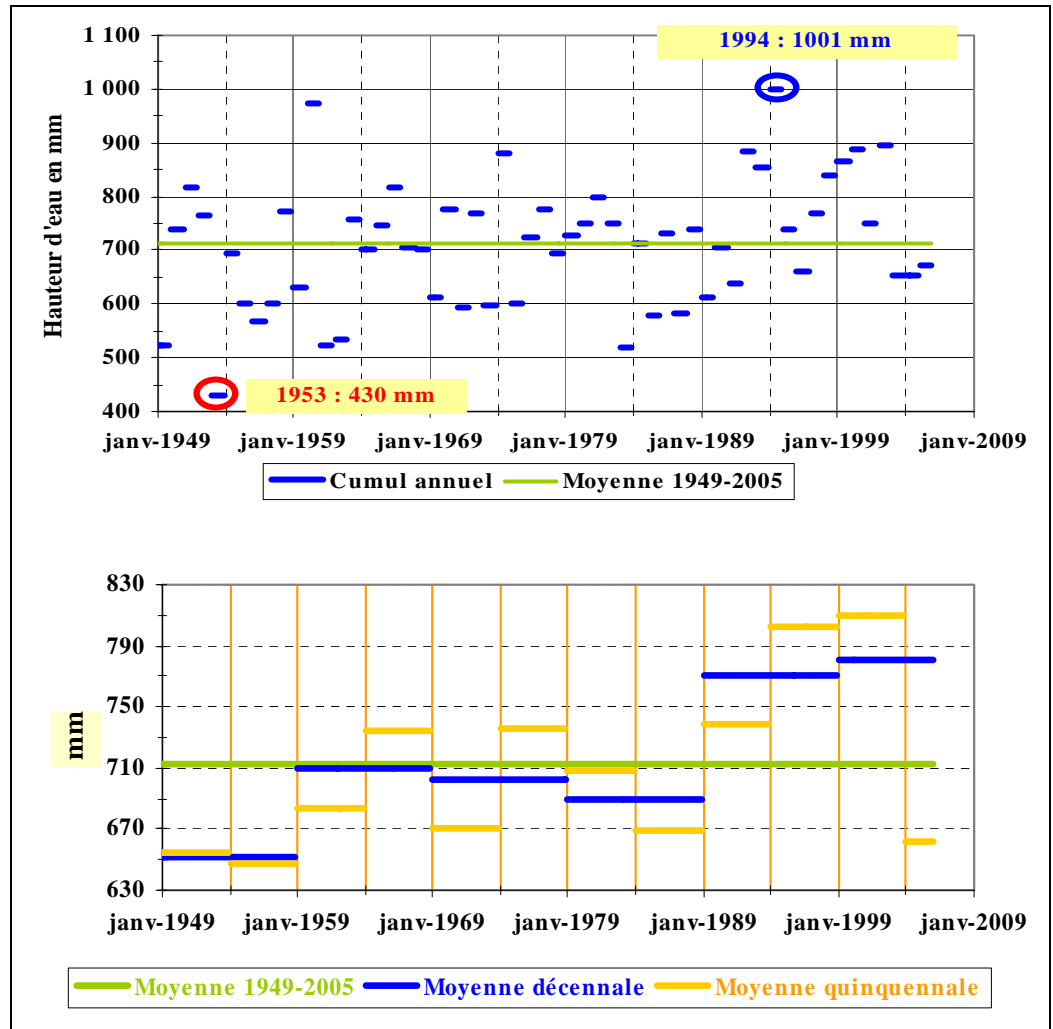


Figure 2.2 : Pluviométrie au sémaphore de La Hague de 1949 à 2005. Comparaison des cumuls annuels, quinquennaux et décennaux au cumul moyen annuel observé sur la totalité de la période.

A noter les trois années déficitaires (2003, 2004 et 2005) succédant à six années excédentaires (1997-2002).

2.1.2 Insolation

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

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

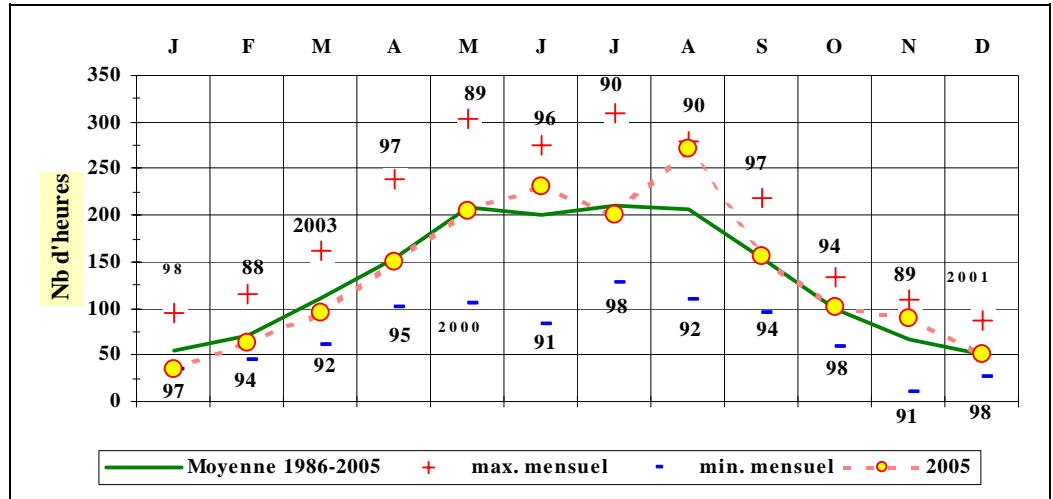


Figure 2.3 : Insolation mensuelle à Valognes au cours de l'année 2004, comparée aux moyenne et valeurs extrêmes mensuelles obtenues depuis 1986.

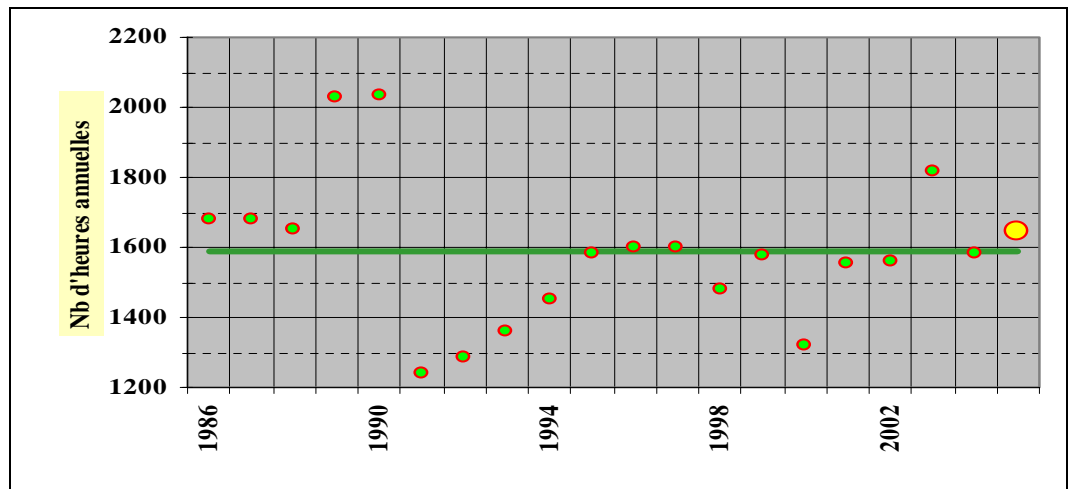


Figure 2.4 : Insolation annuelle à Valognes depuis 1986, comparée à la moyenne annuelle obtenue sur la totalité de la période.

2.1.3 Température de l'air

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

Sur la période 1949/2004, la température moyenne annuelle est de 11,51 °C, avec un écart thermique moyen de 10,19 °C entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud. L'année la plus chaude est 2002 avec une température moyenne annuelle de 12,58 °C, succédant à 1999 (12,51 °C) et 1989 (12,43 °C) ; la plus froide, 1963 avec 9,99 °C. Le plus grand écart thermique entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud d'une même année est noté en 1987 avec 14,1 °C ; le plus faible en 1974 avec 8,9 °C.

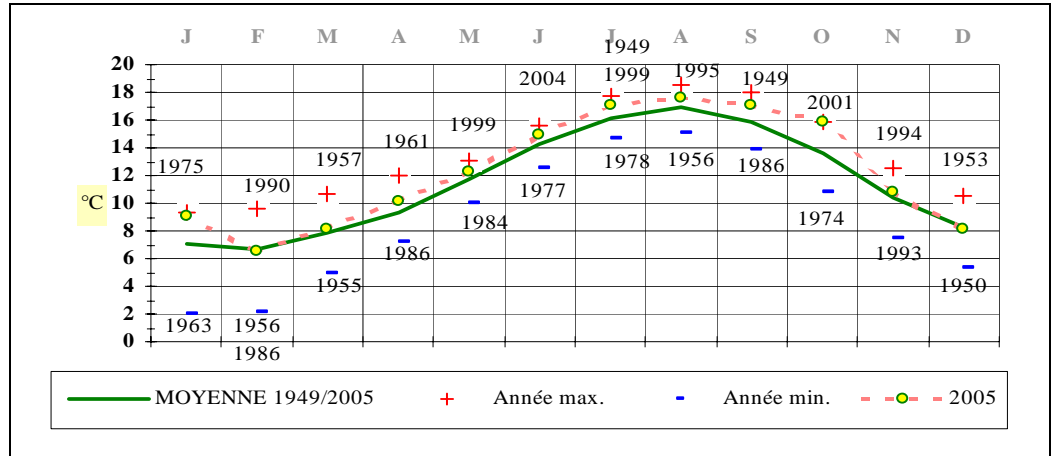


Figure 2.5 : Température mensuelle moyenne de l'air à La Hague au cours de l'année 2005, comparée aux moyenne et valeurs extrêmes mensuelles enregistrées depuis 1949.

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

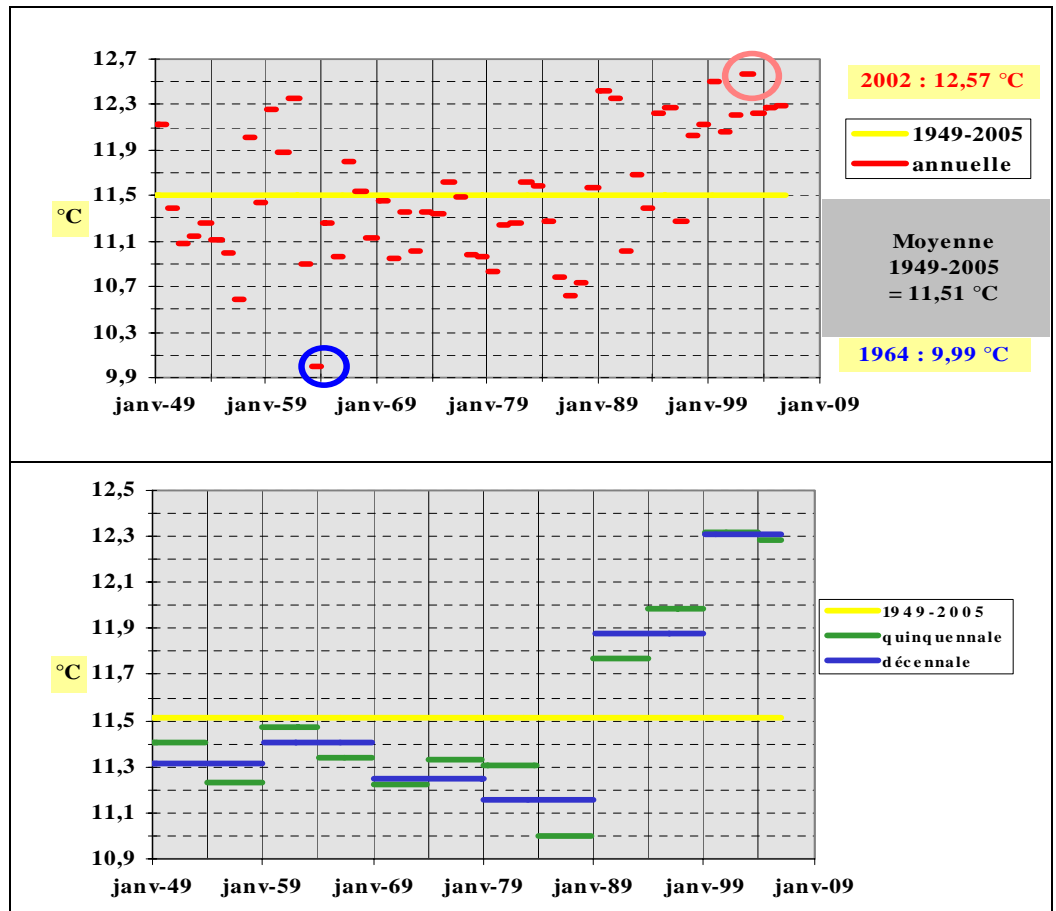


Figure 2.6 : Température de l'air au sémaphore de La Hague de 1949 à 2005. Comparaison des moyennes mensuelles calculées sur 1, 5 et 10 ans, à la moyenne sur la totalité de la période.

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

2.1.4 Caractéristiques de l'année 2005

L'année 2005 se caractérise par :

- Un cumul des précipitations (672,32 mm, proche des 652 mm enregistrés en 2003 et 2004) inférieur au cumul moyen enregistré depuis 1949 (712 mm). Un premier et un troisième trimestres déficitaires alternent avec un second et quatrième excédentaires par rapport aux normales saisonnières.
- Une insolation annuelle moyenne (1643 heures) légèrement supérieure à la moyenne enregistrée depuis 1986 (1587 heures).
- Une température moyenne annuelle de l'air (12,30 °C) supérieure à la moyenne enregistrée sur la période 1949-2005 (11,51 °C). A l'exception des mois de février et décembre, les moyennes mensuelles sont supérieures aux normales saisonnières. Aucune valeur extrême, maximale ou minimale, n'est enregistrée en 2005.

2.2 Température de l'eau de mer

Depuis 1986 (soit 20 années de mesures), EDF effectue un relevé quotidien (à 16h00) de la température de l'eau de mer dans le canal d'amenée. Le résultat des levés réalisés au cours de l'année 2005 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 (8,73 °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 (17,67 °C) est observé en août, oscillant entre 16,28 °C en 1986 et 18,44 °C en 2003. La température moyenne annuelle est de 12,88 °C, les extrêmes étant 11,37 °C en 1986 et 13,61 °C en 2002.

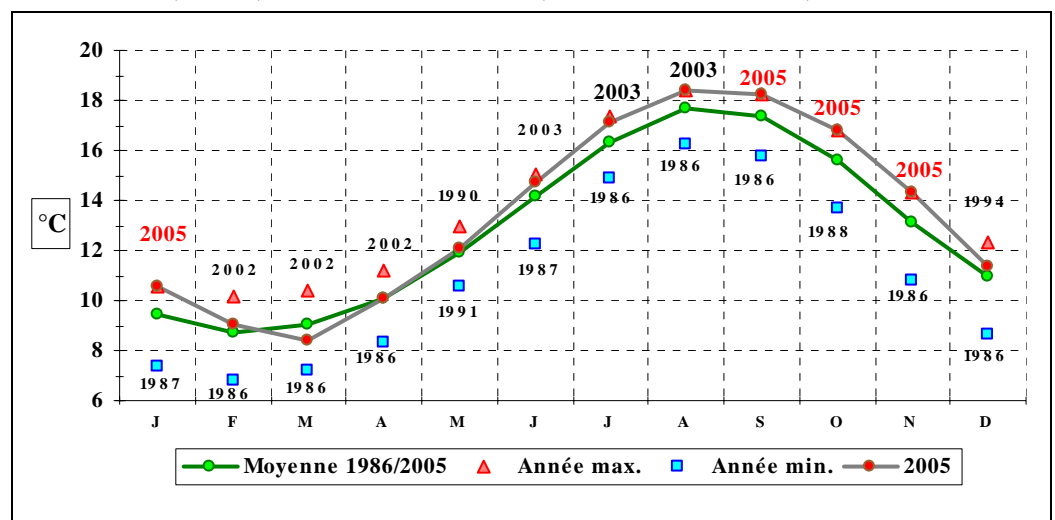


Figure 2.7 : Évolution de la température moyenne mensuelle de l'eau de mer dans le canal d'amenée du CNPE de Flamanville en 2005, comparée aux moyenne et valeurs extrêmes mensuelles enregistrées depuis 1986.

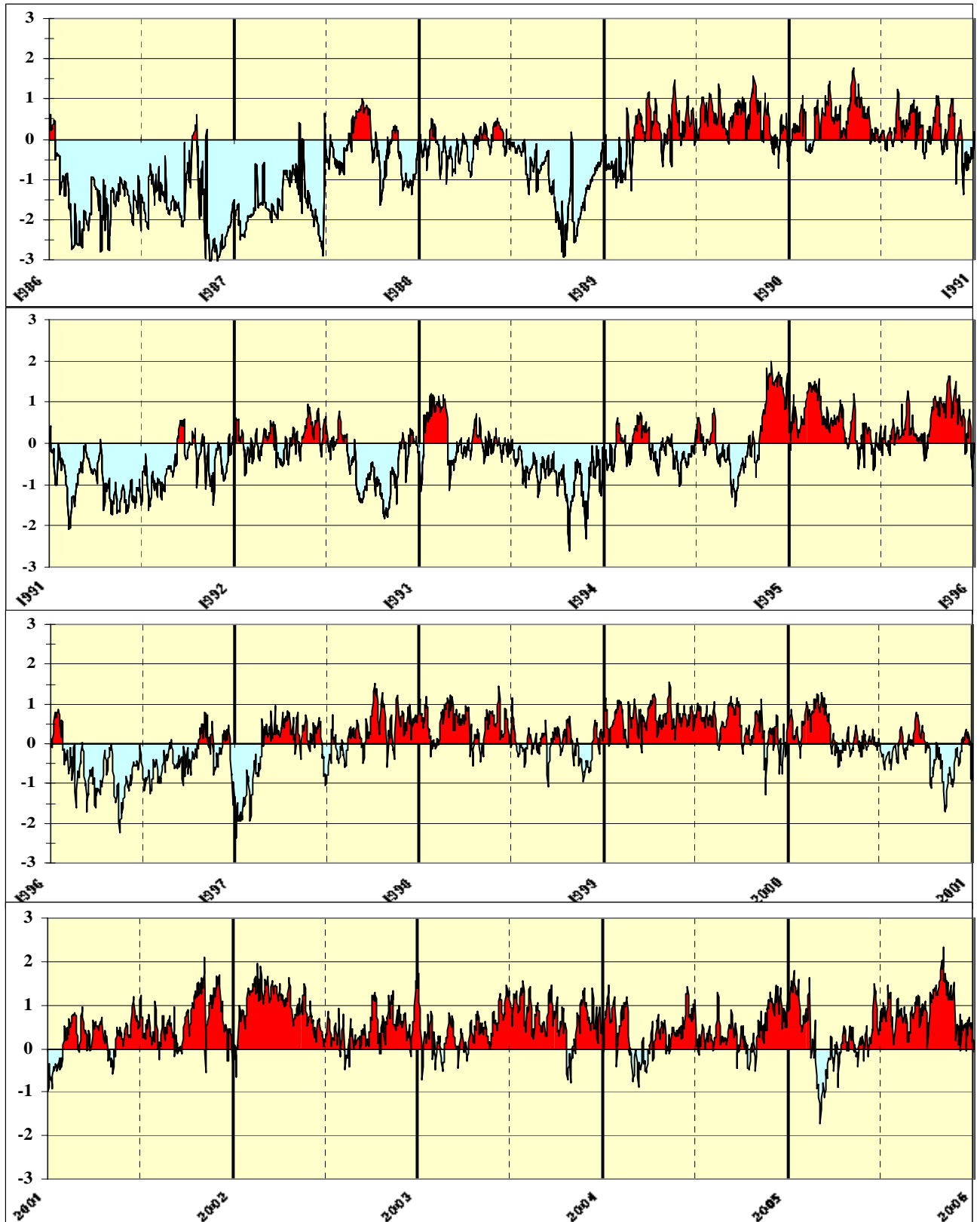


Figure 2.8 : Flamanville - Anomalies de la température de l'eau de mer – Écart journalier, en °C, à la moyenne quotidienne (moyenne du jour estimée sur la période 1986 – 2005).

Au cours l'année 2005, comme en 2004, seul le mois de mars présente une valeur mensuelle moyenne inférieure à la moyenne saisonnière sur la période 1986-2005. L'année 2005 se caractérise toutefois par de nouvelles valeurs mensuelles moyennes, en janvier tout d'abord, puis en septembre, octobre et novembre. La température journalière a varié de 6,9 °C le 5 mars à 18,8 °C les 17 et 18 août, 1^{er} septembre, puis du 7 au 10 septembre.

Pour un jour donné, l'écart journalier à la moyenne quotidienne estimée au cours de ces 19 années est calculé. Les valeurs oscillent entre - 3,26 °C (les 14 et 15/11/1986) et + 2,35 °C (le 03/11/2005). La représentation graphique de ces anomalies journalières permet de visualiser la dominante thermique d'une année donnée (figure 2.8), 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 2005 (+ 0,56 °C.j⁻¹).

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

Tableau 2.1 : Bilan thermique moyen journalier de 1986 à 2005 (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 commune aux trois sites (1991 à 2005), le caractère plus océanique de Flamanville apparaît nettement par rapport au caractère plus continental des deux autres sites, à savoir :

- Des températures hivernales plus douces, des températures estivales plus fraîches. Le minimum hivernal moyen est ainsi de 8,65 °C à Flamanville, alors qu'il est de 7,19 °C à Paluel et 6,25 °C à Penly. De même, le maximum estival moyen est, dans le même ordre géographique, de 17,97 °C, 20,13 °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 1991-2005, la température moyenne annuelle de l'eau de mer à proximité de la côte est de 12,42 °C à Penly, 13,19 °C à Paluel et 13,04 °C à Flamanville.

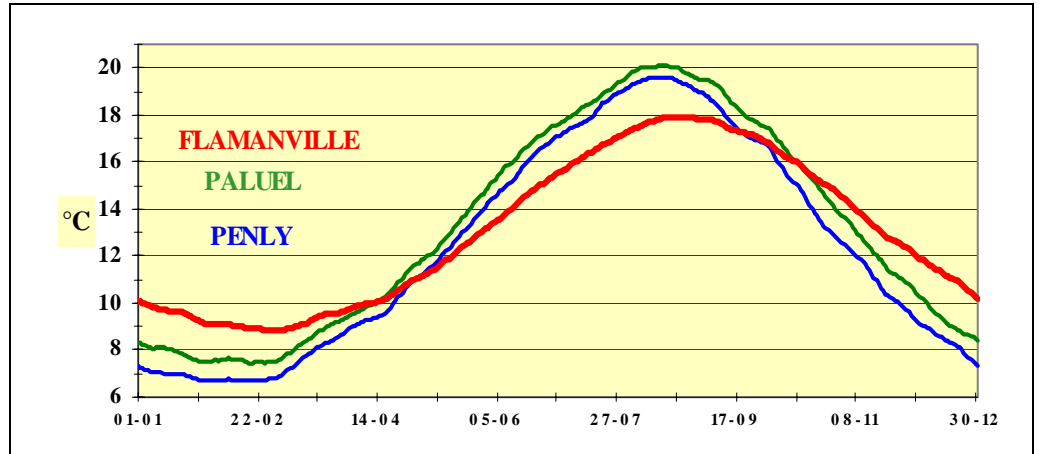


Figure 2.9 : Comparaison des températures moyennes journalières de l'eau de mer à Penly (PY), Paluel (PAL) et Flamanville (FLA) depuis le 1^{er} janvier 1991.

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), montrerait un échauffement de l'eau de mer au cours des trois premiers trimestres (figure 2.10). L'interprétation se doit d'être prudente du fait, d'une part, d'un positionnement géographique différent des points de mesures (des points au large pour les plus anciens ; très côtier et abrité pour le plus récent), d'autre part, d'une profondeur de mesure également différente.

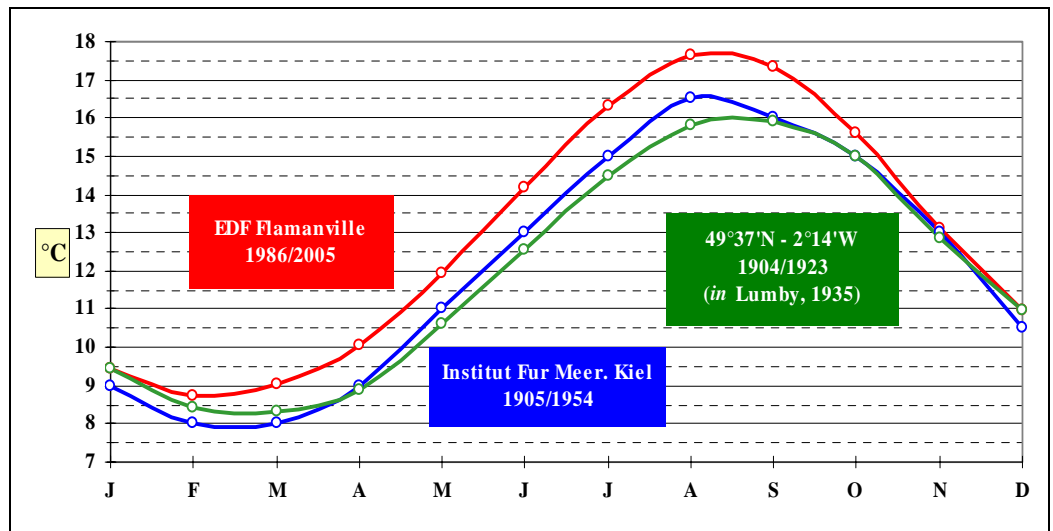


Figure 2.10 : Comparaison des données de températures de l'eau de mer acquises dans le secteur nord-ouest Cotentin.

La comparaison, pendant la période 1986-2005 (20 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 du à l'inertie de la masse d'eau.

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

La comparaison de ces températures (figure 2.11), 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.

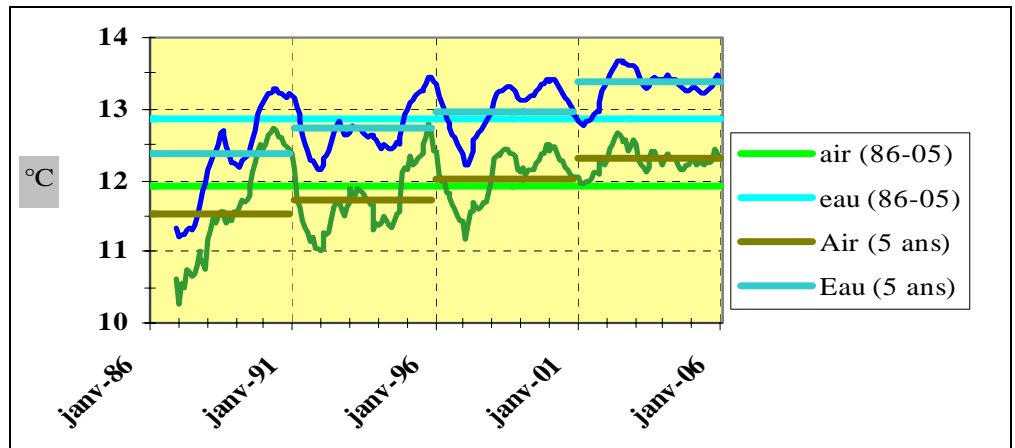


Figure 2.11 : Comparaison des "anomalies" mensuelles des températures de l'air (Cap de La Hague) et de l'eau de mer (Flamanville) au cours des 20 dernières années (1986-2005)

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).

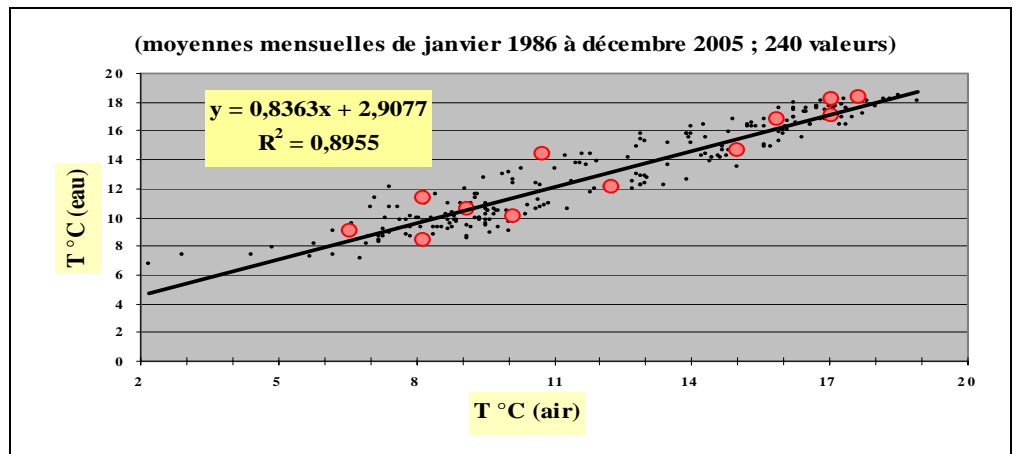


Figure 2.12 : Variation de la température moyenne mensuelle de l'eau de mer (données EDF) en fonction de celle de l'air (données Météo-France). Les données 2005 sont repérées en rouge.

L'évolution, au cours d'une année type représentative de la période 1986-2005, des quatre paramètres étudiés dans ce secteur du nord-ouest Cotentin est résumée à la figure 2.13. Leur interaction est ainsi visualisée, comme, par exemple, l'élévation de la température de l'air précédant celle de l'eau.

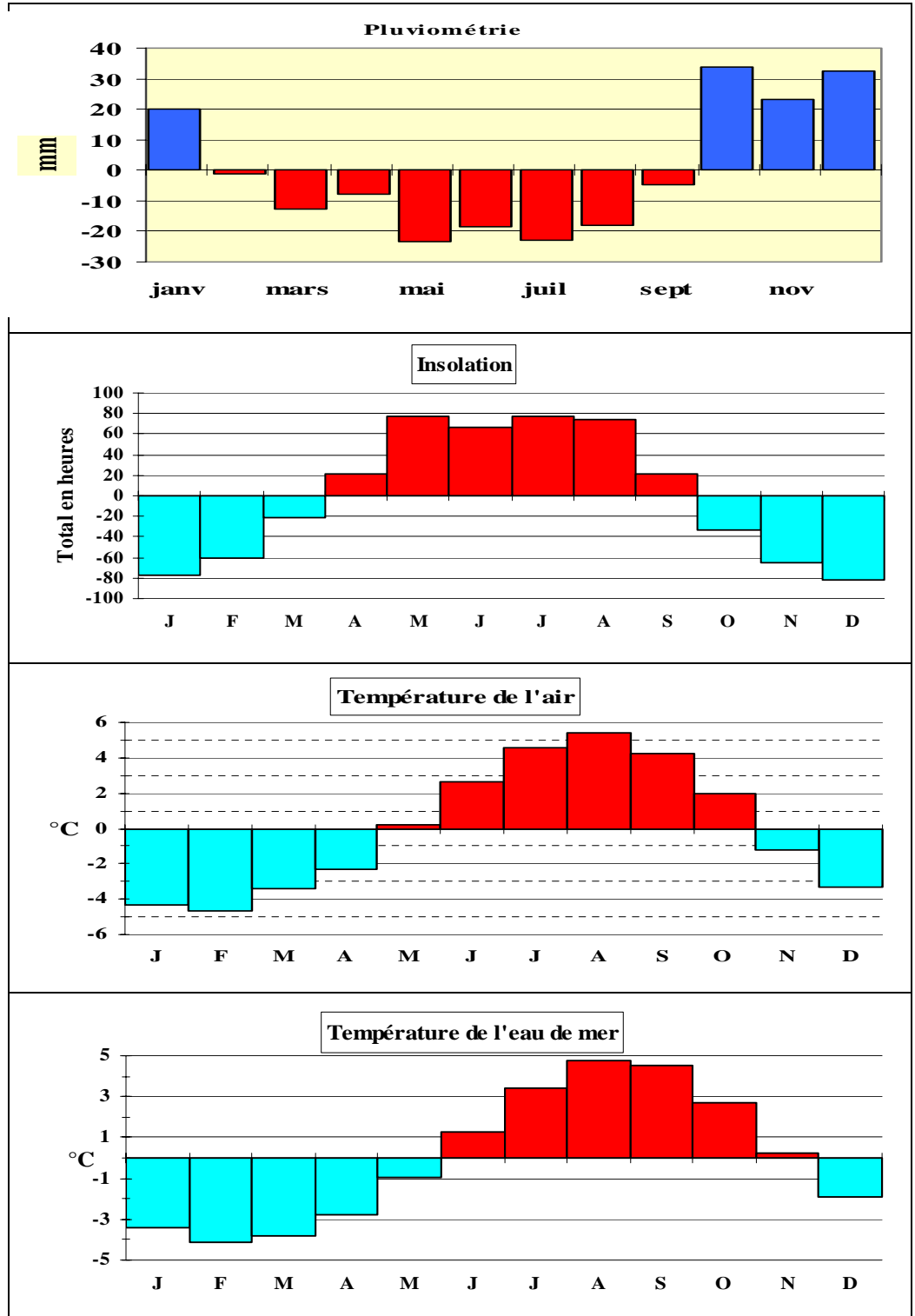


Figure 2.13 : Synthèse environnementale au Cap de Flamanville sur la période 1986-2005 (pour chaque paramètre, écart mensuel moyen à la moyenne annuelle)

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	4	13,8	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 - LNHE ; 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. J												
1 1976																												
2 1977	31	8,4	14	8,4	2	9,0	30	9,6	10	10,6	15	13,1	31	15,0	31	16,2	10	17,6	7	16,2	22	12,1	31	10,2	4	70	14,03	
3 1978	14	8,1	26	7,5		14	9,0	31	10,6	27	12,7						11	17,0	31	15,9	14	15,3	14	10,6	12	269	12,14	
4 1979	31	7,9	28	7,2	31	7,6	9	8,0	16	11,0	30	12,6	31	15,0	31	16,3	30	16,4	31	15,6	30	13,3	31	11,2	12	329	11,84	
5 1980	31	8,7	29	8,7	31	8,4	30	9,4	28	10,8															5	149	9,20	
Nb années	4		4		3		4		4		3		2		2		4		4		4		4					
Nb Valeurs	107		97		64		83		85		72		62		62		81		100		96		90					
Moy. M		8,28		7,95		8,33		9,00		10,75		12,80		15,00		16,25		16,80		15,75		13,50		10,50				
Moy. J		8,32		7,91		8,01		9,28		10,76		12,75		14,98		16,28		16,53		15,65		13,31		10,57				

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	11,95	12	366	13,28	13,29		
20 2005	31	10,54	28	9,02	31	8,38	30	10,11	31	12,06	30	14,71	31	17,08	31	18,37	30	18,28	31	16,83	30	14,34	31	11,39	12	366	13,43	13,41		
Nb années	20		20		20		20		20		20		20		20		20		20		20		20					12,86	12,89	
Nb Valeurs	620		565		620		600		620		600		620		600		620		600		620		600		620					
Moy. M		9,42		8,72		9,05		10,08		11,95		14,18		16,30		17,67		17,35		15,60		13,07		10,98						
Moy. J		9,42		8,72		9,05		10,08		11,95		14,18		16,30		17,67		17,35		15,60		13,07		10,98						
Max mois		10,54		10,16		10,41		11,24		12,98		15,04		17,39		18,44		18,28		16,83		14,34		12,35				13,59	13,61	
Min mois		7,34		6,80		7,16		8,31		10,57		12,22		14,91		16,28		15,74		13,69		10,78		8,63				11,34	11,37	

3 Le domaine pélagique

Etude et rapport réalisés à l'Ifremer par

*Luis Lampert (LER/N) (Hydrologie, Phytoplancton,
Zooplancton et microbiologie)*

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

Jean-Michel Brylinski (Zooplancton)

Dorothee Vincent (Zooplancton)

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

Virginie Antoine (LER/N)

Françoise Dagault (LER/SM)

Liliane Fiant (LER/N)

Sylvaine Françoise (LER/N)

Vincent Justome (LER/N)

Laure Lamort (LER/N)

Luis Lampert (LER/N)

Frank Maheux (LER/N)

Olivier Pierre-Duplessix (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 2005 sont les mêmes que ceux appliqués les années précédentes, en application de l'arrêté interministériel du 11 mai 2000.

Le calendrier des missions, les paramètres étudiés et le nombre d'échantillons prélevés en chaque point sont donnés dans le tableau 1.3 à la page 18. Les campagnes se sont déroulées les 19 mars, 1er juillet et 12 septembre en période de mortes eaux à bord du *NO THALIA* (hydrobiologie, phytoplancton et zooplancton) et au moyen du Zodiac de la SNSM de Diélette (bactériologie et trihalométhanes).

3.2 Hydrologie

3.2.1 Méthode

3.2.1.1 Prélèvements

Aux points *canal* et *rejet*, 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 Chausepied, 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	± 0,01	± 0,01	± 0,1	± 0,01	± 0,05	± 0,01	± 0,05	± 0,1

Tableau 3.1 : Précision des analyses

La température et la salinité sont mesurées par une sonde YSI 660 QS. De plus, le thermosalinomètre SeaBird SBE 21, installé sur le circuit d'eau de mer du *NO THALIA*, a été

utilisé lors des campagnes d'échantillonnage. Il permet notamment d'enregistrer toutes les variations de température et de salinité pendant le transit et lors de l'échantillonnage. La fréquence d'acquisition des valeurs est de 6 secondes et l'immersion de la prise d'eau de mer est située à 2,5 m en dessous du niveau de flottaison. La conversion des données hexadécimales en valeurs physiques est assurée par la chaîne informatique de traitement de SeaBird avec les coefficients du dernier étalonnage (SHOM). La cartographie est réalisée par le programme Ocean Data View, développé par l'université de Bremerhaven pour le compte de la communauté océanographique internationale. Les précisions des capteurs est de 0,01 °C pour la température et de 0,001 S/m pour la conductivité.

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

3.2.1.3 Présentation graphique

Les résultats des campagnes hydrologiques sont présentés sous forme de courbes, d'histogrammes et de boîtes à moustaches. Les courbes présentent les valeurs obtenues lors de l'année 2005, 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 2005 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 1987-2005. Cette étude permet de comparer les données observées aux points *référence*, *rejet* et *canal* afin d'établir s'il existe ou non des différences significatives sur l'ensemble des données par point à long terme. Avant de choisir et d'effectuer des tests statistiques appropriés, il est essentiel de vérifier la normalité des distributions des données. Cette vérification a été réalisée grâce aux coefficients d'asymétrie et d'aplatissement standardisés. Lorsque la distribution s'avère normale, nous avons utilisé le test de Student pour les échantillons appariés afin de comparer les données. Dans le cas contraire (distribution non normale), la comparaison des données a été réalisée par le test des signes.

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

3.2.2 Résultats des mesures de la surveillance hydrologique pour l'année 2005

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de mesure pour l'année 2005 sur le site de Flamanville sont présentés dans le tableau 3.2.

(Valeurs moyennes \pm écart type)	CANAL D'AMENÉE (n=4)	REJET (n=4)	REFERENCE		
			SURFACE (n=2)	-10 m (n=2)	
19 MARS	Température (°C)	8,68 \pm 0,01	11,15 \pm 0,14	8,64 \pm 0,06	8,22 \pm 0,01
	Salinité	34,75 \pm 0,01	34,71 \pm 0,06	34,80 \pm 0,01	34,93 \pm 0,01
	Nitrate (μ M)	14,0 \pm 0,1	14,6 \pm 0,1	14,1 \pm 0,0	12,7 \pm 0,1
	Nitrite (μ M)	0,21 \pm 0,00	0,20 \pm 0,00	0,19 \pm 0,00	0,19 \pm 0,00
	Ammonium (μ M)	1,26 \pm 0,3	1,04 \pm 0,05	1,02 \pm 0,35	0,86 \pm 0,02
	Phosphate (μ M)	0,64 \pm 0,03	0,62 \pm 0,01	0,61 \pm 0,01	0,58 \pm 0,01
	Silicate (μ M)	6,89 \pm 0,03	7,03 \pm 0,05	6,77 \pm 0,04	6,20 \pm 0,05
	MES (mg/L)	4,6	5,1	4,6	3,5
	Bore (mg/L)	4,8	5,0	4,5	---
Bromoforme (μ g/L)	<4	<4	<4	---	
1 JUILLET	Température (°C)	15,91 \pm 0,01	17,21 \pm 0,10	14,80 \pm 0,02	14,81 \pm 0,01
	Salinité	35,00 \pm 0,0	35,06 \pm 0,02	35,07 \pm 0,01	35,06 \pm 0,01
	Nitrate (μ M)	0,1 \pm 0,0	0,1 \pm 0,0	0,5 \pm 0,0	0,5 \pm 0,0
	Nitrite (μ M)	0,02 \pm 0,00	0,04 \pm 0,00	0,09 \pm 0,00	0,09 \pm 0,00
	Ammonium (μ M)	0,68 \pm 0,04	0,60 \pm 0,03	0,76 \pm 0,06	0,80 \pm 0,08
	Phosphate (μ M)	0,04 \pm 0,01	0,04 \pm 0,01	0,07 \pm 0,0	0,08 \pm 0,01
	Silicate (μ M)	0,60 \pm 0,03	0,67 \pm 0,09	1,41 \pm 0,10	1,29 \pm 0,06
	MES (mg/L)	3,1	1,8	1,1	---
	Bore (mg/L)	4,9	4,8	5,0	---
Bromoforme (μ g/L)	<4	<4	<4	---	
12 SEPTEMBRE	Température (°C)	18,46 \pm 0,0	20,59 \pm 0,33	18,02 \pm 0,01	18,02 \pm 0,0
	Salinité	35,15 \pm 0,01	35,21 \pm 0,03	35,18 \pm 0,0	35,18 \pm 0,01
	Nitrate (μ M)	1,4 \pm 0,0	1,8 \pm 0,0	2,2 \pm 0,0	2,1 \pm 0,0
	Nitrite (μ M)	0,17 \pm 0,00	0,19 \pm 0,00	0,23 \pm 0,00	0,23 \pm 0,00
	Ammonium (μ M)	0,91 \pm 0,05	0,87 \pm 0,01	0,76 \pm 0,06	0,89 \pm 0,13
	Phosphate (μ M)	0,21 \pm 0,01	0,24 \pm 0,01	0,25 \pm 0,01	0,24 \pm 0,01
	Silicate (μ M)	3,13 \pm 0,08	3,23 \pm 0,04	3,33 \pm 0,01	3,31 \pm 0,01
	MES (mg/L)	1,0	0,3	1,3	---
	Bore (mg/L)	4,3	4,5	4,7	---
Bromoforme (μ g/L)	<4	<4	<4	---	

Tableau 3.2 : Récapitulatif des résultats de surveillance pour l'année 2005

3.2.2.1 Température de l'eau de mer

3.2.2.1.1 Variations saisonnières de la température

Au cours des campagnes de surveillance 2005, la température de l'eau de mer a varié de 7,93 à 18,46 °C au point *canal*, de 11,15 à 20,59 °C au point *rejet* et de 8,64 à 18,02 °C au point *référence* (figure 3.1). Lors des campagnes d'été et d'automne, nous constatons des valeurs de température plus faibles au point *référence* par rapport au point *canal*. Les différences entre ces deux points se situent entre 0,4 et 1,1 °C. En été et en automne, les écarts de température observés au point *référence* entre la surface et la mi profondeur restent à l'intérieur des incertitudes liées à la mesure. Au printemps, cette différence est égale à 0,4 °C.

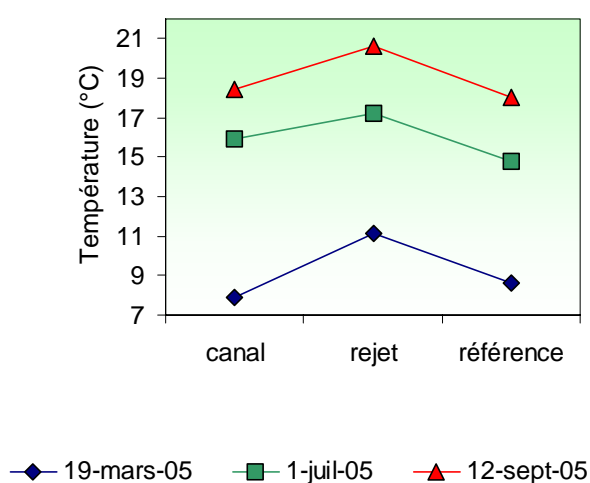


Figure 3.1 : Température de l'eau en surface aux trois campagnes 2005

L'écart thermique entre le printemps et l'automne a été supérieur d'environ deux degrés par rapport aux années précédentes ($\delta T = 9,6$ °C en moyenne). Les faibles températures du début d'année, conjuguées aux fortes températures de l'eau de mer observées en fin d'été sont à l'origine de cette différence. En règle générale, l'écart thermique est lié au brassage important de la colonne d'eau dans ce secteur où les courants de marée sont très forts. Dans les secteurs où l'énergie dissipée par la marée est suffisante pour contrecarrer l'effet de stratification induit par le réchauffement en été, les courants de marée rendent la colonne d'eau homogène.

La figure 3.2 présente une caractérisation du renouvellement de mélange en Manche à travers le paramètre de stratification ' H/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.

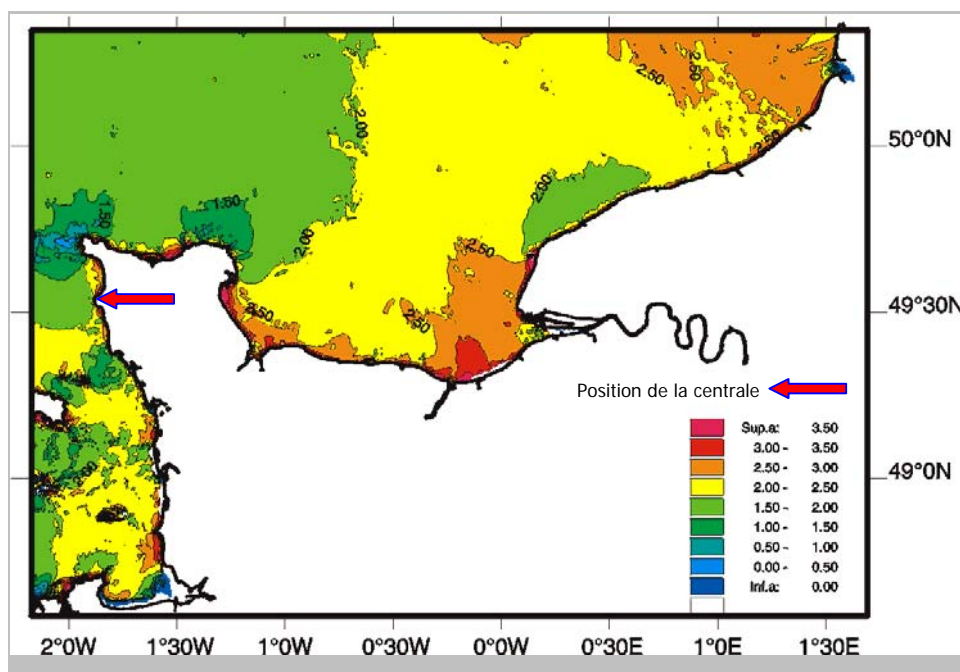


Figure 3.2 : Évolution spatiale du paramètre de stratification (H/u^3) en Manche réalisée à l'aide d'un modèle hydrodynamique 2D (IFREMER DEL/AO-LERN)

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 2005 présentent des plages de variation des températures supérieures aux années précédentes. Pour les points *canal* et *référence*, en été et en automne, ces résultats sont légèrement supérieurs aux températures observées dans les études réalisées entre 1976 et 1985. Ils en est de même dans les rapports de Agoumi *et al.* (1983), Taylor et Stephens (1983), Bentley et Maillard-Quisthoudt (1990) et Jones et Jeffs (1991) qui indiquent des températures de plus faible amplitude en été dans ce secteur de la Manche.

Les valeurs printanières en 2005 ont été inférieures à celles enregistrées en 2004 sur tous les points. En été et particulièrement en automne les valeurs observées sont supérieures à celles de 2004.

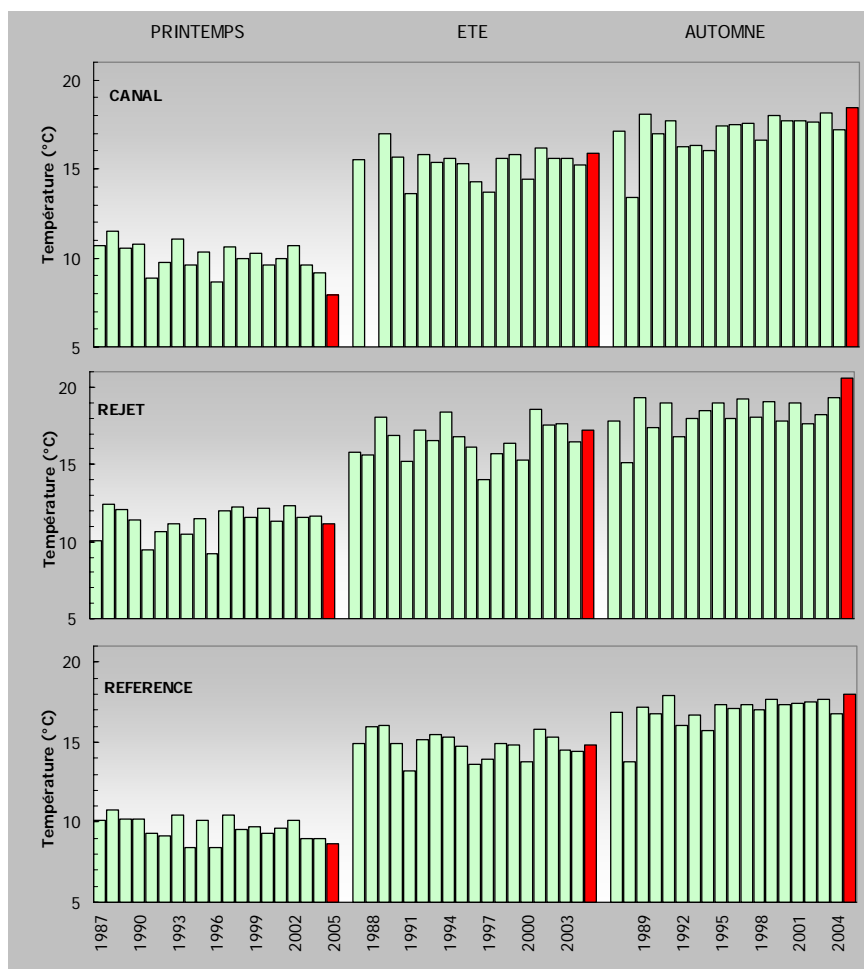


Figure 3.3 : Température de l'eau en surface sur la période 1987-2005. Les années 1987 à 2004 sont en vert clair. 2005 est en rouge

Si l'on compare les distributions de température obtenues depuis 18 ans, par saison et par point, figure 3.4, on observe que la valeur médiane pour le *rejet* est toujours supérieure à celles des points *référence* et *canal*, celle du *canal* étant légèrement supérieure à celle du point *référence*. Les températures printanières de 2005 ont été inférieures aux médianes pluriannuelles. En été et en automne elles ont été au dessus des médianes.

En automne, les températures enregistrées représentent les maxima absolus de la série pluriannuelle, tandis que la valeur de température observée au point *canal* en mars est la plus basse observée depuis 1987 à cette période.

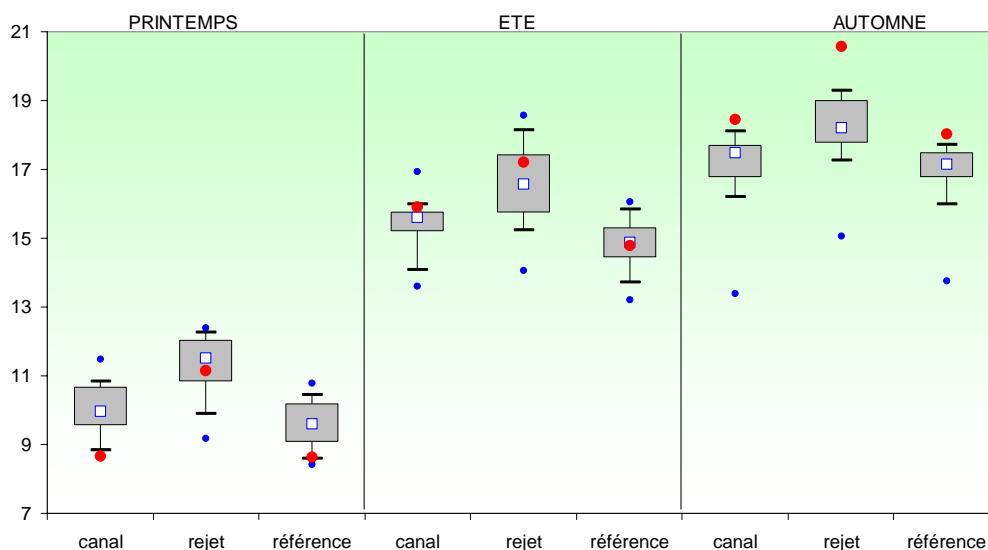


Figure 3.4 : Comparaison des distributions de la température par campagne et par point depuis 1987. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50% des valeurs (▭) ; les moustaches, 80% des valeurs (┌┐). Les point extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2005 (●)

Les valeurs de la température de l'eau de mer sont à rapprocher des températures de l'air (mesurées à la Hague) au cours de la même période (figure 2.4). Il existe une corrélation significative entre la température de l'air et celle de l'eau mesurée (données EDF) au niveau du canal d'amenée (figure 2.14). Les températures de l'eau enregistrées en 2005 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

Tout comme en 2004, les différences de température en 2005 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 depuis 1987 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. En 2005 ces écarts ont varié entre 2,4 et 2,6°C.

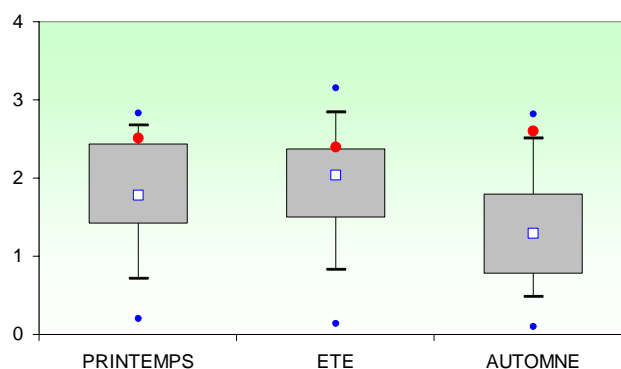


Figure 3.5 : Distributions par campagne des différences de température entre les points *rejet* et *référence* depuis 1987

Les variations de température du point *rejet* au moment de l'échantillonnage sont très localisées autour du point *rejet* (figures 3.6 et 3.7). Celles-ci ont été enregistrées par le thermosalinomètre lors de la campagne d'échantillonnage de septembre.

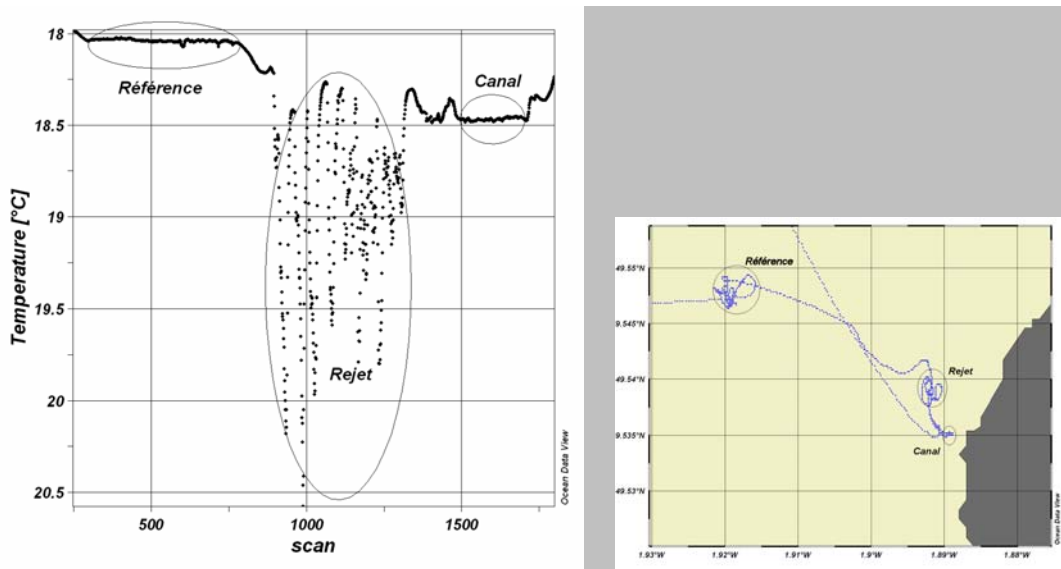


Figure 3.6 : Évolution de la température de l'eau de mer obtenue par le thermosalinomètre et parcours du *NO THALIA* lors de la campagne d'échantillonnage de septembre 2005

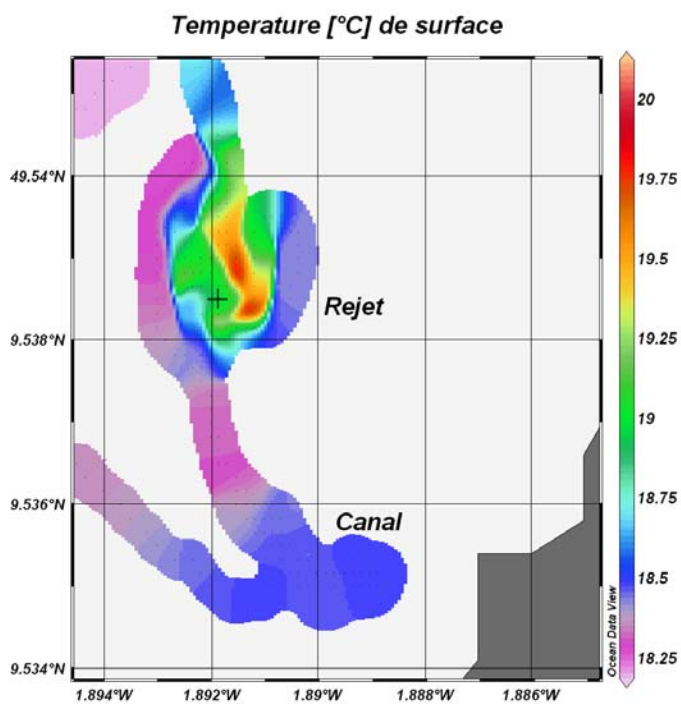


Figure 3.7 : Distribution spatiale de la température de l'eau de mer obtenue par le thermosalinomètre lors de la campagne d'échantillonnage de septembre 2005

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

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

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	JUILLET	SEPTEMBRE
PROPORTION D'EAU ECHAUFFEE π	21	9	14
TAUX DE DILUTION ($1-\pi$)	79	91	86

Tableau 3.3 : Taux de dilution théorique calculés pour l'année 2005

Des taux de dilution de 79 % à 91 % sont observés lors des trois prélèvements de l'année 2005. Le taux de dilution théorique moyen observé depuis 18 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	$7 \cdot 10^{-6}$	$5,2 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-6}$
RÉFÉRENCE / REJET	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$9,5 \cdot 10^{-9}$	$6,5 \cdot 10^{-7}$
CANAL / RÉFÉRENCE	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	0,023

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

Tableau 3.4 : « $p\text{-value}$ » des tests statistiques sur 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 2005. Ce résultat significatif confirme l'existence de l'influence thermique de l'activité de la centrale sur le point *rejet*.

En outre, l'étude statistique montre aussi que les températures du *canal* sont significativement différentes de celles du point *référence*. Deux hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cette différence. Premièrement, lors du réchauffement de la colonne d'eau, il s'établit en général

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

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

Toutefois, quelle que soit la marée, les résultats issus de la modélisation montrent que l'impact thermique lié au rejet d'eau échauffée par la centrale reste très localisé et confirment les résultats issus des mesures lors des campagnes de surveillance (figure 3.7).

3.2.2.2 Salinité

3.2.2.2.1 Variations spatiales et saisonnières de la salinité

Les salinités moyennes en 2005 (figure 3.8) ont été comprises entre 34,71 et 35,21. Les valeurs les plus faibles ont été mesurées en mars (entre 34,7 et 34,8 sur les trois points), et les plus élevées en septembre avec un maximum de 35,21 au point *rejet*.

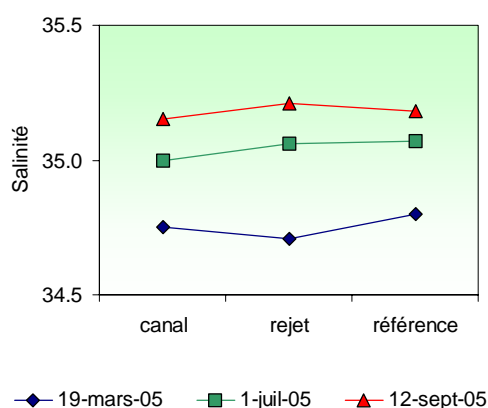


Figure 3.8 : Salinité de l'eau de surface pour les campagnes 2005

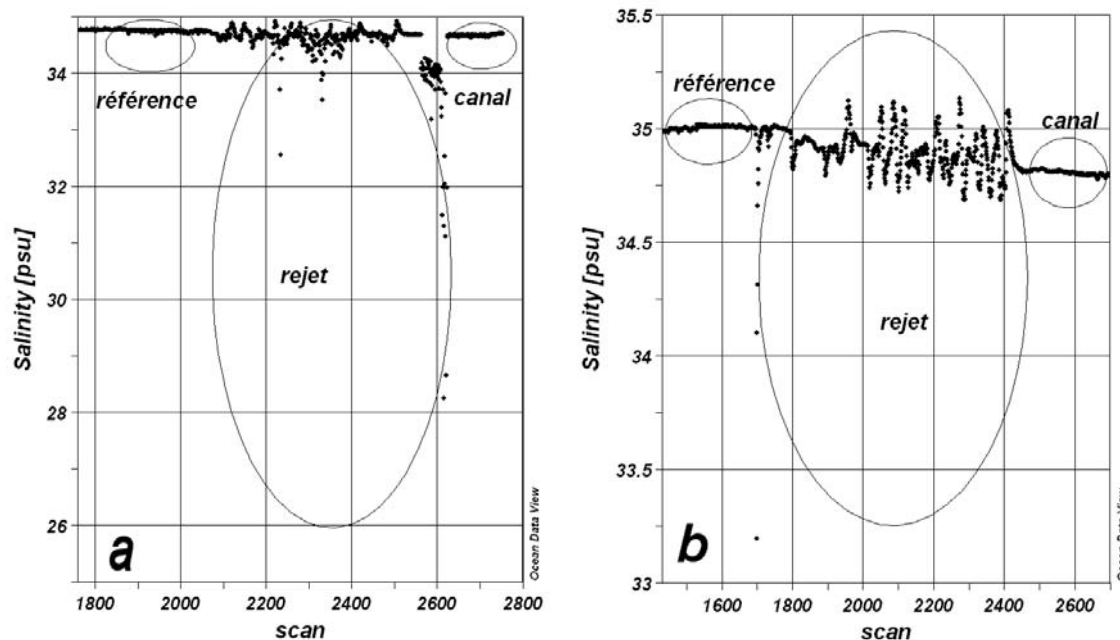


Figure 3.9 : Évolution de la salinité de l'eau de mer enregistrée par le thermosalinomètre lors des campagnes d'échantillonnage de : a) juillet 2005 et b) septembre 2005

Les mesures de la salinité présentent une grande stabilité de valeurs tout au long de l'année. Les mesures sont effectuées avec une sonde multiparamètres de marque YSI en parallèle des enregistrements du thermosalinomètre Sea Bird. C'est au moyen de ce dernier que nous pouvons apprécier les rapides variations de salinité autour du point *rejet* dues au caractère turbulent du mélange près de la grille de rejets (figure 3.9). Ces variations restent cependant très limitées géographiquement autour de la grille de rejets.

3.2.2.2 Variations inter-annuelles

La figure 3.10 présente les valeurs de salinité sur la période 1987-2005. Elle montre des salinités plus faibles enregistrées en 2005 pendant la campagne de mars et des salinités plus fortes en septembre par rapport à celles observées en 2004. Depuis 2003 nous observons sur les trois points d'échantillonnage, une tendance décroissante de la salinité au printemps, une relative stabilité de celle-ci en été et une augmentation en automne.

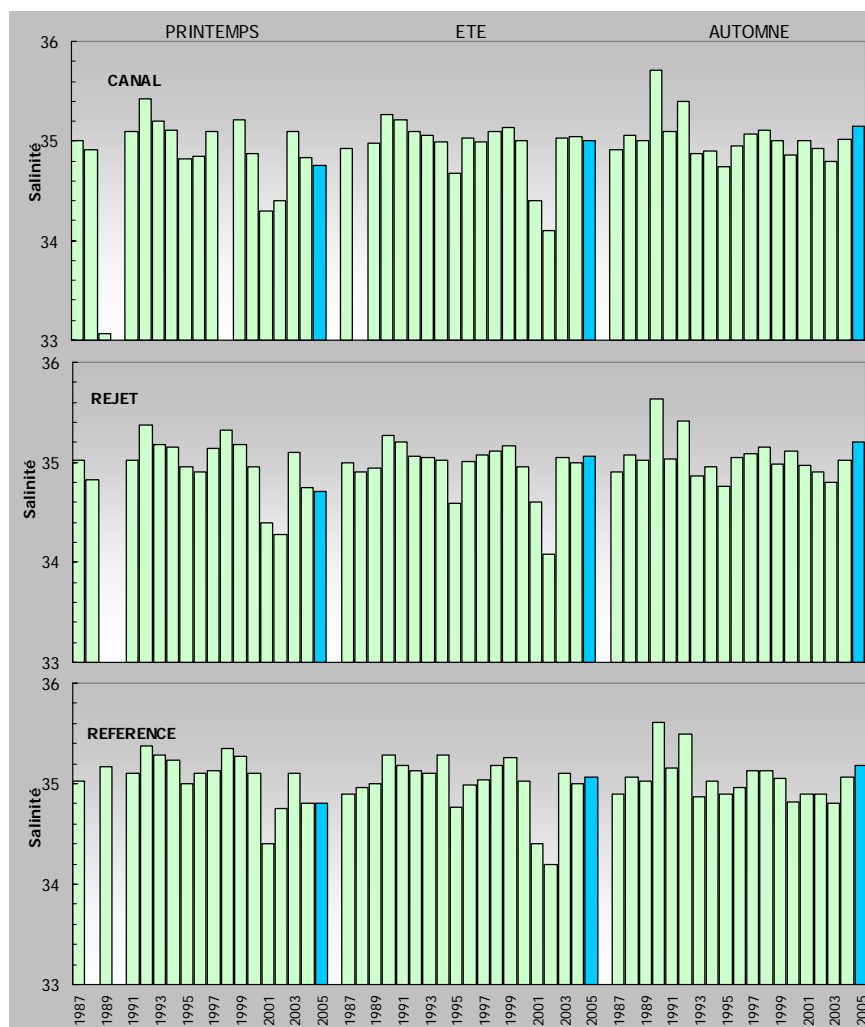


Figure 3.10 : Salinité de l'eau de surface pour les campagnes 1987 à 2005

La figure 3.11 nous permet de mieux visualiser les salinités enregistrées en 2005 par rapport à la série pluriannuelle obtenue depuis 1987. Ainsi les salinités en mars 2005 se situent en dessous des médianes, tandis que les valeurs observées en juillet sont proches des valeurs médianes. En septembre toutes les valeurs enregistrées se situent au-dessus des médianes. Cette figure montre aussi la relative stabilité des valeurs médianes aux alentours de 35, sur les dix-huit 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.

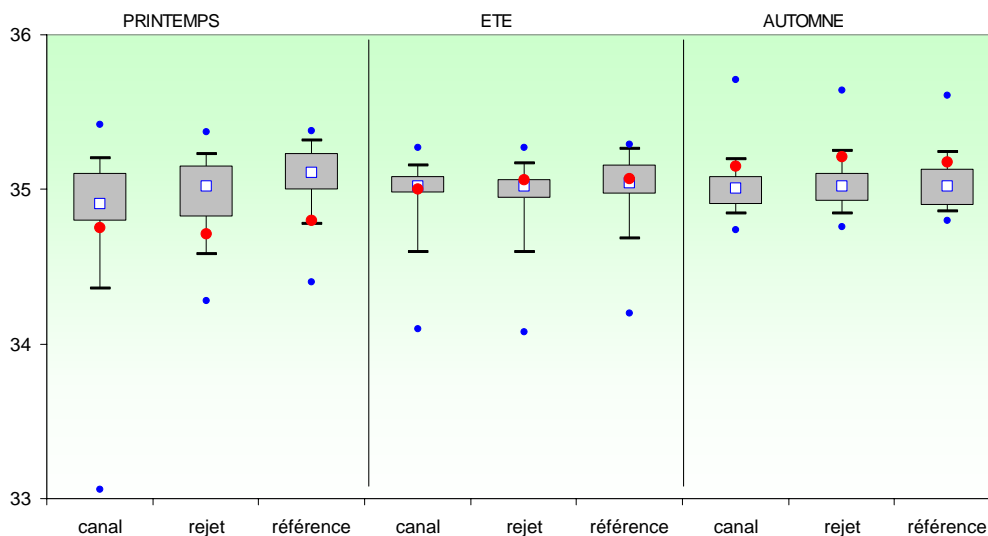


Figure 3.11 : Comparaison des distributions de la salinité par campagne et par point depuis 1987

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	0,770	0,267	0,158
REFERENCE / REJET	0,004	0,222	1,000
CANAL / REFERENCE	0,016	0,267	0,270

(*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 3.11. Les points *canal* et *rejet*, proches de la côte, sont caractérisés par des salinités toujours légèrement inférieures à celles du point *référence* situé plus au large. Cette différence pourrait s'expliquer par la présence d'un gradient côte-large lié aux apports d'eau douce d'origine continentale, plus 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 ont varié au cours des campagnes 2005 de 0,68 à 1,26 μM au point *canal*, de 0,60 à 1,04 μM au point *rejet* et de 0,76 à 1,02 μM au point *référence* (figure 3.12).

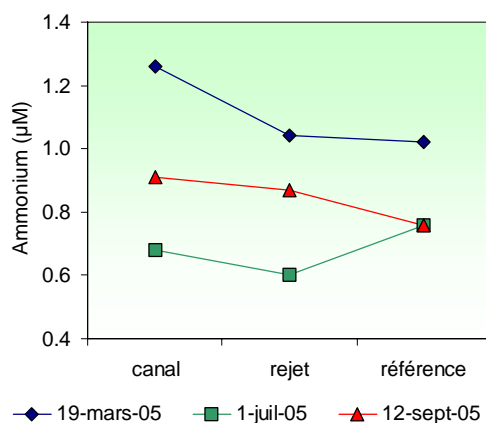


Figure 3.12 : Concentrations en ammonium (μM) dans les eaux de surface lors des campagnes 2005

Classiquement l'augmentation des concentrations en ammonium du printemps vers l'été reflète l'augmentation de l'activité hétérotrophe. Ce schéma est partiellement changé en 2005 avec des concentrations plus élevées au mois de mars. Ceci pourrait être la conséquence d'une plus forte activité hétérotrophe en mars ou des apports anthropiques ponctuels. Avec des valeurs inférieures au point *rejet* par rapport au point *canal*, les rejets d'ammonium de la centrale ne sont pas mis en cause. En mars et en septembre, nous observons un gradient décroissant côte-large, tandis qu'en été ce gradient est inversé.

3.2.2.3.2 Variations inter-annuelles

Les variations de concentration en ammonium aux différents points depuis 1987 sont présentées sur les figures 3.13 et 3.14. 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 2005 sont bien supérieures de celles observées en 2004. En juillet nous observons la même situation, sauf pour les concentrations du point *rejet*. Toutes les valeurs enregistrées en septembre ont été en dessous des valeurs de septembre 2004.

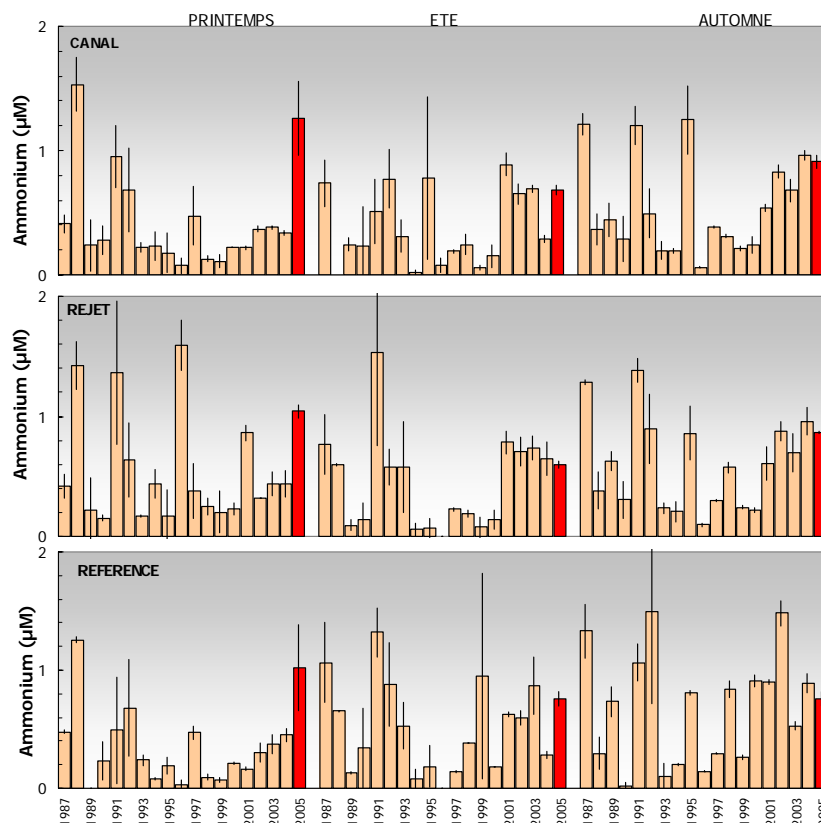


Figure 3.13 : Concentrations en ammonium dans l'eau de surface lors des campagnes de 1987 à 2005

Les médianes du point *rejet* sont sensiblement supérieures à celles des deux autres points au printemps et en été (figure 3.14). En automne nous observons un gradient croissant côte-large. Les concentrations présentent une forte dispersion à l'intérieur de la boîte où se trouvent 50 % des valeurs.

A l'exception de la concentration en ammonium au point *rejet* au mois de juillet, toutes les autres valeurs ont été supérieures aux médianes observées sur la période 1987-2005. Il est remarquable de constater qu'en septembre 2005 le gradient est inversé par rapport aux médianes pluriannuelles.

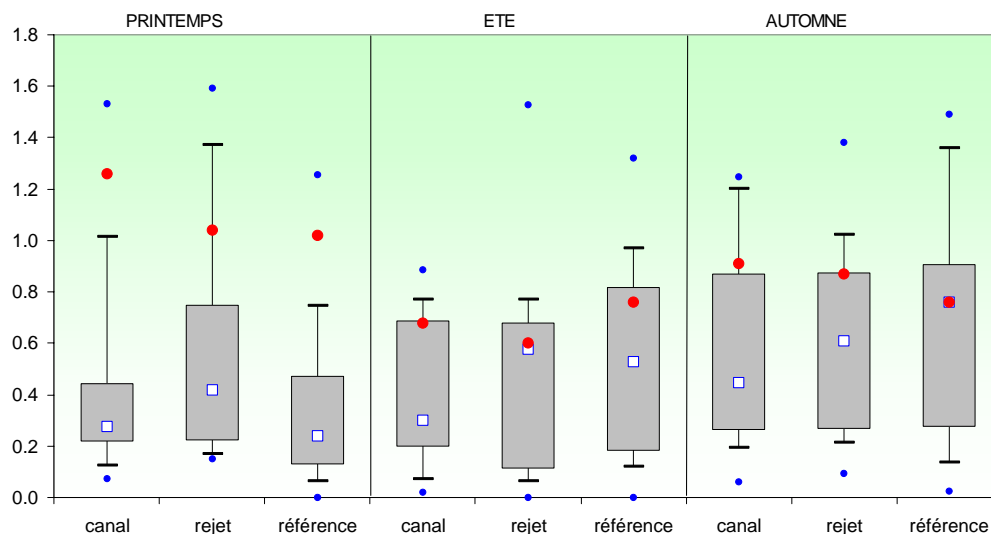


Figure 3.14 : Comparaison des distributions des concentrations de l'ammonium par campagne et par point depuis 1987

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	0,999	1,000	0,034
REFERENCE / REJET	0,646	0,238	0,220
CANAL / REFERENCE	0,022	0,229	0,145

(*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 *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 (7,71 t en 2004, Rapport annuel de surveillance de l'environnement ; EDF), ce qui est peu, et devrait être imperceptible du fait du taux de mélange. Toutefois, il faut souligner que les vidanges d'ammonium par la centrale dans les rejets sont ponctuelles et elles peuvent être décelées lors des campagnes de surveillance, comme il a été le cas en juin 2004.

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 2005 ont été comprises entre 0,1 et 14,0 μM au *canal*, entre 0,1 et 14,6 μM au *rejet* et 0,5 et 14,1 μM à la *référence*. Les concentrations en nitrite ont varié de 0,02 à 0,21 μM au *canal*, de 0,04 et 0,20 μM au *rejet* et 0,09 et 0,23 μM à la *référence* (figures 3.15 et 3.16).

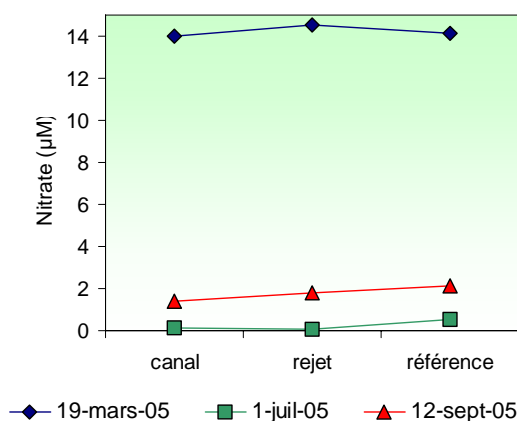


Figure 3.15 : Concentrations en nitrate (μM) dans les eaux de surface pour les campagnes 2005

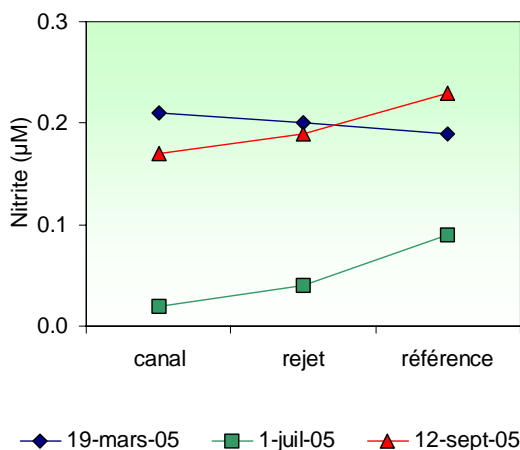


Figure 3.16 : Concentrations en nitrite (μM) dans les eaux de surface pour les campagnes 2005

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 mars et septembre que nous trouvons les valeurs en nitrite les plus fortes, avec des gradients spatiaux croisés. En septembre, le point *référence* montre la plus forte valeur saisonnière avec $0,23 \mu\text{M}$.

3.2.2.4.2 Variations inter-annuelles

Les variations des concentrations en nitrate et nitrite sur la période 1987-2005 sont respectivement présentées sur les figures 3.17 et 3.18.

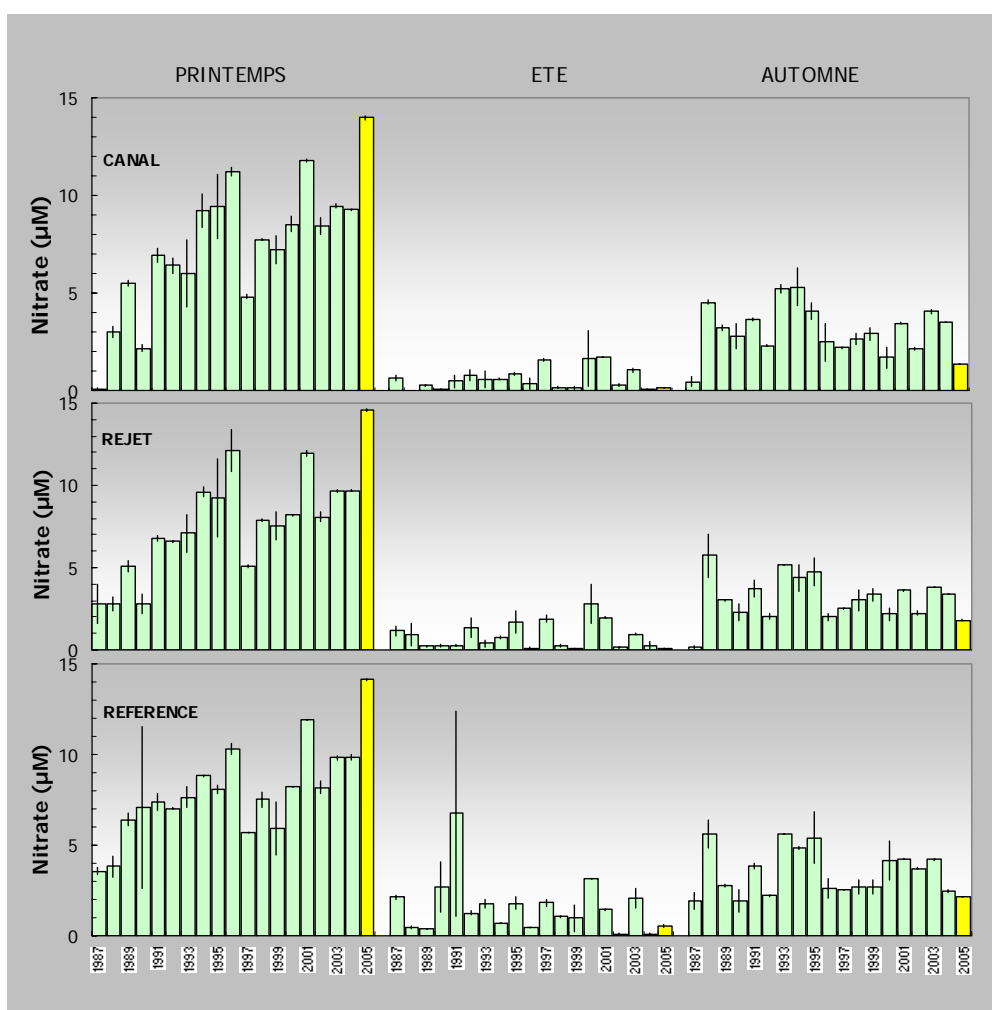


Figure 3.17 : Concentrations en nitrate dans l'eau de surface pour les campagnes de 1987 à 2005

Toutes les concentrations en nitrate observées lors de la campagne du printemps 2005 ont été supérieures à celles de l'année 2004. Lors de la campagne d'été, nous observons des valeurs en nitrate proches de la limite du seuil de détection analytique. Pendant la campagne d'automne, les valeurs enregistrées ont été toutes en dessous des valeurs observées en 2004 pour la même période. En hiver et en début de printemps, le nitrate dans les eaux de la Manche est en général sous l'influence des eaux atlantiques et caractérisé par des teneurs de l'ordre de 5 à $6 \mu\text{M}$ pour des salinités comprises entre $35,25$ et $35,30$ (Laane, 1992). Lors des campagnes que nous avons

menées depuis 1987, nous constatons que les valeurs observées au printemps ont rarement été inférieures à 5 μM . Les concentrations mesurées lors de la campagne de mars 2005 se situent donc bien au dessus de ces valeurs.

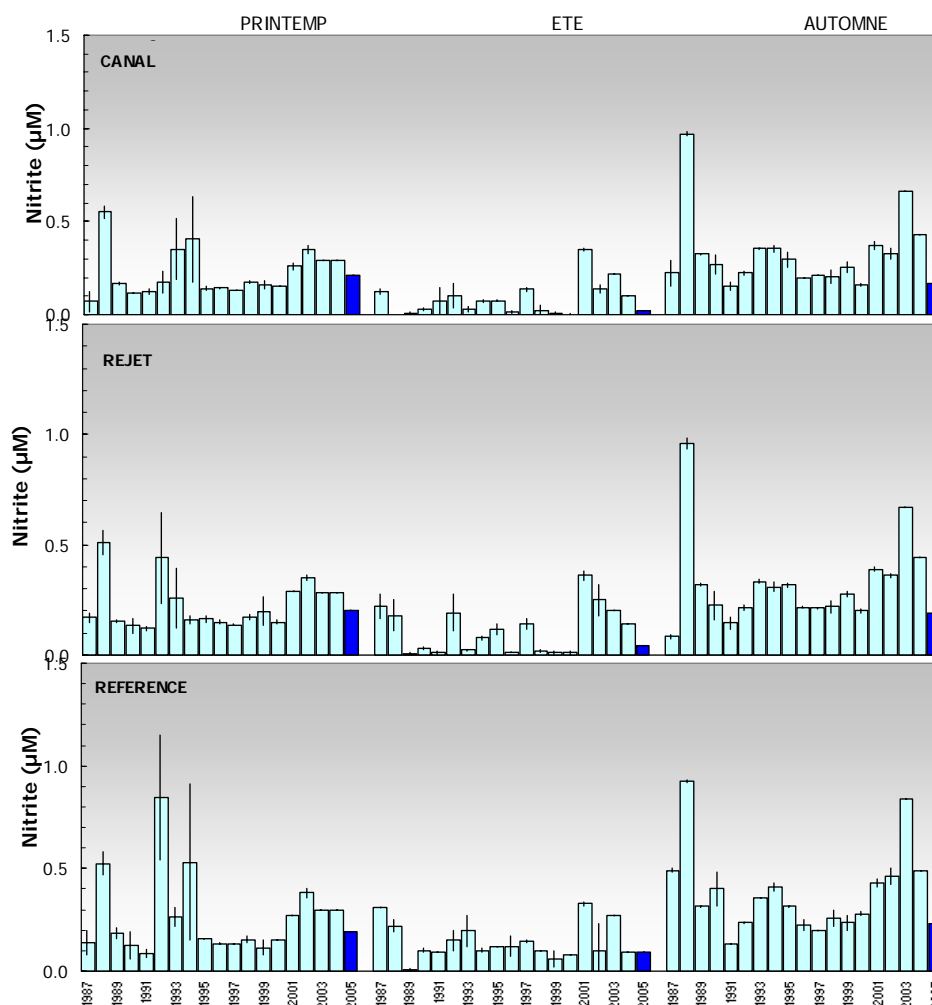


Figure 3.18 : Concentrations en nitrite dans l'eau de surface pour les campagnes 1987 à 2005

Le nitrite, présente un schéma différent à celui observé pour le nitrate, avec des valeurs inférieures à celles observées en 2004. Les plus fortes différences sont enregistrées lors de la campagne automnale, où les valeurs en nitrite de 2005 sont inférieures de moitié de celles de 2004. 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 2005 rentrent dans cette gamme de valeurs.

La régénération du nitrate en automne est bien mise en évidence sur la figure 3.19, 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 2005 ont été les plus fortes enregistrées depuis 1987. Aux mois de juillet et septembre elles se situent toutes en dessous des médianes, près de la moustache inférieure délimitant 80 % des valeurs.

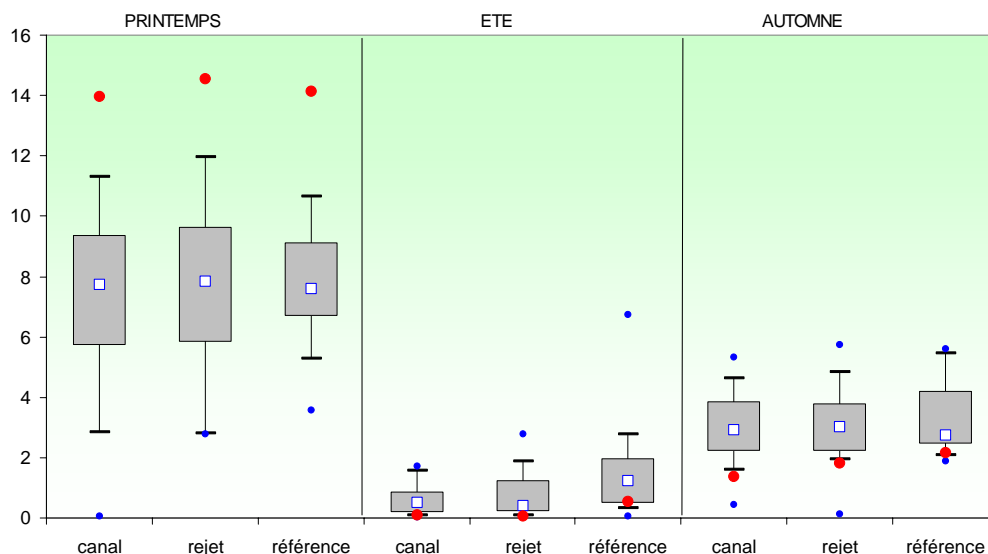


Figure 3.19 : Comparaison des distributions des concentrations en nitrate par campagne et par point depuis 1987

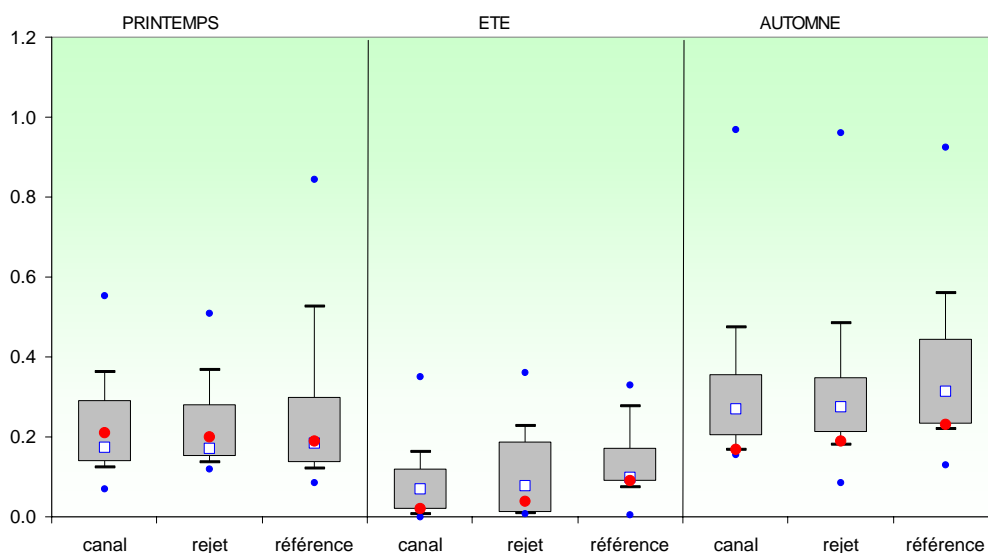


Figure 3.20 : Comparaison des distributions des concentrations en nitrite par campagne et par point depuis 1987

La figure 3.20 présente les variations du nitrite par saison. L'ensemble de valeurs observées en mars se situent juste au dessus des médianes pluriannuelles, tandis qu'en juillet et septembre les valeurs

restent en dessous des médianes. Le phénomène de régénération du nitrite en automne semble plus marqué que pour le nitrate. Les médianes du point *référence* en juillet et en septembre présentent des valeurs supérieures à celles des deux autres points.

3.2.2.4.3 Approche statistique

Le tableau 3.7 présente les résultats des tests statistiques réalisés pour le nitrate et le nitrite entre 1987 et 2005.

	COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
NITRATE	CANAL / REJET	0,168	0,041	0,540
	REFERENCE / REJET	0,169	0,358	0,075
	CANAL / REFERENCE	0,359	0,009	0,065
NITRITE	CANAL / REJET	0,999	0,104	0,627
	REFERENCE / REJET	0,999	0,052	0,052
	CANAL / REFERENCE	0,453	0,001	0,099

(*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 18 années d'observations.

Finalement en 2005, 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 2005 ont été comprises entre 0,04 et 0,64 μM au point *canal*, entre 0,04 et 0,62 μM au point *rejet* et 0,08 et 0,61 μM à la *référence*. Les concentrations en silicate ont varié de 0,60 à 6,89 μM au *canal*, de 0,67 à 7,03 μM au *rejet* et de 1,41 à 6,77 μM à la *référence* (figures 3.21 et 3.22).

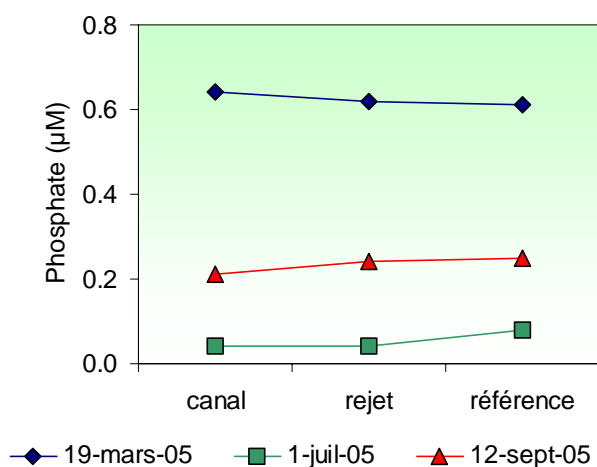


Figure 3.21 : Concentrations en phosphate (μM) dans les eaux de surface lors des campagnes 2005

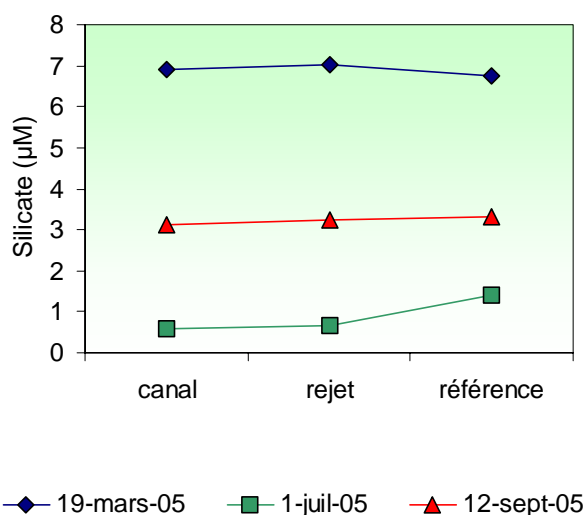


Figure 3.22 : Concentrations en silicate (μM) dans les eaux de surface lors des campagnes 2005

Les teneurs des deux sels présentent très peu de variabilité spatiale et leur évolution saisonnière est tout à fait comparable à celles observées depuis 2002. Sur l'ensemble des campagnes d'échantillonnage, les teneurs du point *référence* sont similaires en surface et à mi-profondeur, à l'exception du silicate en mars et juillet, où les concentrations en surface sont supérieures d'environ 9 % à celles de la mi profonde. Ces résultats sont liés au caractère homogène de la colonne d'eau dans ce secteur de la Manche.

Les teneurs en phosphate présentent des variations saisonnières comparables à celles du nitrate. Au début du printemps, les concentrations sont élevées sous l'influence des apports telluriques en provenance des bassins versants et du fait de la faible activité phytoplanctonique. Elles ont été du même ordre de grandeur, voir légèrement supérieures à 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 1987-2005 sont présentées sur les figures 3.23 et 3.24 respectivement.

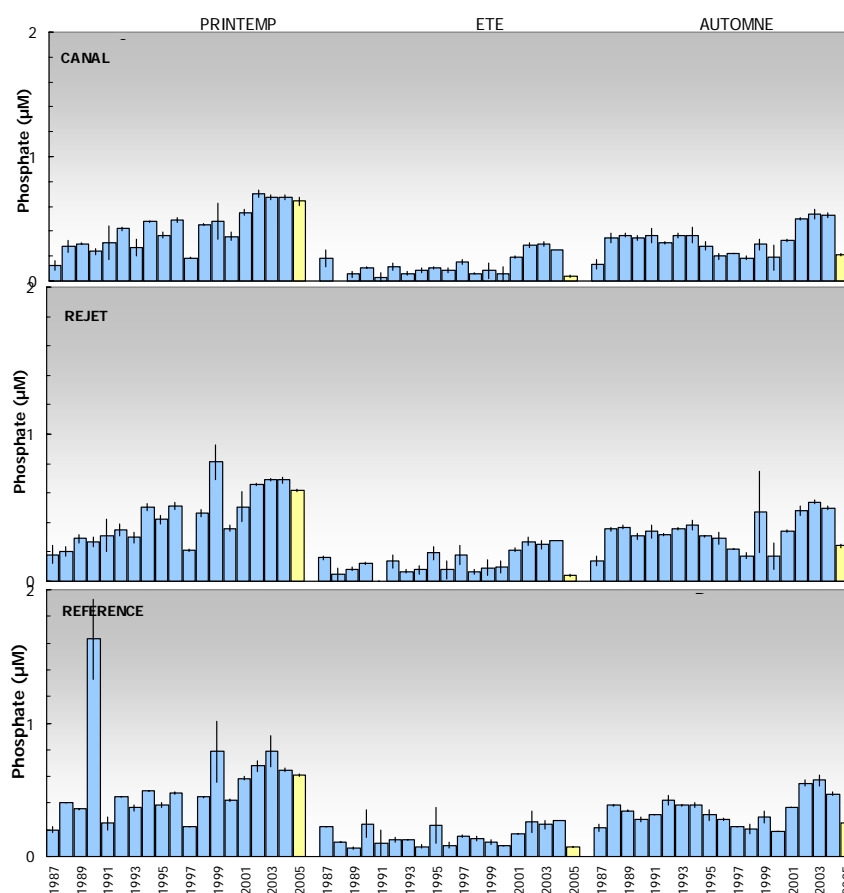


Figure 3.23 : Concentrations en phosphate dans l'eau de surface lors des campagnes 1987 à 2005

Les concentrations en phosphate observées au mois de mars sont proches de celles enregistrées depuis 2002, contrairement à celles des mois de juillet et de septembre, qui se situent très en dessous des concentrations observées ces dernières années. La tendance à l'augmentation des concentrations en phosphate observée depuis quatre années semble s'infléchir.

Tout comme pour le phosphate, les concentrations en silicate de juillet et de septembre sont restées dans des valeurs plus faibles que celles enregistrées lors des quatre dernières années. Lors de la campagne du mois de mars nous observons cependant des concentrations en silicate qui représentent les maximums de la série pluriannuelle.

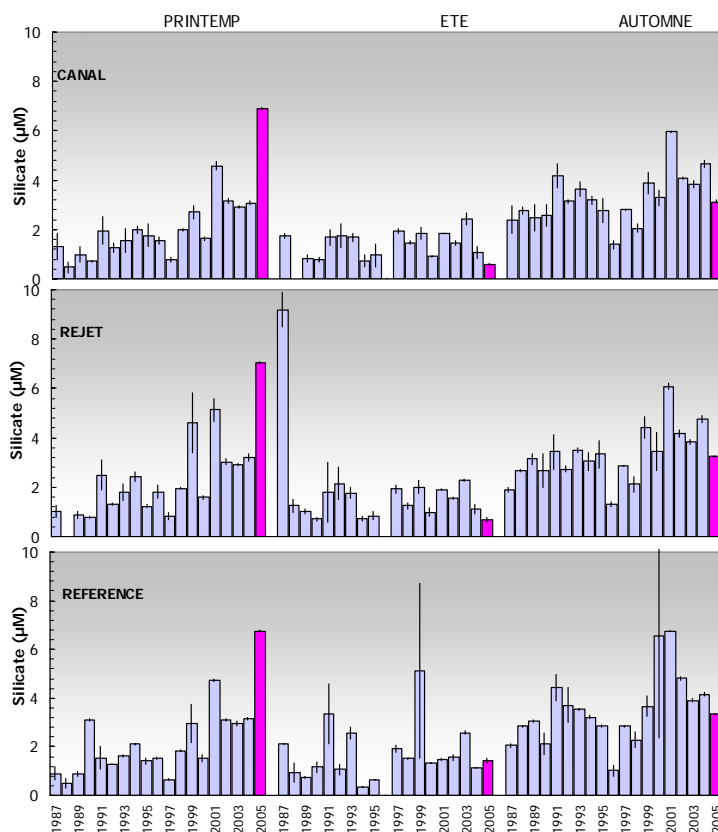


Figure 3.24 : Concentrations en silicate dans l'eau de surface lors des campagnes 1987 à 2005

La tendance saisonnière avec consommation des nutriments en été et régénération en automne est bien mise en évidence dans les figures 3.25 et 3.26. Les valeurs en silicate observées sur les trois points d'échantillonnage au printemps 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 18 dernières années est donc en accord avec les cycles phytoplanctoniques saisonniers traditionnellement décrits dans la littérature scientifique.

Le phosphate semble pourtant rester dans des concentrations plus élevées que celles enregistrées sur le plateau continental Atlantique français.

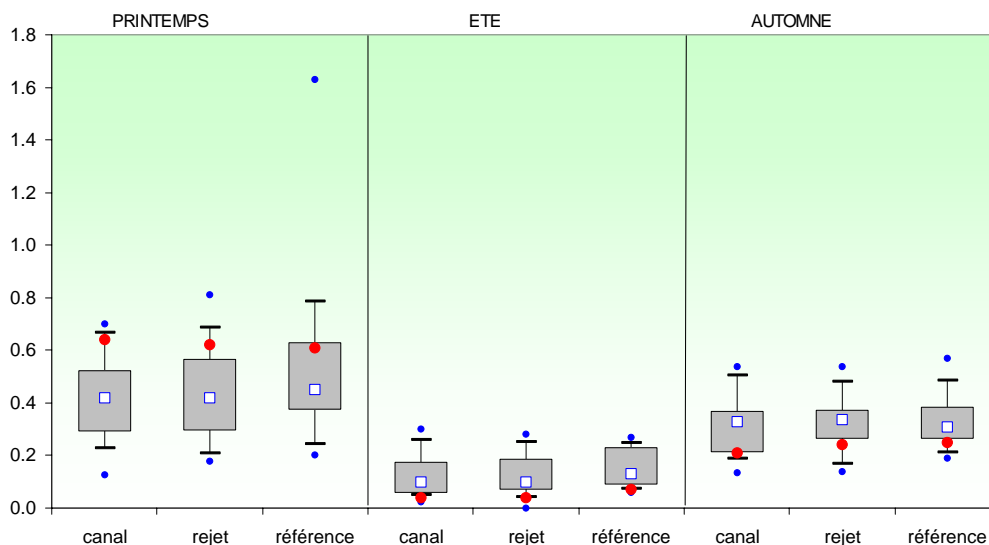


Figure 3.25 : Comparaison des distributions des concentrations en phosphate par campagne et par point depuis 1987

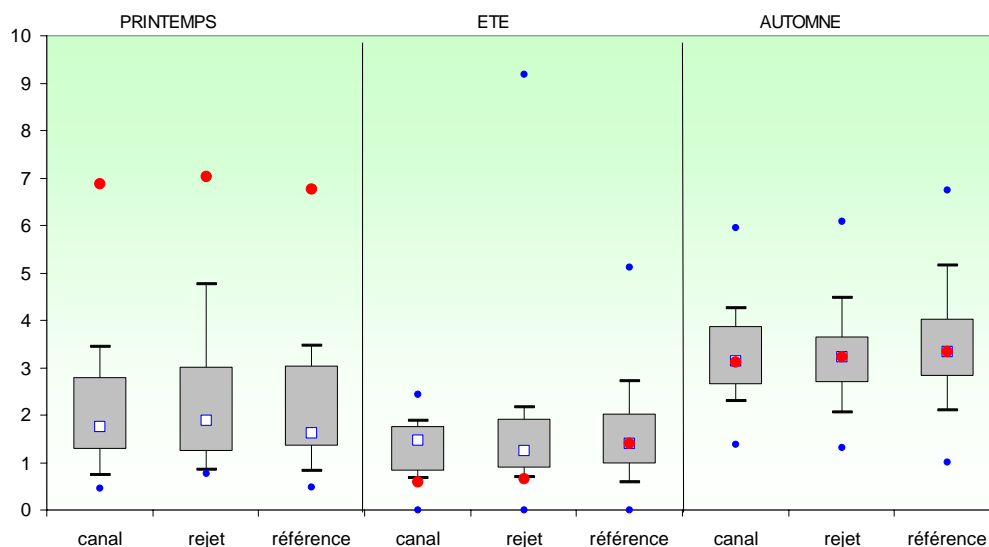


Figure 3.26 : Comparaison des distributions des concentrations en silicate par campagne et par point depuis 1987

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 1987-2005.

Seules les teneurs en phosphate et silicate de l’été et du printemps s’avèrent significativement différentes, respectivement entre les points *canal* et *référence* et entre les points *rejet* et *référence*. Cependant, notons la *p-value* proche du seuil de 0,05 pour le test du phosphate.

	COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
PHOSPHATE	CANAL / REJET	0,332	0,251	0,999
	REFERENCE / REJET	0,646	0,062	0,332
	CANAL / REFERENCE	0,099	0,038	0,102
SILICATE	CANAL / REJET	0,238	0,479	0,795
	REFERENCE / REJET	0,009	0,627	0,359
	CANAL / REFERENCE	0,999	0,813	0,168

(*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 (Na_3PO_4). Les purges des circuits auxiliaires occasionnent des rejets qui atteignent environ 1 t/an (0,56 t en 2004 ; cf. Rapport annuel de surveillance de l'environnement ; EDF). Les résultats des tests statistiques montrent que ces rejets ne sont pas perceptibles. Les teneurs en phosphate et en silicate semblent présenter des variations saisonnières classiques, avec des concentrations en silicate printanières élevées. Finalement, la centrale via ses rejets, ne semble donc 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 2005 ont été comprises entre 1,0 et 4,6 mg/L au point *canal*, entre 0,3 et 5,1 mg/L au point *rejet* et 1,1 et 4,6 mg/L au point *référence* (figure 3.27). Les valeurs en MES décroissent de mars vers septembre, mettant en évidence le plus fort hydrodynamisme du début de printemps.

Les concentrations observées au mois de mars ne présentent que peu d'écart. En juillet nous observons un gradient décroissant côte-large, tandis qu'en septembre la situation s'est inversée.

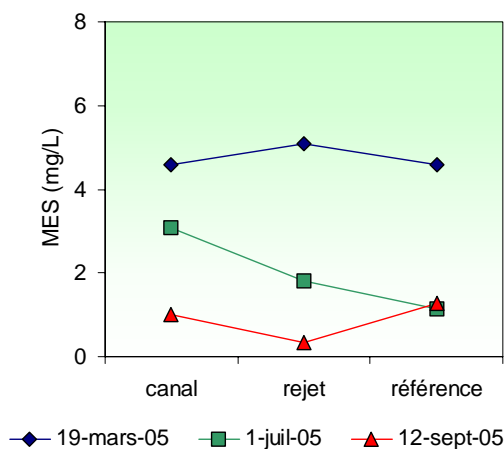


Figure 3.27 : Concentrations en MES dans les eaux de surface lors des campagnes 2005

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 3.28. 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.

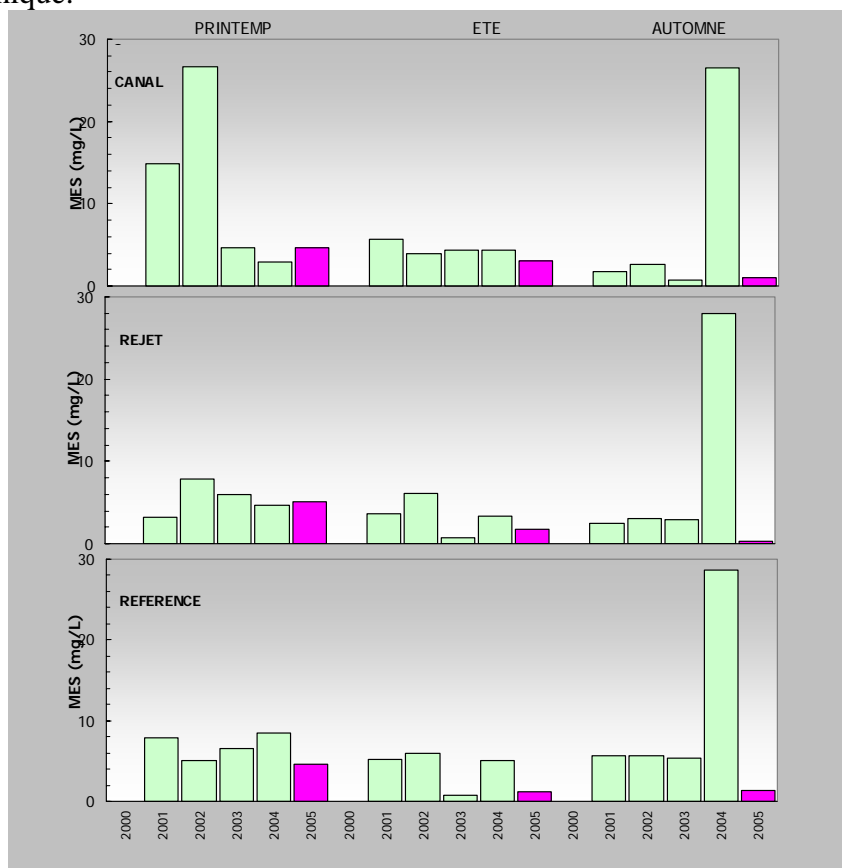


Figure 3.28 : Concentrations en MES dans l’eau de surface lors des campagnes 2000 à 2005

En règle générale les plus fortes conditions de mer (houle, vagues) sont observées lors des campagnes de mars ou de septembre, ce qui se traduit par des valeurs en MES supérieures à celles de l'été. En 2005 nous n'avons pas subi de très mauvaises conditions climatiques lors de l'exécution des campagnes.

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

3.2.2.7. Bore

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

Les rejets en milieu marin (8,2 tonnes d'acide borique en 2004) se font par l'intermédiaire des effluents radioactifs liquides en conformité avec la valeur fixée par la réglementation (40 tonnes d'acide borique selon les termes de l'arrêté interministériel du 11 mai 2000).

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

3.2.2.7.1. Variations spatiales et saisonnières du bore

La concentration du bore en 2005 a varié de 4,3 à 5 mg/L (figure 3.29). Les valeurs observées en septembre sont légèrement inférieures à celles des mois de mars et juin. En juin et septembre nous observons un gradient croissant entre les points *canal* et *référence*, tandis qu'au mois de mars ce gradient est inversé. Les valeurs de bore au point *rejet* sont tantôt inférieures à celles des autres points, tantôt supérieures. Au mois de septembre, la concentration en bore se situe entre les deux valeurs obtenues 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. Ces valeurs, bien qu'anciennes, permettent de calculer l'intervalle de confiance liée à la méthodologie.

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.

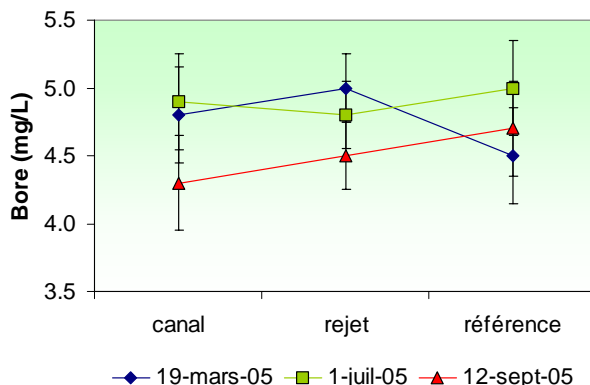


Figure 3.29 : Concentrations en bore dans l'eau de surface lors des campagnes 2005 avec les intervalles de confiance ($\alpha = 0,05$)

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 3.30. Les premières mesures en bore, qui ont eu lieu en septembre 2000, font suite au nouvel arrêté d'autorisation de rejet de mai 2000.

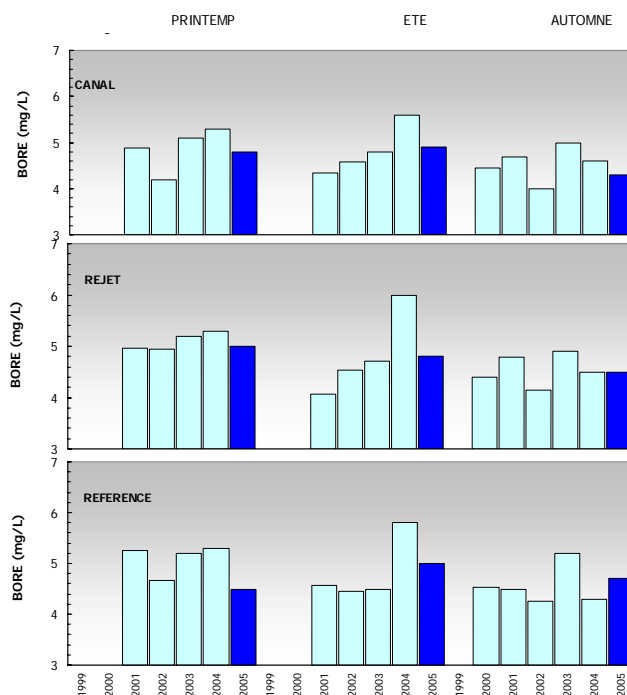


Figure 3.30 : Concentrations en bore dans l'eau de surface lors des campagnes 2000 à 2005

Suite à l'augmentation des concentrations en bore constatée en 2004, nous remarquons une diminution significative des valeurs sur l'ensemble des points et des campagnes. Seule la valeur observée au point référence en septembre 2005 a été supérieure à celle enregistrée en 2004.

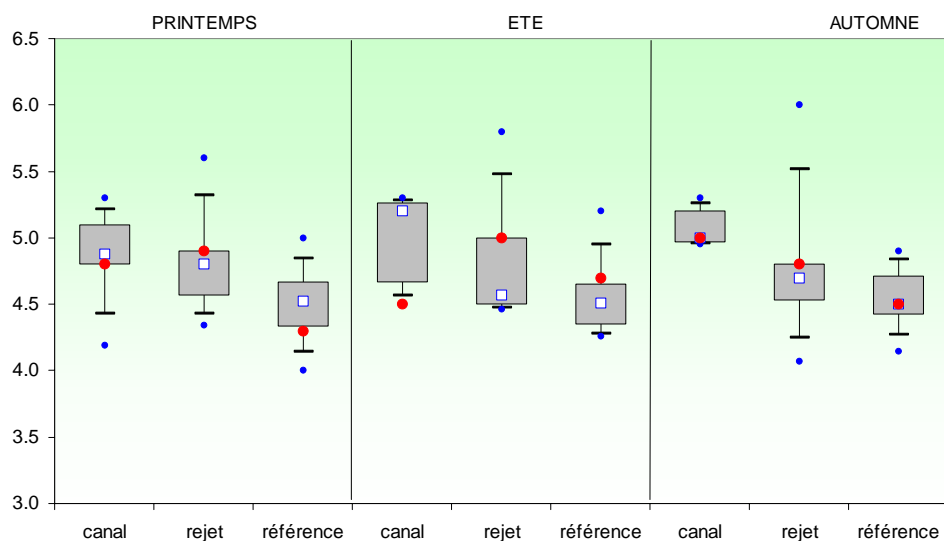


Figure 3.31 : Comparaison des distributions des concentrations en bore (mg/L) par campagne et par point depuis septembre 2000

Avec cinq résultats minimum obtenus sur l'ensemble de points, nous pouvons déjà faire une représentation en boîte à moustaches (figure 3.31). Bien que ponctuellement les gradients côte-large aient des allures différentes, les médianes présentent un gradient décroissant entre les points *canal* et *référence*.

3.2.2.7. Trihalométhanes

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

Les quatre formes organo-halogénées recherchées sont :

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

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

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

3.2.3 Conclusion

Les températures de l'eau de mer enregistrées lors des campagnes 2005 montrent l'effet d'un début de printemps froid, avec des valeurs inférieures aux médianes pluriannuelles et des valeurs bien supérieures à ces médianes en été et en surtout en automne, où les maxima de la série ont été atteints. Les écarts de température entre les point *rejet* et *référence* se situent au dessus des médianes pour les trois campagnes, sans dépasser cependant 3° 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.

L'ensemble de nutriments mesurés pendant les campagnes 2005 présente un cycle saisonnier classique : suite à l'augmentation de l'ensoleillement, les sels nutritifs sont consommés par le phytoplancton entre le printemps et l'été, puis les processus de régénération suivent en automne. Les concentrations en nitrite et phosphate ont été inférieures aux années précédentes, tandis que les valeurs en silicate du mois de mars ont été très supérieures.

Les MES présentent une diminution de mars à septembre, avec des valeurs automnales très inférieures à celles observées en 2004. Aucune différence significative n'est observée dans les concentrations de bore par point d'échantillonnage. En règle générale, les concentrations en bore de 2005 ont été inférieures à celles de 2004. Les valeurs de l'ensemble des produits de chlorations recherchés dans l'eau de mer ont été inférieures au seuil de détection analytique.

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 météo-océanographiques existantes. Les données des 18 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*.

<i>COMPARAISON</i>	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 Phosphate	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 2005.

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 de quatre aux points *canal* et *rejet* et de deux pour les points *référence*.

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

3.3.2. Résultats

Les résultats obtenus en 2005 sont donnés par le tableau 3.10 ci-dessous.

	(Valeurs moyennes \pm écart type)	CANAL D'AMENEE	REJET	REFERENCE	
				SURFACE	-10 M
19 MARS	<i>Chlorophylle a</i> ($\mu\text{g/L}$)	0,81 \pm 0,15	1,02 \pm 0,12	0,91 \pm 0,01	0,82 \pm 0,00
	<i>Phéopigments</i> ($\mu\text{g/L}$)	0,16 \pm 0,09	0,23 \pm 0,03	0,08 \pm 0,00	0,12 \pm 0,06
	<i>Prod. Primaire</i> ($\text{mg C/m}^3/\text{h}$)	3,29	4,39	3,72	2,97
	<i>microphytoplancton</i> (<i>nbre/L</i>)	113 250	122 900	182 100	125 300
1 JUILLET	<i>Chlorophylle a</i> ($\mu\text{g/L}$)	1,44 \pm 0,12	2,05 \pm 0,21	1,63 \pm 0,08	1,74 \pm 0,01
	<i>Phéopigments</i> ($\mu\text{g/L}$)	0,58 \pm 0,12	0,29 \pm 0,17	0,22 \pm 0,04	0,18 \pm 0,06
	<i>Prod. Primaire</i> ($\text{mg C/m}^3/\text{h}$)	6,58	7,40	8,41	5,65
	<i>microphytoplancton</i> (<i>nbre/L</i>)	155 600	145 800	59 100	61 600
12 SEPTEMBRE	<i>Chlorophylle a</i> ($\mu\text{g/L}$)	1,42 \pm 0,13	1,23 \pm 0,12	0,95 \pm 0,12	1,26 \pm 0,12
	<i>Phéopigments</i> ($\mu\text{g/L}$)	0,55 \pm 0,10	0,42 \pm 0,09	0,28 \pm 0,04	0,45 \pm 0,00
	<i>Prod. Primaire</i> ($\text{mg C/m}^3/\text{h}$)	9,65	6,65	6,23	7,24
	<i>microphytoplancton</i> (<i>nbre/L</i>)	168 100	58 200	60 400	44 700

Tableau 3.10 : Moyenne et écart type des paramètres phytoplanctoniques au droit du CNPE de Flamanville en 2005

3.3.2.1. Biomasse chlorophyllienne

3.3.2.1.1. Variations spatiales et saisonnières de la chlorophylle

Au cours de l'année 2005, les valeurs de chlorophylle *a* s'échelonnent entre 0,81 $\mu\text{g/L}$ au point *canal* en mars et 2,05 $\mu\text{g/L}$ au point *rejet* en juillet (figure 3.31). Ces valeurs mettent en évidence les faibles biomasses phytoplanctoniques observées lors des campagnes de mars et septembre 2005 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 mars présente la même allure, avec des valeurs inférieures de moitié. En septembre, nous observons un gradient inversé, avec des valeurs qui se situent entre celles de mars et juillet.

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

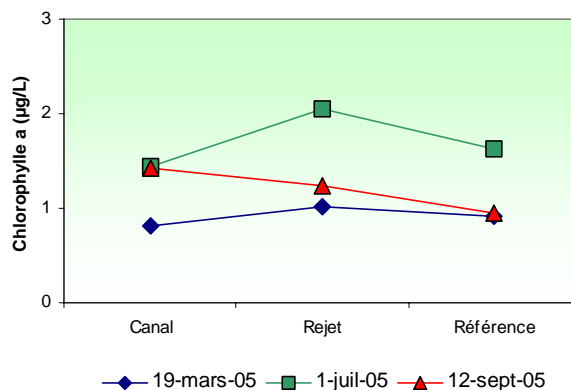


Figure 3.31 : Évolution de la chlorophylle lors des trois campagnes de surveillance 2005

3.3.2.1.2. Variations inter-annuelles

Les valeurs de concentration en chlorophylle aux mois de mars et juillet ont été inférieures à celles observées en 2004, situation qui contraste avec les valeurs en chlorophylle enregistrées en septembre, supérieures à celles observées l'année précédente (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 et septembre se situent proches des médianes, tandis qu'en juillet les valeurs sont toutes situées en dessus.

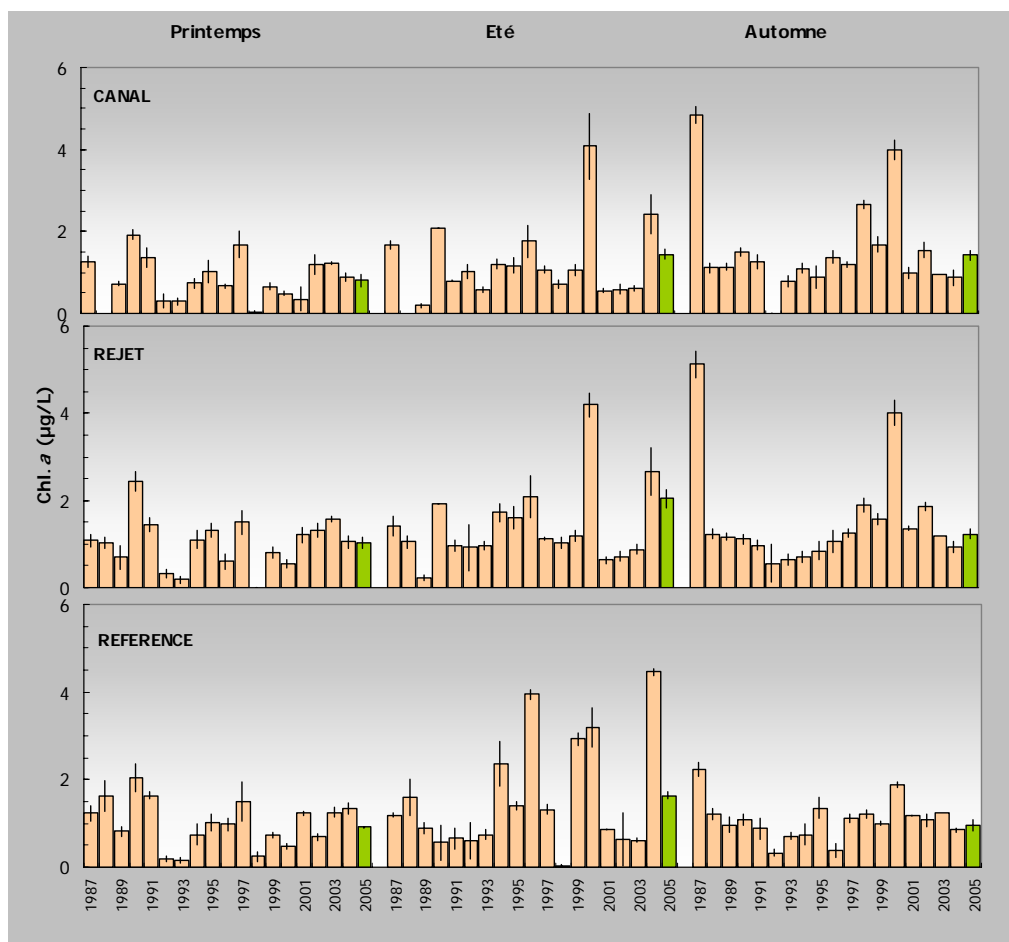


Figure 3.32 : Évolution de la chlorophylle de 1987 à 2005

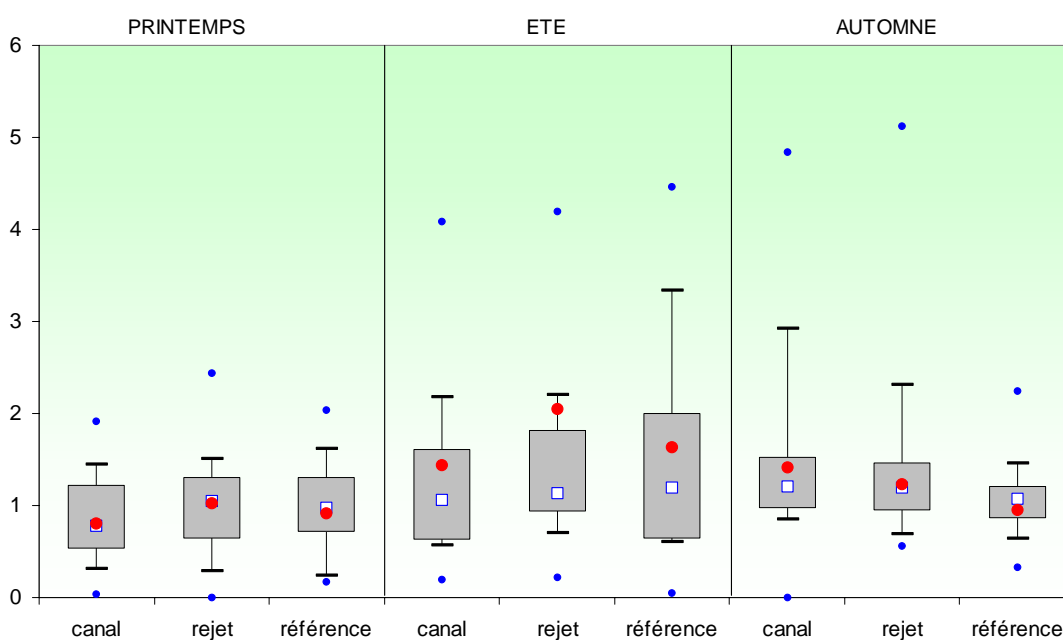


Figure 3.33 : Évolution de la chlorophylle de 1987 à 2005

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	0,063	0,034	0,558
REFERENCE / REJET	0,786	0,563	0,022
CANAL / REFERENCE	0,100	0,351	0,022

(*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 2005 sont comprises entre 3,29 mg C/m³/h en mars au point *canal* et 9,65 mg C/m³/h au même point en septembre (figure 3.34).

En 2005, les plus faibles valeurs de production primaire sont observées au printemps avec une faible variabilité spatiale. Le mois de juillet présente un gradient croissant côte-large bien établi, contrairement à la situation observée en septembre, où le point *canal* présente la plus forte valeur de l'année.

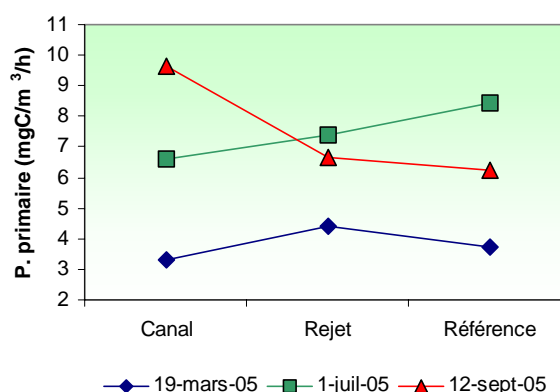


Figure 3.34 : Évolution de la production primaire lors des trois campagnes de surveillance 2005

3.3.2.2.2. Variations inter-annuelles

Toutes les valeurs de production primaire obtenues en 2005 ont été supérieures à celles observées en 2004 (figure 3.35).

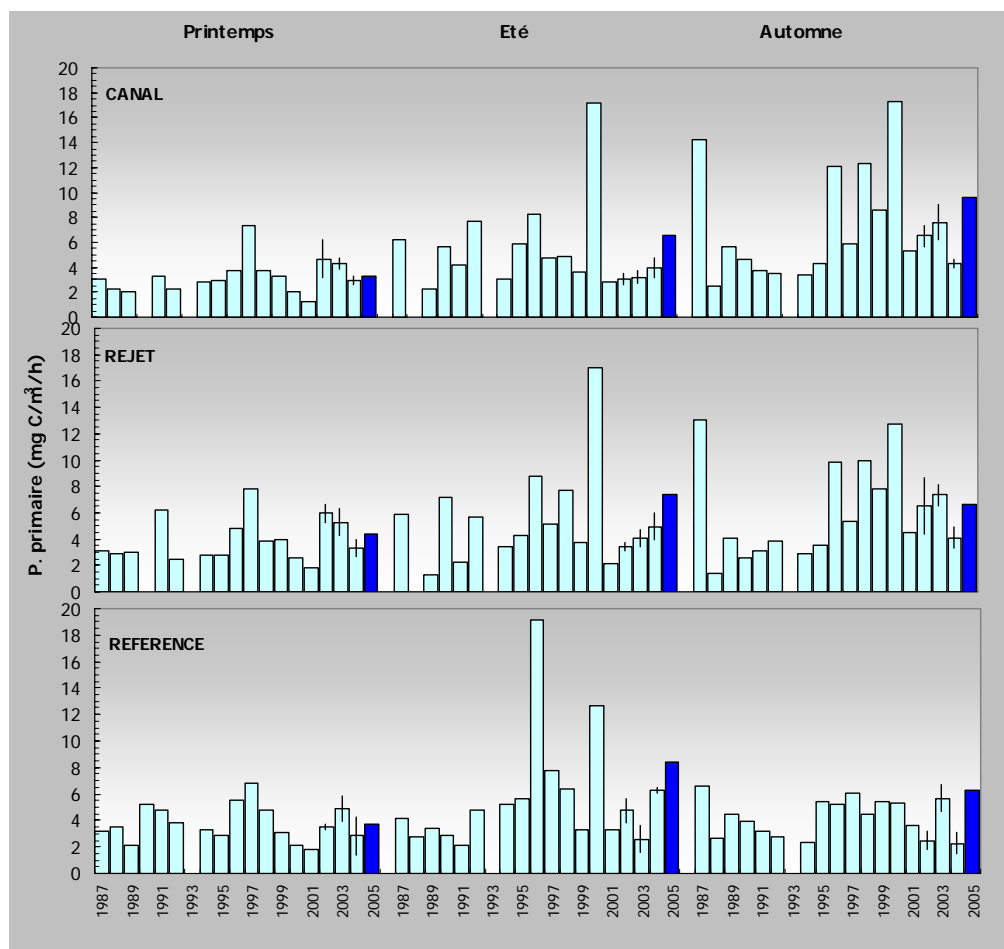


Figure 3.35 : Évolution de la production primaire de 1987 à 2005

Tout comme pour la biomasse chlorophyllienne, la dispersion des valeurs observées sur les trois points en mars est moindre qu'en juillet et septembre (figure 3.36). Les valeurs des médianes printanières sont inférieures à celles de juillet et septembre, mettant en évidence une moins forte production primaire au printemps. Les valeurs de production primaire observées au printemps 2005 se situent près des médianes pluriannuelles, tandis qu'en été et en automne celles-ci sont nettement au dessus des médianes.

La tendance pluriannuelle montre une augmentation saisonnière des valeurs médianes de production primaire. Cette tendance est partiellement confirmée en 2005, où les plus faibles valeurs ont été observées au mois de mars et les plus fortes se situent entre juillet et septembre.

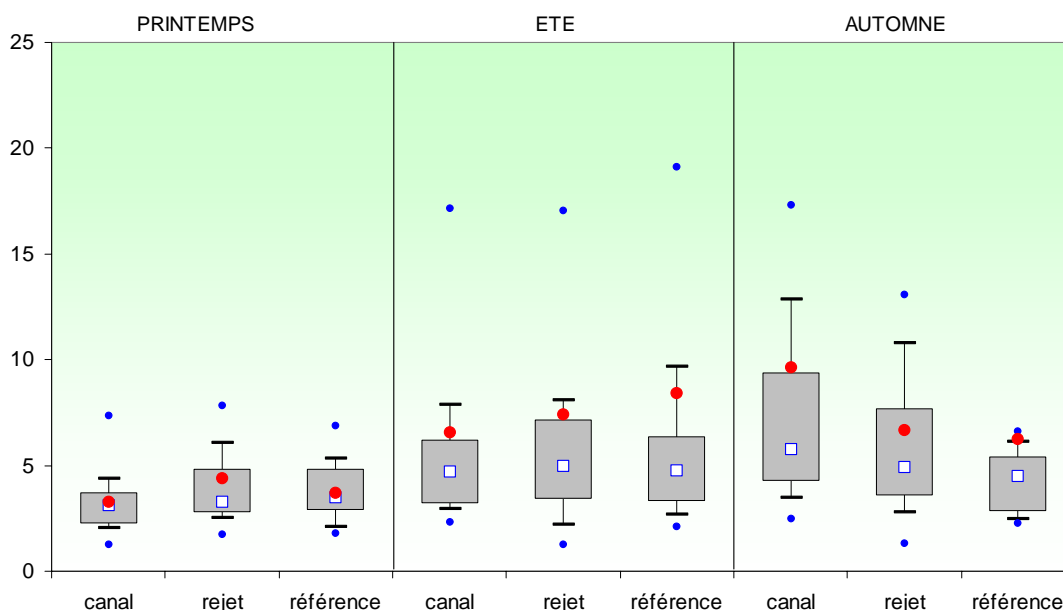


Figure 3.36 : Évolution de la production primaire de 1987 à 2005

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.

3.3.2.3. Approche statistique

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

COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,006	0,845	0,0007
REFERENCE / REJET	0,613	0,999	0,018
CANAL / REFERENCE	0,225	0,999	0,009

(*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 2005 sont présentés figure 3.37. 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 182 100 cellules/L et les plus faibles au point *rejet* en septembre avec 58 200 cellules/L. En mars, nous observons un gradient croissant côte-large.

Les mois de juillet et septembre présentent un gradient inverse avec une valeur minimale au point *référence*.

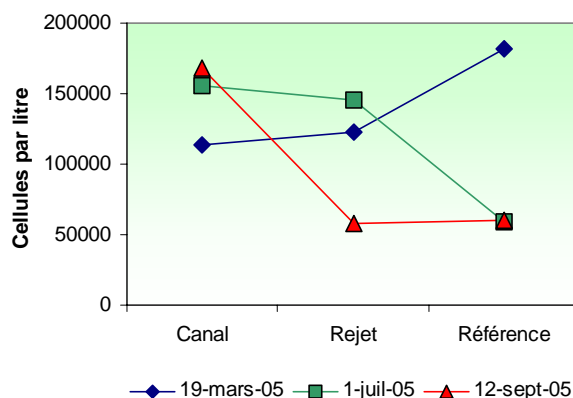


Figure 3.37 : Abondances microphytoplanctoniques pour l'année 2005 en nombre de cellules/L d'eau de mer

3.3.2.3.2. Variations inter-annuelles

A l'exception des valeurs observées au point *référence* en juillet, et au point *rejet* en septembre, toutes les abondances cellulaires enregistrées en 2005 ont été supérieures à celles de 2004 (figure 3.38).

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 juillet 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. Les points *référence* et *rejet* représentent les maximum de la série pluriannuelle. En juillet, seule la valeur du point *référence* se situe en dessous de la médiane, tandis qu'en septembre ce sont celles des points *référence* et *rejet* qui restent inférieures à celle-ci.

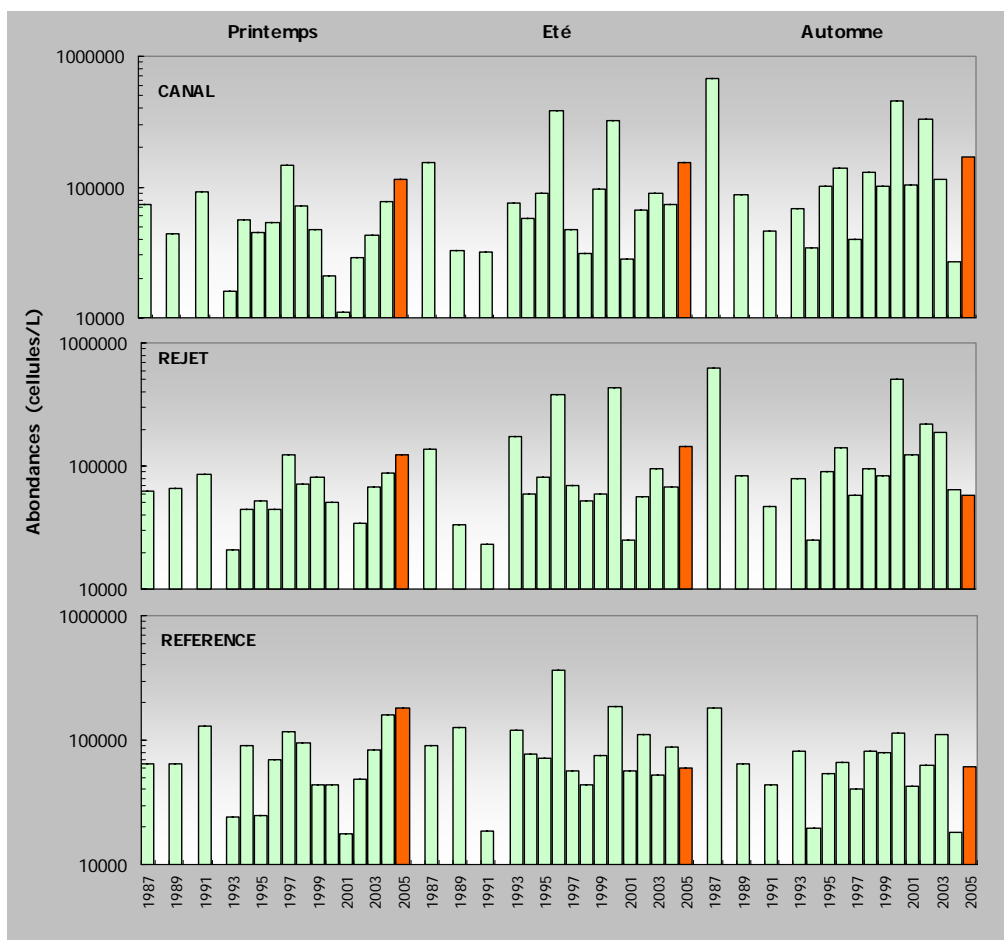


Figure 3.38 : Évolution de l'abondance phytoplanctonique de 1987 à 2005

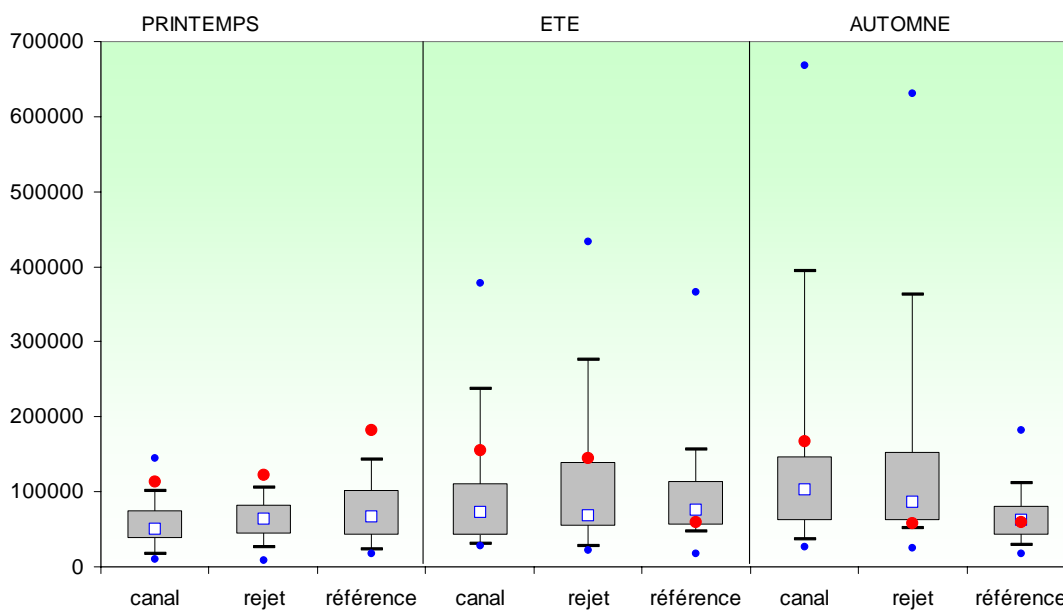


Figure 3.39 : Évolution de l'abondance phytoplanctonique de 1987 à 2005

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, à l'exception du couple canal-rejet.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,201	0,605	0,521
REFERENCE / REJET	0,061	0,453	0,006
CANAL / REFERENCE	0,014	0,580	0,002

(*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 2005

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 2005 a été synthétisée en 4 grandes classes : Diatomées, Dinoflagellés, Euglénophycées et Silicoflagellés. En 2005, environ 60 taxons (taxons plus classes algales) ont été dénombrés. Les diatomées représentent plus de 91 % de la communauté microphytoplanctonique, ce qui fait d'elles, la classe microphytoplanctonique dominante (tableau 3.14).

Campagne	Station	MICROPHYTOPLANCTON				TOTAL	Dinoflagellés %	Diatomées %
		diatomées	dinoflagellés	euglènes	silicoflagellés			
IGA 2005-1	canal	112800	0	0	450	113250	0	100
IGA 2005-1	rejet	122300	300	0	300	122900	0	100
IGA 2005-1	ref surf	181200	450	0	450	182100	0	100
IGA 2005-1	ref 1/2 prof.	125000	0	0	300	125300	0	100
IGA 2005-2	canal	155000	200	200	200	155600	0	100
IGA 2005-2	rejet	145200	300	300	0	145800	0	100
IGA 2005-2	ref surf	57600	300	900	300	59100	1	97
IGA 2005-2	ref 1/2 prof.	61600	0	0	0	61600	0	100
IGA 2005-3	canal	162600	4100	1400	0	168100	2	97
IGA 2005-3	rejet	56700	1500	0	0	58200	3	97
IGA 2005-3	ref surf	55200	3400	1800	0	60400	6	91
IGA 2005-3	ref 1/2 prof.	42500	900	1100	200	44700	2	95

Tableau 3.14 : Abondances des principales classes algales (cellules/L) pour l'année 2005

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 9 900 cellules/L au point *référence* en mars et 328 300 cellules/L au point *canal* en septembre. Ceci donne la mesure de l'importance de la fraction nanophytoplanctonique et son poids en terme de biomasse.

Les principales espèces dénombrées en 2005 ont été les suivantes :

Mars 2005 : les colonies des genres de diatomées *Thalassiosira* et *Skeletonema* ont représenté plus de 80% des espèces microphytoplanctoniques (tableau 3.15 et figure 3.40). *Thalassiosira* présente des dominances entre 50 et 60 % aux points *canal* et *référence* en surface, tandis que les dominances des points *rejet* et *référence* à mi profondeur sont inférieures à 30 %. *Thalassiosira levanderii* étant l'espèce la plus représentée de ce genre. Inversement, l'espèce *Skeletonema costatum* présente un profil de dominance croisé avec celui de *Thalassiosira sp.* *Chaetoceros sp.* présente un gradient croissant côte-large avec des valeurs en surface allant de 0% à 4%. *Nitzschia sp.* présente un gradient inverse qui oscille entre 5% et 3%. Le genre *Rhizosolenia sp.* est faiblement représenté avec des valeurs de 1% aux points *rejet* et *référence*.

Pendant cette campagne de mars, les dinoflagellés ont représenté moins de 1% de l'abondance microphytoplanctonique totale. Les seuls genres observés ont été *Prorocentrum* et *Katodinium*.

Les Euglènes sont présentes dans les eaux des points *rejet* et *référence* avec des abondances de 300 et 450 cellules/L, tandis que les silicoflagellés (Dictyochales) sont repartis sur l'ensemble des points d'échantillonnage avec le même niveau d'abondances.

La flore nanophytoplanctonique représenté par les cryptophycées atteint des abondances de 36 200 cellules/L au point *canal*.

Juillet 2005 : tout comme pour les situations observées pendant les étés 2002, 2003 et 2004, le genre le plus représenté parmi les diatomées lors de l'été 2005 est le genre *Rhizosolenia* avec des dominances comprises entre 61% et 89%. Ce genre est essentiellement représenté par les espèces *Rhizosolenia delicatula* et *Rhizosolenia imbricata*, avec un gradient décroissant côte-large. Les dominances de *Chaetoceros sp.* ont variée entre 2% et 5% et celles du genre *Pseudo-Nitzschia* de 2% à 5%. Au point *référence* l'espèce *Guinardia flaccida* atteint 15% de dominance en surface et 13% à mi profondeur, tandis qu'au point *rejet* elle ne représente que 2%.

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).

Les dinoflagellés ne représentent que 1% de l'abondance microphytoplanctonique au point *référence*. Les genres rencontrés ont été *Amphidinium*, *Gymnodinium* et, *Protooperidinium*.

L'abondance maximale de cryptophycées a été observée au point *rejet* avec une valeur de 142 000 cellules/L.

Campagne	Station	D I A T O M E E S								Cumul %
		RHIZ	NITZ	CHAE	THAL	SKEL	LEPT	GUIN	PSNZ	
IGA 2005-1	canal	0	4	0	61	32	0	0	0	97
IGA 2005-1	rejet	1	5	2	25	60	0	0	1	94
IGA 2005-1	ref surf	1	3	4	56	29	0	0	0	93
IGA 2005-1	ref 1/2 prof	0	3	8	19	66	0	0	1	97
IGA 2005-2	canal	87	0	5	0	2	0	0	2	96
IGA 2005-2	rejet	89	0	2	0	0	0	2	3	96
IGA 2005-2	ref surf	61	1	5	8	0	0	15	5	95
IGA 2005-2	ref 1/2 prof	63	2	4	0	3	0	13	4	89
IGA 2005-3	canal	17	2	17	2	19	0	0	36	93
IGA 2005-3	rejet	23	4	23	2	18	5	0	20	95
IGA 2005-3	ref surf	16	5	29	7	34	0	0	2	93
IGA 2005-3	ref 1/2 prof	13	3	31	5	34	3	1	5	95

Tableau 3.15 : Abondances des principaux genres de diatomées pour l'année 2005

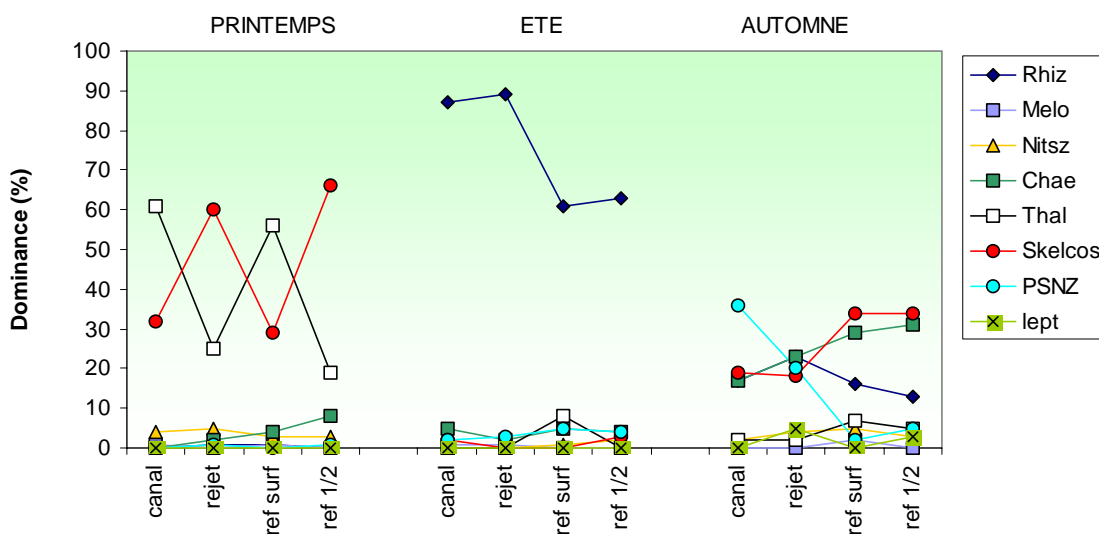


Figure 3.40 : Distribution des abondances en diatomées pour l'année 2005

Septembre 2005 : les genres les plus observés en septembre ont été *Chaetoceros*, *Rhizosolenia*, *Skeletonema* et *Pseudo-Nitzscha*. *Chaetoceros* et *Skeletonema* présentent des dominances croissantes côte-large qui vont respectivement de 17% et 19% à 31% et 34%. Le genre *Rhizosolenia*, avec des dominances de 13% à 23% sur l'ensemble de points est essentiellement représenté par *Rhizosolenia delicatula*, tandis que *Pseudo-Nitzschia* est présente avec 36% au point canal et 20% au point rejet. Les plus fortes valeurs de dominance du genre *Thalassiosira* ne dépassent pas 7%.

La plus forte dominance de dinoflagellés a été observée sur le point *référence* en surface avec 6% (3400 cellules/L). Les genres rencontrés dans cette fin d'été ont été *Gymnodinium*, *Amphidinium*, *Prorocentrum*, *Gyrodinium* et *Protoperidinium*.

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 2005.

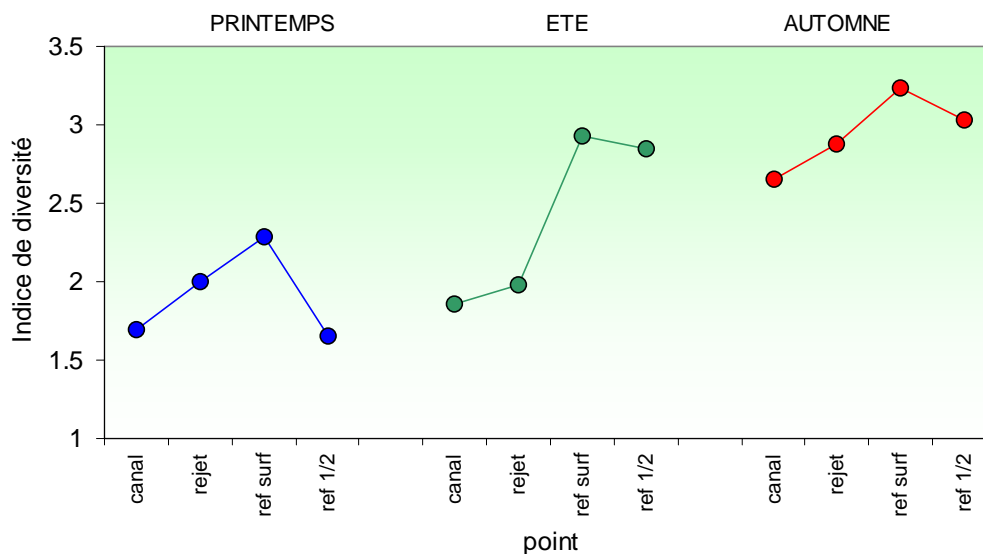


Figure 3.41 : Distribution de l'indice de diversité de Shannon pour l'année 2005

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

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 :

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

- V_a : valeur observée au canal d'amenée

- V_r : valeur observée au point *rejet*

En utilisant les valeurs mesurées en 2005 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>
19 MARS	-26	-33	-9
1 JUILLET	-42	-12	6
12 SEPTEMBRE	13	24	65

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

Pour les campagnes de mars et de juillet, la chlorophylle et la production primaire ont montré des valeurs supérieures à la sortie du *rejet* par rapport au point *canal*. Au mois de septembre ces valeurs sont inférieures. Le microphytoplancton, en mars et juillet, présente peu de différences entre les valeurs de l'entrée au *canal* et celles de la sortie au point *rejet*, tandis qu'au mois de septembre le *rejet* présente un déficit de 65 %.

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

3.3.4. Conclusion

La biomasse chlorophyllienne et la production primaire montrent une évolution inter-annuelle et spatiale similaires. Avec des biomasses comprises entre 0,81 et 2,05 $\mu\text{g/L}$, le cycle phytoplanctonique annuel correspond au cycle classiquement décrit en Atlantique. Les valeurs de chlorophylle *a* en été ont été supérieures aux médianes pluriannuelles bien qu'inférieures à celles de 2004.

La production primaire présente des valeurs supérieures aux médianes tout le long de l'année et tout particulièrement en été et en automne, où ces valeurs ont été supérieures à celles enregistrées en 2004. Les abondances phytoplanctoniques observées en mars ont été très supérieures aux médianes pluriannuelles et ont représenté les maxima de la série aux points *rejet* et *référence*. L'ensemble d'abondances a présenté des valeurs supérieures à celles observées en 2004.

Les dénombrements microphytoplanctoniques sur le site de Flamanville montrent la régularité du phénomène au cours duquel la population de la période *hivernale*, peu développée et dominée par *Thalassiosira* et *Skeletonema costatum* est remplacée en été par une population constituée pour l'essentiel par des diatomées du genre *Rhizosolenia* (majoritairement *R. delicatula*). La campagne automnale présente une plus forte diversité, où les genres *Skeletonema*, *Chaetoceros*,

Rhizosolenia et *Pseudo-Nitzschia* sont représentés. 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 2005.

3.4. Zooplancton

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

3.4.1. Matériels et méthodes

En 2005, les trois campagnes de prélèvements ont eu lieu les 19 mars, 1^{er} juillet et 12 septembre. Lors de chaque campagne, trois points sont étudiés :

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

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

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

3.4.1.1. **Mesure de la biomasse**

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

3.4.1.2. **Analyse taxinomique**

L'échantillon à analyser est homogénéisé par brassage mécanique après l'extraction d'éléments grossiers (morceaux de bois, plastiques etc...). Le fractionnement est réalisé avec une boîte de Motoda ou une pipette de grosse capacité (10 ml) selon l'abondance des organismes et le volume de l'échantillon. La fraction à examiner est déposée dans une cuve à fond plat (16 × 10 cm) munie de champs de lecture (20 lignes × 2 colonnes) permettant un meilleur dénombrement des taxons. Les dénombrements s'effectuent à l'aide d'une loupe binoculaire (zoom 6 - 50 ×) en éclairage diascopique. Pour chaque taxon, le fractionnement final est calculé à partir de la fraction déposée dans la cuve et le nombre de champs analysés 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.

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 de l'année 2005 sur le site de Flamanville sont présentés ci-après.

	PARAMETRES	CANAL	REJET	RÉFÉRENCE
19 MARS	Poids sec (mg/m ³)	5,3	6,8	5,4
	Abondance méroplancton (N./10m ³)	3 706	10 060	14 223
	Abondance holoplancton (N./10m ³)	215	787	1 277
	Abondance zooplancton totale (N./10m ³)	3 921	10 848	15 500
	Poids de carbone (mg/m ³)	1,1	1,9	2,1
	Poids d'azote (mg/m ³)	0,2	0,4	0,4
01 JUILLET	Poids sec (mg/m ³)	63,3	40,3	33,7
	Abondance méroplancton (N./10m ³)	822	830	779
	Abondance holoplancton (N./10m ³)	2 492	10 135	24 355
	Abondance zooplancton totale (N./10m ³)	3 314	10 964	25 134
	Poids de carbone (mg/m ³)	14,9	11,3	12,6
	Poids d'azote (mg/m ³)	2,1	2,5	3,3
12 SEPTEMBRE	Poids sec (mg/m ³)	8,9	18,3	15,5
	Abondance méroplancton (N./10m ³)	2 214	2 146	1 633
	Abondance holoplancton (N./10m ³)	4 908	7 313	11 298
	Abondance zooplancton totale (N./10m ³)	7 122	9 459	12 931
	Poids de carbone (mg/m ³)	2,8	6,0	5,7
	Poids d'azote (mg/m ³)	0,6	1,4	1,4

Tableau 3.17 : Récapitulatif des résultats pour 2005 pour l'étude du zooplancton

3.4.2.1. Biomasse zooplanctonique

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

3.4.2.1.1 Variations spatiales et temporelles en 2005

Au cours de l'année 2005, les valeurs de biomasse zooplanctonique minimale et maximale sont observées au point *canal*. Elles s'échelonnent entre $5,3 \text{ mg/m}^3$ le 19 mars et $63,3 \text{ mg/m}^3$ le 1^{er} juillet (figure 3.42).

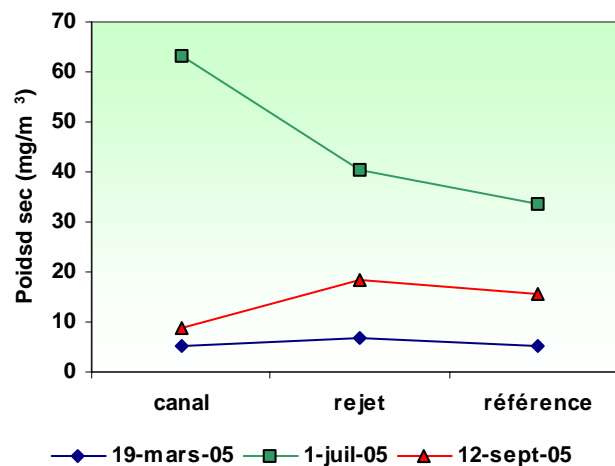


Figure 3.42 : Évolution de la biomasse (poids sec) au cours des trois campagnes de surveillance 2005

Les plus faibles biomasses sont observées au printemps ($5,3$ à $6,8 \text{ mg/m}^3$). Elles sont maximales en été ($33,7$ à $63,3 \text{ mg/m}^3$) et décroissent à l'automne ($8,9$ à $18,3 \text{ mg/m}^3$) pour atteindre à nouveau des valeurs plus proches de celles du printemps.

Le point *canal* présente les plus faibles biomasses en mars et en septembre, avec la plus forte variabilité saisonnière. Un gradient décroissant est mis en évidence entre les points *canal* et *référence* lors de la campagne estivale.

3.4.2.1.2 Variations interannuelles

En mars 2005, les valeurs de biomasse observées sont légèrement supérieures à celles de l'année 2004 pour les points *canal* et *rejet*, et jusqu'à deux fois plus faibles pour le point *référence* (figure 3.43). Lors de la campagne de juillet, la valeur de biomasse au point *canal* est quatre fois supérieure aux valeurs relevées lors des quatre années précédentes. Par ailleurs, cette valeur est le double de la valeur maximale antérieurement observée à ce point pour l'ensemble de la série temporelle. De fortes valeurs aux points *référence* ($33,7 \text{ mg/m}^3$) et *rejet* ($40,3 \text{ mg/m}^3$) ont aussi été observées en 2005, mais elles restent inférieures à celles de 2004. En septembre 2005, les valeurs observées au point *canal* sont deux fois plus faibles que celles observées en 2004 à la même période. Au point *rejet*, les biomasses de septembre 2005 sont environ deux fois plus fortes que celles observées depuis 2001. Enfin, au point *référence*, les valeurs observées sont similaires à celles mesurées depuis les trois dernières années à la même période.

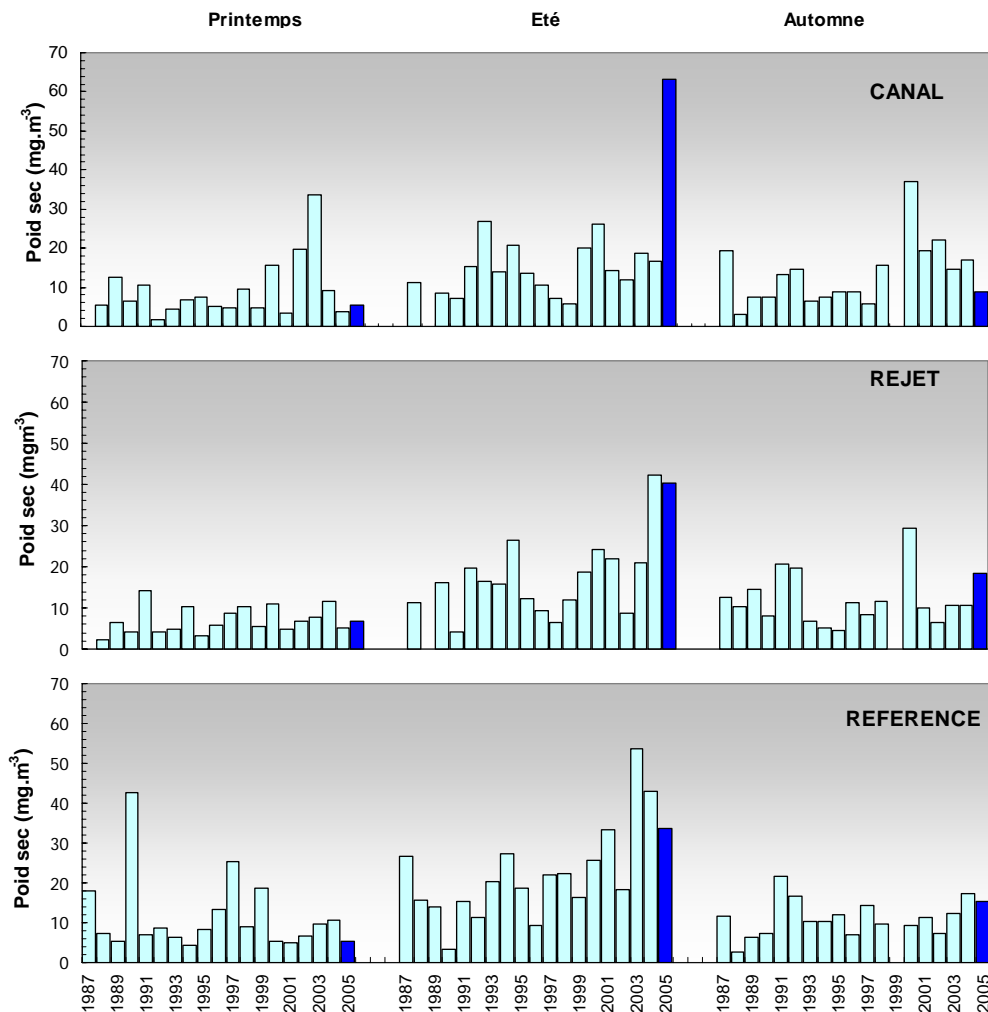


Figure 3.43 : Évolution de la biomasse (poids sec) de 1987 à 2005

Les plus fortes dispersions de valeurs de la série 1987-2004 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 importante des valeurs est constatée entre le printemps et l'été (facteur d'augmentation : 2 à 2,5), suivi d'une diminution en automne pour atteindre des valeurs proches de celles observées au printemps.

Lors de la campagne de mars, les valeurs observées aux points *canal* et *référence* se situent en dessous des médianes ; inversement, le point *rejet* présente une valeur (6,8 mg/m³) voisine de la médiane (6,3 mg/m³). En juin et septembre, toutes les valeurs sont supérieures (et parfois très largement) aux médianes pluriannuelles, à l'exception de la valeur du point *canal* en septembre.

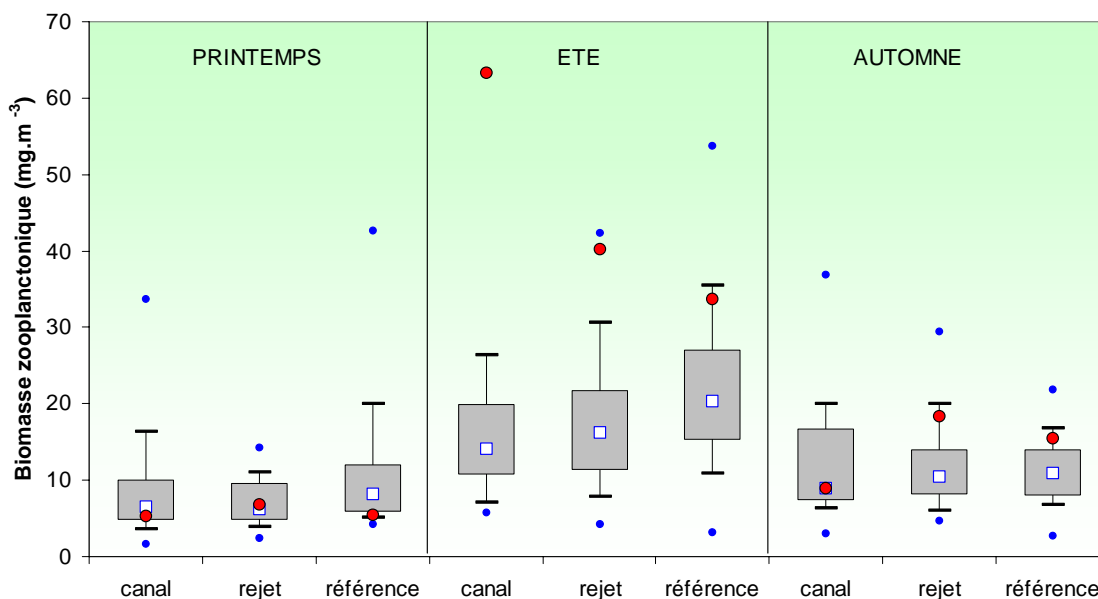


Figure 3.44 : Évolution de la biomasse (poids sec) de 1987 à 2005

3.4.2.1.3 Approche statistique

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

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTE	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,359	0,999	0,560
RÉFÉRENCE / REJET	0,066	0,332	1,000
CANAL / RÉFÉRENCE	0,168	0,124	0,813

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

Tableau 3.18 : Probabilités associées p des tests statistiques sur la biomasse

Aucune différence significative dans l'étude du paramètre biomasse zooplanctonique n'a été mise en évidence pour les trois couples de points *canal* et *rejet*, *référence* et *rejet* et *canal* et *référence*. Les biomasses zooplanctoniques de ces trois points de prélèvements sont donc similaires sur les trois campagnes annuelles.

3.4.2.2. Abondances zooplanctoniques globales

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

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 2005

Les dénombrements zooplanctoniques effectués en 2005 sont présentés sur la figure 3.45. ci-dessous. Ils sont exprimés en nombre d'individus par 10 m^3 d'eau de mer. Un gradient croissant *côte-large* est observé pour les trois campagnes, surtout marqué en été. Les plus fortes abondances sont observées au point *référence* en juillet avec $25\,134\text{ ind./}10\text{ m}^3$ et les plus faibles au point *canal* en juillet avec $3\,314\text{ ind./}10\text{ m}^3$.

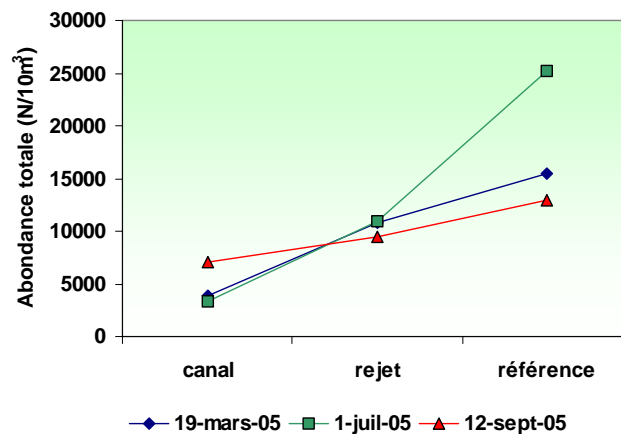


Figure 3.45 : Évolution de l'abondance zooplanctonique totale ($\text{ind./}10\text{ m}^3$) au cours des trois campagnes de surveillance 2005

Le point *canal* présente les plus faibles abondances au cours du printemps et de l'été et un maximum à l'automne. Le point *rejet* présente des valeurs de l'ordre de $10\,000\text{ ind./}10\text{ m}^3$ avec une très faible variabilité temporelle. Le point *référence* présente les valeurs d'abondances les plus élevées en été ($25\,134\text{ ind./}10\text{ m}^3$), des valeurs intermédiaires au printemps ($15\,500\text{ ind./}10\text{ m}^3$) et minimales à l'automne ($12\,931\text{ ind./}10\text{ m}^3$).

Une analyse plus fine des données révèle qu'au printemps, le maximum d'abondance observé au large (point *référence*) coïncide avec les valeurs de biomasse les plus faibles. Au cours de l'été et de l'automne, l'abondance et la biomasse présentent des gradients *côte-large* (*canal/rejet/référence*) inversés. Les plus faibles valeurs de biomasse enregistrées au point *rejet* coïncident avec des abondances élevées de copépodes. Paradoxalement, les plus fortes valeurs de biomasses observées à la côte (point *canal*) coïncident avec des abondances faibles, bien que cela ne corresponde pas à la présence d'espèces de grande taille.

3.4.2.2 Variations interannuelles

Le point *canal* est caractérisé par une chute importante de l'abondance printanière par rapport à 2004 (d'un facteur 5). Cependant, ces faibles valeurs sont proches de celles enregistrées en 2002 et 2003 (figure 3.46). Cela fait ainsi ressortir le caractère exceptionnel de la valeur printanière au *rejet* en 2004. Les valeurs d'abondance estivale au point *canal* restent dans la gamme des valeurs observées depuis les trois dernières années. Les abondances automnales sont en revanche deux fois supérieures à celle de 2004.

Aux points *rejet* et *référence*, les valeurs d'abondance printanières et automnales sont relativement proches de celles enregistrées au cours des autres années. Par contre, l'abondance estivale au point *rejet* est deux fois plus faible que celle de 2004 et atteint une valeur voisine de celles observées en 2001 et 2003. Le point *référence* présente en été une valeur d'abondance particulièrement élevée qui constitue la deuxième plus forte valeur observée à cette période sur le site depuis 1991.

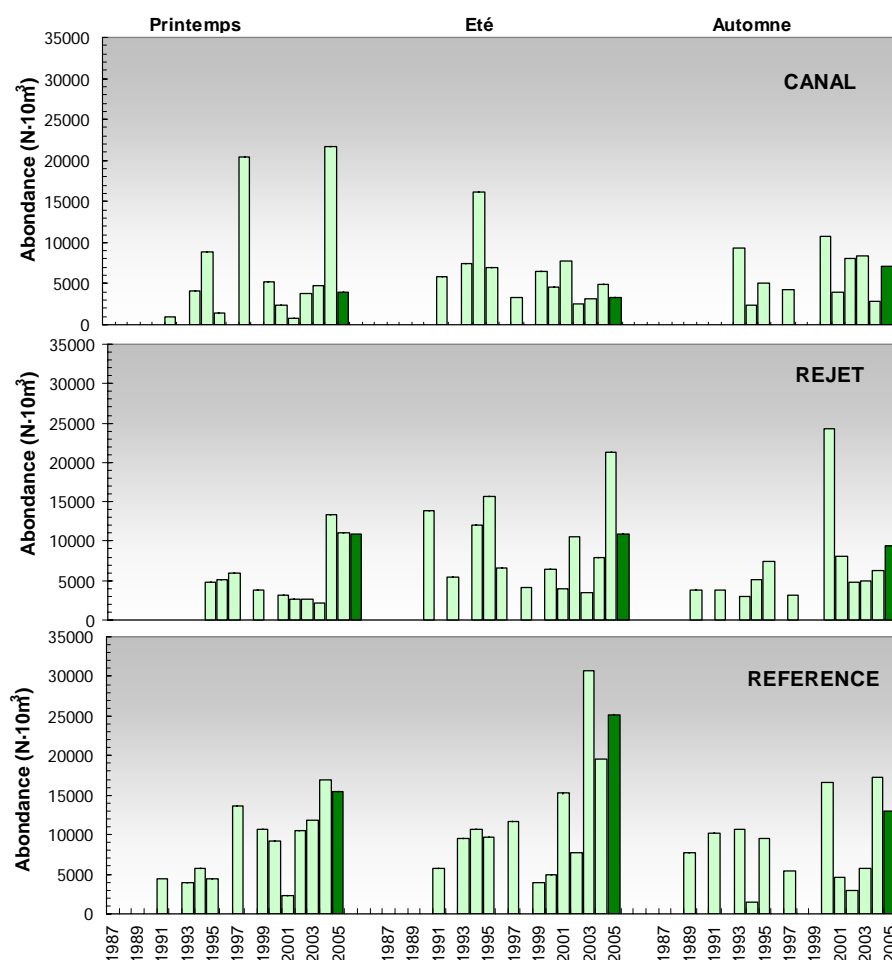


Figure 3.46 : Évolution de l'abondance zooplanctonique de 1989 à 2005

Les boîtes à moustaches mettent bien en évidence le caractère exceptionnel de la valeur d'abondance observée en 2005 au point *référence* en été (figure 3.47). Lors de la campagne de juillet, la valeur d'abondance au point *référence* est en effet très supérieure à la médiane pluriannuelle.

La dispersion des valeurs de la série 1987-2004 souligne les importantes variations d'abondance qui touchent le point *canal* pendant la période printanière et le point *référence* pendant l'été. La distribution des valeurs médianes fait apparaître un gradient d'abondance croissant de la côte vers le large tout au long de l'année avec toutefois une atténuation en automne. Le gradient *côte-large* observé en 2005 est donc habituel bien qu'accentué.

À l'exception du point *canal*, l'ensemble des mesures d'abondance réalisées en 2005 sont toujours très supérieures aux médianes pluriannuelles

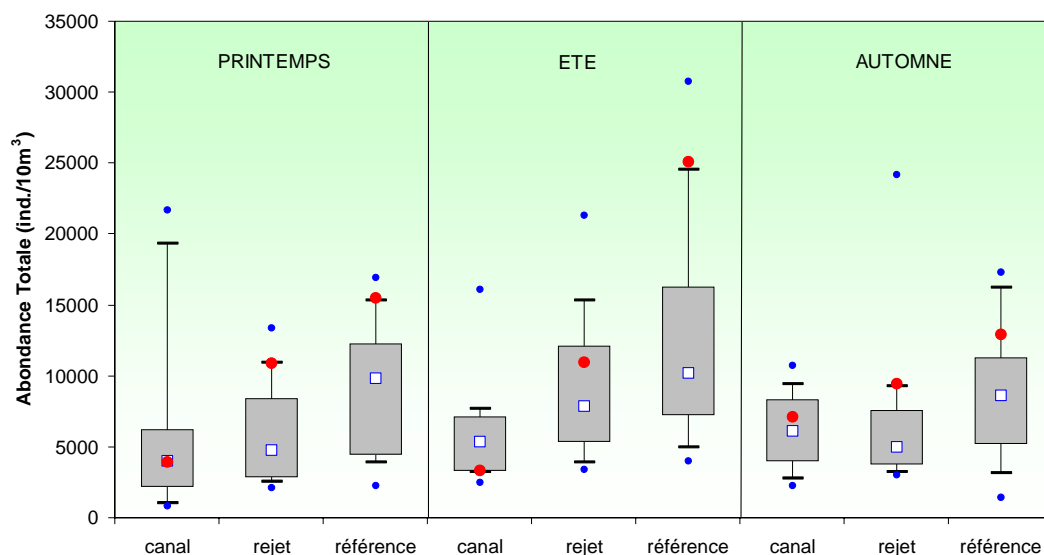


Figure 3.47 : Évolution de l'abondance zooplanctonique de 1989 à 2005

3.4.2.2.3 Approche statistique

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

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
CANAL / REJET	0,622	0,773	0,432
RÉFÉRENCE / REJET	0,022	0,386	0,273
CANAL / RÉFÉRENCE	0,139	0,036	0,180

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

Tableau 3.19 : Probabilités associées p des tests statistiques sur l'abondance zooplanctonique

3.4.2.3. Étude faunistique

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

Un certain nombre d'espèces accomplissent l'intégralité de leur cycle biologique (œufs, larves, adultes) au sein du milieu pélagique ; ce sont les espèces *holoplanctoniques*. Les crustacés copépodes représentent généralement une part importante de cette fraction. Selon la saison, s'y ajoutent quelques espèces moins abondantes, appartenant à d'autres embranchements comme les appendiculaires et les chaetognathes. D'autres organismes holoplanctoniques comme les mysidacés, les cténares et les cladocères sont très peu présents lors des trois campagnes 2005.

Abondance zooplancton (N.·10m ⁻³)	19-mars						01-juil						12-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	%
total Cténares			3		2				3				14		14		101	1
total Chaetognathes							17	1			29						41	
total Cladocères	6	3													3			
total Mysidacés																		
total Copépodes	124	58	619	79	680	53	2051	82	9117	90	22152	91	4251	87	6563	90	10710	95
total Appendiculaires	85	40	165	21	596	47	424	17	1015	10	2174	9	644	13	732	10	446	4
total holoplancton	215	5	787	7	1277	8	2492	75	10135	92	24355	97	4908	69	7313	77	11298	87
total Cnidaires	6		38		16						36	5	108	5	93	4	122	7
total Annélides	28	1	311	3	12		68	8			7		356	16	113	5	0	
total larves de Cirripèdes	3113	84	9168	91	13287	93	136	17	61	7			1373	62	1183	55	690	42
Amphipodes	0		3		0		17	2	61	7	138	18	7		34	2		
Isopodes (larves microniscus)					2		17	2	10	1								
Isopodes Gnathidae							4											
Cumacés																		
Euphausiacés																		
larves Natantia			6		2		4		71	9	58	7	20	1	54	3	61	4
larves Thalassinidae							4		30	4	14	2	7		82	4	152	9
larves d'Anomoures	23	1	73	1	6		13	2	234	28	420	54	47	2	114	5	325	20
larves Brachyours	6		54	1	23		25	3	53	6	36	5	24	1	51	2	243	15
larves de Mollusques	34	1	83	1	23		525	64	284	34	51	7	220	10	338	16	41	3
Cyphonautes																		
Bryozoaires	480	13	279	3	850	6							34	2	85	4		
Têtards d'Ascidies									20	2			17	1				
Téléostéens (Œufs)	11		22		2		8	1			4	1						
Téléostéens (Alevins et larves)	6		22						5	1	14	2						
total méroplancton	3706	95	10060	93	14223	92	822	25	830	8	779	3	2214	31	2146	23	1633	13
total zooplancton	3921		10848		15500		3314		10964		25134		7122		9459		12931	

Tableau 3.20 : Abondances et dominances de différents groupes du méroplancton et de l'holoplancton en 2005

Par opposition à l'holoplancton, le méroplancton constitue la fraction temporaire du zooplancton, organismes dont seule une partie du cycle vital est planctonique. Il s'agit principalement de larves à vie pélagique émises par de nombreuses espèces à phase adulte benthique errante (crabes, annélides...) ou fixée : annélides, mollusques (moules...) et crustacés cirripèdes, nombreux sur l'estran rocheux. Le méroplancton est encore constitué de phases pélagiques d'espèces fixées (méduses, qui représentent les phases sexuées libres de cnidaires). Il est donc de fait plus abondant au printemps, pendant les périodes de reproduction des espèces benthiques (figure 3.48).

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

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

En été et à l'automne, l'holoplancton représente 70 à 97 % du zooplancton total. Il est essentiellement composé de copépodes avec, cette année, 81 % (50 à 95 %) de l'abondance totale de l'holoplancton.

En revanche, au printemps, le méroplancton représente la quasi totalité du zooplancton (figure 3.48) et exprime une très faible variabilité entre les trois points d'échantillonnage (92-95 % du zooplancton total). Cette fraction est essentiellement composée de larves de cirripèdes au printemps (> 80%) et à l'automne (40-50%) et de larves de mollusques et d'anomoures en été (30-60%).

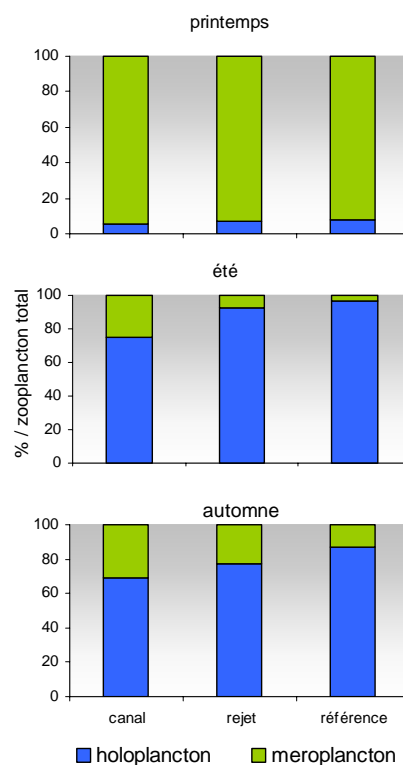


Figure 3.48 : Répartition des dominances de l'holoplancton et du méroplancton dans le zooplancton total en 2005

3.4.2.3.2 Variations spatio-temporelles des principaux taxons en 2004

L'holoplancton

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

Cette variabilité est plus marquée pour les points *canal* et *référence* où l'abondance relative passe d'environ 50 % à plus de 80 % alors que pour le point *rejet* elle passe de 80 à 90 %.

- Les copépodes :

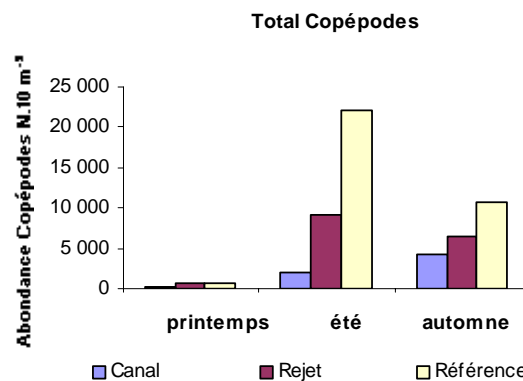


Figure 3.49 : Abondance des copépodes en 2005

Les copépodes, qui constituent le taxon dominant de l'holoplancton, montrent la même évolution saisonnière. Les plus faibles abondances sont observées au printemps, avec une augmentation en été et une diminution en automne, sans toutefois atteindre les niveaux du printemps. Ainsi au cours de l'année 2005, le minimum d'abondance est observé en mars au point *canal* avec 124 ind./10 m³ et le maximum en juillet au point *référence* avec 22 152 ind./10 m³. Cette valeur représente d'ailleurs le maximum de l'année. Un gradient croissant *côte-large* est observé tout au long de l'année et s'avère particulièrement marqué pendant la période estivale.

Temora longicornis

Les abondances de *Temora longicornis*, espèce dominante du groupe, suivent pour cette raison la même évolution que le total des copépodes. La plus forte valeur est observée au point *référence* lors de la campagne de juillet où elle atteint 2 101 ind./10 m³. Le point *canal* montre toujours les abondances les plus faibles (6 – 492 ind./10 m³) malgré une variabilité saisonnière marquée. Le point *rejet* suit la même tendance avec des niveaux d'abondance intermédiaires (70 à 761 ind./10 m³)

Si l'abondance de ce copépode est faible au printemps et en automne, elle trouve son optimum en été, avec des valeurs de 10 à 1000 fois plus élevées ce qui concorde avec la biologie de cette espèce.

Acartia clausi

Espèce estivale, *Acartia clausi* apparaît de manière préférentielle en juillet et septembre, avec un maximum de 4 493 ind./10 m³ au point *référence* au mois de juillet. La période estivale est caractérisée par un gradient *côte-large* très marqué, avec une plage de variation de 300 à 4 500 ind./10 m³. Par contre, ce gradient s'estompe en automne et les abondances observées sur les trois sites varient autour de 1 700 ind./10 m³.

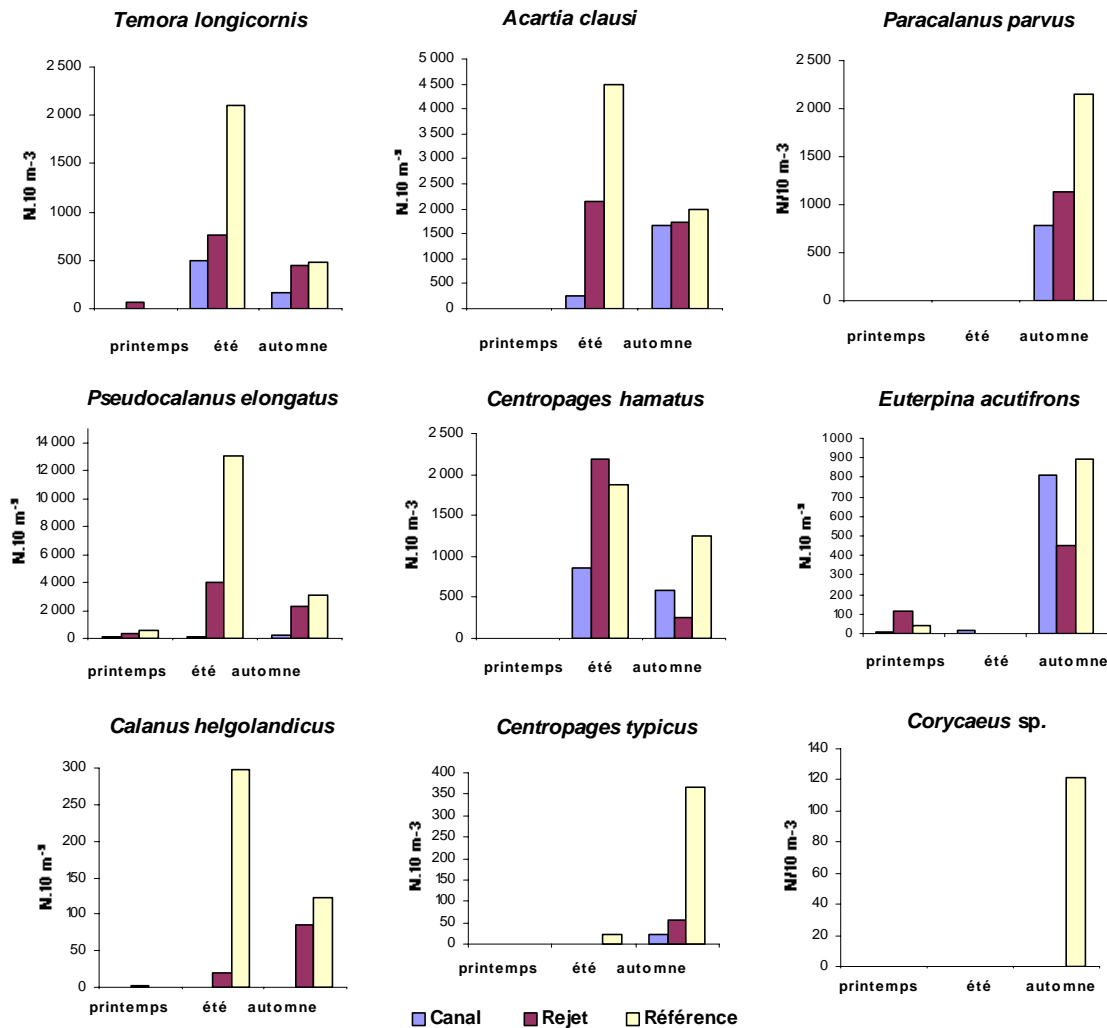


Figure 3.50 : Abondances des principaux copépodes en 2005

Paracalanus parvus

Cette espèce est essentiellement présente en septembre avec un maximum de 2 150 ind./10 m³ au point *référence*. Les valeurs d'abondance aux points *rejet* et *canal* sont 2 à 3 fois plus faibles.

Pseudocalanus minutus

Cette espèce est présente lors des trois campagnes et suit la même évolution que *T. longicornis* avec un maximum de 13 043 ind./10 m³ en juillet au point *référence*. Au point *canal*, les abondances sont très faibles et varient de 79 à 203 ind./10 m³. Le point *rejet* présente des valeurs s'étalant entre 375 et 3 959 ind./10 m³. Le gradient d'abondance croissant *côte-large* est observable pour toutes les périodes avec une très forte accentuation en été (plage de variation : 169 à 13 043 ind./10 m³).

Centropages hamatus

Cette espèce n'est quasiment pas présente au printemps (6 ind./10 m³ au point *canal*). Elle montre pour tous les points des maximums d'abondance en été avec des valeurs s'échelonnant alors de 864 ind./10m³ pour le point *canal* à 1 884 ind./10 m³ pour le point *rejet*. L'ensemble des valeurs décroît à l'automne : la valeur maximale est observée pour le point *référence* (1 258 ind./10 m³), suivi de 576 ind./10 m³ pour le point *canal* et de 254 ind./10 m³ pour le point *rejet*. Aucun gradient *côte – large* n'est clairement visible pour cette espèce quelle que soit la période.

Euterpina acutifrons

Cette espèce est présente au printemps sur les 3 points. Elle disparaît des points *rejet* et *référence* en été et n'est que faiblement présente au point *canal* (17 ind./10 m³). Espèce typiquement automnale, elle atteint son abondance maximale en septembre avec 814 et 892 ind./10 m³ respectivement pour les points *canal* et *référence*, et 451 ind./10 m³ au point *rejet*.

Calanus helgolandicus

Pour toutes les campagnes, cette espèce plutôt typique du large est absente au point *canal*. Au point *référence*, l'abondance maximale est observée en été (297 ind./10 m³) et chute de plus de la moitié à l'automne pour atteindre 122 ind./10 m³. Au point *rejet*, le passage de l'été à l'automne est accompagné d'une augmentation d'abondance de 20 à 85 ind./10 m³.

Centropages typicus

Cette espèce est aussi absente du point *canal* pour toutes les campagnes. Elle n'apparaît de manière importante qu'en septembre avec un maximum de 365 ind./10 m³ au point *référence*. Pour cette espèce témoin des entrées d'eaux atlantiques en Manche, le gradient *côte-large* est très marqué et présente une gamme de variation de 24 à 365 ind./10 m³

Corycaeus sp.

Ce genre n'a été présent qu'en septembre (122 ind./10 m³), uniquement au point *référence*.

- Les autres espèces holoplanctoniques (figure 3.51)

Les appendiculaires, représentés par *Oikopleura*, sont présents lors des trois campagnes aux trois points. Au point *canal*, l'abondance augmente de mars à septembre et passe de 65 à 644 ind./10 m³. Aux points *référence* et *rejet*, l'abondance augmente d'un facteur 3 à 6 entre le printemps et l'été puis diminue à nouveau en automne, sans toutefois atteindre les faibles valeurs printanières. Le maximum d'abondance est observé pour le point *référence* en juillet et atteint 2 174 ind./10 m³. À cette période le gradient d'abondance *côte – large* est très marqué.

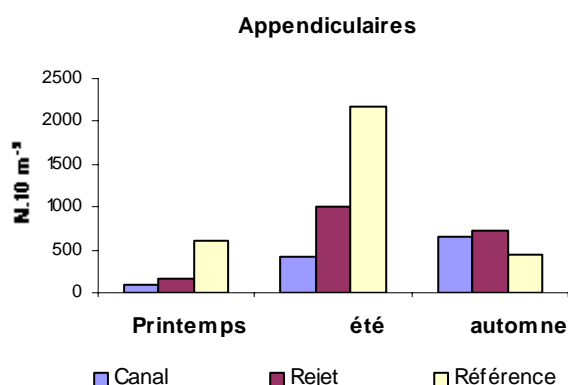


Figure 3.51 : Abondances des espèces holoplanctoniques autres que les copépodes en 2005

Le méroplancton

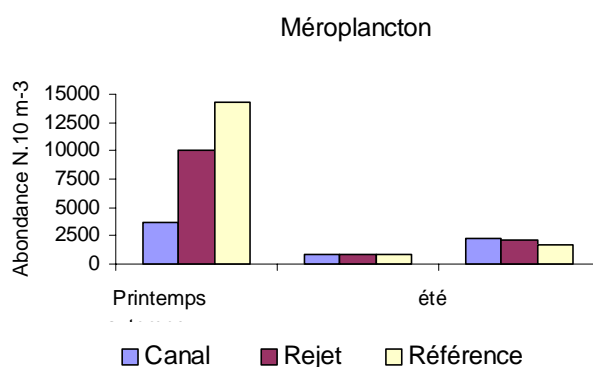


Figure 3.52 : Abondance du méroplancton en 2005

Le méroplancton, essentiellement composé à Flamanville de larves pélagiques d'espèces benthiques, apparaît dans le plancton lors de leur période de reproduction. Il est abondant au printemps et représente numériquement plus de 90 % du zooplancton total. La valeur maximale d'abondance est observée au point *référence* et atteint 14 223 ind./10 m³. Le gradient d'abondance *côte-large* observé au printemps couvre une gamme de 3 706 à 14 223 ind./10 m³. Au cours des deux autres campagnes cette catégorie du zooplancton est présente en plus faible quantité (moins de 30 % du zooplancton total) et varie entre 779 ind./10 m³ (point *référence* – juillet 2005) et 2 214 ind./10 m³ (point *canal* – septembre 2005). Aucun gradient d'abondance n'est observé à ces périodes.

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

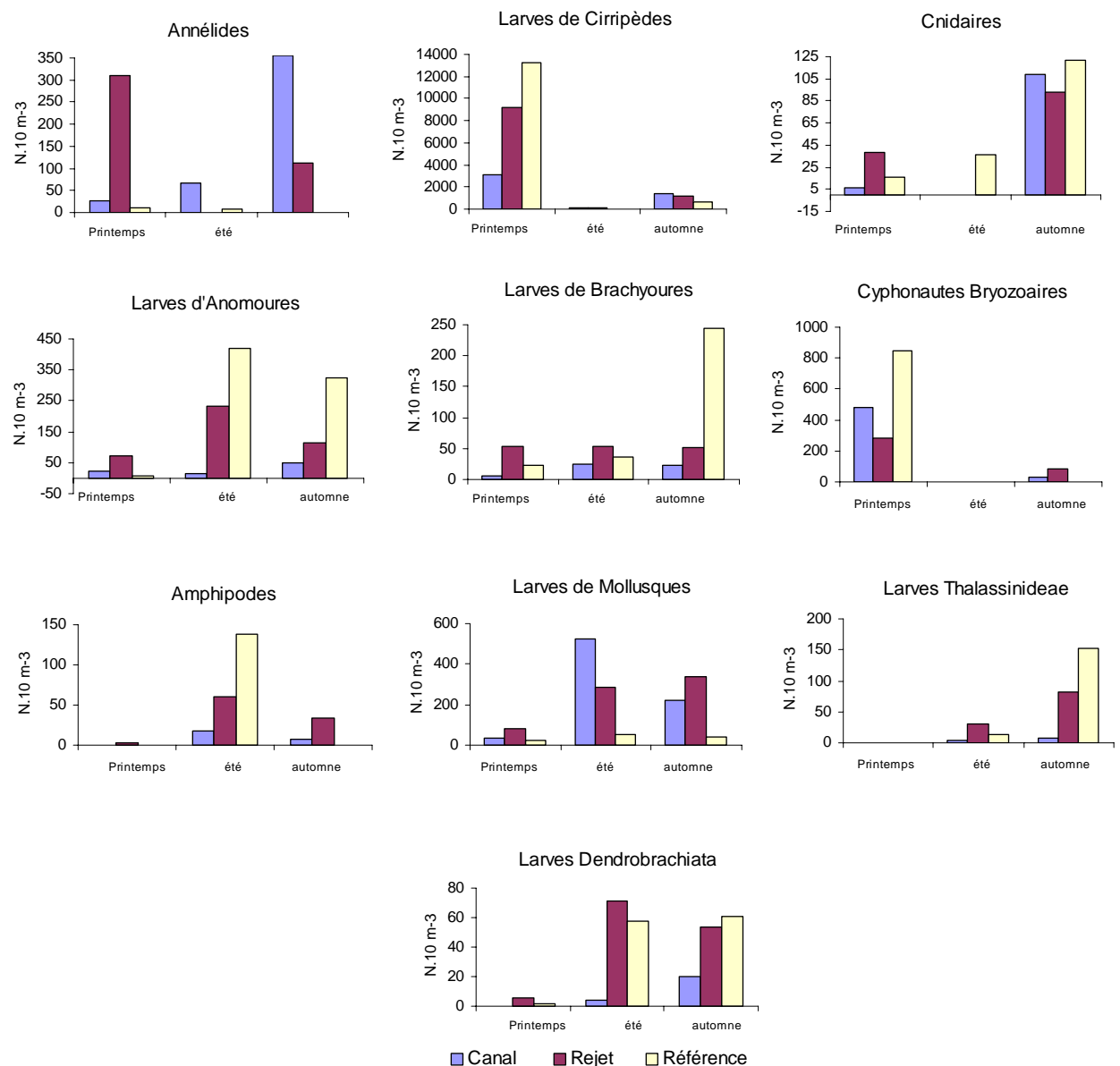


Figure 3.53 : Abondance des espèces méroplanctoniques en 2005

- Pour les larves d'anomoures, *Natantia* (Dendrobrachiata et Caridés) et mollusques, une évolution similaire au cours du temps est observée à savoir :

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

- Les larves de brachyoures, de *Thalassinideae* ainsi que les Cnidaires présentent la même évolution spatiale et temporelle avec

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

- Embranchement des bryozoaires
 - les larves cyphonautes sont très abondantes au printemps, en particulier au point *référence* où elles atteignent leur maximum annuel de 850 ind./10 m³. Elles représentent alors 6 % du méroplancton total. Bien que deux fois moins abondantes au point *canal* à la même période (480 ind./10 m³) elles y représentent 13 % du méroplancton total. Le point *rejet* avec 279 ind./10 m³ ne représente que 3 % du méroplancton printanier. La période estivale est caractérisée par la disparition de ces larves sur tous les sites. Elles réapparaissent en automne mais leur abondance est limitée (34 à 85 ind./10 m³) et leur localisation restreinte aux points *canal* et *rejet*.
- Embranchement des arthropodes, classe des crustacés

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

Les larves de cirripèdes sont essentiellement printanières et automnales. Au printemps elles représentent 83 à 93 % du méroplancton total. À l'automne, ce pourcentage diminue et varie entre 42 et 62 %.

Le maximum d'abondance est atteint au point *référence* en mars avec 13 287 ind./10 m³. Les valeurs minimales sont observées en juillet avec 136 ind./10 m³ pour le point *canal*, 61 ind./10 m³ pour le point *rejet* et aucune larve pour le point *référence*. Si le gradient d'abondance est très marqué au printemps, les valeurs automnales diffèrent peu les unes des autres et la gamme de variation s'étend de 1 633 à 2 214 ind./10 m³.

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

Le maximum d'abondance est atteint en juillet avec 420 ind./10 m³ pour le point *référence* et 234 ind./10 m³ pour le point *rejet*. Cela correspond respectivement à 54 et 28 % du méroplancton total. À l'automne, les valeurs d'abondance diminuent d'un facteur 1,3 à 2 sans jamais atteindre les faibles niveaux du printemps.

Le point *canal* présente toujours les valeurs d'abondance les plus faibles : les larves d'anomoures représentant en ce point moins de 1 % du méroplancton total.

- Larves de *Natantia* (Dendrobranchiata et caridés)

Le maximum d'abondance estival est de 71 ind./10 m³ au point *rejet* et correspond à 9 % du méroplancton total. La seconde valeur estivale la plus forte est enregistrée au point *référence* avec 58 ind./10 m³ ce qui correspond à 7 % du méroplancton total. Les valeurs automnales sur ces deux sites diffèrent peu de celles observées au cours de l'été et varient de 54 à 61 ind./10 m³. Le groupe est absent du point *canal* en mars et présente des minimums sur ce site pour toutes les périodes.

- Larves de *Thalassinidea* [Thalassinidés]

Ce taxon est absent des sites en mars, apparaît en été et présente les maxima d'abondance à l'automne. La valeur la plus forte de 152 ind./10 m³ est enregistrée au point *référence* et

correspond à 9 % du méroplancton. À cette période le gradient *côte-large* est très marqué et couvre une gamme de 7 à 152 ind./10 m³ entre le point *canal* et *référence*.

- Larves de brachyours (crabes et araignées)

Contrairement aux *Thalassinidea*, les larves de brachyours sont présentes aux différents points dès le mois de mars avec des valeurs minimales s'étendant de 6 à 54 ind./10 m³, soit moins de 1 % du méroplancton total. Leur importance relative augmente peu en juillet où ils ne représentent que 3 à 6 % du méroplancton. Le maximum d'abondance automnal est essentiellement observé au point *référence* avec 243 ind./10 m³ ce qui correspond à 20 % du méroplancton. Pour les autres sites, les variations d'abondance au cours du temps sont très limitées et ne permettent pas d'observer un schéma d'évolution particulier.

Tout en étant abondantes dans le plancton global, les larves de crustacés supérieurs (anomoures, brachyours, *Thalassinidea*) peuvent aussi contribuer, de par leur taille, aux fortes valeurs estivales de biomasse enregistrées en 2005 (figure 3.43)

- Embranchement des annélides

Ces larves sont essentiellement des larves de spionidés, probablement de *Polydora ciliata* en mars. Cette espèce prolifère en perforant les roches calcaires de l'estran (et les huîtres) tout en amassant un tapis de vase sur le littoral. Au point *canal*, l'abondance augmente avec la saison et passe d'un minimum de 28 ind./10 m³ au printemps (1 % du méroplancton) à un maximum de 356 ind./10 m³ à l'automne (16 % du méroplancton). Au point *rejet*, les larves d'annélides sont présentes uniquement au printemps et à l'automne avec des valeurs d'abondance respectives de 311 et 113 ind./10 m³. Les abondances les plus faibles sont observées au point *référence* et varient de 7 à 12 ind./10 m³. Il est à noter que les larves sont absentes de ce point en septembre.

- Embranchement des mollusques

Il est essentiellement représenté par les larves de gastéropodes. Pendant l'été les valeurs maximales atteignent 525 ind./10 m³ au point *canal* et correspondent à 64 % du méroplancton. Leur proportion atteint 34 % pour le point *rejet* à la même période et n'est que de 7 % pour le point *référence*.

Bien que ces organismes soient présents tout au long de l'année aux 3 points, le point *référence* présente toujours les valeurs minimales (23 à 51 ind./10 m³) suivi par ordre d'effectif croissant par le point *rejet* (83 à 338 ind./10 m³).

- Embranchement des cnidaires (hydrozoaires, méduses)

Ces petites méduses (moins de 1cm) sont présentes dès le mois de mars aux 3 points avec des valeurs oscillant entre 6 ind./10 m³ pour le point *canal* et 38 ind./10 m³ pour le point *rejet*.

Les maximums d'abondance sont observés aux 3 points en septembre avec par ordre décroissant 122 ind./10 m³ pour le point *référence*, 108 ind./10 m³ pour le point *canal* et 93 ind./10 m³ pour le point *rejet*. Cela correspond à 4 à 7 % du méroplancton total.

- Embranchement des amphipodes

Quasiment absents de tous les sites en mars, les amphipodes montrent un pic d'abondance estival atteignant la valeur maximale de 138 ind./10 m³ au point *référence*, ce qui correspond à 18 % du méroplancton. À la même période un gradient *côte-large* très marqué s'installe entre les points *canal* et *référence* et couvre une gamme de 17 à 138 ind./10 m³. Les valeurs décroissent à l'automne et varient de 0 ind./10 m³ (point *référence*) à 34 ind./10 m³ (point *rejet*).

3.4.3. Conclusion

L'étude des biomasses zooplanctoniques en 2005 met en évidence des valeurs proches ou légèrement inférieures aux médianes pluriannuelles au printemps, mais de plus fortes biomasses en juillet et septembre en particulier au point *canal* en été et aux points *rejet* et *référence* en automne. L'analyse des boîtes à moustaches révèle par ailleurs que les médianes pluriannuelles estivales observées au point *référence* sont les plus élevées sur l'ensemble des campagnes depuis 1987.

Les plus fortes abondances zooplanctoniques (25 134 ind./10 m³) ont été enregistrées en juillet au point *référence* (au large). À cette période, les abondances obtenues en 2005 se situent au sommet du nuage contenant 50 % des valeurs pour le point *rejet*, et sont la valeur maximale de la série temporelle au point *référence*. Au printemps et en automne, les valeurs d'abondances sont proches des médianes pluriannuelles pour le point *canal*, et supérieures pour les points *rejet* et *référence*. Un gradient d'abondance croissant vers le large est observé au printemps et en été et s'atténue fortement en automne. Les seules différences significatives entre stations aux trois dates 2005 lors des tests sont observées entre les couples de points *référence-rejet* au printemps et *canal-référence* en été.

L'holoplancton est principalement dominé par les copépodes qui en représentent toujours plus de 50% lors des trois missions annuelles. Les copépodes dominants sont dans l'ordre : *Pseudocalanus minutus*, *Paracalanus parvus*, *Acartia clausi*, *Centropages hamatus* et *Temora longicornis*. Chacune de ces espèces respecte, pour ce que peut montrer cette analyse de trois campagnes réparties sur l'année, leur répartition saisonnière habituelle.

La dominance globale des copépodes sur l'ensemble du zooplancton peut dépasser 90 % (points *référence* et *rejet* en été). Cette dominance globale peut diminuer jusqu'à 10 % au printemps et en septembre (point *canal*) par l'apparition temporaire et massive des larves de cirripèdes (balanes) et de bryozoaires. Elle diminue aussi de manière massive en été suite à l'émission de larves de mollusques (64 % du méroplancton total au point *canal*) et d'anomoures (54 % du méroplancton total au point *référence*).

Au printemps 2005, la faune zooplanctonique a été massivement dominée par le méroplancton, essentiellement constitué de cirripèdes et de larves *cyphonaute* de bryozoaires. À cette période, les cirripèdes ont dominé sur tous les sites (80 %) alors que les cyphonautes étaient davantage localisés au point *canal* (13 %). Lors de la campagne estivale, l'essentiel de la biomasse méroplanctonique a été partagée entre les larves de gastéropodes et des larves de crustacés décapodes. Au mois de septembre, ce sont d'une part les cirripèdes, et d'autre part les larves de mollusques à la côte et de crabes au large qui ont présenté les plus fortes dominances.

3.5. Microbiologie

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

Onze foyers d'infection, liés à la consommation de moules en provenance de deux zones de productions irlandaises, ont été déclarés en France les 10 et 11 juin 2001. Les symptômes ont été des crampes et des douleurs abdominales (apparition sous 3 à 4 heures), suivis de vomissements et de diarrhées (12 heures). Les analyses ont mis en évidence la présence de trois souches pathogènes de *V. parahaemolyticu* (Hervio-Health, 2005).

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 19 mars, 1 juillet et 12 septembre 2005. 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 départemental 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. A partir de 2004, la méthode utilisée par le laboratoire départemental de Caen pour le dénombrement des germes

totaux se rapproche de celle utilisée par le laboratoire de Rouen (centrales de Penly et Paluel), avec notamment, utilisation d'un filtre de 0,2 μm au lieu de 0,45 μm comme jusqu'à 2003.

Un double échantillonnage est réalisé afin d'effectuer une identification des vibrions halophiles dans l'eau de mer selon la méthode interne au Laboratoire de Caen et une quantification selon le protocole EDF. Cette procédure est mise en œuvre sur deux années (2004 et 2005). A partir de 2006 seule la méthode EDF sera utilisée.

3.5.1.2. Analyses microbiologiques

Dénombrement des germes totaux en épifluorescence

Le protocole analytique utilisé est le suivant :

- stabilisation de l'échantillon au moment du prélèvement par du formol dépoussiéré afin de limiter la multiplication des bactéries ;
- filtration sur membrane en polycarbonate 0,2 μm 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 \pm 1°C pendant 18 à 24 h ;
- lecture des boîtes ;
- incubation 24 h à 20 \pm 2 °C ;
- nouvelle lecture des boîtes ;
- repiquage et isolement sur gélose TCBS à 37 \pm 1°C pendant 24 h ;
- repiquage colonies en milieu Zobell et incubation à 37 \pm 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 2005.

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de mesure pour l'année 2005 sur le site de Flamanville sont présentés dans le tableau 3.22. Les valeurs retenues pour les rejets sont les plus fortes des répliqués.

	(Valeurs moyennes)	CANAL (n=2)	REJET NORD (n=2) (valeur plus forte)	REJET SUD (n=2) (valeur plus forte)	RÉFÉRENCE (n=4)
19 MARS	Germes totaux (g./mL)	**	**	**	**
	Germes revivifiables (g./mL)	238	196	204	113
	Identification de <i>v. halophiles</i>	Pd	Pd	Pd	Pd
	Dénombrement de vibrions. <i>halophiles</i> (vibrions/L) (méthodeEDF)	8 Pd	7 Pd	10 Pd	1 Pd
		7 Pd	4 Pd	2 Pd	0
				0	
1 JUILLET	Germes totaux (g./mL)	2 335 000	1 690 000	2 120 000	1 842 500
	Germes revivifiables (g./mL)	854	468	384	183
	Identification de <i>v. halophiles</i>	Va	Va	Va	Va
	Dénombrement de vibrions. <i>halophiles</i> (vibrions/L) (méthodeEDF)	880 Va	100 Va	73 Va	2 Va
		600 Va	45 Va	70 Va	1 Va
				1 Va	
12 SEPTEMBRE	Germes totaux (g./mL)	3 390 000	1 300 000	2 110 000	2 527 500
	Germes revivifiables (g./mL)	889	462	380	247
	Identification de <i>v. halophiles</i>	Va + Vv	Va	Va + Pd	Va.+ Pd + Vv
	Dénombrement de vibrions. <i>halophiles</i> (vibrions/L) (méthodeEDF)	445 Va ; 200 Pd ; 600 Vv	20 Va ; 27 Pd ; 191 Vv	39 Va ; 27 Pd ; 170 Vv	2 Va ; 50 Pd ; 40 Vv
		573 Va ; 100 Pd ; 600 Vv	33 Va ; 40 Pd ; 164 Vv	38 Va ; 30 Pd ; 118 Vv	1 Va ; 8 Pd ; 35 Vv
				21 Pd ; 38 Vv	
				1 Va ; 14 Pd ; 31 Vv	

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

Tableau 3.22 : Récapitulatif des résultats de microbiologie pour 2005 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 2005

Tout comme 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 2005 ont été comprises entre 1 300 000 germes/mL en septembre au point *rejet nord* et 3 390 000 germes/mL au même mois au point *canal* (figure 3.54). Les valeurs observées en septembre sont plus fortes que celles enregistrées en juin, où la température de l'eau de mer est supérieure, cependant leur allure reste similaire, avec un gradient décroissant entre les points *canal* et *référence*.

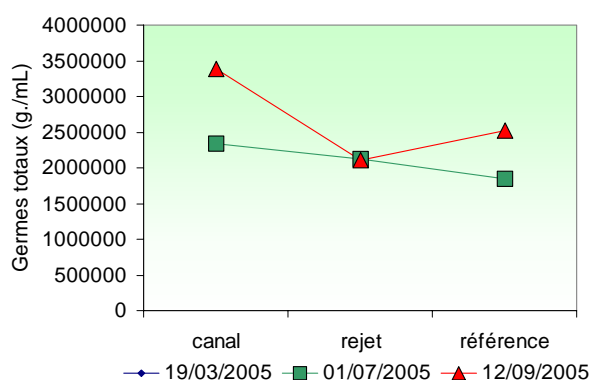


Figure 3.54 : Germes totaux par mL dénombrés par épifluorescence en 2005

3.5.2.2.2. Variations inter-annuelles des germes totaux en épifluorescence

Le nombre total de germes dénombrés par épifluorescence en 2005 présente une forte augmentation des abondances par rapport aux années précédentes (figure 3.55). Cette augmentation peut s'expliquer par le changement de la méthode analytique. Avec une filtration à une porosité de 0,2 μm , au lieu de 0,45 μm , le nombre de particules filtrées augmente. Entre 1992 et 2003, les abondances sont restées très stables autour d'une plage de valeurs variant entre 500 000 germes/L et 2 000 000 germes/L quelque soit la campagne ou le point d'échantillonnage. Les faibles valeurs observées en juin et septembre 2004 pourraient s'expliquer par le fort taux de mélange de la colonne d'eau suite au mauvais état de la mer existant au moment de la prise des échantillons, ou au changement d'opérateur lors des dénombrements.

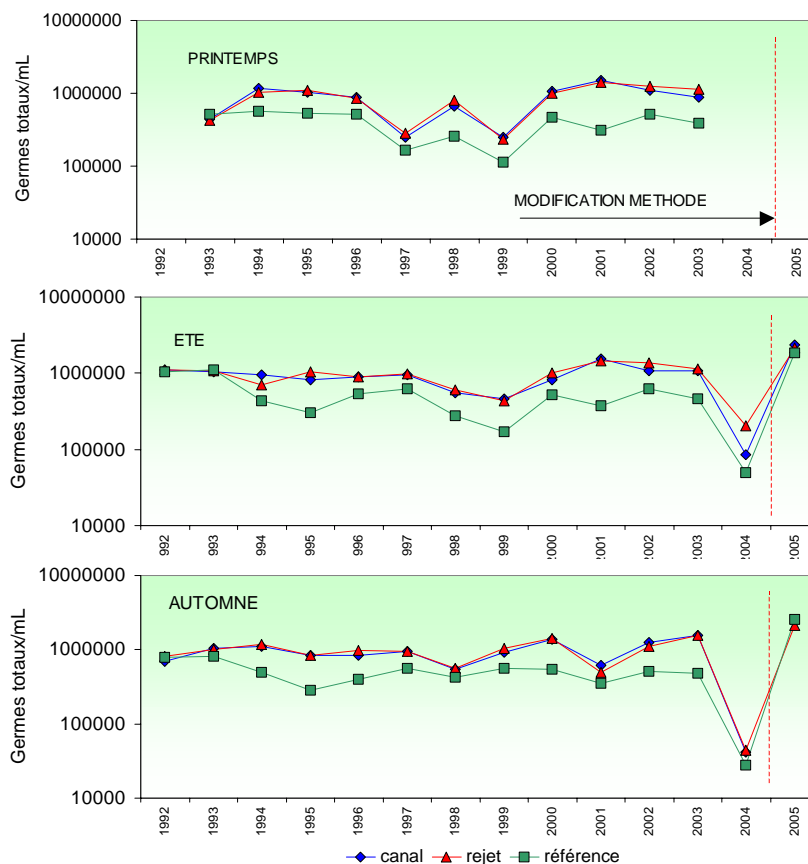


Figure 3.55 : Germs totaux par mL dénombrés par épifluorescence depuis 1992

L'utilisation de la *boîte à moustaches* pose le problème de l'hétérogénéité des données des séries. Pour garder l'avantage des différences relatives entre les points d'échantillonnages, nous avons conservé la représentation en *boîte à moustaches* de la série 1992-2004, à laquelle nous avons superposé les données de l'année en cours sans les intégrer aux calculs (figure 3.56).

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* de la série 1992-2004 sont inférieures à celles des points *canal* et *rejet* pour les trois campagnes. Ceci est aussi valable pour les deux campagnes 2005. Le point *rejet* en septembre présente une médiane inférieure à celle des autres deux points.

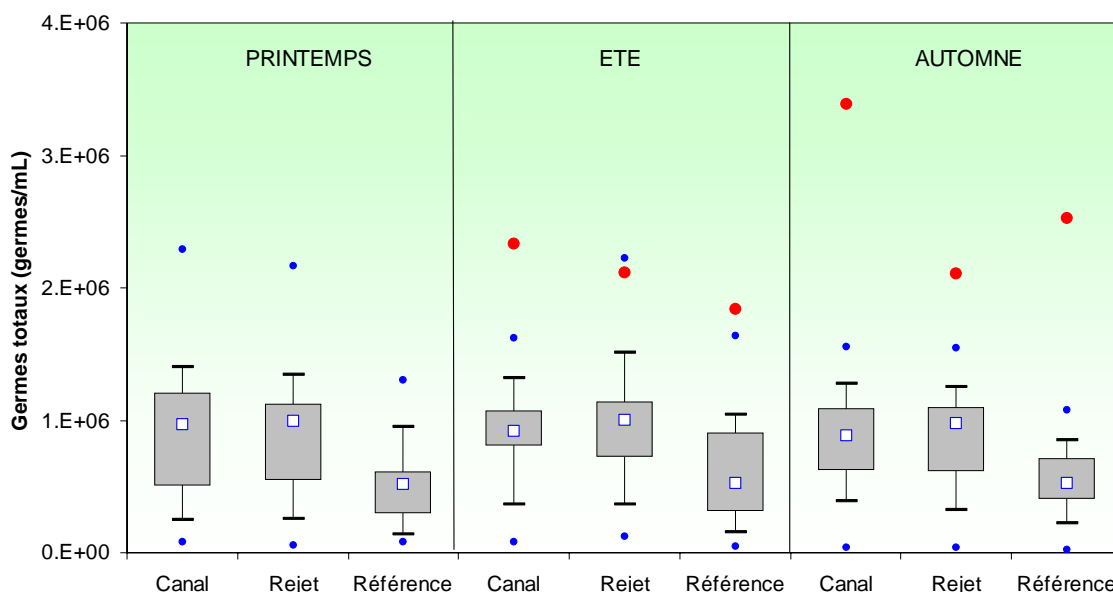


Figure 3.56 : Germs totaux de 1987 à 2004 dénombrés par épifluorescence et valeurs 2005 en rouge

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

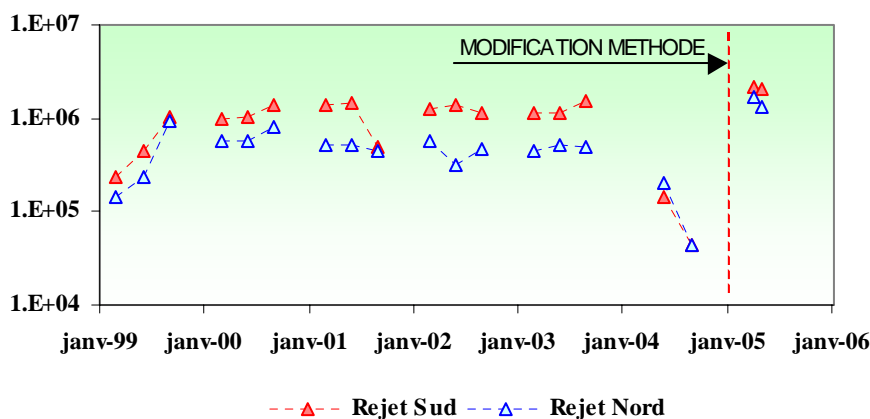


Figure 3.57 : Germs totaux (nombre par mL) depuis 1999 sur les deux rejets

Pour les mêmes raisons évoquées plus haut, les valeurs de 2005 sont plus fortes que celles de la série 1999-2004, cependant nous pouvons remarquer des plus fortes abondances de germs totaux au *rejet sud* par rapport au *rejet nord* sur la presque totalité de couples échantillonnés. Les rejets de la station d'épuration dans le canal d'aménée, repris préférentiellement par le circuit du *rejet sud* pourraient être l'explication à ce phénomène.

3.5.2.3. Approche statistique

Cette approche n'est pas envisageable à cause du changement de protocole analytique. Il faudra attendre quelques années pour avoir un minimum de résultats à traiter statistiquement.

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 196 germes/mL en mars au point *rejet nord* et 889 germes/mL en septembre au point *canal* (figure 3.58). Les valeurs de germes revivifiables obtenues lors de la campagne de mars sont nettement inférieures à celles observées en juin et 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 juin et septembre soit minime. Sur l'ensemble des campagnes de 2005 les valeurs les plus fortes sont observées au point *canal* avec un gradient décroissant côte-large.

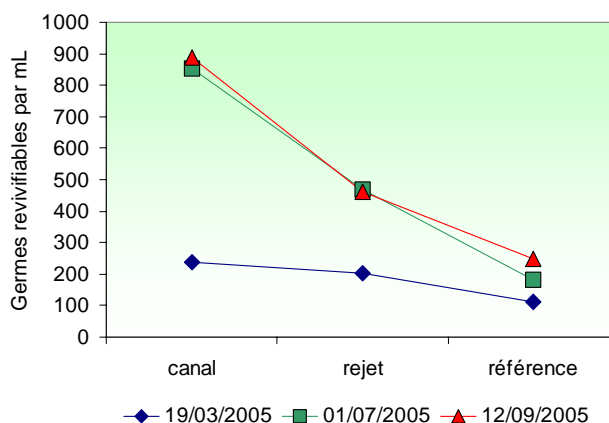


Figure 3.58 : Germes revivifiables (nombre par mL) dénombrés sur milieu de Zobell en 2005

3.5.3.2. Variations inter-annuelles des germes revivifiables

Les valeurs observées en 2005 sont supérieures à celles des deux années précédentes. (figure 3.59). La campagne d'été révèle une forte augmentation de germes revivifiables, avec des valeurs comparables à celles des années 1993 et 2000. En septembre, le nombre de germes est relativement constant depuis 2002, avec des valeurs du même ordre que celles observées en 1989, 1994 et 2000. On peut noter que les plus fortes valeurs du nombre de germes revivifiables observées depuis 1988 se situent systématiquement sur le point *canal*.

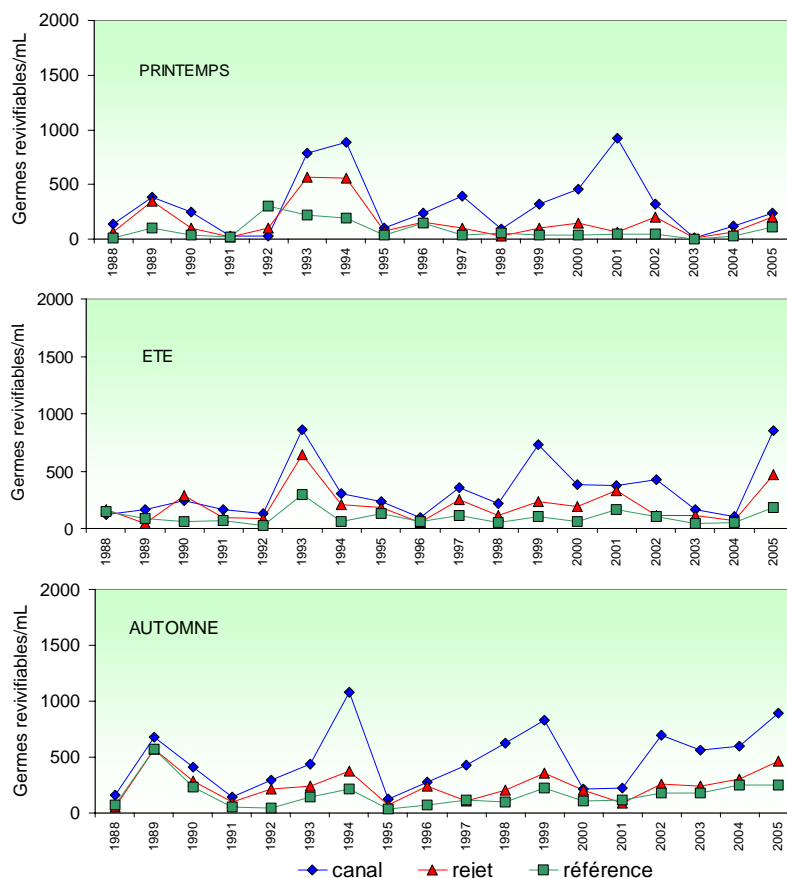


Figure 3.59 : Germes revivifiables (nombre par mL d'eau de mer) dénombrés sur milieu de Zobell depuis 1988

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 revivifiables sont enregistrées, pour l'ensemble des saisons, au point *référence*, tandis que les plus fortes médianes sont observées au point *canal*. Les valeurs observées au point *rejet* peuvent être expliquées par le mélange des eaux du *canal* et de la *référence*.

Le nombre de germes revivifiables en 2005 se situent au-dessus des médianes pluriannuelles enregistrées depuis 1988, à l'exception de la valeur observée au point *canal* en mars, qui se situe près de la médiane. Le valeur enregistrée un point *canal* en juin, représente la valeur maximale de cette série

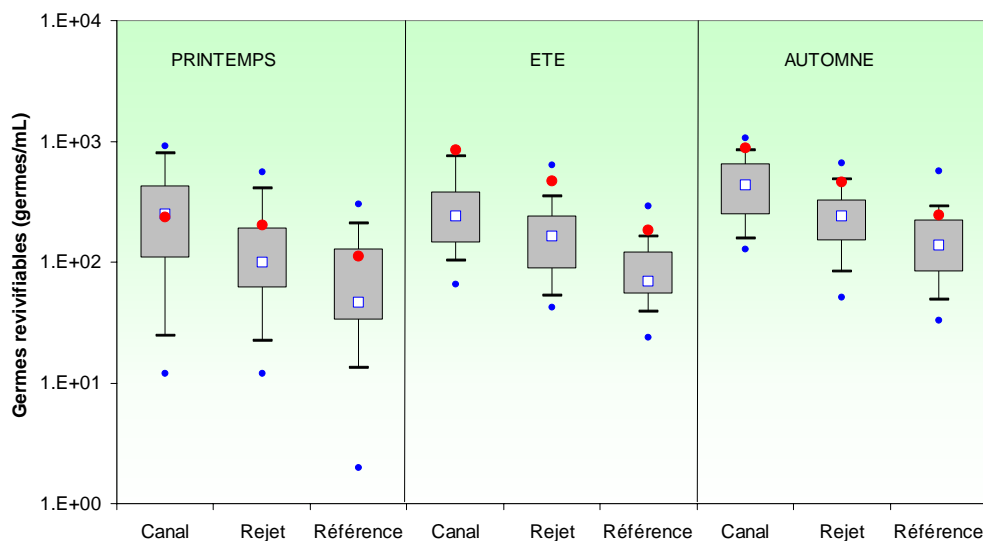


Figure 3.60 : Germes revivifiables (nombre par mL) dénombrés depuis 1988 et valeurs 2005 en rouge

3.5.3.3. Approche statistique

Le tableau 3.23 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	$7 \cdot 10^{-4}$	0,001	$4 \cdot 10^{-4}$
RÉFÉRENCE / REJET	0,020	$3 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-5}$
CANAL / RÉFÉRENCE	$9 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-5}$

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

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

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 (identification selon protocoles du laboratoire départementale de Caen) lors de la campagne de mars montre la présence de *Photobacterium damsela* sur tous les points d'échantillonnage (tableau 3.22). Au mois de juin, c'est *Vibrio alginolyticus* qui est identifié à son tour sur l'ensemble des points. Lors de l'échantillonnage de septembre nous observons un maximum de diversité avec l'apparition de

V. alginolyticus, *Ph. damsela* et *V. vulnificus*. Cette dernière souche avait été déjà identifiée en 1997 et 2002.

La méthode par filtration préconisée par EDF conduit aux résultats similaires.

mars : Seule la souche de *Ph. damsela* est identifiée, confirmant les résultats de l'ancienne méthode.

juin : Seule la souche de *V. alginolyticus* est identifiée, confirmant encore les résultats de l'ancienne méthode.

septembre : la méthode EDF semble plus sensible que l'ancienne méthode en cette période de plus fortes températures. Les trois souches évoquées plus haut ont été observées sur tous les points, tandis qu'avec l'ancienne méthode, seul au point référence les données ont été convergentes (tableau 3.22).

ANCIENNE METHODE																																									
<i>V. vulnificus</i>	canal																																								
	référence																																								
	rejet																																								
<i>V. alginolyticus</i>	canal																																								
	référence																																								
	rejet																																								
<i>V. parahemol.</i>	canal																																								
	référence																																								
	rejet																																								
<i>Ph. Damsela</i>	canal																																								
	référence																																								
	rejet																																								
<i>V. fluvialis</i>	canal																																								
	référence																																								
	rejet																																								
<i>V. cholerae</i>	canal																																								
	référence																																								
	rejet																																								
			P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A
			1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003																											

Tableau 3.24 : Identification des souches de vibrions halophiles (ancienne méthode) par saison et par point de 1992 à 2003

ANCIENNE METHODE			METHODE EDF											
<i>V. alginolyticus</i>	canal													
	référence													
	rejet													
<i>V. vulnificus</i>	canal													
	référence													
	rejet													
<i>Ph. Damsela</i>	canal													
	référence													
	rejet													
<i>V. fluvialis</i>	canal													
	référence													
	rejet													
			P	E	A	P	E	A	P	E	A	P	E	A
			2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005

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

Tableau 3.25 : Identification des souches de vibrions halophiles (avec les deux méthodes) par saison et par point en 2004 et 2005

Les séries pluriannuelles, présentées dans les tableaux 3.24 et 3.25 mettent 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 réalisé en juin 2002 aux points *canal* et *rejet*, après trois années d'absence.

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

3.5.3.4.2. Dénombrement des vibrions halophiles.

Suite à la mise en place de la méthode de filtrations préconisé par l'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 2005 sont comprises entre 1 *Ph. damsela* au point *référence* en mars et 880 *V. alginolyticus* au point *canal* et juin. Le nombre de vibrions totaux par point et par saison ont été obtenus en additionnant les plus fortes valeurs des réplicats par point et par souche (figure 3.61). Ainsi, nous observons une augmentation du nombre total de vibrions du printemps vers l'automne, au moment où la température de l'eau de mer est maximale. Un fort gradient décroissant est observé entre les points *canal* et *référence*. En plus de l'effet de la température sur le développement des souches bactériennes, ceci suggère aussi le caractère plus confiné des masses d'eau proches du canal d'amenée par rapport à celles du point *référence*.

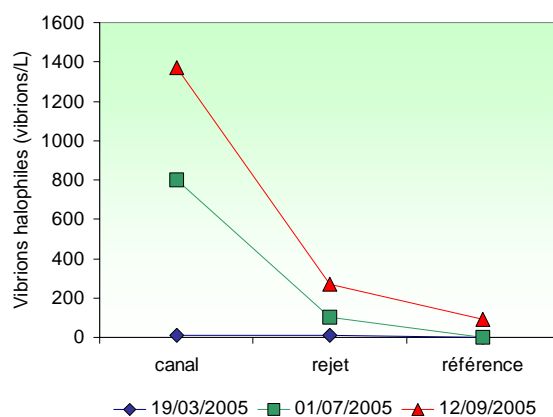
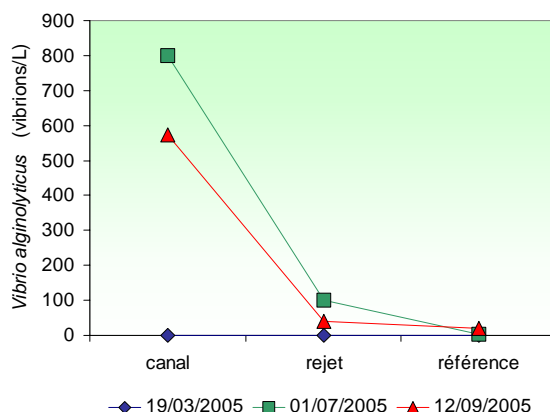
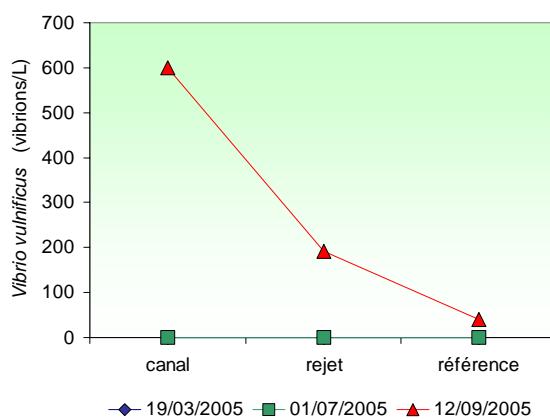
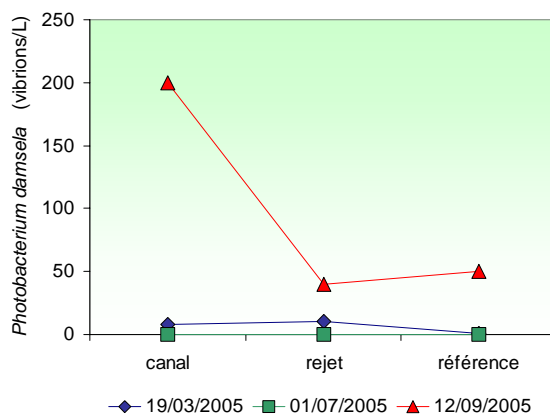


Figure 3.61 : Dénombrement des vibrions halophiles totaux en 2005

Les figures 3.62, 3.63 et 3.64 présentent respectivement l'évolution dans l'année des souches de *V. alginolyticus*, *V. vulnificus* et *Ph. damsela*. Le gradient décroissant côte-large est mis en évidence sur la distribution de ces trois souches, tout particulièrement au mois de septembre, où elles sont bien représentées. Au mois de juin, seul *V. alginolyticus* présente des abondances comparables à celles du mois de septembre.

Figure 3.62 : Dénombrement des *Vibrio alginolyticus* en 2005Figure 3.63 : Dénombrement des *Vibrio vulnificus* en 2005Figure 3.64 : Dénombrement des *Photobacterium damsela* en 2005

La figure 3.65 présente la distribution comparée des trois souches identifiées au mois de septembre. Au point *canal*, *V. alginolyticus* et *V. vulnificus* ont été plus nombreux que *Ph. damsela*. Au point *rejet* c'est *V. vulnificus* qui dominait en nombre, tandis qu'au point *référence* les abondances ont été similaires.

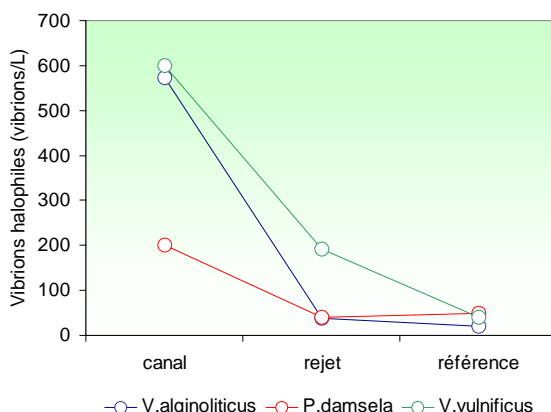


Figure 3.65 : Dénombrement des principales souches de vibrions halophiles en septembre 2005

S’agissant de la deuxième 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.

Chronologiquement, *Ph. damsela* se développe en mars, dans des eaux de 8 à 11° C. En juin, c’est *V. alginolyticus* qui prend la suite, au moment où les eaux se situent dans une plage de valeurs de 15 à 17° C. C’est au mois de septembre que nous observons le maximum d’abondance et de diversité. A ce moment, les températures de l’ensemble des points se situent entre 18 et 20,6° C. Les abondances observées en 2005 restent supérieures à celles mises en évidence en 2004 (figure 3.66).

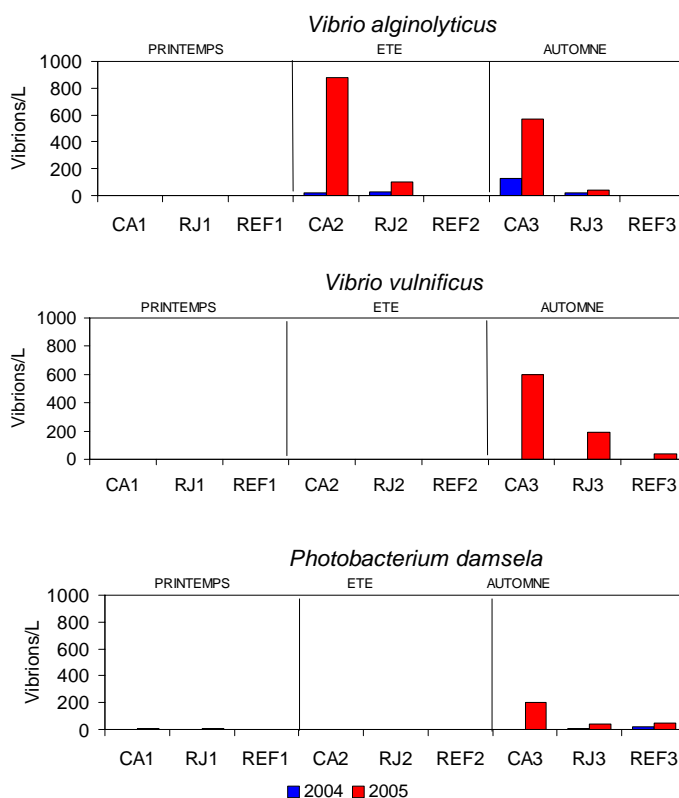


Figure 3.66 : Dénombrement des principales souches de vibrions halophiles depuis 2004

3.5.4. Conclusion

Les concentrations de germes totaux présentent une certaine stabilité entre 1992 et 2004 sur l'ensemble des points échantillonnés, mettant en évidence la stabilité du système. En 2005 intervient un changement de méthode analytique, avec l'utilisation de filtres de plus faible porosité, faisant augmenter le nombre de germes dénombrés. Les valeurs ainsi obtenues ne peuvent pas être directement comparées à celles des séries précédentes. Ce changement, qui permettra de comparer le nombre de germes totaux sur les trois centrales normandes, n'a pas eu d'influence sur la distribution spatiale des germes totaux, qui présente toujours un gradient décroissant côte-large, ni dans l'observation des plus fortes abondances au point *rejet sud* par rapport au point *rejet nord*.

Les germes revivifiables sont en augmentation depuis deux à trois ans. Leur distribution présente le même gradient que les germes totaux, avec une nette différence observée entre les abondances du mois de mars et celles des mois de juin et septembre. Au point *canal*, ces dernières ont été jusqu'à quatre fois supérieures en juin et septembre par rapport à celle du mois de mars.

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 vulnificus*, *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. En 2005 *Photobacterium damsela* a été la seule souche identifiée en mars, tandis que c'est *Vibrio alginolyticus* a été identifié sur l'ensemble de points d'échantillonnage en juin. Au mois de septembre est atteint le maximum de diversité et d'abondance avec la présence de *Vibrio vulnificus*, *Vibrio alginolyticus* et *Photobacterium damsela*.

Depuis 2004, la méthode quantitative par filtration mise en place par EDF, permet de dénombrer les souches de vibrions halophiles. Ces résultats présentent une augmentation du nombre de vibrions par rapport aux résultats obtenus en 2004. L'abondance de *V. alginolyticus*, observé en juin au point *canal* avec 880 vibrions/L, est bien supérieure à celle de 130 vibrions/L observé au même point en juin 2004.

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

L'étude 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/Benthos)</i>
<i>Jean-Dominique</i>	<i>Gaffet</i>	<i>(DYNECO/Benthos)</i>

avec la collaboration, pour les prélèvements, de

<i>André</i>	<i>Kerboul</i>	<i>(ERT/MS)</i>
<i>Agnès</i>	<i>Youenou</i>	<i>(DYNECO/Pelagos)</i>

La surveillance du domaine benthique réalisée uniquement au niveau intertidal concerne

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

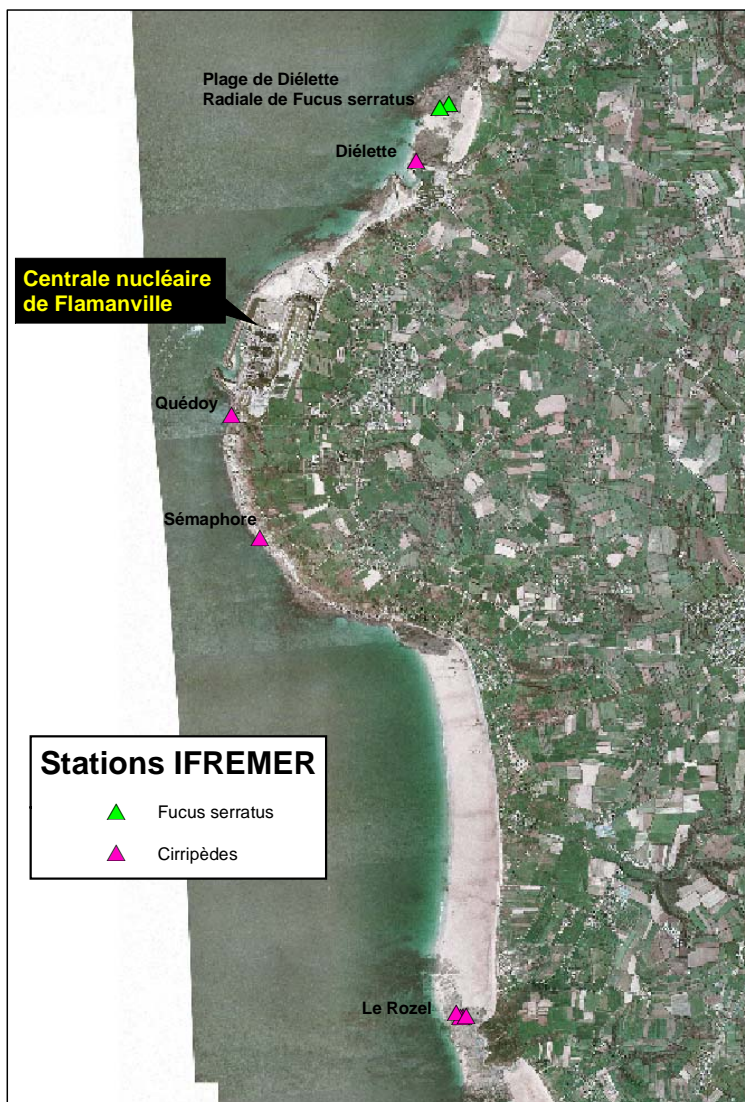


Figure 4.1:

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

Photographie mars 2002

© Ortholittorale 2000

4.1 Phytobenthos intertidal

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

4.1.1 Biologie de l'espèce

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



Photo 4.1 :

Extrémité
d'un thalle de
Fucus
serratus.

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

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

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

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

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

Photo 4.2 :

Fucus serratus
Réceptacles
contenant les
gamétocytes
mâles ou
femelles.



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

reproduction. La densité varie en fonction de la saison. Au printemps, le nombre de jeunes individus est beaucoup plus élevé qu'en hiver et témoigne d'un fort recrutement à cette période.

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

4.1.2 Méthodologie

4.1.2.1 Evolution du stock

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

4.1.2.2 Baguages sur radiales

Photo 4.3 :

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



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

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

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

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

4.1.2.3 Paramètres mesurés

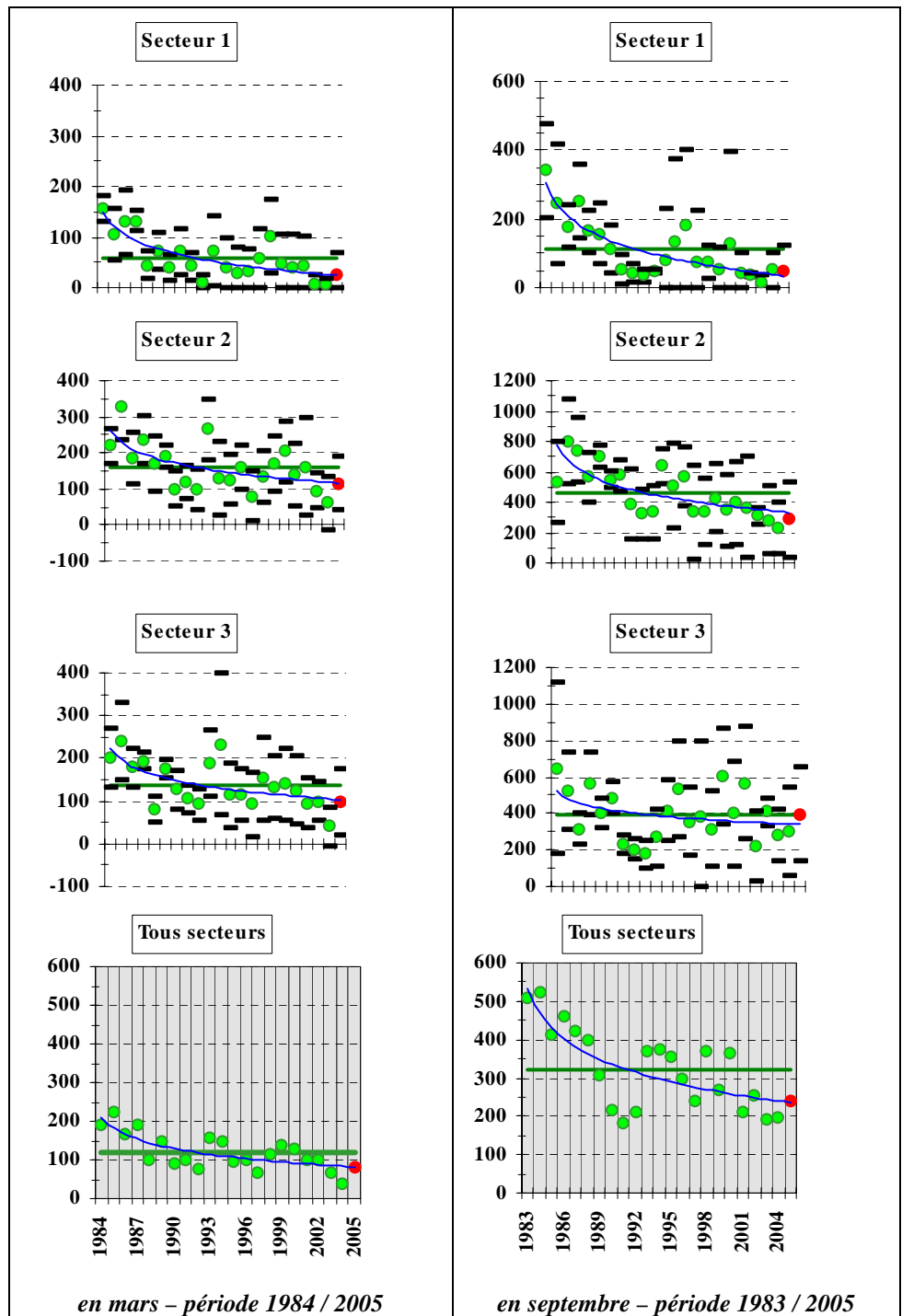
Au cours de chaque mission, quatre paramètres sont mesurés sur chaque individu de *Fucus serratus* :

- la longueur (L) exprimée en cm et mesurée du disque basal au sommet de la dernière dichotomie,
- le nombre de dichotomies (D) : les dichotomies principales sont comptées, de la première rencontrée en partant de la base jusqu'à la dernière avant l'extrémité supérieure de l'individu,
- le diamètre (\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.

4.1.3 Résultats

4.1.3.1 Evaluation du stock de *Fucus serratus*

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



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

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

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

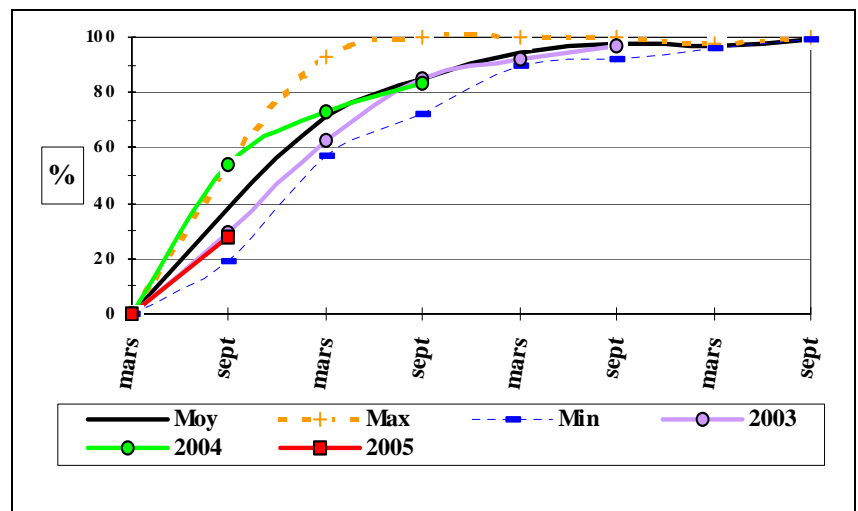
En 2005, la biomasse algale, demeurant faible, progresse sensiblement par rapport aux années 2003 et 2004, avec des valeurs moyennes de 80 g en mars et 242 g en septembre. Les poids relevés se situent entre 26 ± 45 g (secteur 1) et 116 ± 75 g (secteur 2) en mars, 46 ± 79 g (secteur 1) et 396 ± 257 g (secteur 3) en septembre (Figure 4.2).

4.1.3.2 Dénombrement des algues baguées

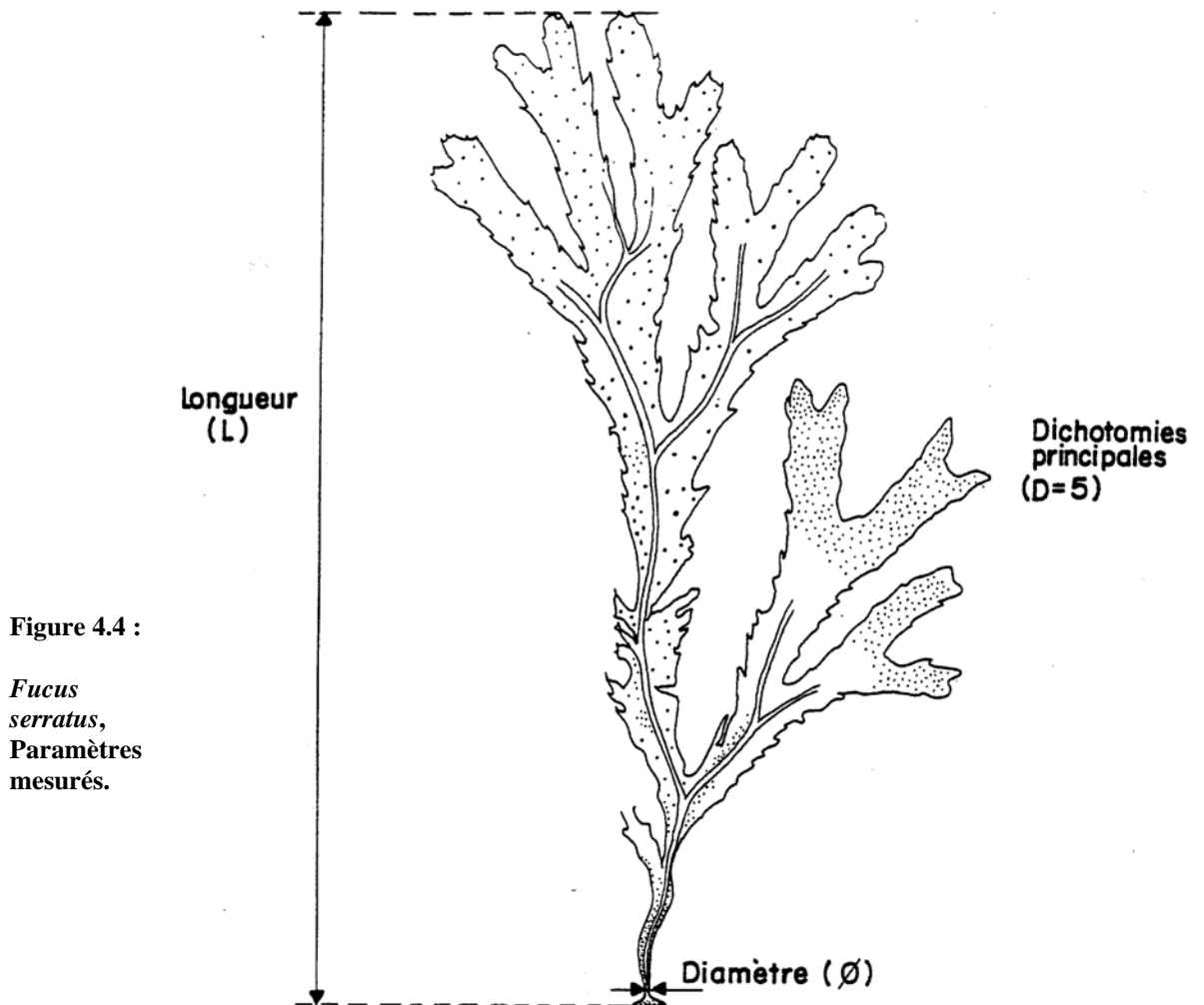
Des cent pieds de *Fucus serratus* bagués en mars 2005, 72 % ont été retrouvés et mesurés en septembre de cette même année. Les valeurs sont proches de celles de 2003 alors qu'un taux élevé de dépopulation avait été enregistré sur le lot bagué en 2004. Il était de 54 % équivalent au maxi de 1989. Ce taux de mortalité s'affaiblit par la suite puisqu'il rejoint en mars et septembre 2005, soit la seconde année de mesures, les valeurs moyennes obtenues de 1983 à 2005 (figure 4.3).

Le taux moyen de dépopulation est de 71 % au bout d'un an, et 94 % au bout de deux ans. Il n'est pas possible de faire la part du phénomène naturel (vieillesse 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 2005).



4.1.3.3 Biométrie des algues baguées



4.1.3.3.1 Nombre de dichotomies

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

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

Les chiffres comptabilisés en 2005, 20 en mars et 25 en septembre (maximum depuis 1977) sont très proches de ceux de 2004.

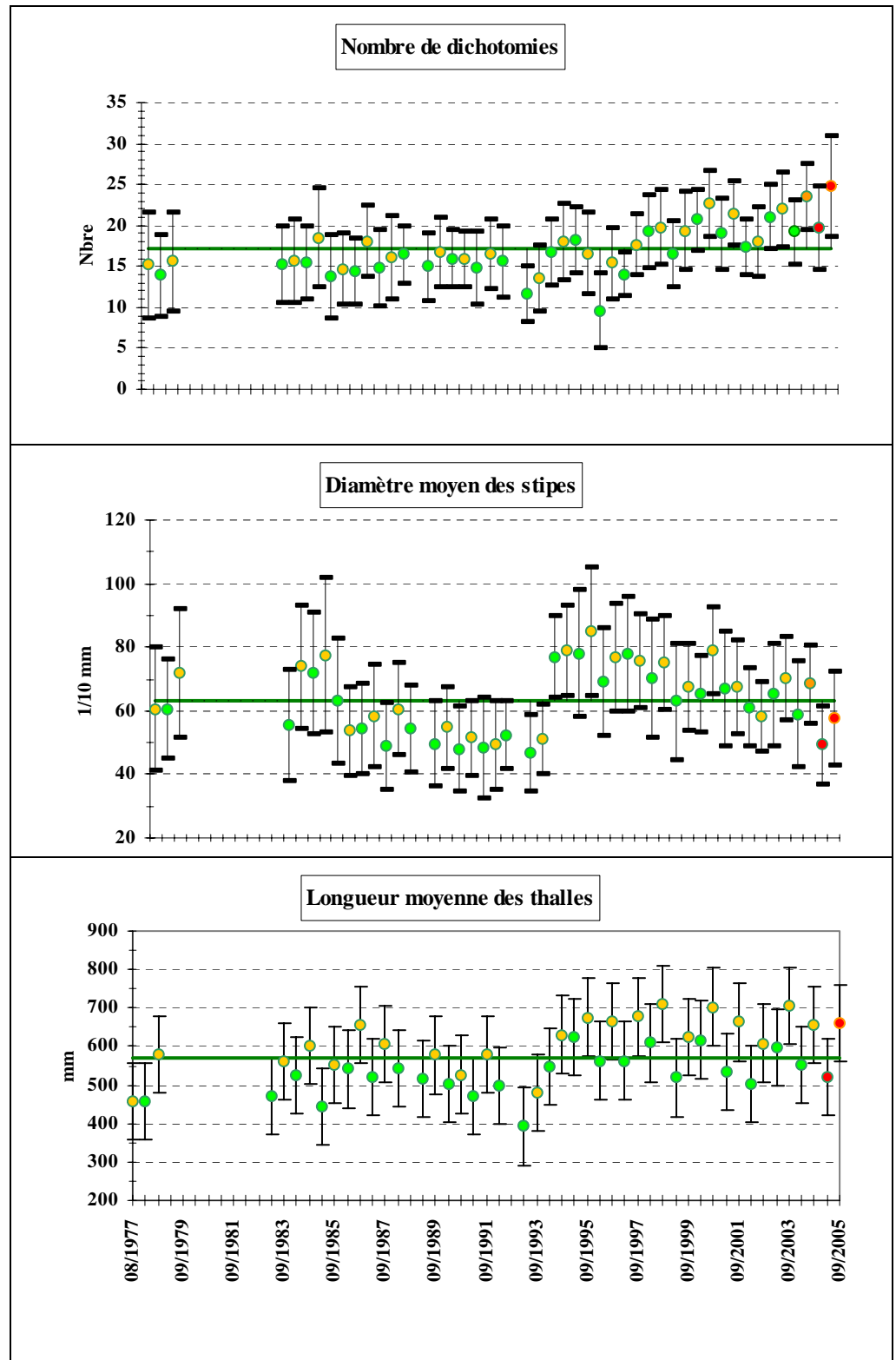


Figure 4.5 : Evolution saisonnière (mars en vert et septembre en orange) des paramètres mesurés chez *Fucus serratus* à Diélette (moyenne et écart-type) par rapport à la mesure moyenne estimée de 1977 à 2005. (données 2005 en rouge)

4.1.3.3.2 Diamètre des stipes

À l'exception des diamètres moyens notés en 1983 et 1984 (7 mm et plus), ceux-ci se situaient de 1985 à 1993 aux alentours de 5 mm (Figure 4.5).

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

4.1.3.3.3 Longueur des thalles

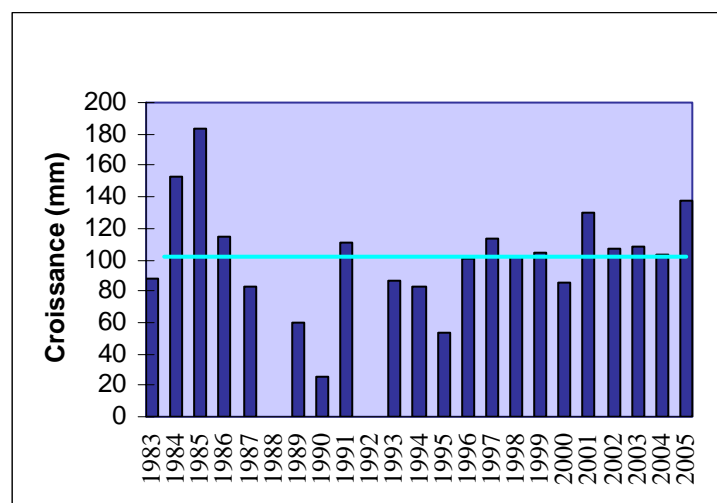
L'observation des données de longueurs moyennes acquises depuis 1977 ne permet pas, pour l'instant, de conclure à une évolution significative de ce paramètre que ce soit en relation avec le fonctionnement de la Centrale ou avec une évolution climatique. Notons depuis 1994 une tendance à une augmentation des longueurs moyennes aux deux périodes d'observations, même si cette croissance est irrégulière depuis 1999 avec des valeurs moindres en septembre 1999 et 2002. En 2005, la longueur moyenne varie de 52 cm en mars à 66 cm en septembre, valeurs relativement proches de celles de 2004 (Figure 4.5).

La croissance moyenne des thalles de *Fucus serratus* obtenue de mars à septembre, de 1983 à 2005, atteint 10,46 cm avec des valeurs extrêmes de 2,6 cm en 1990 et de 18,4 cm en 1985. Depuis 1996, cette croissance est relativement stable.

Du printemps à l'automne 2005, la longueur des thalles augmente en moyenne de 13,8 cm, valeur relativement forte (figure 4.6).

Figure 4.6 :

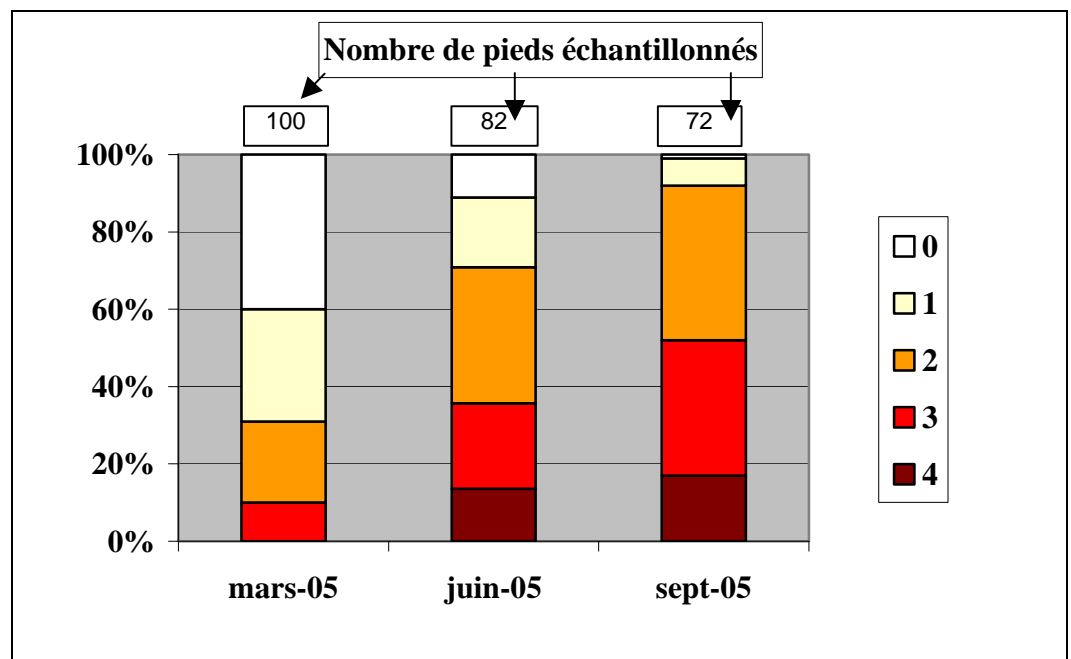
Croissance moyenne des thalles de *Fucus serratus* de mars à septembre.



4.1.3.4 Fertilité

Concernant le lot bagué en 2005, le cycle de maturation semble se développer normalement, 60 % des individus présentant des caractères de fertilité en mars, 89 % en juin et 99 % en septembre (chiffres voisins de ceux de 2004 : 55, 82 et 100) (figures 4.7).

Figure 4.7 :
Evolution de la fertilité des pieds de *Fucus serratus* bagués en 2005.



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

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

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

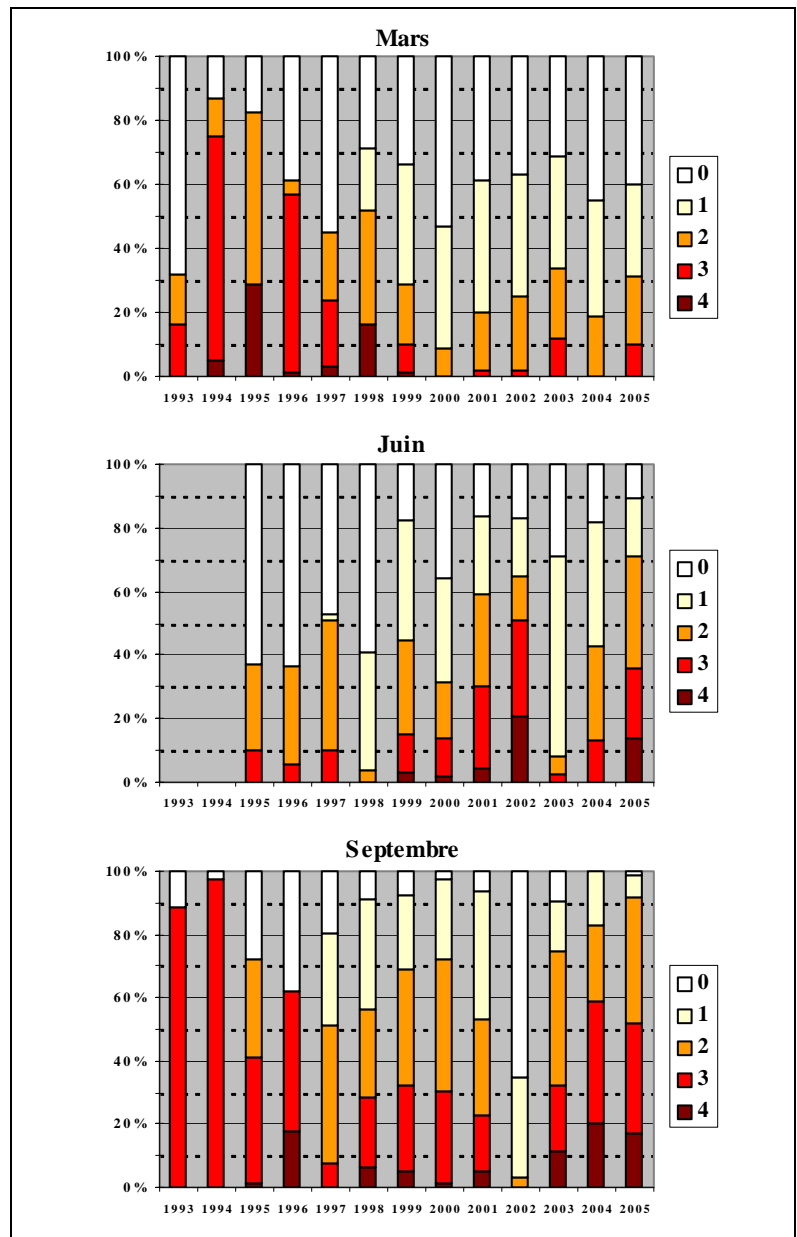


Figure 4.8 :
Evolution
de la fertilité
de *Fucus serratus*
depuis 1993,
stade par stade.

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 2005, ce nombre est élevé (figure 4.9).

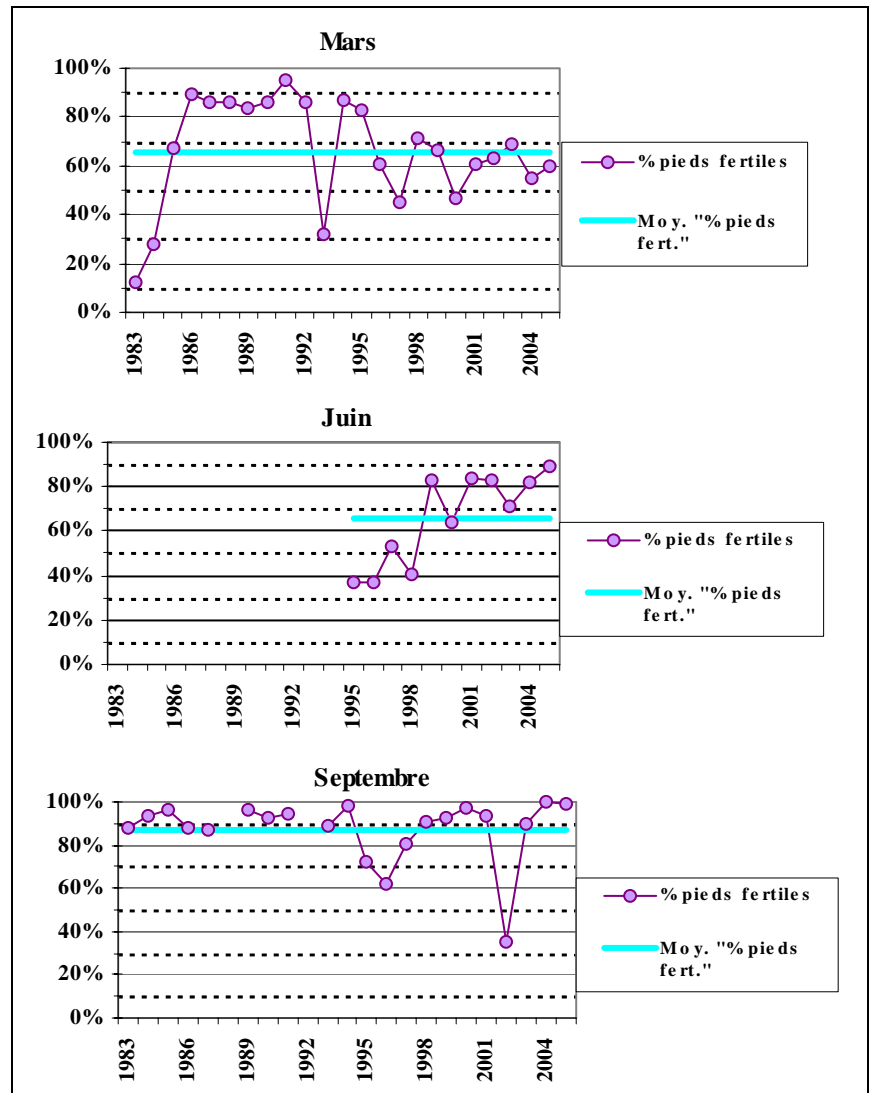


Figure 4.9:
Evolution saisonnière
du pourcentage de
pieds fertiles de
Fucus serratus
depuis 1983.

Le peuplement de *Fucus serratus* du platier de Diélette présente des caractères de fertilité toute l'année, avec toutefois une période de maturité plus importante en fin d'été, tant en nombre de pieds (87 %) qu'en taux moyen (50 %) obtenu en tenant compte des différents stades de maturité. Pendant la période hivernale, ces taux décroissent pour atteindre 66 % de thalles plus ou moins fertiles et 32 % de taux moyen de fertilité tant en mars qu'en juin (ces moyennes sont calculées à partir des observations faites de 1983 à 2005 pour les pourcentages de pieds fertiles et de 1993 à 2005 pour les taux moyen).

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

En 2005, la fertilité présente des valeurs plus conformes aux données existantes sur ce site. La maturation des algues se développe normalement. Comme en 2004, le taux de fertilité est inférieur à la moyenne en mars, supérieur en juin (maximum observé depuis 1993) et septembre.



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

© Ortholittorale2000

4.2 Zoobenthos des substrats durs intertidaux

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

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

L'étude de Surveillance, menée depuis 1983, a pour objectif de contrôler les variations d'abondance des principales espèces de cirripèdes à la pointe du Rozel (figure 4.1) ainsi qu'au droit du sémaphore du cap de Flamanville (point SEM) ; cette étude est complétée par une évaluation sommaire des densités des principales espèces accompagnatrices et par un suivi de la recolonisation du substrat par les cirripèdes.

A partir de 1993, deux points de mesures sont ajoutés aux précédents, un dans l'anse de Quédoy située immédiatement au sud de la centrale (photo 4.4), l'autre près du port de Diélette (platier rocheux au nord de la sortie du port).

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

Photo 4.4 :

Quédoy,
station la
plus
proche de
la
centrale.



4.2.1 Biologie des cirripèdes

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

➤ Habitat

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

➤ Reproduction

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

➤ Alimentation

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

➤ Croissance

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

➤ Prédation

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

4.2.2 Méthodologie

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

4.2.2.1 Densité

En septembre, la densité des cirripèdes est évaluée à l'aide de quadrats de 0,05 m x 0,05 m, sur le terrain et également photographiés à l'aide d'un appareil numérique. La qualité de l'image obtenue permet ultérieurement non seulement d'apprécier les densités présentes, mais également de déterminer les différentes espèces. Le pourcentage de recouvrement du substrat par ces crustacés est évalué *in situ*.

Photo 4.5 :

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



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

Photo 4.6 :

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



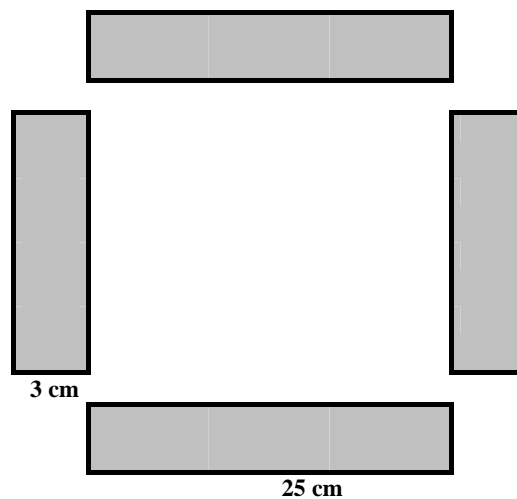
4.2.2.2 Faune associée

Les densités des principales espèces accompagnatrices sont évaluées à chaque point à partir d'une surface unitaire de 1/16 m² (quadrat 0,25 m x 0,25 m). Elles sont récoltées par grattage (4 par point), puis déterminées et comptées au laboratoire.

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

4.2.2.3 Recolonisation du substrat

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



Dans ce but, des comptages puis des grattages sont réalisés sur les mêmes séries de quadrats (75 cm²) à trois périodes de l'année, en fin d'hiver (mars - avril), fin de printemps (juin) et fin d'été (septembre). Ceci permet de cerner l'importance de la fixation des recrues selon les saisons et d'établir le bilan global de recolonisation annuelle. Afin de limiter l'invasion des surfaces mises à nu par les espèces d'épifaune vagile (patelles, littorines) les quadrats rectangulaires sont de faible largeur (3 cm x 25 cm). La disposition des quatre quadrats est représentée dans le schéma ci-dessus.

4.2.3 Résultats

4.2.3.1 Etude de recolonisation par les cirripèdes

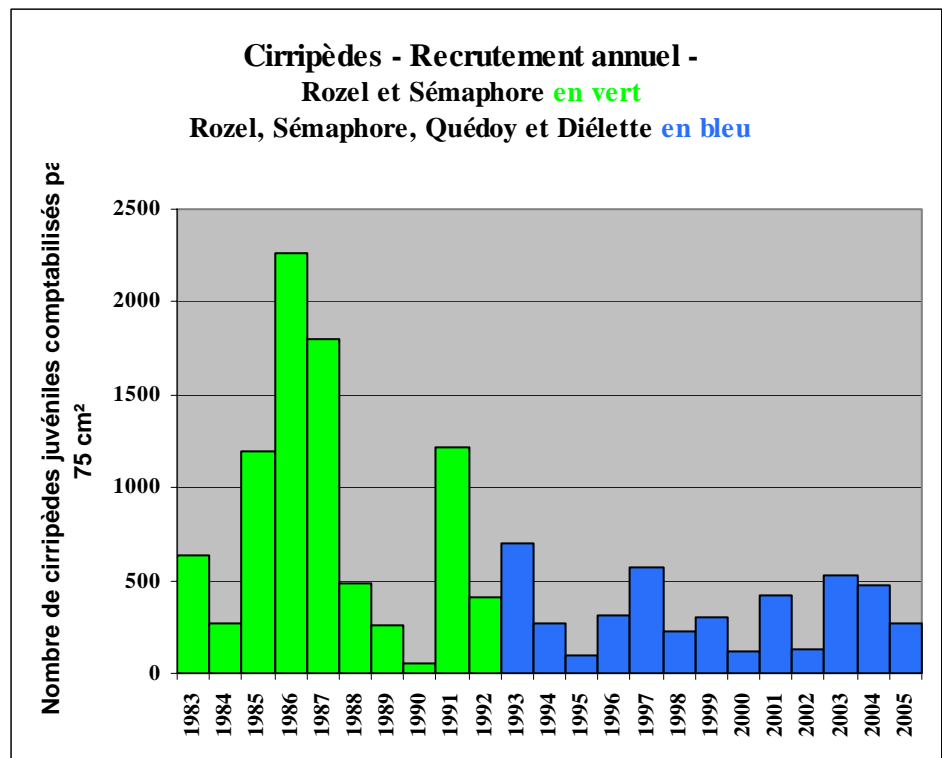
La recolonisation notée lors d'une mission donnée est le résultat du recrutement saisonnier en cours, diminué d'une mortalité (non quantifiée) intervenue entre la date de fixation des cypris (larves métamorphosées) sur le substrat et la date d'observation.

Toutes stations confondues, le nombre moyen d'individus recrutés par année, obtenu par comptages sur les quadrats de 75 cm² en mars, juin et septembre, sur la période 1983/2005 atteint 564. Le maximum atteint 2259 en 1986, le minimum 55 en 1990 (Figure 4.12).

Les comptages des cirripèdes se faisaient alors simplement au Rozel et au Sémaphore.

Avec un effectif moyen de 274 juvéniles, le recrutement 2005 est inférieur à celui de 2003 et 2004. Cette baisse s'observe aux quatre stations échantillonnées.

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



Le recrutement printanier représente, selon les années, de 77 % à 99,6 % du phénomène annuel, à l'exception toutefois du printemps 1990 où il n'atteint que 48 % à la pointe du Rozel et 61 % au cap de Flamanville. En 2005, il atteint 92 %. Il concerne surtout *Semibalanus balanoides*, dont les larves se fixent en début de printemps.

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

Tableau 4.1 :
Nombre de cirripèdes
métamorphosés,
comptabilisés
par 75 cm² en
2005.

	Rozel	Sémaphore	Quédoy	Diélette
Recrutement automno-hivernal	11 ± 11	13 ± 23	46 ± 6	1.5 ± 1
Recrutement printanier	115 ± 87	458 ± 115	289 ± 105	149 ± 48
Recrutement estival	1 ± 2	5 ± 3	2 ± 2	4 ± 3
Bilan annuel	127	476	337	154

Une relation entre la température de l'air et le recrutement printanier a été mis en évidence (Drévès, 1993 ; température moyenne de l'air et/ou de l'eau du mois le plus froid de l'année ; tableau 4.2 & figure 4.13). Plus les températures hivernales sont basses, plus le recrutement de *Semibalanus balanoides* est important.

Comme pour les autres années, les valeurs 2005 confirment cette hypothèse.

Tableau 4.2 :

Température mensuelle minimale de l'air au Cap de La Hague (1983-2005) et de l'eau de mer à Flamanville (1986-2005).
Les années sont classées selon l'importance croissante des températures de l'air.

	Air	Eau		Air	Eau	
1986	2,20	6,80		1988	7,20	8,41
1987	2,90	7,21		1994	7,24	8,65
1985	4,10			2001	7,42	8,92
1991	4,41	7,44		2004	7,61	8,71
1997	4,86	7,88		2000	7,65	9,53
1983	5,20			1989	7,80	8,28
1996	5,80	8,12		1999	7,88	9,31
1984	6,40			1995	8,00	9,67
2005	6.54	8.38		1998	8,06	9,28
1992	6,56	8,64		2002	8,33	9,88
1993	6,56	8,74		1990	8,70	8,86
2003	6,96	8,70				

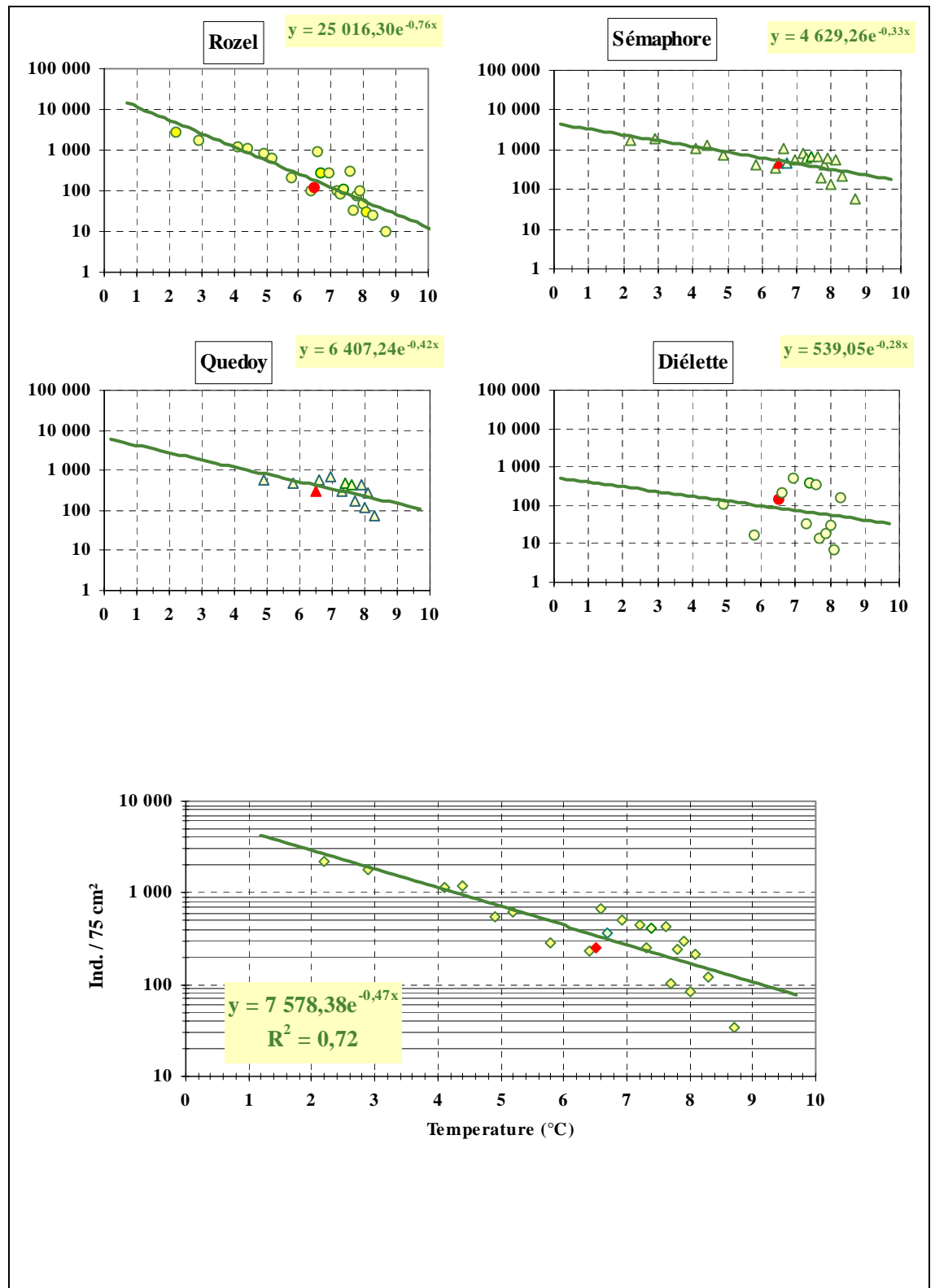


Figure 4.13 :

Recrutement
printanier
des
crustacés
cirripèdes

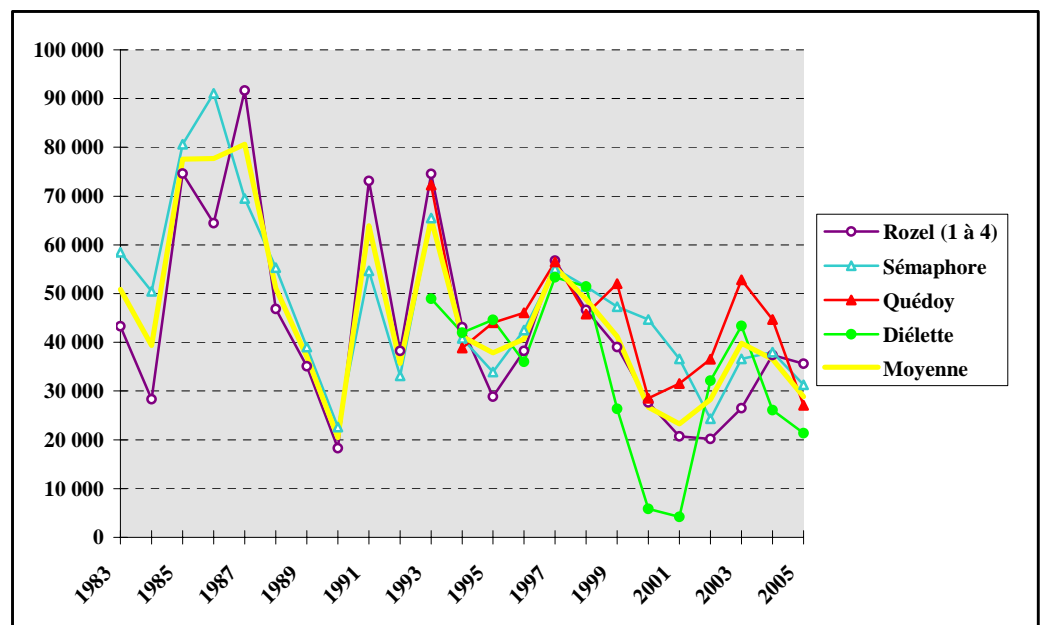
aux abords
de
Flamanville
(nombre
d'individus
par 75 cm²,
exprimé en
fonction de
la
température
mensuelle
moyenne de
l'air du mois
le plus froid
de l'hiver
[°C]).

Le
recrutement
2005 est
figuré en
rouge.

4.2.3.2 Evaluation des densités de cirripèdes

L'observation des densités de cirripèdes (figure 4.14 et tableau 4.3) montre des variations annuelles importantes d'une station à l'autre pouvant s'expliquer par les différences de substrat rocheux colonisé d'une part (nature et exposition), l'importance du recrutement (surtout printanier) d'autre part.

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



Les densités 2005 évaluées aux différentes stations sont en baisse. Depuis 2000, elles sont inférieures aux densités moyennes calculées sur la période 1993/2005 (exception faite des densités évaluées à Quédoy et à Diélette en 2003). Ces baisses sont surtout marquées au niveau des concentrations d'individus, moins au niveau de la surface occupée sur les roches. C'est le cas au Sémaphore, à Quédoy et à Diélette.

Au Rozel, la station 1, la plus haute sur l'estran, connaît une forte baisse de ses effectifs tant en densité par quadrat qu'en surface colonisée, seulement 10 % de recouvrement après 50 % en 2004. Alors que les densités de la station 2 restent plus stables, les deux autres points d'études, plus bas sur l'estran, présentent aussi une diminution du nombre de cirripèdes.

Tableau 4.3 :
Densités globales
des cirripèdes
en 2005 (nombre
d'individus
par m²)

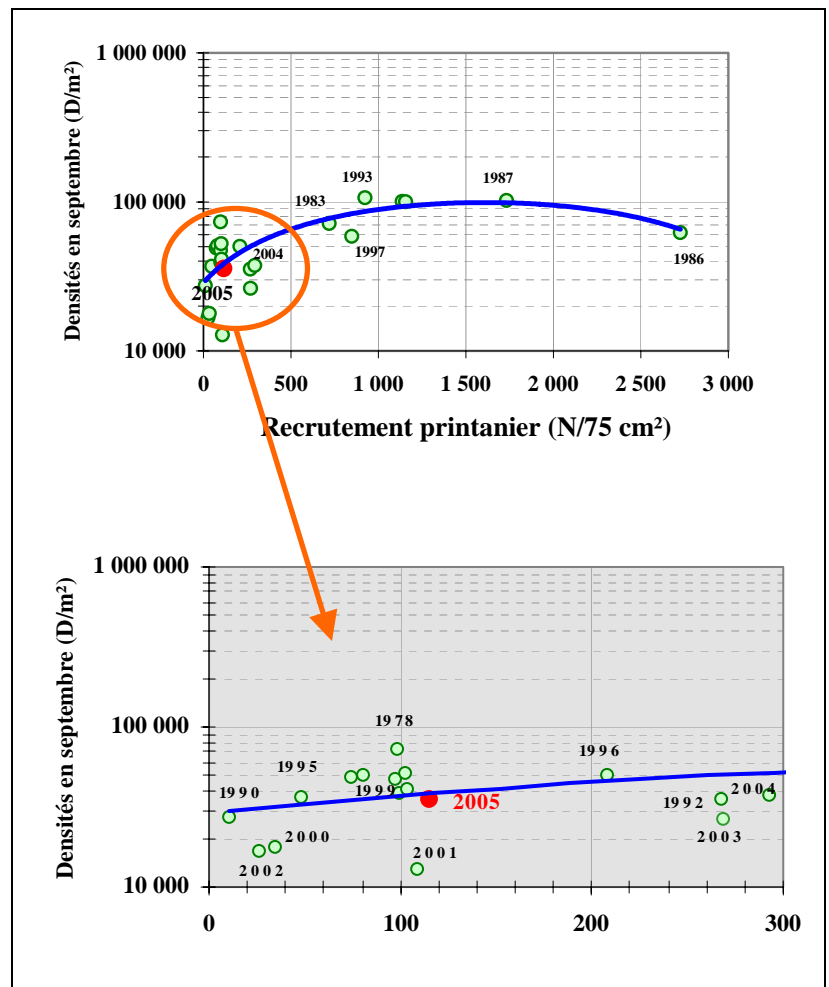
Septembre 2005		Densité par strate	Surface occupée du substrat	Densité moyenne
Rozel	Point 1	21 127	10 %	2 113
Rozel	Point 2	64 636	60 %	38 782
Rozel	Point 3	67 382	70 %	47 167
Rozel	Point 4	60 566	90 %	54 509
Flamanville	Sem sup.	19 667	95 %	18 683
Flamanville	Sem inf.	46 200	95 %	43 890
Flamanville	Quédoy	36 133	80 %	27 100
Flamanville	Diélette	30 545	70 %	21 382

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

Figure 4.15 :

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

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



En 2003 et 2004, le recrutement printanier a été un peu plus important que les années précédentes (entraînant une augmentation des densités de cirripèdes en place en septembre). L'année 2005 présente une nouvelle baisse du nombre de cirripèdes, plus marquée à Quédoy et à Diélette.

4.2.3.3 Pourcentages et densités des différentes espèces de cirripèdes

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

Semibalanus balanoides, *Chthamalus stellatus*, *Chthamalus montagui* et *Elminius modestus* (photo 4.7 et tableau 4.4). On peut trouver occasionnellement à ce niveau de l'estran, quelques spécimens de *Balanus perforatus*. Les proportions des différentes espèces de cirripèdes sont calculées à chaque station.

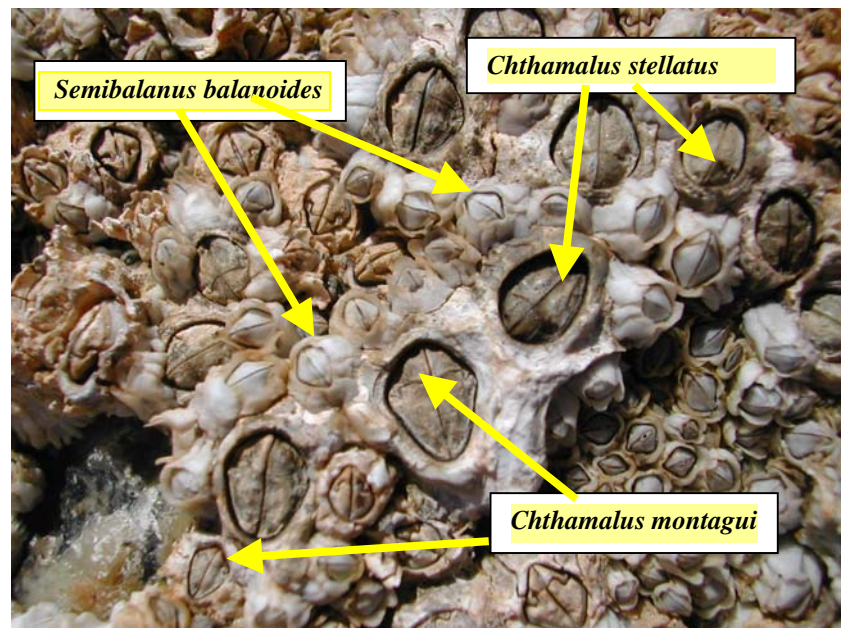


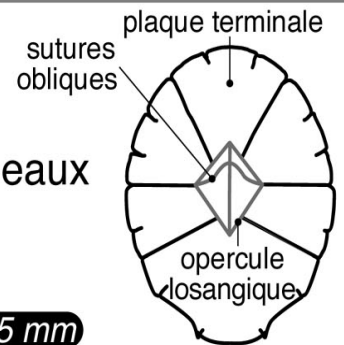
Photo 4.7 :
Cirripèdes
au point de
surveillance
du
sémaphore

Semibalanus balanoides reste l'espèce largement majoritaire, bien que son importance varie d'une station à l'autre : 91% à Diélette, 90% au Rozel, 83% au Sémaphore et 76% à Quédoy (valeurs moyennes calculées sur toute la période d'études) et d'une année à l'autre. Ainsi en 2005, on note une diminution de cette espèce (figures 4.16, 4.17 et 4.18).

Principaux cirripèdes en zone intertidale sur Flamanville

S *emibalanus balanoides*

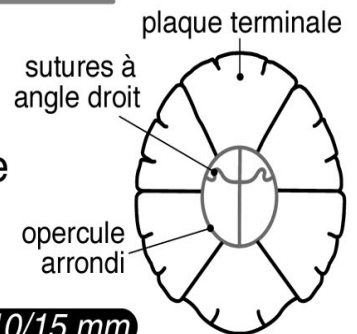
Muraille : 6 plaques
Sous les pleines mers de mortes-eaux
Atlantique, Manche ouest et est.



15 mm

C *hthamalus stellatus*

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



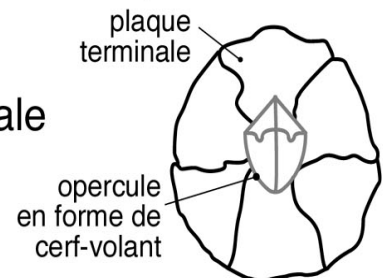
10/15 mm

Tableau 4.5 :

Les différentes espèces de cirripèdes rencontrées dans la région de Flamanville.

C *hthamalus montagui*

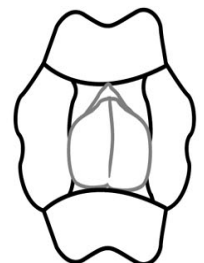
Niveau sup. de la zone intertidale
Zones abritées
Méditerranée, Atlantique, Manche ouest.



6/10 mm

E *lminius modestus*

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



5/10 mm

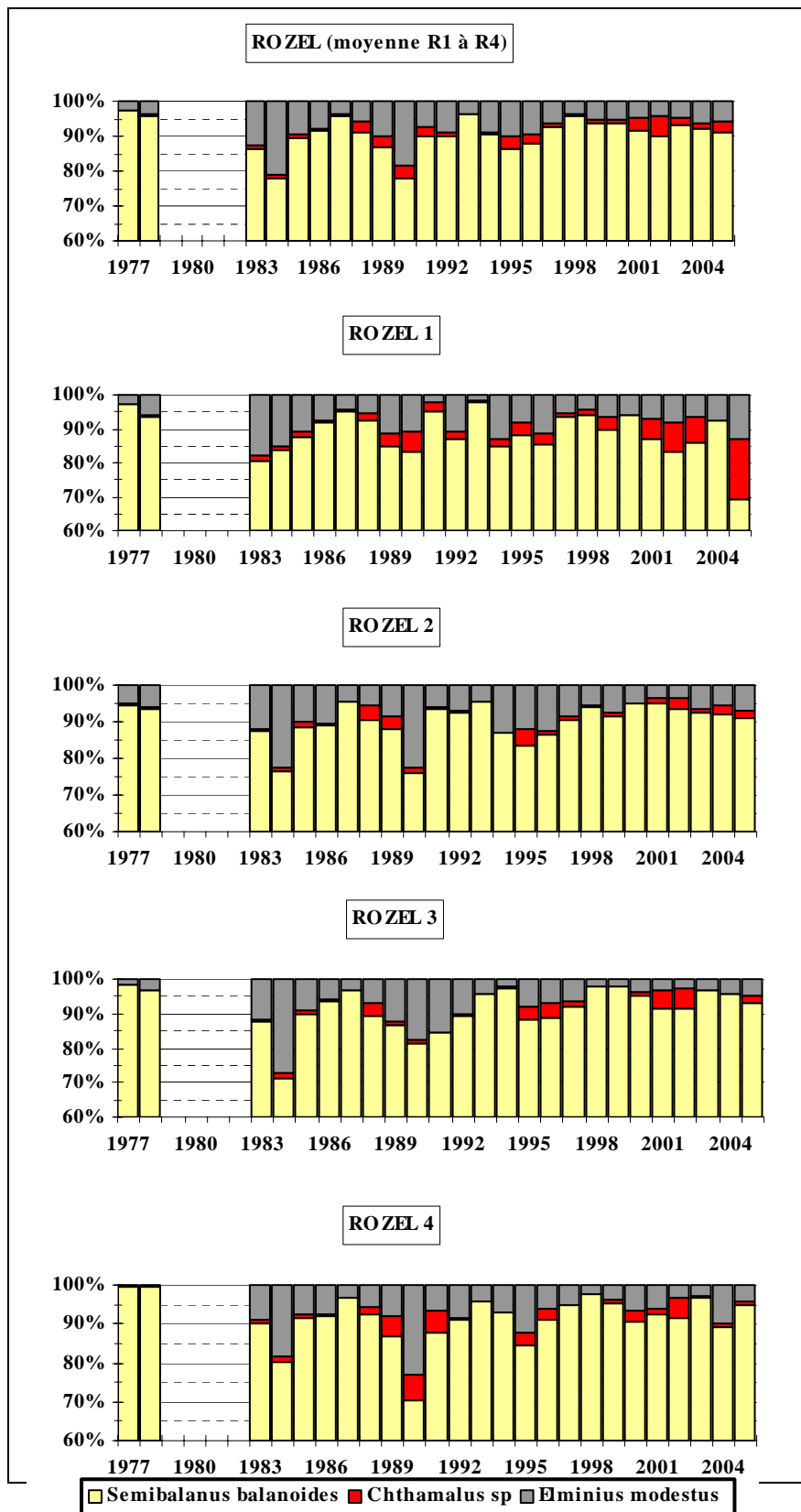


Figure 4.16 :
**Evolution en %
des quatre espèces
de cirripèdes à
la pointe du Rozel
depuis 1977.**
**(Les deux espèces
de Chthamales ont
été regroupées
au niveau du genre)**

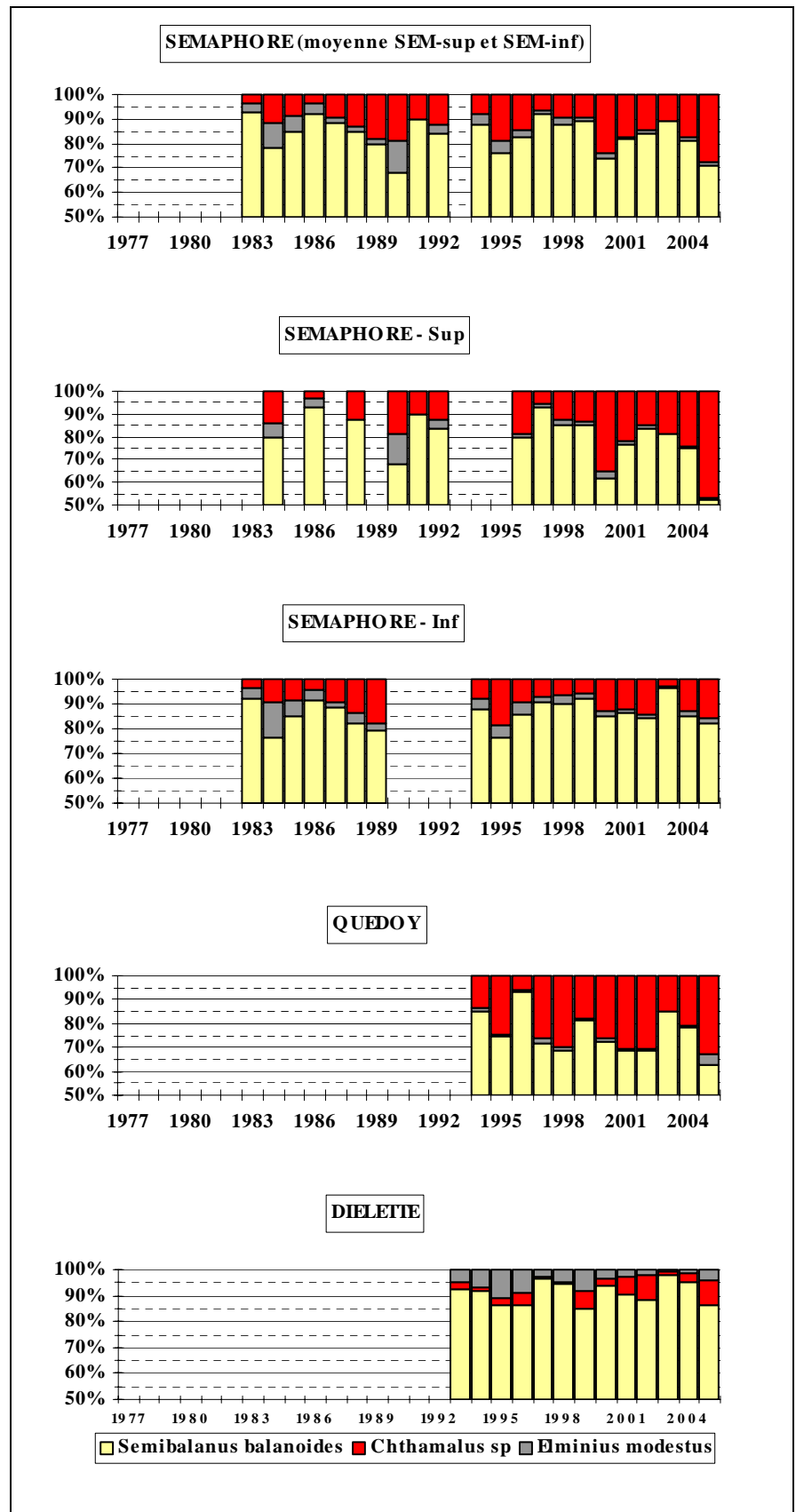


Figure 4.17 :
Evolution en %, des quatre espèces de cirripèdes au cap de Flamanville depuis 1983. (Les deux espèces de Chthamales ont été regroupées au niveau du genre).

L'importance des Chthamales observés depuis le début des études est minimale au Rozel (2 %) et à Diélette (4 %), points où le substrat est schisteux. Elle est maximale en bas du sémaphore (13 %) et à Quédoy (23 %), points où le substrat est granitique. Ces deux points présentent également la particularité d'être les plus proches de la centrale. En 2005, les valeurs acquises sont supérieures à ces moyennes atteignant des maxima. Ainsi à Quédoy, les chthamales représentent 33 % de la population de cirripèdes, au Sémaphore 27,5 %. Même au Rozel (surtout à la station 1, la plus haute sur l'estran) et à Diélette, leur nombre augmente.

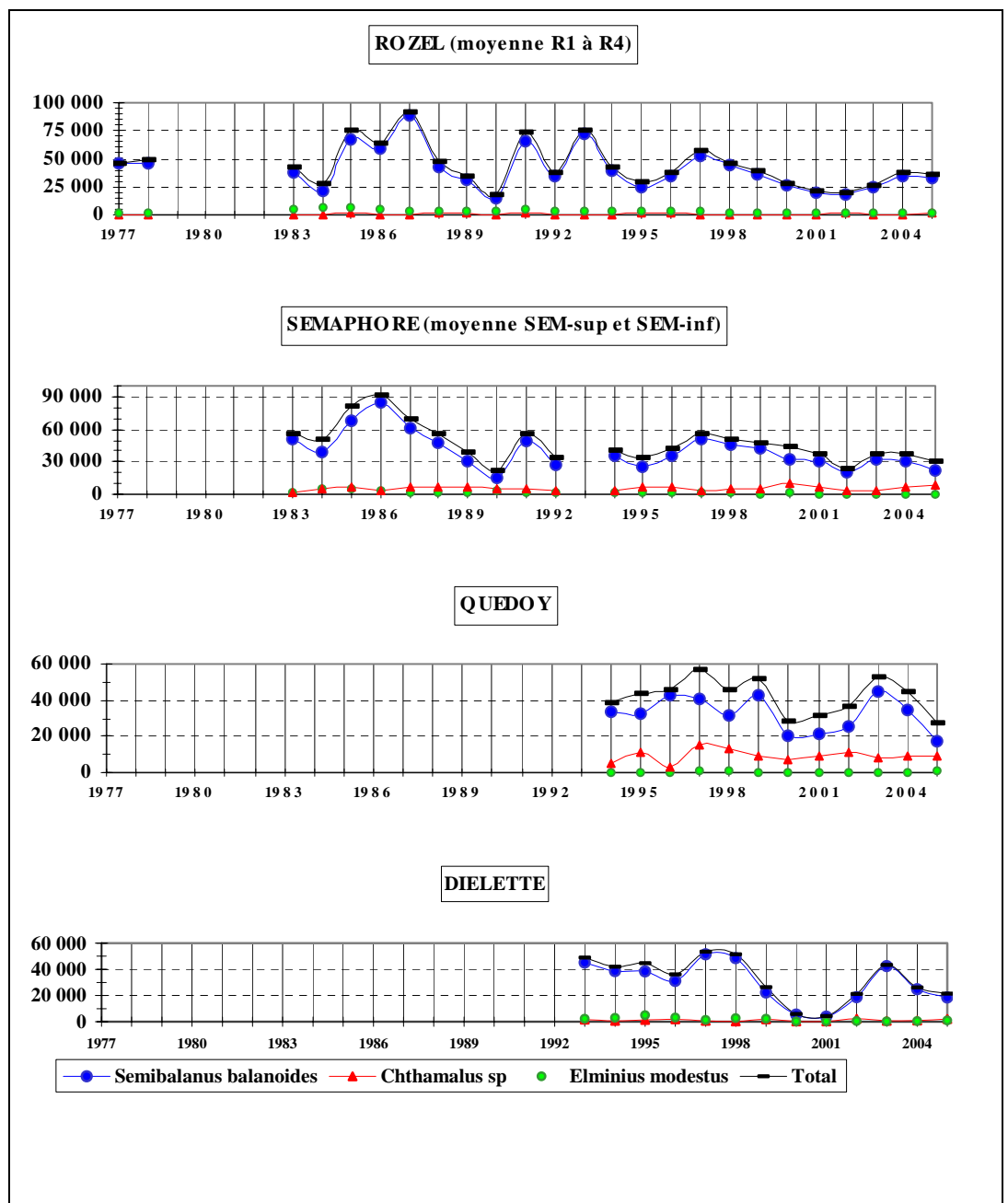


Figure 4.18 :

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

Quant à *Elminius modestus*, sa présence dans le peuplement reste faible ces dernières années. Elle oscille en moyenne sur la période étudiée, entre 0 au Sémaphore (1991) à 21 % au Rozel (1984). En 2005, le pourcentage atteint 1,5% au Sémaphore, 4% à Dielette, 4,5% à Quédoy et 6% au Rozel. On note toutefois une augmentation de cette espèce à Quédoy et à Dielette.

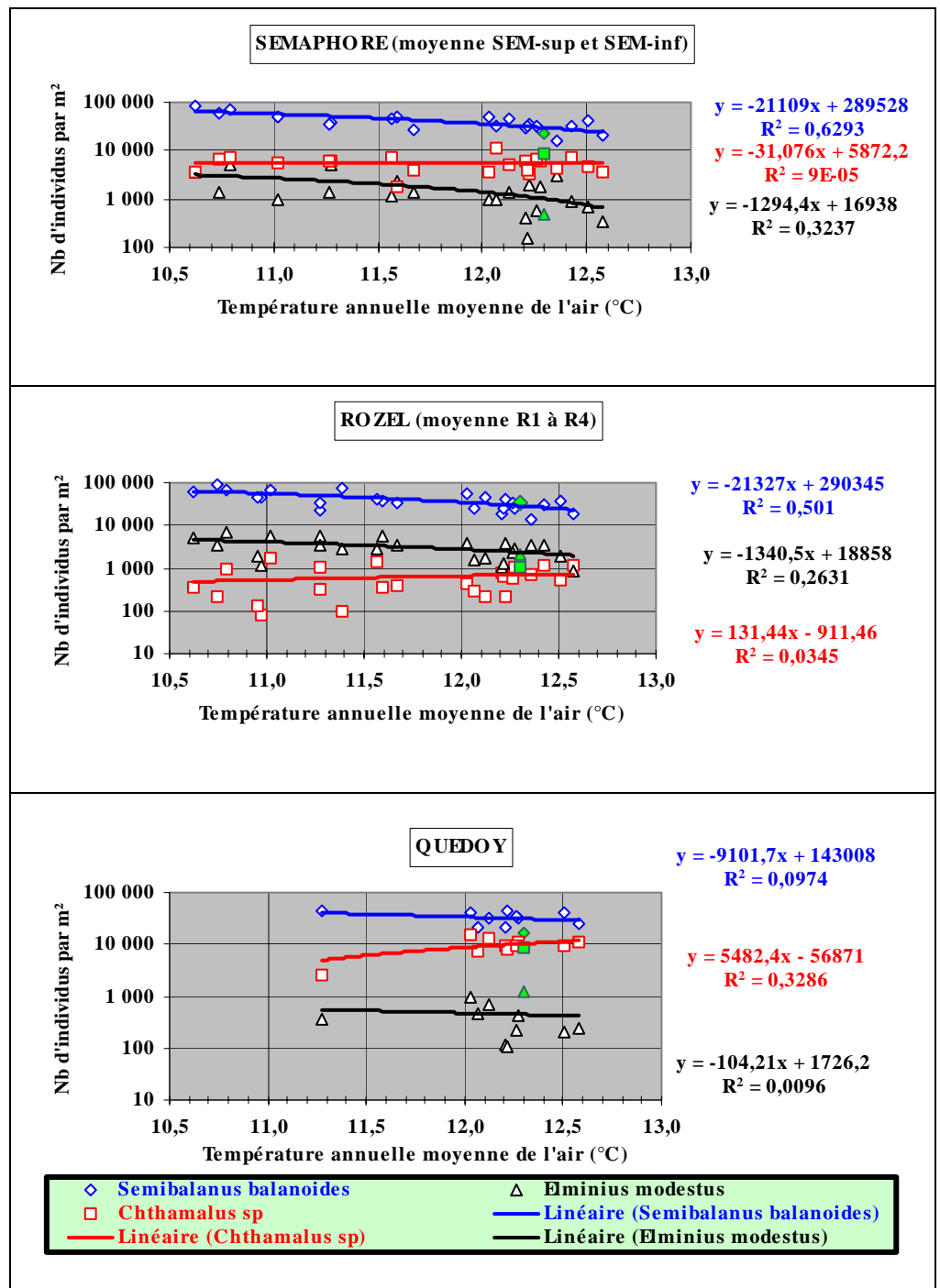


Figure 4.19 : Evolution des densités des cirripèdes intertidaux, à la pointe du Rozel (1977-2005) et au cap de Flamanville, en bas du sémaphore (1983-2005) et dans l'anse de Quédoy (1994-2005), en fonction de la température annuelle moyenne de l'air au cap de La Hague. Valeurs 2005 en vert

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

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

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

En tout état de cause, l'impact des variations météorologiques (ici, la température de l'air qui agit sur celle de l'eau ; cf. figures 2.11 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.

4.2.3.4 Evaluation des densités des principales espèces accompagnatrices

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

Photo 4.8 :

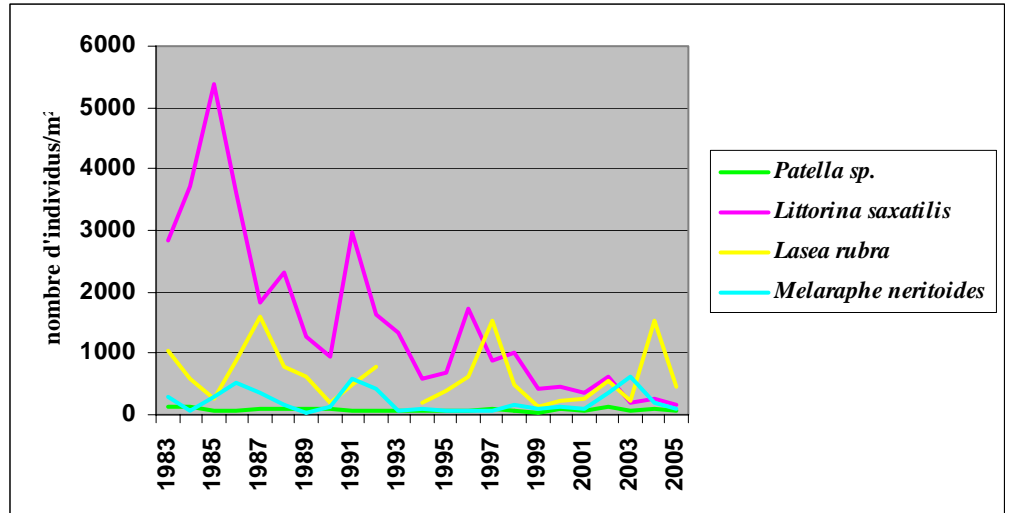
A gauche,
Campeopea
hirsuta

A droite,
Nereidé
(polychète)



L'abondance des différentes espèces accompagnatrices reste très irrégulière d'une année à l'autre et aussi d'une station à une autre. Quelques tendances peuvent toutefois être observées (figure 4.20).

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



Globalement, on constate en 2005, une diminution des densités des espèces accompagnatrices, excepté le genre *Patella* à la station de Diélette (figures 4.21 et 4.22).

L'abondance moyenne de *Littorina saxatilis*, en baisse régulière depuis 1985, est au plus bas en 2005.

Figure 4.21 :
Evolution des densités du petit mollusque,



Melaraphe neritoides

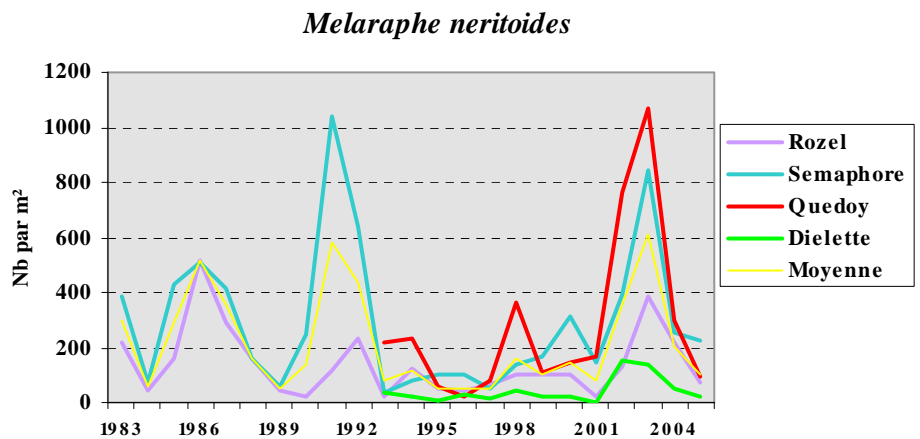
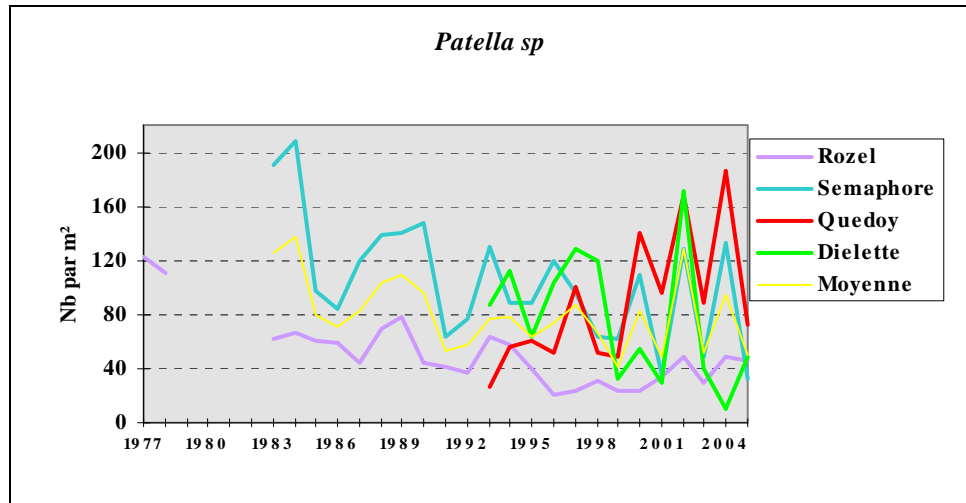


Figure 4.22 :

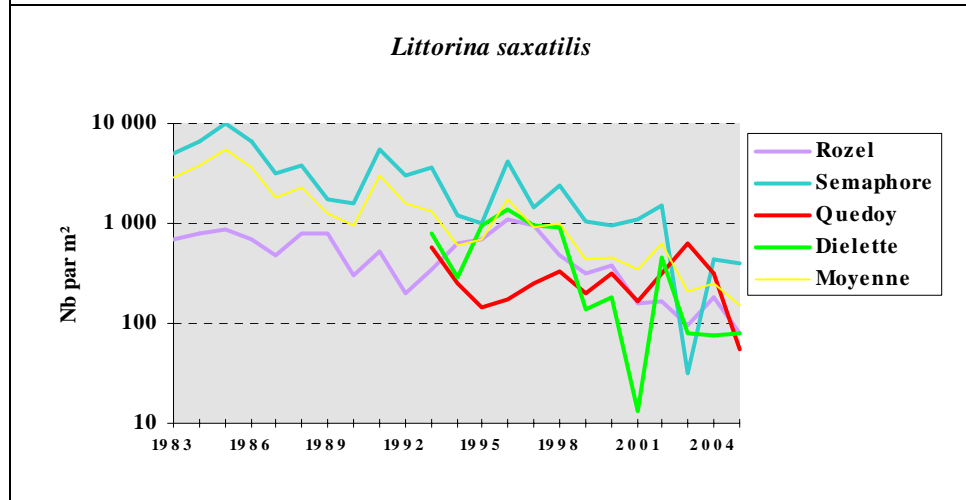
Evolution des densités de quelques mollusques présents dans le peuplement des crustacés cirripèdes.



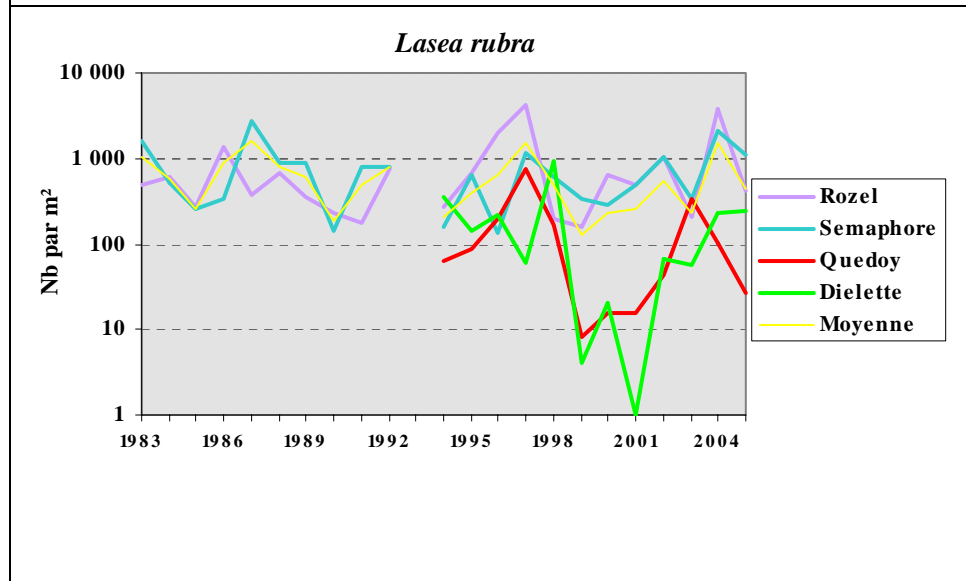
Patella sp



Littorina saxatilis



Lasea rubra



4.3 Conclusion

La population de *Fucus serratus* du platier de Diélette présente en 2005 des biomasses en légère hausse tant en mars qu'en septembre. Bien que supérieures à 2004 (minimum observé), ces valeurs restent faibles par rapport à celles enregistrées en début d'étude, de 1983 à 1988.

La croissance moyenne des thalles, obtenue de mars à septembre 2005 (10,46 cm) est relativement forte. Il faut remonter aux mesures de 1984 (15,3 cm) et 1985 (18,4 cm) pour trouver des valeurs supérieures.

La fertilité se développe normalement de mars (60 % de pieds plus ou moins fertiles) à septembre 2005 (99 %).

Le recrutement annuel ainsi que les densités des crustacés cirripèdes comptabilisés, tant au Rozel, au Sémaphore, à Quédoy et à Diélette, sont en baisse.

Bien que *Semibalanus balanoides* reste majoritaire, cette espèce subit une diminution au profit de *Chthamalus stellatus* et *Chthamalus montagui* qui progressent surtout à Quédoy et au Sémaphore, mais aussi à Diélette et au Rozel. La population de *Elminius modestus*, toujours minoritaire, se développe aussi à Quédoy et à Diélette.

5. Le domaine halieutique

Etude et rapport réalisés au sein d'Ifremer par

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

avec la collaboration pour les missions en mer, de

<i>Paul</i>	<i>Bourriau</i>	<i>(DOP/DCN/EMH)</i>
<i>Eric</i>	<i>Foucher</i>	<i>(DOP/HMMN/PEB)</i>
<i>Patrick</i>	<i>Grellier</i>	<i>(DOP/DCN/EMH)</i>
<i>Thérèse</i>	<i>Guilbaud</i>	<i>(DOP/DCN/EMH)</i>
<i>Daniel</i>	<i>Halgand</i>	<i>(DOP/DCN/EMH)</i>
<i>Joël</i>	<i>Vigneau</i>	<i>(DOP/HMMN/PEB)</i>

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

5.1. Larves de crustacés

5.1.1. Matériel et méthodes

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

Comme pour les autres sites étudiés, les observations effectuées à Flamanville comprennent des pêches de zooplancton auxquelles sont associés des relevés hydrologiques. Le calendrier des missions est donné dans la première partie du rapport (tabl. 1.3). Les six missions prévues par le contrat depuis 1997 se sont déroulées cette année du 14 juin au 14 septembre à bord du chalutier artisanal *le LYSISTRATA* avec des intervalles de temps compris entre quatorze et vingt huit jours, l'intervalle de 28 jours étant dû aux conditions météorologiques défavorables qui nous ont conduit à reporter la date de la deuxième 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 $2 \cdot 10^{-1} \text{eps}$ [échelle pratique de salinité] pour les mesures de salinité) est proche de celle de la sonde Valeport utilisée jusqu'en 2001.

5.1.1.3. Zooplancton

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

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

5.1.1.3.1 Description des échantillonneurs.

Bongo grand modèle

L'échantillonneur Bongo grand modèle utilisé pour les études de sites comporte deux filets de maillage 505 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 57 m³ et 242 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 les densités de zoés relevées au cours de l'été 2005 sont moyennes (densité maximale obtenue avec le Neuston 0,03 par 10 m³) alors que la phase mégaloïpe a été plus régulièrement observée cette année.

La figure 5.2 relative à l'année 2005 montre que les larves de homard ont été récoltées du 14 juin au 2 août. Les récoltes de zoés au premier stade indiquent que les éclosions se sont produites jusqu'au 12 juillet et la présence de mégaloïpes (une récoltée au Neuston et une au Bongo) dès la première mission (14 juin) nous permet d'affirmer qu'elles ont commencé 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. Une mégaloïpe a été récoltée cette année aux environs du rejet où la présence de larves est plus sporadique. Aucune larve n'a été récoltée dans le canal d'aménée où, mis à part l'année 2004, il n'en avait pas été observé depuis 1988.

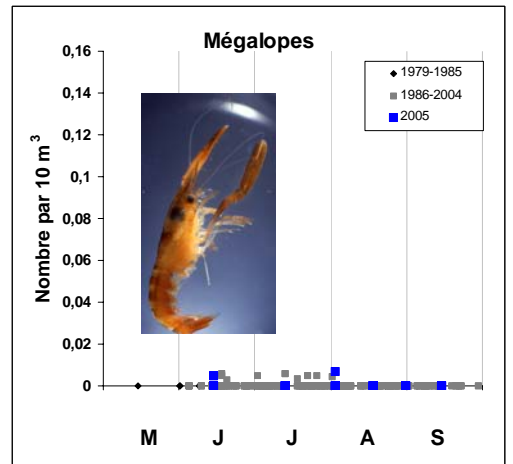
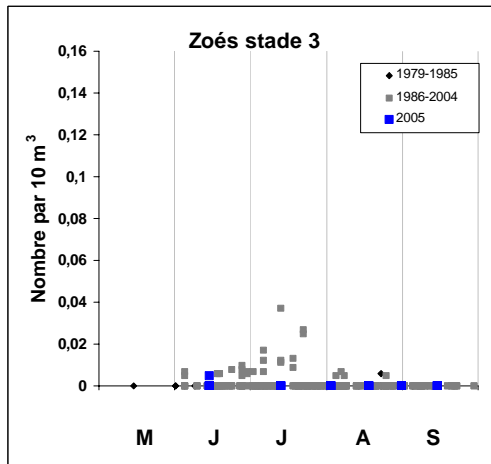
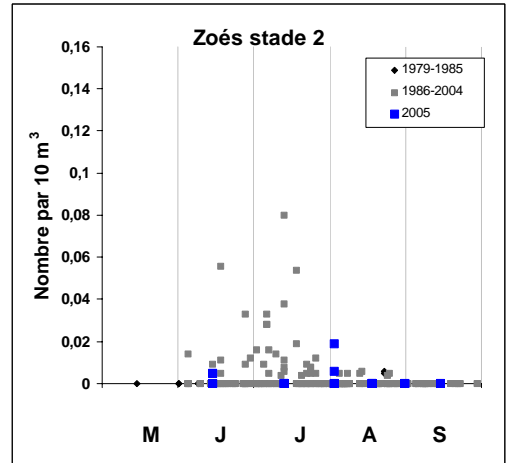
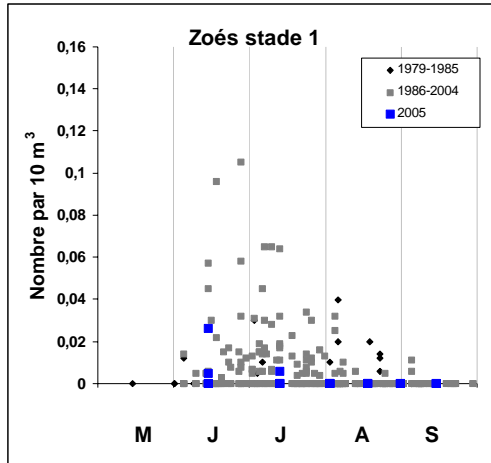


Figure 5.1. Densité des quatre stades larvaires du homard relevées en subsurface depuis le début des études.

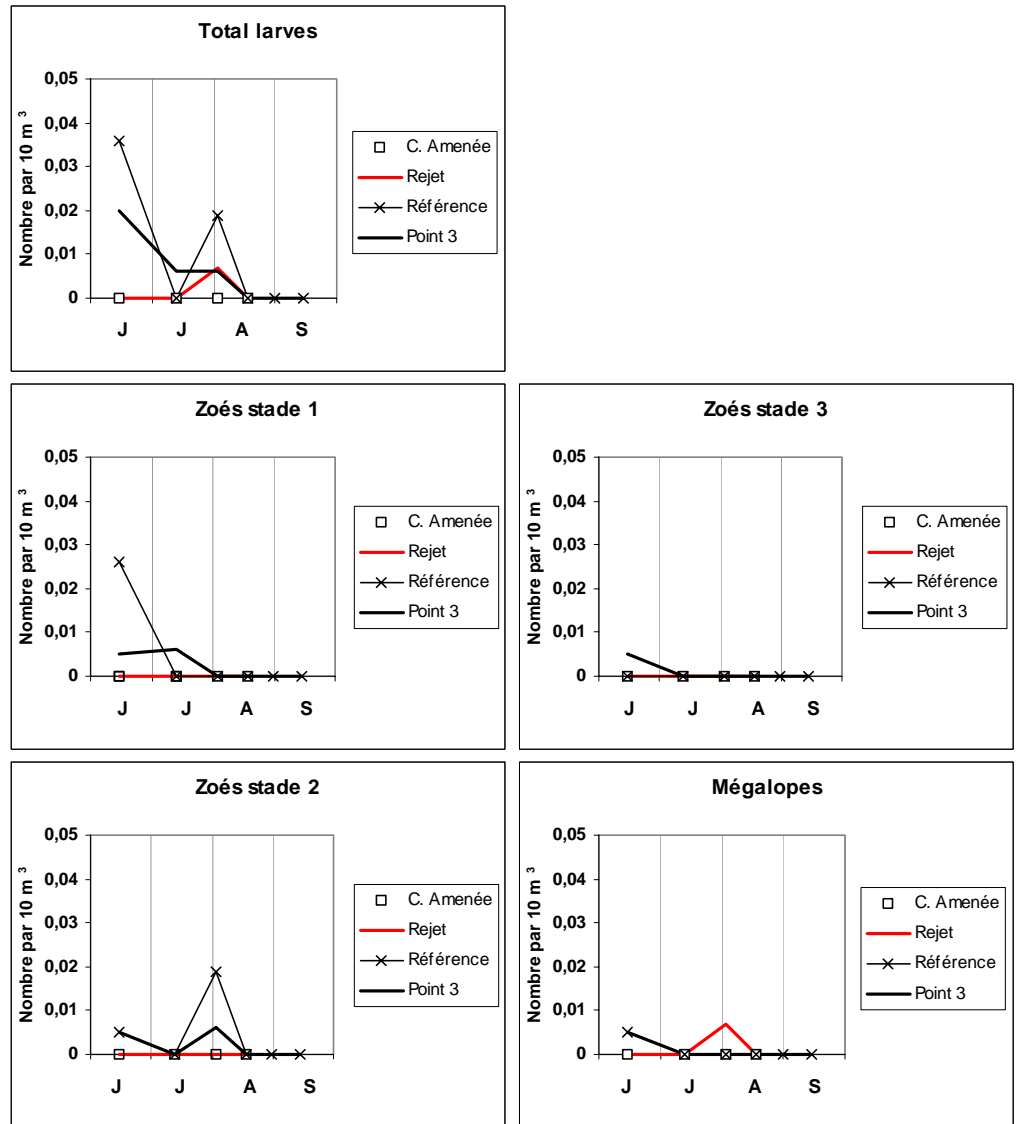


Figure 5.2. Densité des quatre stades larvaires du homard relevées en subsurface en 2005.

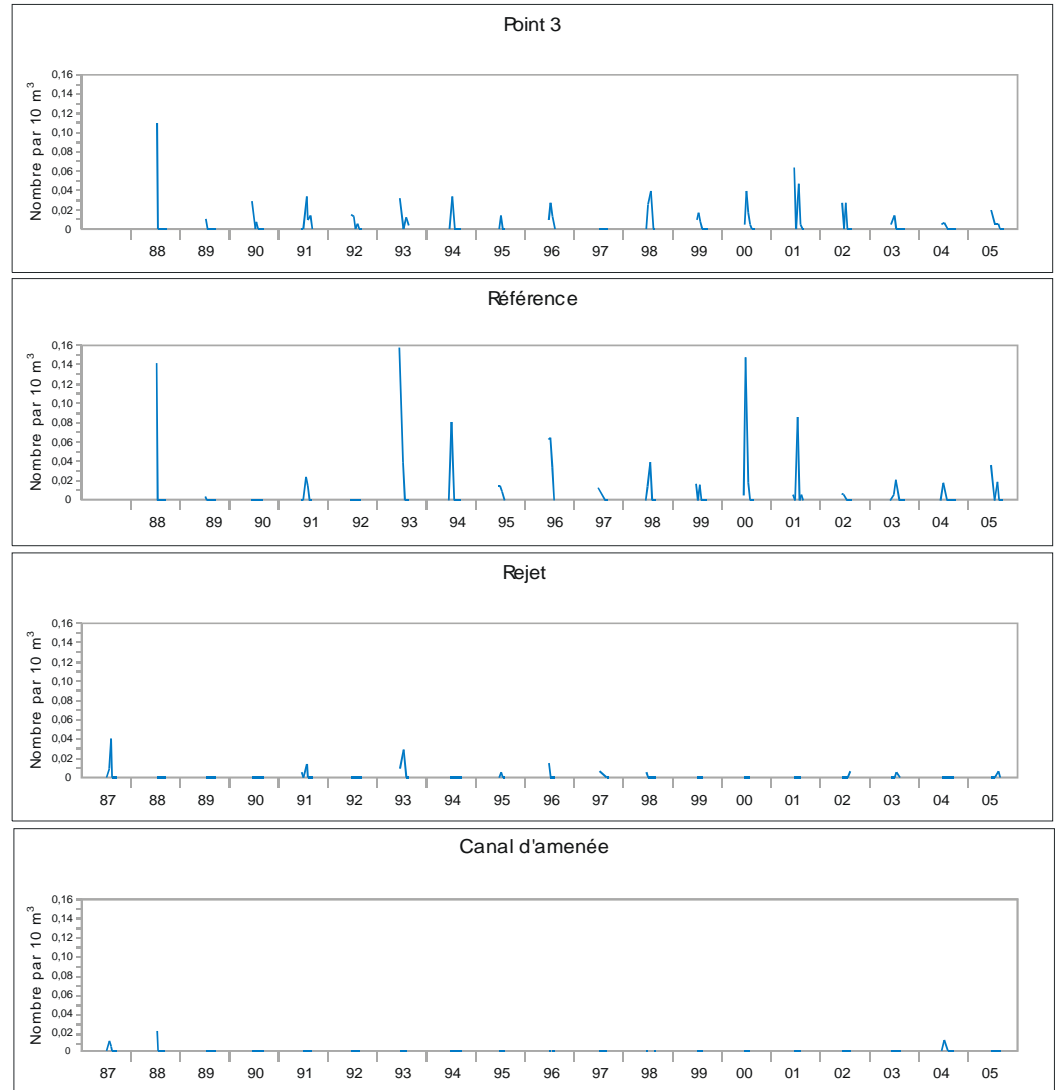


Figure 5.3.- Densité des larves de homard relevées en subsurface au différents points depuis le début de la surveillance 2^e phase.

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, nous ont permis d'étudier l'influence du climat sur la période d'éclosion de cette espèce. Nous reprenons ici les résultats de la publication de Martin & Planque (sous presse) sur les 20 années d'étude de surveillance (1986-2005).

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

L'analyse de la corrélation entre la série de températures cumulées sur différentes périodes et la date d'apparition des zoés dans le plancton qui traduit le début des éclosions (tableau 5.1) montre qu'il n'y a pas de corrélation significative entre la température de janvier et le démarrage des éclosions alors que la corrélation est significative à partir du mois de février et jusqu'en mai, seulement un peu plus faible autour de début mars. Précisons que pour 1989 où le pic d'abondance est observé dès la première mission, nous avons considéré que l'apparition des zoés 1 s'était produite 15 jours avant.

Tableau 5. 1. Corrélation entre les températures cumulées sur différentes périodes et la date d'éclosion des zoés d'araignée.

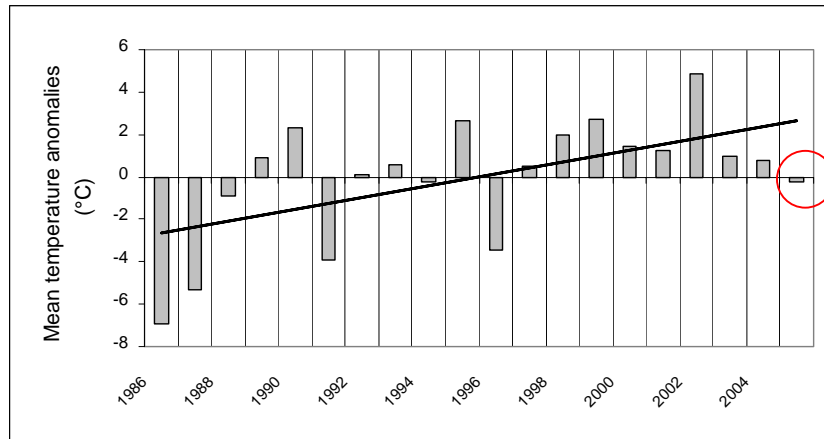
Correlation coefficient (r) *	January			February			March			April			May		
	1 st	11 th	21 st	1 st	11 th	21 st	1 st	11 th	21 st	1 st	11 th	21 st	1 st	11 th	21 st
Period beginning on															
10 days period	0.10	0.19	0.36	0.61	0.80	0.86	0.52	0.67	0.57	0.85	0.76	0.72	0.73	0.83	0.79
20 days period	0.28			0.76			0.75			0.65			0.84		
	0.05			0.50			0.86			0.61			0.75		
30 days period	0.16			0.82			0.64			0.86			0.82		
	0.40			0.83			0.75			0.80			0.79		
	0.67			0.72			0.79			0.79					

* Pearson correlation coefficient on first-order differenced time-series.

□ non significant □ 0.05>p>0.01 □ 0.01>p>0.00* □ p<0.001

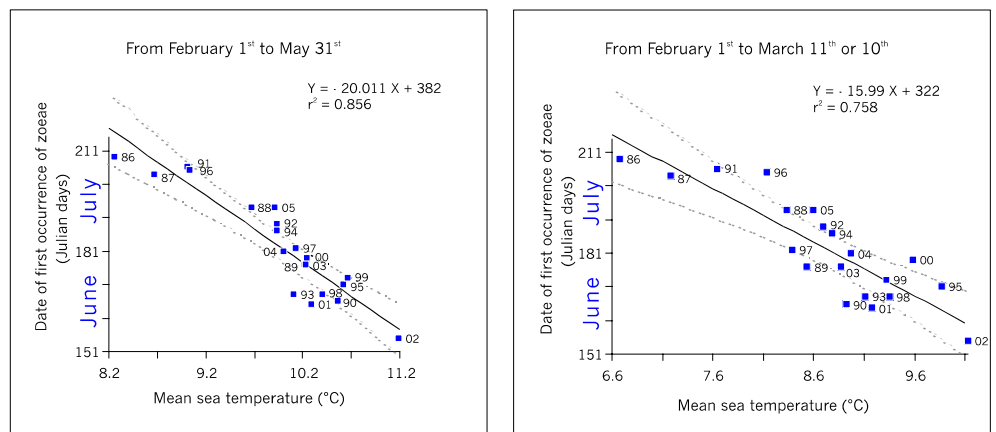
La figure 5.4 qui montre les anomalies de températures sur la période février-mai situe l'année 2005 comme étant moyenne entre la plus froide (1986) et la plus chaude (2002) de la période 1986-2005. Cette figure illustre par ailleurs la tendance au réchauffement démontrée par Martin & Planque, tendance observée aussi pour le site de Gravelines (Woehrling et al., 2005) et au niveau mondial (IPPC, 2001).

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



Ces résultats ont permis de construire un modèle prédictif de la date d'éclosion à partir des températures mesurées au cours de la période 1^{er} février-31 mai (figure 5.5, graphe gauche). Ce modèle montre qu'un accroissement de température de 1°C entraîne une avance de 20 jours dans l'apparition des zoés dans le plancton. Plus la quantité de chaleur reçue du 1^{er} février au 31 mai est forte, plus l'éclosion des zoés d'araignée s'avère précoce. Un décalage de 2 mois est observé entre les deux années extrêmes (1986 et 2002) qui montrent un écart de 3°C dans la température moyenne mesurée sur la période 1^{er} février-31 mai. Le modèle de droite (figure 5.5) construit à partir des températures mesurées sur une période plus courte, de 4 semaines seulement (1^{er} février-10 avril), explique déjà 75% de la variance. Il est donc possible de prédire la date d'apparition des premières zoés dans le plancton à partir du 10 mars avec une assez bonne précision.

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



La figure 5.5 montre que le début des éclosions 2005 devait se situer fin juin-début juillet, soit près de 15 jours avant la seconde mission (du 12 juillet) reportée pour cause de mauvaises conditions météorologiques.

La figure 5.6 illustre d'une autre façon l'évolution saisonnière de la température de l'eau mesurée à l'entrée de la centrale et celle des zoés d'araignée au point 3 au cours de l'année 2005 comparée aux deux années extrêmes de la période 1986-2005. On voit que les zoés d'araignée apparaissent début juillet 2005, situation intermédiaire entre celle de l'année 2002 où elles sont apparues début juin suite à une période février-mai très douce et celle de l'année 1986 où elles sont apparues fin juillet suite aux températures moins clémentes de février à mai.

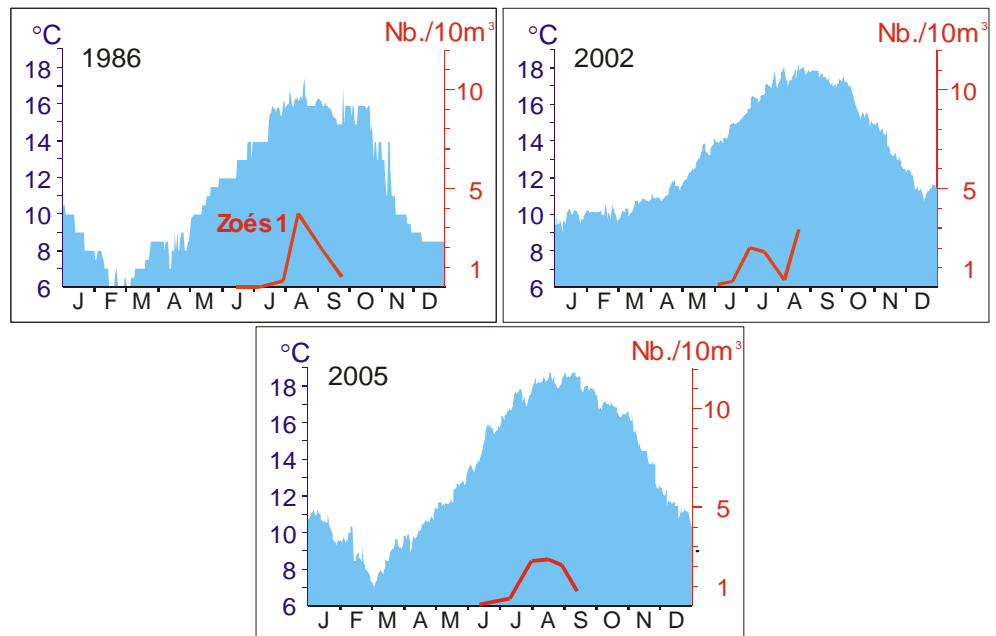


Figure 5.6. Évolution saisonnière des zoés d'araignée au 1^{er} stade en 2005 et lors des deux années extrêmes de la période 1986-2005.

La courbe de variation de la densité de zoés au premier stade montre que les éclosions sont maximales sur tout le mois d'août. La densité maximale de zoés (5,1 par 10 m^3 ; figure 5.7) est plus proche des valeurs modestes observées de 1990 à 1995, de 1998 à 2000 et en 2002 et 2003. Toutefois, un pic se dessine plus nettement pour le deuxième stade zoé et les mégalopes, ce qui indiquerait un pic réel de stade 1 plus important au tout début du mois d'août. L'année 1983 demeure malgré tout exceptionnelle avec 61 zoés par 10 m^3 .

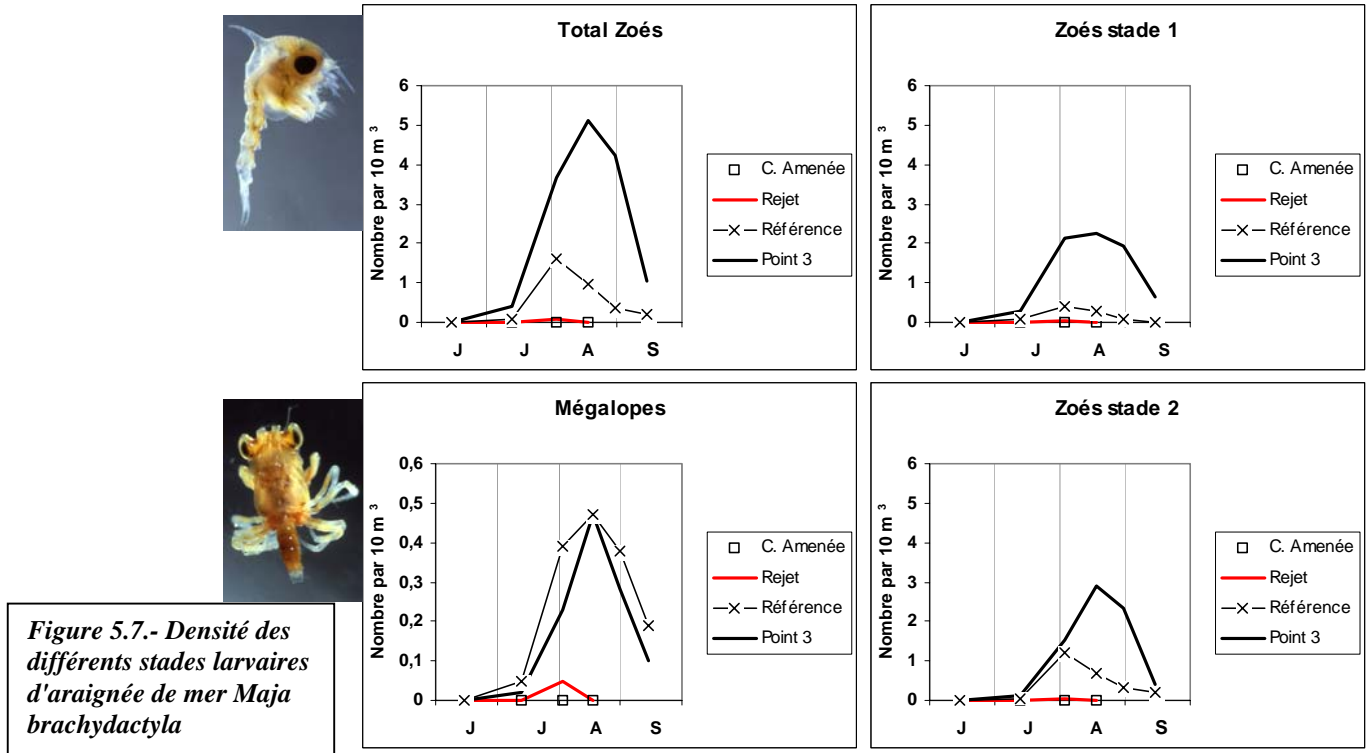


Figure 5.7.- Densité des différents stades larvaires d'araignée de mer *Maja brachydactyla*

La figure 5.7 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 mégalopes 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) ; des zoés et mégalopes ont été observées cette année lors de la mission du 2 août (0,09 zoés par 10 m³ et 0,05 mégalopes par 10 m³).

5.1.3. Conclusion

Comme l'illustrent les figures 2.5 et 2.6 de la page 24, le début de l'année 2005 est plutôt doux à l'exception du mois de mars montrant une température moyenne inférieure à la moyenne obtenue depuis 1986. Plus précisément, le cumul des températures journalières sur la période février-

mai démontrée sensible pour l'araignée de mer, est moyenne, intermédiaire entre celle des années extrêmes 1986 et 2002.

Il s'ensuit que les premières larves d'araignée ont éclos assez tôt, entre le 14 juin où aucune n'a été pêchée et le 12 juillet où la densité est de 0,4 par 10 m^3 au point 3 et où l'on observe déjà des mégalopes. Le début doit donc se situer plus précisément à la fin du mois de juin. Le maximum d'éclosion se situe sur tout le mois d'août. La densité maximale relevée le 17 août (5,1 par 10 m^3) rejoint les valeurs modestes notées de 1990 à 1995, de 1998 à 2000 et depuis 2002.

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

Les larves de homard semblent précoces cette année encore puisque une mégalope a été observée dès le 14 juin ; un pic apparent se dessine à cette date mais, comprenant les trois stades zoés, il est difficile de parler de pic d'éclosion. Comme nous l'avons noté dans la synthèse (Drévès L. (coordinateur) et al. 2005) – *Synthèse hydrobiologique du site électronucléaire de Flamanville - édition provisoire*) les larves de homard apparaissent plus généralement dès le mois de mai depuis quelques années. La densité maximale observée en subsurface (0,04 par 10 m^3) est un peu plus élevée que les trois dernières années.

5.2. Surveillance de la pêche cotière des crustacés

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

5.2.1. Pêche professionnelle

5.2.1.1. Flottille

En 2005, la flottille est répartie de la façon suivante :

- 6 bateaux à Goury.
- 6 à Dielette.
- 22 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 2005.

Année 2005	Mois											
Métier	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
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 5.1 : Périodes d'activités des principaux métiers pratiqués par la flottille.

5.2.1.3. Production

En 2005, les déclarations faites par les professionnels font apparaître une production de 200 tonnes de crustacés. Le plus gros des apports est composé d'araignées et de tourteaux dont les poids débarqués sont respectivement de 90 et 70 tonnes. Le homard arrive en troisième position avec 32 tonnes.

La production de buccin reste aux environ 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 400 tonnes.

Les poissons sont essentiellement représentés par les différentes espèces de raies (270 tonnes) mais aussi par la petite roussette (874 tonnes) ou bien la sole (450 tonnes) pour ne citer que les plus importantes en quantité déclarée par les chalutiers et quelques fileyeurs.

On peut estimer la production de la flottille du nord ouest Cotentin à 3 000 T. Cette évaluation est basée sur les déclarations 2004 issues des journaux de bord, des fiches de pêches et des ventes en criée de Cherbourg.

5.2.2. Pêches expérimentales

En 2005, 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 congelés.

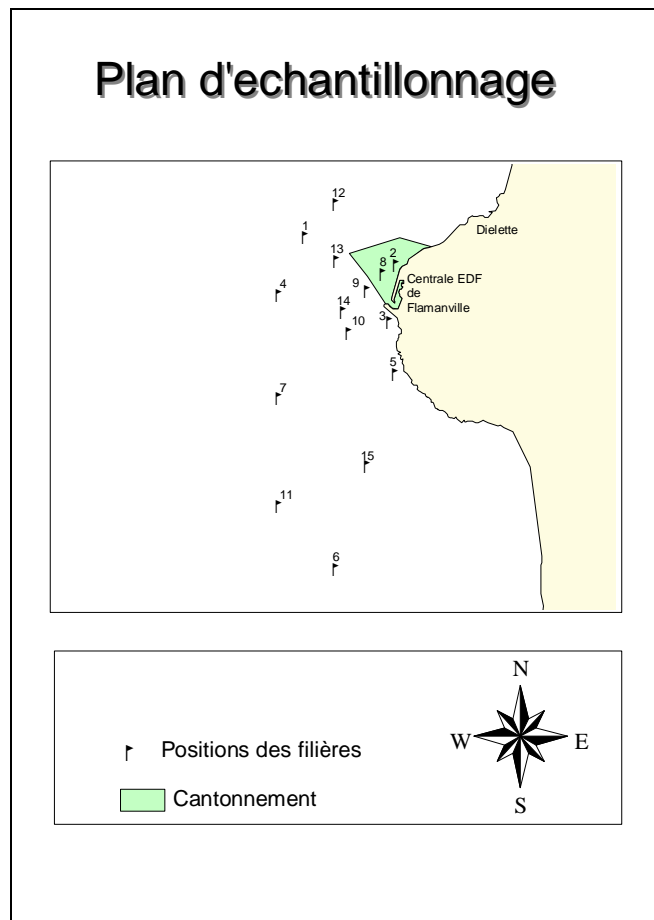


Figure 5.8 : Carte de positionnement des filières

Calendrier des sorties

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

Mission	Date	Nombre de filières	Nombre de casiers relevés
Juin	13	15	297
	14	15	297
	15	15	297
	16	15	297
Septembre	12	15	300
	13	15	300
	14	15	300
	15	15	300

Tableau 5.2 : Dates des campagnes 2005 et nombre de filières relevées

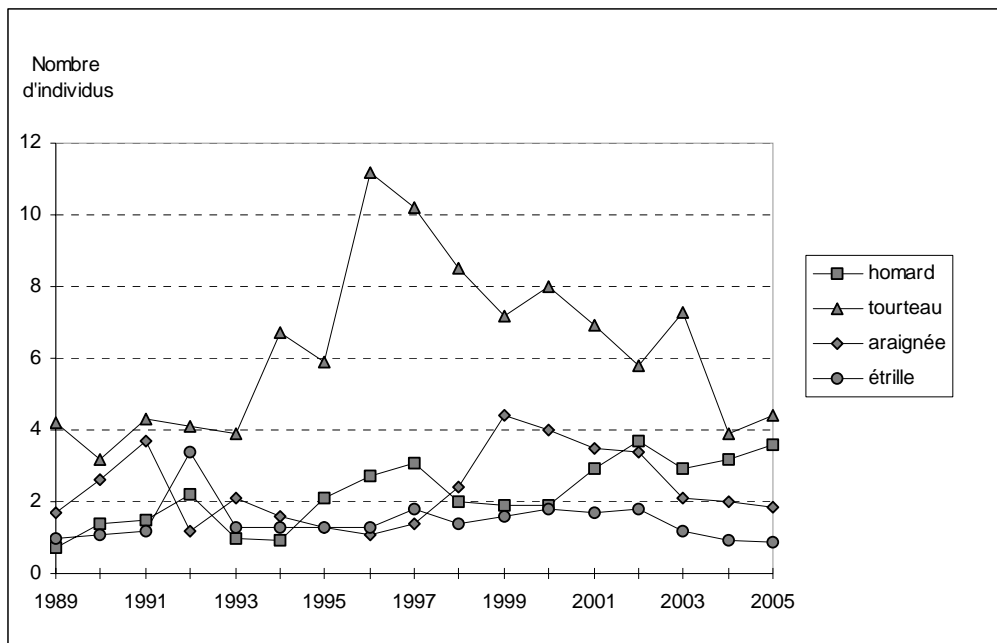


Figure 5.9 : Rendement en nombre d'individus pour 10 casiers

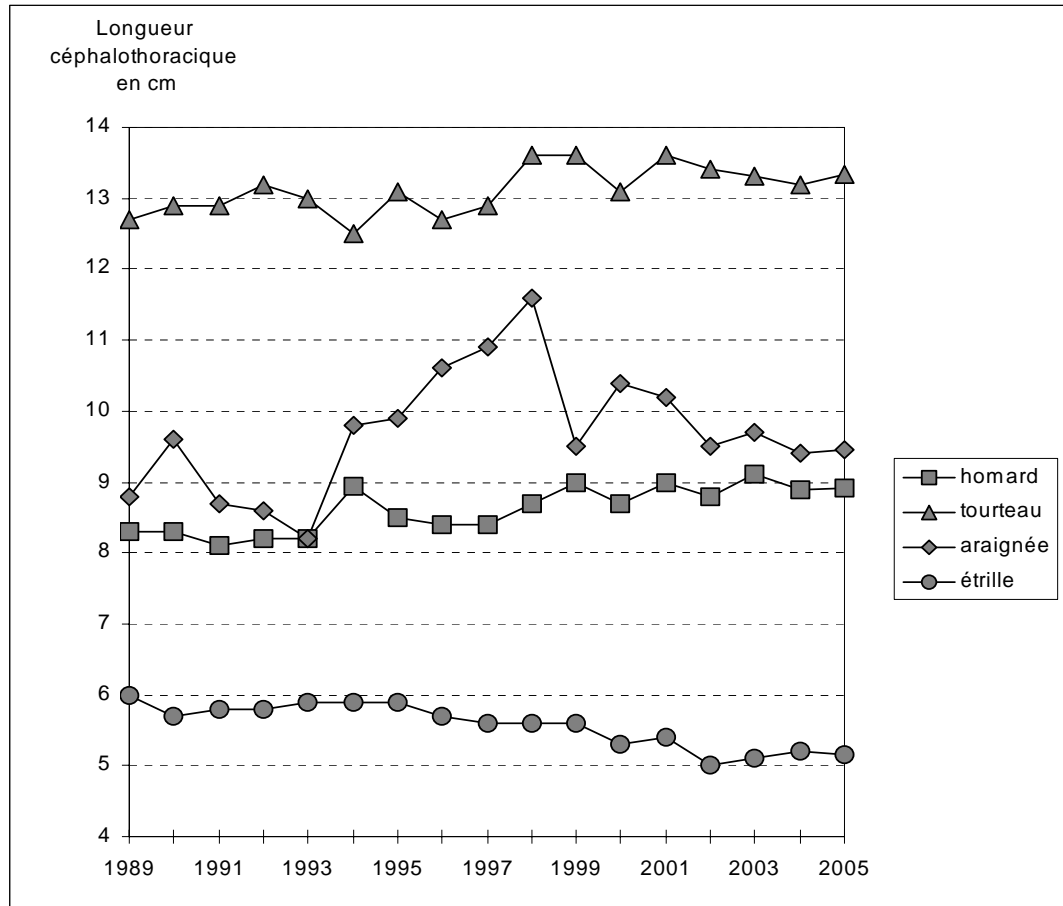


Figure 5.10 : Evolution des tailles moyennes

Observations réalisées

Les observations réalisées en 2005 reposent sur 2 388 casiers relevés (annexe 5.9, page 184). 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 2005 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 2004.

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

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

Homard (annexe 5.5, page 180)

➤ Rendements (figure 5.9, page 168)

Les rendements (nombre d'individus pêchés pour 10 casiers relevés) observés en juin et septembre sont équivalents à ceux de 2004. Sur l'ensemble de la zone prospectée lors des deux campagnes les captures sont de 3,6 individus pour 10 casiers. Les deux filières situées dans le cantonnement ont une productivité très nettement supérieures aux autres filières et participent pour 33 % à l'indice global. Ce dernier n'est en fait que de 2,7 individus pour 10 casiers hors réserve mais reste en augmentation sur les trois dernières années. La **FIGURE A**, page 185, présente une vue globale des rendements sur la zone et permet de mettre en évidence des rendements plus importants au sud du cantonnement. Les points situés à l'ouest représentent quant à eux des indices beaucoup plus faibles .

➤ Répartition des tailles (figure 5.10)

La taille moyenne des homards capturés en 2005 est de 8,9 cm (longueur céphalothoracique). Elle varie peu depuis 1998 et reste comprise entre 8,7 et 9,2 cm.

➤ Poids individuel

pour les mâles : $a=187 \cdot 10^{-6}$ et $b=3,289$

pour les femelles : $a=371 \cdot 10^{-6}$ et $b=3,122$

Le poids moyen des homards en 2005 est de 499 g.

➤ 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 : 52 % des individus sont de sexe mâle.

Tourteau (annexe 5.6, page 181)

➤ Rendements (figure 5.9, page 168)

Même s'ils sont en très légère augmentation cette année (4,4 individus pour 10 casiers), les rendements mensuels restent au plus bas depuis 1995. Les filières au sud du cantonnement donnent les rendements les plus élevés (**FIGURE B**, page 185). L'augmentation des captures en septembre est due principalement aux filières 3, 5 et 14. En effet celles-ci ont été déplacées plus au nord, dans la zone généralement riche en tourteaux.

➤ Répartition des tailles (figure 5.10, page 169)

La taille moyenne des individus capturés (largeur du céphalothorax) est de 13,3 cm. Elle n'a pas significativement varié depuis 1989.

➤ Poids individuel

Le poids moyen est calculé à partir des paramètres suivants :

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

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

Il est de 430 g sur l'ensemble des deux campagnes annuelles.

➤ Proportion des sexes

Le sex-ratio des captures est composé à 69 % de mâles.

Araignée (annexe 5.7, page 182)

➤ Rendements (figure 5.9, page 168)

Les rendements sont en diminution depuis 1999, soit cette année 1,8 individus pour 10 casiers (figure 5.9). Les captures les plus importantes sont observées dans les filières 6 et 15 (**FIGURE C**, page 185). Généralement se sont l'ensemble des filières placées sur les fonds sableux situés à l'ouest de l'anse de Scioto qui sont les plus productives.

➤ Répartition des tailles (figure 5.10, page 169)

La longueur céphalothoracique moyenne des araignées est de 9,5 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 : $a=462 \cdot 10^{-6}$ et $b=2,88$

pour les femelles : $a=102 \cdot 10^{-5}$ et $b=2,698$

* pour les individus matures

pour les mâles : $a=517 \cdot 10^{-7}$ et $b=3,382$

pour les femelles : $a=316 \cdot 10^{-6}$ et $b=2,996$

Il est de 287 g sur l'ensemble des deux campagnes annuelles.

➤ Proportion des sexes

La proportion de mâles est de 73 %.

Etrille (annexe 5.8, page 183)

➤ Rendements (figure 5.9, page 168)

Pour la seconde année consécutive les rendements sont au plus bas depuis 10 ans et se stabilisent à 0,9 individus pour 10 casiers. Les captures les plus importantes sont réalisées dans la partie sud de la centrale (**FIGURE D**, page 185).

➤ Répartition des tailles (figure 5.10, page 169)

La taille moyenne est de 5,2 cm.

➤ Poids individuel

Le poids moyen est calculé à partir des paramètres suivants :

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

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

Il est de 92 g sur l'ensemble des deux campagnes annuelles.

➤ Proportion des sexes

En 2005, comme lors des années précédentes, le sex-ratio est déséquilibré : 83 % des étrilles pêchées sont des mâles.

➤ Proportion d'individus mous

Le pourcentage d'individus mous est de 44 % en juin : valeur identique aux années passées.

Buccin et Paguridés (annexe 5.9, page 184 et figure 5.11, ci-dessous)

Les filières situées au sud du cap de Flamanville (**FIGURE E** et **F**, page 186), 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 0,6 individu pour 10 casiers pour le buccin et de 4,6 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.

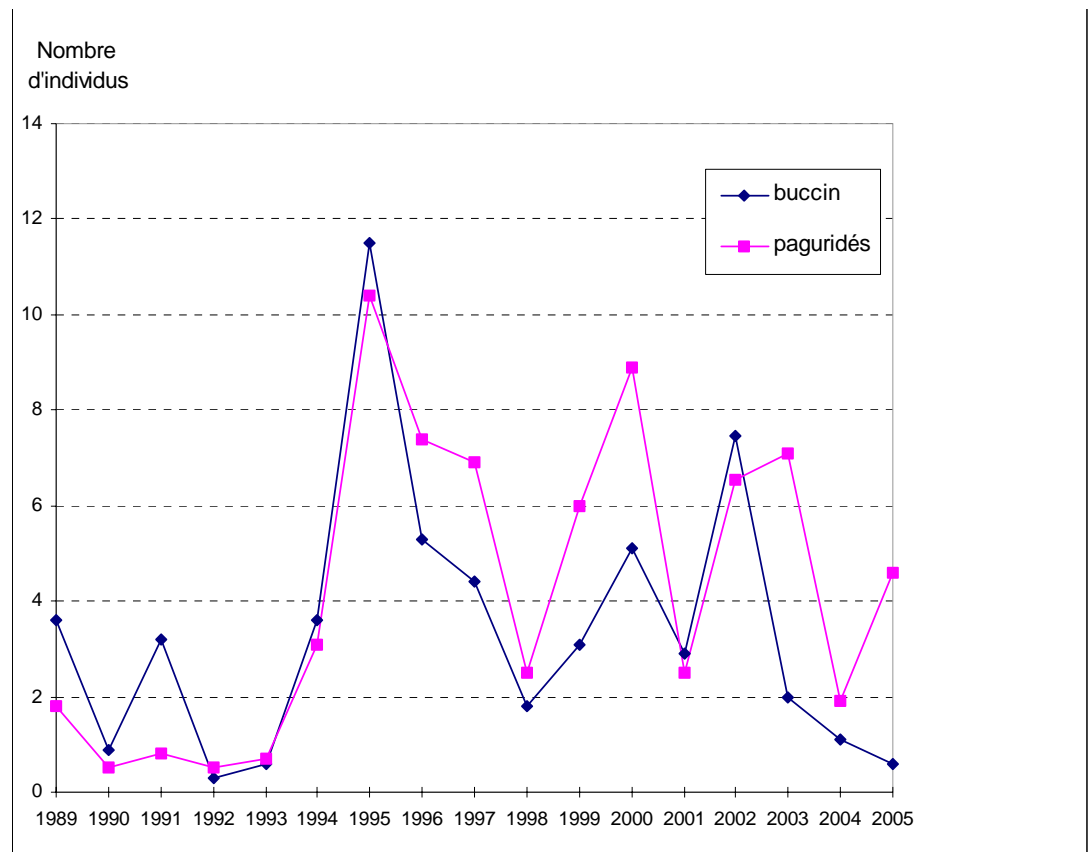


Figure 5.11 : Rendements en nombre d'individus pour 10 casiers.

Zone du Cantonnement :

Les filières 2 et 8, situées dans le cantonnement, ont respectivement des rendements de 8,4 et 9,4 homards pour 10 casiers.

Sur les 148 homards capturés en juin, 109 ont été marqués pour la première fois. Nous avons recapturé 34 homards dont 19 matriculés pendant cette campagne.

Lors de la campagne de septembre, sur les 130 homards capturés, 80 l'on été pour la première fois. Parmi ceux-ci, cinq ont été repêchés. En outre nous avons attrapé 43 homards qui avaient été marqués lors des campagnes précédentes.

Le poids moyen est nettement supérieur (648 g) à celui observé sur l'ensemble de la population capturée en dehors du cantonnement (493 g).

Ces trois dernières années nous avons capturé 35 femelles œuvées, alors que dans le même temps, à l'extérieur de la zone, il a fallu sept fois plus de casiers pour pêcher 45 femelles ovigères.

En dehors des quelques araignées capturées en juin dans la filière 2, 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 cantonné aux abords des enrochements de la centrale.

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

Le système de marquage utilisé depuis 2003 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 700 individus en trois ans, le taux de recapture est faible voir inexistant en dehors du cantonnement. Cela confirme que le homard est une espèce assez sédentaire, la majorité des captures se faisant lors de campagnes sur les lieux d'immersion, c'est à dire à l'intérieur du cantonnement.

Les conditions météorologiques rencontrées lors des campagnes ne nous ont pas permis de positionner, de façon régulière, la filière numéro 2 à la limite des enrochements. Nous n'avons donc pas été en mesure d'échantillonner correctement la population de petits individus qui s'y cache. Toutefois on remarque que la taille moyenne augmente chaque année. Elle est plus importante que dans le reste de la pêcherie, alors que généralement c'est au large que l'on trouve les plus gros individus.

Comme les années précédentes il y a très peu de tourteaux capturés. Cela confirme que le homard est bien l'espèce de crustacé territorialement dominante dans cette zone.

En dehors de ce périmètre il faut noter que le rendement du tourteau est difficilement interprétable cette année dans la mesure où le plan d'échantillonnage a été modifié. Nous avons en effet augmenté artificiellement les captures de certaine filières en les rapprochant de la zone où est généralement concentré cette espèce.

Le rendement de l'étrille baisse régulièrement depuis quatre ans. La taille moyenne de ce petit crustacé ayant d'autre part fortement diminuée ces dix dernières années.

Mission	Date	Coeff. marée	Point 3	Sonde	Nuages	Engin	Heure début (T.U.)	Durée	Temps après P.M.	Volume (m ³)
175	14/06	43	Point 3	25	6	Bongo 1	17h 07	3mn 10	6h 27	242
						Bongo 2	17h 20	3mn 15	6h 40	239
						Neuston S	17h 29	15mn	6h 49	2002
			C. amenée	5	3	Bongo 1	14h 50	1mn 30	4h 10	83
						Bongo 2	14h 58	1mn 30	4h 18	78
						Neuston S	15h 04	10 mn	4h 24	1405
			Rejet	14	1	Bongo 1	15h 26	2mn 10	4h 46	117
						Bongo 2	15h 36	2mn 15	4h 56	138
						Neuston S	15h 45	15mn	5h 05	2056
			Référence	22	1	Bongo 1	16h 12	3mn	5h 32	201
						Bongo 2	16h 23	2mn 45	5h 43	202
						Neuston S	16h 31	15mn	5h 51	1940
176	12/07	61	Point 3	24	0	Bongo 1	15h 50	3mn 45	6h 19	182
						Bongo 2	15h 59	3mn 50	6h 28	219
						Neuston S	16h 05	15mn	6h 34	1717
			C. amenée	5	0	Bongo 1	13h 52	1mn 45	4h 21	77
						Bongo 2	13h 58	1mn 30	4h 27	79
						Neuston S	14h 02	10mn	4h 31	994
			Rejet	13	0	Bongo 1	14h 24	2mn 10	4h 53	106
						Bongo 2	14h 28	2mn 10	4h 57	104
						Neuston S	14h 34	15mn	5h 03	1840
			Référence	22	0	Bongo 1	15h 01	3mn 30	5h 30	191
						Bongo 2	15h 09	3mn 30	5h 38	197
						Neuston S	15h 15	15mn	5h 44	1772
177	02/08	50	Point 3	25	6	Bongo 1	10h 47	3mn 30	6h 23	171
						Bongo 2	10h 54		6h 30	180
						Neuston S	11h 00	16mn	6h 36	1596
			C. amenée	6	1	Bongo 1	8h 42	1mn	4h 18	61
						Bongo 2	8h 48	1mn	4h 24	57
						Neuston S	8h 54	10 mn	4h 30	1084
			Rejet	14	5	Bongo 1	9h 16	2mn 30	4h 52	111
						Bongo 2	9h 21	2mn 30	4h 57	107
						Neuston S	9h 27	15mn	5h 03	1519
			Référence	22	5	Bongo 1	9h 56		5h 32	151
						Bongo 2	10h 03		5h 39	158
						Neuston S	10h 09	15mn	5h 45	1556
178	17/08	56	Point 3	24	0	Bongo 1	9h 50	3mn	6h 12	168
						Bongo 2	9h 58	4mn	6h 20	172
						Neuston S	10h 12	16mn	6h 34	1777
			C. amenée	5	0	Bongo 1	7h 45		4h 07	83
						Bongo 2	7h 50		4h 12	61
						Neuston S	7h 55	8mn	4h 17	765
			Rejet	13	0	Bongo 1	8h 11	2mn	4h 33	106
						Bongo 2	8h 21	2mn	4h 43	115
						Neuston S	8h 30	13mn	4h 52	1335
			Référence	22	0	Bongo 1	9h 00		5h 22	163
						Bongo 2	9h 06	4mn	5h 28	157
						Neuston S	9h 15	15mn	5h 37	1441
179	30/08	35	Point 3	25	0	Bongo 1	7h 42	3mn	4h 34	161
						Bongo 2	7h 51	3mn 30	4h 43	157
						Neuston S	8h 00	15mn	4h 52	1354
			Référence	24	0	Bongo 1	6h 48	3mn	3h 40	146
						Bongo 2	6h 56	3mn 10	3h 48	145
						Neuston S	7h 04	15mn	3h 56	1333
180	14/09	41	Point 3	25	8	Bongo 1	8h 54	3mn	6h 44	148
						Bongo 2	9h 00	3mn	6h 50	155
						Neuston S	9h 09	14mn	6h 59	1458
			Référence	23	8	Bongo 1	8h 00	3mn 15	5h 50	159
						Bongo 2	8h 07	3mn 30	5h 57	159
						Neuston S	8h 14	15mn	6h 04	1569

Annexe 5.1.
Caractéristiques des
prélèvements
effectués en 2005.

Mission	Date	Point	Température (°C)		D°C		Salinité		Densité	
			Surf.	Fond	Surf.	Fond	Surf.	Fond	Surf.	Fond
175	14 Juin	Point 3	13,4	13,1	2,0	0,3	35,03	35,05	26,36	26,43
		C. amenée	14,3	14,2			34,84	34,90	26,03	26,08
		Rejet	16,2	14,5			34,79	34,93	25,56	26,04
		Référence	14,5	13,4			34,90	34,99	26,03	26,32
176	12 juillet	Point 3	15,5	15,4	1,6	-0,1	34,85	34,88	25,76	25,81
		C. amenée	16,9	16,5			34,68	34,82	25,31	25,52
		Rejet	18,5	16,4			34,38	34,83	24,69	25,55
		Référence	16,3	15,7			34,36	34,39	25,21	25,36
177	2 août	Point 3	17,5	17,5	2,3	2,1	34,53	34,56	25,04	25,08
		C. amenée	17,7	17,7			34,50	34,50	24,98	24,98
		Rejet	20,0	19,8			34,40	34,50	24,32	24,45
		Référence	17,7	17,6			34,30	34,50	24,83	25,01
178	17 août	Point 3	17,7	17,5	2,0	0,1	34,95	34,97	25,33	25,38
		C. amenée	18,1	18,1			34,94	34,89	25,22	25,18
		Rejet	20,1	18,2			34,91	34,93	24,69	25,19
		Référence	18,4	17,8			34,86	34,93	25,10	25,29
179	30 août	Point 3	17,5	17,4			34,78	34,79	25,26	25,28
		Référence	17,7	17,6			34,75	34,85	25,19	25,28
180	14 septembre	Point 3	17,7	17,7			34,89	34,90	25,27	25,28
		Référence	18,1	18,1			34,84	34,83	25,14	25,14

Annexe 5.2. Résultats des mesures hydrologiques effectuées en 2005.

Mission	Date	Point	Nuages	Engin	Total larves	Zoés stade 1	Zoés stade 2	Zoés stade 3	Mégaloopes
175	14 juin	Point 3	6	Bongo 1 Bongo 2 Moyenne Neuston S	0,041 0,020 0,020				0,041 0,020 0,005
		C. Amenée	3	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Rejet	1	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Référence	1	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S	0,036	0,026	0,005		0,005
176	12 juillet	Point 3	0	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S	0,006	0,006			
		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					
177	2 août	Point 3	5	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S	0,006		0,006		
		C. Amenée	1	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Rejet	5	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S	0,007				0,007
		Référence	5	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S	0,019		0,019		
178	17 août	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					
179	30 août	Point 3	0	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Référence	0	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
180	14 septembre	Point 3	8	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					
		Référence	8	Bongo 1 Bongo 2 Neuston S					

Annexe 5.3. Densités des larves de homard en 2005 (en nombre par 10 m³).

Mission	Date	Point		Mégaloopes	Total zoés	Zoés stade 1	Zoés stade 2
175	14 juin	Point 3	Bongo 1 Bongo 2				
		C. Amenée	Bongo 1 Bongo 2				
		Rejet	Bongo 1 Bongo 2				
		Référence	Bongo 1 Bongo 2				
176	12 juillet	Point 3	Bongo 1 Bongo 2 Moyenne	0,05 0,02	0,49 0,32 0,41	0,38 0,18 0,28	0,11 0,14 0,12
		C. Amenée	Bongo 1 Bongo 2				
		Rejet	Bongo 1 Bongo 2				
		Référence	Bongo 1 Bongo 2 Moyenne	0,10 0,05	0,20 0,10	0,15 0,08	0,05 0,03
177	2 août	Point 3	Bongo 1 Bongo 2 Moyenne	0,23 0,22 0,23	3,68 3,67 3,67	2,57 1,72 2,15	1,11 1,95 1,53
		C. Amenée	Bongo 1 Bongo 2				
		Rejet	Bongo 1 Bongo 2 Moyenne	0,09 0,05	0,09 0,09	0,09 0,05	0,09 0,05
		Référence	Bongo 1 Bongo 2 Moyenne	0,26 0,51 0,39	1,52 1,71 1,62	0,33 0,51 0,42	1,19 1,21 1,20
178	17 août	Point 3	Bongo 1 Bongo 2 Moyenne	0,42 0,52 0,47	4,95 5,28 5,11	2,39 2,09 2,24	2,57 3,19 2,88
		C. Amenée	Bongo 1 Bongo 2				
		Rejet	Bongo 1 Bongo 2				
		Référence	Bongo 1 Bongo 2 Moyenne	0,43 0,51 0,47	0,86 1,08 0,97	0,12 0,44 0,28	0,74 0,64 0,69
179	30 août	Point 3	Bongo 1 Bongo 2 Moyenne	0,25 0,32 0,28	5,35 3,13 4,24	2,49 1,34 1,92	2,86 1,79 2,33
		Référence	Bongo 1 Bongo 2 Moyenne	0,34 0,42 0,38	0,41 0,35 0,38	0,07 0,07 0,07	0,34 0,28 0,31
		Point 3	Bongo 1 Bongo 2 Moyenne	0,07 0,13 0,10	1,08 0,97 1,03	0,68 0,58 0,63	0,41 0,39 0,40
180	14 septembre	Référence	Bongo 1 Bongo 2 Moyenne	0,13 0,25 0,19	0,06 0,31 0,19		0,06 0,31 0,19

Annexe 5.4. Densité des larves d'araignée de mer en 2005 (en nombre par 10 m³).

JUIN	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuvées	Longueur céphalothoracique moyenne (cm)	Poids moyen (g)	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	13	10	2	1	9.0	509	77%
filière 2	75	47	21	7	9.3	557	63%
filière 3	49	26	21	2	8.1	348	53%
filière 4	17	8	9		9.7	636	47%
filière 5	65	27	38		7.7	292	42%
filière 6	11	4	6	1	8.6	451	36%
filière 7	11	8	2	1	9.9	699	73%
filière 8	73	32	30	11	9.8	659	44%
filière 9	27	14	10	3	9.0	497	52%
filière 10	42	24	16	2	8.4	401	57%
filière 11	9	5	2	2	9.6	682	56%
filière 12	11	3	7	1	8.6	422	27%
filière 13	16	11	4	1	8.7	441	69%
filière 14	27	16	11		8.1	354	59%
filière 15	24	14	10		8.8	486	58%
Sous total	470	249	189	32	8.9	507	53%
SEPTEMBRE	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuvées	Longueur céphalothoracique moyenne (cm)	Poids moyen (g)	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	14	8	6		9.6	607	57%
filière 2	60	25	32	3	9.8	649	42%
filière 3	37	17	20		7.9	337	46%
filière 4	15	8	6	1	9.3	548	53%
filière 5	37	21	16		8.0	335	57%
filière 6	15	10	4	1	9.0	485	67%
filière 7	4	2	2		8.7	427	50%
filière 8	70	36	28	6	9.7	626	51%
filière 9	15	5	10		8.8	457	33%
filière 10	34	21	13		8.4	389	62%
filière 11	12	6	6		9.4	576	50%
filière 12	20	9	11		9.3	568	45%
filière 13	12	6	6		8.7	439	50%
filière 14	15	8	7		8.5	420	53%
filière 15	17	9	8		8.3	383	53%
Sous total	377	191	167	11	8.9	490	51%
Total	847	440	356	43	8.9	499	52%

Annexe 5.5 : Résultats des pêches expérimentales de homard en 2005

JUIN	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuvées	Largeur céphalothoracique moyenne	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	16	10	6		14.5	63%
filière 2	8	5	3		11.5	63%
filière 3	30	20	10		12.0	67%
filière 4	12	9	3		14.5	75%
filière 5	43	25	18		12.2	58%
filière 6	12	4	8		15.2	33%
filière 7	21	10	11		15.4	48%
filière 8	5	3	2		13.4	60%
filière 9	43	26	17		12.1	60%
filière 10	57	25	32		12.9	44%
filière 11	4	2	2		14.9	50%
filière 12	20	11	9		14.4	55%
filière 13	20	11	9		12.8	55%
filière 14	36	25	11		13.9	69%
filière 15	15	10	5		14.7	67%
Sous total	342	196	146	0	13.5	57%
SEPTEMBRE	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuvées	Largeur céphalothoracique moyenne	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	38	24	14		14.3	63%
filière 2	23	14	9		11.4	61%
filière 3	106	76	30		11.6	72%
filière 4	29	19	10		14.2	66%
filière 5	104	81	23		12.3	78%
filière 6	5	4	1		14.7	80%
filière 7	23	19	4		13.6	83%
filière 8	5	4	1		10.9	80%
filière 9	43	37	6		13.1	86%
filière 10	90	64	26		12.3	71%
filière 11	28	19	9		14.4	68%
filière 12	36	28	8		13.6	78%
filière 13	21	12	9		14.3	57%
filière 14	144	111	33		12.8	77%
filière 15	19	16	3		13.8	84%
Sous total	714	528	186	0	13.1	74%
Total	1056	724	332	0	13.3	69%

Annexe 5.6 : Résultats des pêches expérimentales de tourteau en 2005

JUIN	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuvées	Longueur céphalothoracique moyenne	Pourcentage d'individus de longueur >12 cm	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	10	9	1		9.8	10%	90%
filière 2	39	36	2	1	11.1	31%	92%
filière 3	26	21		5	11.0	27%	81%
filière 4	6	6			10.9	50%	100%
filière 5	17	17			11.2	47%	100%
filière 6	20	15	4	1	9.3	30%	75%
filière 7	29	25	4		9.6	7%	86%
filière 8	13	11	2		11.4	38%	85%
filière 9	15	12	2	1	10.3	20%	80%
filière 10	12	10	2		11.4	42%	83%
filière 11	16	11	4	1	9.1	19%	69%
filière 12	13	12	1		10.3	0%	92%
filière 13	5	5			9.7	0%	100%
filière 14	8	8			10.8	25%	100%
filière 15	24	22	2		9.2	13%	92%
Sous total	253	220	24	9	10.4	25%	87%

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	13	7	6		7.7	8%	54%
filière 2	0					0%	0%
filière 3	0					0%	0%
filière 4	8	2	6		7.3	0%	25%
filière 5	6	3	3		8.6	0%	50%
filière 6	56	30	26		8.0	7%	54%
filière 7	9	5	4		8.3	11%	56%
filière 8	3	2	1		6.7	0%	67%
filière 9	4	3	1		7.7	0%	75%
filière 10	0					0%	0%
filière 11	13	4	9		7.0	15%	31%
filière 12	10	7	3		9.0	30%	70%
filière 13	5	4	1		10.0	0%	80%
filière 14	3	2	1		10.3	0%	67%
filière 15	58	32	26		7.6	3%	55%
Sous total	188	101	87	0	8.2	7%	54%
Total	441	321	111	9	9.5	17%	73%

Annexe 5.7 : Résultats des pêches expérimentales d'araignée en 2005

JUIN	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuвées	Longueur céphalothoracique moyenne	Pourcentage d'individus mous	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	11	6	5		5.1	27%	55%
filière 2	9	8		1	5.5	33%	89%
filière 3	24	23		1	5.2	25%	96%
filière 4	5	3	2		5.1	0%	60%
filière 5	40	31	7	2	5.0	33%	78%
filière 6	6	5	1		5.2	67%	83%
filière 7	2	2			5.2	100%	100%
filière 8	2	2			5.8	100%	100%
filière 9	7	5	2		5.1	29%	71%
filière 10	20	14	4	2	5.1	85%	70%
filière 11	0					0%	0%
filière 12	6	6			4.9	100%	100%
filière 13	6	3	1	2	5.0	50%	50%
filière 14	7	7			5.1	14%	100%
filière 15	2	2			5.0	0%	100%
Sous total	147	117	22	8	5.2	42%	80%

SEPTEMBRE	Nombre total	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre femelles oeuвées	Longueur céphalothoracique moyenne	Pourcentage d'individus mous	Sex-ratio (Pourcentage de mâles)
filière 1	0					0%	0%
filière 2	20	20			5.6	0%	100%
filière 3	10	9	1		5.0	0%	90%
filière 4	0					0%	0%
filière 5	5	5			4.8	0%	100%
filière 6	2	2			5.0	0%	100%
filière 7	0					0%	0%
filière 8	2	2			5.5	0%	100%
filière 9	5	3	2		5.0	0%	60%
filière 10	7	7			5.1	0%	100%
filière 11	1	1			5.0	100%	100%
filière 12	4	2	2		5.0	0%	50%
filière 13	1	1			5.3	0%	100%
filière 14	1	1			5.2	0%	100%
filière 15	2	2			5.4	0%	100%
Sous total	60	55	5	0	5.1	2%	92%
Total	207	172	27	8	5.2	30%	83%

Annexe 5.8 : Résultats des pêches expérimentales d'étrille en 2005

	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	66	2	68	5	2	7
filière 2	80	80	160	0	0	0	0	0	0
filière 3	68	80	148	0	0	0	0	0	0
filière 4	80	80	160	76	9	85	4	9	13
filière 5	80	80	160	0	0	0	2	0	2
filière 6	80	80	160	256	155	411	13	26	39
filière 7	80	80	160	89	22	111	13	7	20
filière 8	80	80	160	0	0	0	1	1	2
filière 9	80	80	160	0	0	0	1	0	1
filière 10	80	80	160	0	0	0	0	0	0
filière 11	80	80	160	190	42	232	18	13	31
filière 12	80	80	160	14	0	14	2	1	3
filière 13	80	80	160	0	0	0	4	0	4
filière 14	80	80	160	0	0	0	2	0	2
filière 15	80	80	160	151	37	188	10	20	30
Total	1188	1200	2388	842	267	1109	75	79	154

Annexe 5.9 : Résultats des pêches expérimentales autres espèces en 2005

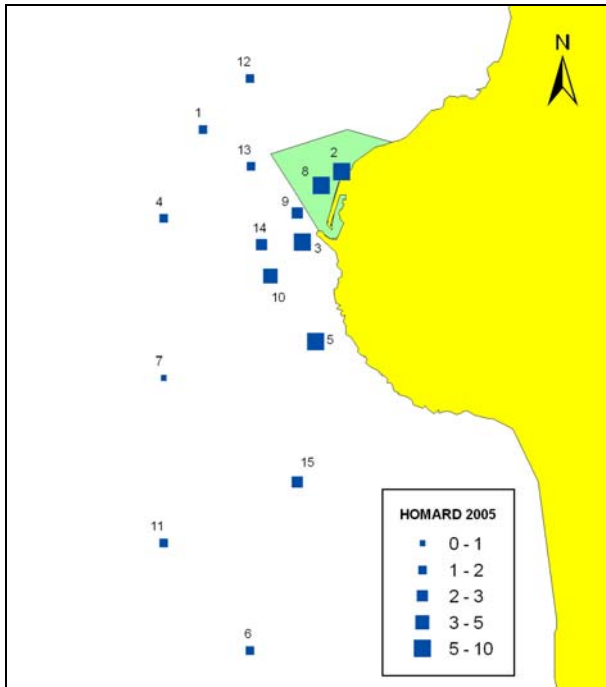


Figure A : Nombre de Homards pour 10 casiers

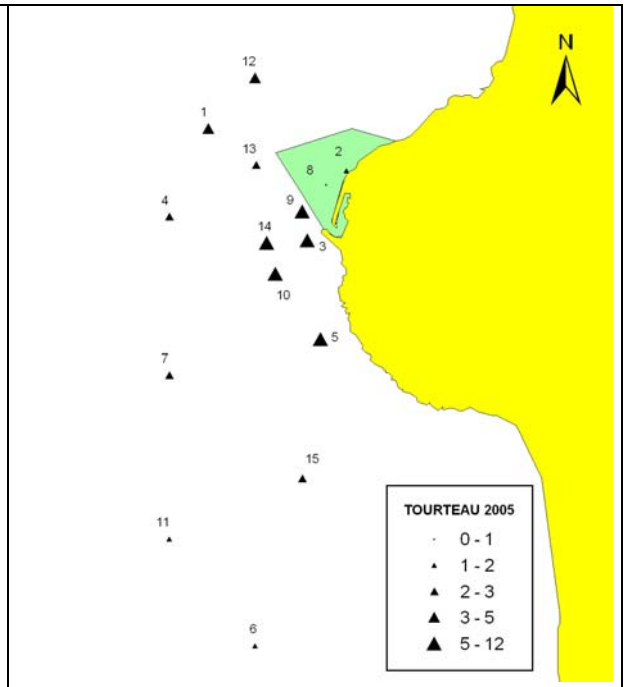


Figure B : Nombre de Tourteaux pour 10 casiers

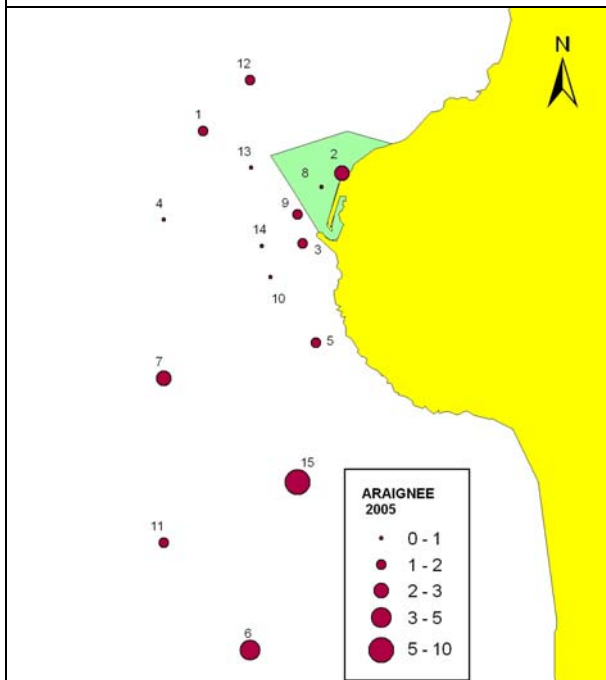


Figure C : Nombre d'Araignées pour 10 casiers

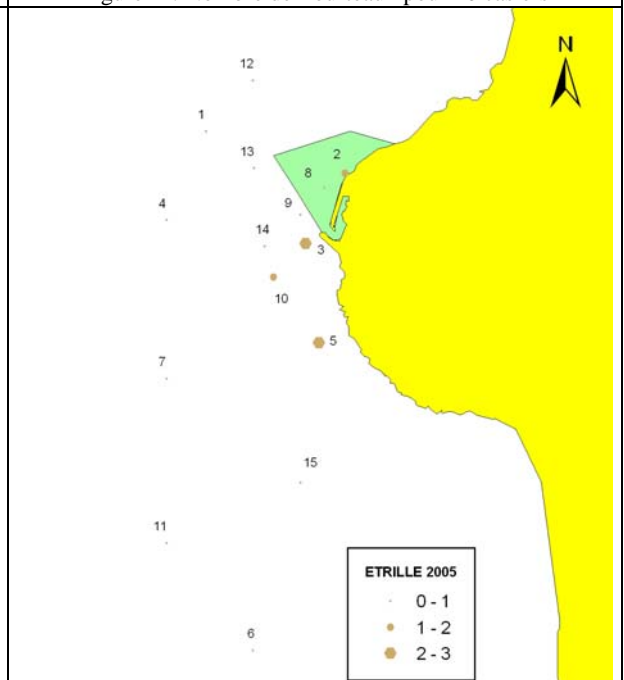
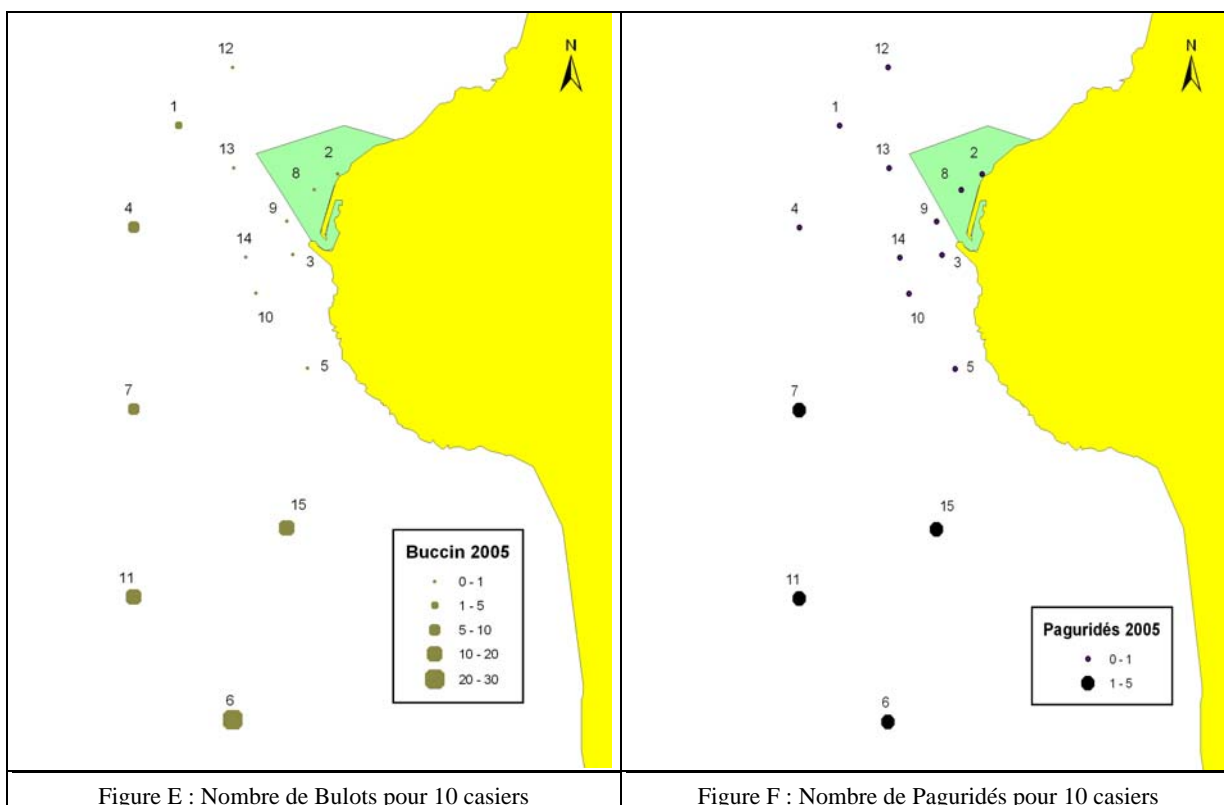


Figure D : Nombre d'Etrilles pour 10 casiers



6. Conclusion

Au regard des données météorologiques acquises dans le nord du Cotentin depuis 1949, l'année 2005 se caractérise par :

- Un cumul des précipitations (672,32 mm, proche des 652 mm enregistrés en 2003 et 2004) inférieur au cumul moyen enregistré depuis 1949 (712 mm). Un premier et un troisième trimestres déficitaires alternent avec un second et quatrième excédentaires par rapport aux normales saisonnières.
- Une insolation annuelle moyenne (1643 heures) légèrement supérieure à la moyenne enregistrée depuis 1986 (1587 heures).
- Une température moyenne annuelle de l'air (12,30 °C) supérieure à la moyenne enregistrée sur la période 1949-2005 (11,51 °C). A l'exception des mois de février et décembre, les moyennes mensuelles sont supérieures aux normales saisonnières. Aucune valeur extrême, maximale ou minimale, n'est enregistrée en 2005.

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 1986-2005 au cours des quatre trimestres. L'excédent thermique moyen de l'eau sur l'ensemble de l'année 2005 est estimé à $+0,56 \text{ °C.j}^{-1}$, valeur à comparer au maximum enregistré en 2002 ($+0,72 \text{ °C.j}^{-1}$) ou au minimum observé en 1986 ($-1,52 \text{ °C.j}^{-1}$). L'année 2005 est ainsi la seconde année la plus chaude au niveau de la température de l'eau de mer.

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 2005, à l'instar des années précédentes, l'influence des conditions météorologiques sur les caractéristiques hydrologiques de la colonne d'eau.

L'ensemble de nutriments mesurés pendant les campagnes 2005 présente un cycle saisonnier classique : suite à l'augmentation de l'ensoleillement, les sels nutritifs sont consommés par le phytoplancton entre le printemps et l'été, puis les processus de régénération suivent en automne. Les c

oncentrations en nitrite et phosphate ont été inférieures aux années précédentes, tandis que les valeurs en silicate du mois de mars ont été très supérieures.

Les données des 20 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

le cycle phytoplanctonique annuel correspond au cycle classiquement décrit en Atlantique. Les valeurs de chlorophylle *a* en été ont été supérieures aux médianes pluriannuelles bien qu'inférieures à celles de 2004.

Les dénombrements microphytoplanctoniques sur le site de Flamanville montrent la régularité du phénomène au cours duquel la population de la période *hivernale*, peu développée et dominée par *Thalassiosira* et *Skeletonema costatum* est remplacée en été par une population constituée pour l'essentiel par des diatomées du genre *Rhizosolenia* (majoritairement *R. delicatula*). La campagne automnale présente une plus forte diversité, où les genres *Skeletonema*, *Chaetoceros*, *Rhizosolenia* et *Pseudo-Nitzschia* sont représentés. 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 2005.

Zooplancton

L'étude des biomasses zooplanctoniques en 2005 met en évidence des valeurs proches ou légèrement inférieures aux médianes pluriannuelles au printemps, mais de plus fortes biomasses en juillet et septembre en particulier au point *canal* en été et aux points *rejet* et *référence* en automne. L'analyse des boîtes à moustaches révèle par ailleurs que les médianes pluriannuelles estivales observées au point *référence* sont les plus élevées sur l'ensemble des campagnes depuis 1987.

Au printemps 2005, la faune zooplanctonique a été massivement dominée par le méroplancton, essentiellement constitué de cirripèdes et de larves *cyphonaute* de bryozoaires. Lors de la campagne estivale, l'essentiel de la biomasse méroplanctonique a été partagée entre les larves de gastéropodes et des larves de crustacés décapodes. Au mois de septembre, ce sont d'une

part les cirripèdes, et d'autre part les larves de mollusques à la côte et de crabes au large qui ont présenté les plus fortes dominances.

Microbiologie

Les germes revivifiables sont en augmentation depuis deux à trois ans.

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 vulnificus*, *Vibrio fluviatilis* et *Vibrio parahaemolyticus*.

6.2. Le domaine benthique

La population de *Fucus serratus* du platier de Diélette présente en 2005 des biomasses en légère hausse tant en mars qu'en septembre. Bien que supérieures à 2004 (minimum observé), ces valeurs restent faibles par rapport à celles enregistrées en début d'étude, de 1983 à 1988.

La croissance moyenne des thalles, obtenue de mars à septembre 2005 (10,46 cm) est relativement forte. Il faut remonter aux mesures de 1984 (15,3 cm) et 1985 (18,4 cm) pour trouver des valeurs supérieures.

La fertilité se développe normalement de mars (60 % de pieds plus ou moins fertiles) à septembre 2005 (99 %).

Le recrutement annuel ainsi que les densités des crustacés cirripèdes comptabilisés, tant au Rozel, au Sémaphore, à Quédoy et à Diélette, sont en baisse.

Bien que *Semibalanus balanoides* reste majoritaire, cette espèce subit une diminution au profit de *Chthamalus stellatus* et *Chthamalus montagui* qui progressent surtout à Quédoy et au Sémaphore, mais aussi à Diélette et au Rozel. La population de *Elminius modestus*, toujours minoritaire, se développe aussi à Quédoy et à Diélette.

6.3. Le domaine halieutique

Larves de crustacés

Le début de l'année 2005 est plutôt doux à l'exception du mois de mars montrant une température moyenne inférieure à la moyenne obtenue depuis 1986. Plus précisément, le cumul des températures journalières sur la période février-mai démontrée sensible pour l'araignée de mer, est moyenne, intermédiaire entre celle des années extrêmes 1986 et 2002.

Il s'ensuit que les premières larves d'araignée ont éclos assez tôt, entre le 14 juin où aucune n'a été pêchée et le 12 juillet où la densité est de 0,4 par 10 m³ au point 3 et où l'on observe déjà des mégaloopes. Le début doit donc

se situer plus précisément à la fin du mois de juin. Le maximum d'éclosion se situe sur tout le mois d'août. La densité maximale relevée le 17 août (5,1 par 10 m³) rejoint les valeurs modestes notées de 1990 à 1995, de 1998 à 2000 et depuis 2002.

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

Les larves de homard semblent précoces cette année encore puisque une mégalope a été observée dès le 14 juin ; un pic apparent se dessine à cette date mais, comprenant les trois stades zoés, il est difficile de parler de pic d'éclosion. Comme nous l'avons noté dans la synthèse () les larves de homard apparaissent plus généralement dès le mois de mai depuis quelques années. La densité maximale observée en subsurface (0,04 par 10 m³) est un peu plus élevée que les trois dernières années.

Surveillance de la pêche côtière des crustacés

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 cantonné aux abords des enrochements de la centrale.

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

Le système de marquage utilisé depuis 2003 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 700 individus en trois ans, le taux de recapture est faible voir inexistant en dehors du cantonnement. Cela confirme que le homard est une espèce assez sédentaire, la majorité des captures se faisant lors de campagnes sur les lieux d'immersion, c'est à dire à l'intérieur du cantonnement.

Les conditions météorologiques rencontrées lors des campagnes ne nous ont pas permis de positionner, de façon régulière, la filière numéro 2 à la limite des enrochements. Nous n'avons donc pas été en mesure d'échantillonner correctement la population de petits individus qui s'y cache. Toutefois on remarque que la taille moyenne augmente chaque année. Elle est plus importante que dans le reste de la pêcherie, alors que généralement c'est au large que l'on trouve les plus gros individus.

Comme les années précédentes il y a très peu de tourteaux capturés. Cela confirme que le homard est bien l'espèce de crustacé territorialement dominante dans cette zone.

En dehors de ce périmètre il faut noter que le rendement du tourteau est difficilement interprétable cette année dans la mesure où le plan d'échantillonnage a été modifié. Nous avons en effet augmenté artificiellement les captures de certaines filières en les rapprochant de la zone où est généralement concentré cette espèce.

Le rendement de l'étrille baisse régulièrement depuis quatre ans. La taille moyenne de ce petit crustacé ayant d'autre part fortement diminué ces dix dernières années.



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.

IPCC, 2001. Climate change 2001, Synthesis report, Watson R. T. and the Core Writing Team Editors, Cambridge University Press, Cambridge U.K., New-York U.S.A., 1-111.

JONES, S.R. & JEFFS, T.M. 1991.- « Near surface sea temperatures in coastal waters of the North Sea, English Channel and Irish Sea ». *Fisheries Research Data Report*, n°24

JOSSI (J.W.), MARAK (R.R.) et PETERSON (H.), 1975.- At-sea data collection and laboratory procedures.- Marmap survey I manual, Marmap Programm Office, National Marine Fisheries Service édit., Washington.

KILHAM, P., KILHAM, S.S. 1980.- « The evolutionary ecology of phytoplankton » In. Morris I. (ed.). *The physiological ecology of phytoplankton*. Pp. 571-597. *Blackwell Scientific Publications*. Oxford.

KLEIN, B. ET SOURNIA, A. 1987.- « A daily study of the diatom spring bloom at Roscoff (France) in 1985. II. Phytoplankton pigment composition studied by HPLC analysis » *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 37 : 265-275.

LAANE, R.W.P.M. 1992.- « Background concentrations of natural compounds ». *Ministry of transport, Public Works and Water Management*, Report DGW-92.033

LABRY, C., HERBLAND, A., DELMAS, D., LABORDE, P., LAZURE, P., FROIDEFOND, J-F., JEGOU, A-M., SAUTOUR, B., 2001. Initiation of winter phytoplankton blooms within Gironde plume waters in the Bay of Biscay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 212, 117-130.

LAMPERT, L. 2001.- « Dynamique saisonnière et variabilité pigmentaire des populations 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).

MARTIN, (J.) & PLANQUE, B., 2006. Variability in the onset of hatching of spider crab (*Maja brachydactyla* Balss, 1922) in the English Channel in relation to sea temperature. *Invertebrate Reproduction & Development*, soumise.

MASTAIL, M. & BATTAGLIA, A., 1978. Amélioration de la conservation des pigments du zooplancton, Cons. Int. Explor. Mer, L:20.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

WOEHLING, D., LEFEBVRE, A., LE FEVRE-LEHOERFF, G. & DELESMONT, R., 2005. Seasonal and longer term trends in sea temperature along the French North Sea coast, 1975 to 2002, *J. Mar. Biol. Ass., U.K.*, 85, 39-48.

* * *

SITE ELECTRONUCLEAIRE DE FLAMANVILLE

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

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

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

- Vol. 1 : Rapport général, 260 p.
- Vol. 2 : Traitements mathématiques, 39 p.
- Vol. 3 : Annexes, 213 p.

CHARDY P., ROMAÑA A. (coordinateurs), ARNAL O., ARZUL G., BELSHER T., de LA SALLE P., ERARD E., GUILLAUMONT B., HAMON D., LE FEVRE-LEHOERFF G., LOARER R., RYCKAERT M., TOULARASTEL F. (1986). Etude écologique de Projet – Site de Flamanville – 2^e Cycle de Juin 1977 à Juin 1978. (Edition provisoire : rapp. CNEXO-ELGMM, juin 1979) Rapp. Ifremer DERO-86.22-EL

- Vol. 1 : Le domaine pélagique. Fasc. 1 : Rapport, 269 p. ; Fasc. 2 : Annexes, 168 p.
- Vol. 2 : Le domaine benthique. 221 p.

**RAPPORTS DE SURVEILLANCE
DU DOMAINE MARIN COTIER
PRODUITS PAR L'IFREMER DEPUIS 1983**

LEAUTE J.P. et C. LE BEC, 1984. - Etude de Surveillance écologique des ressources halieutiques, Site de Flamanville, Zooplanctonologie, **ANNEE 1983**. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, édit., Nantes, mai 1984, 182 p.

PIRIOU J.Y. et C. VIGIER, 1984. – Site de Flamanville, étude complémentaire, Biomasse algales, potentielles et en dérive. Rapp. CNEXO/DERO-86.21-EL, novembre 1984, 33 p. + annexes.

VERON G., D. MIOSSEC et P. NOEL, 1985. - Etude de Surveillance écologique des ressources halieutiques, Site de Flamanville, Surveillance de la pêche côtière. des crustacés, **ANNEE 1983**. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, édit., Nantes, janvier 1985, 151p.

- ARNAL O, T. BELSHER, C. CHEVALIER, L. DREVES, E. ERARD, P. GENTIEU, F. GRESSELIN, B. GUILLAUMONT, D. HAMON, R. LOARER, M. OBATON, J.Y. PIRIOU, J.Y. QUINTIN et P. WALKER, 1985.- Etude de Surveillance écologique sur le site de Flamanville, ANNEE 1983. Rapp. CNEXO/COB/DELGMM, mars 1985, 124 p.
- GENTIEU P., L. DREVES, E. ERARD-LE DENN, B. GUILLAUMONT, R. LOARER, A. MENESGUEN, J.Y. PIRIOU et J.Y. QUINTIN, 1986.- Surveillance écologique sur le site de Flamanville, ANNEE 1984. Rapp. IFREMER DERO-86.12 EL, 131 p.
- MARTIN J. et D. HALGAND, 1986.- Etude de surveillance des ressources halieutiques, Site de Flamanville, Zooplanctonologie, avril-octobre 1984. Rapp. interne IFREMER DRV-86.008-RH, décembre 1986, 286 p.
- GUILLAUMONT B., J.P. AUFFRET, S. BERNE, F. GRESSELIN et P. WALKER, 1987.- Surveillance écologique, Site de Flamanville, Le domaine benthique, Etude par sonar latéral et prises de vue sous-marines, 1983-1984. Rapp. IFREMER DERO-87.05-EL, 35 p. + 14 cartes.
- GUILLAUMONT B., HAMON D., LAFOND L.R., LE RHUN J., LEVASSEUR J. et PIRIOU J.P., 1987. – Etude régionale intégrée du Golfe normano-breton, carte biomorphosédimentaire de la zone intertidale au 1/25 000, côte ouest du Cotentin et Baie du Mont Saint-Michel. Rapp. Ifremer DERO-87.17-EL, 50 p. + 7 cartes.
- VERON G. et D. MIOSSEC, 1987.- Etude de Surveillance écologique des ressources halieutiques, Site de Flamanville, Surveillance de la pêche côtière des crustacés, ANNEE 1984. Rapp. interne IFREMER DRV-86.008-RH, mai 1987.
- MARTIN J. (coordinateur), L. DREVES, E. ERARD-LE DENN, P. GENTIEU, J.Y. PIRIOU, J.Y. QUINTIN et G. VERON, 1988. - Surveillance écologique et halieutique, Site de Flamanville, ANNEE 1985. Rapp. IFREMER DRV-87.19-RH, DERO-87.28-EL, décembre 1988, 311p.
- MARTIN J. (coordinateur), G. ARZUL, L. DREVES, E. ERARD-LE DENN, J.Y. QUINTIN et G. VERON, 1990. - Surveillance écologique et halieutique, Site de Flamanville, ANNEE 1986. - Rapp. IFREMER DRV-88.06-RH, DERO-88.14-EL, novembre 1990, 136 p.
- MARTIN J. (coordinateur), G. ARZUL, L. DREVES, E. ERARD-LE DENN, D. MIOSSEC, J.Y. PIRIOU et J.Y. QUINTIN, 1990. - Surveillance écologique et halieutique, Site de Flamanville, ANNEE 1987. [Edition définitive] Rapp. IFREMER DRV-89.017-RH, DERO-89.12-EL, novembre 1990, 182 p.
- MARTIN J. (coordinateur), G. ARZUL, L. DREVES, E. ERARD-LE DENN, D. MIOSSEC, J.Y. PIRIOU et J.Y. QUINTIN, 1991. - Surveillance écologique et halieutique, Site de Flamanville, ANNEE 1988. Rapp. IFREMER RIDRV-90.46-RH, RIDRO-90.14-EL, mai 1991, 134 p.
- MARTIN J. (coordinateur), G. ARZUL, L. DREVES, E. ERARD-LE DENN, D. MIOSSEC, J.Y. PIRIOU et J.Y. QUINTIN, 1991. - Surveillance écologique et halieutique, Site de Flamanville, ANNEE 1989. Rapp. IFREMER RIDRV-90.47-RH, RIDRO-90.15-EL, septembre 1991, 148 p.

- DREVES L. (coordinateur), G. ARZUL, E. ERARD-LE DENN, J. MARTIN, D. MIOSSEC et J.Y. QUINTIN, 1991. -Surveillance écologique et halieutique, Site de Flamanville, ANNEE 1990. Rapp. IFREMER DRO.EL-91.15, juillet 1991, 122 p.
- DREVES L. (coordinateur), G. ARZUL, E. ERARD-LE DENN, J. MARTIN, D. MIOSSEC, J.Y. PIRIOU et J.Y. QUINTIN, 1992. -Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1991. Rapp. IFREMER DEL/Brest-92.23, juin 1992, 161 p.
- DREVES L. (coordinateur), G. ARZUL, E. ERARD-LE DENN, J. MARTIN, D. MIOSSEC, J.Y. PIRIOU et J.Y. QUINTIN, 1993. -Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1992. Rapp. IFREMER DEL/Brest-93.14, juillet 1993, 146 p.
- DREVES L. (coordinateur), E. ERARD-LE DENN, M. LUNVEN, J. MARTIN, D. MIOSSEC, J.Y. PIRIOU et J.Y. QUINTIN, 1994. -Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1993. Rapp. IFREMER DEL/Brest-94.09, juin 1994, 105 p.
- DREVES L. (coordinateur), J.Y. QUINTIN, E. ERARD-LE DENN, M. LUNVEN, J. MARTIN et D. MIOSSEC, 1995. -Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1994. Rapp. IFREMER DEL/Brest-95.09, juin 1995, 112 p. + annexes.
- DREVES L. (coordinateur), J. MARTIN, E. ERARD-LE DENN, M. LUNVEN, D. MIOSSEC et J.Y. QUINTIN, 1996. -Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1995. Rapp. IFREMER DEL/Brest-96.07, juin 1996, 114 p. + annexes.
- DREVES L. (coordinateur), ERARD-LE-DENN E., LUNVEN M., MARTIN J., MIOSSEC D., QUINTIN J.Y. (1997) - Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1996. Rapp. IFREMER DEL/CR/RST/97/09, mai 1997, 108 p. + annexes.
- DREVES L. (coordinateur), ERARD-LE-DENN E., LUNVEN M., MARTIN J., MIOSSEC D., QUINTIN J.Y. (1998) - Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1997. Rapp. IFREMER DEL/CR/98/04, mars 1998, 112 p. + annexes.
- DREVES L. (coordinateur), ERARD-LE-DENN E., GAFFET J.D., LUNVEN M., MARTIN J., MIOSSEC D., QUINTIN J.Y. (1999) - Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1998. Rapp. IFREMER DEL/99.09/Brest, juin 1999, 126 p.
- DREVES L. (coordinateur), ERARD-LE-DENN E., LUNVEN M., MARTIN J., MIOSSEC D., QUINTIN J.Y. (2000) - Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 1999. Rapp. IFREMER DEL/00.04/Brest, juin 2000, 122 p.
- DREVES L. (coordinateur), ERARD-LE-DENN E., GAFFET J.D., de KERGARIOU G., LUNVEN M., MARTIN J., MIOSSEC D., RUMEBE M.. (2001) - Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, ANNEE 2000. Rapp. IFREMER RST.DEL/01.04, mars 2001, 128 p.

DREVES L. (coordinateur), MARTIN J., MONBET P., RUMEBE M., SCHLAICH I., du BOULLAY H., (2002) - Surveillance écologique et halieutique du Site de Flamanville, **ANNEE 2001**. Rapp. IFREMER RST.DEL/02.04, mars 2002, 154 p.

DREVES L. (coordinateur), LAMPERT L., MARTIN J., RUMEBE M., SCHLAICH I. (2003) - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, **ANNEE 2002** – Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST-DEL/SR/03.04, mars 2003, 166 p.

DREVES L. (coordinateur), LAMPERT L., MARTIN J., ABERNOT-LE GAC C., GAFFET J., RUMEBE M., SCHLAICH I. (2004) - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, **ANNEE 2003** – Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST-DEL/SR/04.04, mars 2004, 176 p.

DREVES L. (coordinateur), LAMPERT L., MARTIN J., ABERNOT-LE GAC C., DAGAULT F., GAFFET J., RUMEBE M., SCHLAICH I. (2005) - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, **ANNEE 2004** – Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST-DOP/LER/05.02, mars 2005, 194 p.

DREVES L. (coordinateur), LAMPERT L., MARTIN J., ABERNOT-LE GAC C., BRYLINSKI J., VINCENT D., GAFFET J., SCHLAICH I. (2006) - Surveillance écologique et halieutique du site de Flamanville, **ANNEE 2005** – Rapport scientifique annuel. Rapp. Ifremer RST-DOP/LER/06.02, mars 2006, 202 p.

**SYNTHESE DES ETUDES DE SURVEILLANCE
DU DOMAINE MARIN COTIER**

DREVES L. (coordinateur), LAMPERT L., MARTIN J., ABERNOT-LE GAC C., ARZEL P., DUMAS F., GAFFET J., LATROUITE D., SCHLAICH I., WOEHLING D., (2005) – Synthèse hydrobiologique du site électronucléaire de Flamanville – Rapp. Ifremer RST-DOP/LER/05.06, novembre 2005, 364 p. [*édition provisoire*]
